

# 105 砂防ダム下流法形状と前庭部の洗掘に関する実験的研究 (II)

(財)砂防・地すべり技術センター ○池田暁彦, 松村和樹  
(株)建設技術研究所 齋藤 武, 村上正人

## 1. はじめに

一般に砂防ダムの下流法勾配は1:0.2と急勾配であるために、水通し部からの越流水や砂礫は非常に大きなエネルギーを有して直接前庭部に落下し、前庭部へのその大きな衝撃力が洗掘や前庭保護工の破壊の大きな原因となっている。前報告<sup>1)</sup>では、下流法勾配と法形状が前庭部の洗掘に及ぼす影響を把握するために、下流法勾配を緩くした条件と法形状を階段状にした条件で水理模型実験を行った。その結果、下流法勾配が緩いと洗掘範囲は縮小し、また、下流法形状が階段状であると直線状に比べて洗掘範囲が縮小することがわかった。

本報告では、下流法勾配と共に越流水の土砂濃度が前庭部の洗掘に及ぼす影響を把握するために土砂濃度を变化させた条件で水理模型実験を行い、得られた実験結果と前報告の実験結果に基づき、砂防ダム下流法形状と前庭部の洗掘の関係について考察した。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験条件

実験には幅50cm, 水路長8.0mの直線2次元開水路を用い、模型縮尺は1/50とした。流量は洪水流と後続流に分けてハイドロを与え、洪水流は単位幅流量を $5\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ,  $7.5\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ,  $10\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ として継続時間を10分、後続流は洪水流の1/3流量として継続時間を20分とした。河床勾配はダムの下流部(元河床勾配)で1/30, ダム堆砂勾配を1/45とした。実験砂の平均粒径は現地で7.6cm, 90%粒径を10cmとした。

土砂濃度は流量と河床勾配に基づき、芦田・高橋・水山の緩勾配式を用いて設定した。なお、土砂濃度は各流量毎の計算値と、それを基準に50%増と50%減の3濃度とした(以下、高・中・低と称する)。

### 2.2 実験ケース

実験ケースは、下流法勾配を1:0.2と1:0.8, ダム高を10mと15m, 単位幅流量を $5\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ,  $7.5\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ ,  $10\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ , そして土砂濃度3段階の合計42ケースとした。また、実験の計測事項は、図-1に示す前庭部の洗掘深, 法尻からの洗掘長, 洗掘量, 堤体基礎地盤の吸い出し長, 洗掘範囲とした。

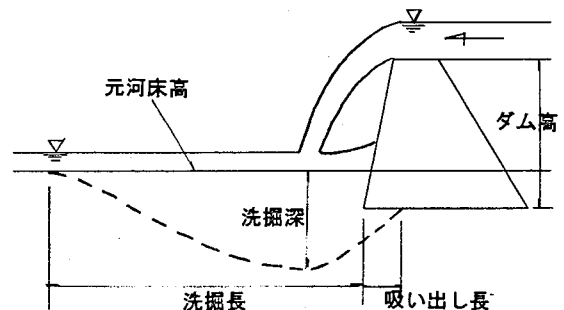


図-1 計測事項概念図

## 3. 実験結果

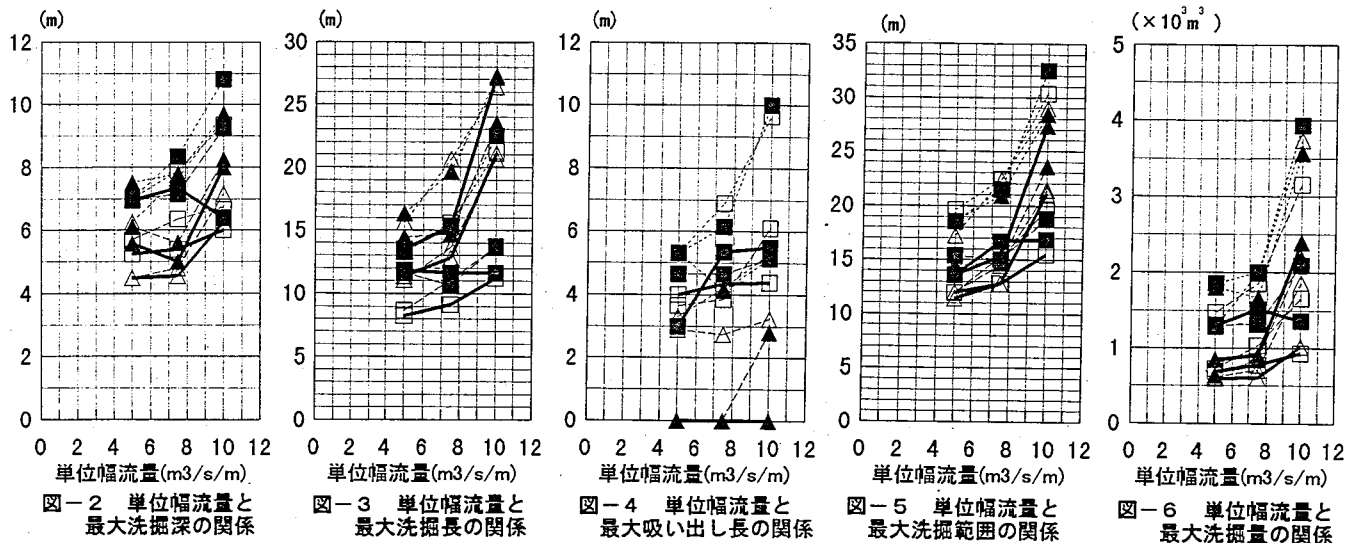
### 3.1 流況

下流法勾配1:0.2では、各ケースとも越流水脈は完全ナップとなり、堤体から離れて下流水面に突入する。一方、下流法勾配1:0.8では不完全ナップとなり、下流法面に沿って下流水面に突入する。越流水脈が下流水面に突入した後は、ともに水脈の巻き込みが発生しており、1:0.2では上下流方向で発生するのに対し、1:0.8では下流方向のみで発生している。

