

東京湾海底粘土の工学的性質について
Engineering Properties of TOKYO BAY Marine Clay

伊 東 周 作 (Shusaku Itoh)
志 賀 忠 (Tadasi Shiga)

本報告は、東京港内で行った土質調査結果より、調査地海底より約30m以浅に堆積しているN値=0の軟弱な沖積粘土層の工学的性質を物理、圧密、せん断・変形特性に分けて整理を行い、さらに孔内水平載荷試験より得られる非排水せん断強度を一軸圧縮試験のそれとの比較を行った。調査・試験結果より次のような結論が得られた。

(1)物理特性(自然含水比 W_n 、液性限界 WL 、塑性指数 I_p 、湿潤密度 ρ_t)の深度分布は、GL-10m付近までは徐々に増加もしくは減少する傾向を示し、GL-10m以深になるとほぼ一定の値を示している。(2) P_c と P_o の関係は、GL-20m付近までは $P_c \approx P_o$ 、GL-20m以深では $P_c \geq P_o$ の関係にある。一方、圧縮指数 C_c と液性限界 WL の関係は、 $C_c = 0.013 WL$ で示される。(3)一軸圧縮試験、孔内水平載荷試験(プレッシャーメーター試験)より求めた非排水強度 C_u の深度分布は、深度方向に増加する傾向を示し、GL-20m以深より孔内水平載荷試験の非排水強度 C_u の方が一軸圧縮試験のそれより大きな値を示された。これは、サンプリング時の応力解放による影響と考えられる。

キーワード：ボーリング／軟弱地盤／プレッシャーメーター試験／せん断強さ IDG:D5/D6

1. まえがき

わが国の臨海域は、沖積平野の末端部となっており、東京湾のように内湾で、大きな河川の流入している地域では、背後に広大な沖積平野を形成しており、軟弱地盤地帯となっている。しかもこうした沖積平野は、人口密集地帯となっており、多くの地盤工学的問題を抱えている。

近年、東京湾の臨海域でウォーターフロントに伴う大型海洋開発プロジェクトが注目されており、これはゆとりある21世紀の社会生活実施をめざしたものである。同時に大型プロジェクトは、臨海部に堆積する軟弱地盤地帯に位置することがほとんどである。したがって、臨海域の地盤特性を把握しておくことは、不可欠かつ重要であり、たいへん意義深いものと考えられる。このような観点の基に、東京港内で行った土質調査結果より、沖積粘土層の工学的性質を物理特性、圧密特性、せん断特性に分けて整理・まとめたものである。

2. 調査、土質概要

本調査地点は図-1に示すごとく東京港若州沖に位置し、水深約8mの海域である。調査地付近の地層構成は、最上位にN値=0の軟弱な沖積粘土層が約30m程度堆積する。この粘性土は、6~8千年前の縄文海進より現在までに堆積した海成の地層である。この地層は、全体に少量の貝殻片及び雲母片を混入し、均質な粘性土であった。その下位に砂質土(N値15~20)、粘性土(N値7~20)の互層をなす沖積層が約GL-60m付近まで堆積し、さらにその下位にN値50以上の砂礫層が7~9m程度堆積している。

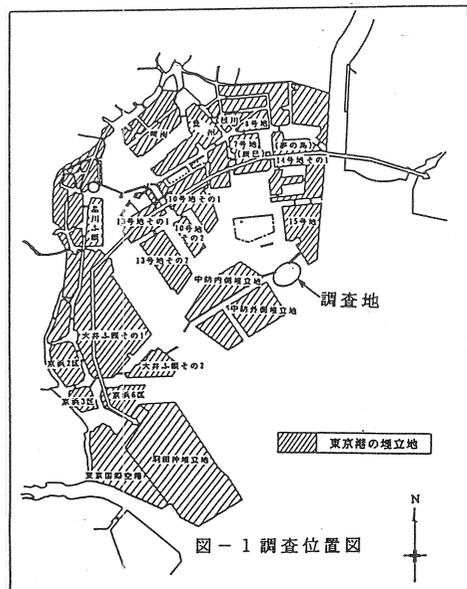


図-1 調査位置図

基礎地盤コンサルタンツ(株)東京支社

ここの、調査内容は、不攪乱試料による一軸圧縮試験、圧密試験、物理試験（土粒子の密度、含水比、湿潤密度、粒度、液性・塑性）及び原位置試験としてボーリング孔を利用した孔内水平載荷試験である。不攪乱試料採取は、土質及びN値に応じて固定ピストン式シンワールサンプラー、トリプルチューブサンプラーを使用した。土質試験は、日本工業規格(JIS)及び土質工学会(JSF)に準じて行った。本報告は、上記に示した調査内容より得られた調査・試験結果から、最上部に堆積する軟弱粘性土に限定して、工学的性質について述べることにする。そこでまず、物理試験結果より物理特性について述べ、次に圧密試験結果より圧密特性について述べる。さらに、一軸圧縮試験結果、孔内水平載荷試験（プレッシャーメーター試験）より得られた非排水強度Cuの比較を行った。

