

砂質地盤におけるベーンセン断試験

かみ 谷 てい きち
神 いま の 貞 吉
今 野 誠**

1. ま え が き

ベーンセン断試験の方法は、まずスウェーデンで開発され、1928 年頃から実際に使用されていたといわれるが、広く世に発表されたのは 1948 年の国際土質基礎委員会の第 2 回大会である。そのときの報文の題名は乱されない粘土のセン断強さを求めるための回転式オーガーによる現位置試験法となっている。同国の研究によると、この試験方法は一軸圧縮や直接セン断などの試験方法に比べて深度の影響がよく現われることなど、スウェーデンにおける鋭敏比 5~12 の泥質粘土地盤のサウンディングには、最適のものであるとしている。また同じ頃、英国でも、フォース河の河口のチュウ積層の粘土を調べた報告がでている。この河口はエディンブルグに近い、奥深い入江にあって、おそらく前記のスウェーデンと同様なケースのものと想像される。いずれにしてもこの試験方法は、軟弱なチュウ積粘土質地盤のように、不かく乱試料の採取困難なところで開発されたもので、その後そのような地点でよく使用されているものであろう。

そこで筆者らも粘土質地盤で実施することを考え、当大学に近い総武線西船橋駅近くの地点を物色した。ここでは現在、総武線の拡張工事が行なわれているので、作業上の便宜が得られるであろうし、そのうえ土質とか工事について参考となるデータも得られるだろうと思ったからである。また、この付近はかつて海岸に近い水田地帯であったことから、かなり軟弱な粘土質の層があるものと予想したことにもよる。この試験にあたって終始協力して下さった西松建設株式会社の研究所と現場事務所の各位に深ジンの謝意を表したい。

2. 使用した試験機

試験機はオランダ式円錐貫入試験機、いわゆるダッチコーンの貫入機とセン断ベーンを組み合わせたものである。貫入方法はハンドルとウォームギヤーで押し込むもので、最大押し込み能力 2(t)、機械の高さは 190(cm)、下幅 70(cm)×70(cm)、総重量は約 200(kg)。ベーンポーラ

ーは二重管式で、ベーンの寸法は翼の幅 5(cm)、高さ 10(cm)、これを回転するには貫入用のハンドルに取り付けたワイヤで引張る。回転力は検力計(テンションリング)によって測定し、その最大値は 100(kg) である。回転アームの長さは 10(cm)、したがってセン断抵抗力の算



