

## 高橋川落差処理立坑の水理機能に関する検証実験

神田 佳一\* 森田 梓\*\*

Model Experiments of Hydraulic Characteristics of a Head Drop  
Utilizing Vertical Shaft on the Takahashi River

Keiichi KANDA, Azusa MORITA

### ABSTRACT

The Takahashi River is a 2.4 km long class-B river flowing from Morikita-cho, Higashinada-ward, Kobe City to Fukae beach. This river has undergone flooding several times in the past, and countermeasures have been undertaken. At present, because residential areas are built densely along the river; simple expansion of the river would adversely and substantially impact many inhabitants. Therefore, a newly built underground discharge channel having a stepwise vertical shaft as the inflow port is planned, with the flow rate to be shared with the Yohgenji River to improve the degree of safety for flood control of the Takahashi River. The present study is a funded research project sponsored by the consortium "Takahashi River Shield JV Work Office." It is intended to elucidate hydraulic characteristics of the proposed discharge channel facility of the Takahashi River. Experiments will investigate its disaster prevention functions and each part of the planned stepwise vertical shaft.

**KEY WORDS:** urban river, head drop utilizing vertical shaft, underground discharge channel

### 1. はじめに

高橋川は、神戸市東灘区森北町から深江浜へ流れる全長 2.4km の二級河川であり、過去に幾度か溢水しておりその対策が進められている。高橋川の現川は、隣接して住宅が張り付いており、現川を拡張する方法では多くの住民に影響を与えてしまうため、落差約 14m の階段式立坑を流入口とする地下放水路（暗渠のバイパス河川）を新たに建設することにより、高橋川の計画流量  $22\text{m}^3/\text{s}$  のうち放水路に  $16\text{m}^3/\text{s}$  を分担させ、高橋川の治水安全度の向上を図ることとなった（図-1）。このため、平成 11 年度より放水路施設に関する水理模型実験が実施され、疎

通能力や上流分流工への影響を考慮した各部の水理諸元が選定された。その後、放水路計画の見直しが行われ、流量配分計画の変更にもなって放水路のトンネル径が  $\phi=3.1\text{m}$  から  $\phi=2.4\text{m}$  に変更されることとなった（図-1）。放水路トンネル径が約  $3/4$  に減少することにより、立坑からトンネルへ流入する際の損失水頭が増大する可能性がある。この場合、立坑及び導流水路の水位上昇につながり、その影響が分流工にまで及ぶと分流特性を損なわれて所定の流量配分が満足されなくなることが懸念される。

本報は、共同企業体「高橋川シールド」JV 工事事務所からの受託研究として、提案された高橋川の放水路施設及び階段式立坑部各部の水理特性を把握するとともに、その防災機能について実験的に検討したものである。