### 3.2 計測結果

各計測結果からみると、土砂濃度が高くなると洗掘の規模は小さくなっている。最大洗掘深は、各ケースとも下流法勾配1:0.8の方が大きくなる。また、各ケースとも土砂濃度が低くなると最大洗掘深は大きくなり、下流法勾配やダム高による差は小さくなる(図-2)。最大洗掘長は、各ケースとも下流法勾配1:0.2の方が長くなり、土砂濃度が低くなるとダム高による差は小さくなる(図-3)。最大吸い出し長は、各ケースとも下流法勾配1:0.8が長くなる。1:0.2では土砂濃度が高いと吸い出しはなく、低くなると発生する。一方、1:0.8では各ケースとも吸い出しがみられ、土砂濃度が低くなると長くなる傾向を示す。土砂濃度が低いと各ケースとも吸い出し長は長くなるが、ダム高による差は小さくなる(図-4)。最大洗掘範囲は、土砂濃度が高いと小さくなり、下流法勾配やダム高による差は小さくなる(図-5)。最大洗掘量は、ダム高が高いほど大きくなり、また、土砂濃度が低いと大きくなる。土砂濃度が高～中程度で流量が小さいと、ダム高に関係なく下流法勾配1:0.8が大きくなり、単位幅流量が $10\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ では1:0.2が大きくなる(図-6)。

また、各計測項目ごとの時間変化についてみると、各ケースとも土砂濃度が高いと洪水流で一旦は洗掘されるが、後続流により洗掘の規模は縮小しており、土砂濃度が低いと微増傾向を示した。この傾向はダム高が低いほど顕著にみられる。



### 3.3 実験結果のまとめ

砂防ダム前庭部の洗掘は、越流水脈の突入角度と突入速度によって支配されていることは前報告でも述べた。そこで、洗掘を抑制するには、下流法勾配を緩くして越流水脈の突入角度をより水平に近づけ、突入速度を減じることが有効であるものと考えた。しかしながら、越流水の下流法面上の流下距離が短く、あるいは堤体法尻付近に越流水が落下する1:0.8では、逆に洗掘の規模は拡大する傾向がみられた。また、洗掘の規模と土砂濃度の関係では、土砂濃度が高いと全般的に洗掘の規模は縮小する傾向がみられた。

- 下流法勾配1:0.8 (ダム高15m)
- ▲ 下流法勾配1:0.2 (ダム高15m)
- 下流法勾配1:0.8 (ダム高10m)
- △ 下流法勾配1:0.2 (ダム高10m)
- 土砂濃度：高
- - 土砂濃度：中
- ⋯ 土砂濃度：低

### 4. 砂防ダム下流法形状と前庭部の洗掘の関係の考察

これまでの実験結果から、前庭部の洗掘の規模ならびに形態は下流法形状、すなわち越流水脈の突入角度や突入速度によって異なることがわかった。洗掘の形態は、以下に示す水脈の巻き込みと堤体基礎部の吸い出しとに大別される。

- (1) 水脈の巻き込みは、下流法勾配1:0.2では越流水脈が完全ナップとなって堤体から離れて突入するため、上下流方向に発生している。これに対し、1:0.6~1:1.0では越流水脈が不完全ナップとなり、下流法面に沿って突入するため、下流方向のみに発生している。水脈の巻き込みによる洗掘は下流法勾配1:0.2では上下流方向に分散・拡大し、1:0.6~1:1.0では下流方向のみに集中・拡大する。
- (2) 堤体基礎部の吸い出しは、越流水脈が前庭部の下流水面に突入する際の空気連行現象に起因して発生している。下流法勾配1:0.2のように越流水脈が完全ナップであると吸い出しの規模は小さいが、下流法勾配1:0.6~1:0.8では越流水脈が堤体に沿って突入するため、吸い出しの規模は大きくなる。なお、下流法勾配が1:1.0程度の場合、下流法面の粗度による突入流速の減勢効果が生じ、吸い出しは1:0.6と1:0.8と比較して洗掘の規模は小さくなる。

砂防ダムの安定度を損なう堤体基礎部の洗掘に着目すると、下流法勾配1:0.2では流量の増大に伴う上流側への水脈の巻き込みが、1:0.6~1:1.0では慢性的な吸い出しが堤体基礎部の洗掘の主な原因となっていることが考えられる。

これまでの一連の水理模型実験結果と考察から、下流法勾配を緩くして洗掘を抑制することは可能であることは確認された。しかし、越流水脈の突入速度を緩和するための下流法面の粗度が小さい、あるいは越流水脈の落下地点が堤体に近すぎるような下流法勾配（突入角度）であると、逆に洗掘を助長する可能性が示唆された。

したがって、砂防ダム前庭部の洗掘を抑制するためには、単に越流水脈の突入角度を水平に近づけるだけでなく、突入速度を緩和できる勾配かつ形状とする必要がある。すなわち、砂防ダムの下流法勾配を緩くする場合は、下流法面の粗度による越流水脈の突入速度の減勢効果が得られる下流法勾配（法長）とするか、あるいは下流法形状を階段状等にして粗度を大きくして越流水脈の突入速度を減勢することが望ましいものと考えられる。

\*1) 中川昌浩, 松村和樹, 池田暁彦, 斎藤 武: 砂防ダム下流法形状と前庭部の洗掘に関する実験的研究, 平成8年度砂防学会研究発表会概要集, pp69-70, 1996.