

粘性土層の層構成の不均質さと圧密沈下に及ぼす影響

Variation of Composite Characters of Diluvial Clay Layers and their Influence on the Consolidation Calculation

高橋 真一 (たかはし しんいち)

(株)大林組技術研究所土木第2研究室 副主任研究員

西林 清茂 (にしばやし きよしげ)

(株)大林組技術研究所土木第2研究室 室長

上野 孝之 (うえの たかゆき)

(株)大林組技術研究所土木第2研究室 主任研究員

1. はじめに

大規模な埋立地で長期的な沈下が問題となる洪積粘土層では、沖積粘土層に比べて不均質な層構成であることが多いことから、精度良い沈下予測のためには、粘土層内に潜む排水層を含めた適切な層構成の把握と沈下計算におけるモデル化が重要な課題¹⁾となっている。

通常ボーリング試料に用いた土質調査は、適当な深度間隔で行われるため、深さ方向に急激に土性が変化する場合には、その土質特性については、ボーリング柱状図上で定性的に表現されるにとどまることが多い。そのような地盤を対象として、その変化が圧密沈下に及ぼす影響について検討する場合、排水層の有無として地盤の層構成をモデル化せざるを得ない。

この報告では、層構成を詳細に把握するために、洪積粘土層で連続サンプリングと土質試験間隔を密に行い、層構成の精度良い確認と層構成が与える圧密速度への影響について検討した結果を示した。

2. 連続サンプリングと層構成の把握

2.1 連続サンプリング

試料は、大阪南港埋立地の一画で深度GL-47~GL-103mから採取した洪積粘性土である。図-1に柱状図を示す。GL-68m付近の粘土層を除く3層の粘土層は、海成粘土層で、各々Ma12層、Ma11(1)層、Ma11(2)層に相当する。各粘土層ではデニソンサンプラーを用いて連続的に試料採取を行い、室内土質試験を行った。以下各層ごとの土層構成について示す。

2.2 Ma12の層構成

図-2にMa12層の土性図(粒度組成と含水比・コンシステンシー特性)を示す。土性は上部層と下部層に大きく分けられ、上部層約7mは粘土を多く含む比較的一様な高塑性の粘土層、下部層はシルトと粘土の互層で比較的低塑性の粘土層となっている。この試験結果から判断すると上部層から下部層への変化はほぼ連続的であると考えられる。

図-3は、隣接する埋立地で図-2の層境界付近と同等の深さから採取した試料の含水比の深度分布である。この採取試料は厚さ1mm程度の縞状の層構成が幾層か目視で確認された。含水比の試験結果は、層構成の目

視観察状況に応じて深度方向に変化し、その変化量は、5cmの深度差で10%の含水比の差に及んでいる。図-2で示した試験結果ではこの変化は確認できなかったが、大阪南港の調査時点においても土性の変化は深度方向に細かく変化していることが十分予想される。しかし、含水比が最も小さい部分でも約40%程度と比較的大きく、圧密速度に大きく影響を与えるような完全な排水層は認められないと言える。

