

地震動に着目した格子状改良の液状化抑止効果に対する解析的検証

(株) エーバイシー 正会員 ○宮崎 航
 (株) エーバイシー フェロー会員 本多顕治郎
 (株) エーバイシー 正会員 植松 祐亮

1. はじめに 東北地方太平洋沖地震による液状化被害は、震源地に近い東北地方のみならず関東地方まで広範囲に及んだ。昨今、この被害を受け液状化対策に目が向けられている。例えば浦安市¹⁾では、液状化対策として既存街区に、格子状地中連壁改良（以下、“格子状改良”）を行い、対策を講じる計画を発表している。しかし、格子状改良の液状化抑止効果については、兵庫県南部地震のような直下型地震動（以下、“直下型”）に対しては、数多く解析的に検証されている²⁾が、海溝型地震動（以下、“海溝型”）における検証が少ない。また、浦安市での報告¹⁾では液状化が発生するものの、変形が抑止されるという報告に留まっているのが現状である。よって、本稿では直下型及び海溝型の地震動における格子状改良の液状化抑止効果を解析的に検証し、その液状化抑止効果について考察を行ったので報告する。

2. 検討手法 格子状改良は、加震方向に対する平行壁及び直交壁にて構成されていることから、三次元解析を行うべきであるが、現状の三次元解析は、モデル化に時間を要し、なおかつ計算時間が莫大となるため、実務上では現実的ではない。よって、本検討においては、図1に示すように平行壁及び直交壁を節点同一変位にて結合し、三次元効果を表現できる二次元解析で検討を行った。

尚、解析には、Biotの二相混合体理論に基づいた土-水連成の動的な支配方程式に、非線形移動硬化則に基づく構成式を組み込んだLIQCA2D13³⁾を用いた。また、地震終了後、約1日の過剰間隙水圧消散解析を実施した。境界条件は、側面に幅広要素を設けその内側の同一深度節点を等変位境界とし、底面は粘性境界とした。

図2に使用地震動を示す。地震波は、内閣府中央防災会議により提供されている直下型及び海溝型の地震動を用いた。図3に、解析モデルを、表1にモデルパラメータを示す。解析地盤は、実際に格子状改良にて液状化対策を講じる地盤とした。なお、改良地盤上には、構造物が建設される計画であるが、ここでは荷重として考慮する。また、改良体は弾性体として取扱い、改良体の設計基準強度からモデルパラメータを設定した。

