

ISSN 0386-2542

徳山工業高等専門学校

研 究 紀 要

第 38 号

平成 26 年 12 月

RESEARCH REPORTS
OF
NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, TOKUYAMA COLLEGE

No. 38

December 2014

PUBLISHED BY THE NATIONAL INSTITUTE
OF TECHNOLOGY, TOKUYAMA COLLEGE
SHUNAN, JAPAN

目 次

Study on Damping Performances of New Link Device using Granular Materials ..	Toshiaki MAKINO Michio SEBATA Muneo FURUSE Takeshi KAWASAKI Taichi SATO	1
Study on Dynamic Characteritics of Railway Damper	Toshiaki MAKINO Toshitsugu TANAKA Michio SEBATA Takeshi KAWASAKI Muneo FURUSE	11
Study on Contact Force Control Characteristics of Current Collector using an Optical Sensors	Toshiaki MAKINO Takeshi KAWASAKI Muneo FURUSE	21
LabVIEWを用いた体験型倒立振子制御実験システム	山田 健仁 笠井 浩貴	31
新入生アンケートに見られる平成26年度入学生の特徴	原田 徳彦 長廣 恭子 三浦 靖一郎 西尾 幸一郎 松尾 葉子	37
山口県周南市久米地区における石積み文化について	橋本 堅一 谷本 圭司	45
周南市内の楼拝殿に関する研究	中川 明子 大來 美咲	51
層状結晶 $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ ($0 \leq x \leq 0.20$) の合成と水素イオン交換生成物	大橋 正夫	57
Interim Report of the English Facilitators' Activities	Hitoshi OGAWA Kentarou KITAMURA Takanori KOGA Ken-ichi FURUTA	63
実構造物におけるコンクリートの温度ひび割れの解析的研究	中谷 俊晴 田村 隆弘	69
アーバスキュラー菌根菌の緑化用資材化技術の開発	山本 将太 井上 航 村上 智哉 天内 和人	75
「松屋十八景記」訳注稿	谷本 圭司	1
徳山工業高等専門学校校外発表論文, 学術講演, 著書, 分担執筆など		83

徳山工業高等専門学校

研 究 紀 要

第 38 号

平 成 26 年 12 月

Study on Damping Performances of New Link Device using Granular Materials

Toshiaki MAKINO^{*1}, Michio SEBATA^{*2}, Muneo FURUSE^{*3},
Takeshi KAWASAKI^{*2} and Taichi SATO^{*4}

Abstract

Noise reduction and vibration controls of high-speed railways are required to improve the inter-noise characteristics of aluminum car body systems, such as Shinkansen and express trains. However, it becomes difficult to maintain the vibration control of the traction rod between the car body and the car bogie. In this paper, to improve the damping performance of the traction rod, we have proposed the new type of noise-reduction link mechanism using granular materials. Factors that affect the damping performance are examined through an experimental study. A new type of noise-reduction link mechanism is considered via examining the damping performance with granular mass and friction effects. Finally, in the experiment of the vibration bench test, a new type of noise-reduction link mechanism is improved by max. 11 dB in comparison with the conventional one.

Key Words : Damping, Vibration Control, Noise Reduction, Granular Materials, One Link Device, Railways

1. Introduction

As trains become faster, high-speed railway vehicles are increasingly required to provide a low noise passenger car environment as well as lightweight car bodies, better energy-saving performance and improved ride comfort (1) (2).

However, there are a number of disadvantages in reducing indoor noise, such as increased vibration and noise stemming from high-speed operation, and the reduced sound isolation and absorption performance of lightweight car body structures. Another problem currently in focus is the low-frequency indoor noise caused by low-frequency vibration in coasting (3). In particular, it is necessary to reduce the n-fold components of low-frequency vibration (160 to 315Hz) that are found in the revolution of motors and gears in the truck driving system. This makes it important to research cutting vibration transmission routes (such as the traction rod and yaw dampers arranged between truck and car body)

and drastically reduce their vibration transmissibility.

Shiohata et al. (4)(5) proposed a method to evaluate the radiation noise of low-frequency vibration in the 200Hz band that propagates from car bogie to car body, based on tests using a life-size model of car body structure. It was demonstrated that application of a damping material in the panel section of the car body structure improved the damping effect. Tanaka et al. (6) improved the aluminum car body and inner structures for high-speed railways to reduce noise, proposed the indoor noise reduction technique adopted in their study, and discussed the practicality of the aluminum car body structure with a damping material applied to panel sections.

Oda et al. (7) developed a method of predicting indoor noise and a noise reduction technology to apply the method, and clarified its noise reduction effect in running tests. The three of them alike attempted to establish a noise prediction method and proposed a low-noise car body structure using a

^{*1} National Institute of Technology, Tokuyama College

^{*2} Hitachi, LTD.

^{*3} National Institute of Technology, Oshima College

^{*4} Tokyo Denki University

number of damping materials in hollow aluminum sections. However, the method of using bulk damping materials makes the car body heavier and requires a design that incorporates optimal arrangement of the damping materials.

This study is aimed at minimizing increases in car body weight, noting that about 70% of indoor noise is caused by longitudinal vibration propagating from the truck driving system to the under-floor car body bolster beams through the traction rod. The study also clarifies the characteristics of the vibration transmissibility. A traction rod using granulars (i.e., a noise reduction link device) was devised to drastically reduce the vibration transmittal ratio in the 200Hz band (8).

Araki et al. (9) implemented basic research in the advanced field of granulars, clarified the damping characteristics of granular impact dampers, and attained a damping effect on a horizontal vibration system in the 7.5Hz band.

Sato et al. (10)- (12) used a multi-impact damper to clarify the damping effect of a cantilever beam in the 2Hz band. However, no discussion was made on damping caused by the friction behavior of granulars.

In researching a granular impact damper using a cylindrical vessel, Saeki (11) determined the damping effect in the 10Hz band through calculation and testing. Any of these three cases are reported in theses discussing the damping effect of several hertz bands.

This paper discusses the composition of a noise reduction link device for high-speed railway vehicles, the basic characteristics of the granulars contained in the link, element tests, and another damping effect in the 200Hz band.

2. Problems with one link device and the purpose developing a new link device

2.1 Problems with one link device

The truck for railway vehicles(see Fig.1) is a running gear consisting of truck frames, wheels, axles, a primary suspension system (elements connecting bearing boxes and truck frames), a secondary suspension system (air springs, left and right yaw dampers, a one link device and other elements connecting truck frames and car body), a traction motor, gears, couplings and brakes. The elements that connect the car body and the truck are air springs, yaw dampers and a one link device. There are two air springs (one each on the left and right of the truck frame) to support the car body

weight, and two yaw dampers (one each on the front and rear between car body and truck) to improve the stability of lateral motion. The one link device is an element to transmit longitudinal forces (vertical, lateral and yawing) from the truck to the car body.

Figure 2 shows the characteristics of passenger car noise in a high-speed railway vehicle running at 270km/h. The figure indicates that the indoor noise level is the highest in powering and coasting at 160 to 250Hz in the 1/3 octave central frequency band. More specifically, the sound pressure is significantly higher (about 3dB in terms of the overall OA value) in coasting than in powering, though this is not shown explicitly in the figure (13). The low-frequency vibration at the peak noise of 160 to 250Hz is caused by the motors, gears, couplings and other devices in the rotating system. This vibration resonates with that of the car body-fixing point and propagates through the one-link mechanism. As a result, the low-frequency vibration in the low-frequency band propagates from the truck driving system to the car body through the one link device, and is emitted in passenger cars. It is this vibration that needs to be reduced.

2.2 Purpose developing a new link device

The conventional one link device transmits vibration from the truck driving system directly to the car body. With this mechanism, therefore, damping can be expected only by applying rubber vibration isolators to both ends in the peak frequency band. To offset this drawback, the authors devised a system whereby approximately a million granulars are enclosed in a hollow space in the link. This converts the truck's vibration energy into kinetic energy in the granulars, and accelerates friction damping among the granulars and between the granulars and the link side wall. The transmittal ratio of the truck's vibration to the car body is thereby reduced (see Fig. 3 for the composition of the noise reduction link device).

The granulars placed in the link are excited by vibration (on the left of the figure) and move in a lateral direction, reducing vibration at the car body fixing point on the right. In the case of a conventional one link device, the rubber vibration isolators (with a spring constant of 8,620MN/m) at both ends were softened, shifting the peak frequency (eigenvalue) to the low-frequency side to affect damping. Since a fluctuating force of several tons works in the longitudinal direction, however, the softened rubber vibration isolators

posed a problem in terms of strength and reliability.

The authors therefore devised a noise reduction link mechanism without changing the hardness of the rubber vibration isolators, and used it to reduce the vibration level in the peak frequency band (at an eigenvalue of about 200Hz). Figure 4 shows the principle of the noise reduction link mechanism. The following equations give the energy of the whole system of multiple granulars moving laterally in the figure.

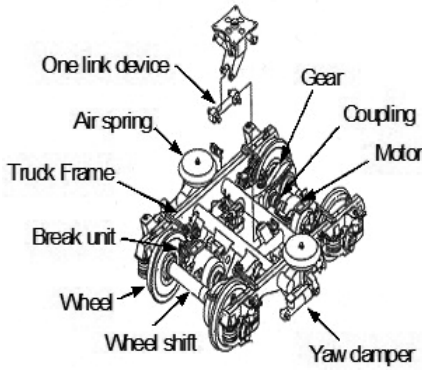


Fig.1 Configuration of railway truck

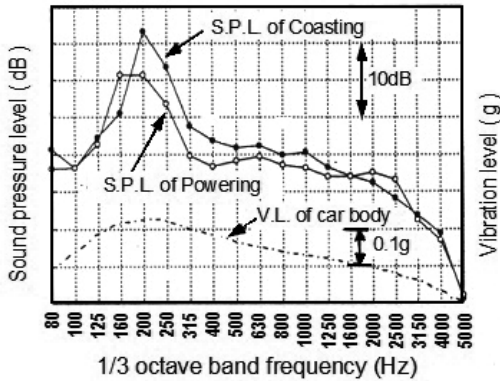


Fig.2 Noise and vibration result of running

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}m_0\dot{y}^2 + \frac{1}{2}K(y-x)^2 + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2}m_i\dot{z}_i^2 = & -\int C(\dot{y}-\dot{x})\dot{x}dt - \int K(y-x)\dot{x}dt \left[C(\dot{y}-\dot{x})^2 dt \right. \\ & - \int kn_1(-z_1+y)^{2/3}(\dot{y}-\dot{z}_1)dt - \int kn_2(-z_2+z_1)^{2/3}(\dot{z}_1-\dot{z}_2)dt - \int kn_3(-z_3+z_2)^{2/3}(\dot{z}_2-\dot{z}_3)dt \cdots \\ & - \int kn_i(-z_i+z_{i-1})^{2/3}(\dot{z}_{i-1}-\dot{z}_i)dt \cdots \\ & - \int kn_n(-z_n+z_{n-1})^{2/3}(\dot{z}_{n-1}-\dot{z}_n)dt - \int kn_{n+1}(-z_{n+1}+z_n)^{2/3}(\dot{z}_n-\dot{z}_{n+1})dt \\ & - \int cn_1(-\dot{z}_1+\dot{y})(\dot{y}-\dot{z}_1)dt - \int cn_2(-\dot{z}_2+\dot{z}_1)(\dot{z}_1-\dot{z}_2)dt - \int cn_3(-\dot{z}_3+\dot{z}_2)(\dot{z}_2-\dot{z}_3)dt \cdots \\ & - \int cn_i(-\dot{z}_i+\dot{z}_{i-1})(\dot{z}_{i-1}-\dot{z}_i)dt \cdots \\ & \left. - \int cn_n(-\dot{z}_n+\dot{z}_{n-1})(\dot{z}_{n-1}-\dot{z}_n)dt - \int cn_{n+1}(-\dot{y}+\dot{z}_n)(\dot{z}_n-\dot{y})dt \cdots \right] \quad (1) \end{aligned}$$

$$k_{mi} = \frac{4}{3} \frac{r_i - (r_{i-1})}{r_i + r_{i-1}} \left(\frac{1-v_i^2}{E_i} + \frac{1-v_{i-1}^2}{E_{i-1}} \right)^{-1} \cdots (2)$$

$$c_{ni} = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{1}{e^2} \sqrt{1.24 \cdot m_i \cdot k_{mi}} \cdot |\delta_n|^{1/4} \cdots (3)$$

The symbols in the above equations are defined as follows:

- m_0 : Mass of one-link mechanism
- K : Spring constant of rubber vibration isolator
- C : Damping coefficient of rubber vibration isolator
- x : Forced displacement
- y : Displacement of mass m_0
- z_i : Displacement of granulars m_i ($i = 1, 2, \dots, n$)
- E_i : Young's modulus
- v_i : Poisson's ratio
- r_i : Radius of granular
- δ_n : Displacement in normal direction at collision
- e : Restitution coefficient

The restoring force spring constant and damping coefficient of the granulars when they collide with each other or with the inner wall of the one-link mechanism (K_{ni} and C_{ni} in equations (2) and (3)) were derived from equations (4) and (5) in reference (11). However, these values will be set at 0 when collision does not occur.

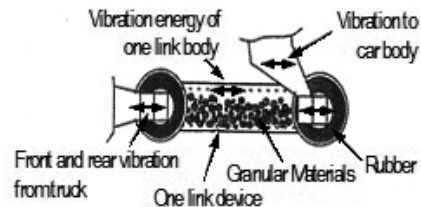


Fig.3 Conceptual configuration of noise reduction link mechanism

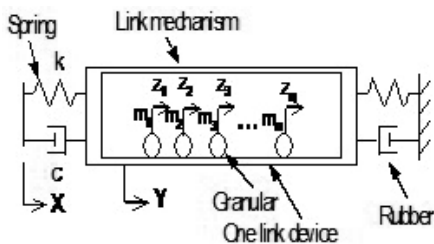


Fig. 4 Model of noise reduction link mechanism

In equation (1), the first and second terms on the left side represent the energy of the one link device. The third term gives the energy of multiple granulars. On the right, the first and second terms represent the energies put into the mechanism by forced displacements from outside. The third term gives the energy dispersed by the damping elements of the mechanism. The fourth and following terms represent strain energy, dispersed energy and other energies at collision. To reduce the energy put into the one-link mechanism from outside by forced displacements, therefore, the energy of the granulars and the energy damped by the one-link mechanism have only to be increased.

The purpose of this study is to use granulars contained within a noise reduction link device to damp the low-frequency vibration (160 to 250Hz) that propagates from the truck to the car body, or to drastically reduce the vibration transmittal ratio of the noise reduction link device.

3. Noise reduction link device and element tests

3.1 Method of element tests

Figure 5 shows the element test apparatus for the noise reduction link device. Fig. 6 shows the apparatus for measuring the vibration transmittal ratio. The noise reduction link device is set at the position of the supports on the truck and car body sides. It is excited by an electrodynamics exciter fixed to the right side, and outputs a swept sine wave signal at 160 to 350Hz. Here, the authors installed a vibration accelerometer on the link and another on the truck, and measured the vibration transmittal ratio between the two sides with an FFT analyzer to clarify the damping effect of the noise-free link device.

In this element test, the authors adopted two

systems (inside and outside granular placing systems) and clarified the damping effect of the noise reduction link device with different granular masses, materials and filling ratios. The granular filling ratio is taken as 100% when the hollow space of the link is completely filled with granulars. The inside granular placing system (Fig. 7) inserts multiple granulars into the hollow space of the link (mass: 18.3kg). This system prevents the granulars from being scattered by flying stones or degraded by rain or other environmental conditions. The outside granular placing system (Fig. 6) arranges multiple cylinders filled with granulars around the link. This system makes it possible to freely increase or decrease the granular mass, thereby facilitating verification of the damping effect at different masses. To maximize the damping effect of the granulars, the authors fixed hollow cylinders around the link wrapped with a rubber sheet.

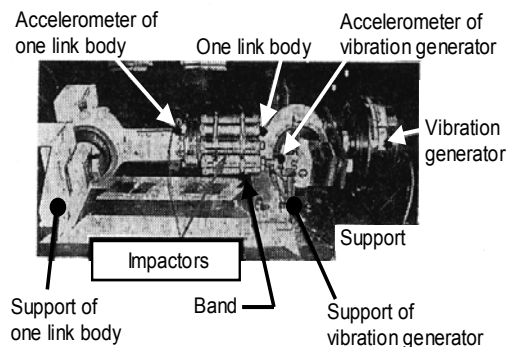


Fig. 5 Experimental setup using vibration generator

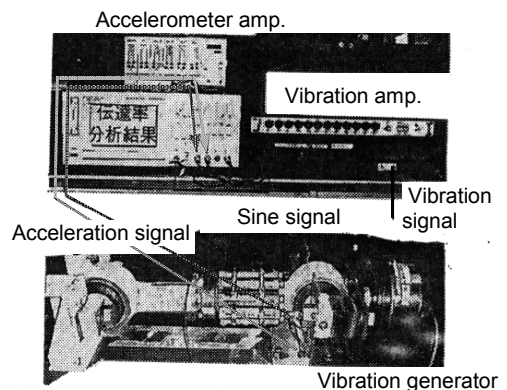


Fig. 6 Photographs of measuring apparatus

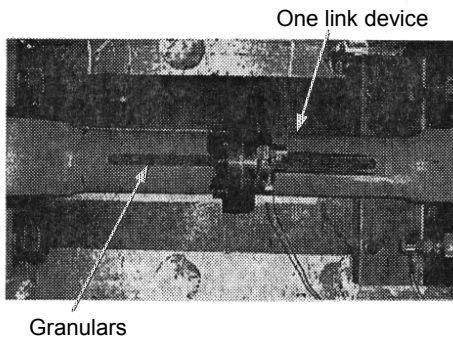


Fig. 7 Photographs of sealed in granulars

3.2 Characteristics of granulars

The authors used spherical and non-spherical granulars of 1mm in diameter (used for ball bearings) made of iron, plastic and lead.

To measure their basic characteristics (material constant, compression ratio and the restitution coefficient related to the damping effect), the authors performed a strength test, applying a compressive load of 4.9N to the granulars with micro-compression tester from Shimadzu Corporation (Figs. 8 to 10). Figure 8 shows the appearance of a spherical lead specimen after the test, with spherical configuration restored, although showing some deformation. Figure 9 (a) shows the relationship between the compressive load and the displacement of a spherical lead specimen, which was linearly deformed to 20 μm by the compressive load but returned to 18 μm when the load was removed. The average compression ratio of three lead granulars was 1.62%, and the average restoring ratio was 0.21%. The non-spherical lead granular shown in Fig. 9 (b) showed non-linearity at the start of compression. It deformed to 23 μm under a compression load of 4.9N, and returned to 24 μm when the load was removed. The average compression ratio was 2.27%, and the average restoring ratio was 0.18%. These results indicate a larger hysteresis characteristic and easier energy conversion with non-spherical lead granulars than with spherical ones.

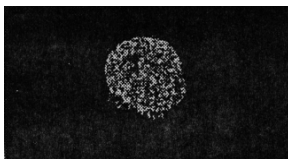
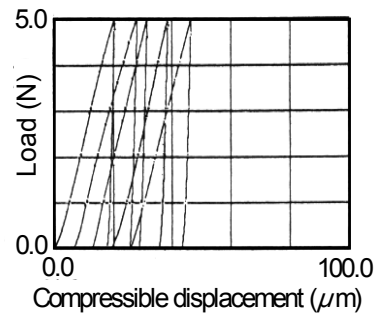
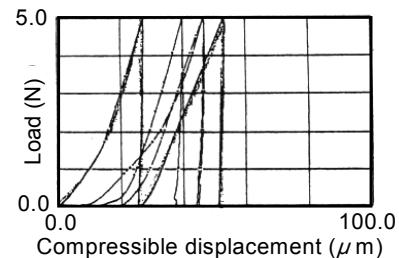


Fig. 8 Photographs of granular after experiment



(a) Load-compressible displacement using spherical granular material



(b) Load-compressible displacement using spherical less granular material

Fig. 9 Static characteristics of granulars

Figure 10 (a) shows the test apparatus manufactured by the authors to verify the collision damping effect of granulars, and Fig. 10 (b) the test results obtained with the apparatus.

The authors dropped an unconstrained iron column (mass: 1,500g, material SK 3) onto multiple lead granulars (diameter: 1mm, total mass: 50g, both spherical and non-spherical) contained in a case, and measured the impact damping characteristics of the granulars with a load cell at 1ms sampling (see Fig. 10(a)). Multiple lead granulars are contained in a case, colliding with the dropping iron column. Thus, there were three test conditions: containing spherical lead specimens, non-spherical lead specimens and no specimens.

The impact force determined from the impact-time waveforms was 5,300N (Max.) with empty case, 2,900N (Min.) with case containing spherical specimens and 2,000N (Max.) with case containing non-spherical specimens. The convergence time was the shortest with the empty case and the longest with the case containing non-spherical specimens. The impact force of the non-spherical specimens was smaller than that of the spherical ones. Because the kinetic energy of the column mass was converted into the friction energy of the granulars,

or because the restitution coefficient was smaller due to the column not rebounding after hitting the granulars. The impact force (by trapezoidal integration) was 0.82Ns with the spherical specimens and 0.78Ns with the non-spherical specimens.

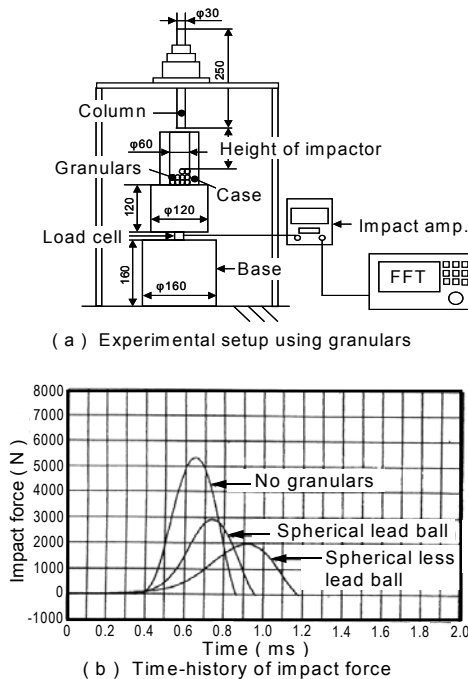


Fig. 10 Experimental result of impact force using impactor and granulars

Table 1 summarizes the above results and shows basic specifications of the granulars used in this study. When judged from the material's constant and measured characteristics, non-spherical specimens had the largest specific gravity and damping effect (small impact and restitution coefficient), where the ratio of the column height at the start of dropping to the restitution height was taken as the restitution coefficient.

Table 1 Specification of granular materials

	Elastic factor			Damping parameters			
	Specific gravity (-)	Young's modulus (GPa)	Poisson's number (-)	Compression (%)	Retaining (%)	Impulse (N·S)	Rebound coefficient (-)
Steel ball	7.88	20.5	0.39	0.27	0.24	-	0.5
Plastic ball	1.14	0.24	0.31	7.87	4.1	-	0.22
Lead ball	Sphere	11.4	14	0.39	1.62	0.21	0.82
	Sphere less	11.4	14	0.39	2.27	0.18	0.78

4. Test results and discussion

4.1 Damping effect of the inside granular placing system

Figures 11 and 12 show the test results with different granular diameters, materials and granular filling ratios. Figure 11 shows the damping force output from the electrodynamic exciter in Fig. 5, where vibration level 4 (which generates the maximum damping force of about 2m/s²) was set to output a damping force 18dB higher than that at vibration level 1. Each vibration level was set to make the damping force flat at 160 to 250Hz.

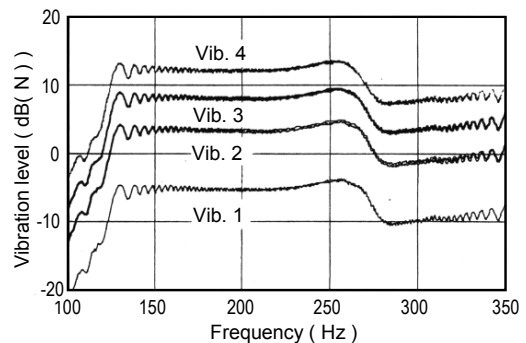


Fig. 11 Vibration spectrum of vibration generator

Figure 12 shows the damping performances of spherical lead granulars (diameter: 1mm, mass: 3.05kg, mass ratio: 16.7%, filling ratio: 90%). When the exciting frequency was increased from a value lower than the natural frequency (peak frequency 230Hz) of the noise reduction link device as shown in Fig.11, a damping effect gradually emerged (or the vibration transmission ratio decreased). With a large exciting force (vibration level 4), the vibration transmittal ratio decreased as the frequency approached the peak of 230Hz. The damping effect produced a value of -3dB in comparison with the conventional device without granulars. Here, this demonstrates that the vibration transmission ratio does not change when a noise reduction link device without granulars is used, even when the exciting force is increased from vibration level 1 to 4.

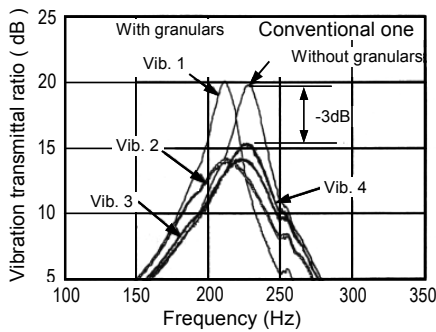


Fig. 12 Comparison of damping performances with inner spherical granulars

Therefore, when the exciting force is small, the vibration energy of the noise reduction link device is hardly converted into the kinetic energy of granulars at all, as they do not move very strongly. In other words, no damping effect emerges, as the mass of the granulars works as an additional mass to that of the noise reduction link device. In contrast, when the exciting force is large, the granulars work as dispersed masses, thus increasing the energy conversion efficiency. The peak frequency therefore tends to approach the natural frequency of the noise reduction link device. When the damping force increases further, the vibration energy of the noise reduction link device is transmitted to the granulars, which repeatedly collide. This increases their kinetic energy and gradually reduces the vibration energy of the noise reduction link device. As a result, the vibration transmittal ratio decreases. Compared with the test results of a link using spherical steel granulars (density: 7.86g/cm³), the above link using lead granulars (density: 11.4g/cm³) reduces the vibration transmittal ratio to a larger degree (not shown in the figures). Smaller granulars increase the filling ratio of granulars in the hollow space of the link, which in turn increases the granular mass and tends to increase the damping effect.

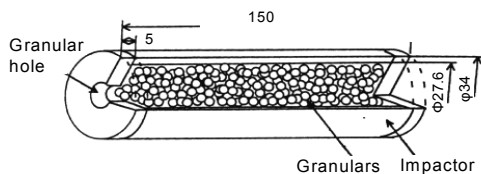


Fig. 13 Impactor with built in granulars

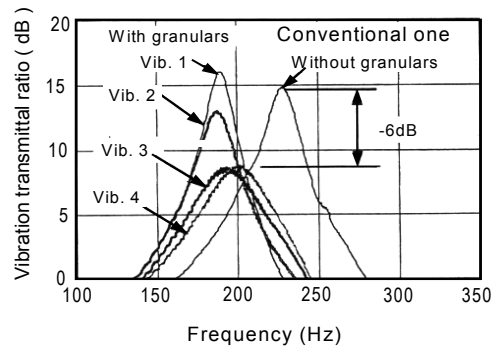


Fig. 14 Damping performances with other impactor

4.2 Damping effect of the outside granular placing system

Figures 13 to 16 show the composition of the cylinder used for the outside granular placing system and its test results. The cylinder, with an outer diameter of 34mm and a length of 150mm, contains 1-mm granulars as well as other types. It aims to convert its vibration energy into the kinetic energy of granulars or friction energy between granulars.

Figure 14 shows the damping effect with the nine cylinder sets shown in Fig. 13 (cylinder mass: 5.08kg, granular mass: 3.58kg, total mass: 8.66kg) directly placed around a link. The figure shows that a peak frequency exists around 190Hz at vibration level 1, which is about 40Hz lower than that (230Hz) of the conventional link device without granulars. As the exciting force increases, the peak frequency shifts to the high-frequency side (200Hz) as outlined above. This improves the damping effect by about -6dB compared to a conventional link device without granulars.

Figure 15 shows the damping effect of the whole of the nine cylinders (mass: 8.66kg) in Fig. 14 when it is placed around a link wrapped with a rubber sheet 1mm thick. As the damping force increases, the peak frequency shifts to the high-frequency side (200Hz), providing a damping effect of -3dB and -9dB in total, which is better than the case above without the rubber sheet. It can therefore be thought that the rubber sheet between the cylinder and the link's outer surface causes a shearing action which effects damping, subsequently improving the damping effect.

Figure 16 shows the damping effect of nine solid cylinders (mass: 5.08kg) without granulars arranged directly around a link. As the peak frequency does not shift to the high-frequency side even when the exciting force increases, no damping effect emerges

with this link device. The link therefore transmits its total vibration energy to the solid cylinders but moves in the same phase as the cylinders. This keeps the peak frequency of 190Hz unchanged, and no damping effect is seen.

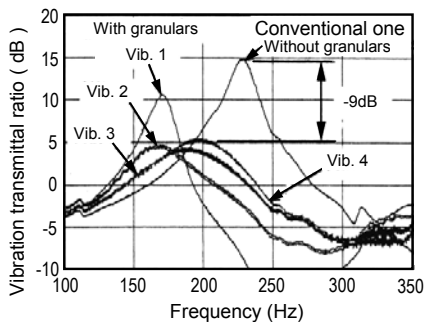


Fig. 15 Damping performances with other impactor and rubber seats

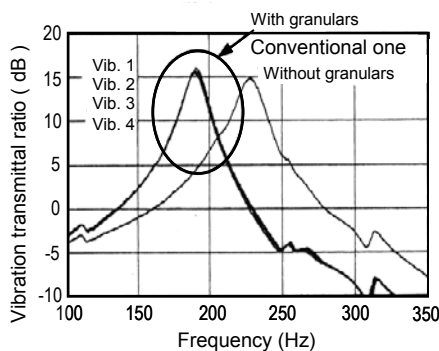


Fig. 16 Damping performances with other impactor using no granulars

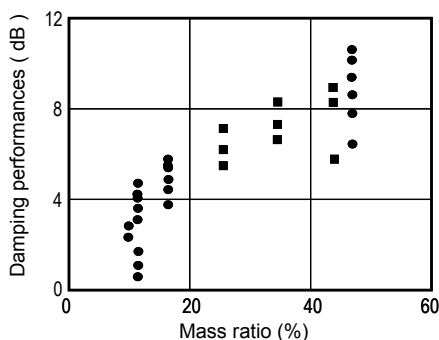


Fig. 17 Relationship between mass ratio and damping performances

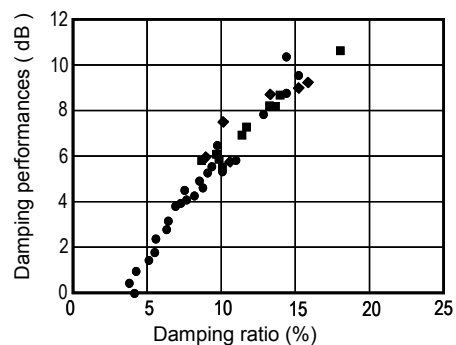


Fig. 18 Relationship between damping ratio and damping performances

4.3 Damping effect at different granular masses and damping ratios

Figures 17 and 18 summarize the results obtained in Section 4.2, and clarify the damping effect of the noise reduction link device at different granular masses and damping ratios. Increasing the granular mass ratio in the total mass of the link using granulars improves the damping effect (see Fig. 17).

The maximum damping effect was -10dB at a mass ratio of 0.5 (link: 18.3kg, granular containing cylinder: 5.08kg, granulars: 3.58kg, total: 9.2kg) and a filling ratio of 95%. This shows that increasing the granular mass is the most effective way of improving the damping effect. The authors regard the damping effect of a non-granular solid cylinder wrapped with a rubber sheet as -3dB, which is compared to a conventional link device, taking into account the effect of rubber sheet shearing.

The relationship between the damping effect and the damping ratio in Fig. 18 shows that they are approximately proportional. At damping ratios of 10% and 15%, the damping effect was -6dB and -9dB respectively, showing an improvement over links without granulars. As shown in the figures, the maximum damping effect in this study was -11dB when the link was wrapped with a rubber sheet 1mm thick and nine cylinders containing multiple granulars (mass: 8.66kg) were arranged. Further, although this is not shown in figures, it was found that the damping effect holds linearity up to a damping ratio of 11%, but this effect tends to saturates above this percentage(13).

5. Conclusion

The authors devised two types of noise reduction link device to reduce the low-frequency noise at about 200Hz that propagates from the railway truck to the car body of high-speed railway vehicles. One method involves an inside granular placing system whereby multiple granulars are inserted into the hollow space of the conventional one-link mechanism. The other method consists of an outside granular placing system whereby granular containing cylinders are arranged around the link. The test results of these two systems are summarized below.

(1) The damping effect of the outside granular placing system is up to -11dB compared to that of the conventional one link device without granulars. Approximately one million non-spherical lead granulars of 1mm in diameter are contained in the hollow space of the link, and multiple cylinders are arranged around the link wrapped with a rubber sheet 1mm thick.

(2) The damping effect of the inside granular placing system is -3dB compared to that of the conventional one-link device. The link contains spherical lead granulars of 1mm in diameter at a filling ratio of 90%. However, the damping effect does not improve when the exciting force is small.

(3) The damping effect of the outside granular placing system is -6dB, compared to that of the conventional one-link device.

(4) The damping effect is proportional to the granular mass ratio and the damping ratio. Larger masses and the use of a rubber sheet are effective in improving the damping effect.

References

- (1) Ohyama, T., Research and Development for Reducing Noise and Vibration in Shinkansen, RTRI Report, Vol.8, No.6 (1994), p.1-7(in Japanese)
- (2) Yoshikawa, T., Development of High-Speed Railway, Machine Research, Vol.46, No.10 (1994), p.1020-1026(in Japanese)
- (3) Suzuki, H., Study on Analytical Method for Vibration of Railway Vehicle and its Damping Method, RTRI Report, Special No.16 (1997), p.1-138(in Japanese)
- (4) Shiohata, H., Study of Active Noise Control by using Structural Acoustic Coupled, Proc. JSME D&D Symp., No.5 (1997), p.1-6(in Japanese)
- (5) Shiohata, H., Nemoto, K., Iwatsubo, T., Vibration and Acoustic Sensitivity Analysis, Trans. Jpn.Soc.Mech.Eng., Vol.54 No.505, C (1998), p.125-134 (in Japanese)
- (6) Tanaka, T., Noise Control in Aluminum Car Body of High-Speed Train by using Damping Material, Noise Control, Vol.22, No.4 (1998), p.90-98(in Japanese)
- (7) Oda, M., Noise Reduction in Aluminum Car Body, Kawasaki Heavy Company Report No.138 (1998), p.70-77(in Japanese)
- (8) Sebata, M., Makino, T., Development of Noise Reduction Link Mechanism using Granular Materials, Proc. of JSME Symp., 3-JA-13 (2003), p.65-70(in Japanese)
- (9) Yokomichi, I., Araki, Y., Impact Dampers with Granular Materials for Multibody System, Trans. of ASME J, Presuur Vessel Technolgy, Vol.118(1996), p.95-103(in Japanese)
- (10) Satoh, T., Makino, T., Vibration Control of an Impact Damper with Multi Impactor, Proc. of the 76th Annual Conf. JSME(1998), p.123-126(in Japanese)
- (11) Saeki, M., Analysis of Impact Damper with Granular Materials, Trans. of JSME, Ser.C, Vol.68, No.673(2002), p.2585-2591(in Japanese)
- (12) Sato, T., Makino, T., Vibration on Reduction of an Impact Damper, Trans. Proc. Asia-Pacific Vibration Conf. '99, (1999), p.963-968
- (13) Sebata, M., Makino, T., Running Test on Noise Reduction Link Mechanism for High Speed Railways, Proc. of J-RAIL'02 Symp., S3-2-2 (2001) p.203-206(in Japanese)

(Received August 29, 2014)

Study on Dynamic Characteristics of Railway Damper

Toshiaki MAKINO^{*1}, Toshitsugu TANAKA^{*2}, Michio SEBATA^{*3},
Takeshi KAWASAKI^{*3} and Muneo FURUSE^{*4}

Abstract

Noise reduction and vibration controls of high-speed railways are required to improve the indoor noise characteristics of aluminum car body systems, such as with Shinkansen and express trains. However, it becomes difficult to maintain the vibration control of one link mechanism between the car body and the car bogie. In this paper, to improve the damping performances of one link mechanism, we have proposed a new type of noise-reduction link mechanism using granular materials. Factors that affect the damping performances are examined through a numerical simulation study. The present noise-reduction link mechanism is studied via examining the damping performance with granular mass and friction effects. Finally, in the numerical simulation, by using the discrete element method (DEM), a new type of noise-reduction link mechanism is improved by max. 4.6 dB in comparison with the conventional one.

Key Words : Damper, Numerical Simulation, Discrete Element Method, Granular Materials, Vibration Control, Noise Reduction, Railways

1. Introduction

Now days, the speed up of the railways is an international trend not only in Japan, but also in France and Germany. High-speed railways are required to provide a low noise, a low vibration comfortable passenger car environment in addition to lightweight car bodies, better energy-saving performance, prevention of environmental noise and improved ride comfort⁽²⁾. However, there are a number of disadvantages in reducing indoor noise, such as increased vibration and noise stemming from high-speed operation, and the reduced sound isolation performance of lightweight car body structures. Another problem currently is the low-frequency indoor noise caused by the cyclic low-frequency vibration that propagates from the under-frame truck driving system in coasting⁽³⁾. In particular, to reduce indoor noise caused by low-frequency vibration (80 to 315Hz) or by the n-fold components of the revolution of motors and gears in the truck driving system, it is now important to reduce vibration in the truck driving

system, cut vibration in the truck elements between car bogie and car body (i.e., traction rod and yaw dampers) and drastically reduce their vibration transmissibility.

Shiohata et al.^{(4) (5)} proposed a method of evaluating the radiation noise of low-frequency vibration in the 200Hz band that propagates from car bogie to car body, based on tests using a life-size model of the car body structure. It was demonstrated that application of damping materials in the panel section of the car body structure improved the damping effect. Tanaka et al.⁽⁶⁾ proposed indoor noise-reducing aluminum car body and interior structures for high-speed railways, a low-noise design technique, and put into practical use an aluminum car body structure with damping materials in its panel sections. Oda et al.⁽⁷⁾ developed a method of predicting noise in passenger cars and a indoor noise reduction technology to apply this method, and clarified its noise reduction effect in running tests. The three of them alike proposed damping materials in large quantities, making the car body structure too heavy

^{*1} National Institute of Technology, Tokuyama College

^{*2} Osaka University

^{*3} Hitachi, LTD.

^{*4} National Institute of Technology, Oshima College

and requiring a design that incorporates optimal arrangement of the damping materials.

As about 70% of indoor noise is caused by low-frequency vibration propagating from the truck through the one-link mechanism⁽⁸⁾, the purpose of this study was to reduce vibration through the use of a noise reduction one-link mechanism using granules, with a subsequent reduction in indoor noise.

In the advanced field of granule utilization, Araki et al.⁽⁹⁾ implemented research on an impact damper using granules, and clarified that a damping effect was attained in the 7.5Hz band by appropriately setting the mass ratio and other parameters in a horizontal vibration system. However, no reference was made to the conversion of vibration energy in granules into kinetic energy, or to the energy-dispersing effects brought about by friction.

Sato et al.⁽¹⁰⁾ used an impact damper to clarify the damping effect of cantilever beams in the 2Hz band. However, here too no discussion was made of the damping effect occurring from the dispersion of energy by granules.

Saeki⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ clarified the damping effect of granule impact dampers using cylindrical vessels, and discussed the modeling simulation of granules. These cases are reported in theses discussing the damping effect of the several hertz band.

This paper discusses the composition of a noise reduction link device using granules for high-speed railway vehicles, modeling of the noise reduction link mechanism and numerical simulation using the Discrete Element Method (DEM). Cundall and Strack proposed the DEM⁽¹³⁾ as a method of numerical analysis for the dynamic system of non-linear interaction between multiple granules, an example of which is seen in the noise reduction link device proposed in this paper. The DEM, now used to clarify the behavior of granules⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾, uses a contact model with basic dynamic elements that applies a contact force to granules and easily expresses the dynamic energy dispersion resulting from deformation of and friction between granules. This is therefore seen as the best numerical simulation technique for analyzing the vibration characteristics of the noise reduction link device using granules and for clarification of the workings of its damping mechanism.

2. Composition and damping characteristics of the noise reduction link device

2.1 Composition of one link device

The railway truck is composed of the bolsterless bogie shown in Fig. 1, consisting of truck frames, wheels, wheel shifts, a primary suspension system (elements connecting bearing boxes and truck frames), a secondary suspension system (air springs, left and right yaw dampers, and a traction rod connecting truck frames and car body), motors, gears, couplings and brake units. The elements connecting the car body and the truck are air springs, yaw dampers and a traction rod. There are two air springs on the truck frames to support the car body weight, and two yaw dampers (one each on the front and rear between car body and truck) to improve the stability of lateral motion. The traction rod is an element to transmit the longitudinal force from the truck to the car body. Low-frequency vibration (85 to 315Hz) caused by the fluctuation of longitudinal force propagates from the truck to the car body through the traction rod, and is emitted indoor as low-frequency noise. It is noted that the noise level is significantly higher in coasting than in powering⁽¹⁶⁾.

Since the conventional traction rod transmits the longitudinal vibration of the truck directly to the car body, a damping effect can be expected only with rubber vibration isolators on both ends in the peak frequency band. To offset this drawback, the authors proposed a system whereby multiple granules are contained in the hollow space of the traction rod. This converts the truck's vibration energy into the kinetic energy of the granules, and utilizes the friction damping between the granules and between the granules and the link inner walls, thereby reducing the transmission ratio of truck vibration to the car body.

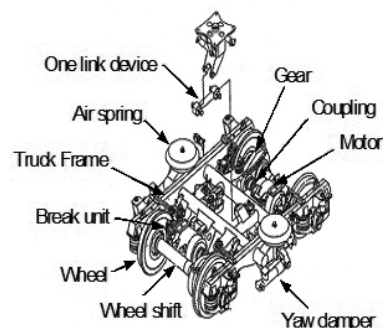


Fig.1 Configuration of railway truck

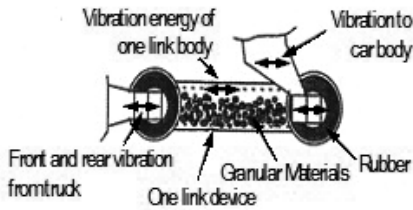


Fig.2 Conceptual configuration of noise reduction link mechanism using granular materials

Figure 2 shows the noise reduction link device. The granules placed in the link are excited by vibration (on the left side of the figure) and move in a lateral direction, reducing vibration at the car body fixing point on the right. In the case of a conventional traction rod, the rubber vibration isolators at both ends were softened, shifting the peak frequency (eigenvalue) to the low-frequency side to improve the damping effect. Since a fluctuating force of several tons works in the longitudinal direction, however, the softened rubber vibration isolators posed a problem in terms of strength and reliability.

The authors therefore discussed a method of reducing vibration at the peak frequency (230Hz) of a noise reduction link device using granules.

2.2 Vibration damping characteristics

Figure 3 shows the vibration-damping characteristics obtained from a vibration test using a test apparatus for the elements of the noise reduction link device⁽⁸⁾. Test conditions were approximately the same as those shown in Table 1. Granules of 1mm in diameter were used at a filling ratio of 90%, with the granule mass and its ratio to the link mass at 3.05kg and 16.9% respectively. The damping effect of the noise reduction link mechanism gradually increased when the exciting force increased from vibration level 1 (0.02g) to 4 (0.2g). The damping effect was -4.5dB better at the peak frequency than when granules were not used. With a large exciting force (vibration level 4), the peak frequency shifted to the 230Hz band. It can be thought that the damping effect stems from the energy dispersion caused by friction in the relative motion between the granules and between the granules and the link inner wall.

No damping effect is obtained when the exciting force is small (vibration level 1), since the relative motion is small. In this case too, the mass of the granules works as an additional mass to that of the noise reduction link device, making the peak frequency lower. When the exciting force

becomes larger (vibration levels 2 and 3), the granules work as dispersed masses generating a damping effect, and the peak frequency approaches the eigenvalue of the noise reduction link device. When the filling ratio or the density of the granules increases, or the mass of the granules becomes larger, the damping effect increases proportionally (not shown in the Figure)⁽⁸⁾.

3. Composition of analysis model

3.1 Vibration model of the noise reduction link device

Figure 4 shows a vibration model of the noise reduction link device. The equation of the noise reduction link device's motion is given by equations (1) and (2), where the vertical vibration is not taken into consideration.

$$m_0 \ddot{z}_1 = k(z_2 - 2z_1) + c(\dot{z}_2 - 2\dot{z}_1) - f_p \dots \dots \dots (1)$$

$$z_2 = a(1 + \sin \omega t) \dots \dots \dots (2)$$

Where the symbols represent the following values:

- m_0 : Mass of device (without granules)
- m : Mass of granules contained in the link
- k : Spring constant of rubber vibration isolator
- c : Damper constant of rubber vibration isolator
- z_2 : Forced displacement
- z_1 : Displacement of device
- f_p : Sum of the contact force of granules working on the device (the component in the z_1 direction) calculated by equation (17)

3.2 Kinetic model of granules in the noise reduction link device

Figure 5 shows a model of the contact forces between the granules and between the granules and the link inner wall using the DEM. The contact force model consists of springs expressing the restitution force in the normal and tangential directions (k_n , k_t) against the contact surface, dashpots expressing the viscous damping force (c_n , c_t), and friction sliders (μ_1 , μ_2) expressing the friction in the tangential direction. The DEM can numerically integrate a motion equation to trace the motion of all vibrating granules, and apply the contact force model referred to later to the contact between the granules and between the granules and a solid wall surface. It is thus possible to determine the motion of each granule induced by excitation

and the energy dispersion subsequently caused by the deformation of the granules and the friction between them.

