

貯水位変動に伴う地すべりの安定性評価に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令4～令6

担当チーム：地質チーム

研究担当者：品川俊介、矢島良紀、梶山敦司、
吉田直人、須藤大智

【要旨】

本研究は、ダムの貯水位降下速度が地すべりの安定性に与える影響を把握することを目的として、観測された貯水位および孔内水位に基づいて算出した残留率を整理するとともに、浸透流解析の残留率設定への適用性を検討した。地下水位追従性の分析の結果、残留率はほとんどの場合が50%以下、8割程度が30%以下となった一方、貯水位降下速度との間に明瞭な相関はみられなかった。また、残留率の経時変化は孔内水位の貯水位への追従性に応じて4パターンに分類された。さらに浸透流解析は降下速度に応じた地すべり内地下水位の推定に有効であるが、岩盤の透水係数は数オーダーの幅があり、亀裂を含む岩盤の透水係数設定には課題があることがわかった。
キーワード：貯水池周辺地すべり、残留間隙水圧の残留率、浸透流解析、透水係数

1. はじめに

現在、貯水池周辺地すべりの対策検討では、貯水位変化に伴う地下水位の追従性の違いによる地すべりの安定性への影響を考慮するため、基準水面法による残留間隙水圧の残留率（以下、残留率と記す）を用いた安定解析が行われている¹⁾。残留率とは、貯水位降下速度よりも地下水位降下速度が遅くなることにより土塊内に発生した残留間隙水圧について評価するため、貯水位降下前後の間隙水圧の割合を示したものである（図-1）。安定解析における残留率の設定は、十分なデータが無い場合には安全余裕をもって50%とすることが一般的であり、特定の条件を満たした場合のみ30%とすることができるとされている¹⁾。また、残留率の設定に浸透流解析が用いられる場合があるが、その適用性は個別事例での検証にとどまっている。

このような残留率を用いた安定解析は、ゆっくりとした貯水位の下降を想定している。しかし、近年の気候変動の影響を受け、流水型ダム等急速な貯水位変動を伴う運用が行われ始めている。一方で、貯水位降下が地すべりの安定性に与える影響は、貯水位降下速度が通常1 m/day程度とゆっくりである試験湛水に基づいて評価される場合が多く、急激な貯水位降下が残留率に与える影響の把握が課題になっている²⁾。

本研究は、貯水位降下速度や地質等と地下水位追従性との関係を明らかにするとともに、浸透流解析を基にした地下水位の推定方法を検討することで、残留率設定を合理化し、効率的な事業実施に貢献することを

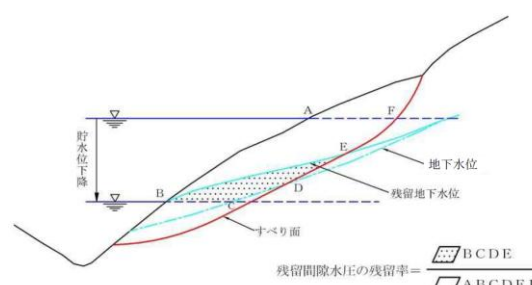


図-1 残留間隙水圧の残留率の概念図¹⁾

目的とする。

2. 研究方法

2.1 地すべり内の地下水位追従性の分析と岩盤性状の対比

2.1.1 残留間隙水圧の残留率

地下水位追従性の把握のため、残留率を指標とした分析を行った。7ダム（A～G）の複数の地すべり土塊と貯水位降下イベントの組み合わせによる、計117ケースを対象に観測された貯水位および孔内水位をもとに図-1に基づき残留率を算出し、貯水位降下速度、地質・破碎度等と残留率の関係について考察した。

2.1.2 貯水位変化時の残留間隙水圧の残留率の経時変化

前述のとおり、基準水面法における残留率は貯水位降下開始時の水位と貯水位降下終了時の水位から算出され、時間の概念はない。一方で、実際の残留率は貯水位変化に応じて時々刻々と変化すると考えられる。そのため、貯水位降下1 m毎に、貯水位と孔内水位の

変化から実際の残留率を算出し経時変化を求めるとともに、地下水位の貯水位への追随性との関係について考察した。経時変化の検討は、残留率を算出した 117 ケースのうち、貯水位変化に孔内水位がよく追随するような様子がみられた 30 ケースを抽出し、実施した。

