

基礎地盤調査に用いる 各種のサウンディング方法について

三 木 五 三 郎

1. ま え が き

構造物の基礎地盤となる自然にタイ積している土について、その層序と強さを構造物を計画する段階で適確に知ることは非常に大切であり、このための基礎地盤調査として物理地下探査や、ボーリングや、サンプリングや、あるいはまた土の強さの原位置試験が行なわれる(第1表参照)。サウンディングとはこの中で用いられる原位置試験方法の一つで、地中かなり深い所までの土の強さを、その土が自然に存在するままの位置で地表から比較的簡単な操作によって探り知ろうとする試験方法である。

第 1 表 基礎地盤の調査方法

目 的	方 法	土のある場所	
		地表近く	地 中
層序の調査	直接法	ボーリング	
	間接法	物理地下探査	
性質の試験	間接的原位置試験	衝撃式地耐力試験等	物理地下探査
	直接的原位置試験	載荷試験等	サウンディング
	試料採取	乱さない試料を採取して実験室で試験	

工事現場であり合せの細長い物(クイヤレール等)を地盤中に押し込んだり、たたき込んだりするときの手ごたえから、その強弱の度合を経験的に判断することは、昔から行なわれたと考えるのが自然であるが、結局現在用いられているサウンディング方法も原理的には余り変わらず、ただ貫入させる操作を簡単で便利な機械を用いて行なうとともに、土の抵抗を先端部とその他の部分とに分離して測定できるようにしたりしている。もともと自然発生的なものであるから、国により場所によって方法もまちまちで種類が多く、また回転式、引拔式等の新工夫のものも現われてきた。

しかしあるサウンディング方法が広く使われるかどうかは、その使用に適した性質の地盤土が存在しなければ

ならないことは当然として、その上に測定結果の信頼性と、実際設計への実用性があるかどうかに関係する。その測定結果が新しい土質工学を基とした基礎地盤の設計の中で定量的に安心して利用できることが大切なのである。この意味で現在世界的に広く行なわれている方法としては、動的方法では標準貫入試験¹、静的方法ではオランダ式貫入試験²があげられよう。わが国でも戦後間もなく前者が用いられるようになり³、後者もこの3、4年来ようやく実用される機運にある⁴。

そこで本論ではこの両者を中心として、最近わが国で実際に用いられている第2表にあげたようなサウンディング方法につき、わが国での実測例および外国での研究例を示しながら、測定結果の特徴と相互の相関性を論じ、最後にサウンディングの今後の問題点について簡単に触れてみたい。

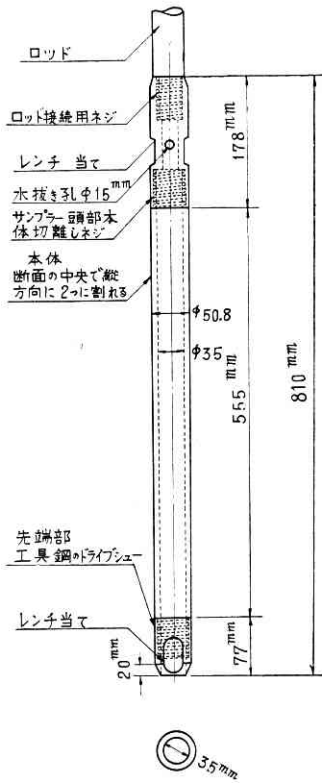
2. サウンディング方法の種類

サウンディング方法の種類を考える場合に、サウンディングを行なう方法から考えると動的貫入、静的貫入、回転、引抜き等があり、土の抵抗を受ける先端部の形としては、中空円筒形のサンプラー、頂角60°のコーン、角スイ、ベーン等がある。標準貫入試験の場合のようにロッドがボーリング孔内にある場合以外は、ロッドには外管をかぶせて地盤土との摩擦抵抗をなくするのが普通であり、この場合には外管だけを押し込むときの抵抗を別に測定することも行なう。第2表には現在よく用いられている代表的なサウンディング方法の細目を一括して示した。

(1) 標準貫入試験 第1図に示すようなサンプラーをボーリング孔底から一定エネルギーで打ち込むとき、最初の15cm程の試し打ちの後に、ちょうど30cm貫入さ

第 2 表 代表的なサウンディング方法

試験法名称	サウンディングエネルギー	土の抵抗を受ける部分				測 定			備 考
		形	径	最大実質断面積	長さ	測 定 量	単位	記号	
標準(サンプラー)貫入試験	動的貫入 (63.5kgの落錘を76cm落す打撃で貫入させる)	サンプラー	外径5.1cm 内径3.5cm	10cm ²	81cm	30cmの貫入に要する打撃回数	回/30cm	N	
標準コーン貫入試験		60°コーン	外径5.1cm	20cm ²	85cm	同上	回/30cm	\bar{N}	砂層・砂レキ層で利用
オランダ式貫入試験	静的貫入 (油圧ジャッキによる押し込む)	60°コーン	外径3.56cm	10.0cm ²	15.5cm	10cmの貫入に要する単位断面積当りの押込み荷重	kg/cm ²	q_c	
		外管	外径3.50cm	—	—	10cmの貫入に要する単位周面積当りの押込み荷重	kg/cm ²	f_c	
スウェーデン式サウンディング	回転	ねじり角スイ	対角線長3.5cm	6.3cm ²	20cm	20cm貫入に要する半回転数	半回転数/m	N_{sw}	
ベーン試験		ベーン	幅5.0cm	—	10cm	回転に要する最大トルク	kg·cm	M	やわらかい粘性土以外には利用困難