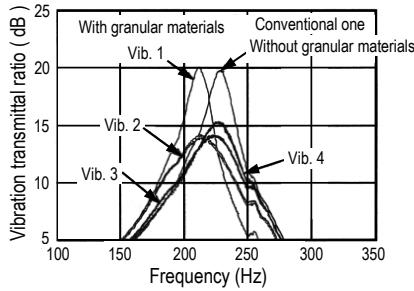


Fig. 3 Damping performances of noise reduction link mechanism using granular materials

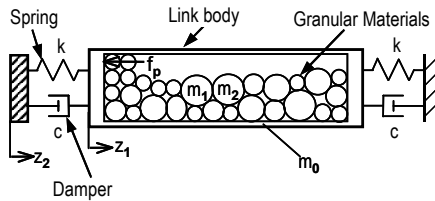


Fig. 4 Schematic analysis model of noise reduction link mechanism using granular materials

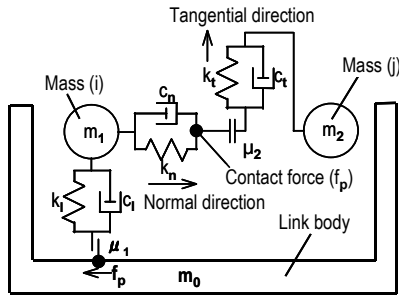


Fig. 5 Schematic diagram of contact force model using discrete element method (DEM)

The motion of granules is given by equations (3) and (4).

$$\ddot{\vec{r}} = \frac{\vec{f}_p}{m} + \vec{g} \quad (3)$$

$$\dot{\vec{\omega}} = \frac{\vec{T}_p}{I} \quad (4)$$

Where the symbols represent the following values:

\vec{r} : Center of gravity of granules

m: Mass of granules

\vec{f}_p : Sum of contact force

\vec{g} : Acceleration of gravity

$\vec{\omega}$: Angular velocity of granule

\vec{T}_p : Sum of torque due to contact force

I: Moment of inertia of granules

The arrow and the dot above the symbol represent a vector and a differential with respect to time. Equations (3) and (4) are numerically integrated as explained below. When the time increment in the calculation is denoted by Δt , and the position, velocity and angular velocity of a granule at a given time are given by \vec{r}_0 , \vec{v}_{s0} and $\vec{\omega}_0$ respectively, contact force f_p and torque T_p are determined. The values of \vec{r}_0 and $\vec{\omega}_0$ at that instant are derived from equations (3) and (4). Velocity \vec{v}_s , angular velocity $\vec{\omega}$ and position \vec{r} after time length Δt are given by equations (5), (6) and (7) respectively.

$$\vec{v}_s = \vec{v}_{s0} + \ddot{\vec{r}}_0 \Delta t = \vec{v}_{s0} + \left(\frac{\vec{f}_p}{m} + \vec{g} \right) \Delta t \quad (5)$$

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \dot{\vec{\omega}}_0 \Delta t = \vec{\omega}_0 + \frac{\vec{T}_{p0}}{I} \Delta t \quad (6)$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_s \Delta t \quad (7)$$

3.3 Contact force model of granules

For the contact force model, the authors used Hertz's theoretical solution for elastic restitution force in the tangential direction, and the model given by Tanaka et al.⁽¹⁴⁾ that defines the viscous damping coefficient to make the restitution coefficient constant.

Restitution force \vec{f}_{pnij} in the tangential direction (received at the contact point by granule i from granule j) is determined as follows as the sum of spring force and viscous damping force:

$$\vec{f}_{pnij} = (-k_{np} \cdot \delta_{nij}^{3/2} - c_n \cdot \vec{v}_{rij} \cdot \vec{n}_{ij}) \vec{n}_{ij} \quad (8)$$

$$c_n = \alpha \sqrt{m \cdot k_{np}} \cdot \delta_{nij}^{1/4} \quad (9)$$

Where v_{rij} is the relative velocity of granule i against granule j , and n_{ij} is the unit vector in the normal direction from granule i to granule j .

The symbol α is a dimensionless constant used as the restitution coefficient. The viscous damping force is set to make the restitution coefficient constant⁽¹⁴⁾. Here, Spring constant k_{np} between spherical granules with a radius of r_p is given by equation (10):

$$k_{np} = \frac{\sqrt{2r_p} \cdot E_p}{3(1 - \sigma_p^2)} \quad (10)$$

Where E_p represent σ_p are Young's modulus and Poisson's ratio of the granules respectively.

For the contact between a spherical granule and the link inner wall, the restitution force in the normal direction is obtained by replacing granule j with the link inner wall, and k_{np} with k_{mw} or equation (11):

$$k'_{mw} = \frac{4\sqrt{r_p}}{3} \left(\frac{1-\sigma_p^2}{E_p} + \frac{1-\sigma_w^2}{E_w} \right) \dots\dots\dots (11)$$

Where E_w and σ_w represent Young's modulus and Poisson's ratio of the wall respectively. The restitution force in tangential direction f_{ptij} is given by equations (12) and (13).

$$\vec{f}_{ptij} = -k_t \cdot \vec{\delta}_{tij} - c_t \cdot \vec{v}_{sij} \dots\dots\dots (12)$$

$$\vec{v}_{sij} = \vec{v}_{rij} - (\vec{v}_{rij} \cdot \vec{n})\vec{n} + r_s(\vec{\omega}_i + \vec{\omega}_j) \times \vec{n} \dots\dots\dots (13)$$

Where δ_{tij} and v_{sij} are the relative displacement vector and the relative surface velocity vector of granule i against granule j respectively. Spring constant k_t and viscous damping coefficient C_t are determined in the manner shown in reference (14).

Equation (12) holds only when there are no slips. Here, the authors judged that a slip had occurred when the conditions in equation (14) were satisfied, and determined f_{ptij} by equation (15), where μ_f is the dynamic friction coefficient.

$$|\vec{f}_{ptij}| > \mu_f \cdot |\vec{f}_{pnij}| \dots\dots\dots (14)$$

$$\vec{f}_{ptij} = -\mu_f \cdot |\vec{f}_{pnij}| \cdot \vec{t}_{ij} \dots\dots\dots (15)$$

$$\vec{\delta}_{tij} = (1/k_{ij}) \vec{f}_{pnij} \dots\dots\dots (16)$$

Where $t_{ij} = \vec{v}_{sij} / |\vec{v}_{sij}|$.

Therefore, the contact force and the torque working on granule i are given by equations (17) and (18) as the sum of all tangential forces working on granule i .

$$\vec{f}_{pi} = \sum_j (\vec{f}_{pnij} + \vec{f}_{ptij}) \dots\dots\dots (17)$$

$$\vec{T}_{pi} = \sum_j (r \cdot \vec{n}_{ij} \times \vec{f}_{pij}) \dots\dots\dots (18)$$

4. Numerical calculation

4.1 Method of calculation

Figures 6 and 7 show the coordinate axes and the program chart for calculation using the analysis model in section 3.

For the movement of granules, Figure 6 sets the lateral and vertical directions as the Z- and Y-axes respectively, and the direction perpendicular to these two axes as the X-axis. The coordinates of granule position are expressed as $Px(i)$, $Py(i)$ and $Pz(i)$. The left and right surface in the link to which the contact force is transmitted, and the inner wall of the link, are referred to as *floor*, *ceiling* and *wall* respectively.

As the flow chart in Figure 7 indicates, the program repeats the steps to read the granule constants referred to later, calculate and set the initial values of granules, initialize their contact force, set a grid to judge whether contact has taken place, calculate the motion of granules, and save information on the granules in contact and the calculated data. In the calculation of granule motion, the program calculates the increment in the displacement of granules, the contact force in equation (17) and the displacement of the link device.

4.2 Conditions of calculation

For the calculation, the authors adopted spherical granules of equal diameter at a density of $11.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, equivalent to that of the lead granules used in another test implemented at the same time, and used values of $14.0 \times 10^9 \text{ Pa}$, 0.04 and 0.3 as Young's modulus, the restitution coefficient and the friction coefficient respectively. These values were obtained from tests similar to those described in reference (16) (see Table 1). The authors also used 0.39 as Poisson's ratio and 3mm as the granule diameter (a value different from the 1-mm granules used in the tests) in order to reduce the number of granules for calculation.

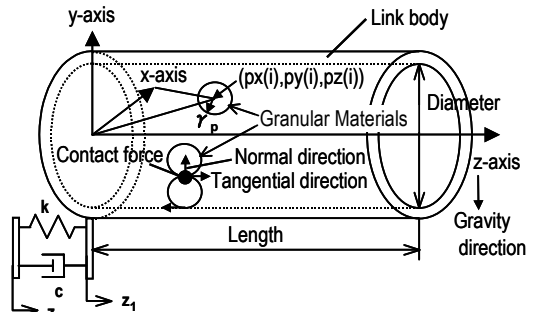


Fig. 6 Schematic position layout of noise reduction link mechanism using granular materials

Table 1 Specifications of analysis model

Link body & Vibration value	
Length	0.3 m
Diameter	0.04 m
Spring constant	3.76×10^7 N/m
Viscosity constant	4.80×10^3 Ns/m
Mass	18.0 kg
Vibration amplitude	4.69×10^{-7} m (=0.1g)
Vibration frequency	230 Hz
Granule's physical value & Calculation value	
Number	18,000 (Max.)
Diameter	3.0×10^{-3} m
Density	11.4×10^3 kg/m ³
Young's modulus	14.0×10^9 Pa
Poisson's ratio	0.39
Friction coefficient	0.30
Restitution coefficient	0.04
Calculation time	0.1 s
Time step	2×10^{-7} s
Data save	500

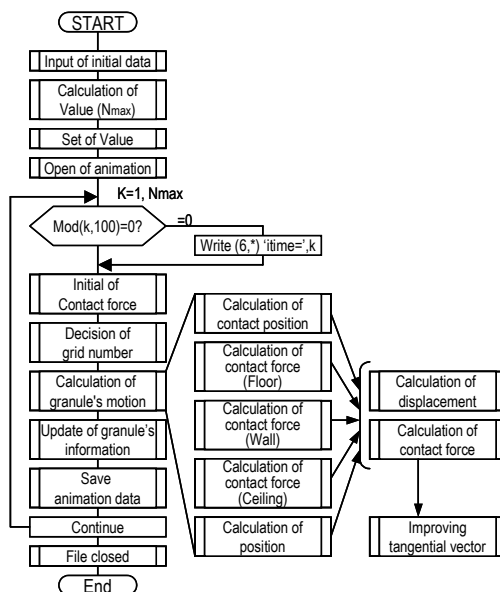


Fig. 7 Flow chart of calculation program

The authors used a link device with an iron inner wall, having a mass of 18.0kg, a diameter of 0.04m and a length of 0.3m. The eigenvalue of the link body (including rubber vibration isolators) was set at 230Hz.

The authors then applied a forced displacement Z_2 (4.69×10^{-7} m, equivalent to 0.1g) from outside to excite the granules to vibration, determined the sum of the contact forces working on the floor, ceiling and wall ($\sum f_p$ ($i = 1, 2$ and 3))) and obtained the damping characteristics (Z_1/Z_2) for different granule masses, forced displacements Z_2 (exciting force) and link lengths.

The time increment for the calculation was set at 2×10^{-7} s to ensure the stability and precision of the calculation. It took one day to perform calculation for each condition (for 0.5s) referred to later.

4.3 Calculation results

Figures 8 to 11 show the calculated contact force generated by the motion of the granules, displacement Z_2 of the link device and other calculation results.

Figure 8 shows the time history of contact force f_p over time, when granules contact the floor and wall of the device. The amplitude of the total contact force f_p , which is equivalent to the damping force, starts to increase at 0.06s to 8.6N at 0.1s, 10.2N at 0.2s, 11.5N at 0.3s, 11.8N at 0.4s and 12.0N at 0.5s. As time goes by, the sum of the total contact force of the granules increases to saturation at about 0.5s. The contact force between the granules and the bottom of the link is particularly large, accounting for more than half the total contact force. Instantaneous contact force acts occasionally between the granules and the floor or ceiling.

Figure 9 shows the time history of link displacement Z_1 over time against forced displacement Z_2 (frequency: 230Hz, 1.0m/s^2 , amplitude: $0.469 \mu\text{m}$). The amplitude of displacement Z_1 starts to decrease at 0.06s (at a peak) when the damping effect starts, and decreases to $2.78 \mu\text{m}$ at 0.3s, $2.71 \mu\text{m}$ at 0.4s and $2.69 \mu\text{m}$ at 0.5s.

Figure 10 shows the time history of the damping effect over time when the mass of the granules was reduced to 2.9kg, 1.45kg and 0.75kg. This figure indicates that the damping effect depends on time and saturates at about 0.5s.

A smaller granule mass reduces the damping effect. To improve the effect, therefore, it is necessary to increase the granule mass. At a mass of 2.9kg, the vibration transmittal ratio at 230Hz is 15.2dB, which is 4.6dB better than without granules.

Figure 11 shows the characteristics of vibration transmittal ratio Z_1/Z_2 at different frequencies. The thin solid line represents the values of the vibration transmittal ratio without granules (mass of link: 18.0kg), while the thick solid line shows the case with granules (mass of granules: 2.9kg). The dotted and dashed lines indicate the experimental values (about 1.0m/s^2 with a granule mass of 3kg) at vibration levels 2 and 3 in Fig. 3 respectively. The calculated vibration transmittal ratio is slightly higher at 170

to 210Hz without granules than that with granules. The damping effect of the granules decreases at 220Hz or over. A damping effect of 3 to 5 dB is obtained around the peak frequency band of 210 to 230Hz. The characteristics of the calculated vibration transmittal ratio are approximately equal to the damping characteristics found at the exciting force of vibration levels 2 and 3.

The damping characteristics at 170 to 290Hz were clarified above. Based on these results, Figs. 12 to 16 show the damping characteristics at 230Hz using parameters such as the mass of the granules, amplitude of displacement Z_2 , the length of the device and the friction coefficients between granules (μ_2) and between granules and the link inner wall (μ_1).

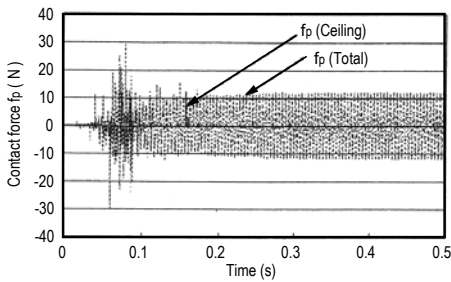


Fig. 8 Time history of contact force (f_p)

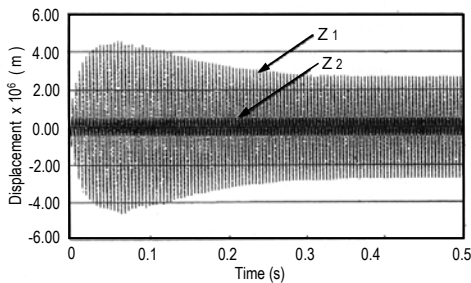


Fig. 9 Time history of displacement between Z1 and Z2

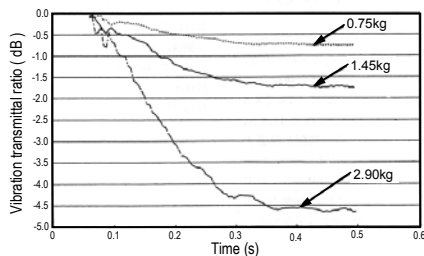


Fig. 10 Time history of vibration transmittal ratio (z_1/z_2) with mass effect at 230Hz

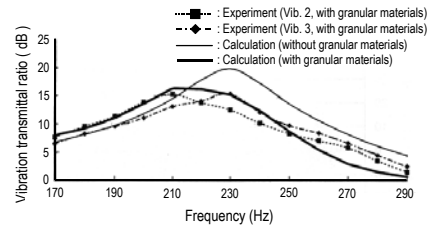


Fig. 11 Frequency response of vibration transmittal ratio (z_1/z_2) with experiment

Figure 12 shows damping characteristics at different granule masses. Thick line D and thin line T represent the damping effect and vibration transmittal ratio respectively. Damping effect D (the difference from vibration transmittal ratio 19.8dB in the peak frequency band without granules at 230Hz) increases in proportion to the granule mass. The damping effect was 4.6dB at a granule filling ratio of 100% (mass of granules: 2.9kg) and 1.8dB at a ratio of 50% (mass of granules: 1.45kg).

Figure 13 shows damping characteristics with different amplitudes of displacement Z_2 , or the external exciting force. The damping effect improved as the exciting force decreased. When the exciting force was 0.5m/s^2 , 1.0m/s^2 and 2.0m/s^2 , the damping effect was 6.9dB, 4.6dB and 3.1dB respectively.

Figure 14 shows the damping characteristics at different device lengths. At lengths of 200, 300 and 400mm, the vibration transmittal ratios were 15.7dB, 15.2dB and 15.5dB respectively. The ratio is therefore almost constant, irrespective of the length of the device.

Figure 15 shows the damping characteristics at different values for the friction coefficient (μ_2) between granules. The vibration transmittal ratio and the damping effect saturated and were constant at 14.0dB and 5.8dB respectively at a friction coefficient of 0.6 or over, and this ratio and this effect deteriorated at lower values when the friction coefficient was below 0.6. At a friction coefficient of 0.3, the values were 15.2dB and 4.6dB respectively.

Figure 16 shows the damping effect at different values for the friction coefficient (μ_1) between the granules and the link inner wall. The vibration transmittal ratio and the damping effect saturated and were constant at 15.2 and 4.6 respectively at a friction coefficient of 0.3 or over, and this ratio and this effect deteriorated at lower values when the friction coefficient was below 0.3. At a friction coefficient of 0.15, the values were 15.7dB and 4.1dB respectively.

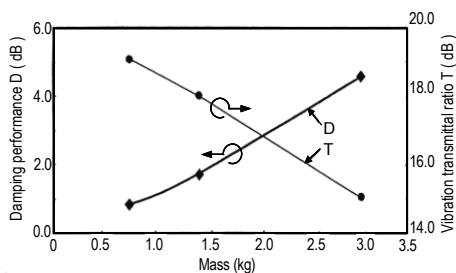


Fig. 12 Damping performance of mass effect

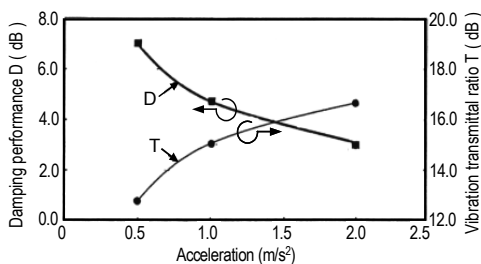


Fig. 13 Damping performance of acceleration effect

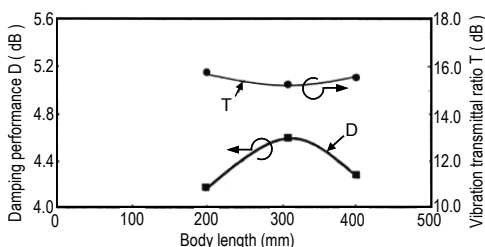
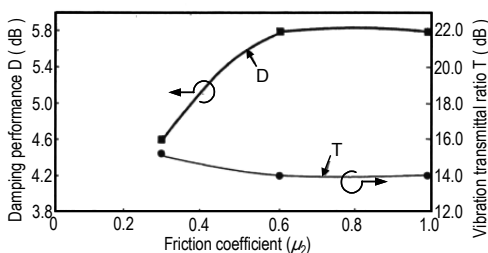
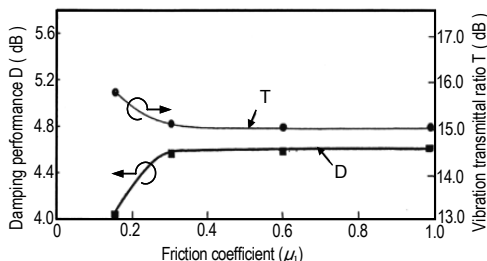


Fig. 14 Damping performance of body length effect

Fig. 15 Damping performance of friction (μ_2) effectFig. 16 Damping performance of friction (μ_1) effect

5. Conclusion

To provide indoor noise reduction through reduction of the low-frequency vibration at about 230Hz that propagates from the under-floor truck driving system to the car body, numerical simulation was performed on the vibration characteristics of a noise reduction link device using granules, as summarized below.

(1) Proposed an analytical technique using the Discrete Element Method to consider a granule contact force model, compared the analysis results with those obtained from tests at about 200Hz, and confirmed the validity of the analytical technique.

(2) Used spherical lead granules to calculate the vibration transmission ratio at 170 to 290Hz, and confirmed damping effect of 5dB centering on peak frequency of 210 to 230Hz.

(3) Clarified that larger granule masses and optimization of the amplitude of forced displacement, the friction coefficient between granules and other parameters are effective in improving the damping effect.

(4) Obtained a vibration transmission ratio of 15.2dB in the 230Hz band with a granule mass of 2.9kg (granule mass ratio: 16.1%), and calculated that the value was 4.6dB better than if granules were not used.

References

- (1) Ohyama, T., Research and Development for Reducing Noise and Vibration in Shinkansen, RTRI Report, Vol.8, No.6 (1994), p.1-7(in Japanese)
- (2) Yoshikawa, T., Development of High-Speed Railway, Machine Research, Vol.46, No.10 (1994), p.1020-1026(in Japanese)
- (3) Suzuki, H., Study on Analytical Method for Vibration of Railway Vehicle and its Damping Method, RTRI Report, Special No.16 (1997), p.1-138(in Japanese)
- (4) Shiohata, H., Study of Active Noise Control by using Structural Acoustic Coupled, Proc. JSME D&D Symp., No.5 (1997), p.1-6(in Japanese)
- (5) Shiohata, H., Nemoto, K., Iwatsubo, T., Vibration and Acoustic Sensitivity Analysis, Trans. Jpn.Soc.Mech.Eng., Vol.54 No.505, C (1998), p.125-134 (in Japanese)
- (6) Tanaka, T., Noise Control in Aluminum Car Body of High-Speed Train by using Damping Material, Noise Control, Vol.22, No.4 (1998), p.90-98(in Japanese)
- (7) Oda, M., Noise Reduction in Aluminum Car Body, Kawasaki Heavy Company Report No.138 (1998), p.70-77(in Japanese)
- (8) Sebata, M., Makino, T., Development of Noise Reduction Link Mechanism using Granular Materials, Proc. of JSME Symp., 3-JA-13 (2003), p.65-70(in Japanese)
- (9) Yokomichi, I., Araki, Y., Impact Dampers with Granular Materials for Multibody System, Trans. of ASME J, Pressure Vessel Technology, Vol.118(1996), p.95-103(in Japanese)
- (10) Sato, T., Makino, T., Vibration on Reduction of an Impact Damper, Trans. Proc. Asia-Pacific Vibration Conf. '2010, p.963-968 (2010)
- (11) Saeki, M., Analysis of Impact Damper with Granular Materials, Trans. of JSME, Ser.C, Vol.68, No.673(2002), p.2585-2591(in Japanese)
- (12) Saeki, M., Trans. of JSME (in Japanese), Ser.C, Vol.68, No.673 (2002), p.2585
- (13) Cundall, P. A. and Strack, O. D. L., Geotechnique, Vol.29, No.1 (1979), p.47
- (14) Tanaka, T., Ishida, T. and Tsuji, Y., Trans. of JSME (in Japanese), Ser.B, Vol.57, No.534 (1991), p.456
- (15) Kawaguchi, T., Tsuji, Y., and Tanaka, T., Trans. of JSME (in Japanese), Ser.B, Vol.58, No.551 (1992), p.2119
- (16) Sebata, M., Makino, T., Running Test on Noise Reduction Link Mechanism for High Speed Railways, Proc. of J-RAIL'02 Symp., S3-2-2 (2001) p.203-206(in Japanese)

(Received August 29, 2014)

Study on Contact Force Control Characteristics of Current Collector using an Optical Sensors

Toshiaki MAKINO^{*1}, Takeshi KAWASAKI^{*2} and Muneo FURUSE^{*3}

Abstract

Due to environmental problems, for a high-speed railway, such as one at 360km/h, it is particularly important to reduce the noise caused by a current collector. As a solution, a diamond-shaped low-noise current collector has been developed. However, it becomes difficult for the current collector to maintain the predetermined contact force between the contact strip and the trolley wire. Therefore, it is essential to apply an active control to keep the contact force uniform. However, there is a serious problem with the active control in that it is difficult to put sensors in the high-voltage region. In this paper, optical fiber sensors are devised and applied to the control system. In the experiment, the usefulness of the proposed sensor and control system is demonstrated for the control system.

Key Words : Optical Fiber Sensor, Contact Force Control, Current Collector

1. Introduction

Nowdays, the speed up of the railways is an international trend not only in Japan, but also in France and Germany¹⁾. We face a serious noise problem in order to make the speed of railways more than 300 km/h. Therefore, low noise type of current collector has been developed so far. However, a number of technological developments are considered necessary before train speeds can be raised further. In Japan in particular, where Shinkansen trains run through residential areas, one of the most important issues is the development of technologies to suppress environmental noise caused by train operation^{2) - 3)}. As a means to reduce such disturbance, a low-noise wing-type pantograph has been developed and installed on Series 500 Shinkansen Nozomi trains. However, the wing configuration of the new pantograph generates an increased lift, and its mass is approximately three times that of conventional pantographs. As a result, high-speed operation at 300km/h or more causes larger fluctuations in the contact force between pantograph contact strip and contact wire. This subsequently increases the contact loss rate, making it essential to actively control the contact

force and keep it within an allowable range⁴⁾. It is not possible, however, to install electric sensors on pantograph strips (Figure 1) since they are subjected to the high voltage of the contact wire⁵⁾. However, it is reported that the contact loss rate can be substantially reduced, if the contact force is correctly detected and actively controlled^{6) - 12)}.

Several methods have been proposed to install multiple sensors at high-voltage points for active control of the contact force of pantograph contact strips. It has been pointed out, however, that sensors cannot be installed in high-voltage areas with present technology and, the contact force cannot directly be detected. In contrast, optical fibers (which are now enjoying increased use and are free from the influence of humidity or strong magnetic fields) can be installed just beneath the contact strips that are subject to high contact wire voltage as sensors to detect contact force¹³⁾. This enables construction of a small optical fiber sensor system that can actively control the contact force based on its output. Hence, it is considered that the contact force can be kept in an allowable range by implementing feedback control based on the measurements obtained using this system.

^{*1} National Institute of Technology, Tokuyama College

^{*2} Hitachi, LTD.

^{*3} National Institute of Technology, Oshima College

In this study, the authors devised a system whereby two compact, small-diameter plastic optical fiber (referred to below as POF) sensors are installed directly under the contact strips of the wing-type pantograph to detect the contact force acting on the strips. This detection is based on how light intensity is affected according to the external force applied. Then, the authors then used the contact force signal output by the prototype POF sensors and implemented a bench test on a prototype wing-type pantograph equipped with a servo drive mechanism to actively control the contact force. As a result, contact force fluctuations were halved when irregularities at 0.5Hz and 1.0Hz were applied to the contact wire, clearly demonstrating the effectiveness of the proposed sensing system¹⁴⁾.

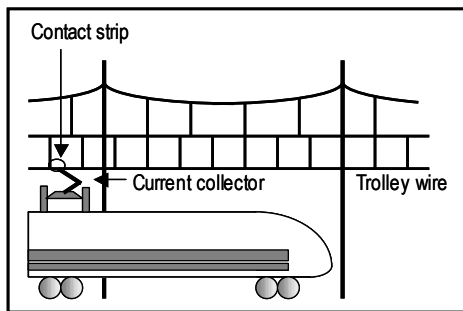


Fig.1 Current collector system of High-speed railways

2. Optical fiber sensor system

2.1 Principle

The optical fiber-based contact force sensor system being studied works on the principle by which the propagating light intensity (i.e. the amount of transmitted light) varies according to changes in the shape of the fiber when bent or when external forces are applied. More specifically, the light intensity attenuation normally increases when the optical fiber is deformed by compressive or bending forces¹⁵⁾⁻¹⁸⁾. Figure 2(a) shows a sketch of a compression test on an optical fiber. When sandwiched and compressed between two plates in a radial direction (the vertical direction in Fig. 2(a)), changing its cross-sectional shape from a circle to an ellipse, the intensity of the light transmitted in the optical fiber also changes. The effect is such that the light is not redistributed in the sectional area but is partly propagated outside the fiber through the surface in contact with the plates. This in turn changes the light intensity within the optical fiber.

Figure 2(b) schematically shows the principle of

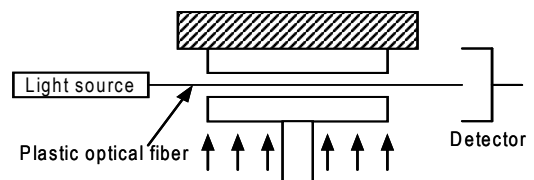
a force-detecting sensor. Equation (1) gives the fractional area loss (FAL) of light intensity when the optical fiber is deformed by a compressive force¹⁹⁾.

$$FAL = \frac{2}{\pi} \left\{ \arctan \left\{ \left[\left(\frac{r}{r-\delta} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \right\} - \left\{ \left(1 - \frac{\delta}{r} \right)^2 - \left(1 - \frac{\delta}{r} \right)^4 \right\}^{1/2} \right\} \dots \dots (1)$$

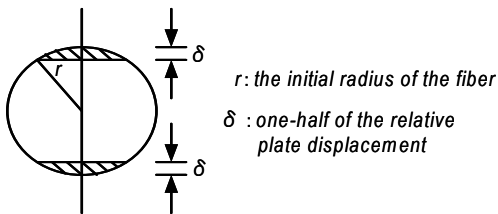
Figure 3 shows the calculated value of FAL due to geometrical changes in the optical fiber shape. Next, when an optical fiber is bent as shown in Fig. 4, the total reflection angle of the light transmitting in a mode changes on the bent waveguide so as to allow propagation of the higher order modes. Part of the light intensity in the original mode transfers to the higher modes, some of which are radiation modes. Light intensity then decreases due to this radiation loss, and a difference emerges in the propagation time between the two modes, causing deterioration in transmission characteristics. In addition, the light intensity is cut off, causing radiation loss when the critical angle becomes larger.

Where the curvature is large, the velocity at the periphery becomes higher than that at the core. Energy at the periphery is therefore thrown off at a tangent, resulting in a loss.

Since light propagates in an optical fiber from the light source to the optical detector, this force-detecting sensor can be used in places that have a high electric potential or in locations subject to electric noise (such as in strong magnetic fields), rainfall or dust. Before it can be used as a force-detecting sensor, however, it is important to clarify a number of characteristics relating to transmission light intensity.



(a) Experimental configuration used to investigate FAL model



(b) FAL model of a radially deformed optical fiber

Fig.2 Experimental configuration used to investigate FAL model

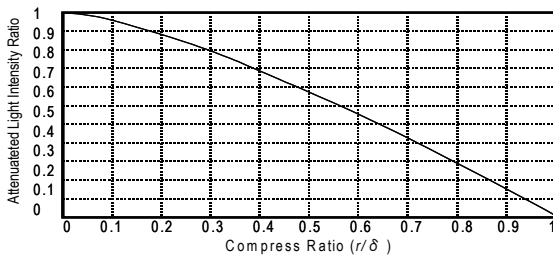


Fig.3 Relation of fractional area loss for optical fiber sensors

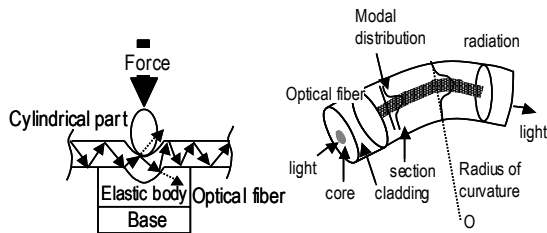


Fig.4 Principle of the optical fiber sensor micro bending loss mechanism

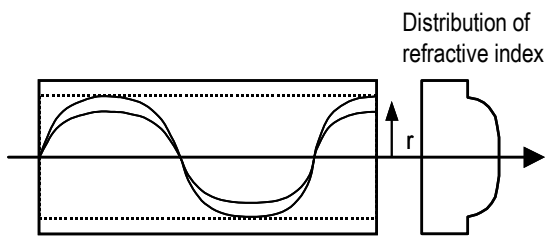


Fig.5 Configuration of the optical fiber's refractive index

2.2 Construction of sensor system

As optical fibers have generally been developed for use in telecommunications, they are manufactured to minimize loss in long-distance transmission and reduce the influence of external forces as much as possible. However, the force-detecting sensors used in this study need to be sensitive to external forces and have a high level of reproducibility and

reliability. This means that the difference in the refractive index between the core and the clad of the optical fiber should be small, and the mechanical properties should be improved by using the same compositions in the core and the clad. In addition, the reflection angle at the boundary between the core and the clad should be increased to give higher loss and to maximize the rate of change in light intensity due to external forces.

The optical fibers used in this study are graded index-type plastic optical fibers (POFs), referred to below as the GI type, whose refractive index gradually changes from the center to the ends. The GI-type POF has a numerical aperture of 0.20, and a refractive index of 1.508 at the center and 1.492 at the end as shown in Fig. 5.

The GI-type POF system comprises an LD light source, POF transmission lines, POF sensors, POF transmission lines, detectors and a personal computer (see Fig. 6 for system construction and Table 1 for specifications). The POF, whose core and clad are made of GI-type plastic, was developed at Keio University's Koike Laboratory. It has a numerical aperture of 0.20 and an outside diameter of 0.6mm. The wavelength and output power of the light emitted from the source are 570nm and 30mW respectively. The optical detector is a silicon APD semiconductor.

2.3 POF Installation

Since the prototype POFs manufactured for this study is to be installed just under the contact strip ends, they need to be compact and small in diameter (see Fig. 7). In the model used for this study, a simulated spring and damper system (or an actuator when dynamic characteristics are to be measured) is arranged on a contact strip with load cell L1 sandwiched in between. Two load cells L2 and L3 are placed under the contact strip. Each of these load cells can be replaced with a prototype POF. The POF (Fig. 8) consists of an optical fiber wound circularly, its periphery covered with a rubber sheet and a 1mm-thick circular aluminum spacer to apply distributed external force. An extra-fine aluminum rod (0.6mm in diameter) is fixed to the spacer for easy bending deformation of the POF from external forces through the rubber sheet, as well as to improve the resolution of measurement of the load characteristics. It was thus possible to reduce the size of the POFs installed just beneath the contact strip to an outer diameter of 53mm.

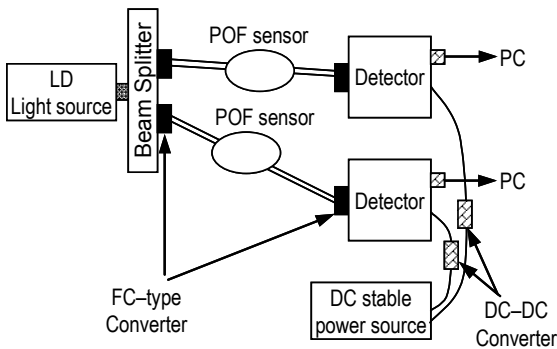


Fig.6 Configuration of the plastic optical fiber sensor

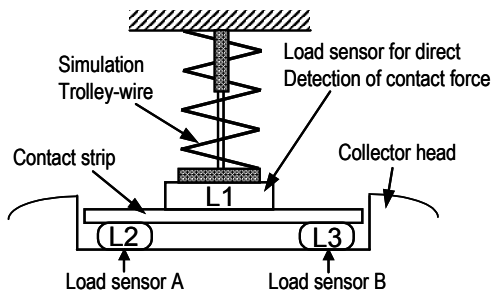


Fig.7 Configuration of the POF

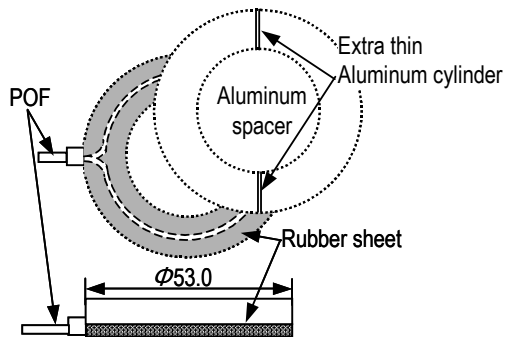


Fig.8 Configuration of the prototype POF

Table 1 Specification of the POF

	Item	Specification
System	Measurement range	0 – 150 N
	Accuracy resolution	15 N, 1.5N
	DC Power supply	12V, 5A, 5V
	Diameter, Weight	53mm, 30g
	Circumstance	25kV(AC), 500A, 130deg.
Fiber	Core, Cladding Material	Plastic(PMMA) NA=0.20, (Keio Univ., Koike Lab)
Light Source	Wave length, (Type)	570nm/30mW (Hitachi HL6726MG)
Detector	Silicon APD (Type)	200-1000nm(Peak620nm) (Hamamatsu Photo. C5460)

3. Shape of the prototype POF sensor and load experiment

The test apparatus (LD source, DC power source, personal computer etc.) shown in Fig. 9 was used to measure the light intensity and static load characteristics of the prototype POF sensor. Figs. 10 (a) and (b) show the measurement results.

In this test, the weight placed on the prototype POF sensor was increased up to 10kg in increments of 1kg, and the light intensity was measured by the voltage output of the optical detector and fed into a personal computer through an A/D converter. When the load was increased or decreased, the distribution of the output voltage (hysteresis) was repeatable and stable, and was in a range of about 8% as shown in Fig. 10(a).

Figure 10(b) shows the attenuation rate of the light intensity (i.e. the maximum output minus the measured output, divided by the maximum output) obtained from the static load characteristics after linear approximation. Figure 11 shows the temporal waveform obtained when a sine wave perturbation load of 15N was superimposed on a constant load of 85N using a function generator, and applied to the POF sensor with an actuator placed on the contact strip. The temporal waveforms (at 0.5Hz) of load cell L1 and POFs L2 or L3 under the contact strip present satisfactory characteristics, demonstrating that the system is able to correctly detect the contact force.

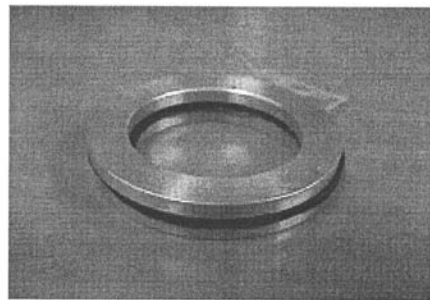


Photo. 1 Photograph of the prototype POF sensor

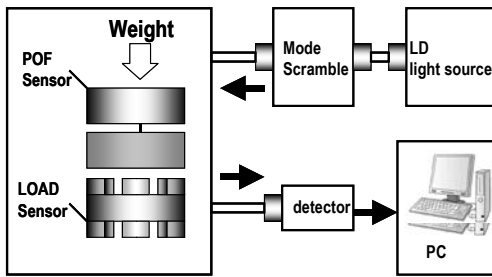
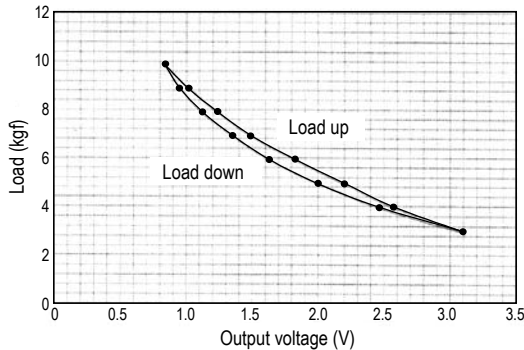
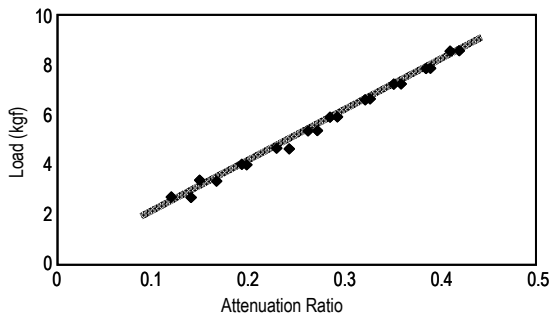


Fig.9 Configuration of the experiment system using the POF system



(a) Relationship between output voltage and load



(b) Characteristic of relationship between load and attenuation ratio

Fig.10 Dynamic characteristics of the prototype POF sensor

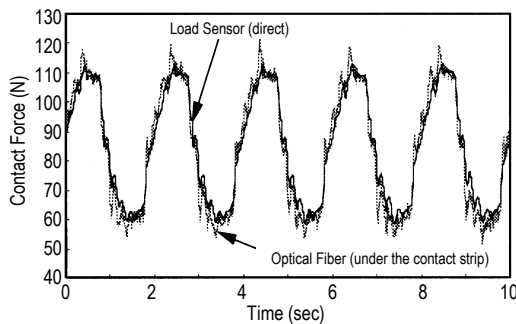


Fig.11 Dynamic characteristic of the prototype POF sensor

4. Design and numerical calculation of pantograph control system

4.1 Design of control system

A pantograph is composed of contact strips that touch the contact wire to collect the electric power, a wing-type pantograph head equipped with a laminated spring mechanism to support the pantograph head, and insulators to support these components. Figure 12 shows the analysis model of the contact wire and pantograph system used in this study. The aforementioned POF is placed directly under contact strip m1. In the following discussion, contact loss is neglected on the assumption that the contact wire and strip remain in contact at all times. It is also assumed that the contact wire does not vibrate in the vertical direction due to car body motion. The state equation is given as

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}_s(t) &= \mathbf{A}_s \mathbf{x}_s(t) + \mathbf{B}_{su} \mathbf{F}_p(t) + \mathbf{B}_{sw} \mathbf{d}(t) + \mathbf{B}_{st} f_{lift}(t) \\ \mathbf{x}_s(t) &= [z_1(t) \quad \dot{z}_1(t) \quad z_2(t) \quad \dot{z}_2(t)]^T \\ \mathbf{d}(t) &= [d(t) \quad \dot{d}(t)]^T\end{aligned}\quad (2)$$

The frequency characteristics of contact wire irregularities caused by the intervals between support points and between hangers are assumed to be dynamic, and the disturbance in the aerodynamic upward force is also assumed to be dynamic with integration characteristics. The transfer characteristics of these disturbances are given by state equation (3).

$$\begin{aligned}\frac{d(s)}{w_d(s)} &= \frac{k_d \omega_{d1}^2 s}{(s^2 + 2\zeta_{d1} \omega_{d1} s + \omega_{d1}^2)(s^2 + 2\zeta_{d2} \omega_{d2} s + \omega_{d2}^2)} \\ \dot{\mathbf{x}}_d(t) &= \mathbf{A}_d \mathbf{x}_d(t) + \mathbf{B}_d w_d(t) \quad \mathbf{d}(t) = \mathbf{C}_d \mathbf{x}_d(t) + \mathbf{D}_d w_d(t) \\ \dot{f}_{lift}(t) &= c_{lift} w_{lift}(t)\end{aligned}\quad (3)$$

This equation includes the dynamic characteristics of the pneumatic servo cylinder of the control mechanism. For structural reasons, however, it is not possible to strictly determine the dynamic characteristics. Therefore, the transfer function G_{ac} from the servo amplifier input voltage ei to the control force F_p is determined and approximated using the second order low-pass filter characteristics shown in equation (4).

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{x}}_{ac}(t) &= \mathbf{A}_{ac} \mathbf{x}_{ac}(t) + \mathbf{B}_{ac} ei(t) \\ F_p &= \mathbf{C}_{ac} \mathbf{x}_{ac}(t)\end{aligned}\quad (4)$$

In this approximation, frequencies over 2Hz (the follow-up limit of the pneumatic servo cylinder) were omitted. Fig. 13 shows the dynamic characteristics of the pneumatic servo cylinder. An expanded system is derived from equation (5):

$$\begin{aligned}\dot{x}_p(t) &= A_p x_p(t) + B_{pu} e(t) + B_{pw} w_p(t) \\ f(t) &= C_p x_p(t) + D_{pv} v(t) \dots\dots\dots (5)\end{aligned}$$

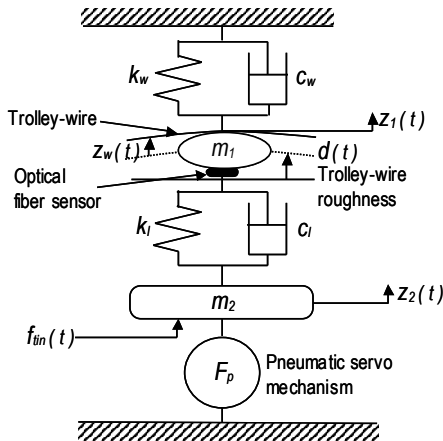


Fig.12 Analysis model of the low-noise current collector

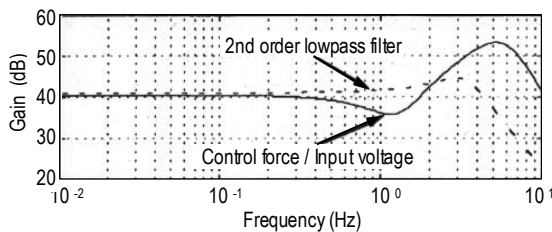


Fig.13 Characteristic of f/ e_i transfer function

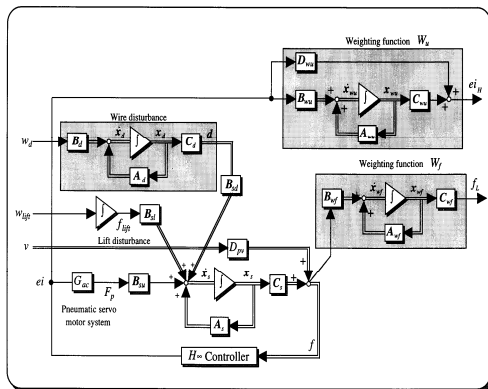


Fig.14 Generalized plant control system

A generalized plant was designed here to obtain a controller by using the weight function $W_f(s)$ to express the second order low-pass filter suppressing contact force fluctuations in the low-frequency range, and the weight function $W_u(s)$ to express the second order high-pass filter suppressing the control voltage in the high-frequency range (Fig. 14).

Table 2 Various parameters of low pass filter and high pass filter

Low pass filter: $W_f(s)$	High pass filter: $W_u(s)$
$L_1 = 10^{(-25/20)}, \zeta_1 = 0.8, \omega_f = 20 \times 2\pi$	$L_h = 10^{(-5/20)}, \zeta_h = 0.7, \omega_{uL} = 20 \times 2\pi, \omega_{uH} = 70 \times 2\pi$
Wire disturbance dynamics $k_d = 0.9, \zeta_{d1} = 0.3, \zeta_{d2} = 0.4, \omega_{d1} = 0.5 \times 2\pi, \omega_{d2} = 9 \times 2\pi$	Lift disturbance dynamics $C_{uH} = 7$
Design parameter for H_∞ control $\gamma = 0.9, \mu = 1 \times 10^{-10}, \varepsilon = 1 \times 10^{-10}$	

4.2 Numerical calculation

Numerical calculation was performed for the pantograph in Fig. 12 using the observed values as the contact force between contact wire and strip. Figures 16 (a) and (b) show the frequency characteristics of the contact force against contact wire irregularities and against the disturbance in the aerodynamic upward force respectively.

The expanded system does not incorporate the pneumatic cylinder dynamic characteristics. Figure 15 shows the parameters of weight functions $W_f(s)$ and $W_u(s)$. In the contact force between contact wire and strip detected by the POF sensor, the gain is decreased against contact wire irregularities and disturbance in the aerodynamic upward force in the frequency range of 10Hz or lower where the contact force is to be controlled. This demonstrates that the contact force can be appropriately controlled.

The frequency response of the contact force against contact wire irregularities in Fig. 16 (a) proves that fluctuations in the contact force are suppressed against irregular contact wire displacements in the low-frequency region.

