

アースダム下流域における地震時リスク評価

岡山大学大学院環境生命科学研究科 正会員 ○西村伸一・珠玖隆行・柴田俊文
岡山市 非会員 寄贈東加
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、地震発生～ため池破堤による氾濫被害までの一連の現象をモデル化し、ため池の地震時リスク評価を行うことを目的としている。第一に、岡山県における50年間の南海地震に対応するハザード曲線を求めている。さらに、地震応答解析を実施し、推定された応力状態に円弧すべり解析を適用することによって、ため池堤体のフラジリティ評価を行っている。これらを基に、今後50年における損傷確率を算定している。また、地震が発生し、ため池が破堤した際の氾濫解析を実施し、周辺地域の浸水被害額を算定している。最終的に、損傷確率と浸水被害額から地震時リスクを算定し、堤体の改修前後の地震時リスクを比較することによって改修効果を評価している。

2. 損傷確率 ため池堤体サイトHにおける今後50年における損傷確率をハザード曲線とフラジリティ曲線から算定している。本研究では、堤体の改修前と改修後の堤体断面の解析を行っている。堤体のモデルを図-1に、解析に用いた材料定数を表-1に示す。堤体内間隙水圧分布を推定するためにAC-UNSAF¹⁾を用いて浸透流解析を行い、確定した。結果を図-2に示すが、改修後堤体では、傾斜型の不透水性ゾーンが施工されることによって、水面が降下し、これが安全性の向上に大きく寄与することになる。さらに、結果に基づいて、動的有限要素法LIQCA²⁾による弾性有効応力解析を行い、堤体内の応力状態を推定している。

解析に用いた入力地震波として、レベル2地震動タイプ1-I種地盤を仮定し³⁾、図-3に示す入力地震波を用いている。計算によって求めた最大加速度時に対応した有効応力に基づいて円弧すべり解析を行い、堤体の破壊確率を求め、フラジリティ関数を求めている。

円弧すべりにおいては、堤体の内部摩擦角をスウェーデン式サウンディングから推定からされるN値、 N_{sws} から、標準貫入試験 N_{spt} を推定し、さらに内部摩擦角 ϕ_d に変換している⁴⁾。

$$N_{sws} = 0.67N_{sw} + 0.002W_{sw} \quad (1)$$

N_{sw} : 半回転数 W_{sw} : 重錘の重さ

$$N_{spt} = (1 + 0.354\varepsilon_r)N_{sws} \quad (2)$$

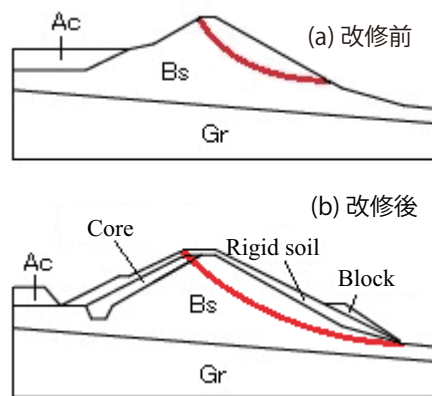


図-1 解析対象ため池の断面と最小安全率のすべり線

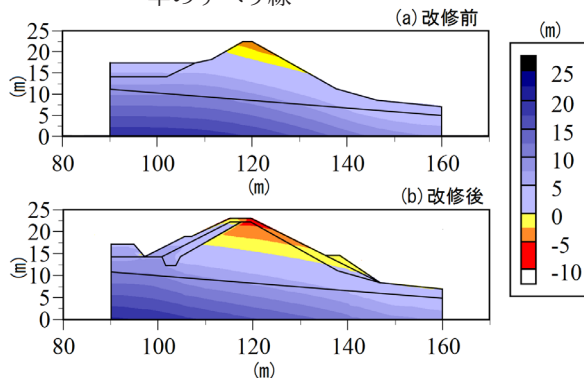


図-2 圧力水頭の分布（浸透流解析結果）

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

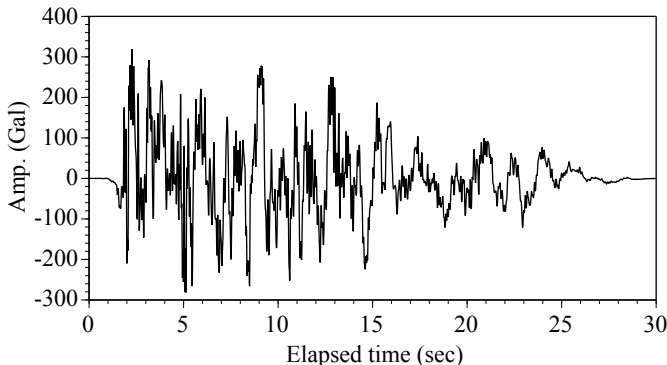


図-3 サンプル地震波（海洋型）

キーワード：信頼性設計、損傷確率、地震ハザード、ため池、地震時リスク、地盤物性値のばらつき
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）

ε_r : $N(0, 1)$ の正規確率変数

$$\phi_d = (20N_1)^{0.5} + 20 + 3.0\varepsilon_f \tag{3}$$

$$N_1 = N_{SPT} / (\sigma_v' / 98)^{0.5}$$

この間算式には、換算誤差として、 $3.0\varepsilon_f$ が加えられている。 ε_f は $N(0, 1)$ の確率変数である。すなわち、式(3)の換算式は、3.0の標準偏差をもつ。

