

III-A 188

大深度の洪積粘土の e-log p 関係における構造の影響

運輸省港湾技術研究所 正 ○土田 孝

1. はじめに

筆者は正規圧密領域における粘性土の圧縮特性を統一的に表現する e-log p 関係の基準曲線を提案してきた^{1),2)}。基準曲線は、土の初期含水比、液性限界等の簡単なパラメータを与えることによって計算されるが、堆積中のセメンテーションや二次圧密など年代効果による構造は考慮していない。粘性土が構造を有する場合は、堆積時の間隙比は基準曲線によって決まる値よりも大きくなり、圧密降伏圧力 p_e を越えた圧力で圧密されることによって間隙比が徐々に基準曲線に漸近する。本報告は大阪湾の海底地盤において採取された不攪乱洪積粘土（最大深度200m）の圧密試験結果を用いて、構造が e-log p 関係に及ぼす影響を考察したものである。

2. 初期間隙比を考慮した e-log p 関係の基準曲線²⁾

初期間隙比 e_0 で十分に練り返された粘土の正規圧密状態における間隙比 e と圧密圧力 p の基準曲線は次式で表される。

$$\log_e(1+e) = -C \cdot (\log_{10} p + 1) + \log_e f_{10} - h(p) \quad (1)$$

ただし、

$$h(p) = 0 \quad (p \geq R_{2.5} \sigma'_R \text{ のとき})$$

$$h(p) = 0.069 CR (R_{2.5} - 2.5)^2 \cdot \log_e R \quad (p < R_{2.5} \sigma'_R \text{ のとき})$$

$$C = 0.0027 w_L + 0.1, \quad f_{10} = 0.042 w_L + 0.55$$

$$R = \left\{ \frac{(su/p)_{REM} \cdot s_t}{(su/p)_{ISCC}} \right\}$$

$$\sigma'_R = 0.1 \left\{ (1 + e_0) / f_{10} \right\}^{-2.303/C} / R$$

$$RCR = \log(p / \sigma'_R) / \log R$$

計算に必要なパラメータは、液性限界(%) w_L 、初期間隙比 e_0 、正規圧密時の正規化強度 $(su/p)_{ISCC}$ 、練り返し時の正規化強度 $(su/p)_{REM}$ 、鋭敏比（基準曲線上での強度と練り返し時の強度の比） s_t である。ここで初期間隙比 e_0 は、練り返しの状態で堆積した粘土が圧密を開始するときの間隙比である。

筆者は、各地の海底地盤の表層における間隙比を調べた結果、海底地盤が海底に安定的に堆積し自重圧密を開始するときの間隙比は、液性限界の1.5~2.0倍であると推定している。図1は、 e_0 が液性限界の1.0倍、1.5倍、2.0倍としたときに(1)式から計算される e-log p 曲線の例である。計算には以下のような値を用いた。

$$(su/p)_{REM} = 0.87, \quad (su/p)_{ISCC} = 0.30, \quad s_t = 24$$

図のように e-log p 曲線は e_0 の値によって大きく変化するが、この傾向は実験結果とほぼ対応している。図より圧縮指数 C_c を求め液性限界 w_L (%) との関係を探ると、 e_0 ごとにほぼ次のような関係が得られた。

$$C_c = 0.007 (w_L - 10) \quad (e_0 \text{ が液性限界}) \quad (2)$$

$$C_c = 0.009 (w_L - 10) \quad (e_0 \text{ が液性限界の1.5倍}) \quad (3)$$

$$C_c = 0.011 (w_L - 10) \quad (e_0 \text{ が液性限界の2倍}) \quad (4)$$

(2), (3) 式はスケンプトンがそれぞれ乱された粘土と

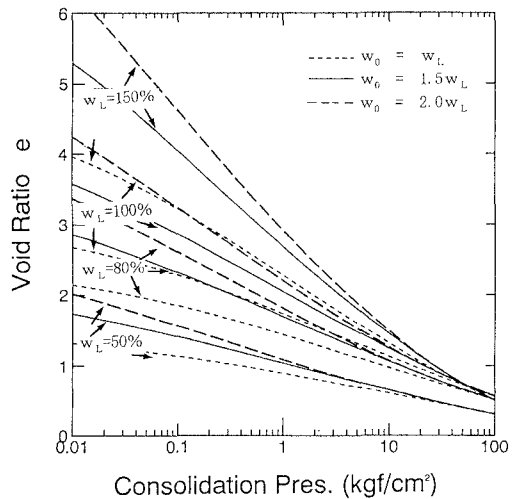


図1 異なる e_0 における e-log p 関係の基準曲線

攪乱粘土に対して提案した経験式としてよく知られている。なお、スケンプトンの論文によると、(2)式は攪乱試料を液性限界の含水比で練り返したときの圧密試験結果から得られたものである。

図1に示した関係は練り返した再圧密試料に対応するもので、自然試料は長年月を経て堆積する間に形成される構造を有する場合が多い。また、サンプリングする過程で発生する乱れも圧密試験結果に影響を及ぼす。試料が構造を有する場合、原位置の間隙比は基準曲線による値よりも大きくなり、一方乱れの影響が大きい場合、圧密試験結果における間隙比は基準曲線の値よりも小さくなる。いずれも、圧密圧力が十分に大きくなると基準曲線に収束するのである。