The frequency response of the contact force against fluctuations in the aerodynamic upward force indicates that the fluctuations can be suppressed to -10dB or lower in a range of around 1Hz.

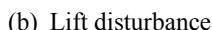
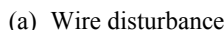
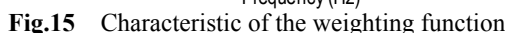


Fig.16 Frequency response of contact force

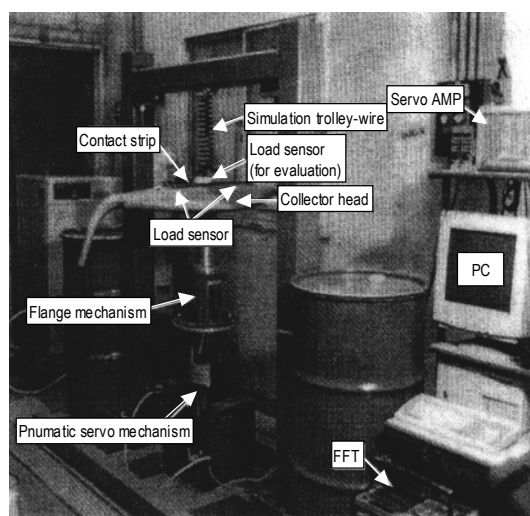


Photo.2 Photograph of the experimental apparatus

In the test, two prototype POF sensors were placed just under the contact strip to detect and control the contact force. The controller used in the test is a regulator to suppress the fluctuating component in the contact force. PI control was therefore performed to feed back the force detected by the sensor until it reached 100N, and then the controller was deployed.

Follow-up performance can be expected only up to about 2Hz for the pneumatic servo cylinder used for the control mechanism. For this reason, the transfer characteristics shown in Fig. 13 were incorporated into the expanded system when deriving the controller. Figure 18 shows the frequency response of the controller used in this test. Contact wire irregularities at about 0.5 and 1.0Hz were manually generated in the test.

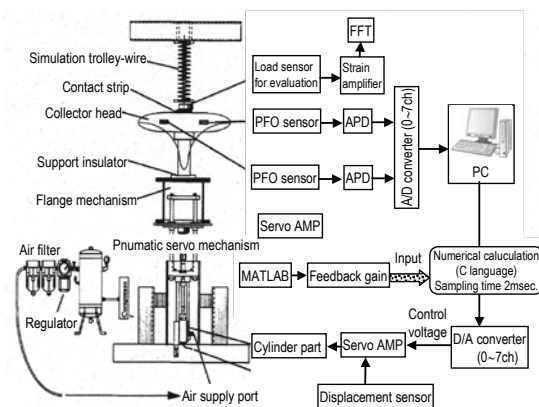


Fig.17 Schematic diagram of experimental apparatus

5. Control test

Photograph 2 and Fig. 17 show the appearance of the test apparatus (including the prototype pantograph) used for this study and its composition respectively. The apparatus uses springs and dampers that have the same constants as those of the heavy compound catenary system, and detects and evaluates the contact force between the spring/dampers and the prototype pantograph contact strip with load cell L1.

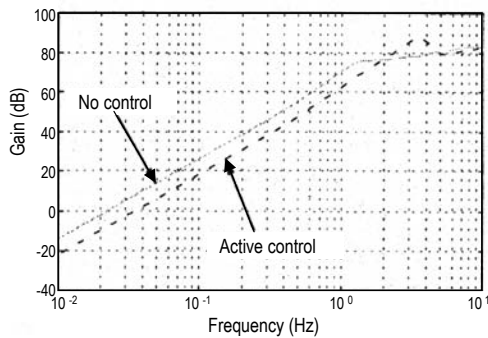
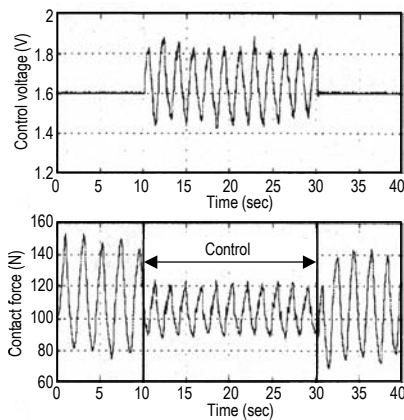
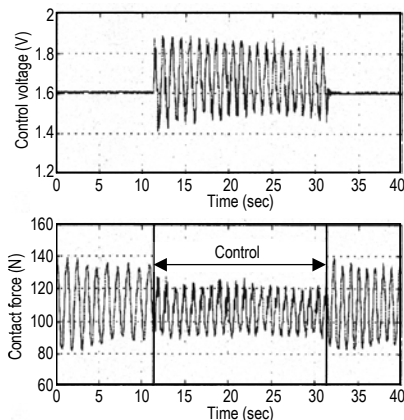


Fig.18 Frequency response of contact force due to a wire disturbance



(a) 0.5Hz wire disturbance



(b) 1.0Hz wire disturbance

Fig.19 Experimental result of contact force control

Figure 19(a) and (b) show the results of a test to control the contact force with POF sensors incorporated into the test pantograph. In the case of the 0.5Hz disturbance in Fig. 19(a), application of voltage to start control reduced the fluctuation in contact force from 70N to 30N. In the case of the 1Hz disturbance in Fig. 19 (b), the fluctuation decreased from 40N to 25N when control started.

These test results prove that it is possible to halve fluctuations in contact force by detection and control using two POF sensors placed under the contact strip.

6. Conclusions

A small-diameter POF sensors that can be placed at a high-voltage point directly under a pantograph contact strip was designed. A prototype POF was manufactured, and a method to reduce fluctuations in the contact force between contact wire and strip was proposed by active control using a controller based on the output signal of the POF sensor. The prototype POF sensors were then mounted on an actual pantograph and an active control test was performed. The results obtained from the study are summarized below.

- (1) The concept of a POF sensor that monitors light intensity attenuation characteristics against external forces applied to the plastic optical fibers was proposed. It was confirmed that the linear static load characteristics could be obtained using the sensors.
- (2) It was verified that the contact force could be directly detected using compact, small-diameter POF sensors placed directly under the pantograph contact strip.
- (3) A control test was implemented, with the result verifying the follow-up performance of the sensors against irregular contact wire displacements at 0.5Hz and 1.0Hz with a prototype pantograph using a pneumatic servo cylinder.

References

- (1) Yoshida, K., Active Control of Low-Noise Current Collector for Super High-Speed Railways, Proc. WCRR97, Firenze 16-19, Vol.C,(1997),P.287-291
- (2) Makino, T., Trend of Active Control of Current Collector for High-Speed Railway, J.,of Fluid Power System,Vol.34, No.3(2009), p.34-38(in Japanese)
- (3) Makino T., Kakehi, Y., Noise Characteristics of Current Collector for High-Speed Railways using Delta-Shaped Collector Head, Trans. Jan. Soc. Mech. Eng., Vol.63, No.612(1998),p/338-346(in Japanese)
- (4) Ohyama, T., Research and Development for Reducing Noise and Vibration in Shinkansen, RTRI Report, Vol.8, No.6 (1994), p.1-7(in Japanese)
- (5) Iida, A., Takano,Y., Makino, T., Developent of a Low-Noise Electric-Current Collector for High-Speed Trains,INTER-NOISE'94 (1994), p.163-170(in Japanese)
- (6) Yoshida, K., Seto, S., Makino, T.,Disturbance Estimation and Contact Force Control in Current Collector for High-Speed Railways, Trans. Soc. Ins. Control Eng., Vol.34,No.3 (1998), p.217-223 (in Japanese)
- (7) Yoshida, Y., Shimogo, T., A Power Collector with a Control Mechanism of Contact Force, Trans. Jan. Soc.Mech. Eng.,Vol.54,No.505 C(1988),p1821-1827(in Japanese)
- (8) Yoshida, K., Shimogo, T. and Onoda, S, Optimal Control of Vibration by Wind Force on Running Vehicle,Trans. Jan. Soc. Mech. Eng.,Vol.25,No.209,C(1982)p.70-77(in Japanese)
- (9) Thompson, A and Davis, B, An Active Pantograph with Shaped Frequency Response Dynamics, Vehicle System Dynamics, Vol.19(1990),p.131-149
- (9) Galeotti, G., Galanti, M. and magrini, S., Servo Actuated Railway Pantograph for High-Speed Running with Contact Force, Proc.Instn,Mech.Eng.Part F,Vol.207(1993), p.37-49
- (10) Namerikawa, T,Isobe, S.and Matusmura, K, H-infinity Control for Experiment Syetem of the Pantograph with a Linear DC Motor Trans. IEEJ, Vol.115, No.11 (1995), p.1412-1419(in Japanese)
- (11) Makino, T., Yoshida, K., Seto, S. and Makino, K.,Running Test on Current Colle-ctor with Contact Force Controller for High-Speed Railways, Trans. Jan. Soc. Mech. Eng. Vol.40, No.4,C(1998),p.671-680
- (12) Saeki, M., Analysis of Impact Damper with Granular Materials, Trans. of JSME, Ser.C, Vol.68, No.673(2002), p.2585-2591(in Japanese)
- (13) Yoshida, K., Ukita, M. and Makino, T., Active Compensation Control of Wind Force and Wire Roughness for Current Collector usibg Optical Fiber Sensor, Proc. ASME DETC'99MOVIC-8426(1999), p.50-56
- (14) Yoshida, K., Ukita, M. and Makino, T., Contact Force Control of Current Collector using Optical Fiber Sensor, Proc., JSME D&D Symp., No.99-7(1999), p.77-81(in Japanese)
- (15) Ishigure, T. and Koike, Y., High-Numerical Apperture Grand-Index Polymer Optical Fiber, J. of Lightwave Technology, Vol.13, No.8(1995),p.1686-1691
- (16) Muto, S., Sato, H and Hosaka, T., Optical Humidity Sensor using Fluorescent Plastic Fiber and it's Application to Breathing Condition Monitor, J. of Appl. Phys., Vol.33, No.10(1994),p.6060-6064(in Japanese)
- (17) Ito, H. and Hattori, H., Position Sensing and Communication System using Flu-Orescent Doped Plastic Fiber, J. of Appl. Phys., Vol.34, No.6, (1995),p.3109-3112(in Japanese)
- (18) Elater, J. L. and Tran,T.A., High-Temperature Fiber Optic Strain Sensors in Fatigue Loading Conditions, SPIE, Vol.2718(1996),p.20-26
- (19) Kalymnios, D. and Rogers, I., Band Loss in Plastic Optical Fibers, Proc. of POF Conf. '97(1997),p.35-36

(Received August 29, 2014)

LabVIEWを用いた体験型 倒立振り子制御実験システム

山田 健仁^{*1} 笠井 浩貴^{*2}

Experimental Inverted Pendulum Controlling System for Beginners by using LabVIEW

Takehito YAMADA^{*1} and Hiroki KASAI^{*2}

Abstract

We propose an experimental inverted pendulum-controlling system for beginners studying the control theory. The system is constructed by NI-ELVIS, which is an electronics instrument for measuring and controlling. The NI-ELVIS runs on a PC with the graphical language LabVIEW. The inverted pendulum is controlled automatically by the LabVIEW program under the modern control theory. Moreover, the pendulum can be controlled manually by using a wireless communication mouse system, which is remotely operated by a human finger on the tablet-PC screen. Using the system, the learner can manually understand the difficulty of the control and the importance of the computer-controlled systems.

Key Words: Modern Control, Digital Control, Inverted Pendulum, Graphical Language, LabVIEW

1. はじめに

本論文では、倒立振り子を制御対象として制御工学の学習者やロボットなどの自動制御倒機器に興味を持つ学生へ向けた倒立振り子制御実験システムを提案する。

倒立振り子とは、棒を掌の上に立てて倒れないように支えて遊んでいたように、台車の上に振り子の棒を逆立ちさせて、台車の移動で振り子を倒立させた状態で安定化する制御問題である。倒立振り子制御は、制御理論の有効性の検証対象として広く用いられている。また、倒立振り子制御の制御手法の適用では、二足歩行ロボットやロケットの発射台を始めとして様々な応用例が存在する。さらに、倒立振り子制御は、その制御結果を素早く得ることができるので、制御工学問題の実験例として幅広く利用されている。

上記のような状況から、倒立振り子制御問題に関しては、多数の研究成果が報告されている。それらの研究

を、制御工学を学習する観点から大きく分類すると以下の①～④となる。

- ① 線形制御理論の枠組みでの倒立振り子安定化制御に関する研究^①。
- ② スライディングモードなど非線形制御の枠組みでの倒立振り子制御に関する研究^②。
- ③ ニューラルネットワークなどの学習型制御による倒立振り子制御に関する研究^③。
- ④ 倒立振り子の振り上げ制御に関する研究^④。

筆者の研究室においても、画像処理により倒立振り子制御を実現する研究^⑤、Windows-PC による倒立振り子の状態フィードバック制御に関する研究^⑥、FPGA を使用した倒立振り子リアルタイム制御器の研究^⑦などが実施されてきた。以上の研究は、主に制御理論の実証や実装に関するものであるが、最近では制御工学の学習用の機器も多く提供されるようになってきた^{⑧, ⑨}。

本実験システムでは、現行の倒立振り子制御学習機材と同様な実験機器を構築するとともに、新たな機能を

^{*1} 情報電子工学科

^{*2} アイシン精機株式会社

追加することで、制御工学の学習者が制御の有効性を体験できるようにした。特に、グラフィカル言語の LabVIEW¹⁰⁾ を使って制御プログラムを実装することで、制御プログラムの実行過程を理解し易くするとともに、制御プログラムを容易に変更できるようにした。

新たに追加した機能として、学習者が制御を体験できるように、タブレット端末の画面を操作する指の動きの情報を無線で制御システムに送信し、その信号に基づいて倒立振子进行操作する方式を実現した。これにより、倒立振子の振り上げ操作が可能となり、振り上げ状態から状態フィードバックを用いた線形制御へ切り替えることで、倒立制御を行う実験装置を構築した。また、本実験システムでは、実行時の操作量などの時系列データを保存し、LabVIEW による制御シミュレーションデータとの比較を出来るようにしている。

2. 制御対象のモデルと状態フィードバック

実験システムでは、図 1 の倒立振子機構模式図に示すように、台車が一次元方向にのみ移動する倒立振子機構を取り扱う。この機構では、振子が倒れようとするのを台車の移動によって防ぎ、倒立した状態を維持させることになる。

参考文献(6)、(7)より、この実験装置の物理モデルは、振子が倒立状態に近いとき、式(1)、(2)に示す線形微分方程式で与えられる。なお、図 1 中の各記号の定義を表 1 に示す。

$$(M+m)\frac{d^2z}{dt^2} + mL\frac{d^2\theta}{dt^2} + \mu_z \frac{dz}{dt} = f \quad (1)$$

$$mL\frac{d^2z}{dt^2} + (J+mL^2)\frac{d^2\theta}{dt^2} - mgL\theta + \mu_\theta \frac{d\theta}{dt} = 0 \quad (2)$$

θ : 振子の垂直倒立状態からの傾き角度

台車とその駆動系 (DC モータ) を、速度フィードバックをかけたサーボ制御系とすると、台車質量や粘性摩擦抵抗は補償されるため、その運動方程式は、式(3)に近似できる。

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -\zeta \frac{dz}{dt} + \xi u \quad (3)$$

u : モータ操作量, z : 台車位置

式(1)、(2)、(3)より、状態方程式、及び出力方程式

は式(4)~(9)となる。なお、 z, θ, u は時間関数である。

$$\frac{d}{dt}x = Ax + Bu \quad (4)$$

$$x = [z \quad \theta \quad \dot{z} \quad \dot{\theta}]^T \quad (5)$$

$$y = Cx \quad (6)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\zeta & 0 \\ 0 & \frac{mLg}{J+mL^2} & \frac{mL\zeta}{J+mL^2} & \frac{-\mu_\theta}{J+mL^2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \xi & \frac{-mL\xi}{J+mL^2} \end{bmatrix}^T \quad (8)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

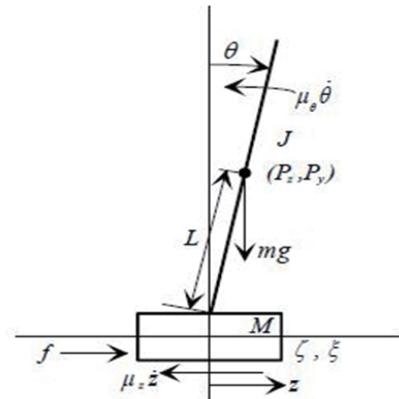


図1 倒立振子機構模式図

表1 各記号の定義

回転軸と振子重心間の距離	$L[m]$
振子質量	$m[kg]$
重心回りの慣性モーメント	$J[kgm^2]$
回転軸回りの粘性摩擦抵抗係数	$\mu_\theta[Nm/s]$
台車の質量	$M[kg]$
台車の移動に対する粘性摩擦抵抗係数	$\mu_z[Nm/s]$
台車系の物理定数	$\xi[m/s^2V]$
台車系の物理定数	$\zeta[1/s]$
重力加速度	$g(=9.81[m/s^2])$

式(4)–(9)の状態方程式で表された制御対象に状態フィードバックを施すことにより、式(10)の閉ループシステムによる倒立振り子の安定化制御が実現できる。この時、操作量 u は、式(11)で与えられる。

$$\frac{d}{dt}x = (A - BF)x \quad (10)$$

$$u = -Fx, F = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4] \quad (11)$$

F : 状態フィードバックゲインベクトル

本装置の制御対象では、状態変数の \dot{z} (台車の移動速度), $\dot{\theta}$ (振り子の回転方向角速度) は直接観測できないので、オブザーバを使用してその状態変数を推定する必要がある。このオブザーバは、式(8)で表せる。

$$\dot{\hat{x}} = (A - HC)\hat{x} + Bu + Hy \quad (12)$$

H : オブザーバゲイン

これらの式(10), (11), (12)を LabVIEW が提供している関数で実装することになる。

3. LabVIEW による制御系シミュレーション

制御工学の学習や実践では、数値シミュレーションによる解析は欠かせない技術である。これまで本研究室では、参考文献(7)にあるように Scilab¹¹⁾ に組み込まれている時間領域数値シミュレーションツールの Xcos により、倒立振り子の動的振る舞いのシミュレーションを行ってきた。Xcos もグラフィカルなプログラミングツールではあるが、Xcos 上の物理モデルや制御器を実験システムに実装するためには、グラフィカルなオブジェクトで表現された関数を C 言語などの他のプログラミング言語に翻訳して実装する必要があった。この翻訳過程は、実践において、制御器を実装する際には非常に重要な技術であるが、一方、制御工学の初学者には、制御の本質を理解する妨げとなる。

本実験システムでは、LabVIEW を使うことを前提としているため、シミュレーションプログラムも Lab-

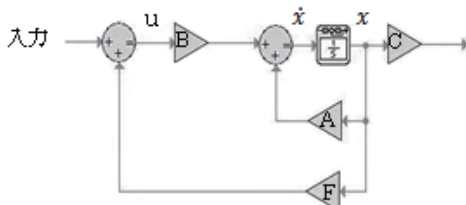


図2 状態フィードバック制御システムを LabVIEW で記述したプログラム例

VIEW で記述する。図2は、状態フィードバックシステムを記述した例である。記述されたプログラムは、制御工学で一般的に使用されるブロック線図とほぼ同様であり、C言語などのようにテキストで記述するプログラミング言語に比べ、シミュレーションプログラム構造の可読性が高い。また、このようにして記述した制御器プログラムは、実験システムの制御プログラムとしても実装できるため、シミュレーションから実験へ円滑に移行できる。注意点として、アイコンで表現されたオブジェクトの内部構造は隠蔽されているため、どのように数値解析アルゴリズムが実装されているか分からないことが挙げられる。従って、学習者は、入門レベルを超えた時点で必ず数値計算の基礎的なアルゴリズムを学び、理解しておくべきである。

図3は式(4)–(12)を元に作成したシミュレーションプログラムである。図4に実行結果を示す。これらのシミュレーション結果から、振り子が倒立している近傍(線形化した範囲)では、状態フィードバックで倒立振り子の安定化が実現できることが確認できる。

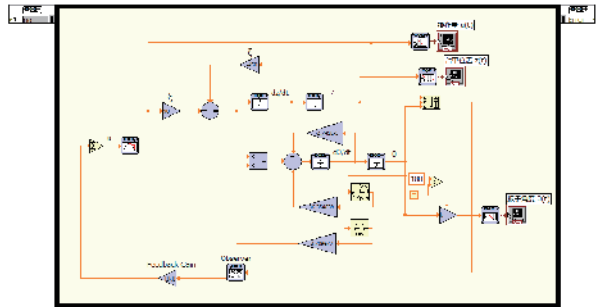


図3 倒立振り子制御シミュレーションプログラム

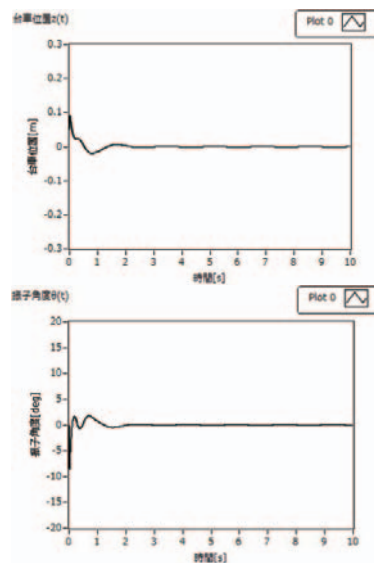


図4 シミュレーション結果例 (上: $z(t)$, 下: $\theta(t)$)

4. 倒立振子制御実験システムの構成

実験システムの制御部構成を図5に示す。プログラムの開発環境は NI LabVIEW2010 を用いた。LabVIEW は、計測・制御などの目的に特化したプログラム開発環境となっており、ブロック線図のようにアイコンと配線によりデータフローを表現するので、C言語などのテキスト型言語よりも入出力関係などが直感的に把握することができる。

制御対象の入出力信号はアナログ信号であるが、LabVIEW プログラ上ではデジタル信号として扱うので、NI-ELVIS を用いて A/D・D/A 変換を行う。NI-ELVIS は National Instruments 社製の電子回路試作用プラットフォームで、A/D・D/A 変換とデジタル入出力を基本機能として、12 種類の計測器がハードウェア、ソフトウェアとして実装されている。

制御対象の台車位置と振子角度を検出するそれぞれのポテンショメータからの電圧出力は、DC サーボモータドライバ BOX (図6 参照) によって増幅出力される。台車位置 $z(t)$ と振子角度 $\theta(t)$ の検出信号である 2 つのアナログ電圧信号は、NI-ELVIS で A/D 変換された後、USB インターフェースを介して PC にデジタル信号として送信される。PC に送られた 2 つのデジタル信号をもとにして LabVIEW の制御プログラムは、操作量 $u(t)$ を計算する。この操作量 $u(t)$ を NI-ELVIS で D/A 変換を行い、アナログ信号に変換された操作量を DC サーボモータドライバ BOX に与え、DC モータを駆動することで制御対象の台車を移動制御する。

本研究で使用した倒立振子制御実験装置の外観を図6に、実験装置の倒立振子機構の物理パラメータを表2に示す。

なお、式 (11) で表されるフィードバックゲインは、シミュレーションを元として、最終的に実験的に調整して求めた式 (13) の値を使用した。

$$F = [4.8 \quad 5.6 \quad 3.2 \quad 0.48] \quad (13)$$

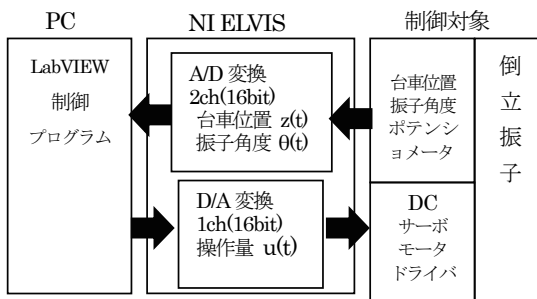


図5 実験装置の制御部構成図

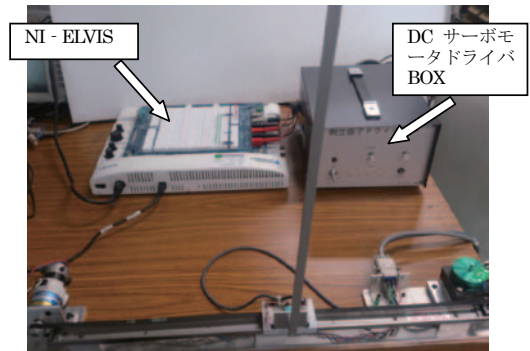


図6 倒立振子制御実験装置の外観（振子倒立状態）

表2 倒立振子の物理パラメータ

振子質量 m	0.023[kg]
回転軸から重心までの距離 L	0.2[m]
重心回りの慣性モーメント J	$3.20 \times 10^{-4} [\text{kgm}^2]$
回転軸回りの粘性摩擦抵抗 μ_θ	$27.41 \times 10^{-6} [\text{Nm/s}]$
台車の物理定数 ζ	450[1/s]
台車の物理定数 ξ	90[m/s ² V]

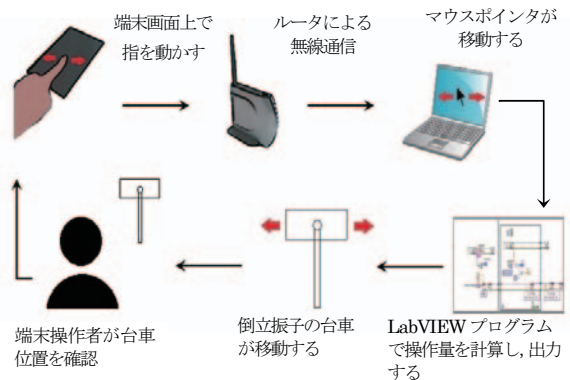


図7 倒立振子の手動による振り上げ操作構成図

初学者が、実際の制御を体感することで制御工学の有効性や必要性を実感できると考え、手動で制御対象を操作する方法について検討した。単純な方法としては手動で変化させた電圧値を NI-ELVIS の A/D 変換器に入力し、その信号を台車の目標位置とすることが考えられる。手動による電圧値入力手段として、回転型ポテンショメータや摺動型抵抗器などの電気素子の使用が考えられるが、手動での素早い回転操作の困難さや機械的な摩擦力による抵抗感の問題がある。

そこで本実験装置では、図7に示すようにタブレット型端末（以下、端末）の画面上を操作する指の動きを検出し、無線で PC にその信号を送ることで倒立振子の台車を移動させる方法について検討した。

端末には、画面サイズが7インチと比較的大きいが片手で保持できる Nexus7 (Google 製) を使用した。この端末は、静電容量方式タッチパネル付き IPS 液晶ディスプレイを使用しており、画面上の指の動きを検出することができる。端末上の指の動きを LabVIEW の制御プログラムに送信するために、端末から無線で PC のマウスポインタを操作できるリモートマウスアプリ (WiFi MOUSE)¹²⁾ を用いた。リモートマウスアプリでは、端末上の指の動きのデータが、ルータを介した Wi-Fi 無線通信で PC に送信され、PC 画面上のマウスポインタを動かす。

倒立振子の振り上げ操作には、PC の画面上のマウスポインタの位置情報を用いる。PC の画面上のマウスポインタの水平方向の座標を LabVIEW プログラムで取得し、その座標をもとに操作量を計算して制御対象へ操作量を出力することで倒立振子の台車を移動させる。

図7に示した倒立振子振り上げ操作の構成図のように、端末の操作者が端末画面上で、指を左右に動かして操作すると、リモートマウスアプリにより PC の画面上のマウスポインタが指の動きにあわせて左右に移動する。PC の LabVIEW プログラムの関数によりマウスポインタの水平方向の座標の情報を取得し、座標情報をもとに操作量 $u(t)$ を計算し出力する。これにより倒立振子の台車が駆動されて左右に移動する。台車の位置を操作者が目で確認し、端末上で指を動かすことで台車の移動を操作し、振子の振り上げを行う。

マウスポインタの水平方向の座標を取得し、操作量を計算して制御対象へ出力する処理を LabVIEW で作成したプログラムを図8に示す。このプログラムでは、実行開始時にマウスポインタの水平方向の位置を初期値として取得する。次にマウスポインタが移動すると、初期値と現在値の差分を計算し操作量を算出して、制御対象へ出力するループ処理が行われる。従って、マウスポインタの水平方向の位置が初期値から離れていくほど、台車を移動させる操作量が大きくなる。

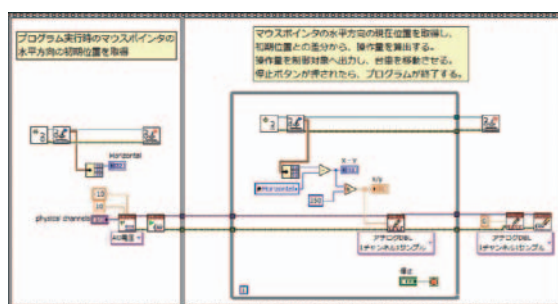


図8 マウスポインタの水平方向の座標から操作量を計算するプログラム

5. LabVIEW 制御プログラムの構成と実行

図9は、本実験装置用に作成した LabVIEW による倒立振り制御プログラムの記述例である。プログラムは、5つの制御ブロックをシーケンス処理している。

- ①信号の入出力などの初期設定。
- ②端末を操作したときのマウスポインタの水平位置の座標から操作量を計算し、制御対象へ出力する。制御対象の操作中、振子角度値をオブザーバに入力し、状態量 $\theta(t)$ および $\dot{\theta}(t)$ を算出し、これらの値が0近傍の時、振り上げ制御を終了する。
- ③振り上げ制御を終了して線形制御へ切り替えるときの台車位置 $z(t)$ と振子角度 $\theta(t)$ の初期値を求める。
- ④状態フィードバックを用いた線形制御を行う。
- ⑤停止ボタンが押下されたとき終了処理を行う。

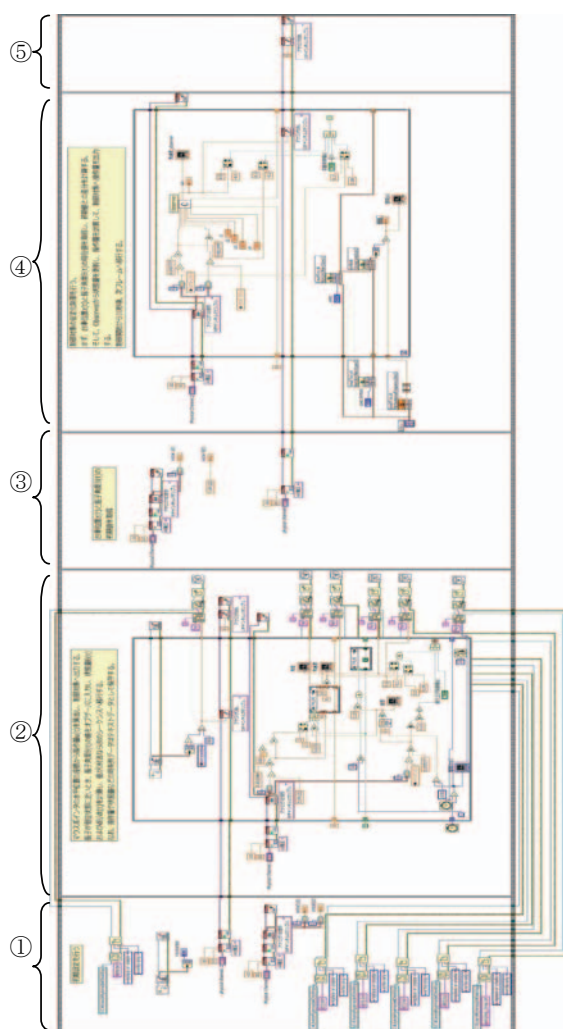


図9 LabVIEW による倒立振り制御プログラムの記述例

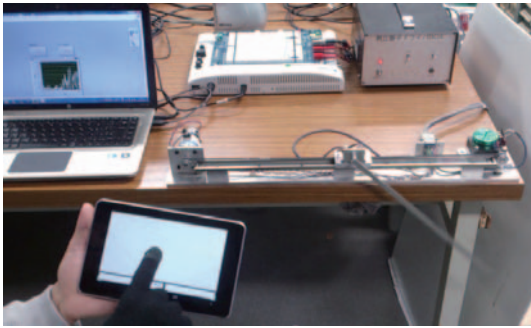


図9 振り上げ操作を実施している様子

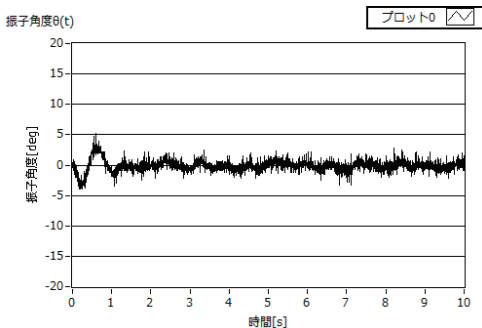


図10 振り上げ後の振り角度制御状態

プログラムの実行では、サンプリング時間を 2.5ms とした。これは主に、PC の実行速度に依存する。

図 9 は、振り上げ操作を実施している様子である。端末画面上で滑らかに指を移動させるために滑りの良い指サックを使用している。振り上げ状態から安定化制御に移行した後の制御状態は、シミュレーション結果と良い一致を示した(図 10 参照)。なお、これらの時系列データは実行時に保存するようにプログラムされており、シミュレーションデータとの比較などに利用できる。

6. まとめ

本論文では、制御工学の初学者に向けた倒立振り子制御実験システムの構築に関して述べた。実験では、端末から制御対象を操作できる機能を実装し、振り上げ制御から線形制御へ切り替える制御システムの一連の動作を確認した。本システムの制御プログラムは、LabVIEW で記述しているため可読性が良く、変更も容易いため制御工学学習者に適している。

また、端末からリモートマウスアプリを用いた手動による振り子の振り上げ操作は、制御の必要性を体感させるのに有望な方式と考えられ、他の制御実験機など

へも展開できるものである。

今後は、端末による手動制御で得られる振り上げ制御の情報を利用した制御手法の検討を予定している。また、手動と自動制御の比較や制御手法の変更による制御応答の比較を行うことができる、制御工学の学習に適した実験システムへ発展させたいと考えている。

謝辞

本研究は、財団法人メカトロニクス技術高度化財団の研究助成の成果の一つです。研究助成に対し深く感謝の意を表します。

文献

- 1) 杉江俊治, 藤本健治: 近似線形化を用いた倒立振り子の制御, 計測自動制御学会論文集, 第 31 号, 10 巻, pp.1643-1649, (1995)
- 2) 加賀達也, 木澤悟: スライディングモード制御法による回転型倒立振り子の安定化, 秋田工業高等専門学校研究紀要第 44 号, pp.51-57, (2009)
- 3) 森田譲, 前田保憲, 日隈崇文: ニューラルネットワークによる倒立振り子制御における PID ゲインのセルフチューニング, 知能と情報(日本知能情報ファジイ学会誌), Vol.16, No.3, pp.262-270, (2004)
- 4) 木村太: 倒立振り子の振り上げ制御, 苫小牧工業高等専門学校紀要, 第 33 号, pp.39-44, (1997)
- 5) 山田健仁, 百田正広, 増田正太郎: 動画像情報によるアーム型倒立振り子の安定化制御, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 24 号, pp.7-14, (2000)
- 6) 赤瀬元気: 倒立振り子制御のシミュレーションと実験システム, 平成 22 年度徳山工業高等専門学校卒業研究論文集, pp.117-124, (2011)
- 7) 富重晃希, 山田健仁: FPGA に実装した CPU と複数のデジタル PID 制御器による機構制御システム, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 35 号, pp.71-76, (2012)
- 8) <http://www.servotechno.co.jp/index02.html>
- 9) <http://www12.ocn.ne.jp/~realtec/cntlr.htm>
- 10) <http://www.ni.com/labview/ja/>
- 11) <http://www.scilab.org/>
- 12) <http://wifimouse.necta.us/>

(2014.9.2 受理)

新入生アンケートに見られる 平成 26 年度入学生の特徴

原田徳彦*1 長廣恭子*2 三浦靖一郎*3

西尾幸一郎*4 松尾葉子*5

The Characteristics of the Freshmen in 2014 —An Analysis Based on the Results of a Questionnaire to the Freshmen—

Norihiko HARADA, Kyoko Nagahiro, Seiichiro MIURA
Koichiro NISHIO and Yoko Matsuo

Abstract

The number of the applicants to the Tokuyama College of Technology has decreased over the past 10 years due to a declining birthrate. How does the decrease influence the will to learn of freshmen? We have been conducting a questionnaire of the freshmen in the student counselor's office of Tokuyama College of Technology since 2001. We studied the changes in the characteristics of the freshmen over 10 years by comparing the results of the questionnaire between the freshmen of 2004 and 2014. Regardless of the decrease in the number of applicants, a drop was not seen, even if we compared the will to learn, hope for student life, and satisfaction with entering school ten years ago. Some departments even developed into a considerably better state than ten years prior.

Key Words : declining birthrate, learning will of students, questionnaire to freshmen

1. はじめに

徳山高専学生相談室では、平成 13 年度から「学生相談室プログラム」*の一環として新入生アンケートを実施している。新入生アンケートはオリエンテーションの学生相談室の紹介の中で行う。アンケートは記名式で、学生個人の入学時の心の状態を把握し、その後の学生生活のサポートに資することを目的と

する。

徳山高専への入学が不本意だった学生、入学した学科が不本意だった学生、入学したことに満足していない学生、学習意欲が低い学生、これからの学生生活を楽しみと思えない学生を把握し、学生相談員との面談へつなぐ。面談の誘いは他の学生に分らない様に手紙を渡す方法をとっている。強制はしな

*1 情報電子工学科

*2 一般科目（数学）

*3 機械電気工学科

*4 土木建築工学科

*5 学生課学生係

*学生相談室プログラムについては、国重、佐々木²⁾や佐々木、国重³⁾に詳しく論じられている

いので面談に来ない学生もいるが、本当に困ったときに相談に来やすいように、学生相談室の存在を認識させておくことにも意義があるだろう。

少子化の影響で入学志願者数が徐々に減少してきており、それに伴う競争倍率の低下は入学生の学力レベルの低下へとつながることは言うまでもない。しかし、入学時の学力レベルが入学後の学習意欲と直結した問題であるかどうかよく見極める必要がある。入学時の学力レベルが低くても、入学の後の学習意欲が高ければ、高い学力で入学しても低い学習意欲の場合よりも良い結果となる可能性は大きい。

今回、比較的志望倍率の高かった平成 16 年度と今年度(平成 26 年)の新入生アンケートの結果を比べ、新入生全体の特徴として 10 年で変わったことと変わらないことを俯瞰しつつ、個々の学生のサポートにつなげていきたい。

2. 新入生アンケート

新入生アンケートは、鳴澤(1998)¹⁾の東京都立大学新入生対象アンケートを徳山高専に修正し作成したものである。

アンケート対象は、平成 26 年度一年生全員 121 名(機械電気：40 名、情報電子：40 名、土木建築：41 名)である。アンケートの回収率は 100%であった。

以下に、アンケートの質問項目と回答を示す。回答はパーセンテージで()内に示してある。

1. あなたは自宅から通学していますか、それとも寮生ですか。

(a) 自宅通学生	95 (78.5)
(b) 寮生	26 (21.5)
2. あなたは中学校時代にクラブ活動に参加していましたか。

(a) はい	120 (99.2)
(b) いいえ	1 (0.8)
3. あなたが徳山高専に進学を決定したのはいつですか。

(a) 小学生の頃	4 (3.3)
(b) 中学 1 年生の頃	18 (14.9)
(c) 中学 2 年生の頃	20 (16.5)
(d) 中学 3 年生の頃	79 (65.3)
4. 徳山高専はあなたが第一に志望した学校ですか。

(a) はい	118 (97.5)
--------	------------

- | | |
|---------|---------|
| (b) いいえ | 3 (2.5) |
|---------|---------|
5. あなたは徳山高専の本当に入りたかった学科に入れましたか。

(a) はい	118 (97.5)
(b) いいえ	2 (1.7)
無回答	1 (0.8)
 6. あなたが徳山高専に入学した動機は何ですか、次の該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。

(a) 入学しやすい	2 (1.7)
(b) いいところに就職できる	103 (85.1)
(c) 通学の便がいい	6 (5.0)
(d) 経済的な理由	10 (8.3)
(e) 先生や親にすすめられた	45 (37.2)
(f) 自由な校風だから	30 (24.8)
(g) 先輩・知人がいる	22 (18.2)
(h) 兄弟がいる	7 (5.8)
(i) 自分の志望に合っている	75 (62.0)
(j) 他に入学するところがなかったから	2 (1.7)
(k) 何となく	7 (5.8)
(l) その他	8 (6.6)
 7. あなたは中学校時代に満足 of いく学校生活が送れたと思いますか。

(a) とても満足している	67 (55.4)
(b) 一応満足している	46 (38.0)
(c) あまり満足していない	8 (6.6)
(d) 全く満足していない	0 (0)
 8. あなたは徳山高専に入学できて満足していますか。

(a) とても満足している	82 (67.8)
(b) 一応満足している	37 (30.6)
(c) あまり満足していない	2 (1.7)
(d) 全く満足していない	0 (0)
 9. あなたが徳山高専に入学した目的は何ですか、次の該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。

(a) 専門的な学問・技術を身につけるため	101 (83.5)
(b) 教養を高め人間的に成長するため	44 (36.4)
(c) 先生や友人と交流するため	11 (9.1)
(d) いいところに就職するため	86 (71.1)
(e) 学生生活をエンジョイするため	36 (29.8)

- (f) 専攻科や他の大学に進学するため
18 (14.9)
- (g) 何とはなしに
6 (5.0)
- (h) その他
2 (1.7)
10. 現在、あなたの勉強への意欲は次のどれですか。
(a) 十分意欲がある
44 (36.4)
(b) 一応意欲がある
68 (56.2)
(c) あまりない
7 (5.8)
(d) 全くない
2 (1.7)
11. あなたは徳山高専での勉強についていけるかどうか不安ですか。
(a) とても不安である
47 (38.8)
(b) 少し不安である
62 (51.2)
(c) あまり不安ではない
10 (8.3)
(d) 全く不安ではない
2 (1.7)
12. 周りの新入生が自分より勉強面で優れているように思いますか。
(a) 強くそう思う
56 (46.3)
(b) 少しそう思う
47 (38.8)
(c) あまりそうは思わない
13 (10.7)
(d) 全くそうは思わない
5 (4.1)
13. 自分には徳山高専で友人ができないのではな
いかと心配ですか。
(a) とても心配である
8 (6.6)
(b) 少し心配である
41 (33.9)
(c) あまり心配ではない
55 (45.5)
(d) 全く心配ではない
17 (14.0)
14. あなたは徳山高専での学生生活がどのくらい
楽しみですか。
(a) とても楽しみである
79 (65.3)
(b) 少し楽しみである
40 (33.1)
(c) あまり楽しみではない
2 (1.7)
(d) 全く楽しみではない
0 (0)
15. あなたは自分が将来どんな職業につき、どん
な人になりたいか、すでに心の中で決めてい
ますか。
(a) はい
64 (52.9)
(b) いいえ
57 (47.1)
16. あなたは中学時代に個人的に打ち明け話をし
たり、相談に乗ってもらえるような同性の親
友がいましたか。
(a) はい
110 (90.9)
(b) いいえ
11 (9.1)
17. あなたは徳山高専に知り合いの人がいますか。
(a) はい
109 (90.1)
(b) いいえ
12 (9.9)
18. あなたは徳山高専に個人的に打ち明け話をし
たり、相談に乗ってもらえるような同性の親
友がいますか。
(a) はい
60 (49.6)
(b) いいえ
61 (50.4)
19. あなたはある程度親しくつき合っている異性
の友人がいますか。
(a) はい
58 (47.9)
(b) いいえ
63 (52.1)
20. 今までに、反抗して親を手こずらせたことが
ありますか。
(a) はい
60 (49.6)
(b) いいえ
61 (50.4)
21. 今までに、失敗や挫折をしてすごく悩んだこ
とがありますか。
(a) はい
75 (62.0)
(b) いいえ
46 (38.0)
22. 学生相談室で相談できるとしたら、あなたは
次のどのような内容について相談してみたい
ですか。該当するものすべての記号を○で囲
んで下さい。
(a) 勉強のこと
89 (73.6)
(b) 今まで知らなかった人たちとの出会いに
関すること
15 (12.4)
(c) 家庭のこと
2 (1.7)
(d) 自分の性格のこと
17 (14.0)
(e) 心の健康に関すること
4 (3.3)
(f) 体の健康に関すること
14 (11.6)
(g) 性に関すること
1 (0.8)
(h) 友人関係のこと
19 (15.7)
(i) 恋愛に関すること
7 (5.8)
(j) 徳山高専が自分に合っているかどうかに関
すること
16 (13.2)
(k) 進学のこと
25 (20.7)
(l) 就職のこと
48 (39.7)
(m) その他
1 (0.8)
23. 前問で挙げてある項目の中で、「今すぐ」あな
たが相談をしたい事柄があれば、その記号を
すべて○で囲み、具体的に詳しくその相談内
容を自由に書いて下さい。
※以下の質問には、寮生の人だけ答えて下さい。
24. 寮生活全般に関して不安を感じていますか。
(a) とても不安である
1 (3.8)
(b) 少し不安である
14 (53.8)
(c) あまり不安ではない
11 (42.3)
(d) 全く不安ではない
0 (0)
25. 家族から離れて一人で生活するので寂しく思

いますか。

- (a) とても寂しい 2 (7.7)
 (b) 少し寂しい 3 (11.5)
 (c) あまり寂しくない 16 (61.5)
 (d) 全く寂しくない 5 (19.2)

26. 寮を出て自宅から通学したいですか。

- (a) 是非自宅通学したい 0 (0)
 (b) 少し自宅通学したい 8 (30.8)
 (c) あまり自宅通学したくない 12 (46.2)
 (d) 全く自宅通学したくない 6 (23.1)

27. 現在、あなたは寮生活に関して学生相談室で相談をしてみたいような事柄や悩みがありますか。

- (a) はい 0 (0)
 (b) いいえ 26 (100)

28. (27. で、「はい」と答えられた方へ) それはどのような事柄や悩みですか、次の該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。

- (a) 一人暮らしについて () (b) 寮の施設・設備について () (c) 先輩との関係について () (d) その他 ()

29. 寮生活に関する質問や悩み、訴えたいこと、「今」何となく考えていることなど何でもかまいません。自由に書いて下さい。

3. アンケート結果に見られる主な特徴

学科ごとの男女比についてみると、情報電子工学学科では10年前より女子学生の割合が減少した(図1)。

問1「あなたは自宅から通学していますか、それとも寮生ですか。」の結果を図2に示す。学科ごとの寮生の比率はほぼ同じ比率となった。情報電子における寮生の割合は県内唯一の土木建築よりやや多いことが分かる。

