

試料の乱れが試験結果に及ぼす影響

比留間 誠 之

1. まえがき

我が国においては、1951年にアメリカから固定ピストン式シンウォールサンプラーが導入されたのを契機として、粘性土の乱さないサンプリングが本格的に始まった。導入以前は、炭層サンプラーなどのダブルコアチューブ方式によってサンプリングされていたことから、この固定ピストン式シンウォールサンプラーの導入によってサンプルの品質が飛躍的に向上した。また導入当初はアメリカの規格や方法をそのまま採用していたが、我が国の土質とアメリカの土質は必ずしも一致しないことが予想されたため、導入後約10年ほど経過したころから、我が国の土質に適合したサンプリングチューブの形状やサンプリング方法に関する研究が始められ、徐々に改良されて現在の規格や方法に至っている。

このような歴史的経過を経て普及した固定ピストン式シンウォールサンプリング技術は、今や極めて一般的なルーチンな技術として定着している。しかし、サンプリング方法や試料の取り扱いが試験

結果に大きな影響を与えることは周知のことであるにもかかわらず、乱れの影響があらわれていると思われるような試験結果を目にすることが多くなった。それはサンプリングの重要性に対する認識が導入当初に比べやや薄れかけていること、およびサンプリング技術の基本的機構を十分理解していない若い現場担当者が増加によるためとも思われる。

以上のような観点から、本報文は、乱れの原因と乱れの影響および評価について、いくつかの事例を取りあげ、試料の乱れが試験結果に対してどのように影響を与えているかについて述べるものである。

2. 乱れの原因

採取された試料が乱れる原因はいくつか考えられる。例を示すと、

- (1) 地盤が工事などにより乱されていた場合
- (2) 削孔および、サンプリング時の応力解放により乱れが生ずる場合
- (3) 削孔および、サンプリングによる機械的な乱れが生ずる場合

(4) 運搬および、試験中の取り扱い不備により乱れが生ずる場合などである。

(1)は、たとえば有明粘土のような非常に鋭敏な粘土の場合、盛土などの土工事により工事地域の比較的広範囲な周辺地域にまで乱れが生じている場合があり、こうした地盤においては、サンプリング技術が優れていても試料に乱れを生ずることがある。

(2)の応力解放による乱れは避けられないものの1つであるが、試験結果に与える影響は比較的小さい。応力解放による乱れの要因は、地中から試料を取り出すことによって拘束圧が除去されるために生ずるものであるが、機械的な乱れを伴わない完全なサンプリングが行なわれた場合、変形は微小で、土の強度等に与える影響は小さいと言われている。しかし、土質によってはこれに伴う膨張の著しいものがあり、極めて鋭敏な粘土では機械的な乱れに匹敵するほどの強度低下を示す場合があると言われていることから、安易に見過ごすことはできない。

(3)、(4)は、主に人為的な乱れによるものであるが、試料の乱れの大部分はこれによるものであり、土の強度等に与える影響も大きく、9割以上の強度低下につながる場合も少なくない。人為的乱れは多種多様であり、試料の乱れの原因も次

に示すように多岐にわたっている。

- ①ボーリング削孔時の下向きの圧縮力による乱れ
- ②送水による洗掘と異常圧力による乱れ
- ③サンプリングチューブの地盤への押込みによって生ずるせん断力による乱れ
- ④サンプラー引抜き時の負圧によって生ずる引張力による乱れ
- ⑤サンプラー回収時、運搬時および保管中における振動や衝撃などによる乱れ
- ⑥サンプリングチューブからの押出しによる圧縮力とせん断力による乱れ
- ⑦供試体作成時のトリミングによる圧縮力とせん断力による乱れ

など、いくつもの要因があり、これら一連の作業過程においてどの部分でも乱れを生ずる可能性がある。

一般に力学試験結果のばらつきは、サンプリング技術の未熟さによるもの、試験技術の差によるもの、土質の違いによるものなどが相互に加わってあらわれるものであるとされている。これらのばらつきは土質の違いによるものを除去した場合、サンプリング技術の未熟さによるものが大きなウェイトを示すことは、多くの技術者により指摘されているが、運搬時の振動や衝撃なども見過ごしてはならない重要なポイントである。

