

深層混合処理による格子状改良地盤の3次元液状化解析による安定性評価

京都大学大学院 フェロー会員 岡 二三生  
 京都大学大学院 正会員 小高 猛司  
 不動建設（株） 正会員 田中 克実

1. はじめに

既設河川堤防の液状化対策として法尻に深層混合処理による格子状固化改良体を施工する場合がある。現行設計法では格子間隔  $L$  と改良深さ  $H$  との比  $L/H$  は概ね 0.8 以下が適当とされているが、 $L/H$  を基準に格子間隔を設計する場合、液状化層が薄いほど格子間隔を密にせざるを得ないという不合理性が生じることも指摘されている。本報では、水平地盤モデルでの3次元有効応力解析 (LIQCA-3D) により、格子状間隔と液状化層厚が液状化抑制にどのように寄与するのかについて系統的に調査した結果を示す。

2. 解析モデルと条件

図1は解析に用いた水平地盤モデル ( $H=8m$ ) の有限要素メッシュ図であり、上側に平面図、下側に立面図を示す。地盤深さは  $9m$  であり、最下層  $1m$  は非液状化砂層、その上部  $8m$  が液状化砂層である。表1は解析に用いた土質パラメータである。液状化砂層の液状化強度  $R_{20}$  は 0.15 程度である。図2に解析に用いた格子状改良の3種のパターンを示す。図1中央部のメッシュの細かい部分に図2のように改良体要素を組み入れ、線形弾性体で改良体 (厚さ  $0.8m$ ) をモデル化 (Lame の定数,  $\lambda=1.9 \times 10^6 kPa$ ,  $\mu=2.11 \times 10^5 kPa$ , 透水係数  $k=9.8 \times 10^9 m/s$ ) して解析を行った。解析は別途、深い地盤モデル (液状化層厚  $H=16m$ , 非液状化層厚  $1m$ ) でも行っており、図2の改良パターンを組み合わせ、表2に示す解析ケースを設定した。液状化解析にあたり、地盤底部の節点は全方向拘束し、前面 (および裏側の面) では奥行方向のみを拘束し、解析領域の対称性から奥行方向に格子状改良体が無限に並んだ断面を想定している。また、地盤表面のみ排水境界とし、それ以外では非排水境界としている。図3に解析に用いた入力地震動を示す。

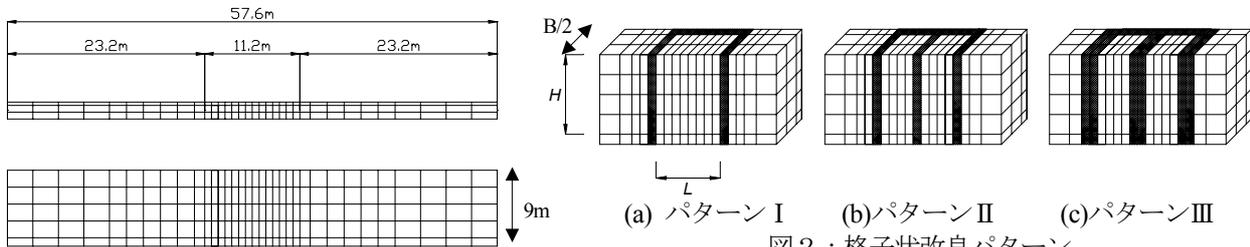


図1：解析に用いた有限要素メッシュ

図2：格子状改良パターン

表1：土質パラメータ

	液状化砂層	非液状化砂層
初期間隙比 ( $e_0$ )	0.856	0.673
単位体積重量 ( $\rho$ ) (t/m <sup>3</sup> )	1.91	1.98
圧縮指数 ( $\lambda$ )	0.018	0.025
膨張指数 ( $\kappa$ )	0.0055	0.0025
初期せん断剛性比 ( $G_0/\sigma_{m0}$ )	873	908
変相角 ( $\phi_m$ ) (deg)	28	28
破壊角 ( $\phi_f$ ) (deg)	34	45
変相応力比 ( $M_m$ )	0.909	0.909
破壊応力比 ( $M_f$ )	1.122	1.511
硬化関数中のパラメータ ( $B_0$ )	2200	1500
硬化関数中のパラメータ ( $B_1$ )	30	20
硬化関数中のパラメータ ( $C_p$ )	0	0
Fading memory ( $C_d$ )	2000	2000
ダイレイタンス係数 ( $D_0$ )	5	1
ダイレイタンス係数 ( $n$ )	1.5	9
塑性基準ひずみ ( $\gamma_{ref}^p$ )	0.0050	0.015
塑性基準ひずみ ( $\gamma_{ref}^e$ )	0.01	0.1
透水係数 (m/sec)	8.50E-04	1.30E-03

