

格子状改良に関する非液状化層と格子間隔を変化させた数値解析

竹中土木 正会員 ○東中 邦夫, 今井 政之
 竹中工務店 正会員 金田 一広
 港湾空港技術研究所 正会員 小濱 英司, 大矢 陽介

1. はじめに

本研究では液状化層の上に盛土などの非液状化層がある地盤に対して液状化層に格子状地盤改良を施工することを想定する。その場合、液状化層の地盤(N値)の違いや格子間隔による液状化の発生程度について数値解析により検討した。解析コードは二次元有効応力解析(FLUSH 2D)を用い、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」¹⁾(以下、港湾基準)の液状化判定について検討した。

2. 解析条件

地震時に地盤に発生するせん断応力を用いた液状化判定を行った。FLUSHでの解析では奥行き方向が単位長さ(1m)として行うため、格子状改良による改良壁を平行壁と直交壁に分けた。直交壁は奥行き方向に連続しているものとして改良体の材料定数を与えるが、平行壁は奥行き方向の格子間隔毎に壁が1枚となるように密度およびせん断剛性を換算した。さらに未改良地盤と平行壁を2重要要素とし、平行壁は未改良地盤と節点を共有せず、左右端で節点を共有させることで格子状改良の拘束効果を模擬した。

対象地盤のモデルの例を図-1に示す。左右対称地盤を仮定している。深さ11m以浅のシルト質細砂を模擬したAs層を液状化層、11m以深を砂質シルト層Ac層として非液状化層にしている。表層の盛土については要素を設定せず、盛土厚分だけ変化した上載圧を解析パラメータに反映させた。格子状改良の改良深さはGL-1m(地下水

位)～GL-11m(液状化層下端)までとした。

表-1には解析ケースの一覧を示す。格子状改良間隔Lと改良体深さHの比であるL/Hについては未改良のケースを含め3種類、液状化層のN値を3種類、盛土厚を6種類に変化させた計54ケースについて検討を行った。解析パラメータについては表-2に示し、剛性低下率と減衰定数は図-2に示す。

盛土後の初期の地盤のせん断剛性は下記に示す。

$$G_0 = G_{ma} \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{ma}} \right)^{0.5} \quad \begin{array}{l} \sigma'_m : \text{各層の有効拘束圧} \\ \sigma'_{ma} : \text{平均有効拘束圧} \end{array}$$

表-1 解析ケース

L/H	液状化層 N 値	盛土厚[m]
未改良	5, 10, 15	0~5
1.2	5, 10, 15	0~5
1.0	5, 10, 15	0~5

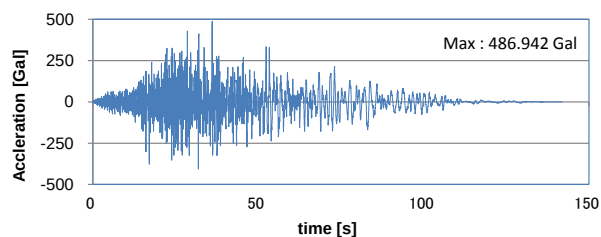


図-3 解析に用いた入力加速度時刻歴

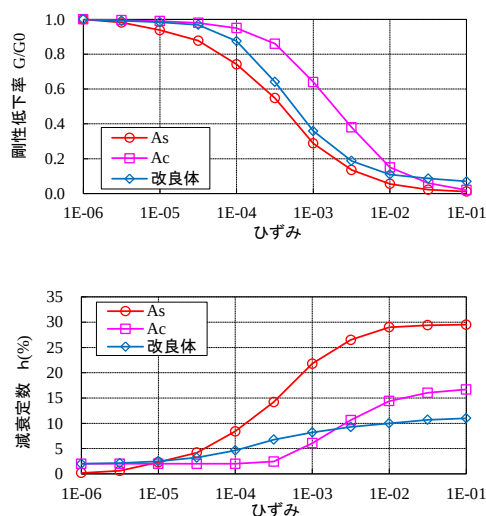
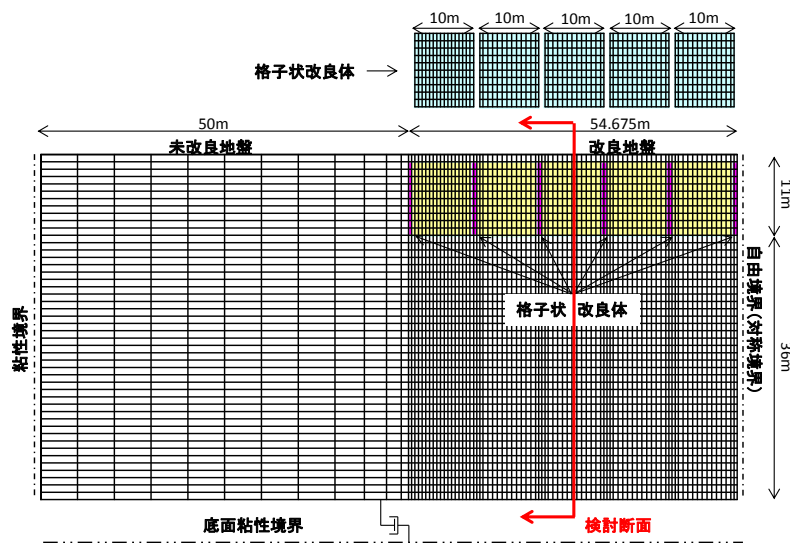
図-2 剛性低下率 (G- γ 曲線) と減衰定数 (h- γ 曲線)

