越流水深の大きな砂防堰堤の下流影響検討

いであ株式会社　○木村 啓祐，樋田 祥久，加藤 陽平，森 克味，小川 義忠
国土交通省四国地方整備局四国山地砂防事務所　奥山 悠木，田所 真路，佐野 奈津子

1 はじめに

高知県北東部に位置する一級河川吉野川水系の南小川流域（A=86.6km^2）は，急峻な地形を成しており V 字谷で谷幅も狭く，地すべり地形が多く存在する．また，年降雨量が 2,500～4,000mm で計画流量も 1,140m^3/s と大きい流域である．現在，南小川流域においては流出する土砂を抑制し，下流域での河床上昇による河川水位の上昇を防ぐことを目的として砂防堰堤が計画されている．計画堰堤は，掃流区間で上流の既設堰堤(SP-460)，下流の橋梁(SP-180)及び発電所(SP-250)に影響せず，施工性の良い SP-100 に計画されている．(図-1) また，川幅が狭いため水通し幅も 25.0m と狭くなり，堰堤高 11.0m に対して越流水深が 8.1m と大きくなる．(図-2) 越流水深が大きい砂防堰堤においては，流量が多く流速も速くなることから流水による堰堤下流への影響等の課題・問題点がある．本検討は西島ら（2017）[1] の検討結果を踏まえ，水理模型実験により堰堤下流への影響を把握する．さらに越流水深の低減策を検討し，その低減効果を確認することを目的とする．

表-1　計画堰堤諸元一覧

項目	設計値
堰堤型式	不透過型
流域面積（A）	41.8km^2
現況渓床勾配　i0	1/45
計画堆砂勾配　i2	1/90
清水流量	1,083m^3/s
設計流量(土砂含有を考慮した流量)	1,140m^3/s
堤高	11.0m
堤長	77.0m
袖高	9.8m
越流水深	8.1m

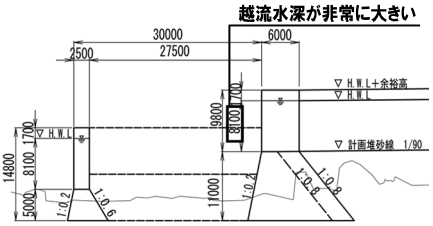

図-2　計画堰堤側面図

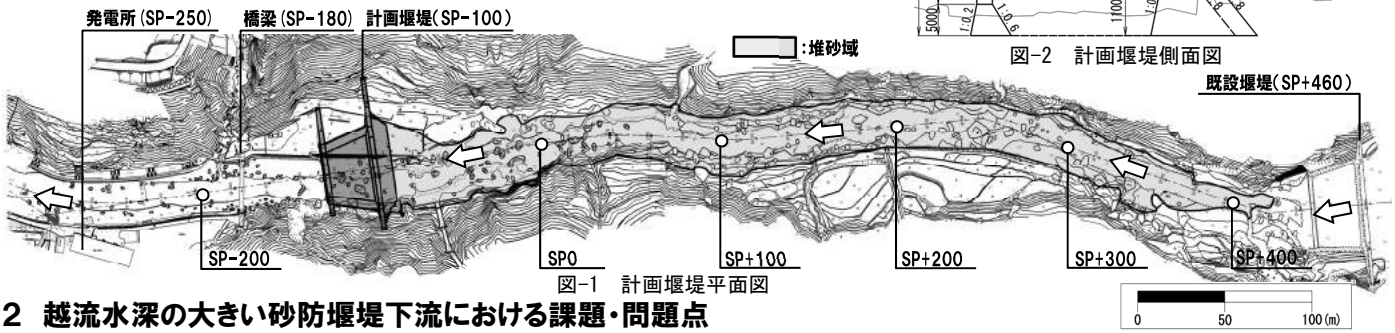

図-1　計画堰堤平面図

2 越流水深の大きい砂防堰堤下流における課題・問題点

計画堰堤下流への影響は西島ら（2017）の検討によると数値解析シミュレーション（3 次元流体解析）を実施した結果，堰堤整備の影響は計画堰堤下流 70m 程度の範囲まで及ぶことが確認されている．このため，水理模型実験を実施し，3 次元流体解析結果の妥当性を検証するとともに，水褥池及び水通し部や前庭部における急縮・急拡による減勢効果等を確認し，適切な前庭保護工を計画する必要がある．