3. 物理特性

図-2は、代表的なボーリング孔より得られた土質試験結果として、N値、自然含水比Wn、液性限界WL、塑性限界Wp、塑性指数Ip、湿潤密度ρt、圧縮指数Cc、圧密降伏応力Pc、有効土被り圧Po、一軸圧縮強度quの深度分布図を示したものである。ここで、自然含水比Wnの深度分布は、GL-10m付近までWn=80~110%の範囲で除々に高くなり、それ以深はほぼ一定の値(110%程度)を示している。同様な傾向は、液性限界WL、塑性指数Ipにもみられた。このような物理特性は、他のボーリング孔においてもみられており、調査地域における物理特性は、同一の傾向にあるといえる。また自然含水比Wnと液性限界WLは、深度によらずほぼ同じ値を示しており、図-3に示した全試験結果の液性限界WLと自然含水比Wnの関係をみると、ばらつきがみられるが、WL=Wn線を中心に分布している。このことより、自然含水比Wnと液性限界WLは、深度によらずほぼWL=Wnの関係にあり、乱せば液状を呈するようなかなか軟弱な地盤であるといえる。

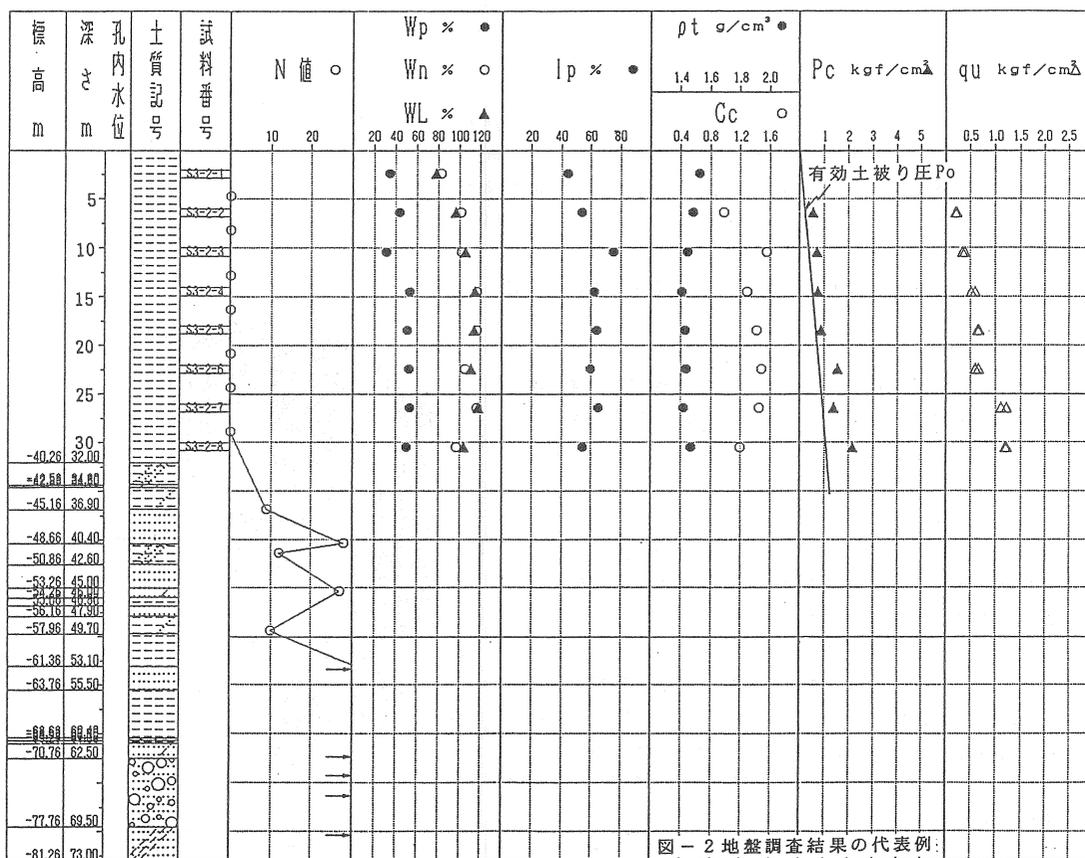


図-2 地盤調査結果の代表例

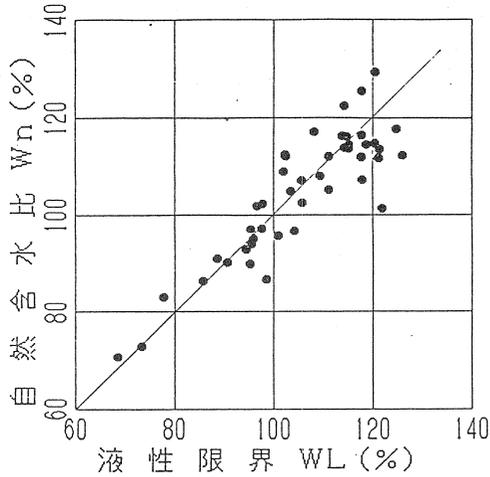


図-3 自然含水比 W_n と液性限界 WL の関係

4. 圧密特性

圧密試験結果として、代表的な $e - \log P$ 曲線を図-4に示した。図-2に示した圧密降伏応力 P_c と有効土被り圧 P_o の関係を見ると、 $GL-20m$ 付近までは $P_c = P_o$ の関係にある正規圧密粘土、 $GL-20m$ 以深では $P_c > P_o$ の関係にあり、やや過圧密な粘土である。