

上載荷重がある不飽和化液状化対策の有効応力解析

大林組 正会員 ○伊藤 浩二
同 上 正会員 江尻 譲嗣

1. 目的

不飽和化液状化対策は、液状化が発生する可能性がある飽和した砂質土地盤に対して、空気を直接注入して地盤を不飽和化させ、注入終了後に残留する空気による地盤の液状化強度の増加で液状化を抑制する地盤改良工法である。サンドコンパクションパイルによる密度増大工法、深層混合処理、浸透注入固化等の固結工法の液状化対策と異なり、地震時に液状化の発生を抑制するものの不飽和化に伴う揺すり込み沈下、地震時に発生した過剰間隙水圧の消散に伴う地震後の圧密沈下が予想される。したがって、不飽和化液状化対策では、地震時の揺すり込み沈下および地震後の圧密沈下を含めた対策効果の指標である地盤変状を評価する必要がある。

前報では、下負荷面モデルを基本とする弾塑性構成式を用いた有効応力解析により、上載荷重がない条件で不飽和化液状化対策が成立するための条件や地震時および地震後の残留沈下特性を検討した¹⁾。一方で、上載荷重がある条件の不飽和化液状化対策では、マラシニ等により地震時の有効応力解析が実施されている²⁾。

本報では、地震時および地震後の有効応力解析を行い、上載荷重がある条件での不飽和化液状化対策が成立するための条件や残留沈下特性を検討した。

2. 方法

解析では図1の下負荷面モデル、表1の材料定数(砂質土、 $F_0 = \sigma'_{m0}$ 、 σ'_{m0} :初期平均有効応力)の原地盤(層厚10m、地下水位:G.L.-1.0m、液状化強度比 $R_{20} = 0.2$ 、 $\gamma_{sat} = 19.0 \text{ kN/m}^3$ 、透水係数 $k = 10^{-5} \text{ m/s}$)と盛土(盛土高5.6m、天端幅10.7m、勾配1:1.5、 $\gamma_t = 19.0 \text{ kN/m}^3$)、不飽和化液状化対策の改良範囲を盛土直下(改良幅27.5m、改良深度10m)とした2次元モデルを用いた。解析では、左右境界、底面境界を粘性要素とした。

不飽和化の程度は、有効応力解析で用いる図2の飽和度に応じた間隙水の等価な体積弾性係数を $K_f/K_{f0} = 1.0$ (対策なし)、 10^{-1} 、 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} に低減した5ケースとした。地震波は、海溝型地震を想定して、極めて稀に発生する地震動の国交省告示スペクトルに適合する図3の模擬地震動を用いた。

3. 結果

図4に対策なし($K_f/K_{f0} = 1.0$)、不飽和化液状化対策($K_f/K_{f0} = 10^{-3}$ 、 10^{-4})で得られた地震時の残留変形と液状化程度($= 1 - \sigma'_m / \sigma'_{m0}$ 、 σ'_m :平均有効応力、 σ'_{m0} :初期平均有効応力)を示す。対策なしでは、地震時において盛土直下でも平均有効応力の減少が顕著となり、液状化による残留変位(側方へのはらみだし)に伴い盛土で大きな残留沈下が生じた。対策ありでは、不飽和化の程度に応じて盛土直下の深部の平均有効応力の減少が小さくなり、液状化による残留変位(側方へのはらみだし)に伴う盛土の残留沈下が抑制された。

図5に不飽和化の程度に応じて得られた地震時および地震後の盛土天端中央の残留沈下を示す。盛土の残留沈下は不飽和化の程度に応じて対策なしより小さくなるものの $K_f/K_{f0} = 10^{-2}$ では対策効果が小さく、90%程

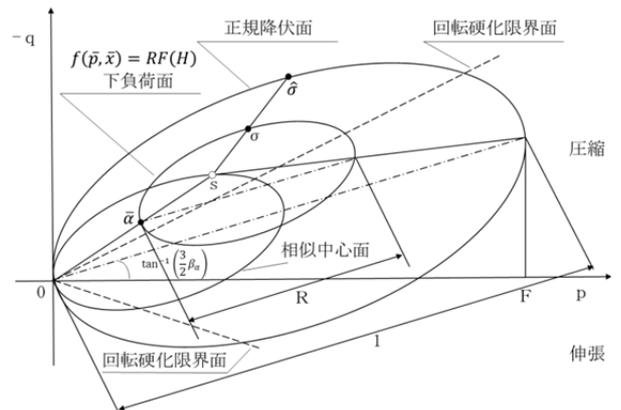


図1 p - q 面における正規降伏面と下負荷面

表1 材料定数(砂質土)