3. 解析的検証 図4に直下型及び海溝型の地震終了後における有効応力減少比の分布図を示す。また図5に、地震終了時から過剰間隙水圧消散後の沈下量の差を示す。

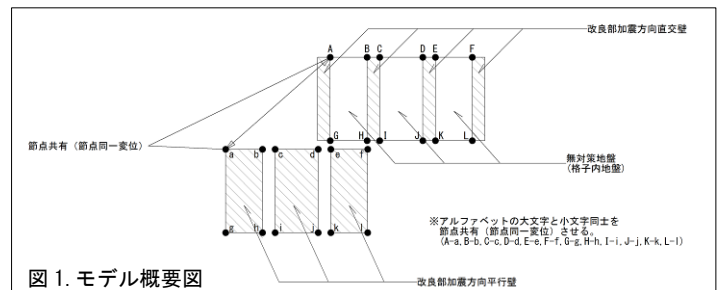


図1. モデル概要図

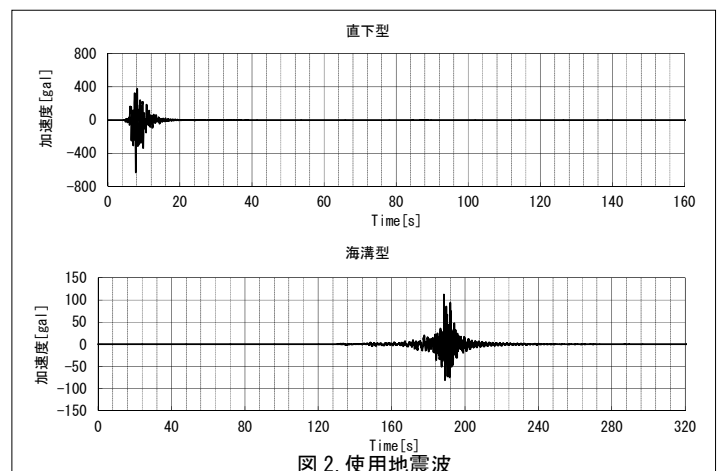


図2. 使用地震波

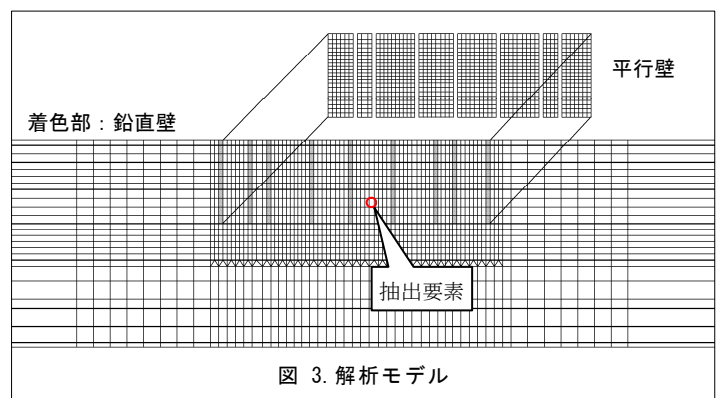


図3. 解析モデル

キーワード 地盤液状化, 有効応力解析, 格子状改良

連絡先 〒530-0043 大阪府大阪市北区天満1-19-4 センチュリーパーク東天満ビル6F (株)エーバイシー 設計部 TEL 06-6352-5663

直下型では、改良壁に挟まれた地盤（以下，“格子内地盤”）において，有効応力減少比が 1.0 となる箇所が確認できない．また，地震終了後から消散解析終了後の鉛直変位差がほぼ生じておらず，不同沈下も生じていない．よって，液状化の抑止効果が十分發揮されているものと判断できる．

一方、海溝型では、格子内地盤の有効応力減少比が 1.0 となる箇所があり、その程度は未改良のケースより改良したケースの方が大きい。しかし、鉛直変位量に着目すれば改良を施した箇所での沈下量は 0.2m 以下であり、不同沈下も生じていない。よって、海溝型では、格子内地盤では液状化の発生は認めるが、沈下に対する抑止効果が発揮できるものと考えられる。

4. 考察 海溝型の改良した解析ケースにて、有効応力減少比が 1.0 となることについて、直下型の改良ケースと比較することにより考察を行う．図 6 は第一軸に有効応力減少比，第二軸に発生間隙水圧(kN/m^2)の時系列分布を，図 7 は第一軸に初期剛性からのせん断剛性低下率，第二軸にせん断ひずみの絶対値(%)の時系列分布を示している．尚，抽出位置は図 3 に丸印を付けている．

過剰間隙水圧の発生量は、両者とも有意な差 (50.0 kN/m^2 程度) はみられない。しかし、せん断剛性の低下率に差がみられ、海溝型ではせん断ひずみの発生量が大きく、格子状改良によるせん断変形の抑止効果が表れていないと推定される。即ち、長時間震動されることにより、せん断ひずみが蓄積し、結果として液状化の発生を抑止できていないと判断できる。

5. 今後の展望 格子状改良は、既存街区に対して対策が講じられるように有益な液状化対策工法である。海溝型に対しては、せん剛性低下率やせん断ひずみの発生量が直下型より大きくなることから液状化が生じる結果となった。この工法が、海溝型の地震動でも有効に働くように今後解析を通じて、新たな工法を模索したい。

6. 参考文献 1)浦安市ら：平成 24 年度市街地液状化対策実現可能性検討調査報告書,2012 2)例えば，鈴木ら：格子状地盤改良による液状化対策を施した建築基礎の調査報告，基礎工，1995.10 3)一般社団法人 LIQCA 液状化地盤研究所:LIQCA2D13・LIQCA3D13(2013 公開版)資料,平成 25 年 11 月 13 日

表 1. モデルパラメータ一覧

	b1	b2	Us _u	Us _u	Us _d	Mm	LS	Dp	S1
密度	ρ (t/m ³)	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700	1.700
消水係数	k (cm/s)	-	7.66×10^{-2}	4.74×10^{-2}	6.17×10^{-2}	2.85×10^{-2}	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}	1.00×10^{-2}
初期間隔比	α	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700
せん断強度	V (m/s)	136.8	136.8	208.0	137.6	205.6	145.4	183.2	127.0
繰返し弾塑性モデル									
圧縮指数	λ		0.018	0.025	0.018				
膨張指数	κ		0.0018	0.0025	0.0018				
弾性率比	σ/ϵ		1.000	1.000	1.000				
無次元化初期せん断係数	G_0/σ		943.7	956.6	368.4				
変相応力比	M^*		0.909	0.909	0.909				
破壊応力比	M^*		1.051	1.371	1.067				
硬化関数中の β パラメータ	B_n		2000.0	4500.0	5500.0				
n	σ		20.0	40.0	55.0				
n	ϵ		0.0	0.0	0.0				
基準ひずみ (塑性開位)	γ^{pr}		0.005	0.002	0.001				
基準ひずみ (弾性開位)	γ^{el}		0.010	0.100	0.010				
γ (バウチン)係数	σ		0.35	1.0	2.5				
n	ϵ		3.0	4.0	2.0				
弾塑性消失の β パラメータ	C_n		2000	2000	2000				
修正R-04 β									
ポアソン比	ν	0.333			0.333	0.333	0.333	0.333	0.333
粘着力	c (kN/m ²)	6.500			40.560	34.500	63.760	36.400	102.830
内部摩擦角	ϕ (°)	-			-	-	-	-	-
せん断弾性係数の β パラメータ	a	32500			50700	34500	54800	28000	79100
n	b	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
n -On ₁ パラメータ	α	3.440			3.440	3.440	3.440	3.440	3.440
n	r	2.782			2.782	2.782	2.782	2.782	2.782

