

COMMISSION INTERNATIONALE
DES GRANDES BARRAGES

VINGT SIXIÈME CONGRÈS
DES GRANDS BARRAGES
Vienne, Juillet 2018

**PLAN AND OPERATION RESULTS OF THE KOSHIBU DAM SEDIMENT
BYPASS TUNNEL***

Toshiyuki SAKURAI

*River and Dam Hydraulic Engineering Research Team, Hydraulic Engineering
Research Group, THE PUBLIC WORKS RESEARCH INSTITUTE*

Tetsuro TSUJIMOTO

Emeritus Professor, NAGOYA UNIVERSITY

Tetsuya SUMI

*Professor, THE DISASTER PREVENTION RESEARCH INSTITUTE,
KYOTO UNIVERSITY*

Ichiro KUNIMURA, Hiroyuki TAKEUCHI, Katsushi ISHIDA

*Tenryu River Integrated Dam Management Office, Chubu Regional Development
Bureau, THE MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE, TRANSPORT AND
TOURISM*

JAPAN

SUMMARY

In order to prevent sedimentation in the reservoir and ensure the continuity of sediment transport at the river, the Koshibu dam sediment bypass tunnel was planned and completed in September 2016. From the viewpoint of structure, environment and sediment budget, monitoring plan was examined by the monitoring committee and several trial operations have been carried out.

* *Plan et résultats d'exploitation du tunnel de dérivation des sédiments du barrage de Koshibu*

Since the purposes of the Koshiu dam is including flood control, irrigation and power generation, the sediment bypass tunnel is planned to operate during the flood control. In order to adapt to the flood control rule, two crests placed on the two orifices is designed for the inlet structure. The target bypassing sediments are gravel having a grain size of about 100 mm or less, sand and silt (clay). As a countermeasure against abrasion damage caused by the sediment transport, around the gate with a relatively low flow velocity was protected with "rubber steel" and the downstream section with high flow velocity was protected with steel lining.

In the monitoring plan, the objectives of monitoring at each viewpoint were arranged by selecting suitable methods. In sediment budget monitoring, as the first case of the sediment bypass tunnel in Japan, sediment observation devices were installed on the bottom of the tunnel outlet part.

After completion of the bypass facility, several trial discharge operations were carried out. Even though the trial discharge was a small scale compared with the planned maximum bypass discharge and comparatively short time, as a result of monitoring, it was confirmed that there was no problem in gate operation, and no significant abrasion damage and environmental changes in the downstream river. Moreover, it was able to estimate the sediment budget and sediment transport characteristics during bypass operations. Regarding abrasion damages, long-term monitoring is needed since the flow rate and operation time in the trial discharge was limited.

Keywords: Sedimentation, Reservoir Capacity, Reservoir Operation, Flood Diversion, Effect Of Dams On Environment, Koshiu Dam.

RÉSUMÉ

Afin de prévenir la sédimentation dans le réservoir et assurer la continuité du transport des sédiments dans la rivière, le tunnel de dérivation des sédiments du barrage de Koshiu a été planifié, et terminé en septembre 2016. Du point de vue de l'ouvrage, de l'environnement et du bilan sédimentaire, un plan de suivi a été examiné par un comité ad-hoc et plusieurs essais d'exploitation ont été effectués.

Étant donné que les objectifs du barrage de Koshiu comprennent le contrôle des crues, l'irrigation et la production d'électricité, le tunnel de dérivation des sédiments fonctionne pendant le contrôle des crues. Afin de s'adapter à la réglementation de contrôle des crues, deux crêtes placées sur les deux orifices sont prévues pour l'ouvrage d'entrée. Les sédiments devant être dérivés sont des graviers ayant une granulométrie maximale d'environ 100 mm, des sables et des limons (argile). En tant que mesure contre l'abrasion causée par le transport des sédiments, l'écoulement de vitesse relativement faible au niveau de la vanne s'effectue sur un « acier caoutchouté » et la section aval à grande vitesse d'écoulement est protégée par un revêtement en acier.

Dans le plan de surveillance, les objectifs de suivi pour chaque point ont été définis en sélectionnant des méthodes appropriées. Dans le cadre de la surveillance du bilan sédimentaire, en tant que premier tunnel de dérivation des sédiments au Japon, des dispositifs d'observation des sédiments ont été installés au fond de la galerie de fuite.

Après l'achèvement de l'installation de dérivation, plusieurs essais de déchargement ont été effectués. Même si cet essai de décharge était à petite échelle comparé au débit de dérivation maximum prévu, et relativement court, à la suite de la surveillance, il a été confirmé qu'il n'y avait aucun problème dans le fonctionnement des vannes et pas de dommages significatifs dus à l'abrasion, ni changements environnementaux dans la rivière en aval. De plus, il a été possible d'estimer le bilan sédimentaire et les caractéristiques de transport des sédiments lors des opérations de dérivation. En ce qui concerne les dommages dus à l'abrasion, une surveillance à long terme est nécessaire étant donné que le débit et le temps de fonctionnement pour l'essai de décharge étaient limités.

1. INTRODUCTION

The Koshiu dam was built in 1969 at the Koshiu river, one of the branches of the Tenryu river system in Japan. At the dam, a sediment bypass tunnel was planned with the aim of preventing sedimentation in the reservoir and ensuring the continuity of sediment transport at the river. The bypass facility was completed in September 2016. Regarding the operation of the sediment bypass tunnel, a monitoring committee consisting of academics and experts was established in 2014. From the viewpoint of structure, environment, and sediment budget, monitoring plans have been examined, and analysis and evaluation of trial operation results were carried out [1]. In this paper, the characteristics of the facility of the Koshiu dam sediment bypass tunnel, the monitoring plan and the monitoring results of the trial operations are reported.

2. OUTLINE OF THE KOSHIBU DAM AND SEDIMENT BYPASS TUNNEL PROJECT

The Koshiu dam was built in 1969 in the Koshiu river, the left branch of the Tenryu river flowing through Nagano Prefecture and Shizuoka Prefecture in Honshu Island, Japan. The Koshiu dam is managed by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport. The location of the dam and the outline is shown in Fig.1 and Table 1. The purposes of the Koshiu dam are flood control, irrigation and power generation, which is an important infrastructure facility for the watershed area.

Fig. 2 and Fig. 3 show the trend of sedimentation volume and the thalweg profile of sedimentation in the reservoir. At the Koshibu dam, the planned sedimentation volume was defined by estimating the amount of sediment accumulated during the 50 years at the time of dam planning. Sedimentation capacity of 20,000,000 m³ to store the planned sedimentation volume is prepared in the storage capacity.

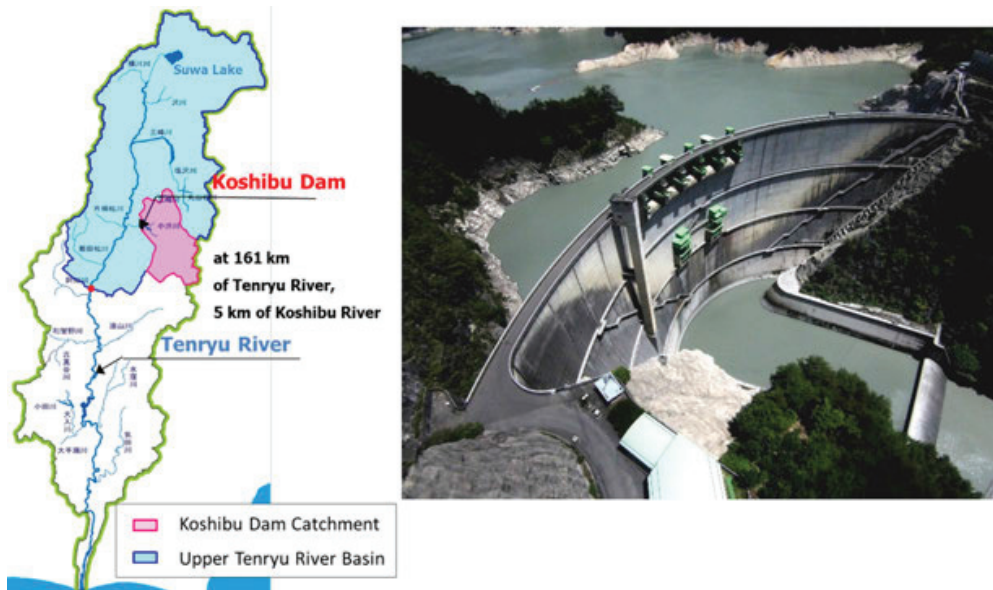


Fig. 1

Location of the Koshibu Dam (left) and the aerial photo (right)
Emplacement du barrage de Koshibu (à gauche) et de la photo aérienne (à droite)

Table 1
 Overview of the Koshibu Dam

Completion year	1969	Catchment area	288.0 km ²
Dam type	Concrete arch dam	Reservoir capacity	58,000,000 m ³
Dam height	105 m	Capacity for water use	29,100,000 m ³
Crest length	293.3 m	Design flood flow	2,160 m ³ /s
Purpose	Flood control	Flood control method: constant ratio - constant discharge Flood control starting discharge: 200 m ³ /s, Planned the Maximum discharge: 500 m ³ /s, The maximum inflow discharge: 1,500 m ³ /s	
	Irrigation	1.8 m ³ /s	
	Power generation	The maximum 10,500 kW	

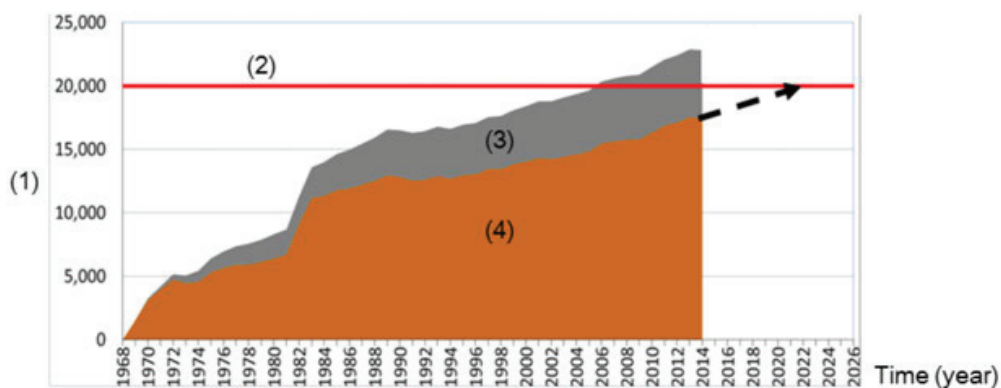


Fig. 2
Trend of sedimentation in the Koshibu Reservoir
Tendance de la sédimentation dans le réservoir Koshibu

- | | |
|--|---|
| (1) Cumulative volume ($\times 10^3 \text{ m}^3$) | (1) <i>Volume cumulatif</i> |
| (2) Design sedimentation capacity = $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ | (2) <i>Conception de la capacité de sédimentation</i> |
| (3) Cumulative excavation | (3) <i>Excavation cumulative</i> |
| (4) Cumulative sedimentation | (4) <i>Sédimentation cumulative</i> |

After the dam construction, since the progress of sedimentation was faster than planned, several countermeasures for sedimentation have been implemented. For example, about 5,000,000 m³ of sediment accumulated in the reservoir due to large-scale floods in 1982 and 1983. As a countermeasure, excavation was adopted and carried out from the beginning of the dam operation. After that, in order to carry out excavation more efficiently, three sediment trap weirs have been installed such as No.1 in 1978, No.2 downstream in 1990 and No.3 upstream in 2006, respectively. On average, about 105,000 m³ of sediment have been excavated and removed annually which are most effectively used for aggregate and so on.

