

管理部長

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

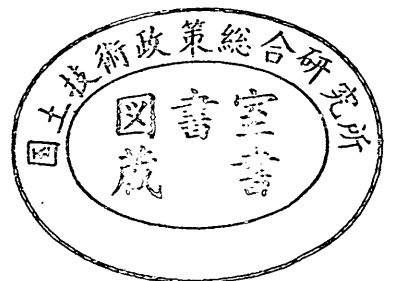
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 9

NO. 4

DEC. 1970

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第9巻 第4号 (Vol. 9, No. 4), 1970年12月 (Dec. 1970)

目 次 (CONTENTS)

1. 防波護岸の越波流量に関する研究合田良実..... 3
(Estimation of the Rate of Irregular Wave Overtopping of Seawalls
..... Yoshimi GODA)
2. 沖積粘土のボーリングおよびサンプリングに関する研究 (第5報)
..... 松本一明・堀江宏保・奥村樹郎..... 43
(Studies on Boring and Sampling of Saturated Alluvial Clays (5th Report)
.....Kazuaki MATSUMOTO, Hiroyasu HORIE and Tatsuro OKUMURA)

2. 沖積粘土のボーリングおよびサンプリング に関する研究 (第 5 報)

松 本 一 明*・堀 江 宏 保*・奥 村 樹 郎**

要 旨

今回の野外実験はサンプリングチューブの刃先形状 (刃先角度, および内径比) と肉厚の相違が土の強さに及ぼす影響について調べた。チューブ肉厚については以前錦海湾での実験があるので今回は土質の相違による影響の有無と再確認という目的で行なった。

それらの実験結果を要約すると次のようである。

- 1) 刃先角度については $3^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の範囲で 4 段階に変化させて行なったが, かなりシャープな 3° が最も乱れが少なく良好な試料がえられた。
- 2) 内径比は 0, 2% 両者の比較のみであるが, この結果からは内径比のないフラットなチューブを用いる方がよいことがわかった。
- 3) 肉厚は 1.3~3 mm の範囲について 4 種類行なったが, これらの間には明瞭な差異は認められなかった。しかし, 前回, 今回を通していえることは肉厚 1.5~2.0 mm の範囲で土質に応じて適宜使い分けることが好ましいように思われる。

* 土質部 土質試験課

** 土質部 地盤改良研究室長

2. Studies on Boring and Sampling of Saturated Alluvial Clays (5th Report)

Kazuaki MATSUMOTO*
Hiroyasu HORIE*
Tatsuro OKUMURA**

Synopsis

As a part of field test series, the effect of differences was investigated in the tip shape of the sampling tube (edge angle and inside clearance ratio) on the unconfined compression strength. The influence of the thickness of sampling tubes was also investigated, although it has already been tested in Kinkai Bay, in order to confirm the conclusion in different soil profiles.

Test results are summarized as follows:

- 1) Four kinds of edge angles in the range of 3° to 90° were tested, and the best samples with the least disturbance were obtained with the edge angle of 3°.
- 2) Inside clearance ratios of 0 and 2% were tested, and the better results were obtained with flat tube of no inside clearance.
- 3) The thickness of sample tubes was tested in the range of 1.3 to 3 mm, and no significant difference between them was observed. However, considering also the previous results, tube thickness of 1.5 to 2.0 mm may be recommended for practice, depending on the soil properties.

* Member of the Soil Test and Investigation Section, Soils Division

** Chief of the Soil Stabilization Laboratory, Soils Division

目 次

要 旨	43
1. ま え が き	47
2. 実 験 概 要	47
2.1 実験場および土質について	47
2.2 実験項目について	49
2.3 調査方法について	49
2.4 実験結果の良否を判定する方法と試験条件	50
3. 実 験 結 果	51
3.1 土質試験結果	51
3.2 サンプルングチューブの刃先形状および肉厚が土の強さに及ぼす影響について	53
(1) 刃先角度について	53
(2) 内径比について	57
(3) 肉厚について	58
3.3 q_u 値のバラツキについて	60
3.4 サンプルング時の測定について	62
4. ま と め	63
5. あ と が き	63
6. 謝 辞	63

1. ま え が き

粘性土を原位置の状態のまま、できるだけ乱さないで採取するには現在、固定ピストン方式によるシンウォールサンプリングが最適である。しかし、この方法による場合でも、周知のごとくウォッシングによって削孔し、有形のチューブを差込んで採取する以上、程度は別として必ず乱れを生ずる。このほかにも拘束圧を除去されたことによる膨張も乱れの一つとして考えられるが、この膨張はもし、サンプリング時に生じないような方法が講じられたとしても試験時にチューブから出すことによっても生ずるので現状では防ぐすべがない。しかし、この膨張以外は、ボーリング、およびサンプリングのやり方、あるいはサンプリングチューブの形状などを規制することによって乱れをある程度小さくすることは可能である。

そこで筆者らは過去4年間、主として錦海湾の同一土質地盤においてサンプリングに関する一連の実験を行ない報告してきた¹⁾⁴⁾。その結果は一応均一な地盤によるものであるが、あくまでも自然地盤であるから貝ガラやの混入状態の相違、あるいはそのほかの混入物の違いによる影響などもあって完全な結論を得たものは少ないが、一応の方向づけができたので、今回は実験場を土質の異なる東京港大井地区、および衣浦港に移して実施した。

今回の実験内容は、大井地区では土質がシルト質でもろく、しかも比較的かたいので影響の現われやすい刃先形状、すなわち刃先角度と内径比について実施した。

一方、衣浦港では以前(昭和42年度)に錦海湾で実施したことのあるチューブ肉厚の影響について土質条件を変えて再度調べることにした。また、そのほかに固定ピストン方式で重要なピストンの固定について、ピストンにかかる張力とその張力による三脚ヤグラのたわみ量を調べたので併せて報告する。

2. 実験概要

2.1 実験場および土質について

(1) 東京港大井

実験場の位置、およびボーリング配置を図-1に、土性を図-2に示す。

この実験場は大井埠頭コンテナパース建設予定地の一部で、予定地全域の土質調査をより精密に実施するために設けた試験孔で行なったものである。

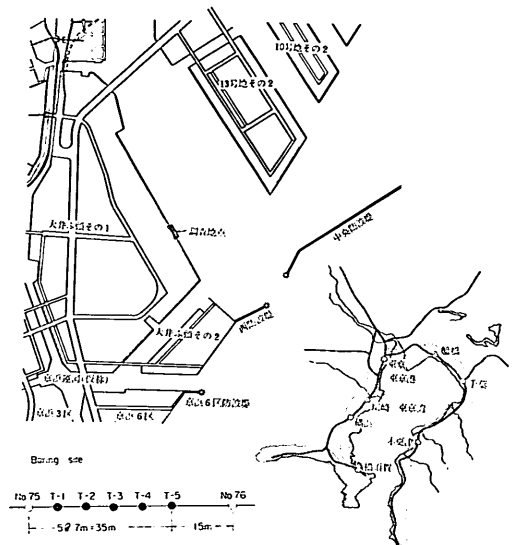


図-1 実験場の位置とボーリング配置図(大井)

この地域の土質は図-2からもわかるように、従来から継続している錦海湾の軟弱な土質($q_u \approx 0.1 \sim 0.7 \text{ kg/cm}^2$)とはかなり異なり、沖積海成粘土としては比較的かたい土質($q_u \approx 0.8 \sim 2.5 \text{ kg/cm}^2$)の部類に入る。

自然含水比(w)は、 -20m で80%と最も大きく、それより上(-12m まで)では50%、それより下、すなわち -27m で65%と弓なりの分布を示しており -27m 以下は65%とほぼ一定の値になっている。

以上、含水比(w)からもかなりかたい土質であることがわかる。

一方、粒度による分類では大井の土質は、錦海湾の土質にくらべて全般的にシルト分が約10%多く、バサバサとしたもろい感じの土質である。したがって刃先形状の相違による影響の現われやすい適当な地盤といえる。

この調査地点は水深 -0.5m であるが上層部約 12m は貝殻がきわめて多く、また粘土パイプ(生痕化石)が無数に走っているため試料の一断面から直径 35mm 、高さ 80mm の供試体を一個切り出すことすら困難な状態である。さらに表層部には埠頭の背後地となる埋立地から流出した土が堆積しているので実験地盤としては好ましくない。したがって今回は $-12\text{m} \sim -40\text{m}$ を実験の対象土質として選んだ。

なお、この種の比較実験では孔別の土質の均等性が重要な意味を持つので各孔の含水比(w)、および単位体積重量(γ_t)を比較した。その結果を図-3に示す。

松本一明・堀江宏保・奥村樹郎

土質試験結果一覧図

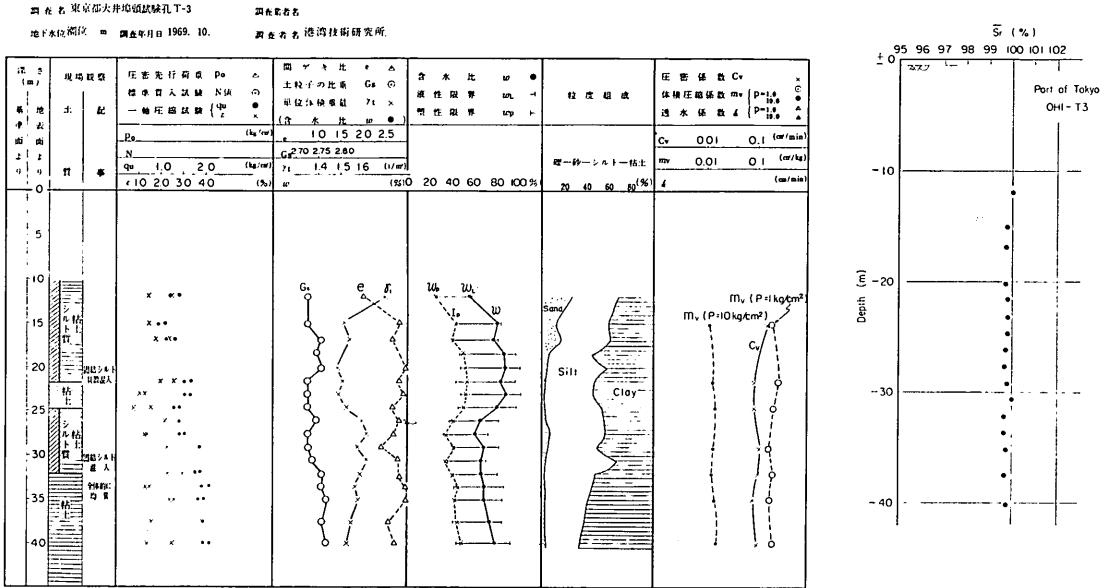


図-2 土性図 (大井)

