

第Ⅲ部門

大阪湾岸の平野部における液状化現象に関する数値シミュレーション

立命館大学理工学部

学生会員 ○杉藤 湊太

立命館大学理工学部

学生会員 岡野 哲也

立命館大学理工学部教授

フェロー 深川 良一

1. はじめに

今後、30年以内の発生確率が比較的高い南海トラフ巨大地震の発生を想定したとき、大阪湾岸の平野部では液状化が発生する確率が高いと報告されている。

本論では、トンネルを含む地盤を対象として液状化解析を実行し、地盤の変形および対象地盤の地表面近くに配置されているトンネルの浮き上がりについて検討する。

2. 解析対象

解析対象は大阪湾岸平野部の1地点である。水平方向には約100m、鉛直方向には約40mの二次元断面である。対象地盤中央の地表付近にはトンネルが配置されている。図-1はトンネルとその周辺地盤のモデル図である。トンネルと側方地盤の拘束条件はなしと仮定した。土層区分は10個に分類される。液状化判定する土層は、As1層、As2層、Tsg1層とし、地下水位はGL-2.3mの地点に設定する。表-1は地盤の基本パラメータを示す。解析には、二相混合体理論に基づいた土と水練成の動的な支配方程式に、砂の弾塑性モデルおよびR-Oモデルを組み込んだ二次元有効応力解析であるLIQCA²⁾を使用する。また、入力地震動は耐震標準スペクトルIで、図-2に示す。

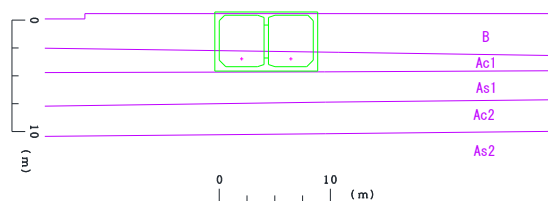


図-1 トンネルのモデル

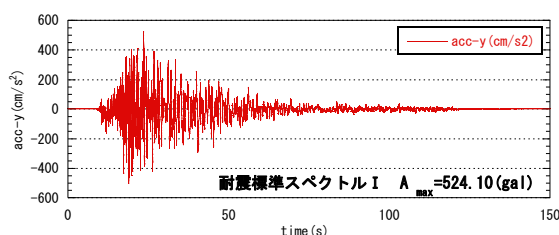


図-2 入力地震動の加速度

表-1 土層区分ごとの基本パラメータ

モデル	パラメータ名	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨									
		Rs	As1	Ac1, Ac2	As2	Tsg1	Tc1	Tsg2	Tc2	0c	
共通	単位体積重量	γ (kN/m ³)	18.0	18.0	18.0	16.0	18.0	16.0	18.0	16.0	16.0
	密度	ρ	1.8	1.8	1.8	1.6	1.8	1.6	1.8	1.6	1.6
	透水係数	k (m/s)	1.47E-06	1.47E-06	1.47E-06	9.00E-09	1.12E-06	5.17E-06	2.60E-07	1.20E-05	1.00E-07
	初期間隙比	e_0	0.658	0.658	0.990	1.038	0.673	0.505	0.724	0.777	1.098
	せん断弾性波速度	V_s (m/s)	120	140	120	120	170	240	200	260	208
	圧縮指数	λ		0.002	0.002		0.1	0.001			
	膨潤指数	κ		0.025	0.02		0.02	0.001			
	擬似過圧密比	OCR*		1.3	1.0		1	1.6			
	初期せん断係数比	$G_0/\sigma'_v m_0$		935.5	445.3		646.1	1104			
	変相応力比	M^*		0.909	0.909		0.909	0.909			
砂の弾塑性モデル	破壊応力比	M^*		1.012	0.966		0.958	1.215			
	硬化関数中のパラメータ	B^*_n		3500	2500		5000	10000			
	n	B^*_n		80	50		100	20			
	n	C_t		0	0		0	0			
	基準ひずみ(塑性剛性)	γ^p_{fr}		0.02	0.002		0.02	0.005			
	基準ひずみ(弾性剛性)	γ^e_{fr}		0.001	0.3		0.3	0.001			
	ダイレイタンス係数	D^*_n		1.0	1.5		4	4.0			
	ダイレイタンス係数	n		7.0	2.0		6	8.0			
	異方性消失のパラメータ	C_d		2000	2000		2000	2000			
	ポアソン比	ν		0.49		0.496		0.494	0.488	0.492	0.492
R-Oモデル	粘着力	c (kPa)		0		33		198	0	149	149
	内部摩擦角	ϕ (deg)		30.9		0		0	34	0	0
	せん断弾性係数のパラメータ	a		6977		2241		4939	8530	4533	4165
	n	b		0.5		0.5		0.5	0.5	0.5	0.5
	R-Oパラメータ	α		1.89				2.3	2	1.4	1.5
	n	r		1.92				2.1	3	1.7	1.6
						10000, γ で直接設定した					