2.2 地すべり内地下水位の推定法の検討

地すべり内の地下水位推定にあたっては、実測に基づく残留率の推定のほか、浸透流解析により地下水位面を推定し残留率を求める方法もある。浸透流解析では、貯水位降下速度を考慮した検討を行うことが可能であるが、現段階では、浸透流解析の適用性については個別事例の検証にとどまるとともに、適切な透水係数の設定に苦慮することも多い。そこで、貯水池地すべりを対象とした現場透水試験や浸透流解析結果のある 6 ダム (O~T) (ただし、T ダムは浸透流解析結果のみ) において、調査・解析結果を収集した。その結果を用いて、貯水池地すべりの検討で一般的に用いられる破碎度区分³⁾と透水係数との関係や貯水位降下速度と解析で求めた残留率の関係、現場透水試験と浸透流解析のそれぞれで得られた透水係数の関係を整理し、浸透流解析の適用性や課題について考察した。

3. 結果と考察

3.1 地すべり内の地下水位追随性の分析と岩盤性状の対比

3.1.1 残留間隙水圧の残留率

検討対象となった 117 ケースのうち、残留率が算出できた 6 ダム (A~E、および G) 94 ケースの結果を頻度分布として図-2 に示す。なお、図-2 中のグレーで塗られた部分は、設定された長期安定水位が観測された孔内水位よりも著しく低いことにより残留率が見かけ上高く算出されたもの、および地すべり土塊中の湛水部分の面積が非常に小さいことで残留率算出の精度が担保できなかったものを示している。このような場合は、本報告における考察から除外した。図-2 より、ほとんどが残留率 50%以下であり、全体の約 8 割が残留率 30%以下であった。

各ダムにおける残留率を図-3 に示す。今回検討対象となったダムでは、残留率の最大値が 50%程度以下となっていた。よって、現在の指針における、十分なデータが無い場合には残留率を 50%とする方法は、安全余裕をもつことができていると考えられる。一方で、今回検討対象としたすべてのダムで、残留率の中央値は 20%程度以下と 30%よりも低い残留率となっていた。したがって、残留率 50%は大きな安全余裕をもった設

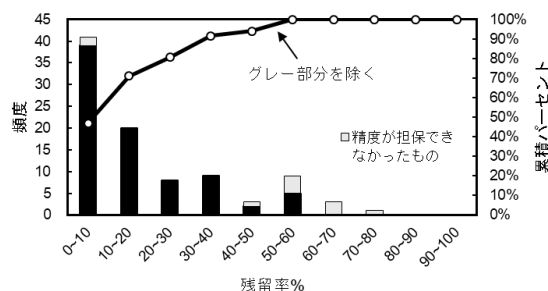


図-2 残留間隙水圧の残留率の頻度分布

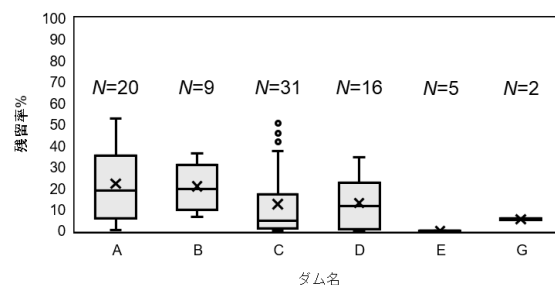


図-3 各ダムにおける残留率

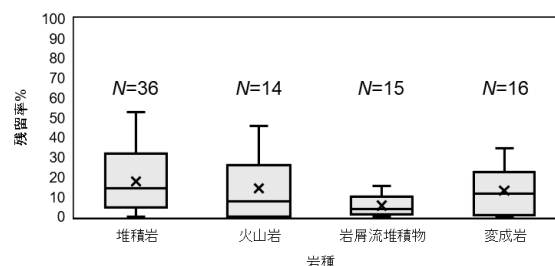


図-4 地質と残留率の関係

計となっている可能性があることから、30%が適用可能かどうかを、地質や透水性等の観点からよく検討する必要があると考えられる。

また、地質と残留率の関係について図-4 に示す。なお、各地すべり土塊において貯水位が変動する範囲に該当する地質を対象として検討を行った。また、図-4 中には、各地質の対象数が 5 以上のものについて記載している。図-4 より、今回対象となったすべての地質で、残留率の中央値は 20%未満であった。一方で、堆積岩および火山岩については 50%近い残留率の場合もあることから、引き続き、地質だけでなく亀裂等の岩盤性状を把握することが重要であると考えられる。

