

南海トラフ想定地震動と工学的基盤の深さの違いを考慮した大阪市域での液状化解析

(株)日建設シビル
京都大学

正会員
フェロー会員

○由井 洋和
岡 二三生

1. 研究背景と目的

駿河湾から九州にかけて位置する南海トラフではマグニチュード 9.0 クラスの巨大地震の発生が懸念されている。海溝型の地震である南海トラフ巨大地震では継続時間が長く、液状化の被害が広がることが予想される。液状化の被害に関して、地震動継続時間や加速度履歴を考慮して正確に予測するためには動的解析が有効となる。

本研究では土-水連成の有限要素解析プログラム LIQCA2D14¹⁾によって、大阪市域の二か所で得られた繰返しねじり試験の結果を用いて液状化解析を実施した。液状化解析には複数の南海トラフ想定地震動と地盤モデルを用い、地震動やモデルの違いによる液状化被害への影響を検討した。そして動的解析による液状化判定の指標として液状化危険度指数 (Liquefaction Risk Index,LRI)^{2,3)}を求めてその有用性を検討するとともに、PL 値との比較を行った。

2. 解析モデル

本研究では、①住之江（大阪市住之江区泉 1 丁目）②中島（大阪市西淀川区中島 2-7）の大阪市域の二つの地点の地層構成を基にモデル化を行い、その地点で得られた中空ねじり試験結果から液状化層のパラメータを決定した。本研究で用いた三種類のモデル図を図 1 に示す。住之江地区においては-24m で N 値が 50 を超える砂層が見られたので、-24m を基盤とするモデルも設定して、基盤の深さによる影響も検討した。境界条件には同一深度等変位境界を用い、底面には、-150m においては $V_s = 520(\text{m/s})$ 、-24m においては $V_s = 385(\text{m/s})$ として粘性境界を用いている。本研究で用いた二地点における液状化層のパラメータを表 1、表 2 に示す。入力地震動には表 3 に示すように内閣府の南海トラフ巨大地震検討会によって公開されている地震動と杉戸らによる南海トラフ巨大地震の想定地震動⁴⁾を用いた。内閣府の南海トラフ巨大地震検討会によって公開されている地震動はそれぞれの地点における基本ケースと陸側ケースの地震動を用いた。杉戸らによる南海トラフ巨大地震の想定地震動は震源を日向灘としたものと、紀伊半島沖としたものを用いた。地震動はすべて継続時間が 200 秒を超えている。

3. 解析結果

動的解析の結果を用いて液状化危険度指数(LRI)を求めた。LRI は以下の式によって定義されている。

$$LRI = \int_0^{20} ESDR \cdot (1 - 0.05z) dz$$

(3.1)

$$ESDR = 1 - \frac{\sigma'_m}{\sigma'_{m0}}$$

(3.2)

ここで、ESDR は有効応力減少比、 z は地表面からの深さである。有効応力減少比は動的解析によって求められ、地層が完全に液状化したとき ESDR は 1.0 となる。LRI

