

ため池地震損傷確率と改修効果

Probability of seismic damage of earth-fills and effect of their improvements

○ 木村彩香* 西村伸一** 珠玖隆行** 長尾遥奈***

KIMURA Sayaka, NISHIMURA Shin-ichi, SHUKU Takayuki and NAGAO Haruna

1. はじめに

本研究は、ため池堤体の物性値の不確定性と地震の発生確率を考慮し、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。これらから、今後50年における損傷確率を算定し、堤体の改修前後の確率を比較することによって改修効果を評価している。

2. 地震ハザード曲線

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いる。ハザードデータは本研究の対象の地点となる、岡山県内のため池サイトH付近のデータであり、南海トラフの地震を想定している。J-SHISのデータは地震動の大きさを速度で表示しているため、地震応答解析を行い、地震動の大きさを、堤体の法尻付近の加速度に変換して、ハザード曲線を作成するものとする。地震応答解析に用いた入力地震波としてレベル2地震動地震動タイプ1-II種地盤のモデルを入力している²⁾。今回用いている入力地震波をFig.1に、加速度表示の地震ハザード曲線をFig.2に示す。ハザード曲線は、今後50年の年間の超過確率を示している。

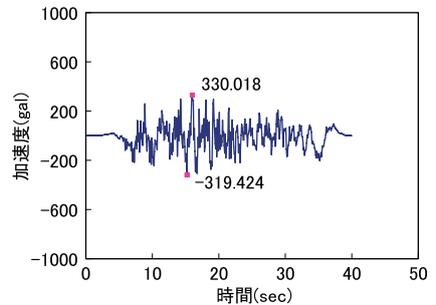


Fig.1 サンプル地震波形 (海洋型)
Sample seismic wave

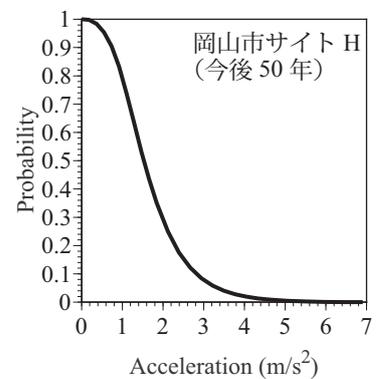


Fig.2 地震ハザード曲線
Seismic hazard curve

3. 安定解析手法

本研究では、岡山県内のため池であるサイトHを解析対象とし、この堤体の改修前と改修後の断面を解析の対象とする。解析断面をそれぞれ、Fig.3(a), (b)に与えている。ため池は、

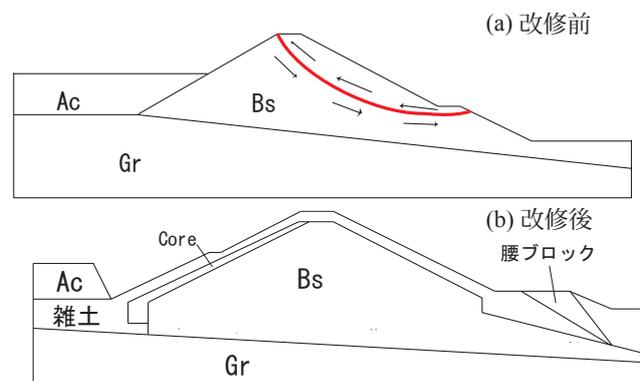


Fig.3 解析対象ため池の断面
Analytical sections of earth-fills

前刃金工法で改修されている。第1に、Fig.1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、全応力解析を実施している。第2に、堤体内間隙水圧を推定するために浸透流解析を行う。前刃金によって、堤体内水位が低下することが、堤体の安定化要因となっている。この結果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る。解析に用いた定数をTable 1に纏めている。

* 岡山県土木部 Okayama Pref., ** 岡山大学 Okayama University, *** 内外エンジニアリング(株) Naigai
キーワード：ため池, 地震ハザード, フラジリティ

4. フラジリティー解析法

堤体内の内部摩擦角 ϕ の空間分布を考慮するためスウェーデン式サウンディング試験 (SWS) 結果から、N 値を換算式によって求める。SWS による N 値を N_{SWS} とすると、式 (1) によって与えられる³⁾。

$$N_{SWS} = 0.67N_{SW} + 0.002W_{SW} \quad (1) \quad N_{SW}: \text{半回転数} \quad W_{SW}: \text{重錘の重さ}$$