3 水理模型実験による砂防堰堤下流への影響検討

水理模型実験は水路模型及び地形模型による実験を行った．水路模型実験は越流水深に着目し，堰堤下流の流況変化を確認するとともに，前庭保護工の設計に用いる式（経験式及び半理論式）の適用を検討した．また，地形模型実験は水路模型実験結果から設定した前庭保護工の効果を確認した．各実験では流況変化を把握するため水位を計測し，堰堤を設置しない場合と比較して水深の変化を確認した．

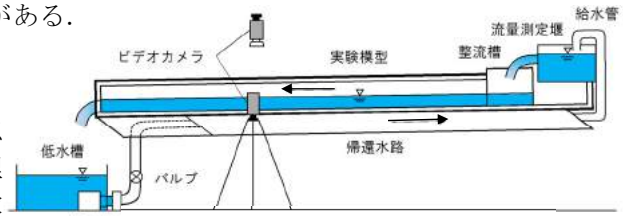

図-3　実験装置（モデル図）

３．１　水路模型実験

（１）概要

水路模型実験は勾配 1/45 の直線矩形水路に堰堤模型を設置し，越流水深が異なる 4 ケースの流量により実験を行った．水路模型の縮尺は 1/100 とし，透明アクリル板(t=1cm)を用い，幅 40cm，高さ 20cm，水路延長 6.0m とした．(図-3，写真-1，2) また，現地の粗度を再現するため，ほぼ均一な平均粒径 15.2mm の砂利粒子を水路底面に接着した．流量は計画堰堤の水通し幅の単位幅流量とし，フルード相似則により算定した．(表-2) 実験ケースは副堰堤の減勢効果を確認するため，堰堤下流に水叩きを想定した滑面の塩ビ板を設置し，経験式及び半理論式において算出された位置に

写真-1　堰堤模型

写真-2　実験水路

表-2　流量ケース

ケース	越流水深 (m)	相対水深※	流量 (m^3/s)	実験流量 (ℓ/s)
計画流量	8.1	1.00	1,140	15.67
流量①	2.0	0.25	129	2.00
流量②	4.0	0.50	377	5.57
流量③	6.0	0.75	713	10.93

※（越流水深/落差高）

副堰堤を設置する 2 ケースと設置しない 2 ケース及び水叩きを設置しないケースの計 5 ケースについて実験を行った.

（2）結果

計画流量(相対水深 1.0)の場合,副堤を設置することで流れが阻害され流況が乱れる．また，副堤を設置しないと，粗度係数の小さい水叩きの設置により流速が卓越するため，下流水位の変動が収まらない．流量①(相対水深 0.25)は収束位置に副堤があるため，流況が乱れ下流への影響範囲が拡大する．流量②(相対水深 0.5)及び流量③(相対水深 0.75)は副堤による減勢効果で，下流への影響範囲が減少する．以上から，計画流量時は副堤を設置すると悪影響を及ぼすが，それより小さい流量の場合は副堤設置により減勢機能が期待できる結果となった.

３．２　地形模型実験

（1）概要

地形模型は現地地形を精度よく再現できるよう，ＬＰデータを用いて 3Dプリンターにより出力し,縮尺 1/125 の地形モデル模型（PLA 樹脂）を作製した．また，個々の転石をスケールダウンした砂利を地形模型に張り付けて現地の転石等を再現した．流量は計画流量（実験流量=6.52ℓ/sec）とし，前庭保護工は水路模型実験結果から副堰堤による減勢効果が期待されないため，副堰堤を設置しない条件で実験を行った.

（2）結果

水脈飛距離は20m 程度で水路模型実験と同様の結果だったが，下流の影響範囲は60m 程度と水通しと側壁の急縮･急拡により，落下水により横断方向への流れが発生し，減勢することで水路模型実験の結果に比べ，影響範囲が短くなった．(図-5)

4　3次元流体解析による堰堤下流への影響検討

地形模型実験と同様の条件で 3 次元流体解析を実施し,3 次元流体解析の妥当性を検討した．解析の結果,地形模型実験と同様に前庭保護工の減勢効果が確認でき,下流への影響範囲は 60m 程度であることから,地形模型実験の再現性が確認できた．すなわち，地形模型実験を行わなくても 3 次元流体解析で堰堤下流の流況を把握することが可能である．(図-6)

5　越流水深の低減策の検討

越流水深を低減する方法として掘削影響を考慮した側壁位置を固定した条件で計画流量時に側壁の背面に落水が当たらないよう，水通し肩と側壁肩の位置を合わせることで水通し幅が広くなり，越流水深が小さくなる水通し断面を設定した．(図-7)設定した水通し断面で 3 次元流体解析を行った結果，下流への影響範囲は30m 程度と前庭保護工の範囲内となる結果となった．(図-8)

