

ため池の地震時および豪雨時の総合リスク評価

岡山大学大学院環境生命科学研究科 正会員 ◦西村伸一・柴田俊文・珠玖隆行
 愛媛県 非会員 古宅瑞穂
 農業・食品産業技術総合研究機構 非会員 水間啓慈

1. はじめに

本研究は、ため池を対象に、地震時の損傷確率と豪雨時の損傷確率を求めることを目的としている。第1に、岡山県における南海地震に対応する任意年の損傷確率を求めている。第2に、豪雨の統計モデルを作成し、この事象に対する損傷確率を求める。この二つの確率を総合化し、今後50年におけるため池の損傷確率を算定し、リスク評価する方法を提案する。

2. 解析対象の概要

図-1に解析対象である、岡山県内のため池サイトHの断面を示す。図(a)は、原断面であり、図(b)は、前刃金工法で改修された後の断面を示しており、本報告では、改修によるリスク低減を解析によって求めている。また、洪水対策としては、改修で、洪水吐の機能が補強されている。

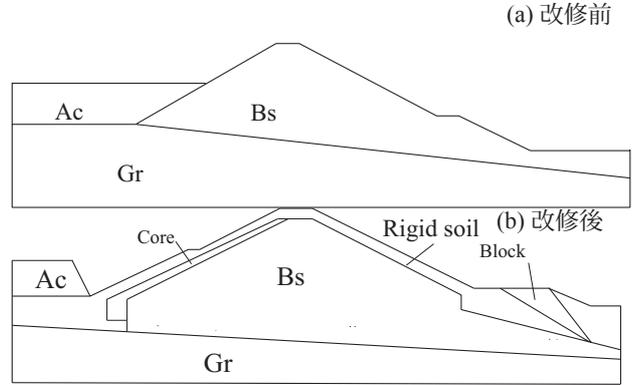


図-1 解析対象ため池の断面

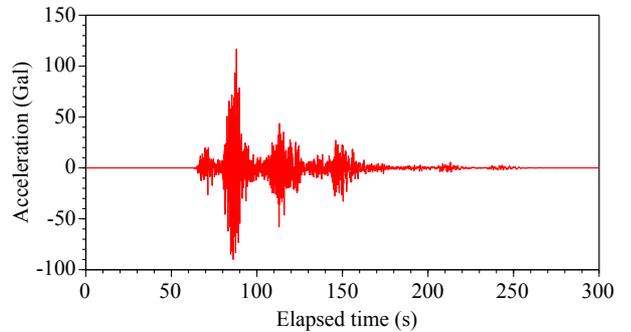


図-2 サンプル地震波形(南海トラフ地震)

3. 地震ハザード

図-2には、解析に用いる南海トラフ地震を想定したサンプル波を示している。次に、南海トラフ地震を想定した、岡山県内のため池サイトH付近のハザード関数を図-3に与える。ハザード曲線とは、地震によってもたらされる地震動の強さを横軸に、その地震の発生超過確率を縦軸に示したものであるが、今回はJ-SHIS¹⁾からハザードデータを入手しており、想定される今後50年の年間の超過確率を示している。

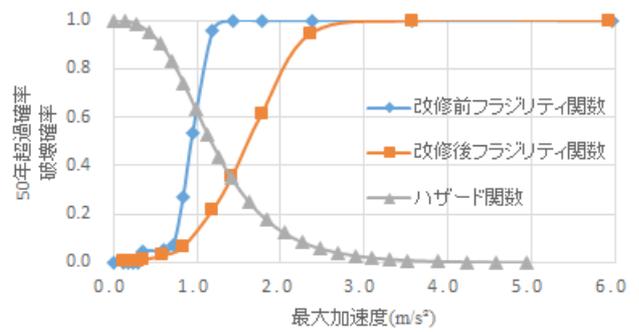


図-3 地震ハザードおよびフラジリティ曲線

4. フラジリティ解析

地震時安定解析は、図-2のサンプル波を用いて、振幅を調整することによって、地震強度の異なる応答解析を行い、堤体内の応力状態を推定する。堤体は、線形弾性状態を仮定し、Liqca²⁾による有効応力解析を実施している。