問3「あなたが徳山高専に進路を決定したのはいつですか。」の結果を図3に示す。情報電子では進路決定の時期が他の学科より平均的に遅い傾向がある。情報電子は、小学校や中学校の低学年に対するPRが期待される。

問4「徳山高専はあなたが第一に志望した学校ですか。」の結果を図4に示す。情報電子においては、倍率の高かった10年前と比べても第1希望の割合はほぼ同程度であることが分かる。

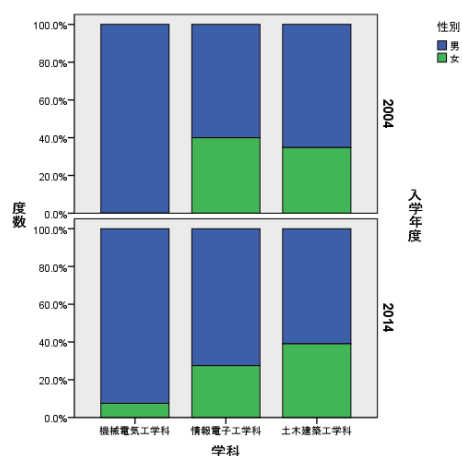


図1 各学科における女子の比率

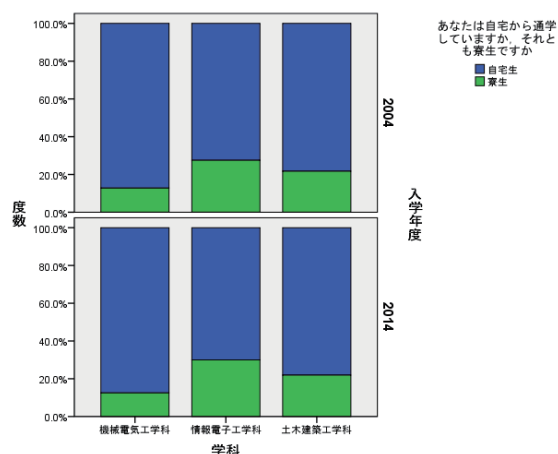


図2 各学科における寮生の比率

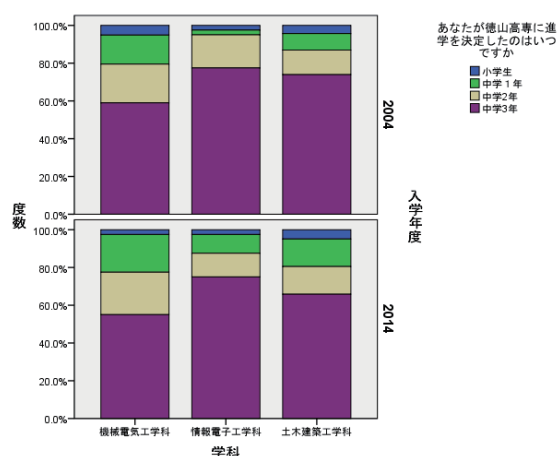


図3 各学科における進路の決定時期

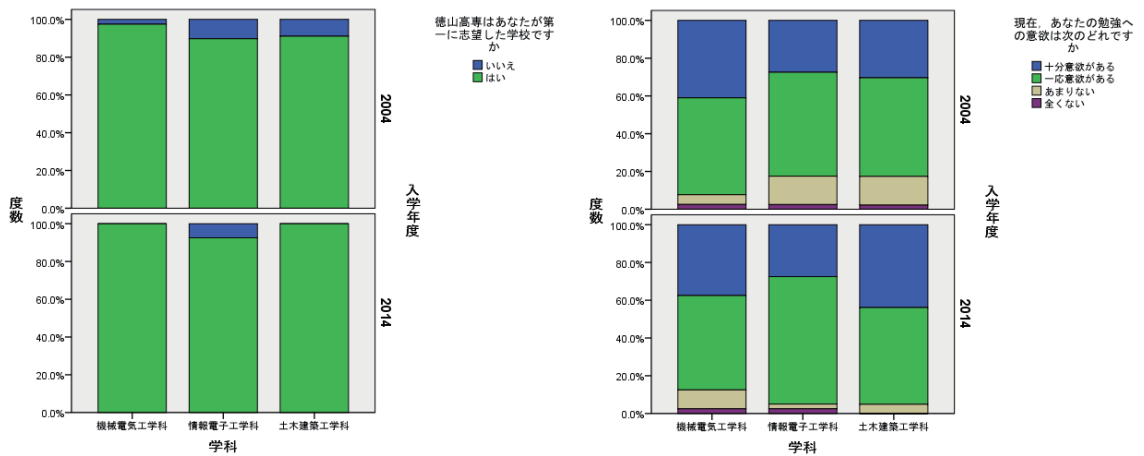


図 4 各学科における第一志望学校割合

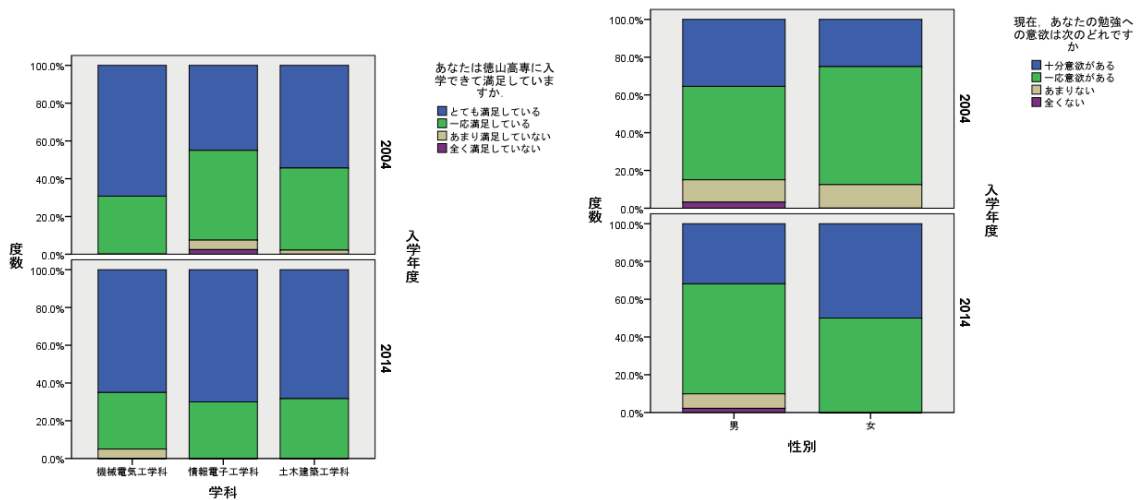


図 5 各学科における入学に対する満足感

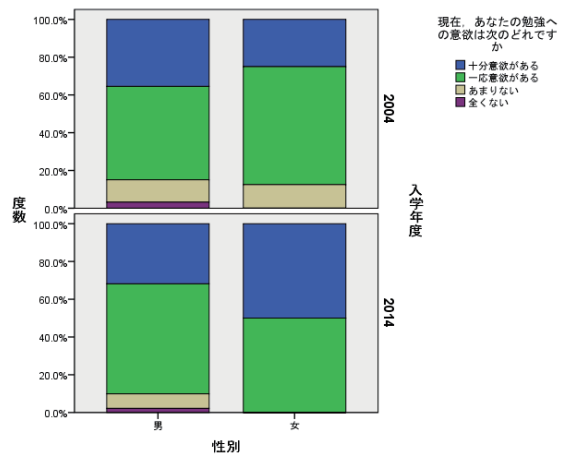


図 6 学習意欲

問 8「あなたは徳山高専に入学できて満足していますか。」の結果を図 5 に示す。情報電子と土木建築においては 10 年前に比べて入学に対する満足の割合が大きくなり、機械電気と同程度となった。

問 10「現在、あなたの勉強への意欲は次のどれですか。」の結果を図 6 に示す。入学満足感と同様に学習意欲の割合も大きくなった。特に、土木建築の学習意欲が高くなった。男女の別でみると女子が改善した。

問 11「あなたは徳山高専での勉強についていけるかどうか不安ですか。」の結果を図 7 に示す。機械電気において、勉強に対して強い不安を持つ学生の割合が 10 年前より大きくなった。男女別でみると女子

において不安を感じる割合が大きい。

問 14「あなたは徳山高専での学生生活がどのくらい楽しみですか。」の結果を図 8 に示す。情報電子、土木建築において、10 年前に比べて学生生活への期待が高くなった。また、男女別でみると、女子における学校生活への期待が 10 年前に比べて高くなった。このことは学習意欲と共通した特徴である。女子において、学習意欲と学生生活への期待の間にやや高い相関（相関係数：0.41）が見られた。

問 15「あなたは自分が将来どんな職業につき、どんな人になりたいか、すでに心の中で決めていますか。」の結果を図 9 に示す。土木建築において、自分の未来像を描けている学生の割合が 10 年前よりさ

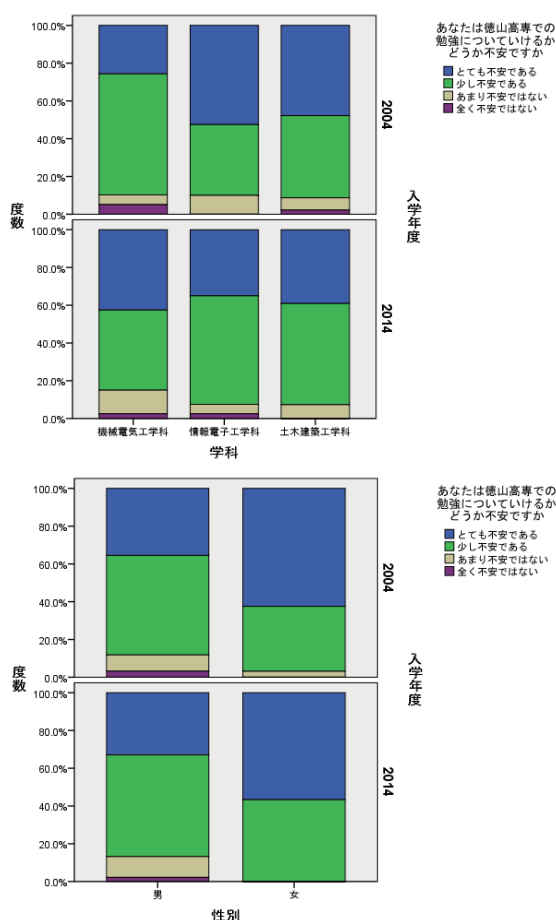


図7 勉強への不安

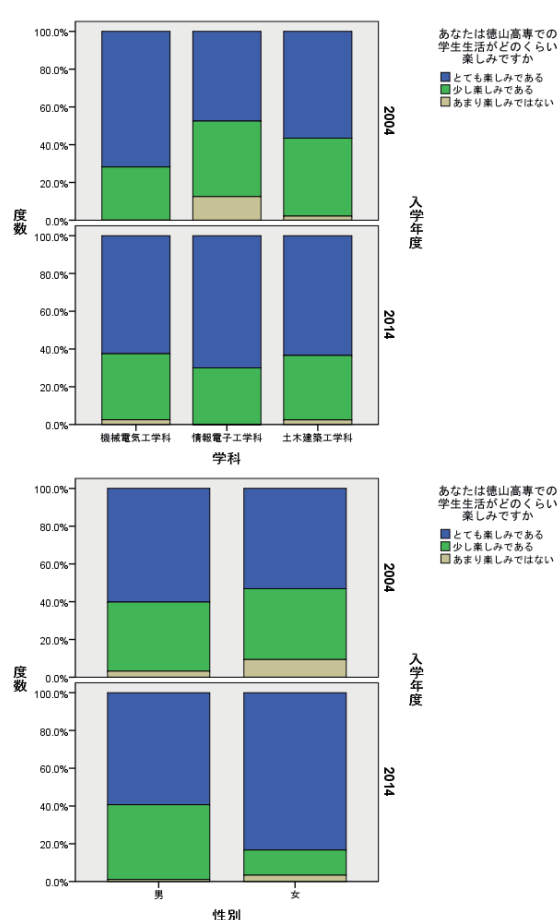


図8 学生生活への期待

らに高くなった。一方、情報電子はその割合が後退した。

問19「あなたはある程度親しくつき合っている異性の友人がいますか。」の結果を図10に示す。男女別にみると、女子において、10年前より交際している割合が高くなっている。

問6「あなたが徳山高専に入学した動機は何ですか、次の該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。」の結果を図11に示す。「いいところに就職できる」が一番多い理由であり、「自分の志望に合っている」が次に多い理由である。中学生へのPRはこの2つに絞ってより良いプレゼンや体験授業を行えばよい。入学動機として主な項目は10年前とあまり変わらないが、「自由な校風だから」については10年前より後退している。

問9「あなたが徳山高専に入学した目的は何ですか、次の該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。」の結果を図12に示す。入学の目的について、主な項目は10年前と変わりはないが、教養を高めるためと答えた割合は大きくなった。

問22「学生相談室で相談できるとしたら、あなたは次のどのような内容について相談してみたいですか。該当するものすべての記号を○で囲んで下さい。」の結果を図13に示す。進学について関心は減少したものの、勉強と就職についての関心が依然と大きい。

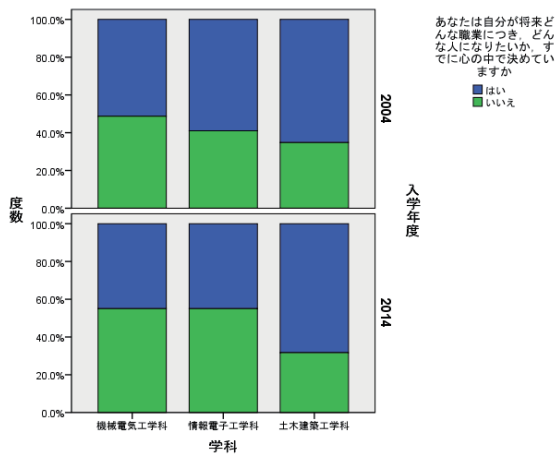


図 9 自分の職業や将来像

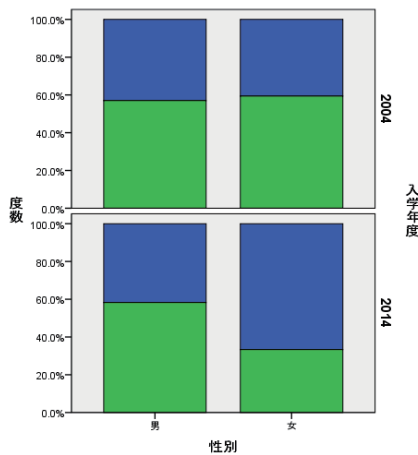


図 10 異性との交際

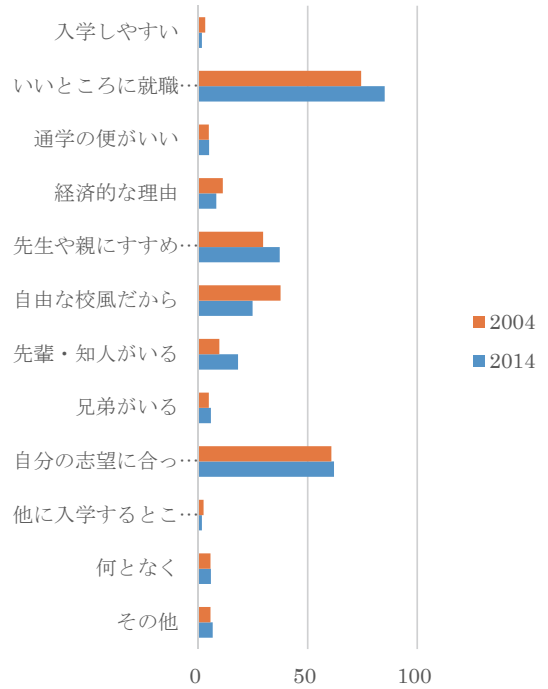


図 11 入学動機

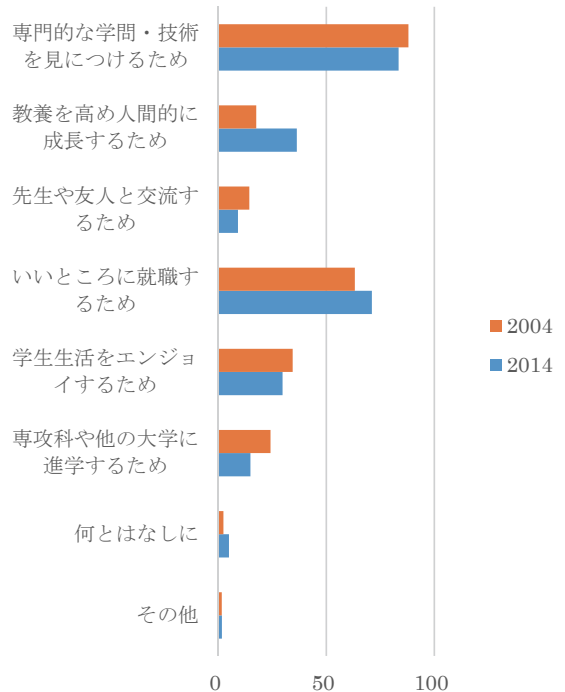


図 12 入学の目的

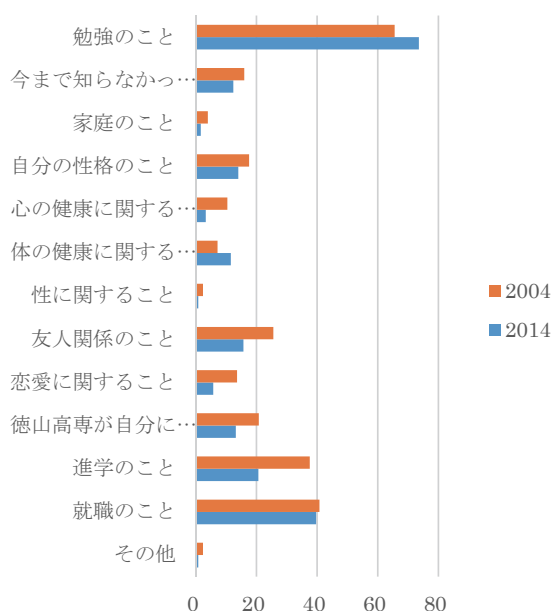


図 13 相談してみたいこと

文献

- 1) 鳴澤:新入生の実態調査, 東京都立大学学生相談室レポート, 9, PP. 6-42 (1980)
- 2) 国重, 佐々木:新入生アンケートを活用した入学時適応援助の方策について, 論文集「高専教育」, 第25号, PP. 455-460 (2002)
- 3) 佐々木, 国重:高専における学生相談の具体的活用策——心理検査を利用したキャリア・ガイダンスの試み——, 論文集「高専教育」, 第25号, PP. 461-466 (2002)

4. まとめ

新入生アンケートを10年前の結果と比べた, 少子化による受験者数の減少という状況にもかかわらず, 新入生の学習意欲, 学生生活を楽しみにする割合, 入学についての満足感は上昇し, 好ましい状態といえる。

学科別にみると, 機械電気は学習に対する不安が少し増加しているが, 他の回答結果は好ましい傾向を維持している。情報電子において, 競争率の減少による学習意欲等への影響は見られない。入学した学生の学習意欲の維持に留意が必要である。土木建築は10年前と比べほぼすべての面で好ましい状態に変化している。PR活動が功を奏している。

情報電子は志望の決定時期が比較的遅いこと, 入学動機の「自分の志望に合っている」の割合が他学科に比べて低いことなどの特徴がある。情報電子の志願者を増加させるためには, 小中学校に向けた体験授業などのPR活動を充実させてはどうだろうか。

山口県周南市久米地区における 石積み文化について

橋本 堅一^{*1} 谷本 圭司^{*2}

Masonry Culture in The Kume District, Shunan City, Yamaguchi Prefecture

Ken-ichi HASHIMOTO ^{*1} and Keiji TANIMOTO ^{*2}

Abstract

The use of rock is seen all over Japan, and the styles of the uses of rocks differ greatly from place to place. From ancient times, rocks have been used for implementing walls, wells, bridges, etc. The structure made with rock in the Kume District, Shunan City, Yamaguchi Prefecture is a stone wall for the maintenance of the flat area, for the most part. However, there are many structures created by masonry, even within this narrow district. In this study, the characteristics of masonry in this district are investigated. As a result, it becomes clear that the rocks used for masonry in this district are metamorphic rocks, and the masonry construction method is “Nozura-zumi,” or stacking natural stones as they are.

Key Words : stone structure, masonry, metamorphic rocks, Nozura-zumi

1 はじめに

石材の使用は石斧などの石器に限らず多岐にわたる。たとえば、紀元前に作られたエジプトのピラミッドは、巨大な石灰岩を加工して積み上げたものであるし、15世紀のインカ帝国の遺跡マチュピチュは住居や段々畑が花崗岩で精密に積み上げられている。日本でも加藤清正が手掛けた熊本城の城に侵入しようとした敵の武者を返してしまうことから「武者返し（むしやがえし）」という異名をもつ石垣は精巧で著名である。写真1は山口県光市石城山の神籠石（こうごいし）である。この神籠石は7世紀ぐらいに築城された山城の一部であるとされており、花崗岩を使用している。このように身近なところにも、国指定史跡に指定される古い石積みが存在する。

本研究では、山口県周南市久米地区に限って、石積み構造について考察する。しかしこの狭い地域に限っ



写真1 山口県光市石城山の神籠石

ても、主に平地確保のための手段であるが多くの石積み構造が存在する。論文では、まず、多岐にわたる岩石の利用例を分類し、山口県における岩石の分布を考察したうえで、使われる可能性のある岩石を推定して、

^{*1} 土木建築工学科

^{*2} 一般科目（国語）

久米地区の石積み構造の特徴について検討していく。

2 岩石の利用について

古くは石器時代という言葉があるように石材を用いて道具や武器を作り、活用しており、遺跡より多くの石器が遺物として出土している。最も利用例が多いのが宅地造成や棚田のような平地確保のための石垣であろう。棚田は景観としても魅力を持ち、全国各地で保存活動が展開されており、積極的に石積みの修復がプロジェクトとして行われている事例もある¹⁾。また耐久性も数値解析等で確認されており²³⁾、今後の利用の再認識も提案されている⁴⁾。さらに棚田は世界的にも多くみられ、中華人民共和国の雲南省にある棚田は、世界最大ともいわれ、この地域は2013年に紅河哈尼棚田群の文化的景観としてユネスコの世界遺産（文化遺産）に登録されている。

城の石垣は敵兵が石垣をよじ登り城内に突入するのを防ぐためであるとか城主の権力や勢力を誇示するためといわれているが、世界に誇れる構造物である。特に大阪城は豊臣大阪城の上に土をかぶせて徳川大阪城として築かれたものであり、巨石を用いた一連の石垣は圧巻で多くの重要文化財で構成されている。最近人気の高い竹田城は石垣だけの構造であるが、城下から遥か高く見上げる山の頂に位置し、しばしば近くの川の川霧により霞むことから、天空の城や日本のマチュピチュとも呼ばれている。また、その石積み構造は制振構造になっているともいわれている⁵⁾。



写真2 防府市浜方の枡築欄干橋

写真2は防府市に架かる枡築欄干橋である。山口県は石剣橋の多い地域として知られているが、この石橋は明和年間（1764—1772）に築かれたもので、花崗岩でできており、4、5トンの荷重に耐えられたものと推測できる。写真3は同じ防府市にある釜屋煙突すなわち、鹹水（濃い塩水）を煮詰めて製塩する釜屋の煙突



写真3 防府市塩田記念産業公園内の釜屋煙突

で、外部は釜石の石で270段ほど積み重ね、内部は自然石を加工したものを漆喰で固めて12.45mの頂部まで積み上げた二重構造になっている。

その他にも井戸、一里塚などの指標や記念碑、石畳、防波堤、墓石など使用例を挙げればきりがなく、古くから人類の生活に大きな貢献をしている。

3 山口県における岩石の分布と岩石の強度

岩石の分布は大別すれば、火山岩、堆積岩、変成岩に分類される。地質学的には山口県は西南日本内帯に位置し、古生代シルル紀（約4億3千万年前）から新生代第四紀完新世（現在）に至るいろいろな地質時代につくられたさまざまな種類の火成岩、堆積岩および変成岩からなり、それらが複雑にからみあった地質と地質構造を形成している。このような山口県を構成する地質は、種類が豊富であるだけでなく、日本列島の形成とその発達史を解明するうえで、重要な役割を果たしているものも多い。

山口県の地質図を図1に示す⁶⁾。山口県は13種類の地質単元にまとめることができ、分布面積比は中生代深成岩が22.7%、中生代火山岩が23.5%で面積がほぼ等しく、大半を占めている。中世代深成岩は白亜紀後期の広島花崗岩類（花崗岩を主とし、花崗閃緑岩、石英閃緑岩、閃緑岩などを伴う）と領家花崗岩類（花崗岩と花崗閃緑岩）からなる。前者は県下全域に散在するが、後者は周防地域の南東部（柳井—大島地域）にしか産出しない。

周防地域（県東部地域）では、北から南へ、古生代付加型堆積岩からなるペルム系錦層群（粘板岩～頁岩、砂岩、酸性凝灰岩）と広域変成帯をなす中生代高圧型変成岩（周防変成岩＝都濃断層：泥質片岩、砂質片岩、塩基性片岩、蛇紋岩など）、さらに中世代付加型堆積岩としてのジュラ系玖珂層群（礫質泥岩、砂岩、層状チャート）とその変成部の中世代低圧型変成岩（領家

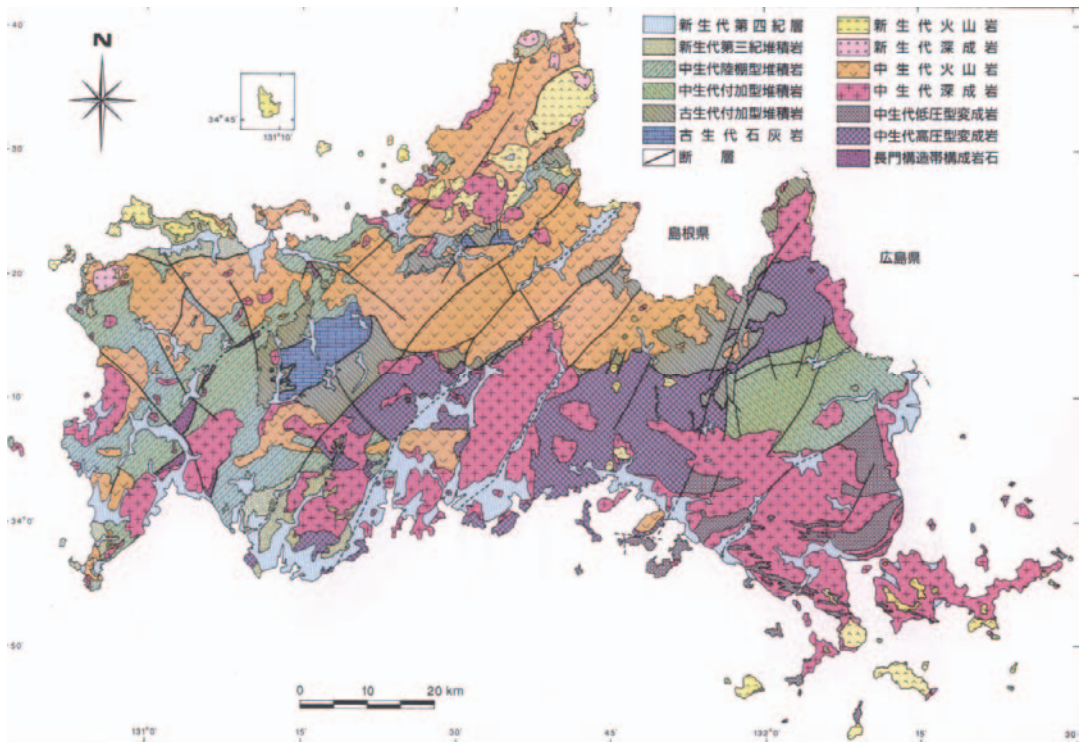




写真4 徳山東IC北側（落合）の旧棚田
工されている。耐久性としては十分なものを残しており、再利用を検討すべきである。写真5は平原で山陽自動車道の北に位置する部分の棚田である。一部モル



写真5 平原奥の棚田

タルで石間が埋められている部分が認められ、前の石垣は花崗岩で補修されている。前記の石垣ほど石間が詰まっておらず、石垣の強度としては不十分であるため、モルタルが施されたり、成型が比較的容易な花崗岩で補修したものと考えられる。頁岩などの堆積岩も見られ、別の場所から取り出して、何度が補修されたようである。写真6はとおの山麓の夜泣き石近くの石



写真6 夜泣き石近くの石垣

垣である。水田として使用されていたものと考えられるが、石垣の上平面には杉の木が植林されており、その樹齢も20年以上と考えられる。石垣は「孕み」とい

う膨らみに対処するため、うまく「そり」が加えられており、積み石にはコケらしきものが覆っている。岩種は泥質片岩、砂質片岩などの変成岩と考えられるが、右端には隅角部が存在しており「凌ぎ積み」でうまく積み上げられている。写真7は鑄冶谷から耳取トンネルあたりに降りてくる道の途中にある石垣である。この道は地図によっては明記されているものもあるが、実際に通ってみると道とは認識できない部分がある。途中、堤が数カ所あり、せせらぎも存在する。



写真7 鑄冶谷の南方に存在する石垣の跡

夜泣き石近くの石垣に似た状態である。この現在使われていない道沿いには、確認できただけで、7～8カ所このような水田跡が確認され、戦前までは盛んに稲作がおこなわれていたものと推測される。写真8は平成26年3月14日の伊予灘地震で崩壊した都叶の水田の石



写真8 都叶の小川沿いの水田の石垣

垣である。小川から2m近く積み上げられているが、石の大きさにかかなりのばらつきがある。小さな石が積み上げられた箇所が崩壊して、それを積み直して、コンクリートブロックとモルタルで補修は完了しているようである。積み上げ直された部分は少々勾配を持たせており、再度崩壊することを避けているようである。全体的に平原奥の石垣と同様に石間に空隙が目立ち、耐久性としては、崩壊が発生していることから分かるように強いとは言いがたい。写真9は徳山高専の裏を落合に向けて下ったところに、平成26年の春に新たに



写真9 徳山高専裏落合の石垣

積み上げられた石垣である。近くで石は調達されたりしく、積み石自体はすべて小ぶりなものが多く、積み上げ途中の作業を見学したが、ハンマーで調整しながら積み上げられており、石工技術が継承されているように感じた。作られた平地が何に利用されるかは定かでないが、スロープなども設けられており、多くの石から積み石を選ぶことができない事情を考えれば、うまく仕上げられている。

ここで取り上げた石垣は周南市久米地区に存在する石垣のほんの一部に過ぎない。今回歩いて回った領域に限っても莫大な量の石積みが存在する。こういった石垣はわれわれの意識の中に溶け込み、身近な地域に莫大な量の石積みが存在することさえ、忘れ去られている。この地域に限ってもさらに石積み構造の特徴、石積み技術、用いられる石種等をさらに考察することも重要であろう。なお、今回取り上げた石積みのおおよその位置は図2の地図に ⊗ で示している。

5 おわりに

本論文では、コンクリートが普及したこれからも岩石を有効に利用するという観点から、周南市の久米地区という狭い範囲で石積みの特徴を考察した。城の石垣となると、web サイトでも、幅広く、詳しく研究されている。しかし石積みを経営的に扱ったものはなく、書籍は存在しても古く、その数も少ない^{10)~13)}。このあ

たりで石積み技術についても一度まとめてみる必要がある。これまで人類を支えてきた石材に対して、最近では墓石の不法投棄という問題も生じている。さまざまな視野から石材の利用を考えてみる必要がある。

文献

- 1) 真田純子：棚田，段畑の石積み（2014）
- 2) 関文夫他4名：石積み擁壁の道路構造物への適用に関する(1)～石積み（穴太衆積み）の構造特性と耐震履歴について～，土木学会第58回年次講演会概要集，IV-322，PP.641-642（2003）
- 3) 亀村勝美他4名：石積み擁壁の道路構造物への適用に関する(1)～不連続変形法（DDA）による耐震評価とその適用性～，土木学会第58回年次講演会概要集，IV-322，PP.645-646（2003）
- 4) 池谷清次他3名：石積み擁壁の道路構造物への適用に対する課題と展望，土木計画学研究講演集，No.29，CD-ROM(2004)
- 5) テレビ朝日，奇跡の地球物語：天空の城 竹田城～時空を越えた建築技術～，2013年10月6日放映
- 6) 山口地学会編：山口県の岩石図鑑，第一学習社，P206（1991）
- 7) 大坂昌春，本館静吾：岩石の圧縮強度と引張強度について，北海道開発局土木試験所月報，No.197，PP.1-7（1968）
- 8) 田辺英夫：岩石の成因と力学特性，建設の施工企画「CMI 報告」，PP.94-97（2013）
- 9) 長秋雄：花崗岩の強さ・硬さ・波の速さ一石の目一，地質ニュース，No.643，PP.38-39(2008)
- 10) 大久保森造，大久保森一：石積みの秘法とその解説，理工図書，1958
- 11) 田端実夫：石垣，法政大学出版，(1975)
- 12) 窪田祐：石垣と石積み，学芸出版社，(1980)
- 13) 北垣總一郎：石垣普請，法政大学出版社，(1987)

(2014.09.22 受理)

周南市内の楼拝殿に関する研究

中川 明子^{*1} 大來 美咲^{*2}

A Study on *Roh-haidens* in Shunan City

Akiko NAKAGAWA ^{*1}, Misaki OOKI

Abstract

It has been said that the Roh-Haiden in the Yamaguchi Prefecture is rare across Japan. There are 11 Roh-Haidens in Shunan City, according to Yamaguchiken-Jinja-Shi, but about half have not been studied. Therefore, this study aimed to clarify the characteristics of all Roh-Haidens in Shunan City. At first, we measured these Roh-Haidens and made their plans; at the same time, we took their photos. We investigated their characteristics using their plans, photos, and old books. The results of this study are the following: most are located in Mae-Yamashiro-Saiban, and it is estimated that this style was established in the latter half of the 19th century in this region. The size and the structure types of the Roh-Haidens are related.

Key Words : *roh-haiden, roh-dukuri, ro-dzukuri-hu, Shunan-city*

1. はじめに

山口県下には、いわゆる、『楼拝殿』と呼ばれる形式の拝殿の存在が以前から指摘されており、これまでに沢村、内田、藤沢、澤田などの論考が既にある。

内田は、楼拝殿の特徴を次のように述べている。『山口県の神社建築の中には「楼拝殿」と呼ばれる社殿建築があり、これは楼門の両側に翼廊を付け、楼門と翼廊ともに板床を張ったものである。本来通路空間である楼門に板床を張り、拝殿同様に使用するということは、他の地方には無い珍しい形式である』、としている¹⁾。

沢村は、この形を山口県独特のものとし、その成立を地方武士たちが神社社頭の儀式に参加するため、楼門にまで板床を張ったとしている²⁾。

藤沢は文献資料を基に、神社祭祀施設としての楼拝殿の機能に触れ、その成立には防府天満宮の造営が大きく関与しているとし³⁾、澤田は、楼拝殿の構造細部、意匠細部の観点から分析を行い、楼拝殿の特徴を明らかにし、『楼造』と、『楼造風』の二種に分けられることを示している⁴⁾。

上記の研究から、周南市内には6件の楼拝殿があることが判明した。しかし、実際には小規模の神社までは網羅できておらず、山口県神社誌に掲載されている各神社の社殿写真を手がかりに楼拝殿を持つ神社を調べたところ、『楼拝殿』は、11件存在することが明らかになった⁵⁾。

2. 研究目的

このため、本稿では、調査域を周南市内に限定し、小規模な神社まで含めて、『楼拝殿』について、平面規模や構造的特徴について再考し、周南市下の楼拝殿の特徴について明らかにすることを目的とする。

同時に、現在では『楼拝殿』という呼び方が一般的になっているが、これは、内田氏によれば、正式な建築の専門用語ではないとされている⁶⁾と同時に、同様の形のものが、1979年発行の「山口県の近世社寺建築」の中では『楼造拝殿』とされている⁷⁾。また、これ以降の論文では『楼拝殿』と呼び名が変わっていることから、そもそも『楼拝殿』という呼び名が正しいのか、まだ議論の余地があるように思われる。そのため、この点に関しても、『楼拝殿』の機能面及び、構造面から再定義を試みることを目的とする。

3. 研究方法

本研究は以下の手順で行った。

- (1) 山口県神社誌掲載社殿写真を手がかりに、楼拝殿造の拝殿を抽出
- (2) 11件の楼拝殿を現地に写真撮影
- (3) 聞き取り調査および、実測調査を実施し、JW_CADにて図化
- (4) 関連文献データ、実測データを基に、各神社の平面規模の検討

^{*1} 土木建築工学科

^{*2} 熊本大学工学部建築学科

- (5) 関連文献データ、撮影写真を基に、各神社の構造面の特徴について検討
 (6) 周南市内の様拝殿造の特徴を明らかにする

二所山田神社：2012年11月18日、
 2012年12月23日
 菅原神社：2012年11月18日
 寶作神社：2012年12月26日

遠石八幡宮については、中川研究室が山口県教育委員会からの依頼で2010年に実施した、山口県近代和風建築調査結果を活用した。

4. 実測調査および写真撮影

神社の平面規模を知るために実測調査を実施した。実測に使用した道具は、巻尺、曲尺、方眼用紙、コンベックス、筆記用具である。また、実測に併せ、各神社の社殿の写真撮影を行った。

- (1) 実測方法
 ① 柱と柱間の絵を大まかに方眼用紙に描く
 ② 巻尺、曲尺を使用して実測を行い、4色ボールペンをういて実測値を記入
- (2) 実測期間
 (2012年10月29日～2013年1月6日)
 鷹飛原八幡宮：2012年12月9日
 熊野神社：2012年11月10日
 氷見神社：2012年12月22日
 三島神社：2012年11月10日
 河内佐賀居神社：2013年1月6日
 飛龍八幡宮：2012年10月29日、
 2012年12月14日
 河内神社：2012年12月26日

5. 様拝殿の建築年代と分布

11件の様拝殿について、所在地、建築時期、山口県神社誌における様造部分の名称をまとめたものが表-1である。このうち、河内・佐賀居神社は文献資料や聞き取り調査からも建築時期が分からなかった。また氷見神社に関しては、山口県神社誌によると、社殿が最後に再建されたのは承応2年(1653)となっている⁸⁾が、現在の社殿の状況からみて、承応2年に建てられたままのものとは考えにくい。ただ、聞き取り調査から、式年造替の制により、定期的な補修が現在も行われていることが明らかになったため、少なくとも社殿の形式は承応2年のものと判断する。

表-1 周南市の様拝殿一覧⁹⁾

No.	名称	所在地	建築時期	社殿名称 山口県神社誌	出展		既往研究 での言及の有無	
					山口県神社誌編纂委員会編：山口県神社誌、山口県神社庁、1988 ①	山口県の近世社寺建築、山口県教育委員会、1979 ②	藤沢論文③	澤田論文④
1	鷹飛原八幡宮 (拝殿)	周南市大字夜市五五六番地	文化13年 (1816)	蝶屋	pp.399-400		-	△
2	二所山田神社 (拝殿)	周南市大字鹿野上二八九四番地	19世紀初頃	拝殿	pp.434-435	p.79	○	☆
3	飛龍八幡宮 (拝殿)	周南市大字須々万本郷三一二番地	天保元年 (1830)	長庁	pp.375-377	p.167	○	△
4	三島神社 (拝殿)	周南市大字鹿野中一二二七番地	19世紀中頃	拝殿	pp.444-445	p.79	○	☆
5	菅原神社 (拝殿)	周南市大字鹿野上二八九四番地	19世紀中頃	拝殿	pp.434-435	p.79	○	☆
6	熊野神社(拝殿)	周南市大字鹿野町大字巢山一五九二番地	19世紀中頃	拝殿	p.449	p.79	-	☆
7	河内神社	周南市大字米光一六三番地の一	弘化年間 (1844)	拝殿	p.430		-	-
8	遠石八幡宮	周南市遠石二丁目三番一号	昭和15年 (1940)	拝殿	pp.364-365		-	-
9	寶作神社	周南市大字鹿野上一二五二番地	明治13年 (1880)	拝殿	p.438		-	-
10	氷見神社	周南市大字須万四二七一番地	承応2年 (1653)	拝殿	pp.440-441		-	-
11	河内・佐賀居神社	周南市大字鹿野上三一九番地	不詳	拝殿	p.436		-	-

※ △：様造 ☆：様造風

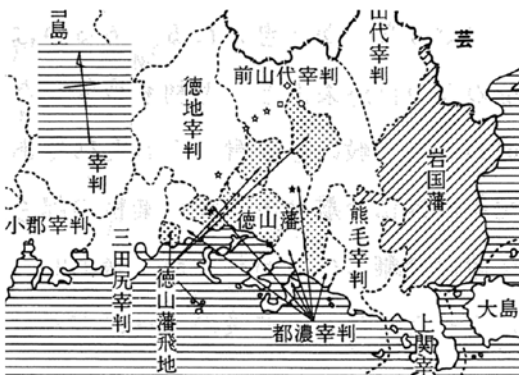


図-1 周南市内における楼拝殿分布図

(1) 建築年代

建築時期でみると、江戸後期～末期に建てられた神社は、鷹飛原八幡宮、二所山田神社、飛龍八幡宮、三島神社、菅原神社、熊野神社、河内神社の7件、明治初期に建てられた神社は、寶作神社の1件、昭和期に遠石八幡宮1件が建てられている。

幾つかの神社において、使用材料や外観から判断して、建造後、現在までに、幾度かの修繕や改築などの手が加えられたことが推測された。しかし、その間においても楼拝殿の形式は伝承され、現在に至っていると思われる。このことと、文献調査と二所山田神社の宮司宮本公胤氏に対する聞き取り調査から、周南市内の楼拝殿の現

社殿は、江戸後期頃から明治初期頃には既に楼拝殿の形式をしていたと言って良い。

(2) 楼拝殿の分布

内田は、『楼拝殿造を一種の大内文化の特異な遺産としてよいであろう』としている¹⁰⁾。このように、楼拝殿の建設と歴史的行政区域との間の因果関係が考えられる。そこで、大内の時代よりは後代に下るものの、江戸時代における行政区について現住所の字を基に防長寺社由来¹¹⁾にて確認したところ、周南市内の楼拝殿は旧徳山藩に3件、旧徳地宰判に2件、旧都濃宰判に1件、旧前山代宰判に5件あり、旧前山代宰判に最も多く分布していることが分かった（菅原神社は二所山田神社の境内神社であるため、同一の場所に分布）。この状況を視覚的に表現したものが図-1である。この図は、googlemapのプロット機能を利用し、各神社の位置を地図上にプロットした後、その地図と山口県近世社寺建築に掲載されている旧行政区を示す地図¹²⁾をAdobe イラストレーターCS5を利用して重ねたものである。

また、山口県文書館所蔵の、周防長門大絵図（元禄周防国絵図）¹³⁾を参照すると、この旧前山代宰判内の楼拝殿は、旧徳地宰判から旧前山代宰判に入る街道沿いに立地していると言える。

表-2 楼門名称と機能についての分類

名称：蝶屋、長庁	名称：拝殿
 鷹飛原八幡宮	 三島神社
 写真-1	 菅原神社
 飛龍八幡宮	 写真-4
 写真-2	 熊野神社
	 写真-5
	 河内神社
	 写真-6
	 寶作神社
	 写真-7
	 遠石八幡宮
	 写真-8
	 二所山田神社
	 写真-9
	 水見神社
	 写真-10
	 河内佐賀居神社
	 写真-11

6. 関連語句

表-2 より、山口縣神社誌において楼拝殿の特徴である、楼造あるいは、楼造風とされる建屋の機能を考察していく。そのために、先ず、楼拝殿の機能を述べていく上で必要となる語句を建築大辞典の定義において整理する。

(1) 語句

a) 拝殿

神社において祭礼に際して祭員が着座したり拝礼したりするための殿舎。本殿前に独立して建てられる場合は入母屋造りまたは切妻造りの四方吹放ちで、本殿に接して建てられる場合は1棟の場合と2棟の場合とがある。平面の大部分は長方形で、正中線に対して横に置くのが普通で、まれに縦に置く¹⁴⁾。

b) 楼門

① 社寺に使われる楼形式の門「二重門」ともいう。2階造りで下層は屋根なし、上層のみに入母屋造り。

② 瀬戸内地方の民家で、主屋と別棟の納屋とを連結している渡り廊下部分。屋根付きで下部は吹放ちになっている¹⁵⁾。

c) 釣屋（蝶屋・長庁）

建築大辞典に蝶屋、長庁の記載は無いが、これらの用語は、それぞれの神社において、慣用的にまたは切妻造りの屋根を架け、2階には高欄付きの縁をめぐらし、これを腰組で支える。屋根材量は任意。1間1戸、3間1戸、3間3戸を原則とする¹⁶⁾。『釣屋』が転じて蝶屋・長庁となったものと考えられる。

d) 向拝

社殿や仏堂の正面に差し出された構造物。参詣人の礼拝のためのもの¹⁷⁾。

e) 割拝殿

平安末期ごろ現れたと見られる拝殿形式の一つ。正中線に対して横長の平面の中央部に土間をとって通路としたもの。一つは浄土寺八幡社のように馬道を取り。一つは石上神宮摂社のように中門、翼廊が結合して生まれたと考えられる¹⁸⁾。

f) 翼廊

教会堂建築において、身廊に直交する廊が設けられて十字形の平面をかたどったときの腕の部分¹⁹⁾。

g) 楼造り

社寺、殿舎、城郭など伝統的な建築において2階建ての構造にすること、またはその建物²⁰⁾。

h) 幣殿

神社において本殿と拝殿との間にあって、参拝者が幣帛を供進するための建物。祝詞の奏上、拝殿の上座としても利用されることがある²¹⁾。

7. 楼拝殿の機能

楼拝殿の機能を考察する際、山口縣神社誌による建物名称が異なっていることに注目する(表-1参照)。表-2は名称を拝殿としているものと、それ以外に分けたものである。この名称の違いが機能と関係があるかを検討する。

(1) 拝殿としていないもの

a) 鷹飛原八幡宮（蝶屋）

楼門親柱4本の内側にある部分、楼の壇と呼ばれる部分には、約30cmの縁板を廻しており(表-2中の写真-1)、この奥に拝殿がある。両側の蝶屋部分には畳が敷いてあるが、この畳は、祭りなどの際、人々が着座できるよう敷いてあるものと推測される。よって拝殿としての機能もあると考えられる。

b) 飛龍八幡宮（長庁）

宮司への聞き取り調査により、長庁とされる部分の板床は明治以降に貼られたものであり、これ以前の楼の壇部分には板床は貼られておらず、割拝殿形式であったことが分かった。現在は、この建物で狂言や演芸が行われたり、祭りの際の観客席として使用されたりしている(表-2中の写真-2)。よって拝殿としての機能もあると言える。

