大規模崩壊に対する砂防施設の安定性評価の一考察 －深層崩壊への適用－

国土交通省中部地方整備局　越美山系砂防事務所　○佐藤保之　柘植貢　高橋正信　浅野里奈
国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター　内田太郎
独立行政法人土木研究所（現：(株) 建設技術研究所）　西山幸希
日本工営株式会社　西陽太郎　池島剛　田中義朗　太田敬一　飯沼達夫

1　はじめに

近年,大規模崩壊に起因する土石流や天然ダム決壊後の流下過程や影響範囲を予測するための数値シミュレーション手法が提案され,使用事例が報告されている[1]。大規模崩壊に起因する土石流等の外力は現象規模に起因し非常に大きいため,その外力を用いて施設設計を行うと,従来の基準類に従って設定される施設規模に対し,大規模な補強を必要とする結果となることが予想される。また、通常の安定計算手法で用いる,砂防施設設計要領(案)[2](以下,設計基準と称す)に示された基盤岩の圧縮強度とせん断強度の値は,岩盤区分毎に設定されており,安全側をみて比較的弱い強度となっていると考えられる。また転倒・滑動条件は安全率がかかっている。一方,比較的発生頻度の低い現象に対しては,安全率の値を変えるなど,頻度を考慮した設計法も提案されている。

そこで,本検討では,実測の基盤岩の物性値を用いるとともに,転倒・滑動条件等の安定計算条件の緩和を行い,天然ダム決壊のような低頻度な大規模土砂災害に対する砂防施設の安定性評価手法について検討した。

2　天然ダム規模の推定及び対象堰堤の設定

本検討で対象とした天然ダムの想定箇所及び安定性を評価する計画堰堤地点を図-1 に示す。今回想定した崩壊規模,天然ダム高及びその湛水量を表-1,決壊想定時期,天然ダム決壊ピーク流量を表-2 に示す。なお天然ダム決壊ピーク流量の推定,堰堤地点の外力算出は土石流シミュレータ(Kanako ver1.43)を用いて算出した。

計画堰堤地点は流域面積15.3km²,平均河床勾配 1/40,計画対象流量 338m³/s,基盤岩の深度は浅く築堤時には着岩すると想定した。計画堰堤の断面形状は,計画対象流量を基に安定計算を実施し決定した。構造は掃流区間であるためコンクリートスリット堰堤(H=13.5m)とし,断面形状は天端幅 2.0m,下流法勾配：上流法勾配=0.2：0.75 とした。

3　大規模土砂災害に対する安定性評価手法

3.1　物性値の推定

既往文献や計画堰堤地点周辺の地質調査資料から,計画堰堤地点の基盤岩の物性値の推定を行った。図-2,3 より計画地点の値(越美管内事例の値)はマニュアルの値に比べ,圧縮強度で 10 倍程度,せん断強度なら 2 倍以上の値であり、マニュアル以上の値を見込めることが分かった。

本検討では,越美管内事例の値を参考に,圧縮強度 13,600kN/m²,せん断強度 1,280kN/m² とした(採用した値は図-2,3 内の枠)。

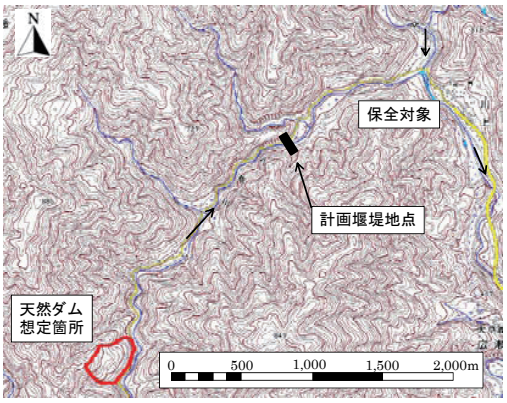


図-1　大規模崩壊想定箇所及び対象堰堤位置図

表-1 崩壊規模, 天然ダム高,　湛水量

項　目	大規模	中規模
崩壊土砂量	1,700×10³m³	460×10³ m³
天然ダム高	約60m	約50m
湛水量	4,549×10³m³	2,542×10³m³

