

既設砂防堰堤を対象とした補強対策設計条件の検討

北陸地方整備局立山砂防事務所 大坂 剛、金子秀樹、高橋 至、柳川磨彦
 北陸地方整備局 関 敏文
 国土技術政策総合研究所 内田太郎
 京都大学防災研究所 藤田正治
 政策研究大学院大学 水山高久
 日本工営株式会社 ○村松広久、水谷 佑、伊藤隆郭

1. はじめに

立山砂防事務所では既設砂防堰堤の補強対策検討にあたり、現行の設計基準を踏まえつつ、現地条件や過去の出水の実績等を考慮した合理的な補強設計の条件整理を検討している。

本報では、砂防堰堤の安定計算に適用する下流側水深及び下流側静水圧について、事例調査や水理模型実験による実態調査により知見を得るとともに、高さ23mのサブ谷砂防堰堤の補強対策への適用性を検討した。

2. ハイダム安定計算の事例調査

建設省河川砂防技術基準(案)の砂防堰堤設計では、下流側の水位で下流側の揚圧力分布を規定しているが、下流側から堤体下流面に作用する静水圧は見込まれていない。¹⁾ このため安定計算上、滑動抵抗不足により安全率が低下する傾向にある。

そこで全国直轄砂防事務所を対象に、ハイダムなど砂防堰堤の安定計算書の事例を収集し、下流側水深等の取扱いの実態を把握した。事例調査は、現行設計基準に準じた安定計算手法が適用された昭和60年以降設計の砂防堰堤で、「施工済み」あるいは「施工中」のハイダム(不透過型重力式砂防堰堤)を対象とした。

表1 ハイダム安定計算書の事例収集結果

収集事例 堰堤数	一般図 有り	安定計算書 有り	下流側 静水圧考慮
31	31 1基一部不明	25	3

事例調査結果の概要は次のとおりである。

- ①重力式砂防堰堤の事例25基(安定計算書有り)は、全て本堰堤、副堰堤ともに岩着する。
- ②下流側静水圧を考慮した3堰堤は、いずれも「副堰堤+水叩きコンクリート」を設置している。
- ③下流側静水圧を考慮した3堰堤のうち2堰堤は、堤体規模に対する下流側水深 h_2 あるいは水深そのものが高く、揚圧力に伴う滑動不安定性に対し、合理的に安定確保するため考慮したものと推察される。

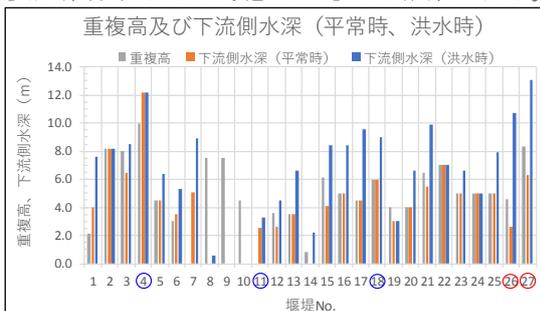


図1 重複高と下流側水深の関係

- ④下流側水深 h_2 は図1より、平常時は副堰堤の水通し天端面、洪水時は副堰堤の水通し越流水面からとする事例が14堰堤と多い。(No.4, 11, 18は下流側静水圧考慮、No.26, 27はサブ谷砂防堰堤で現況と補強)
- ⑤揚圧力無しの支持力照査を実施していない事例が15堰堤と多く、岩着するためと考えられる。

3. 地形模型による水理模型実験画像からの下流側水位の計測

平成26年度実施のサブ谷砂防堰堤の地形模型による水理模型実験の映像²⁾を用いて、本堰堤直下流の水位を計測した。計測を行った実験ケースは、改良最終案(腹付補強)の流量 $100\text{ m}^3/\text{s}$ (平常時相当)、 $1,200\text{ m}^3/\text{s}$ (S44出水相当)、 $1,960\text{ m}^3/\text{s}$ (計画流量)とした。

