

# 足羽川ダム水理模型実験中間報告について

田中 幹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 足羽川ダム工事事務所 工務課 (〒918-8239福井県福井市成和1-2111)

足羽川ダムは、足羽川、日野川及び九頭竜川の下流区域における洪水被害の軽減を目的として建設が進められている洪水調節専用の流水型ダムである。足羽川ダム本体及び水海川分水施設において、机上の施設設計では確認が困難である流況等の水理特性について、ダム本体の模型及び分水施設（呑口・吐口）の模型を製作した上で、水理模型実験を実施し、確認を行った。本稿は、その実験結果の一部を中間報告するものである。

キーワード 流水型ダム、水理模型実験、フルードの相似則

## 1. はじめに

足羽川ダムは、九頭竜川水系足羽川の支川部子川（福井県今立郡池田町小畑地先）に建設中の高さ96m、総貯水量28,700千 $m^3$ 、有効貯水容量（洪水調節容量）28,200千 $m^3$ の重力式コンクリートダムである（図-1及び図-2）。



図-1 足羽川ダム位置図

足羽川ダム建設事業では、重力式コンクリートダムと併せて、図-3に示す他流域の4河川（水海川、足羽川、割谷川、及び赤谷川）の洪水を導水するための導水施設（堰・導水トンネル）を整備するものである。このうち、足羽川ダム本体+水海川導水を河川整備計画期間内に整備する第I期事業と位置付けている。

しかしながら、ダムのような大規模構造物は、机上の施設設計では、実際の水理特性を把握する事は困難である。そのため、ダム本体及び水海川分水施設（呑口・吐口）について、水理模型を製作した上で、水理模型実験を実施し、水理特性の確認を行った。

足羽川ダムの諸元を表-1に示す。

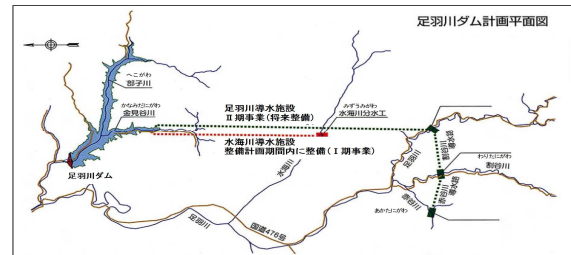


図-3 足羽川ダム計画平面図

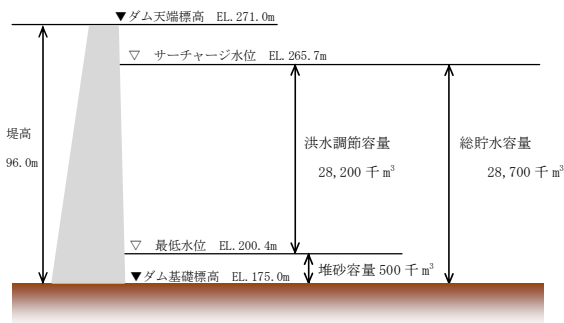


図-2 足羽川貯水池容量配分図

表-1 足羽川ダム諸元

項目		諸元
ダム	堤高	96.00m
	堤頂長	460m
	堤堆積	710,000 $m^3$
貯水池	流域面積(直接)	34.2 $km^2$
	流域面積(間接)	71.0 $km^3$
	湛水面積	0.94 $km^4$

## 2. ダム本体水理模型実験

### (1) 実験施設

実験は、国立研究開発法人土木研究所水理実験施設内で実施した。ダム本体の全体模型には、給水管、直上流部に給水槽、河道及び排水路を設置することとした。また、模型は形状の検討をする際に改造がしやすい構造とし、実験の実施に必要な階段、計測台、帰還水路等の付属施設についても配慮した。模型の改造・据付精度は±1mm以内とし、実験中もこれを維持するものとした。

水理模型の縮尺はフルードの相似則を考慮し、ダム本体の全体模型を1/62.5とし、詳細な検討を必要とする常用洪水吐き及び河床部放流設備は、抽出模型としてそれぞれ1/20及び1/31.25とした。