\*都市システム工学科

\*\*専攻科学生（建築・都市システム工学専攻）

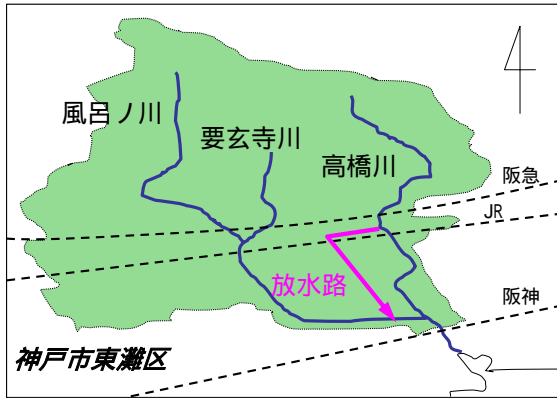


図-1 高橋川と要玄寺川

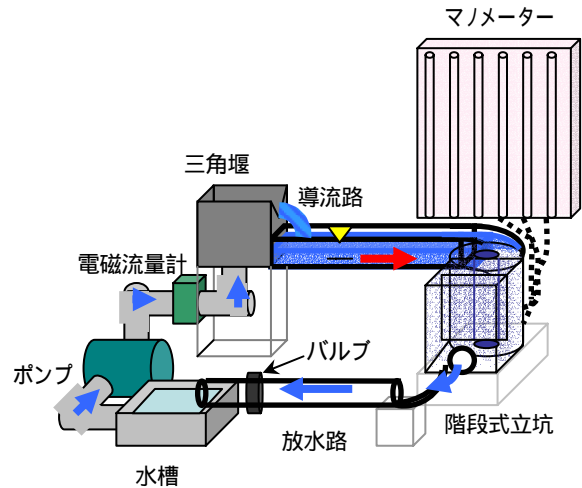


図-2 実験装置概略図

## 2. 実験の概要

### 2-1 検討内容

高橋川放水路計画の概要は以下のようである。

放水路計画量  $Q_p=16.0\text{m}^3/\text{s}$

超過洪水流量  $Q_s=20.8\text{m}^3/\text{s}$  ( $1.3 Q_p$ )

放水路内径  $\phi=2.4\text{m}$  ( $\phi=3.1\text{m}$  から計画変更)

導流水路幅  $B=2.25\text{m}$

計画粗度  $n=0.015$

立坑出口の計画水位(湛水位)  $H_p=8.96\text{m T.P.}$

本実験では、放水路が当初計画の  $\phi=3.1\text{m}$  から  $\phi=2.4\text{m}$  に変更されることにより、導流水路から立坑内及び放水路流入部における流況がどのように影響を受けるかを評価し、分流工の流量配分に影響を及ぼすようであれば排気管の設置等の必要な改善対策について検討を行う。

### 2-2 実験装置

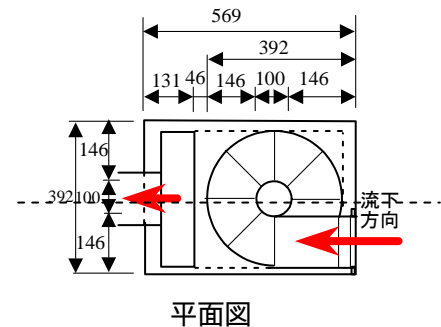
実験装置は、図-2 及び写真-1 に示すように、低水槽(貯水槽)、給水ポンプ、高水槽、導流水路、立坑模型及び放水路模型から構成される。導流水路、立坑模型及び放水路は透明アクリル製(一部塩化ビニール製)であって、鋼鉄製の架台上に設置されている。模型幾何縮尺は、いずれも  $S_L=1/15.3$  とした。

導流水路は、内幅  $0.146\text{m}$ 、高さ  $0.175\text{m}$  の矩形断面水路であって、 $2.0\text{m}$  の直線部と水路中心線上の半径  $64.5\text{cm}$ 、中心角  $\pi/2$  の曲線部からなる。水路勾配は  $I=1/28.5$  とし、分流後の水路部のみを模擬したものである。

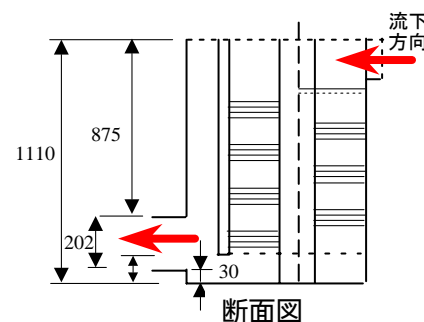
立坑模型は、直径  $0.1\text{m}$  及び  $0.392\text{m}$  の同心円筒の間に中心角  $\pi/4$ 、1 ステップの高さ  $0.039\text{m}$  の階段



写真-1 実験装置全景



平面図



断面図

図-3 階段式立坑模型

工を螺旋状に 23 段配したものである (図-3)。立抗の前高は 1.110m、立抗底面から導流水路河床までの高さは 0.927m である。円筒立抗の外壁には、各ステップの中央部に圧力測定用のマンメータを取り付け、立抗の下流には幅 0.392m、奥行き 0.131m の整流槽を設けている。

