

III-699

ジャッキ推力による影響を考慮したシールド掘進に伴う地盤変位の予測手法

日本鉄道建設公団 東京支社 正会員 宮川 房夫

日本鉄道建設公団 東京支社 正会員 久保 泰文

日本鉄道建設公団 東京支社 正会員○町田 茂一

1. はじめに

シールド掘進による地盤変位の特徴は、シールド機の回りでの地盤変位の発生源が、切羽面での土圧のアンバランス、テールボイド部での緩み、シールド機推進時の鋼殻やカッタービットからの作用荷重など多様であるとともに、地盤変位がシールド機を中心に三次元的に広がり、しかもその分布がシールド機の進行とともに移動・累積していくことにある。したがって、シールド掘進による地盤変位を予測するためには、このような特徴の適切なモデル化が必要である。シールド掘進による地盤変位の予測手法としてこのような特徴を実際に近い形でモデル化ができるということで、有限要素法による三次元逐次解析などによる研究も行われているが、コスト面の問題もあり、設計実務上は地盤変位の発生機構をある程度単純化した二次元有限要素法による解析が広く行われている。

本報文は、著者らが関わった硬質地盤における超近接の単線並列シールドトンネル(トンネル外径8.1m, 水平離隔距離0.4~0.8m, 泥水シールド工法)の施工とその現場計測結果に対する事後解析¹⁾において、従来の予測手法では説明のつかなかった点に注目し、新しい予測手法を提案するものである。

2. 予測手法の基本的考え方

上述の施工において、後行シールド掘進により先行トンネルが押されて、トンネル断面が縦長に変形するとともに後行シールドから遠ざかるような水平変位が生じた。このような先行トンネルの挙動は、他の併設シールドの施工においても計測された例が多くみられ、この原因はシールド機推進時のジャッキ推力によるカッタービットの切羽面押さえ圧等が地盤に作用して、シールド機周辺の地盤を外方へ押すことと推測される。新しい予測手法は、図-1に示すとおり地盤変位の要因を主にジャッキ推力による切羽面押さえ圧によるものとテールボイド部の応力解放によるものとし、これらをたし合わせることで地盤変位量を求めることを基本としている。解析は、中山らの提案²⁾によるテールボイド部の緩みに着目した二次元有限要素法を用いた手法に、ジャッキ推力による押し広げ圧(作用荷重)の影響を加算することとしているが、シールド施工に伴う地盤変位の発生過程を一連の計算ステップの中で考慮できる点に特徴がある。

3. 解析手順

シールド掘進による地盤変位の予測解析の手順を図-2に示す。

STEP 2は、カッタービットの切羽面押さえ圧による地盤の押し広げ圧(作用荷重)を作用させた状態である。森らの研究³⁾によると、泥水シールドにおける切羽全体の安定はジャッキ推力によるカッタービットの切羽面押さえ圧によることが明らかになっている。このため、切羽におけるチャンパ内の泥水圧と地盤の土・水圧とのアン

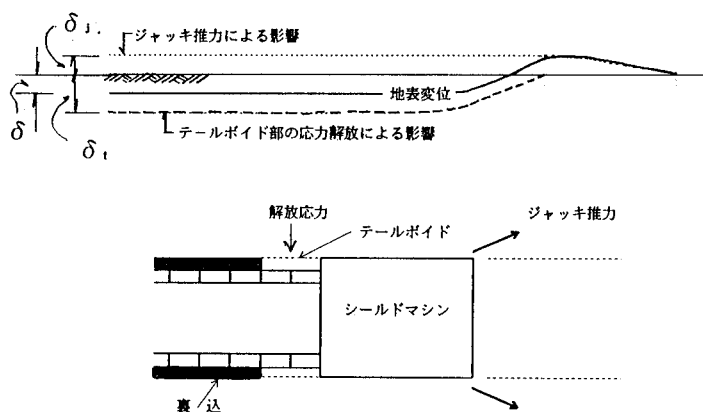


図-1 地盤(地表)変位の発生メカニズム

バランスによる地盤変位はとくに考慮しないこととした。作用荷重は、シールド機の鋼殻とカッタービットを介して作用するものを包括的にとらえて設定した圧力である。切羽前面の土・水圧に対してシールド機推

