

冠水時に不安定化する急傾斜地斜面および崩壊対策施設の諸条件について

国土防災技術 ○長谷川陽一, 遊佐直樹, 大野亮一, 寺田秀樹
 国土交通省国土技術政策総合研究所 金澤瑛, 瀧口茂隆, 中谷洋明, 小嶋孝徳

1 はじめに

国土技術政策総合研究所では、豪雨によって大規模な氾濫・浸水が発生して急傾斜地斜面（以下、斜面）および崩壊対策施設（以下、施設）が冠水した場合を想定し、斜面・施設の冠水時の安定性評価について検討を行っている。

本稿では、現場調査に基づいて地下水位を設定した想定斜面において浸透流解析を実施し、大規模氾濫によって冠水した場合の斜面およびすべり土圧がかかるもたれ式擁壁の安定性を検討した結果を報告する。また、裏込め土の土圧と崩壊土砂の堆積土圧がかかる場合の擁壁工、および衝撃荷重が作用する場合の待受式擁壁工において、仮定した水位条件のもとで冠水した場合の安定性を検討した結果についても報告する。

2 浸透流解析と斜面の安定性評価

2.1 浸透流解析と斜面の安定計算の諸条件

貯水池地すべりに関連する文献（例えば¹⁾）に記載されている崖錐堆積物の斜面安定性評価方法は、自然斜面が冠水したときの安定性の評価方法として急傾斜地にも適用が可能であると考えられるため、本検討では施設が施工された斜面を対象とした。また、貯水池地すべりに関連する文献（例えば¹⁾）から、冠水による斜面の安定性は、斜面勾配、崩壊土層厚、土層の透水性に影響されると考えられるため、これらの要素を組み合わせた解析パターンを表-1のように設定した。

表-1 調査地および施設の諸元

No.	ケース	斜面勾配	基岩勾配	層厚	崩壊高さ	土質	粘着力 ※逆算	せん断抵抗角	透水係数	排水管閉塞
1	貯水池地すべりの知見から地下水の影響が最も大きいと考えられた斜面規模のケース	30°	30°	2m	10m	粘性土	5.1kN/m ²	15°	10 ⁻⁵ cm/s	なし
粘性土						5.1kN/m ²	15°	10 ⁻⁵ cm/s	あり	
砂質土						0.4kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	なし	
砂質土						0.4kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	あり	
5	ケース1~4から層厚を一般的な厚さとしたケース（施設規模を標準的なものにしたケース）	30°	30°	1m	10m	粘性土	2.8kN/m ²	15°	10 ⁻⁵ cm/s	なし
砂質土						0.1kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	なし	
砂質土						0.1kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	あり	
8	基岩勾配を斜面勾配よりも緩くし、すべり面形状をケース5~7よりも深くしたケース	30°	25°	1~2.9m	10m	粘性土	4.4kN/m ²	15°	10 ⁻⁵ cm/s	なし
砂質土						0.2kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	なし	
砂質土						0.2kN/m ²	30°	10 ⁻³ cm/s	あり	

大きく分けて3ケースになるがそれぞれにおいて土質（透水性）を変化させたほか、施設の排水管が閉塞した状態のパターンを作った（冠水は施設天端から施設背面および斜面内に浸入するが、浸入した水は施設の排水管からは排水されにくいという条件）。ケース5~7は土層厚の影響をみるパターンとした。ケース8~10は勾配の影響をみるパターンとした。なお、各ケースにおいては、初期水位時、冠水時（施設高5mが完全に水没したとき）、排水時（施設前面の水位が低下するとき）の浸透流解析を実施しているが、本稿では斜面の安定性が最も低くなる排水時（施設前面の水位がゼロとなるときで、排水開始から5時間後）の解析結果を示す。浸透流解析に用いた解析断面の一例を図-1に示す。地下水位の形状は初期状態のものを示しており、各ケースで現地調査結果を参考に決定した。

浸透流解析で用いる飽和透水係数、不飽和特性は文献²⁾を参考に設定した。境界条件では、計算領域の両側に全水頭を与え、斜面は浸出境界とした。排水時の施設前面の水位の低下速度は、排水管閉塞が「なし」のケースでは令和2年7月豪雨時の球磨川大野観測所における観測結果を参考に1.0m/hrとし、排水管閉塞が「あり」のケースでは各土質の透水係数による速度を設定した。

