

76 フローティングハイ砂防ダムについて

(財)砂防・地すべり技術センター ○比留間雅紀、松村和樹

共生機構 株式会社

広瀬隆浩

株式会社 アイ・エヌ・エー

柳沢得寿

1. はじめに

流域内に大崩壊地を有する溪流や火山地域の溪流では、砂防事業の進捗につれて良好なダムサイトは少なくなってきた。こうした溪流では、溪床が厚い堆積土砂や火山砕屑物で構成されることが多く、本来ならば15m以上のハイダムの建設には適さないが、一方では膨大な流出土砂量を処理するために、大容量の砂防ダムの必要性は高い。土地利用の高度化や火山砂防事業の進展が図られるなか、砂礫基礎でのハイダム建設の要求は高まりつつある。

本研究は、フローティングタイプのハイ砂防ダム設計における問題点と対策について論ずるものである。

2. フローティングハイ砂防ダム設計上の問題点

2.1 地盤支持力

第1に問題としてあげられることは、ハイダムの最大垂直応力に対する地盤の許容支持力の不足である。地盤の許容支持力は、砂礫基礎では $q_a=40\sim60\text{t/m}^2$ 程度とされる。大規模崩壊地や火山地域の溪流では、河床堆積物中にシルト、粘土と言った軟弱層が挟在することも多く、 $q_a=40\sim60\text{t/m}^2$ が必ずしも期待できるわけではない。表-1は、 $H=20\text{m}$ のときの各タイプの堰堤の最大垂直応力の計算例であるが、礫層の許容支持力の限界値前後の値となっており、軟弱層が存在する場合には形式によらず地盤破壊を起こす可能性が高い。

表-1 堰堤各タイプの最大垂直応力計算例

諸元 形式	ダム高 (m)	越流水深 h_3 (m)	天端幅 B_1 (m)	上流法勾配 1 : m	最大垂直応力 (t/m^2)
重力式ダム	20.0	3.5	3.0	0.80	62.2
中空中詰めダム			3.0	0.85	54.5
中空式ダム			3.0	0.90	49.7
補強土形式フィルダム			10.0	1.30	40.2

2.2 パイピング

フローティングタイプのダムでは、浸透水によるパイピングの発生が懸念される。パイピングの発生に対する検討はブライの式およびレーンの式が用いられるが、いずれもクリープ長（浸透経路長）

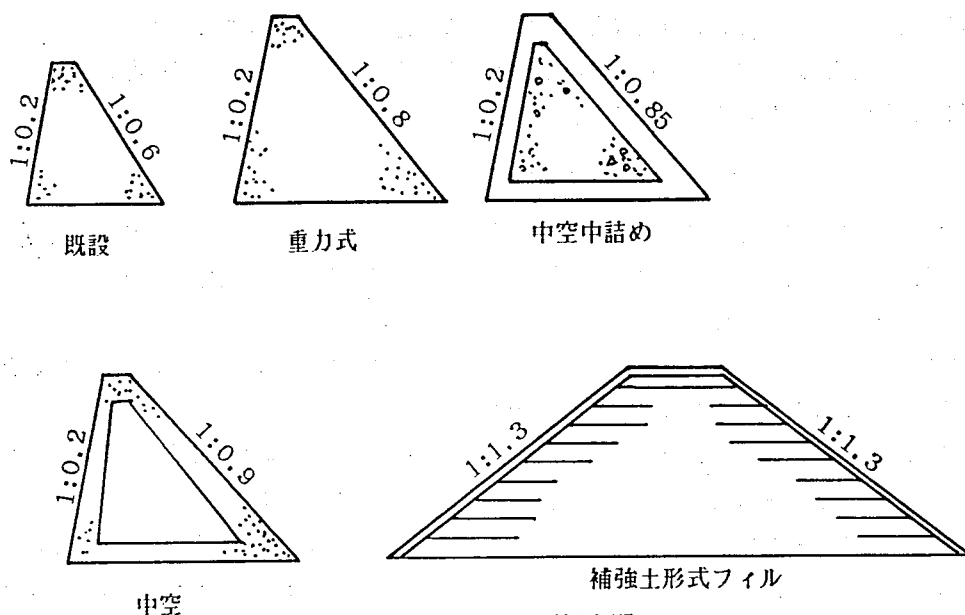


図-1 堰堤タイプ概念図

とダム上下流の水位差の比較によって判定するものである。ハイダムでは上下流の水位差が大きくなるため、パイピングの発生により基盤が損失することだけは避けねばならない。