Keita SUGITO, Tetsuya OKANO and Ryoichi FUKAGAWA

rd0045ex@ed.ritsumei.ac.jp

3. 解析結果

対象地盤の解析結果を以下に示す。地震動を加振した後、残留変位の収束が確認できるまで、圧密解析を行った。また、液状化の有無の指標として有効応力減少比 R を用い、以下の式に示す。

$$R = 1 - \sigma'_m / \sigma'_{m0}$$

σ'_m : その時刻歴の平均有効応力(kN/m²)

σ'_{m0} : 初期応力後の平均有効応力(kN/m²)

有効応力減少比の時刻歴から、その値が1に達したとき液状化に至ったと評価することができる。図-3 にトンネル中央直下の土層の加振+圧密の有効応力減少比の時刻歴を示す。この結果より As1 層, As2 層, Tsg1 層いずれの土層も液状化するということがわかった。10⁸ 秒(およそ3年)経過した後には有効応力減少比が減少し一定値を保っているのは、液状化で発生した過剰間隙水圧が消散し、圧密沈下が収束したことを表す。

また、図-4 は地表面の変位として元座標、加振直後、圧密収束後それぞれを表したものである。圧密収束後に注目すると、x 座標の 45m~55m の部分がトンネルを含む箇所であるが、その地点が浮き上がることがわかる。図-5 は圧密収束後の地盤の変形図である。トンネルの浮き上がりは、トンネル周辺の As1 層が液状化し、液状化した土砂とトンネルの比重差により、トンネルの下部に土砂が回り込むことによって生じることが原因³⁾として考えられる。トンネルの浮き上がりは約 1m で、これはトンネルと側方地盤の拘束条件を設定していないため、発生する可能性のある最大の浮き上がり量と推定される。実際にはトンネルと側方地盤との間には摩擦が存在するので、解析結果より小さな値を示す可能性が高い。トンネル以外の箇所では、圧密変形の収束後に 50cm 程度の沈下をすることがわかる。

4. まとめ

以上より、解析対象の地盤では、耐震標準スペクトル I の地震が発生すれば地盤全体が液状化し、トンネルが若干浮き上がる可能性があることがわかった。浮き上がり量については今後さらに精査する必要があるが、深刻な影響を与えるようであればその対策が最優先課題となる。候補としては、液状化対象層である As1 層の地盤の固化为目的とした「高圧噴射攪拌工法」がある。トンネル周辺の地盤を固化することでトンネルに液状化した土砂が回り込むことを防ぐ効果がある。今後はこの工法についても数値シミュレーションにより検討する予定である。

〈参考文献〉

- 1) 松岡昌志, 若松加寿江, 橋本光史: 地形・地盤分類 250m メッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法, 日本地震工学会論文集 第 11 巻, 第 2 号, pp35~36, 2011.
- 2) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所: LIQCA2D16・LIQCA3D16(2015 年公開版)資料.
- 3) 渡辺 健治, 澤田 亮: 液状化による開削トンネルの浮上がりに対する各種対策工法の効果の検討, 地震工学研究発表会 報告集, pp.2~6, 2005.

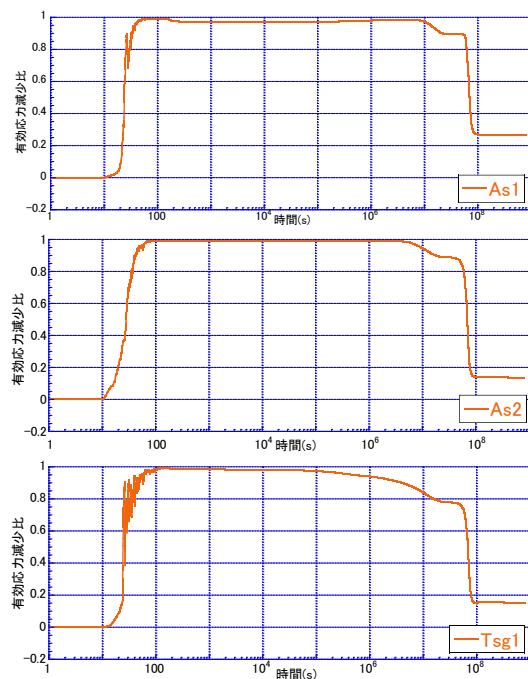


図-3 有効応力減少比の時刻歴

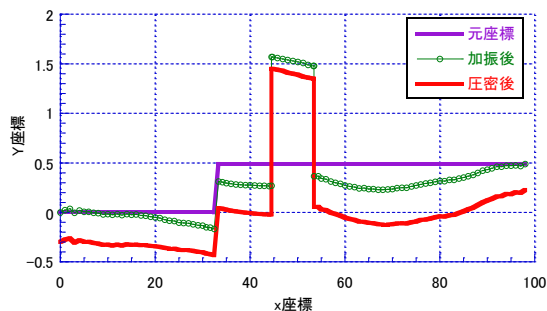


図-4 時刻歴別の地表面変位

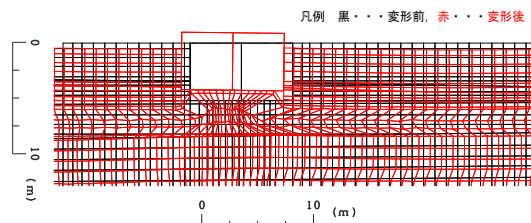


図-5 トンネル周辺の変形