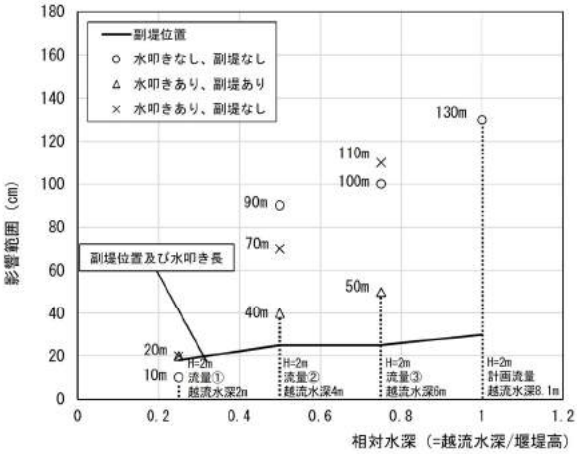

図-4　水路模型実験　影響範囲(経験式との比較)

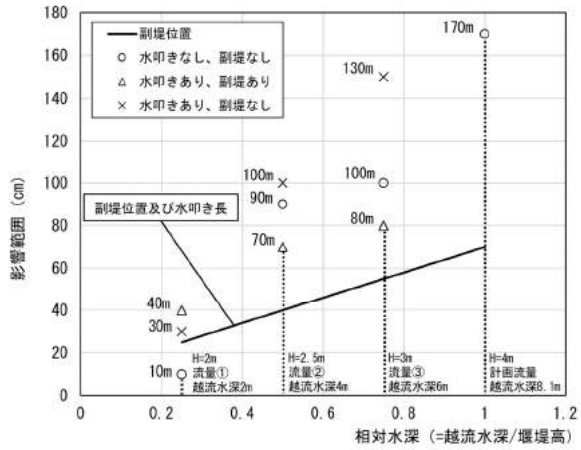

図-5　水路模型実験　影響範囲(半理論式との比較)

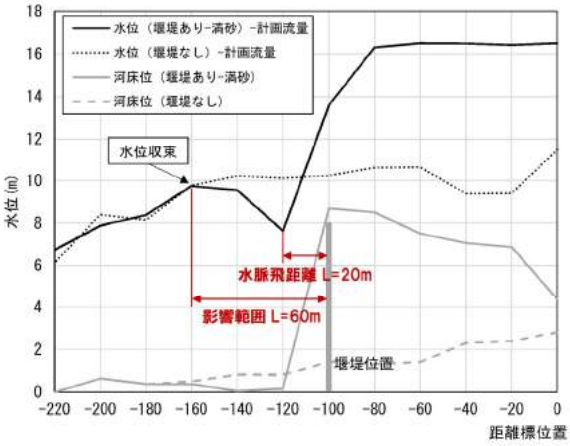

図-6　地形模型実験　影響範囲(経験式)

図-7　越流水深低減策

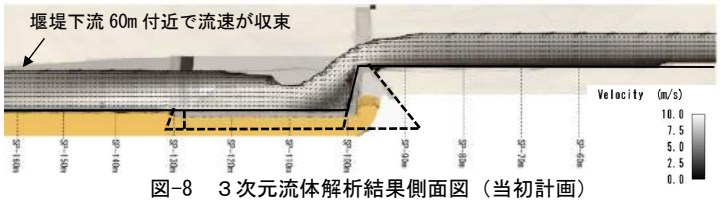

図-8　３次元流体解析結果側面図（当初計画）

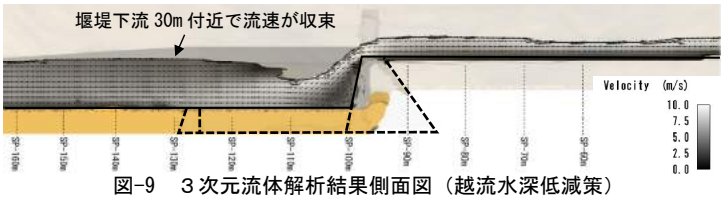

図-9　３次元流体解析結果側面図（越流水深低減策）

6　今後の展望

砂防堰堤の越流水深の大小は下流の流況へ非常に大きな影響を与えることがわかった．このため,越流水深が大きい砂防堰堤を計画する際は，越流水深を小さくする方法を柔軟に検討し，その結果を 3 次元流体解析で検証することで周辺影響の小さい安全な砂防堰堤を計画することが望まれる.

【参考文献】1) 越流水深の大きい砂防堰堤における施設本体及び周辺影響について：平成 29 年度 砂防学会研究発表会概要集 p.184-185