なお、本稿に記載されている数字は設計及び実験中のものであり、確定値ではない。

### (2) 足羽川ダム本体設計原案の諸元

足羽川ダム本体は流水型ダムであるため、河床標高付近に高圧一面ベルマウス式放流管を1条設置しているのが特徴であり、非常用洪水吐きは左右対称に各5門（13.0m×10門）を配置している。基本的には、左右対称に洪水吐きを配置するという方針の元に設計された形状である。

足羽川ダム設計原案の諸元を表-2に示す。

また、足羽川ダム堤体標準断面図（原案）を図-4に、製作した足羽川ダム本体の全体模型を図-5に示す。

表-2 足羽川ダム諸元（原案）

項目		諸元
ダム	設計洪水水位	EL.268.7m
	サーチャージ水位	EL.265.7m
	最低水位	EL.298.5m
非常用洪水吐き	天端標高	EL.265.7m
	越流幅	B=13.0m
	越流水深	H=3.0m
	自由越流	10門
常用洪水吐き	敷高標高	EL.187.0m
	高圧一面ベルマウス式放流管	B:2.4m×H:2.4m×1条
河床部放流設備	敷高標高	EL.181.0m
	高圧一面ベルマウス式放流管	B:4.0m×H:3.0m×1条
減勢工	水叩き長	L=35.0m
	減勢幅	B=20.0m
	副ダム高	h=4.5m

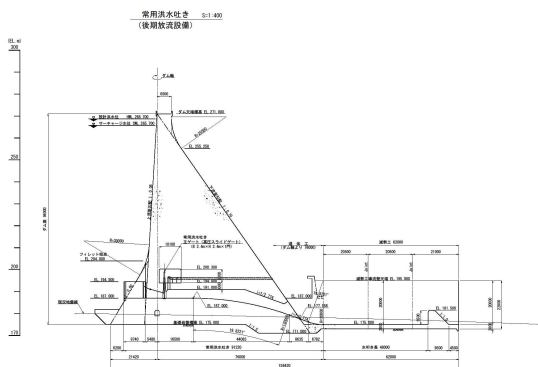


図-4 足羽川ダム本体横断面図（原案）

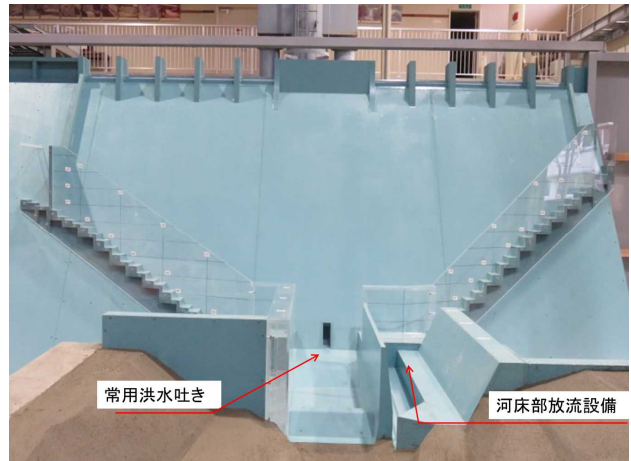


図-5 足羽川ダム本体模型（全体模型）

### (3) 実験内容

本実験の目的は、足羽川ダム本体の水理特性を把握することである。そのため、設計原案の形状に水理設計上必要な水量を流して、各設備の水理特性の把握を行った。

実験を実施した各模型の諸量の縮率を表-3に示す。

表-3 諸量の縮率

足羽川ダム本体模型（模型縮尺 1/62.5）の場合

諸量	次元	縮率		原型値	模型値
水深	L	1/n	1/62.5	10m	0.16m
流量	L <sup>3</sup> /t	1/n <sup>2.5</sup>	1/30,881	1,400m <sup>3</sup> /s	0.0453m <sup>3</sup> /s
流速	L/T	1/n <sup>1/2</sup>	1/7.906	10m/s	1.26m/s

常用洪水吐き模型（模型縮尺 1/20）の場合

諸量	次元	縮率		原型値	模型値
水深	L	1/n	1/20	10m	0.5m
流量	L <sup>3</sup> /t	1/n <sup>2.5</sup>	1/1,788.85	180m <sup>3</sup> /s	0.1006m <sup>3</sup> /s
流速	L/T	1/n <sup>1/2</sup>	1/4.472	10m/s	2.24m/s

