

III-209 粘性土の「固有」な $e-\log p$ 関係について

運輸省港湾技術研究所 正員 土田 孝

1. はじめに

筆者は、粘性土がセメンテーション構造や乱れの影響を受けない場合、液性限界によってほぼ決まる基準 $e-\log p$ 関係が存在するという考え方を提案している。一方、最近 Burlandも粘土の「固有」な圧縮曲線、intrinsic compression line という概念を示している。本報告は、両者の考え方を比較し、粘性土の「固有」な $e-\log p$ 関係について考察したものである。

2. 基準 $e-\log p$ 曲線と ICL (固有圧縮線)

粘性土の e と $\log p$ の関係について、筆者は次のような考え方を提案している。^{1), 2), 3), 4)}

①十分に高い含水比から一次的に圧密した粘性土には、セメンテーションによる構造が形成されない場合は、基準の $e-\log p$ 関係が存在する。この基準 $e-\log p$ 曲線においては、体積比 $f (=1+e)$ の対数と $\log p$ が直線関係を示し、たとえば次式で表される。

$$\log_e f = -C (\log_{10} p + 1) + \log_e f_{0.1} \quad (\text{ただし、} p=0.1 \text{ kgf/cm}^2 \text{ の時 } f=f_{0.1}, C \text{ は定数}) \quad (1)$$

②粘性土がセメンテーションによる構造を有する場合には、構造の存在によって原位置での間隙比 e_0 は、土被り圧 p と基準 $e-\log p$ 曲線によって求められる間隙比よりも大きくなる。このような粘性土に対して圧密降伏圧力 p_0 を越えて圧密を行うと徐々に構造の影響が消滅し、圧密圧力が p_0 の5~6倍を越えると、基準 $e-\log p$ 曲線に一致する。

③基準曲線は粘土の液性限界と鋭敏比、強度増加率によって決まるが、通常(1)式のパラメータ C 、 $f_{0.1}$ は平均的に次式で与えられる。

$$C = 0.0027w_L + 0.1 \quad (2), \quad f_{0.1} = 0.042w_L + 0.75 \quad (3)$$

Burland⁵⁾ は、多くの粘土について初期含水比を液性限界 w_L の1.0~1.5倍として繰り返した状態から圧密したときの $e-\log p$ 曲線を整理した結果、圧密圧力が100kPa、1000kPaであるときの間隙比 e_{100}^* 、 e_{1000}^* を用いて次式で正規化した間隙指数 (void index) I_v と圧密圧力の関係が粘土によらずほぼ一致することを示し、これを Intrinsic Compression Line (ICL、固有圧縮線) と呼んだ。

$$I_v = (e - e_{1000}^*) / (e_{100}^* - e_{1000}^*) = (e - e_{100}^*) / C_e^* \quad (4)$$

また、 C_e^* と e_{100}^* は液性限界における間隙比 e_L によって次のように与えられる。

$$C_e^* = 0.256 e_L - 0.04 \quad (5), \quad e_{100}^* = 0.109 + 0.679 e_L - 0.089 e_L^2 + 0.016 e_L^3 \quad (6)$$

3. 考察

2つの $e-\log p$ 関係を比較するため、まず初期間隙比 e_0 が $e-\log p$ 関係に及ぼす影響について考察してみる。図1は今井⁶⁾、矢野⁷⁾の実験に基づいて e_0 と $e-\log p$ 関係を模式的に示したものである。図のように一般に e_0 が大きいほど圧縮性が大きくなるが、圧密圧力が十分大きくなるといずれの $e-\log p$ 関係も1つの曲線に漸近する傾向がみられる。また、広範囲の圧密圧力においては e と $\log p$ の関係は直線ではなく、むしろ $\log f$ と $\log p$ が直線関係になるとされている。図1において最終的に収束する $e-\log p$ 関係が筆者の提案する基準曲線であり、 e_0 を $1.00 e_L \sim 1.50 e_L$ と規定したときの $e-\log p$ 関係がBurlandによるICLである。

