

粘性土の孔内水平載荷試験に関する一考察

開発コンサルタント(株) 正会員 ○岩田 尚親
東海大学工学部 正会員 杉山 太宏・赤石 勝

1. まえがき

孔内水平載荷試験の載荷時間間隔は、砂質土、粘性土地盤によらず1分とされている¹⁾。したがって、砂質土地盤では排水条件、粘性土地盤では非排水条件あるいは部分排水条件の結果を得ていると考えられる。しかし、調査法には結果に対する排水条件の区別が明記されていない¹⁾。軟弱地盤の基礎杭には、土圧や水圧による水平力が長期間作用し思わぬ大変形を生じる場合があるので、設計時には、地盤種別、作用荷重ならびに排水条件に配慮した適切な地盤定数を決定する必要がある²⁾。

本研究では、実際に大学校内の関東ローム層で、載荷時間間隔を変化させたプレボーリング形式の孔内載荷試験(LLT)と孔内クリープ試験²⁾を行い、変形係数や降伏応力に及ぼす影響を調べた。また、LLT では載荷中の間隙水圧が測定できないので、載荷試験と同一深度で採取した関東ロームで側圧を増加させる三軸試験を行い、載荷時間間隔と排水条件ならびに変形係数について調べた結果を報告する。

2. 孔内載荷試験と模型実験

2.1 地盤概要と孔内載荷試験

東海大学校内の新館建設(敷地面積約 600m²)に伴い関東ローム層が8m掘削された。事前に行われた5本のボーリング調査からG.L.-1.5mまで表土が覆い、G.L.-16mまでローム層がほぼ水平に堆積している。G.L.-6mまでのN値は5~7、それ以深では15~20程度を示す。掘削中G.L.-4.5mからブロック状に採取した不攪乱ローム(立川ローム)による室内土質試験の結果を表-1に示した。孔内載荷試験は、建設現場から15m程離れた地点でハンドオーガー($\phi=8\text{cm}$)により、毎回G.L.-5.0mまで削孔した孔にLLTを挿入し次の試験を行った。

実験A: 荷重増分 $\Delta p=0.2\text{kgf/cm}^2$ 、載荷時間間隔 $\Delta t=1, 2, 4, 8, 16$ 分とした孔内載荷試験。**実験B:** 1分間載荷で得られた降伏応力 p_y を基準に $0.5p_y, 1.0p_y, 1.5p_y$ まで1分間載荷した後、圧力を6時間保持してクリープ量を測定する孔内クリープ試験²⁾。

2.2 軸圧一定側圧増加三軸圧縮試験³⁾

試料は、不攪乱ロームとこれを練返し再構成した関東ロームである。再構成試料は、2mmふるいを通させたのち液性限界の1.5倍の含水比で練り返して直径25cmの一次元予圧装置に詰め、29.4kPaの上載圧で10日間予圧密し作成した。実験は、実験Aの載荷方法と応力状態を想定して $\sigma_v=1\text{kgf/cm}^2$ で等方および異方圧密後、側圧 σ_r を 0.2kgf/cm^2 づつ時間間隔 $\Delta t=1, 2, 4, 8, 16$ 分の5通りで載荷し、排水条件のもと破壊までせん断した。せん断中は軸荷重を調整し軸応力 σ_v を一定に保った。供試体は直径5cm高さ10cm、周面濾紙を巻き圧密過程から 2kgf/cm^2 の背圧を与えた。不攪乱試料のB値は0.8前後であったが不飽和のまません断した。

表-1 乱さない関東ロームの室内試験結果

G_s	ω_n (%)	S_r (%)	ω_L (%)	ω_P (%)	粒度(%)		
					砂	シルト	粘土
2.797	110.9	83.1	122.2	70.4	25	41	34
q_u (kgf/cm ²)	三軸UU試験		圧密試験				
	c_u (kgf/cm ²)	ϕ_u	p_c (kgf/cm ²)	C_c			
1.91	0.52	24.2	4.65	1.53			