However, the average value of annual sedimentation volume in recent years is up to about 280,000 m³, and it is difficult to prevent the increase of sedimentation volume even if continuing excavation. As of 2014, 87% of the planned sedimentation volume was deposited and there was concern that the amount of sediment exceeded the planned amount in the near future. At the downstream of the dam, since the amount of sediment flowing down after construction of the dam has decreased, influence on the riverbed environment such as bed armoring has been observed.

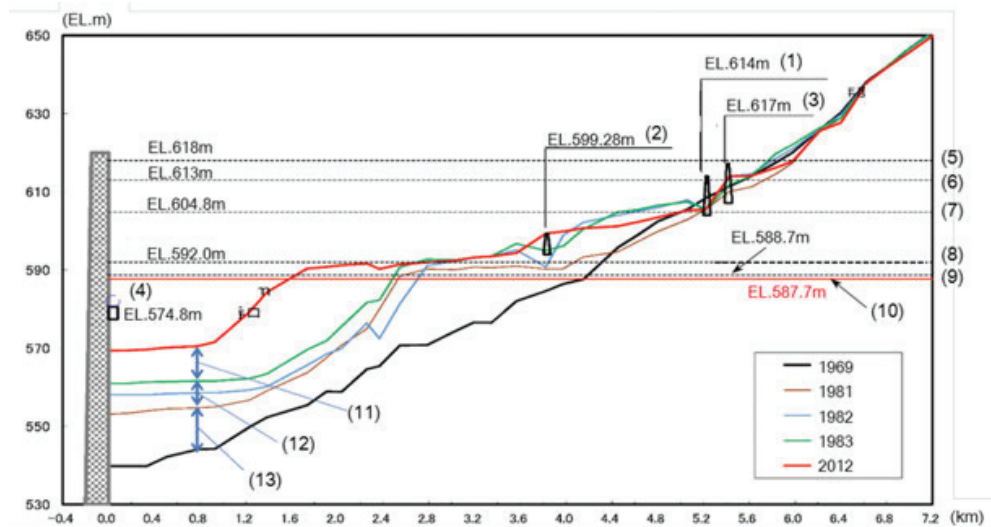


Fig. 3

Thalweg profile of sedimentation in the Koshiibu Reservoir
Profil thalweg de la sédimentation dans le réservoir de la Koshiibu

- | | |
|--|--|
| (1) Sediment weir No.1 | (1) Déversoir de sédiments No.1 |
| (2) Sediment weir No.2 | (2) Déversoir de sédiments No.2 |
| (3) Sediment weir No.3 | (3) Déversoir de sédiments No.3 |
| (4) Conduit gate intake | (4) Entrée des conduits |
| (5) Surcharge water level | (5) Surcharge du niveau d'eau |
| (6) Normal water level | (6) Niveau d'eau normal |
| (7) Limiting water level in rainy season (7/21-10/5) | (7) Limitation du niveau d'eau en saison pluvieuse (7/21-10/5) |
| (8) Limiting water level in rainy season (6/10-7/20) | (8) Limitation du niveau d'eau en saison pluvieuse (6/10-7/20) |
| (9) Low water level | (9) Faible niveau d'eau |
| (10) Planed sedimentation level | (10) Niveau de sédimentation planifiée |
| (11) Deposited for 30 years | (11) Déposé depuis 30 ans |
| (12) Deposited during floods in 1982 and 1983 | (12) Déposé pendant les inondations en 1982 et 1983 |
| (13) Deposited for 12 years | (13) Déposé depuis 12 ans |

To cope with these problems, a sediment bypass tunnel project was launched in 2000 with the aim of reducing sediment inflow into the reservoir and ensuring continuity of sediment transport in the river. The project period was 17 years up to 2016 which costed about 14.4 billion yen (about 128 million US dollars). Construction of the major facilities took 8 years, and the sediment bypass tunnel was completed in September 2016. It has taken 4 years for the main tunnel about 4 km in length to break through and another 4 years for facilities such as the inflow facility, the energy dissipator and so on.

3. OUTLINE OF SEDIMENT BYPASS TUNNEL FACILITY

The outline of the Koshihbu dam sediment bypass tunnel facility is shown in Fig.4 and Table 2. In the Koshihbu dam, target bypassing sediments are gravel having a grain size of about 100 mm or less, sand and silt (clay). Annual average sediment budget plan of the Koshihbu dam sediment bypass project as of 2014 is shown in Fig.5 which bypasses about 310,000 m³ of sediment per year to downstream river out of the average annual inflow volume of about 570,000 m³. Also, about 140,000 m³ of sediment trapped in the sediment trap weirs is planned to be excavated per year after starting the bypass operation. The sediment bypass facility consists of an inlet part, a tunnel part and an energy dissipator part. The outline of each part is written below.

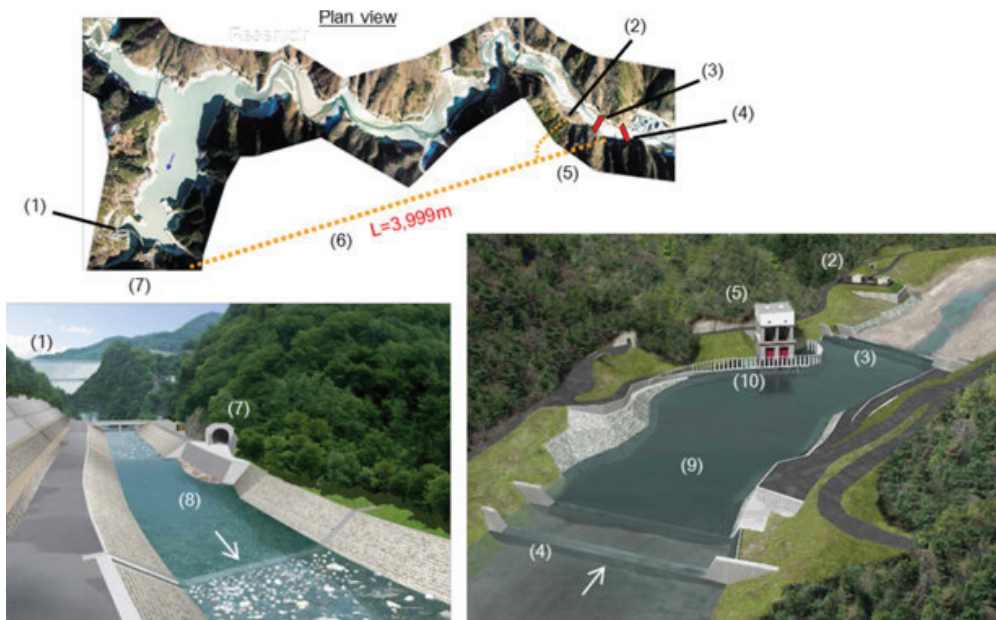


Fig. 4

Sediment bypass tunnel facility

Installations du tunnel de dérivation des sédiments

- | | |
|--|--|
| (1) The Koshihbu dam, (2) Maintenance tunnel | (1) <i>Barrage de Koshihbu, (2) Tunnel de maintenance</i> |
| (3) Diversion weir, (4) Sediment weir | (3) <i>Déversoir de dérivation, (4) Déversoir de sédiments</i> |
| (5) Inlet, (6) Sediment bypass tunnel | (5) <i>Entrée, (6) Tunnel de dérivation des sédiments</i> |
| (7) Outlet, (8) Energy dissipator | (7) <i>Sortie, (8) Dissipateur d'énergie</i> |
| (9) Diversion pool | (9) <i>Bassin de dérivation</i> |
| (10) Driftwood guard piles | (10) <i>Piles de garde à bois flottant</i> |

Table 2
Overview of the Koshibu Dam Bypass Tunnel

Completion year	2016	Outlet energy dissipator	Yes
Design velocity	15.8 m/s	Target Grain Size	d_m : 10 mm, d_{90} : 70mm
Tunnel specifications	Cross section shape		Horseshoe shape $2r = 7.95$ m
	Length		3,999 m
	Longitudinal slope		2.0% (1/50)
	Curved section		Yes
Flow discharge	Design discharge		370 m ³ /s
	Design flood return period		1/6.2 year
Intake specifications	Intake position in reservoir		Upstream end
	Flow control		Gate
	Reservoir operation during sediment discharge		Flood control

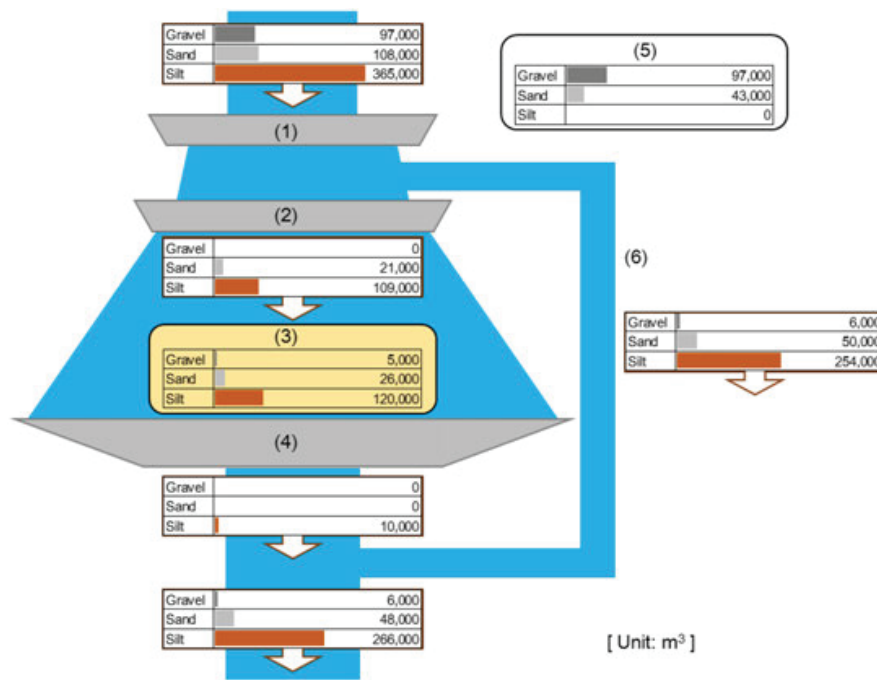


Fig. 5
Annual average sediment budget plan of the Koshibu dam sediment bypass project
Plan budgétaire annuel moyen des sédiments du projet de dérivation des sédiments du barrage de Koshibu

- | | |
|-----------------------------|--|
| (1) Sediment Weir | (1) Déversoir de sédiments |
| (2) Diversion weir | (2) Déversoir de dérivation |
| (3) Reservoir sedimentation | (3) Sédimentation des réservoirs |
| (4) The Koshibu dam | (4) Barrage de Koshibu |
| (5) Excavation | (5) Excavation |
| (6) Sediment bypass tunnel | (6) Tunnel de dérivation des sédiments |

3.1. OUTLINE OF THE INLET PART

The inlet part is composed of “sediment trap weir” installed upstream to capture coarse sediment, “driftwood guard piles” to prevent clogging inlet by driftwood, “inlet structure” and “diversion weir” to divert flood water to the bypass tunnel. “Sediment trap weir” and “diversion weir” were constructed by remodeling existing “sediment trap weir No.3” and “sediment trap weir No.1”, respectively.

