

PSVI-2 地盤沈下防止のためのトライアル施工法

— 軟弱粘性土層における大断面泥水式シールド —

(株)熊谷組 正員 木戸 義和

(株)熊谷組 中沢 恒昭

1. まえがき

本工事は営団地下鉄8号線(有楽町線)延長工事、新富町～湾岸間約6.4kmのうち豊洲～辰巳間、東雲B線工区1470.7mを $\phi 7050\text{mm}$ の泥水式シールドを用いて行う単線トンネル工事である。

地質は図1に示すように、沖積世の有楽町層でN値1～3、一軸圧縮強度 $q_u = 1\text{kgf/cm}^2$ 、鋭敏比がきわめて高い軟弱粘性土層である。

本工区では三菱製鋼工場等の重要構造物下を通過するため、地盤沈下を極力なくすることが条件であった。しかし、泥水式シールド工法の掘進制御方法はほぼ確立されているが、本工区のように地盤が軟弱粘性土層の場合には実績も少なく、掘進条件と地盤挙動とのメカニズムが解明されていない。そこで、地盤挙動とそれに強い関連性をもつと考える施工要因(①切羽泥水圧力、②裏込注入と2次注入)との関係を把握し最適掘進条件を決定するため、発進部120m区間に計測区間を設け、トライアル施工を行った。

2. トライアル施工法

計測は地盤変位計、間げき水圧計等を図2に示すように設置して行った。

トライアル施工は、次の考え方に基づいて実施した。軟弱粘性土層ではトンネル掘進によって地山の初期応力状態のバランスをくずすと、せん断ひずみが発生し、圧密沈下が生じることが知られている。よって、地盤沈下を生じないようにするためには、施工中、地山の初期応力状態を極力保持することが必要である。

1) 切羽泥水圧力

従来、切羽泥水圧力は式(1)のように、地下水圧力を基準に管理されている。

$$P_{m1} = P_w + \alpha \quad (1)$$

ここに P_{m1} : 従来の切羽泥水圧力

P_w : 地下水圧力 α : 余裕圧力

しかし、軟弱粘性土層では、①透水係数が極めて小さいため、土と水を区別することは適切でなく、②切羽は初期応力状態に保つことが必要である。そこでトライアル施工では、切羽泥水圧力を土、水一体とした初期応力状態における水平土圧、すなわち静止土圧とし、その妥当性を確かめた。切羽泥水圧力は、式(2)より算定することができる。

$$P_{m2} = P = K(\gamma H + P_o) \quad (2)$$

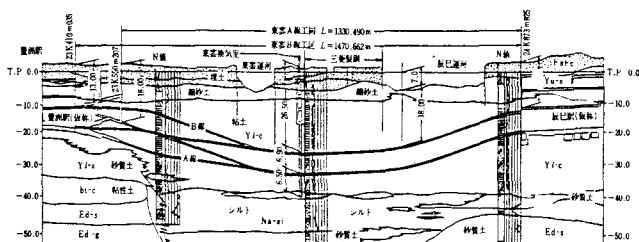


図1 東雲シールド 縦断面図

計測項目	計測箇所	計測方法	計測結果
層別注水量	7ヶ所	●	
水平変位計	5ヶ所	○	
間げき水圧計	1ヶ所	×	
B-1 層別注水量	各2ヶ所	■	
レベル測量点	143ヶ所	○	

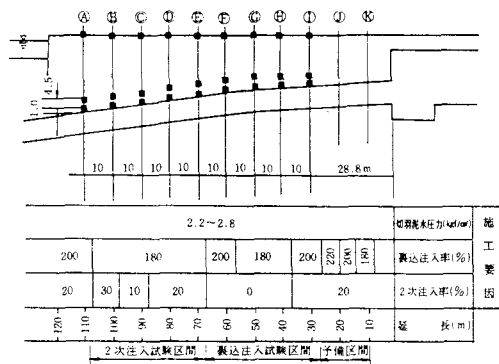
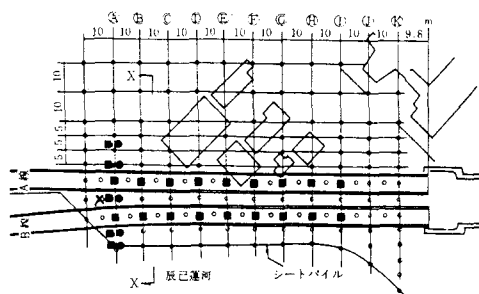