3. 乱れの影響とその評価

図一1は、港湾技研資料 No.546「土質

調査結果に及ぼす人為的要因の影響」¹⁾より引用したものであるが、これは同一の地点において軟弱地盤を改良するために行なった土質調査結果から、一軸圧縮試験結果の違いを示したものである。

図には当初調査した結果の平均値を破線で示し、その後再調査した結果とをプロットしてその最小二乗法で求めた平均値を実線で示してある。

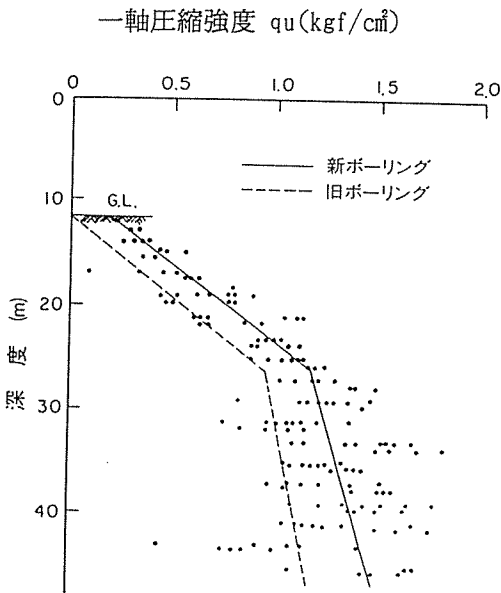


図-1 新旧ボーリング結果の比較

この新旧2つの結果を用いて、ある港湾構造物を設計し工費を比較したところ、再調査の結果を用いて設計した方が、当初の結果を用いた場合に比べて約30%安価な工費で建設できる結果となったと報告されている。¹⁾このように、試験結果の品質は工費等に非常に重要な影響をも

たらすが、その多くはサンプリング技術の未熟さによるものであることは前述したとおりである。

現在のところ試験結果の品質を定量的に評価する方法は見出されていない。それは土質諸定数自体がばらつきをもち、かつ土質によりそれらが異なるためである。

地盤の原位置における強度特性を正確に把握するためには、当然のことながら「乱さない試料」について試験を行なわなければならない。しかしながら、地盤から強制的に試料を採取してくる以上、多少の乱れは避けることができない。いずれにしろ、サンプリング時の乱れをいかに小さくするか、また採取された試料をいかに振動・衝撃を加えないで運搬するか、そしてこれらによる乱れの影響をいかに評価するかが問題である。

以下に、力学試験結果に対してどのような形態で、どの程度の影響を与えるかについて、その基本的な考え方を述べる。

3. 1 一軸圧縮試験結果の評価

一軸圧縮試験は非常に簡便な試験であり、試料を直接観察しながら試験を行なうことができることから、最も一般的に普及している試験であるが、同時に試料の乱れの影響を強く受ける特徴も有している。

一般に、一軸圧縮試験から求められる

破壊ひずみ ϵ_f と変形係数 E_{50} は、試料の乱れを評価する有効な指標の1つであるとされている。この関係を図-2に模式的に示したが、試料が乱されることにより ϵ_f は大きくなり、 E_{50} も減少することは明らかである。

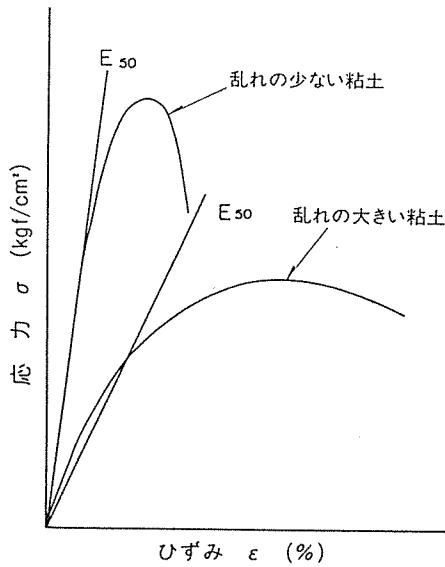


図-2 乱れによる応力～ひずみ曲線

図-3、図-4は、仙台港周辺地域における既存資料を基にして、物理試験結果から同一地盤であると判断される2地点の一軸圧縮試験結果の深度方向への変化を示したものである。図には乱れが少ないと思われるボーリングAの結果を実線で示し、乱れの影響が大きいと思われるボーリングBの結果を破線で示してある。

