

ため池堤体を対象としたレベル2地震動の液状化解析

Liquefaction Analysis in Level-2 Earthquake Motion on Small Earth Dam

森 洋

MORI Hiroshi

1. はじめに

現在、農水省を中心に、ため池堤体の劣化状況等を把握するための一斉点検が全国で実施されている。我が大学のある青森県も、平成26年度までに、受益面積が0.5ha以上のため池を対象に、県内にある約1300カ所の農業用ため池の一斉点検を進めているところである (Fig.1を参照)¹⁾²⁾。特に、下北半島の海岸部近傍にあるため池堤体の基盤部は、砂質土系の堆積物である場合が多く、液状化による影響が懸念される。

本報告では、現在、液状化対策の検討が予定されている青森県内のため池を対象に、二次元動的弾塑性有効応力解析 (コード名: NONSOLAN³⁾) を適用し、レベル2地震動による盛土天端での沈下量評価の可能性を検討するものである。

2. 地盤調査と耐震対策設計

Fig.2とFig.3には、ボーリング調査による想定地盤断面図と、天端からN値が50以上ある基盤面までの土質柱状図を示す。粘性土の盛土部 () 直下には、N値が3程度のシルト質細砂 () が約6m、また、腐植土 () を挟んでN値が6程度のシルト質細砂 () がその下に約15m堆積しており、液状化の発生が大変高い地盤である。耐震対策手法としては、レベル2地震動対応までを見越した震度法 (kh法・u法) による円弧すべり計算 (有効応力法) での安全率 (Fs) 評価が検討されており、各地震動レベルに対応する設計水平震度ならびに許容安全率の関係を Table 1 に示す⁴⁾⁻⁷⁾。液状化対象層 (,) での液状化抵抗率 (FL) は1.0より遥かに小さくなるため、u法による円弧すべり面は Fig.4 の様な基盤上面を通る大円弧となる。そのため、所定の安全率を確保するためには、例えば、Fig.5 の様な基盤面まで改良体を着底する深層混合処理工法による格子状地盤改良形式となる。

3. 二次元動的弾塑性有効応力解析

昨年度の報告⁸⁾の中で、弾完全塑性体モデルとEndochronicモデルを組み合わせた一次元での動的弾塑性有効応力解析でも、東京港埋立地盤での液状化挙動を十分再現し得る結果となったため、今回は、ため池堤体に対する二次元動的弾塑性有効応力解析での適用性を検討する。

Fig.6には、二次元の有限要素メッシュ (要素数124、節点数151) を示す。解析プログラムの適用検証が主目的であるため、解析時間等を考慮して比較的粗いメッシュとした。

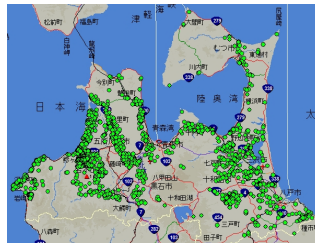


Fig.1 Site point

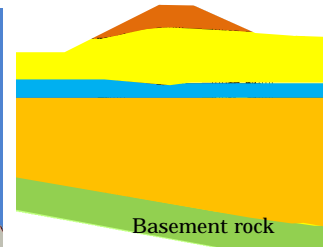


Fig.2 Ground section

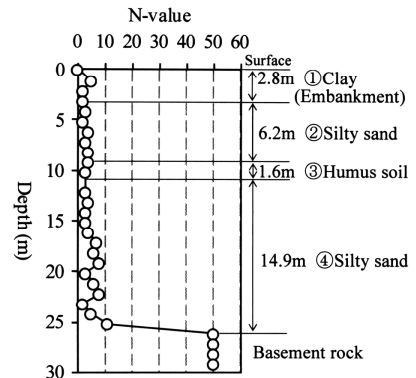


Fig.3 Soil profile

Table 1 Horizontal seismic coefficient

	kh-method	Δ u-method	Fs
Steady-state	0.00	0.00	≥ 1.2
Level-1 earthquake	0.10	0.15	≥ 1.2
Level-2 earthquake	0.20	0.45, 0.70	≥ 1.0

