

先行圧密応力

さ の 野 いく お 雄*

1. 定義

粘土や砂では、過去に受けた応力によって圧密試験を行った際の変形挙動が大きく異なる。図-1に示すように圧縮曲線は、前に受けた最大荷重付近で曲がり、その後は除荷前の圧縮曲線の延長線にほぼ一致する。過去に受けた最大荷重までは、繰返し荷重を受けてもその変形挙動は、ほぼ同一のヒステリシスループを描き、弾性的な挙動をする。また、新たな最大荷重を受けると、もとの上載荷重にもどしても回復しない変形が生ずる。すなわち、地盤材料では、処女圧縮曲線上で荷重を受けた場合、金属材料に見られるひずみ硬化が見られ、過去に受けた最大荷重の点は降伏点に相当する。このように圧縮曲線が処女圧縮曲線へ移行する点を先行圧密応力 (preconsolidation pressure), または圧密降伏応力 (critical pressure) p_c と称する。

2. 決定法

p_c の決定法として Casagrande (キャサグランデ)^{1),2)} の提案した方法が利用されている。すなわち、図-1を参照して、圧縮曲線上の最小曲率半径を示す点Bを通る水平線と接線を引き、両直線のなす角の二等分線Bbを求める。次に、処女圧縮曲線を延長した直線Iとの交点Dを決め、その応力値を p_c とする。この方法は、圧縮曲線の曲率を問題とするため、間隙比 e の目盛を変えることによって p_c の値が変わり、同一地盤で p_c を比較するとき、少なくとも e のスケールを一定にして圧縮曲線を描き求めたほうがよい³⁾。なお、この決定法に変わる方法が土質工学会の

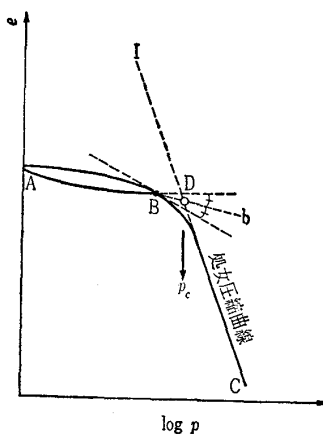


図-1 圧縮曲線による p_c の決定法

委員会²⁾により提案されている。しかし、 p_c 値は土試料のかく乱の程度⁴⁾、載荷期間⁵⁾、荷重増加率⁶⁾などによって影響を受ける。また、試料採取や圧密試験の方法にも大いに左右されるものである。このように p_c 値は、現場での降伏点を近似的に決定したものにすぎないことに注意しなければならない。

3. 意義

p_c によって地盤の受けた地史履歴が推定できる。有効上載圧力 p_0 と比較して、 $p_c < p_0$ のものを未圧密地盤、 $p_c = p_0$ のものを正規圧密地盤、 $p_c > p_0$ のものを過圧密地盤と呼ぶ。未圧密粘土は、現在でも一次圧密が終了していない埋立地盤などで見られる。また、沖積粘土層は、ほぼ正規圧密地盤となっている。過圧密地盤は、乾燥、土の浸食作用、地下水位の変動、地殻の構造変動に伴う側方圧力の増加などによって生ずる。ほかに、現在の有効上載荷重 p_0 よりも大きな荷重を受けた経験のない正規圧密粘土でありながら p_c が p_0 よりも大きくなる先行効果 (p_c -effect) を呈する地盤もある。この先行効果という現象は、地史的に圧密期間が長い正規圧密粘土に見られ擬似過圧密粘土 (quasi-overconsolidated clay), または、aging を受けた正規圧密粘土 (aged clay) と呼ばれる。地盤の特徴を p_c によって分類したものを図-2に示す。

一般に、体積圧縮係数 m_v や圧密係数 c_v は、 p_c の値を境に大きく変化するといわれており²⁾、したがって、 p_c の値を明らかにすることが今後の沈下を予測するうえで重要である。また、圧縮指数 C_c および二次圧縮係数 C_a ⁷⁾ ($= de/d \log_{10} t$) の変化にも p_c は大きく関与する(図-3参照)。

