

鉱さい堆積場のレベル2地震動に対する耐震設計に関する研究（その2） ～格子状地盤改良の剛性のばらつきが液状化抑制効果に及ぼす影響～

大成建設(株) 正会員○広重敬嗣 正会員 畑 明仁 正会員 立石 章 正会員 千野和彦

JX 日鉱日石金属(株) 山田誠之 田口裕之

1. 研究の目的と検討手法

従来の鉱さい堆積場における格子状地盤改良の設計では、改良体の剛性は設計基準強度に基づき設定されている。しかし、現場において造成される地盤改良体の平均強度は設計基準強度よりも高いため、実際の格子状地盤改良体がある平均剛性は、設計基準強度相当の剛性よりも高い。したがって、格子状地盤改良の剛性を、実際の平均剛性により評価することで、従来の設計をより合理化できると考えられる。本稿では、千野・広重¹⁾による鉱さい堆積場における改良体発現強度特性の調査に基づき、実際の格子状地盤改良のように改良体の剛性分布にばらつきが存在する場合の、格子内地盤の液状化抑制効果に及ぼす各種要因について、解析的検討を行う。

解析は3次元全応力逐次非線形解析プログラム T-DAPⅢを用い、平均剛性を有する格子状地盤改良の解析(以下、平均剛性法)と、実際の改良体剛性分布を模擬したモンテカルロシミュレーション(以下、MC法)を実施する。

2. 解析条件

解析モデルを図1に、平均剛性法とMC法に共通の解析条件を表1に示す。格子状地盤改良の格子間隔は $L=3.5\text{m}$, 5.0m の2モデルとし、原地盤は鉱さい堆積場の土層構成を想定し設定した。解析ケース一覧を表2に示す。MC法では、ランダムな改良体剛性の空間的分布パターンを作成する。本稿では、千野・広重¹⁾の鉱さい地盤における改良体強度の調査結果のうち、設計基準強度 $F_c=700\text{kN/m}^2$ の強度特性に基づき、平均強度を $\overline{q_{uf}}=1,510\text{ kN/m}^2$ 、強度のばらつきの変動係数は32%を中心に $V_f=22\%$, 32%, 42%の3パターンとした。ここで、平均強度 $\overline{q_{uf}}$ に対応する初期せん断剛性 G_0 は、森・鳥井原²⁾らによる初期変形係数と一軸圧縮強度の関係 $E_0=1,000 \cdot \overline{q_{uf}}$ に、改良体のポアソン比を $\nu=0.26$ とし、 $G_0=E_0/2(1+\nu)=600,000\text{ kN/m}^2$ として設定した。また、改良体剛性の3次元空間上の距離相関を表すパラメータとして、自己相関距離 θ を考慮した。 θ は、Navin, & Filz,³⁾ 稲富・善ら⁴⁾の研究を参考に設定した $\theta=2.0\text{m}$, 5.0m , 10.0m の他、仮想のケースとして $\theta=0\text{m}$, ∞ も検討した。格子間隔 $L=5.0\text{m}$

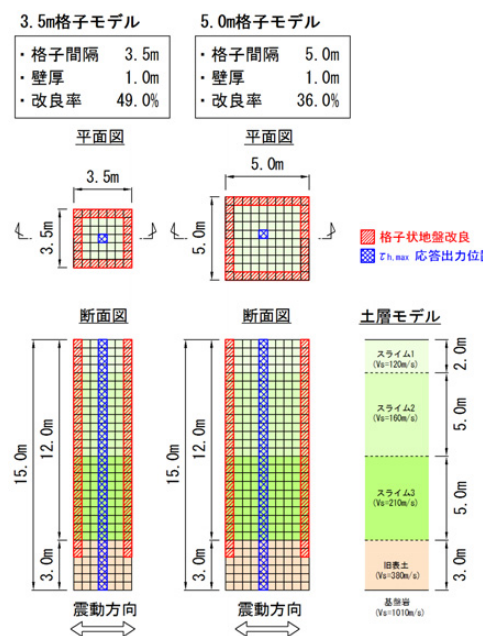


図1 3次元解析モデル

の解析モデルにおける G_0 分布を図2に示す。なお、入力地震動は原・広重⁵⁾に示す活断層型のレベル2地震動を用いた。

3. 解析結果

液状化判定において用いられる水平せん断応力時刻歴最大値 $\tau_{h,max}$ の格子内地盤中央での深度分布について、MC法と平均剛性法の応答値の比率を図3に示す。ただし、MC法は、全試行回数500回の平均値である。本結果より、比率は概ね1前後であり、改良体剛性のばらつきを考慮しても平均的には同等の液状化抑制効果が発揮されることを示している。ただし、本比率の分布傾向に、どのような条件が影響しているのかについては、今後更なる検討を行い明らかにする必要がある。