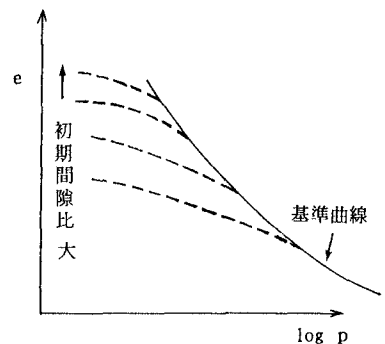


図1 e_0 が $e-\log p$ 関係におよぼす影響

図2は、試料の乱れとセメンテーション構造の影響が $e - \log p$ 関係におよぼす影響を模式的に示したものである。奥村⁸⁾の実験結果によれば、試料採取時の乱れが大きいほど正規圧密領域における圧縮性は小さくなる傾向があり、ちょうど図1の e の低下と同様に $e - \log p$ 関係が変化する。しかし、圧密圧力が十分大きくなると乱れの影響がしだいに消えて一つの $e - \log p$ 曲線に収束する傾向を示す。一方、粘土がセメンテーション構造を有する場合は p に対して e が大きい状態で安定しており、圧密圧力が圧密降伏圧力 p_c を越えて構造が破壊されるとともに一つの $e - \log p$ 曲線に収束する。このような傾向は、粘土スラリーを高温再圧密し人工的に構造を形成した粘土試料の実験において明らかにみることができる²⁾。図1と図2に示すように、式(1)の基準曲線は、初期間隙比、試料の乱れ、セメンテーション構造などによらず、圧密圧力をどんどん増加させた場合に最終的に収束するという意味で粘土に「固有」の $e - \log p$ 曲線といってもよいのではないかと筆者は考える。これに対してBurlandによる ICLでは、液性限界の1.00~1.50倍の初期間隙比で繰り返すことの意味が明瞭でなく、1つの指標としての $e - \log p$ 関係ということはできるが、「固有」の関係とは言いがたいのではないと思われる。たとえば、液性限界の2倍以上の初期間隙比から丁寧に圧密すると室内でも容易に ICL の上に位置する $e - \log p$ 関係が得られるのである。

図3は、式(1)~(3)によって平均的に与えられる基準曲線を式(4)~(6)を用いて I_v と p との関係に正規化し、Burlandの ICL と比較したものである。正規化した基準曲線は液性限界によって異なり、 w_L が小さいほど I_v は（同等の p に対して）小さく

なる傾向があり、式(1)~(3)に対するデータのばらつきも考慮して、 w_L が40%~120%に対応する範囲を示した。また、図中にはBurlandによって示された Sedimentation Compression Line (SCL、堆積圧縮線) も併せて示している。SCLは、正規圧密によって形成された自然地盤において土被り圧と間隙比の関係を求め、式(4)で正規化して求められたものであり、いわば自然地盤における $e - \log p$ 関係である。図をみると、基準曲線における I_v は圧密圧力が小さいほど ICL による値よりも大きく、ICL が基準曲線の範囲と交差するのは圧密圧力が50 kgf/cm²以上になってからである。また、SCL は基準曲線の下限付近に相当し、圧密圧力が1 kgf/cm²以上のときに基準曲線の範囲と交差する。

以上の考察をまとめると、固有圧縮線 ICL は、液性限界の1.0~1.5倍という低い初期含水比で繰り返した影響が強く残り、粘性土の「固有」な圧縮特性を示すとはいえない。これに対して、基準曲線は圧密圧力の増加とともに最終的に収束する $e - \log p$ 曲線であるという意味では「固有」な関係と考えられる。

参考文献

- 1) 土田(1990): 第45回土木学会年講, pp. 242-243.
- 2) 土田(1991): 第26回土質工学研究発表会, pp. 341-344.
- 3) 土田(1991): 第9回アジア会議, Vol. 1, pp. 87-90.
- 4) 土田(1992): 第27回土質工学研究発表会(予定).
- 5) Burland, J. B. (1990): Geotechnique, Vol. 40, No. 3, pp. 329-347.
- 6) 今井(1978): 液状粘土の一次元圧密特性に関する基礎的研究, 東京大学学位請求論文.
- 7) 矢野他(1988): 特殊圧密試験に関するシンポジウム, 土質工学会, pp. 153-160.
- 8) 奥村(1974): 粘土の攪乱とサンプリング方法の改善に関する研究, 港湾技研資料, No. 193.

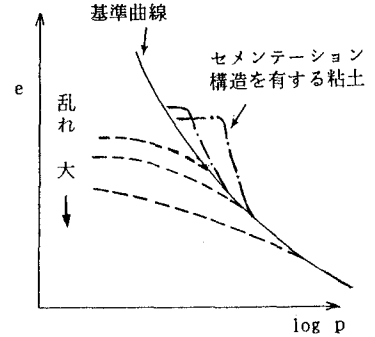


図2 試料の乱れとセメンテーション構造が $e - \log p$ 関係に及ぼす影響

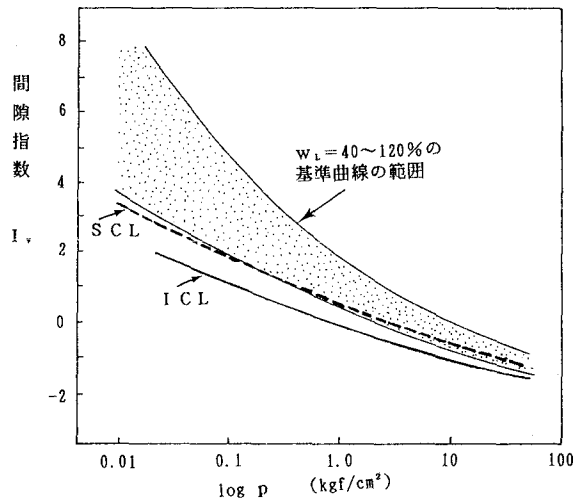


図3 基準曲線と ICL の比較