

FEM による真空圧密下の盛土の安定性評価

ハザマ 正会員 ○ 松本江基、三反畑勇
九州大学 正会員 落合英俊、安福規之

1. はじめに

軟弱地盤上に盛土を構築する際、真空圧密工法を併用して用いると盛土の安定性が向上し急速盛立が実現できる。しかし真空併用時の盛土の安定に関する管理指標や管理方法については未だ十分な検討がなされておらず、合理的な限界盛土厚や盛立速度の評価および管理手法の構築が求められている。本報告は、土/水連成 FEM 手法を用いて、盛土構築時に真空圧密を併用したケースの地盤安定性を検討したものである。安定性評価に利用できる観測項目として従来より着目されてきた法尻の側方変位速度と安全率との相関を調べた。また、1つの安定指標として提案した修正安定係数が法尻側方変位速度とよい相関があることを示した。

2. 解析方法とモデル化

解析手法および FEM モデル：土/水連成 FEM プログラム (DACSAR) を用いて、軟弱地盤上に真空圧密を併用して図-1 に示す盛土を構築するケースを 2 次元平面ひずみ条件で計算した¹⁾。真空圧密のモデル化は、改良域の地表面とドレーン部 (@1.0m, 正方形配置, 20m) の水压を低下させることで表現した。軟弱地盤は塑性指数 $PI=60$ 、圧密係数 $c_v=100\text{cm}^2/\text{day}$ の均一な粘性土とし関口・太田モデルでモデル化した。表-1 に土質パラメータを示す。透水係数は粘性土地盤に対して (1) 式、ドレーン打設領域に対して (2) 式に基づいて設定した。破壊の判定は柴田らの方法²⁾ ($q - \Delta q / \Delta \delta$ 法) に従った。

解析ケース：盛立時に作用させた真空圧 (p_v) は 58.8kPa とした。盛立速度は、破壊に至らなかった $25\text{cm}/\text{day}$ と破壊に至った $75\text{cm}/\text{day}$ の 2 ケースとした。

3. 盛土の安全率と盛土法尻における側方変位速度の関係

ある時点(i)の盛土の安全率 F_s は、西原³⁾による粘土の非排水せん断強度式に基づいて、破壊時に発揮される平面ひずみ条件下の盛土中央直下のせん断抵抗 τ_{fm} と地盤内せん断応力 τ_i の比 ($= \tau_{fm} / \tau_i$) として (3) 式のように表される。すなわち、安全率 F_s は弾塑性パラメータ K_0, M と地盤内有効応力 ($\sigma'_x, \sigma'_y, \sigma'_z$) の関数である。FEM 解析に基づく盛土中の安全率の経時変化を盛土法尻の側方変位速度の経時変化と併せて図-2 に示した。



図-1 FEM メッシュ

表-1 弾塑性パラメータ

M	λ	K_0	ν'	λ	e_0	D
0.912	0.521	0.692	0.409	0.435	1.8	0.089

$$k = \frac{3\lambda c_v \gamma_w}{(1+e_0)(1+2K_0)\sigma'_{v0}} \quad (1)$$

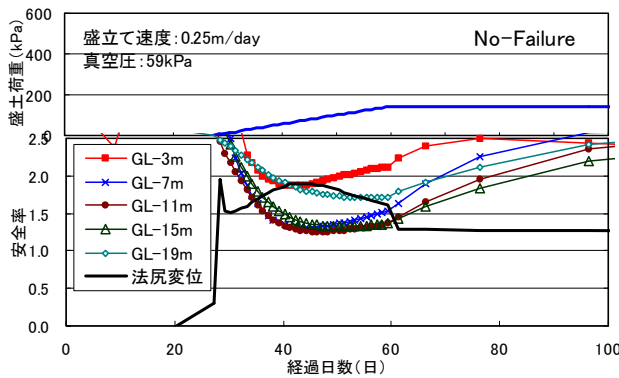
$$k_1 = k \left(\frac{L}{de} \right)^2 \frac{T_{T50}}{T_{B50}} \quad (2)$$

k : 原地盤の透水係数
 k_1 : ドレーン打設域の透水係数
 λ : 圧縮指数 ($=0.434Cc$)
 c_v : 圧密係数 ($=100\text{cm}^2/\text{day}$)
 e_0 : 初期間隙比 (pc 対応値)
 K_0 : 静止土圧係数
 σ'_{v0} : 初期有効鉛直応力
 L : ドレーン間隔
 d_e : 等価有効円の直径
 T_{B50} : バロン解の時間係数 ($U50\%$)
 T_{T50} : テルファ-ギ解の時間係数 ($U50\%$)
 σ'_{zf} : 破壊時の鉛直有効応力
 $\sigma'_{zi,xi}$: ある時点の鉛直・水平有効応力