整流槽の出口には、当初計画及び変更後の放水路径 ( $\phi=3.1\text{m}$  及び  $\phi=2.4\text{m}$ ) に対応した 2 種の円管 (内径  $D=0.202\text{m}$  及び  $D=0.157\text{m}$ ) を接続できる構造とした。このとき、管の底面の高さを一致させ、管の勾配はいずれの場合も水平としている。立抗整流槽から流出した水は、0.27m の直線部、半径 0.3m の曲線部 (中心角  $\pi/2$ ) 及び 3.1m の直線部からなる流出管を通して低水槽に帰還する。放水路の下流端には、合流先の要玄寺川の洪水時水位 (整流槽の水位  $H_p=0.62\text{m}$  に対応) を模擬するために水位調節用のバルブを設置している。

### 2・3 実験条件及び実験方法

実験条件としては、放水路径、流量及び整流槽の水位を表-1 のように設定した。ただし、模型の幾何縮尺は 1/15.3 であり、力学的相似律としてフルードの相似則を用いている。

表-1 設定条件

	実験	実河川
放水路径 D	0.202m	3.1m
	0.157m	2.4m
流量 Q	17.6ℓ/s	16.0m <sup>3</sup> /s (計画流量)
	22.1ℓ/s	20.8m <sup>3</sup> /s (超過洪水流量)
下流端条件 (整流槽の 水位 H)	バルブ全開	自由流出
	$H_p=0.62\text{m}$	8.96mT.P. (湛水位)
マンニングの 粗度係数	0.01	0.0157

表-2 に示すように、上記の設定条件を組み合わせた 6 ケースについて実験を行った。ただし、マンニングの粗度係数はいずれも  $n=0.01$  である。

表-2 各実験条件

実験番号	放水路径 D	流量 Q	下流端条件
Run1	0.157m	17.6ℓ/s	バルブ全開
Run2	0.157m	17.6ℓ/s	$H_p=0.62\text{m}$
Run3	0.157m	22.1ℓ/s	バルブ全開
Run4	0.157m	22.1ℓ/s	$H_p=0.62\text{m}$
Run5	0.202m	17.6ℓ/s	バルブ全開
Run6	0.202m	22.1ℓ/s	バルブ全開

諸量の測定方法は以下の通りである。流量は電磁流量計を用いてモニターし、バルブの開閉によって所定の流量になるように設定した。導流水路部の水深は、左右の側壁に沿って 5cm 間隔で鋼尺を用いて測定した。立抗内の流況については、2 台のデジタルビデオカメラ及びデジタルカメラにより連続的に記録するとともに、立抗外壁上に設置した 25 本のマンメータによって立抗内の圧力分布を測定している。

### 3. 結果及び考察

#### 3・1 放水路径の縮小に伴う流況の変化

##### (1) 計画流量時

図-4 は、計画流量時 ( $Q=17.6\ell/s$ ) の導流水路側面上の水面形分布について、放水路径が  $D=0.202\text{m}$  (Run1) の場合と  $D=0.157\text{m}$  (Run5) の場合で比較したものである。いずれも放水路の下流端は、バルブを全開にした自由流出条件である。急勾配で流れが速く、上流部に整流装置を設置していないため、水面の時間的な変動が大きくなったが、図中の水深  $h$  は時間的な平均値を表している。距離軸は、直線部と曲線部の境界を原点として、直線部は上流方向に X 軸をとり、曲線部は曲線中心からの角度  $\theta$  を用いている。

計画流量時の限界水深は  $h_c=0.114\text{m}$  であって、導流水路内での流れは、Run1 及び Run5 のいずれの場合も  $h < h_c$  となる射流であり、水面形状は上流部の境界条件によって支配される。曲線部では、左右岸の水位差が最大で 0.15m ( $\theta=\pi/4$  付近) 程度あり、横断勾配が大きくなっている。立抗への流入口においても、水深は Run1 と Run5 でほぼ等しく、放水路径の縮小に伴う導流水路内の流れへの影響はないものと考えられる。