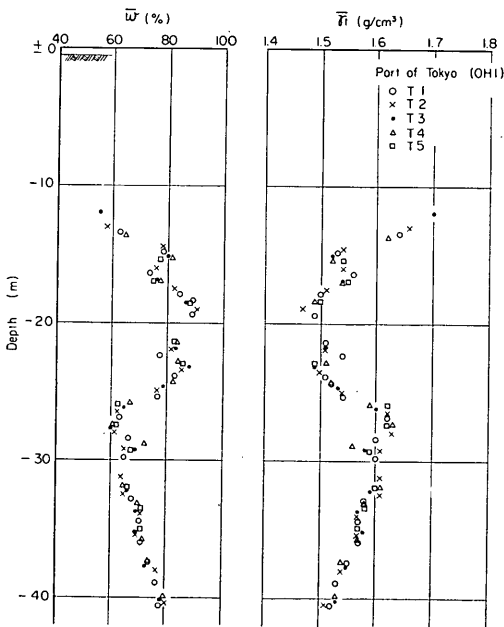


図-3 実験地盤の均一性 (大井)

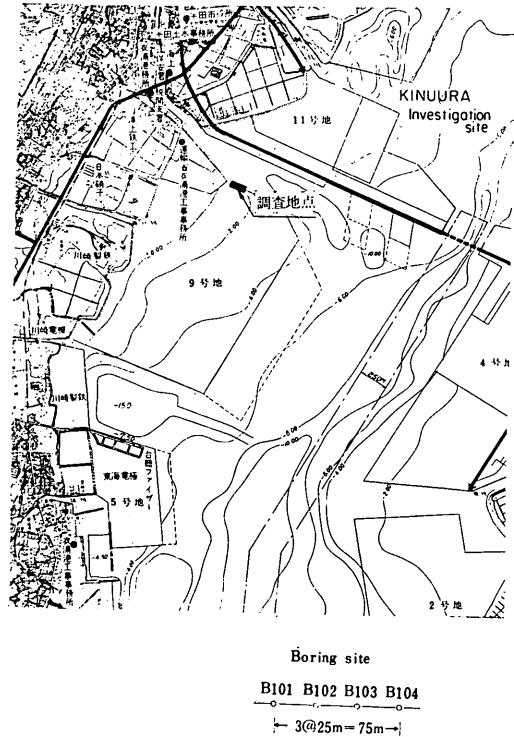


図-4 実験場の位置とボーリング配置図 (衣浦)

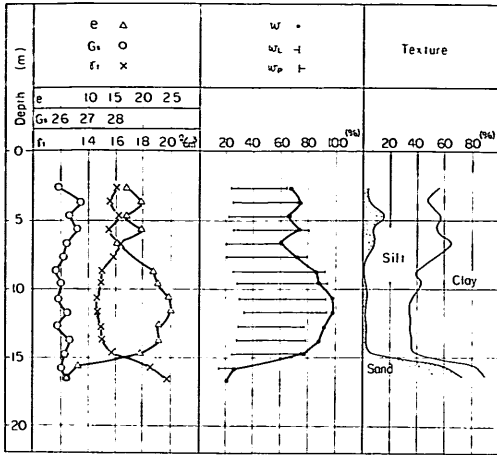


図-5 土性図 (衣浦)

図-3 によれば、各孔共ほとんど差異はなく均一な地盤であることが確認された。

(2) 衣浦港

実験場の位置、およびボーリングの配置を 図-4 に、土性を 図-5 に示す。

衣浦での実験場は、知多湾の両岸にほとんどびっしり配置された埋立地の一部である 9号地の前面を利用させてもらった。

この実験場の土質は 図-5 に示すように自然含水比 (w) は錦海湾のそれより約 20~25% 小さいが、一軸圧縮強さ (qu) は、ほとんど同じく $qu=0.1\sim 0.8\text{ kg/cm}^2$ の範囲にある。

一方、粒度による分類について深さ方向の分布をみると、-10m までは砂およびシルトの混入割合が大井の状態に近く、-10m 以下では錦海湾の土質にきわめて類似している。しかし、衣浦は -15m でサンプリングが困難になるほどの砂層になるので、サンプリングは、その影響のない -14m までとした。

なお、地盤の均一性については 図-6 に示すように、含水比 (w)、および単位体積重量 (γ_t) にバラツキを生じており、均一な地盤とはいいがたい。しかしこの実験結果の一部はそのまま設計用として用いられるようボーリング配置を考慮してボーリング間隔を 25m にとったことによるもので、地層は十分連続性をもっているので止むを得ないバラツキと考えている。

2.2 実験項目について

大井、および衣浦における各試験孔の実験項目を一覧表として 表-1 に示す。

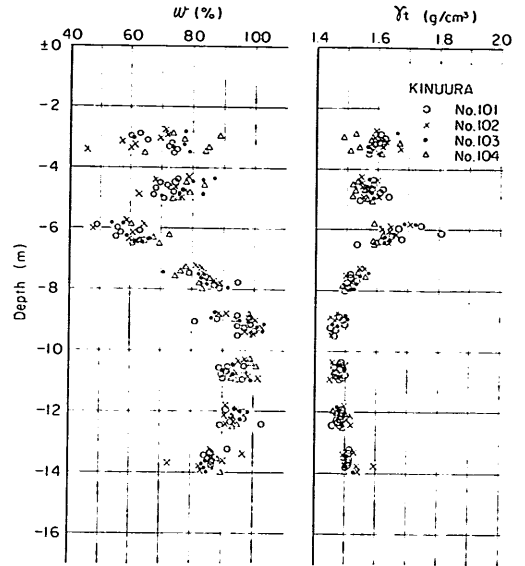


図-6 実験地盤の均一性 (衣浦)

2.3 調査方法について

サンプリングに関する比較実験は今更述べるまでもないが、ボーリング、およびサンプリング時の諸条件を統一することが実験結果を検討する上に欠くことのできない必須条件の一つである。例えば、サンプリングチューブの形状に関する比較実験では、ボーリング方法、フォアマン、ピストンの固定方法(ヤグラの剛性なども含む)、押込方法、押込速さ、引抜き方法、および速さ、あるいは土との縁切りのためのサンプラーの回転の可否などの統一が必要である。

そこで筆者らは、つぎのような機具を用いると共に、ボーリング、およびサンプリング方法を統一して実施している。

(1) 東京港大井

- ① ボーリングマシン：オイルフィールド (ストローク 80 cm)
- ② 送水ポンプ：流量 50~60 l/min, 圧力 25 kg/cm²
- ③ サンプラー：固定ピストンシンウォールサンブラ
- ④ フォアマン：同一人による
- ⑤ ボーリング方法：ドリルパイプ方式によるロータリー
- ⑥ サンプリング方法
 - a) ピストンの固定方法：チェーンとターンバックルによる
 - b) 押込方法：長ストロークマシンによる連続的の押

表-1 調査項目一覧表

ボーリング孔別，サンプリング条件（東京港大井）

ボーリング 番号	ボーリング 方法	サンプリング 方法	押込速度 (cm/sec)	サンプリングチューブの諸元					
				肉厚 t (mm)	直径 ϕ (mm)	長さ (mm)	刃先角度 α ($^{\circ}$)	内径比 C_i (%)	材 質
T-1	ドリルパイプ 工法	非回転引抜き	約 6	1.5	75	1000	5	0	ステンレス ・スチール
2	"	"	"	"	"	"	90	0	"
3	"	"	"	"	"	"	20	0	"
4	"	"	"	"	"	"	3	0	"
5	"	"	"	"	"	"	5	2	"

(衣浦港)

ボーリング 番号	ボーリング 方法	サンプリング 方法	押込速度 (cm/sec)	サンプリングチューブの諸元					
				肉厚 t (mm)	直径 ϕ (mm)	長さ (mm)	刃先角度 α ($^{\circ}$)	内径比 C_i (%)	材 質
B-101	ドリルパイプ 工法	非回転引抜き	約 2	1.3	75	1000	約 5	0	真 鍮
102	"	"	"	1.5	"	"	"	0	"
103	"	"	"	2.0	"	"	"	0	"
104	"	"	"	3.0	"	"	"	0	"

込み

c) 押込速度：等速度 ($V_{max}=6$ cm/sec)

d) 引抜き方法：非回転引抜き

(2) 衣 浦 港

① ボーリングマシン：ハンドフィード（ストローク 30 cm）

② 送水ポンプ：流量 50~60 l/min, 圧力 25 kg/cm²

③ サンプラー：固定ピストンシンウォールサンブラ

④ フォーマン：同一人による

⑤ ボーリング方法：ドリルパイプ方式によるロータリー

⑥ サンプリング方法

a) ピストンの固定方法：チェーンとターンバックルによる

b) 押込方法：チェーンブロックによる連続押込み

c) 押込速度：2 cm/sec

d) 引抜き方法：非回転引抜き

2.4 調査結果の良否を判定する方法と試験条件

サンプリングの良否を判定する方法としては種々あろうが、乱れの影響は最終的に強度の減少とヒズミの増大

という形で現われてくるので、一軸圧縮強さ (q_u) とそれに対応する圧縮ヒズミ (ϵ) から乱れの度合を判定するのも一つの方法と思われる。そこでサンプリングチューブ内の全試料について一軸圧縮試験を行ない、その結果から一軸圧縮強さ (q_u) と、 q_u に対応する圧縮ヒズミ (ϵ)、あるいは変形係数 (E_{50}) を求め、それらの深度分布について最少自乗法による平均値と標準偏差を計算した。さらにはサンプリングチューブ内における相対的強さを求め、それぞれのケースについて比較する。

また、試験する試料は採取後、遠距離を運搬したり、保存の不備による変質などサンプリング過程以外の乱れが入り込まないように採取後、現地において直ちに試験することとし、翌日への持越しは避けた。

試験に供する試料はサンプリングチューブの全長から 6~7 個の供試体を切り出し、供試体の作製にあたっては貝殻、およびクラックなどの理由で止むを得ぬ場合を除いて、できるだけ試料断面の中心部を用いた。

この判定に必要な試験の種類と方法、ならびに試験機の性能は次のとおりである。

(1) 東京港大井

① 一軸圧縮試験

- a) 試験方式：ヒズミ制御
- b) ヒズミ速度：3%/min (モータードライブ)
- c) プルービングリング：20 kg または 50 kg (差動トランス付)
- d) X-Yレコーダーによる自動記録