圧縮指数	$\lambda / (1 + e_0)$	0.003
膨潤指数	$\kappa / (1 + e_0)$	0.001
内部摩擦角	ϕ_f	33°
正規降伏面の初期値	F_0	100kN/m ²
ポアソン比	ν	0.33
回転硬化限界面	ϕ_b	33°
回転硬化発展則	b_r	1000
正規降伏比Rの発展則	u	2000
	ζ	1000
規準平均有効応力	$\sigma_{m,ref}'$	100kN/m ²

キーワード 弾塑性構成式、有効応力解析、液状化対策、不飽和化

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組技術研究所 TEL 042-495-1103

度以下の飽和度 (図 2 の間隙水の等価な体積弾性係数で $K_f/K_{f0}=6.2 \times 10^{-4}$) で明瞭な対策効果が得られるようである。地震後の盛土の残留沈下は、地震後に生じる圧密沈下が比較的小さいことから、地震時に生じる盛土の残留沈下と概ね同程度となった。

前報の上載荷重がない不飽和化液状化対策の 1 次元モデルでは、対策ありで生じる地震後の残留沈下 (地震時の揺すり込み+地震後の圧密) が対策なしの地震後の残留沈下 (主に地震後の圧密) より大きくなった。したがって、上載荷重がある不飽和化液状化対策では、上載荷重の効果 (基礎地盤の初期有効拘束圧の増加、初期せん断応力の発生等) を適切に考慮して地震時および地震後の地盤変状を評価することが必要である。

4. まとめ

不飽和化液状化対策では、90%程度以下の飽和度 (間隙水の等価な体積弾性係数で $K_f/K_{f0}=6.2 \times 10^{-4}$) により液状化の発生を防止できるようなのである。ただし、対策効果の指標である地盤変状では、上載荷重の効果を適切に考慮して、地震時の揺すり込み沈下および地震後の圧密沈下を評価することが重要である。

参考文献

- 1) 伊藤浩二、江尻讓嗣 (2014) : 下負荷面モデルを用いた不飽和化液状化対策の有効応力解析、第 69 回年次学術講演会講演概要集。
- 2) マラシニ ナラヤン、岡村未対 (2014) : 空気注入による直接基礎の液状化対策実験の数値解析、第 49 回地盤工学研究発表会。

