

○名古屋大学大学院 学生会員 中野 正樹
 名古屋大学 正会員 浅岡 顕

1. はじめに

プレローディング工法は、地盤の支持力を上げ沈下を抑える最も経済的な地盤改良工法の1つである。所定の高さに残留沈下が生じないように盛土を築造するには、サーチャージ量、撤去量、撤去時期などが重要であり、設計において軟弱地盤の挙動を一次元弾性圧密理論により解析し、これらの量を求めている。しかし実際は多次元変形で軟弱粘土地盤は弾塑性的挙動を示すため、設計の際サーチャージ荷重の大きさそして地盤の透水係数の評価が不可欠となる。本報告では、①サーチャージ荷重の大きさを地盤の非排水支持力により正規化すると、地盤の圧密挙動をほぼ説明できること、そして②サーチャージ荷重載荷後、沈下観測によって地盤全体を代表する透水係数が評価されるという研究結果に基づき、プレローディング工法における透水係数評価にかかわるモニタードディシジョンについて説明する。

2. 軟弱粘土地盤の部分排水挙動に及ぼす透水係数の影響

軟弱粘土地盤の各土要素における有効応力パスは地盤の透水係数 k や載荷重の大きさ q に依存する。このことは粘土が弾塑性的特性を示すことを考えると、部分排水挙動に影響を及ぼすため大変重要である。そこで有限要素法による弾塑性圧密変形解析を行ない、粘土地盤の部分排水挙動が透水係数 k や載荷重の大きさ q によってどのように影響を受けるか調べた。なお解析に用いた構成モデルは関口・太田モデルである。表1には地盤の弾塑性パラメータを表し、図1は部分排水効果を示すパラメータおよび荷重形、地盤の初期応力状態を示している。部分排水効果としては具体的に(1)盛土漸増載荷中の非排水支持力 q_f 、(2)沈下比 ρ_0/ρ_f (ここで ρ_0 は盛土立ち上がり時の沈下量で、 ρ_f は圧密終了時の全沈下量) に注目している。

表1 弾塑性パラメータ
 および透水係数

λ	0.25	D	0.0378
κ	0.13	K_0	0.7
M	1.2	γ_t	16.2
ν	0.2		(kN/m^3)

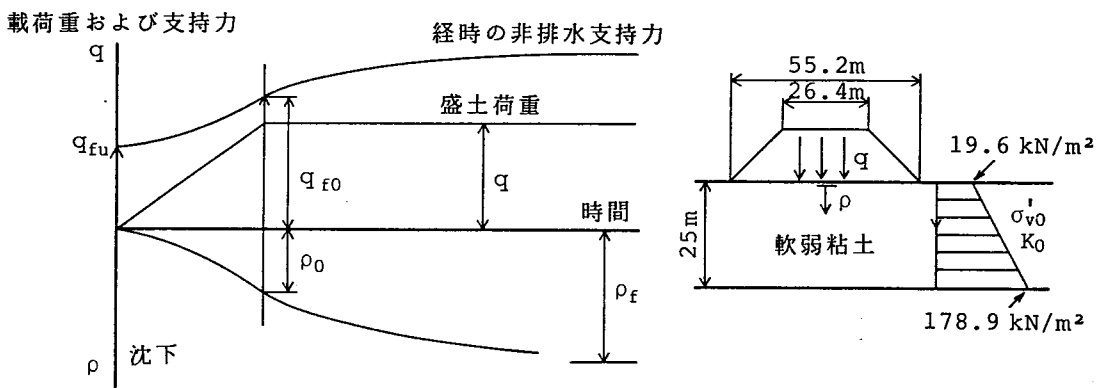


図1 部分排水効果を示すパラメータおよび荷重形、地盤の初期応力状態

主な結論は次の通りである。

(1) 図2、3に示すように、層厚が20~25(m)の地盤において圧密沈下と支持力は地盤の透水係数 k が $10^{-7} < k < 10^{-4}$ (cm/sec) のレンジでのみ際だった部分排水効果を示し、そのレンジをはずすと効果がみられない。

