

液状化解析コード LIQCA2D を用いたしらす地盤の地震時挙動予測

八戸高専 学生会員 ○神久保 知希
八戸高専 正会員 清原 雄康

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震が発生し、その後の余震で二戸市杉の沢地区で宅地盛土が崩壊する被害が発生した。本研究ではその現場から採取した二戸しらすの試料の繰返し三軸試験結果を用いて土水連成の液状化有限要素解析コード LIQCA2D により、宅地盛土の液状化に至る様子を把握する。



写真 1 被害状況

2. LIQCA2D による解析概要

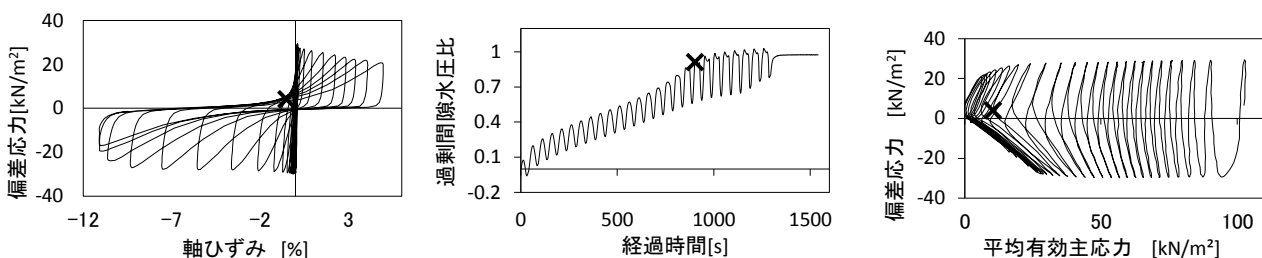
LIQCA では式(1)のような u-p 形式の有限要素定式化，時間差分化がなされている。

$$\begin{bmatrix} [M] + \gamma \Delta t [C]_{t+\Delta t} + \beta (\Delta t)^2 [K]_{t+\Delta t} & -\{K_v\} \\ -\{K_v\}^T & A' - \alpha' \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\ddot{u}_N\}_{t+\Delta t} \\ p_{dE|t+\Delta t} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ \sum_{i=1}^4 \alpha'_i p_{dE|i+\Delta t} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F_d\}_{t+\Delta t} - \{R_d\}_{t+\Delta t} - [C]_{t+\Delta t} \left\{ \{\dot{u}_N\}_{t+\Delta t} + (1-\gamma)\Delta t \{\ddot{u}_N\}_{t+\Delta t} \right\} \\ -[K]_{t+\Delta t} \left(\Delta t \{\dot{u}_N\}_{t+\Delta t} + \left(\frac{1}{2} - \beta \right) (\Delta t)^2 \{\ddot{u}_N\}_{t+\Delta t} \right) \\ - \frac{1}{(k/g - \gamma \Delta t)} \{K_v\}^T \left(\{\dot{u}_N\}_{t+\Delta t} + (1-\gamma)\Delta t \{\ddot{u}_N\}_{t+\Delta t} \right) + A' p_{dE|t+\Delta t} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 $[M]$: 質量マトリクス、 γ, β : パラメータ、 Δt : 時間増分、 $[C]$: 減衰マトリックス、 $[K]$: 剛性マトリックス、 $\{K_v\}$: 体積ひずみに関するベクトル、 $\{u_N\}$: 節点の変位ベクトル、 p_{dE} : 地震時増分間隙水圧、 α'_i : 格子辺の長さで隣接する格子との重心間距離とで定義される定数、 $\{F_d\}$: 地震により増加する荷重ベクトル、 g : 重力加速度とする。

応力ひずみ曲線を決定する弾塑性構成則の材料パラメータは別途行った繰返し三軸試験結果に合うように試行錯誤により決定した。決定された解析に用いた材料パラメータは表 1 に示す。図 1 に $\sigma_d=30\text{kPa}$ での実験結果と解析結果の比較を示す。図 2 に液状化強度曲線の実測値とパラメータフィッティングにより得られた解析値を示す。概ね良好なフィッティング結果が得られた。

実測値



解析値

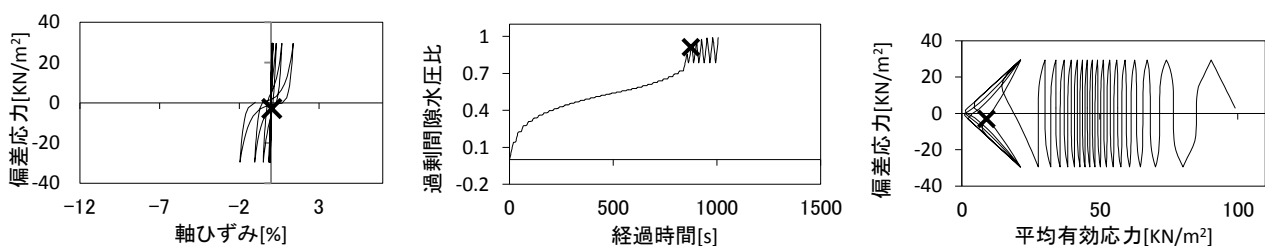


図 1 $\sigma_d=30\text{kPa}$ での液状化強度試験の実測値と解析値

キーワード 液状化，土水連成解析有限要素法，地震時応答

連絡先 〒039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1 TEL 0178-27-7367

3. 解析条件

想定地盤を1m×5mにスライスしたモデル(図3)を用いて要素数5, 節点数12のモデルを用いた。境界両側面は等変位境界, 地表面を排水面とする。入力地震波には崩壊の引き金となった二戸の2011年3月11日15:09の余震EW成分の入力地震波データを用いた。