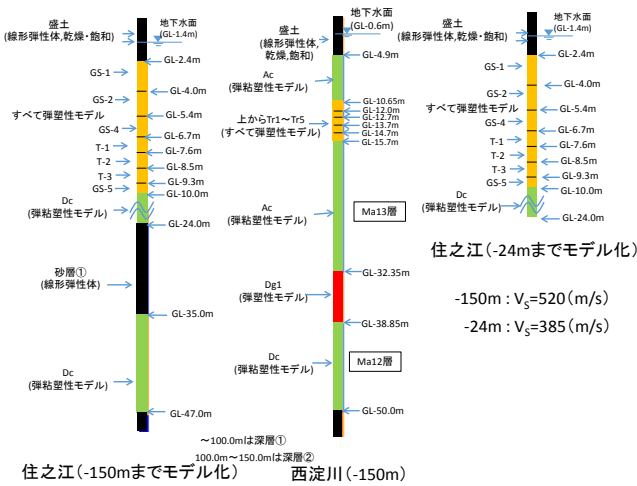


図 1 地盤モデル

表 1 住之江地区 パラメータ

Parameter	GS-1	GS-2	GS-4	GS-5	T-1	T-2	T-3
Density ρ (t/m ³)	1.926	1.922	1.841	1.946	1.843	1.837	1.878
Coefficient of permeability k/v_w (m/s·m ² /kN)	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}
Initial void ratio e_0	0.738	0.760	0.951	0.637	0.956	0.988	0.899
Compression index λ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Swelling index κ	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Normalized initial shear modulus G_0/σ'_{vm} (kPa)	955.1	731.7	609.1	424.7	539.1	492.8	455.1
Stress ratio at Maximum Compression M'_{vm}	0.845	0.895	0.880	0.895	0.835	0.794	0.789
Stress ratio at failure M'_f	0.956	1.010	0.995	1.010	0.945	0.901	0.895
Quasi-overconsolidation ratio $OCR(=\sigma'_{vm}/\sigma'_{vm0})$	1.3	1.0	1.25	1.0	1.7	1.3	1.2
Hardening parameter $B^*_{vm}B^*_{vm}C_1$	8000,149.0	3400,112.9.0	7000,76.2.0	6500,71.0	9200,87.4.0	8700,153.0	6400,68.4.0
Control parameter of anisotropy C_d	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Parameter of Dilatancy $D^*_{vm}n$	2.0,3.0	1.5,6.0	2.0,7.0	2.0,2.0	1.6,2.0	1.9,1.6	1.9,8.5
Reference Value of plastic Strain γ^*_{pl}	0.006	0.004	0.004	0.004	0.003	0.008	0.005
Reference Value of elastic Strain γ^*_{el}	0.06	0.04	0.06	0.1	0.05	0.1	0.05

表 2 西淀川地区 パラメータ

Parameter	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Tr5
Density ρ (t/m ³)	2.00	1.90	1.82	1.82	1.79
Coefficient of permeability k/v_w (m/s·m ² /kN)	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}	9.94×10^{-4}
Initial void ratio e_0	0.564	0.732	0.905	1.019	1.096
Compression index λ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Swelling index κ	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Normalized initial shear modulus G_0/σ'_{vm} (kPa)	590.8	511.9	459.9	428.8	396.7
Stress ratio at Maximum Compression M'_{vm}	0.909	0.909	0.909	0.909	0.895
Stress ratio at failure M'_f	1.406	1.297	1.293	1.269	1.010
Quasi-overconsolidation ratio $OCR(=\sigma'_{vm}/\sigma'_{vm0})$	1.0	1.1	1.1	1.2	1.5
Hardening parameter $B^*_{vm}B^*_{vm}C_1$	4100,149.0	5000,149.0	6000,149.0	6500,149.0	8500,149.0
Control parameter of anisotropy C_d	2000	2000	2000	2000	2000
Parameter of Dilatancy $D^*_{vm}n$	3.5,6.0	3.0,6.0	2.0,4.0	2.0,4.0	2.0,7.5
Reference Value of plastic Strain γ^*_{pl}	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Reference Value of elastic Strain γ^*_{el}	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

表 3 入力地震動

	地震動	解析モデル	最大加速度
内閣府 南海トラフ巨大地震検討会の地震動	基本ケース	住之江	188.5 (gal)
		西淀川	115.8 (gal)
	陸側ケース	住之江	301.3 (gal)
		西淀川	241.0 (gal)
杉戸らによる地震動	日向灘	—	572.6 (gal)
	紀伊半島沖	—	253.2 (gal)

は地表から深さ 20m までの有効応力減少比を元に計算しており、深さ 20m まですべての層が完全に液状化した場合、LRI は 10 になる。住之江、西淀川、住之江(-24m まで)のそれぞれのモデルにおいて、表 3 に示した内閣府の基本ケース・陸側ケース及び、杉戸らによる日向灘・紀伊半島の地震動を用いた解析から得られた LRI の値と地表面応答加速度を表 4 に示す。また、表 4 に解析によって得られた最大加速度を用いて算出した PL 値も併せて示す。入力地震動の最大加速度が大きいケースで LRI も大きくなっているが、住之江(-150m)の場合は、最も入力地震動の最大加速度が小さい基本ケースで LRI が大きくなった。住之江地区の基本ケースの有効応力減少比の深度分布を図 2 に、陸側ケースの有効応力減少比を図 3 に示す。図 2 によると、基本ケースでは砂層がほとんど液状化している一方で、図 3 の陸側ケースは最終時に有効応力減少比が上昇しきっていない層が見られる。これは、陸側ケースのほうが入力地震動の加速度が大きいことから 60 秒時点で砂層の下部で基本ケースよりも早く液状化が発生し、加速度が減衰したことによって上部の砂層では液状化が発生しなかったことが原因であると考えられる。図 4 に住之江地区の-24m までのモデルで、地震動を基本ケースとした場合の有効応力減少比の深度分布を示す。このケースでは、砂層は全体が液状化しておらず、図 2 に示す同じ基本ケースの地震動を用いて-150m までモデル化したケースのほうが LRI は大きい。

4. まとめ

大阪市域の二地点においてさまざまなモデル、および地震動を用いて動的解析を行い、液状化危険度指数 LRI を算出した。そして、その値の有用性を検討するとともに、地盤モデルや地震動の液状化への影響を検討した。その結果、基本的に入力地震動の最大加速度が大きいケースで LRI が大きくなっていたが、加速度が大きいために砂層の下部で早く液状化が発生し、減衰するケースも見られた。また、工学的基盤の深さによって液状化の程度、応答加速度が変わるため注意する必要がある。