In order to minimize the gate operation by adapting to the Koshiibu dam’s flood control rule of constant rate - constant discharge, two crests placed on the two orifices is designed for the inlet structure where two sub gates on the upstream and two main gates on the downstream are installed (Fig. 6) [2]. The sub gates are designed to be operated even if the upstream side is covered by deposited sediment.

As a countermeasure against abrasion damage caused by the sediment flow, the 20 m section around the gate with a relatively low flow velocity was protected with “rubber steel” which is the composite structure of the steel plate and the hard rubber, the downstream 30 m section with high flow velocity was protected with steel lining (Fig. 6).

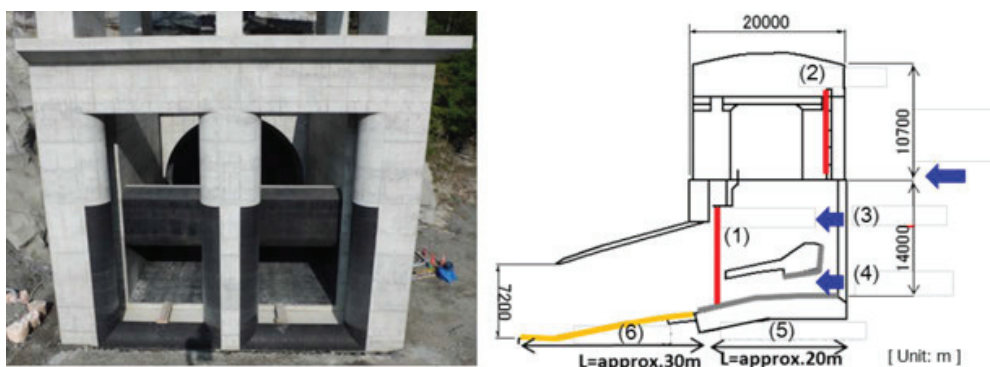


Fig. 6

Inlet structure front view (left) and longitudinal section shape (right)
Vue frontale de la structure d'entrée (gauche) et de la coupe longitudinale (droite)

- | | |
|------------------------------------|---|
| (1) Main gates, (2) Sub gates | (1) <i>Portes principales, (2) Sous-portes</i> |
| (3) Crests, (4) Orifices | (3) <i>Crêtes, (4) Orifices</i> |
| (5) Rubber steel, (6) Steel lining | (5) <i>Acier en caoutchouc, (6) Doublure en acier</i> |

3.2. OUTLINE OF THE TUNNEL AND ENERGY DISSIPATOR PARTS

Since the abrasion damage due to sediment flow was concerned, the high strength concrete with the target strength of 50 N/mm² was applied for the tunnel

invert concrete where the thickness was designed to 45 cm including the abrasion margin of 16 cm. Considering the maintenance management, the structure was made possible to allow vehicles to enter the tunnel from both the maintenance tunnel installed upstream and the downstream end of the tunnel.

The outlet of the tunnel is located about 300 m downstream of the dam. The energy dissipator was designed to reduce the water flow energy by spreading flow from the tunnel end into the downstream water channel and flowing into the river.

3.3. OUTLINE OF THE BYPASS OPERATION METHOD

In case of the Koshiybu dam, the sediment bypass facility was planned to discharge sediment during flood events as follows in 2014. Specifically, as shown in the hydrograph shown in Fig. 7, when the inflow discharge exceeds 60 m³/s, the bypass gate will be opened to start discharging from the bypass. During the flood peak, the bypass will discharge as far as possible within the range of the outflow discharge in the flood control rule. After the flood, the bypass gate will be closed when the inflow discharge decreases below 60 m³/s. This planned operation method will be examined and modified based on the monitoring results of trial operations in the future.

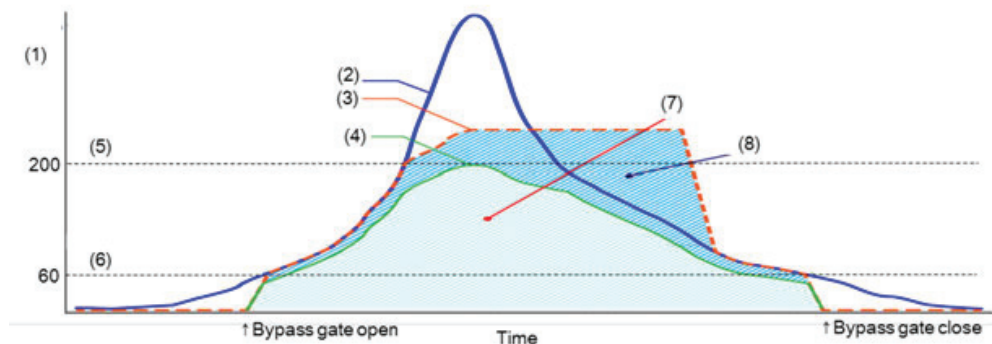


Fig. 7

Planned hydrograph of the Koshiybu dam sediment bypass project
Projet de dérivation des sédiments du barrage de Koshiybu

(1) Discharge rate (m ³ /s)	(1) Taux de décharge (m ³ /s)
(2) Inflow (Dam)	(2) Apport (barrage)
(3) Outflow (Total)	(3) Sortie (Total)
(4) Outflow (Bypass)	(4) Sortie (dérivation)
(5) Flood control starting discharge	(5) Déclenchement du contrôle des inondations
(6) Bypass operation starting discharge	(6) Déclenchement de l'opération de dérivation
(7) Discharge from bypass	(7) Décharge à partir de la dérivation
(8) Discharge from dam conduit	(8) Décharge à partir du conduit du barrage

4. MONITORING PLAN

The purpose of monitoring is to confirm the facility performance, environmental impacts and others by implementing trial operation of the sediment bypass and to finalize the formal operation method. The monitoring is categorized into the following three aspects: “structural monitoring” to verify the discharge facility, “environment monitoring” to assess the environmental impacts by the sediment flow to the downstream river and “sediment budget monitoring” to clarify the amount of bypassed sediment to check the effect of bypass facility. Specific monitoring methods are described below.

4.1. STRUCTURAL MONITORING

In consideration of the functions required for each part of the sediment bypass facility, a monitoring plan was prepared to confirm the diverted water volume, the flow condition and the abrasion damages on the tunnel invert. The monitoring methods are shown in Table 3. In order to easily detect the abrasion damage condition inside the tunnel, both visual inspection of the painted band at 200 m intervals and periodical survey by the vehicle with the 3D Laser Scanner will be conducted.

Table 3
Structural monitoring methods

PURPOSE	MONITORING LOCATION	METHOD	PERIOD
Validation of diverted water volume	Inside bypass tunnel	Water level survey	During tunnel operation
Observation of flow condition	At driftwood guard piles, bypass gate and bypass outlet	CCTV	
Assessment of abrasion damages	At driftwood guard piles, inlet, tunnel inside and outlet	Visual inspection (painted belt) and 3D Laser Scanner	After tunnel operation

4.2. ENVIRONMENTAL MONITORING

The river is monitored from the dam to approximately 5 km downstream where the Koshiy river merges with the Tenryu river. The monitoring focuses on both physical factors such as landscape, riverbed fluctuations, riverbed materials, water quality and environmental factors such as attached algae, benthos, fish, and rare land plant species (Table 4). Surveys are conducted during non-flood season as well as just after floods for riverbed material and living organisms. Attached algae will be surveyed monthly considering seasonal variation.

Table 4
Environmental monitoring methods

PURPOSE	MONITORING LOCATION	METHOD	PERIOD
Landscape	Dam downstream	Aerial photo survey	After flood season and after bypass operation
Riverbed variation	Dam downstream (every 200 m)	Riverbed survey, photo at junction with Tenryu R	Survey: after flood season Photo: monthly
Riverbed material	Dam upstream and downstream (7 locations)	Sampling and laboratory analysis	After flood season and after bypass operation
Water quality	Dam inflow and outflow, Tenryu R (2 locations), and tributary	Observation of turbidity and water temperature	Koshibu R: every month and during floods (hourly), Other points: during floods (hourly)
Attached algae	Dam upstream and downstream (2 locations)	Sampling and laboratory analysis (species, number of cells, Chl-a, pheophytin, ignition loss)	Monthly
Benthos and fish	Dam upstream and downstream (4 locations)	Numeric survey	After flood season and after bypass operation
Rare land plant species	Dam downstream	Numeric survey	

4.3. SEDIMENT BUDGET MONITORING

In order to understand the sediment budget in the sediment bypass operation during flood, it is necessary to confirm the sediment quantity by each particle size with regard to “Dam inflow”, “Bypass outflow” and “Dam outflow”.

Generally, the budget of the gravel is estimated from the riverbed survey upstream and downstream of the bypass tunnel, before and after floods, and from the riverbed material investigation. Survey will be also conducted after the flood season. Since it is necessary to get data in more detail at the diversion pool and the energy dissipator, precise surveys will be conducted before and after the bypass operation. In addition, as the first case of the sediment bypass tunnel in Japan, sediment observation devices (plate type sensor etc. [3]) were installed on the bottom of the tunnel outlet part. The plate type sensor consists of a steel plate (0.5 m long side, 0.36 m short side and 15 mm thickness), an acoustic sensor (hydrophone) and a vibration sensor installed on the back side. These measurements have been already started during flood events (Fig.8 left).

With regard to the sand, it is difficult to observe all amount of the sand transport during flood. Therefore, using the observed data as a verification data, the amount of the sand transport is estimated from the one-dimensional river bed variation model. For water sampling at the tunnel outlet, water intake pipes were installed on the training wall surface (Fig.8 right), in order to collect the discharged water at different water depths.

The amount of the silt transport is estimated by combining the discharge rate data with the suspended sediment concentration and the particle size distribution obtained by water sampling at the tunnel upstream and downstream points. The monitoring methods are summarized in Table 5.

