

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

大林組 正会員 ○伊藤 浩二
同 上 正会員 江尻 譲嗣

1. 目的

地盤の液状化対策、土構造物の変状対策では、対策効果の指標である地震後の変状（残留沈下、残留傾斜等）を評価する必要がある。例えば、有効応力解析による詳細法を適用する場合では、砂質土、粘性土等の繰返し塑性を適切に表現する弾塑性構成式を用いた地震時～地震後までを対象とした地震応答解析手法が必要となる。本研究では、下負荷面モデルを基本とした弾塑性構成式を導入し、砂質土の繰返し塑性への適用性を検討した。次に、不飽和化による液状化対策に関して、下負荷面モデルを導入した有効応力解析を行い、不飽和化による液状化対策が成立するための条件や地震後の残留沈下特性を検討した。

2. 下負荷面モデル

Hashiguchi, K. et al. は、繰返し負荷に対する材料の繰返し弾塑性構成式として、下負荷面および回転硬化の概念に基づく土の弾塑性構成式を提案した¹⁾。図-1に（p、q）面における下負荷面モデルの正規降伏面と下負荷面の関係を示す。ここで、下負荷面は、現応力点を通して正規降伏面と相似形を有し、正規降伏比R（正規降伏面に対する下負荷面の大きさの比）を用いて表現される。詳細は文献1)を参照されたい。本研究の下負荷面モデルでは、相似中心を原点で固定とし、正規降伏比Rの発展則では、(1)式で累積塑性偏差ひずみ ε^{p*} を考慮した²⁾。

$$U = -\frac{u}{\exp(\zeta \cdot \varepsilon^{p*})} \ln R, \quad \varepsilon^{p*} = \int \|D^{p*}\| dt \quad (1)$$

正規降伏面では修正カムクレイモデルを適用することから、材料定数のうち下負荷面モデル特有の定数は、回転硬化限界面の定数 ϕ_b 、回転硬化発展則の定数 b_r 、正規降伏比Rの発展則で用いるu、 ζ である。

図2に表1の材料定数で得られた非排水繰返し単純せん断条件（せん断応力比0.2）の結果を示す。 ζ の

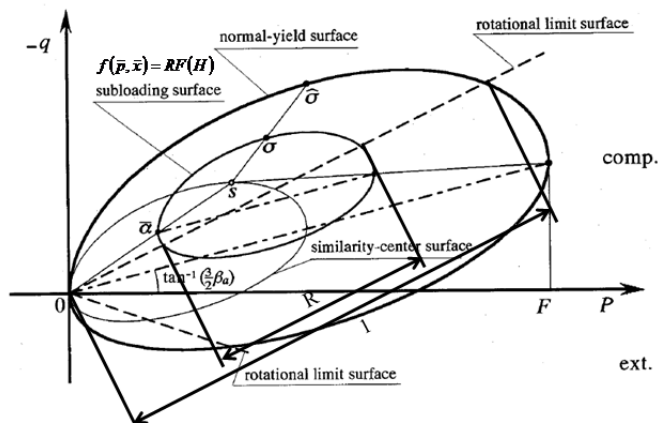
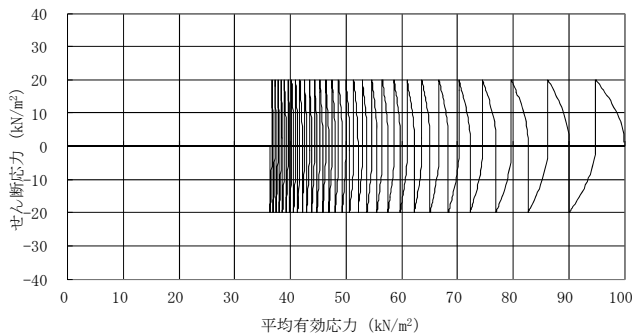