残留率と貯水位降下速度との関係について、図-5 および図-6 に示す。図-5 には、今回検討対象とした全ダムの結果をプロットした。また、図-6 には C ダムの 2 つの地すべり土塊における結果をプロットした。図-5 より、全体の結果からは、貯水位降下速度と残留率との間の相関は明瞭ではなく、貯水位降下速度が 0.5 m/day 未満と非常に小さい場合であっても 50%近い残留率を示す場合も見られた。一方で、図-6 より、一部

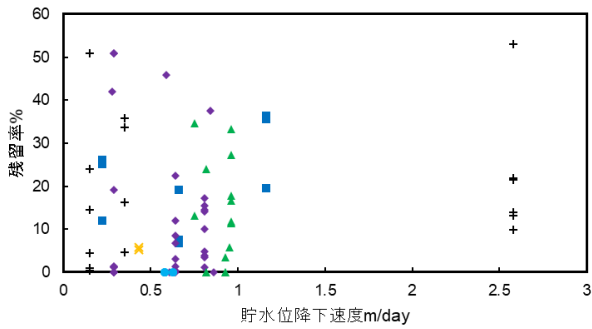


図-5 貯水位降下速度と残留率の関係

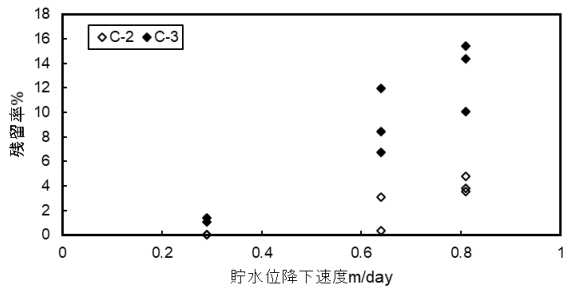


図-6 Cダムの2つの地すべり土塊における貯水位降下速度と残留率の関係

の地すべり土塊においては貯水位降下速度と残留率に正の相関が確認された。これらの2ケースのような場合、貯水位降下速度が1 m/day未滿と小さい場合には残留率が20%未滿と小さいが、急激な貯水位変動を伴う運用では大きな残留率となる可能性がある。この2ケースはどちらも岩屑流堆積物であったものの、他の地質においてもこのような関係になる可能性があることから、引き続きデータの蓄積が必要である。

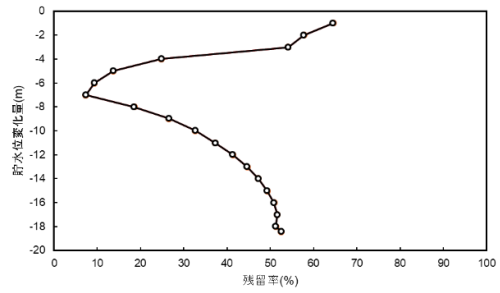
3.1.2 残留間隙水圧の残留率の経時変化

残留率の経時変化を検討した結果、多くが以下の①～④の4パターンに分類された。図-7に①～③の例を示す。また、今回検討対象とした30ケースの各パターンにおける割合を図-8に示す。

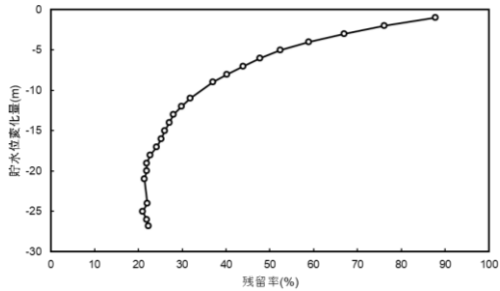
- ① 残留率が時間とともに減少後、増加に転じる
- ② 残留率が時間とともに一定程度の割合で減少後、減少がゆるやかになる
- ③ 残留率が時間とともに一定程度の割合で減少
- ④ 残留率が低く、あまり変化しない