(2) 拝殿としているもの

拝殿として現在も使用されているのは、遠石八幡宮である。参拝者はここで祈祷を受けることができる。また、宮司への聞き取り調査から、二所山田神社も普段は山車が置いてあるが、祭りの際は、人々が着座し祭りを行っている。

その他、三島神社、菅原神社、熊野神社、河内神社、寶作神社、氷見神社、河内・佐賀居神社に関しては、現在日常的に神事が行われている痕跡が同えず、その使われ方は分からないが、平面規模から考えて、ここ以外に大勢の人数を収容できるスペースはなく、この場所が拝殿としての役を担っていると考えられる。

上記より、神社によって名称は異なるものの、全ての神

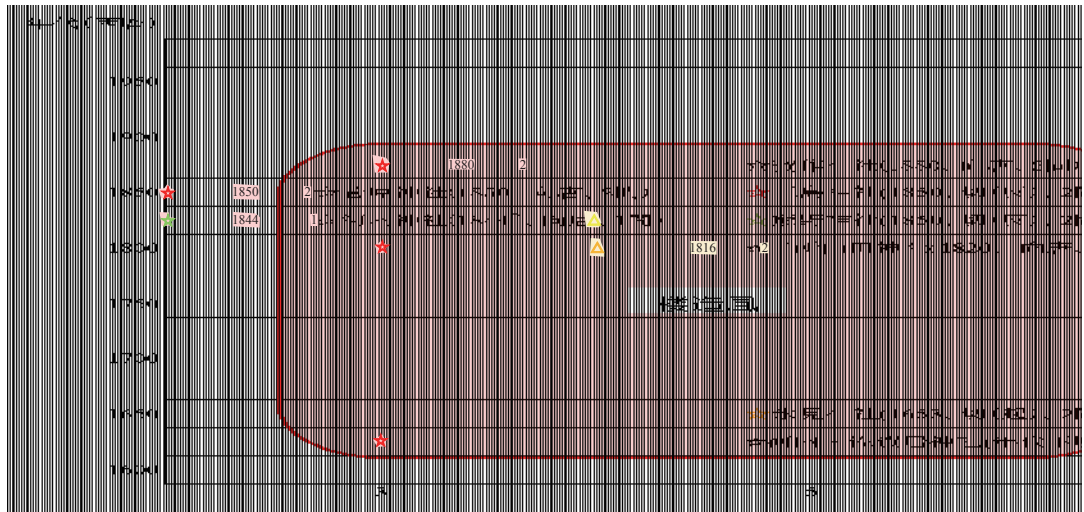


図-3 楼拝殿間口（戸数）と構造、立地について

社において、「楼拝殿」は、拝殿の役を担っている、と言える。

8. 楼拝殿の構造

楼門（拝殿、蝶屋、長庁）部分の桁行の間数と建築年代、所在地の江戸時代の行政区域を図示したのが図-3 である。

(1) 桁行・梁間

各神社で釣屋（蝶屋、長庁）までを含めた規模を比較すると桁行・梁間の間数が異なっている。間口3間・梁間1間の形式は河内神社の1間、間口3間・梁間2間の形式は菅原神社の1件、間口5間・梁間1間の形式は河内・佐賀居神社の1件、間口5間・梁間2間の形式は二所山田神社、三島神社、熊野神社、寶作神社、氷見神社の5件、間口7間・梁間2間の形式は鷹飛原八幡宮と飛龍八幡宮の2件、間口9間・梁間2間の形式は遠石八幡宮の1件であった。したがって、周南市には間口5間・梁間2間の形式の楼拝殿が最も多いことが分かった。

(2) 平面・正面規模

図-3より、八幡宮は神社に比べ正面間数が多く、表-2内の平面図で比較すると、平面規模が大きいことが分かる。ただ、鷹飛原八幡宮と飛龍八幡宮では拝殿とされる場所は別であり、楼門部分は蝶屋や長庁と呼称が異なるものの、ここでは、同時に扱うこととする。

正面規模で最長なのが飛龍八幡宮の約15mで、最小のものが熊野神社の約7mであった。

(3) 楼門部分の構造

楼門部分は全て1間1戸の楼門形式で、柱は総円柱、楼の壇は、大きさは異なるが、ほぼ正方形である。

ここで楼門部分の形式に関し、澤田は論文の中で、楼門部分を両翼廊よりは高くするものの上階は設けず、天井の高い吹抜けとした形式を『楼造風』とし、これとは逆に、上階は四周に高欄を付し、切目縁を取廻すものを『楼造』としている²⁹⁾。つまり、高欄の有無により、楼造風と楼造の2つに分けることができる。これについては図-3にて確認出来る。この図より、周南市内の楼拝殿においては、八幡宮群は高欄を付しており、『楼造』と言える。一方、神社群には高欄は無く、澤田の言い方であれば、『楼造風』と言える。

(4) 向拝

楼門にあつて向拝が付加される初見は、一遍聖絵の石清水八幡宮、周防では松崎天神縁起絵巻の松崎神社（現在の防府天満宮）である。2社のいずれも片流れ形式の向拝であった。向拝の種類はこの他に、向唐破風造、切妻造があり、合計で3種類ある²⁹⁾。

周南市の楼拝殿の向拝は、遠石八幡宮の3間の向拝を除くと、全ての向拝が1間である。

その種類は、向唐破風造が、鷹飛原八幡宮（写真-1）、飛龍八幡宮（写真-2）、菅原神社（写真-4）、河内神社（写真-6）、寶作神社（写真-7）、二所山田神社（写真-9）、河内・佐賀居神社（写真-11）の7件である。次に切妻造のものが、三島神社（写真-3）、熊野神社（写真-5）、氷見神社（写真-10）の3件であった。遠石八幡宮は片流れ形式である（写真-8）。

以上より、向拝が3間片流れ形式の遠石八幡宮は、他の神社とは特異な形式であることが分かる。また、床仕上げについては、遠石八幡宮以外の神社は全て板張りであるのに対し、遠石八幡宮は擬石板を四半敷きにしており、土足のまま入れるようになっており、この点も他の神社とは異なる。

遠石八幡宮の現社殿は昭和14年(1939)に再建されたもので、この設計には角南隆が携わっている²⁴⁾。角南の他の神社設計の事例から、角南は遠石八幡宮の設計に際しても、多くの参拝者を収容できるよう、機能性に配慮した可能性が考えられる²⁵⁾。その結果、遠石八幡宮の楼拝殿は、『楼拝殿』の外観は維持しながらも、他の楼拝殿とは違う、角南の独自の特殊な形の楼拝殿になっていると言える。

9. まとめ

本研究で周南市内の楼拝殿について、以下を明らかにした。

- ① 周南市内には11件の楼拝殿がある。
- ② 江戸後期頃から明治初期頃には既に楼拝殿の形式が確立している。
- ③ 前山代率判にもっとも多く分布している。
- ④ 楼門部分は全て1間1戸の楼門形式で、柱は総円柱、楼の壇部分の平面形は、大きさには差異があるがほぼ正方形である点は共通している。
- ⑤ 桁行5間・梁間2間の形式の楼拝殿が最も多く、約半数の5件である。
- ⑥ 構造的には八幡宮は楼造、神社は楼造風である。
- ⑦ 向拝は唐破風造1間の形式のものが最も多い。

上記の通り、周南市の楼拝殿の特徴を明らかにしたが、楼拝殿という呼称については、機能面や構造面から検討した結果、以下の様に考えられる。

機能面では、拝殿として使われていること推測できたが、構造面から考えると楼造風と楼造の2つに分けられる。このため、拝殿の上部構造が楼造の場合は『楼造拝殿』、一方、楼造風の場合は『楼造風拝殿』など、厳密な言い分けも考えられる。しかし、現状は、これらを厳密に区別せず、総称して楼拝殿と呼ぶことが一般的である。

10. 今後の課題

今回、周南市における楼拝殿の位置について建築当時の行政区分での分布状況を明らかにした。しかし、江戸時代山口県を統治していた萩本藩との関係性について触れ

ることができなかった。今後の研究で楼拝殿の分布と萩本藩と関係性について更に厳密な分析が望まれる。

将来的には山口県下の楼拝殿を網羅して分析を行う事も必要である。

【謝辞】

周南市内の神社の実測については、各方面の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

【註及び参考文献】

- 1) 内田伸、山口地方独特の神社建築〈楼拝殿造り〉、山口県 地方史研究 43 号、pp.1-8、1980
- 2) 沢村仁、山陰山陽の古寺、日本古寺美術全集、p.113、1982
- 3) 藤沢彰、山口地方の楼拝殿とその祭儀について日本建築学会計画系論文報告集(384)、pp.97-107、と1988
- 4) 澤田享、周防、長門、石見の楼拝殿の研究:楼拝殿の構造細部と細部意匠について、日本建築学会計画系論文集 (505)、pp.183-189、1998
- 5) 山口県神社誌編纂委員会、山口県神社誌、山口県神社庁、pp.364 - 452、1998
- 6) 内田伸：前掲書、p.113
- 7) 山口県教育委員会：山口県近世社寺建築、p.21、1979
- 8) 山口県神社誌編纂委員会、前掲書、pp.440-441
- 9) ①山口県神社誌編纂委員会：前掲書、pp.399-400、pp.434-435、pp.375-377、pp.444-445、pp.434-435、p.449、p.430、pp.364-365、p.438、pp.440-441、p.436、②山口県教育委員会：前掲書、p.79、p.167、③藤沢彰：前掲書、p.98、④澤田享：前掲書、p.184
- 10) 内田伸：前掲書、p.113
- 11) 山口県文書館編：防長寺社由来第一巻、第二巻、第七巻、『町名沿革一覽』、1982
- 12) 山口県教育委員会：前掲書、p.13、1979
- 13) 山口県立文書館蔵：周防長門大絵図(元禄周防国絵図)、請求番号58 絵図246-1
- 14) 彰国社編、建築大辞典、彰国社、p.1311、1993
- 15) 彰国社編：前掲書、p.1772
- 16) 彰国社編：前掲書、p.1107
- 17) 彰国社編：前掲書、p.545
- 18) 彰国社編：前掲書、p.1796
- 19) 彰国社編：前掲書、p.1700
- 20) 彰国社編：前掲書、p.1770
- 21) 彰国社編：前掲書、p.1499
- 22) 澤田享：前掲書、p.183、p.187
- 23) 澤田享：前掲書、p.187
- 24) 県社遠石八幡宮造営奉賛会編：縣社遠石八幡宮御造営記念、1942
- 25) 山口県教育委員会、山口県の近代和風建築、pp.217-219 (2014.9.5 受理)

層状結晶 $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ ($0 \leq x \leq 0.20$)の 合成と水素イオン交換生成物

大橋 正夫 *

Preparation of Layer Structured Crystal $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ ($0 \leq x \leq 0.20$) and Hydrogen Ion Exchange Products

Masao OHASHI *

Abstract

The layer-structured crystals of $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ ($0 \leq x \leq 0.20$) have been prepared in a solid-state reaction using Rb_2CO_3 , TiO_2 and Nb_2O_5 at 1100°C . At 900°C , the nonstoichiometric crystal of $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ ($x > 0$) was not prepared, whereas stoichiometric RbTiNbO_5 was obtained. Hydrogen ion exchange reactions of Rb^+ in the interlayer space of RbTiNbO_5 were studied in aqueous solutions. Two types of hydrogen ion exchange products were obtained from RbTiNbO_5 crystals prepared at 1100°C and 900°C . The former did not have interlayer water, but the latter did have interlayer water. The ion exchange products were characterized by atomic absorption analysis, XRD, and TG-DTA.

Key Words : layer structure, rubidium, titanium, niobium, hydrogen ion exchange

1. 緒言

我々はこれまでに、層状の結晶構造をもつ遷移金属酸素酸塩の合成と利用について研究を進めてきた。層状チタン酸塩については、4価のチタンイオン(Ti^{4+})が酸化物イオン O^{2-} に六配位されてできる TiO_6 八面体が³、稜を共有して連なることによりできるlepidocrocite ($\gamma\text{-FeOOH}$) 型構造をもつ一連の化合物について調べた。これらから誘導されるイオン交換生成物は、イオン伝導体、エレクトロクロミック表示素子およびリチウム二次電池正極材料などへの応用が可能であることを明らかにしてきた¹⁻²⁰⁾。また、チタン酸塩中の TiO_6 八面体の一部を、5価のニオブイオン (Nb^{5+}) を含む NbO_6 八面体に置き換えたと考えられることのできる、層状チタニウム酸塩である CsTiNbO_5 ^{21, 22)}, $\text{CsTi}_2\text{NbO}_7$ ²³⁾, $\text{Rb}_3\text{Ti}_5\text{NbO}_{14}$ ²⁴⁾ や、 NbO_6 八面体のみからできている層状ニオブ酸塩 $\text{Cs}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ^{25, 26)}、 TiO_6 八面体の一部を5価のタンタルイオン(Ta^{5+})を含む TaO_6 八面体に置き換えた構造の層状チタニウム酸塩

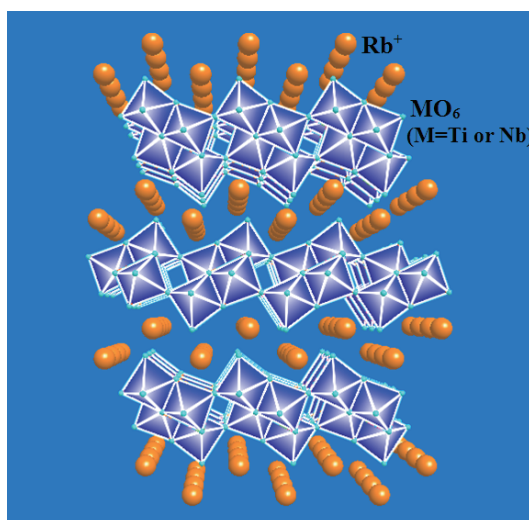


図1 RbTiNbO_5 の構造

* 一般科目（化学）

酸塩 RbTiTaO_5 ²⁷⁾について調べ、これら化合物から誘導される化合物も、また、リチウム二次電池正極材料への応用が可能であることを報告した。さらに、6価のモリブデンイオン(Mo^{6+})を含む MoO_6 八面体が稜や頂点を共有して層状構造をつくる層状モリブデン酸塩 $\text{Cs}_2\text{Mo}_3\text{O}_{16}$ および $\text{Cs}_2\text{Mo}_7\text{O}_{22}$ について調べ、イオン交換法を用いて、その関連化合物の合成に成功している^{28,29)}。

本研究では、比較的広い範囲の非化学量論組成をもつことが報告されている層状チタンニオブ酸塩である、 RbTiNbO_5 を取り上げた³⁰⁾。非化学量論組成をもつ遷移金属酸素酸塩は報告例が少ない。この化合物もまた、二次電池正極材料への応用が考えられる。この化合物の構造を図1に示す^{30,31)}。 TiO_6 および NbO_6 八面体が稜や頂点を共有してジグザグに連なって層を形成している。この Ti^{4+} 、 Nb^{5+} および O^{2-} によって構成される層が、積み重なるの単位の層となり、層状結晶を形作っている。個々の層は $[\text{M}_2\text{O}_5]^-$ ($\text{M}=\text{Ti}$ or Nb) と表すことができ、負に帯電している。この負電荷は、層と層の間(層間)に存在する1価のルビジウムイオン(Rb^+)の正電荷により補償され、電気的な中性を保っている。一般式が $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ と表すことができる非化学量論組成の化合物においては、この層間に存在する Rb^+ が組成式に対して1よりも少なくなり、その少なくなった正電荷を、 Ti^{4+} を少なくして Nb^{5+} を多くすることで補償する。

本研究では、まず、 1100°C で $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ の合成を試みた。その結果、従来の報告³¹⁾よりも広い範囲で非化学量論組成の化合物を得ることができた。その後、合成温度を 900°C に下げたところ、非化学量論組成の化合物は得ることができず、量論組成である $x=0$ の RbTiNbO_5 のみを得ることができた。ついで、 1100°C と 900°C において得られた2種の RbTiNbO_5 について、層間に存在するルビジウムイオンと水素イオン(H^+)とのイオン交換を試みた。その結果いずれも水素型のイオン交換試料が得られたが、 1100°C で合成した試料からの生成物はほとんど層間水を含まず、 900°C で合成した試料からの生成物は層間水を含むことが明らかとなった。得られた水素イオン交換生成物の組成と構造について調べた。

2. 実験

$\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ の合成では原料として、炭酸ルビジウム(Rb_2CO_3)、酸化チタン(TiO_2)および酸化ニオブ(V) (Nb_2O_5)を用いた。所定比の混合物を 900°C で20時間加熱後、粉砕混合した。これを再び 1100°C あるいは 900°C で20時間加熱して試料を得た。

H^+ のイオン交換は 0.5M H_2SO_4 溶液を用いて、室温で20時間反応させた。試料約2gに対して1Lの水溶

液を用いた。生成物はテフロンフィルターを用いて吸引ろ過し、イオン交換水で洗浄した。

試料中の Rb は原子吸光分光光度計(日立製作所製, ZA3300)を用いて蛍光分析により定量した。試料約0.05gを1mLのフッ化水素酸を含む2mol/L硫酸20mLに溶解後分析を行った。

試料の脱水過程を熱重量示差熱分析(TG-DTA)により調べた。測定にはRigaku製TG8121を用いた。昇温速度は $10^\circ\text{C}/\text{min}$ とし、 800°C まで加熱した。粉末X線回折測定(XRD)にはRigaku製Ultima IVを用いた。結晶子サイズと格子歪は、Rigaku製統合粉末X線回折ソフトウェアPDXL 2.1を用いた。

3. 結果と考察

3.1 $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ ($0 \leq x \leq 0.20$)の合成

1100°C で合成した化学量論組成($x=0$)の RbTiNbO_5 のXRDパターンを図2(a)に示す。XRDパターンは、斜方晶の単一相として指数付けすることができた。格子定数は $a=0.6471(2)\text{ nm}$, $b=0.3813(1)\text{ nm}$, $c=1.892(1)\text{ nm}$ であった。Rebbahら³⁰⁾は同じ合成温度の試料について、その格子定数を、 $a=0.6472\text{ nm}$, $b=0.3814\text{ nm}$, $c=1.8943\text{ nm}$ と報告しており、本研究で得られた値と非常に近い。彼らの報告によれば、この化合物は $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ の組成式で表したとき、 $0 \leq x \leq 0.15$ の範囲で同じ層構造の化合物が得られると報告している。本研究において、同じ合成温度で同様の化合物を合成したところ、この組成範囲よりも広い範囲である $0 \leq x \leq 0.20$ で単一相の結晶が得られることが分かった。 $\text{Rb}_{0.80}\text{Ti}_{0.80}\text{Nb}_{1.20}\text{O}_5$ ($x=0.20$)のRDパターンを図2(b)に示す。試料の格子定数は $a=0.6508(7)\text{ nm}$, $b=0.3797(4)\text{ nm}$, $c=1.901(2)\text{ nm}$ であった。Rebbahの報告している $\text{Rb}_{0.85}\text{Ti}_{0.85}\text{Nb}_{1.15}\text{O}_5$ ($x=0.15$)の試料の格子定数は $a=0.6499\text{ nm}$, $b=0.3812\text{ nm}$, $c=1.9360\text{ nm}$ であり、ほとんど違いない。合成温度を 900°C として、同様の化合物の合成を試みたところ、 $x=0$ の RbTiNbO_5 のみが合成でき、非化学量論組成の化合物を合成することはできなかった。

900°C で合成した RbTiNbO_5 のXRDパターンを図2(c)に示す。格子定数は $a=0.6460(2)\text{ nm}$, $b=0.3810(2)\text{ nm}$, $c=1.892(1)\text{ nm}$ であり、 1100°C で合成した RbTiNbO_5 との違いはなかった。 900°C で合成した試料の結晶子径を見積もったところ、 $0.08 \pm 0.01\text{ }\mu\text{m}$ で、格子歪は 0.0% であった。 1100°C で合成した試料の結晶子径は測定限界の $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以上であると考えら

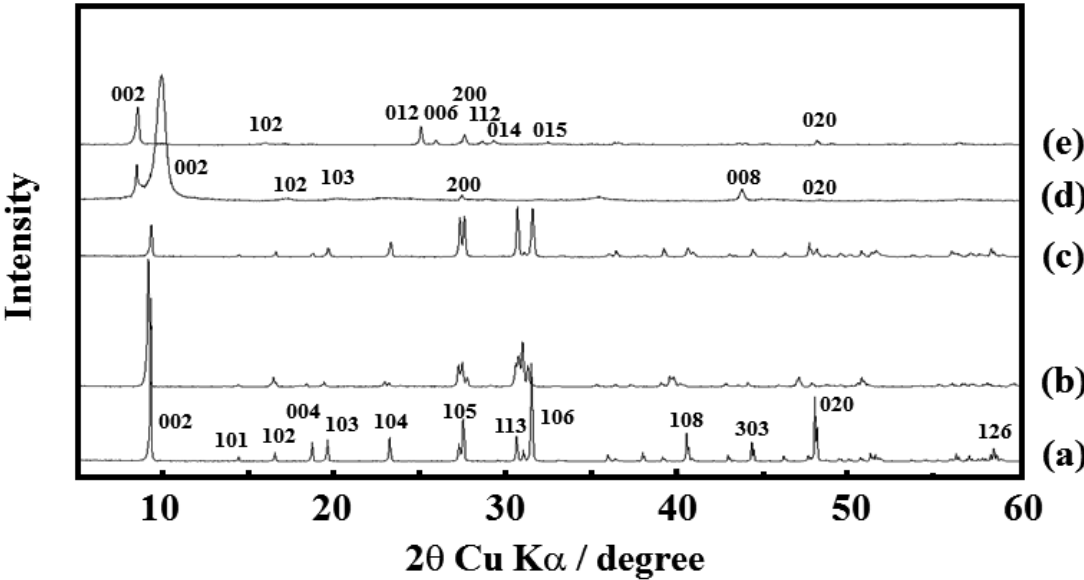


図2 生成物のXRDパターン (a) RbTiNbO_5 (1100°C 合成) (b) $\text{Rb}_{0.80}\text{Ti}_{0.80}\text{Nb}_{1.20}\text{O}_5$ (1100°C 合成)
(c) RbTiNbO_5 (900°C 合成) (d) $\text{Rb}_{0.06}\text{H}_{0.94}\text{TiNbO}_5 \cdot 0.6\text{H}_2\text{O}$ (e) $\text{Rb}_{0.09}\text{H}_{0.91}\text{TiNbO}_5 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$

表1 生成物の組成と格子定数

Compositions	a / nm	b / nm	c / nm
RbTiNbO_5 (1100° C)	0.6471(2)	0.3813(1)	1.892(1)
$\text{Rb}_{0.80}\text{Ti}_{0.80}\text{Nb}_{1.20}\text{O}_5$ (1100° C)	0.6508(7)	0.3797(4)	1.901(2)
RbTiNbO_5 (900° C)	0.6460(2)	0.3810(2)	1.892(1)
$\text{Rb}_{0.06}\text{H}_{0.94}\text{TiNbO}_5 \cdot 0.6\text{H}_2\text{O}$ (1100° C)	0.651	0.377	1.66
$\text{Rb}_{0.09}\text{H}_{0.91}\text{TiNbO}_5 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ (900° C)	0.648	0.378	2.07

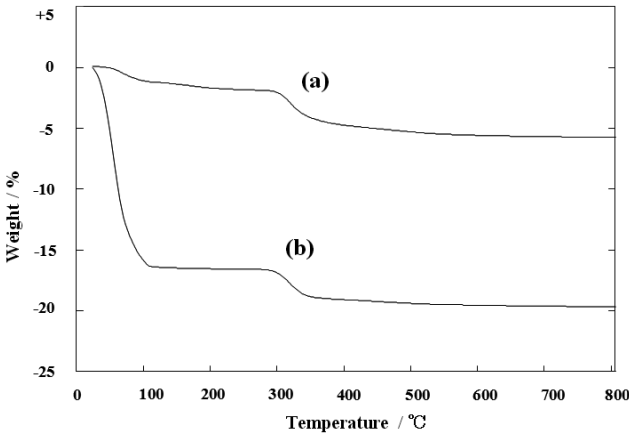


図3 熱重量分析結果 (a) $\text{Rb}_{0.06}\text{H}_{0.94}\text{TiNbO}_5 \cdot 0.6\text{H}_2\text{O}$ (b) $\text{Rb}_{0.09}\text{H}_{0.91}\text{TiNbO}_5 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$

れる。

本研究で得られた試料の斜方晶の格子定数を表 1 にまとめて示す。

3.2 水素イオン交換生成物

合成温度が 1100°C である RbTiNbO_5 から得られた水素イオン交換生成物の XRD パターンを図 2(d) に示す。図に示すように低角度に強度の小さい $d = 1.05 \text{ nm}$ ($2\theta = 8.43^\circ$) のピークと強度の大きい $d = 0.888 \text{ nm}$ ($2\theta = 9.95^\circ$) の二つのピークが確認された。 $d = 1.05 \text{ nm}$ のピークを除いたすべてのピークは単斜相で指数付けすることができ、その格子定数は $a = 0.651 \text{ nm}$ 、 $b = 0.377 \text{ nm}$ 、 $c = 1.66 \text{ nm}$ であった。層に平行な向きの a 軸と b 軸の格子定数はもとの RbTiNbO_5 の格子定数と比較してほとんど変化していないことより、この指数付けできた試料の層構造はイオン交換後も保たれているものと考えられる。熱重量分析の測定結果を図 3(a) に示す。層間水の脱離によると考えられる吸熱を伴う少ない減量が室温から始まり 100°C 付近まで続いた。その後、層間の H^+ と構造中の酸化物イオン (O^{2-}) が結合し水分子として離脱することによる減量が 300°C まで続いた。炎光分析による Rb の定量分析と熱重量分析の結果より、生成物の組成は見かけ上 $\text{Rb}_{0.06}\text{H}_{0.97}\text{TiNbO}_5 \cdot 0.6\text{H}_2\text{O}$ と書くことができる。層間の Rb^+ はその 94% が溶出し H^+ に交換された。この試料を 100°C で 1 時間加熱後ただちに XRD 測定を行ったところ、最も低角の $d = 1.05 \text{ nm}$ のピークが認められなくなったことから、得られた試料は、層間水を含まず、層間距離が小さな相 ($d = 0.888 \text{ nm}$ の相) に層間水を含む層間距離が大きい相 ($d = 1.05 \text{ nm}$ の相) が少量混ざった混合物であると考えられる。なお、層間水を含む相のピーク位置は、次に述べる、900°C 合成試料から得られる、層間水を含む水素イオン交換生成物の最も低角のピーク位置と一致している。

Rebbah³²⁾ は水素イオン交換生成物の HTiNbO_5 の斜方晶の格子定数を $a = 0.6531(1) \text{ nm}$ 、 $b = 0.3781(2) \text{ nm}$ 、 $c = 1.6704(6) \text{ nm}$ と報告している。また、Kikkawa ら³³⁾ は RbTiNbO_5 と同じ層状構造をもつ KTiNbO_5 を、60°C で 2 mol/L の塩酸と 1 時間反応させることにより、層間水を含まない単一相の水素イオン交換生成物 HTiNbO_5 を得ることができたと報告している。その格子定数は $a = 0.654 \text{ nm}$ 、 $b = 0.378 \text{ nm}$ 、 $c = 1.752 \text{ nm}$ と報告されている。いずれも本研究で得られた層間水を含まない相と近い格子定数の値をもつが、Rebbah³²⁾ らの試料の格子定数により近い。また、いずれの報告においても、層間水を含む相が生成することは述べら

れていない。

合成温度が 900°C の RbTiNbO_5 から得られた水素イオン交換生成物の XRD パターンを図 2(e) に示す。XRD パターンは、斜方晶の単一相として指数付けすることができた。格子定数は $a = 0.648 \text{ nm}$ 、 $b = 0.378 \text{ nm}$ 、 $c = 2.07 \text{ nm}$ であった。熱重量分析の測定結果を図 3(b) に示す。層間水の脱離によると考えられる吸熱を伴う減量が室温から始まり 100°C 付近まで続いた。その後、層間の H^+ と構造中の酸化物イオン (O^{2-}) が結合し水分子として離脱することによる減量が 300°C まで続いた。Rb の定量分析と熱重量分析の結果より、この生成物の組成は $\text{Rb}_{0.09}\text{H}_{0.91}\text{TiNbO}_5 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ と見積もることができた。ここで、大部分の水素イオンはすべて水分子と結合して、 H_3O^+ として存在しているものと考えられる。層間の Rb^+ はその 91% が溶出し H^+ に交換された試料が得られた。層に平行な向きの a 軸と b 軸の格子定数はもとの RbTiNbO_5 の格子定数と比較してほとんど変化していないことより、この試料の場合も層構造はイオン交換後も保たれているものと考えられる。 RbTiNbO_5 の水素イオン交換化合物について、ここで得られたような層間水を含む生成物の報告は知られていない。この試料を 100°C で 1 時間加熱後ただちに XRD 測定を行ったところ、層間水を含まない水素イオン交換生成物の XRD パターンが得られた。

合成温度が 900°C の試料からは、層間水を含む水素イオン交換生成物が得られ、合成温度が 1100°C の試料からは、層間水を含まない水素イオン交換生成物が主成分として得られることが明らかとなった。出発物質の層状化合物が同じ組成をもちながら、その合成温度の違いにより、層間水を含むものと含まないイオン交換試料が得られる、本研究のような例は少ないと思われる。この理由は現在のところ明らかではないが、合成温度の違いによる結晶の粒子径あるいは結晶子径が層間に水分子が存在することによるエネルギー的な安定性に影響を与えている可能性が考えられる。層間水を含むようになるとその水分子の大きさにより層間隔が拡大される。層間距離を拡大するためには層を押し広げるためのエネルギーが必要である。通常この安定化のためのエネルギーは、層間に存在する陽イオンが水和されることによる水和エネルギーによって賄われると考えられる。900°C で合成した試料の結晶子径は $0.08 \pm 0.01 \mu\text{m}$ と見積もられ、1100°C で合成した試料の結晶子径は $0.2 \mu\text{m}$ 以上であると考えられることから、本研究の結果より、結晶子径が小さい方が、その層間隔の拡大に必要なエネルギーがより小さいものと結論付けすることが可能である。

4. まとめ

1100° C の合成温度では、層状の結晶構造をもつ $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ を $0 \leq x \leq 0.20$ の範囲で合成することができることを明らかにした。また、900° C の合成温度では、 $x > 0$ の非化学量論組成の化合物は合成することはできず、 $x = 0$ の組成の RbTiNbO_5 のみを合成することができた。1100° C および 900° C で得られた RbTiNbO_5 の層間に存在するルビジウムイオン(Rb^+)と水素イオン(H^+)とのイオン交換を硫酸水溶液を用いて室温で行った。1100° C で得られた RbTiNbO_5 からは層間水をほとんど含まない試料が得られ、900° C で得られた RbTiNbO_5 からは層間水を含む試料が得られることがわかった。層間水を含む水素イオン交換試料についての報告はこれまでに無く、本研究ではじめて生成することを明らかにした。層間水を含まない試料については、これまでの報告と同様の化合物が得られたものと考えられる。大気中における 100° C の加熱により、層間水はすべて放出されることがわかった。水素イオン交換により、 Rb^+ は 91 % から 96 % までイオン交換され、交換後も層構造は保たれることがわかった。層間水を除いた試料は、リチウム電池の正極として利用可能であることが期待される。

文献

- 大橋正夫, 植田義文, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 19 号, 41(1995).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 20 号, 7(1996).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 21 号, 87(1997).
- M. Ohashi, Mol. Cryst. Liq. Cryst., **311**, 51(1998).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 22 号, 61(1998).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 23 号, 61(1999).
- M. Ohashi, Mol. Cryst. Liq. Cryst., **341**, 265(2000).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 24 号, 37(2000).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 25 号, 31(2001).
- M. Ohashi, Key Engineering Materials, **216**, 119 (2002).
- M. Ohashi, Key Engineering Materials, **228-229**, 289(2002).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 26 号, 49(2002).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 27 号, 23(2003).
- M. Ohashi, J. Ceram. Soc. Japan, **112**, S114(2004).
- M. Ohashi, Solid State Ionics, **172**, 31(2004).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 28 号, 37(2004).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 29 号, 29(2005).
- M. Ohashi, Key Engineering Materials, **388**, 97(2009).
- 大橋正夫, チタン酸アルカリ, セラミックスの事典, 朝倉書店, p. 370 (2009).
- 大橋正夫, 片山美乃里, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 34 号, 43(2010).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 30 号, 27(2006).
- M. Ohashi, Key Engineering Materials, **421-422**, 455(2010).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 31 号, 37(2007).
- 大橋正夫, 加藤摩耶, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 33 号, 39(2009).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 32 号, 29(2008).
- M. Ohashi, Key Engineering Materials, **445**, 65(2010).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 37 号, 25(2013).
- 大橋正夫, 村田奈津子, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 35 号, 43(2012).
- 大橋正夫, 徳山工業高等専門学校研究紀要, 第 36 号, 31(2013).
- H. Rebbah G. Desgardin and B. Raveau, J. Solid State Chem., **31**, 321(1980).
- A. D. Wadsley, Acta Cryst. **17**, 623(1964).
- H. Rebbah G. Desgardin and B. Raveau, Mat. Res. Bull., **14**, 1125(1979).
- S. Kikkawa and M. Koizumi, Mat. Res. Bull., **15**, 533(1980).

(2014. 9. 22 受理)

Interim Report of the English Facilitators' Activities

Hitoshi OGAWA^{*1}, Kentarou KITAMURA^{*2}, Takanori KOGA^{*3}
and Ken-ichi FURUTA^{*4}

Abstract

With the continuing progress of globalization, it is necessary that Japanese students be able to communicate with people all over the world in English. In order to cultivate students' broad senses of communication in English at the National Institute of Technology (NIT), Tokuyama College, the authors formed a group named the "English Facilitators' Group (EFG)." The purposes of the EFG are to enable the group members to improve not only their English proficiency level, but also the way of teaching their classes in English. Furthermore, EFG increases opportunities for the students to use English in their daily life. This second year interim report describes what the EFG members have been doing so far both as a whole and respectively, to achieve their established goals.

Key Words: globalized world, facilitators, English proficiency, professional development

1. Introduction

Recently, in response to increasing momentum towards globalization, not only in the real world but also in the classroom, we higher education teachers are required to give our lectures in English. For example, since the beginning of the 2013 academic year, English classes are already being taught completely in English at high schools throughout Japan. Furthermore, more and more various academic subjects are being taught in English at universities.

On the other hand, we feel that National Institute of Technology (NIT) colleges are far behind in this regard. Generally speaking, students at NIT colleges have a reputation for being poor at using English. Particularly, their psychological barrier to communicate in English is a big problem.

In order to get rid of this bad reputation and the psychological barriers of the students at NIT, Tokuyama College regarding English proficiency, we started up a group named "English Facilitators' Group (henceforth referred to as EFG) in April

2013. Under the slogan of "Share the world in English," we EFG members have been voluntarily engaging in professional development training on a regular basis, so as to brush up both our English and the way we teach our classes in English as mentioned in the previous report¹⁾. Similarly, we have been trying to augment students' opportunities for using English in and out of class.

The ultimate purposes of the EFG activities are to raise the rate of classes taught in English and to increase the number of colleagues participating in our activities at NIT, Tokuyama College. The following sections will explicate what EFG as a whole has been carrying out, what each EFG member has been doing, and what we plan to do to attain the above purposes.

2. Activities as a whole group

Currently there are four members of EFG, one from each department of NIT, Tokuyama College. This group was originally formed in April 2013 in response to Prof. Ogawa and Prof. Kunishige's call

^{*1} General Education

^{*2} Department of Mechanical and Electrical Engineering

^{*3} Department of Computer Science and Electronic Engineering

^{*4} Department of Civil Engineering and Architecture

to improve the English-speaking environment for students. They wanted to provide the students with more opportunities to use English at school. In order to achieve this, they thought it would be necessary for teachers to polish their English ability first and then use English more both in and out of the classroom. Thus EFG was formed.

The primary missions of EFG are to make the members' English better, and to make an all-out effort to talk to and communicate with students in English. In order to improve our English and the way we teach our classes in English, we get together regularly once a week during the academic year. The meeting is called a "powwow" and naturally we conduct it all in English so that we can boost our second-language communications skills. In each powwow, we discuss the best methods to increase the students' English proficiency, as well as exchange information obtained through the activities mentioned in the following section.

3. Each member's activities

3. 1 Professor Ogawa: The second step to globalize the whole campus

Collaboration with a Native Teacher: I continued to teach all of my subjects in English in the second semester of the first year of EFG. I also started to collaborate with a native teacher, Benjamin Johnson. I asked him to observe my classes and instruct me in how to best teach in English. There were some good points to method. First, I could master proper expressions through practice and repetition. Second, I could gather materials from him for a handbook designed to aid in teaching any subject in English. Third, he sometimes joined our discussion, and the students were inspired by his participation. I also invited other English speakers as guests, so that students could realize the necessity of English.

In the following section, let me introduce some unique aspects of each subject I teach. In Ethics, I often used English-based video clips²⁾. Video clips related to the topic were effective because students could understand what I taught from a different perspective. In Law, authentic materials written in English were used. For example, when I taught business law, I used a real contract. Students could feel the reality of a globalized world thanks to this

material. In Philosophy, I let the students give a presentation in English. As it was the first time that most of the students gave a presentation in any language, this experience was valuable on multiple levels.

ToPiC: Tokuyama Kosen Presentation Conference:

We held another English presentation event this year. This event was named ToPiC: **T**okuyama **K**osen **P**resentation **C**onference. We held this on August 7th. This year we called for presenters not only from the faculty, but also from students. As a result, eight students and two faculty members were presenters. As this event was also a part of the satellite committee of our school, which is in charge of collaborating with community members, we invited local citizens to join the audience. The main purpose of this event was to inform anyone who was interested about the progress of our globalization education project.



Fig. 1. Scene of ToPiC.

Symposium: We invited professor Toru Kunishige from National Institute of Fitness and Sports in Kanoya to be a guest speaker at a symposium on September 18th. The purpose of this event was to enlighten the faculty on the importance of teaching subjects in English. Since he had taught at our school until last summer, he knew much about our school's situation. Moreover, he has initiated an attempt to increase English proficiency at his current campus. During the symposium, we asked him to talk about some tips for teaching subjects in English. After that, we held a panel discussion regarding EFG's struggle.



Fig. 2. Panel discussion in symposium.

Next Step: The third year is the last one for our project. We want to complete our mission by the end of the academic year. Concretely, we want to increase the number of the faculty members who can teach their subjects in English to twenty. This is one-third of the faculty members. We also want to increase the percentage of classes taught in English to 30%. In the long run, we believe 50% of all NIT classes should be taught in English. In order to attain this goal, we plan to enhance the training of other faculty members in the 2015 academic year.

3. 2 Professor Kitamura: Engineering seminar in English

In the Department of Electrical and Mechanical Engineering, an engineering seminar was conducted during the second semester for fourth-year students. The objective of the seminar was to prepare them for graduate work, which starts when the students enter their fifth year.

In the engineering seminar, a specific project for each student is assigned according to the subject of his or her graduate study. As for my laboratory, Space Environment Lab, three fourth-year students were designated to start graduate work from their fifth year at NIT, Tokuyama College. When the engineering seminar started, their specialized subjects of graduate work had not yet been decided. Therefore, I assigned them certain topics related to their graduate work, which included some academic articles written in English. In the 2013 academic year, I tried to conduct the engineering seminar in English with a different group of three, fifth-year students and two advanced-course students.

In our engineering seminar, two or three students present the progress of their research. The example of the PowerPoint slide used in the presentation

about FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) radar³⁾ is shown in Fig 3. In this seminar I required all the participants to ask at least one question. As a consequence, I was able to measure the students' English ability in a real world situation. In the lectures where a native speaker was present, issues surrounding English proficiency and presentations were discussed.

The students sometimes had a difficult time discussing sophisticated technical issues. In this case the advanced-course students often contributed more comments in order to rectify communication problems. Furthermore, the advanced students took on the role of discussion leaders.

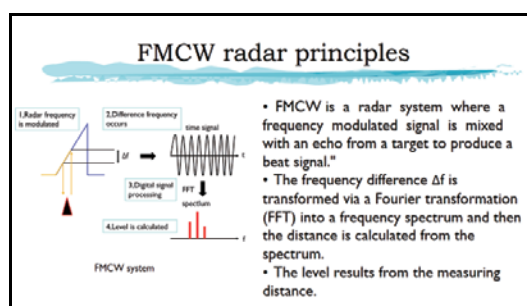


Fig. 3. An example of a Power Point slide by an advanced course student.

As indicated by the above incident surrounding difficulty with technical issues, it became clear that a primary factor towards achieving an engineering class in English is careful consideration of students' varied English ability. In the class with a small number of students, I could keep a lookout on the students who could not keep up with the discussion. In contrast, in a class with a much larger number of students, a good solution may be to assign an upperclassman to the role of facilitator. Furthermore, dividing the class initially into smaller discussion groups, and then reuniting for a final group discussion at the end of each class may be advisable. In the fall semester of the 2014 academic year I will indeed assign one upperclassmen as facilitator.

3. 3 Professor Koga: Teaching in English for reviewing and practice

In the last academic year, I attended an intensive training course designed to educate teachers about

using English in classroom education. It was held by the KOSEN headquarters. The purpose of the training was to realize classroom education of specialized subjects in English in the near future. For that purpose, representatives from all the KOSEN campuses attended.

The training course consisted of three parts. In part one and part two, all the participants studied fundamental concepts of education and gave brief lectures using those concepts in Japanese. After those first two parts, in order to verify actual teacher competence in a classroom situation, each participant took a computer-based test and a performance-based test with video recording in order to gain certification of CompTIA Certified Technical Trainer (CTT+)⁴⁾. CompTIA is an abbreviation of the Computing Technology Industry Association and is a non-profit trade association. CTT+ is an international certification that covers core instructor skills, including preparation, presentation, communication, facilitation, and evaluation. In the third and final part, after standardization of the participants' instruction skills using CTT+ was established, the participants attempted to give their same brief lecture from part two, but this time in English. Then all participants exchanged information and opinions about the way to realize classroom education in English.

Since the training, I have become convinced that I can conduct classroom education in English with only simple English phrases, and by employing the fundamental concepts of CTT+. In this academic year, I did just that. This was done in addition to the continuation of the previous activities from the last academic year¹⁾.

I would now like to explain my activities in the class, which covers applications of digital circuits for fourth-year students in the Department of Computer Science and Electronic Engineering. This class consists of two sections: a lecture section and a practice section. In the lecture section, students study fundamental elements of digital circuits such as transistors, memory chips, their characteristics, etc. In the practice part, students perform computer simulation with computer-aided design (CAD) software in order to confirm pseudo-behaviors of various kinds of electric circuits. Before starting this class, I had decided to use English for the first ten or fifteen minutes while reviewing the last

lecture. I chose this method because the most important thing in the lecture is not only to get the students to understand English words and expression, but also the contents of the lecture. Figures 4 and 5 are examples of the slides used for reviewing previous lectures. I asked the students to answer easy but important questions via pair-work. After all the lectures, I was able to confirm that almost all the students understood the contents through questioning them. In the practice part, I gave instructions on the computer simulation in English. Also in this part, I was able to confirm that almost all the students understood the instructions and were able to accomplish the simulation successfully.

The aforementioned activities are just the beginning. In the future, I will start both lecture and practice sections in English in my other classes as well. Furthermore, I will continually strive to realize beneficial educational techniques for the students by employing the concept of the Content and Language Integrated Learning (CLIL)⁵⁾.

Review

- Fill in the blanks and find the output level when the input level is high.

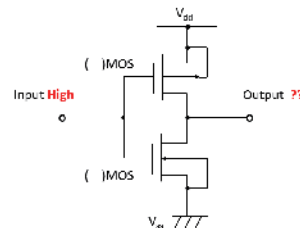


Fig. 4. An example of a review sheet used in the lecture section.

Comparison between SRAM and DRAM

	SRAM	DRAM
Structure	Complicated (Flip-flop circuit)	Simple (Capacitor circuit)
Integration Degree	Low	High
Speed	Fast	Slow
Production Cost (/bit)	High	Low
Refresh operation	Unnecessary	Necessary
Power Consumption	Low	High
Application	• Register • Cache memory	• Main memory

Fig. 5. An example of a review sheet used in the lecture section.

3. 4. Professor Furuta: Using English in the class and so on

Using English, I changed my teaching methods in the class titled Architectural Design and Planning. This class is taught to the second-year students in the advanced course.

The aim of the alteration was to improve the English listening and presentation skills of the students. In the class, I have shown the students the TED (Technology, Entertainment, Design)²⁾ presentations of some famous architects. And last year I even changed all of the handouts, lectures, and final test from Japanese to English (see Fig. 6).



Fig. 6. An example of slides used in the lecture.

At times, it has been difficult to prepare the English contents every week. I also have got a lot of support from Benjamin Johnson, a professional EFL (English as a Foreign Language) teacher. He checked my pronunciation, vocabulary, and expressions used in both the lectures and handouts.

I have sometimes questioned students to confirm if they had understood what I said in English. When I have given some easy questions about the points of the lecture in English, they have always tried their best to answer in English. At the end of the series of fifteen, weekly lectures, a final test was given in English. It had ten, multiple-choice questions. Making questions and four unique multiple-choice answers for each question was the most difficult part of the class for me. However, in the comments after the test, the students wrote that they were able to learn about architectural design and planning, and the English I had used was easy enough for them to understand.

In addition to the work towards globalization in

my classroom, I made the opening comments for the “graduation research presentation meeting for standard-course and advanced-course students.” I also asked questions to the students who gave a presentation in English at that time. And at the beginning of this school year I gave a formal greeting in English in front of the students of civil engineering and architecture (see Fig. 7).



Fig. 7. Professor Furuta's greeting to civil engineering and architecture students in English.

4. Conclusion

In this interim report for the second year of EFG, we have talked about what we have been carrying out, what each of member has been doing, and what we are going to do from now in order to train and to motivate our students to be future global engineers with a good command of English. However, what we have been doing and what we are going to do are not only limited to increasing students English proficiency, but our work is also for the professional development of the faculty at NIT, Tokuyama College. In order to globalize our college, it is important to enhance our competitive edge as professional teachers and scholars. EFG and its activities and ideas can continually give us just such an edge. Furthermore, we believe it is of the utmost importance to share both our successes and set backs with our colleagues. With the future in mind, our intention is that our current activities contribute to the eventual, complete globalization of NIT, Tokuyama College.

References

- 1) H. Ogawa, K. Kitamura, T. Koga, K. Furuta, and T. Kunishige, On the English Facilitator's Activities as Voluntary Professional Development, Research Reports of Tokuyama College of Technology, No. 37, pp. 57-62, 2013.
- 2) "TED Ideas worth spreading," <http://www.ted.com> (2014/9/11 accessed)
- 3) A. W. V. Poole, Advanced sounding 1. The FMCW alternative, Radio Sci., Vol.20, No.6, pp.1609-1616, 1985.
- 4) J. Phillips, Comp TIA CTT+ Certified Technical Trainer: exam guide, New York: McGraw-Hill, 2012.
- 5) D. Coyle, CLIL: Content and Language Integrated Learning, Cambridge University Press, 2010.

