

上・下負荷面カムクレイモデルを用いた地盤の変形解析

Ground Deformation Analysis with Superloading Cam-Clay Model

高稲 敏浩*

要 旨

単位面積当たりの荷重が 534kN/m^2 の高層ビル建設が計画されている。荷重の大きさが洪積粘土の「圧密降伏応力」にほぼ等しいため、2次圧密が心配される。

そこで、土の「構造」を表現できる上・下負荷面カムクレイモデルを用いて水～土連成解析によりその検討を行った。標準圧密試験の数値シミュレーションでは「2次圧密」が生じたものの原地盤における解析では「2次圧密」が生じないことが分かった。また、オリジナルカムクレイモデルを構成式に用いた解析に比べ、下負荷面の概念を用いることで、リバウンドの算定に有利であることも示した。

キーワード：2次圧密／土の構造／有限要素法／弾塑性構成式

1. はじめに

図-1のような土

性分布を示す地盤に、
載荷重 534kN/m^2 の
高層ビル建設が計画
されている。荷重レ
ベルが設計基礎杭
(GL-46m)の杭先端
部分の洪積粘土の
「圧密降伏応力」に
ほぼ等しいため、2
次圧密が心配される。
そこで、本報告では、
土の「構造」とその
劣化に伴う2次圧密
が表現可能な上負荷
面¹⁾と、下負荷面²⁾
を有するカムクレイ

モデルを用いた水～土連成解析³⁾により検討した地盤の
沈下について述べる。

2. 計算方法

計算は、2次元平面ひずみ条件で行うが、図-2に計
算で用いた有限要素メッシュ図、地層区分等を示す。計
算は概ね施工手順にしたがって行い、幅 18.7m 、深さ 13m
を1年で掘削し、長さ 46m の杭を打設した後、1年7ヶ
月で 534kN/m^2 の荷重を杭頭に載荷して放置した（後述
の図-7を参照）。土の構成式は、粘性土に上・下負荷

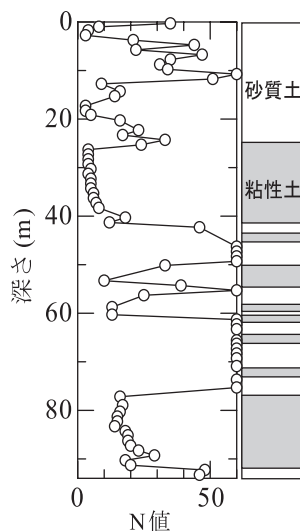


図-1 柱状図

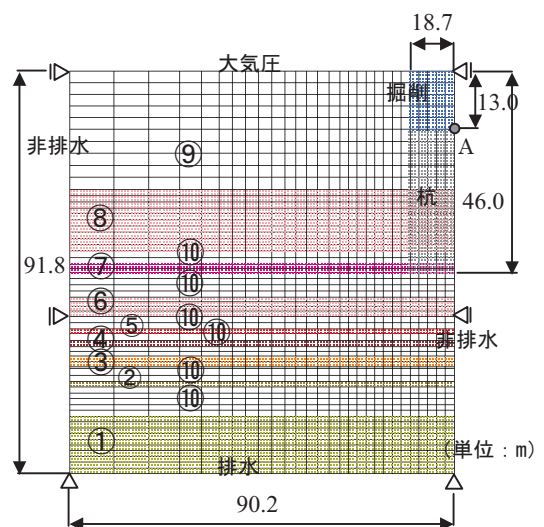
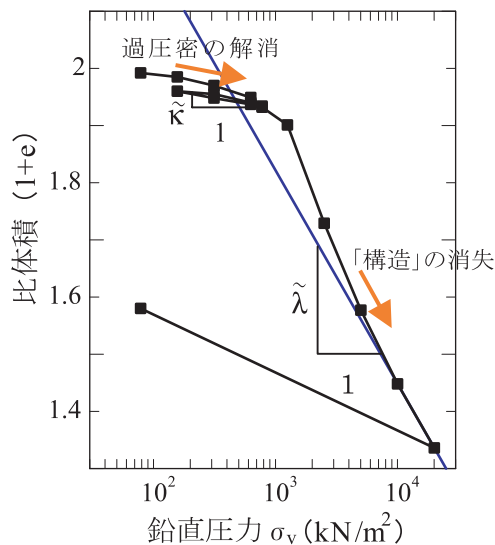