図のように、一軸圧縮強さ q_u は深度

方向に増加しているが、その増加の割合には差があり、BよりもAの方が大きい。また、これに伴い破壊ひずみ ϵ_f は、BよりもAの方が小さい。

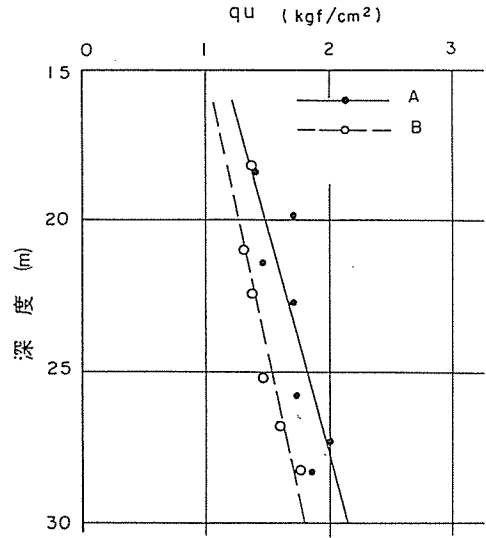


図-3 q_u の深度方向分布

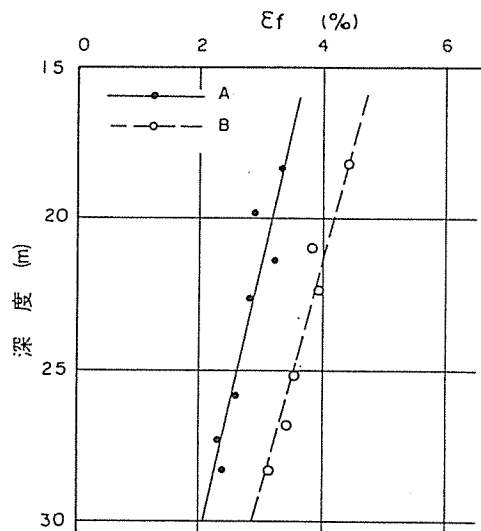
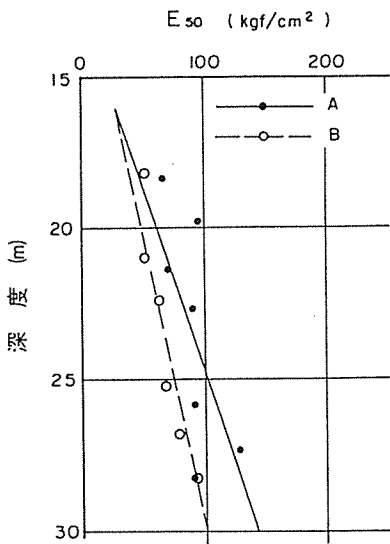


図-4 ϵ_f の深度方向分布

図一5は、変形係数 E_{50} の深度方向への変化を示したものである。 E_{50} は、 q_u と同様にBよりもAの方が大きい、その差は q_u よりも明瞭に表れている。このことから、試料の乱れの影響は、 ε_f の増加を伴い q_u の低下率よりも E_{50} の減少の方が顕著に表れるものと考えられる。



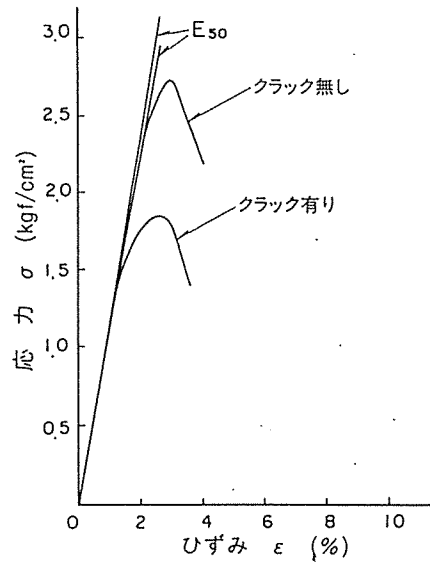
図一5 E_{50} の深度方向分布

一方、乱れの種類によっては上述した関係は成り立たなくなる。

図一6は、硬質粘土における応力～ひずみ曲線の概念図を示したものである。

図を見ると、 q_u は低下しているものの ε_f の増加は認められず、 E_{50} の減少も認められない。こうした傾向を示す場合、図一5に示したような関係にはならず、ほぼ同程度の傾向を示す。これは、

