

土構造物（Aため池堤体）の地震時変形解析

常盤地下工業株式会社 法人正会員 ○堀口信也 中野太郎 上野考弘

1. はじめに

東日本大震災でほぼ満水状態だった藤沼ため池（福島県）の堤体（堤高 18.5m）が決壊した。決壊後、下流の集落にあふれ出た水が一気に押し寄せ、家屋 11 戸流出、死者行方不明者 8 人を出す大惨事となった。

決壊のメカニズムは、地震動によって堤体内の間隙水圧が上昇し、堤体が流動化して堤頂が沈下し、越流した水が裏法面を洗掘したと考えられている²⁾。

山口県内のため池は約 1 万個もあり、全国で 5 位とため池の多い県である。建設された時期は古く、現在の耐震基準を満たしていないものが多い。農業用 A ため池堤体（山口県防府市）について、レベル 1 地震動の耐震診断を実施する機会をえることができた。同地質断面を用いて、内陸で起こる可能性のある直下型のレベル 2 - II 地震動について変形解析を試みる。

2. 解析概要

既往の地震被害において変状が生じた被害は、主に基礎地盤の液状化によるものであった(図 1)。しかし、藤沼ため池では、堤体自体の過剰間隙水圧が上昇し、液状化・流動化が原因で堤体が崩壊した（写真 1）。

A ため池は良好な耐震基盤となる花崗岩軟岩上にほぼ直接盛土した堤体（堤高 18.7m）をなす(図 2)。FWL と LWL について、FEM 静的変形解析を行い、地震時の過剰間隙水圧の分布と、液状化・流動化する変形のメカニズムを解明する。また、簡易法である円弧すべり法、ニューマーク法で求まる変位量とも比較してみる。

3. 堤体盛土地盤の概要と水位の設定

堤体の盛土は 3 区分され、上流側の盛土 1（黄色）と盛土 2（橙色）は粘土質礫質砂、下流側の盛土 3（赤色）は砂質礫で透水性が高くドレーンの機能を有している（図 3、表 1）。

変形解析に用いる FWL 時の堤体内の水位は、調査期間中の観測水位及び現地透水試験結果からえられた水位（中間水位程度）に調和するよう FEM 浸透流解析³⁾

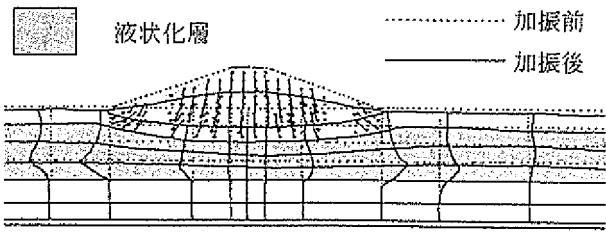


図 1 既往の河川堤防 FEM 変形解析図例¹⁾



写真 1 藤沼ため池堤体決壊写真²⁾

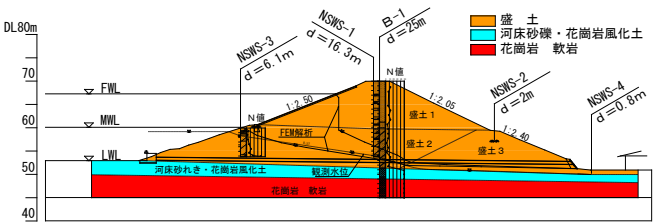


図 2 A ため池堤体の地質調査断面図

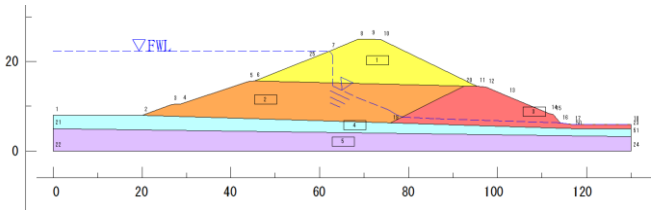


図 3 解析モデル断面図

表 1 各層の土質条件

地 盤	土 質	γ t kN/m ³	N 値	K m/s	地盤種別
盛土 1	粘土質礫質砂	17	4	3.21E-07	Ⅱ種
盛土 2	粘土質礫質砂	19	4	1.58E-06	Ⅱ種
盛土 3	砂質礫	20	10	1.79E-04	Ⅱ種
砂礫風化土	砂 礫	20	50	1.00E-06	Ⅰ種
花崗岩	軟 岩	22	300	1.00E-06	Ⅰ種

キーワード：レベル 2 地震動，土構造物，ため池堤体，静的変形解析，間隙水圧，液状化

連絡先：〒755-0151 山口県宇部市大字西岐波 4374-1 常盤地下工業株式会社 TEL0836-51-9224

を行い、その水理条件をもとに設定した。

4. FEM 静的変形解析結果

変形解析⁴⁾は、盛土1、盛土2、盛土3の水位以下となる範囲を液状化要素とし、次の3工程で計算する（土粒子骨格の構造劣化に伴う流動変形）。

- ・工程1：初期（1.0日 ステップ1）
- ・工程2：液状化（1.0E-7日 ステップ100）
- ・工程3：放置期間（1.0E4日 ステップ1）

FWL 時の堤体盛土は、図4の間隙水圧コンター図から上流側の盛土2の下面に過剰間隙水圧が強く発生していることがわかる。盛土2は液状化し、図5の変位ベクトル図にみられるように上流側へ著しく流動～破壊を生ずることとなる。上流法面で11.62m沈下することが想定される（図6）。