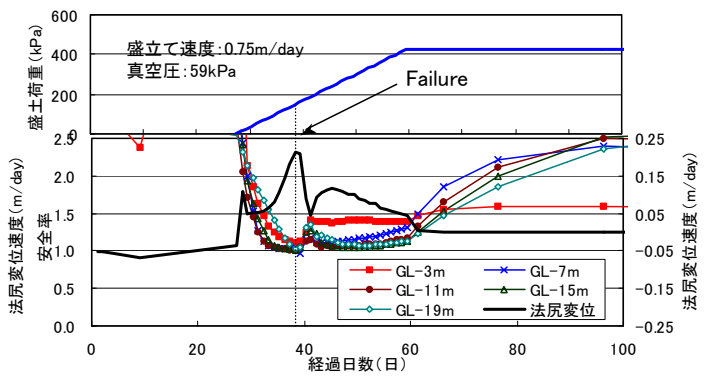
$$F_s = \frac{2(1+2K_0)(1+K_f)M}{3\sqrt{3}(1+K_0)(\sigma'_{zi} + \sigma'_{xi})} \sigma'_{zf} \quad (3) \quad \text{ここで、} \quad K_f = \frac{3\sqrt{3}(1+K_0) - 2M(1+2K_0)}{3\sqrt{3}(1+K_0) + 2M(1+2K_0)} \quad (4)$$

キーワード：真空圧密工法、軟弱地盤、盛土、安定、有限要素法

連絡先：茨城県つくば市荻間西向 515-1 TEL 0298-58-8813 FAX 0298-58-8819



(a) 盛立速度 25cm/day のケース



(b) 盛立速度 75cm/day のケース

図-2 安全率と法尻変位速度の経時変化

図-2によると、盛立速度 25cm/day のケースは全盛土期間を通して安全率 F_s が 1.0 以上を示し破壊に至らなかったが、盛立速度 75cm/day のケースでは盛土途中で F_s が 1.0 に到達し破壊が生じた。同図中に示した法尻部の側方変位速度は安全率が最も小さくなる時点でピークを迎える傾向にあり、法尻変位速度が盛土安定性を管理する 1 つの有効な指標であることがわかる。一方、解析で得られた側方変位速度は実際問題よりもかなり大きめの値を示す傾向があり、仮定したモデル地盤の現実性という点で課題が残った。

4. 修正安定係数⁴⁾とその妥当性

安全率 F_s の算定には(3)式からわかるように地盤内有効応力の評価が不可欠である。図-2ではFEM計算結果を用いて F_s を算定することが出来たが、設計時に地盤内有効応力を評価することは大変難しい。限界盛立厚や盛立速度の設計や管理には、安全率という指標ではなくもっと簡易な指標が必要となる。ここでは従来の安定係数 N_s の分子に初期鉛直有効応力 (σ'_{z0}) を加えた修正安定係数 (N'_s) というパラメータを導入した。従来の安定係数は、外力 ($\gamma_t H$) に対する地盤のせん断抵抗 (τ) の比で表される。分母のせん断抵抗は(5-1)式のように鉛直有効応力の関数なので深度とともに大きくなる。一方、分子の外力 ($\gamma_t H$) は一定値を示すので、安定係数は深度方向に小さくなる傾向を示す。修正安定係数では、分子に初期鉛直有効応力 σ'_{z0} を加えたことで N'_s の値は深度の影響を受けにくくなる。また、修正安定係数の算定に際しては、実工事への適用を念頭に置いて、地盤内の有効鉛直応力には鉛直土被り圧から間隙水圧を差し引いた値を用いることにする(式5-2参照)。 N'_s と法尻変位速度の経時変化を図-3に示す。 N'_s のピークと法尻変位速度のピークがほぼ一致しており、修正安定係数による安定指標の妥当性がうかがえる。また図-3によると、 N'_s の最大値は 7~8 程度を示しており、この値が安定管理の 1 つの目安になると考えられる。なお、 N'_s の算定には盛土中の間隙水圧を事前に予測評価して地盤内有効土被り圧を評価する必要があり、工事中の地盤内水圧を事前に予測する方法の確立が今後の課題となる。

【謝辞】本報告をまとめるにあたり横浜国大の今井五郎教授に御教示いただきました。ここに深甚の感謝の意を表します。

参考文献:1)松本ほか:真空圧密下における盛土の安定性について, 第36回地盤工学研究発表会, 2001. 2)柴田ほか:盛土基礎地盤の弾・粘塑性挙動解析と破壊予測, 土木学会論文報告集, 第301号, pp.93-104, 1980. 3)西原:誘導異方性と主応力回転を考慮した自然堆積粘土地盤の短期安定解析法, 1986. 4)松本ほか:真空圧密下における盛土工事の地盤挙動と安定評価指標, 第36回地盤工学研究発表会, 2002.(投稿中)

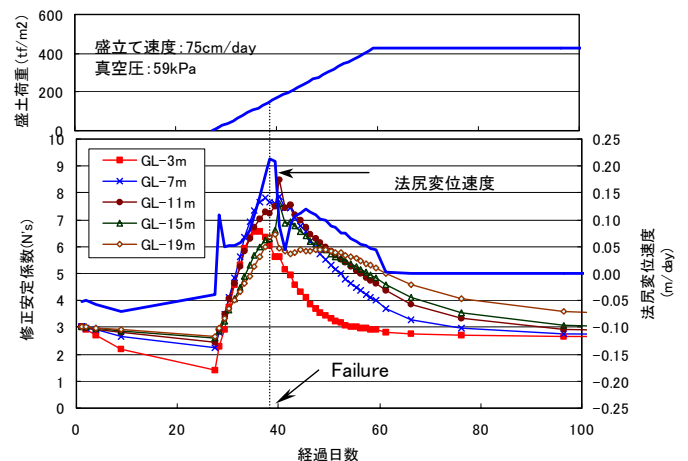


図-3 修正安定係数と法尻変位速度の変化