表2：解析ケース一覧

解析ケース	パターン	L(m)	H(m)	L/H	B(m)	改良率
無処理	—	—	8	—	4	0%
A	I	6.4	8	0.8	4	35%
B	II	3.2	8	0.4	4	42%
C	III	3.2	8	0.4	4	54%
D	I	12.8	16	0.8	4	29%
E	II	6.4	16	0.4	4	33%
F	III	6.4	16	0.4	4	42%
G	I	9.6	8	1.2	4	31%

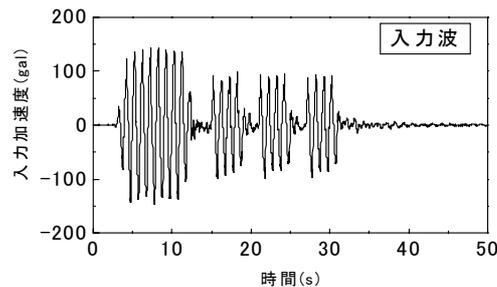


図3：入力地震動

キーワード：液状化、格子状改良、深層混合処理、砂質土、有効応力解析、3次元解析  
 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 / Tel 075-753-5085 Fax 03075-753-5086

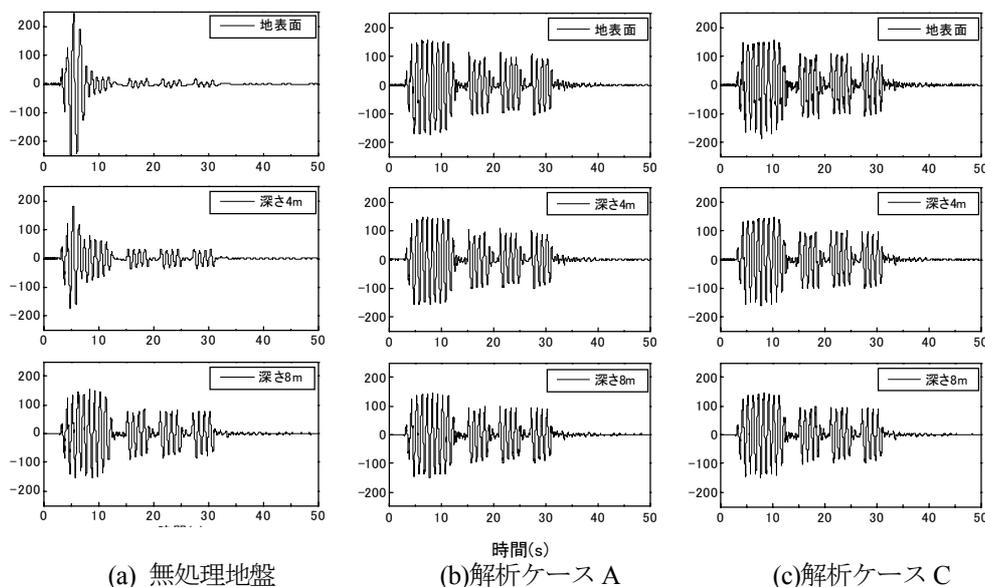


図4：絶対応答加速度の時刻歴 (単位: gal)