河床部放流設備模型（模型縮尺 1/31.25）の場合

諸量	次元	縮率		原型値	模型値
水深	L	1/n	1/31.25	10m	0.32m
流量	L <sup>3</sup> /t	1/n <sup>2.5</sup>	1/5,459.15	180m <sup>3</sup> /s	0.0330m <sup>3</sup> /s
流速	L/T	1/n <sup>1/2</sup>	1/5.590	10m/s	1.79m/s

(4)非常用洪水吐き

非常用洪水吐きはダムの計画を超えるような洪水が発生した際に、放流を行う洪水吐きである。足羽川ダムでは自由越流方式を採用している。ここでは、非常用洪水吐きの放流能力について紹介する(図-6)。

実験の結果、設計洪水水位での放流量は1,454 m<sup>3</sup>/sで放流できることを確認した。



図-6 非常用洪水吐きでの放流能力確認状況

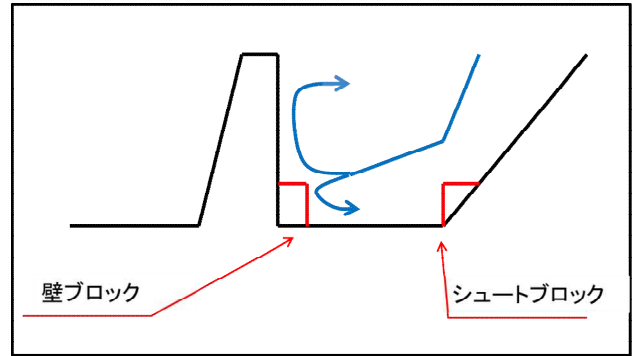


図-8 ブロックイメージ図



図-9 右岸堤趾導流部の流況(ブロック有り)

(5)堤趾導流部

堤趾導流部では、設計洪水水位での越流部流下時の水面形を計測し、堤趾導流壁高の検討を行った。原案では壁沿いの水位は導流壁高10mに対し、最大30mとなっており、導流壁沿いの水位の低減が必要であった(図-7)。また、減勢工の流入部では、ステップ形状の影響を受けて水面が大きく上昇していた。そこで、シュートブロックと壁ブロックを組み合わせた改良案とすることで、最大30mあった水位を低減させることができた。(図-8及び図-9)。今後は水理模型実験を通じてさらなる改良案としてデフレクターの規模等詳細の検討を行っていく予定である(図-10及び図-11)。

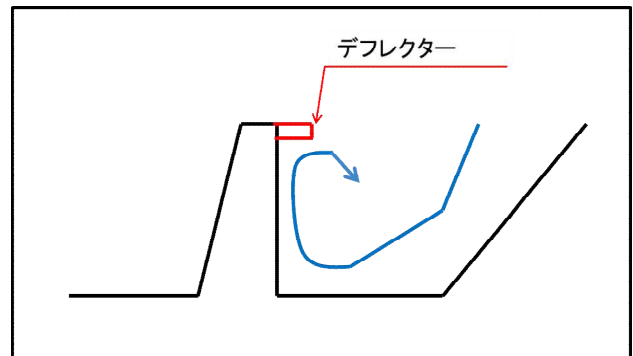


図-10 今後のデフレクター検討イメージ図

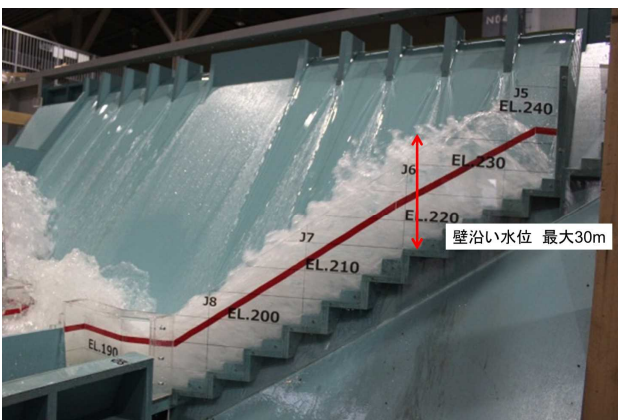


図-7 左岸堤趾導流部の流況(ブロック無し)