(2) 載荷重が小さいと高い透水係数の範囲で部分排水効果があるが、載荷重が大きいくほど低い透水係数においても部分排水効果が現れる。

(3) 荷重安全率 F_s と沈下比 ρ_0/ρ_f がわかれば、地盤の透水係数 k を決定することができる¹⁾。ここで荷重安全率 F_s は盛土荷重 q を地盤の非排水支持力 q_{f0} を単位として定義していて $F_s = q_{f0}/q$ である。また ρ_0 は現場計測により求めることができ、 ρ_f は沈下計測を行ない弾塑性圧密挙動に対して区分線形近似を適用することにより予測が可能である²⁾。

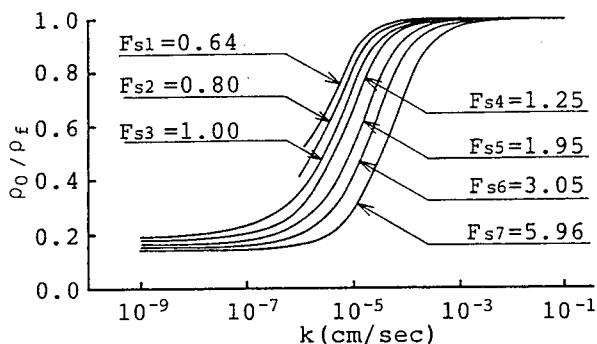


図2 $\rho_0/\rho_f \sim k$ 曲線

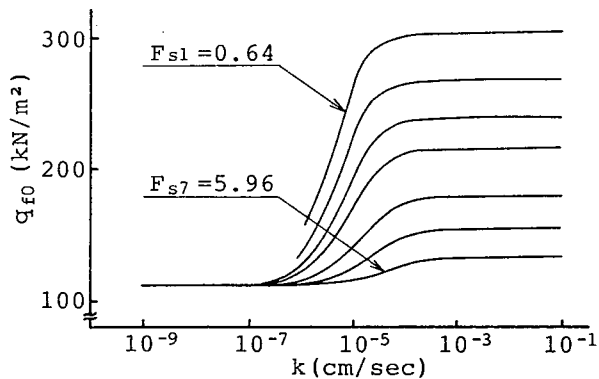


図3 $q_{f0} \sim k$ 曲線

3. プレローディング工法の模擬設計

2章においてサーチャージ荷重載荷後、沈下観測によって地盤全体を代表する透水係数が評価されることが結論づけられた。この章ではその結論に基づきプレローディング工法における透水係数評価にかかわるモニタードレンジョンについて数値解析での模擬設計により説明する。

3.1 設計条件

図4にプレローディング工法における諸量の記号を示す。工期 T は9ヶ月(270日)で盛土載荷速度 \dot{q} は 1.5 ($\text{kN/m}^2/\text{day}$) で一定として、層厚 25 (m) の軟弱地盤上に天端が 26.4 (m)、敷幅 55.2 (m)、高さ 2 (m) の道路用盛土を造るとする。つまり撤去後の盛土荷重 q での高さ $H(q)$ に対し、撤去後の沈下量 $\rho(t=T)$ を減じた高さが 2 (m) ということであり、供用開始後残留沈下は起こらないようにする。盛土の単位体積重量 γ は 20.09 (kN/m^3) (沈下した部分に関しては水没したものと考え $\gamma' = 10.29 \text{ kN/m}^3$) とした。また、自然地盤の弾塑性パラメータを表2のように定めた。これはあくまでも自然の状態であって決して設計者が知ることのできない真値である。

表2 自然地盤の弾塑性パラメータおよび透水係数

λ	0.1917	D	0.03940
κ	0.09093	K_0	0.56
M	1.0838	k	4.2×10^{-6}
ν	0.3590		(cm/sec)
γ_t (kN/m^3)	16.17		

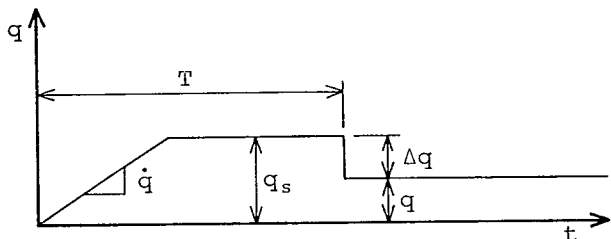


図4 プレローディング工法の荷重履歴と諸量の記号

3.2 土質調査による地盤・荷重条件の単純化と弾塑性パラメータの決定

以上のような条件が設定されたが、まず複雑な自然条件を理想化、単純化する必要がある。そこで一般に土質調査が行なわれるが、その結果を表3に示す。これらの情報から非排水三軸圧縮・伸張強度を等しくするよう弾塑性パラメータを表4のように定めた。地盤の初期応力分布は図5のように、また荷重および変位の境界条件は図6のように設定した。