謝辞

住之江と西淀川の解析は地盤工学会関西支部南海トラフ巨大地震に関する被害予測と防災対策研究委員会の研究の一部として実施した。また、本研究では岐阜大学の杉戸真太教授による南海トラフ巨大地震の想定地震動を使用させて頂いた。記して謝意を表します。

表 4 各ケースの LRI と PL 値

解析モデル	入力地震動	地表面応答加速度	LRI	PL 値
住之江 (-150m まで)	基本ケース	228.1 (gal)	4.72	8.21
	陸側ケース	168.3 (gal)	3.50	2.83
	日向灘	154.2 (gal)	3.76	2.28
	紀伊半島	169.5 (gal)	3.73	2.93
西淀川 (-150m まで)	基本ケース	169.0 (gal)	3.34	0.27
	陸側ケース	200.7 (gal)	3.41	0.91
	日向灘	215.6 (gal)	3.50	1.31
	紀伊半島	161.7 (gal)	2.79	0.16
住之江 (-24m まで)	基本ケース	183.6 (gal)	3.73	4.02
	陸側ケース	206.9 (gal)	4.73	6.32
	日向灘	221.5 (gal)	4.15	7.66
	紀伊半島	188.8 (gal)	3.10	4.47

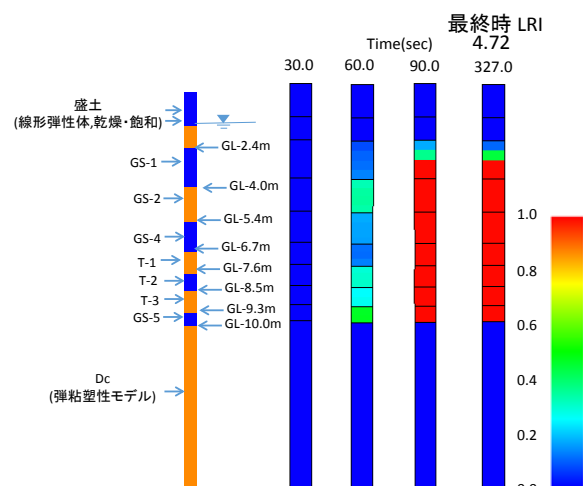


図 2 住之江地区（基本ケース，基盤-150m）での有効応力減少比深度分布

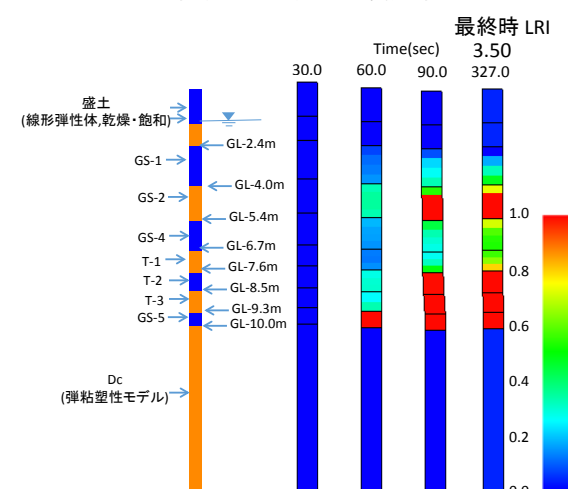


図 3 住之江地区（陸側ケース，基盤-150m）での有効応力減少比深度分布

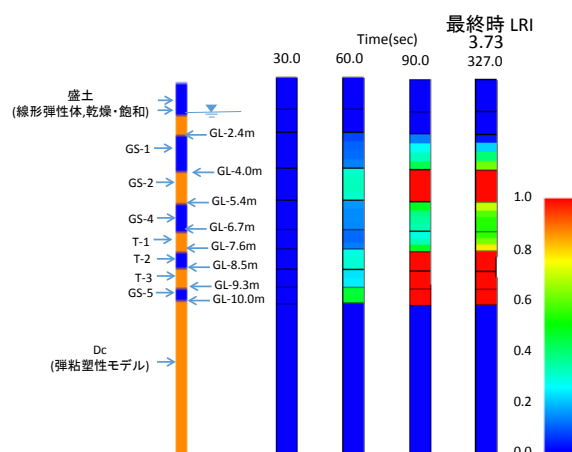


図 4 住之江地区（基本ケース，基盤-24m）での有効応力減少比深度分布

参考文献

- 1) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所，LIQCA2D14・LIQCA3D14(2014 年公開版)資料，2014. 2) 木元小百合他，Proc. of Kansai Geo-Symposium 2014，地盤工学会関西支部，pp.79-82,2014.
- 3) Oka,F. et al., *Int. J. of Geomechanics*, ASCE, accepted in 2015, to appear.
- 4) 杉戸真太他，南海トラフ沿いでの巨大地震による強震動予測，岐阜大学平成 23 年度 年次報告 流域圏科学研究センター報告，第 10 号，pp. 45-48，2012.