(Received September 22, 2014)

実構造物におけるコンクリートの 温度ひび割れの解析的研究

中谷俊晴^{*1} 田村隆弘^{*2}

Analytical Study on Thermal Crack with Actual Concrete Structure

Toshiharu NAKATANI^{*1} and Takahiro TAMURA^{*2}

Abstract The purpose of this research is to control the thermal cracks of concrete structures. The construction division of the Yamaguchi Prefecture stores the data of concrete construction projects. From this data, we investigated the relationships between a crack and the reinforcement ratio. Moreover, we analyzed the crack with temperature stress analysis software using the finite element method. Here, the temperature and the crack were analyzed by the same model in an actual structure and the results were compared. In the analysis model, the crack width was computed, while assuming the crack in the same position as an actual crack. The partial crack model proposed by the authors agreed well with the actual crack width.

Key Words: thermal crack, finite element analysis, crack width, crack index

1 はじめに

近年、コンクリート構造物のひび割れが問題となっている。マスコンクリートでは、建設初期段階で温度ひび割れが発生する。温度ひび割れとは、セメントの水和熱により、構造物は外部拘束を受けながら体積変化するため、引張応力によって発生するひび割れのことである。実構造物において、構造物は底面または底面と両端を固定されていることが多く、温度ひび割れが発生しやすい状態にある。温度ひび割れは構造物を橋軸直角方向に貫通するものが多く、長期的耐久性に大きな影響を与えるため、施工前の段階から十分なひび割れの対策をすることが重要となる。ひび割れの発生を防ぐことは技術的には可能であるが、実構造物で考えるとコストの面などから難しいといえる。これまで多くの研究者によって研究がなされているものの、ひび割れの発生確率やひび割れ幅を予測することは非常に難しいとされている^{1), 2), 3)}。また、現在では温度応力解析によるひび割

れ発現の可能性は比較的精度良く予測できるようになってきたが、ひび割れ幅や鉄筋等によるひび割れ分散効果を表現することは難しく、複雑な環境条件等が含まれることで実構造物での結果と一致しない場合も多くみられる。そのため、ひび割れからの劣化が問題とならないようなひび割れ幅の場合には、それを許容するという考え方がある。すなわち、ひび割れは発生することよりも、その幅を問題としている。従って、建設現場において、ひび割れ幅を制限値以内に留めることが要求されており、ひび割れ幅やひび割れ指数を容易に求める算定式の確立が望まれている。

本研究では、そうした建設現場のニーズに応えることを目的とし、温度ひび割れを解析的に調査した。我々は山口県が蓄積した工事データを分析し、打設間隔および鉄筋比の違いがひび割れに与える影響について確認した。また、実構造物と同じ解析モデルを作成し、温度やひび割れの解析値を実際の測定値と比較した。

^{*1} 環境建設工学専攻

^{*2} 土木建築工学科

表-1 構造物のデータ範囲

高さ(m)	厚さ(m)	幅(m)	セメント種類
1.2~5.4	1.2~3.0	6.7~31.1	普通 3 体, 高炉 B 種 89 体, 低発 1 体
鉄筋比(%)	試験強度(N/mm ²)	コンクリート打設温度(°C)	コンクリート最高温度(°C)
0.04~0.48	30.3~40.9	6.0~29.0	37.3~75.5

2 実構造物に発生したひび割れの状況

2.1 概要

実構造物のひび割れの状況を確認するために、山口県が蓄積したコンクリート工事のデータベース⁴⁾を使用した。橋台たて壁のうち、ひび割れが発生した93 リフトを対象に、ひび割れと鉄筋比の関係を調査した。橋台は高さが大きいので、複数のブロックに分け、打設する。文中では、底盤部分をスラブ、壁状部分のブロックをリフトと呼ぶこととしている。調査した構造物のデータを表-1 に示す。

2.2 鉄筋比—合計ひび割れ幅

鉄筋比と合計ひび割れ幅の関係を図-1 に示す。鉄筋比 0.1%付近のリフトと鉄筋比 0.3%付近のリフトのどちらも、合計ひび割れ幅は約0.05mm~約1mmと鉄筋比の増加による合計ひび割れ幅の変化はあまり見られなかった。

2.3 鉄筋比—最大ひび割れ幅

鉄筋比と最大ひび割れ幅の関係を図-2 に示す。鉄筋比が増加するにつれ、最大ひび割れ幅が小さくなることを確認できる。

2.4 鉄筋比—平均ひび割れ幅

鉄筋比と平均ひび割れ幅の関係を図-3 に示す。平均ひび割れ幅は、式(1)により求める。

$$\text{Wave} = \Sigma W / n \quad (1)$$

Wave : 平均ひび割れ幅

ΣW : 合計ひび割れ幅

n : ひび割れ本数

鉄筋比が増加するにつれてひび割れ本数が増加し、ひび割れが分散してひび割れ 1 本当たりの幅が抑制されていると考えられる。

2.5 鉄筋比—ひび割れ本数

鉄筋比とひび割れ本数の関係を図-4 に示す。鉄筋比が 0.1%付近のリフトは、ひび割れ本数が 1 本~5 本で

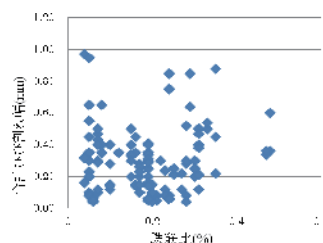


図-1 鉄筋比—合計ひび割れ幅

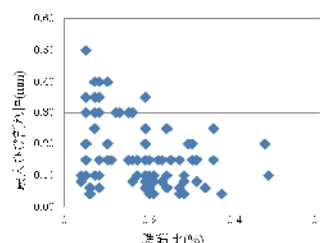


図-2 鉄筋比—最大ひび割れ幅関係

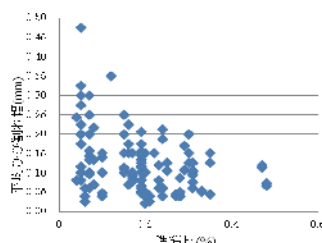


図-3 鉄筋比—平均ひび割れ幅関係

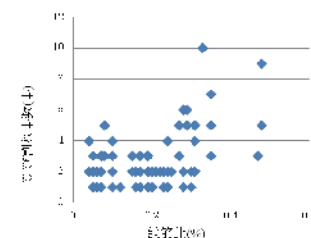


図-4 鉄筋比—ひび割れ本数関係

あるのに対し、鉄筋比が 0.3%付近のリフトは 1 本~6 本、鉄筋比が 0.4%付近のリフトは 3 本~10 本と鉄筋比が増加するにつれてひび割れ本数が増えており、ひび割れが分散している傾向がみられる。つまり、鉄筋比増加はひび割れの抑制に寄与することが言える。

3 温度応力解析

温度応力解析には、有限要素法（FEM）を用いたコンクリート構造物専用の 3 次元温度応力解析用ソフトを使用した。構造物の形状、温度条件、力学条件を設定して、温度ひび割れについて解析的に検証した。使用したソフトの欠点は、ひび割れの発生本数、発生位置の予測ができないことである。そこで、図-6 に示すひび割れ要素⁵⁾を用いて、ひび割れを表現する。ひび割れは、ひび割れ要素の持つ引張強度を超える引張応力が発生した際、要素の剛性を低下させることで表現できる仕組みになっている。解析では、ひび割れが予想される位置にひび割れ要素を入力し、そのひずみからひび割れ幅を算定した。ひび割れ制御指針⁴⁾によれば、ひび割れの発生確率は、最小ひび割れ指数から算出できる。最小ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係を図-7 に示す。ひび割れ発生確率の算定式¹⁾、ひび割れ指数の算定式¹⁾を式(2)、式(3)に示す。

$$P(I_{cr}) = 1 - \exp(-I_{cr}/0.92)^{-4.29} \quad (2)$$

$$I_{cr}(t) = f_{tk}(t) / \sigma_t(t) \quad (3)$$

$f_{tk}(t)$: 材齢 t におけるコンクリートの引張強度

$\sigma_t(t)$: 材齢 t におけるコンクリートの最大引張応力

$P(I_{cr})$: ひび割れ発生確率

$I_{cr}(t)$: 最小ひび割れ指数

3.1 打設間隔の違いによるひび割れの影響

3.1.1 概要

高さのある構造物では、構造体をいくつかのリフトに分けてコンクリートを打設するため、リフトごとにひび割れが生じている。そこで先に打ち込まれるリフトが後に打ち込まれるリフトのひび割れに及ぼす影響を打設間隔に着目して検討した。底版の打設時からリフト打設時の時間間隔を 1 週間、2 週間、4 週間の 3 パ

ターンで解析した。解析期間は、3 パターンともリフト打設時から 6 週間後とした。

3.1.2 解析条件

図-8 に解析モデルを示す。幅 5.0m、長さ 15m、厚さ 1.5m の底版の上に打ち込まれたリフトの幅 1.0m、高さ 1.5m、鉄筋比 0.27% の構造物を解析対象とした。緑色の部分が地盤、青色の部分が底版、赤色の部分がリフトを示している。ひび割れの発生が一般的に予想される橋軸方向中央部にひび割れ要素を入力している。表-2 に物性値を示す。

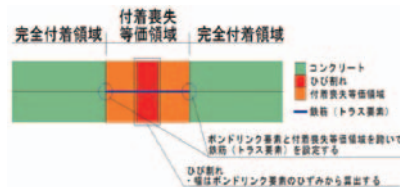


図-6 ひび割れ要素モデル

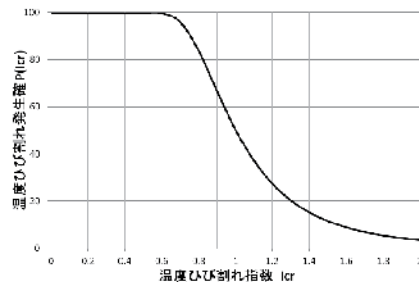


図-7 ひび割れ発生確率とひび割れ指数の関係

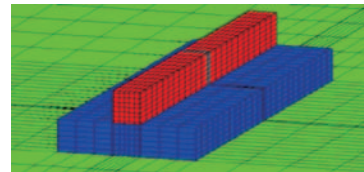


図-8 解析モデル

表-2 物性値

物性値	実構造物解析 (3.3)		変量解析 (3.1 および 3.2)	
	地盤	底版・リフト	地盤	底版・リフト
熱伝導率 $W/^\circ C$	3.45	2.7	1.7	2.6
密度 kg/m^3	2650	2400	2100	2400
比熱 $kJ/kg^\circ C$	0.79	1.15	1.4	1.2
断熱温度上昇量	—	JSCE 推奨式	—	JSCE 推奨式
初期温度	20	測定値	20 $^\circ C$	20 $^\circ C$
ヤング率 GPa	6000	土木学会示方書	500	200
圧縮強度 N/mm^2	JSCE 実験式	JSCE 実験式	22.6	JSCE 実験式
引張強度 N/mm^2	JSCE 実験式	土木学会示方書	1.96	土木学会示方書
線膨張係数 $\mu / ^\circ C$	10	10	10	10
外気温 $^\circ C$	測定値	20	20	20

3.1.3 解析結果

図-9 にひび割れ指数履歴、図-10 にひび割れ幅履歴を示す。また、図-11 に底版と各打設間隔のリフトの中心部における温度と弾性係数の履歴を示す。これらの値は、底版中央上部およびリフト中央下部の表面位置における値である。点線矢印は、リフト中心部の温度が最高温度に達した時点で底版と各時間間隔の弾性係数の差を示している。

3.1.4 考察

図-9、図-10 より、時間間隔が短くなると、最小ひび割れ指数が高くなり、ひび割れ幅が小さくなっている。つまり、時間間隔を短くすると、ひび割れの発生確率は低減しているということであり、ひび割れが発生した場合のひび割れ幅も狭まっている。時間間隔を短くすることは、温度ひび割れの抑制に対して効果的であることがいえる。

図-11 より、時間間隔が長くなるにつれて、底版とリフトの弾性係数の差が大きくなっていることがわかる。底版の弾性係数が小さい間、つまり、底版のコンクリートが完全に硬化する前にリフトを打設することで、リフトに発生する引張応力が小さくなったのではないかと考える。以上より、短い時間間隔がリフトのひび割れの抑制効果に寄与する可能性があると考えられる。

3.2 鉄筋とひび割れ幅の関係

3.2.1 概要

前述に示す通り、実構造物に発生したひび割れは鉄筋比の増加に伴い、ひび割れ幅が小さくなる傾向を確認した。解析においても、鉄筋比の増加に伴うひび割れ幅の縮小を確認した。

3.2.2 解析対象

図-8 に示す解析モデルを解析対象とした。構造物内部に鉄筋を配筋し、11 パターンの鉄筋比を用いた。橋軸方向中央部にひび割れ要素を入力しているが、図-12 に示すように、リフトの下部から上部にわたる全部分にひび割れ要素を入力し、上下方向の貫通ひび割れを想定したモデル、および図-13 のようなひび割れ要素を入力し、部分的なひび割れを想定したモデルの2 ケースで解析した。

3.2.3 解析結果および考察

図-14 に、ひび割れ幅の解析結果を図-1 上にプロットしたグラフを示す。二つの解析結果ともに、鉄筋比の

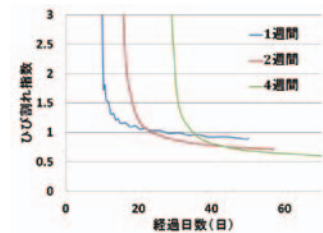


図-9 ひび割れ指数履歴

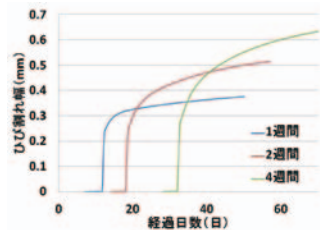


図-10 ひび割れ幅履歴

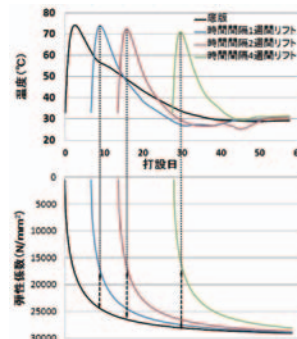


図-11 底版と各打設間隔のリフトの中心部における温度と弾性係数

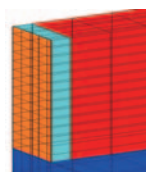


図-12 貫通ひび割れ
想定解析モデル

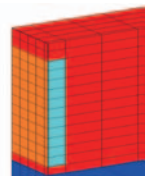


図-13 部分ひび割れ
想定解析モデル

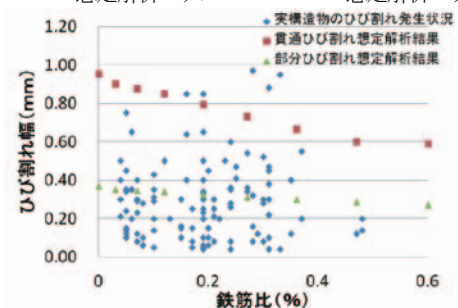


図-14 実際のひび割れ幅と解析結果

増加に伴って、ひび割れ幅の縮小が確認できたものの、実際の構造物のひび割れ幅は分散して、分布しているため、貫通ひび割れを想定した解析結果と同じとは言えない。貫通ひび割れを想定した解析は、下部のひび割れ要素が底版部分の要素によって固定されているため、上部のひび割れ要素は大きく変位する。変位が大幅に増大したことが貫通ひび割れを想定した解析結果に大きく影響したのではないかと考える。山口県工事データによれば、実際に発生するひび割れは部分的に発生することが多く、図-13に示すひび割れ要素の部位に発生することが多い。また、厚さ1mを越える大きな構造物は上下方向に貫通するひび割れは見られない傾向にある。

一方、部分ひび割れを想定した解析結果は、実際のひび割れ幅に比較的近い値となった。これらのことより、ひび割れ幅解析では、実際に発生するひび割れを想定したモデルで解析することを提案する。しかし、ひび割れ要素の位置および大きさによってひび割れ幅が大きく異なることが予想されるため、ひび割れ要素の入力方法は今後の検討課題になる。

3.3 実構造物解析

実構造物と同様の解析モデルを用いて内部温度とひび割れ幅の比較を行い、実構造物へ解析結果の適用が可能か確認した。

3.3.1 解析対象および条件

解析対象は県道山口宇部線工事に伴う橋台とした。長さ14m、幅8.0mの底盤に、その上部に厚さ2.4m、高さ7.0mの橋台たて壁部分が3回にわたる打ち込みで施工された。橋台施工時、各リフトの中心部に温度センサーを設置し、継続的に内部温度を計測した。

打設日程、コンクリートの初期温度および物性値、外気温は全て実際の計測値を用いて解析した。図-15に示す2分の1スケールの解析モデルとした。設計図面にに基づき、鉄筋は同様の位置に入力している。物性値を表-2に示す。

3.3.2 温度解析および結果

図-16に構造物の計測温度、図-17に温度解析結果を示す。各リフトの温度が比較的一致していることが確認できる。しかし、外気との境界面に近い部分の温度や温度低下の勾配は異なっている。これは養生手段が異なったことや、送風など解析では表現できなかった

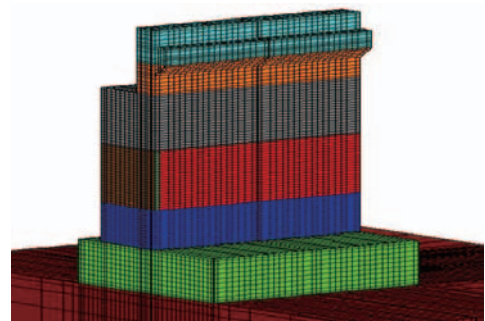


図-15 実構造物解析モデル

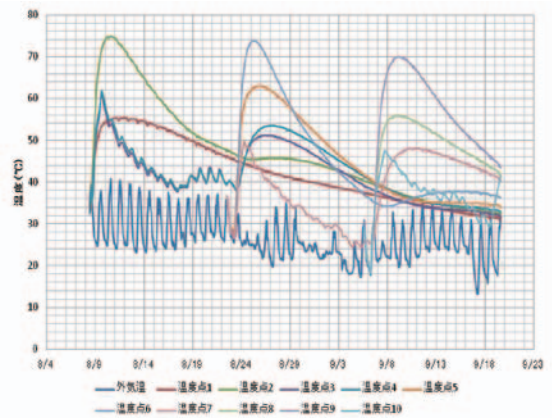


図-16 構造物内部温度実測値

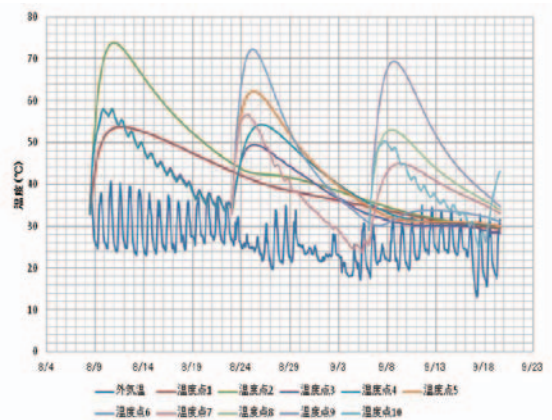


図-17 構造物内部温度解析値

ことにより、熱特性に影響したことが原因であると考えられる。

3.3.3 ひび割れ幅解析および結果

打設後27日目に第2リフトにひび割れが1本発生し

た。図-18 にひび割れ発生位置、ひび割れ幅を示す。ひび割れ幅解析は、第2リフトに貫通ひび割れを想定したケース、実際のひび割れの位置にひび割れ要素を入力したケースの2パターンで行った。表-3 にひび割れ幅の実測値と解析値を示す。橋台表面におけるひび割れ指数分布を図-19 に示す。



図-18 ひび割れ発生位置

3.3.4 考察

貫通ひび割れを想定したモデルの解析値は実測値に比べて、大きく異なっている。一方、実際のひび割れと同様の位置に入力したモデルの解析値は近い値となった。原因として、熱特性の差によることが考えられる。また、実際の構造物には目視が難しい小さな無数のひび割れが生じ、内部の応力が分散したのではないかと考える。応力が分散することにより、1本当たりのひび割れ幅が小さくなったことを原因として挙げる。

図-19によると、構造物中心部に近い部位はひび割れ指数が低い値となっており、構造物中心部と底版および、リフト隅角下部では、指数が極めて低くなっている。地盤、または底盤からの拘束力を受けながら、膨張収縮の現象が起こり、応力が発生したことを原因と考える。

第1リフト中心部の最小ひび割れ指数は0~0.5である。つまり、ひび割れの発生確率が極めて高いにも関わらず、実際にはひび割れは発生していない。また、たて壁部分では、全てのリフトの最小ひび割れ指数が1を下回っており、ひび割れ確率が50%以上であるが、第2リフトにしかひび割れは生じていない。解析結果と実際の状況では、ひび割れの結果が大きく異なることから現時点で実構造物のひび割れ解析の適用は不可能である。

4 結論

- 1) 山口県工事データ調査および解析結果より、鉄筋比の増加に伴い、ひび割れ幅が抑制されること、また、ひび割れが複数本に分散していることを確認した。
- 2) いくつかのブロックに分けてコンクリートを打設する際は、前のブロックの打設時と後のブロックの打設時の間隔が短いほうが後のブロックのひび割れを抑制することができる。
- 3) ひび割れ幅を解析する際、ひび割れ要素は下部から上部まで貫通させずに、実況に基づいたひび割れの発生が予想される部位にひび割れ要素を設け、ひび割れ幅を解析する手法が望ましい。

表-3 ひび割れの実測値および解析値

実測値	0.10mm
貫通ひび割れ想定解析値	0.61mm
部分ひび割れ想定解析値	0.21mm

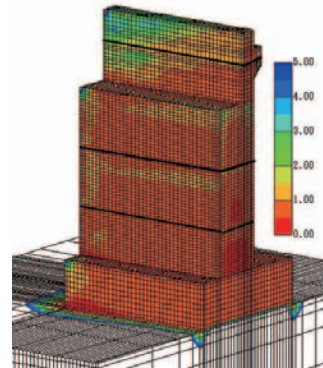


図-19 実構造物ひび割れ指数分布図

- 4) 実構造物の温度解析は、実測値と解析値は比較的一致した。しかし、ひび割れ幅解析では、ひび割れ幅が実測値と一致しない。現段階では、実構造物のひび割れ幅の予測は難しいことがいえる。

謝辞:本研究を行うにあたり、山口県土木建築部の方々には実構造物温度計測でご協力いただきました。関係の皆様には心から謝意を表します。

文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針，2008。
- 2) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御に関する研究委員会 報告書，2006。
- 3) 日本コンクリート工学協会：JCI規格集，2004。
- 4) 山口県建設技術センター：
<http://www.yamactc.or.jp/data/index.html>
- 5) 計算力学研究センター：離散ひび割れモデルの作成について（改訂版），2011。

アーバスキュラー菌根菌の緑化用資材化技術の開発

山本 将太^{*1} 井上 航^{*1} 村上 智哉^{*1} 天内 和人^{*2}

Development of materials for re-vegetation using Arbuscular Mycorrhizal Fungi

Syota YAMAMOTO^{*1}, Wataru INOUE^{*1} and Tomoya MURAKAMI^{*1}
Kazuhito AMANAI^{*2}

Abstract

The growing body of evidence of the negative impacts that roads and other linear infrastructure have on wildlife and ecosystems suggests that infrastructure represents a major driving factor of biodiversity loss. Therefore, it is important to revegetate the ground in order to prevent biodiversity loss. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) colonize roots and benefit host plants by increasing growth and the ability to withstand or overcome harsh environments. In this study, we developed a revegetation filter using AMF. We mixed the host plant seeds with AMF spores and made the compound into sheets. In the sheets, the host plant roots can be infected with AMF and grow more stably and efficiently. Therefore, the revegetation filter we developed can be used in revegetation effectively.

Key Words : arbuscular mycorrhizal fungi, revegetation filter

1. 結論

現在, 世界中で環境問題に対する関心が非常に高まってきている. 特に土木分野においては, 道路や橋の新設によって多くの切土や盛土による露出した地盤が生まれているため, これらの法面を緑化し, 自然を修復する技術を確立することは重要な課題である.

しかしながら, これらの地盤は乾燥が激しい, 土壌が硬い, 土壌の養分供給能力が低いなどの問題を抱えていることが多い. さらに露出した地盤は, 空気との接触による酸化や, 降雨によって酸性に傾く可能性が高い¹⁾. そのような地盤を緑化する方法として, 炭酸カルシウム工法や暖衝遮断, 緑化マット工法など様々な緑化工法が考案され成果をあげてきた²⁾. さらに, その手段の一つとしてアーバスキュラー菌

根菌 (AM 菌) の安定的な共生による持続性のある生態的な緑化の方法がある³⁾. AM 菌は植物の根に感染することにより, 宿主植物の成長を促進させたり, 水不足や塩類障害に対する抵抗力を高めたりする効果があるため, 切土や盛土による露出した地盤の緑化に非常に有効である⁴⁾.

しかし, 実際の緑化工事では AM 菌の使用方法として, 他の有機資材と攪拌させ地盤に吹付けたり (客土吹付け工), 種子と一緒に吹付け機に投入し攪拌させ吹付ける (種子吹付け工) など, 宿主植物の種子と菌根菌胞子の割合が場所によって定まっておらず, 効率的な緑化ができていない⁴⁾.

そこで本研究では, AM 菌を効率よく活用する為に新たな緑化用資材の開発を試みた. その方法は, 宿主植物種子と菌根菌胞子との混合物を「シート状」に加工するものである. シート状に加工することに

^{*1} 環境建設工学専攻

^{*2} 一般科目 (生命科学)

より、菌根菌胞子と種子の位置固定が可能となり、どの場所でも種子と胞子の割合が同じとなって安定的な菌根菌の感染が可能となる。また、加工の材料は全て土壌微生物によって完全に分解されるものを使用し、緑化後の環境面への配慮も考慮した。

そして、この開発したシートを実際に法面の保護に用いられる緑化用の開放型フィルターに組み込み、法面に敷設することによって、AM 菌を用いた新しい法面の緑化工法の1つとして施行が可能かどうかを調査した。そのために、現場に近い条件で降雨の影響と乾燥の影響を調査し通常のフィルターとシートを付加したフィルターとの実験を行い濁度と水分の蒸発量を比較検討した。

2. 実験概要

2.1 シート性能の評価

(1) 材料と作成工程

開発した資材の宿主植物として *Lotus corniculatus var. corniculatus* (セイヨウミヤコグサ) の種子を使用し、AM菌胞子はDrキンコン(出光興産)を用いた。宿主植物種子と菌根菌胞子は、紙パルプに混合し、これをシート状に整形したのち、室温で24時間乾燥し作成した。

(2) 発芽率

上記の材料で6つのシート加工のサンプルを作り、プランターに設置した。プランターは赤球土を底に敷き、まさ土を8分目まで入れ作成したシートを設置し、その上にバーミキュライトと泥炭を3:7で混合したもので覆って作成した。培養開始後3日、5日、7日、10日の発芽数を、カウンターを用いて測定し発芽率を調査した。シート加工をする前の種子のみの場合も同様に発芽数を測定し発芽率を調査した。発芽率は6サンプルについて測定し、それらの平均をとった。

(3) 菌根菌感染率

菌根菌の宿主植物への感染率の測定は、セイヨウミヤコグサの発芽後、2週間目から開始した。育成したセイヨウミヤコグサの根を、1週間毎に2ヶ月間サンプリングし、トリパンプルー染色を施した後、交点法により調査した。

トリパンプルー染色は、始めにサンプリングした根を試験管に入れて、根が浸る程度の10%水酸化カリウム(KOH)溶液を注ぎ、根が透明になるまで15分程度加熱する。次にKOH溶液を捨て黄色い色が消失するまで水道水で洗い、試験管に戻し5%の塩酸を根が浸

る程度入れ5分程度おき塩酸を捨てる。そして、1%トリパンプルー溶液を乳酸で20倍に希釈したものを試験管に入れ、10分間加熱し、トリパンプルー溶液を捨てラクトグリセロール溶液(乳酸:グリセロール:水、体積比=85.7:6.3:8.0)を入れて2日以上放置して脱色後、実体顕微鏡を用いて根の感染の確認を行う。交点法はシャーレをラクトグリセロール溶液で満たし、そこに染色した根を広げていれ、シャーレの裏に格子(1mm, 2mm, 3mm間隔)の入ったOHPシートを置き、実体望遠鏡を用いて格子と根の交わっている部分が感染しているか否かを確認しそれぞれの数をカウントする。感染率の導出は以下の公式(1)に従う。

$$C = (C_c / C_a) \times 100 \quad (1)$$

Cは感染率(%), C_c は感染の認められた交差数, C_a は全交差数を表している。また, C_a は100以上である必要があるため, 100に満たない場合は格子の目の粗さを調節してやり直す。感染率は1週間毎に4サンプルについて測定し、それらの平均をとった。

2.2 現場試験

2.2.1 降雨試験

(1) 土の物理的性質

本実験には山口県周南市の法面崩壊現場より採取したまさ土を用いた。図1に実験に使用したまさ土の粒径加積曲線を、表1に物理的性質を示す。まさ土の粒径加積曲線は勾配が緩やかになっており、粒径が広範囲に渡って分布している。また、粒径0.075mm以下のシルト分を約10%含んでいることがわかる。図2に示す締固め曲線より、最適含水比は9.51%、最大乾燥密度は2.00g/cm³である。なお、締固め試験の際の突固め回数は1層につき25回であり層数は3層、ランマーの重量は4.5kgである。

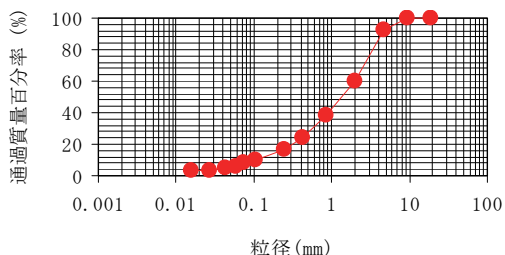


図1 まさ土の粒径加積曲線

表1 まさ土の物理的性質

土粒子の密度	ρ_s (g/cm ³)	2.64
均等係数	U_c	20.0
曲率係数	U_c'	1.80
最適含水比	W_{opt} (%)	9.51
最大乾燥密度	ρ_{dmax} (g/cm ³)	2.00

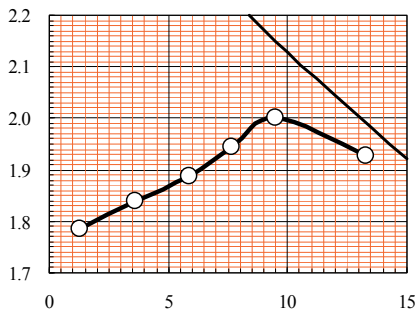


図2 まさ土の絞固め曲線

(2) 緑化用フィルター

本実験では、裸地、一般的な緑化用開放型フィルターを使用した場合、開放型フィルターの裏面に開発したシートを付加したフィルター(改良フィルター)を使用して降雨試験を行った。各フィルターの表面と裏面をそれぞれ写真1, 2に示す。フィルターは保護ネットと撥水性繊維で構成されており、厚さが8.0mmでやや厚めである。

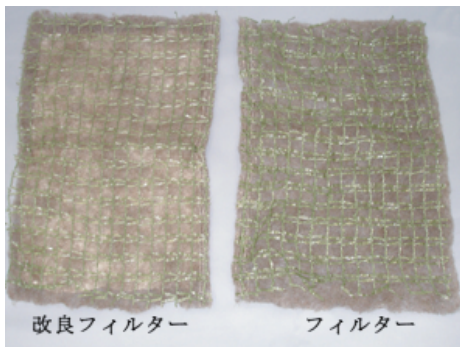


写真1 フィルター表面

このフィルターは実際の工事現場でも用いられ、

主に土壌浸食防止、濁水防止の役割を果たす。また、種子吹付工との併用も可能になっている。ポリエステル製の微細な撥水性繊維を使用しており、水を弾く性質を持っている。吸いきれなくなった水はフィルターの繊維内を通り、排水される。

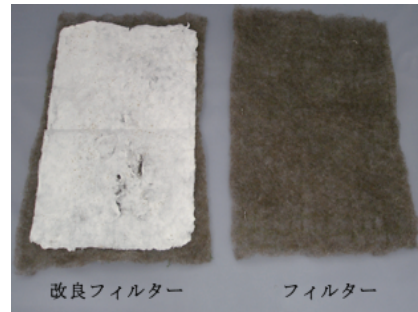


写真2 フィルター裏面

(3) 降雨実験

実際の法面の土砂を使用し、降雨による地盤の流出物の影響を調査した。

本実験では、まさ土が最大乾燥密度の95%以上の締固め度を得られる施工含水比になるように締固め法面を作成し、降雨装置に設置した後に傾斜を $\theta = 30^\circ$ に調節した。そして、降雨装置を使用して人工的に雨を降らせ、各時間での供試体表面の流出水を採取して濁度を測定した。図3, 4に法面の形状の断面図と平面図を示す。斜面の寸法は縦90cm、横60cm、厚さ6cmとし、フィルターは合計12個の釘で固定した。1回の実験時間は2時間とし、濁度の基準値は赤土流出防止条例⁵⁾より200ppmとし、流出水を採取する時間は10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120分後とした。濁度の測定には濁度計を使用し、降水量は50mm/hと100mm/hの2種類で実験を行った。

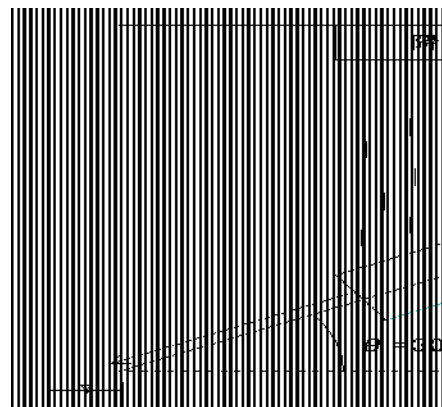


図3 降雨試験機の法面形状

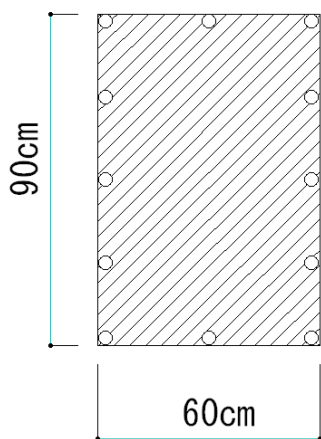


図4 法面平面図

2.2.2 含水比試験

(1) 土の物理的性質

本実験に用いた試料は、前記の降雨実験で用いた試料と同じものを使用した。締固め試験も同様に突固め回数は1層につき25回とし層数は3層、ランマーの重量は4.5kgである。

(2) 緑化用フィルター

緑化用フィルターは前に記述したものと同様のものを用いた。本実験は、降雨実験でも記した一般的な緑化用開放型フィルター、改良フィルター、開発したシートおよび裸地の4種類の条件で実験を行った。

(3) 含水比試験

実際の法面に近い条件で緑化用開放型フィルターが地盤表面の乾燥に対してどのような影響を与えるのかを調査した。

本実験に用いた試料は、まさ土が最大乾燥密度の95%以上の締固め度を得られる施工含水比になるように、プラスチック容器に締固めて法面の地盤表面を作成した。容器の寸法は縦20cm、横27cm、厚さ10cmで容量が約4.2ℓのものを使用した。そして、水を含ませた後に爪楊枝で9点支持をして、地盤とフィルターを密着させた。爪楊枝の材質は竹でできたものを用い、実際の現場での竹杭の役割とした。そして、1時間毎に供試体の重量を測定し水の蒸発量を調査した。各条件の供試体は5つずつ用意し、その平均から地盤表面の乾燥具合を比較した。写真3に地盤の表面乾燥試験開始時の状況を示す。

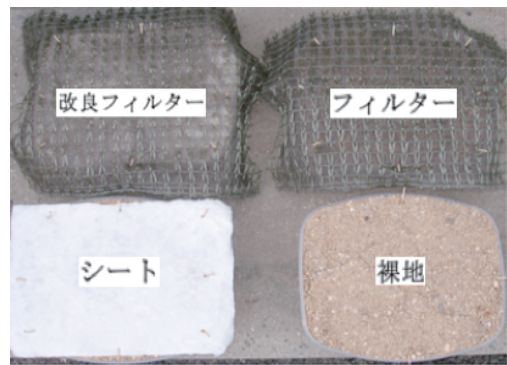


写真3 表面乾燥試験

3. 実験結果

3.1 シートの性能

3.1.1 発芽率

シート加工を施した種子の10日後の発芽状況を写真4に、種子のみの場合とシート状に加工した場合の発芽率の推移を図5に示す。シート状に加工した場合の発芽率と、種子のみの場合の発芽率を比較したところ、どちらも7割前後発芽し、あまり変化は見られなかった。このことから、シート状に加工した後も発芽率には影響がないことがわかる。ただ、初期の発芽数が種子のみの植生よりも低下している。

この結果はシートの作成過程に種子が受ける温度変化に原因があると考えられる。種子の発芽は、種子自身が持つ休眠性と環境要因によって巧みに調節されていて、温度変化もその要因の1つにあたる⁶⁾。つまり、種子がシートの作成の際に水に触れ、また乾燥するという過程で、発芽調節のメカニズムの休眠状態になんらかの影響がでたものと考えられる。

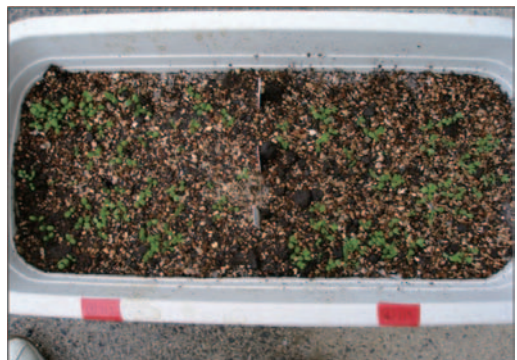


写真4 植生後の発芽状況

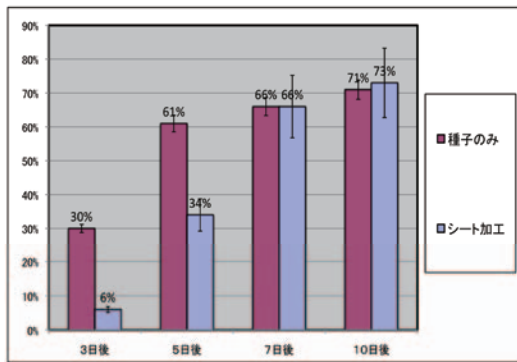


図5 発芽率の比較

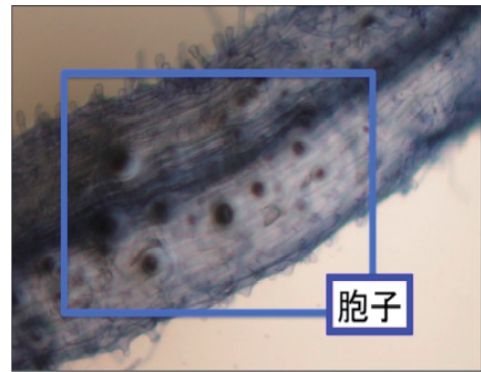


写真5 菌根菌の感染状況

3.1.2 菌根菌の感染状況

開発したシートから発芽した植物根のAM菌根菌の感染率の推移を図6に示す。2週間経過した段階では20%程度だった感染率も、6週間経過後には50%以上となっていることが確認され、胞子の形成も確認された(写真5)。

菌根菌胞子は土壤中に存在している間、温度と水分条件が揃えば発芽し、菌糸を伸ばして植物根に辿り着くまでの間は、ほとんど分岐せずに菌糸をまっすぐに伸ばし続ける。この時、もし近くに宿主植物根がない時は胞子中の栄養分が尽きないうちに伸びるのを休止する。宿主植物の根が近くにある場合は、根から発せられる菌糸誘導因子に反応し激しく分岐して新たな菌糸を次々と形成し、根に向かって放射状に菌糸の束を伸ばすことによって確実に根の表面に辿り着こうとする⁷⁾。今回の試験で、シート状に加工した後でも、これらの発芽能力や菌糸の伸長、感染能力が失われないことが明らかになった。

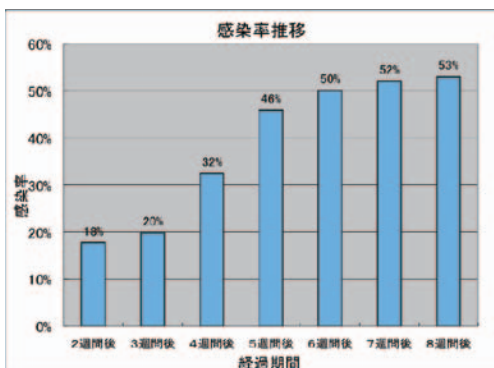


図6 感染率の推移

3.2 現場試験

3.2.1 降雨試験

フィルターによる保護を行わず、裸地法面で降雨実験を行った。写真6のように、実験開始前は平滑だった法面が、降水量50mm/hの雨を2時間降らせた後は写真7のように、降水量100mm/hの雨を2時間降らせた後は写真8のように、それぞれ激しい浸食を受けた。図7に示すとおり、降水量50mm/hと100mm/hの両方で実験開始10分後には最大の濁度を記録した。これは50mm/hの降雨で、赤土流出防止条例の基準値の約7倍、100mm/hでは約10倍の値である。50mm/hの場合では実験開始40分後に濁度が基準値を下回ったが、100mm/hの場合では2時間で基準値を下回ることにはなかった。この実験により、裸地法面は何もしないと基準値を大きく超える濁度が出るということが明らかになった。つまり、法面の崩壊を抑えるにはフィルター等による保護が必要であることが明らかである。



写真6 実験開始前(裸地)



写真7 実験終了後（裸地:50mm/h）



写真8 実験終了後（裸地:100mm/h）

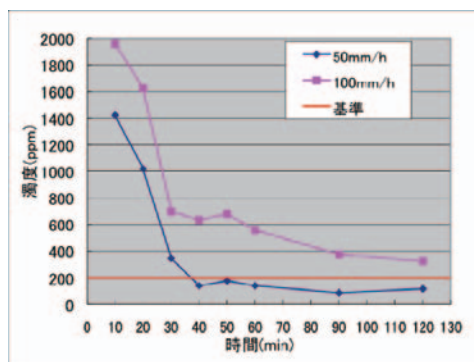


図7 時間と濁度の関係（裸地）

次に、一般的な開放型緑化用フィルターを法面に敷設して降雨実験を行った。図8に示すとおり、降水量50mm/hの場合では濁度の最大が200ppmを下回ったが、降水量100mm/hの場合では開始20分の間は200ppmを上回った。写真9に開始前のフィルターの状態を、写真10、11に実験終了後のフィルターの状態を示す。実験終了後のフィルターには大きな変化は見られない。フィルターが降雨による衝撃を抑えたた

め法面は侵食こそされなかったが、地盤の細粒分が抑えきれずに流出し濁度が大きくなったと考えられる。

この結果より、一般的な緑化用フィルターの場合は100mm/hの降雨では、初期の濁度を抑えることが出来ず、フィルター自体を重くしたりするなど、何らかの方法により法面との密着性を向上させる必要があることがわかる。

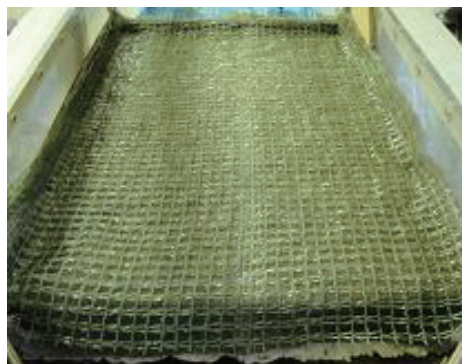


写真9 実験開始前（フィルター）

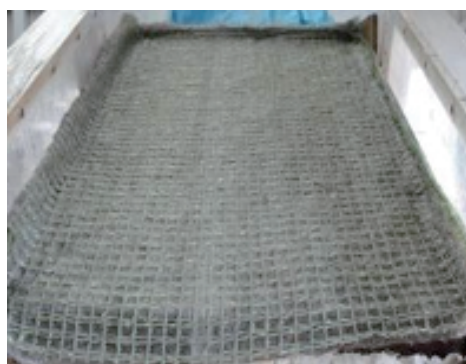


写真10 実験終了後（フィルター:50mm/h）

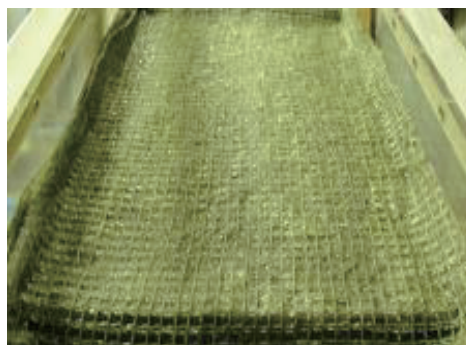


写真11 実験終了後（フィルター:100mm/h）

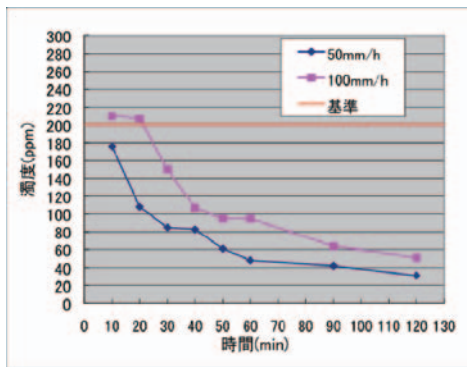


図8 時間と濁度の関係 (フィルター)

次に、改良フィルターを法面に敷設して降雨実験を行った。図9に示すとおり、降水量50mm/h, 100mm/hのどちらの場合でも、実験開始直後から実験終了まで濁度が200ppmを上回ることがなかった。写真12に開始前のフィルターの状態を、写真13と写真14に実験終了後のフィルターの状態を示す。実験終了後のフィルターには改良前の一般的な開放型緑化用フィルターと同じく、大きな変化は見られない。これに対し、改良フィルターは、フィルターが降雨の衝撃を緩和し法面の侵食を抑える事ができることに加えて、シートがフィルターよりも地盤と密着する表面積が広いこと細粒分を流出しにくくしていることで濁度を低く保つことが出来るのではないかと考えられる。

今後の研究としては、土砂が許容できる水量を上回った時に起こる越流に対してどういった挙動を示すのか確認する必要がある。また、その試験でも通常のフィルターと改良フィルターの比較検討をする必要がある。



写真12 実験開始前 (改良フィルター)

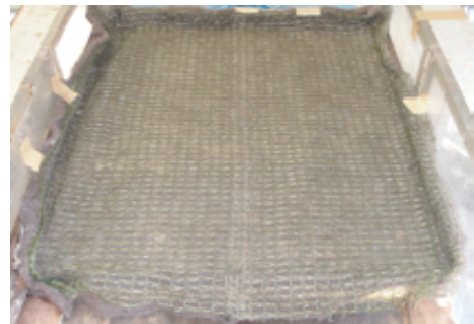
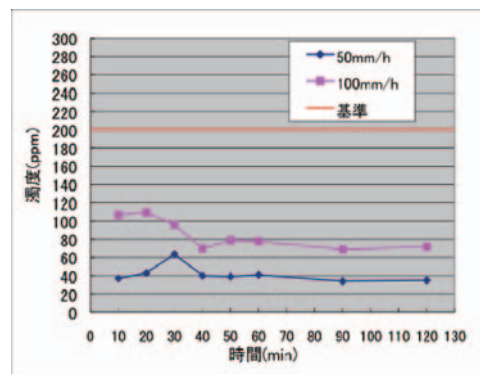
写真13 実験終了後 (改良フィルター：
50mm/h)写真14 実験終了後 (改良フィルター：
100mm/h)

図9 時間と濁度の関係 (改良フィルター)

3.2.2 含水比試験

地盤の表面乾燥試験開始から終了時までの12時間の気温、湿度の変化を図10、図11にそれぞれ示す。測定した日は常に気温が30℃を超え、湿度は雲に覆われて14時を過ぎたあたりから徐々に上がっていた。

各条件での時間と水の減少量の関係を図12に示す。裸地の場合は13時30分頃、シートの場合には15

時頃、一般的な緑化用開放型フィルターの場合は17時頃、改良フィルターの場合は19時頃に完全に乾燥している。この結果から、シートとフィルターを個々に敷設すると裸地と比べて1時間30分と3時間30分の乾燥を防ぐ効果があることが明らかになった。そして、両方を組合せて敷設した場合は5時間30分と乾燥を防ぐ時間が長くなることが明らかになった。

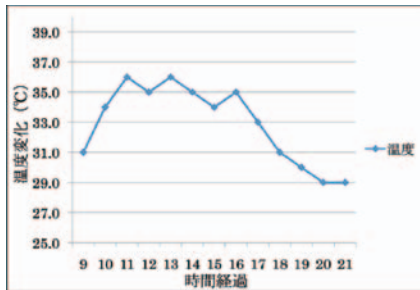


図10 気温と時間経過との関係

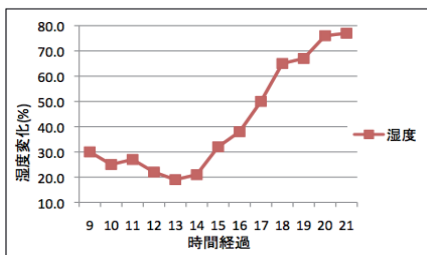


図11 湿度と時間経過との関係

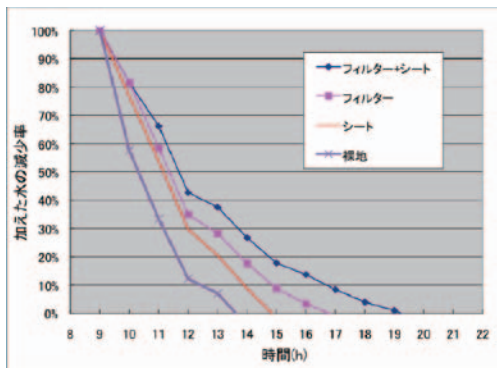


図12 時間と水の減少量との関係

4. 結論

本研究で開発したシートの性能調査および現場試験をした結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 種子とアーバスキュラー菌根菌胞子をシート状に加工した後も、種子の発芽率は最終的に変化が無く、菌根菌も宿主植物根に効率よく感染する事が

可能である。

- (2) フィルターにシートを組込んだ改良フィルターは、一般的な開放型緑化用フィルターよりも地盤に触れる表面積が大きいため、密着性が高く、降雨の影響による濁度を初期の段階から抑える事が出来る。
- (3) 改良フィルターは、一般的な開放型緑化用フィルターよりも地盤表面の乾燥を防ぐ時間が長く、通より安定的な植生が可能である。

今後は、宿主植物種子と AM 菌胞子の割合を変化させ植生試験を行い、距離と感染率の関係を調べる必要がある。さらに、シート状に加工した場合の感染率と土壌に吹付けた場合の感染率の推移を比較し、シート状に加工する利点をより明確にすることが必要である。

さらに、改良フィルターが越流に対してどのような挙動を示し、どのくらいの流量まで濁度を抑えることが可能なのか検討していく必要もある。

謝辞

本研究を行うにあたり、御指導、御助言、御協力を頂いた徳山工業高等専門学校土木建築工学科上俊二教授、福田靖技官、ならびに地盤工学研究室の皆様にご心より感謝申し上げます。

文献

- (1) 日本緑工学会：環境緑化の辞典，pp. 254-259，朝倉書店，2005
- (2) 国土交通省東北地方整備局：酸性土壌ののり面の緑化について，pp. 1-4，2005.
- (3) 松崎克彦：アーバスキュラー菌根菌とその利用，農業および園芸，84(1)，pp. 170-175，養賢堂，2009.
- (4) 全国特定法面保護協会：法面緑化工の手引き，84(1)，pp. 5-10, 125-133，山海堂，2006.
- (5) 藤原東雄，福田靖，上俊二，桑嶋啓治，常村忠生：開放型フィルターによる斜面の安定，pp. 1-8，2005.
- (6) 川上直人：種子の休眠・発芽と温度-発芽調節メカニズムの解明をめざして-，pp. 514-517，日緑工誌，2009.
- (7) 秋山康紀・林英雄：アーバスキュラー菌根共生における宿主認識シグナル物質ストリゴラクトン，pp. 141-149，2006.