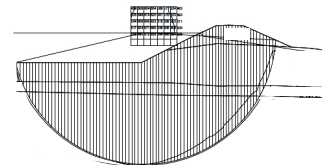


Fig.4 Circular slip surface

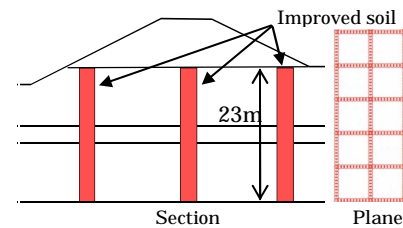


Fig.5 Improved ground (Cell type)

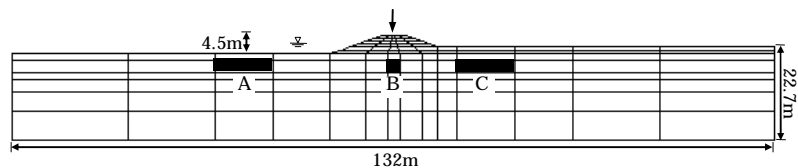


Fig.6 Finite element mesh

Table2 には、Fig.3 で示した材料番号に応じた解析パラメータを示しており、ボーリング調査より行われた非排水三軸圧縮試験結果等を参考に決定した。また、相対密度 (Dr) は一般的によく利用されている Meyerhof の実験式より算出している。今回用いた入力地震波形は、道路橋示方書 (耐震設計編)⁷⁾ に示されている種地盤のレベル2 地震動 (タイプ) とした (Fig.7 を参照)。

Fig.8 と Fig.9 は、盛土天端部で得られた応答加速度と鉛直方向の沈下量を示している (Fig.6 の矢印部分)。過剰間隙水圧の発生により、若干、応答加速度の低下が見られと同時に、継続的に天端部で沈下していく傾向にある。

Fig.10(a)(b)(c)には、材料番号 に当たる上流側底面の液状化対象層地点 (A)、盛土天端直下の液状化対象層地点 (B)、下流側地盤の液状化対象層地点 (C) での平均有効応力 (実線) と過剰間隙水圧 (破線) 挙動を示す (Fig.6 の黒色部分)。有効拘束圧が小さい A、C、B の順に平均有効応力に対する過剰間隙水圧の発生量は大きく、実際の盛土堤体での液状化挙動に近似すると考える。

Fig.11(a)(b)には、Fig.5 に示した格子状地盤改良工法での耐震効果を検討するための模擬的なメッシュを示し (網掛け部分が改良地盤) Fig.12 に各改良条件での盛土天端部の沈下量を示している。改良地盤部は非液状化材料とし、 $\gamma_t = 50 \text{ kN/m}^3$, $c' = 50 \text{ kN/m}^2$ と仮定している。Fig.11(a)に示す全面改良タイプでは隆起する傾向にはあるが、Fig.9 で示した未改良地盤と比較して、Fig.11(b)の杭状タイプでは沈下量を抑える傾向にあることから、地盤改良による耐震性効果を検討することも十分可能であると考えられる。

5. まとめ

今回採用した二次元動的弾塑性有効応力解析を用いることで、液状化地盤上にあるため池堤体の変位量 (沈下量) を含めた耐震対策効果等の評価が可能であり、特に、レベル2 地震動に伴う性能規定設計による耐震性評価に寄与出来る可能性を示した。今後は、細かいメッシュによる盛土堤体の破壊形状まで詳細に再現出来るよう検討を進めていく予定である。