試験前に既にクラックが存在していたためと考えられる。したがって、このような場合には E_{50} の変化から乱れの影響を評価することができない。なお、試料中にクラックが生じる原因としては、サンプラー押込み時の周面摩擦、ロッドの座屈等の機械的な乱れであると推定される。



図一6 クラックの有無による
応力～ひずみ曲線

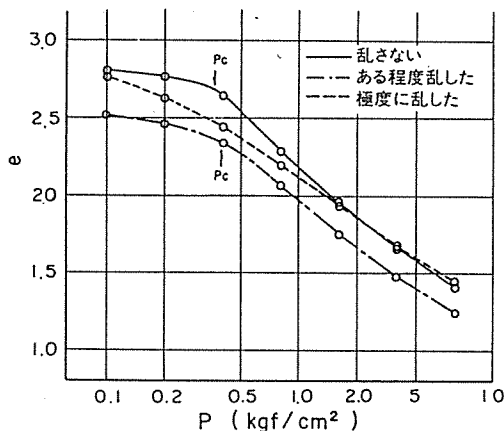
以上述べたように、乱れの種類には大別すると2通りのタイプがある。前者のような乱れは一般的にあらわれる可能性のあるタイプであり、このような乱れの影響を受けた q_u に対する補正の方法はいくつか提案されているが実用化には至っていない。

一方、後者のような乱れの影響を受けた q_u に対する補正の方法は未だ提案されていないが、土田ら²⁾によれば、三軸

圧縮試験（非圧密非排水条件）を行なうことによりクラックの影響による強度低下は解消できるとされている。

3. 2 圧密試験結果の評価

粘土地盤の力学特性を把握するためには、その地盤の応力履歴を知らなければならない。圧密試験から求められる圧密降伏応力 p_c と土被り圧との関係から、その地盤の応力履歴を知ることができる。その他圧密試験からは、圧密に要する時間を支配する係数である圧密係数 c_v 、圧密による沈下量を支配する係数である体積圧縮係数 m_v などの諸定数が求められるが、試料の乱れの程度によりこれらの諸定数に大きな影響を及ぼす。この関係を相馬市周辺の海成粘土を用いた実験結果を基にして図—8～図—10に示した。

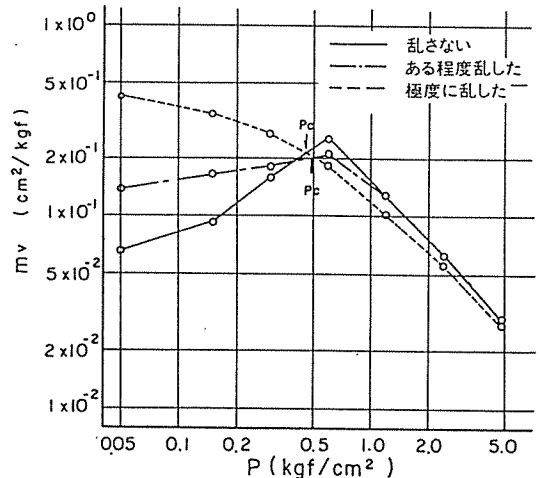


図—8 乱れが $e \sim \log P$ 曲線に与える影響

図—8は、乱れが $e \sim \log P$ 曲線に与

える影響の程度を示したものである。乱れの程度が大きくなるにしたがって P_c 付近の折れ曲がり不明瞭となり、極度に乱した状態では $e \sim \log P$ 曲線上ではほぼ直線を示し、 P_c の判定は極めて困難となる。