表-2 決壊想定時期と決壊ピーク流量

流入流量規模	大規模	中規模
100年確率流量時	6,000m³/s	5,000m³/s
1.1年確率流量時	5,300m³/s	4,400m³/s

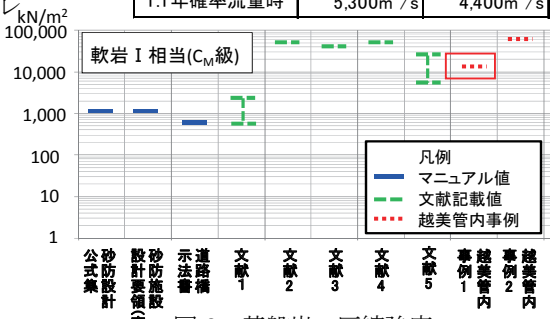


図-2　基盤岩の圧縮強度

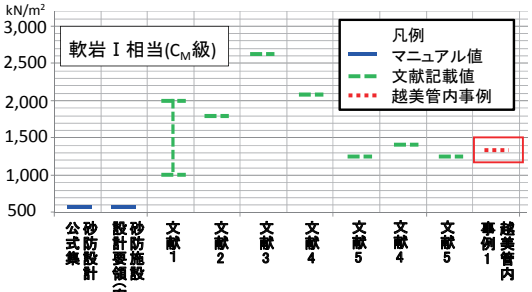


図-3　基盤岩のせん断強度

3.2　転倒条件の緩和

設計基準に従えば,転倒に対する安定性を確保し,かつ堤底に引張応力を発生させないためには,荷重の合力の作用線と堤底との交点が堤底の中央 1/3(ミドルサード)内とする必要がある。一方,マニュアル以外では,以下の通りである。

・転倒に対する安定条件として,地震時には荷重の合力の作用線が堤底 2/3 以内に入ればよい[3]。

・コンクリートの許容曲げ引張応力度については,$\sigma_{tk}/7$(σ_{tk}：コンクリートの設計基準引張強度)のかわりに$\sigma_{ck}/80$(σ_{ck}：コンクリートの設計基準強度)を目安にしてよい[4]。

本検討では,発生確率の低い大規模土砂災害を対象としていることから,安定条件は極限まで緩和する事とし,転倒条件は下流側つま先を超えない範囲まで荷重の合力線を許容することとした(図-4)。なお,上流側に発生する引張応力は,揖斐川筋で施工されたコンクリートの一軸圧縮試験結果より推定を行い,約 2,500kN/m² まで許容することとした(一軸圧縮試験結果27.8kN/m²(N=60),コンクリート引張強度推定式[5]　$f_{tk}=0.28\cdot f'^{2/3}_{ck}$ より $f_{tk}=0.28\times 27.8^{2/3}=2.56\mathrm{N/mm^2}\fallingdotseq 2500\mathrm{kN/m^2}$)。

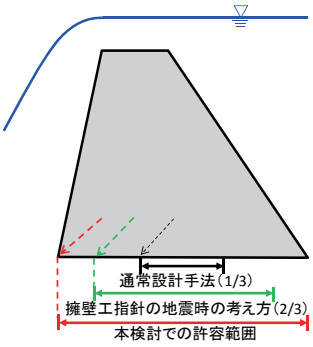


図-4　転倒条件の緩和イメージ

3.3　滑動安全率の緩和

基礎岩盤内またはダム堤体と基礎岩盤の接触部に沿った滑り破壊に対する力学的安定性は一般的に Henny の式によって検討され,滑動安全率は 4 としている。図-5 より底面の上流側では 2 程度の安全率であることから,滑動安全率は 2 とした。

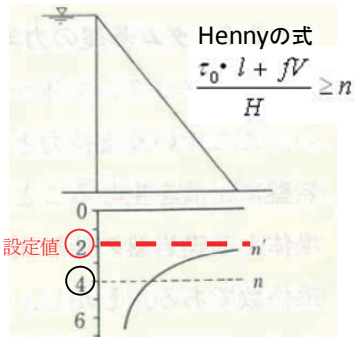


図-5 ダム底面における局所せん断摩擦安全率 n'[6]