第1図 標準貫入試験に用いるサンプラー



第2図 標準貫入試験

おり、^{5,7} それぞれの特性が研究されている。

(2) オランダ式貫入試験 第3図に示すようなマンツルつきの60°コーン(断面積 10 cm²)を静的に 10 cm 貫入させる (A) に要する荷重を測定する。(B) の状態から外管だけを押し込めば外管だけの抵抗がわかり、さらに (C) の状態で押し込めばコーンと外管と両者の抵抗を同時に測ることになる。第4図には能力 2.5 t の

せるに要する打撃回数を測定する。標準方法では落錘重量が大きいので、第2図に示すように大がかりな装置を要するので、同じ原理でより簡便な小型貫入試験を行ない、あらかじめ標準方法との相関性を求めておいて現場で広く活用することも行なわれている。^{5,6}

サンプラーを打ち込む貫入試験では、乱した状態ではあるが、試料土が採取されることも一つの特徴となっている。しかし反面砂レキ層等ではサンプラーのつまり工合で結果が不正確になり、サンプラー自身も損傷を受けることが多い。そこでこのような層に対して最近では外径はサンプラーと全く同じで先端を60°のコーンにした貫入試験が行なわれるようになった。このサンプラー型とコーン型の標準貫入試験の相関性については後述する。もちろんコーン型の動貫入試験は従来から幾種類も行われて

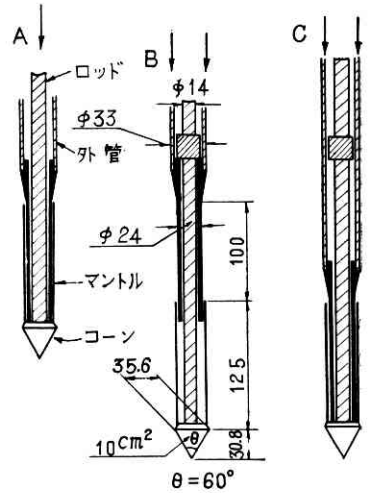
押し込み装置を示した。

静的にコーンを貫入させる型の試験はオランダ式の外にも種類が多く、⁵ 比較的地表に近い所で用いる単管式のものとしては頂角30°の米国のWES式のものがある。わが国ではこれを深さ5m程度までのサウンディング用に使っている例も多い。⁸

(3) スウェーデン式サウンディング 第5図に示すようにロッドの任意高さに固定できるオートクランプ上に100 kgの載荷重をおき、ロッドにとりつけたハンドルを手動で回転させて、ねじり角スイを土中ねじり込む試験で、20 cmの貫入に要する半回転数を数えてこれを5倍し、1 m 当りの半回転数に換算して地盤の硬軟を表わす。本図中に示したロッドの継手は、引抜きに便なように左右両回転に耐えるように、われわれの研究室で設計した特殊なものである。

なお土が軟弱で100 kgの載荷重に耐えない場合には、従来は回転数0とだけ報告されていることもあるようであるが、むしろこれは載荷重を適当に減じて、ねじり込みの回転数を実際に数えながら測定の方が合理的であろう。

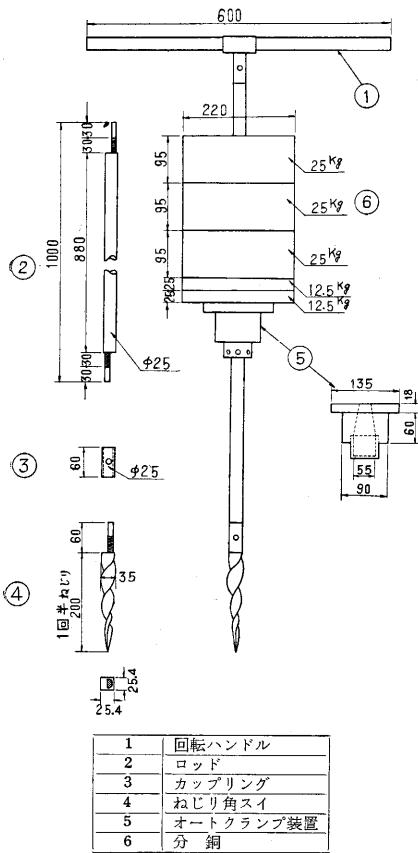
(4) ベーン試験 第6図に示すような4枚翼のベーンを土中に押し込み、垂直軸のまわりに回転させるトルクを測定して、その土のせん断抵抗を測定する試験で、使用はやわらかい粘性土に限られる。ロッドが直接土中に露出している型の装置では、深い所ではその粘着抵抗が



単位 = mm
第3図 オランダ式貫入試験に用いるマンツルつきコーン(φ33は35の誤り)