② 単位体積重量試験

一軸圧縮試験用の供試体による測定で、主としてケロン法³⁾で求めた。(一軸圧縮試験用の全供試体)

③ 含水比試験

一軸圧縮試験用の供試体を直接炉乾燥して求めた。(全供試体)

(2) 衣浦港

① 一軸圧縮試験

- a) 試験方式：ヒズミ制御
- b) ヒズミ速度：3%/min (手動)
- c) プルービングリング：30 kg (ダイヤルゲージ付)

② 単位体積重量試験

一軸圧縮試験用の供試体による測定で、形状測定はノギス法³⁾による。(全供試体)

③ 含水比試験

一軸圧縮試験用の供試体を直接炉乾燥して求めた。(全供試体)

3. 実験結果

3.1 土質試験結果

ここでは各孔別の試験結果図すなわち各深度毎における全試料の実測値をプロットし、それらを最少自乗法に

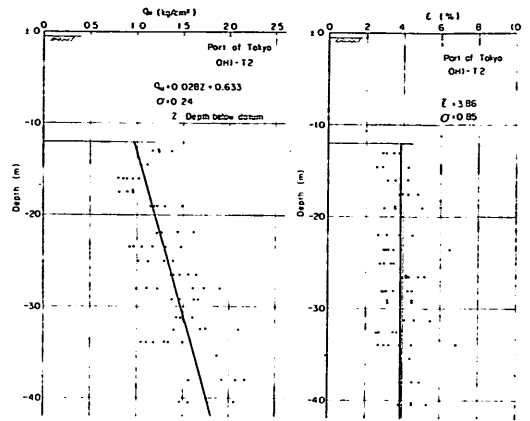


図-8 一軸圧縮試験結果図 (大井 T-2)

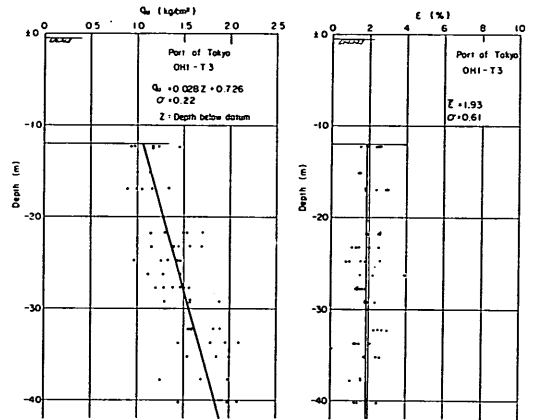


図-9 一軸圧縮試験結果図 (大井 T-3)

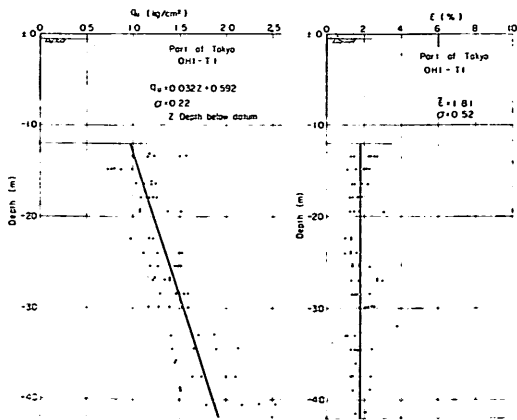


図-7 一軸圧縮試験結果図 (大井 T-1)

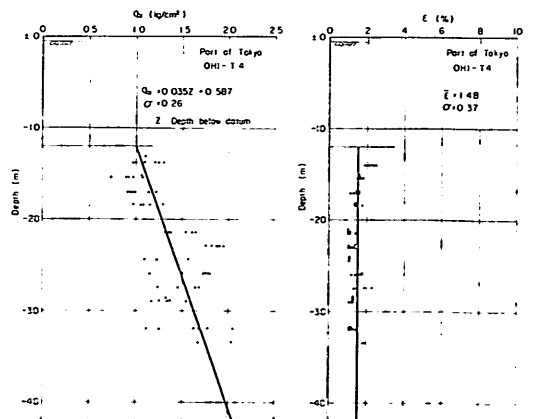


図-10 一軸圧縮試験結果図 (大井 T-4)

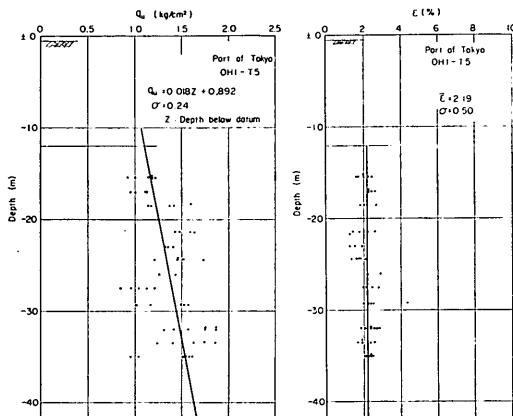


図-11 一軸圧縮試験結果図 (大井 T-5)

よって平均した直線を示しているが、後述する比較図においては、この平均直線のみを示す。

(1) 東京港大井

各孔別の一軸圧縮強さ (q_u) と、この q_u に対応する軸ヒズミ (e) を併示して 図-7~11 に示し、変形係数 (E_{50}) を 図-12~16 に示す。

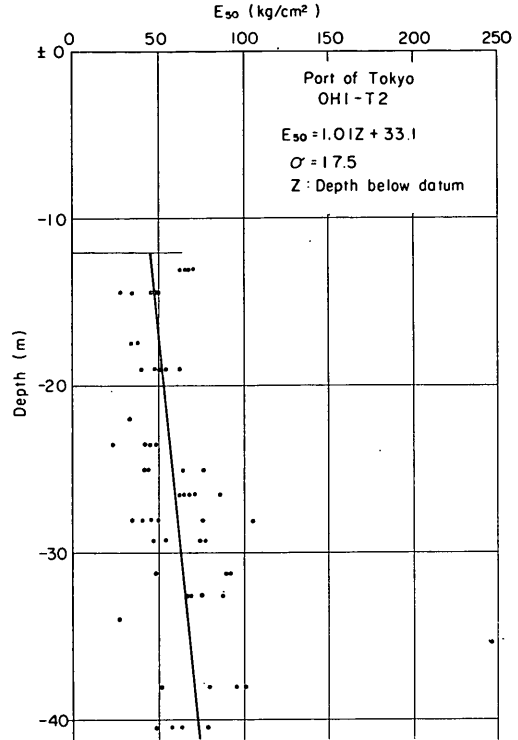


図-13 変形係数の深度分布 (大井 T-2)

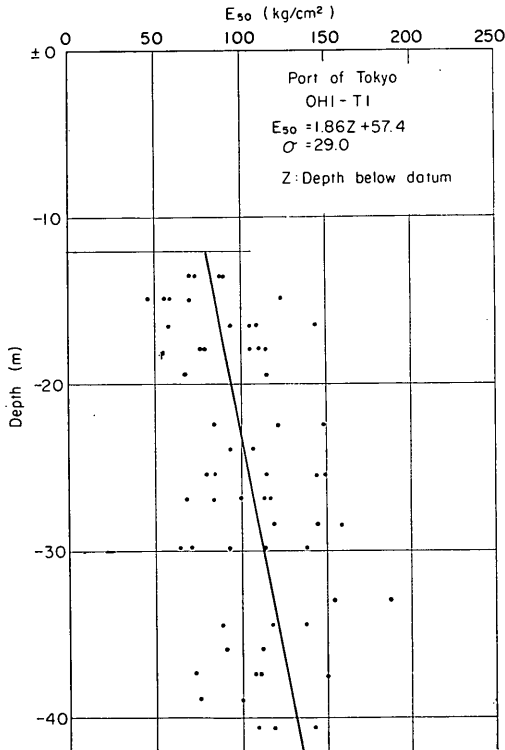


図-12 変形係数の深度分布 (大井 T-1)

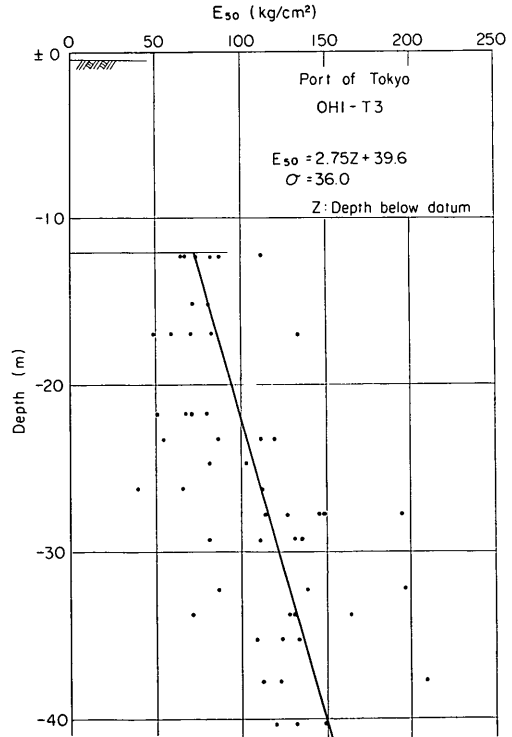


図-14 変形係数の深度分布 (大井 T-3)

沖積粘土のボーリングおよびサンプリングに関する研究 (第5報)

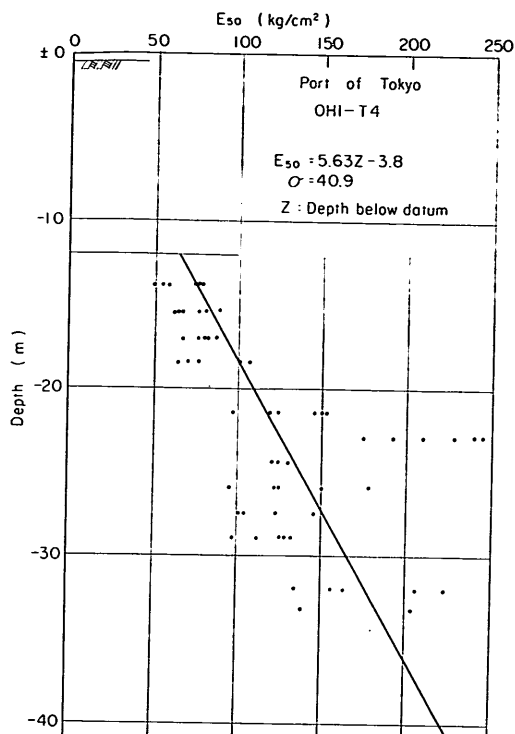


図-15 変形係数の深度分布 (大井 T-4)