LWL 時の堤体盛土も、図7の間隙水圧コンター図から上流側の盛土2の下面に過剰間隙水圧が発生していることがわかる。盛土2は液状化し、上下流へ流動化して、上流側法面は48cm沈下、下流側法面は66cm前へ押し出されることが想定される（図8）。図8は変位が小さいためレンジを10倍に強調している。

円弧すべり法⁵⁾ ($\angle u$) からFWL時上流側 $F_s=0.628$ 、下流側 $F_s=0.669$ で、沈下推定量は9.35m（堤高×0.5）となる。ニューマーク法⁵⁾ からLWL時の滑動変位量は、上流側=0.91m、下流側=0.22mとなる。

5. 耐震性能と限界状態の評価

地震によって、堤体が沈下・破壊し、貯水が下流へ流出すれば、大きな2次災害が発生する。堤体の耐震性能は、地震によって堤体に変形・沈下などが生じた場合でも下流への越流を防止することであり、考慮する水位が限界状態となる。考慮する水位は、原則、平常時の最高水位とされる⁶⁾。したがって、地震後「天端高」が貯水位（FWL）に対して保持できているかが耐震性能の限界状態の照査となる。

今回の解析結果から、Aため池堤体の耐震性能は、地質調査の精度・水位観測の不足はあるが、最悪の事態を避けることができる可能性が確認できた。

謝 辞 本研究の実施に際し、緒方設計の緒方ご夫妻には多大なるご協力をいただきました。ここに感謝申しあげます。

参考文献 1) 土木技術資料 49-7 (2007) 耐震性能・評価技術入門, 2) 日経コンストラクション 2011.5.9, 3) 地下水流断面解析 GW-USAF OYO, 4) 断面2次元静的FEM液状化解析 Dif Ver 5.3 デジタルソイル, 5) 斜面安定計算システム COSTANA Ver 15.3 富士通 FIP, 6) 河川構造物の耐震性能照査指針・解説 国土交通省 2012

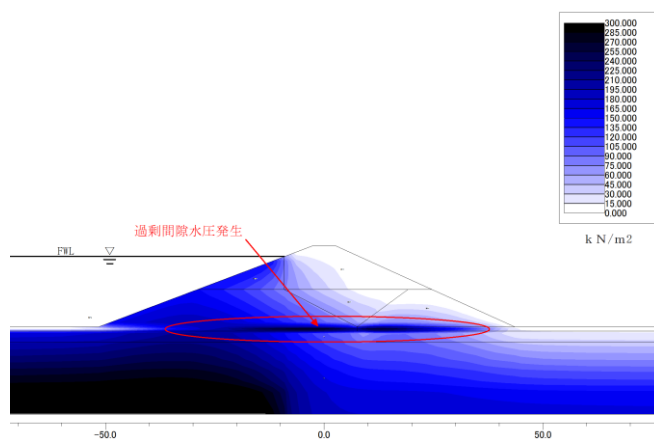


図4 FWL 液状化時の間隙水圧コンター図（×1倍）

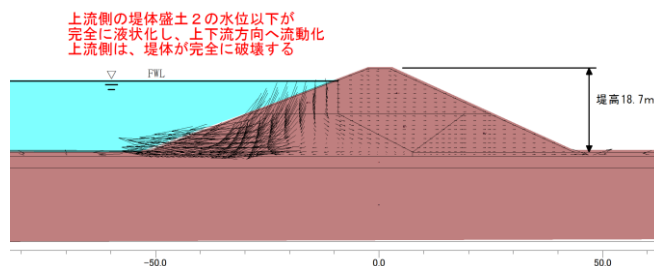


図5 FWL 液状化時の変位ベクトル図（×2倍）

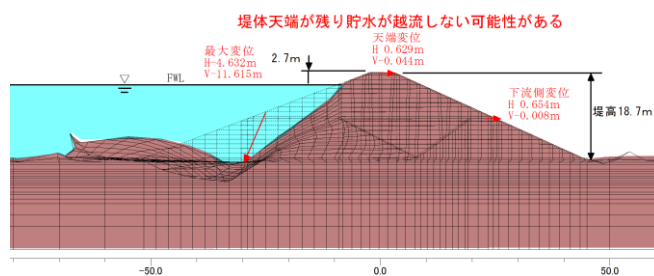


図6 FWL 液状化時のメッシュ変位図（×1倍）

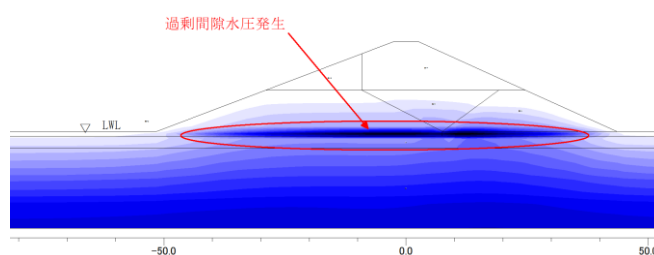


図7 LWL 液状化時の間隙水圧コンター図（×1倍）

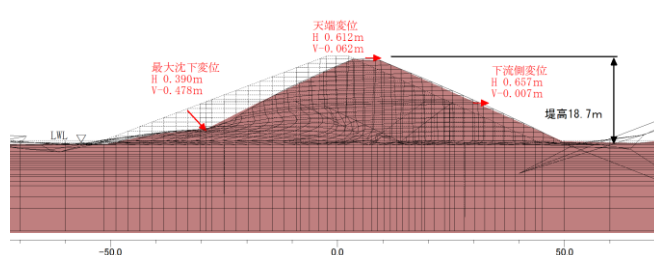


図8 LWL 液状化時のメッシュ変位図（×10倍）