各流量ケースにおいて複数の画角(方向・距離)で撮影がなされており、通水前の映像を用いて、画像標定(画像上の距離→実距離への換算)の難易・精度を踏まえ、鉛直方向の距離を標定する測線として、水通し天端、右岸側壁護岸天端、水叩き-構造物(本副堤・護岸)を用いて標定を行った。本検討では主に本堰堤水通し天端(EL799m)と右岸側壁護岸天端(EL790m)を用いた。

水位の計測は、複数の計測結果の平均値を算出して求めることとし、構造物-水面境界の判読はコマ送り画像の目視判読を基本とした。一部で縦方向の画素情報変化(輝度等)の確認等も行った。

画像計測結果を表2、図2に示す。

表2 画像計測結果一覧

流量	計測条件・測線との比高差	水深換算結果 (水叩き下面-水通し天端比高差:23m)
$100\text{ m}^3/\text{s}$	・1画角の画像を用いて計測 ・水面-構造物境界と水通し天端との比高差は平均15.5m	下流側水深:約7.5m 【設計値 $h_2=7.3\text{m}$ 】
$1200\text{ m}^3/\text{s}$	・3画角の画像を用いて計測 ・水面-構造物境界と水通し天端との比高差は平均13.8m	下流側水深:9.2m 【設計値 $h_2=11.3\text{m}$ 】
$1960\text{ m}^3/\text{s}$	・3画角の画像を用いて計測 ・水面-構造物境界と水通し天端との比高差は平均12.8m	下流側水深:約10.2m 【設計値 $h_2=13.1\text{m}$ 】



図2 水面-構造物境界と水通し天端の比高差12.1m (計画流量: $1,960\text{ m}^3/\text{s}$)

流量が少ない程、本副間の水面形は安定しており、下流側水深 h_2 は設計値に近い結果となった。また、実験映像からは下流側水面が本堰堤下流法面から瞬間的に剥がれるような現象は認められなかった。

4. 直線水路模型実験による下流側水位の計測

前章の模型実験画像では、本堰堤下流法面前の水面形成状況が越流水脈により遮蔽され、不可視となるため、サブ谷砂防堰堤の直線水路模型実験を行い、本堰堤直下流の水面形成状況を把握し、水位を計測した。表3に模型実験条件、表4に模型実験結果を示す。

表3 模型実験条件

模型縮尺: 1/80
流量規模: 計画流量 (1,960m ³ /s)、S44出水相当 (1,144m ³ /s)、 平常時想定 (60m ³ /s)

表4 模型実験結果

施設条件	流量 (m ³ /s)	実験値			設計値		
		越流水深(m)		下流側水深 h_2 (m)	越流水深(m)		下流側水深 h_2 (m)
		本堰堤 h_3	副堰堤 h_4		本堰堤 h_3	副堰堤 h_4	
現況施設	1,144	2.36	4.56	8.81	4.7	5.8	8.38
補強施設	60	設計値と同等			0.7	0.7	7.00
	1,960	3.86	6.64	10.37	6.8	6.8	13.1



図3 本副間の流況と水面形成状況 (Q=1,960m³/s)
● 河床標高 (m) ● 水面標高 (m) ○ 水面標高 (m)

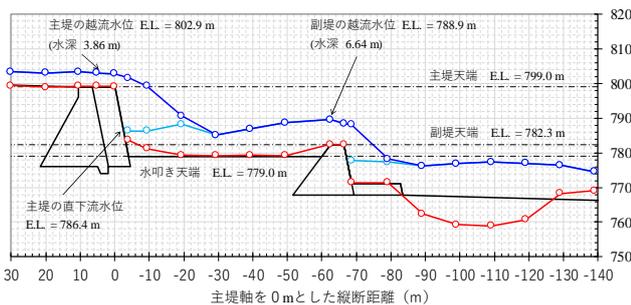


図4 本副間の水面形成と水位状況 (Q=1,960m³/s)