斜面の安定計算にはフェレニウス法を使用した。斜面内のすべり面形状は、急傾斜地技術指針³⁾の施設設計時の考え方を参考に、最大抑止力円弧を探索して決定した（図-1に併記）。なお、強度定数は、探索した円弧に対して水位がない状態で斜面安全率が1.0となるように逆算した（表-1）。

2.2 浸透流解析と斜面の安定性評価の結果

表-2に斜面内の水位変化による斜面安全率の変動結果を示す。本検討では、すべり土塊の面積に占める地下水の面積の割合を面積率として定義し、表には排水時（排水開始から5時間後）の面積率および冠水時の面積率から排水時の面積率がどの程度低下したか（面積率低下量）を記載した。また、同表に記載した斜面安全率も排水時のものである。

面積率低下量より、粘性土では排水後5時間経過してもほとんど斜面内から地下水が排水されず（ケース1,5,8）、砂質土では排水後5時間経過すると冠水時の面積率から6~9ポイント程度分排水される（ケース3,6,9）結果となった。ただし、砂質土でも施設の排水管が閉塞している場合は粘性土の場合と同様に排水されにくくなった（ケース4,7,10）。

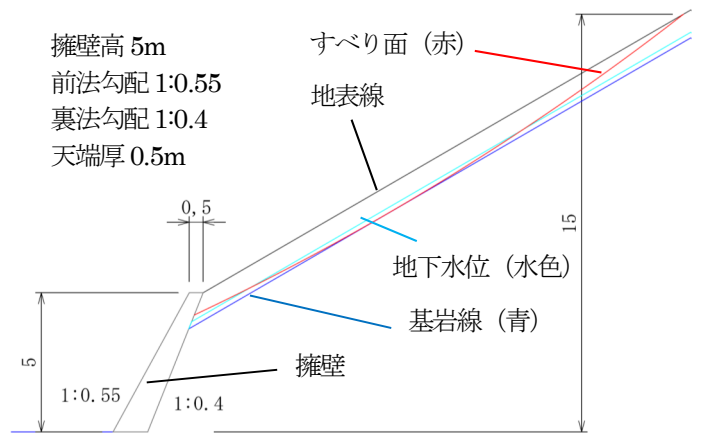


図-1 解析断面の一例（ケース5~7）

土層厚を変化させたケースでは、砂質土の面積率は層厚変化の影響はなく斜面安全率もほぼ同じ値となったが、層厚が厚いほど面積率低下量は大きくなった（ケース3⇔6）。粘性土の面積率低下量はもともと小さく層厚変化の影響はあまり見られない（ケース1⇔5）が、ケース1は初期水位を高く設定したためもとの面積率が大きく、斜面安全率は0.83と低くなった。基岩勾配の変化させたケースでは、砂質土で面積率が大きく増加し、斜面安全率が低下した（ケース6⇔9）。

透水性が低い粘性土と排水管が閉塞しているケースで排水時に斜面内に地下水が残留する結果となったが、斜面安全率では粘性土よりも砂質土のほうが低下する結果となった。これは土質強度定数の影響であり、せん断抵抗角が大きい砂質土のほうが水位変化ですべり面の抑止力が大きく低下するためである。

3 施設の安定性評価

前章で報告した浸透流解析を用いた斜面の安定性評価では、斜面安定を考えるために最大抑止力円弧による検討を実施したが、施設の安定性を考えるうえでは、円弧すべり土圧ではなく裏込め土圧や試行クサビによる土圧で設計された擁壁、および崩壊土砂の衝撃荷重に対応した擁壁に対して検討を行うほうが実際的である。そこで本章では、実際的な外力条件にて、浸透流解析を実施せずに擁壁背面の水位条件を仮定してその安定性を評価した結果について報告する。

3.1 施設の安定計算の諸条件

表-3に検討ケースを示す。大きく分けて3つのケースとしており、ケース1~4は裏込め土圧+崩土の堆積土圧での設計、ケース5~8は裏込め土圧+崩土の衝撃力での設計、ケース9~12は裏込め土圧+崩土の堆積土圧+慣性力での設計である。

3つのケースでそれぞれ、①施設設計のための安定計算、②施設冠水時の安定計算、③排水時に排水管が閉塞している場合の安定計算、④施設が安定となる限界の背面水位高を探索するための安定計算、を実施した。

