

## 36 砂防ダムの下流法勾配

(財)砂防・地すべり技術センター ○池田 曉彦  
" 松村 和樹

### 1. はじめに

砂防ダムの被災は袖部の破損を除けば前庭部の洗掘によるものが多い。水山(1979)<sup>1)</sup>によるとダム前庭部の洗掘に起因する被災箇所数は調査した砂防ダム全被災箇所数の約50%を占めている。

一般に砂防ダムの下流法勾配は、洪水時の越流水や砂礫が下流法面に当たり摩耗や破壊することを防止するために1:0.2と急勾配となっている。しかし、1:0.2と急勾配であるために水通し天端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の大きな原因となっている。さらに、前庭部の洗掘がダム下流端底面まで拡大するとダムの安定度は著しく損なわれ、ダム破壊につながる可能性もある。

そこで、本報告では、最初に砂防ダムの下流法勾配が1:0.2に設定された経緯について既往文献から整理し、それを踏まえた上で前庭保護の観点から砂防ダムの下流法勾配の考え方について検討した。

### 2. 下流法勾配1:0.2の設定経緯

日本における砂防ダムの本格的な設計・施工技術は、明治初期にオランダ人土木技術者デ・レーケにより導入されたとされている。デ・レーケの指導の下に施工された砂防ダムは空石積み構造であり、下流法勾配はダムの安定上1:1.0~1:1.5程度と緩勾配であった。ダムの堤底、水通し天端、下流法面の水衝部など主要部分には摩耗や破壊防止のために礫径60~90cmの巨石が積み重ねられていた。

デ・レーケが明治36年(1903年)に帰国した以降の国内のダム構造に関連する資料によると、いずれの資料でも「堰堤の下流法は、越流水や砂礫による摩耗を防ぐために二分~三分にすることが望ましい」と記してある。これらの文献資料の中で最も古いのは大正6年(1917年)「理水及び砂防工学-工事編-」(諸戸北郎著)及び「砂防工法」(持田軍十郎著)であり、この時点では既に下流法勾配は1:0.2が望ましいものと記されている。堀内(1984)<sup>2)</sup>によると、前述の諸戸北郎先生が明治45年(1912年)から3年間オーストリアに留学した際に下流法勾配を1:0.2の急勾配とする設計理論を導入したようである。

下流法勾配を急勾配にする必要性が生じた理由は2つあった。一つは当時の空石積砂防ダムが大洪水時に巨礫や流木等の越流による前庭部の洗掘や下流法面の積み石が流失するなどのダムの被災が増加したことである。もう一つは大正5年(1916年)頃から砂防ダムに使用され始めたコンクリートの耐摩耗性が低かったために水通し天端、下流法面の越流水や砂礫による摩耗・損傷が激しく、ダムの破壊の第一の原因であったことである。

このように砂防ダムの下流法勾配は、明治期ではダムの安定上1:1.0程度と緩勾配であったが、大正期になると下流法面に越流水や砂礫による摩耗・破壊を防止するために1:0.2の急勾配とすることが一般に広く用いられるようになった。公式の基準としては昭和33年(1958年)「建設省河川砂防技術基準」が最初であった。本基準は、それまでの諸文献等に加えて昭和14年(1939年)「渓流及び砂防工学」(赤木正雄著)で示されている実物実験の結果を基に下流法勾配1:0.2を設定しており、改訂を重ねて現在に至っている。

### 3. 前庭保護からみた下流法勾配の考え方

#### 3.1 下流法勾配1:0.2の設定思想

下流法勾配が1:0.2に設定された経緯は前述の通りである。当時の砂防ダムの被災は下流法面の摩耗や破壊が大きな原因であったため、下流法面の保護を第一に考えていた。当然、下流法勾配を急勾配とすることにより、前庭部の洗掘も懸念されていた。しかし、空石積砂防ダムからコンクリートダムへの移行段階で、下流法勾配が緩勾配であったためにダムが被災していた当時の状況を考えると、下流法面を保護することを第一としたのはやむを得ないものと考えられる。最終的には、「下流法勾配を急勾配にして下流法面の摩耗や破壊を防止する。前庭部は破壊されたら補修する。」という思想の下に、下流法勾配を1:0.2の急勾配としている。