図-2 有限要素メッシュ（平面ひずみ条件）

面カムクレイモデルを用いた。砂質土についても同一の
構成式で記述できるが、得られる情報がN値のみであり、
今回は簡単のため、透水性を考慮する弾性体とした。初
期の応力や間隙比などは深さ方向に分布するが、過圧密
比や「構造」の大きさは同一層内では均一であるとした。
なお、基礎杭は群杭とみなし、掘削後この領域を非透水
性の弾性体で瞬時に置換した。

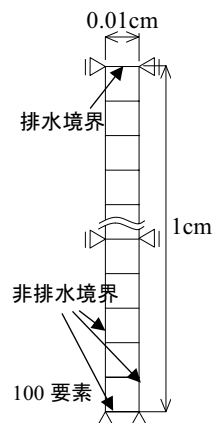
*土木構造研究室



図－3 材料定数の決定

2.1 粘性土の材料定数の決定方法

今回入手可能な土質試験結果は標準圧密試験であったため、粘性土の材料定数と初期状態は、標準圧密試験結果とその水～土連成計算から決定している。以下にその方法を簡単に述べる。

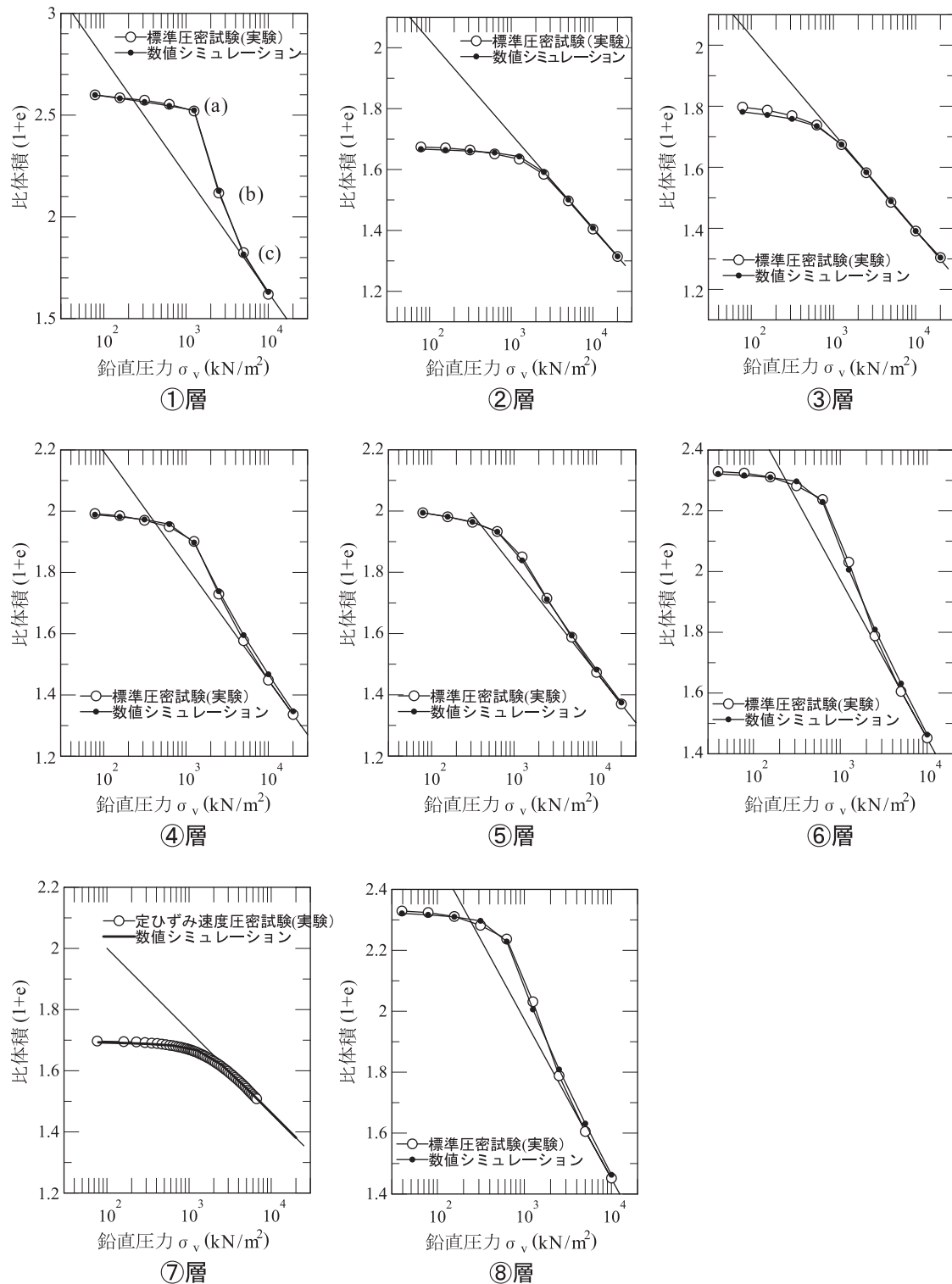


図－4 境界条件

膨潤指数 $\tilde{\kappa}$ は、圧密試験途中で試料採取位置における有効土被り圧付近の応力で除荷したときの膨潤線から求める。圧縮指数 $\tilde{\lambda}$ は、標準圧密試験終了時には「構造」が十分に低位化した状態にあるとして、終了側の2つの荷重点を結び正規圧密線として決定する（図－3参照）。そして、図－4の有限要素メッシュを用いて標準圧密試験をシミュレートし、試験結果に合うように過圧密解消

表－1 材料定数

層番号	圧縮指数	膨潤指数	$P^*=98.1$ kPa時の 比体積	限界状 態定数	初期過 圧密比	正規圧密 度化係数	初期構造	構造劣 化指数	ポアソン 比	透水係数	土粒子 の密度	弾性係数	湿潤密度
	$\tilde{\lambda}$	$\tilde{\kappa}$	N	M	O.C.R.	m	1/R*	m*	ν	k(m/sec)	ρ_s (t/m³)	E' (kN/m²)	γ_i (kN/m³)
①	0.250 0.585 0.585	0.0270 0.0270 0.0515	2.785 4.000 4.000	1.50	3.6 1.8 1.8	10.0 40.0 —	11.5 — —	2.4 — —	0.3	1.8×10^{-10}	2.704		
②	0.135	0.0043 0.0043 0.0361	2.027	1.50	4.1	6.0 6.0 —	1.0 — —		0.3	1.3×10^{-10}	2.663		