表1 改良体および原地盤の共通解析条件

土層	単位重量 kN/m^3	動的ポアソン比	S波速度 m/sec	初期せん断剛性 kN/m^2	非線形モデル
改良体	18.9	0.26	—	平均法: 600,000 MC法: ランダム	R-O型 3次元 独立 履歴 モデル
スライム1	18.9	0.49	120	27,700	
スライム2			160	49,300	
スライム3			210	85,000	
旧表土	18.9	0.47	380	278,200	
基礎岩(※)	21.0	0.39	1,010	2,183,700	—

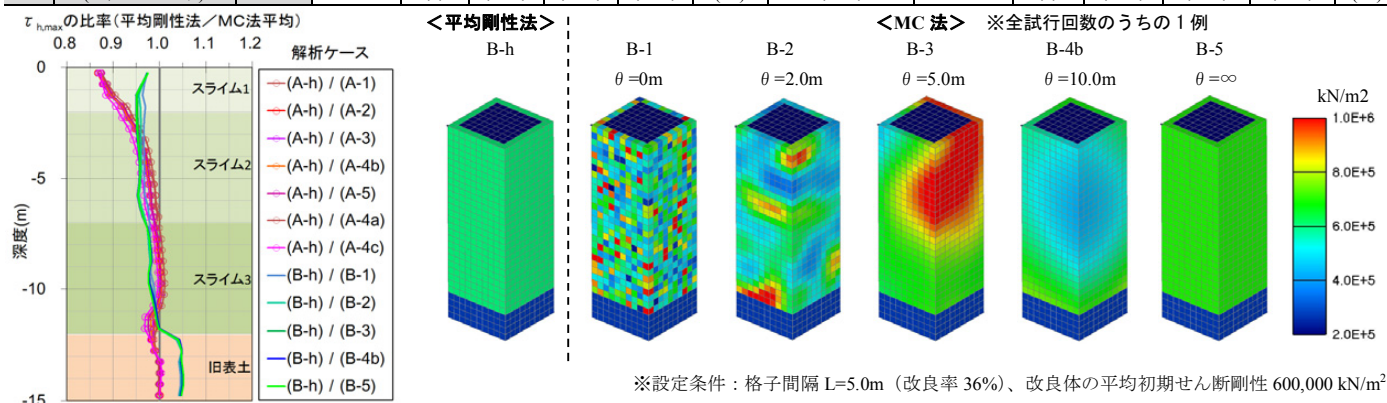
(※) 基礎岩は底面粘性境界としての解析条件を示す

キーワード 鉱さい堆積場, 液状化, 格子状地盤改良, モンテカルロシミュレーション

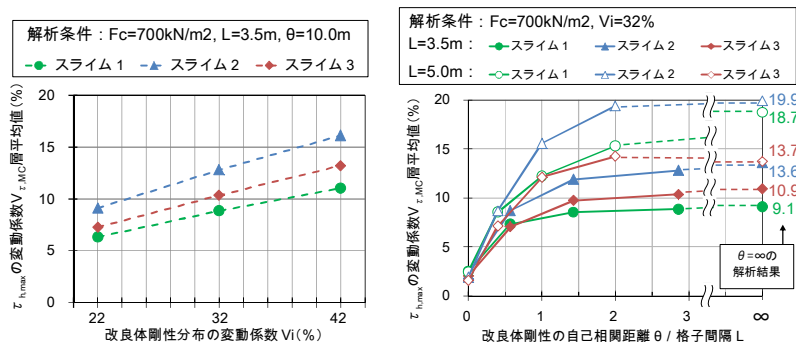
連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)土木設計部 TEL 03-5381-5418

