構造および時間効果特性を考慮した構成モデルを用いた変形解析

名古屋工業大学 学生会員 〇山崎 光 名古屋工業大学 正会員 H.M.Shahin 名古屋工業大学 正会員 中井 照夫

1. 研究概要

自然堆積粘土の圧縮特性は長年をかけて堆積したことによる堆積構造のほかに過圧密や時間効果などの影響を受ける。正確な沈下予測を行うには、これら諸特性を表現できる構成モデルを用いる必要がある。本研究では、自然堆積粘土のもつ堆積構造の影響や過圧密、時間効果を簡便かつ統一的に表現した構成モデルを用いて、有限要素法による数値解析を行う。解析は、関西国際空港直下の海底地盤よりサンプリングされた自然堆積粘土の室内試験結果の圧密挙動を再現し、構成モデルの適用性を検討するとともに、自然堆積地盤の圧縮特性を解析的に検討する。

2. 密度、構造および時間効果を考慮した弾塑性モデル 1)

密度,構造および時間効果特性を考慮した 1 次元弾塑性 モデルの e- $\ln \sigma'$ 関係の増分形を(1)式に示す。今回, $G(\rho)$,

$$d(-e) = d(-e)^{p} + d(-e)^{e}$$

$$= \left(\frac{\lambda - \kappa}{1 + G(\rho) + Q(\omega)} + \kappa\right) \frac{1}{\sigma} d\sigma + \frac{(-\dot{e})^{p^{*}}}{1 + G(\rho) + Q(\omega)} dt \qquad \dots (1)$$

 $Q(\omega)$ は G(0)=0, Q(0)=0 を満たす 1 次の単調増加関数(傾き a,b)を用いた。詳しくは、参考文献 1)を参照されたい。

3. 関西国際空港地盤の一次元有限要素解析

3.1 概要

関西空港地盤は粘土層と砂層が交互に層を成しており、Maが海成粘土層、Doc5が非海成粘土層である。また砂層は Dsで示される。今回、Ds1層(-43.87m)~Ma7層(-233.87m)の間190mを対象とし、関西国際空港地盤の実地盤スケールでの一次元有限要素解析を行い、長期沈下などの実際の圧密挙動の把握および予測を試みる。なお、本来1次元状態での沈下解析では、応力載荷時に発生した過剰間隙水圧が水平方向に消散する

らしか水圧の消散が起こらない。このため、地盤内部の過剰間隙水圧および沈下量をうまく表現することはできない。しかし、関西国際空港地盤では過剰間隙水圧の減少が載荷後短時間のうちに観測された消散速度から予測される消散速度より遅いという現象が生じており、これを透水係数や水理境界条件の問題ではなく擬似的に間隙水圧の圧縮性(完全不飽和ではない)を考えることで、1次元状態で過剰間隙水圧の消散を考える。なお、紹介する結果は紙面の都合上代表的なもののみ示す。