③	0.138	0.0144 0.0144 0.0292	2.032	1.40	1.8	4.0 4.0 —	1.0 — —		0.3	1.7×10^{-10}	2.642		
④	0.162 0.250 0.250	0.0101 0.0101 0.0440	2.192 2.535 2.535	1.40	2.6 2.1 2.1	4.0 10.0 —	3.0 — —	0.8 — —	0.3	3.0×10^{-10}	2.630		
⑤	0.149 0.195 0.195	0.0188 0.0188 0.0370	2.162 2.350 2.350	1.40	2.1	2.5 2.5 —	2.47 — —	0.8 — —	0.3	2.8×10^{-10}	2.684		
⑥	0.227 0.352 0.352	0.0072 0.0072 0.0500	2.503 2.928 2.928	1.50	1.7	6.0 6.0 —	2.78 — —	0.8 — —	0.3	3.3×10^{-10}	2.624		
⑦	0.117	0.0027 0.0027 0.0100	2.003	1.60	5.9	4.0 4.0 —	1.0 — —		0.3	2.1×10^{-10}	2.720		
⑧	0.227 0.352 0.352	0.0072 0.0072 0.0500	2.503 2.928 2.928	1.50	2.8	6.0 6.0 —	2.78 — —	0.8 — —	0.3	4.8×10^{-10}	2.624		
⑨									0.4	1.0×10^{-4}		30000.0	18.0
⑩									0.4	1.0×10^{-2}		180000.0	19.0

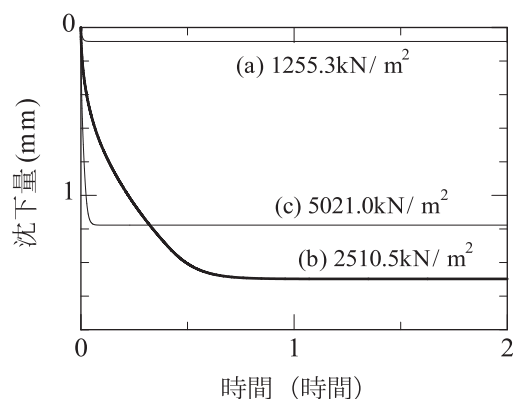


図－5 各層の標準圧密試験結果と数値シミュレーション結果

の程度を与える正規圧密度化係数 m 、「構造」消失の程度を決める構造劣化指数 m^* を決める。このようにして決定した材料定数と初期状態を表－1に示す。

図－5には各層の標準圧密試験結果とシミュレーション結果を示す。砂質土については、弾性係数をN値から

決めた。なお、本報告では、粘性土の構成式にオリジナルカムクレイと下負荷面カムクレイ²⁾を用いた場合との比較計算を行うため、それらの材料定数も表－1の各層の下段、中段に示した。