図-11 デフレクターの検討状況

(6)減勢工部

減勢工は、計画最大放流量放流時に安定した流況が得られる規模とし、ダム設計洪水流量放流時には、ダム堤体の安全性を損なわないことを基本に水理設計を行う構造物である。ここでは、減勢工部の流況を紹介する。

非常用洪水吐きから1,400 m<sup>3</sup>/sに相当する水を放流した場合は、減勢工内の流況は十分減勢されているものの、減勢工始端の水位上昇が顕著である（図-12及び図-13）。今後、水理模型実験を通じて壁高等の検討を実施していく予定である。一方、常用洪水吐き単独で180 m<sup>3</sup>/sに相当する水を放流した実験の結果、水脈の偏りや回転流が生じることはなく、問題ないことを確認した（図-14及び図-15）。



図-12 減勢工部の流況(1,400m<sup>3</sup>/s放流) 上から



図-13 減勢工部の流況(1,400m<sup>3</sup>/s放流) 横から



図-14 減勢工部の流況(180m<sup>3</sup>/s放流) 上から



図-15 減勢工部の流況(180m<sup>3</sup>/s放流) 横から

(6)常用洪水吐き及び河床部放流設備

足羽川ダム本体に設置される常用洪水吐きと河床部放流設備は、ダム本体の全体模型の縮率である1/62.5で模型を製作した場合、模型の寸法が常用洪水吐きは3.84cm×3.84cm、河床部放流設備は6.40cm×4.80cmと規模が小さくなり模型縮尺の影響を大きく受け、十分な水理検討ができない。そのため、常用洪水吐き、河床部放流設備については、抽出模型を製作し、実験を行った。抽出模型は常用洪水吐きの模型の縮率を1/20、河床部放流設備+常用洪水吐きの模型の縮率を1/31.25とした。

実験の結果、常用洪水吐き（図-16）にはコンクリート破損の原因となる負圧が発生することなく、開口幅を調整すれば、180 m<sup>3</sup>/sの放流が可能となること、河床部放流設備（図-17）についても、開口高を5mとすれば、開水路にて180 m<sup>3</sup>/sの放流能力が期待できる事を確認した。



図-16 常用洪水吐き (1/20模型) の流況

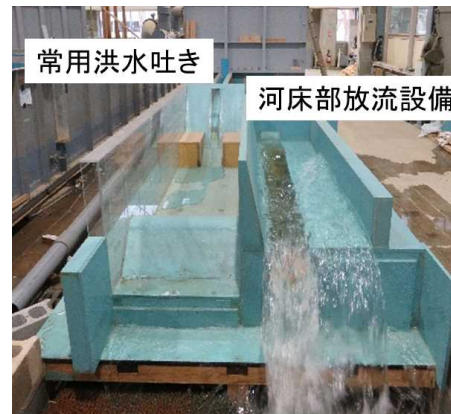


図-17 河床部放流設備 (1/31.25模型) の流況

### 3. 水海川分水施設水理模型実験の概要

#### (1) 実験施設

実験は、国立研究開発法人土木研究所水理実験施設内及び別棟で実施した。水理模型の縮尺はフルードの相似則を考慮し、水海川分水施設については、1/31.25とし、水海川導水トンネル吐口部については1/62.5とした。

なお、本稿に記載されている数字は設計及び実験中のものであり、確定値ではない。

#### (2) 水海川分水施設原案の諸元

分水施設は洪水時、足羽川ダムへ洪水を導水するため福井県今立郡池田町水海に建設が予定されている施設である。主に水海川導水トンネル、水海川分水堰、水海川貯砂ダムから構成される。

分水施設の諸元（原案）を表-4に示す。

また、水海川分水施設模型の模型全体図面を図-18に、水海川分水施設の模型を図-19に、水海川導水トンネル吐口部の模型を図-20に示す。

表-4 分水施設諸元（原案）

項目		諸元
水海川分水堰	堰高	H=17.9m
	堰長	B=97m
	自由越流幅	B <sub>f</sub> =26.0m
	ゲート付き越流幅	B <sub>g</sub> =26.1m
	常用水路ゲート	H4.5m×B9.0m×1門
水海川貯砂ダム	貯砂ダム高	H=23.9m
	堤長	B=88.0m
	越流幅	B <sub>f</sub> =40.0m
	天端標高	EL.322.9m
水海川導水トンネル	トンネル勾配	1/170
	トンネル径	8.50m
	インバート径	6.5m
	緊急遮断ゲート	H10.0m×B5.8m×1門
	計画最大放流量	164m <sup>3</sup> /s

