

III-136 加熱による圧密促進効果に関する実験的研究

(株)熊谷組 正会員 村田 均 正会員 藤木 広一

1. はじめに

近年、高温環境下における粘土の物理・化学的特性についての研究が各方面でなされており、そのなかでも軟弱粘土を高温状態で圧密すると圧密が促進し¹⁾、年代効果が発現する²⁾との報告がなされている。本研究では、軟弱な粘土地盤に施工したサンドドレーン内に熱源を埋設し、周辺地盤を加熱することにより圧密を促進する方法について、まず、温度環境を変化させた圧密試験を行い、温度が粘土の透水係数に及ぼす影響について調べた。さらに、大型圧密試験装置を用いて圧密促進効果を確認する実験を行った。今回は、これらの実験結果について報告する。

2. 粘土の透水係数に及ぼす温度効果についての基礎実験

基礎実験として、圧密容器を水槽中に設置し、温水を常時水槽に給・排水して供試体を所定の温度に保ち圧密試験を行った。供試体は、カオリン粘土を含水比120%に調整した後、約24時間脱気したものを荷重4.9kPa(0.05kgf/cm²)のもとで約24時間予圧密したものを用い、9.8～627.2kPa(0.1～6.4kgf/cm²)まで応力増分比1で段階的に载荷した。なお、各荷重段階の圧密打ち切り時間は3t法にもとづいて決定した。

図-1に、20, 40, 60, 80℃の4ケースの温度条件のもとで実施した圧密試験から得られた透水係数と間隙比との関係を示す。この図から、間隙比が大きくなるほど、また温度が高くなるほど透水係数が大きくなることがわかる。図中の直線と曲線は、各温度における透水係数と間隙比の関係を、それぞれ次式を用いて最小二乗法により近似したものである。

$$k(T, e) = k_0(T) e^3 / (1 + e) \quad (1)$$

$$k(T, e) = k_0(T) \exp((e - e_0) / \lambda_k) \quad (2)$$

$$\text{ただし、} k_0(T) = C' \gamma_w(T) / \eta(T) = C' g / \nu(T) \quad (3)$$

ここに、 $k(T, e)$ ：温度 T 、間隙比 e における透水係数、 λ_k ：定数、 e_0 ：基準となる間隙比、 C' ：土粒子の大きさによって決まる[L²]のディメンジョンをもつ定数、 $\gamma_w(T)$ ：水の単位体積重量、 $\eta(T)$ ：水の粘性係数、 $\nu(T)$ ：水の動粘性係数、 g ：重力加速度である。

(1)式はKozeny-Carmanの式と呼ばれるものであり、(2)式はTaylorの式に温度が透水係数に及ぼす影響を組み込んだものである。また、(2)式中の $k_0(T)$ は e_0 にも依存する。上式において、水の動粘性係数は温度依存性を有するが、一般に定数 C' の温度依存性は無いと考えられている。しかし、近似した結果を示す表-1から、この定数にも温度依存性があり、温度が高くなるとともに値が大きくなることが示された。この結果は東畑ら¹⁾の試験結果と一致するものである。

3. 大型圧密試験装置を用いた模型実験

次に、図-2に示すような大型圧密容器（直径49cm、高さ50cm）内に、カオリン粘土を含水比170%に調整し、荷重49kPa(0.5kgf/cm²)で予圧密して人工地盤を作製した。そして、その中央部に豊浦標準砂でサンドドレーンを模擬した砂柱を設置し、(a)ヒーターを挿入して90℃に加熱した高温状態と(b)加熱しない常温状態とで、荷重98kPa(1.0kgf/cm²)で圧密した場合の実験結果を比較した。なお、排水条件は、上下排水とした。実験中は圧密容器の外周を断熱材で取り囲み、サイリスタを用いてヒーターの温度を制御し、図-2に示すように

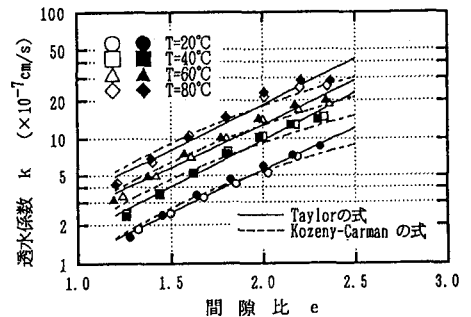


図-1 温度別の間隙比と透水係数の関係

表-1 (1), (2)式による $C' \tau / C' \tau_{-20}$ の値

	温 度			
	T=20℃	T=40℃	T=60℃	T=80℃
Kozeny-Carman の式 $C' \tau / C' \tau_{-20}$	1.0	1.12	1.12	1.23
Taylor の式 $C' \tau / C' \tau_{-20}$	1.0	1.09	1.08	1.16