写真-1 ベーンセン断試験機

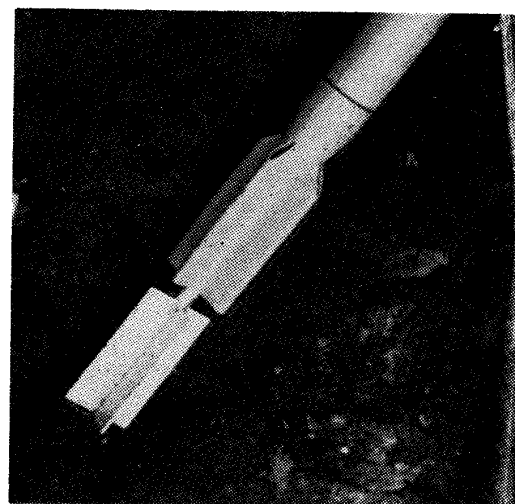


写真-2 セン断ベーン (十字翼)、左上は押し込むときベーンをおさめるさま

*日本大学生産工学部教授・工博

**日本大学生産工学部助手

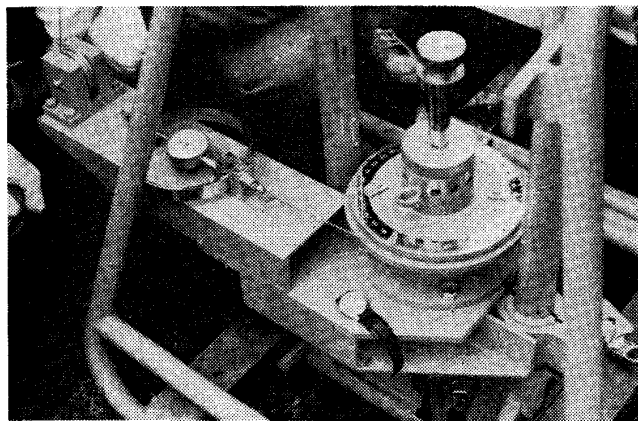


写真-3 ベーンを回転する力を測定する検力装置
式は $\tau = M/458(\text{kg/cm}^2)$, $M = T \times 10(\text{kg} \cdot \text{cm})$, T は検力計を引張る力。写真-1, 2, 3 に試験機の要点を示すが、この機械は製作所の設計によるもので、当研究室では特別な仕様を加えていない。

3. 試験地点付近の土質

江戸川は東京都と千葉県の間において東京湾に注ぐ河川である。この河口の左岸千葉県側の海岸に沿った第4紀層の地盤は、成田層とそのうえのローム層を基盤とし、その上部に江戸川より流出された河成タイ積層、さらに新しい東京湾(古東京湾に対して)による潮汐タイ積層を加えて構成されている。

この江戸川の河成タイ積層による三角州平野は河口より千葉方面に向かって帯状に分布し、やがて洪積層である北総台地が海岸にせまるところ、すなわち船橋付近においてその末端となる。総武線の路線はこの潮汐平野のすそをぬってはしり、海岸側は干拓されて京葉港といわれる地域を形成している。この地域の土質の分布は、東大生産研究所助教授三木五三郎氏がまとめた「京葉港の地盤」にくわしい。

これによると、西船橋駅付近の地盤は地表から深度10 m ほどが潮汐タイ積層で、これを上部砂層と呼び、 N 値は 5~30 である。一般に総武線の沿線では、この上部砂層の下が直接洪積層となるところが多く、ときにはその間に数mのシルト質の河成チュウ積層をはさむこともある。この層の N 値は 0~5 である。

今回の測定箇所は、総武線の両国駅起点 21.050 km の右側約 30 m の水田あとである。土質については、西松建設のサウンディング記録の柱状図(図-1)を参照することができる。これによると深度 10 m までチュウ積層の砂質土、それ以下は洪積層砂質土、その間に厚さ約 1 m の有機質粘土層がはさまれているとみられる。わずか先方の柱状図では上部砂層の間にレンズ状に、粘土質土のかなり厚い層があるので、あるいはこれが測定箇所まで発達しているかもしれない。

西船橋駅付近の土質を資料のうえで調べたところでは、このようであったが、しかし現場付近には、最近まで水田がみられたこともあるので、筆者らは表層にはかなりの厚さの軟弱層があるのではないかと予想した。ところが、ベーン試験を行なってみると、水田の床土と思われるものは 2.0 m たらずで、しかも土質は砂分が 60 %以上をしめるシルト質の砂質土で、その下はまえに述べた上部砂層になる。このようなわけで、軟弱な粘土質地盤を対象としたものが、意図に反して、砂質土によるベーンセン断試験を行なう結果となった。

4. ベーンセン断試験の測定値

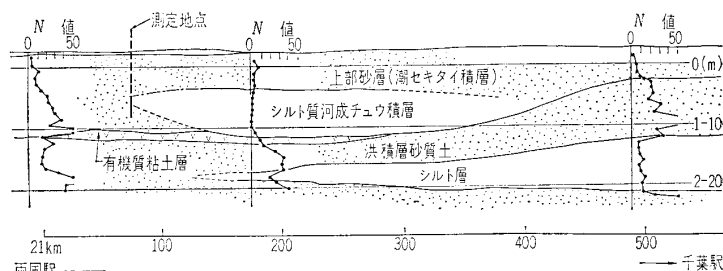


図-1 測定箇所の土質(西松建設の資料による)