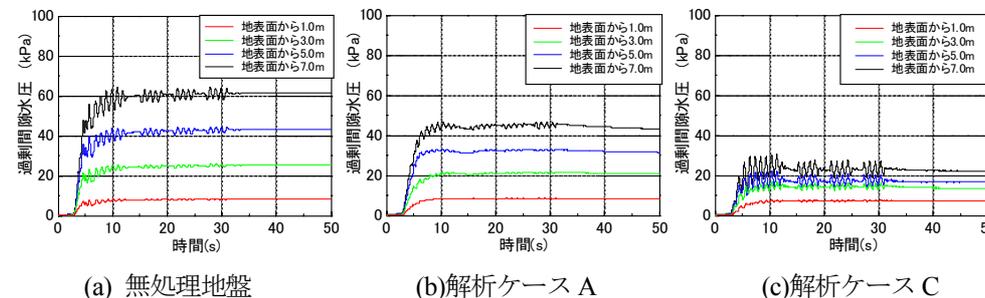


図5：過剰間隙水圧の時刻歴

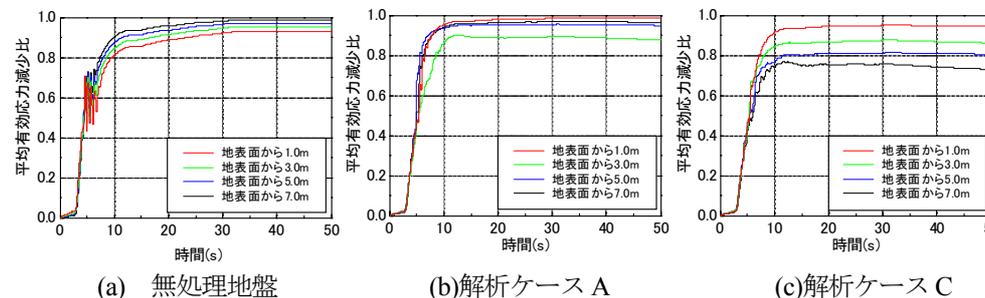


図6：平均有効応力減少比の時刻歴

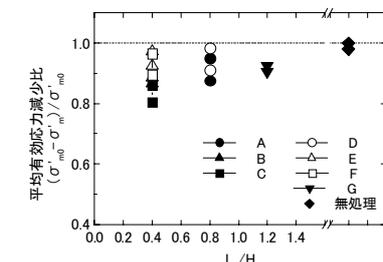
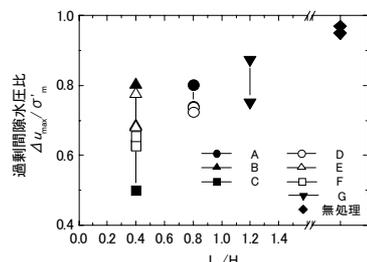


図7：過剰間隙水圧比～L/H 関係

図8：平均有効応力減少比～L/H 関係

2点を結んで整理した。結果に幅があるもののL/Hが0.8以下においては過剰間隙水圧比の上限は概ね0.8以下で一定となっており、模型実験による既往の研究結果<sup>1)</sup>の傾向と一致している。しかしながら、液状化度を示す平均有効応力減少比ではL/Hが小さくても有効応力の減少量は大きい場合もあり、格子内の砂地盤が液状化に近い状態にあることがわかる。

**4. まとめ** 格子内の砂地盤は、格子改良体の挙動に依存して剛体的に動いているために過剰間隙水圧の発生量は抑えられているが、実状は液状化に近い状態にある。また、その割合は過剰間隙水圧比で見るほどL/Hの影響は大きくなく、L/Hが小さくても液状化に近い状態にあると考えられる。格子状改良の効果を格子内の砂の液状化抑止で判断せず、地盤の変位抑制等で考えるならば、図7の結果に固執せずL/Hをさらに小さくできる可能性も考えられる。

参考文献：鈴木吉夫 他，格子状改良地盤の液状化抑制効果に関する遠心模型振動実験，第33回地盤工学研究発表会，1998。

3. 解析結果と考察

図4は無処理地盤および解析ケースAとCで得られた格子内液状化砂層での各地盤深度における応答加速度である。無処理地盤では、載荷後に地震動が増幅した後急激に減衰する典型的な液状化地盤の加速度応答を示している。しかしながら、改良地盤では応答加速度は増幅も減衰もせず、地盤全体が剛体的に挙動していることがわかる。図5は過剰間隙水圧の時刻歴である。改良により過剰間隙水圧の発生が抑制されている。特に解析ケースCの下層で過剰間隙水圧の発生が少ないのは、厚い改良壁による強い拘束により、最下層の非液状化層に発生する負圧の影響を受けているためである。図6は同様に平均有効応力減少比の時刻歴である。平均有効応力減少比とは、初期有効応力から現在の平均有効応力までの減少量を初期有効応力で無次元化した指標であり、1に近づくほど有効応力はゼロに近く液状化していることを示す。改良により1に近づく割合は若干抑

えられることがわかるが、過剰間隙水圧で見るほどに改良効果は顕著に表れていない。図7および8はそれぞれ、全解析ケースにおける過剰間隙水圧比および平均有効応力減少比とL/Hとの関係である。最下層の影響を除くため浅いモデルでは深度3mと5m、深いモデルでは深度5mと9mの解析結果を用いて