

来馬河原地区遊砂地計画に関する水理模型実験 について

木下 祐介¹・石田 孝司²・森本 勇太¹

¹松本砂防事務所 調査課 (〒390-0803 長野県松本市元町1丁目8番28号)

²松本砂防事務所 (〒390-0803 長野県松本市元町1丁目8番28号)

一級河川姫川は、長野県北安曇郡白馬村を水源として北流し、新潟県糸魚川市で日本海に注いでいる。姫川に沿って走る糸魚川-静岡構造線を境に、東の新第三紀層の新期岩類からなるフォッサマグナ側では地すべり活動が活発で、西の古生層の古期岩類からなる北アルプス側は脆く崩れやすい特徴を有しており、たびたび大規模な土砂災害が発生している。この姫川流域における土砂・洪水氾濫等の防止を目的とする大規模砂防施設として、長野県北安曇郡小谷村の来馬河原地区に計画されている遊砂地について、施設の効果を検証するために水理模型実験を行った。本論文では、実験の結果明らかになった課題や、今後の対応方針等について報告する。

キーワード 防災、水理模型実験、遊砂地

1. はじめに

一級河川姫川は、長野県北安曇郡白馬村を水源として北流し、新潟県糸魚川市で日本海に注いでいる。姫川流域では、姫川に沿って走る糸魚川-静岡構造線により、地すべり活動が活発で山腹はもろく崩れやすい特徴を有しているため、土砂災害が多く発生している。1995年(平成7年)7月11日から12日の梅雨前線豪雨による増水(以下、「平成7年災害」という)では、溪岸浸食や各支川で発生した土石流等によって大量の土砂が姫川本川に供給された。これにより、河床が著しく上昇し、新潟県糸魚川市葛葉地区下流部においては約10m、長野県北安曇郡小谷村の来馬河原地区においても約2~3m河床が上昇するなど、流下した大量の土砂によって姫川温泉や国道、JR等に甚大な被害を及ぼしたり。

姫川中流域に位置する来馬河原地区は、日本三大崩の一つとされる稗田山を有し未だ土砂流出の著しい浦川と、平成7年災害時に姫川本川への流出土砂量が最も多かった中谷川及び土谷川(いずれも県所管)の直下に位置し、姫川流域で数少ない大規模砂防施設の整備が可能な平地区間となっている。そのため、過年度業務において、中小出水時は土砂を流下させて空き容量を維持し、過去の災害や計画規模洪水に対する土砂調節機能を有した透過型砂防堰堤による遊砂地が計画されている。

この、来馬河原地区にて計画された遊砂地について、



図-1 姫川流域 長野県来馬河原地区位置図

効果的な土砂流出調節・抑制を図り、下流への土砂流出に伴う土砂・洪水氾濫を防止する計画施設の効果を検証するために、水理模型実験を実施している。本論文では、実験の結果明らかになった課題、今後の対応方針等について報告する。



図-2 上段：模型制作範囲の空中写真 (Google Earth)

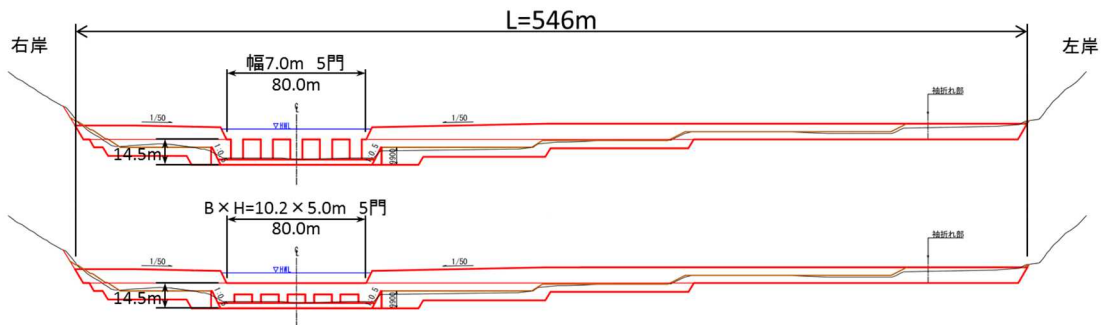


図-3 計画施設 (上段：スリット砂防堰堤 下段：大暗渠砂防堰堤)

2. 実験条件

(1) 模型製作条件

模型の縮尺は1/80とした。模型範囲は姫川本川における中部電力姫川第3ダム (32k200) からデンカ株式会社大綱発電所ダム (26k200) の区間とし、流入する支川として、浦川 (浦川下流第7号砂防堰堤より下流) と土沢 (姫川との合流点から上流500m地点) を加え実験を行った (図-2)。