2.3 前庭保護

ハイダムでは水脈の落下高が大きく、このエネルギーにより下流洗掘を生じる可能性が高くなる。特にフローティングハイ砂防ダムを計画しなければならないような流域では、流量が大きい、さもなくば多量の土砂が流下することが多いと判断される。前庭保護工が破壊された場合、パイピング検討時のクリープ長が短くなり、基礎地盤の吸い出し破壊が生じることが考えられる。こうした現象は水叩きの破壊についてのみ留意すべきことではなく、副ダムまたは垂直壁より下流側の洗掘が本堤基礎にまで遡上拡大した例もある。土砂濃度の低い流水は、水叩きへの落下エネルギーは小さいが、下流河道の洗掘に関しては土砂濃度の高い流れより大きく影響する。これらに対して十分な前庭保護工を計画する必要がある。

3. 対策方法

3.1 地盤支持力不足対策

地盤支持力の不足の問題は、堤体の応力が大きいとみる考え方と地盤の許容支持力が不足しているとする考え方とに分けられる。

堤体の応力を軽減するには上下流の法勾配を緩くし、堤底幅を広げるか、軽量の構造形式（中空ダム、鋼製ダム等）を採用することが考えられる。堤底幅を広げると浸透路長が長くなり、パイピング対策としても有利であるが、揚圧力を増大させることとなる。通常時の揚圧力が小さい状況では支持力が不足することも有り得る。また堤体重量を軽減させることは、水圧、土石流等の水平力を受けた場合、滑動に対する安定性は損なわれることにも留意すべきである。

地盤の許容支持力は、Terzaghiの極限支持力公式の考え方をを用いると次のようになる。

Terzaghiの極限支持力は次式で示され、鉛直支持力の変化は土構造の破壊形態を考慮すれば構造物の基礎幅 B と根入れ深さ D_f の関数となる。

$$Q = B \left(c N_c + \gamma_2 D_f N_q + \frac{\gamma_1 B}{2} N_\gamma \right) \quad (1)$$

ここに、 Q ：極限鉛直支持力 (tf/m)、 B ：基礎幅 (堤底幅) (m)、 N_c 、 N_q 、 N_γ ：支持力係数；せん断抵抗角 ϕ の係数、 c ：粘着力 (tf/m²)、 γ_1 ：基礎底面下の土の単位重量 (tf/m³)、 $\gamma_2 D_f$ ：根入れ部分の土による押さえ荷重 (tf/m²)

地盤の許容支持力は、極限支持力を安全率 (常時3、地震時2) で除したものであるため、上式の各項の値を増加させることができれば許容支持力の増加が期待できる。

一般的な方法としては、基礎地盤へのグラウチングがある。グラウトにより地盤の粘着力 (c)、せん断抵抗角 (ϕ)、さらに土の単位重量 (γ_1) を増大させることとなる。

近年増加しているケースでは、既設堰堤の嵩上を行う場合があるが、ハイダム化する場合、既設堰堤底部へは事実上地盤改良は行えない。この場合、堤底幅 B を広げるか、みかけの根入れ深さ D_f を増加させることにより対応が可能である。

3.2 バイピング対策

バイピング対策は水位差を低減させることはできないため、浸透路長 (クリープ長) L を増加させることとなる。砂防河川の特徴である転石を含む砂礫層に対して鉛直方向の止水壁の施工は費用的に得策ではなく、上流水平方向への浸透路長を増加させるブランケット工法等が有効である。

