

千葉工業大学 土木工学科 正員 足立一郎
 佐藤工業株式会社 中央技術研究所 " 石橋時男
 " " " 小嶋啓市

1. まえがき

最近、軟弱地盤におけるシールド工事で、切羽崩壊および地表面沈下防止工法として、ブラインドシールド工法が採用されている。しかし、本工法を採用する際の推進抵抗力の算定やブラインドシールドの推進力が地山に与える影響については不明な点が多い。今回ブラインドシールド工法を採用するにあたり若干の測定を行いましたので、その結果を報告致します。

2. 土質概要

工事箇所は、東京山の手台地を開析して流れた江戸川の開析谷にあたり、沖積層の軟弱な地層が10 m以上も堆積している。シールド通過部分の土質は、主として、非常に鋭敏比の高い、流動性に富む高塑性の青灰色海成粘土である。この軟弱粘土層の概略の土質性状を表-1に示す。

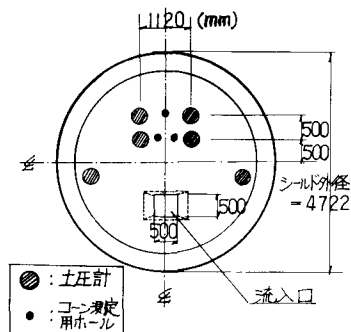


図-1 シールド正面概略図

3. シールドの形状

今回採用したシールドは、図-1に示すように、外径4722 mm、平均全長3975 mmで、中央付近に、500 mm × 500 mmの開口部（開口率1.4%）を持つブラインドタイプのシールドである。シールドの平均土被りは約7.5 mである。

日本統分類法による分類	CH'
単位体積重量	$\gamma_s = 1.45 \text{ t/m}^3$
自然含水比	$w = 110 \sim 120 \%$
液性限界	$w_L = 70 \sim 100 \%$
塑性指数	$I_p = 30 \sim 65 \%$
相対含水比(液性指数)	$w_R = 1.1 \sim 2.0$
一軸圧縮強度	$q_u = 0.25 \sim 0.60 \text{ t/cm}^2$
平均粘着力	$C = 2.2 \text{ t/m}^2$

表-1 土質性状

4. 測定項目

ブラインドシールドの推進にともなつて発生する推進抵抗力および地山の挙動を調査するため以下の測定を行つた。

(1) ブラインドシールドの推進抵抗力の測定

ブラインドシールドの推進時の全ジャツキ圧から全推進力を、また図-1に示す位置に設置した土圧計（直径20 cm、測定範囲0～8 kg/cm²）の値から先端抵抗力を求めた。

(2) ブラインドシールドによる地山の挙動調査

シールドの中心から3.7 m離れた位置に、深度14.5 mまで傾斜計測定用パイプを設置し、その傾きを測定することにより、ブラインドシールドの推進力による地山の挙動を調査した。また、図-1に示すコーン支持力測定孔やセグメント注入孔から地山に二重管式コーン支持力測定器を挿入してシールド切羽前方及びセグメント背面の地山の乱れを調査した。

その他、クレーンのロープに設置した5 t用張力計により、シールド推進にともなつて切羽の開口部から流入する土量を測定すると共に、地表面に設置した沈下測定用ポイントにより地表面の沈下の