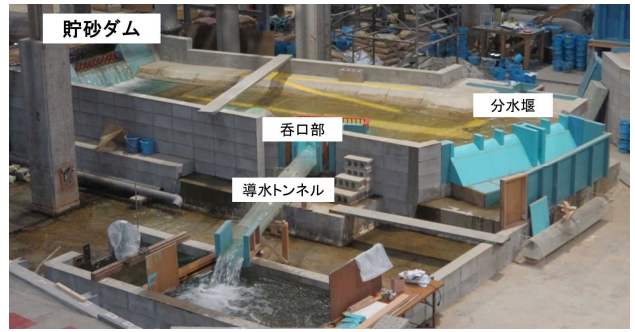


図-19 水海川分水施設模型

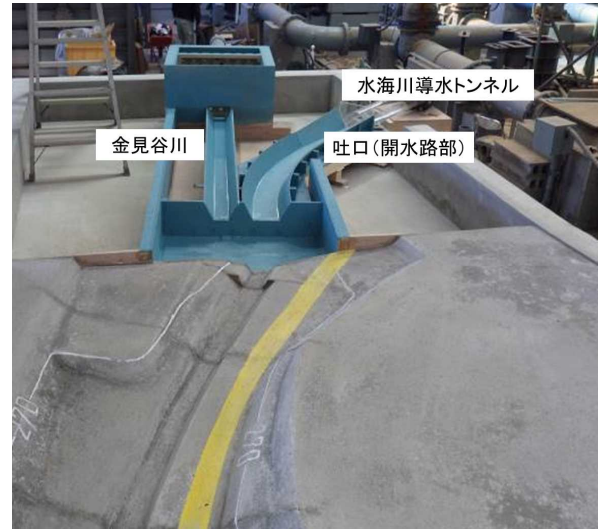


図-20 水海川導水トンネル吐口部

#### (3) 実験内容

本実験の目的は、水海川分水施設の一部である水海川導水トンネルの水理特性を把握すること等である。水海川導水トンネルは足羽川ダムへ流水を導水する施設であり、呑口部、トンネル部、吐口部より構成される。水海川導水トンネルへの流入条件として、サーチャージ水位（306.0m）で164 m<sup>3</sup>/sを放流することとするとしている。そのため、設計原案の形状に水理設計上必要な水量を流し、各設備の水理特性の把握を行った。

実験を実施した各模型の諸量の縮率を表-5に示す。

表-5 諸量の縮率

水海川分水施設模型（模型縮尺 1/31.25）の場合

緒量	次元	縮率		原型値	模型値
水深	L	1/n	1/31.25	10m	0.32m
流量	L <sup>3</sup> /t	1/n <sup>2.5</sup>	1/5,459.15	582m <sup>3</sup> /s	0.107m <sup>3</sup> /s
流速	L/T	1/n <sup>1/2</sup>	1/5.590	10m/s	1.79m/s

水海川導水トンネル吐口部模型（模型縮尺 1/62.5）の場合

緒量	次元	縮率		原型値	模型値
水深	L	1/n	1/62.5	10m	0.16m
流量	L <sup>3</sup> /t	1/n <sup>2.5</sup>	1/30,881	164m <sup>3</sup> /s	0.0053m <sup>3</sup> /s
流速	L/T	1/n <sup>1/2</sup>	1/7.906	10m/s	1.26m/s

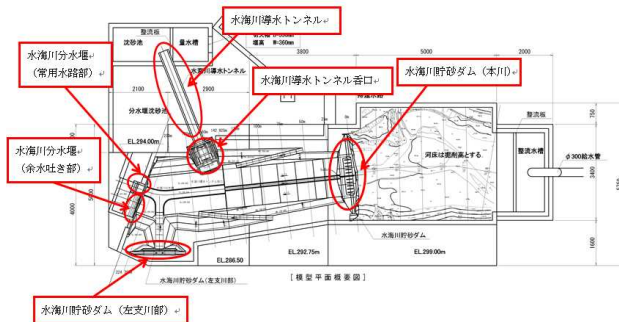


図-18 水海川分水施設模型図面（原案）

#### (4) 水海川導水トンネル呑口部

ここでは、呑口部を対象とした放流能力の検討について紹介する(図-21, 図-22)。

原案形状では、サーチャージ水位で、設計条件とした164 m<sup>3</sup>/sの放流に対して146 m<sup>3</sup>/sの導水と10%程度不足していた。これは、流木及び土砂の流入防止を目的とした構造物が支配断面になっていたためである。そのため、流木止め基礎を下流へ10m延長した結果、水位EL306.0mで164 m<sup>3</sup>/s流入がある場合には、導水トンネルに164 m<sup>3</sup>/sが導水できることを確認した。