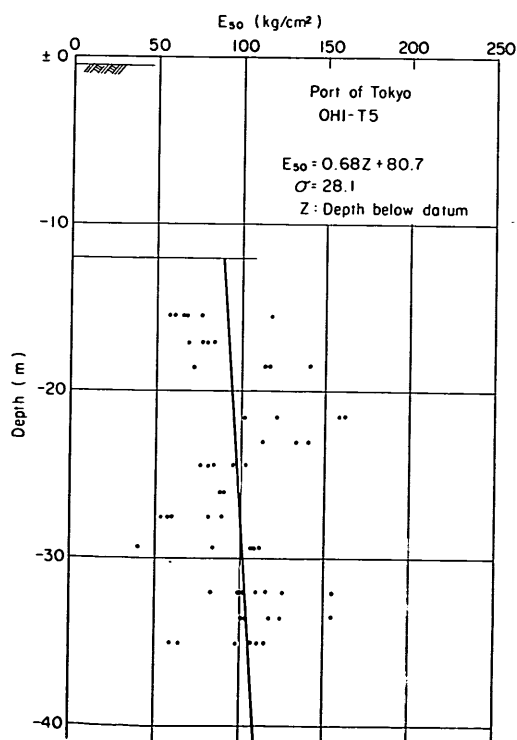


図-16 変形係数の深度分布 (大井 T-5)

(2) 衣浦港

各孔別の一軸圧縮強さ (q_u) と、この q_u に対応する軸ヒズミ (ϵ) をあわせて 図-17~20 に示す。

3.2 サンプリングチューブの刃先形状および肉厚が土の強さに及ぼす影響について

(1) 刃先角度について

サンプリングチューブの刃先角度については、スウェーデンのカルステニアスの研究⁶⁾がよく知られている。

この結果からは刃先角度 (α) は 5° 以内がよいとされており、先にアメリカのボシュレフ⁷⁾が提唱した断面積比の制約 (10~15% 以内) の必要がないことを示してい

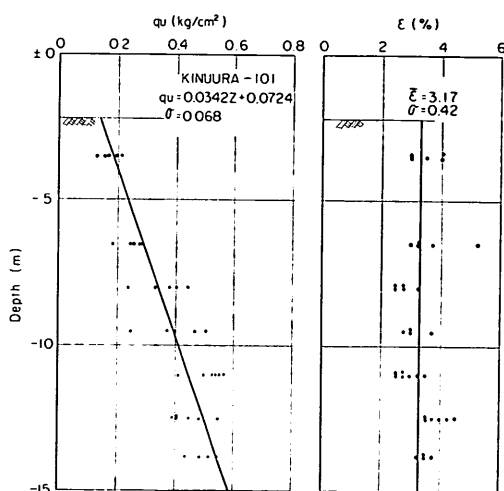


図-17 一軸圧縮試験結果図 (衣浦 B-101)

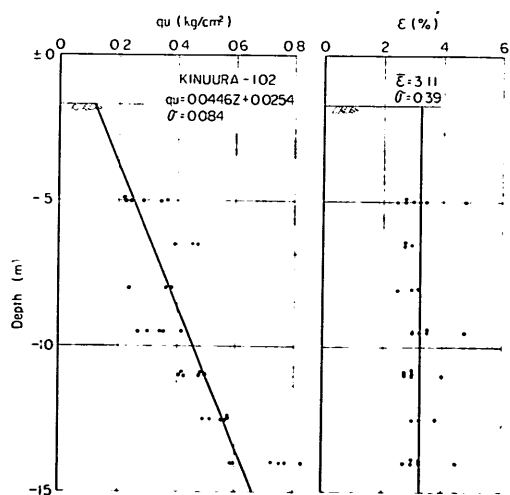


図-18 一軸圧縮試験結果図 (衣浦 B-102)

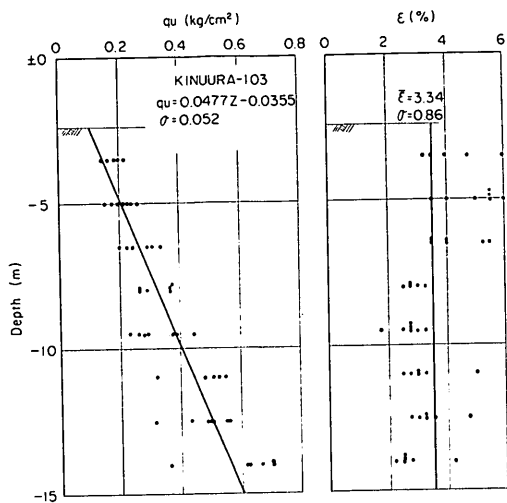


図-19 一軸圧縮試験結果図 (衣浦 B-103)

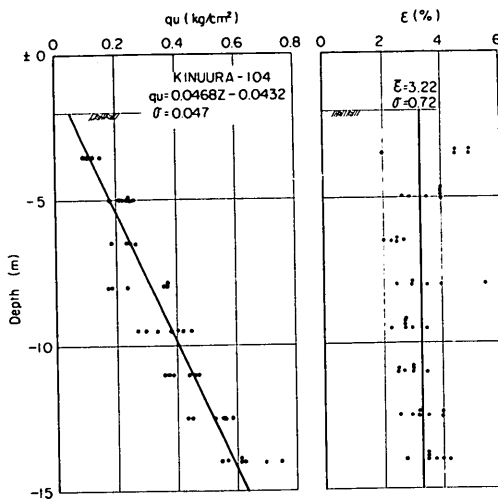


図-20 一軸圧縮試験結果図 (衣浦 B-104)

る。すなわち、少々厚肉のチューブでも刃先角度 (α) を 5° 以内にするこゝで断面積比の大きいことによる乱れの影響がカバーできるといわれている。

しかし、わが国では「土のサンプリング指針」⁸⁾などで刃先角度 (α) は 10° 以内でよいとその幅が広く決められている。これは、カルステニアスの提唱した $\alpha < 5^\circ$

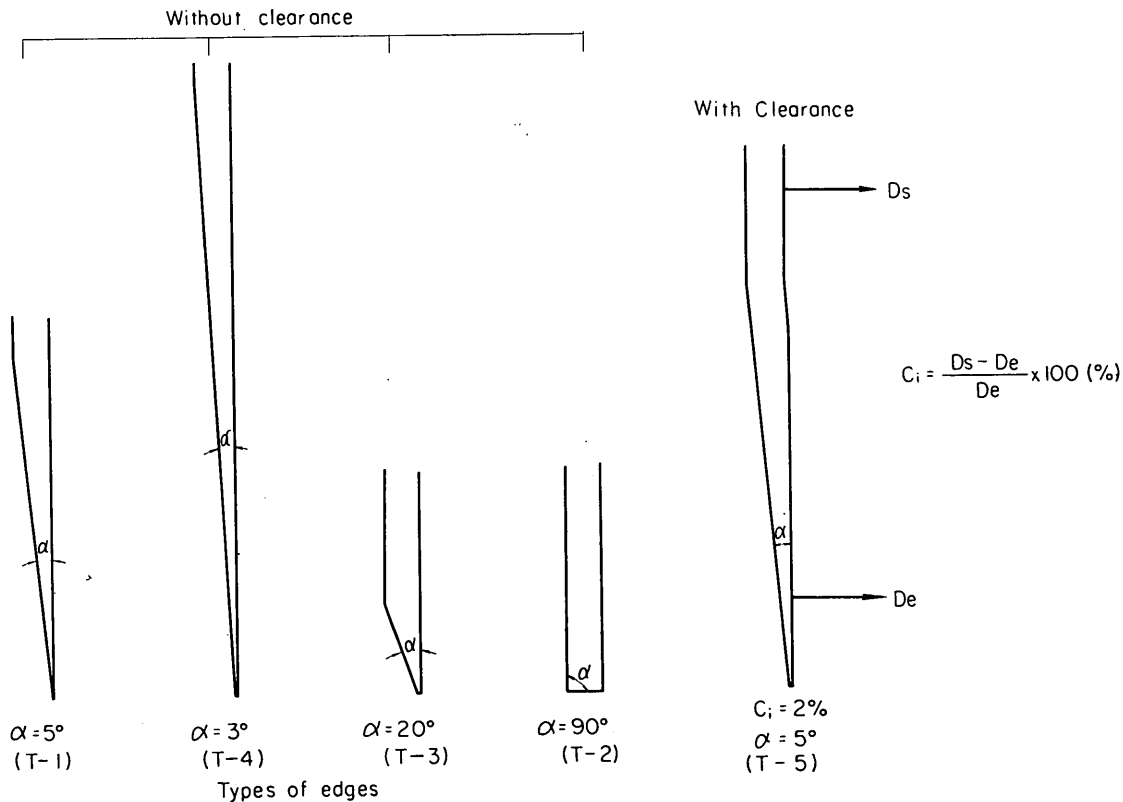


図-21 刃先形状の模式図

と相違するがカルステニアスの研究は比較的厚肉のチューブ (主としてコンボジットサンプラー) による結果であるから必ずしも薄肉のチューブによるサンプリングには適切といえないこと, あるいは刃先加工上の問題等を考慮した結果のようである。

筆者ら港湾関係では, かなり以前からサンプリングの精度を高める目的でステンレス鋼製のチューブを採用しているため刃先の加工上の問題, あるいは刃先の強度なども, さほど問題にならない。したがって現在は約 6° (正確にはチューブ肉厚 (t) の 10 倍の刃先長さ (l) と決め加工時の刃先角度の手違いを生じるのを防いでいる。したがって $\tan \alpha = t/l = 0.1 \therefore \alpha = 5.7^\circ$ となる) に統一している。しかし, この角度はカルステニアスが示した 5° 以内ではなく, さらに鋭くする必要を感じているがシンウォールサンプリング (チューブ厚さ 1.5 mm 以下) において 5° 以内では, どの程度まで加工上可能で, かつ適切なものか確たるものはない。したがって今回は加工上, および強度的限界を 3° として前出の表-1, および 図-21 に示すような刃先角度 (α) $3^\circ, 5^\circ, 20^\circ$, および 90° の 4 種類について比較した。