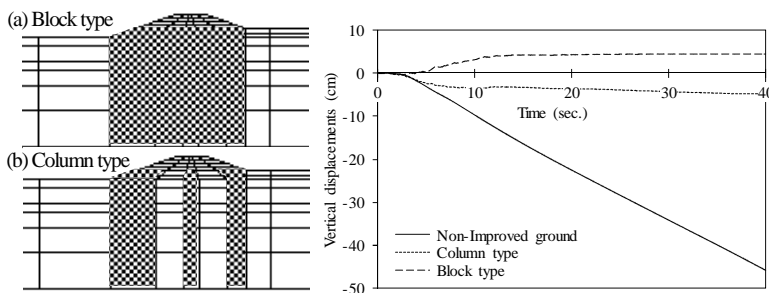


Fig.11(a)(b) Improved type

Fig.12 Vertical displacements at top

<参考文献>

- 1) 森洋(2014): 農業用ため池堤体点検に関わる安定性評価, 第57回農業農村工学会東北支部研究発表会, 76-77.
- 2) 工藤俊一・藤森大介(2015): 簡易手法によるため池堤体の安定性評価, 農業農村工学会誌(水土と知), 83(1), 46-47.
- 3) 田中忠次・谷茂(1987): ENDOCHRONIC 理論に基づく砂の繰返し三軸試験の液状化解析, 農土論集(132), 51-61.
- 4) 農業土木学会(2004): 土地改良施設 耐震設計の手引き.
- 5) 農業土木学会(2006): 土地改良事業設計指針「ため池整備」.
- 6) 日本道路協会(2012): 軟弱地盤対策工指針.
- 7) 日本道路協会(2012): 道路橋示方書・同解説【耐震設計編】.
- 8) 森洋(2014): 東京港埋立地盤を対象とした液状化解析, 平成26年度農業農村工学会大会講演会, 782-783.

Table 2 Physical parameter for analysis

Mat. No.	N-value	γ_t (kN/m ³)	ϕ' (degree)	c' (kN/m ²)	Dr (%)	ν
①	3	15.7	35.8	0.8	38	0.3
②	3	16.4	33.9	0.7	31	0.4
③	3	12.0	30.0	5.0	29	0.4
④	6	17.0	34.0	1.0	36	0.4

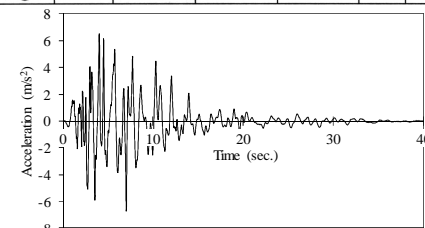


Fig.7 Input wave (Level2-Type)

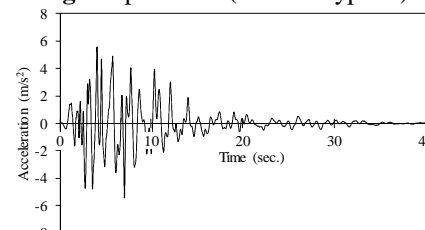


Fig.8 Response acceleration at top

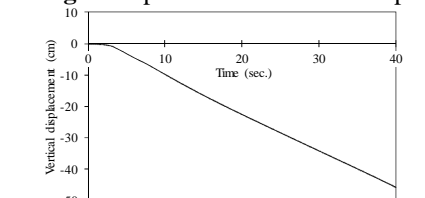


Fig.9 Vertical displacement at top

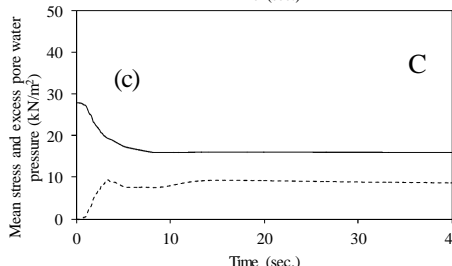
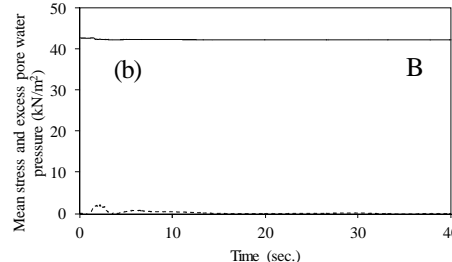
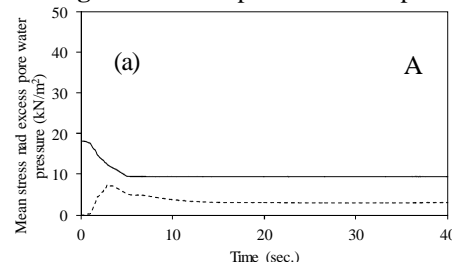


Fig.10(a)(b)(c) Mean stress and E.P.W.P

日本道路協会(2012): 道路橋示方書・同解説【耐震設計編】. 8) 森洋(2014): 東京港埋立地盤を対象とした液状化解析, 平成26年度農業農村工学会大会講演会, 782-783.