図2 トライアル施工一横断面図

ここに、 P_m : 切羽泥水圧力 P : 静止土圧 K : 静止土圧係数
 γH : 土水一体とした土被り荷重 P_o : 上載荷重

トライアル施工では、地山の性状を考慮して $K = 0.7 \sim 0.95$ で変化させた。

2) 裏込注入と2次注入

裏込注入はシールド背面の注入装置から自動同時注入方式により可塑性固結のエアモルタルを用いて行った。2次注入はトンネル上半周囲厚さ2m範囲にLWを用いて行った。両注入の注入率は実績等により次の範囲とし、地盤挙動との関係を求めた。

裏込注入率 180～220% 2次注入率 0～30%

以上に基づいて実施したトライアル施工の施工要因の変化フローを図2に示す。

3. トライアル施工結果と考察

図3に計測断面A、Dの切羽泥水圧力、裏込注入率と、その時のトンネル直上地盤変位状況を示している。これらの図から次のことが分る。

- ①切羽前の地盤は隆起傾向にあるが、その値は0～3mmである。
- ②シールド切羽通過後、トンネル直上1mの地山は10～15mm隆起している。
- ③テール通過後、地山は沈下現象を示すが、裏込注入率によって沈下現象に差がみられる。

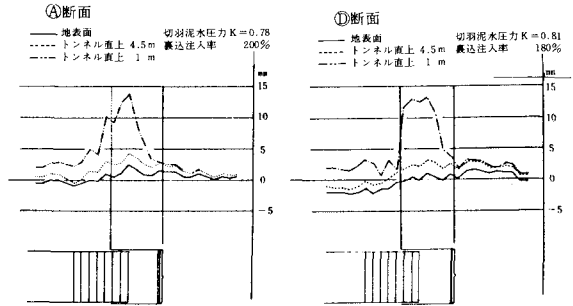


図3 地盤変位状況

1) 切羽泥水圧力

図4に各掘削リングごとの切羽泥水圧力（ K に換算）と逸泥量との関係を示した。図をみると $K = 0.8$ 前後を境にして、逸泥と余掘り現象の発生傾向が分る。よって、切羽泥水圧力は地盤変位も考慮にいれ、 $K = 0.8$ に相当する値が適切であると判断した。

2) 裏込注入と2次注入

注入の効果を判断し、最適注入率を決定するために、各注入率と地盤変位量の関係を表1に示し、式(3)を求めた。

$$Y = 27.9 - 0.114X_1 - 0.0071X_2 \quad (3)$$

$$R = 0.90 \quad (R: \text{寄与率})$$

ここに、 Y : 地表面沈下量 X_1 : 裏込注入率 X_2 : 2次注入率

同時に、各注入率における裏込注入圧力をセグメント全周にわたって測定した。その結果、注入圧力は静止土圧 $P = 2.5 \text{ kgf/cm}^2$ に対して $\pm 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ の変動であり、注入率差による注入圧力のちがいは認められなかった。

以上により、次のような判断を行った。

裏込注入率200%、2次注入率20%の場合にも、沈下が発生しているため注入率を増加させたいが、大幅な増加は注入圧力の増加をまねき、地盤に悪影響を与えることを考慮して、次の注入方法を決定した。

裏込注入率：220% 2次注入率：20% 注入圧力 < (静止土圧 + 0.5 kgf/cm^2)

4. あとがき

以上のようにトライアル施工を行い、最適と考える切羽泥水圧力と裏込注入・2次注入方法を決定し、その結果に基づきその後の掘進を行い、良好な結果を得た。三菱製鋼工場におけるトンネル直上地表面平均沈下量は5.4mmであった。御指導いただいた帝都高速度交通営団の関係諸氏に感謝いたします。

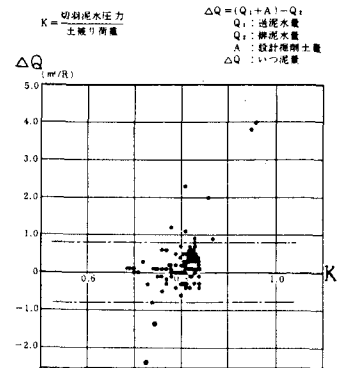


図4 切羽泥水圧力と逸泥量の関係

表1 トライアル施工・注入率と沈下量の関係

注入率%		沈下量 mm
裏込	2次	
200	20	5
200	0	5
180	30	7
180	20	7
180	10	8
180	0	7