

INSEM 砂防堰堤の安定性に対するせん断強度の影響に関する一考察

株式会社インバックス 橘木 貞則 上田 龍一 ○岩田 健

1 INSEM 砂防堰堤の普及

INSEM 砂防堰堤は、砂防工事における「環境負荷の軽減やコスト縮減、工期短縮」のニーズを背景とし、現在広く普及してきている。

INSEM 工法は、CSG や RCC, RCD 工法等と同様に、堤体全断面が水平打継目となるレイヤー構造であることが特徴で、従来から用いられているコンクリート工法に比べて工期短縮効果に優れ、緊急的な対策を要する災害現場等において有効な工法である。

「SB ウォール工法研究会」のデータを参照すると、同研究会で設計や施工管理に関係した砂防堰堤は平成 26 年度末で計 250 基以上に達しており、完成後の維持管理における点検の留意点を取りまとめた「砂防関係施設点検要領（案）」にも示されているコンクリート堰堤相当の「強度レベルⅢ以上」を基本に、品質管理について現在も研究が進められている。

本報告は、これらの実績を踏まえ INSEM 砂防堰堤における設計・施工のより一層の合理化に向けた提案を行うものである。

2 砂防堰堤の安定の基本

不透過型砂防堰堤は、作用外力に対して自重で抵抗するというシンプルな重力式構造が主流である。

重力式堰堤は、①滑動、②転倒、③応力（内部応力、地盤反力）の安定の 3 条件が成立するように剛体として設計され、堰堤の任意高さにおける全水平断面で安定条件を満足させるよう、必要な重さと形状が決定されることで設計が成り立つ。

INSEM 砂防堰堤（強度レベルⅢ以上）ではコンクリート堰堤と全く同じ設計手法が用いられているが、唯一異なるのは INSEM 材が必要十分な圧縮強度に制御が可能であるために、相対的に低強度であることと、単位体積重量がやや軽量である点のみである。

このように、重力式堰堤の転倒や応力の検証は幾何学的に求めることができる。

しかし、滑動は摩擦検定法と大ダムの経済設計の為に提案された Henny 式を用いる検証方法があり、後者の検証では岩盤が弱い場合に滑動安全率を確保するために、せん断長さを広げるという設計がみられることもある。

現行の設計基準では、荷重条件等によらず滑動安全率を一定としており、これもこのような結果の要因と考えることができるが、この課題について現行指針にしたがって、ケーススタディーを実施することとした。

3 Henny 式の適用とせん断強度

3.1 滑動安全率の評価方法

砂防堰堤の水平面の滑動に対する安定性は、Henny 式で求められる安全率で評価される。

Henny 式は 1934 年に D.C.Henny 氏が米国土木学会に投稿した論文により、コンクリートダム底面の滑動破壊に対する安全性を検討しようとして提案されたものである。

安全率は、堤体の任意の水平断面上に作用する全鉛直力と全水平力に対して、水平面の摩擦抵抗力とせん断強度から求められる。

摩擦係数ならびにせん断強度については、一般的な設計基準で定められた基礎地盤の種別や堤体規模による標準値が使用されている。

$$F_s = \frac{f \times V + \tau \times L}{H}$$

F_s : 滑動安全率
 f : 摩擦係数
 τ : せん断強度 (kN/m²)
 V : 境界面に作用する全鉛直力 (kN)
 L : 堰堤の基礎底面幅 (m)
 H : 境界面に作用する全水平力 (kN)

砂防堰堤の設計基準では、堤体の安定上必要な滑動安全率は、岩盤基礎ではせん断強度を考慮して 4 以上、砂礫基礎ではせん断強度を無視して堤高 15m 未満で 1.2、堤高 15m 以上で 1.5 以上としている。

3.2 INSEM 砂防堰堤におけるせん断強度

コンクリート重力式堰堤では、一般に砂礫地盤の場合はせん断強度を無視し、岩盤の場合は岩種に応じたせん断強度を考慮して滑動の安定性評価が行われる。

しかし、INSEM 材の主材料は土砂で、レベル 3 以上の強度管理（レベルⅢ以下では、管理が不安定である）では圧縮強度に比例してコンクリートと同様にせん断強度を見込むことはできるが、研究会ではせん断強度を見込まずに安定計算を実施している。

このように、フィルダムと同様に砂礫地盤上の堰堤のようにせん断強度を考慮せず、摩擦抵抗により静的荷重条件下で安定条件を満足すれば、神経質に水平打継目処理（セメント散布や敷モルタル等）を行わなくとも問題はなく、INSEM 砂防堰堤の施工性をさらに向上させることが可能になる。

もちろん、礫の衝突等の動的荷重については実証実験により、その荷重に抵抗できることが確認されている。

本考察では、せん断強度を考慮するか否かによる堤安定性への影響を把握するため、コンクリート堰堤に準じたせん断強度を考慮する場合としない場合の堤体断面へ与える影響を検討するものとした。