計画施設は、対象区間が掃流区間であることから、堰上げタイプの透過型堰堤として過年度業務にて検討された計画堤高14.5mのスリット砂防堰堤 (スリット幅7m, 5門 (スリット総幅35m)) 又は大暗渠砂防堰堤 (幅B×高さH=10.2m×5m 5門) とした (図-3)。この断面は、スリット砂防堰堤において計画規模洪水を流下させ、礫によって閉塞しない構造としている。大暗渠砂防堰堤については、ピーク流量時にスリット砂防堰堤と概ね同じ水位 (透過部水位) となるような同様の構造としている。

(2) 流量波形

実験に使用する流量波形 (時間-流量曲線) は、過年度に実施した土砂洪水氾濫計算での平成7年災害再現計算の流量波形と計画規模の流量波形の2パターンとした。

土砂供給地点となる姫川第3ダムでの流量波形と、実験が可能なように修正した実験でのピーク流量を表-1に、流量波形を図4、図5に示す。

表-1 流量一覧

規模	ピーク流量 (砂防基準点)	ピーク流量 (来馬河原地点)	備考
1	H7 災害実績流量 2,810m ³ /s	1,690m ³ /s	土砂洪水氾濫計算ハイドロ
2	計画規模 5,000m ³ /s	1,600m ³ /s	土砂洪水氾濫計算ハイドロ

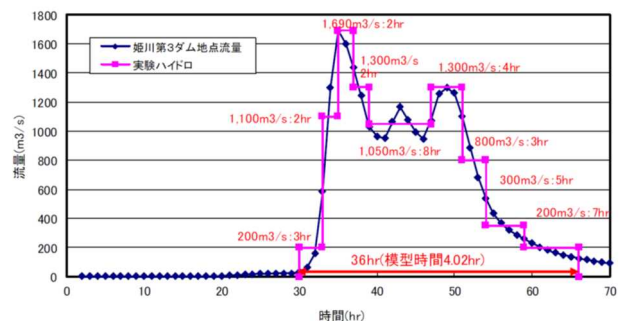


図4 姫川本川流量波形 (姫川第3ダム地点)
: H7 災土砂洪水氾濫計算

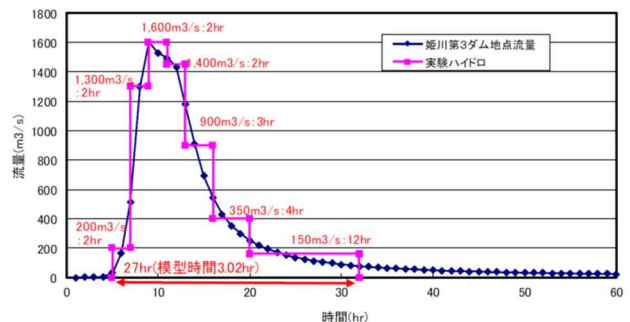


図5 姫川本川流量波形 (姫川第3ダム地点)
: 計画規模土砂洪水氾濫計算

(3) 実験砂及び供給土砂量

実験砂は河床材料調査結果に基づいた粒度分布について、模型縮尺1/80で縮小した砂を使用し、最小粒径は0.1mm、掃流現象を対象として実験を行った。供給土砂量は各供給地点における実験砂での流砂能力量（模型上で流せる最大量）とした。

また、水理模型実験においては、原型では浮遊しない粒径の砂が浮遊砂となり、模型において浮遊砂となる土砂量の割合が大きくなってしまっている。そのため、本実験では、以下の方法で実験粒度分布を設定した。なお、本実験における実験砂の粒度分布を図-6に示す。

- a) 模型で浮遊しない粒径は、原型の粒度分布と合わせる
- b) 模型で浮遊する粒径の割合を、原型で浮遊する割合と合わせる
- c) 原型では浮遊しない粒径の割合を低減させ、流送形態を合わせることで、実験での過剰な河床洗掘等を防止する