①～④のパターンにおいては、貯水位変化に対する孔内水位の追随性に以下に示すような特徴がみられ、孔内水位の貯水位変化への追随性に基づいて残留率の経時変化のパターンが決定されていた。

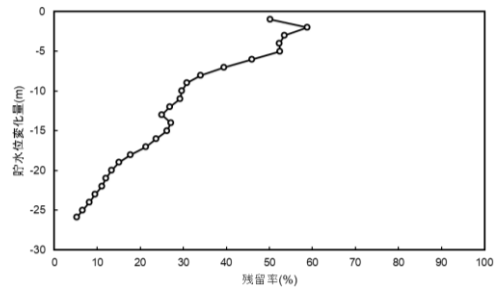
①貯水位降下時、各孔内水位は貯水位と同様の挙動あるいは貯水位からやや遅れる挙動を示し、その後は貯水位によらずに、安定水位で一定となっていた。



① 残留率が時間とともに減少後、増加に転じる



② 残留率が時間とともに一定程度の割合で減少後、減少がゆるやかになる



③ 残留率が時間とともに一定程度の割合で減少

図-7 残留間隙水圧の残留率の経時変化の例

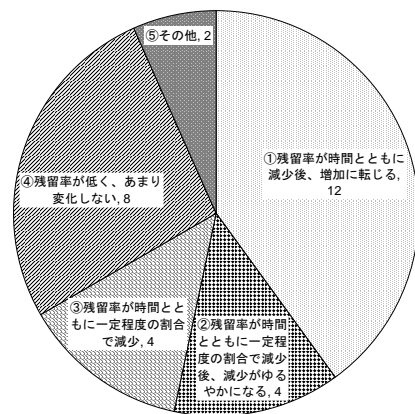


図-8 残留間隙水圧の残留率の経時変化における各パターンの割合

- ②貯水位降下開始からある程度は、孔内水位は貯水位と同様の挙動を示すが、以降は貯水位から遅れて低下していた。
- ③貯水位降下開始時から、孔内水位は貯水位から遅れて低下していた。
- ④孔内水位は貯水位とほとんど同じ挙動を示した。

②や③のパターンに該当する地すべり土塊には、残留率を貯水位降下開始時の水位と貯水位降下終了時の水位から求めた場合には30%を下回っていたとしても、貯水位降下中には残留率が50%を超える場合が確認された。また、残留率の経時変化パターンは各孔内水位における安定水位が大きく影響していた。したがって、既設のダムにおいて残留率を検討する際には、建設前と運用中の安定地下水位が異なる可能性があることに留意する必要があると考えられる。

3.2 地下水位推定への浸透流解析の適用性検討

地すべり内地下水位を浸透流解析により推定し算出した残留率について、貯水位降下速度との関係を図-9に示す。どのダムにおいても両者には正の相関が確認された。また、貯水位降下速度が比較的ゆるやかな場合には残留率が50%未満であっても、数十 m/day と急激な貯水位降下である場合には、解析上50%を大きく超えるような残留率が算出された例も確認された。

次に、現場透水試験により得られた透水係数と浸透流解析により得られた透水係数について、破碎度区分毎に整理した結果を図-10に示す。図-10より、破碎度区分によらず、現場透水試験、浸透流解析結果ともに透水係数は数オーダーの幅を持っていた。特に、無破碎の現場透水試験結果がもっとも大きな幅をもち、Cr1などの破碎の程度が低い岩盤で透水係数の幅が大きい傾向にあった。また、無破碎の場合を除いて、現場透水試験による透水係数よりも浸透流解析による透水係数が高い傾向がみられた。これは、ダルシー則に基づく浸透流解析では、岩盤中の亀裂による局所的な高透水性を表現することが難しいためであると推察される。以上より、浸透流解析は地すべり内の地下水位を推定するために有効な手法であることが確認できたが、亀裂を有する岩盤の透水係数の設定には課題があることもわかった今後、急激な貯水位変動による残留率をより合理的に設定するには、既往の方法に加えて、亀裂流を考慮した検討を行う必要があると考えられる。

4. まとめ

- 1) 複数ダムにおいて観測された貯水位および孔内水位に基づいて残留率を算出した結果、設定された長期安定水位が著しく低いものおよび地すべり土塊中の湛水面積が非常に小さいものを除くと、残留率はほとんどの場合で50%以下、8割程度で30%以下であった。
- 2) 貯水位降下速度と残留率の関係について、全体では明瞭な相関がみられなかったが、一部の地すべり