(2014. 09. 22 受理)

徳山工業高等専門学校校外発表論文，学術講演，
著書，分担執筆など

(平成25年・9・6～平成26年・9・5)

論

A Note on Cooperating Systems of One-Way Alternating Finite Automata with Only Universal States
IEICE TRANS. FUNDAMENTALS. VOL.E97-A,
NO.6 JUNE 2014
pp.1375-1377
Tatsuya FUJIMOTO, Tsunehiro YOSHINAGA,
and Makoto SAKAMOTO

A cooperating system of finite automata (CS-FA) has more than one finite automaton (FA) and input tape. These FA's operate independently on the input tape and can communicate with each other on the same cell of the input tape. For each $k \geq 1$, let $L[CS-1DFA(k)]$ ($L[CS-1UFA(k)]$) be the class of sets accepted by CS-FA's with k one-way deterministic finite automata (alternating finite automata with only universal states). We show that $L[CS-1DFA(k+1)] - L[CS-1UFA(k)] \neq \emptyset$ and $L[CS-1UFA(2)] - \bigcup_{1 \leq k < \infty} L[CS-1DFA(k)] \neq \emptyset$.

Tissue Characterization of coronary plaque by kNN classifier with fractal-based features of IVUS RF-signal
Journal of Intelligent Manufacturing
DOI 10.1007/s10845-013-0793-3
Eiji Uchino, Takanori Koga, Hideaki Misawa,
Noriaki Suetake

We propose a tissue characterization method for coronary plaques by using fractal analysis-based features. Those features are obtained from radiofrequency (RF) signals measured by the intravascular ultrasound (IVUS) method. The IVUS method is used for the diagnosis of the acute coronary syndrome. In the proposed method, the fact that the complexity of the tissue structures is reflected in the RF signals is used. The effectiveness of the proposed method is verified through some experiments by using IVUS RF signals obtained from rabbits and human patients.

文

Report of three-dimensional laser scanning of the triple church complex in Jerash
The 2013 World Congress on Advances in structural Engineering and Mechanics, Jeju, Korea Vol. 1. 1
pp. 1297-1301
Hitoshi Takanezawa, Kenichiro Hidaka and Takashi Hara

The structural analyses of heritage structures are quite important because of not only to understand the structural systems but also to restore the heritage structures. Prior to the structural analysis, it is necessary to measure the current status. In this paper, the results of the three-dimensional laser scanning of the triple church complex in Jerash are presented. The data shows: 1) the inclination of the ground (east to west: max. 35 cm / 15 m lower; north to south: max. 65 cm / 40 m lower), 2) the inclination of the columns in the nave of St. John the Baptist (toward west-southwest, especially the north-west one: approx. 4°), and 3) the position of four columns in the nave of St. John doesn't make a square (the northeast one is approx. 60 cm to south, and the southeast one is approx. 40 cm to north). Therefore, it can be supposed the lost upper structure was originally unstable and weak.

Structural characteristics of ancient dome in Jerash
The 2013 World Congress on Advances in structural Engineering and Mechanics, Jeju, Korea Vol. 1. 1
pp. 1302-1307
Takashi Hara, Kenichiro Hidaka and Reiko Seta

Jerash is the remains of a Roman ancient city and is located 48 km north from Amman, Jordan. In the heritage site constructed in mid second

century, the stately agora, colonnaded streets and the building beside them have been constructed. In this paper, firstly, the structural characteristics of the main dome were analyzed numerically based on the shape surveying and the structural characteristics of the total structure were studied as well. Then, secondary, assuming uneven settlement of the pier due to soil flowage and foundation cutting, the structural behavior was assessed by FE analysis. From the numerical analyses, the stress concentration of total structure was detected by pier uneven settlement and the portion of stress concentration coincides with the portion of cracking and the opening between stone joints. The numerical results show well the existing structural behavior and provide us the knowledge of restorations.

Estimation of the dynamic behaviour of a heritage structure

The 2013 World Congress on Advances in structural Engineering and Mechanics, Jeju, Korea V o l . 1

pp. 1308-1313

Takashi Hara and Kenichiro Hidaka

There are a lot of heritage structures in the world. In case of buildings, they have been under severe climate and some structures have been attacked by strong earthquake. Therefore, to maintain these structures is quite important to restore and to conserve for both present and future generations. Prior to the maintenance of these heritage structures, it is required to assess them. The assessment by the dynamic characteristics of these structures is one of useful methods and provides us important knowledge. To measure the dynamic structural characteristics of an old architectural structure, the vibration measurement by a tremor meter has been often applied. In this study, the dynamic assessment to Hagia Sophia, Istanbul, Turkey was performed. The tremors in the old heritage building were measured simultaneously by 8

tremor meters. By measuring the four combinations of tremor meter placements, 29 node tremors are detected.

Study on structural dynamic behaviors of Hagia Sophia through micro-tremor measurement

The 2013 World Congress on Advances in structural Engineering and Mechanics, Jeju, Korea V o l . 1

pp. 1314-1318

Kota Yamaoka, Takashi Hara and Kenichiro Hidaka

Hagia Sophia, the well-known domed complex built by Justinian the Great in the 6th century in his Capital, Constantinople, the present Istanbul, suffers from structural deformation and material decay, which have been caused by repeated seismic attacks and which accumulated through centuries down to the present. It is imperative to understand its structural behavior not only in the static phase but also in the dynamic phase. Our results are based upon the data of the natural frequencies and the mode shapes, which were obtained through micro-tremor measurement in situ, using the frequency domain decomposition method. Of particular importance are the inconsistent vibrations shown in the uppermost part of the north main arch. The structural analysis of Hagia Sophia, should take due consideration of the asymmetry of the structure. The results of our measurements may contribute to the further clarification of the difference between the northern and the southern arch, which were treated to be symmetrical for the sake of structural simplicity in the past analyses.

Strength of R/C shell panel under combined loadings

The 2013 World Congress on Advances in structural Engineering and Mechanics, Jeju, Korea V o l . 1

pp. 3870-3875

Takashi Hara

In this paper, the load bearing capacity and the deformation characteristics of Reinforced Concrete (R/C) cylindrical shell panel were investigated experimentally and numerically under combined axial and flexural loading conditions. R/C shell has 980 x 980mm plan and 10mm thickness. The radius of the shell is 689mm. It consists of micro-concrete and steel mesh of 0.75mm diameter with 5mm openings. R/C shell is pin supported at all edges. In this analysis, the concentrate load was applied combined with axial compressive force. In numerical analysis, the ultimate strength of R/C shell was investigated in the same conditions as experiments. In experimental analysis, R/C shell panels were tested under the same loading and boundary conditions. Comparing both results, the ultimate strength of R/C shell panels was discussed.

Strength of R/C shell under combined axial and flexural loadings

Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium 2013, Wroclaw, Poland V o I . 1

pp. 1-5

Takashi Hara

In this paper, the load bearing capacity and the deformation characteristics of reinforced concrete (R/C) cylindrical shell panel were investigated experimentally and numerically under combined axial and flexural loading conditions. R/C shell has 980x980mm plan and 10mm thickness. The radius of the shell is 689mm. It consists of micro-concrete and steel mesh of 0.75mm diameter with 5mm openings. R/C shell is pin supported at all edges. In this analysis, the concentrate or the lateral distribute loads were applied combined with axial compressive force. In numerical analysis, the ultimate strength of R/C shell panels pin-supported on all edges was investigated under both axial and flexural loadings. In experimental analysis, R/C shell panels were tested under the same loading and

boundary conditions. Comparing both results, the ultimate strength of R/C shell panels was discussed.

STRENGTHEN THE SUPPORTING COLUMNS BY CONFINED EFFECTS

16th IAHR Cooling Tower and Air-cooled Heat Exchanger Conference, Minsk, Belarus V o I .

1

pp.1-7

Takashi Hara

In natural draught cooling tower, reinforced concrete (R/C) shell structure is supported by column system because of taking the cool air into the shell. Cooling towers have been grown for its efficiency. Therefore, the stress in the columns also has been grown. With progressing of concrete technology, high strength concrete has been used to construct the frame system of buildings and the bridge structures. The structural element made from this material is prone to brittle behavior. The ductility of these structural elements must be improved. This paper simulates the behavior of high strength concrete columns confined with several FRP materials by FE analyses. The concrete and the FRP materials are represented as the solid and the sheet elements, respectively. From the numerical results, the characteristics of FRP wrapping effects are presented. And the strength of the column was improved. The numerical results are compared with the experimental results. From the comparison of both results, the strength by FEM well simulates the experimental results.

Space structure system considering 3D facade Advanced Material Research V o I . 831

pp. 100-104

Yuri Kawamura, Takashi Hara

In recent years, temporary housing built in a stricken area has been built by steel construction. But temporary housing could not be built unless an engineer went to a stricken area and the

building could carry a short-time loading like an earthquake or wind loading. This research aims to develop the permanent box unit construction which is carried and assembled a part by victims. Analysis model used the carbon fiber reinforced concrete in order to make a concrete ductile without using a reinforced bars. The linear model was analyzed with FEM software. The analysis was carried out and the validity of a temporary housing was confirmed.

Load carrying capacity of reinforced concrete arch structure considering loading condition

Advanced Material Research V o l . 831
pp. 105-109

Tomoe Kiritani, Hitoshi Mitsunaga, Takashi Hara

The design guideline of R/C shell has not been established in Japan because of several technical difficulties. It is possible to analyze the strength of R/C shell by means of the finite element method but precise experiments are required to verify the analytical results reliably. Therefore, this research conducted the loading test of R/C arch as the basic form of R/C shell. Two kinds of R/C arch without initial imperfection were set under several loading conditions and were analyzed the load carrying characteristics of R/C arch with idealized pinned support. Consequently, it becomes clear that the axial stress and flexural stress of R/C arch depend on the shape of R/C arch and these combinations strongly influenced the deformation behavior and the strength characteristics of R/C arch.

Structural behavior of FRP tunnel lining

Advanced Material Research V o l . 831
pp. 115-119

Takashi Hara

This paper represented the numerical analysis of the tunnel lining which was used for maintaining the old tunnel. The tunnel lining was made from FRP corrugated sheet that supported

the lining concrete in the tunnel and flowed the water or / and the moisture swept on the tunnel surface. The FRP sheet was supported by the anchor bolts. In numerical analysis, the finite element degenerate shell was adopted to represent the FRP behavior. Firstly, the proposed FRP sheet was adopted and the distribute load equivalent to the concrete peeled from the tunnel lining was applied and the stresses of the FRP sheet, the tensile force of bolts and the deflection of FRP sheet were investigated. Then, secondary, the FRP corrugated sheet with longitudinal cover strip was investigated. From the numerical analysis, the effectiveness of the FRP corrugated sheet was confirmed.

Fundamental analysis of the ultimate strength characteristics of R/C arch considering loading conditions

Advanced Material Research V o l . 831
pp. 120-123

Hitoshi Mitsunaga, Takashi Hara

This paper presented the result of analysis about R/C arch by use of finite element method. The design method for R/C shell has not been established due to its numerical difficulties. Using the finite element method, it was possible to analyze these structures. However, the precise experiments were required to verify the reliability of these analyses and it was necessary to improve the numerical analysis. An R/C arch is a basic form of the R/C shell. Under various conditions, that was, R/C arch without initial imperfection, different rise-span ratio, three types of loading points and supporting conditions, loading tests of R/C arch were performed. After experiment, analysis was also carried out. And as the result compared experimental and numerical results, accuracy of this analysis method was elucidated.

Tunnel Lining with Corrugated FRP Sheets
COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING
ENGINEERING ©ASCE 2014 V o l . 1
pp. 761-768

Takashi Hara

This paper represented the numerical analysis of the tunnel lining which was used for maintaining the old tunnel. An old tunnel covered with a concrete is prone to deteriorate due to an aging effect and a water penetration. In the rehabilitation of lining concrete, a steel plate and FRP (Fiber Reinforced Plastics) or carbon sheet have been applied. However, these sheets show small flexural rigidity and do not flow out the penetrating water. In this paper, FRP corrugate sheet was proposed. The tunnel lining was made from FRP corrugate sheet that supported the lining concrete in the tunnel and flowed the water and the moisture swept on the tunnel surface. The FRP corrugate sheet was supported by the anchor bolts. In numerical analyses, the finite element degenerate shell was adopted to represent the FRP sheet behavior. From the numerical analysis, the effectiveness of the FRP corrugate sheet was confirmed.

マグネシウム系固化材を用いた土系舗装について
平成 26 年度北海道大学総合技術研究会 報告集
CD, 10-03

福田靖, 上俊二, 桑嶋啓治, 阿野憲一, 中堀陽平

環境に配慮した舗装技術が必要とされ、土に固化材を添加した土系舗装が多く用いられている。主流はセメントや石灰系の固化材であるが、強アルカリであるため、環境に良いとは言えない。建造物の周辺などで雑草が繁茂し、維持管理に多くの労力・費用を有している。本報告は、環境対応型のマグネシウム系固化材を用い、防草を目的とした土系舗装の開発を行った。

学生の EQ 向上の視点からみた集中測量実習に関する教育的考察

発表誌 雑誌名 高専教育 第 37 号

頁 pp.

佐賀孝徳, 上俊二, 橋本堅一, 田村隆弘, 渡辺勝利, 桑嶋啓治, 島袋淳, 海田辰将, 福田靖

集中測量実習とは、徳山高専土木建築工学科 3 年生（約 40 名）を対象に、起伏に富んだ校外土地の地形図をクラス全員で完成させることを目標に実施する 3 泊 4 日の測量合宿である。この集中測量実習は、昭和 60 年（第 10 期生）から、現在まで、測量実習の一環として継続的に実施されている本学科の特徴的な教育プログラムである。

集中測量実習の目的は大きく分けて 2 つあり、第 1 は、測量の技術や知識の集大成とすること、第 2 は、地形図を作るという 1 つの目標を掲げて実施する 3 泊 4 日の集団活動によって、クラスにおける学生相互および教職員との絆を深め、今後の学生生活に生かすことである。また、最近では測量対象地域の文化や歴史を学び、地域住民の方々と触れ合うための趣向を凝らしたイベントも実習期間中に企画している。これらの多岐に亘る実習内容から、集中測量実習では単に学生の測量技術だけでなく、測量を通して、近年の学生に対して社会的に広く要求されている、こころの知能指数 (EQ: Emotional intelligence Quotient) の向上にも貢献できると考えられる。本論文では、集中測量実習を 3 年次に経験することにより、学生の成長過程における変化の様子を示すと共に、EQ に直結すると考えられるその教育的効果について考察した。そこで、今回は過去 3 年分の授業評価アンケート結果および集中測量実習の前後で 1 回ずつ実施された平成 24 年度 Hyper Q-U 試験の結果を指標として、集中測量実習に対する学生の評価とクラス全体の雰囲気を与える影響について言及した論文である。尚、本論文は高専教育論文賞を受賞する事ができましたが、学校教職員の支援により、継続出来ているものであり、この場であらためて謝意を表するものである。

チェックシートを活用した施行状況把握の品質確保の効果の検証

データベースを核としたコンクリート構造物の品質確保に関する研究委員会報告書・シンポジウム論文集 Vol. No.

pp. 33-38

森岡弘道、二宮 純、細田 暁、田村隆弘

山口県ではチェックシートによる施工状況把握を浸透させるために実構造物を使用した実践的な研修を実施しているが、この研修に使用した構造物の目視評価により品質確保への効果について検証した。

チェックシートを活用した施工状況把握は、「施工の基本事項の遵守」のために有効な手法であり、表層品質の向上につながっていることが確認できた。

**コンクリートの施行状況把握チェックシートおよび施工後目視評価のタブレット端末への適用
データベースを核としたコンクリート構造物の品質確保に関する研究委員会報告書・シンポジウム論文集**

pp. 39-44

井林 康、細田 暁、二宮 純、岩城一郎、田村隆弘

山口県で運用されている、コンクリート構造物のひび割れ抑制システムの施工状況把握チェックシートと、施工後の表面品質を評価する手法の一つである目視評価の2つについて、それぞれタブレット端末で利用できるシステムを構築した。現在、開発途上ではあるものの、現時点で可能なことを示し、実構造物での試用を通して行ったシステムの改善について述べた。施工の情報と施工後の初期品質の情報がデータベースとして蓄積され、将来的には維持管理のデータと連携することにより、コンクリート構造物の品質・性能確保に寄与できる可能性を論じた。

**データベースを活用した設計段階におけるコンクリート構造物のひび割れ抑制対策の取組
データベースを核としたコンクリート構造物の品質確保に関する研究委員会報告書・シンポジウム論文集**

pp. 45-50

廣川昭典、二宮 純、森岡弘道、田村隆弘、細田 暁

山口県で平成 19 年から運用しているコンクリート構造物のひび割れ抑制システムは、コンクリート構造物の施工記録やひび割れ発生状況をデータベース化し、その分析結果を設計や施工に活用することで温度ひび割れを抑制しようとするものである。設計・発注・施工段階でのひび割れ抑制対策の取組みをより確実なものとするため、データベースを活用したひび割れ抑制対策の検討作業の標準化に取組んでおり、その中で設計段階での具体的な検討方法について報告し、その後の展望も述べた。

コンクリート構造物の品質確保のためのデータベースの活用

コンクリート工学, Vol. 52, No. 4

pp. 309-315

田村隆弘、細田 暁、二宮 純、中村秀明

コンクリート工学において解明すべき課題は、部材の安全性に関連した問題から耐久性に関連した問題に至るまで多岐にわたり、これらの問題の多くが実験による観察とデータの分析によって解決される。そして、そこではテーマに応じて因果関係を解明するための適切な分析手法を見出す必要がある。近年、IT 技術の進化によって大量のデータを扱うことが出るようになった。また、実構造物をモニタリングする技術も研究が進んでいる。しかし、大切なのは、いかにしてこれらを活用するかである。本稿では、コンクリート工学におけるデータベースの活用について既往の研究を例に紹介し、特に構造物の品質確保の問題のための統計的手法について概説した。

データベースを核としたコンクリート構造物の品質確保に関する研究委員会報告

コンクリート工学, Vol. 52, No. 4

pp. 316-320

田村隆弘

山口県で開発したコンクリートのひび割れ対策システムをさらに高度化するための研究委員会を立ち上げ、成果を挙げたことについて報告した。委員会の設置にあたり、社会基盤構造物の品質確保という意味には新設時の品質確保という観点と長期にわたる供用期間の中での性能確保という観点が含まれるといった意見も出され、WG 1 を山口県のシステムの高度化、WG 2 をデータベースに基づく維持管理、WG 3 をデータベースの様々な分野への活用をテーマとして研究を進めた。

マスコンクリートの鉄筋によるひび割れ幅の抑制に関する研究

コンクリート工学年次論文集, Vol. 36

pp.

田村隆弘、林 宏次朗、中谷俊晴

コンクリート工事のデータベースから、ひび割れ

の発生状況を調査し、実構造物でも鉄筋比の増加によってひび割れ本数は増加し、最大ひび割れ幅及び平均ひび割れ幅が抑制されることを確認した。一方で、底部をコンクリート底版で拘束された壁式橋脚のたて壁を想定した解析モデルを作成し、実構造物との解析結果の比較を行った。そして、実構造物で発生するひび割れは、断面方向に貫通していても高さ方向で貫通する場合とそうで無い場合があることに着目して、ひび割れの発生状態、ひび割れ補強鉄筋の配置方法の違いによるひび割れ幅の変化を検証した。

『道の駅』と周辺地域における情報機能強化を中心とする防災性能向上に関する調査研究
24年度新技術振興渡辺記念会 科学技術調査研究
助成課題 成果報告集
PP1～5 2013年9月12日
熊野稔

全国の防災拠点化した「道の駅」16駅を調査し「道の駅」が災害時に対応できるための施策や条件、留意点を明らかにし、災害時に必要な情報の種類、防災設備及び情報設備に関する防災への課題を整理して、「道の駅」の防災性能向上のための基本ガイドラインの作成を目的として果たした。ソフト施策では、「道の駅」の防災機能強化への合意形成、自治体防災計画への「道の駅」の位置付け、市町村との事前協定（防災機能強化・予算確保）、→周辺地域を考慮した自主防災協定（防災訓練含む）、災害対応・防災ガイドラインの作成など。ハード施策は、自家発電装置の設置検討、情報機能では、災害時に必要な情報として、通行止め→被災状況、道路の復旧状況、迂回路に関する情報などを災害時でも提供できるシステムが必要であるとした。

区分的法線ベクトルを用いた建物データの高速描画法、

日本高専学会誌、2013.10 VOL.18 NO.4

PP.39～43 査読論文

平岡透，野中尋史，熊野稔

本査読論文は、建物側面カリリング法の計算処理を区分的法線ベクトルを用いて削減して高速に描画する方法を提案し、大分市の建物データを用いた実験を通してその有効性を検証することを目的とした。

提案法は、法線ベクトルを北から東回りにある一定角度で区分されたグループに割り当て、法線ベクトルと視線ベクトルのなす角の計算量を削減する。提案法のソフトウェア上での実現形態は、計算量の削減処理をVC++、描画処理をOpenGLで行う。つまり、視点が移動するたびに、CPU上で描画する建物データの側面を選別し、選別された建物データの側面をOpenGLを用いて描画することになる。筆者らの調べるかぎりでは、このような研究はまだ行われていない。

また、提案法と視野内カリリング法を組み合わせること（以下、統合法）で、より高速に建物データを描画することができることも実験を通して示す。さらに、描画しない建物データの側面によって三次元映像が劣化することも考えられるため、実験を通して質的な評価も行った。

その結果、三次元の建物データをコンピュータ上で高速に描画する区分的法線ベクトルを用いた方法を提案し、膨大なデータ量の大部分市の建物データを用いた実験を通してその有効性を検証した。提案法を用いることで、建物データを比較的高速に描画できることがわかった。また、提案法と従来の視野内カリリング法を組み合わせることで、より高速に建物データを描画できることもわかった。さらに、提案法は三次元映像の質的な劣化もほとんど生じないこともわかった。今後の課題は、提案法にLODの技術を組み込み、より広範囲の建物に対して実験を行うことである。

中心市街地活性化計画の認定自治体における
「借上型市営住宅制度」の実施者の評価及び方向性
—山口市を事例として—

日本建築学会 第8回住宅系研究報告論文集
2013年12月 査読論文

熊野稔 中野莉彩 樋口秀

本査読論文は、中心市街地活性化基本計画に認定されている地方都市の事例として、山口県山口市の借上型市営住宅の実態を調査し、借上型市営住宅制度の動向および行政と民間事業者の意識や評価を明らかにして、山口市借上型市営住宅の課題と山口市借上型市営住宅の計画・運営の方向性を考察することを目的とした。借上型市営住宅は、民間事業者が建設した集合住宅を市が市営住宅として借り上げ、低額所得者に転貸するための住宅、その附帯施設及

び入居者の共同の福祉のために必要な共同施設で、民間事業者が承認された事業計画で建設し、所有するものである。

その結果、中心市街地活性化基本計画認定都市は全国で110市あり（2013年1月時点）、そのうち借上型市営住宅に取り組んでいる都市は山口市を含め12市ある。

- ・山口市借上型市営住宅の5棟はすべて入居率100%であり、初期の入居倍率は平均6.2倍と高い。

- ・山口市中心市街地エリアの人口は、中心市街地エリア内において借上型市営住宅を建設した平成21年から増加しており、平成23年の目標値4,200人を113人上回った。

- ・民間事業者の大半が山口市借上型市営住宅に取り組んだ動機として、山口市役所が背景にしていることを挙げた。

- ・山口市借上型市営住宅に関しては行政、民間事業者ともに取り組んだことに関して8割は良かったとして評価が高く、民間事業者の8割は契約が終了する20年後以降も継続したいとして継続意識が高い。

- ・両者の評価は高かったが、行政、民間事業者ともに課題や留意点、要望もいくつか挙げられた。

行政が民間の活力を利用する借上型市営住宅制度は、民間事業者にも行政にとってもメリットがあり、まちなか居住による中心市街地活性化計画に今後も取り組まれていく可能性があると考えられる。

山口市における「道の駅」の防災性能の向上に関する一考察

自治研やまぐち NO. 81

PP. 3～17 2013年12月

熊野 稔 澤村修司 濱本俊

「道の駅」が災害緊急対応や地域の防災拠点として役立つ機能を発揮することが期待され、注目されている。しかし、これは「道の駅」の本来の目的ではないために災害時の活用を具体化していない所が多数を占め、山口市内の「道の駅」も例外ではない。

また、既往研究として「道の駅」の計画、設立、運営における地域住民の連携に関する研究などはこれまでにに行われているが、「道の駅」の防災機能に関する研究は山口市内については皆無であり、ガイドラインの作成までは至っていない。

そこで本論では、山口市内の「道の駅」の調査を実施し、「道の駅」が災害時に対応できるための施策

や条件を明らかにすると共に、必要な情報の種類、防災設備等に関する防災への課題を整理して、山口市「道の駅」防災ガイドラインの作成及び防災機能向上への提言を行うことを目的とした。

その結果、山口市の「道の駅」における防災機能向上のために、災害時に対応できるための施策や留意点、必要な情報、防災設備等に関する防災への課題が明らかとなった。山口市の「道の駅」において、このような防災機能強化に対する賛成意見も多いことから、今回の取り組みが非常に価値のあることだと言える。本研究により明らかとなったことをまとめ、山口市の「道の駅」における防災機能の向上に関する考察を行った。

まちなか居住に寄与する借上型市営住宅制度の動向と評価

住宅 日本住宅協会 2014年3月号

PP. 76～87

熊野 稔 中野莉彩 樋口秀

全国の中心市街地活性化基本計画に認定されている地方都市の借上型市営住宅制度の事例をアンケート調査により明らかにして動向や方向性を示した。詳細な状況として、山口市山口市の借上型市営住宅の実態を調査し、借上型市営住宅制度の動向および行政と民間事業者の意識や評価を明らかにして、山口市借上型市営住宅の課題と山口市借上型市営住宅の計画・運営の方向性を考察することを目的とした。その結果は、事業が中心市街地エリアの人口増加に寄与し、市の中心市街地活性化計画の目標値を達成した。エリア内の民間の土地も有効利用ができた。これは他のまちな中居住施策と比較しても規模が大きく効果的であった。5棟の入居率は100%であり、入居倍率に関しても5棟とも3.63～8.52倍と高く、民間事業者の継続意識が高い、等が明らかになり、まちなか居住政策における借上型市営住宅制度の有用性や今後の課題や方向性も明示した。

災害時の「道の駅」

道路建設 日本道路建設業協会

道路建設 2014年3月号 防災特集にて

PP60～64

熊野 稔

本稿では、防災拠点化した全国の「道の駅」のうち、防災関連や情報機器設備などのハード整備が充実した 29 駅を選定し、2013 年 1 月に各「道の駅」の担当課や管理自治体に向けてアンケート調査を行った。調査内容は、防災拠点化した背景・理由、想定される自然災害、想定される防災性能、今までに役立ったこと、既存防災設備の内容・機能・設置場所、防災情報の種類、現在提供している情報の種類、災害時提供し得る防災情報とその提供手段、復旧・復興時に提供し得る防災情報とその提供手段、災害時の連絡網の有無、情報機能強化に向けたニーズと対処法、維持管理費用、運営上の課題や留意点、地域特性の活用、連携や協定、防災計画、災害対応マニュアル・ガイドラインの有無、防災訓練の有無、今後の方向性などである。

「道の駅」における情報発信と防災機能の高度化に関する一考察

月刊「建設」2014 年 3 月号

PP35～38

（一社）全日本建設技術協会

熊野稔、平岡 透

本稿では、今までの調査をもとに道の駅のさらなる機能発揮のための情報発信と防災機能の高度化に向けて言及・考察して提言することを目的とした。今後の情報の高度化に当たり、各駅の HP を中心とした内容の拡充、非常時の災害状況、安否確認のための情報入手システム、公衆無線 LAN ほか情報発信機能・設備の充実、休憩と一体化した情報空間確保が必要とした。防災対応と機能強化は今後必要であり、まずは、各道の駅が災害対応マニュアルを作成し、現在の状況でできること、改善や追加すべき対策や機能、施設は何か、ソフト・ハード両面で、可能なことから防災対策の検討が肝要である。とした。

道の駅 20 年、今後の方向性を考える

～休憩・情報発信・地域連携の高度化、防災機能に期待～

道路 2014 年 2 月号

PP60～63 日本道路協会

熊野 稔

本稿では、道の駅の誕生の経緯とその後の展開、

全国の道の駅の駐車場やトイレ台数、施設内容などの諸データに基づく特性等を明らかにする一方、道の駅が成功した要因、直面する課題を整理し、今後目指すべき方向性について考察した。方向性として、①全国的利用規約の策定、②休憩機能の高度化、③情報発信機能の高度化、④地域連携機能の高度化として、道の駅サポータークラブの確立、ポイントカードの導入・活用、サービス・イメージの地域ブランド化、コミュニティビジネスの拠点、直売所の持続的発展、道の駅ブランドのレストラン、地域の足・交通ステーション、⑤防災機能の確保を中心に提言した。

地域振興における多様な廃校活用と課題・方向性 月刊「地方議会人」7 月号 社会インフラの再生特集

PP. 31～36 全国市議会議長会・全国町村議会議長会 株式会社中央文化社

熊野稔

平成 4 年度から平成 23 年度の 20 年間では、公立の小・中・高等学校は 6834 校が廃校になった。最近では毎年約 500 校が廃校となっている。

学校のほとんどは地区や集落の中心に立地し、廃校で放置されることは集落の衰退を大きく加速させる恐れがある。地域の共有資産として校舎を残す地元の要望も高く、地元の意向を配慮して有効活用が図られ、社会教育施設、体験交流施設や医療・福祉施設、飲食・加工製造施設、庁舎や住宅等、全国各地で多様な動きがみられる。廃校活用により、農山漁村・過疎地域等での地域振興に向けた方向性を見出すことは、全国的に喫緊の課題となっており、その有効活用が模索されている。

本稿では廃校活用の意義・必要性、課題、用途種別や動向を体系化し、特にその活用に顕著な事例を類型化して紹介し、方向性を模索することで、今後の廃校活用を地域政策の中で位置づけていく自治体にとっての参考資料となることを目指して、論述した。

徳山高専と地域の協働による防災教育の取り組み、 1 回 2 時限の防災教育による児童・生徒の防災対応力の変化

全国治水砂防協会、砂防と治水 第 217 号 vol. 46

No. 6

pp. 117—120

目山直樹

徳山高専と地域との連携による防災教育の活動について概観するとともに、受講した児童・生徒の暴行対応力の変化について考察した。著者が企画・運営に携わる防災教育として、山口県教育庁と連携した防災出前授業、防府市との協働による防災教育プログラム、下松市立久保中学校との協働による連続5回の防災教育について概説した。教育内容の事例として、1回2時限のアプローチによる防災出前授業を例に、前半の「自然災害の科学（理科的）」と後半の「災害時の避難行動（社会的）」の内容を解説した。これらをふまえた宿題（家族で話し合って避難場所を決める、家でハザードマップをみつけてくるなど）の出題と、その実施状況から、防災対応力の向上効果について考察した。

防災教育による高専と自治体との地域連携—防府市における防災教育プログラムの実践と成果—

論文集「高専教育」 第37号

pp. 425—430

目山直樹，牛丸正美，湯面由紀夫，渡邊幸成，後藤晃徳

2011年度より防府市防災危機管理課と徳山工業高等専門学校の目山直樹の研究室が共同で取り組んでいる「防災教育プログラム」の実施報告と、その成果および改善方向について検討した。ここで提案する「防災教育プログラム」とは、学校の児童・生徒、家庭（PTA）、地域社会（自治会など）の3つの主体に対して防災教育を行い、防災意識の変化を探る仕組みである。受講者の防災意識の変化を把握するため、防災出前授業では直前に事前アンケートを、1週間後に事後アンケートを実施して防災意識の変化を確認した。防災講演会では1枚もののアンケート用紙の片面ずつに事前・事後アンケートを印刷し、講演会受講前後でアンケートに回答させる方法をとった。また、防災出前授業では児童・生徒および教職員へのアンケート調査を行い、指摘事項をふまえた改良を加えた。防府市による多様で、多面的な防災行政施策の成果を図るため、自主防災組織結成率の増加を評価の指標のひとつとし、3年間の活動による成果を確認した。

学 術 講 演

○印講演発表者

講 演 者	演 題	発 表 機 関	年 月 日
○藤 本 誠 也 櫻 本 逸 男 市 原 和 彦 大 木 順 司 岩 本 正 実	脳組織の機械的性質の調査	日本機械学会技術と社会部門講演会	2013. 11. 30
○福 本 哲 己 櫻 本 逸 男 市 原 和 彦 大 木 順 司 岩 本 正 実	脊髓実質の機械的性質の調査	日本機械学会技術と社会部門講演会	2013. 11. 30
○北村 健太郎 三浦 靖一郎	月惑星の縦孔・地下空洞探査：宇宙理工学の技術者教育への適用	第 57 回宇宙科学技術連合講演会	2013. 10. 10
○北村 健太郎 才 田 聡 子 田 中 良 昌 門 倉 昭 山 岸 久 雄	Localtime Dependence of Pc5 during Relativistic Electron Enhancement during CIR magnetic storms	地球電磁気・地球惑星圏学会第 134 回総会	2013. 11. 3
○北村 健太郎	高専一大学連携による宇宙科学教育	地域ネットワークによる宇宙天気観測・教育活動に関する研究集会	2014. 3. 19
○森 本 祐 平 北村 健太郎 魚 住 禎 司 吉 川 顕 正 湯 元 清 文	フラックスゲート磁力計のデジタル化と評価	地域ネットワークによる宇宙天気観測・教育活動に関する研究集会	2014. 3. 19
○北村 健太郎 才 田 聡 子 田 中 良 昌 門 倉 昭 山 岸 久 雄	CIR 通過に伴う Pc 5 波動特性の時間変動	地球惑星科学連合 2014 年大会	2014. 4. 29
○Kitamura K. T. Nagatsuma T. Obara H. Koshiishi S. Saita Y. Tanaka A. Kadokura H. Yamagishi	Relationship between Relativistic Electron Flux in the Inner Magnetosphere and ULF Pulsation Associated with Long-term Variations of Solar Activity	Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 11Th Annual Meeting	2014. 8. 1
○福 田 明 西 村 太 志	徳山高専における CAE 教育の紹介	日本機械学会 技術と社会部門講演会 技術と社会の関連を巡って：過去から未来を訪ねる	2013. 11. 30

○福田 明	＜キーノートスピーチ＞CMP 研磨レート分布に及ぼすウェーハエッジ形状の影響ーウェーハエッジロールオフとノッチに関してー	2014 年度精密工学会春季大会学術講演会	2014. 3. 18
○義永 常宏 坂本 真人	“騎士の巡回” に関する一考察	平成 25 年度（第 64 回）電気・情報関連学会中国支部連合大会	2013. 10. 19
Makoto. Sakamoto Makoto Nagatomo ○Xiaoyang Feng Tatsuya Kurogi Tuo Zhang Takao Ito Yasuo Uchida Tsunehiro. Yoshinaga Satoshi Ikeda Masahiro. Yokomichi Hiroshi Furutani	Hierarchy Based on Neighborhood Template about k -Neighborhood Template k -Type Three-Dimensional Bounded Cellular Acceptor	Proc. of the International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2014)	2014. 1. 13
Makoto. Sakamoto Tuo Zhang Tatsuya Kurogi ○Makoto Nagatomo Xiaoyang Feng Yasuo Uchida Takao Ito Tsunehiro Yoshinaga Satoshi Ikeda Masahiro Yokomichi Hiroshi Furutani	Hierarchy Based on Configuration-Reader about k -Neighborhood Template k -Type Three-Dimensional Bounded Cellular Acceptor	Proc. of the International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2014)	2014. 1. 13
○Y. Hayashi N. Kawai, T. Sato M. Okumoto N. Yokoya:	Generation of a super-resolved stereo video using two synchronized videos with different magnifications	Proc. 6 th Pacific-Rim Sympo. on Image and Video Technology (PSIVT2013), pp. 194-205, Oct. 2013.	2013. 10. 30
○前田 尚活 武 富 貴 史 奥 本 幸	顔追跡による Structure from Motion におけるスケール不定性の解決および累積誤差の抑制	電子情報通信学会 2014 年総合大会	2014. 3. 18
○Takanori Koga Noriaki Suetake Tsuyoshi Kato Eiji Uchino	Impulse Noise Removal by Using One-dimensional Switching Median Filter Applied along Space-filling Curve Reflecting Structural Context of Image	The 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society	2013. 11. 12
○古賀 崇了 末竹 規 哲 加藤 剛 内野 英治	最小全域木に基づく空間充填曲線を利用した一次元スイッチングメディアンフィルタによるインパルスノイズ除去	電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会	2013. 9. 12

○古川翔大 福田孝広 古賀崇了 末竹規哲 内野英治	Min-Max バイラテラルフィルタを用いたヘイズ除去 法の一提案	電子情報通信学会スマート インフォメディアシステム 研究会	2013. 9. 12
○古川翔大 福田孝広 古賀崇了 末竹規哲 内野英治	Min-Max バイラテラルフィルタを用いたヘイズ除去	第18回日本知能情報ファ ジィ学会中国・四国支部大 会/第15回日本知能情報フ ァジィ学会九州支部学術講 演会合同大会	2013. 12. 21
○古賀崇了 末竹規哲 内野英治	最小全域木に基づく空間充填曲線を利用したスイッ チングメディアンフィルタによるインパルス性雑音 除去	第18回日本知能情報ファ ジィ学会中国・四国支部大 会/第15回日本知能情報フ ァジィ学会九州支部学術講 演会合同大会	2013. 12. 21
○Shota Furukawa Takahiro Fukuda Takanori Koga Noriaki Suetake Eiji Uchino	High-Speed Min-Max Bilateral Filter-Based Image Dehazing by Using GPGPU	International Conference on Advanced Mechatronic Systems	2014. 8. 11
○吉次洋毅 高山泰博	Fine-grained Internet News Categorization using Word Associations	第15回 IEEE 広島支部学生 シンポジウム予稿集 (HISS15)	2013. 11. 17
○Hiroki Yoshitsugu Yasuhiro Takayama	拡張特徴ベクトルを用いたネットニュースの詳細分 類	平成25年度(第64回)電 気・情報関連学会中国支部 連合大会講演論文集	2013. 10. 19
○力規晃 越村三幸 西田光生 阿部幸浩 藤田博 長谷川隆三	帰納論理プログラミングを用いた化学実験支援	人工知能学会 第94回人工 知能基本問題研究会	2014. 7. 24
○山本凌平 上俊二 桑嶋啓治 福田靖	寒冷地におけるマグネシウム系固化材による土系舗 装の性能評価に関する研究	平成26年度(第66回) 土木学会中国支部研究発表 会	2014. 5. 31
○寺本嵩史 上俊二 大内光徳	超音波による細粒材料の高密度化(減容化)特性に関 する研究	平成26年度(第66回) 土木学会中国支部研究発表 会	2014. 5. 31
○桑嶋啓治 上俊二 福田靖	石膏とスラグを用いた地盤固化材による地盤改良	平成26年度地盤工学会中 国支部地盤工学セミナー報 告会	2014. 8. 7

○寺本 嵩史 上 俊二 桑嶋 啓治 福田 靖 大内 光徳	超音波を利用した細粒材料の高密度化(減容化)特性に関する研究	平成 26 年度地盤工学会中国支部地盤工学セミナー報告会	2014. 8. 7
○山本 凌平 上 俊二 福田 靖 桑嶋 啓治 中堀 陽平 阿野 憲一	寒冷地におけるマグネシウム系固化材による土系舗装の性能評価に関する研究	平成 26 年度地盤工学会中国支部地盤工学セミナー報告会	2014. 8. 7
○福田 靖 上 俊二 桑嶋 啓治 阿野 憲一 中堀 陽平	マグネシウム系固化材を用いた土系舗装について	平成 26 年度北海道大学総合技術研究会	2014. 9. 5
○桑嶋 啓治 上 俊二 福田 靖	廃・石膏ボードリサイクルによる地盤固化材	2014NEW環境展	2014. 5. 27
○橋本 堅一 阿野 憲一	海水マグネシウム系固化材コンクリートの利用に関する検討	材料学会第 63 期学術講演会	2014. 5. 18
○中谷 俊晴 田村 隆弘	コンクリート構造物における温度ひび割れの解析的研究	(第 66 回) 土木学会中国支部研究発表会	2014. 5. 31
○田村 隆弘	鉄筋コンクリートの長寿命化	山口県技術講習会	2014. 6. 12
○田村 隆弘 森岡 弘道	「コンクリートひび割れ抑制システム」の検証とコンクリート構造物の品質確保に関する研究	平成 26 年度官学共同研究成果報告	2014. 9. 4
熊野 稔	『道の駅』と周辺地域における情報機能強化を中心とする防災性能向上に関する調査研究	24 年度新技術振興渡辺記念会 科学技術調査研究助成課題 成果報告会	2013. 9. 12
熊野 稔	温泉街の組織化と観光カリスマ等人材の先進事例	山口市湯田温泉まちづくり協議会講演会 基調講演	2013. 9. 24
熊野 稔	全国における多様な廃校活用の動向と課題、方向性	第 60 回全国建築審査会会長会議 会議テーマ「既存建築物の活用と建築基準法 Part 2 ースクラップ&ビルドからストック活用型のまちづくりー」 既存建築物の活用に係る事例報告 金沢市	2013. 10. 31
熊野 稔	健康長寿検定の実践と評価 及び今後の方向性	健康と省エネシンポジウム in 山口 Part II : ～健康と住宅の関係性から長寿社会を考える～ 山口健康省エネ住宅推進協議会	2013. 11. 9

