

砂防堰堤の水平打継目における簡易的安定性評価手法について(2)

八千代エンジニアリング株式会社 ○池田誠
 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部 安藤詳平, 松本洋和
 国土交通省 北陸地方整備局 立山砂防事務所 野呂智之
 国土交通省 北陸地方整備局 河川部 後藤健

1. はじめに

砂防堰堤の被災事例の調査結果によると、堰堤堤体が内部破壊した事例が見受けられる(たとえば2017年 京都府 朝根川^{※1})。内部破壊は基礎地盤の「滑動・地盤反力」の安定条件より相対的に危険度が高い場合があると推測されている。^{※2}
 本検討では水平打継目が劣化してせん断強度・引張強度がゼロまで低下した場合を想定し、作用外力の規模による安定性への影響、簡易補強策として補強鉄筋による効果の評価手法について試行的に検討を行った。

2. 検討条件

2.1 モデル砂防堰堤

簡易的な補強対策により安定性を確保することを念頭においたモデル砂防堰堤及び外力条件を設定した。検討条件は表1の通りとした。

表1 モデル砂防堰堤の検討条件

項目	検討条件
外力条件	土石流ピーク流量 : 30 m ³ /s (単位幅流量 : 6 m ³ /s/m)
	最大礫径 : 0.5 m
地形条件	溪床幅 : 5 m
	溪床勾配 : 1/6
	堆砂敷き : 満砂
コンクリート強度 (健全) ^{※3}	せん断強度 : $\tau_c = 2,760 \text{ kN/m}^2$
	内部摩擦係数 : $f = 0.7 (\phi 35^\circ)$
	短期引張強度 : $\sigma_c = 900 \text{ kN/m}^2$
コンクリート強度 (劣化)	せん断強度 : $\tau_c = 0 \text{ N/mm}^2$
	内部摩擦係数 : $f = 0.7 (\phi 35^\circ)$
	短期引張強度 : $\sigma_c = 0 \text{ kN/m}^2$
堰堤形状	堰堤高 : 14.5 m
	水通し天端幅 : 3.0 m
	袖高 : 1.5 m
	下流のり勾配 : 1:0.2
	上流のり勾配 : 1:0.45
	縦継ぎ目間隔 : 10 m

2.2 水平打継目の安定性の照査手法

水平打継目の内部応力は、鉛直方向 0.5m ごとに堤体内部の水平打継目の照査面を設け、その上部に作用する外力に対して安定計算を行い、次の2つの手法で安定性を照査した(図1)。水平打継目が劣化した場合の短期引張強度 σ_c 、せん断強度 τ_c は 0 と想定した。

(1) 照査面の転倒に対する照査手法

照査面の下流端部を原点として、水平荷重による転倒モーメント (M_o) と、鉛直荷重による抵抗モーメント (M_r) の比で転倒安全率を算定した。なお、後述の補強対策の効果は鉄筋設置位置により影響を受けるため、モーメント比率による評価手法を採用し、計算原点は下流端に設定した。

$$n = \frac{M_r + B^2 \times \sigma_c / 2}{M_o}$$

(2) 照査面のせん断に対する照査手法

Henny の式によって、照査面のせん断 (滑動) 安全率を算定した。

$$n = \frac{f \times V + \tau_c \times L}{H}$$

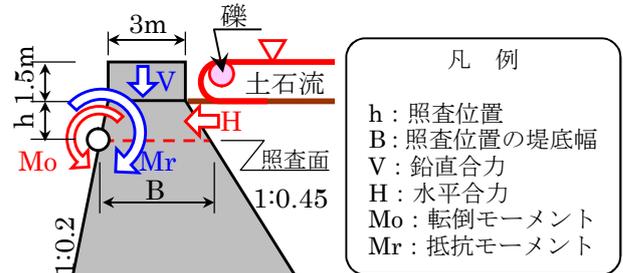


図1 水平打継目の安定性の評価手法

3. モデル砂防堰堤の水平打継目の安定性

水平打継目の応力状態の特徴を把握するため、次の2種類の荷重に対する安定性評価を行った。

荷重①: 現行基準の本堰堤の安定計算と同等 (土石流流体力, 静水圧, 堆砂圧)

荷重②: 現行基準の袖部の安定計算と同等 (荷重①に、礫の衝撃力を加えた荷重)

(1) 転倒に対する安定性

堤体内部の合力作用位置を整理すると、荷重①では全てミドルサード内(図2の破線)に収まっているが、荷重②は礫の衝撃力によって堤体内には収まるがミドルサードを外れている。