この結果を 図-22, 図-23, 図-24, にそれぞれ示す。

図-22 で示すように q_u 値の深さ分布の平均値について

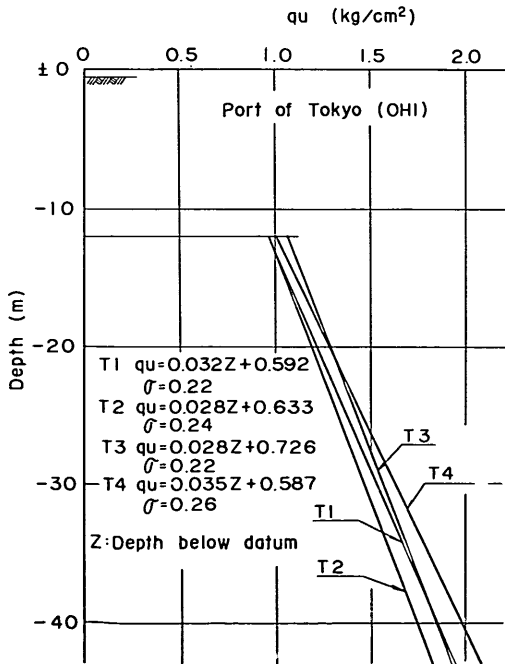


図-22 刃先角度の比較 (q_u)

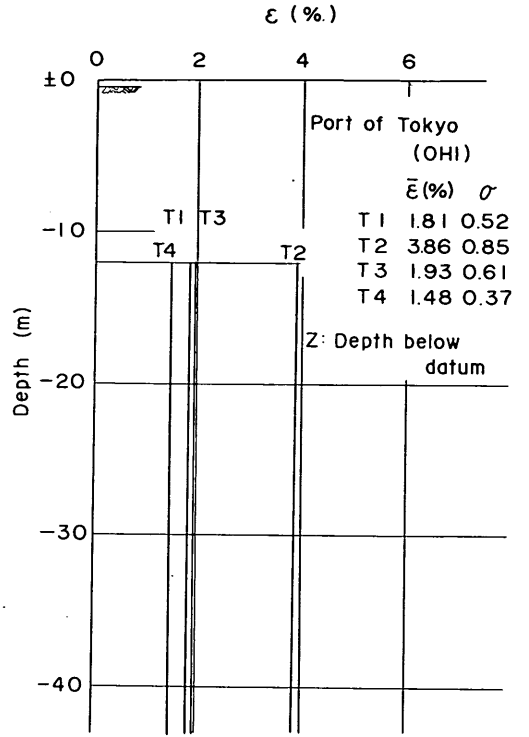


図-23 刃先角度の比較 (ϵ)

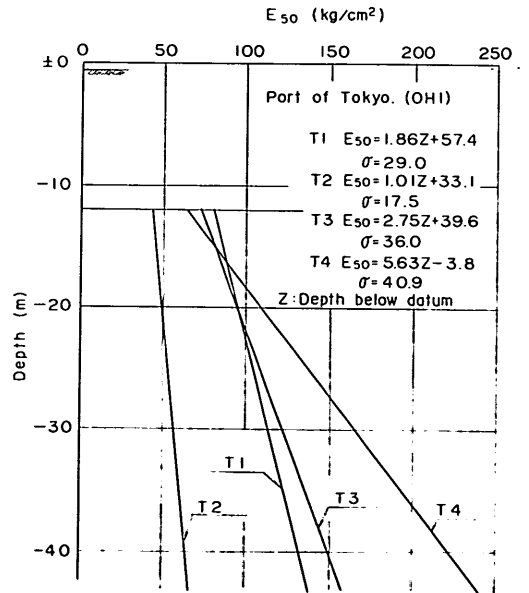


図-24 刃先角度の比較 (E_{s0})

てみると、刃先角度の最もシャープな $\alpha=3^\circ$ が最も大きい q_u 値を示し、刃先角度のない $\alpha=90^\circ$ が当然のことであるが最も小さく、その差は深さ方向に対して、ほぼ一様に約 10% の強度低下が、かなり明瞭に現われている。また、これらの中間的な刃先角度である $\alpha=5^\circ$ 、および 20° は、 $\alpha=3^\circ$ 、および $\alpha=90^\circ$ のほぼ中央値を示しており、両者にはほとんど差異は認められない。

これは今回の実験場の土質に限っていえることであろうが、 5° ではまだシャープさが足りないものと考えられる。

このことは 図-23 からわかるように、 q_u 値に対応する軸ヒズミ (ϵ) も q_u 値の傾向と一致しており、刃先角度が大きくなるに従ってヒズミが大きくなり、かつ、バラついている。とくに刃先角度のない ($\alpha=90^\circ$) チューブで採取した試料によるヒズミの平均値 ($\bar{\epsilon}$) は $\alpha=3^\circ$ のそれとくらべて約 2.5 倍にのびており、刃先角度の重要性を如実に現わしているものと思われる。

一方、図-24 に示す変形係数 (E_{50}) は乱れの度合を示す一つの指標として知られており⁹⁾、今回の結果では上述の q_u 、および ϵ の傾向からも推測できるように $\alpha=3^\circ$ が最も大きい値を示している。

今仮に、この値を基準値としてほかの変形係数をみると、 $\alpha=5^\circ$ および $\alpha=20^\circ$ では 15~25%、 $\alpha=90^\circ$ では深さによって多少の変化はあるが 50% 程度の低下を示しており、刃先角度の相違による乱れの影響を明確に現わしている。以上刃先角度の影響について深度分布の全般的傾向から云々したが、これらをさらに細かく調べるため深さ分布の一点に注目してみる。すなわちサンプリングの平均深さ、-26m における q_u 、 ϵ 、および E_{50} のそれぞれの値に対し、刃先角度を対数目盛にとって、各値をプロットすると 図-25 (a)、(b)、(c) のような結果になる。

これらの図からわかるように、刃先角度が増大(鈍い)すると q_u 、および E_{50} が減少し、 ϵ が増加する傾向を示している。

また同様に q_u 、 ϵ および E_{50} における深さ分布の平均直線に対する標準偏差 (σ) を刃先角度に対して(対数スケール)プロットすると 図-26 (a)、(b)、(c) に示すようになる。

これらの図が示すように σ_{q_u} 、および $\sigma_{E_{50}}$ は刃先角度の小さい(鋭い)ものがバラツキが大きい結果となり、一般的概念とは逆の傾向を示している。しかし、 σ_ϵ は刃先角度の増大と共に増加する相関性が認められる。

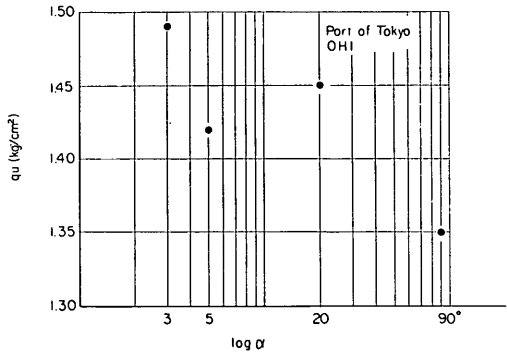


図-25 (a) 刃先角度と q_u

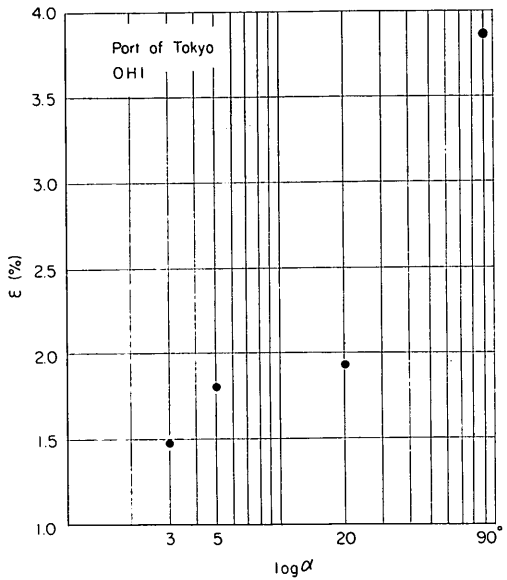


図-25 (b) 刃先角度と ϵ

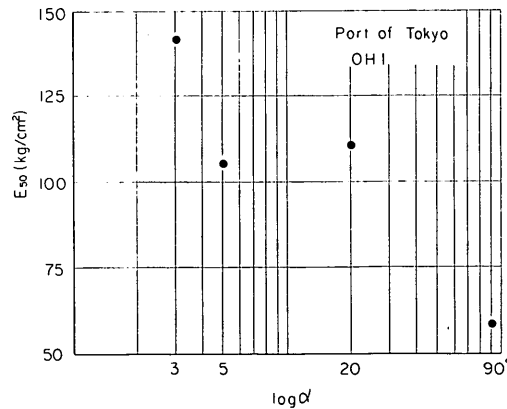


図-25 (c) 刃先角度と E_{50}

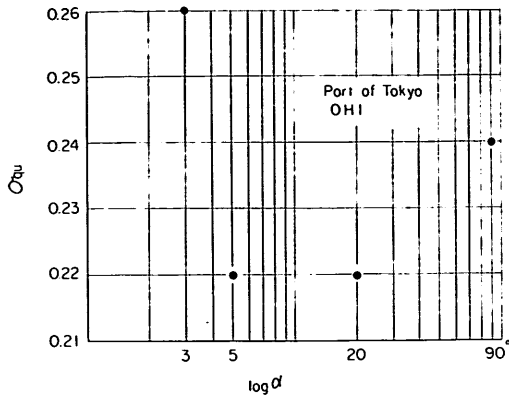


図-26 (a) 刃先角度と σ_{qd}

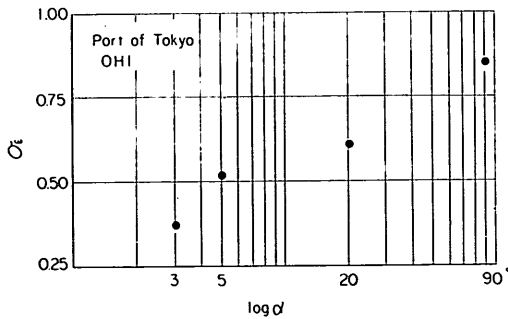


図-26 (b) 刃先角度と σ_t

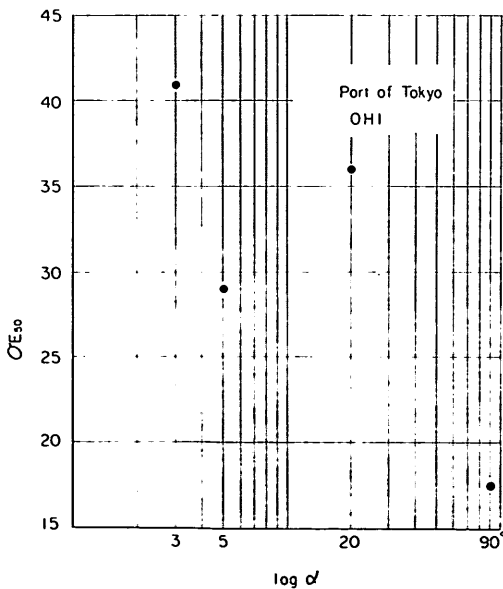


図-26 (c) 刃先角度と σ_{E50}

以上今回の結果から一応結論づけると、サンプリング過程において貝殻など土以外の異物によって刃先が折れ曲がらない最小角度、すなわち 3° 程度にすることが望ましい。しかし実用的見地からすると真鍮製では 3° にすることは加工上はもちろんのこと、刃先として強度的に問題と思われるので、できれば剛度の高いステンレス鋼製のチューブを用いて 3° 程度の鋭い角度にすれば乱れの少ない良好な試料が採取できよう。