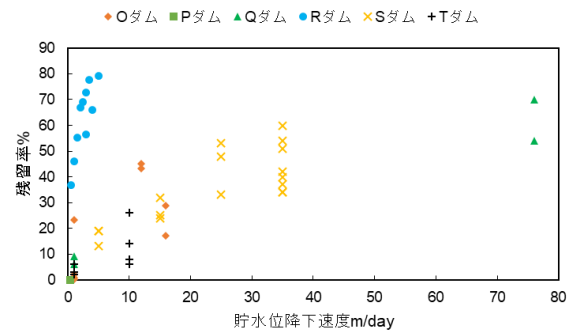


図-9 貯水位降下速度と残留率（浸透流解析により算出）の関係

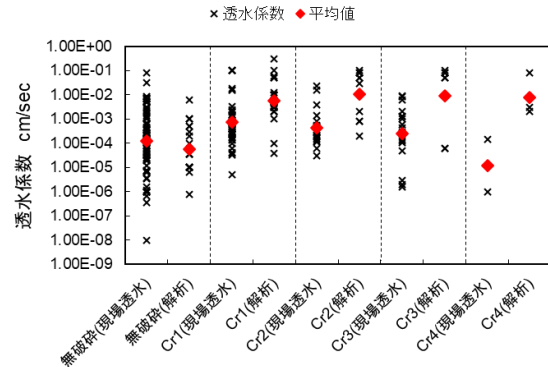


図-10 破碎度区分毎の透水係数

り土塊においては正の相関が確認された。

- 3) 残留率の経時変化は、孔内水位の貯水位追従性に応じて4パターンに分類された。また、既存の残留率算出方法に基づけば低い残留率となる場合であっても、貯水位降下中には高い残留率を示す場合もあることが明らかになった。
- 4) 浸透流解析による検討では、貯水位降下速度と残留率に正の相関が確認され、地すべり内地下水位の推定に有効であることを確認した。一方で、岩盤の透水係数は破碎度区分によらず数オーダーの幅があり、亀裂を有する岩盤の透水係数の設定には課題があることもわかった。
- 5) 急激な貯水位変動に伴う残留率の合理的な設定のためには、岩盤中の亀裂流を考慮した検討が必要であると考えられる。

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に係る調査と対策に関する技術指針・同解説、2019.3
- 2) 櫻井ほか：流水型ダムの設計、ダム技術、No.437、pp.8-13、2023.2
- 3) 脇坂ほか：地すべり移動体を特徴づける破碎岩—四万十帯の地すべりを例として—、応用地質、Vol.52、No.6、pp.231-247、2012

STUDY ON STABILITY OF LANDSLIDES AROUND DAM RESERVOIR UNDER FLUCTUATION OF RESERVOIR WATER LEVEL

Research Period: FY2022-2024

Research Team: Geology Research Team,

Geology and Geotechnical Engineering Research Group

Author: SHINAGAWA Shunsuke

YAJIMA Yoshinori

KAJIYAMA Atsushi

YOSHIDA Naoto

SUTO Taichi

Abstract: Countermeasures against landslides around the dam reservoir are designed by stability analysis considering residual pore water pressure. However, rapidly lowering reservoir water levels to deal with recent climate change may result in higher residual pore water pressure. Thus, it is necessary to understand the relationship between residual pore water pressure and the decline velocity of reservoir water level. Therefore, we conducted 1. Evaluation of residual pore water pressure derived from measured reservoir water level and groundwater level, 2. Assessment of the applicability of seepage analysis to predict residual pore water pressure. As a result, most of the derived residual pore water pressure was less than 50% and eight-tenths were less than 30%. On the other hand, there was no clear correlation between residual pore water pressure and the rate of decline of reservoir water level. The change of residual pore water pressure over time was classified into 4 patterns with trackability of groundwater to reservoir water level. In addition, the effect of fractures in bedrock on groundwater flow needs to be understood before applying seepage flow analysis to evaluate residual pore water pressure.

Keywords: Landslides around dam reservoir, Residual pore water pressure, Seepage flow analysis, Hydraulic conductivity