第4図 オランダ式貫入試験

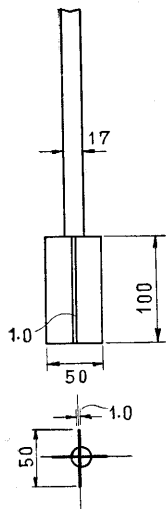


第 5 図 スウェーデン式貫入試験機

大きくなるので注意を要する。

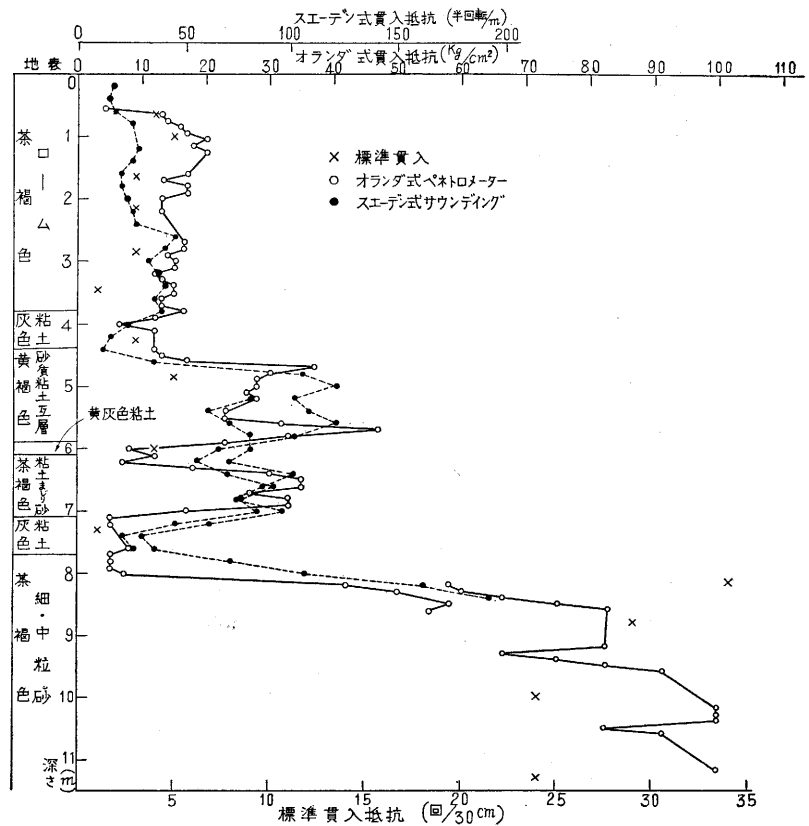
3. サウンディング実施例

(1) 赤土地地の例 第 7 図および第 8 図には代表的な赤土地地（千葉県船橋市七林町，地表の標高約 30 m）において，各種のサウンディングを比較実施した測定例を示す。地表から約 4m がローム質のいわゆる赤土であり，その下に粘土と砂質土の互層がある。これら土層の区別は第 7 図の結果をみれば一目して明らかであろう。赤土に対しては各サウンディング方法とも適用可能である。



第 6 図 ベーン試験に用いるベーン

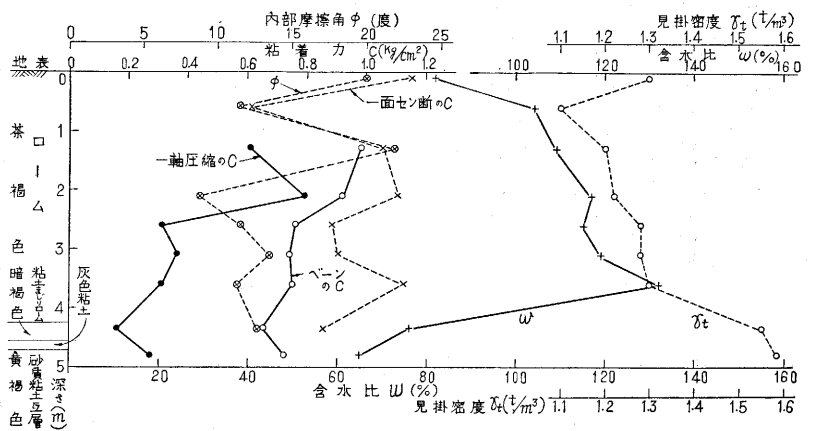
(2) 軟弱粘土層の例 第 9 図には



第 7 図 船橋における試験結果比較図 (その 1)

軟弱なチュウ積粘土層における一つの測定例として，東京都足立区西新井橋における標準貫入，オランダ式貫入，スウェーデン式サウンディング，およびベーン試験の結果を比較して示した。このような軟弱粘土に対しては標準貫入試験の適用は当を得たものとはいえず，オランダ式およびスウェーデン式の両方法も試験方法に工夫を要することがわかる。ベーン試験はこの場合に最も適した試験方法である。

(3) チュウ積砂層の例 第 10 図には新しいチュウ積



第 8 図 船橋における試験結果比較図 (その 2)