3.3 前庭保護対策

前庭保護は、落下水のエネルギーに対して破壊されない強度と耐久性を持つ保護工を考える方法と落下水のエネルギーそのものを低減させる方法が考えられる。前者については副ダムまたは水叩きによる対策工法が支配的に選択されるであろう。またダム下流河道の洗掘に対しては、下流の勾配や粒径から洗掘の有無を推定し、垂直壁根入れを十分に取り、場合によっては護床工を配慮すべきである。

落下水のエネルギーは落差の増大に伴い増加するため、落差を分断する多段落差方式を取ることが有効である。

4. 検討例

以上を踏まえ、既設ダムを副堤とした多段落差砂防ダムの考え方を示す。

本事例は、既設の $H=14.5$ m の堰堤の嵩上検討例である。当初は既設ダムを抱き込む $H=20.0$ m への嵩上検討を進めた。河床部には60mに達する河床堆積物が分布し、地盤支持力は既設ダム安定度からの逆算により45tf/m²程度と考えられる。したがって $H=20.0$ m へ嵩上げるには支持力不足と判断した。

また当計画はピーク流量が大きく、越流時の下流洗掘に対する前庭保護およびバイピング対策が重要である。

検討は既設位置での嵩上げから考えてみたが、最大応力の増加対策として基礎地盤改良を考えた。しかし既設堰堤底部へは事実上地盤改良は行えない。このため既設堰堤を副ダムとして扱い、上流側に $H=20\text{m}$ の堰堤を新設することとした。

これにより既設上流側の貯砂容量は減るが、多段落差方式となり、一段当たりの落下高を低く抑えることができる。またクリープ長を長く取ることになるので、パイピングに対しても有利となる。

本副間は水褥池+水叩きを計画し、水叩き下には強制盛土することとした。盛土により基礎地盤に対する抑え盛土効果が生まれ、先に示したTerzaghiの極限支持力の根入れ深さの項の改善となり、許容支持力も向上する。盛土の単位体積重量が 1.8t/m^3 、盛土高は 15m であるから、極限支持力は、 $1.8\text{t/m}^3 \times 15\text{m} = 27\text{t/m}^2$ 向上することとなる。従って新設ダムの下流端の地盤の許容支持力は 9t/m^2 向上する。

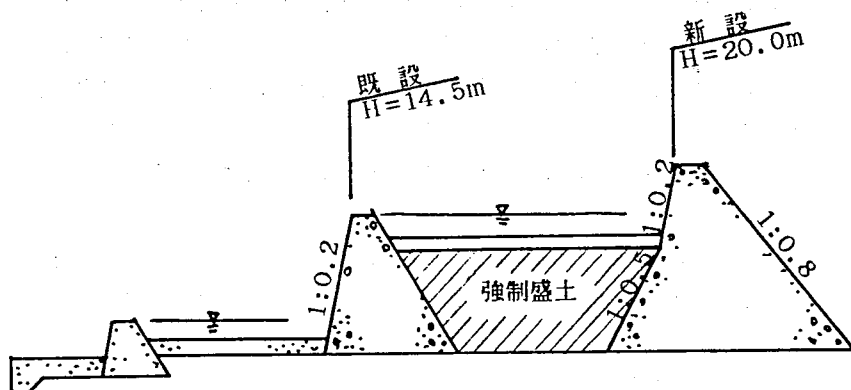


図-2 既設を利用した多段落差砂防ダム

5. おわりに

検討事例では、地盤の許容支持力を逆算により求めており、実際の工法決定には支持力や軟弱層の分布を含めた綿密な調査が必要である。しかし既設堰堤を副堤として利用し、盛土を行い、上流側にダムを新設する配置計画とすれば、地盤支持力不足や前庭保護などの問題を解決できることがわかった。

こうしたケースは今後増加するものと思われるが、微妙なバランスの上に立脚するものであり、今後の調査結果をふまえ、さらに計画手法を煮詰めていく予定である。

参考文献：

- 1) 全国治水砂防協会：砂防設計公式集、1984
- 2) 和田克哉、他：よくわかる道路橋基礎の設計・施工、1991、技報堂出版