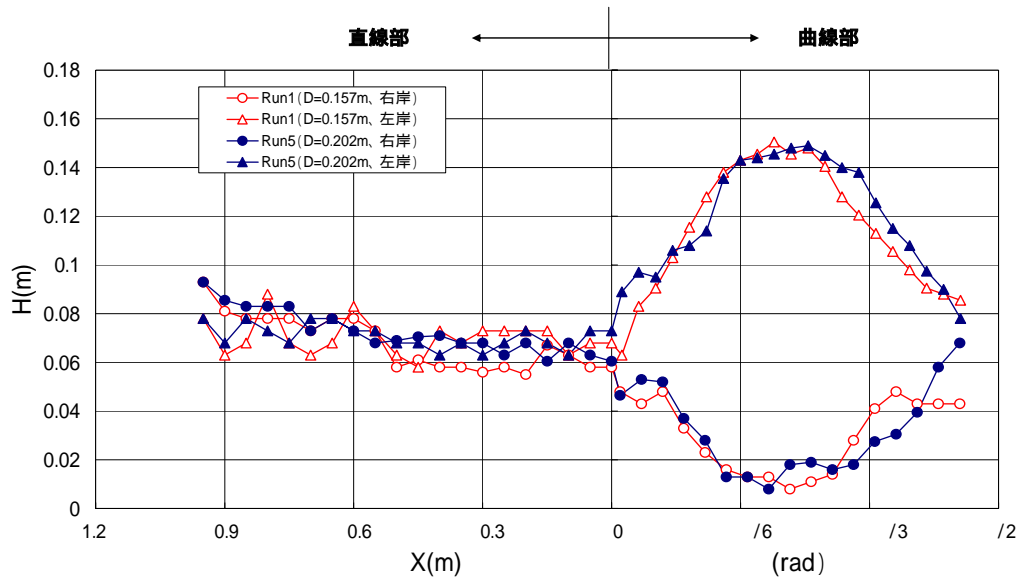


図-4 計画流量時 ( $Q=17.6\text{ l/s}$ ) の導流水路上の水面形分布



写真-2 Run1 の流況



写真-3 Run5 の流況

同様に、立抗内の流況を比較したものを写真-2及び3に示す。放水路の流入口においては、Run5では自由水面を有する開水路流れとなっているのに対して、管径の小さいRun1では断面が水で満たされた管路流れの状態になっているが、整流槽の水位はほぼ等しい。立抗部では流入した際に多くの空気が混入しており、坑内の上部は白濁していた。水面形状は、Run1及びRun5のいずれの場合も螺旋階段の形状に対応したステップ上の水位変化を示しており、管径の変化による影響は小さいと考えられる。

(2) 超過洪水流量時

超過洪水流量時 (Run3及びRun6) について、導流水路上の水面形分布を図-5に、立抗内の流況写真を写真-4及び写真-5に示す。導流水路及び立抗内の水深は、計画流量時に比べて直線部及び曲線部外岸側で0.2m程度増加しているが、放水経路の違いによる流況の変化は認められず、放水経路の縮小による流れへの影響は整流層及び立抗底部に留まっており、立抗上部や導流水路には及んでいない。従って、排気管の必要性は認められない。