(4) 実験ケース

実験は、平成7年7月災害波形及び計画洪水波形のそれぞれに対し、現況、スリット砂防堰堤、大暗渠砂防堰堤の6ケースについて実施した（表-2）。

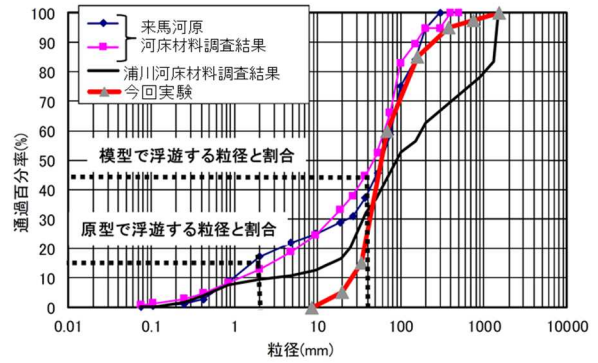


図-6 河床材料と実験砂の粒度分布

表-2 実験ケース

Case	実験名	対象流量	施設配置	実験内容
C-1	現況実験	平成7年7月災害波形	現況 (来馬河原無施設)	現況河道での課題等を確認
C-2	現況実験	計画洪水波形		
C-3	計画施設時Ⅰ	平成7年7月災害波形	スリット砂防堰堤	平成7年7月災害波形におけるスリット砂防堰堤の効果検証
C-4			大暗渠砂防堰堤	平成7年7月災害波形における大暗渠砂防堰堤の効果検証
C-5	計画施設時Ⅱ	計画洪水波形	スリット砂防堰堤	計画洪水波形におけるスリット砂防堰堤の効果検証
C-6			大暗渠砂防堰堤	計画洪水波形における大暗渠砂防堰堤の効果検証

大暗渠砂防堰堤配置時における浦川合流点、計画堰堤地

3. 実験結果

平成7年災害規模洪水、計画規模洪水ともに、計画施設を配置することで、ピーク時には原型換算で30万から40万m³程度の土砂を捕捉するものの、計画施設下流では河道が洗掘されることによって土砂生産源となり、デンカ大網圧電所ダム（模型最下流端）での最終的な流出土砂量は変化しない結果となった。

スリット砂防堰堤では、小さい流量から土砂を捕捉するため施設効果量が大きい。一方で、下流への土砂供給が少ないことから、洗掘により遊砂地下流の帯工における河床低下が大きく、ピーク流量後の後続流での排砂量が少ないため、低下した河床が回復しなかった（図-7）。

大暗渠砂防堰堤では、小さい流量では堰上が発生せず、ピーク時頃から堰上げが発生し土砂を捕捉するため、スリット砂防堰堤と比較すると施設効果量は少なくなるが、後続流での排砂量が多いことから、ピーク時までの間に低下した河床が時間の経過とともに回復する結果となった（図-8）。

スリット砂防堰堤、大暗渠砂防堰堤の双方において、水衝部となる小谷橋下流の右岸護岸工付近や道の駅下流の護岸工が大きく洗掘された。洗掘が著しかった箇所を次頁の図-9に示す。

なお、各実験ケースの結果は以下の(1)から(6)のとおりであり、各実験ケースでの現況、スリット砂防堰堤、



図-7 遊砂地下流地点の洗掘状況（スリット砂防堰堤）

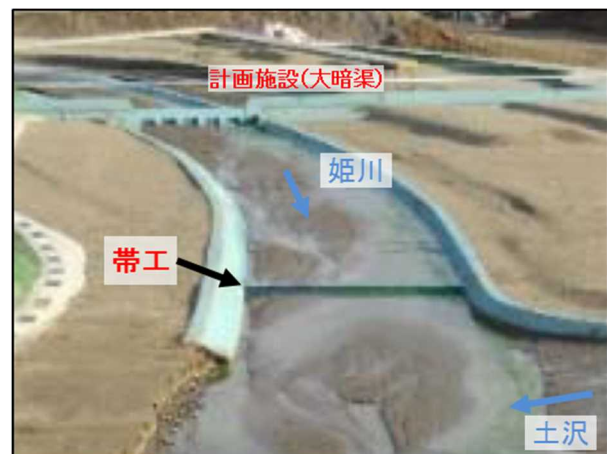


図-8 遊砂地下流地点の洗掘状況（大暗渠砂防堰堤）



図-9 模型上での洗掘箇所

点、遊砂地下流、小谷橋、道の駅、デンカ株式会社大綱発電所ダム（模型下流端）での各区間の変動量を次頁の図-10に示す。

(1) C-1（現況，平成7年災害規模）

計画施設を入れた場合と比較して対象区間での河床変動は小さい。時間の経過とともに遊砂地下流から小谷橋は河床から土砂が生産されるが、小谷橋から道の駅は堆積量が増加し、道の駅からデンカ大綱発電所ダム間では、最初は洗掘区間となるが時間の経過とともに堆積場となる。

(2) C-2（現況，計画規模）

計画施設を入れた場合と比較して対象区間での河床変動は小さい。ピーク流量で遊砂地下流から小谷橋、道の駅からデンカ大綱発電所ダム間は、河床から土砂が生産されるが、時間の経過とともに埋戻され、洪水後は顕著な河床低下区間はなくなる。

(3) C-3（スリット砂防堰堤，平成7年災害規模）

計画施設での時間の経過に伴う土砂捕捉量の増加により、遊砂地下流地点よりも下流の河道からの土砂生産が増加する（河床が洗掘される）。ピーク以降の土砂の排砂により、計画堰堤地点から遊砂地下流間の河床低下は埋戻るが、遊砂地下流地点よりも下流の区間は埋戻らない。

