

第III部門

液状化解析プログラム LIQCA を用いた埋立て地盤の耐液状化特性の検証

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 学生会員 杉藤 溪太

立命館大学理工学部 フェロー 深川 良一

**1. はじめに** 現在、関西圏では南海トラフ巨大地震による被害が懸念されている。南海トラフ巨大地震が発生した際の被害として、大阪府で最大約 3.8 万棟の建物が液状化の被害を受けると考えられている<sup>1)</sup>。

特に液状化が発生しやすい地盤の特徴として、地下水位が高く、緩い砂地盤が多く堆積していることなどが挙げられ、特に埋め立て地や盛土地盤で液状化の発生する可能性が高い。そこで、本研究では LIQCA2D<sup>2)</sup> を用いて、大阪府周辺の埋め立て地盤における耐液状化特性を検証する。LIQCA2D とは一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所によって開発された液状化解析プログラムである。ここでは、2 次元状態での有効応力に基づく液状化解析を実施した。

**2. 解析条件** 本研究の対象地は埋め立て地盤である。図 1 に 2 次元解析断面と設定条件を示す。地表面から約 10m 程度の深さまで埋め立てられた地層 Bs がある。設定した地震動は鉄道構造物等設計基準・同解説<sup>3)</sup> の L2 スペクトル地震動で、底面境界より加振した。

計算時間増分は 0.001 秒とし、Newmark 法の係数は、 $\beta=0.3025$ ,  $\gamma=0.6$  とした。Rayleigh 減衰は初期剛性比例型とし、0.002 とした。動的計算は、設定地震動の加振時間に加えて、水平変位と水平加速度が収束するまで行った。その後、鉛直変位が収束するまで圧密計算を行った。

また設定したパラメータの一部を表 1 に示す。初期応力解析では、弾完全塑性モデルを使用し、有効応力のせん断弾性係数への影響を考慮した。動的解析では、液状化判定対象層に分類された Bs 層地下水位以下と Als1 層は繰り返し弾塑性モデルでモデル化し、非液状化判定対象層は R-O モデルでモデル化した。出力する節点は、①: 既存ボーリング No.3 に対応する地点、②:

粘土層 Bc 層が厚い地点、③: 粘土層 Bc 層が薄い地点の 3 地点とした。これにより、液状化判定対象層の間にある粘土層 Bc 層の影響を比較する。

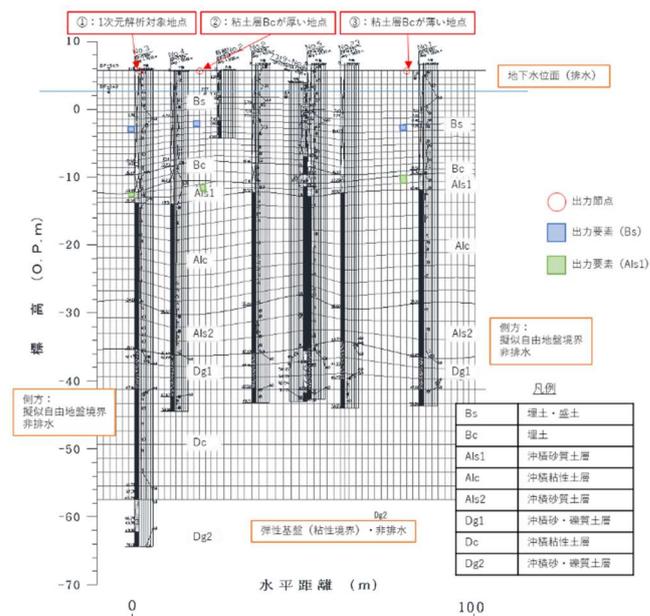


図 1 解析断面とパラメータ

表 1 設定パラメータの一部

	Bs (潤潤)	Bs (飽和)	Bc	Als1	Als2	
	弾塑性	弾塑性	RO	弾塑性	RO	
単位体積重量	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.99	17.99	15.99	17.99	15.99
密度	$\rho$	1.84	1.84	1.63	1.84	1.63
透水係数	$k$ (m/s)	5.5.E-07	5.5.E-07	1.5.E-10	5.5.E-07	1.0.E-09
初期空隙比	$e_0$	0.85	0.85	1.00	0.70	1.00
せん断弾性波速度	$V_s$ (m/s)	197	197	122	217	110
圧縮指数	$\lambda$	0.020	0.020		0.020	
膨潤指数	$\kappa$	0.002	0.002		0.002	
擬似過圧密比	OCR*	1.6	1.6		1.7	
初期せん断係数比	$GO/\sigma'_{m0}$	1133.6	1133.6		762.6	
変相応力比	$M^*_{*m}$	0.909	0.909		0.909	
破壊応力比	$M^*_{*f}$	1.051	1.051		1.033	
硬化関数中のパラメータ	B=0	5000	5000		5000	
"	B*1	100	100		100	
"	Cf	0	0		0	
基準ひずみ(塑性剛性)	$\gamma P^*_{*r}$	1000	0		0	
基準ひずみ(弾性剛性)	$\gamma E^*_{*r}$	1000	0		0	
ダイレイタンス係数	D=0	1.0	1.0		0.8	
ダイレイタンス係数	n	2.0	2.0		1.5	
異方性消失のパラメータ	Cd	2000	2000		2000	
ポアソン比	$\nu$			0.49		0.49
粘着力	$c$ (kPa)			52.0		38.0
内部摩擦角	$\phi$ (deg)			0.0		0.0
せん断弾性係数のパラメータ	a			2383		1626
"	b			0.50		0.50
R-Oパラメータ	$\alpha$			1.98		3.19
"	r			1.98		2.67