一般に P_c は乱されると過小に評価されるといわれている。土田ら¹⁾によれば P_c を過小評価するのは乱れの程度の大きい試料に対してであって、乱れの程度が比較的小さい場合には逆に過大評価となる可能性があるとされているが、本事例については明瞭な差は見られていない。



図—9 乱れが $\log P \sim \log m_v$ 曲線に与える影響

図—9は、乱れが $\log P \sim m_v$ 曲線に与える影響の程度を示したものである。これによると、乱さない試料の $\log P \sim \log m_v$ 曲線は、 P_c 付近を頂点として上に凸の三角形の形状が不明瞭となってくる。

すなわち過圧密領域では、乱れの影響が大きくなるにしたがい m_v は大きくなると言える。

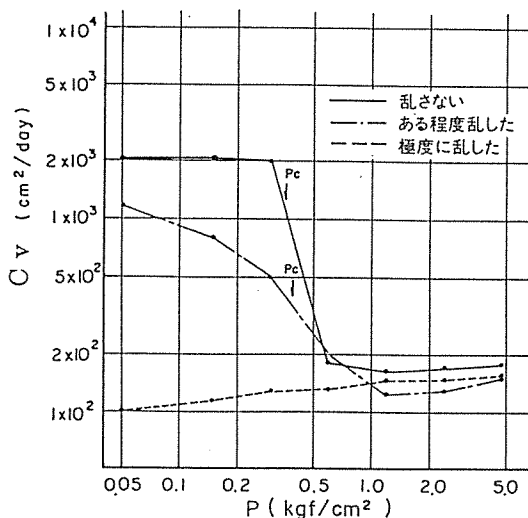


図-10 乱れが $\log P \sim \log c_v$ 曲線に与える影響

図-10は、乱れが $\log P \sim \log c_v$ 曲線に与える影響の程度を示したものである。これによると、圧密圧力 P が P_c より大きいところ、つまり正規圧密領域においては、乱れの程度にあまり左右されずほぼ同様の値を示しているが、 P_c より小さな過圧密領域においては、乱れの影響が大きくなるにしたがい c_v が小さくなる傾向を示している。とくに、極度に乱した場合には P の増加にともない c_v が直線的に増加する傾向を示している。

4. あとがき

本報文では、サンプリング時の乱れが試験結果、とくに力学試験結果に対してどのような形態で、どの程度の影響を与

えるかについての基本的な考えを述べたが、これは、サンプリング技術が既に完成された技術ではなく、今後とも研究、開発、研鑽を必要とする発展過程にある技術として認識することの必要性について述べてみたつもりである。一般に鋭敏比の高い粘土および粘性土は、振動や外力によって乱されると強度は著しく低下することから、解析・設計等に大きな影響を及ぼす。

試料の乱れの有無を定性的に評価することは可能であるが、試料の乱れを定量的に評価する方法は今のところ見出されていない。したがって、ボーリング孔からサンプリングされた試料が乱れていた場合、このデータから地盤中の乱さない状態での強度や圧密変形特性を類推することは非常に困難である。

地盤の将来にわたる挙動を的確に予測しようとするニーズに対応するために、室内試験の改良、コンピュータを用いた解析技術の開発が積極的に進められている一方で、これに用いるためのサンプリング技術については、あまりにもルーチンワーク的となり、サンプリングの重要性が忘れ去られているように思える。また、試料の運搬についても宅配便の普及により便利にはなったものの、梱包方法等、本当に有効な方法で行なっているのだろうか。

試料を地盤から強制的に採取する以上、多少の乱れは避けることができないが、人為的な乱れをさらに少なくすることは可能である。そこで我々はサンプリングの重要性について再認識するとともに、試料の取り扱いについても十分留意することが大切である。

〈参考文献〉

- 1) 土田 孝、小林正樹、菊地喜昭(1986)
「土質調査結果に及ぼす人為的要因の影響」 港湾技研資料No.546
- 2) 土田 孝、小林正樹、山川 匠、平良 聡 (1988)
「一軸圧縮強度のばらつきとその要因について」 港湾技術研究所報告 第27巻第1号
- 3) Kunio Suyama, Satoru Oya (1962)
「SIGNIFICANCE OF BORING IN SAMPLING」 SOIL AND FOUNDATION, Vol. 2, No. 2

応用地質学