3. 大阪湾洪積粘土における土かぶり圧-間隙比関係

大阪湾では砂礫層を挟んで洪積粘土層が厚く堆積している。関西国際空港の建設地点で最大深度400mから採取された不攪乱試料の土質試験結果より、土かぶり圧と間隙比の関係について検討した。

図2は、原位置の間隙比 e_n を液性限界の間隙比 e_L で正規化した e_n/e_L と深度の関係である。なお、ここで用いた粘土試料の液性限界の範囲は、平均83%、標準偏差21%であった。図中には、液性限界60~100%、初期含水比を液性限界の1.5倍~2.0倍としたときの式(1)より計算される基準曲線から求められる間隙比と土かぶり圧の関係から得られた e_n/e_L を範囲で示している。

図のように原位置の e_n/e_L は基準曲線から求められる値よりも全体に大きくその差は土かぶり圧が大きくなるほど大きくなる傾向がみられる。したがって、この地域の洪積粘土地盤が年代効果による構造を有していると推定される。

4. 圧密による構造の消失過程

図2に示したように、洪積粘土では構造の影響によって間隙比が基準曲線よりも高い状態で堆積している。図3は、このような粘土の定率ひずみ圧密試験における $e-\log p$ 曲線の一例である。図のように、圧密圧力が圧密降伏圧力 p_c を越えるときに試料は大きな圧縮特性を示し、その後基準曲線($\log p$ と $\log(1+e)$ との直線関係)に戻ってくる。ここでは、圧密による構造の影響の消失過程に着目してみる。

図3の圧密試験結果において圧密圧力が十分に大きいときの $\log p$ と $\log(1+e)$ との直線関係を基準曲線と定め、各圧密圧力における間隙比 e と基準曲線における間隙比 e_{sm} との差 $\Delta = \log(1+e) - \log(1+e_{sm})$ の変化を示したのが図4である。図のように、 Δ は p_c 付近の圧密圧力で明瞭なピーク Δ_{max} を示した後急速に減少し、圧密圧力が p_c の2倍になると Δ_{max} の95%以上は消失してほぼ基準曲線に収束している。図5には、比較のため沖積粘土である錦海湾粘土(岡山)における同様の関係を示した。図のように沖積粘土の場合、圧密圧力の増加とともに比較的ゆるやかに Δ が消失している。図5より Δ と p_c で正規化した圧密圧力 p/p_c の関係を求めるとおおよそ次のようになった。

$$\begin{aligned} \text{錦海湾粘土} & \quad \Delta/\Delta_{max} = (p/p_c)^{-2} \\ \text{大阪湾洪積粘土} & \quad \Delta/\Delta_{max} = (p/p_c)^{-4} \end{aligned}$$

5. 結論

大阪湾の洪積粘土における構造の影響は沖積粘土よりも大きい。また、圧密圧力が p_c を越えることによってドラスチックな間隙比の減少が生じる。

参考文献

- 1) Tsuchida, T. & Gomyo M. (1995): Unified model of $e-\log p$ relationship~, IS-Hirosima' 95, Vol. 1, pp. 379-384
- 2) 土田孝(1994): 海底粘土地盤の $e-\log p$ 関係に関する統一的な解釈について, 第39回土質工学シンポジウム。

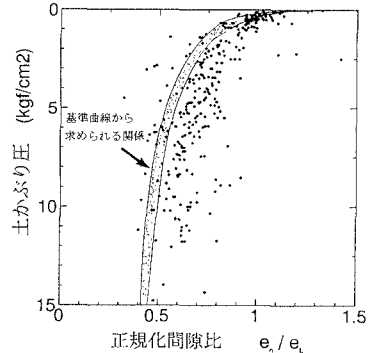


図2 土かぶり圧と正規化した間隙比 (大阪湾洪積粘土)

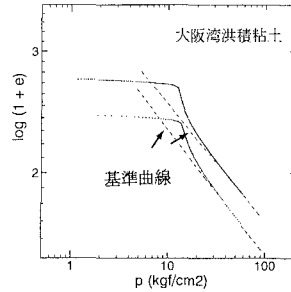


図3 定率ひずみ試験における $e-\log p$ 関係

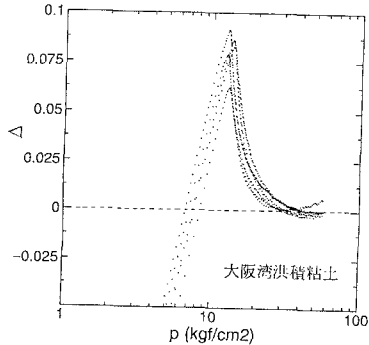


図4 Δ と圧密圧力の関係 (大阪湾洪積粘土)

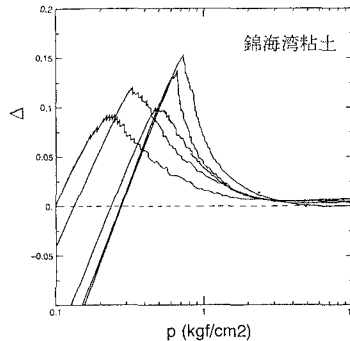


図5 Δ と圧密圧力の関係 (錦海湾粘土)