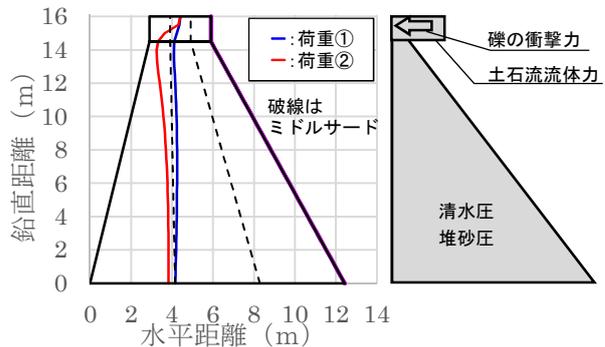


図2 合力の作用位置の分布

続いて、転倒安全率を検討した。

水平打継目が健全の場合、水平打継目の引張強度によって転倒安全率はいずれの荷重に対しても $n=20$ 以上と、十分な安定性を有していた。

一方、水平打継目が劣化した場合、大幅にせん断安全率は低下し、荷重②においては礫の衝撃力によって転倒破壊に至らないものの水通しより 1m 下位でも $n=1.4 (=352 \text{ kN/m} \cdot \text{m} / 246 \text{ kN/m} \cdot \text{m})$ と低い安全率であった(図3)。

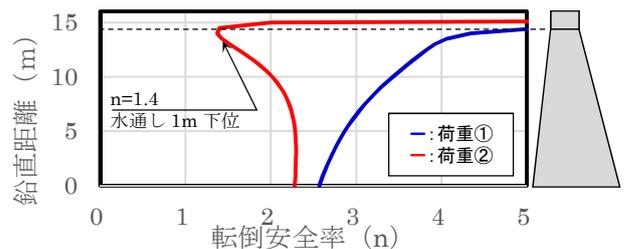


図3 水平打継目劣化時の転倒安全率

(2) せん断に対する安定性

水平打継目が健全の場合、水平打継目のせん断安全率はいずれの荷重に対してでも $n=50$ 以上と、十分な安定性を有していた。

一方、水平打継目が劣化した場合には大幅にせん断安全率は低下し、荷重②においては広い範囲で $n=1$ を下回り、せん断破壊することが想定された(図4)。一般的な袖部補強鉄筋下端より下位となる、水通しより 1m 下位でも $n=0.8$ ($=0.7 \times 190\text{kN/m} / 149\text{kN/m}$) と低い安全率であった。

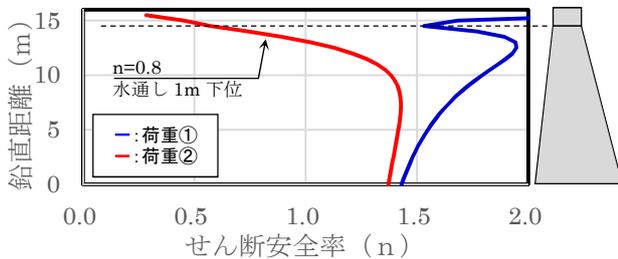


図4 水平打継目劣化時のせん断安全率

4. 外力変化による影響評価

3章の検討の結果、水平打継目が劣化した場合には、転倒に比べてせん断による破壊が懸念される結果が得られた。また、水通しより低い位置までせん断破壊の可能性がある結果が得られた。

ここでは、水通しより 1m 下位の位置において、外力変化による安定性の影響について検討した。

外力条件は河床勾配 (1/6 を変化)、流量 (単位幅流量 $6\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ を変化)、最大礫径 (0.5m を変化) の3項目についてそれぞれ感度分析を行った。

単位幅流量、最大礫径が大きい施設では水平打継目が劣化した場合の安定性への影響が多岐であり、いずれの条件においても、転倒に比べてせん断破壊の方が安全率は低い傾向にあった(図5)。