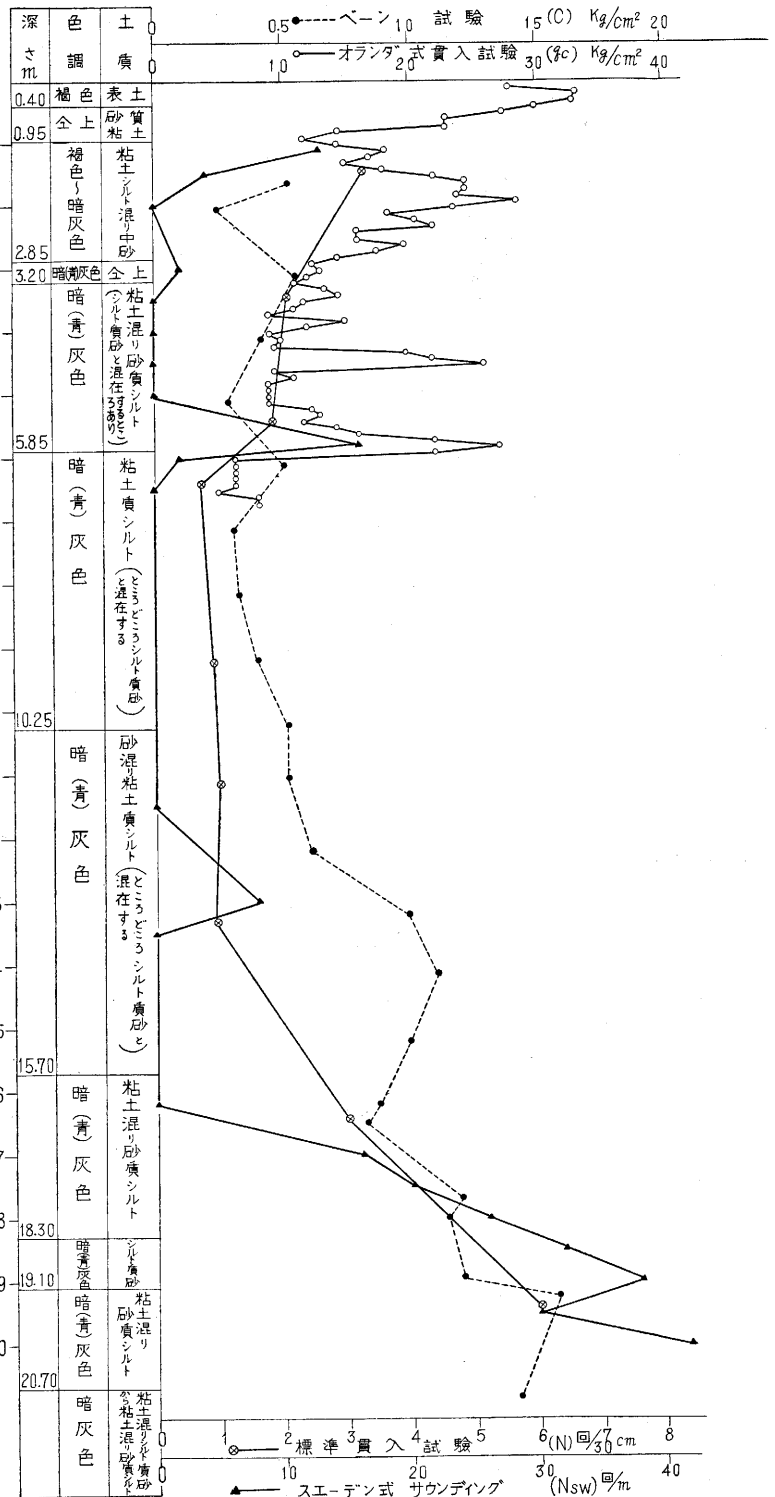
砂層における測定例として、広島市の太田川デルタ最南端部付近における標準貫入およびオランダ式貫入試験結果を示した。ボーリング結果だけからでは、余り大きな性質の差の認められない砂層中にも、オランダ式貫入試験結果によれば、かなり顕著な締り方の相異のあることがはっきりし、この砂層中の適当な深さに浮きグイの先端を置きたいような場合の調査には、測定深さが不連続な標準貫入試験に比して連続的なデータの得られるオランダ式貫入試験の優位性は明らかである。

(4) チュウ積砂レキ層の例 従来支持力の点で余り問題とされなかったレキ層についても、その締り方の相異は不等沈下の原因ともなり得るので、ときには原位置でサウンディングをする必要が起る。第 11 図に示したのは海中で第三紀の砂岩、ケツ岩の互層を不整合に覆うチュウ積層の基底レキ層について、サンプラー型およびコーン型の標準貫入試験とオランダ式貫入試験を比較実施した試験例である。このような場合に静貫入試験を行なうことは一般には無理で、やはりコーン型の動貫入試験が最も適しているようである。

4. 各種サウンディング結果の検討とそれらの相関性

(1) 標準貫入試験

現在わが国の現場で最も普通のサウンディング方法として利用されているこの方法は、軟粘土を除いては極めて適用範囲が広く、また測定結果を判定して土質工学的な設計に用いる土の強さの常数(粘性土における粘着力、砂質土における内部摩擦角)を求める相関関係も信頼性の大きなものが求められている。⁹ ただこの場合には測定をした土質の種類に応じて、最も適した結果の判定を行なわねばならない点が重要で、特にわが国に存在する不飽和のローム質火山灰土(赤土等)は、動貫入に対してはその大きな粘着力の割に小さな抵抗しか示さないことに注意せねばならない。第 12 図にはこのような土について筆者の検



第 9 図 西新井における試験結果比較図

討した相関図を示してみた。⁵

なお第 13 図は砂質土に対する標準貫入試験結果から幅 B の広がり基礎の許容支持力を推定する Meyerhof の

提案式¹⁰を図式化したものである。幅 B が $3.75'$ (1.14 m) より大きければ、許容支持力は大きな不等沈下を生じないという条件から求まり (q_a)、それ以下のときには根入れ深さ D (ft) に応じて異なる極限支持力を安全率で割って求めた安全支持力 (q_s) によって決まる。

サンプラーと同じ大ききで先端だけを 60° コーンにしたコーン標準貫入試験を、サンプラー標準貫入試験と同時にこなって比較した英国の実験例¹¹に、第 11 図に示した宇部の実測例をも書き加えたのが第 14 図である。コーン型の方がやや大き目の結果を与えているが砂層では大体同じと考えてよく、一般に砂層において迅速で有効な測定が行なえることを示している。

(2) オランダ式貫入試験

オランダでは軟粘土層の下にタイ積する砂層において、この貫入抵抗 q_c (kg/cm^2) を測定し、この層まで打ち込んだ先端支持ゲイの許容支持力を非常に精密に推定するのに多用しているが、¹¹ この場合に測定値が 10 cm 間隔に連続して得られるのが、本方法の大きな特徴となっている。最近わが国でもこの試験方法の実地における検討と結果の利用が行なわれるようになった。^{5,12} 第 10 図の測定結果も船台基礎の摩擦ゲイの設計に用いられたものである。第 15 図にはこれらの測定結果をまとめて標準貫入試験との相関性を示している。これによれば大体次のような関係式が導かれるであろう。