試験はこの土質図を参考にして、深度 10 m まで実施する予定であったが、6.00 m ですでにアンカーが浮きあがり、押込み不可能となった。そこまでの回転角度と荷重の関係を深度別に整理すると図-2になる。

この測定値は各深度ごとに二通りのとり方がしてある。つまり、まずベーンをできるだけ緩やかに回転したときの検力計の読みをとる。ベーンは十字形に4枚あるから、完全にセン断するには 90 度回転しなければならないが、この装置では検力計の移動するあそびの関係から、90 度まで回転するには段取りがえが必要になる。しかし、ベーン間にはさまれた土塊がそのままおしまわれて 45° 以上回転すれば、セン断面はかなりできたものとみてよいであろう。そこで今回の試験では一応 70 度まで測定し、その間の最大荷重に当たるものから求めたものをセン断強さとした。つぎに検力計をはずして、ハンドルにてベーンを数回回転し、あらためて検力計をとりつけてセン断抵抗を測定すると、10度~20度で荷重はほぼ定値になる。このときセン断面は完全に形成されたものとみて、摩擦抵抗とよぶことにする。両者の値は表-7 である。

これを従来の測定値、たとえば土質工学ハンドブック(p. 350)に紹介されているスウェーデン Agnesberg の例に比べると、セン断強さは1ケタちがうほど大きく、摩擦抵抗でもなおかなり大きな数値である。この例はスウェーデンクレイといわれる鋭敏比のきわめて高い地盤のものであるのに対し、今回の試験地盤は $N=5\sim$

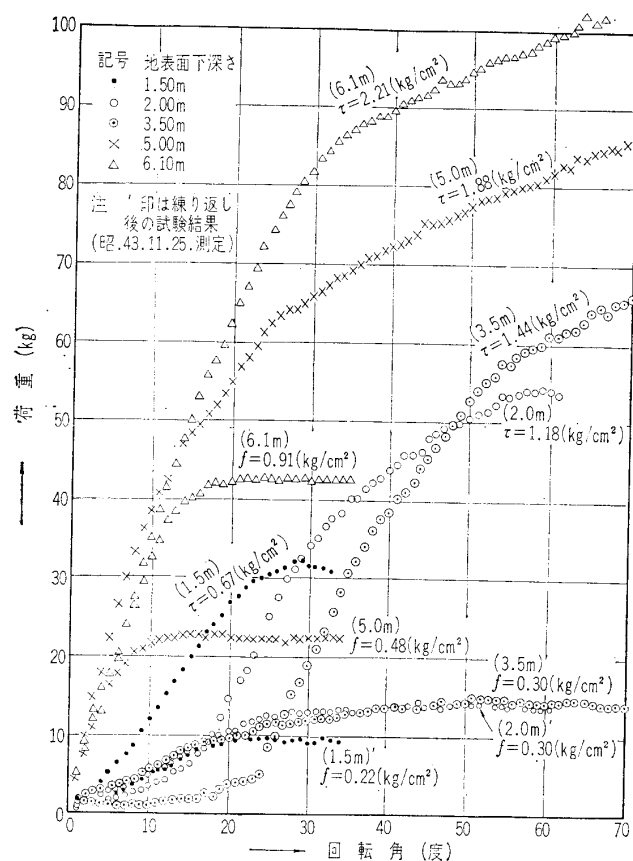


図-2 ベーン回転角～荷重曲線

表-1

深度 (m)	荷重 T (kg)	$M = T \cdot 10$ (kg·cm)	セン断強さ $\tau = M/458$ (kg/cm²)	完全セン断 後の荷重 T (kg)	$M = T \cdot 10$ (kg·cm)	摩擦抵抗 $f = M/458$ (kg/cm²)
1.5	31	310	0.67	10	100	0.22
2.0	54	540	1.18	14	140	0.30
3.5	66	660	1.44	14	140	0.30
5.0	86	860	1.88	22	220	0.48
6.1	101	1010	2.21	42	420	0.91