(4) C-4（大暗渠砂防堰堤，平成7年災害規模）

計画施設での時間経過に伴う土砂捕捉量の増加により、遊砂地下流地点よりも下流の河道からの土砂生産が増加する（河床が洗掘される）。計画施設においてピーク流量頃から堰上が発生して、土砂を捕捉し、洪水後半での排砂量が多い。そのため、下流に土砂が供給され、河床の洗掘が少なく、河道からの土砂生産量はC-3よりは少ない。

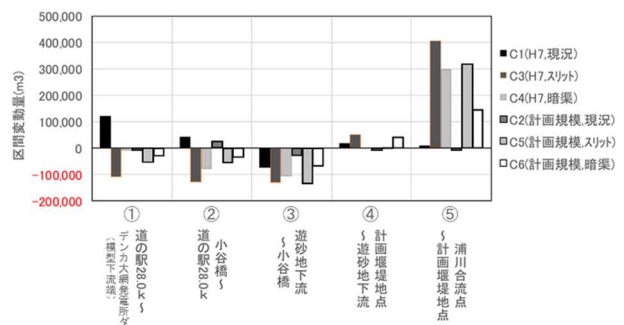


図-10 区間変動量の比較（洪水後）

(5) C-5（スリット砂防堰堤，計画規模）

C-3と同様に計画施設での時間経過に伴う土砂捕捉量の増加により、遊砂地下流地点よりも下流の河道からの土砂生産が増加する（河床が洗掘される）。洪水後半の排砂により、計画堰堤から遊砂地下流間の河床低下は埋戻るが、遊砂地下流地点よりも下流は埋戻らない。

(6) C-6（大暗渠砂防堰堤，計画規模）

計画施設での時間経過に伴う土砂捕捉量の増加により、遊砂地下流地点よりも下流の河道からの土砂生産が増加する（河床が洗掘される）。C-4と同様に計画施設においてピーク流量頃から堰上が発生して土砂を捕捉し、洪水後半での排砂量が多い。そのため、計画堰堤地点から遊砂地下流間は、洪水後に堆積区間となり、遊砂地下流地点よりも下流の河道からの土砂生産量はC-5よりは少なくなる。

4. 課題及び今後の方針

(1) 課題

以下に今回の実験における課題について述べる。

a) スリット砂防堰堤

スリット砂防堰堤では、少ない流量から堰上げが発生したため、計画施設において土砂を捕捉し下流への土砂供給が減少し、計画施設下流の帯工で異常洗掘が発生してしまう。また、洪水ピーク後の土砂流出（排砂）が少なく、洗掘箇所の河床高が回復しない。

b) 大暗渠砂防堰堤

洪水ピーク後の土砂流出（排砂）が多く、下流の洗掘箇所の河床高が回復する。洪水ピークまでの間に、水衝部となる小谷橋下流の右岸護岸工付近や道の駅下流の左岸国道護岸へは流水が集中して大きく洗掘されてしまう。

(2) 今後の方針

数値計算では、大まかな堆積箇所や洗掘箇所を把握することが可能だが、帯工や護岸工付近等での局所的な洗掘や洪水ピーク後の土砂流出（排砂）による下流への影響を確認することが困難である。今回の水理模型実験により、スリット砂防堰堤、大暗渠砂防堰堤の双方において、水衝部となる小谷橋下流の右岸護岸工付近や道の駅下流等で顕著な局所洗掘が確認された。この洗掘の要因となる護岸沿いの流水の集中を緩和するため、水制工や流れを平滑化する帯工等の整備を検討する。

また、計画施設については、実験から確認できた以下の点から大暗渠構造を基本とする。

a) 少ない流量から堰上げが発生すると土砂を捕捉し、計画施設下流の帯工等において異常洗掘が発生するため、

少ない流量では堰上げが発生しない

b) 流量が多い場合のみ堰上げが発生する

c) 洪水ピーク後の土砂流出により、下流の洗掘箇所の河床高が回復する

さらに、流量が少ないときは透過幅が広く、流量が多くなり暗渠内が満水すると堰上げ水深が大きくなる半円形の構造を基本として、最適な暗渠幅、構造等を検討する。

5. おわりに

来馬河原地区下流の姫川本川沿いには、長野県や糸魚川市の山間部と糸魚川市街地を結ぶ重要交通網である国道 148 号、JR 大糸線があり、また、下流には糸魚川市街地、本川沿いに北小谷や平岩等の集落、耕地等が分布している。近年の気候変動により、いつ想定を超える豪雨が発生してもおかしくない状況の中、姫川流域の安心・安全に寄与するため、より最適な施設の検討、整備を進めていく。

参考文献

- 1) 石田孝司, 石田哲也: 姫川流域、信濃川上流域における土砂・洪水氾濫とその対策, 土木技術資料, 62-3, p38-41, 2020.