

早稲田大学理工学部 正員 森 麟
 佐藤工業(株)技術研究部 正員 ○石橋時男

1. まえがき

最近 ブラインドシールド工法が軟弱粘土地盤で、二三実施され、良い結果が報告されているが、本工法採用時の推進力については、現在経験的な数値しか得られていない。今回はその発生メカニズムを解明する目的で、小規模な模型を作成し、模型ブラインドシールドが軟弱粘土層に貫入する際の推進抵抗力を測定した。

2. ブラインドシールドの推進抵抗力

一般に、先端を完全に密閉したブラインドシールドを軟弱粘土中に入らせる時の推進抵抗力は、基礎地盤の破壊と同様な機構で生ずると仮定し、次式で表わされている。

$$Q_b = A (\gamma H + n c) \dots \dots \dots (1)$$

但し Q_b : ブラインドシールドの所要推力

A : シールド断面積

γ : 粘土の単位体積重量

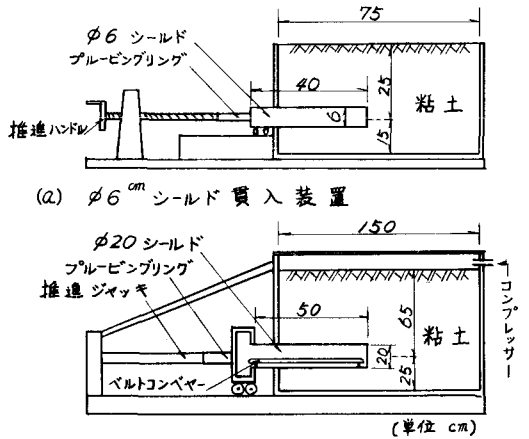
H : 地表面から測つたシールド中心深さ

c : 粘土の粘着力

(1) 式の n は 貫入時土中に生ずるスベリ面の形状によつて異なる値で、Terzaghi の円形基礎公式では $n = 7.4$ 、B.B.Broms 等⁽¹⁾ の文献では $n = 6$ 、伊藤氏⁽²⁾ の模型実験では $n = 4$ である。今回の実験では、図-1 に示す装置を用い、締固めて作った軟弱粘土中に直径 6 cm 及び直径 20 cm の円形ブラインドシールドを貫入させ、主に、シールドの断面寸法、土の種類及び上載土重量の相異による推進抵抗力の変化を調べることにした。

実験に用いた粘土は、東京深川の地下鉄工事現場で採取した沖積粘土 (LL=86% PL=45%)、南多摩で採取した関東ローム (LL=95% PL=53%)、及び市売のカオリン粘土、木節粘土である。実験結果の一例を図-2 に示す。貫入推力 P は推進直後、急激に増加するがその後は、貫入量 L に比例している。この直線部分の勾配 P/L は、シールド単位長さ当りの周辺摩擦抵抗力と考えられるので、直線の延長と縦線の交点を先端抵抗力 Q_b とした。

図-3、図-4 に直径 6 cm 及び 20 cm シールドの実験結果を示す。図中の値は 4 種の粘土を区別せずにプロットしたもので、先端抵抗力 Q_b/A が粘着力に比例して増加し、上載圧力に直接影響されていることが分る。図-3、図-4 の直線は測定値の平均的な所を結んだもので、(1) 式に従つて、先端抵



(a) $\phi 6$ cm シールド貫入装置

(b) $\phi 20$ cm シールド貫入装置

図-1 実験模型

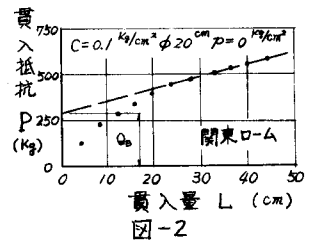


図-2

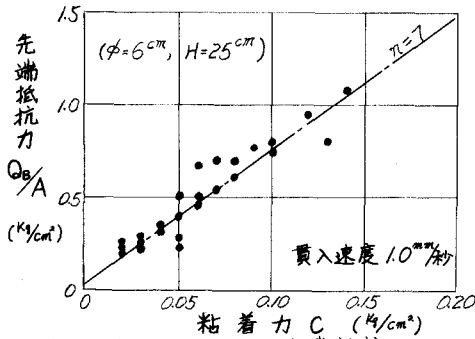


図-3 ブラインドシールドの先端抵抗力

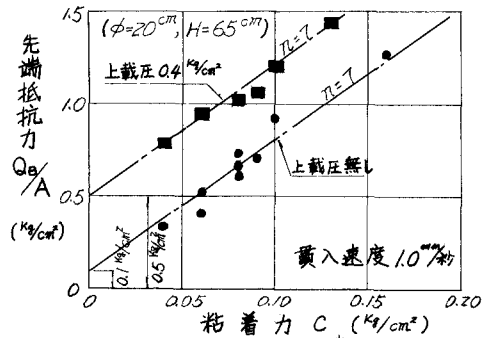


図-4 ブラインドシールドの先端抵抗力

抵抗力を求めると、ほぼ次式で近似できる。

$$Q_b = A (\gamma H + 7C) \dots \dots \dots (2)$$

実験値にはかなりのばらつきが見られるが、シールドの断面寸法、土の種類にかかわらず、(2)式が成立し、上載圧力の点も概略妥当であると云える。又実験から得られた n の値は Terzaghi, B.B. Broms の値に近く、 $n=7$ となり、実験で対象にした粘着力の範囲では、ブラインドシールドの推進力算定に、(2)式が十分適用できるものと考えられる。