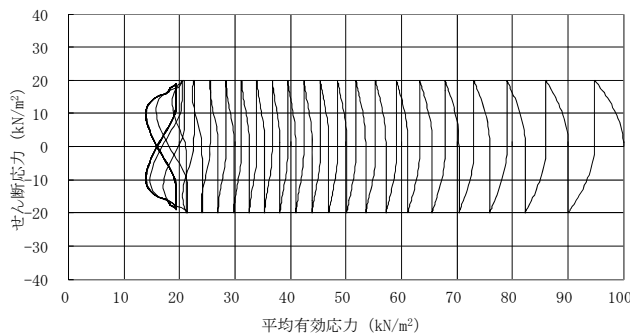
図1 (p、q)面における正規降伏面と下負荷面 (Hashiguchi, K. et al.¹⁾に加筆)

表1 弾塑性パラメータ

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	0、1000
規準平均有効応力		$\sigma_{m, ref}'$
		100kN/m ²



($\zeta = 0$)



($\zeta = 1000$)

図2 非排水繰返し単純せん断条件の有効応力経路 ($K_0=1.0$ 、初期平均有効応力 100kN/m²)

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

考慮により、砂質土でみられる破壊近傍での繰返し塑性を概ね表現できるようである。本研究の下負荷面モデルでは、粘性土で $\zeta=0$ 、砂質土で $\zeta \neq 0$ を設定し、正規降伏面の初期値 F_0 により粘性土における過圧密特性、砂質土における密度特性を表現する。

3. 不飽和化液状化対策の有効応力解析

解析では表1の材料定数($\zeta=1000$)の一樣飽和地盤を対象とし(層厚10m、飽和質量 $\rho_{\text{sat}}=1.87\text{t/m}^3$ 、透水係数 $k=10^{-5}\text{m/s}$)、底面固定の土柱モデルを用いた。不飽和化の程度は、有効応力解析で用いる図3の飽和度に応じた間隙水の等価な体積弾性係数を $K_f/K_{f0}=1, 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}$ 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、建設省告示スペクトルの極めて稀に発生する地震動に適合する図4の模擬地震動を用いた(稀に発生する地震動は極めて稀に発生する地震動の1/5)。

図5に不飽和化の程度に応じて得られた最大過剰間隙水圧比の深度分布を示す。不飽和化液状化対策では、理想的な等価な体積弾性係数が発現されると仮定すれば、図3より飽和度が90%で $K_f/K_{f0}=6.2 \times 10^{-4}$ である。したがって、不飽和化液状化対策では、飽和度を90%程度以下とすることにより、浅層を除き液状化の発生を防止できると推察される。

図6に不飽和化の程度に応じて得られた地震後の地表の残留沈下を示す。稀に発生する地震動では、不飽和化液状化対策で生じる残留沈下(地震時の揺すり込み+地震後の圧密)と原地盤の残留沈下(主に地震後の圧密)で同程度となった。一方で、極めて稀に発生する地震動では、不飽和化液状化対策で生じる残留沈下が原地盤の残留沈下より大きくなった。例えば、盛土等の上載荷重がある場合の不飽和化液状化対策では、本研究で用いた地震応答解析手法による変状予測が有用と考えられる。

4. まとめ

下負荷面モデルを基本とした弾塑性構成式による有効応力解析を行い、不飽和化液状化対策では飽和度を90%程度以下にすること、地震時～地震後までを対象とした変状予測が必要であることを確認した。

参考文献

- 1) Hashiguchi, K. and Chen, Z. P. (1998) : Elastoplastic constitutive equation of soils with the subloading surface and the rotational hardening, International journal for numerical and analytical methods in geomechanics, Vol.22, pp.197-227.
- 2) 橋口公一、間瀬辰也 (2010) : 下負荷面モデルによるサイクリックモビリティの物理的解釈と定量的表現、地盤工学ジャーナル、Vol.6、No.2、pp.225-241.

