

降雨浸透を考慮したため池堤体のすべり破壊に対する安定性評価手法の検討

宮崎大学	学生会員	○宮崎睦士
宮崎大学	正会員	神山 惇
宮崎大学	正会員	末次大輔
宮崎大学	正会員	福林良典
大阪工業大学	正会員	藤本哲生

1. はじめに

令和元年 8 月 26 日から 8 月 29 日にわたり、前線によって形成された線状降雨帯の影響により九州北部において記録的な豪雨となった¹⁾。この豪雨により、主に佐賀県および長崎県において観測史上 1 位となる雨量が観測され¹⁾、河川の氾濫や住宅浸水、土砂災害など甚大な被害が発生した。ため池については福岡県および佐賀県において 44 箇所被害が生じた²⁾。写真-1 は、佐賀県武雄市内にある吉ノ谷ため池の堤体下流法面にすべり破壊が起こった様子である。

現在のため池の設計指針³⁾では、豪雨時における堤体のすべり破壊に対する安定性を評価する際、貯水位を設計洪水水位として常時満水位からの堤内浸潤線の上昇のみを考慮している。しかし、豪雨時には堤体表面からの降雨浸透も堤内浸潤線の形成に大きな影響を及ぼしていると考えられる。そこで、本研究ではすべり破壊が発生した吉ノ谷ため池を対象に、2 次元飽和-不飽和浸透流解析を用いて、豪雨による貯水位の変動と堤体表面からの降雨浸透を同時に考慮した安定性評価手法の妥当性を検討した。また、降雨の有無による安全率の違いを検討した。

2. 解析方法

(1) 吉ノ谷のため池の概要

図-1 に安定解析の対象とする吉ノ谷ため池の堤体の断面図を示す。実測値より堤高 7.56m、常時満水位 6.36m、上流側法面勾配は 1:1.3、下流側法面勾配は 1:1.4 となっている。ため池台帳によると、貯水量は約 12,000m³、堤体の型式は均一型である。

(2) ため池被災時の雨量データ

図-2 にレーダ雨量データの XRAIN より得た吉ノ谷ため池直上の 2019 年 8 月 26 日から 29 日までの 1 時間および積算降水量の経時変化を示す。最大の 1 時間降水量は約 60mm、積算降水量は 428mm であった。

(3) 非定常飽和-不飽和浸透流解析およびすべり安定解析



写真-1 吉ノ谷ため池の被災状況

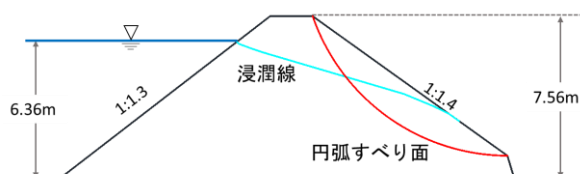


図-1 解析に用いた堤体断面図
(常時満水位時の浸潤線)

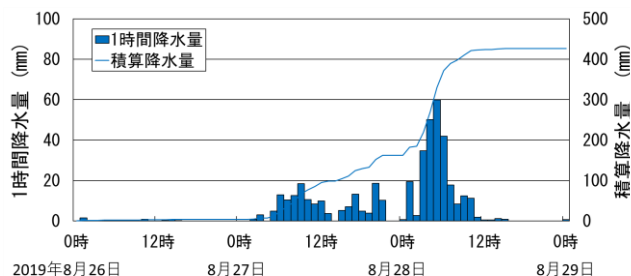


図-2 吉ノ谷ため池直上の降雨データ

非定常飽和-不飽和浸透流解析およびすべり安定解析は、吉ノ谷ため池における 2019 年 8 月 27 日 1 時から 28 日 18 時まで (2520 分) の降雨を対象として実施した。この期間における貯水位変動は、1 時間および 10 分間降水量を用いて計算により推定した。降雨強度に 1 時間降水量の最大値を適用し、合理式により洪水ピーク流量 Q_p を算出した。この Q_p から水路流入型の洪水吐における越流水深 H_d を求め、常時満水位に加算することでため池の貯水位変動を推定した。なお、詳細な設定方法は文献 4) を参照されたい。浸透流解析コードは、AC-UNSAF2D を使用し、3 ケースの堤内浸潤線の経時変化を求めた。ケース 1 は貯水位の変動のみを考慮した。ケース 2 は貯水位を

常時満水位で一定とし、堤体への降雨浸透のみを考慮した。ケース 3 は貯水位の変動と降雨浸透を同時に考慮した。また、浸透流解析で得られた堤内浸潤線を基に修正フェレニウス法により下流面のすべり破壊に対する安全率 F_s を求めた。すべり円弧の形状は、図-1 に示した円弧に固定した。は表-1 に、室内土質試験から設定した吉ノ谷ため池の解析パラメータを示す。なお、不飽和浸透特性と比貯留係数は、文献 5) を参考に設定した。