2.3 Ma11(1)の層構成

図-4にMa11(1)層の土性図を示す。Ma11(1)層天端から-6m付近で砂分が多い部分(中間層)が存在し、この層

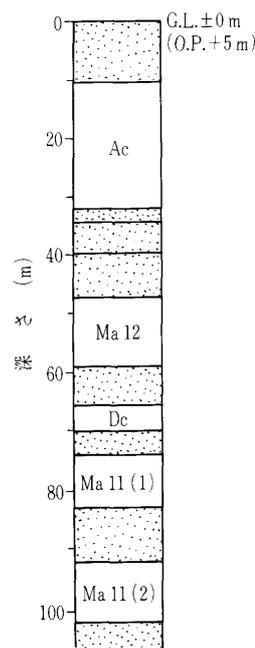


図-1 柱状図

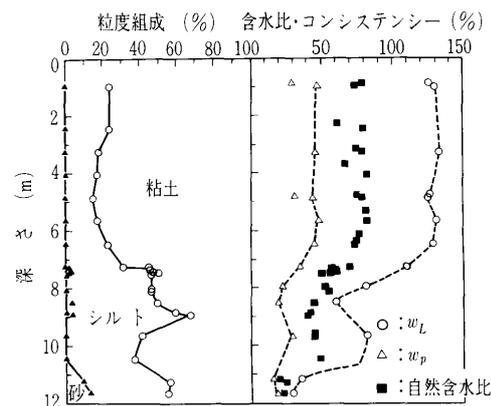


図-2 Ma12層の土性図

を境に上部層と下部層の大きく2層に分けられる。厚さ約1mの範囲内で砂分含有量が43%を最大値に急激に変化している。この中間層に接する上部層と下部層は比較的高塑性粘土であるが、各層ともコンシステンシー特性が中間層に向かって高塑性から低塑性に変化している。上部層の中央でコンシステンシーが大きくなる分布は、大阪港周辺の沖積粘土層Ma13で見られるような中膨らみの状態と似ており、海水面の変動の影響と一致している。

事例報告

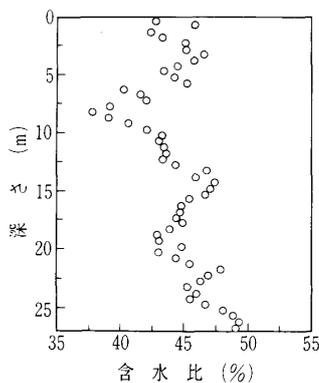


図-3 周辺域における Ma12層中間層の含水比分布

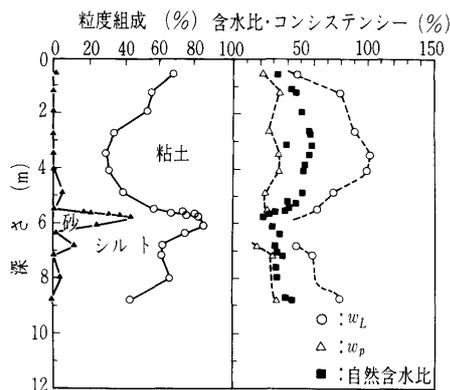


図-4 Ma11(1)層の土性図

2.4 Ma11(2)の層構成

図-5 に下部の一部に淡水成粘土を含む Ma11(2)の土性図を示す。粘土層の層天端から7m 付近および10m 付近に砂分が多い部分(中間層)が存在し、この層を境に上部, 中部, 下部層の大きく3層に分けられる。上部層は高塑性粘土, 中部, 下部層は低塑性粘土である。

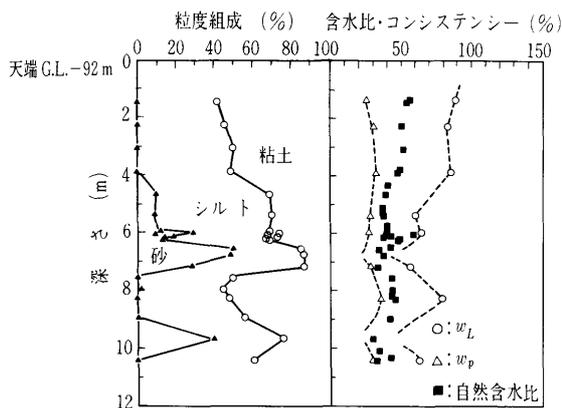


図-5 Ma11(2)層の土性図

3. 層構成と圧密計算における問題点の検討

土性分布の検討から得られた地盤の特徴をまとめると以下のとおりである。

- ① Ma12, Ma11(1)は2層, Ma11(2)は3層に大きく層構成が分けられる多層地盤を形成している。
 - ② Ma11(1), Ma11(2)では層内に砂分を多く含む部分(中間層)が存在している。
- 圧密計算でこれらの特徴を反映するためには、深さご

との地盤定数の設定, 中間層の排水条件の適切な評価が重要となる。

図-6 に, 透水係数の分布を示す。図中の値は, 圧密試験から得られた透水係数 k のうち土被り圧に対応する値と, 一部中間層部分では D_{20} , D_{10} の粒径を用いて推定した値である。粘土層の中央付近に存在する砂分が多い中間層は, 他の粘土部分に比べて透水係数が $10^2 \sim 10^3$ 倍程度大きい。粘土分を含む土質に対して粒径から透水係数を推定する方法には問題があるが, 相対的には透水係数が大きいことを示しており, 中間層が排水層となり得ることが考えられる。