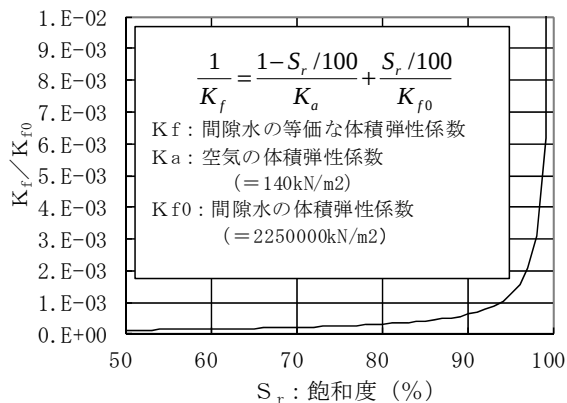


図3 間隙水の等価な体積弾性係数

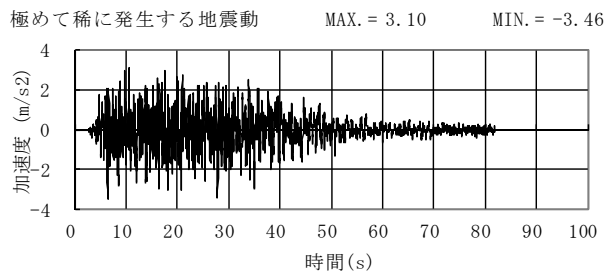


図4 地震波

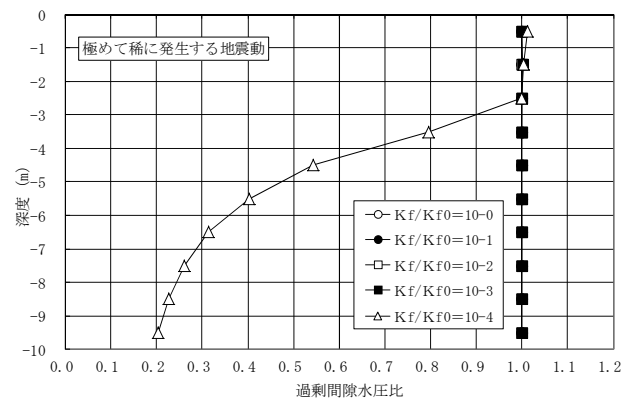
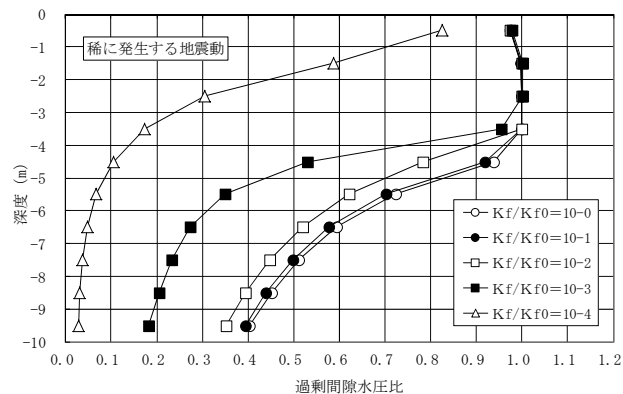


図5 最大過剰間隙水圧比

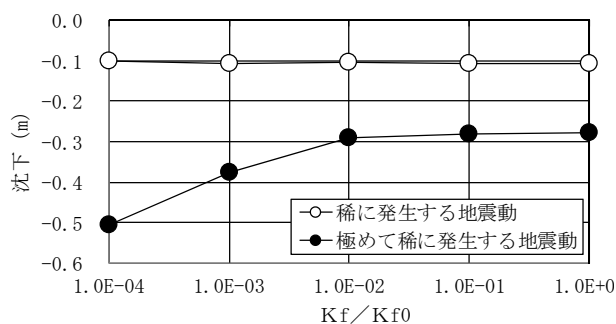


図6 残留沈下