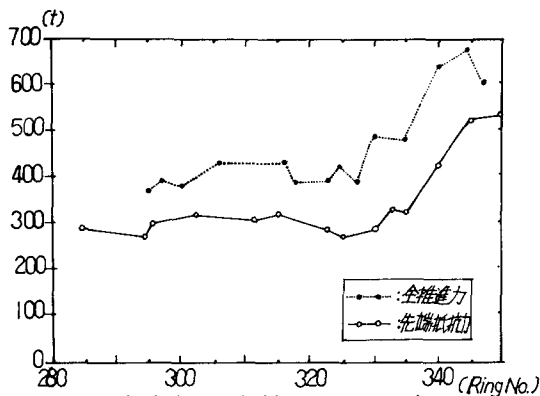


図-2 全推進力と先端抵抗力との比較

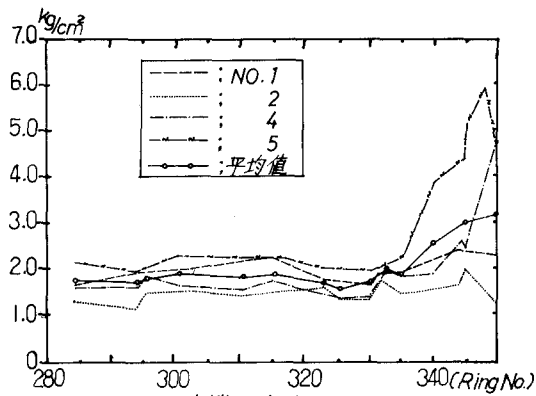


図-3 先端測定土圧

測定も行つた。

5. 測定結果

(1) ブラインドシールドの推進抵抗力の測定結果

シールド推進時の全ジャッキ圧から求めた全推進抵抗力の変化を図-2に示す。図-2によると、測定個所により少しバラツキが見られるが、全推進抵抗力は、最大430 t、最小390 t、平均410 t程度の値を示している。

シールド切羽に設置した土圧計から求めた先端抵抗力の変化を図-2、3に示す。これによると、先端抵抗力は、16.0～18.5 $\frac{\text{t}}{\text{m}^2}$ 、平均17.2 $\frac{\text{t}}{\text{m}^2}$ (約300 t)の値である。

しかし、到達堅坑に近づくにつれて、軟弱粘土層の厚さが薄くなり、その下の暗灰色のシルト質細砂層にシールドが貫入し始めると、全推進抵抗力およびシールド下部の先端抵抗力が増加し始めた。開口部から流入する土の砂分含有率が50%以上になると、シールド下部の先端抵抗力は60 $\frac{\text{t}}{\text{m}^2}$ になり、ブラインドシールドの推進は不可能となつた。

また、全推進抵抗力から先端抵抗力を差し引いたシールド周辺摩擦力は、約110 tとなり、 $T = 2\pi R L C = 2 \times 3.14 \times 2.36 \times 3.98 \times 2.2 = 130 \text{ t}$ (ここで、R；シールド半径、L；シールド全長、C；粘着力)と求まる計算値とかなりよい近似を示している。

(2) ブラインドシールドによる地山の挙動調査結果

(I) 傾斜計による測定

傾斜計による地山の挙動調査によると、シールド直角方向の変化は、図-4に示すように、シールドが測定位置の手前約15リングに達するまでは、顕著な変化が見られない。約10リング手前になると、シールド推進圧の影響により、変化が表われ始め、シールド後端が測定位置に達すると、シールド中央付近で、約1.0～1.2 cm左右に押し上げられている。しかし、シールドが測定位置を通過すると同時に、トンネルの方へ急激に、約0.8 cm引き戻された。その後、裏込め注入等の影響から、再度0.5 cm程度左右に押し上げられ、平衡状態に達している様である。

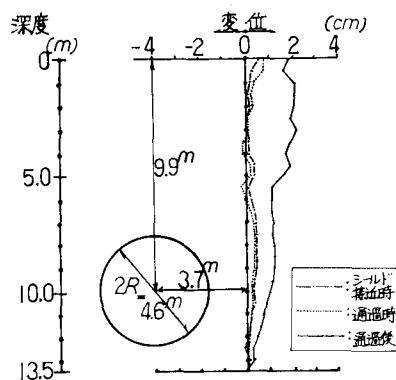


図-4 シールド側方地中変位

シールド推進方向の変化は、シールド直角方向の変化とはほぼ同様である。

(四) 二重管式コーン支持力測定器による測定

シールド切羽前方のコーン支持力の測定結果を図-5に示す。これによると、シールドの切羽から50～75 cm離れた地点でのコーン支持力は、各測定位置とも $q_c = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の値である。しかし、切羽から離れるにつれてコーン支持力は増加し、切羽前方2.0 mの地点では、地山本来のコーン支持力に近い $q_c = 2.0 \sim 2.2 \text{ kg/cm}^2$ が得られている。従つて、ブラインドシールドの推進にともなつて、切羽前方50～75 cmの範囲は、地山の粘着力が約 $1/2$ に減少することが明らかにした。