図－6 沈下量～時間関係

2.2 最下層地盤の「2次圧密」

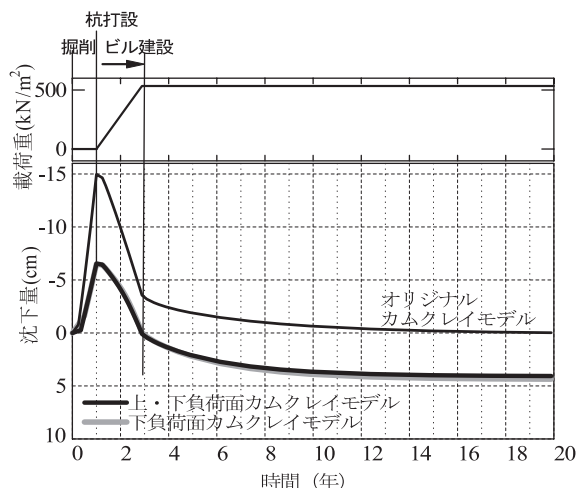
最下層①の粘土における「2次圧密」について調べる。図－6に①層の標準圧密試験中の点(a),(b),(c)(図－5参照)の荷重が載荷された時の沈下～時間関係を示す。(a),(c)は、載荷後数分で収束するが、(b)は50分近く沈下が続く。これは塑性圧縮を伴う軟化がおき、間隙水圧の湧き出しが生じるため、室内試験では「2次圧密」が起きていることを示す。つまり、図－5の層①は、圧密降伏応力が1255kN/m²であることから、試料採取位置の有効土被り圧約750kN/m²に534kN/m²が載荷されると、「圧密降伏応力」にほぼ等しく、「2次圧密」の可能性があると考えられる。

3. 計算結果

上記で設定した土質定数を用いて、沈下計算をおこなった。図－7に掘削面(図－2点A)の地盤沈下量を示す。上・下負荷面と下負荷面だけの両モデルによる計算は同様な結果となるが、上・下負荷面モデルの計算でも室内試験で起きたような2次圧密(図－6)は地盤で生じなかった。これは、上載荷重が多次的に分散したためでもあるが、原地盤では除荷を受けたサンプリング試料ほど過圧密でなく、元々2次圧密が生じにくいいため⁴⁾でもある。

また、掘削時のリバウンド量をみると、オリジナルカムクレイモデルでは15cm、上・下負荷面カムクレイモデルでは6.5cmとなっている。

過圧密状態からの載荷、再除荷を考えると従来からのオリジナルカムクレイモデルなど古典的な弾塑性計算では、過圧密状態で生じる塑性挙動も含めて「弾性」として膨潤指数で表すため、除荷時のリバウンド量は過大評価となる。そのため、リバウンド量の算定には載荷時とは異



図－7 沈下量～時間関係

なる別の「低減」パラメータを設けることがある。しかし、下負荷面を用いる場合、膨潤指数は弾性挙動のみを表すので、別立てのパラメータを用いることなく、リバウンド量は小さくなる。

4. まとめ

「2次圧密」が考慮できる上負荷面カムクレイモデルを用いた水～土連成解析より、大荷重が作用するビル建設に伴う沈下を検討した。

今回の検討事例では、室内(計算)で「2次圧密」が懸念されたものの、地盤では生じないことが分かった。

最後に、ご指導を頂いた名古屋大学浅岡顕教授、野田利弘助教授に対し、感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) Asaoka, A., Nakano, M. and Noda, T.: Superloading yield surface concept for highly structured soil behavior, *Soils and Foundations*, Vol.40, No.2, pp.99-110, 2000.
- 2) Hashiguchi, K.: Subloading surface model in unconventional plasticity, *Int.J.Solids Structus*, Vol.25, No.8, 1989.
- 3) Asaoka, A., Nakano, M., Noda, T. and Kaneda, K.: Delayed compression/consolidation of natural clay due to degradation of soil structure, *Soils and Foundations*, Vol.40, No.3, pp.75-85, 2000.
- 4) 浅岡顕、野田利弘、金田一広、山田正太郎、吉田幸代：粘土の構造・過圧密が2次圧密特性に及ぼす影響に関する計算力学的考察，第37回地盤工学研究発表会，pp.319－320, 2002.