(2) 内径比について

サンプリングのさいの乱れの原因の一つとしてチューブを土中に差込むことによって生ずるチューブ内壁と土(試料)との摩擦がある。一般的には、この摩擦を軽減するためサンプリングチューブの刃先内径を上部内径より幾分小さめにしぼってある。これを内径比と称し、次式によって求められている。

$$C_i = \frac{D_s - D_e}{D_e} \times 100 (\%) \quad (\text{前出 図-21 参照})$$

内径比についても刃先角度と同様ポシュレフ⁷⁾とカルステニアス⁸⁾の報告があり、ポシュレフは0.5~3.0%の範囲で土質に応じて適用するのがよいとしており、カルステニアスもやわらかい粘土に対して0.5~1.0%とし両者の意見の一致がみられる。

一方わが国でも、藤田¹⁰⁾によってやわらかい沖積粘土では2%が適当であることが報告されている。

これらの報告からわが国では0~2%が採用され、その範囲で土質に応じて担当技術者によって適宜決められているのが現状で、土質に対する確たる適用基準は定められていない。

最近、筆者らは内径比がつけられているための弊害、すなわち、試料は内径より小さめにカッティングされてチューブ内に納まっているので、内壁との摩擦が少なくとくに表層部のやわらかい試料は引上げのさい脱落して採取できなかつたり、逆にかたくシルト分の多い試料ではカッティングのさいに水平方向のクラックを生じたり、あるいはサンプリングによる拘束圧力の解除によって生ずる膨張を容易に許すなどチューブの内壁摩擦による乱れよりも、むしろ影響が大きいことも考えられる。したがってしぼりのない(内径比のない)フラットなサンプリングチューブによるサンプリングを推奨し実施している。

しかし、この確たる裏付根拠はないので、今回は内径比のない($C_i=0$)のもの、「土のサンプリング指針」⁹⁾に示されている最大値の2%との両極端について比較した。

本来ならば内径比を数段階に変化させて比較しなければよい結論は得られないが、テストフィールド、および時間的制約などのために不本意ながら両極端の比較にとどめた。この結果を図-27 および 図-28 に示す。

図-27 の q_u 値についてみると、筆者らが一応標準としている刃先角度 5° を統一して、内径比 0 と 2% を比較すると -20m を境にして、それより上部では内径比のある方が q_u は大きい値を示しているが、それ以下では、かなり明瞭に q_u 値の低下がみられる。また前述した刃先角度で最も好結果を得た 3° (内径比=0) との差はさらに顕著になる。

一方、ヒズミについても内径比のないものに対し、内径比のあるものは 1.3~1.5 倍にのびており乱れの影響がはっきり現われている。

図-28 に示す変形係数 (E_{50}) も q_u 値の傾向とほぼ一致しており、内径比による乱れの影響が変形係数の低下という形で現われている。

今回の結果は両極端の比較のみであるから内径比の可否について結論づけることは危険であるが、今回のように比較のかたい土質では内径比のないチューブによる方がよい結果を得るようであり、内径比がつけられているために 写真-1 に示すような水平方向のクラックが無数に入るなど逆効果しか得られなかったことは筆者らの予想を裏付ける一つの資料とすることができた。

(3) 肉厚について

肉厚については以前錦海湾の実験場で実施し、第2報²⁾として報告したが今回はさらに土質を変化させる意味で衣浦港において再度検討することにした。

カルステニアスが報告したように断面積比が土の乱れに関係しなければ刃先角度など刃先形状の検討のみでもよいが、わが国の土質にそのまま適用できるか否か問題があり、また前回の実験結果を補う意味と再確認の意

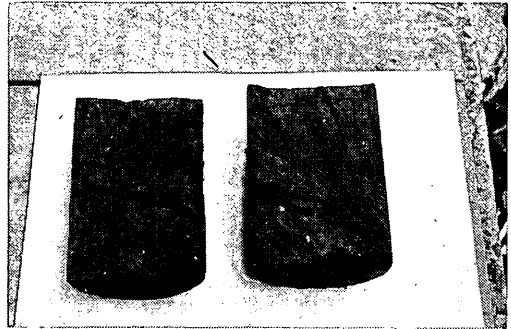


写真-1 試料のクラック状況 (内径比 2%)

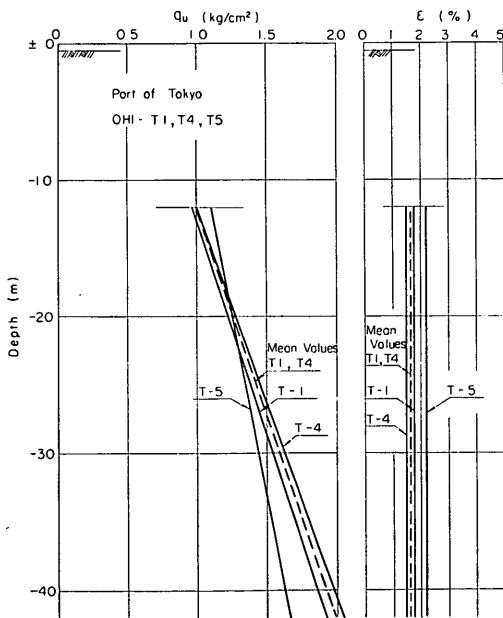


図-27 内径比の比較 ($q_u \cdot \epsilon$)

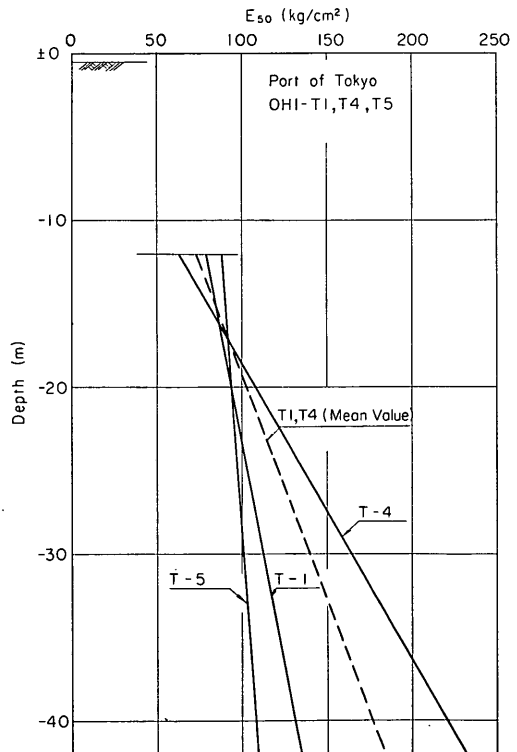


図-28 内径比の比較 (E_{50})

味をもって実施した。

今回は前出の表-1に示したように材質は前回同様真鍮製とし、肉厚は1.3, 1.5, 2.0 および 3.0 mm の4種類とした。また刃先角度は各肉厚共 5° に統一した。

今回の実験条件で前回と異なる点は次の通りである。

	今 回	前 回
ボーリングマシン	ハンドフィード	オイルフィード
押込方法	チェーンブロックによる連続押込	ハイドロリックシリンダーによる連続押込
押込速度	2 cm/sec	5 cm/sec

この結果を図-29に示す。

図-29に示す q_u , および ϵ の深さ分布によれば、1.5 mm が最も大きい q_u 値を示している。1.3 mm は -10 m 以浅では 1.5 mm に次いで大きい q_u 値を示しているが、深くなるにつれて土の強さに対して肉厚不足による影響のため小さくなっている。2 mm, および 3 mm は 1.3 mm よりさらに小さく、3 mm が最も小さい値になっている。

これに対し q_u 値に対応する軸ヒズミは各肉厚共ほぼ同じ傾向を示しており、差異は認められない。

図-29の平均直線からサンプリングの平均深さ付近における q_u , および q_u の標準偏差 (σ_{q_u}), ならびに ϵ , および ϵ の標準偏差 (σ_ϵ) と肉厚を対数スケールにとってそれぞれプロットして図-30 (a) (b) (c) (d) に示す。

図-30 (a) (b) の曲線が示すように 1.5 mm が最も乱れの影響が少なくそれより薄くても厚くても好ましくな

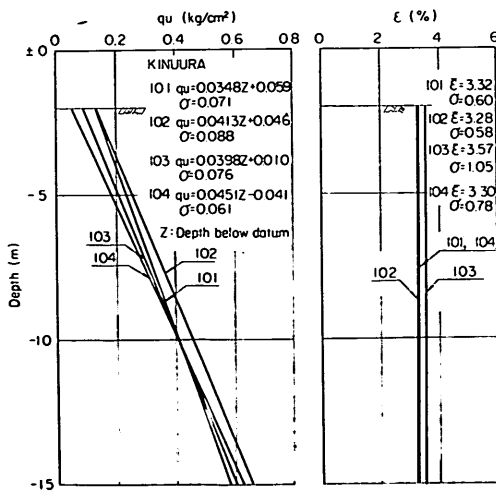


図-29 肉厚の比較 ($q_u \cdot \epsilon$)

い結果を示している。図-30 (c) (d) は q_u , および ϵ の標準偏差で、これによると q_u の標準偏差は、1.5 mm が最も大きく、刃先角度のところでも述べたように一般的概念として q_u が大きく、標準偏差 (バラッキ) が小