軟粘土に対しては

$$q_c = 30c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1a)$$

$$q_c = 2N \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1b)$$

$$c = 1/15 N \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1c)$$

赤土に対しては

$$q_c = 15c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2a)$$

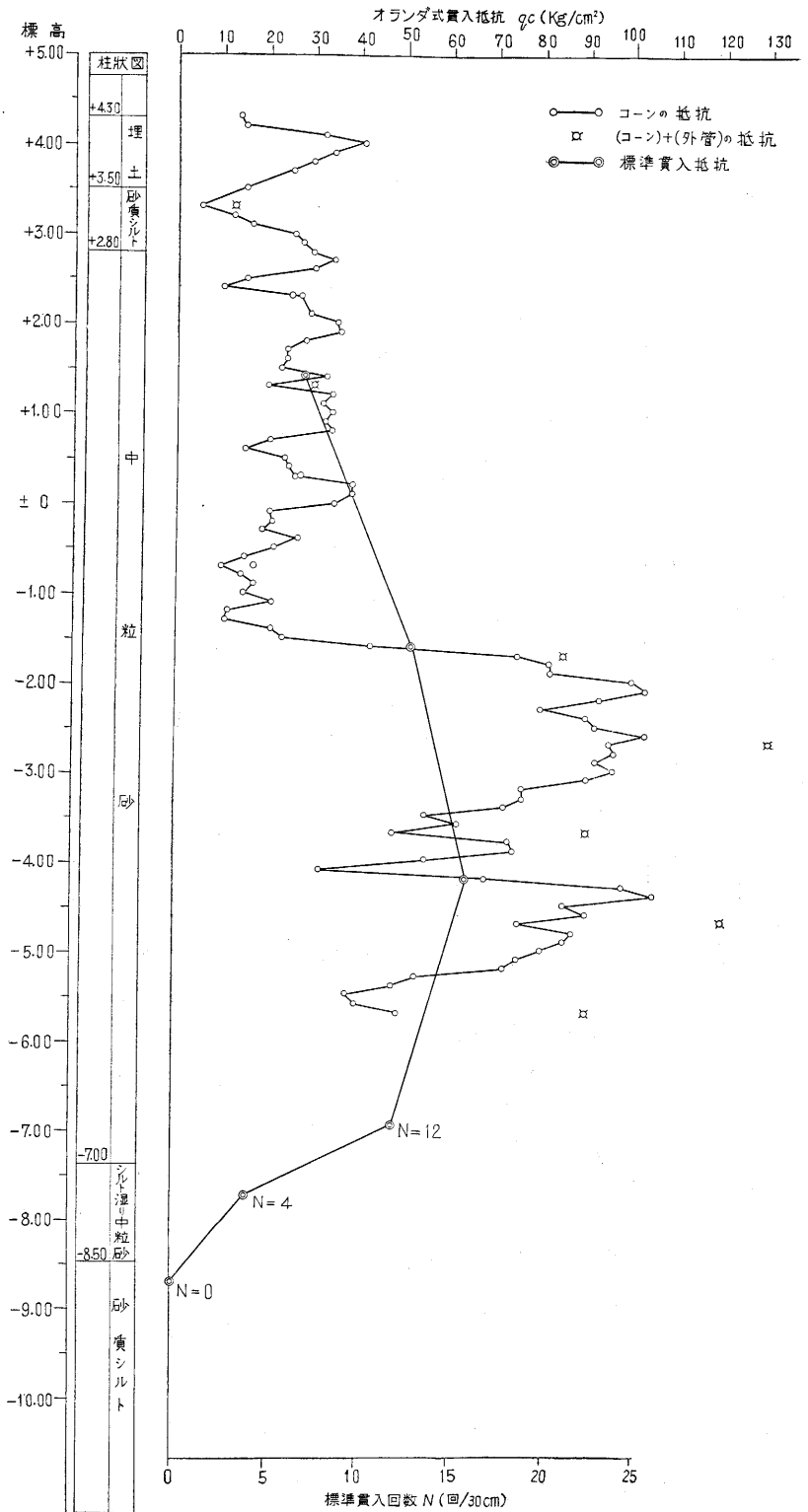
$$q_c = 3N \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2b)$$

$$c = 1/5 N \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2c)$$

砂レキに対しては

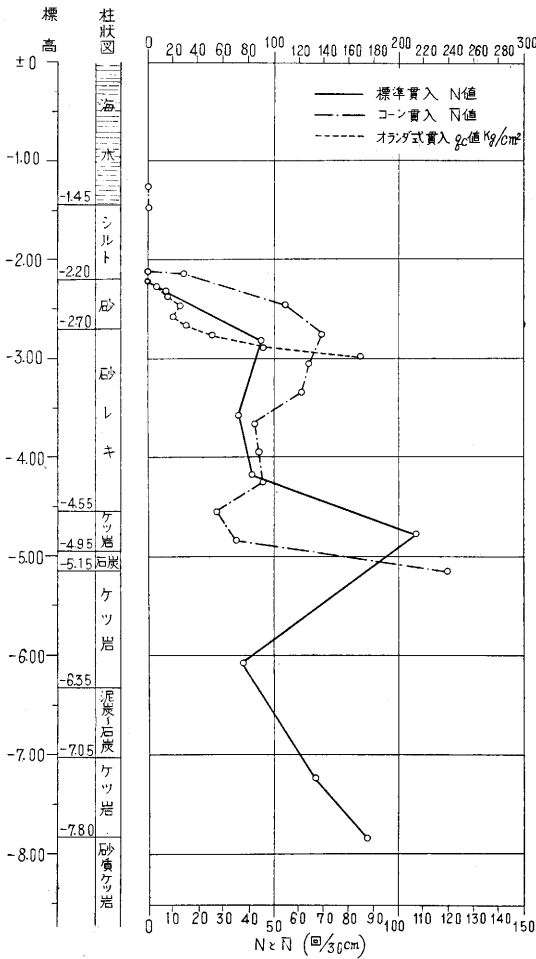
$$q_c = 4N \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (3)$$