表3 土質調査結果

サンプリング深さ (m)	13
物理的試験 γ_t (tf/m ³)	1.65
標準圧密試験 σ'_{v0} (kgf/cm ²)	1.35
e_0	1.36
λ	0.192
非排水三軸試験 ($p'_0 = 0.8, q_0 = 0.6$ kgf/cm ²)	
c_{uc} (kgf/cm ²)	0.380
c_{ue} (kgf/cm ²)	0.208

表4 事前設計に用いた弾塑性パラメータ

λ	0.192	D	0.0381
κ	0.0961	K_0	0.55
M	1.07	γ_t	16.2
ν	0.355		(kN/m ³)

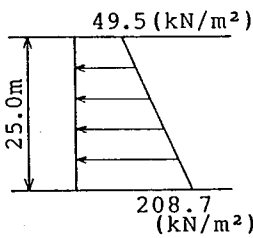


図5 地盤の初期応力状態

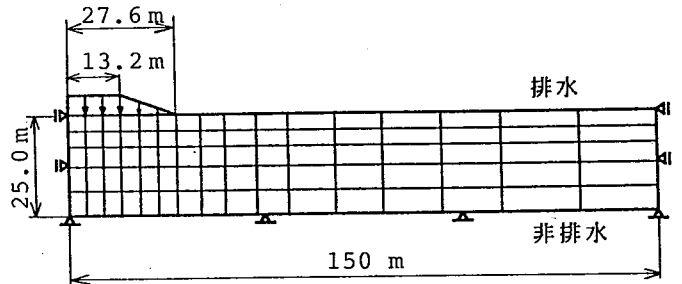


図6 有限要素メッシュと荷重・変位境界条件

3.3 事前設計

3.2において設定された弾塑性パラメータ、地盤の初期応力分布、そして荷重および変位の境界条件より水～土骨格連成極限つりあい解析ができ、地盤の非排水支持力 q_{r0} を求めると142.8 (kN/m²) となった。以下 q_{r0} によりサーチャージ量を正規化する。ところで地盤の透水係数 k は地盤の変形挙動に最も影響する要素であるにもかかわらず、盛土を載荷してはじめて定まる値である。そこで本報告では透水係数 $k = 3.5 \times 10^{-6}$ (cm/sec) と想定し、それに最適となる設計代替案を立てることとする。真値の透水係数 k は $k = 4.2 \times 10^{-6}$ (cm/sec) であり設計値と若干異なる。この透水係数に対する残留沈下の生じない最適なサーチャージの量 q_s 及び撤去量 Δq を数値解析より求め表5に示す。ここでは荷重安全率 F_s も示しているが $F_s = 0.88$ で1よりも小さいが、盛土を盛ることができるのは図2、3に示すよう部分排水効果の現れているためである。

表5 自然状態に対する最適設計案

k (cm/sec)	q_s (kN/m ²)	F_s	Δq (kN/m ²)	q (kN/m ²)
3.5×10^{-6}	161.7	0.88	97.0	64.7

3.4 モニタードディジション～沈下計測から最適設計案へ～

設計案にしたがってサーチャージ荷重 $q_s = 161.7$ (kN/m²) ($F_s = 0.88$) が載荷され、その後モニタリング (沈下計測) が行なわれる。モニタリングの結果から区分線形近似を適用することにより最終沈下量 ρ_f を予測することができる。図7に示した差分図より、約3ヶ月で最終沈下量を予測でき $\rho_f = 3.58$ (m) となった。 ρ_0 は盛土施工終了時の沈下量であるため、計測結果より直接2.26(m)が得られるので沈下比 $\rho_0/\rho_f = 0.62 \sim 0.63$ となり、図8を用いて地盤の透水係数を決定することができる。ここで図8はあらかじめサーチャー