セグメント背面の地山のコーン支持力測定結果によれば、セグメント上半部では、セグメント背面から上方1.0～1.2 mまで、 $q_c = 1.2 \sim 1.5 \text{ kg/cm}^2$ であり、地山本来の値に比べると、かなり乱されていることが分かる。セグメントのスプリング位置および下半部では、裏込材の背後20～30 cm程度まで、測定位置によつては少し乱されている所もあるが、大半は深さ方向にあまり変化なく $q_c = 1.9 \sim 2.2 \text{ kg/cm}^2$ 程度の値が得られている。

(四) 開口部からの流入土量の測定

表-2に、1リング当りの設計土量と、シールド切羽の開口部からの流入土量との比較を示す。表-2によると、1リング当りの設計土量に対する実測流入土量の比は、95～102%、平均約98%と求まり、ブラインドシールドの推進によつて、概略、設計土量に等しい土量が切羽の開口部から流入したものである。

(四) 地表面沈下測定

ブラインドシールドの推進にともなつて発生する地表面の沈下状況を図-6に示す。図-6を見ると、シールド先端が測定位置の手前10リング程度に到達した時点では、地表面には明確な変状が認められないが、シールドの後端が測定位置を通過すると同時に、地表面に急激な沈下が発生し、約20リング移動する間に、シールド真上での沈下量は最大20～25 mmとなつた。また、地表面での沈下の発生範囲は、シールド中心線上から左右に約12 mまでであり、これはシールドのスプリング位置から約45°に広がった範囲と一致している。

(六) 考察および結論

(I) 軟弱地盤におけるブラインドシールドの適用について

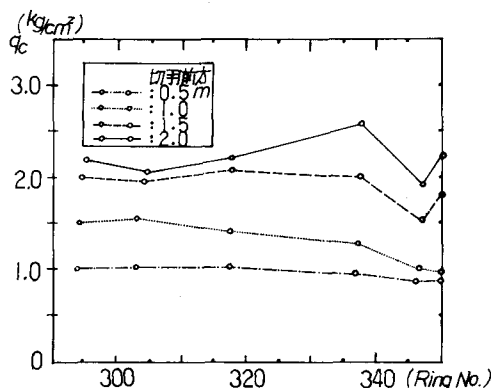


図-5 シールド前方の二重管式コーン値

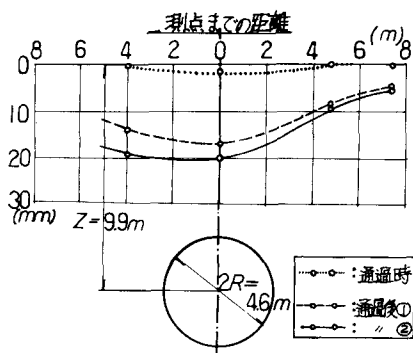


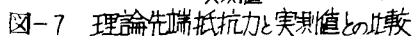
図-6 シールド周辺地表面沈下

$W =$ 設計土量 18.7 t

リング数	測定土量 W'	$W'/W \times 100$
327	19.0	101.6
328	18.6	99.5
333	17.8	95.2
336	17.8	95.2
338	18.7	100.0
343	17.8	95.2
平均	18.3	97.9

表-2 流入土量の測定

用した個所での安定比は $F=4.0 \sim 9.6$ という値である。従来、ブラインド工法は、B. Broms らのいう安定比が 6 付近であり、手掘りシールドでは、切羽の崩壊や大きな地表面沈下を起こす場合しかあまり適用されていなかったが、最近では、安定比 4.0 程度の個所でもブラインドシールド工法が採用され、成功をおさめている。従つて、安定比 6 以上であれば、ブラインドシールド工法を採用せざるをえないが、安定比 4 程度でも、地山の砂分含有率が 20% 以下で、三笠氏のいう鋭敏粘土であれば、ブラインドシールド工法の採用が可能であると思われる。

表-3 ブラインドシールド工法の実施例

完全ブラインドシールドの先端抵抗力は、B.Bromsらによつて発表されており、実験的にもその妥当性は確かめられている。 $Q = A \{ Pz + (6 \sim 8) Cu \}$

しかし、実際の工事に採用されているのは、切羽に開口部をもつセミブラインドシールドであり、完全ブラインドの場合と比較して、その先端抵抗力はかなり減少するものと考えられる。図-7に、実測先端抵抗力と、上式で粘着力の強度が $1/2$ に減少したと考えた場合の計算値との関係を示す。

参考文献

- 第 22 回 年次学術講演会 概要集 第 III 部 S. 42