10 という強さの砂質地盤であるから、かかるちがいは当然のことであろう。しかし、この試験方法が前者のような地盤のために考案されたものであることを考えると、砂質地盤でえられた値ははたしていかなる意味をもつものか、検討してみる必要がある。

5. 摩擦抵抗 f とクイの支持力との関係

砂質地盤中に打ち込まれたクイは、先端の反力と周辺の摩擦力によって支持されているが、実用上は標準貫入試験またはスウェーデン式サウンディングによって推定される先端支持力値を設計条件として採用するのが一般である。この方法は安全側にあるからそれでよいが、たまたま試験地点のすぐそばにコンクリートグイが打たれていたの、測定値を使ってクイ打ちの抵抗値を試算してみると、摩擦抵抗が非常に有効にはたっていることがわかった。

このクイの径 25 cm, 長さ 7 m, コンクリートの厚さは 5 cm, コンクリートの実質の有効断面積は 314 cm²

である。JIS G 3536 の規定によるとコンクリートの 4 週圧縮強さは 180 kg/cm² 以上となっている。クイは 4 本, うち 2 本は頭がくだけているから, $180(\text{kg/cm}^2) \times 314(\text{cm}^2) \div 56 \text{ ton}$ 程度の打撃荷重がかかったものと推定してみる。

一方、西松建設のサウンディングによると、この上部砂層の深度 7 m～8 m の N 値は 20 程度である。支持力は 40 N の関係式をつかって、800 t/m², これはクイ先端断面積 492 cm² に対して 39 ton となる。打撃荷重からこの先端支持力を差引いたものはクイ周辺の摩擦抵抗によるとすると、側面の面積 5.29 m² で除して、0.32 kg/cm² となる。表-1 の f の深さによる分布を平均すると 0.4 kg/cm² であるから、この数値と符合する。静的な抵抗能力の最大値は摩擦抵抗も加えて認めうるとすれば、先端の抵抗力だけ考える場合に対してそれだけ安全率をたかめることができる。

この発想は、クイの材質、クイ打ちの施工について詳細なデータなしのものであるから、かなり無理と思うが、もしこういうことができれば、原位置の実測値だけを使うのであるから、もっとも信頼できる支持力の限界値を推定できることになる。

6. む す び

このように砂質土のベーンセン断試験によって得られた値のうち、摩擦抵抗はクイ打ちの抵抗と関連して一応の説明はできたが、セン断強さ τ のほうはうまい解釈がみつからない。そこで一つの試みとして、ベーンを回すときのセン断抵抗は受働土圧に対する摩擦力と粘着力との和であると考えてみる。

砂質土の受働土圧係数は、粘着力=0 とおいて、

$$K_p = \tan^2(\pi/4 + \phi/2)$$

ϕ はカク乱試料をかた詰にした状態 ($r=1.5 \text{ t/m}^3$) の摩擦角で、単純セン断試験による値として 40 度、

$$K_p = 3.0$$

受働土圧は $p = K_p \cdot r \cdot h$, 深度 1.5 m に地下水位とがあることを考えて、6.1 m 深度の数値を求めると、

$$p = K_p \cdot (3.0 + 4.6) = 3.0 \times 7.6 = 22.8 \text{ t/m}^2$$

この土圧に対するセン断抵抗は、

$$\tau = p \cdot \tan \phi = 22.8 \times \tan 40^\circ = 19.1 \text{ t/cm}^2$$

単純セン断試験では、0.2 kg/cm² 程度の粘着力が算出されたので、これを含めると 2.11 kg/cm² となり、表-1 の深度 6.1 m における τ に近い数値となる。

なお、試験にあたって東京大学生産研究所の今村芳徳氏より英国のベーン試験の新規格を複写していただいたことに対して厚く謝意を表します。

(原稿受付, 1969.1.27)