ここで砂質土に対する (3) 式は Meyerhof の提案式⁹

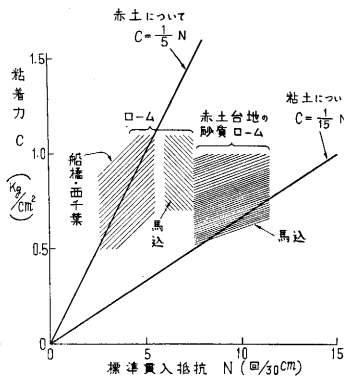


第 10 図 広島における試験結果比較図

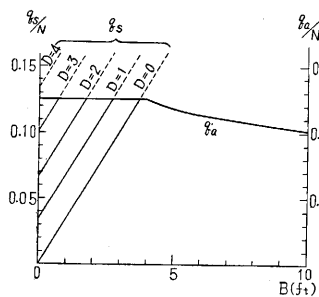
と全く同じとなり、粘土に対する (1b) 式も Schultz および Knausenberger の報告しているもの¹³ と同じで



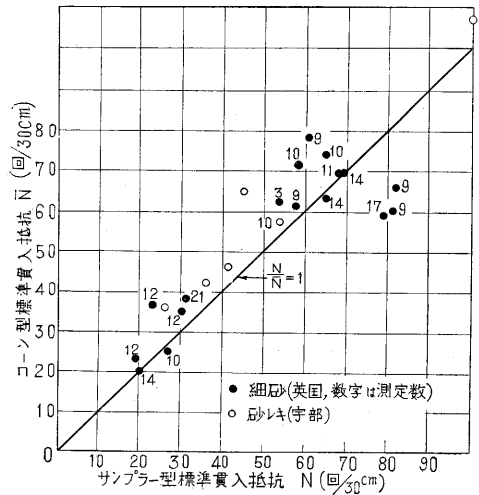
第 11 図 宇部における試験結果比較図



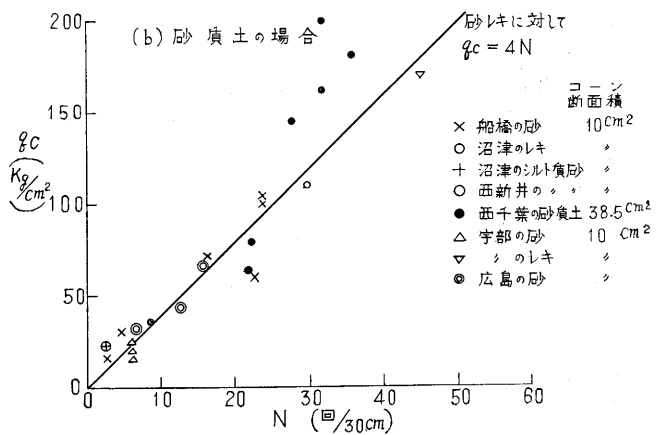
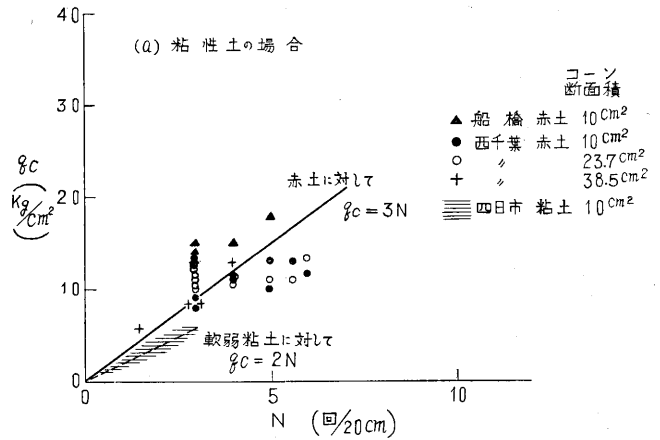
第 12 図 標準貫入試験結果の検討



第 13 図 標準貫入試験結果による広がり基礎の許容支持力の推定



第 14 図 サンプラー型とコーン型標準貫入試験の相関性



第 15 図 標準貫入試験とオランダ式貫入試験との相関性

あるが、従来粘性土の粘着力を求める式としては、軟粘土およびピートに対してオランダの Barentsen の $q_c = 10.75 c$ (kg/cm²)(4)

および

$$q_c = 21c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(5)$$

があり,¹⁴ また室町氏は粘土について頂角 30°, 断面積 6.45 cm² (1 in²) のコーン (WES 式) を用いて

$$q_c = 10c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots(6)$$

なる関係式を提案している。¹⁵ すなわちコーン貫入試験を粘性土に対して行なう場合, その測定結果から直接粘性土の粘着力を決めるにはなお問題があり, むしろこの場合には WES 式貫入試験結果から車輛のトラフィカビリティーを経験的に判定したりする (このときには断面積 0.5 in² の 30° コーンを使う)¹⁶ 実的な面で有効に利用されている。