フラジリティ解析においては、 N_{sws} の空間分布と換算誤差の確率変数 ε_r および ε_f に乱数が割り当てられてモンテカル口法により確率を計算した。モンテカル法は1000回繰り返している。一方、ハザード関数はJ-SHIS⁵⁾から入手したデータを用いて作成している。サイトHにおける、改修前と改修後の今後50年間の地震最大加速度の超過確率を表すハザード関数とフラジリティ関数を図-4に示す。これらの関数に基づき、損傷確率は次式(4)によって定義され、結果を、改修前後の堤体断面について図-5に与える。

$$P_f(a) = - \int_0^a \frac{dH(\alpha)}{d\alpha} \cdot F(\alpha) d\alpha \tag{4}$$

ここで、 a ：地震最大加速度、 $H(a)$ ：地震ハザード関数、 $F(a)$ ：フラジリティ関数である。

3. 浸水被害 地震によりため池が破堤した場合の、ため池周辺地域の浸水被害を氾濫解析によって推定している。基礎式には、鉛直方向の等速度分布、非圧縮性流体、静水圧力分布、底部傾斜を条件とする平面2次元浅水方程式を用い、これらの式を、近似HLLリーマン解法を用いた有限体積法²⁾によって解く。この解析より求めた周辺地域の最大浸水深を図-6に示す。さらに、この結果から、推定された浸水被害額を表-2に示す。

4. 地震時リスク評価 損傷確率と浸水被害額から、サイトHにおける改修前後の地震時リスクを算定した。地震時リスクは次式(5)で定義される。

$$R = P_f(a) \times C \tag{5}$$

ここで、 R ：地震時リスク、 $P_f(a)$ ：今後50年の損傷確率、 C ：浸水被害額である。

推定された地震時リスクより、改修前では改修前は最大の地震時リスクが4億3211万3千円、改修後は4460万7千円と計算される。この結果から、改修により3億8750万6千円程度の改修効果が得られることが明らかである。

5. まとめ ため池の改修前と改修後の断面を対象とし、南海地震を対象とした地震時リスクを評価した。地震時リスクによって、改修に関して考慮すべき地震のレベルや改修効果を合理的に判定できると考えられる。

引用文献 1) 西垣誠：有限要素法による飽和不飽和浸透流解析 -AC-UNSAF- プログラム解説およびユーザーマニュアル(2001), 2) LIQCA2D11・LIQCA3D11 (2011 年公開版) 資料 (2011), 3) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編(2002), 4) 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), 5) 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, 6) Yoon, T. H. and Kang, S-K (2004): Finite volume model for two-dimensional shallow water flows on unstructured grids, *J. Hydraul. Eng.*, pp.678-688.

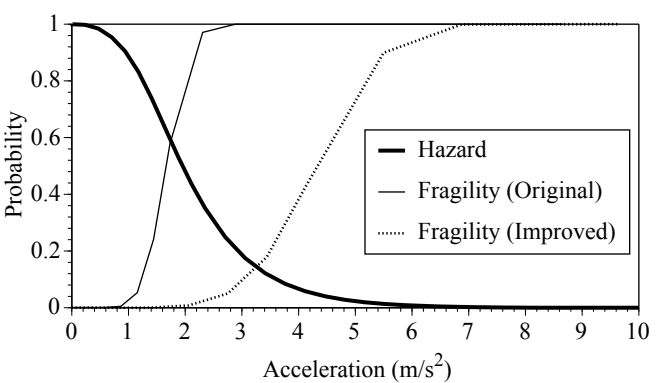


図-4 ハザード関数とフラジリティ関数

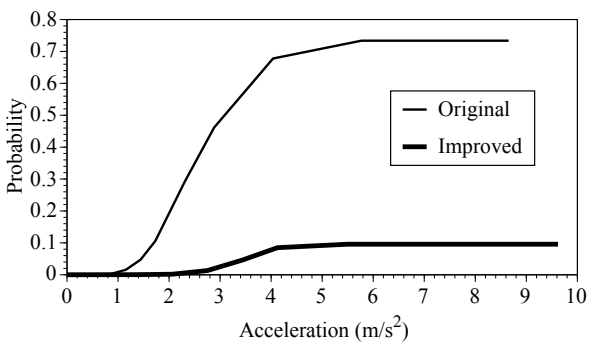


図-5 今後50年間の損傷確率

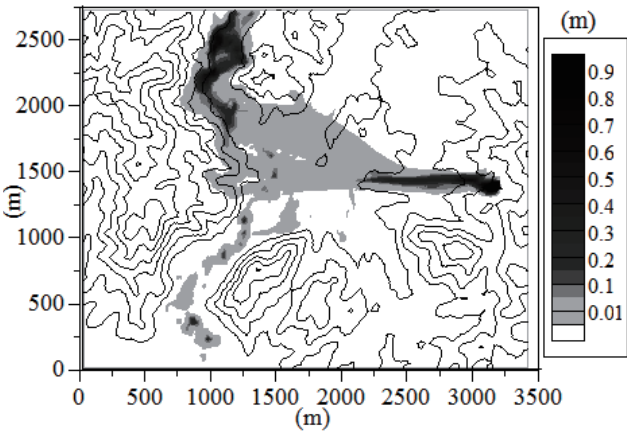


図-6 推定される浸水域と最大浸水深

表-2 算定された被害額

項目		被害額(千円)
農業部門	農地	7,900
	農作物	15,808
公共部門	住居(家屋・家庭用品)	330,601
	事業所	117,794
	公共建物	4,340
	農業用納屋	144
間接被害	営業停止損失	54,771
	家庭の応急対策	33,029
	事業所の応急対策	22,369
計		586,756