拡張マクロ・エレメント法を用いた傾斜地盤の真空圧密 FEM 解析

前田建設工業株式会社	正会員	〇 平田 昌	史 福田	淳
		西川 浩	二 信田	潤一
中日本高速道路株式会社		山田 耕	一 川井	田実

1. はじめに

真空圧密工法に対して 2 次元平面ひずみ条件下で FEM 解析を実施する場合, 3 次元的なバーチカル・ドレーン配 置等の影響により,排水効果を実際よりも過大に評価する問題が生じる.これに対して竹山ら¹⁾は,マクロ・エレ メント法²⁾を真空圧密が考慮できるように拡張することで,排水効果を要素レベルで評価する解析手法を提案して いる.しかしながら既存のマクロ・エレメント法では,メッシュが直交する特殊な場合にしか適用できないため,傾 斜地盤を有する場合には適用できなかった.本研究では,著者ら³⁾が提案した傾斜地盤にも適用可能な拡張マクロ・ エレメント法に対して,竹山らによる真空圧密の拡張手法を導入し,本手法を用いて傾斜地盤を有する真空圧密現 場の FEM 再現解析を実施することで,その適用性について検討した.

2. 真空圧密を考慮した拡張マクロ・エレメント法

真空圧密工法の場合,ドレーン内に作用する真空圧(負の過剰間隙水圧)を考慮する必要がある.ここでは,著 者らが提案した拡張マクロ・エレメント法に,竹山らの手法を用いて真空圧密を導入する.拡張マクロ・エレメント 法における連続式は,以下のように表される.

 $\dot{\varepsilon}_{v} - div\mathbf{v} - \dot{q}_{vD} = 0$ (1) ここで \dot{q}_{vD} はドレーンからの排水量であり、ドレーン内部に作用する真空圧(負の過剰間隙水圧)に相当する水頭値を \hat{h}_{vC} とすると、

と表される.式(2)を考慮して式(1)の空間離散化を行うと,

$$\mathbf{K}_{v}\dot{\mathbf{u}}^{n} - \left(\mathbf{K}_{h} + \mathbf{K}_{VD}\right)\gamma_{w}\mathbf{h}^{m} = \dot{\mathbf{Q}} - \dot{\mathbf{Q}}_{VC} \qquad (\square \ \cup, \ \dot{\mathbf{Q}}_{VC} = \int_{Ve} \mathbf{N}_{h}^{T} \frac{\alpha_{VD}}{dV_{e}} \cdot \gamma_{w}\hat{h}_{VC}dV \qquad (3)$$

となる. $\dot{\mathbf{Q}}_{vc}$ は真空圧密によるドレーンからの排水量であり既知量である. この式(3)を全体剛性方程式に組み込む ことによって、ドレーン内部に真空圧を載荷できるようにプログラムを修正した.

3. 真空圧密の現場再現 FEM 解析

3.1 解析条件

図-1 は、FEM 解析に用いたメッシュ図である.今回検討対象とした現場盛土は地山に隣接しているため、地盤 は山側方向から傾斜している.盛土下地盤には含水比 300~500%の非常に軟弱な腐植土層が厚く(最大 13m 程度) 堆積しており、真空圧密工法はこの腐植土層に対して実施されている.ドレーン(幅 10cm、厚さ 7mm)は0.7m 間 隔の正方配置、改良深度は腐植土の層厚に合わせて 4~12m である.解析では、ドレーン有効径を 5cm として真空 圧を載荷しており、敷砂・盛土については逐次要素を追加することで実際の施工過程を表現している(図-4 a 参照).



キーワード 傾斜地盤,真空圧密,有限要素法

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業㈱技術研究所 Tel 03-3977-2453 Fax 03-3977-2251

•	•••			

-137

		単位体積 重量	限界 応力比	圧縮指数	非可逆比	ダイレイタ ンシー係数	先行圧密 圧力	先行時の 静止土圧係数	ポアソン比	初期間隙比	e-Inkの傾 き	透水係数
地質·地層	構成モデル	γt	м	Cc	Λ	D	σ_{v0}	K ₀	ν	e ₀	λ,	k
		kN/m³					kPa					m∕day
強風化頁岩①	線形弾性モデル	19.6		弾性係数 E = 36200 (KPa)						-	-	-
強風化頁岩②	線形弾性モデル	19.6	弾性係数 E = 24000 (KPa)						0.333	-	-	8.64E-02
Adt	線形弾性モデル	17.7	弾性係数 E = 11800 (KPa)					0.333	-	-	8.64E-04	
Apt	関口・太田モデル(弾塑性)	10.8	2.00	3.30	0.82	0.0849	27.6	0.500	0.333	5.90	0.781	3.46E-04
敷砂	線形弾性モデル	18.6	弾性係数 E = 11800 (KPa)					0.333	-	-	8.64E-02	
盛土	線形弾性モデル	18.6	弾性係数 E = 11800 (KPa)					0.333	-	-	8.64E-02	

表-1 FEM 解析に用いた材料パラメーター覧

3.2構成モデルと材料パラメータ

実施した FEM 解析では, 軟弱な腐植土を関ロ・太田 による弾塑性体⁴⁾, その他の基盤や盛土材料等につ いては, 十分な強度を有していることから線形弾性体 としてモデル化した. 各モデルに必要な材料パラメー タは, 既存の室内土質試験結果等から設定しており, 必要に応じて経験式, 理論式を用いて値を推定した. 表-1 に設定した材料パラメータを示す. なお, 地盤 内の初期応力は自重計算にて設定している.

3.3 FEM 解析結果と動態観測結果の比較

図-4は、FEM 解析による計算値と動態観測による 実測値を比較したものである.図-4中の実線がFEM 解析による計算値,プロットが動態観測による実測値 を示している.なお、比較位置は図-3に示す通りで ある。図-4に示した(b)地表面沈下量,(c)地盤内の過 剰間隙水圧,(d)法尻付近の地中変位(水平変位量) を見ると,計算値と実測値の間には若干誤差が見られ る.しかしながら,腐植土層のバラツキが大きいこと, 地盤が奥行き方向にも若干傾斜していること等を考 慮すると,計算値は実測値を精度良く再現していると 考えられる.

4. おわりに

本研究では,真空圧密工法に対して拡張マクロ・エ レメント法を適用し,傾斜地盤を有する現場の FEM 再現解析を実施することで,本手法の適用性を検討し た.実施した FEM 解析結果は,動態観測による実測 値を精度良く再現できており,本手法の有効性が確認 できた.

【参考文献】

1) 竹山智英, 青木孝憲, 荒井亜希, 太田秀樹: マクロエレ メント法の真空圧密工法への適用(その1): 第43回地盤工 学研究発表会, pp.887-888, 2008. 2) 関ロ秀雄, 柴田徹, 藤 本朗, 山口博久:局部載荷を受けるバーチカル・ドレーン 打設地盤の変形解析, 第31回土質工学シンポジウム発表論 文集, pp.111-116, 1986. 3) 平田昌史, 洞防人, 福田淳, 清 水英樹:マクロ・エレメント法における空間離散化手法の 拡張, 第64回土木学会年次学術講演会(投稿中), 2009. 4) Sekiguchi,H. and Ohta,H.: Induced anisotropy and time dependency in clays, Constitutive Equation of Soils, Proc. Specialty Session 9, 9th Int. Conf. Soil Mech. & Found. Engrg. Tokyo, pp.306-315, 1977.



図-4 FEM 解析結果と動態観測結果の比較