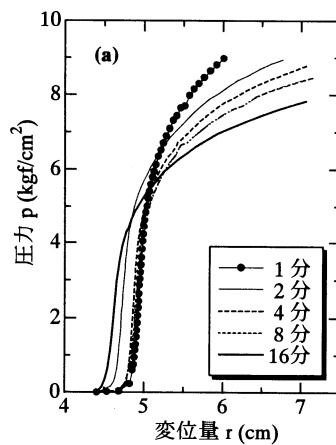


図-1 実験Aの測定結果

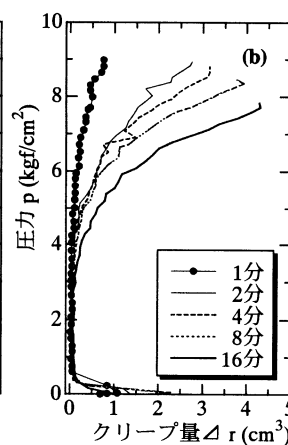
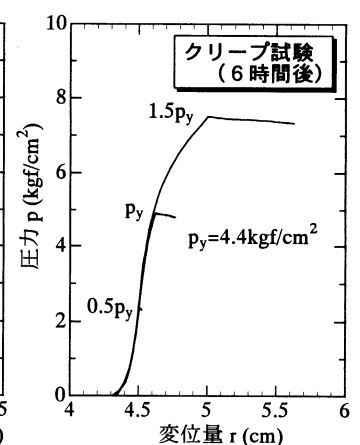


図-2 実験Bの測定結果



Key word: 孔内水平載荷試験、関東ローム、変形係数、時間効果、排水条件

連絡先: 〒259-1207 平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045

3. 実験結果および考察

図-1(a),(b)は、荷重時間間隔を変えた実験Aの圧力 p と半径変位量 r およびクリープ量 Δr の関係を示している。クリープ量は各荷重時間と30秒の変位量 Δr とした。黒丸で示した標準の1分荷重に較べて、荷重時間間隔の増加は、降伏圧力 p_y を減少させ、降伏圧力以降のクリープ量を増加させることがわかる。図-2は、一定荷重のもとクリープ量を測定した実験Bの p - r 曲線である。クリープ試験は、これまでも孔内荷重試験や実杭による測定例が報告されている^{2), 4)}。しかし、それらは同一孔、杭で段階的に試験を行ったものが多く、特に粘性土地盤では前荷重段階の影響が無視できないと考えられる。本試験では、全て新規に削孔した孔を使用したため、クリープ荷重までの曲線は一致し、また6時間のクリープ量は荷重圧力に比例して増加することが明らかである。2つの実験から得られた地盤定数をまとめて表-2に示した。実験Aの結果から、荷重時間は p_0 に影響しないようであるが、 p_y と K_m 値は4分を例外として減少し、16分荷重ではそれぞれ4/5と2/3程度まで減少する。これに伴って変形係数 E も見かけ小さくなる。実験Bの K_m 値は、3時間後と6時間後の点と p_0 点とを結んだ値である。中川らは、関東ローム層(N 値=5)で3時間クリープ後の K_m 値は、非クリープ試験よりも5~7割低下したと報告している²⁾。本実験では、圧力の増加とともに K_m 値は著しく減少して、 $1.5p_y$ では1/4となった。これは荷重方法の違いが原因と考えられる。

図-3は、再構成の異方圧密試験で行った軸圧一定側圧増加排水せん断試験の有効応力経路である。荷重時間間隔の増加に伴い有効応力経路は全応力経路に近づきながら偏差応力も増大している。段階荷重中の圧密により強度増加が生じたものと思われる。排水試験の過剰間隙水圧の経時変化を示すと図-4のようになる。1分荷重では水圧は消散せず、非排水に近いと考えられる。また荷重時間の増加とともに各荷重段階中の水圧の消散割合が増加している。以上の結果から、長期荷重試験の結果には間隙水圧の消散による圧密が大きく影響するものと考えられる。