3.2 施設の安定性評価の結果

安定計算の結果を表-3に併記した。施設設計時の荷重では転倒の基準で施設規模が決まる条件であっても、裏込め部分に水が滞留して水圧がかかると滑動の基準で不安定化する結果となった。また、衝撃力に対応した擁壁であっても、擁壁が耐えられる衝撃力よりも擁壁背面が満水となったときの水圧のほうが力は大きく、擁壁背面が満水となって水圧がかかると擁壁は滑動の条件で不安定となった。底版幅が狭いほど、擁壁の自重が軽いほど滑動の安全率が低下するため、背面水位高が同じ場合は施設の高さが低いほど、施設の前法勾配と裏法勾配の差が小さいほど不安定化しやすくなる。

4 おわりに

大規模な氾濫が危惧される地域における急傾斜地では、冠水が解消される時に斜面が不安定化する可能性があるため、冠水解消直後に斜面に近づくことに危険性があることを認識する必要がある。その場合、施設前面の水位低下速度が速いほど、崩壊土層の土質強度定数の粘着力が小さく内部摩擦角が大きいほど、急傾斜地の基岩の勾配が緩いほど、不安定土層の層厚が厚いほど不安定化しやすい。また、大規模な氾濫が危惧される地域において新たに施設を計画する場合、または既存施設において冠水の影響による安定性変化を評価する場合は、ある程度の水圧（冠水予想高さや排水管下段の閉塞を考慮した高さなど）を想定して照査することが考えられる。

以上

表-2 水位変化による斜面安全率計算結果

ケース No.	土質	水位条件	面積率 (%)	面積率低下量 (ポイント)	斜面安全率 (-)
1	粘性土	排水時水位	45.0	0.7	0.83
2		排水時水位-排水管閉塞	45.7	0.0	0.83
3	砂質土	排水時水位	15.9	9.2	0.89
4		排水時水位-排水管閉塞	25.1	0.0	0.84
5	粘性土	排水時水位	16.2	0.9	0.95
6	砂質土	排水時水位	16.0	6.0	0.89
7		排水時水位-排水管閉塞	21.9	0.1	0.86
8	粘性土	排水時水位	25.5	0.9	0.93
9	砂質土	排水時水位	33.9	7.4	0.75
10		排水時水位-排水管閉塞	41.1	0.2	0.71

表-3 施設の安定計算結果

No.	ケース	施設高さ (m)	底版幅 (m)	作用衝撃力 (kN)	水位条件		作用外力	滑動			転倒			安全基準の種類	
					パターンの考え方	施設背面水位高		計算値 F _s	安定基準	判定	計算値 d	安定基準	判定		
1	もたれ式擁壁の裏込め部分に冠水時の水が残った場合の安定性検討	5.0 根入れ0.5	0.94	30.8	水位なし	0m	裏込め土圧+堆積土圧	1.68	1.50以上	OK	0.6	0.470以上	OK	常時の安全基準	
2					施設の冠水時	4.5m	裏込め土圧+堆積土圧+水圧	1.88	1.00以上	OK	0.673	0.313以上	OK		
3					施設前面排水時	4.5m		0.25		OUT	-3.478		OUT		
4					限界安定時の水位	1.6m	1.03	OK	0.425	OK					
5	衝撃力対応のもたれ式擁壁の裏込め部分に冠水時の水が残った場合の安定性検討	6.0 根入れ0.5	2.3	30.8	水位なし	0m	裏込め土圧+衝撃力	1.59	1.00以上	OK	0.833	0.766以上	OK	衝撃力作用時の安全基準	
6					施設の冠水時	5.5m	裏込め土圧+水圧	3.13	1.00以上	OK	1.711	0.766以上	OK		
7					施設前面排水時	5.5m		0.50		OUT	-0.424		OUT		
8					限界安定時の水位	3.5m	1.03	OK	1.154	OK					
9	もたれ式擁壁で地震時の安定性検討が必要な施設高さにした場合の冠水時の安定性検討	8.5 根入れ0.5	1.45	30.8	水位なし	0m	裏込め土圧+堆積土圧+慣性力	1.24	1.20以上	OK	0.659	0.483以上	OK	地震時の安全基準	
10					施設の冠水時	8.0m	裏込め土圧+堆積土圧+水圧	2.35	1.00以上	OK	1.557		OUT		-0.299
11					施設前面排水時	5.0m		0.53		OUT					
12					限界安定時の水位	3.1m	1.03	OK	1.073	OK					

【参考文献】 1) 国土交通省 水管理・国土保全局：貯水池周辺の地すべり等に係る調査と対策に関する技術指針・同解説，2020。 2) (財) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版），2012。 3) 急傾斜地崩壊防止工事技術指針改訂委員会：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例—急傾斜地崩壊防止工事技術指針一，（一社）全国治水砂防協会，2019。