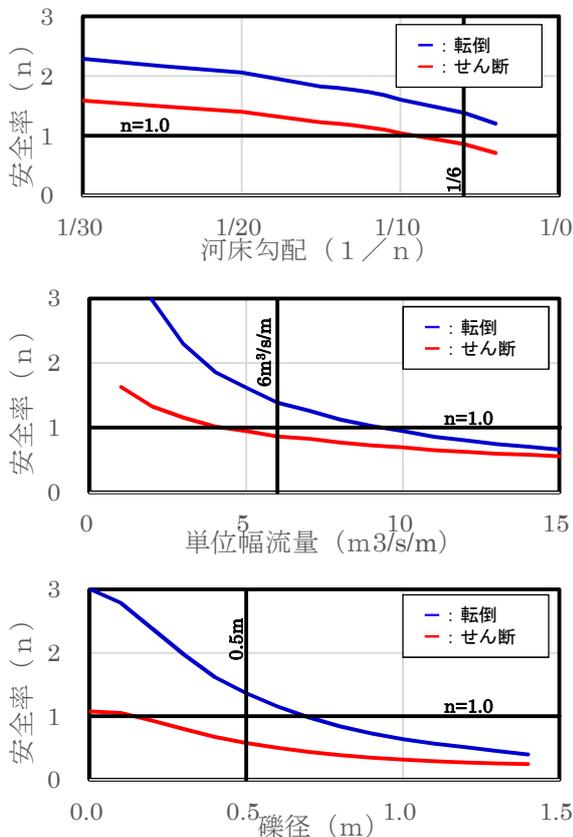


図5 外力による安定性の感度分析

5. 簡易的な補強対策の効果

水平打継目が劣化した場合、転倒破壊・せん断破壊が懸念された。ここでは、予防保全対策として水平打継目への補強鉄筋対策を検討した。

水通しより 1m 下位で、仮に図6の位置に補強鉄筋 (SD345

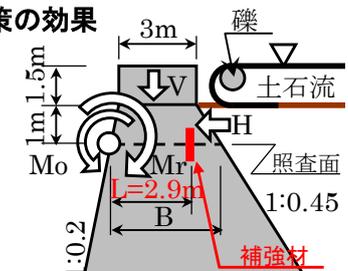


図6 簡易的補強対策

:D16@250)を設置した場合の安定性に対する効果を安全率で評価した。

破壊しない限界条件として評価を行うこと、補強鉄筋は予防保全的な対策であることから、補強鉄筋は安全率を見込まない降伏強度を用いた。

(1) 転倒に対する効果

鉄筋配置による、単位長さ当たりの引張抵抗力 (P) は次式の通り 274 kN/m である。

$$P = \sigma_s \times A_s \times n_s \\ = 345\text{N/mm}^2 \times 1.986\text{cm}^2 \times 4 \text{本} = 274\text{kN/m}$$

σ_s : 鉄筋の引張強度

補強鉄筋の下流端からの距離を L とした場合、補強鉄筋による抵抗モーメントを考慮すると安全率は次式の通り、1.4 から 4.6 に向上した。

$$n = \frac{M_r + P \times L}{M_o} = \frac{352 + 274 \times 2.9}{246} = 4.6$$

(2) せん断に対する効果

鉄筋配置による、単位長さ当たりのせん断抵抗力 (P) は次式の通り 159 kN/m である。

$$P = \tau_s \times A_s \times n_s \\ = 200\text{N/mm}^2 \times 1.986\text{cm}^2 \times 4 \text{本} = 159\text{kN/m}$$

τ_s : 鉄筋のせん断強度
 A_s : 鉄筋の断面積
 n_s : 奥行 1m 当たりの鉄筋本数

安全率は次式の通り、0.8 から 1.9 に向上した。

$$n = \frac{f \times V + P}{H} = \frac{0.7 \times 190 + 159}{149} = 1.9$$

6. おわりに

本検討の結果、堰堤の水平打継目が劣化し、仮に付着力が見込まれないほど劣化した場合には安定性が低下することが明らかとなった。特に、転倒破壊に比べてせん断破壊に対する安全率は低くなる傾向が確認された。

また、単位幅流量・礫径の厳しい外力条件によっては、転倒破壊の安全率も 1 を下回る可能性も懸念された。

簡易的な補強鉄筋は、上流側寄りに配置することによって、せん断破壊を防止する効果に加えて、転倒破壊に対しても大きな効果を得られる可能性があることを確認した。

参考資料

- ※1 武澤ら(2018)：京都府綾部市で発生した土石流による砂防堰堤の破壊実態の調査(速報)、2018年度砂防学会研究発表会概要集、p.79-80
- ※2 池田ら(2019)：砂防堰堤の水平打継目における簡易的安定性評価手法について、2019年度砂防学会研究発表会概要集、p.89-90
- ※3 「砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)および土石流・流木対策施設設計技術指針に基づく計画・設計事例の解説」H31.4.3、一般財団法人 砂防・地すべり技術センター