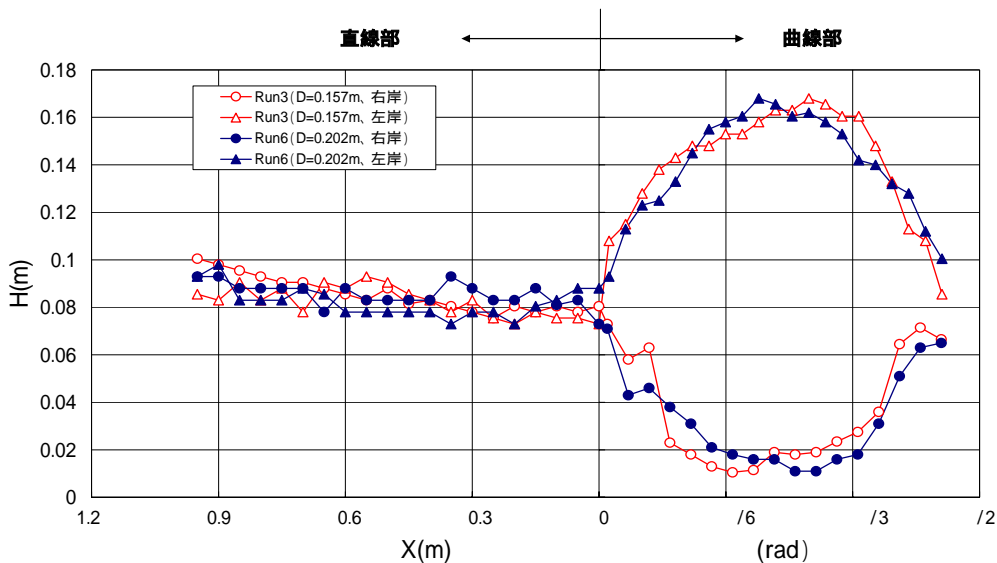


図-5 超過洪水流量時 (Q=20.2ℓ/s) の導流水路上の水面形分布



写真-4 Run3 の流況



写真-5 Run6 の流況

### 3・2 下流水位による流況の変化

ここでは、放水路径を原設計案 (D=0.157m) とした場合の下流水位条件による立抗内の流況変化について考察する。図-6 は、計画流量時の Run2 (Q=17.6ℓ/s、Hp=0.62m) における立抗外周のピエゾメーター水位を Run1 の場合 (Q=17.6ℓ/s、バルブ全開) と比較したものである。同様に、超過洪水流量時の Run4 (Q=20.2ℓ/s、Hp=0.62m) における立抗外周のピエゾメーター水位を Run3 の場合 (Q=20.2ℓ/s、バルブ全開) と比較したものを図-7

に示す。

放水路下流端バルブを全開にした自由流出の場合に比較して、湛水位 (Hp=0.62m) を与えた場合の立抗内の圧力は、計画流量時では 3 周目、超過洪水流量時では 2 周目のステップの位置までの区間で整流層の水位に対応して増加している。しかし、それらの上段の立抗部や導流水路内での流況の変化は認められず、超過洪水流量湛水時においても流況は安定しており、原設計案は所定の流量を流しうる構造であるといえる。