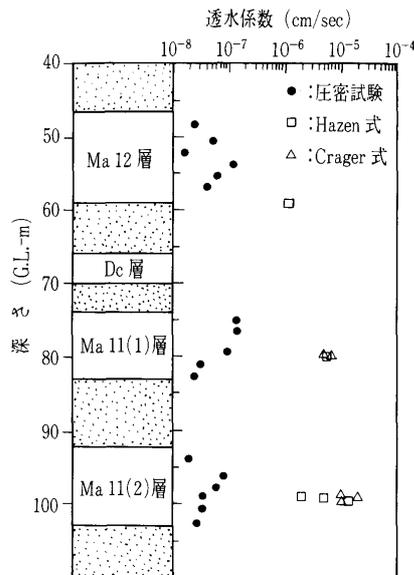


図-6 透水係数の分布

図-7 は, 圧密降伏荷重 p_c の深度分布である。Ma11(1)の p_c の分布状態は, 中間層に近い程大きくなる傾向が認められ, 中間層が排水層として機能している可能性がこの結果からもうかがえる。

4. 不均質な層構成を有する粘土層の圧密試算

4.1 計算モデル

通常, 圧密計算の排水条件は, 透水係数が無限に大きいと仮定する排水面, あるいはまったく排水を許さない非排水面とする

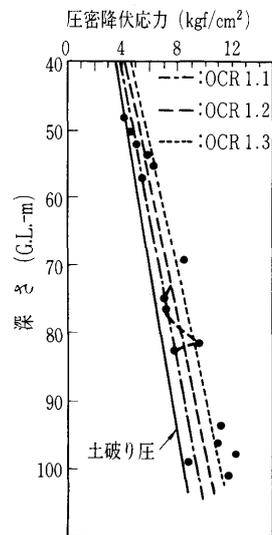


図-7 圧密降伏荷重 p_c の深度分布

Ma11(1), Ma11(2)層内に存在する中間層では, 必ずしも排水条件が明確でない。そのため, 中間層の透水性の大きさが圧密速度へ与える影響を定量的に検討するため, Ma11(1)の中間層の透水性をパラメーターとした沈下解析を行った。

モデル地盤は, 深さ103m, 半径150mの軸対象モデルに部分載荷を想定した。載荷重は地表面において半径23mの範囲内の等分布載荷, 排水条件は各粘土層の上

表一 解析入力定数

	m_v (cm ² /kgf)	E (kgf/cm ²)	ν	K_0	k (cm/s)
埋立層		200	0.333	0.50	
Ac層	2.7×10^{-2}	25	"	"	3.5×10^{-7}
砂礫層		500	"	"	
Ma12層	9.4×10^{-3}	70	"	"	1.7×10^{-8}
砂礫層		1500	"	"	
Dc層	7.4×10^{-3}	90	"	"	1.3×10^{-8}
砂礫層		1500	"	"	
Mall(1)層	7.4×10^{-3}	90	"	"	3.4×10^{-8}
中間層	7.4×10^{-3}	90	"	"	3.4×10^{-6}
砂礫層		2000	"	"	
Mall(2)層	3.2×10^{-3}	209	"	"	1.9×10^{-8}
載荷面直下		2.1×10^8	"	"	

備考 $E = (1 + \nu)(1 - 2\nu) / m_v(1 - \nu)$ $K_0 = \nu / (1 - \nu)$

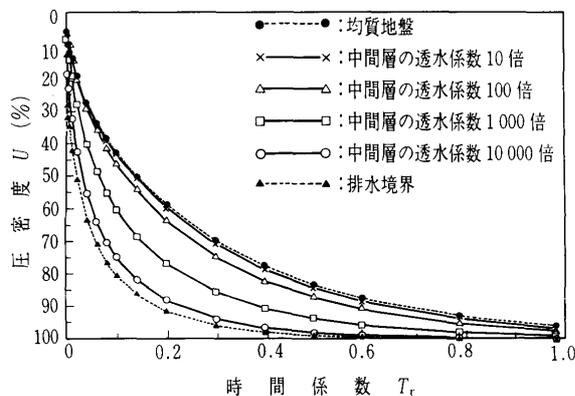
下面、およびモデル地盤右端面とした。土質定数は表一1に示す値を用い、弾性圧密計算を行った。