○熊野 稔 中野 莉彩 樋口 秀	中心市街地活性化計画の認定自治体における「借上型市営住宅制度」の実施者の評価及び方向性ー山口市を事例としてー	日本建築学会 第8回住宅系研究発表シンポジウム	2013. 12. 14
熊野 稔	「健康・省エネ住宅について」	豊橋技術科学大学大学院特別講演	2014. 1. 21
○熊野 稔 濱本 俊	山口県の「道の駅」における防災機能の向上に関する研究 (その1) ハザードマップとの関連と駅長・支配人の意識調査について	日本建築学会 25 年度中国支部研究発表会	2014. 3. 2
○熊野 稔 濱本 俊	山口県の「道の駅」における防災機能の向上に関する研究 (その2) 管轄する地方自治体担当者の意識調査と各道の駅の方向性について	日本建築学会 25 年度中国支部研究発表会	2014. 3. 2
熊野 稔	道の駅のあり方、管理運営について ～道の駅長門峡の将来像～	山口市阿東町ふるさと振興公社 公開講演会	2014. 3. 21
熊野 稔	廃校活用における高等教育機関の活用実績と評価	第3回全国廃校活用フォーラム まちむら交流機構	2014. 3. 29
熊野 稔	市街地再開発と環境デザイン及び農山漁村振興における産官学協働の成果	第12回全国高専テクノフォーラム	2014. 8. 21
○熊野 稔 平岡 透 目山 直樹	防災性能化された「道の駅」の類型と方向性について	日本建築学会 26 年度全国大会	2014. 9. 12
○目山 直樹 亀野 辰三 神田 佳一 河村 進一 樋口 秀 後藤 晃徳	高専土木系学科における「防災教育」の現状ー高等専門教育小委員会の活動報告ー	土木学会 第6回土木と学校教育フォーラム (ポスター発表)	2014. 8. 31
目山 直樹 ○後藤 晃徳 古賀 崇了 坂本 修 河村 志朗	久保中学校 防災教育コンソーシアムの活動報告 2013	土木学会 第6回土木と学校教育フォーラム (ポスター発表)	2014. 8. 31
○目山 直樹 小田村 清 原田 剛 福田 桂大 原田 幸蔵 後藤 晃徳	周南市勝間小学校での通学路安全対策の取り組み	土木学会 第6回土木と学校教育フォーラム (ポスター発表)	2014. 8. 31
○目山 直樹	防災教育を通じた防災まちづくりの手法に関する研究 副題: 水害・土砂災害の危険に接する小・中学校での実践と検証	河川財団 平成 26 年度河川整備基金助成事業成果発表会	2014. 7. 29
○目山 直樹	学校と安全 都市空間・道路空間を計画・設計する立場から	北九州技術士会 技術研修会	2014. 5. 10

○目山直樹 坂本修 河村志朗 古賀崇了 上俊二 重政徹哉 橋本堅一 渡辺勝利 海田辰将 後藤晃徳 岩本和美	「徳山高専と山口県教育庁の連携による防災出前授業の実施報告（2010-2012年）」	第66回土木学会中国支部研究発表会	2014. 5. 31
○目山直樹 鴻野翼 後藤晃徳	防災教育におけるフォローアップ手法に関する研究-防府市での防災教育プログラムの補完を目指した取り組み	2013年度日本建築学会中国支部研究発表会	2014. 3. 2
○目山直樹 岩川真理 浅野純一郎	安全・安心に着目した未着手都市計画道路の見直し評価項目の検討, 周南市宮の前地区でのケーススタディ	2013年度日本建築学会中国支部研究発表会	2014. 3. 2
○目山直樹 後藤晃徳 牛丸正美 湯面由紀夫 渡邊幸成	防府市における防災教育システムの提案と運用及びその効果	日本災害情報学会第15回研究発表大会	2013. 10. 26
○桑嶋啓治 上俊二 福田靖	廃石膏ボードリサイクルによる地盤固化材	2014NEW環境展	2014. 5. 27
○桑嶋啓治 上俊二 福田靖	石膏とスラグを用いた地盤固化材による地盤改良	地盤工学会中国支部土質工学セミナー報告会	2014. 8. 7
○大橋正夫	層状結晶 RbTiTaO_5 の合成とイオン交換	日本化学会第94春季年会	2014. 3. 28
○柏倉知秀	中世ハンザ商人の世界	日本ハンザ史研究会第23回研究会	2014. 6. 28

分 担 執 筆

執 筆 者	書名および章題・題目・頁	発 行 所	発行年月日
田村隆弘 細田 暁 中村秀明 二宮 純 岩城一郎 石田哲也 田中泰司 閑田徹志	データベースを核としたコンクリート構造物の品質確保に関する研究委員会報告書・論文集	日本コンクリート工学会	2013. 9. 10
熊野 稔 その他教育普及小委員会	建築法規用教材 2014	日本建築学会	2014. 2. 15
熊野 稔	健康長寿検定テキスト 住宅編 PP25～32	一般社団法人 健康・省エネ住宅を推進する国民会議	2014. 2. 15
熊野稔	科学技術調査研究助成課題（平成 24 年度上期）成果報告概要集	一般財団法人 新技術振興渡辺記念会	2013. 9.
熊野稔	文部科学教育通信 NO.336 3月24日号 2014 徳山高専の地域貢献と地域連携活動 中国地区の拠点校として PP26～27	ジアース教育新社	2014. 3. 24

特 許

考案者名	名 称	公示番号
鈴木 厚行 辻野 次郎丸	複合振動子	特許第 5362235 号

枕泰山安。」とある。なお、黄庭堅の詩中の「泰山安」は、漢枚乗の「七發」に「變所欲爲、易於反掌、安於泰山。」（『文選』卷三四）とあるのに基づく表現である。

*以上、陸上の五つの近景。

○當今代

今の時代になって。元次侯の善政によってという意味合いである。

○先憂而憂、後樂而樂

（天下国家の）憂いことには（人々に）先んじて心配し、（天下の人々が）樂しむのには後れて（自らは）樂しむ。いわゆる、「先憂後樂」。范仲淹の「岳陽樓記」に「先天下之憂而憂、後天下之樂而樂。」とあるのによる。

○我君公

毛利元次のこと。

○何愧之乎

「愧」は、恥じ入ること。

*結びとして、これらの十八景が、元次侯の善政によるものであることを述べ、元次侯を褒め称えている。

○元禄戊寅仲秋日

元禄十一年（一六九八年）八月某日

○桂氏方直

桂方直（かつら かななお）。関連の文献は、すべて「当代一流の学者」として、伊藤東涯、長沼玄珍、中島義方と並べて、彼の名を記しているが、前記のように実態が不明であり、今後の調査が必要である。

現在の周南市徳山の福田寺原にある、曹洞宗金砂山福田寺。『防長寺社由来』徳山村福田寺に由来書が翻刻されている(第七冊一〇六頁上―一〇七頁下)が、崖に関する記述は見えない。現在の福田寺の立地は、小高い丘の上であり、その西側(松屋から見えた想定される側)は緑で一面に覆われた崖のように見える。ここでいう崖とは、そのことをいうのであろう。

○千仞之壁岨

はるかに高い崖。晉張載の「劍閣銘」に「是曰劍閣、壁立千仞、窮地之險、極路之峻。」(『文選』卷五六)とある。なお、「壁岨」は、唐李白の詩「秀華亭」に「曜日凝成錦，凌霄增壁崖。」と見える。

○如立十里歩障也

「歩障」は、錦の幕を張って立てたものをいう。『世説新語』汰侈篇に「君夫作紫絲布歩障碧綾裏四十里、石崇作錦歩障五十里以敵之。」とある。

○爽嵐入松

「爽嵐」は、字義通りなら、爽やかさを感じさせる山靄の意。ここは靄を松林に吹き入れる風の意味合いも含むものとして解釈した。

○濤聲徹耳

「濤聲」は、松籟の音。松に吹く風によって起きるうなりで、波のような音。「徹」は、貫き通すの意。

○午睡半驚

「午睡」は、昼寝。「驚」は、醒めるの意。

○恍如泊江湖

「恍」は、我を忘れているさま。この部分は、『莊子』大宗師篇に「孔子曰、魚相造乎水、人相造乎道。相造乎水者、穿池而養給。相造乎道者、無事而生定。故曰、魚相忘乎江湖、人相忘乎道術。」とあり、江湖では魚が魚としての自身の存在を忘れてのびやかにいられると

あるのをふまえた表現。

○民邦本、本固邦寧

「本」は、国家の根本のこと。『書経』五子之歌に「民惟邦本、本固邦寧。」とあり、孔伝に「言人君當固民以安國。」、孔穎達の疏に「民惟邦國之本、本固則邦寧。」とある。

○耕耘收藏

田畑を耕し、雑草を除き、作物を収穫すること。広く農業を指す。漢桓寛『鹽鐵論』散不足に「春夏耕耘、秋冬收藏。」とある。

○朝出晚帰

朝に出かけ、日暮れに帰る。北宋歐陽脩「醉翁亭記」に「朝而往、暮而歸、四時之景不同、而樂亦無窮也。」とある。

○晝于茅、宵索綯

『詩経』豳風七月に「晝爾於茅、宵爾索綯。」とあり、鄭箋に「夜作絞索、以待時用。」とある。

○勤力以養人。

「勤力」は、力を尽くすこと。『史記』卷三股本紀に「維三月、王自至於東郊。告諸侯群后『毋不有功於民、勤力迺事。』」とある。「養人」は、人を養育すること。『孟子』離婁章句下に「以善養人、然後能服天下。」とある。

○屋前對田

「屋」は、松屋のこと。対は、面と向かうこと。

○干戈横偃

「横偃」は、横たえたままにすると解釈した。『史記』卷五五留侯世家に「殷事已畢、偃革爲軒、倒置干戈、覆以虎皮、以示天下不復用兵。」とある。

○人人置枕泰山

「置枕泰山」とは、泰山のように静かに安定して動くことがないことをいう。北宋黃庭堅の詩「奉同子瞻韻寄定國」に「收身薄冰釋、置

上申』には、野島は含まれていない。山口地方史学会編集『防長地下上申』全四冊 昭和五四年 マツノ書店刊の第二冊四七〇頁上〜四七一頁下）。

○過雨

通り雨のこと。盛唐 杜甫の詩「晚晴」に「村晚驚風度、庭幽過雨沾。」とある。

○執

結びつけるの意。

*以上の五景は、すべて海に関するもの。

○列松當南

当時の徳山は、街道が海沿いを通り、松屋から見て南にあたる街道沿いには、松並木が続いていた。山口県文書館のサイトに、高画質画像データをダウンロードできるところがあり、その中の伊能大図No.3 (http://ymonjo.ysn21.jp/user_data/upload/File/HQ_DL/inou03_data.jpg) には、その様子が描かれている。また、絵図である『御国廻行程記』（有馬喜惣太筆）には、街道沿いだけではなく、海岸線沿いに二列の松並木が整然と並ぶ様子が、はっきり描かれている。解釈においては、ひとまず街道沿いとしたが、「海岸沿いに整然と並ぶ」と取るべきかもしれない。

○齊整無長短

「齊整」は、整然としているさま。西晋 楊泉の「草書賦」に「或斂束而相抱、或婆娑而四垂、或攢翦而齊整、或上下而參差、或陰岑而高舉、或落擇而自披。」（『芸文類聚』卷七四）とある。

○左右雍道

「雍」は「擁」に同じ。包みこむこと。街道を左右から包みこむように松並木がつづいているさまをいう。

○何其稠茂乎。

「稠茂」は、隙間もないほどに茂っているさま。松並木が途切れることなく続いていることをいう。

*この景は、海岸の景であり、海と陸の境界を示している。これ以降の景は、すべて陸上の、松屋から見た場合の近景となる。

○策羸

「策」は、鞭打つこと。「羸」は、痩せ馬。

○相呼相應

北宋 歐陽脩の「醉翁亭記」に「至於負者歌於途、行者休於樹、前者呼、後者應、僂僂提攜、往來而不絕者、滁人遊也。」とある。

○前路樵人

「前路」は、前にある道のこと。ここでは、松屋の前の道。晉陶潛「歸去來辭」に「問徵夫以前路、恨晨光之熹微。」とある。「樵人」は、樵夫に同じく、ここでは「柴刈りに来る人」の意味に解釈した。

○民居富饒

「富饒」は、余りあるほどに富み豊かであること。『史記』卷一〇六 吳王濞列伝に「吳有豫章郡銅山、濞則招致天下亡命者盜鑄錢、煮海水爲鹽、以故無賦、國用富饒。」とある。

○辻村

現在の山口県周南市辻町。『地下上申』徳山村の小村小名付に、「辻」の名が見える（『徳山市史史料』上冊二六七頁上）。

○炊煙

煮炊きの際に立ちのぼる煙。

○肥瘠

肥えているか痩せているかの意。『禮記』月令に「仲秋之月、案芻豢、瞻肥瘠、察物色。」とある。

○福田

盛んとなり、日本の五山禅僧の間で流行した。

○不宜乎

(感嘆して、) もっともであるなあ。「宜」は、理にかなうの意。

○席上観海

席上は、「松屋の席において」の意。「観海」は、『孟子』尽心章句上の「故觀於海者難爲水、遊於聖人之門者難爲言。」に基づく語。

○波瀾千里、天光一碧、

北宋 范仲淹の「岳陽樓記」に「至若春和景明、波瀾不驚、上下天光、一碧万頃。」とある

○鶴汀鳧渚

鶴の遊ぶみぎわと、かものいるなぎさ。幽静な水辺の景色をいう。唐 王勃の「滕王閣序」に「鶴汀鳧渚、窮島嶼之繁回、桂殿蘭宮、列岡巒之体勢。」とある。

○化工

自然の造化のこと。漢 賈誼「鵬鳥賦」に「且夫天地爲鑪兮、造化爲工」(『文選』卷)とあるのに基づく語。唐 元稹の詩「春蟬」に「作詩憐化工、不遣春蟬生。」見える。

○鎔冶

金属を溶かして鑄物にすること。ここでは自然による造形のことをいう。宋 喻良能の詩「石鍾山」に「南北兩石鍾、上下一水側。造物妙鎔冶、蜚廉巧撞擊。」とある。

○非所人力布置安排

人間の能力で配置しバランスを取れるものではないと解釈した。陳琳の「檄吳將校部曲文」に「若此之事、皆上天威明、社稷神武、非徒人力所能立也。」(『文選』卷四四)とある。「布置」は、南朝梁劉勰『文心雕龍』書記篇に「布置物類、撮題近意、故小券短書、號爲疏也。」とある。「安排」は準備すること。唐 白居易の詩「論友(友を論す)」に「推此自豁豁、不必待安排。」とある。

○漁舟亂雜

漁船が入り乱れていること。「亂雜」は、秩序がないこと、入り混じること。韓愈「送孟東野序」に「其爲言也、亂雜而無章。」とある。

○歌曲

漁歌を歌うこと。

○喚聲

叫び呼ばわる声。

○金崎

現在の山口県周南市大津島馬島金崎(金ヶ崎?)。ただし、金崎は馬島の南側にあるので、松屋からは、見えないはずである。ここは、濱崎に帰ってくる船とは、逆の方角に向かう船々の様子を言うのである。なお、『地下上申』大津島村の項に「馬島」の名は見え、船数を「六艘」として、注記に「但馬島之分獵船こち網三月より十月比迄鯛小鯛獵仕候事」(『徳山市史史料』上冊三一〇頁下)とあるが、地名としての金崎は見えない。

○振古

大昔。『詩經』周頌「載芟」に「匪今斯今、振古如茲。」とあり、朱熹の集伝に「蓋自極古以來已如此矣。」とある。

○雨奇晴好爲西湖絶勝

「雨奇晴好」は、北宋の蘇軾が、中国の西湖の様子を詠んだ詩、「飲湖上初晴後雨二首」其二に「水光潑潑晴方好、山色空濛雨亦奇。」とあるのに基づく語で、晴れであれ雨であれ、それぞれにすぐれて趣のある景色であること。晴好雨奇ともいう。「絶勝」は、この上なく優れている(場所あるいは景色の)こと。

○野島

現在の山口県防府市野島。前の金崎よりもさらに南にある。『地下上申』に佐波郡野島の項がある(『徳山市史史料』に収録の『地下

「詩思」は、詩を作りたいという思いのこと。「驢背詩思」とは、唐の相国であり、詩に巧みであつた鄭綮が、詩の新作の有無を問われて、詩を作ろうとの思いは、灞橋の上、風雪の中、驢馬の背に在る時に生まれるもので、ここにはそんなものはないと答えた故事による。

『唐詩紀事』卷六五に、「古今詩話曰、……。或曰『相國近為新詩否？』對曰『詩思在灞橋風雪中驢子上、此處何以得之？』蓋言平生苦心也。」とある。

○勃然

「勃然」は、急に湧き起こるさま。『莊子』知北遊篇に「注然勃然、莫不出焉」とある。

＊以上の四景は、春夏秋冬の各季節の見どころを挙げたもの。

○泉原

現在の周南市泉原町。丘があり、そこに現在、病院がある。『地下上申』徳山村の小村小名付の項に「泉原」の地名が見える（『徳山市史料』上冊二六七頁上）

○映楓入松

（秋には）楓の紅葉に照り映え（冬には）松林に射し込むと解釈した。北宋 歐陽脩の詩「夕照」に「無慘照湘水、丹色映秋楓。」（『居士外集』卷五）

＊この景は、文中に楓、松とあるところからみて、秋と冬を通じての近景であり、これをもって季節の景のしめくりとしたのであろう。

○艇艇

「艇」は、小船。ここでは、漁師の船のこと。

○帆風

『徳山名勝』に「風に帆かけて」と読ませているのに従い、「追い風に帆をかけて」と解釈する。

○濱崎

徳山の港（現在の周南市築港町）。『御領内町方目安』によれば、東浜崎と西浜崎とがあり、「両浜崎丁」と記している（『徳山市史料』上冊二二二～二二三頁下段）。

○魚市

魚を売り買いする市。語例としては、唐 方干の詩「越中言事二首 其二」に「沙邊買客喧魚市、島上潛夫醉笋莊。」と見える。

○沽街

「沽」は、買うこと。「街」は、売ること。

○喧嘩

大声をあげ、騒ぐこと。『後漢書』卷六六 陳蕃伝に「今京師囂囂、道路誼嘩」とある。

○讒譏

言い争うこと。收拾がつかないほどに騒ぎ乱れる様子という語でもある。『莊子』至樂篇に「彼唯人言之惡聞、奚以夫讒譏爲乎」とある。

○蛇島

読みは、「さしま」。現在の周南市徳山湾に浮かぶ、周囲二百の無人島である。『地下上申』栗屋村の項に「佐島」と見え、「佐島と海中江差出たる小島故か差島と申候」（『徳山市史料』上冊二五九頁下～二六〇頁上）とある。

○崛起

険しく突き出すこと。南齊 謝朓の詩「侍宴華光殿曲水奉敕為皇太子作詩」に「高殿弘敞。禁林稠密。青磴崛起。丹樓間出。」とある。

○屋上

「屋」は、松屋のこと。松屋にあつて（蛇島を見る）の意味に解釈した。

○盆石

他にはない趣きの石を盆の上におき、鑑賞すること。中国北宋期に

四〇）と思われるが、これにはさらに、北宋 蘇軾が四句を加えたものが「足柳公権連句」と題して、『古文真宝前集』に収められている。しかし、蘇軾の加えた四句によって、直諫の詩となっている点が、この記の基本的スタンスである「称賛」に合致しない。

むしろ、『碧巖録』の著者、圓悟克勤禪師についての、一人の修行僧が「三世の諸仏の悟りの境地とは如何んなのか」と問うたのに、雲門文偃禪師は「東山水上を行く」と答え、この雲門禪師の語に対して、圓悟禪師が「薰風自南来、殿閣微涼を生ず」と答えたところ、これを聞いた、臨済宗における公案禪の大成者である大慧宗杲禪師が悟ったという話（『續傳燈録』卷三五）に基づくと考える。何ものにもとらわれぬ境地をいう。

○相島峻嶺

「相島」は、現在の山口県周南市大島。現在は島ではなく地続きとなっている。『元和御打渡牒』『寛永御打渡牒』には、ともに「相島村」（ルビ「ヲ」）が付してある）として石高が記され（『徳山市史資料』上冊一八九頁、二〇六頁）、『地下上申』大島村に「但当村往古ハ相之字ヲ書来候所ニ御先々代ニ大之字ニ御改被仰付候事」（『徳山市史資料』上冊二五九頁下。先々代とは、徳山藩初代藩主 毛利就隆をさす）とある。

○峻嶺

険しい嶺のこと。現在の太華山が、これに該当する。晋 王羲之の「蘭亭集序」に「此地有崇山峻嶺、茂林修竹。」とある。

○晴鏡飛上

晴鏡は、澄み切った光を放つ満月のことをいう。『錦繡段』の冒頭に置かれた、金 呂中孚の詩「春月」に「柳塘漠漠暗啼鴉、一鏡晴飛玉有華。」とある。なお、「飛上」については、漢 無名氏の古絶句に「何當大刀頭、破鏡飛上天。」（『玉台新詠』卷一〇に古絶句四首其一として収める）とあるのが、意識されているように。

○高揚明輝

空高くに明るい輝きをかかげるの意。東晋 陶淵明の詩「四時」に「春水滿四澤、夏雲多奇峰。秋月揚明輝、冬嶺秀孤松。」（『古文真宝』前集）とある。

○大河内

現在の大内町。山口県周南市周陽二丁目に大河内バス停がある。また、『地下上申』徳山村小村小名付の項には「大河内」の地名が見える（『徳山市史資料』上冊二六七頁上）。現在の下松市大河内は、方角から考えて該当しないと判断した。

○回眸

視線をめぐらせること。唐 白居易の「長恨歌」に「回眸一笑百媚生、六宮粉黛無顔色」とある。

○八坳

「坳」の訓読みは、「くぼ」。周南市立図書館のウェブサイトに公開されている『徳山名勝』写真版に見える「松屋十八景詩并序」の中の、「八坳淡雪」に「ハチクボ」とルビが記されている（第一一頁）。『地下上申』徳山村の隣村境目書に「なめら峠山、峠山、八が久保山」（『徳山市史資料』上冊二七〇頁下）とあり、『御国廻行程記』（有馬喜惣太筆）に、禅宗興元寺を興元寺山の中腹に描き、その背後に一段高く山を描いて「八久保山」と記している山が、これに該当する。

○滕六降雪

「滕六」は、雪を降らせる神の名。唐 牛僧孺『玄怪録』の蕭志忠の条に、「黃冠曰、蕭使君每役人、必恤其饑寒、若祈滕六降雪、巽二起風、即不復遊獵矣。」とある。

○玉塵

雪の喻え。唐 白居易の詩「酬皇甫十早春對雪見贈」に「漠漠復雰雰、東風散玉塵。」とある。

○驢背詩思

忘筌在得魚。」とあり、呂延済の注に「済曰、爵、酒盃。舉於林木茂陰之下、躊躇緩歩也。」（文選卷二四）とある。

○日迫虞淵

虞淵は、日の没するところの意。晋 向秀の「思舊賦」の序に「于時日薄虞淵、寒冰淒然。」とあり、李善は『淮南子』天文訓「日至於虞淵。是謂黃昏。」を引いている（『文選』卷一六）。

○鴉投棲處

鴉が寝ぐらに帰っていくの意。唐 劉長卿の詩「題虎丘寺」に「日映千里帆、鴉歸萬家樹。」（『唐詩類苑』卷一七四に「題武丘寺」として収録）とある。

○華鯨哮吼

「華鯨」は、鐘のこと。銘文を刻された立派な鐘を「華」といい、鯨を彫刻した撞木を「鯨」という。『防長寺社由来』徳山領徳山村興元寺の項、「鐘樓門棟札写」に、万治二年に徳山藩初代藩主毛利就隆が鐘樓を寄進したことが見え、鐘の銘文を載せるが、その銘の冒頭に「助仏宣化、鑄箇華鯨。」とある（第七冊一〇三頁上―一〇四頁上）。「哮吼」は、（大声で）ほえること。『碧巖録』第五十八則の頌に「象王嘯呻、獅子哮吼。」とある。ここでは、（鐘の音が）大きく響くの意味。なお、「華鯨哮吼」は、鐘銘の文にしばしば用いられる表現である。

○興元梵刹

曹洞宗萬徳山興元寺のこと。現在の山口県周南市大字上一ノ井手にある。杉氏の菩提寺として知られる。『防長寺社由来』徳山領徳山村興元寺の項、「由来書」に詳しい。第七冊九九頁下）。「梵刹」は、寺院の意（梵は清浄、刹は場所の意）。

*以上の二景は、季節変化、日々において変わらぬもの。

○白浪滔天

「滔」の読みは「はびこる」。みなぎりあふれるの意。『書経』益稷に「禹曰、洪水滔天、浩浩懷山襄陵。下民昏墊。」とある。また、普 傳玄の「擬四愁詩」其一に「驚波滔天馬不僵、何為多念心憂世」（『玉台新詠』卷九）と見える。

○香風滿袖

唐 貫休の詩「春遊靈泉寺」に「因尋古跡空惆悵、滿袖香風白日斜。」とある。なお、『徳山雜吟』に桂方直の「馬場桜花」と題する五言律詩が収められている。以下にあげておく。「高梢參彼蒼、大可蔽牛羊。只不行庖地、每為馳馬場。秦雲凝倚疊、蜀浪激飛揚。吹滿春風面、著人韓壽香。」

○馬場

山口県周南市内に「桜馬場」という名のバス停が現在もある。当時の馬場は、現在の徳山小学校の前の広い道路に沿って設けられていたもので、現在、桜のアーチとして知られるものとは異なり、松屋からは左右に広がる形で見えたはずである。

河合裕『藩史』卷之七 雑事之部の「徳山桜馬場間数井土手之桜木植継之事」に、改易の際にすべて宗藩によつて伐られていた桜を改めて二百十九本植えた事を記しており、「往古より在来名木之桜四百本、御還付節御本家より伐取御売松相成候付而也」とある。元次時代の馬場の桜花は、さぞかし見事なものであっただろう。

○逸興

格別に趣き深いこと。唐 王勃の「滕王閣序」に「遙襟俯暢、逸興遄飛。」とある。

○維夏

『詩経』四月に「四月維夏、六月徂暑」とある。

○薰風南自來、亭上生微涼

唐の文宗皇帝が作った「人皆苦炎熱、我愛夏日長。」に、柳公権がつけた二句「薰風自南來、殿閣生微涼。」による（『唐詩記事』卷

う数に達しているのは、この例のみである。

* 以上は、表題について。なお、この文章は、文体、構成において、北宋 欧陽脩の「醉翁亭記」を手本として感じられる。

○元禄丁丑秋 元禄十年（一六九七年）秋

○賁臨

「賁」の読みは、「ひ」。客の来訪を敬つていう語。『詩経』小雅「白駒」に「皎皎白駒、賁然來思。」とあるに基づく語であり、朱熹の『集傳』には、「賁然、光采之貌也。」とある。来訪する者に輝くばかりの素晴らしさのあることをいう言葉である。光臨に同じ。

○周陽徳山

周防国徳山。現在の山口県周南市徳山。

○主元次君

徳山藩第三代藩主、毛利元次。

○腹東南背西北

腹は正面、背は背後をいう。現実の地形を考慮して、正面を海側、背後を山側と解釈した。

○標的

手本。規範。『世説新語』言語篇「王中郎令伏玄度、習鑿齒論青楚人物」の劉孝標の注に引用された「王中郎傳」に「坦之氣度淳深、孝友天至、譽輯朝野、標的當時。」とあって、この意味の用例が見える。

○僕

記の作者、桂方直（かつら かたなお）をさす。名前の読みは、小川宣『周南風土記』に「かたなお」とルビをふつてあるのに従った。
* 以上、松屋、及び松屋十八景の由来を述べ、方直自身がこの記を誌すにいったゆえんを述べる。

○斧斤長赦

長く切り倒されることがなかったことをいう。北宋 黃庭堅の詩「武昌松風閣」に「老松魁梧數百年、斧斤所赦今參天。」とある。

○蒨蔚

草木が鬱蒼と生い茂るさま。漢 張衡の「南都賦」に「曖曖蒨蔚、含芬吐芳。」とあり、李善の注に「曖曖蒨蔚、言草木闇暝茂盛也。」（『文選』卷一）とある。

○不辨

区別がないこと。

○城山

城山に該当しそうな場所を特定するのは難しい。現在の地図地形からは、徳山藩藩主の館の背後にあった金剛山（岐山）、あるいは、杉氏の居城のあった山が該当箇所として有力である。しかし、『地下上申』徳山村に「お茶屋壱ヶ所 御屋敷山之東二有之」（『徳山市史料』上冊二六九頁上）とあり、このお茶屋が松屋のあった所を想定させるため、藩主の館の背後の山は「御屋敷山」と呼ばれていたようであり、城山と明確に記す例が見えないため、これを城山と断定するのはためらわれる。

『地下上申』徳山村には、「古城山式ヶ所」と項を立て、さらに以下の記述がある（『徳山市史料』二六九頁下）。「壱ヶ所 一ノ井手二有之 但城主杉次郎左衛門元相居城二而其節の屋敷は今辻といふ所の後田ノ中二有之、今に杉屋敷とほのぎ名に申し傳候、此辺知行所ニて可有御座候へ共何程いづれ迄と申分り不分明候事」、「壱ヶ所 馬屋に有之 但城主申傳等無御座候事」。

以上、候補は金剛山、古城山、馬屋の丘の三箇所となるが、由来のはっきりしていること、松屋から眺めることを考慮して、ひとまず杉氏の城があった「古城山」としておく。

○茂陰

晋 何劭の詩「贈張華」に「舉爵茂陰下、攜手共躊躇。奚用遺形骸、

では（到底ありえ）ない。

一方、漁船が入り乱れて、海に浮かび（漁師たちが）歌を歌い、声高に叫び答え合うのは、金ヶ崎の朝夕の様子である。

昔から、雨でも晴れてもそれぞれによい景色で趣き深いのを、（中国にある）西湖の特に優れた景勝としている。野島もまた同様である。（野島を）通り雨の過ぎて行く様子を（西湖の景勝に）結びつけたのである。

松並木は南に面し、整然としていて長さはまちまちではなく、街道の左右を包みこむ。なんと密に生い茂っていることよ。

薪を担ぎ瘦せ馬に鞭打ち、呼び合い答え合うことのはなはだしいのは、（松屋の）前の路を行く柴刈りの者たちである。

民くさが富んで豊かであると、朝夕の炊事の煙は、絶え間なく続く。このようであるのは、辻村の炊事の煙で、その濃淡は民が肥えているか瘦せているかに結びついている。

さらにまた、目を福田寺にしっかりと向けて見ると、千尋の絶壁が、まるで十里にわたって錦の幕を張って立てたかのようなのである。

爽やかな山靄が（風とともに）松林に入ると、松籟（の音）は耳にしみとおり、昼寝は半ば覚める。ぼうつとして、あたかも（荘子にいう、魚がその存在を忘れてのびやかにいられる）江湖に泊したかのようなのである。

（書経にいうように）民は国の本であり、本がしっかりとすれば国は安定する（もの）。（春夏には）田畑を耕し雑草を除き（秋冬には）農作物を収穫して貯蔵し、朝には野良に出て晩には住まいに帰り、昼は茅を刈り、夜は縄をない、力を惜しまず日々を勤めて、人を養育していく。ともに全て、松屋の前に広がる田に見える様子である。

ああ、豊かな時世に干戈（＝戦のための武器）を横たえたままにして、人々は泰山のようにしつかりと落ち着いた時勢に枕を置いて安んじて（生きて）いる。今の（元次さまの）代において、「岳陽楼

記」に）言うところの「（天下国家の）憂いごとには（人々に）先んじて心配し、（天下の人々が）楽しむのには後れて（自らは）楽しむ」こと（がかなっているのだから）、我がご主君（元次さま）は、どうして恥ずかしく思いになることがあろうか（、その必要はない）。

元禄戊寅（つちのえとら）の年（＝元禄十一年）仲秋（＝八月）の（某）日 桂氏方直「字は、敬義。號は、蟠臥」誌す。

「注釈」

○松屋

毛利元次の建てた亭。文中にその由来を述べている。なお、その位置については、河合裕の『藩史』巻一上「松屋御茶屋御普請之事」の条に「元禄十年丁丑秋御城之東二当り松屋御茶屋御普請成」（『徳山市史史料』上冊四五一頁下）とあり、この記とともに『徳山名勝』収める、宇都宮遯庵の「松屋十八景詩并序」の序には、「拒棲息堂数百歩而在林麓高原之地、其景象之為佳麗也。」とある。

○十八景

当時の徳山藩領内の十八の景勝として毛利元次が選んだもの。

中国の南宋末期における瀟湘八景を端緒とし、日本の近世において近江八景に代表される、八景や十景の例は多く、特定の地域における景勝を選定し、文学的表現の標的とすることは、当時の流行であった。

元禄時代に十八もの景を取り上げた例は珍しい。独立行政法人国立環境研究所による「研究報告197号 Research Report from the National Institute for Environmental Studies, Japan No. 197, 2007 R-197-2007 八景の分布と最近の研究動向 The Distribution of and Recent Research on Hakkei (Eight Views) of Japan」中の「8 資料「8・1日本の八景データ A List of Japanese Hakkei 榊原映子」を通観する限り、確実に元禄期に確定している例で、十八とい

民居 富饒なれば、則ち朝夕の煙、続続として断へず。是くのごときは則ち辻村の炊煙、濃淡は民の肥瘠に繋がるなり。

又た、目を福田に注ぎ相ひ向へば、則ち千仞の壁嵯、十里の歩障を立つるがごときなり。

爽嵐 松に入り、濤聲 耳に徹し、午睡 半ば驚く。恍として江湖に泊まるがごときなり。

民は邦の本、本 固ければ邦 寧し。耕耘收藏、朝に出て晩に帰り、昼は于茅、宵は索綯、勤力して以て人を養う。共に皆 屋前の対田 視察する所なり。

吁嗟、時豊かにして干戈 横に偃して人人枕を泰山に置く。今の代に当たりて、謂ふ所の「憂に先んじて憂ひ、楽しみに後れて楽しむ」こと、我が君公、何ぞ之に愧ぢんや。

元禄戊寅仲秋の日 桂氏方直（字、敬義。號、蟠臥）誌す

「通釈」

松屋十八景記

元禄丁丑（ひのとうし）の年の秋、周陽徳山の領主（毛利）元次さまは、新たに亭を庭園の中に造営なさった。亭の左右前後はすべて松林である。それで側に記して松屋とお呼びになった。（この松屋は）東南（の海側）に面し、西北（の山側）を背後にする。それゆえ、冬は暖かく夏は涼しい。（さらに）亭にあつて観る（すぐれた）景物はいちいち数えあげられぬほど多い。元次さまは、時々に来訪なさつて、その中のとりわけすぐれた十八の景物を選びとりあげ、これらを亭の壁間に書かせて、この亭の（景物の）手本となされた。なんと素晴らしいことではないか。

（かくして）ある日、（元次さまは）私めに命じて、その（十八の景物についての）ことを文章に記させなされたのである。

思うに、

斧で切られることから長きにわたり免れ、草木は盛んに生い茂つて秋冬にも変わらずに（青々としてい）るのは、城山の鬱蒼とした森である。

日が没するところに迫り、鴉が寝ぐらに帰ろうとするとき、暮れ六つの鐘を響き渡らせるのは、興元寺である。

（春に咲く）千本の桜の花は、雲のように雪のように、白く立つ波の天空にまで溢れひろがるかのように、芳香をはらむ風が袖をいっぱいにするのは、馬場のすぐれた趣きである。

時節の夏ともなれば、薫れる風が南から吹き、松屋に微かな涼を生じさせ（何ものにもとらわれぬ境地を感じさせ）るのは、相島（＝大島）の険しい嶺である。

澄んだ鏡のように丸い月が天に上り、高く明るい輝きをかかげるのは、大河内の秋の月である。

目を八久保山に回らすと、（雪を降らせる神の）膝六が雪を降らせ、白玉の塵のような雪が林に降り、驢馬の背に揺られて起きるという詩を作りたいとの思いが、にわかに沸き起こってくる。

夕日が泉原（の丘）を照らして、（紅の光は）楓に照り映え、松に差し込む（美しい様子）。

それぞれの漁船が追い風に帆を掛けて、ともに濱崎（の港）に帰り、魚市での売り買いに、大声を上げて乱れ騒ぐ（のも趣きのある様子）。

蛇島は、海上に聳え立って、姿かたちは何とも不可思議である。松屋から（眺め見て）この島を盆石に見立てるのは、（まことに）もつともなことよ。

（松屋の）席にあつて（広々とした）大海を観ると、（穏やかな）波立ちは千里の彼方に続き、日の光に海も空も青々と一つの色に（染まり）、鶴と鳧のいる（静かな）波打ち際（が目には映り）、（この様子は）造化の神の鑄造であつて、人間の能力で準備し配置できるもの

時維夏而薰風自南來、亭上生微涼者、相島峻嶺也。
晴鏡飛上、高揚明輝者、大河内秋月也。

回眸八坳、則滕六降雪、玉塵濺林、驢背之詩思、勃然生矣。
夕日照泉原、而映楓入松也。

艇艇帆風、共帰濱崎、魚市沽街、喧嘩譁譁矣。

蛇島、崛起海上、形容奇怪也。屋上以是爲盆石、不宜乎。

席上觀海、則波瀾千里、天光一碧、鶴汀鳧渚、化工鎔冶、而非所人力
布置安排也。

且漁舟亂雜、浮海歌曲、喚聲相答者、金崎朝暮也。

振古以雨奇晴好爲西湖絶勝、野島亦然。以過雨執之也。

列松當南、齊整無長短、左右雍道、何其稠茂乎。

至若擔薪策羸、相呼相應者、前路樵人也。

民居富饒、則朝夕之煙、續續不斷。如是則辻村炊煙、濃淡繫民肥瘠也。

又、注目於福田相向、則千仞之壁崖、如立十里步障也。

爽嵐入松濤聲徹耳、午睡半驚恍如泊江湖也。

民邦本、本固邦寧。耕耘收藏、朝出晚帰、晝于茅、宵索綯、勤力以養
人。共皆屋前對田所視察也。

吁嗟、時豐干戈横偃而人人置枕泰山。當今代所謂先憂而憂、後樂而
樂、我君公、何愧之乎。

元禄戊寅仲秋日

桂氏方直 (字、敬義。號、蟠臥) 誌

「書き下し文」

松屋十八景記

元禄丁丑の秋、周陽徳山の主 元次君、新亭を苑圍の中に営す。亭
の左右前後は皆 松なり。故に傍して松屋と曰ふなり。東南を腹にし
て西北を背にす。故に冬は暖かにして夏は涼しきなり。亭上 觀る所
の景物 衆多にして枚挙すべからざるなり。公 時時 賁臨し其の尤な

る者 十有八箇を撮りて之を壁間に書せしめて斯の亭の標的と為す。
偉ならざるか。一日 僕に命じて其の事を記せしむるなり。

惟うに夫れ

斧斤より長く赦されば、艸木の蒨蔚として秋冬を弁ぜざる者は、城山
の茂陰なり。

日 虞淵に迫り、鴉棲処に投ずるとき、華鯨の哮吼せる者は、興元の
梵刹なり。

千株の桜花、雲のごとく雪のごとく、白浪の天に滔(はびこ)り、香
風の袖に満つる者は、馬場の逸興なり。

時 維れ夏にして薰風南より来り、亭上 微涼を生ぜし者は、相島の峻
嶺なり。

晴鏡飛び上り、高く明輝を揚ぐる者は、大河内の秋月なり。

眸を八坳に回らせば、則ち滕六 雪を降らせ、玉塵 林に濺ぎて、驢背
の詩思、勃然として生ず。

夕日は泉原を照らして、楓に映じ松に入るなり。

艇艇 風に帆かけて、共に濱崎に帰り、魚市 沽街、喧嘩 譁譁たり。

蛇島、海上に崛起して、形容は奇怪なり。屋上 是れを以て盆石と為
すは、宜ならざるか。

席上 海を觀れば、則ち波瀾千里、天光一碧、鶴汀鳧渚、化工の鎔冶
にして、人力の布置安排する所に非ず。

且つ漁舟 乱雜にして海に浮かび、歌曲 喚聲 相ひ答ふる者は、金崎
の朝暮なり。

古に振る雨奇晴好を以て西湖の絶勝と為す。野島も亦た然り。過雨を
以て之を執るなり。

列松 南に当たりて、齊整 長短無く、左右 道を雍す。何ぞ其れ稠茂
なるか。

薪を擔ひ羸を策し、相ひ呼相ひ応ふがごとき者に至りては、前路の樵
人なり。

「松屋十八景記」 訳注稿

谷 本 圭 司*

はじめに

本稿は、徳山藩第三代藩主、毛利元次侯が選んだ十八の徳山の名勝を、桂方直が文章として記した「松屋十八景記」の訳注を試みたものである。

近世の徳山に優れた文化が花開いたことは、渡辺憲司『近世大名文芸圏研究』八木書店一九九七刊 (ISBN4-8406-9602-0 C3095) によって、つとに指摘されている。しかし、徳山高専の学生たちにそのことを知る者がほとんどいないことに戸惑い、かつ残念に思い、比較的阅读しやすいこの文章を、四年度選択科目の講義において取り上げた。

その後、井上直樹校長、土木建築科目山直樹准教授の勧めもあり、微力ながら地域への貢献の一端になればと、講義用資料の注釈部分を大幅に増補し、ここに掲載することにした。

〔凡例〕

・本文の底本は、周南市立図書館中央図書館WEBサイトの、郷土資料ギャラリー↓中央図書館所蔵画類↓『徳山名勝』に、全二四頁の見開き写真版として公開されている、徳山藩三代藩主毛利元次が宝永三(一七〇六)年に刊行した『徳山名勝』である。

<https://library.city.shunan.lg.jp/bunka/chuoshoga76.html>

・底本の不鮮明箇所は、徳山市史編纂委員会編『徳山市史史料』全三冊(一九六四〜一九六八)の、上冊二五三〜二五四、下冊四〇六〜四〇七頁に翻刻されているものを参照した。

・改行は、景ごとに施したが、あくまでも講義に際しての読解を考慮しての処置であり、本来は不要と考える。

・書き下し文については、もともとの本文に記された訓点に従い、修正、補完は最小限にとどめ、通釈に意を注ぐことにした。

・通釈は、徳山高専の学生(四、五年生)を対象に、努めて平易を心がけて作成したつもりであるが、安易な説明に傾きすぎたきらいもある。諸賢のご教示をいただければ、幸いに思う。

・注については、煩雑にわたることを避けて原文のみを記すことにし、記が書かれた当時の漢文を学ぶ者にとつて、重要であったと推測される文献に範囲を絞って用例を挙げた。しかし、『事文類聚』や『群芳譜』のような類書等によつて得られたであろう語彙の知識についての調査は不完全であり、今後、より詳細な検討を行いたいと考えている。また、『防長寺社由来』、及び『徳山市史史料』全三冊に収録された、享保〜寛延年間の『地下上申』、及び、河合裕『藩史』等に見える関連の記述を加えた。

〔本文〕

松屋十八景記

元禄丁丑秋、周陽徳山之主元次君、營新亭於苑囿之中矣。亭之左右前後皆松也。故傍曰松屋也。腹東南背西北、故冬暖夏涼也。亭上所觀景物衆多而不可枚舉也。公時時賁臨撮其尤者十有八箇而書之壁間爲斯亭標的。不偉乎。一日命僕記其事也。

惟夫

斧斤長赦、艸木蔚蔚而不辨秋冬者、城山茂陰也。

日迫虞淵、鴉投棲處、華鯨哮吼者、興元梵刹也。

千株櫻花、如雲若雪、白浪滔天、香風滿袖者、馬場之逸興也。

*一般科目

編 集 委 員

委員長 田村 隆弘 (図書館長)
副委員長 目山 直樹 (土木建築工学科)
委 員 飛車 来人 (機械電気工学科)
宮崎 亮一 (情報電子工学科)
佐賀 孝徳 (土木建築工学科)
米田 郁生 (一般科目)

徳山工業高等専門学校研究紀要 第38号

平成 26 年 12 月 1 日 発行

編集兼 徳山工業高等専門学校
発行者 〒745-8585 周南市学園台
TEL 0834(29)6200

印刷所 大村印刷株式会社
〒747-8588 防府市西仁井令一丁目21番55号
TEL 0835(22)2555(代)

Contents

Study on Damping Performances of New Link Device using Granular Materials	Toshiaki MAKINO Michio SEBATA Muneo FURUSE Takeshi KAWASAKI Taichi SATO	1
Study on Dynamic Characteritics of Railway Damper	Toshiaki MAKINO Toshitsugu TANAKA Michio SEBATA Takeshi KAWASAKI Muneo FURUSE	11
Study on Contact Force Control Characteristics of Current Collector using an Optical Sensors	Toshiaki MAKINO Takeshi KAWASAKI Muneo FURUSE	21
Experimental Inverted Pendulum Controlling System for Beginners by using LabVIEW	Takehito YAMADA Hiroki KASAI	31
The Characteristics of the Freshmen in 2014 —An Analysis Based on the Results of a Questionnaire to the Freshmen—	Norihiko HARADA Kyoko NAGAHIRO Seiichiro MIURA Koichiro NISHIO Yoko MATSUO	37
Masonry Culture in The Kume District, Shunan City, Yamaguchi Prefecture	Ken-ichi HASHIMOTO Keiji TANIMOTO	45
A Study on Roh-haidens in Shunan City	Akiko NAKAGAWA Misaki OOKI	51
Preparation of Layer Structured Crystal $\text{Rb}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_{1+x}\text{O}_5$ ($0 \leq x \leq 0.20$) and Hydrogen Ion Exchange Products	Masao OHASHI	57
Interim Report of the English Facilitators' Activities	Hitoshi OGAWA Kentarou KITAMURA Takanori KOGA Ken-ichi FURUTA	63
Analytical Study on Thermal Crack with Actual Concrete Structure	Toshiharu NAKATANI Takahiro TAMURA	69
Development of materials for re-vegetation using Arbuscular Mycorrhizal Fungi	Syota YAMAMOTO Wataru INOUE Tomoya MURAKAMI Kazuhito AMANAI	75
Translation and annotation (draft) of Katsura Katanao (桂 方直) "Matsuya 18 Keiki (松屋18景記) ..	Keiji TANIMOTO	1
Abstracts of Other Papers and List of Lecture		83