ことができず,排水面である上下端面か

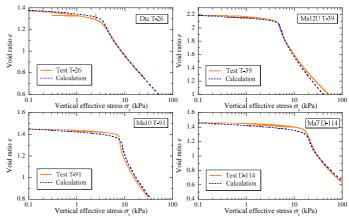


Fig.1 定ひずみ圧密試験および解析結果

Table.1 粘土層の解析パラメータ

	λ	κ	Pa	N	k [m/day]	a	b	ω0	Depth [m]	e [Initial]	γsat	Sr
Ds1	8.68E-02	4.10E-03		1.11E+00	4.32E-01	50	0.0	0.0	-43.87	9.64E-01	1.88E+00	
Dtc	2.04E-01	6.20E-03		1.39E+00	1.92E-05	50	2.0	5.0	-55.27	1.32E+00	1.84E+00	
Ds2	7.60E-02	1.00E-03		8.43E-01	6.91E-02	50	0.0	0.0	-62.27	7.36E-01	1.48E+00	
Ma12UU	3.30E-01	9.70E-03		2.16E+00	1.17E-05	50	12.0	2.0	-64.27	2.16E+00	1.53E+00	
Ma12UL	3.30E-01	9.70E-03		2.16E+00	1.17E-05	50	12.0	2.0	-	1.42E+00	1.85E+00	
Ds3U	9.03E-02	2.50E-03		9.90E-01	1.47E-02	50	0.0	0.0	-79.27	8.19E-01	1.65E+00	
Ma12L	2.19E-01	5.80E-03		1.53E+00	6.61E-06	50	4.0	3.0	-82.27	1.26E+00	1.75E+00	
Ds3L	1.11E-01	6.80E-03		1.25E+00	1.47E-02	50	0.0	0.0	-90.27	8.49E-01	1.96E+00	
Ma11U	2.31E-01	5.80E-03		1.59E+00	1.20E-05	50	4.0	4.0	-95.17	1.35E+00	1.71E+00	
Ds4	1.15E-01	3.00E-03		9.35E-01	1.38E-02	50	0.0	0.0	-103.07	7.27E-01	1.96E+00	
Ma11L	2.17E-01	4.00E-03		1.58E+00	1.83E-05	50	4.2	4.0	-105.07	1.42E+00	1.80E+00	
Ds5	1.05E-01	5.40E-03	98kPa	1.19E+00	8.64E-03	50	0.0	0.0	-114.53	9.00E-01	1.81E+00	90.0
Ma10U	2.29E-01	6.20E-03		1.65E+00	1.71E-05	50	6.0	3.0	-121.97	1.52E+00	1.63E+00	
Ma10L	2.29E-01	6.20E-03		1.65E+00	1.71E-05	50	6.0	3.0	-	1.29E+00	1.88E+00	
Ds6	7.00E-02	4.50E-03		1.11E+00	6.91E-03	50	0.0	0.0	-145.62	8.49E-01	2.05E+00	
Ma9	2.23E-01	6.20E-03		1.61E+00	8.67E-06	50	6.5	3.0	-151.17	1.43E+00	1.69E+00	
Ds7	7.00E-02	4.50E-03	DE-02 DE-02 DE-03 DE-03 DE-03	1.11E+00	8.64E-03	50	0.0	0.0	-175.42	8.49E-01	1.89E+00	
Doc5U	2.64E-01	1.00E-02		1.89E+00	1.34E-05	70	12.0	3.0	-180.97	1.66E+00	1.57E+00	
Doc5L	2.64E-01	1.00E-02		1.89E+00	1.34E-05	70	12.0	3.0	-	1.31E+00	1.87E+00	
Ds8	7.00E-02	4.50E-03		1.11E+00	8.64E-03	50	0.0	0.0	-194.17	8.49E-01	1.81E+00	
Ma8	2.14E-01	8.00E-03		1.59E+00	1.34E-05	50	3.5	5.0	-201.87	1.35E+00	1.93E+00	
Ds9	8.59E-02	4.80E-03		1.10E+00	2.59E-02	50	0.0	0.0	-211.62	8.49E-01	1.73E+00	
Ma7	2.15E-01	8.40E-03		1.60E+00	1.34E-05	30	4.5	3.0	-217.77	1.35E+00	1.78E+00	
Ma7(下端)	-	-	-	-	-	-	-	-	-233.97	-	-	-

キーワード 圧密,自然堆積粘土,沈下解析

連絡先 〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL 052(732)7525

3.2 要素解析によるパラメータ決定および解析条件

実地盤よりサンプリングされた粘土を用いた定ひずみ速度圧密試験の結果をもとに試験を想定した圧密解析を 行い、解析パラメータの決定および提案モデルの適用性を検証する。透水係数は標準圧密試験の載荷段階後期にお ける値を地層内で平均した値を用いる。砂層原地盤の正確なデータがないので豊浦砂のパラメータを参考に決定し

