

大阪洪積粘土の弾・粘塑性モデルによる沈下解析

関西電力 正 三鼓 晃 大塚良治
 ニュージェック 正 松本文浩 前川 太

1. はじめに

大阪湾岸では大規模な埋立が進み、深部の洪積粘土層でも沈下が発生している事例が多い。大阪港埋立地の洪積粘土層については、埋立荷重を考慮した有効土被り圧が標準圧密試験で得られた圧密降伏応力にほぼ近い状態で、沈下が長期間継続している¹⁾。

大阪湾洪積粘土は年代効果を受けた擬似過圧密粘土として知られているが、年代効果の代表的な作用としては化学的固結作用と二次圧密作用がある。大阪洪積粘土の圧密降伏応力が圧密時のひずみ速度の影響を受けること²⁾を考えると、二次圧密によるクリープ挙動を考慮できる弾・粘塑性構成式の適用が望ましい。

本報告は、弾・粘塑性構成式に関口・太田モデル³⁾を用い、大阪港埋立地の洪積粘土層の沈下事例に対して解析を実施したものである。

2. 弾・粘塑性モデルの粘性効果⁴⁾

関口・太田による弾・粘塑性モデルの粘性効果は図-1のように理解される。この図は解析パラメータとして、基準時間 t_o 、それに対応する先行圧密時の平均有効主応力(圧密圧力) p_o' と間隙比 e_o を選定し、圧密時間を $t=t_o$ と $t=t_y (< t_o)$ の2種類で実施したものである。実線が結果であるが、圧密時間が基準時間よりも短い場合、見かけ上の先行圧密圧力 p_y' (見かけの圧密降伏応力 P_c といっても良い) が解析パラメータの p_o' よりも大きく現れる。なお、表現式は図中に示した式である。逆に、 t_y を基準時間とし、これに対応する p_y' と間隙比を用いても間隙水圧が完全に消散するものとするれば、全く同じ結果が得られる。これは、次式の関係、

$$p_o' = p_y' \left(\frac{t_y}{t_o} \right)^{\frac{\alpha_e}{\lambda - \kappa}} \quad (1)$$

が構成モデルで成立しているためであり、通常の標準圧密試験から得られた試験結果を用いて解析パラメータを設定する場合、 $p_o' = p_y' = P_c$ とすると $t_o = t_y = 24\text{hour}$ とすれば良い。

3. 弾・粘塑性 FEM 解析

解析対象は、図-2に示す大阪港の咲洲地区にある関西電力南港発電所で計測された洪積粘土層の層別沈下計測結果である。計測は埋立造成の完了後に開始し、図に示すように3枚の洪積粘土層の沈下を計測しており、洪積粘土層最上部の Ma12 層では約11年間で約34cm沈下している。

解析パラメータは標準圧密試験、三軸圧縮試験から表-1のように求めた。なお、case-1 は標準圧密試験結果の圧密降伏応力を先行圧密時の有効上載圧とし、基準時間を24時間とした

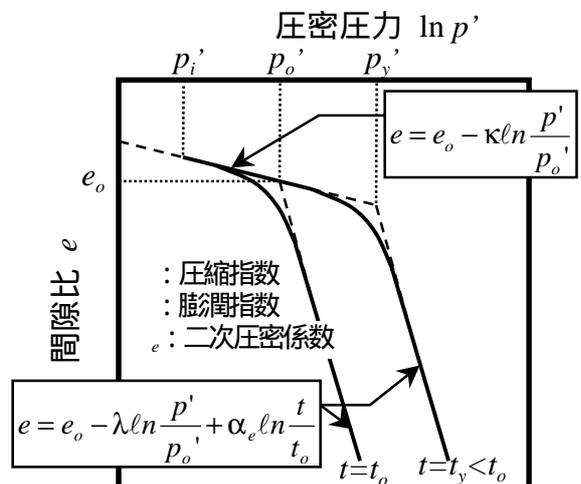


図-1 弾粘塑性モデルの粘性効果⁴⁾

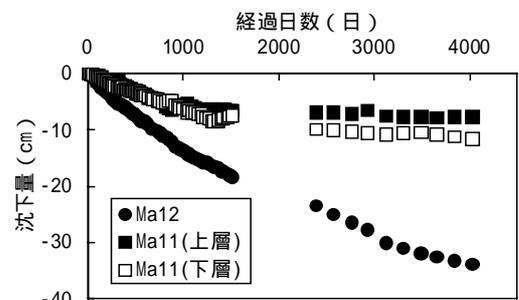


図-2 層別沈下計測結果

キーワード：洪積粘土，圧密，弾・粘塑性モデル，時間依存性，FEM 解析

連絡先：〒542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19 (株)ニュージェック TEL06-6245-4901 FAX06-6245-2246

もの、case-2 が埋立前の有効上載圧を先行圧密時の有効上載圧としたものである。なお埋立前の有効上載圧を用いる場合、基準時間は図 - 1 のモデルの考え方に従い、式(1)を用いて基準時間を算定した。また case-1 は初期条件の静止土圧係数 K_i について、先行鉛直応力 σ'_{vo} と鉛直有効上載圧 σ'_{vi} の比から求められる過圧密比 (OCR) を考慮して与えた case-1 と、case-2 と同じ値とした case-1' の 2 ケースとした。