中間層の条件は、以下に示す透水係数と層厚を組合せて設定し、中間層の排水能力と沈下速度の関係について検討した。

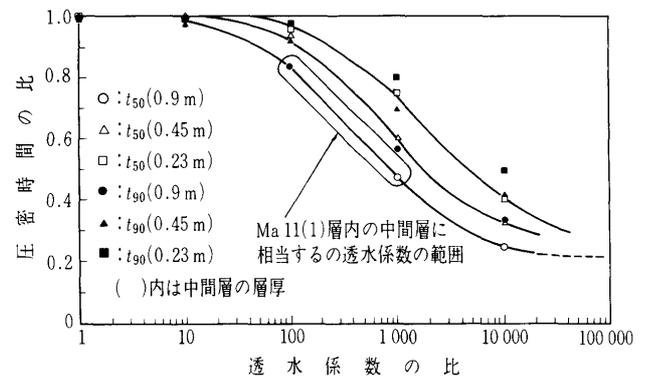
- ① 透水係数：上下の粘性土の 10^1 , 10^2 , 10^3 , 10^4 倍
- ② 層厚：0.9m

4.2 解析結果

図一8に、時間係数 T_v ～圧密度 U_s の関係を示す。中間層の厚さが同じでも、中間層の透水係数が大きなモデル地盤ほど速く圧密が進行し、 10^4 倍（透水係数 $k = 3.4 \times 10^{-4}$ cm/s）のモデルでは中間層を排水境界に設定した結果に近い。

図一8 時間係数 T_v ～圧密度 U_s の関係

図一9は、粘土層、中間層の透水係数の比と圧密時間 t_{50} , t_{90} の関係を示したものである。図中には、粒度試験結果から推定した中間層の透水係数および層厚の範囲を付記した。透水係数が10倍より大きくなると圧密時間が短くなり始める。透水係数の差が 10^2 倍より大きくなると圧密時間に及ぼす影響も20%以上と比較的有為な差となっている。透水係数の差が 10^4 倍程度でほぼ排水条件とした場合と同様の効果を発揮している。



図一9 中間層の透水係数の大きさと圧密時間の関係

吉国ら²⁾は、排水層は 10^4 程度の透水係数の差が必要であることを指摘している。対象層が排水層として機能するか否かは、透水係数のみでなく、その層厚との積で表される透水能力に依存すると考えられる。図一9の関係から排水層としての条件は透水係数の条件以外に層厚の条件も必要で、 10^4 程度の透水係数の差で排水層として機能するには約1m以上の厚さが必要であることがわかる。

土質試験から得られた中間層の土性（透水係数の差が $10^2 \sim 10^3$ 倍、層厚が約0.9m）では、圧密時間が50～80%と速く進むことが予想される範ちゅうに入り、中間層の排水性の評価が重要な条件であることがわかる。

5. まとめ

洪積粘土層の圧密沈下検討に重要な排水境界を主体とする層構成の把握を目的に、連続サンプリングと試験間隔を密にした土質試験と圧密試験を行った。その結果、

- ① 調査地点では、粘土層内に明確な砂層は存在しなかったものの、一部に砂分を多く含む層が存在するなど不均質な層構成を形成している
- ② 層構成の不均質さのうち、透水能力の不均質さは粘土層全体の圧密速度に大きく影響し、層中央付近に存在する中間層の透水能力が10倍程度の大きな状態から影響が認められる

ことがわかった。このことより、洪積層内で確認された砂分を多く含む中間層の適切な評価が重要であることが確認された。

参考文献

- 1) 及川：大阪湾海底地盤 第9章 ケーススタディー、海底地盤調査指針, pp. 261～305, 1990.
- 2) Yoshikuni, H, Nakanodo, H: Consolidation of soils by vertical drain wells with finite permeability, Soils & Foundations, Vol. 14, No. 2, pp. 35～46, 1974.
(原稿受理 1996.8.19)