

III-28 土圧系シールド施工の地盤解析と実測について

(株) 間組 土木本部 設計部 正会員 鈴木 正勝
(株) 間組 土木本部 設計部 正会員 〇竹之内 康昭

1. まえがき

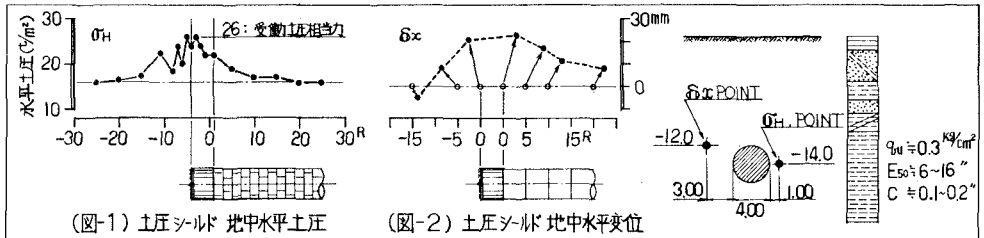
シールド施工による地盤変状の予測方法としては、現在のところ有限要素法が最も有効な手法として広く用いられている。有限要素法解析は、弾性解析からクリープ解析に至るまでいずれも地盤を要素に分割した連続体として取扱うものであり、2次元平面ひずみモデルでの素掘りトンネルを仮定した解析が行なわれる場合が多い。ここでは比較的簡易な手法で、土圧系シールド施工に対する地盤変状の予測を、より実際的に行なうために、従来より用いられている平面ひずみ解析に対して若干の補助的手法を提案し、結果に対し実測との比較を試みた。

2. 解析上の補助的手法

(1) 応力解放に対する提案

シールド掘進に伴う周辺（掘削断面側方）地盤の挙動を、実測データから考察すると下記のようなのである。

- ① 土圧計の実測による地中応力の変化は、切羽の接近につれて、初期地圧からほぼ受動土圧にまで上昇し、シールド通過後は徐々に初期状態へと回復する傾向がみられる（図-1）。
- ② 傾斜計が示す地中の水平変位は、切羽の接近につれて側方に押しやられるが、通過後は徐々に初期状態へと回復する傾向を示しており、全体的に地中応力の変化に対応した挙動がみられる（図-2）。



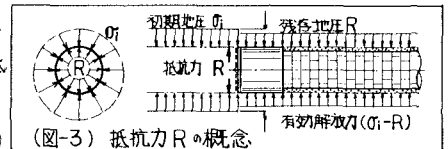
(図-1) 土圧シールド 地中水平土圧

(図-2) 土圧シールド 地中水平変位

シールド側方地盤に関する限り、平面ひずみモデルに相当する最終的な状態では応力解放現象は認められず、地盤は初期状態に回復する傾向にあり、掘進時の山留め機構が地盤変状に大きく影響していると考えられる。このようなシールド施工の特徴を解析で表現する場合、掘削面では、初期応力の解放が完全に行なわれると仮定するよりも、ある応力（残存地圧）が保持されると仮定する方が、より实际的であろう。

「素掘り解析」では、掘削自由面に「掘削相当外力」なる力を、内向きに載荷することで地盤の掘削行為を表現するが、この時「抵抗力」を逆向きに載荷する手法を提案する（図-3）。

ここで「抵抗力」の大きさが問題となるが、本解析では切羽での山留め機構が「抵抗力」に影響するものと考え、表-1に示す値を便宜上設定して2次元解析を試みた。



(図-3) 抵抗力 R の概念

(表-1)

掘進地盤	抵抗力 R
沖積砂層	静水圧相当圧力 ($R = \gamma_w \cdot h_w$)
シルト層	初期地圧相当圧力 ($R = \lambda \cdot \gamma_s \cdot h$)

本解析での有効解放応力は図-3に示すように「 $\sigma_i - R$ 」であり「抵抗力 R」は、シールド通過後の平面ひずみ状態でトンネル内壁に作用し地盤を抑えるのと同時に、反作用力としてセグメント部材や裏込注入材に作用する性質のものとする。

(2) 掘削断面下部地山の取扱いに関する提案

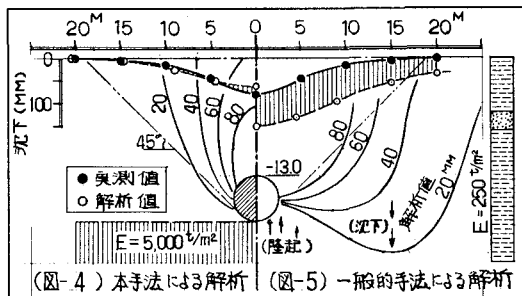
シールド施工に伴う地盤沈下は、一般に掘削断面から約 $45^\circ \sim 60^\circ$ の仰角範囲内で生じる場合が多い（図-4,5）。一方、解析が示す沈下は広範囲に及び、実際に近似するうえでもう1つの問題点を示している（図-5）。