4 安定性に対するせん断強度の影響度

4.1 安定計算条件（仮定）

安定計算条件として、以下の諸元を設定した。

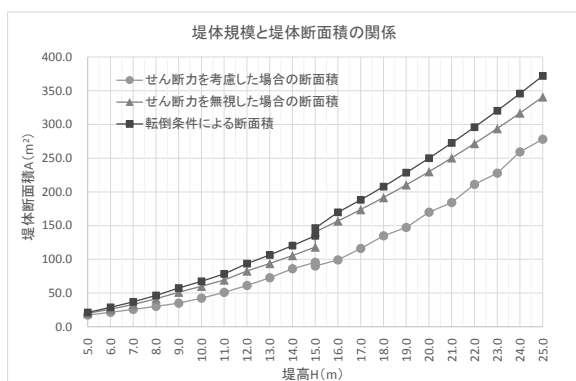
なお、荷重ケースについては洪水時を想定した。

- ① 越流水深…………… $h_3 = 3.00\text{m}$
- ② 天端幅…………… $B = 3.00\text{m}$
- ③ 下流面勾配…………… $n = 1 : 0.2$
- ④ INSEM 単重…………… $\gamma_s = 19.6 \text{ kN/m}^3$
- ⑤ 水の単重($H < 15\text{m}$)…………… $\gamma_w = 11.77 \text{ kN/m}^3$
($H \geq 15\text{m}$)…………… $\gamma_w = 9.81 \text{ kN/m}^3$
- ⑥ 基礎地盤……………軟岩 (I)
- ⑦ 上流堆砂高($H \geq 15\text{m}$)…………… $h_1 = 3.00\text{m}$ (未満砂)
- ⑧ 下流水深($H \geq 15\text{m}$)…………… $h_2 = 0.00\text{m}$

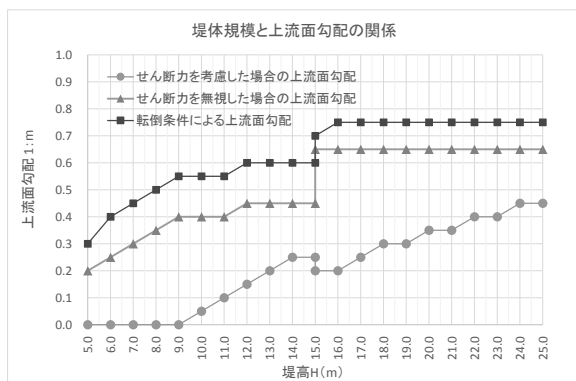
4.2 せん断強度と堤体断面形状の関係性

設定した安定計算条件に対し、Henny 式に基づいた滑動安全率を検討し、堤体規模と滑動条件を満足する断面形状の関係を図－1 および図－2 に整理した。

また、転倒条件との相関を見るため、併せて転倒条件による断面形状を図示した。



図－1 堤高と堤体断面積の関係



図－2 堤高と上流面勾配の関係

結果、せん断強度を考慮した場合としない場合の滑動安全率を満足する堤体断面形状は、 $H < 15\text{m}$ では大きな差がないが、 $H \geq 15\text{m}$ でその差が大きくなる。

これは、現行基準において堤高 15m を境に外力条件が異なることによるものである。

4.3 せん断強度と砂防堰堤断面形状への影響

現行基準に基づく安定計算を実施した場合、せん断強度を考慮すると、INSEM 砂防堰堤の断面形状は、特に堤高 15m 以上のハイダムでは縮小できる傾向が認められる。

ただし、せん断強度を考慮しない断面形状に対しても、転倒条件から決定される断面形状の方が大きいことから、砂防堰堤の断面形状決定に対するせん断強度の与える影響は少ないものと判断される。

したがって、INSEM 砂防堰堤における滑動に対する安定性では、基礎底面におけるせん断強度を考慮せず評価を行うことで問題ないものと考えられる。

5 水平打継目処理の必要性

先に実施した安定計算結果より、一般的な外力条件であれば、基礎底面位置での基礎地盤とのせん断強度を無視した場合に決定される断面形状よりも、転倒条件で決定される断面形状の方が大きい。

また、既往の一面せん断試験結果では、軟岩程度の基礎地盤の場合には INSEM 砂防堰堤内部の方が大きな摩擦係数やせん断強度を有していることが確認されている。

したがって、設計基準に基づいた3つの安定条件を満足する断面形状であれば、堰堤内部の水平面に対するせん断破壊に対する安全性は確保されており、基本的には水平打継目におけるセメント散布や敷モルタル等の処理の必要性は低いものと判断される。

6 終わりに

本考察では、INSEM 砂防堰堤における水平面のせん断強度に着目し、Henny 式による堤体安定性への影響について検討した。

検討結果を踏まえ、一般的な荷重条件下の INSEM 砂防堰堤を想定し、以下に示す点を提案する。

- ① INSEM 砂防堰堤の安定計算では、せん断強度を考慮する必要はない。
- ② ①を踏まえ、水平打継目における敷モルタルやセメント散布は、必要ない。
- ③ ②により、更なる施工の合理化を図ることが可能である。

ただし、本考察では任意設定した安定計算条件を用いた検討であることから、外力条件や基礎地盤条件等が異なる場合には、この通りの結果とならない場合があることに留意が必要である。

今後、より多くの事例を収集して統計的に検討を行い、INSEM 砂防堰堤の更なる設計・施工の合理化に向けて取り組みたい。