また圧縮指数 C_c は $GL-10m$ 付近まで徐々に大きくなり、それ以深では、ほぼ一定の値 (1.40 程度) を示しており、自然含水比 W_n や液性限界 WL と同様な傾向を示している。図-5は、全試験結果の圧縮指数 C_c と液性限界 WL の関係を示したものである。この図より、両者の関係はよい対応関係を示すことがわかる。また同図に Skempton による推定式 $C_c = 0.009(WL - 10)$ を示しているが、圧縮指数 C_c は、Skempton による推定式よりやや上に分布している。この理由として、物理特性と同様に圧縮指数 C_c は、深度方向に対して分布傾向が異なることを踏まえると、一概に評価できないと思われる。一般に、Skempton の推定式は、鋭敏性の低い粘土に適用できるものであり、 $WL > 100\%$ 、 $W > WL$ である粘土には適用できないといわれており、本報告で示した粘性土は、それに該当すると考えられる。以上のことより、圧縮指数 C_c は、液性限界 WL とよい対応関係を示すが、Skempton の推定式とは一致せず、 $C_c = 0.013WL$ で示されるであろう。

5. セン断特性

図-6は、一軸圧縮強度 q_u より求めた非排水強度 C_u 、孔内水平載荷試験より求めた非排水強度 C_u の深度分布図を示したものである。孔内水平載荷試験による非排水強度 C_u は、弾塑性理論式と Palmer¹⁾ による応力-ひずみ曲線からの二つの方法で求めた。ここで孔内水平載荷試験による非排水強度の算出方法について説明する。まず、弾塑性