用いた材料定数は表-1に与えられている。堤体基盤の加速度が最大時の応力状態に基づいて円弧すべり解析を行うものとする。解析においては、堤体強度の強度の空間分布と不確定性を考慮したモンテカルロ法を実施する³⁾。モール・クーロンの破壊基準を利用し、円弧すべり解析によって安全率 F_s を求

表-1 解析に用いた材料定数

*: N_{sws} より推定

| Materials | Young's modulus (kN/m ²) | Cohesion (kN/m ²) | Internal friction angle (°) | Unit weight (kN/m ³) | Permeability (m/s) | Poisson's ratio |
|------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Bs (Sat) | 12,350 | 0 | * | 20.9 | 8.55×10^{-6} | 0.3 |
| Bs (Unsat) | 12,350 | 0 | * | 19.8 | 8.55×10^{-6} | 0.3 |
| Ac | 1,000 | 0 | 37.4 | 15.0 | 2.71×10^{-8} | 0.2 |
| Core | 16,800 | 0 | 37.4 | 20.9 | 9.95×10^{-8} | 0.2 |
| Rigid soil | 16,800 | 0 | 37.4 | 20.9 | 8.55×10^{-6} | 0.3 |
| Block | 16,800 | 200 | 50.0 | 23.0 | 8.55×10^{-6} | 0.3 |
| Gr | 25,000,000 | 200 | 50.0 | 23.0 | 6.06×10^{-6} | 0.3 |

キーワード：信頼性設計, 損傷確率, ため池, 地震時リスク, 洪水時リスク, 破堤
 連絡先 (〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 岡山大学環境理工学部・TEL: 086-251-8162)

め、モンテカルロ法の試行によって、破壊確率が式(1)から導かれる。破壊確率を設定した最大加速度ごとに求めたフラジリティ曲線 $F(a)$ を図-3に示している。フラジリティは、堤体の改修前と改修後の断面について求められている。図-3の地震ハザード関数を $H(a)$ とすると、任意の期間における損傷確率 P_{fe} が式(2)によって定義される。

$$F(a) = \text{Probability}(F_s < 1) \quad (1) \quad P_{fe} = -\int_0^\infty H(a)F(a)da \quad (2)$$

4. 越流破堤確率の算定方法

ため池への流入量が増大し、洪水吐の設計限界越流水深 h_d を、洪水時のピーク越流水深 h_p が上回った場合に越流破堤が生じるものと仮定する。洪水吐からの洪水流出量と降雨による集水域からの流入量と収支を考慮して、連続降雨72時間中のピーク越流水深 h_p が求められる。降雨は、岡山市における44年間の降雨データから、72時間連続降雨をモデル化し、乱数によって疑似降雨を作成し、モンテカルロ法の試行から越流確率を求める⁴⁾。年最大72時間降雨量の確率分布を図-4に示し、疑似降雨のサンプルを図-5に示している。任意年に対する越流確率 P_{fo} は、 $h_d < h_p$ を満足する回数を総シミュレーション回数で割った値として計算される。

5. 浸水域の推定

破堤した場合の、ため池からの流出による浸水域と最大浸水深の推定を、浅水方程式を有限体積法によって解く方法を用いて実施している。結果を図-6に示す。ここでは、浸水深5mm以上の領域を被害域と見なしている。この結果に基づいた土地利用区分ごとの被害算定額を表-2に示している。これらの結果から、破堤が生じた場合のサイトH付近の被害額は、C=196百万円と推定される。

6. リスク評価

表-1に、今後50年における地震と洪水による損傷確率をまとめている。地震に関する50年損傷確率 P_{fe50} は、式(2)の $H(a)$ が、図-3に示される関数の場合に相当する。越流破堤に関する50年損傷確率 P_{fo50} は、任意年に関する越流確率 P_{fo} から式(3)で算定される。最終的に、 P_{fe50} および P_{fo50} から、総合損傷確率 P_{all} が式(4)から計算される。これに、浸水被害額 C を乗じて総合損傷リスクが得られる。

$$P_{fo50} = 1 - (1 - P_{fo})^{50} \quad (3) \quad P_{all} = P_{fe50} + P_{fo50} - P_{fe50} \cdot P_{fo50} \quad (4)$$