4. 解析結果

図4は各地点における水平加速度応答, 図5は地中部の過剰間隙水圧比時刻歴である。地表部の領域⑤では過剰間隙水圧比は地震波が最大となる30~40秒付近で急激にほぼ1に達し, 液状化に至る結果となった。一方, 基盤部, 中間部の過剰間隙水圧比は0.8以上には上昇せず液状化に至っていない。地表付近では液状化による免震効果が考えられるため加速度が他の地点より小さいことが分かった。

5. まとめ

本研究では東北地方太平洋沖地震により泥流状崩壊した二戸しらすからなる宅地盛土より採取した試料の繰返し三軸結果を基にして, 液状化解析コードLIQCA2Dの弾塑性構成式のパラメータを試行錯誤により決定した。そして, そのパラメータを用いてLIQCA2Dにより当該地盤を想定しての地震時挙動予測を行った。液状化に至ったのは地表面付近であり, 泥流状崩壊が生じる結果となった。

参考文献 1) 浅岡顕他: 深部地層傾斜がもたらす表層地盤の液状化被害の非一様性, 第47回地盤工学研究発表会, 2012. 2) 吉澤源太郎他: 繰返し三軸試験を導入した水道施設の液状化時残留変形解析, 第45回地盤工学研究発表会, 2011. 3) 液状化解析手法LIQCA開発グループ(2011): LIQCA2011(2011年公開版)資料, 2011.

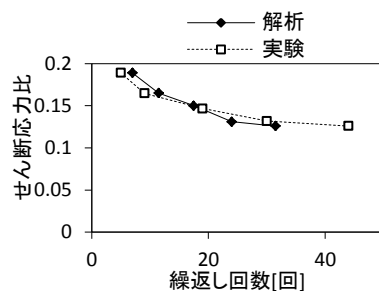


図2 液状化強度曲線

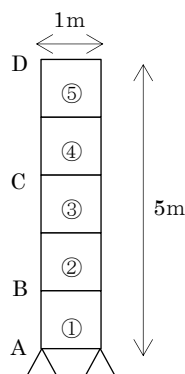


図3 解析モデル

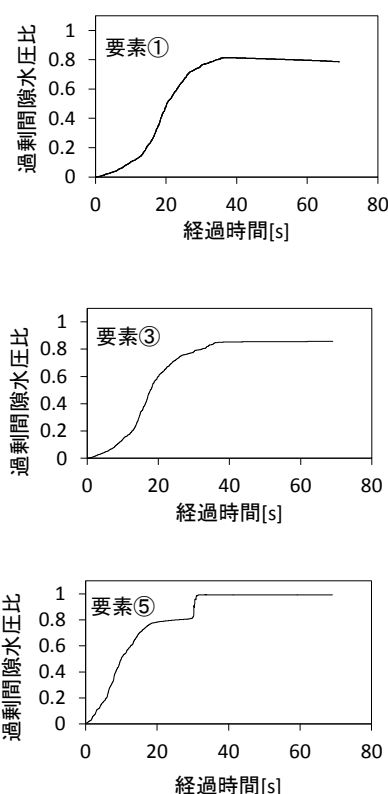


図5 要素ごとの過剰間隙水圧比の時刻歴

表1 解析に用いたパラメータ

密度	ρ	1.40
透水係数	k	1.0×10^{-5}
初期間隙比	e_0	0.774
圧縮指数	λ	0.0295
膨潤指数	κ	0.0059
擬似過圧密比	OCR^*	1.0
無次元化初期せん断係数 G_0/σ'_m		289
破壊応力比	M_f^*	1.131
変相応力比	M_m^*	0.850
硬化関数中のパラメータ	B_0^*	2700
"	B_1^*	27
"	C_f	50
規準ひずみ(塑性剛性)	γ_r^{p*}	0.005
規準ひずみ(弾性剛性)	γ_r^{E*}	0.10
ダイレタンシー係数	D_0^*	4.8
ダイレタンシー係数	n	2.0
異方性消失のパラメータ	C_d	2200

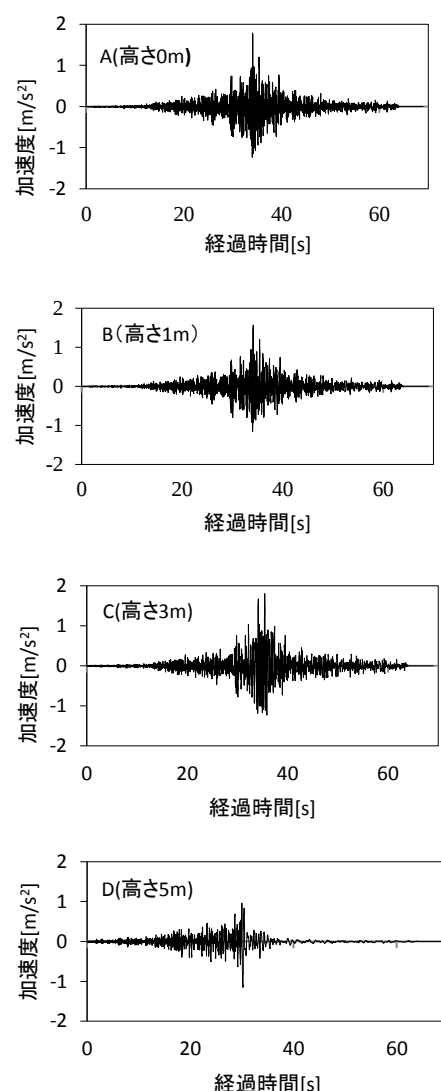


図4 A~D地点による水平加速度応答