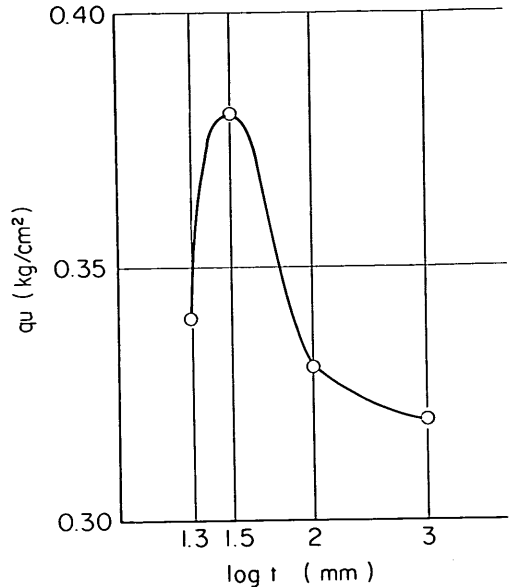


図-30 (a) 肉厚と q_u

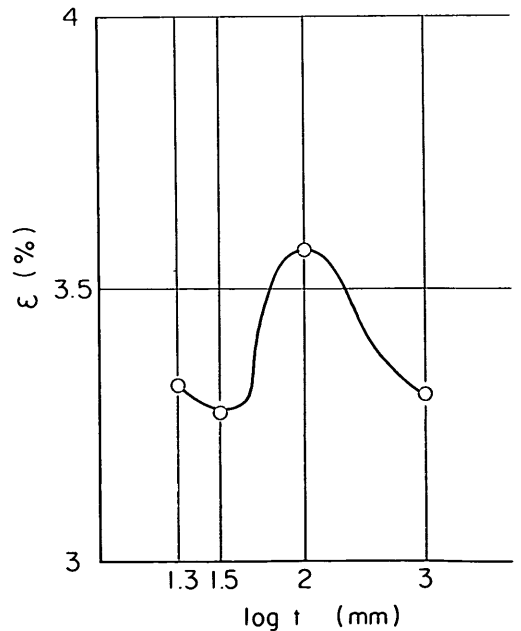


図-30 (b) 肉厚と ϵ

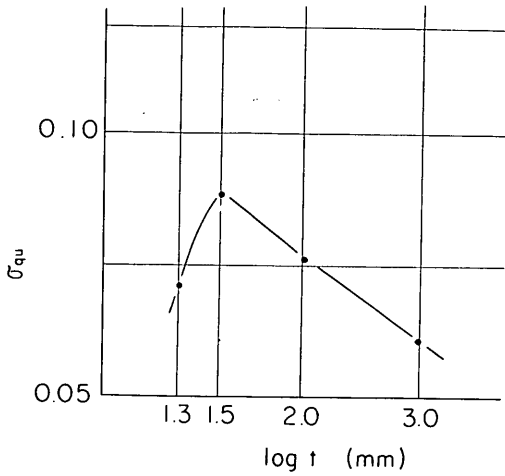


図-30 (c) 肉厚と σ_{q_u}

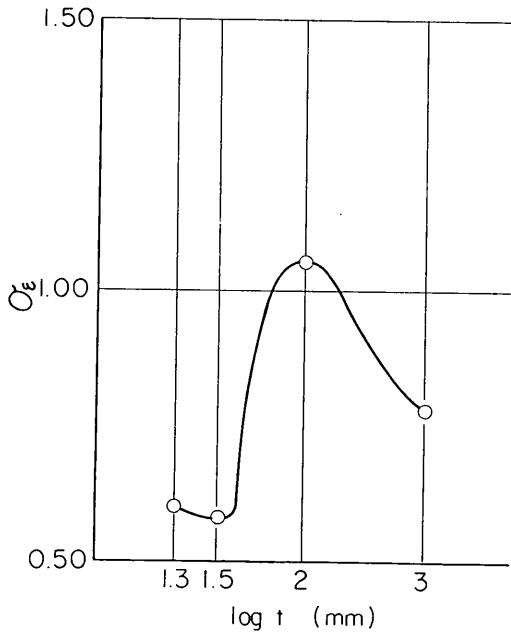


図-30 (d) 肉厚と σ_ϵ

さいものを良しとすることと矛盾する。このバラツキについては後述する。また ϵ の標準偏差は 1.3 および 1.5 mm はほとんど差異はみられないが僅かに 1.5 mm が小さく、上述の q_u および ϵ の結果と同じ傾向を示している。

これら今回の結果から結論づけると 1.5 mm が妥当な肉厚となり、前回の 2 mm とは相違する。この違

いは土質の異なり、押込の方法、および速さの違いなどが考えられるが、とくに前回と異なることはサンプリングの研究実験のみが目的ではなく、実験場の都合上設計値としても利用できるようなボーリング配置を考慮したため間隔が大きく (25 m) なり、前出の地盤の均一性を示す図からもわかるように錦海湾、および東京港大井にくらべて含水比 (w) や単位体積重量 (γ_i) のバラツキが大きく均一地盤とはいいたくないことなどによるものと考えられる。したがって前述したような前回の結果を補足したり対比するには問題がある。

しかし、前回、今回を通していえることは土質に応じて、1.5 mm から 2.0 mm の範囲において適宜決定し、適切なサンプリング方法によれば乱れを最少限にくい止めることができよう。

3.3 q_u 値のバラツキについて

サンプリングされた一本のチューブ中の試料から一軸圧縮強さ (q_u) を求め、チューブの平均深さに対してプロットすると量的な違いはあるとしても必ずバラツキを生ずる。このバラツキはわが国の沖積海成粘土のように深さ方向に対して強さが増加する場合当然のこととして考えられる。しかし実際には強さの増加割合そのものではなく、サンプリング過程における種々の影響によって乱れ、とくにチューブ両端では q_u 値の低下が著しい。これについて調べるためサンプリングチューブ 1 本毎に相対的強さを求め、これを全サンプリングチューブについて重ね合わせ、それを再び、その中の最大値で割って平均的相対強さを求めた。

これをサンプリングチューブの刃先から距離に対応させてプロットしたものを過去に行なった錦海湾の結果とあわせて 図-31 に示す。

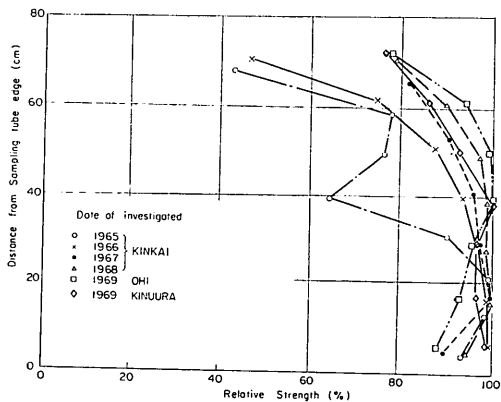


図-31 サンプリングチューブ内の相対強さ分布

図のように大井, 衣浦共チューブ有効長(採取長)の中央に最大値が現われていることは錦海湾での結果と異なる。

これは大井の場合のように q_u 値が $0.8 \sim 2.2 \text{ kg/cm}^2$ と比較的かたい土質ではチューブの剛度不足による変形, および引抜きによる影響が考えられる。

一方, 衣浦は押込方法としてチェーンブロックを用いたことの影響がその理由の一つとして考えられる。

この相対強さ分布が示すような q_u のバラツキを一応標準偏差 (σ_{q_u}) で現わし, q_u の平均値に対してプロットしたものを 図-32 に示し, この σ_{q_u} を q_u の平均値

で割った値を q_u の平均値に対してプロットしたものが 図-33 である。

図-32 からわかるように q_u 値が増大するとバラツキすなわち標準偏差 (σ_{q_u}) も増加する傾向を示している。

また 図-33 によれば q_u 値のバラツキは q_u の値にかかわらず $\pm 10\%$ 程度生ずることを示している。

なお, 今回の大井および衣浦の結果からは乱れの影響が少なく q_u の深さ分布の平均値が大きくなると平均値に対する標準偏差(バラツキ)も大きくなる傾向を示しており, バラツキの小さい良好なサンプリングが行われたという一般的概念とは逆の傾向を示していることは

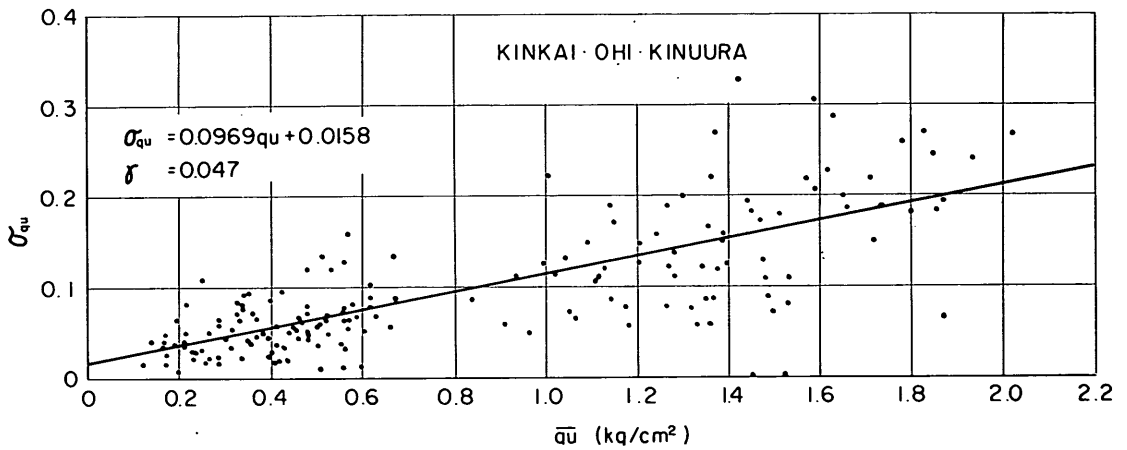


図-32 q_u と σ_{q_u} の関係

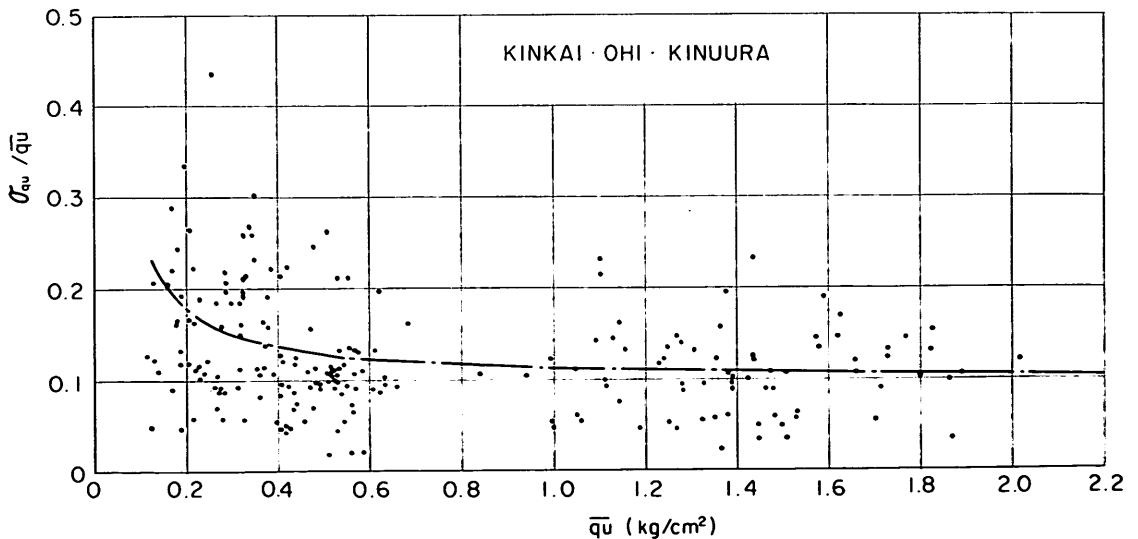


図-33 q_u と σ_{q_u}/q_u の関係

注目されよう。

このことについて今回の結果のみで結論づけることは危険であるが、乱れの度合が大きくなると、次第に強度(q_u)が低下し、かつ平均化されることも考えられるので今後も検討の必要があろう。