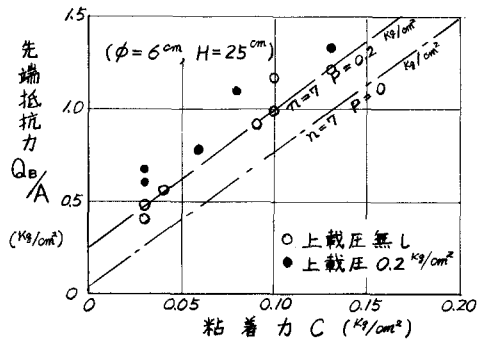


図-5 鋭敏粘土での先端抵抗力 (木節粘土+石膏, 貫入速度 1.0 mm/sec)

図-5は、人工的に粘土に鋭敏比 ($Sr > 6 \sim 8$) を与えて行つた実験結果を示したもので、図中の直線が(2)式に相当する。測定値は全て(2)式より上側で得られており、鋭敏比の高い粘土では、実際より大きい上載圧が作用している様に見える。貫入時に生ずる地表面のクラックも、締固め粘土の時に比べてはるかに多く、貫入に抵抗するスベリ面の範囲が地表面まで及んでいると推定できる。

3. 半ブラインドシールドの推進抵抗力

先端に開口を設けた半ブラインドシールドでは開口部から土砂の取り出しが可能で、その推力は、当然ブラインドタイプのものより減少すると考えられる。しかしながら、推進時シールド通過部分の土は一部のみが坑内へ流入し、残りは外側へ排除されるので、その推力の問題はかなり複雑になる。この問題を解明する第一段階として、今回は、図-6の如く、締固めて作成した直径20cmの円筒土中に、円形開口部を中心にした外径20cmの円板を 1mm/secの速さで貫入させ、シールド前方の土が全て坑内へ流入する時の抵抗力を求めた。図-7、図-8はこの結果を示したもので、流入抵抗力 F が粘着力 C 及び開口と貫入円板の半径比に比例していることが分る。実験値からこの関係を求めると、次式で表わせる。

$$F = 10AC \times \log R/r \dots \dots \dots (3)$$

但し、 A : 貫入円板(シールド)の断面積

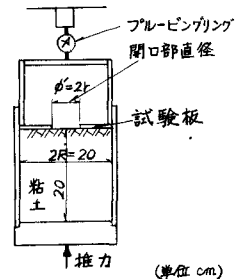


図-6 流入抵抗測定装置

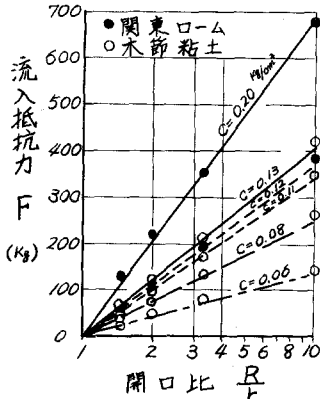
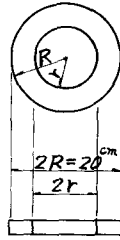


図-7 開口部の流入抵抗力



R : 貫入円板の半径

r : 開口の半径

(3)式は、図-9の如くシールド前方に土のコーンを仮定するときのスベリ面における流入土砂の仕事量(仮称)と貫入推力の仕事量の約合から求まる流入抵抗力に関する次式で、土のコーン角度 α を 45° とする場合に近い値を示している。

$$F = 9.2 AC \frac{1}{\sin 2\alpha} \log R/r \dots \dots \dots (4)$$

坑内への土の流入は、当然、それに要するエネルギーが最少となる様なメカニズムで行なわれると考えられるので、(4)式から判断して、シールド切羽に角度を付けても、その角度が 45° 以下であれば流入抵抗力は一定となる。図-10は、切羽角度を変えた時の流入抵抗力を示したもので $0^\circ < \theta < 50^\circ$ の範囲では流入抵抗力Fがほぼ一定で、(4)式の α を 45° にすることの妥当性を示している。図-11は、坑内に土取り出し用ロッドを付けた時の結果で、流入抵抗係数 R/AC がロッド長L及び内面の粗滑によつて大きく変化している。従つて、実際の工事ではなるべく開口を大きくし、内側ロッドで流入抵抗力を調節するのが得策と思う。以上測定した流入抵抗力と実際に半ブラインドシールドを