(注) C' の算定範囲は、9.8～627.2kPa(0.1～6.4kgf/cm²)
Taylor式において $C' \tau / C' \tau_{-20}$ は $e_0=1.715$ の時の値

載荷板の沈下量、間隙水圧および温度（地盤内中央深さにて9ヶ所）をそれぞれ測定した。表-2に載荷開始時における供試体の初期状態を示す。

図-3は、圧密沈下量と時間の関係を示したものである。この図から、高温では圧密終了は常温よりも早くなることが読み取れ、これを便宜的に従来の $\sqrt{t}$ 法から求めた90%圧密終了時間で比較すると、高温と常温ではそれぞれ1300分と2600分であり、加熱することにより90%圧密終了時間が約半分に短縮される結果が得られた。また、加熱温度については、100℃以上の高温³⁾でなくても効果があるといえる。図-4は、高温状態で圧密を終了した供試体から、カオリン粘土を切り出して一軸圧縮試験を実施した結果である。この図から熱源に近い部分の応力～ひずみ曲線は、年代効果を受けた粘土の特徴ともいえる強度のピークが明瞭に現れ、一軸圧縮強度も熱源から離れた部分のそれよりも大きいことがわかる。

4. まとめ

今回、粘土の透水性に及ぼす温度の影響や、サンドドレン内に熱源を埋設した場合の圧密促進効果について、温度環境を変化させた圧密試験及び大型模型実験を用いて調べた結果、以下のようない知見が得られた。

- (1) 粘土を加熱すると、温度上昇に伴いその透水性は、粘性低下による増大のみでなく、温度の影響を受けた土粒子の構造変化によっても大きくなることが明らかになった。
- (2) 模型実験結果からサンドドレンと併用して周辺を加熱することは、圧密促進や強度増加に関して効果的であることが確認できた。

今後は、粘土の物理・化学的特性に及ぼす温度の影響についても検討してゆきたい。

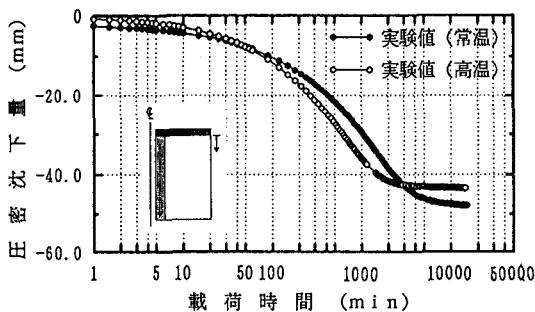


図-3 圧密沈下量と時間の関係

〔参考文献〕

- 1) Towhata, I Kuntiwattanaku, P Seko, I and Ohishi, K: Volume Change of Clays Induced by Heating as Observed in Consolidation Tests, Soils and Foundations, Vol.33, No.4, pp.170-183, 1993.
- 2) Tsuchida, T Kobayashi, M and Mizukami, J : Effect of Aging of Marine Clay and its Duplication by High Temperature Consolidation, Soils and Foundations, Vol.31, No.4, pp.133-147, 1991.
- 3) 永澤, 菱沼, 堀内, 坂: 加熱による圧密促進に関する研究, 第27回土質工学研究発表会, pp. 433-434, 1992.

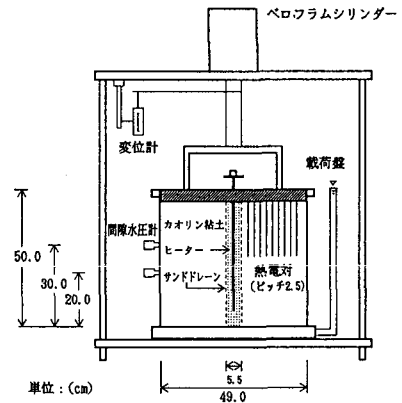


図-2 大型圧密試験装置

表-2 供試体の初期 (予圧密後) 状態

	常温圧密	高温圧密
湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	1.564	1.564
含水比 w (%)	73.4	77.3
間隙比 e	1.978	2.045

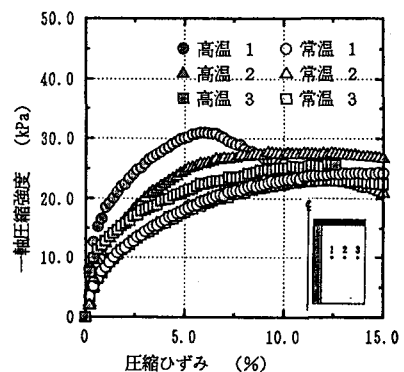


図-4 一軸圧縮試験結果