図面に示す解析の沈下曲線が、掘削地盤の隆起に起因した側方領域での沈み込み現象により、広範囲な弾性変形を示しているのに対し、地中水平変位の実測（図-6,7）は、掘削下部地盤の等動が小さいことを示している。土圧系シールドの仏留め機構により、掘削下部での応力解放は解析値程顕著ではないようである。

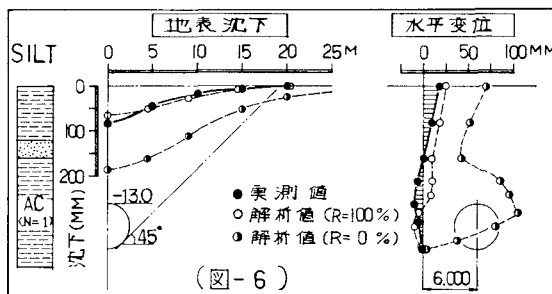
ここでは、実測に近似した挙動を弾性解析で表現するために、掘削断面下部の地盤を安定化する（大きな変形係数を用いる）手法を提案する（図-4）。

3. 実測に対する比較解析

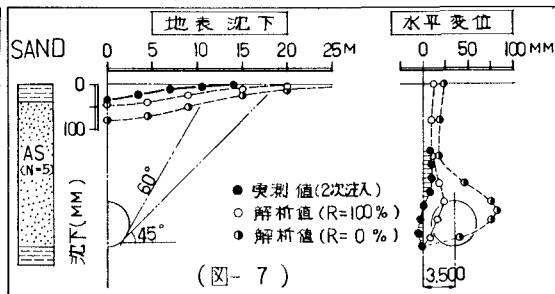
今回の提案に対する評価を行なうために、実測値との比較解析（材料非線形解析）を行ない、図-6~8に結果を示した。（変形係数 E_s の値は、LLT試験値・軸圧縮試験値 E_{50} を参考とした。）



(図-4) 本手法による解析 (図-5) 一般的手法による解析



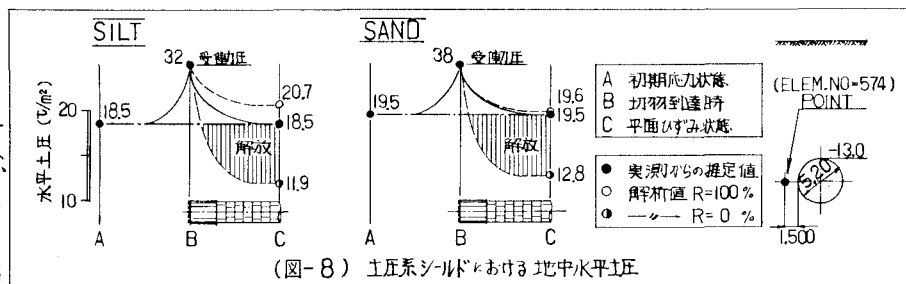
(図-6)



(図-7)

4. あとがき

シールド施工による地盤解析が平面モデルでなされる場合、地盤全体の挙動をより実際に表現するための手段を、軟弱



(図-8) 土圧系シールドにおける地中水平変位

地盤と土圧系シールドの実測データを基にして紹介してきたが、全体をまとめると次のようである。

①シールド施工の特徴を表現する方法として、平面モデルによる弾性解析に補助的手法（下記②③）を加味することで、地盤の変状予測や、近接構造物への影響などをある程度把握できると考えられる。

②〔第1の手法〕 シールドの仏留め機構を表現する手段として「抵抗力」を用いた解析は、地盤の全体的な挙動を近似するうえで有効であり、「抵抗力」の大きさは表-1の値が参考となろう。

③〔第2の手法〕 軟弱地盤での沈下状態や、その影響範囲に対して、「掘削断面下部地盤の変形係数を大きくする」という手法は、解析値と実測値との差を小さくするようである。ただし、この変形係数の割増量をどの位にとるかに関しては今後の問題である。

以上、今回提案した「抵抗力」は、平面なすみ状態においてトンネル内壁に作用している圧力を意味するものであり、解析は、この圧力がシールド通過域の地盤の変形に対しても100%有効に抵抗するものと仮定している。したがって切羽やナール部での崩壊現象など、掘削面での応力解放が著しく「抵抗力」が変形後の地山でなければ期待できないような場合には、「密封シールド」と言えども「素掘り解析」による結果が参考となろうし、本手法が残す問題点も多々あるといえる。