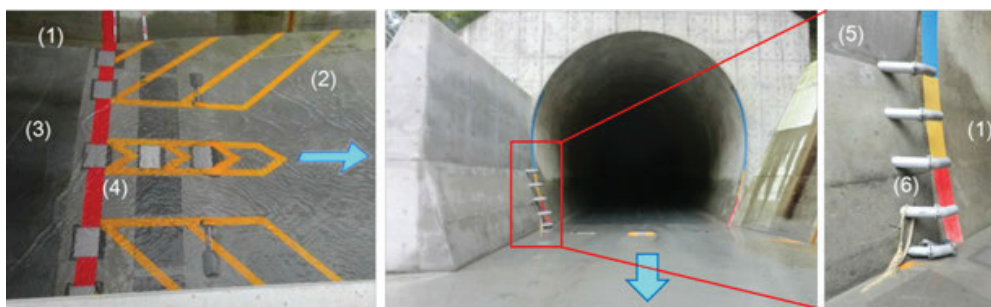


Fig. 8

Plate type sensors (left) and Water sampling pipes (right)
Capteurs de type plaque (gauche) et tuyaux d'échantillonnage d'eau (à droite)

- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| (1) Tunnel | (1) Tunnel |
| (2) Outlet channel | (2) Canal de sortie |
| (3) Bottom invert | (3) Radier inférieur |
| (4) 7 plate type sensors | (4) 7 capteurs de type plaque |
| (5) Training wall | (5) Mur d'entraînement |
| (6) Water sampling pipes | (6) Tubes d'échantillonnage d'eau |

Table 5
 Sediment transport monitoring methods

Purpose	Monitoring location	Period	Method
SS, particle size distribution, SS density	Inflow (2 locations) Conduit outflow Dam discharge	During floods (hourly)	Surface water sampling and laboratory analysis
	Bypass outflow		Water sampling at different depths and laboratory analysis
Riverbed variation	Dam reservoir	After flood season	3-D survey (laser or narrow multi-beam)
	Diversion lake, Energy dissipator	Before and after bypass operations	
Riverbed material	Sediment weir No. 3 upstream (2 locations)	After flood season and after remarkable riverbed change	Sampling and laboratory testing
	Diversion lake (6 locations) Energy dissipator (2 locations)	Before and after bypass operations	
	Dam downstream (7 locations)	After flood season and after remarkable riverbed change	
Gravel transport	Bypass tunnel outlet	During floods	Plate type sensor

5. TRIAL OPERATIONS AND MONITORING RESULTS

In August 2016 just after completion of the sediment bypass tunnel facility, the bypass flow test up to the maximum 20 m³/s discharge was carried out for the purpose of examining the measuring method of the sediment transport rate. Trial operations during flood times were also conducted in September 2016, July and October 2017. The maximum discharges from the bypass were about 100 m³/s on July 4 and 180m³/s on October 23, 2017.

Fig. 9 shows the result of trial operations in September, 2016. There were two flood peaks which were the maximum bypass discharge rates of 80 m³/s and 60 m³/s caused by the typhoon on Sept. 20-21 and the autumn rainy front on Sept. 23, respectively. On Sept. 23, three times of gate opening and closing operation were carried out to confirm the gate system function. Fig. 10 shows the flow conditions of the bypass tunnel inlet and outlet parts. Monitoring data will be reported to the monitoring committee on the Koshiu Dam Sediment Bypass Tunnel and analyzed to improve the bypass operation method.

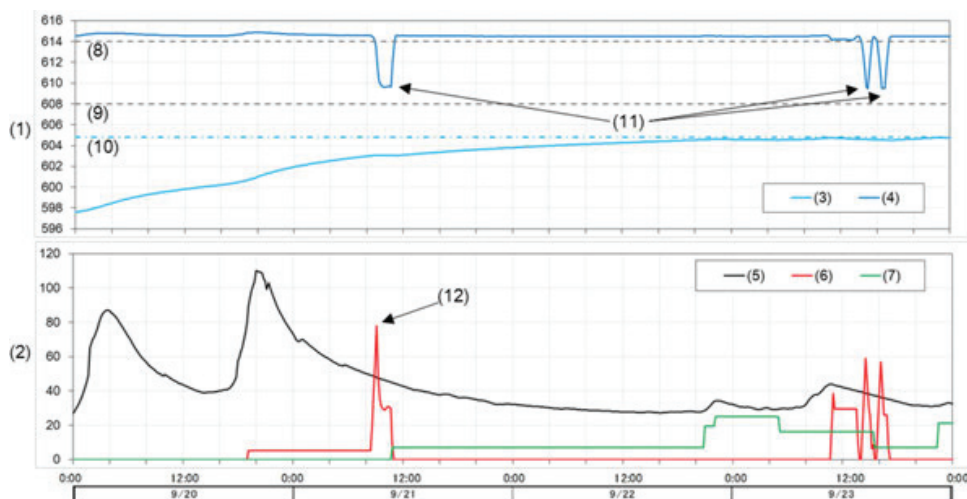


Fig. 9

Hydrographs of trial operation on September 2016
Hydrographies de l'opération d'essai en septembre 2016

- | | |
|---|---|
| (1) Water level (EL.m) | (1) Niveau d'eau (EL.m) |
| (2) Discharge rate (m ³ /s) | (2) Taux de décharge (m ³ /s) |
| (3) Dam Reservoir | (3) Réservoir de barrage |
| (4) Diversion weir upstream water level | (4) Niveau d'eau amont du déversoir de dérivation |
| (5) Inflow (Dam) | (5) Apport (barrage) |
| (6) Outflow (Bypass tunnel) | (6) Sortie (tunnel de dérivation) |
| (7) Outflow (Dam conduit) | (7) Sortie (canalisation du barrage) |

- | | |
|--|--|
| (8) Diversion weir top elevation | (8) <i>Élévation supérieure du déversoir de dérivation</i> |
| (9) Bypass tunnel inlet elevation | (9) <i>Élévation d'entrée du tunnel de dérivation</i> |
| (10) Limiting water level in rainy season | (10) <i>Limitation du niveau d'eau en saison pluvieuse</i> |
| (11) Free flow bypass | (11) <i>Dérivation en flux libre</i> |
| (12) Bypass outflow at maximum (about 80m ³ /s) | (12) <i>Débit de dérivation au maximum (80m³/s)</i> |

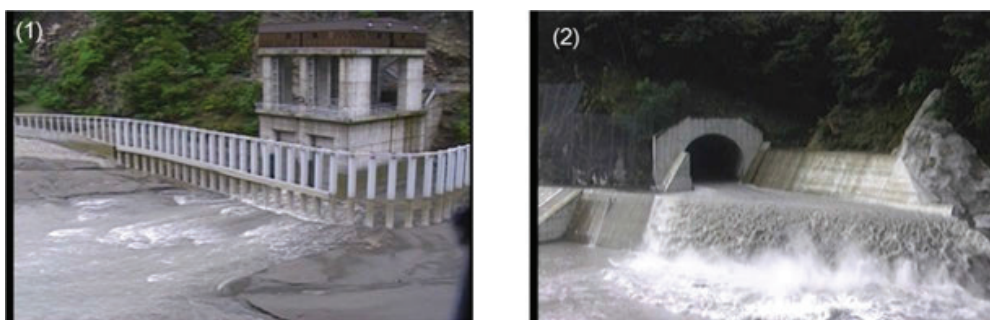


Fig. 10

Flow conditions of the bypass inlet (left) and outlet (right)
Condition de débit de l'entrée de dérivation (gauche) et de la sortie (droite)

- | | |
|---|--|
| (1) 14:50 Sep. 23, 2016 (about 50m ³ /s) | (1) 14:50 23 Sep. 2016 (environ 50m ³ /s) |
| (2) 9:00 Sep. 21, 2016 (about 50m ³ /s) | (2) 9:00 21 Sep. 2016 (environ 50m ³ /s) |

5.1. RESULTS OF STRUCTURAL MONITORING

It was assumed that one of the challenges was to operate the gate safely without clogging sediment during closing under the coarse sediment transport condition. In order that, the following operation method was proposed: (1) Set the opening of the sub (upstream) gate to about 0.1 m, (2) flush sediment or debris at the main (downstream) gate slot, (3) Close the main gate, and finally, (4) Close the sub gate.

There was no significant abrasion damage to rubber steels and steel lining around the gates (Fig. 11 (1), (2)). In addition, the bottom of the painted belt was fully peeled off, and minor damages around the concrete joint and the mortar on the concrete surface were observed without any other significant damages (Fig.11 (3), (4)).

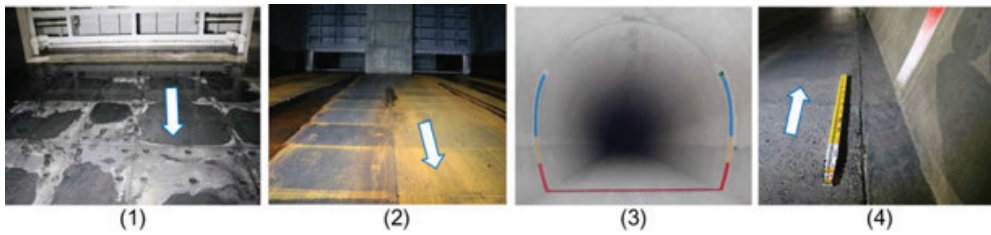


Fig. 11
Surface situation around gates and tunnel invert after trial operation
Situation de surface autour des portes et du radier du tunnel après l'opération d'essai

- | | |
|------------------------------------|--|
| (1) Rubber steel after operation | (1) <i>Acier en caoutchouc après l'opération</i> |
| (2) Steel lining after operation | (2) <i>Doublure en acier après l'opération</i> |
| (3) Tunnel invert before operation | (3) <i>Radier du tunnel avant l'opération</i> |
| (4) Tunnel invert after operation | (4) <i>Radier du tunnel après l'opération</i> |

5.2. RESULTS OF ENVIRONMENTAL MONITORING

The field survey of the dam downstream river revealed patchy deposition of sand or silt, but did not show any significant changes in attached algae, benthic organisms, fish, or rare land plants (Fig. 12).

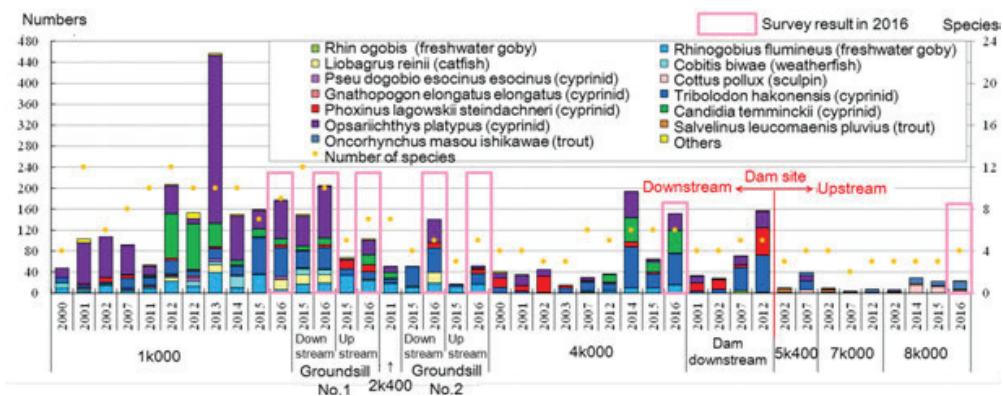


Fig. 12
Fish survey results before and after trial operation
Résultats de l'enquête sur les poissons avant et après l'opération d'essai

5.3. RESULTS OF SEDIMENT BUDGET MONITORING

As a result of examination by combining survey results before and after the trial operation, riverbed material investigation, water sampling analysis during the trial operation and river bed variation model, the sediment volume passed through the sediment bypass tunnel in two operations during September 2016 was estimated about 10,000 m³.