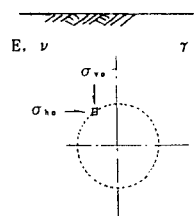
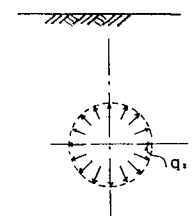
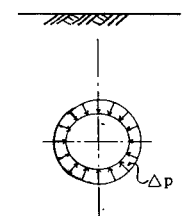
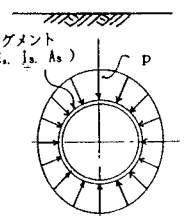
STEP - 1	STEP - 2	STEP - 3	STEP - 4
地盤初期応力状態	シールド掘進（その1） シールド掘進の作用荷重による影響の計算	シールド掘進（その2） テールボイド部の応力解放による影響の計算	セグメント設置・トンネル完成
			
・解析モデルに土の単位重量γを与えシールド掘進前における地盤内の応力を計算する。 なお、水平方向の応力は、 $\sigma_{v0} = K_0 \cdot \sigma_{v0}$ ここに、σ_{v0}：水平方向の応力 σ_{v0}：鉛直方向の応力 K_0：静止土圧係数	・トンネル切羽外周線に外向きの分布荷重（作用荷重）q_0を与える。 $q_0 = \beta_1 (P_1 - P_0) / A_s$ ここに、q_0：作用荷重 P_1：ジャッキ総推力 P_0：切羽内の静止土圧と静水圧の合力 A_s：切羽の断面積 β_1：作用荷重に関する有効率	・トンネル切羽外周線に解放応力Δpを与える。 $\Delta p = \beta_1 (\sigma - p_1)$ ここに、Δp：解放応力 σ：ステップ2における地盤内の応力 p_1：テールボイド部の有効圧 β_1：解放応力に関する有効率	・セグメントを線部材として組み込むとともに、セグメント設置後の作用土圧pをセグメントに内向きを与える。 $p = \beta_2 \cdot \sigma_{v0} - \Delta p$ ここに、p：セグメント設置後の作用土圧 β_2：セグメントの作用土圧に関する有効率

図-2 予測解析手順（単一トンネルの場合）

進時のジャッキ推力（後方台車のけん引力等を除く）が大きいほど、作用荷重は大きくなると考え、図-2のSTEP 2に記した関係式で定義する。式中の β_1 は、トンネル方向の荷重 $(P_1 - P_0)$ から作用荷重への変換や二次元有限要素法へのモデル化にあたっての諸々の要素を総括的に補正する係数であり、作用荷重の分布形状とあわせて今後詳細な検討が必要と考えている。

STEP 3は、テールボイド部における地盤の緩みによる地盤変位を解析するものであり、中山らの提案と基本的に同じである。ただし、地盤応力に対抗するテールボイド内の圧力は、切羽面の泥水圧と同一となるとは限らないと考え、裏込注入圧も考慮して設定することとし、テールボイド部の有効圧として定義する。なお、有効率 β_1 （中山らの補正係数 α に相当）については、中山らは硬質地盤に対して30～40%を提案しているが、本手法ではジャッキ推力の影響を別途考慮しているため、この値についても再検討の必要がある。

STEP 4は、テールボイド部の緩みに伴う周辺の増加土圧や長期的な増加土圧によるセグメントリングの変形による地盤変位を解析するものである。STEP 3における解放応力と最終的なセグメントへの作用土圧の差分をセグメントリングに作用させることとしている。長期的に地盤内のアーチング効果が期待できる場合には、緩み土圧との差分とすることなどが考えられるため、セグメントへの作用土圧は地盤の初期応力に有効率 β_2 を乗じることによって設定することとした。

4. 今後の検討課題

本予測手法の実用化にあたっての課題としては、①シールド掘進時のジャッキ推力による地盤の押し広げ圧（作用荷重）に関し、その大きさおよび分布形状②テールボイド部の緩みによる地盤変位を求める際の解放応力の大きさ（有効率 β_1 ）とテールボイド内の有効圧③上記2要因による地盤変位の累積の妥当性などの検討がある。これらの点に関し、三次元有限要素法によるパラメータスタディおよび現場計測結果との対比により検討を進めている。また、トンネル方向の地盤変位分布の予測への展開も考えている。

5. おわりに

シールド掘進による地盤変位の現れ方は、地盤条件、土かぶり、シールド形式、裏込注入状況などの施工条件により異なるため、一般的な予測手法を確立することは相当の困難を伴うと考えられるが、今後、上述の課題を一つずつ解決していくことにより、この分野の技術の向上に努力したい。

『参考文献』1)川口・久保他：土と基礎 1993.5 2)中山・中村他：土木学会論文報告集 第397号VI-9, 1998 3)森・森他：トンネルと地下 1993.5