4. 注意点

実際の粘性土地盤では、土中の過剰間隙水圧がほとんど消散した一次圧密終了 ($t = t_p$) 後も沈下が続く二次圧密と

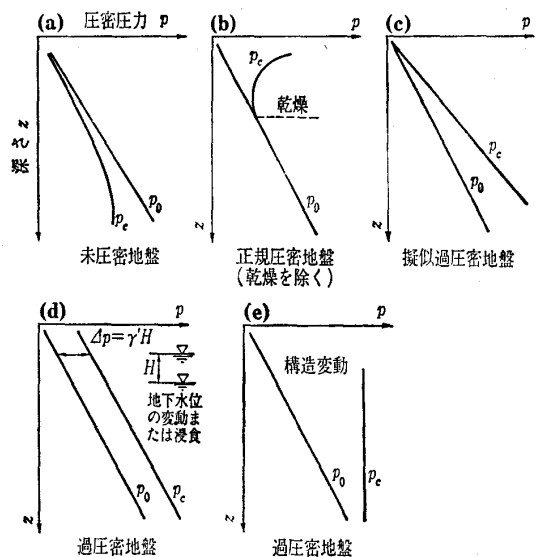


図-2 p_c による地盤の分類

*京都大学助手 工学部

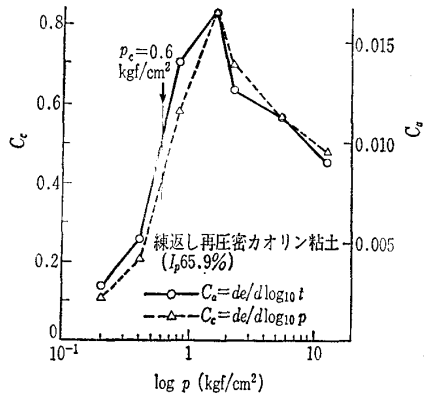


図-3 二次圧縮係数，圧縮指数と圧密圧力の関係 (佐野らの未発表データによる)

いう現象が見られる。Bjerrum⁹⁾ (ベラム) は $e-\log p$ 曲線上で時間パラメーターを導入することにより，二次圧密の進行に伴う間隙比の変化を表現できるようにした。

実際，現場での変形挙動は，図-4に示すA点の状態にある地盤，すなわち一次圧密終了後あまり時間が経っていない若い正規圧密粘土に新たな有効上載荷重 Δp をかけた場合，圧密進行に伴い $A \rightarrow D \rightarrow F$ と $t=t_p$ 線上に沿って圧縮され，その後 $F \rightarrow H$ の二次圧密による沈下が発生する。

ここで，同じ上載圧 p_0 のもとで，二次圧密を長い間受けて $A \rightarrow B$ と間隙比が減少した擬似過圧密粘土の沈下挙動を考える。新たに小さな上載圧 $\Delta p'$ をかけた場合，普通の正規圧密粘土よりも早く圧密が進行し，一次圧密終了時にはほとんど沈下が生じないでC点にいたる。また，続いて起こる二次圧密の速度 \dot{e} は $A \rightarrow B$ へ二次圧密が進行していく際の $t=mt_p$ に相当する \dot{e}_0 より小さくなる。更に荷重 $\Delta p''$ をかけた場合， p_c を超えると間隙水圧の消散がおくれ $C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow H$ という経路で圧密が進行する。ここで，降伏がD点でなくE点であるという，処女圧縮曲線 ($t=t_p$ 線) からの飛び出し現象が注目される。この飛び出し現象やC点での \dot{e} が \dot{e}_0 より小さくなる現象は Leonards (レオナルド)^{6),9)} らにより実験的に見い出され，aging を受けることにより粒子間にセメンテーションが働くことが原因とされている。具体的にこの p_c を求めるための圧密試験法を Bjerrum¹⁰⁾ が提案している。すなわち， p_0 まで2, 3段階で荷重を行い， p_c を予想し， $(p_c-p_0)/3$ で p_c を超えるまで荷重し，その後，前荷重の50~100%で荷重する。