Fig.13 shows the budget of sediment for each sediment size classification. Because of the erosion of sediment accumulated in the diversion pool, the

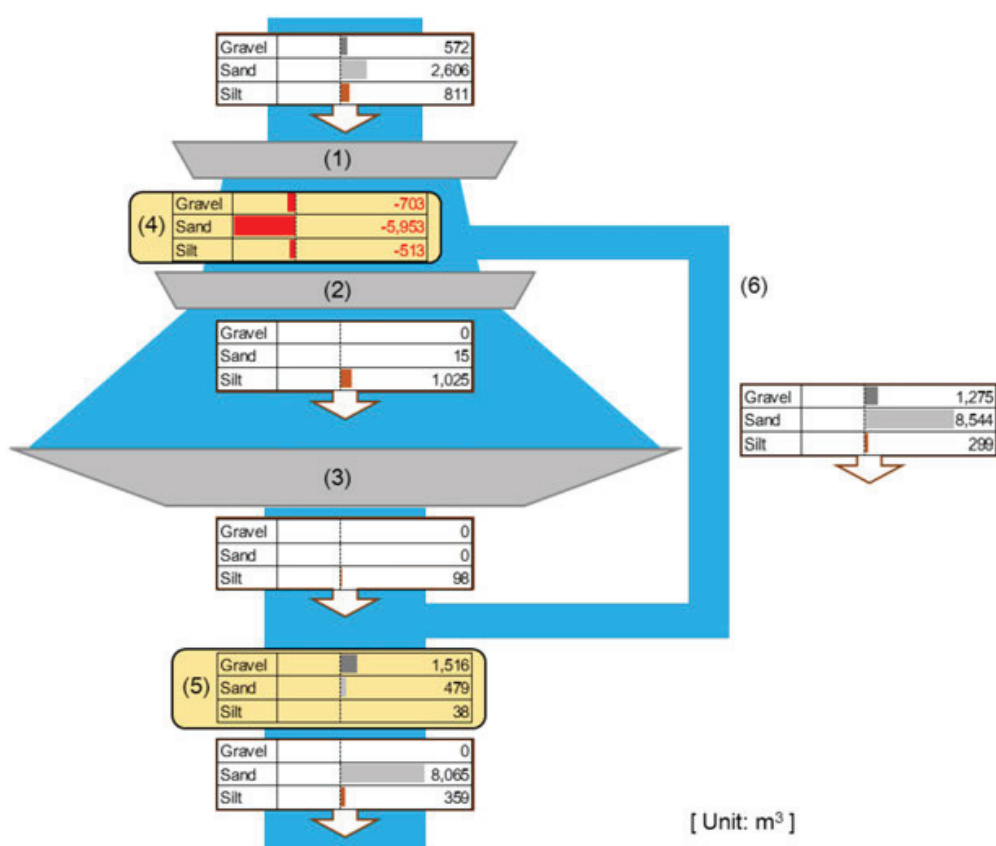


Fig. 13
Sediment budget during the trial operation in September 2016
Budget des sédiments lors de l'opération d'essai en septembre 2016

- | | |
|----------------------------------|--|
| (1) Sediment Weir | (1) Déversoir de sédiments |
| (2) Diversion weir | (2) Déversoir de dérivation |
| (3) The Koshibu dam | (3) Barrage de Koshibu |
| (4) Diversion pool deposition | (4) Dépôt du Bassin de dérivation |
| (5) Energy dissipator deposition | (5) Dépôt de dissipateur d'énergie |
| (6) Sediment bypass tunnel | (6) Tunnel de dérivation des sédiments |

sediment volume more than the inflow amount was bypassed through the tunnel. Moreover, as compared with the annual average sediment budget plan of Fig. 5, bypassed sediment volume was quantitatively small since the flood scale and the bypass operation time were small.

From the observation results by the plate type sensor during the test discharge and trial operation, it was confirmed that a large amount of gravels of about 10 mm or more will start to flow down when the bypass inlet part becomes a free flow (open channel flow) condition. Other interesting point was that the gravel tends to flow downward toward the inner side of the tunnel curvature (on the right bank side) [4], [5].

6. CONCLUSION

The bypass tunnel of the Koshiu dam was completed in 2016 and several trial discharge operations have been carried out. Compared with the planned maximum bypass discharge 370 m³/s, the trial discharge was a small scale less than 100 m³/s and comparatively short time.

Even though the limited conditions, as a result of monitoring, it was confirmed that there was no problem in gate operation, and no significant abrasion damage and environmental changes in the downstream river were observed. Moreover, it was able to estimate the sediment budget and sediment transport characteristics during bypass operations. Regarding abrasion damages, long-term monitoring is needed since the flow rate and operation time in the trial discharge was limited.

REFERENCES

- [1] TAKEUCHI H., ISHIDA K., HAYASHI M., WAKAHARA C. Monitoring scheme for sediment bypass tunnel at the Koshiu Dam. *2nd International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Kyoto Japan, 2017.*
- [2] KASHIWAI J., KIMURA S. Hydraulic examination of the Koshiu dam's intake facilities for sediment bypass. *Proc. First International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, VAW-Mitteilungen 232, Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW), ETH Zurich Switzerland, 45-54, 2015.*

- [3] SAKURAI T., NAKANISHI S., SUMI T., KOSHIBA T., MIYAWAKI C., ISHIGAMI T. Bedload monitoring with impact plates at Koshibu sediment bypass tunnel. *2nd International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Kyoto Japan, 2017.*
- [4] KOSHIBA, T., SUMI, T. Experimental study on measurement method of gravel discharge rate in highspeed flow using plate-type sensor. *2nd International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Kyoto Japan, 2017.*
- [5] KOSHIBA, T., KANTOUSH, S.A., SUMI, T. Field experiment of bedload transport rate measurement at sediment bypass tunnel. *85th Annual Meeting of ICOLD, Prague, Czech Republic, 2017.*

小渋ダム土砂バイパストンネルの計画と運用実績

櫻井 寿之*¹ 辻本 哲郎*² 角 哲也*³
 國村 一郎*⁴ 竹内 寛幸*⁴ 石田 勝志*⁴

要 旨

貯水池への流入土砂抑制と土砂移動の連続性の確保を目的として、小渋ダム土砂バイパストンネルが計画され2016年9月に施設が完成した。構造、環境、土砂収支の視点から、モニタリング計画が検討され、試験運用結果の分析と評価が実施されている。

小渋ダムの目的は、洪水調節、かんがい及び発電である。小渋ダムバイパストンネルは出水時の洪水調節中に運用する計画であり、洪水調節ルールと適合させるための流入部形状の工夫がされている。また粒径100mm程度以下の土砂をバイパスの対象としており、摩耗損傷に対する様々な工夫がされている。

モニタリング計画では、各視点のモニタリングの目的が整理され、目的に適したモニタリング方法の選定がなされた。土砂収支のモニタリングでは、日本の土砂バイパストンネルでは初めての試みとして、トンネル出■底面に流砂観測装置が設置された。

バイパス完成後、数回の試験放流が実施された。バイパス放流の流量は小規模で比較的短時間の放流であったが、モニタリングの結果、ゲート操作に問題がないこと、顕著な摩耗・損傷がないことが確認され、環境面での有意な変化は確認されなかった。また、概ねの土砂収支や土砂の流下特性を把握することができた。

今後は、引続きモニタリングを実施し、その結果を運用方法の改善に反映することで土砂バイパスの効率的な運用の実現に向けた検討を行っていく予定である。

1. はじめに

小渋ダムは天竜川水系の支川小渋川に1969年に建設された。小渋ダムでは、貯水池への流入土砂抑制と土砂移動の連続性の確保を目的として、土砂バイパストンネルが計画され2016年9月に施設が完成した。土砂バイパストンネルの運用については、2014年に学識経験者からなるモニタリング委員会が設置され、構造、環境、土砂収

支の視点からのモニタリング計画の検討及び試験運用結果の分析と評価が実施されている¹⁾。本稿では、小渋ダム土砂バイパストンネルの施設の特徴とモニタリング計画及び試験運用のモニタリング結果を報告する。

2. 小渋ダムと土砂バイパストンネル事業の概要

小渋ダムは、日本の長野県と静岡県を流れる天竜川左支川小渋川に1969年に建設され、国土交通省が管理しているダムである。小渋ダムの位置とダムの諸元を図一1及び表一1に示す。小渋ダムの目的は、洪水調節、かんがい及び発電であり、流域にとって重要なインフラ施設である。

小渋ダム貯水池の堆砂量の時系列を図一2に堆砂形状を図一3に示す。小渋ダムでは、計画時に50年間に堆積する土砂量を推定して、計画堆砂量を設定し、貯水容量内に計画堆砂量を貯留するための堆砂容量を20,000,000m³確保している。ダム建設後、1982年、1983年の2年間に生じた大規模出水により、約5,000,000m³の土砂が貯水池内に堆積するなど、堆砂の進行が計画よりも早かったため、堆砂対策が実施された。対策としては、陸上掘削が採用されダム運用開始当初から実施された。その後、効率的に陸上掘削を実施するため、1978年に第1貯砂堰が、1990年にその下流に第2貯砂堰が、2006年に第1貯砂堰上流に第3貯砂堰が設置された。平均的には、年間約105,000m³の土砂が掘削除去されている。除去した土砂の大部分は骨材等に有効利用されている。

しかしながら、近年の年堆砂量の平均値は約280,000m³であり、陸上掘削を継続しても堆砂量の増加を防止することは難しく、2014年時点で計画堆砂量の87%が堆砂しており、近い将来に計画堆砂量を超えることが懸念された。また、ダム下流では、ダム建設後に流下する土砂が減少したことから、河床のアーマー化などの河床環境への影響がみとめられている。

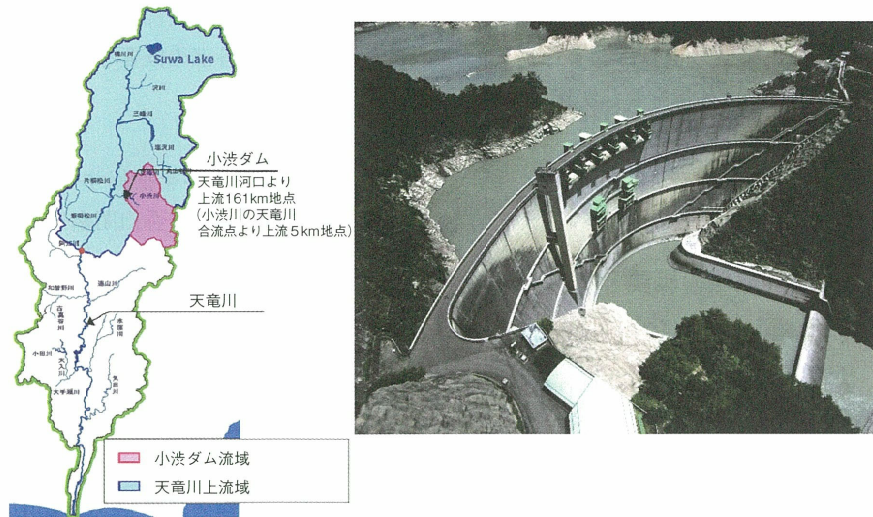
これらの課題に対応するために、貯水池への流入土砂抑制と土砂移動の連続性の確保を目的として、2000年に

*1 一般財団法人ダム技術センター 首席研究員 (前 土木研究所 水工研究グループ 主任研究員)