表 2 平均剛性法・MC 法の解析ケース一覧

格子状地盤改良体 パラメーター		単位	平均 剛性法	MC 法（試行回数 500 回）							平均 剛性法	MC 法（試行回数 500 回）				
			A-h	A-1	A-2	A-3	A-4b	A-5	A-4a	A-4c	B-h	B-1	B-2	B-3	B-4b	B-5
形状	格子間隔 L	m	3.5							5.0						
	改良率 as	%	49							36						
改良強度	設計基準 Fc	kN/m ²	700													
	平均強度 $\bar{q}_{u\bar{f}}$ (平均せん断剛性)	kN/m ² (kN/m ²)	1,510 (600,000)													
	変動係数 Vi	%	—	32					22	42	—	32				
	自己相関距離 θ (θ / L の比率)	m (—)	—	0 (0)	2.0 (0.57)	5.0 (1.43)	10.0 (2.86)	∞ (∞)	10.0 (2.86)	—	0 (0)	2.0 (0.40)	5.0 (1.00)	10.0 (2.00)	∞ (∞)	

図 3 $\tau_{h,max}$ 比率の分布

次に、MC 法における $\tau_{h,max}$ の変動係数 ($V_{\tau,MC}$) に及ぼす、 V_i と θ/L の影響を図 4 に整理した。本結果より、 V_i や θ/L が大きいほど $V_{\tau,MC}$ も大きくなっている。図 4 右図についてみると、仮想ケースの $\theta/L = \infty$ でも $V_{\tau,MC}$ は 20% 以下である。現状の知見では設計段階において θ を特定するのは困難であるが、実際には θ は有限長であることから、 θ が格子内地盤の応力状態（あるいは液状化抑制効果）に及ぼす影響はこれより小さい。また、 θ/L が大きくなるに従い $V_{\tau,MC}$ も大きくなっているが、 $\theta/L = 2$ 程度で $V_{\tau,MC}$ の増加が概ね頭打ちになっている。これより、 θ が液状化抑制効果に大きな影響を及ぼすのは θ/L が 2 程度以下の範囲であると考えられる。なお、同じ θ/L に対して、 $L = 3.5m$ よりも $5.0m$ の方が $V_{\tau,MC}$ が大きくなっているが、この要因については、更に検討ケースを追加するなどして今後明らかにしていく必要がある。

図 2 初期せん断剛性 G_0 分布 (格子間隔 $L = 5.0m$ の例)図 4 MC 法の格子内地盤 $\tau_{h,max}$ の変動係数

4. 結論

鉱さい堆積場における格子状地盤改良の剛性評価法について検討した。検討の結果、実際の改良体剛性分布を模擬したモンテカルロシミュレーション (MC 法) と改良体剛性が均一な平均剛性法で、格子内地盤のせん断応力 ($\tau_{h,max}$) の分布は同程度 (比率が 1 前後) となることを確認した。また、剛性の空間的分布パターン (V_i あるいは θ) や格子間隔 (L) の条件の違いが $\tau_{h,max}$ のばらつきに与える影響を、MC 法により定量評価した。これらの解析結果を踏まえ、今後は改良体剛性分布のばらつきを考慮した格子状地盤改良体の剛性評価手法について検討していく。

参考文献

- 1) 千野・広重ら：鉱さい堆積場のレベル 2 地震動に対する耐震設計に関する研究(その 1)～鉱さい堆積場におけるセメント改良の強度発現特性～，土木学会第 70 回年次学術講演会，2015. (投稿中)
- 2) 森・鳥井原ら：セメント改良砂質土の変形強度特性，土木学会第 47 回年次学術講演会，pp.336-337, 1992.
- 3) Navin, M. P. & Filz, G. M., 2005. Statistical analysis of strength data from ground improved with DMM columns. In: Proceedings International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances (Deep Mixing'05).
- 4) 稲富・善・陳・笠間：不良率に着目した改良地盤の液状化リスク分析，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.67, No.2, 2011.
- 5) 原・広重ら：鉱さい堆積場のレベル 2 地震動に対する耐震設計に関する研究(その 3)～2 次元・3 次元地震応答解析による地震時挙動の評価～，土木学会第 70 回年次学術講演会，2015. (投稿中)