図-1 2次元 FEM モデル (L/H=1.0)

キーワード：液状化、格子状改良、非液状化層、FLUSH、盛土

連絡先：【住所】東京都江東区新砂 1-1-1 【TEL】 03-6810-6215 【FAX】 03-6660-6304

表-2 解析パラメータ

地下水位 GL-1.0m

パラメータ	As (N=5)	As (N=10)	As (N=15)	Ac	基盤	面外壁	面内壁 L/H=1.2	面内壁 L/H=1.0
密度 ρ [t/m ³]	1.8	1.8	1.8	1.5	2.0	1.837	0.121	0.144
せん断波速度 V_s [m/s]	137	172	197	271	388	-	-	-
せん断弾性係数 G_m [MN/m ²]	33662	53434	70019	70685	301088	930000	61515	72853
ポアソン比 ν	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.26	0.26	0.26
N値	5	10	15	20	74	-	-	-

静止土圧係数 $k_0 = 0.5$ として,

$$\sigma'_{ma} = \{(1 + 2k_0)/3\} \sigma'_y = \frac{2}{3} \sigma'_y \quad \sigma'_y: \text{鉛直応力}$$

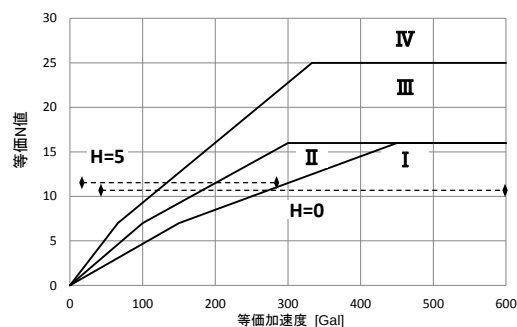
盛土前の初期せん断剛性は

$$G_{ma} = \rho \times V_s^2$$

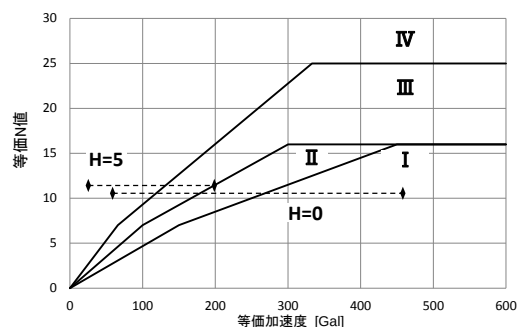
道路橋示方書³⁾より,

$$\text{砂質土層の場合 } V_s = 80N^{1/3} \quad (1 \leq N \leq 50)$$

今回の解析に用いた地震動は図-3に示す。



(a) 未改良



(b) L/H=1.2

3. 港湾基準による液状化判定

図-3には液状化層 (N値=5) の (a) 未改良と (b) L/H=1.2 の液状化判定図を示す。盛土厚が0m, 5mのケースについて解析した等価加速度の最大値と最小値の範囲を示している。なお、分布するのは拘束圧によって G_0 が異なるためであり、深い方が等価加速度が大きくなる。また、等価N値(N_{65})は同じであるが分かりやすく離して表記した。その下表には粒度とN値による土層ごとの液状化の予測・判定を示す。等価N値(N_{65})、等価加速度 α_{eq} については港湾基準に基づき下記の式で求めた。

$$(N)_{65} = \frac{N - 0.019(\sigma'_v - 65)}{0.004(\sigma'_v - 65) + 1.0}$$

ここに、N: 土層のN値

σ'_v : 土層の有効上載圧力 (kN/m²)

$$\alpha_{eq} = 0.7 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_v} g$$

ここに、 τ_{max} : 最大せん断応力 (kN/m²)

τ_{max} は地震応答解析結果を用いた。

図-3より、盛土厚が増加することにより分布範囲は狭くなり、等価加速度が減少する。このことから、盛土により液状化が抑制されているものと考えられる。

4. まとめ

格子状改良により液状化対策を行う場合に、盛土施工を組み合わせることで液状化が抑制されるということを数値解析による結果から示した。このことは、盛土施工時の格子状改良の格子間隔を通常の設計よりも広げられる可能性があることを示している。なお、本研究の結果は遠心実験にて検証する予定である。

範囲	粒度とN値による液状化の判定
I	液状化する
II	液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する
III	液状化しないと判定するか、繰返し三軸試験により判定する構造物に特に安全を見込む場合には、液状化すると判定するか、繰返し三軸試験により判定する
IV	液状化しない

図-3 液状化の予測・判定 (N値=5)

また、港湾基準の改訂により、地震動の継続時間の影響を考慮した新たな液状化予測・判定法が示されているが、そちらに関しては現在検討中である。

参考文献

- 1) 社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp.383-389, 2007
- 2) 内田明彦, 小田島暢之, 山下清：東北地方太平洋沖地震における格子状地盤改良を施した建物基礎の挙動, 日本建築学会技術報告集 第19巻 第42号, pp.481-484, 2013
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編, pp.33, 2012.