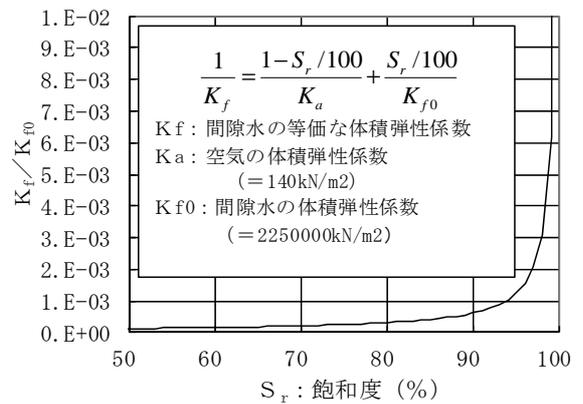


図 2 間隙水の等価な体積弾性係数

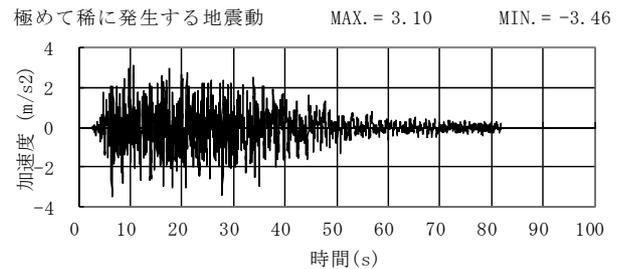


図 3 地震波

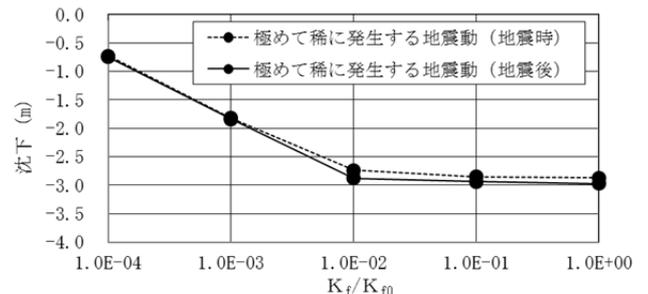


図 5 地震時および地震後の残留沈下

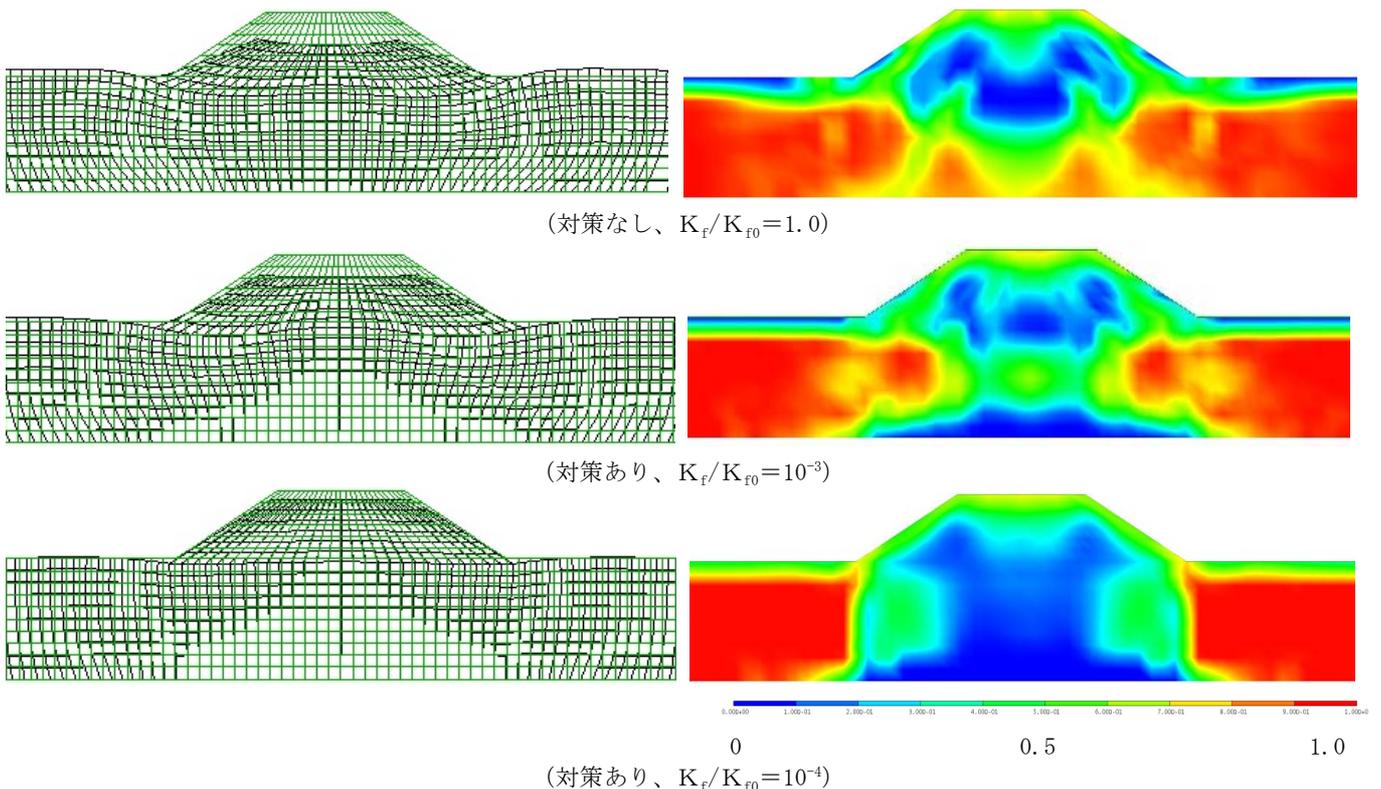


図 4 地震時の残留変形と液状化程度 (変位倍率: 等倍)