図-4より，明らかに擬似過圧密粘土の p_c が有効上載圧 p_0 とほぼ比例関係になっていることが分かる。塑性指数 I_p が大きいほど二次圧密は増加するから，図-5⁸⁾ に示すように p_c/p_0 (過圧密比に相当するもの) は大きくなる。また，圧密時間が長いほど二次圧密は進行し，セメンテーションも強くなるため図-6¹¹⁾ に示す関係が成り立つ。このように， p_c は上載有効圧力 p_0 ，aging の期間，塑性指

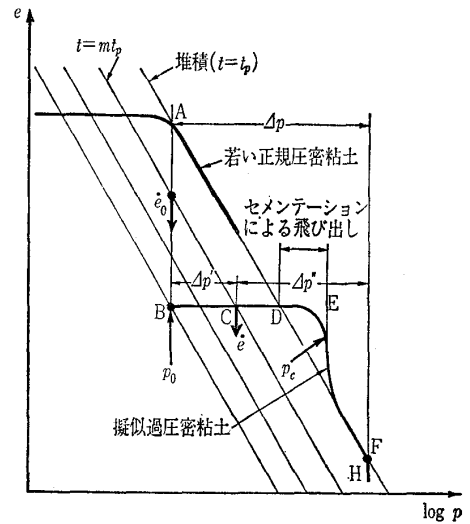


図-4 正規圧密粘土の圧縮特性

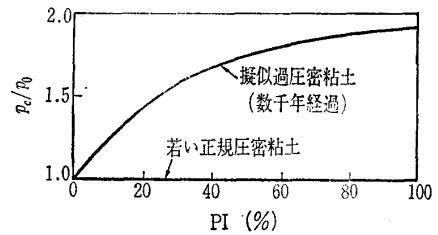


図-5 正規圧密粘土の先行効果とPIの関係 (Bjerrumによる)

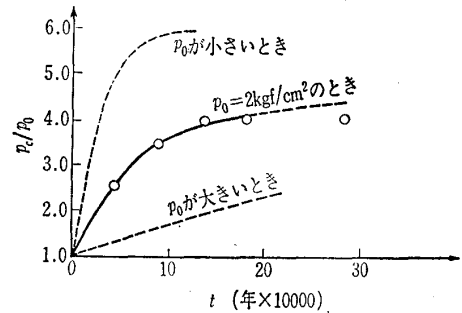


図-6 大阪の洪積粘土に生じた時間効果による先行荷重の増加 (竹中による)

数 I_p などの因子に依存して決まるものである。

参考文献

- 1) Casagrande, A.: The Determination of the Preconsolidation Load and its Practical Significance, Proc. 1st ICS MFE, p. 60, 1936.
- 2) 土質工学会編：土質試験法 (第2回改訂版), pp. 372-422, 1979.
- 3) 網干寿夫・三笠正人：土の圧縮と圧密，土質工学ハンドブック，技報堂，pp. 135-166, 1965.
- 4) Casagrande, A.: The Structure of Clay and its Importance in Foundation Engineering, Contributions to Soil Mechanics, J. BSCE, pp. 72-112, 1932.
- 5) Crawford, C.B.: Interpretation of the Consolidation Test, Proc. ASCE, Vol. 90, No. SM5, pp. 87-102, 1964.
- 6) Leonards, G.A. and Ramiah B.K.: Time Effects in the Consolidation of Clays, ASTM, STP No. 254, pp. 116-130, 1959.
- 7) たとえば Mesri, G. and Godlewski, P.M.: Time and Stress-Compressibility Interrelationship, Proc. ASCE,

- Vol. 103, No. GT5, pp. 417-430, 1977.
- 8) Bjerrum, L.: Embankments of Soft Ground, Proc. of the ASCE Speciality Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Vol. 2, pp. 1-54, 1972,
- 9) Leonards, G.A. and Altschaeffl, A.G.: Compressibility of Clay, Proc. ASCE, Vol. 90, No. SM5, pp. 133-155, 1964.
- 10) Bjerrum, L.: Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays and Structurally Unstable Soils, General Report, Proc. 8th ICSMFE, Vol. 3, pp. 111-159, 1973,
- 11) 粘土力学研究グループ：洪積粘土層の成因とその土性（その3），セミナー「粘土の力学」，土と基礎，Vol. 12, No. 8, pp. 33-43, 1964.