3. 解析結果と考察

図-3 に、解析期間中のため池の貯水位および 10 分間降水量の経時変化を示す。貯水位は常時満水位の 6.36m から豪雨により上昇し、最高水位は 6.57m となるが、堤高は 7.56m であるため越流していないことが分かる。図-4 に浸透流解析により得られた各ケースの浸潤線を示す。降雨開始後 500 分では各ケースの浸潤線に大きな変化は見られない。しかし、降雨開始後 1710 分ではケース 1 の浸潤線に変化は見られないが、ケース 2 とケース 3 では上・下流面付近の浸潤線が上昇している。図-5 に、各ケースにおける F_s の経時変化を示す。ケース 2 とケース 3 は、降雨開始後 1500 分以降の激しい降雨により F_s は 1 を下回っている。一方、ケース 1 では F_s は 1 を下回らない。したがって、降雨浸透の有無によって F_s が大きく異なるといえる。ケース 2 とケース 3 の F_s は、いずれの時間においてもほぼ同じ値となった。なお、ため池設計指針に基づき、ケース 1 で得られた最高水位 6.57m とした定常浸透流解析により得られた浸潤線を基に F_s を算出したが、 F_s は 1 を上回る結果となった。

4. まとめ

堤体下流面にすべり破壊を生じたため池を対象とし、貯水位変動と降雨浸透を考慮した浸透流解析および安定解析を行うことにより、実現象を概ね再現することができた。したがって、ため池堤体の下流面の安定性評価の際には貯水位の変動だけではなく堤体への降雨の浸透も考慮することが重要である。近年、全国各地で豪雨災害が多発していることから、豪雨時における堤体の安定性評価手法を早急に確立していきたい。

謝辞 本研究では佐賀県武雄市に多大なご協力をいただいた。関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 佐賀地方気象台「令和元年 8 月 26 日から 30 日にかけての佐賀県の大雨について」
https://www.jmanet.go.jp/fukuoka/gyomu/saigai_sokuho

表-1 堤体の解析パラメータ

透水係数 k (cm/s)	飽和重量 γ_{sat} (kN/m ³)	湿潤重量 γ_i (kN/m ³)	粘着力 c' (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ' (°)
1.7×10^{-4}	19.3	18.9	7.3	32.6

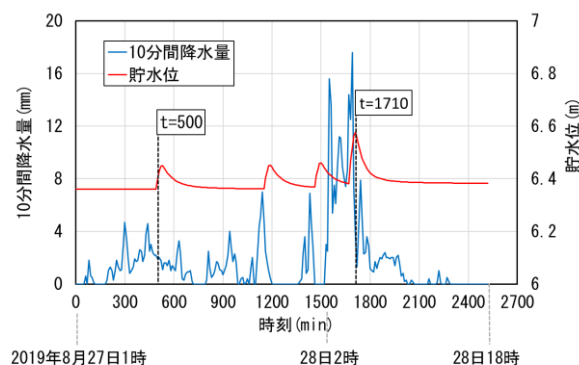


図-3 貯水位の経時変化

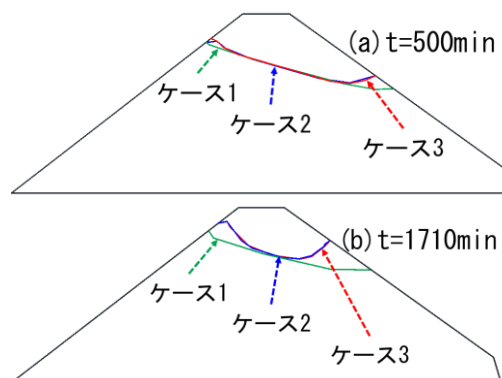


図-4 各ケースの浸潤線

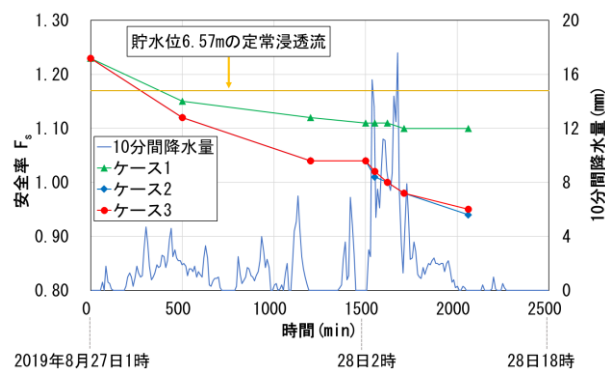


図-5 各ケース安全率の経時変化

_siryo.html, 2020 年 12 月 30 日閲覧。

- 2) 農林水産省「令和元年 8 月の前線に伴う大雨に係る被害情報」
<https://www.maff.go.jp/j/saigai/ooame/20190826/index.html>, 2020 年 12 月 30 日 閲覧。
- 3) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計指針「ため池整備」, 2015。
- 4) 神山惇・藤本哲生・末次大輔：令和元年 8 月豪雨によって決壊した佐賀県小城市におけるため池の被災メカニズムに関する一考察, 自然災害科学 Vol.39, 特別号, pp33-43, 2020。
- 5) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き, 2012。