*2 名古屋大学 名誉教授

*3 京都大学防災研究所 教授

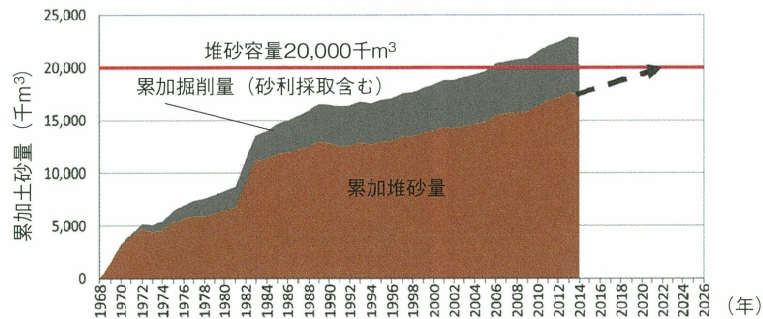
*4 国土交通省 中部地方整備局 天竜川ダム統合管理事務所



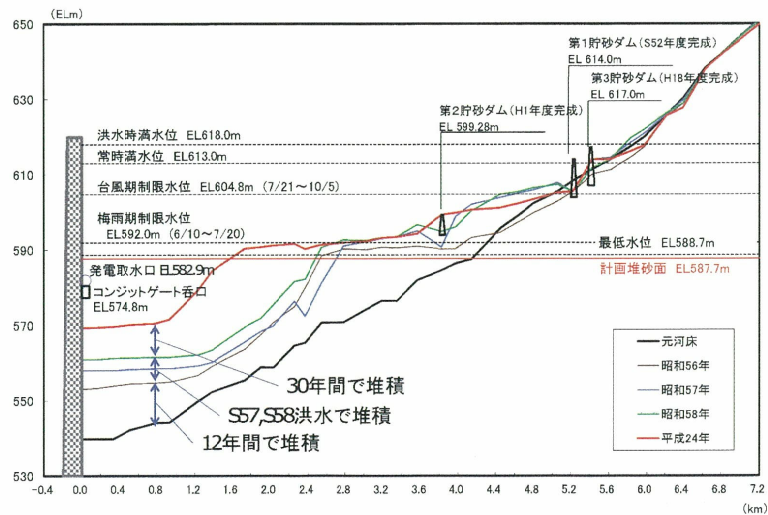
図一 小渋ダムの位置と空撮写真

表一 小渋ダムの諸元

竣工年	1969	流域面積	288km ²
ダム型式	アーチ式コンクリートダム	総貯水容量	58,000,000m ³
堤高	105m	利水容量	29,100,000m ³
堤頂長	293.3m	設計洪水流量	2,160m ³ /s
目的	洪水調節	洪水調節方式：一定率一定量 洪水調節開始流量：200m ³ /s 計画最大放流量：500m ³ /s 計画高水流量：1,500m ³ /s	
	かんがい用水	1.8m ³ /s	
	発電	最大 10,500kW	



図二 小渋ダム貯水池の堆砂状況



図三 小渋ダム貯水池の堆砂縦断形状

土砂バイパストンネルの事業が開始された。事業期間は2016年までの17年間であり、事業の予算はおよそ144億円である。主要な施設の建設には8年を要し2016年9月に土砂バイパストンネルが完成した。約4年で、延長約4kmのトンネルが貫通し、その後の約4年で流入部、減勢工部等の施設が建設された。

3. 土砂バイパストンネル施設の概要

小渋ダム土砂バイパストンネルの施設の概要を図-4及び表-2に示す。小渋ダムでは、粒径100mm程度以下の礫、砂、シルト(粘土)をバイパスの対象土砂としている。図-5に示す2014年時点の計画では、年間の平均的な流入土砂量約570,000m³の内、約310,000m³の土砂を下流河川へバイパスすることを目標として設定された。また、バイパス運用後も貯砂堰にトラップされた土砂の年間約140,000m³の掘削が実施される予定である。土砂

バイパス施設は、流入部、トンネル部、減勢工部から構成され、以降に各部の概要を示す。

3.1 流入部の概要

流入部は粗い土砂を捕捉するために上流に設置する「貯砂堰」、流木による呑口閉塞を防止するための「流木ハネ」、「呑口」、洪水を分派する「分派堰」から構成される。

「貯砂堰」と「分派堰」については、それぞれ既存の「第3貯砂堰」と「第1貯砂堰」が改造された。

呑口は、ゲート操作を最小限にして小渋ダムの一定率一定量放流の洪水調節方法と適合させるために、オリフィス2門の上にクレスト(越流頂)2門を配置した形状となっている²⁾。流入部の土砂流下による摩耗対策として、比較的流速の小さい呑口ゲート周辺の20m区間は鋼板を硬質ゴムで覆った「ラバースチール」で、その下

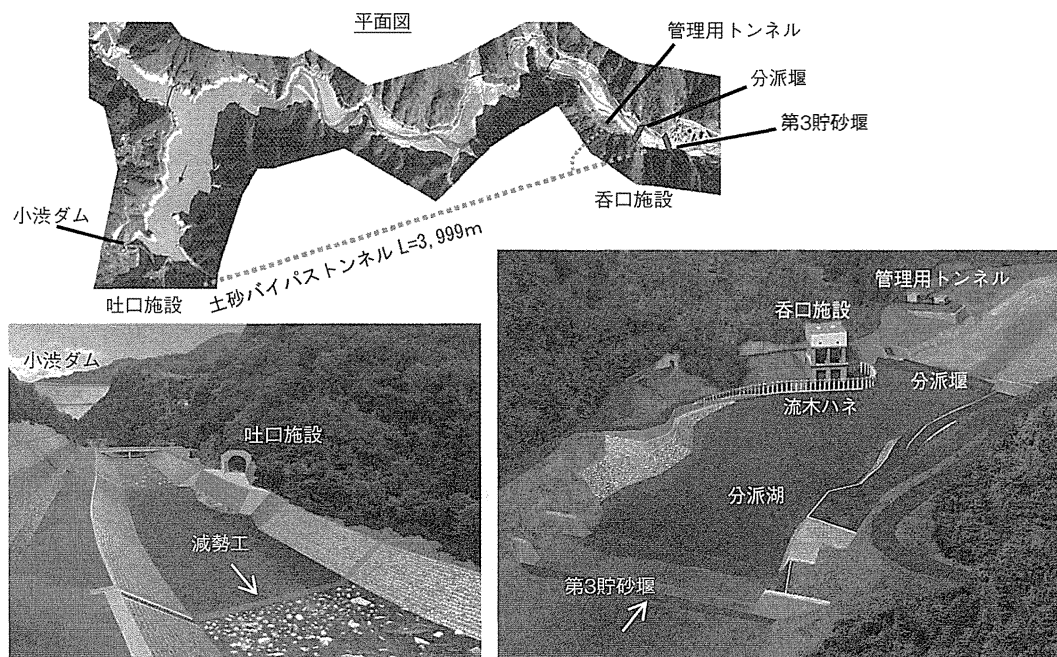
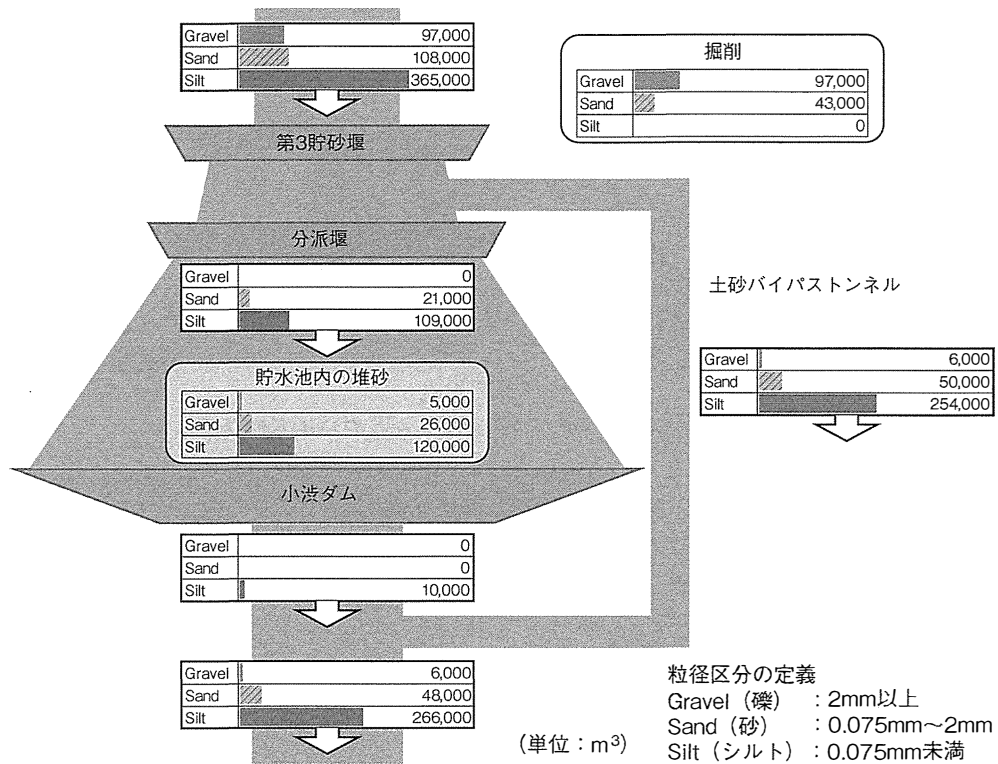


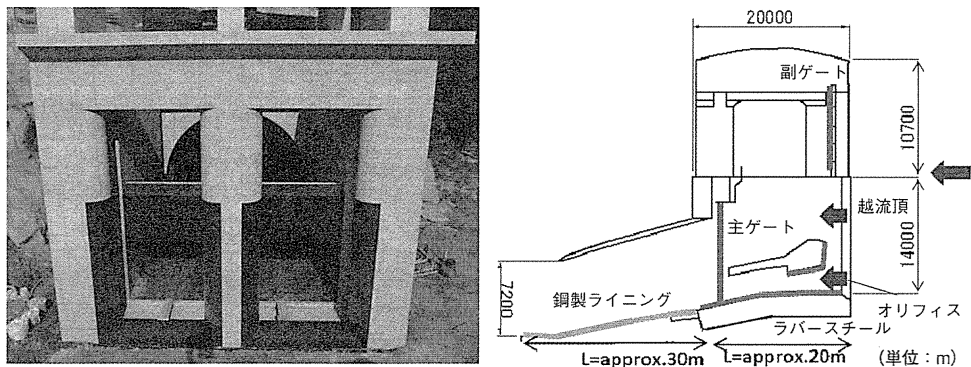
図-4 土砂バイパストンネル施設の概要

表-2 小渋ダム土砂バイパストンネルの概要

完成年	2016	吐口の減勢工	あり
設計最大流速	15.8m/s	対象土砂の粒径	dm : 10mm, d90 : 70mm
トンネル諸元	断面形状	フラットインバート標準馬蹄型 2R=7.95m	
	トンネル延長	3,999m	
	縦断勾配	2.0% (1/50)	
	湾曲部の有無	あり	
流量	設計流量	370m ³ /s	
	設計流量の確率規模	1/6.2年確率規模	
呑口施設の概要	呑口の位置	貯水池の上流端	
	ゲートの有無	あり	
	土砂排出のタイミング	洪水時	



図—5 小渋ダム土砂バイパスの年間の土砂収支計画



図—6 呑口施設の正面外観 (左) と縦断図 (右)

流の流速の大きくなる30m 区間は鋼製ライニングが採用されている (図—6 参照)。

上流側に副ゲート 2 門, 下流側に主ゲート 2 門を配置し, 副ゲートについては前面が堆砂状態であっても可動可能となるよう設計された。

3.2 トンネル部及び減勢工部の概要

トンネル内の底部のインバートコンクリートは, 掃流砂の流下により摩耗損傷が懸念されたため, 目標強度 50N/mm^2 の高強度配合が採用され, 摩耗代16cmを確保して厚さ45cmとされている。