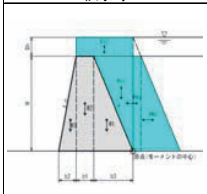
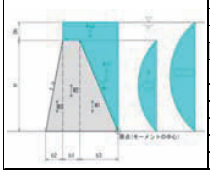
4　大規模土砂災害に対する砂防施設の安定性評価

土石流シミュレータを用いて算出された荷重を用いて,計画堰堤の安定計算を実施した。安定計算は,通常の安定計算と本検討で設定した条件の安定計算を実施した。外力条件については,通常の荷重条件に加え,水の衝撃力(段波)も作用させた場合の 2 ケースで検討を行った。安定計算結果を表-5 に示す。表-5 より,本検討で実施した安定計算の場合,現況の施設規模で安定性を十分に満足する結果となった。

5　おわりに

天然ダム決壊のような低頻度な大規模土砂災害に対して,ソフト対策を主体に考え,ハード対策は被害軽減を主目的として考えられるが,本検討では基盤岩の物性値を現地に見合う値とし,既往の安定計算手法を基に,転倒・滑動条件を緩和した砂防施設の安定性評価手法について提案し,通常の設計手法より得られた堰堤形状で,天然ダム決壊に対して過大な補強をせず対応できることを示唆した。但し,基盤岩の物性値は割れ目や層理などの不連続面の存在により強度は異なり,また滑動安全率に関しても,堰堤形状によって局所的な滑動安全率が異なることが想定されることから,大規模崩壊(深層崩壊)の分布調査結果[7]や過去の土砂災害史等を合せて考慮し,また,構造形式や配置計画,既設砂防堰堤の機能向上等のより効果の高い対策手法の検討を通じて,深層崩壊を対象とするハード対策の手法をさらに検討してゆく必要がある。

表-3　通常の安定計算と本検討の安定計算の比較

荷重条件	通常の安定計算方法					
洪水時	検討ケース		滑動条件	転倒条件	地盤反力	
	天然ダム	確率流量			上流側	下流側
	大規模	100年	O.K	OUT	O.K	OUT
	大規模	1.1年	O.K	OUT	O.K	OUT
	中規模	100年	O.K	OUT	O.K	OUT
	中規模	1.1年	O.K	OUT	O.K	OUT
	本検討の安定計算方法					
	検討ケース		滑動条件	転倒条件	地盤反力	
	天然ダム	確率流量			上流側	下流側
	大規模	100年	O.K	O.K	O.K	O.K
	大規模	1.1年	O.K	O.K	O.K	O.K
	中規模	100年	O.K	O.K	O.K	O.K
	中規模	1.1年	O.K	O.K	O.K	O.K
荷重条件	通常の安定計算方法					
段波	検討ケース		滑動条件	転倒条件	地盤反力	
	天然ダム	確率流量			上流側	下流側
	大規模	100年	OUT	OUT	O.K	OUT
	大規模	1.1年	OUT	OUT	O.K	OUT
	中規模	100年	OUT	OUT	O.K	OUT
	中規模	1.1年	OUT	OUT	O.K	OUT
	本検討の安定計算方法					
	検討ケース		滑動条件	転倒条件	地盤反力	
	天然ダム	確率流量			上流側	下流側
	大規模	100年	O.K	O.K	O.K	O.K
	大規模	1.1年	O.K	O.K	O.K	O.K
	中規模	100年	O.K	O.K	O.K	O.K
	中規模	1.1年	O.K	O.K	O.K	O.K

【参考文献】1)西口幸希ら:深層崩壊に起因する土石流の数値シミュレーション手法,土木技術資料,Vol.52,No.11,2010　2)砂防施設設計要領(案)　国土交通省中部地方整備局,平成 21 年 3 月　3)道路土工　擁壁工指針(社)日本道路協会,P76,平成 11 年 3 月　4)道路橋示方書・同解説　Ⅰ共通編 Ⅳ下部構造編 (社)日本道路協会,P154,平成 14 年 3 月　5)コンクリート標準示方書構造性能照査編 (社)土木学会,P21,平成 14 年 3 月　6)ダムの地質調査　(社)土木学会,P138-139,昭和 61 年 10 月　7)田村毅ら:越美山系砂防管内における深層崩壊に起因する土砂災害に対する施設効果の検討,平成 23 年度砂防学会研究発表会概要集,238-239,2011