N_{SWS} は、式 (2) および式 (3) で与える平均値と自己相関特性を満足するものとする⁴⁾。

$$\mu = 1.89 + 0.157z \quad (2) \quad y: \text{堤防横断面に平行な水平座標 (m)} \quad z: \text{地表面からの深度 (m)} \quad h: \text{標高 (m)}$$

$$C_{ij} = 0.604 \cdot (1.24)^2 \exp\left(-\frac{|y_i - y_j|}{6.14} - \frac{|h_i - h_j|}{0.63}\right) \quad (i \neq j) \quad C_{ij} = (1.24)^2 \quad (i = j) \quad (3)$$

さらに、換算誤差を表す確率変数 ε_r を考慮して、標準貫入試験の N 値、 N_{SPT} を式 (4) で求める。続いて、 N_{SPT} から、有効内部摩擦角 ϕ' を、式 (5)、(6) を介して求めるものとする^{4), 5)}。

$$N_{SPT} = (1 + 0.354\varepsilon_r) N_{SWS} \quad (4) \quad \varepsilon_r: N(0, 1) \text{ の正規確率変数}$$

$$\phi' = (20N_1)^{0.5} + 20 + 5.3\varepsilon_f \quad (5) \quad N_1 = N_{SPT} / (\sigma_v' / 98)^{0.5} \quad (6) \quad \varepsilon_f: N(0, 1) \text{ の確率変数} \quad \sigma_v': \text{有効上載圧 (kPa)}$$

地震最大加速度を確定値 $a = \alpha$ とした場合の破壊確率 $F(\alpha)$ が、 ϕ' の空間分布と換算誤差 ε_r , ε_f を確率変数として、モンテカルロ法によって式 (7) から求められる。ただし、シミュレーション回数は 1000 回としている。 F_s は、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求めることとしている。Fig.2 の地震ハザード関数を $H(\alpha)$ とすると、損傷確率が式 (8) によって定義される。

$$F(\alpha) = \text{Probability}(F_s < 1) \quad (7) \quad P_f(a) = -\int_0^a \frac{dH(\alpha)}{d\alpha} \cdot F(\alpha) d\alpha \quad (8)$$

5. 結果と考察

推定された 50 年間の堤体の損傷確率を Fig.4 に与える。図では、改修前後の堤体について、加速度 a に対する確率 $P_f(a)$ が与えられている。改修前では加速度 1.0 m/s^2 までの領域で損傷確率の上昇が大きいことが分かった。また 4.0 m/s^2 以上の領域では損傷確率の上昇は殆ど見られない。この結果を考慮すると、最大加速度が 4.0 m/s^2 以上の地震の対策は効果が低いことが分かる。改修後では損傷確率は、改修前と比べて大幅に損傷確率が減少し、図からは判別しにくいですが、0.6% で一定となっている。この結果から、改修により大きな耐震効果が得られることが明らかである。

6. 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 50 年間の損傷確率を評価した。確率の算定には、地震ハザードと地盤の空間分布と換算誤差を考慮している。損傷確率によって、考慮すべき地震のレベルや改修効果が合理的に判定できることが明らかとなった。

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) 日本道路協会：道路示方書・同解説、V 耐震設計編 (2012)、3) 稲田倍穂：スウェーデン式サンディング試験結果の使用について、土と基礎、Vol.8, No.1, pp.13-18 (1960)、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) Hatanaka, M. and Uchida, A.: Empirical correlation between penetration resistance and internal friction angle of sandy soils, *Soils and Foundations*, Vol.36, No.4, pp.1-9 (1996)

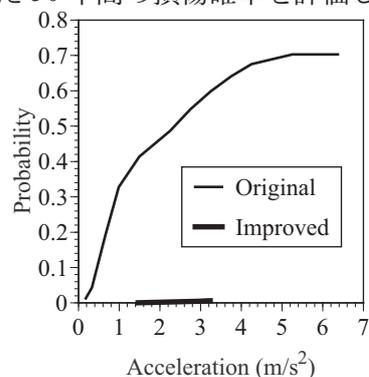


Fig.4 堤体の損傷確率
Damage probability of earth-fill