維持管理に配慮して, トンネル上流部の管理用トンネルとトンネル下流端の両方からトンネル内部に車両が入ることができる構造とされている。

トンネルの出口はダム下流約300m に位置している。トンネル出口から流下した水脈を下流の水路で拡散し,

河道へ流入させることで減勢する設計がされている。

3.3 施設の運用方法の概要

2014年時点の土砂バイパス施設の想定運用方法は, 出水時に土砂バイパスからの放流を実施する方法である。具体的には, 図—7に示すハイドログラフのように流入量が $60\text{m}^3/\text{s}$ を超えた場合にバイパスゲートを開き, バイパスからの放流を開始する。その後は, 小渋ダムの洪水調節ルールにおける放流量の範囲内で可能な限りバイパスからの放流を行い, 流入量が $60\text{m}^3/\text{s}$ を下回った時点でバイパスゲートを閉じバイパスからの放流を終了する。この想定運用方法については, 今後の試験放流のモニタリング結果を反映して本運用の方法が検討される予定である。

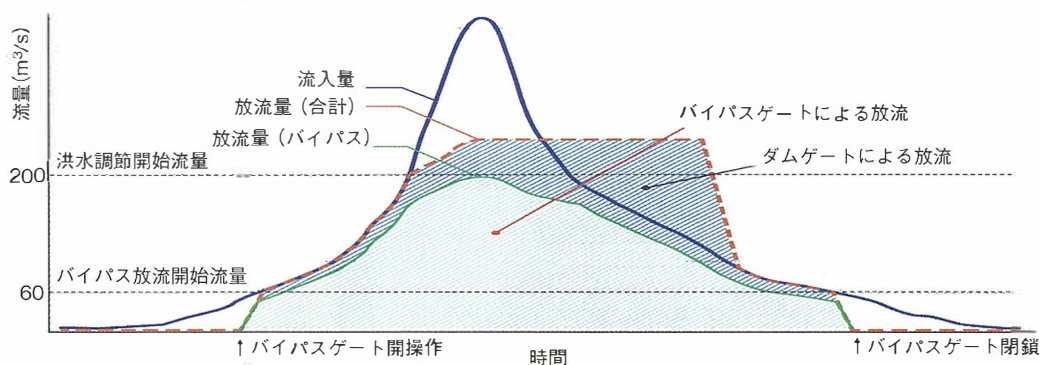


図-7 小決ダム土砂バイパス運用イメージのハイドログラフ

表-3 構造モニタリング方法

目的	測定地点	調査方法	調査時期
分派量検証	バイパストンネル内	水位観測	バイパス放流中
流況確認	流木ハネ バイパスゲート バイパス吐口施設	CCTV 映像	
摩耗・損傷状況確認	流木ハネ バイパス呑口 バイパストンネル バイパス吐口施設	目視、計測	バイパス放流後

4. モニタリング計画

モニタリングの目的は土砂バイパスを使用して、施設状況・環境変化等を確認し、本運用の方法を決定することである。放流設備の検証という視点から「構造」、ダム下流河川へ土砂が流れるという新たなインパクトの発生による影響評価という視点から「環境」、移動土砂量把握と、効果量確認という視点から「土砂収支」の3つの観点から検討が行われている。具体的なモニタリング方法については以降に示す。

4.1 構造モニタリング

土砂バイパス各施設に求められる機能を考慮して分派量の検証、流況の確認、摩耗・損傷状況の確認についてモニタリング計画を策定した。モニタリング方法を表-3に示す。トンネル内の摩耗状況把握については、200m 間隔で塗布したペンキ帯や、車両によるレーザー測量を活用する。

4.2 環境モニタリング

評価対象区間は、ダムから本川（天竜川）合流点までの河道約5kmの区間とした。物理環境として「景観、河床変動、河床材料、水質」、生物環境として「付着藻類、底生動物・魚類、貴重種植物」に着目して、モニタリング計画を策定した。モニタリング方法については表-4のとおりである。

なお、調査時期は、非出水期を基本とし、河床材料や生物についてはバイパス放流後も調査する。藻類については季節変化把握も必要なことから毎月調査を実施する。

4.3 土砂収支モニタリング

土砂バイパスにおける土砂収支を把握するためには、出水中の「ダム流入量」、「バイパス放流量」、「ダム放流量」に含まれる粒径別土砂量を把握する必要がある。

礫については、出水前後のバイパストンネル上下流の河床形状の測量と河床材料調査より把握することを基本とする。測量と調査は、出水期後に実施するが、分派湖と減勢池については、より詳細にデータを取得する必要があるため、バイパスの放流前後に調査することとした。また、日本の土砂バイパストンネルでは初めての試みとして、トンネル出口部の底面に流砂観測装置（プレート型センサ等³⁾）を設置し出水時に計測を行うこととした（図-8参照）。

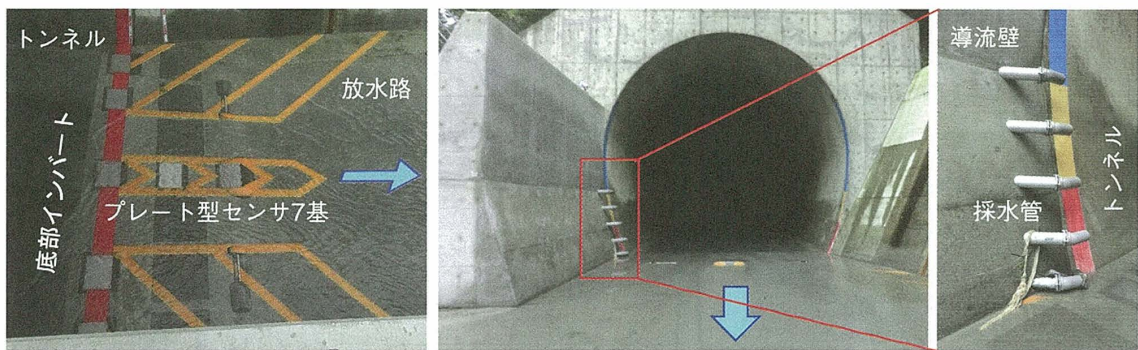
砂については、出水時に移動する全ての量を観測することが困難であるため、採水分析したデータを検証材料として、一次元河床変動計算より土砂移動量を算定する。トンネル出口の採水については、導流壁面に、放流水を水深別に採水するため採水管を設置した（図-8参照）。

シルトについては、トンネル上下流の採水分析によって、土砂濃度と粒度分布を把握し流量データと合わせて土砂移動量を算定する。

モニタリング方法を表-5にまとめて示す。

表一4 環境モニタリング方法

目的	測定地点	調査方法	調査時期（頻度）
景観	小洪ダム下流（天竜川合流点まで）	航空写真	出水期後、バイパス放流量が大きかった場合は追加する
河床変動	小洪ダム下流（天竜川合流点まで200mピッチ）	河川測量 天竜川合流点定点写真	測量：出水期後 定点写真：バイパス運用後1回/月
河床材料	小洪ダム上流（小洪川、鹿塩川） 小洪ダム下流（天竜川合流点まで代表箇所7地点）	サンプリング→室内試験	出水期後、バイパス放流量が大きかった場合は追加する
水質	小洪川（ダム流入地点、放流点） 天竜川（天竜橋、台城橋） 他支川（片桐松川）	濁度、水温観測	小洪川については毎月及び出水中、その他の箇所は出水中のみ（出水中の頻度は1回/時間）
付着藻類	小洪ダム上流（生田堰堤上流） 小洪ダム下流（天竜川合流点まで代表箇所2地点）	サンプリング→室内試験（種構成、細胞数、Chl-a、フェオフィチン、強熱減量）	1回/月
底生動物魚類	小洪ダム上流（生田堰堤上流） 小洪ダム下流（小洪川：代表箇所4地点、天竜川：天竜橋、台城橋）	個体数調査	出水期後、バイパス放流量が大きかった場合は追加する
貴重種（陸生植物）	小洪ダム下流（天竜川合流点まで）	株数調査	



図一8 プレート型センサ（左）と採水管（右）

表一5 土砂収支モニタリング方法

目的	測定地点	調査時期（頻度）	調査方法
SS 粒度分布 浮遊砂密度	流入①（桶谷橋） 流入●（松除橋） ゲート放流（管理橋） ダム放流（簡易索道）	出水中（1回/時間）	表面水採水→室内試験
	バイパス放流（放水路）	出水中（1回/時間）	水深別採水→室内試験
河床変動	小洪ダム上流、天竜川合流点	出水期後、土砂移動があった都度	三次元測量（レーザー、ナローマルチビーム）
	分派湖、減勢池	バイパス使用前後	
河床材料	第3貯砂堰堆砂域（代表箇所2地点）	出水期後、土砂移動があった都度	サンプリング→室内試験
	分派湖（代表箇所6地点） 減勢池（代表箇所2地点）	バイパス使用前後	
	小洪ダム下流（天竜川合流地点まで代表箇所7地点）	出水期後、土砂移動があった都度	
礫移動	バイパス放流（放水路）	出水中	プレート型センサ

5. 試験運用実績とモニタリング結果

土砂バイパストンネル施設の完成後、2016年8月に、土砂通過量の計測手法を検討するために非出水時に最大放流量 $20\text{m}^3/\text{s}$ 程度のバイパス試験放流を実施した。また、2016年の9月の2出水及び2017年7月の1出水にて、出水中のバイパス試験放流を実施した。これまでのバイパスからの最大放流量は、2017年7月4日の約 $100\text{m}^3/\text{s}$ であるが、ここでは、モニタリング結果の整理が終了している2016年の試験放流について報告する。2016年の9月20日～21日の台風による出水中にバイパス最大放流量 $80\text{m}^3/\text{s}$ の放流を行った。また、9月23日の前線による出水中にバイパス最大放流量 $60\text{m}^3/\text{s}$ の放流を行い、3回のゲート開閉操作を行って機能確認を実施した。2回

の出水時の運用データを図-9にバイパストンネルの流入部と放流部の流況を図-10に示す。

5.1 構造モニタリングの結果

土砂が流下している状態で土砂等を噛み込まずにゲートを閉めることが課題の一つと考えられたが、後述の操作方法で、確実に閉鎖することができた。ゲートの全閉操作方法：①副ゲート（上流）の開度を 0.1m 程度にする、②主ゲート（下流）戸溝内の土砂、塵芥をフラッシュする、③主ゲートを閉じる、④副ゲートを閉じる。

呑口周辺のラバースチール、鋼製ライニングに有意な損傷は発生しなかった（図-11参照）。また、トンネル内の摩耗状況を把握するために設置したペンキ帯の底部はすべて剥がれ落ち、コンクリートジョイント周辺の軽