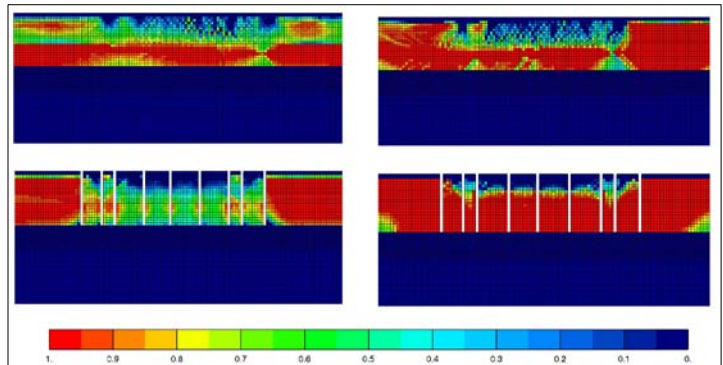


図 4. 地震終了時の有効応力減少比コンター図（左上：直下型未改良・左下：直下型改良・右上：海溝型未改良・右下：海溝型改良）。
0.0 を紺・1.0 を赤とし、濃淡をつけた。

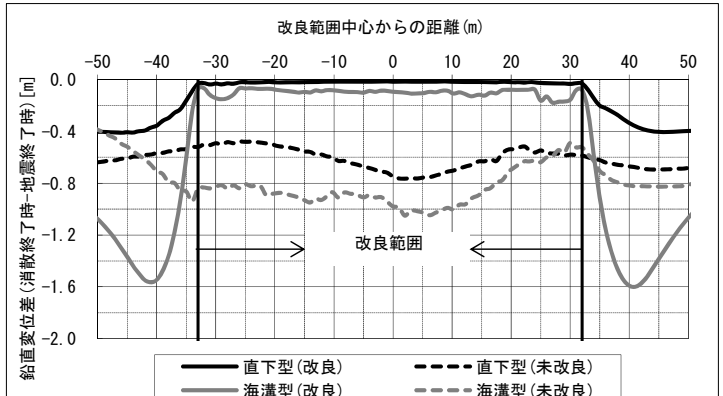


図 5. 地震終了から過剰間隙水圧消散までの地表面の鉛直変位差。縦軸は鉛直変位差を示し、横軸は改良範囲中心からの距離を示す。尚、図 4 の右方向を正とする。

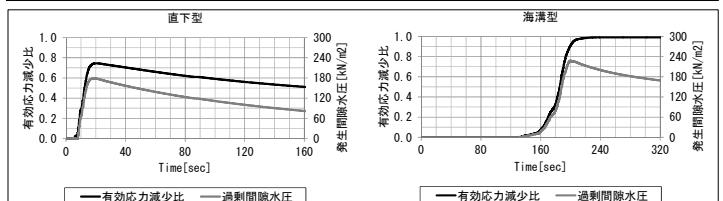


図 6. 地震中の有効応力減少比及び発生間隙水圧の時系列変化。(左：直下型・右：海溝型)

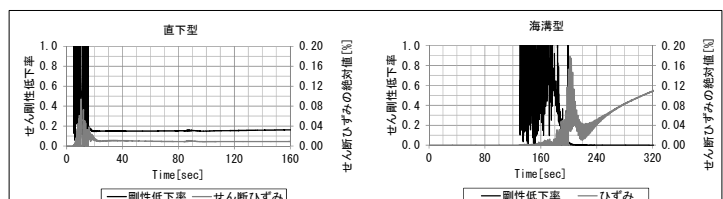


図 7. 地震中の剛性低下率、せん断ひずみの時系列変化。(左: 直下型・右: 海溝型)