FEM メッシュは 1 次元条件を仮定し、荷重条件は埋立履歴をできるだけ詳細に再現した。

図 - 3 は埋立初期からの解析結果である。図中の実線で示した時期から計測が始まっているので、図 - 4 はこのときからの沈下量を解析と実測で比較して示している。解析結果としては case-2 の結果が最も実測値に近く、case-1 は小さめに、case-1' は大きめに予測している。しかし、観測が始まった初期の沈下は、case-1' の結果が比較的良く一致している。解析精度向上のためには、二次圧密効果で見かけ上、圧密降伏応力が大きく得られる場合の静止土圧係数や透水係数などのパラメータ設定法の検討が必要と考えられ、今後の課題としたい。

4. まとめ

Ma11 層についても解析を実施していたが、図 - 2 に示しているように 1500 日前後で急激に沈下が収斂するような挙動を再現することができなかった。しかし、ここに示した解析事例から、挙動が複雑な洪積粘土層の沈下を比較的良く再現できる可能性が得られたので、大阪洪積粘土層を二次圧密効果による擬似過圧密粘土と仮定しても問題は無いと考えられる。

参考文献

- 1) 木山(1997)：臨海埋立地における洪積層の沈下と構造物の変形，土と基礎,Vol.45,No.4,pp.5-8
- 2) 田中ら(1998)：種々の粘性土の圧密特性に対する速度効果の影響，第 33 回地盤工学研究発表会,pp.457-458
- 3) Sekiguchi, H. and Ohta, H (1977)：Induced anisotropy and time dependency of clay, Proc. Specialty Session 9, 9th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engrg, pp.229-239
- 4) 飯塚(1997)：沈下予測における基準と初期条件の重要性，土と基礎,Vol.45,No.2,pp.11-14

表 - 1 解析パラメータ一覧表 (Ma12 層)

	解析パラメータ	Ma12 上部	Ma12 下部	摘要
材料定数など	層厚 (m)	15.5	4.5	調査結果
	湿潤密度 (t/m^3)	1.625	1.625	
	圧縮指数	0.608	0.260	標準圧密試験
	膨潤指数	0.0608	0.0260	仮定
	破壊応力比 M	0.94	0.94	三軸圧縮試験
	ダイレイタンス係数 D	0.1876	0.1036	$(-)/[M(1+e_0)]$
	二次圧密係数	0.0137	0.0137	$= e_0/(1+e_0)$
	透水係数 k (cm/sec)	1.74×10^{-8}	1.74×10^{-8}	標準圧密試験
基礎条件	間隙比 e_0	1 : 2.10 2 : (2.08)	1 : 1.40 2 : (1.39)	標準圧密試験
	先行圧密鉛直応力 σ'_{vo} (kPa)	525 350	615 410	標準圧密試験の P_c 埋立前土被り
	先行時の静止土圧係数 K_0	0.593	0.593	$K_0 = 1 - \sin \phi$
	基準時間 t_0 (day)	1 : 1.0 2 : 184	1 : 1.0 2 : 184	24hour 式(1)より推定
初期条件	鉛直有効上載圧 σ'_{vi} (kPa)	350	410	埋立前土被り
	静止土圧係数 K_i	1 : 0.659 2 : 0.593	1 : 0.695 2 : 0.593	OCR より推定

注) 1 : および 2 : はケースを表す。その他はケースに関係なく同じである。摘要の e_0 は case-1 の値である。

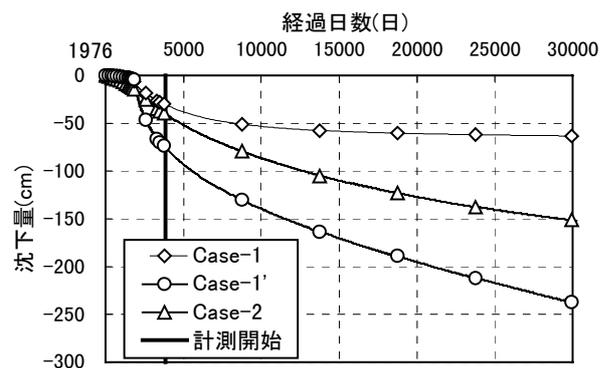


図 - 3 FEM解析結果 (埋立初期から)

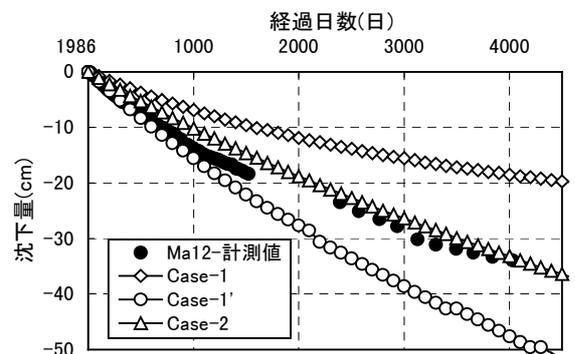


図 - 4 解析結果と実測値の比較