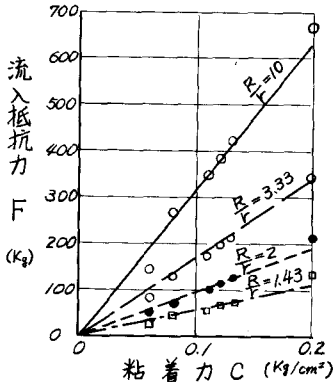


図-8 開口部の流入抵抗力

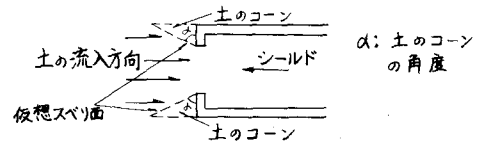


図-9 シールド切羽でのスベリ面の仮定

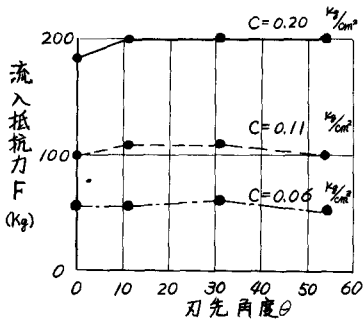


図-10 刃先角度と貫入抵抗の関係
($R/r = 2$, 木節粘土)

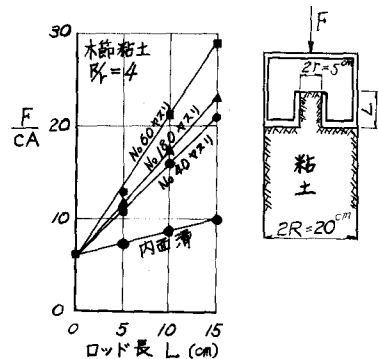
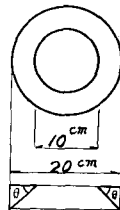
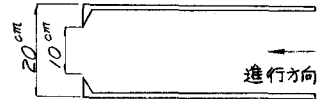


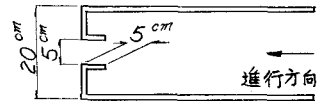
図-11 内側ロッドによる流入抵抗力の変化

貫入させるときの推進抵抗力との関係を調べる為、図-1(b)の装置を用い、図-12に示す半ブラインドシールドの貫入試験を行つた。実験結果を図-13図-14に示す。図-13よりこの場合の推進抵抗力 Q_s は、流入抵抗力 E/A が δH より大きくなると、ブラインドの推進抵抗力 Q_s にほぼ近い値を示し、 $E/A < \delta H$ では、開口による推進抵抗の減少は見られない。この関係はシールド貫入部の体積と流入土量の割合 m をプロットした図-14からも、明らかで、 $E/A < \delta H$ で m が急激に増加し $\frac{E/A}{\delta H} = 0.3$ 近くで $m = 100\%$ になる。以上の結果から、開口部の流入抵抗力 F は、半ブラインドシールドの効果のキーポイントで、特に、地表面の盛り上りを防ぐには、かなりこの値を小さくしなければならぬ。

参考迄に最近施工された半ブラインドシールド工事での実績を整理すると下表の通りで、必ずしも、今回の実験結果に一致しているとは云えないが、浮間の場合以外は、傾向的に見て近い値を示している。自然推積粘土は、一般に鋭敏比が高く、練り返しの効果が大きいので、実際の流入抵抗は、表の値よりかなり低くなると考えられる。



(a) 10型シールド



(b) 5-5型シールド

図-12 半ブラインドシールドの形状

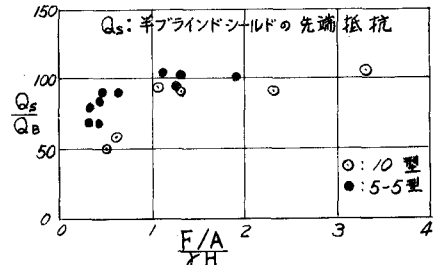


図-13 半ブラインドシールドの先端抵抗

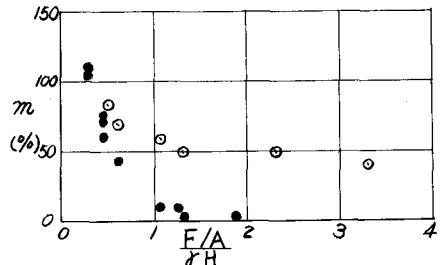


図-14 半ブラインドシールドの流入土量

現場測定結果

施工箇所	土被り量 δh (cm)	粘着力 C (kg/cm ²)	シールド半径 R (m)	開口部半径 r (m)	流入抵抗 F (t)	ブラインド抵抗 Q_B (t)	実測先端抵抗 Q (t)	流入土量 m (%)	$\frac{Q}{Q_B}$	$\frac{F}{A\delta h}$
浮間	16.8	2.0	2.26	0.32	272	494	100	90	0.20	1.00
江東	27.2	2.2	1.52	0.38	96	309	150	88	0.49	0.49
上板橋	14.7	2.1	1.60	0.95	38	236	176	100	0.75	0.32

参考文献

1. Proc. A. S. C. E. S. m. 1967-1, Vol. 93
2. 第23回年次学術講演会概要Ⅲ-100