ジ荷重の荷重安全率 F_s がわかるため、透水係数 k を変化させて弾塑性圧密変形解析を行うことにより事前に準備することができる。こうして新たに得られた透水係数 k は 4.2×10^{-6} (cm/sec) となり表 1 で示した真値と一致した。つまり、これで実際の地盤の沈下挙動をかなりの精度で予測できるようになったのである。そこで新しく得られた地盤の透水係数により、弾塑性圧密変形解析を行ない最適な設計案を立て直す。この手順をモニターディシジョンとよび、表 8 に変更事項を示す。設計値と真値の透水係数とほとんど同じであるためわずかな変更ですむ。具体的に変更後の沈下挙動を図 9 に示すように、「供用後残留沈下なし」という条件は完全に満たし仕上がり高さも許容範囲内に納めることができた。

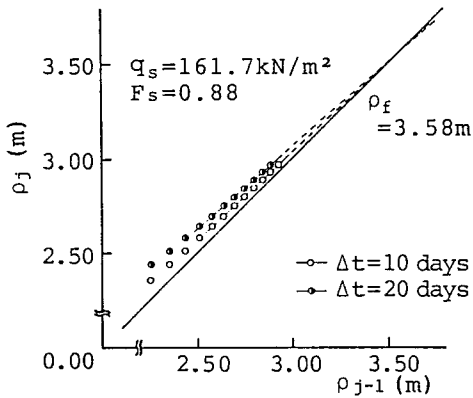


図 7 差分図

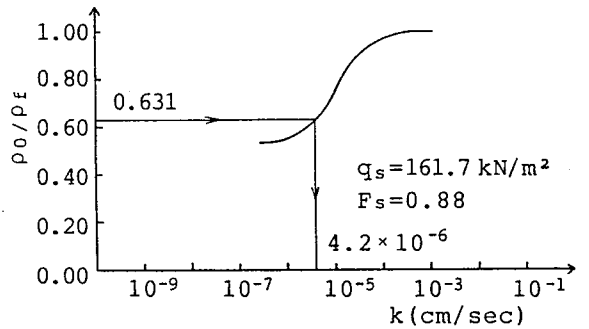


図 8 $\rho_0/\rho_f \sim k$ 曲線

表 8 沈下計測に基づいた
モニターディシジョン

盛土荷重	q_s (kN/m ²)	161.7	
撤去荷重	Δq (kN/m ²)	97.0	→ 98.3
残留荷重	q (kN/m ²)	64.7	→ 63.4

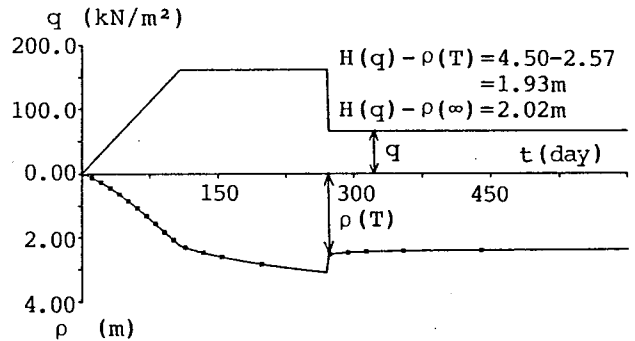


図 9 載荷履歴と沈下挙動

4. 結論

以上の研究を通して次の事項が明らかになった。

- (1) プレローディング工法を行った際、設計条件を「残留沈下なし」と設定するとサーチャージ量や地盤の透水係数は撤去量、撤去時期に影響を及ぼす。
- (2) 盛土立上がりから3ヶ月程度沈下計測を行えば弾塑性圧密変形でも区分線形近似を行うことにより、最終沈下量 ρ_f をほぼ正確に予測できる。
- (3) 沈下比 $\rho_0/\rho_f \sim$ 透水係数 $k \sim$ 荷重安全率 F_s 、関係を用いれば荷重安全率 F_s なる荷重をかけ、沈下を実測することにより地盤を代表する透水係数 k を評価できる。

5. 参考文献

- 1) 中野正樹・金谷嘉久・浅岡顕；弾塑性パラメータ、透水係数評価のための試験盛土の利用，第25回土質工学研究発表会，1990。
- 2) Asaoka, Akira and Misumi, Kouji (1988); Analysis and prediction of consolidation settlement of normally consolidated clay foundation under embankment loading, Soils and Foundations, Vol. 28, No. 3 pp 35-50.