### 3.2 ダムの安定度について

現在の砂防ダムの構造では、下流法面と前庭部のどちらが被災してもダムとしての機能を果たすことができない。しかし、現在の下流法勾配1:0.2の設定思想では前庭部を消耗品と考えているため、下流法面の摩耗は防止しているが、前庭部の洗掘は逆に助長している結果となっている。

ダムの安定度を考えた場合、下流法面の摩耗防止と前庭部の洗掘防止は、ダムの安定上、同等の重要性を持つ。一方、現在の砂防ダムの施工状況から下流法面の摩耗と前庭部の洗掘とを比較した場合、前庭部の洗掘の方がダムの安定度を損なうものと考えられる。これは、1)コンクリートの品質(耐摩耗性)が向上した現在では、ダムの安定度を損なうほどの下流法面の摩耗・破壊が起こる可能性が低い、2)前庭部の洗掘によりダム破壊が惹起され、さらに、ダムの基礎地盤が透水性の高い砂礫地盤の場合では、ダム底面の洗掘に起因してパイピングが発生したり揚圧力が増大するからである。

したがって、ダムの安定度からみると下流法勾配は、「前庭部の洗掘を防止し、かつ、下流法面の摩耗や破壊を防止する。」という思想に立って考える必要がある。

### 3.3 前庭保護からみた下流法勾配の考え方

「下流法勾配を急勾配にして下流法面の摩耗や破壊を防止する。」は「下流法面の摩耗や破壊が防止できれば、下流法勾配を1:0.2に限定する必要はない。」と解釈することができる。また、前述の下流法勾配の設定思想より、現在の砂防ダムでは前庭部の洗掘防止に着目して下流法勾配を設定する方が妥当であるものと考えられる。

以上のことから、ダムの前庭保護からみた下流法勾配は緩い方が望ましいものと考えられる。これは、水通し天端からの越流水や砂礫を直接前庭部に衝突させないようにし、結果として下流法面の摩擦抵抗によって越流水や砂礫の落下エネルギーをある程度減勢できるからである。また、下流法勾配が緩くなると、仮に前庭部が破損した場合でもダム洗掘部が堤体の重心から離れることになるので、ダムの被災規模は軽減できる。さらに、ダムの断面は、下流法勾配を緩くすることにより上流法勾配を急勾配にでき、下流法勾配を1:0.2としたときより断面を小さくすることができる。同一設計条件下で試算すると、上流法勾配を直にして決定した断面は、下流法勾配を1:0.2とした断面よりも約20%程度減ずることが可能となる。

一方、下流法勾配を緩くする条件としては、当然、下流法面の保護が前提となる。近年のコンクリートの品質は向上し、耐摩耗性に富んでいることは、砂防河川に設置されている取水堰や貯水ダムの摩耗状況からみても明らかである。さらに耐摩耗性を向上させるには、高強度コンクリート(シリカフューム等)や混和剤を使用することで対応できる。

しかしながら、下流法勾配を緩くするに際しては、次の事項を十分に考慮する必要がある。

- ①ダム地点における土砂流出頻度(流域の荒廃状況)、粒径分布、土砂濃度、流量(流域面積、降雨特性)等について把握する。
- ②前庭部の減勢施設等の構造、規模について検討する。

## 4. おわりに

現在の砂防ダムの下流法勾配は、下流法面を保護するために1:0.2に設定されている。本報告では、前庭保護の重要性を踏まえ、下流法勾配は緩くする方が望ましいものと考えた。しかしながら、下流法勾配を緩くするに当たっては、ダムサイトの土砂水理特性の把握した上で、下流法面や前庭部の保護工等について検討する必要がある。

今後は、1)土砂濃度や河床構成材料と洗掘の関係等の土砂水理特性について整理し、下流法勾配を緩くできる適用範囲(流域)、2)現在のコンクリートの強度(耐摩耗性)や耐摩耗性に優れた高強度コンクリート、3)下流法勾配を緩くした場合の減勢施設等について検討していきたい。

最後に、本検討を行うに際して、貴重なご助言を頂いた元信州大学農学部教授 堀内照夫先生に深謝の意を表します。

### 参考文献：

- 1) 水山高久：砂防ダムの災害実態調査. 新砂防, Vol. 31, No. 4, (111), p. 26-30, 1979.
- 2) 堀内照夫：砂防ダムの下流法に関する研究. 信州大学農学部演習林報告, No. 21, pp. 103, 1984.