た。**Fig.1** に定ひずみ速度試験結果および圧密解析結果の垂直有効応力(σ'_v)~間隙比(e)を示す。**Table1** に解析パラメータおよび初期値を示す。**Fig.1** より、提案 モデルが堆積構造を有する自然堆積粘土の圧縮挙動を表現できることがわかる。 続いて解析条件として,粘土層を 0.2m間隔,砂層は 1m 間隔の 700 層の 1 次元解析メッシュを設定し,境界条件は上下端面に接する層がともに砂層であるため,上下排水とする。載荷は関西国際空港 2 期空港島の建設を想定した。2 期空港島の応力載荷履歴を **Fig.2** に示す。正規圧密状態での二次圧密係数は λ_α =0.0030,初期の間隙比の変化速度は=1.0× 10^{-7} とする。

3.3 実地盤解析

関西国際空港地盤の実スケールでの1次元有限要素解析を行う。Fig.3 に各粘 土層, Fig.4 に上部洪積粘土層の時間(day)~沈下量(m)関係を示す。Fig.3 より, 間隙水の圧縮性の考慮により Ma12U, Ma10 のような排水面に直接接していな い層においても沈下が発生しており、間隙水の圧縮性が過剰間隙水圧を消散さ せ有効応力の増加に寄与していることがわかる。また、Ma10層以外の沈下量は 概ね表現できている。Fig4 より実測値に比べ解析値は、間隙水がその圧縮性の ため、載荷中に圧縮するため全体的に沈下の進行が早く、沈下形状が角張った 形状になっている。続いて、Fig.5 に各層の垂直有効応力 (σ'_{v}) ~間隙比(e)を示す。 縦の実線は初期応力状態より最終の載荷応力 61(tf/m²)[*98kPa]を加算した値で ある。これは過剰間隙水圧が完全に消散し、1次元的な載荷重が全て有効応力と して作用したときの値である。Fig.5 より Ma10 層は今後載荷荷重が全て有効応 力となってもあまり体積圧縮が生じないことがわかる。しかし、Ma12UU、Ma7 層は過剰間隙水圧の消散とともに堆積構造が崩壊し大きな体積圧縮を起こすこ とがわかる。さらに MaDtc, Ma12UU 層は深度が浅く初期有効土圧が小さいた め載荷荷重の影響を大きく受け構造崩壊後も体積圧縮が進行する。これらの結 果から判断する限り、今後過剰間隙水圧が時間の経過とともに消散速度が遅く なり沈下速度も遅くなるが、沈下は将来にわたり進行するといえる。

4. 結論

密度、構造および時間効果特性を考慮した構成モデルは、構造を有した自然 堆積粘土の定ひずみ速度試験を適切に表現可能である。提案の1次元モデルで 多次元の間隙水圧の消散を擬似的に間隙水の圧縮性を考慮する方法で関西国際 空港地盤を対象に1次元有限要素解析を行った。1次元という単純化した条件の 解析を行ったが、今後は三村(ら)報告にあるように、多次元での検討を行い、地 盤の材料特性が実地盤の変形挙動に及ぼす影響を合理的に検討していきたい。

現場の要素試験結果および現場の計測データを提供していただいた関西空港 株式会社ならびに有益な助言をいただいた京都大学三村衛教授に感謝します。

参考文献

- 1) Nakai T. et al (2011): Soils and Foundations.51(6).1129-1148
- 2) Mimura M. and Byung. G.J. (2011): Soils and Foundations.51(6).1115-1128

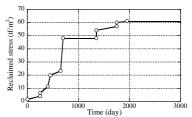


Fig.22 期空港島の載荷履歴

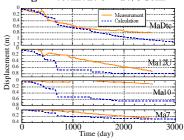


Fig.3 各層の沈下量

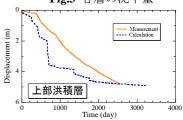
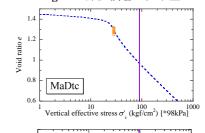
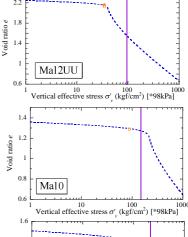


Fig.4 上部洪積層の沈下量





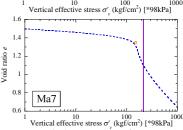


Fig.5 垂直応力(σ)~間隙比(e)関係