(原稿受理 1982.8.3)

<講演集・シンポジウムテキスト在庫一覧>

- 第10回土質工学研究発表会発表講演集(昭和50年度) B 5判 1026頁 定価 ¥5,200 会員特価 ¥4,000 千 ¥450
- 第11回土質工学研究発表会発表講演集(昭和51年度) B 5判 1136頁 定価 ¥5,800 会員特価 ¥4,500 千 ¥450
- 第16回土質工学研究発表会発表講演集(昭和56年度) B 5判 1892頁 定価 ¥9,900 会員特価 ¥7,600 千 ¥500
- 第17回土質工学研究発表会発表講演集(昭和57年度) B 5判 2716頁(2の1+2の2) (1セット)
定価 ¥14,000 会員特価 ¥10,800 千 ¥900
- 第23回土質工学シンポジウム(昭和53年度) B 5判 82頁 定価 ¥1,500 会員特価 ¥1,200 千 ¥300
テーマ：場所打ち杭と埋込み杭の評価
- 第24回土質工学シンポジウム(昭和54年度) B 5判 204頁 定価 ¥3,700 会員特価 ¥3,000 千 ¥300
テーマA：構造物と基礎のケース・ヒストリー(Case History)
テーマB：土質試験の新しい方法及び計測技術
- 第25回土質工学シンポジウム(昭和55年度) B 5判 82頁 定価 ¥1,700 会員特価 ¥1,300 千 ¥300
テーマ：アースアンカー工法
- 第26回土質工学シンポジウム(昭和56年度) B 5判 76頁 定価 ¥1,700 会員特価 ¥1,300 千 ¥300
テーマ：掘削および盛土時の地盤挙動予測と実測との対比
- 第27回土質工学シンポジウム(昭和57年度) B 5判 68頁 定価 ¥1,600 会員特価 ¥1,200 千 ¥300
テーマ：NATM工法の設計と実際
- 土のサンプリングシンポジウム(昭和47年10月) B 5判 70頁 定価 ¥ 500 会員特価 ¥ 350 千 ¥300
テーマ：硬質粘土と海底地盤のサンプリング
- 昭和56年度サンプリングシンポジウム(昭和56年11月) B 5判 70頁 定価 ¥1,700 会員特価 ¥1,300 千 ¥300
- 有機質土の試験方法シンポジウム(昭和54年11月) B 5判 104頁 定価 ¥1,950 会員特価 ¥1,550 千 ¥300
- ベーン試験に関するシンポジウム(昭和55年10月) B 5判 112頁 定価 ¥2,500 会員特価 ¥1,900 千 ¥300
- サウンディングシンポジウム(昭和55年11月) B 5判 228頁 定価 ¥3,900 会員特価 ¥3,000 千 ¥300
- 砂の相対密度と工学的性質に関するシンポジウム(昭和56年11月) B 5判 116頁 定価 ¥2,800 会員特価 ¥2,200 千 ¥300
- 土質工学における確率・統計の応用に関するシンポジウム(昭和57年5月) B 5判 156頁 定価 ¥3,400 会員特価 ¥2,600 千 ¥300
- 低振動・低騒音杭工法の施工法と支持力に関するシンポジウム B 5判 138頁 定価 ¥3,000 会員特価 ¥2,300 千 ¥300
- 海洋土質調査に関するシンポジウム(昭和57年9月) B 5判 356頁 定価 ¥5,900 会員特価 ¥4,500 千 ¥350
- 接地圧の評価と設計への適用に関するシンポジウム(昭和57年11月) B 5判 110頁 定価 ¥3,100 会員特価 ¥2,400 千 ¥300

問合せ・注文先：土質工学会販売係 電話 03-251-7661