3.4 サンプリング時の測定について

固定ピストン方式によるシンウォールサンプリングにおいてピストンの固定はサンプリング過程の中でかなり重要である。

固定が完全でないとサンプラーの押込みに連れてピストンが下方に移動し、これから採取しようとする土を圧縮して乱すことになる。カルステニアス⁶⁾によれば、このピストンの移動量を ± 1 mm 以内におさえる必要があることが報告されており重要性を再認識させられる。

現在、一般的に行なわれているボーリングでは木製の三脚ヤグラが主として用いられている。したがって、いかにピストンの固定を完全にしても押込時の力によって三脚ヤグラが変形していることも十分考えられるので三脚ヤグラの剛性が問題になる。

そこで、今回衣浦港における実験のさい、この三脚ヤグラ、および海上足場の変形について簡単な方法ではあるが調べてみた。

三脚ヤグラおよび海上足場の構造、ならびに測定方法を 図-34 に示す。

図のようにヤグラ変位の測定は肉眼によるスケールの読取りであるから精度は期待できないが、ヤグラに加わった力はブルーピングリング(1トン)に差動トランスを取付けた、いわゆる電気計測によって記録したものである。また今回の測定目的とは直接関係しないが、三脚

ヤグラに最も大きい力の加わるサンプラーの引抜時の変位もあわせて測定した。

この結果を 図-35、および 図-36 に示す。図-35、および 図-36 の結果はほぼ同じ構造のヤグラにほぼ同じ力が加わった時のものであるが、変位量は一つは 3~5 mm 程度、もう一つは 10~12 mm 程度と差を生じている。

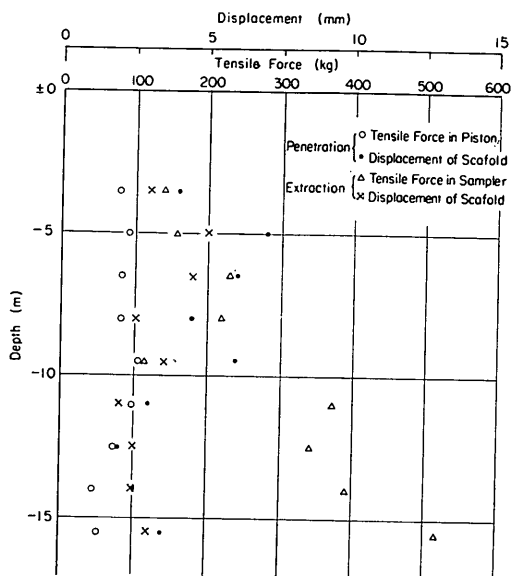


図-35 三脚ヤグラの変形(その1)

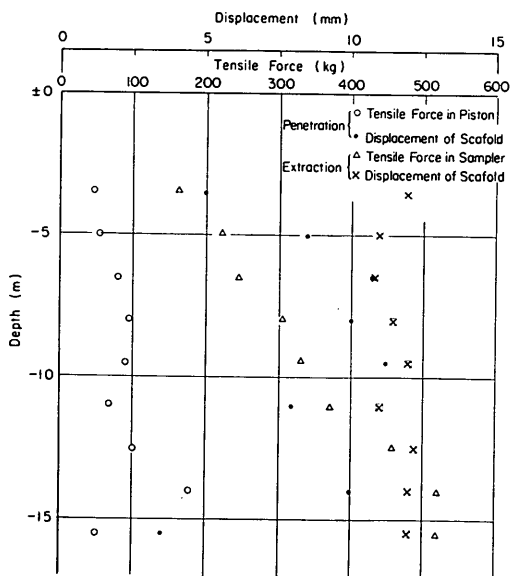


図-36 三脚ヤグラの変形(その2)

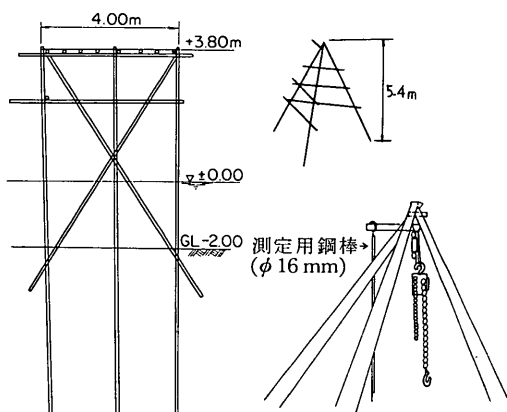


図-34 三脚ヤグラおよび海上足場の構造模式図

これはヤグラ部材の締結状態、あるいは脚の位置などの違いによるものと思われる。

しかし、これらの結果が示すように少ない時でも 3mm 以上は変位し、大きい場合には 10 mm 以上に及ぶこともあるので十分なる配慮が必要である。

なお海上足場の沈下に対する測定も同時に行なったが、横揺れなどによる測定誤差範囲であったので結果図は割愛した。

4. ま と め

今回の実験結果から一般的に結論づけることはできないが、一応各項目別にまとめてみると次のようなことがいえる。

(1) 刃先角度

今回の結果からは刃先角度 3° が最も好結果を得ており、カルステニアスの提唱している 5° 以内は一応妥当と考えられる。

一般的に用いられている真鍮製のサンプリングチューブでは 3° に加工することは技術的にむずかしいと思われるので、できればステンレススチールのように剛度の高いものを用いて刃先角度を鋭く (3° 程度) すれば乱れの影響の少ない良好なサンプルが採取できよう。

(2) 内径比

今回の結果は内径比のないフラットなものと、サンプリング指針に示されている最大量 2% の両極端についての比較であるから、一概には結論づけられないが、内径比が大きい場合は、内径比のない場合より乱れが大きく強度低下が著しい。

(3) 肉 厚

今回の結果も前回と同様明確な傾向が認められなかった。しかし前回、および今回の結果を総合して結論づけると、肉厚を 1.5~2.0 mm の範囲において、土のかたさに応じて使い分ければ乱れを最少限にくい止めることができよう。

なお、この土質に対する肉厚の使い分けについての確かな資料があるわけではないが現在までの実験結果などから総合的に判断して、その一例を示すと、

$q_u < 0.5 \text{ kg/cm}^2$	真鍮製 1.5 mm
$0.5 \text{ kg/cm}^2 < q_u < 1.5 \text{ kg/cm}^2$	ステンレス 1.5 mm
$q_u > 1.5 \text{ kg/cm}^2$	ステンレス 2.0 mm

となる。

この場合刃先角度は 3° 程度が好ましい。

5. あとがき

サンプリングに関するこの種の実験は数多くの組合せを必要とするので一朝一夕には行かないが、過去あるいは今回の結果を足場にして、機会ある毎に現場実験を積み重ね、さらには室内実験もあわせて行ない、現在までに明瞭な結論が得られなかったデータを生かす方向に進めるつもりである。

6. 謝 辞

この実験にさいし実験場を提供され、終始協力をいただいた京浜外貿埠頭公園の三好工務部長始め工務部、および建設部の各位、ならびに愛知県衣浦港工事事務所の小川所長始め所員各位、さらには本実験において主として土質試験を担当し、また本報告書の作成にあたってデータ整理など多大の尽力をいただいた土質試験課小川富美子技官、ならびに本実験におけるボーリング実務を担当した土質試験課梅田裕史、成田実両技官に対し深甚なる謝意を表わす次第である。

参 考 文 献

- 1) 藤下利男, 松本一明, 堀江宏保: 「沖積粘土のボーリングおよびサンプリングに関する研究(第1報)」 港湾技術研究所報告 第5巻第4号 (1966)
- 2) 奥村樹郎, 松本一明, 堀江宏保: 「沖積粘土のボーリングおよびサンプリングに関する研究(第2報)特にサンプリングチューブの肉厚について」 港湾技術研究所報告 第6巻第8号 (1967)
- 3) 松本一明, 堀江宏保, 山村真佐明: 「沖積粘土のボーリングおよびサンプリングに関する研究(第3報)」 港湾技術研究所報告 第7巻第2号 (1968) pp. 95~113
- 4) 松本一明, 堀江宏保, 奥村樹郎: 「沖積粘土のボーリングおよびサンプリングに関する研究(第4報)」 港湾技術研究所報告 第8巻第2号 (1969) pp. 3~20
- 5) 松本一明: 単位体積重量試験 土質工学会編 第1回改訂版 (1969) pp. 52~66
- 6) T. Kallstenius: Mechanical Disturbance in Clay Samples Taken with Piston Sampler; proceeding. Roy. S.G.I. (1958)
- 7) M. J. Hvorslev: Subsurface Exploration and Sampling for Civil Engineering Proceeding. Roy. S.G.I. (1959)
- 8) 土質工学会: 「土のサンプリング指針」 (1964)
- 9) 竹中準之介: 「一軸圧縮試験」 土質基礎工学ライブラリー 4, (1968) pp. 155~190
- 10) 小川泰恵, 藤田則之, 横田正夫: 「八郎潟におけるサンプリング試験について」 土と基礎特集号 No. 2 (1960) (1970年9月30日受付)