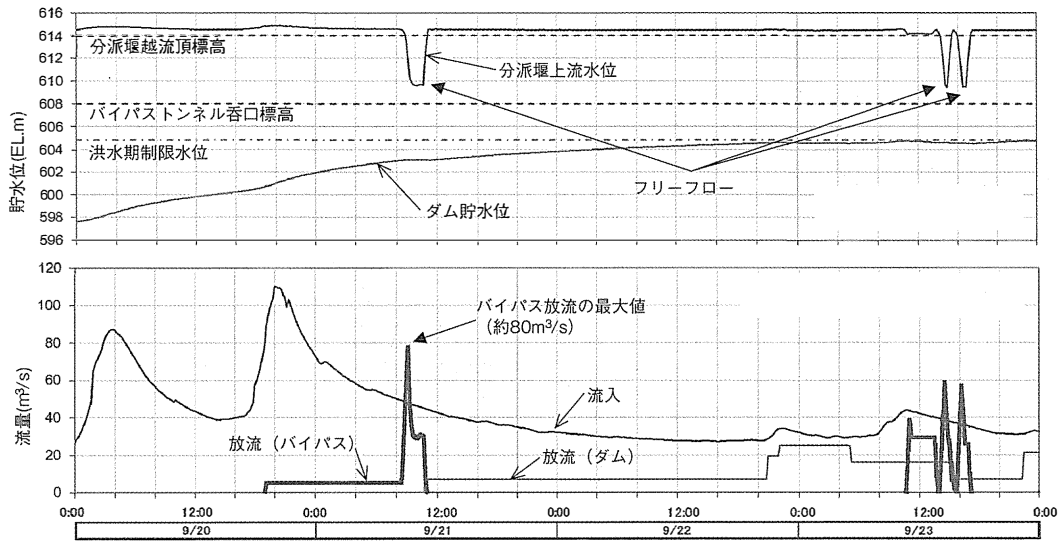


図-9 2016年9月の試験運用のハイドログラフ

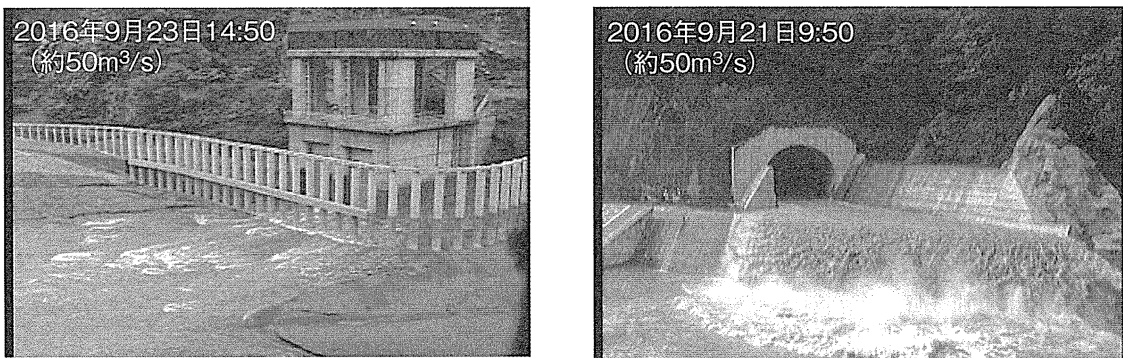


図-10 バイパス呑口（左）と吐口（右）の流況

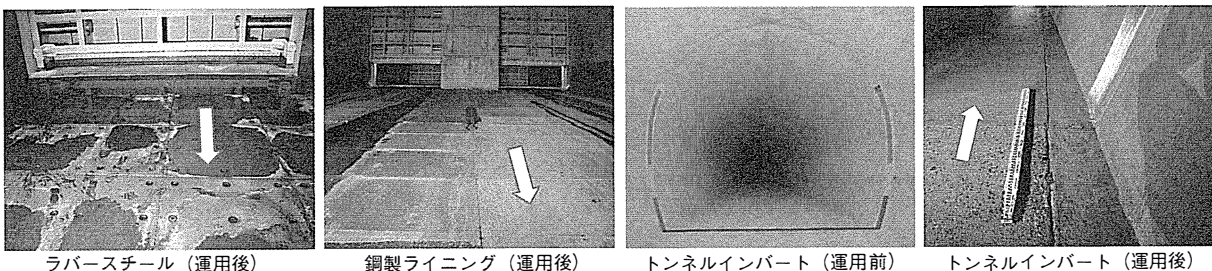


図-11 試験運用後のゲート周辺及びトンネルインバートの表面の状態

微な損傷やコンクリート表面のモルタルの損耗がみとめられたものの、トンネル内全区間にわたり、有意な損傷は発生しなかった（図—11参照）。

5.2 環境モニタリングの結果

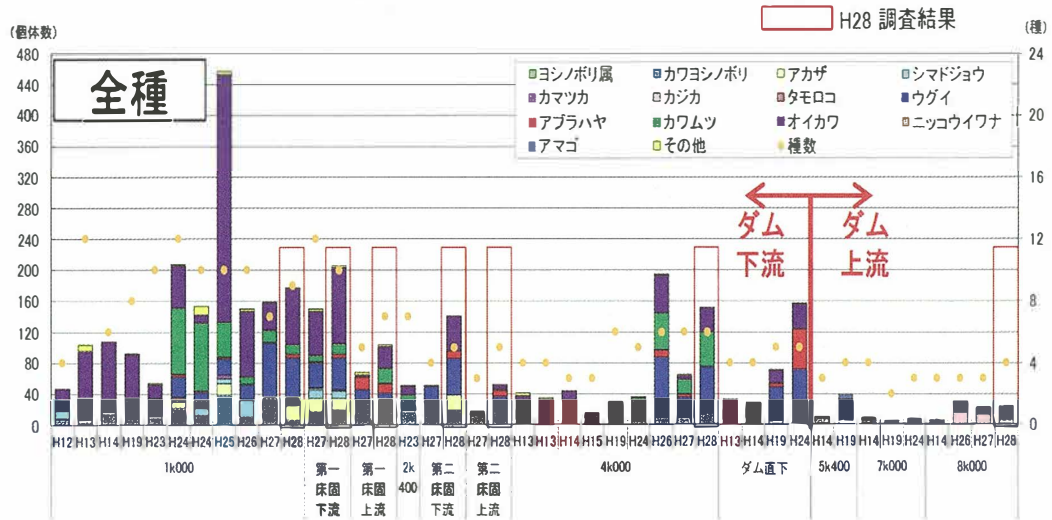
試験運用後に実施したダム下流河川の現地調査では、砂以下の土砂が河床にパッチ状に堆積する箇所が確認できたが、これによる生物環境の調査結果（付着藻類・底生動物・魚類及び陸域植生）では、有意な変化は確認で

きなかった（図—12参照）。

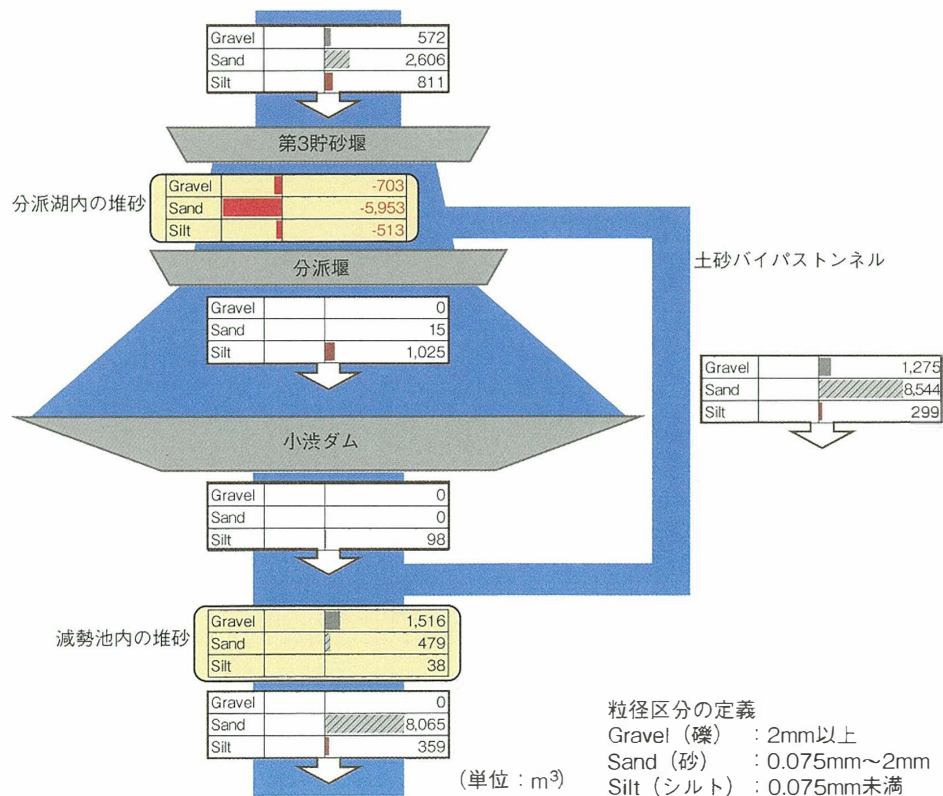
5.3 土砂収支モニタリングの結果

試験運用前後の測量・河床材料調査、試験運用中の採水調査に加え河床変動解析により検討した結果、2016年9月中の2回の試験運用で土砂バイパストンネルを通過した土砂量は約10,000m³と推算された。

土砂の粒径区分毎の収支を図—13に示す。これより、分派湖に堆積していた土砂が侵食されて土砂バイパスに



図—12 試験運用前後の魚類調査結果



図—13 2016年9月の試験運用における土砂収支

参 考 文 献

流下したことにより、流入した量以上の土砂がバイパスされた。また、図一5の計画の年平均の土砂収支と比較すると、出水規模が小さくバイパス運用時間も短かったため、定量的には少量であり、バイパスされた土砂中の礫と砂の割合は大きかった。

試験放流中のプレート型センサでの観測からは、バイパス呑口がフリーフロー（開水路流）になると、10mm程度以上の礫が大量に流下することや、礫がトンネルの湾曲の内側（右岸側）に偏って流下することが確認できた^{4,5)}。

6. 結 論

小洪ダムのバイパストンネルが完成し、数回の試験放流が実施された。バイパス放流の計画上の最大放流量 $370\text{m}^3/\text{s}$ と比較すると $100\text{m}^3/\text{s}$ 程度以下の小規模で比較的短時間の放流であった。

モニタリングの結果、ゲート操作に問題がないこと、顕著な摩耗・損傷がないことが確認され、環境面での有意な変化は確認されなかった。また、概ねの土砂収支や土砂の流下特性を把握することができた。

今後は、引続きモニタリングを実施し、その結果を運用方法の改善に反映することで土砂バイパスの効率的な運用の実現に向けた検討を行っていく予定である。

- 1) TAKEUCHI H., ISHIDA K., HAYASHI M., WAKAHARA C. Monitoring scheme for sediment bypass tunnel at Koshiu Dam. 2nd International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Kyoto Japan, 2017.
- 2) KASHIWAI J., KIMURA S. Hydraulic examination of Koshiu dam's intake facilities for sediment bypass. Proc. First International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, VAW-Mitteilungen 232, Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW), ETH Zurich Switzerland, 45-54, 2015.
- 3) SAKURAI T., NAKANISHI S., SUMI T., KOSHIBA T., MIYAWAKI C., ISHIGAMIT. Bedload monitoring with impact plates at Koshiu sediment bypass tunnel. 2nd International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Kyoto Japan, 2017.
- 4) KOSHIBA, T., SUMI, T. Experimental study on measurement method of gravel discharge rate in highspeed flow using plate-type sensor. 2nd International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Kyoto Japan, 2017.
- 5) KOSHIBA, T., KANTOUSH, S.A., SUMI, T. Field experiment of bedload transport rate measurement at sediment bypass tunnel. 85th Annual Meeting of ICOLD, Prague, Czech Republic, 2017.