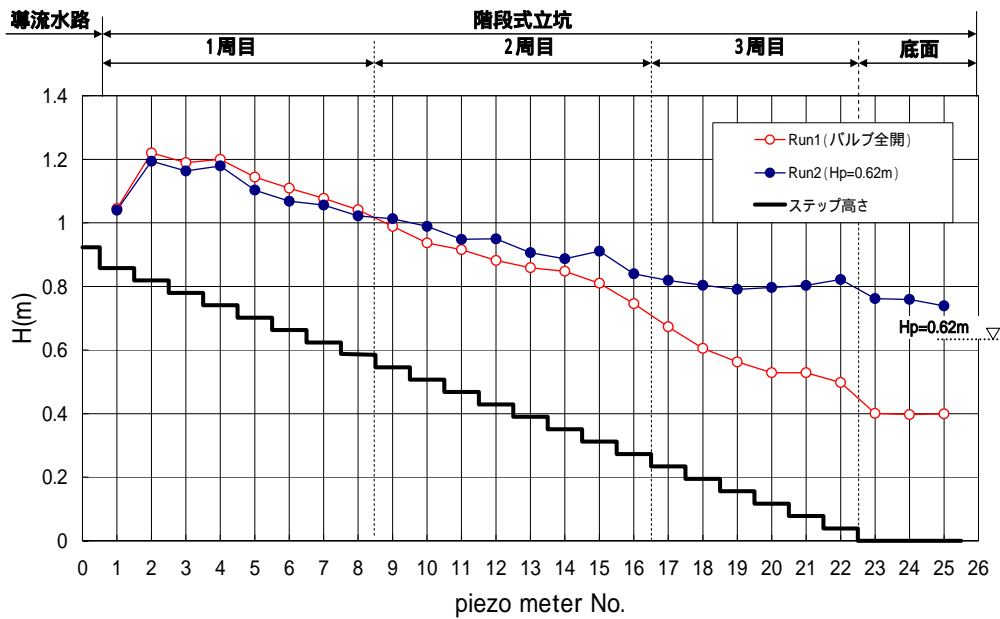


図-6 計画流量時 (Q=17.6l/s) の立抗外周の圧力分布

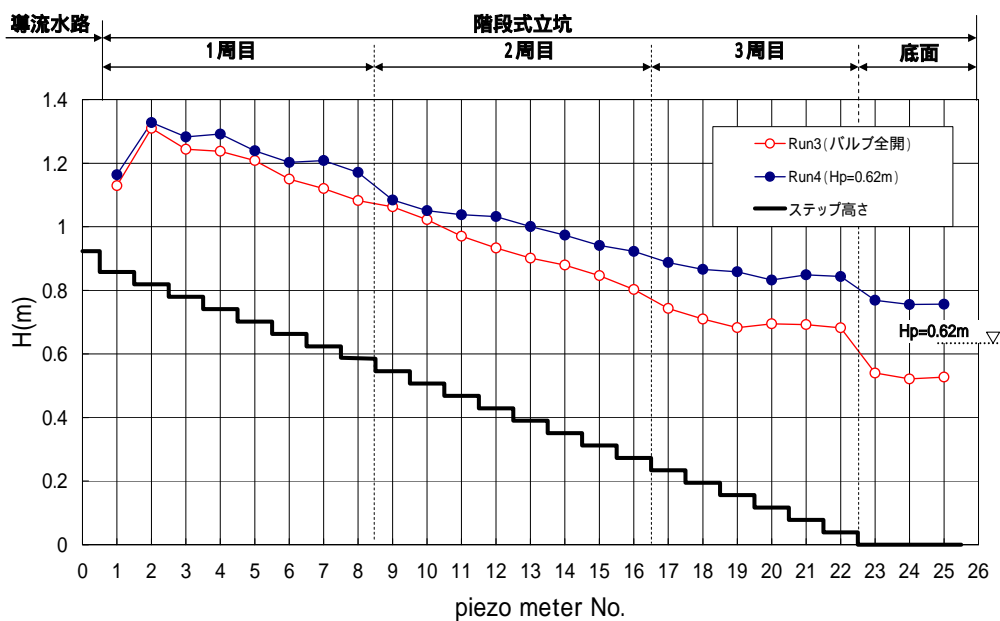


図-7 超過洪水流量時 (Q=20.2l/s) の立抗外周の圧力分布

#### 4. おわりに

本研究では、高橋川放水路計画において、放水路径が変更（縮小）されたことによる分流後の導水路や落差処理立抗内の流況に及ぼす影響を実験的に評価し、合理的な構造物の検討を行った。

計画流量時、超過洪水流量時ともに、放水路径の縮小に伴う流況への影響は整流槽及び立抗底部に留まっており、立抗上部や導水路には及んでいない。

原設計案において、超過洪水流量時に整流槽に湛水位を与えた場合でも、水位上昇による影響は立抗内の2周目のステップ上まで及んでいるが、導水路や分流部に影響が及ぶことはないものと考えられる。

以上より、原設計案における立抗は、洪水流量を安全に流下させることのできる構造であるといえる。