(3) スエーデン式サウンディング

他の方法に比して最も簡単・迅速に地表から 10m 程度までは連続的なサウンディングが可能なのが本方法の特徴であるが, ロッド部分の摩擦抵抗がある程度測定値に影響することに注意しなければならない。

筆者の手許で行ったスエーデン式貫入抵抗 N_{sw} とオランダ式貫入抵抗 q_c との測定結果は第 17 図のような関係を示し, 一般に

$$N_{sw} \approx 3q_c \dots\dots\dots(7)$$

となる。

標準貫入抵抗 N との関係は第 16 図の通りであるが, この中には上田氏のデータ¹⁷ もプロットしてある。今までに導いてきた相関式を参照して関係式で示すと, 赤土に対しては

$$N = \frac{1}{9}N_{sw} \text{ (ただし } N_{sw} < 90) \dots\dots\dots(8)$$

砂に対しては

$$N = \frac{1}{12}N_{sw} \dots\dots\dots(9)$$

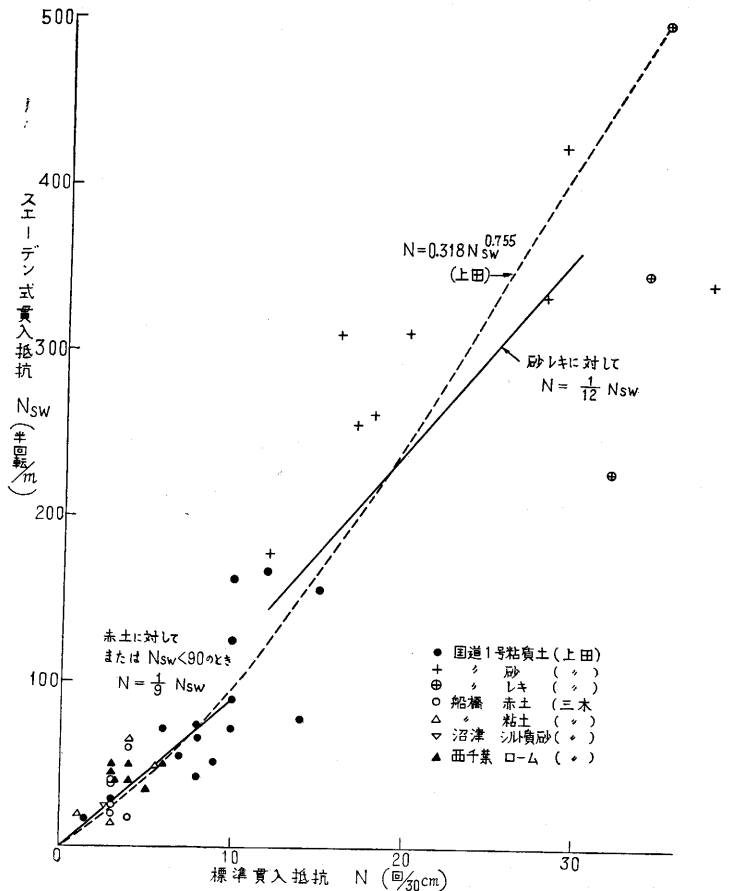
となる。

(4) ベーン試験

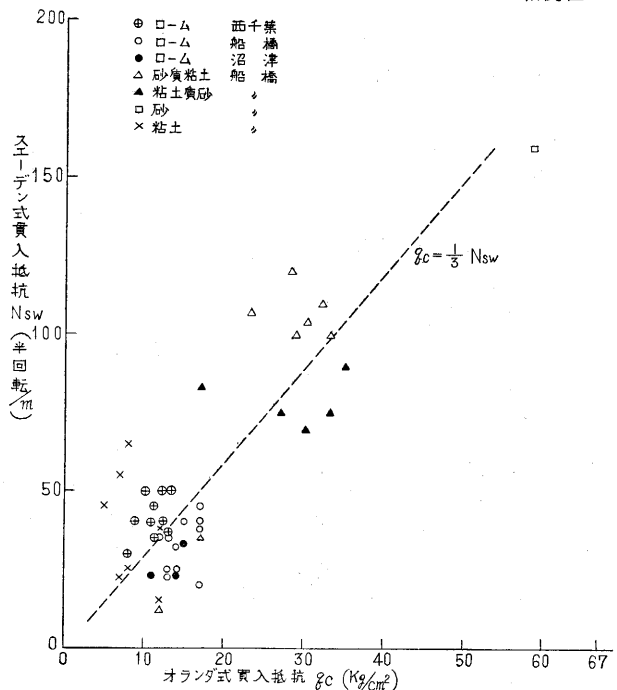
軟粘土のせん断抵抗を求めるには信頼性の大きな原位置試験方法であるが, 赤土のようなローム質土になるとベーンの押込み時に土を乱すおそれがあり, 砂質土には適用できない。

5. サウンディングに関する問題点

今までにはサウンディングの普通の方法について, 実施に際する注意, 結果の判定法ないしは相関性, おのおのの特徴等を一通り述べてきたが, 実はこれらに関して問題となる点が極めて多く残されている。以下にはその項目だけでも並べてみよう。



第 16 図 標準貫入試験とスエーデン式サウンディングとの相関性



第 17 図 オランダ式貫入試験とスエーデン式サウンディングとの相関性

試験方法については装置そのものの改善，ボーリングないしは他のサウンディング装置との部品の互換性をはかること，試験機および試験方法に関する標準規格の制定，進んでより有能な装置および方法の試作・研究等が問題である。特に現在のサウンディングが原位置における土のセン断強さを測るだけにとどまっているのを，例えば間ゲキ水圧を変化させて土の強さの推移を調べたり，また基礎地盤土のもう一つの重要な性質である圧縮性を推定できるような試験装置を作ることなどは面白い。