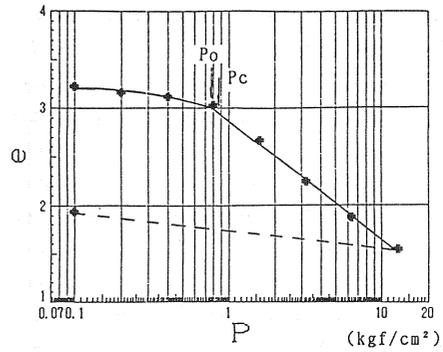


図-4 代表的な $e - \log P$ 曲線

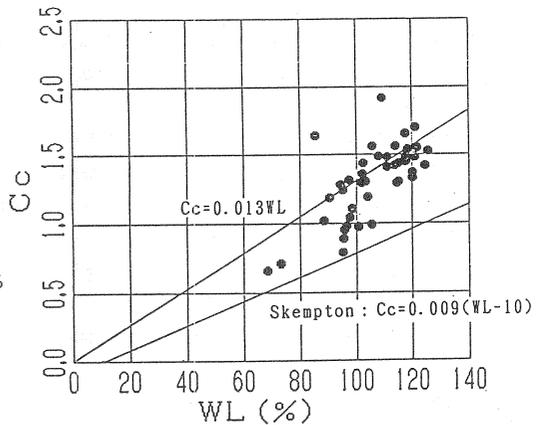


図-5 圧縮指数 C_c と液性限界 WL の関係

理論式による非排水強度 C_u の算出方法は、土を完全弾塑性体とみなして孔壁まわりの空洞膨張の解より求める方法であり、 $C_u = (P_1 - P_0) / (1 + \ln(E/3C_u))$ で示される。ここで C_u は非排水強度、 P_1 は限界圧力、 P_0 は初期圧力、 E は非排水条件下の変形係数であり、これらの値はすべて、孔内水平載荷試験結果より得られる。次にPalmerによる応力-ひずみ曲線とは、飽和土で非排水、平面ひずみ条件という仮定のもとでのボーリング孔の膨張によって生じる孔壁まわりの土の応力-ひずみ関係を求めたものである。Palmerによる応力-ひずみ曲線は、 $\tau = dp/d(\ln \Delta V/V)$ で示され、 p は加圧力、 V は測定管中体積、 ΔV は測定管中体積変化である。非排水強度 C_u は、上式より求まる応力-ひずみ曲線のピーク値となる。図に示した非排水強度 C_u は、共に深度方向に増加し、GL-20m付近より増加の傾向が大きくなっている。また非排水強度 C_u の各値を比較すると、孔内水平載荷試験の非排水強度 C_u の方がやや大きな値を示しており、その傾向はGL-20m以深になると顕著になっている。特にGL-30m付近における孔内水平載荷試験の応力-ひずみ曲線より求めた非排水強度 C_u の値は、他よりかなり大きな値を示している。孔内水平載荷試験の非排水強度 C_u の値が一軸圧縮試験のそれより大きな値を示す理由として、サンプリング時の応力解放による試料の乱れと強度低下、さらに孔内水平載荷試験が原地盤で行っているのに対し、一軸圧縮試験は無拘束圧で行うためだと考えられる。

5. まとめ

本報告結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 本調査地点最上部に堆積している粘土層の自然含水比 W_n 、液性限界 W_L 、塑性指数 I_p 、湿潤密度 ρ_t にみられる物理特性の深度分布は、GL-10m付近までは徐々に増加もしくは減少する傾向を示し、GL-10m以深になるとほぼ一定の値を示している。一方、自然含水比 W_n と液性限界 W_L の関係は、深度によらずほぼ同じ値を示しており、地盤はかなり軟弱であるといえる。
- (2) P_c と P_o の関係は、GL-20m付近までは $P_c \approx P_o$ 、GL-20m以深では $P_c > P_o$ の関係にある粘土である。また圧縮指数 C_c 、自然含水比 W_n や液性限界 W_L と同様な深度分布を示している。圧縮指数 C_c と液性限界 W_L はよい対応関係を示し、Skemptonによる推定式とは一致せず、やや高い値を示す結果となっており、別の関係式で示されるであろう。
- (3) 一軸圧縮試験、孔内水平載荷試験より求めた非排水強度 C_u の深度分布は、深度方向に増加し、GL-20m付近より増加の傾向が大きくなっている。また、GL-20m以深になると、孔内水平載荷試験の非排水強度 C_u の方が一軸圧縮試験のそれより大きな値を示しており、サンプリング時の応力解放による影響によるものと考えられる。

(参考文献)

1) Palmer, A.C.: Undrained plane-strain expansion of a cylindrical cavity in a clay; a simple interpretation of the pressure meter test, Geotec., Vol.22 No.3, pp.451-457, 1972.

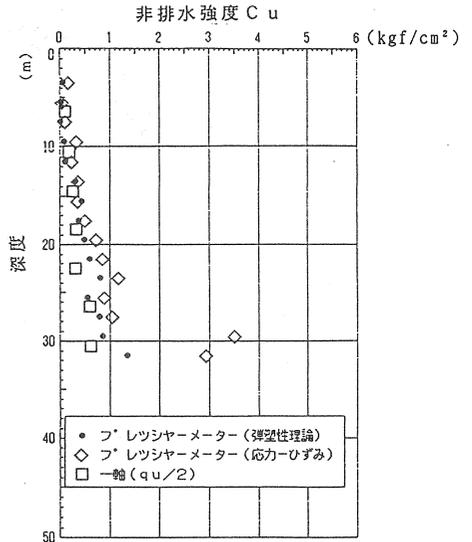


図-6 非排水強度 C_u の深度分布図