表によると、改修前総合損傷リスクは約1億5千万円、改修後が約8400万円となった。

7. まとめ

今後50年における地震と豪雨による損傷確率と解析によって求めた。この結果に基づき、破堤による損失を考慮して、異なる2つの事象の総合的なリスク評価を行うことができた。

引用文献

- 1) 地震防災科学技術研究所: 確率論的地震動予測地図, ハザードカーブデータ, 2) LIQCA2D11・LIQCA3D11 (2011年公開版) 資料(2011), 3) 鈴木誠・西村伸一・高山裕太・村上章・藤澤和謙: 堤防の内部診断とリスク評価, 構造物の安全性および信頼性, Vol.7, pp.623-629 (2011), 4) 西村伸一・珠玖隆行・柴田俊文・藤澤和謙: 豪雨時の越流破堤に対するため池堤体の信頼性設計, 地盤工学会誌, Vol.63, No.5 (2015)

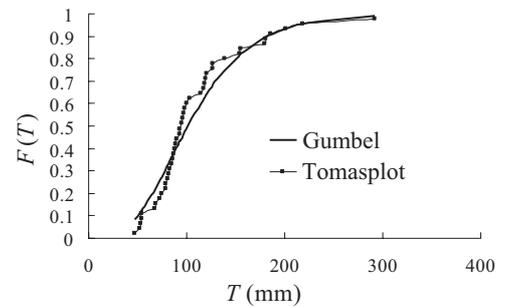


図-4 年最大72時間連続降雨量

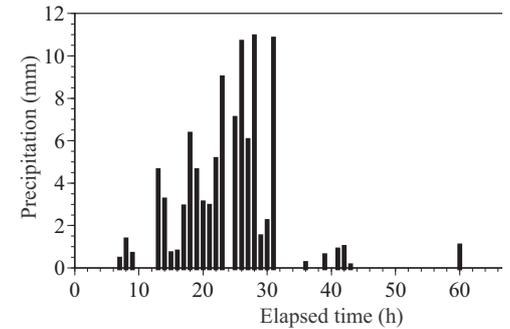


図-5 疑似降雨の作成例

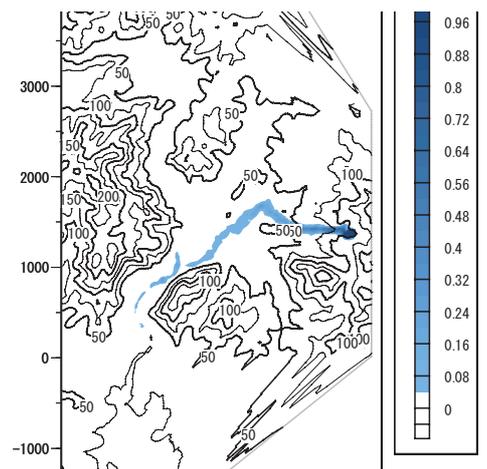


図-6 破堤による浸水域と最大浸水深 (m)

表-2 算定された被害額

| 区分 | 被害額(千円) |
|----------|---------|
| 農地 | 4,200 |
| 農作物 | 9,028 |
| 住居 | 105,000 |
| 事業所 | 35,961 |
| 公共建物 | 4,796 |
| 農業用納屋 | 0 |
| 営業停止損失 | 20,607 |
| 家庭の応急対策 | 9,675 |
| 事業所の応急対策 | 7,182 |
| 合計 | 196,449 |

表-3 50年損傷確率とリスク

| | 改修前 | 改修後 |
|-------------|---------|--------|
| 地震時50年損傷確率 | 0.6882 | 0.4294 |
| 豪雨時50年損傷確率 | 0.2337 | 0.0000 |
| 50年総合損傷確率 | 0.7611 | 0.4294 |
| 総合損傷リスク(千円) | 149,517 | 84,357 |