現況施設で S44 出水相当流量の実験値では、水褥池がないこともあり副堰堤の越流水深 h_4 が限界水深に近くなったが、本堰堤直下流では安定した水面が形成され、下流側水深 h_2 は設計値と同等となった。

補強施設において平常時流量の実験値では、下流側水深 h_2 は、副堰堤の越流水深 h_4 が非常に小さいため、設計値同様に副堰堤の水通し天端面を水面とした深さと同等であり、安定した水面が形成されていた。

計画流量時の本副間の流況と水面形成状況を図3、4に示す。本堰堤下流法面に接する水面は、法面から剥がれることはなく、比較的安定した水位で水面が形成されていた。副堰堤の越流水深 h_4 は設計値と同等であったが、本堰堤下流側水深 h_2 は、本副間の跳水の影響があるものの、副堰堤の平均的な越流水面からの深さと同等 (若干低い) と考えられる。また、下流側水深 h_2 (10.37m) が前章の画像解析による下流側水深 h_2 (約 10.2m) と同等であったことは、地形模型実験

と直線水路実験とで本副間の流況は同様であり、実験精度として問題無いことを示している。

5. 下流側静水圧等の取扱いとサブ谷砂防堰堤補強対策への適用性

前述の実態調査結果を踏まえると、平常時、洪水時いずれも本堰堤下流法面には比較的安定した水面が常に接していること、下流側水深は安定計算上、最も危険な状態を想定する必要があることから、本検討では表5のとおり適用条件を提案する。

表5 下流側水深と下流側静水圧の適用条件

種別	ケース	水深基準面
下流側水深	平常時水深	副堰堤水通し天端面
	洪水時水深	副堰堤水通し越流水面
下流側静水圧の適用	平常時水深	副堰堤水通し天端面
	洪水時水深	副堰堤水通し越流水面

サブ谷砂防堰堤の本堰堤の安定計算では、現地計測に基づく外力条件³⁾に加え、下流側静水圧を適用した場合も S44 出水時の安定実績と整合することを確認している。既設堰堤に作用する外力条件の実態を踏まえ、第一副堰堤が底抜け等壊滅的な被害を受けないよう十分な対策を施すことで本堰堤補強の安定計算に下流側静水圧を加味することは問題が無いものと結論づけた。

6. おわりに

サブ谷砂防堰堤の補強対策において、現地計測に基づく外力条件に加え、下流側静水圧を適用した場合、腹付け厚は 6.5m から 3.5m に縮減される。

現行設計基準である河川砂防技術基準案の砂防堰堤の設計は、治水ダム (水溜ダム) の設計基準を準用して策定されたものである。一方で不透過型砂防堰堤は堆砂を前提とした構造物であり、満砂後の外力条件は必ずしも治水ダムと同様ではないものとする。

既設砂防堰堤の補強対策の検討にあたっては、次の事項に留意し、流域固有の条件を踏まえた上で検討することが重要である。

- ① 必ずしも設計一般値通りではない場合があるため、満砂状態にある砂防堰堤の揚圧力作用状況等の把握が必要である。
- ② 副堰堤の配置等、下流側に安定した水面が形成される場合であって、下流側の水面形を実験等により適切に想定できる場合は、下流側静水圧、揚圧力を考慮することが考えられる。
- ③ 既往出水時の砂防堰堤の安定実績を活用して、当該出水時の再現外力による安定計算によって算定された最大地盤反力度や滑動安全率、合力作用位置などを検証し、当該砂防堰堤固有の設計許容値の設定や設計外力の精査を行うことが望ましい。

【参考文献】

- 1) 建設省河川砂防技術基準(案) 同解説・設計編Ⅱ, 1985. 10
- 2) 平成 26 年度サブ谷砂防堰堤水理模型実験業務報告書, 2015. 12
- 3) 大坂剛ら: 既設砂防堰堤を対象とした現地計測データを活用した補強設計条件の検討, 平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集, p. 154-155, 2017. 5