試験の実施については，ある現場である目的に対し最も適したサウンディング方法が採択できるように，適確な指示を与え得る親切的な指針を準備すべきで，サウンディングに伴って試料土が採取される場合には，同時に実施する必要のある土質試験項目の指定も大切である。

試験結果の判定についてはまず信頼性のある実測結果を，わが国の土について豊富に集め，各種サウンディング方法の特徴や相互間の相関性の研究はもちろん，実際構造物の設計・施工と関連して測定結果の活用法を検討してゆかねばならない。この際深さによるロッドの重量やタワミ，地下水位の高さ等が測定結果に及ぼす影響もさらに研究して，測定精度の向上を目指す必要もある。

6. あとがき

以上は主として筆者の研究室で実施してきた各種のサウンディングの経験をもととして，実際に現場で地盤土の強さを判定するサウンディングに際して参考にして頂ければととりまとめたものである。終りに文献を参照させていただいた方はもちろん，現場で研究に当たった今村芳徳君以下の研究室の諸君の努力に敬意を表するとともに，一部データの提供を受けた大成建設株式会社に対しても謝意を述べる。(1959. 2. 20)

文 献

- 1) (a) K. Terzaghi and R. B. Peck: "Soil Mechanics in Engineering Practice", J. Wiley and Sons, New York, 1948 の p. 265 または (b) 小野・星桂・加藤・三木訳: 「テルツァギ・ベック 土質力学応用編」, 丸善, 1955 の p. 237
- 2) J. Vermeiden: Improved Soundings Apparatus, as Developed in Holland since 1936", Proc., 2nd Int. Conf. Soil Mechanics, Rotterdam, 1948, Vol. I, pp. 280-287
- 3) 三木五三郎: 静荷重および動荷重による貫入試験について, 土木学会第8回年次学術講演会において講演, 1952年5月 および 三木五三郎: 貫入試験による基礎地盤の調査, 土木学会第9回年次学術講演会において講演, 1953年5月
- 4) 稲田信徳: 軟弱地盤上の築堤, 土と基礎, No. 11, 1955年9月, pp. 4-16. 土と基礎のニュース: 昭和石油の四日市製油所建設に伴う土質調査, 土と基礎, No. 16, 1956年8月, p. 8. 手島・黒沢・長井・後藤: コーンペネトrometerの使用例, 土と基礎, No. 18, 1956年12月, pp. 4-10
- 5) 三木五三郎: 赤土台地における各種サウンディング方法の比較実験とその実用性の検討, 土質工学会昭和33年度シンポジウム論文集, 1934年2月, pp. 23-44.
- 6) 大崎順彦: 「建築地盤調査法」, オーム社, 1958年, p. 165
- 7) 室町忠彦: 貫入試験による地盤断面調査の実施例, 土と基礎, No. 30, 1958年12月, pp. 5-9
- 8) 室町忠彦: 原位置試験, 土と基礎, No. 16, 1956年8月, pp. 40-45.
- 9) G. G. Meyerhof: Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils, Proc., ASCE, Vol. 82, No. SM1, Paper 866, 1956, 19p.
- 10) (1a) p. 430 または (1b) p. 393 および Peck, Hanson, and Thornburn: "Foundation Engineering", John Wiley & Sons, New York, 1953, p. 222.
- 11) C. Vander Veen and L. Boersma: The Bearing Capacity of a Pile, Pre-determined by a Cone Penetration Test, Proc., 4th Int. Conf. Soil Mechanics, London, 1957, Vol. II, pp. 72-75.
- 12) 小川・手島・藤田・横田: 八郎潟におけるサウンディングについて, 土質工学会昭和33年度シンポジウム論文集, 1934年2月, pp. 45-54.
- 13) E. Schultze and H. Knausenberger: Experiences with Penetrometers, Proc., 4th Int. Conf. Soil. Mechanics, London, 1957, Vol. I, pp. 249-255.
- 14) P. Barentsen: Short Description of a Field-Testing Method with Coneshaped Sounding Apparatus, Proc., 1st Int. Conf. Soil Mechanics, Cambridge, Vol. I, pp. 7-10, 1936.
- 15) 室町忠彦: 粘性土における コーン貫入抵抗と一軸圧縮強度との関係, 土木学会誌, Vol. 42, No. 10, 1957年10月, pp. 7-12.
- 16) 三木五三郎: トラ フィカ ビリ ティー の判定法について, 建設の機械化, No. 94, 1957年12月, pp. 28-31.
- 17) 上田嘉男: スエーデン式サウンディングロッドについて, 土と基礎, No. 23, 1957年10月, pp. 9-12.

次号予告(4月号)

研究解説

高炉スラグ砕石を骨材として用いた 丸安 隆和
コンクリートの性質について 小林 一輔
水野 俊一
パラメトリック増幅器とその雑音指数 斎藤 成文

海外事情

ダム見学の記 岡本 舜三

研究速報

平板状に設けた堰による剝離流の熱伝達 橋 藤雄
堀 晃
嵌殺し窓の気密水密試験 勝田 高司
後藤 滋二
寺沢 達二
ファイバークトの遮音性能に関する実験 勝田 高司
後藤 滋二
寺沢 達二

正 誤 表 (2月号)

頁	段	行	種別	正	誤
表紙	2		目次	水銀スルホ サリチル酸	水銀サリチル酸
3	左	第1図	% 減量		% 減量
2 1	右	第2図 (横軸)	0 0.05 0.1	0 0.05 1.0	
"	"	第3図 (横軸)	0.15 0.20 0.25	1.5 2.0 2.5	