**3. 解析結果** 解析結果から全ての液状化判定対象層で液状化が発生した。動的解析終了時に水平加速度と水平変位が収束していることを確認した。

表2に加振中の有効応力減少比の最大値を示す。有効応力減少比とは、その値が1に達したとき、液状化に至ったと評価できる指標である。類似した指標の過剰間隙水圧比と比べて、全応力の時刻歴変化を考慮できるため、2次元解析での液状化の指標には有効応力減少比が推奨されている。出力する要素は各土層の中間にあたる土層とした。また、LIQCAでは計算スキームの関係で有効応力減少比の最大値が99.0%であるため、実現象では有効応力減少比が100%に達する可能性も考えられる。そして、一度液状化が発生したのち過剰間隙水圧の消散により有効応力減少比は減少した。

各地点における鉛直沈下量の時刻歴を図2に示す。3地点ともに最終的に鉛直沈下量が収束しておりその値は約1.2~1.5m程度であった。①地点と②地点は鉛直方向に一度盛上がってから沈下を起こしている。この盛上りは側方から液状化した土層が流れてくることによる影響ではないかと考えられる。しかし、盛上りによる変位は、後の過剰間隙水圧の消散に伴う鉛直沈下量と比較して小さい変位量であると言える。

また鉛直変位が収束するまでの時間は3地点とも $10^8$ 秒程度という解析結果となった。これは実現象と比較すると非常に長い時間をかけて沈下していることになる。実現象では、粘土層に亀裂が入りそこから噴砂など砂が溢れ出す現象が起きると考えられるが、本研究ではその現象を考慮していない。噴砂などの現象を表現することは、現時点では困難であるため、本研究の対象外とした。

各時刻歴における地表面鉛直変位を図3に示す。加振中と加振終了時の相対変位は少ないが、圧密収束時には過剰間隙水圧の消散に伴って約1.2~1.5m程度の鉛直沈下が発生している。特に、粘土層Bc層が厚い中央では鉛直沈下量が少ないことが分かる。そして、粘土層Bc層が厚い部分は相対的にBs層の堆積が少ないため、他の地点と比較して液状化による沈下量が少ないのではないかと考えられる。

各時刻歴における地表面回転角を図4に示す。ここでの地表面回転角とは、ある節点とその隣接する2つの節点間の角度を示すものであり、水平に要素が繋がっているとき180度となり、角度が浅くなるほど不陸

が多く起こっていると評価できる。これを踏まえると、粘土層Bc層が薄い地点である向かって右側は回転角が急になっており、地表面の不陸が比較的大きいことが分かる。

**4. おわりに** 本研究では、解析対象地盤の耐液状化特性に関してLIQCA2D<sup>2)</sup>を用いて検証し、すべての液状化判定対象層が液状化した。今後は、建物の荷重を考慮した解析ケースなど、よりリアルな解析事例を想定することで、実際に南海トラフ巨大地震などの被害の検討を進めたい。

**【参考文献】**

- 1) 大阪市：大阪府域における南海トラフ巨大地震の被害想定（人的被害・建物被害）の公表について，2015。
- 2) 一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所：LIQCA2D15（2015年度公開版），2015。
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等標準・同解説，2012。

表2 加振中の有効応力減少比の出力値

	有効応力減少比の最大値	
	Bs	Als1
①地点	97.8%	98.7%
②地点	98.8%	99.0%
③地点	99.0%	98.4%

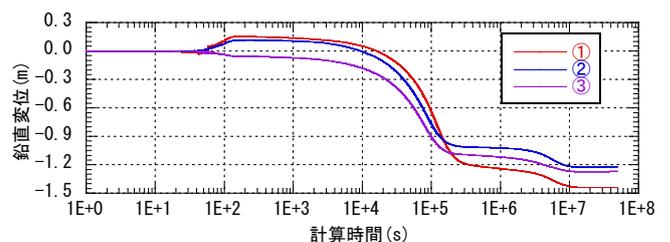


図2 各地点における地表面鉛直変位の時刻歴

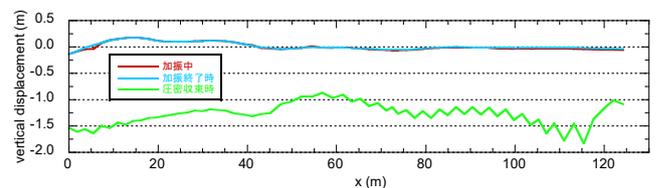


図3 各時刻歴における地表面鉛直変位

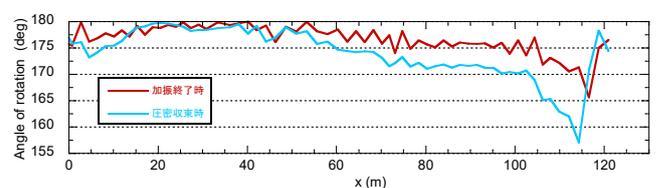


図4 各時刻歴における地表面回転角