図-21 導水トンネル呑口部

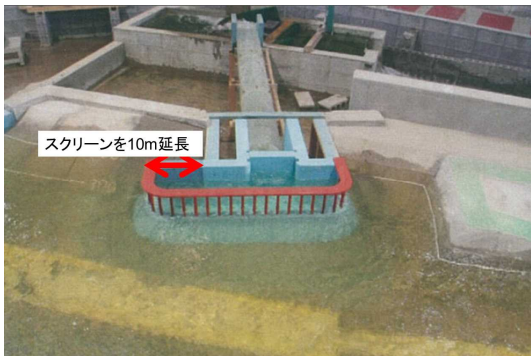


図-22 導水トンネル呑口部 (改良形状)

#### (5) 流木対策

水海川分水施設では、洪水の際の流木の発生により、導水トンネルの呑口が塞がれる事が懸念される。導水トンネルの呑口が流木で閉塞すると導水機能は低下し、足羽川ダムの洪水調節能力にも影響する。そのため、水海川分水施設では放流能力を大きく低下させないための流木対策が必須となる。机上設計では貯砂ダムと導水トンネル呑口部に流木止めを設置し、実験でその機能を確認するため、水理模型に流木模型を流し、流木止めにおける流木の捕捉状況を確認した。なお、導水トンネル呑口部の形状は流木止めを10m延長する前の形状で実施している。

流木のサイズは福井豪雨(2004年7月)の調査結果をもとに製作した。

実験の結果、概ね長い流木(20m以上)は貯砂ダムで捕捉できることを確認した(図-23)。短い流木(5m~10m)は貯砂ダム下流に流下するが、呑口の流木止めによりほとんどが捕捉できることを確認した。



図-23 貯砂ダムの流木実験

#### (6) 水海川導水トンネル吐口部

水海川導水トンネルは最終的に金見谷川へと合流し、洪水を導水する。導水トンネルと金見谷川の洪水流が衝突し、安定した流況で下流へ流れないことが懸念される。

そこで、本実験では、金見谷川と導水トンネル吐口部の合流部の流況の確認を行った。

実験の結果、金見谷川と導水トンネルの合流部の流況について、導流部を40m、合流部を40m配置することにより流況上問題ないことを確認した(図-24)。

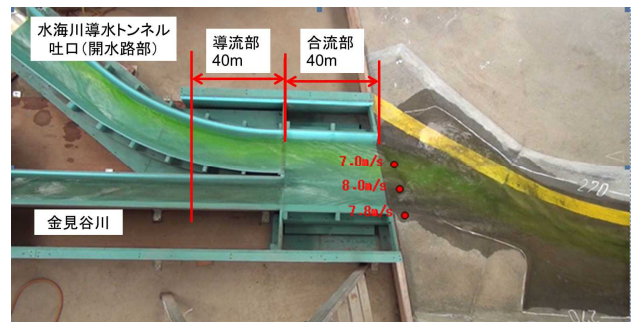


図-24 金見谷川合流部

### 4. まとめ

#### (1) 実験結果のまとめ

今回の実施した水理模型実験の結果、机上では確認できない足羽川ダム及び水海川分水施設における水理特性を確認する事ができた。

また、足羽川ダム本体における、非常用洪水吐き、常用洪水吐き、河床部放流設備、減勢工部等の放流設備や、水海川分水施設における水海川貯砂ダム・水海川導水トンネル呑口部及び吐口部についての基本的な水理設計について目処を立てることができた。

#### (2) 今後の方針

今回の実験結果及び今後の水理模型実験の結果を本体設計及び分水施設設計に反映し、設計の精度を向上させていきたい。