図-5は、体積ひずみと軸ひずみから計算した横ひずみ0.5%時の割線勾配を変形係数 E_{cr} として求め、荷重時間1分の E_{cr1} で正規化した変形係数比 E_{cr}/E_{cr1} と荷重時間間隔の関係である。孔内荷重試験と同様、軸圧一定側圧増加試験の E_{cr}/E_{cr1} は荷重時間に比例して減少し、不攪乱試料では孔内荷重試験(LLT)結果とほぼ一致した。変形係数の定義に検討の余地はあるが、長期荷重試験結果の一評価法と考えられる。

4. あとがき

水平荷重を受ける粘性土地盤の長期荷重試験結果には、圧密の影響が大きい可能性を指摘した。通常1分で荷重する粘性土の孔内荷重試験は非排水条件と考えられる。また、荷重時間間隔の増加により水圧が消散して圧密が生じるので現位置の長期荷重試験結果では、圧密の影響を考慮して排水条件で行う必要がある。

表-2 実験A,B 試験結果一覧

		p_0 (kgf/cm ²)	p_y (kgf/cm ²)	測定 K_m 値	E^* (kgf/cm ²)
実験A	1分	0.60	4.44	26.9	176.2
	2分	0.63	4.37	23.6	148.6
	4分	0.56	4.12	27.9	180.4
	8分	0.62	4.06	21.1	137.4
	16分	0.65	3.72	18.7	114.9
実験B	p_y 割-ブ 無			27.6	164.7
	$0.5 \times p_y$	0.63	4.37	18.7, 18.1	111.6, 108.0
	$1.0 \times p_y$			15.2, 14.2	92.1, 86.7
	$1.5 \times p_y$			6.3, 5.8	41.9, 38.4

※ $E=(1+\nu)rmK_m$, $\nu=0.33$ とした。

実験Bの K_m, E は3時間後(前)と6時間後(後)の値

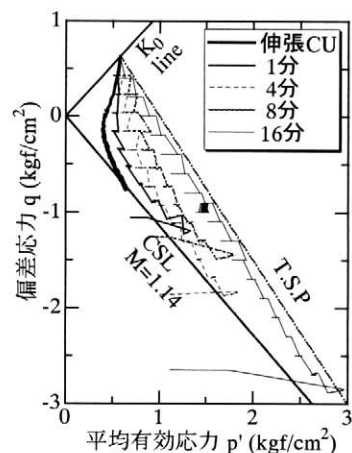


図-3 排水せん断試験の有効応力経路

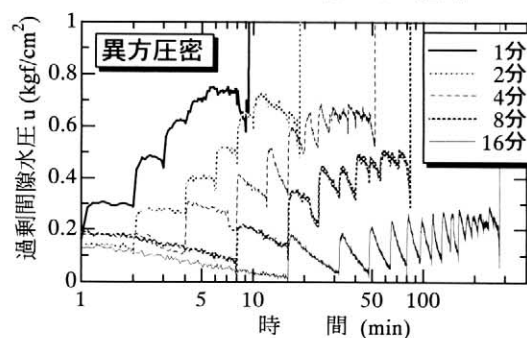


図-4 過剰間隙水圧の経時変化

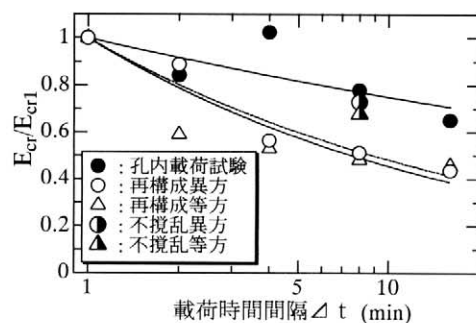


図-5 変形係数比と荷重時間間隔

—参考文献— 1) 地盤工学会(1995): 地盤調査法, 第9章. 2) 中川他(1983): ボーリング孔内クリープ試験と地盤 K 値への適用, 土と基礎, Vol.31, No.8, pp.17-23, 19-26. 3) 鶴崎他(2000): 側圧増加三軸圧縮試験による関東ロームのせん断特性, 第27回関東支部技術研究発表会, pp.259-269. 4) 矢作他(1979): クリープを考えた杭の横方向 K 値, 土と基礎, Vol.27, No.3, pp.19-26.