

土圧式シールド施工による地山間隙水圧の変動に関する考察

鉄道・運輸機構 正会員 ○高田 正治 正会員 木村 宏
 (株)奥村組 正会員 岸本 章士 増井 仁

1. はじめに

都市鉄道つくばエクスプレスの建設に際して、常磐自動車道との交差部で直径 7.45m、延長約 300m の単線併設鉄道トンネルを外周離隔約 2m で構築するため、土被り 4~7m の帯水性砂層地盤においてスポークタイプのカッターを持つ土圧式シールド機により Uターン施工を行った。トンネル周辺地盤の間隙水圧は掘進中には上昇し、掘進を停止すると時間経過とともに低下することが計測された。本報告はこの間隙水圧の変動過程について分析するとともに、三次元浸透流解析によりシミュレーションすることにより、間隙水圧に変化をもたらす施工要因について考察するものである。

2. 間隙水圧の計測と変動

(1) 間隙水圧の計測 図-1 は高速道路交差部直下、土被り約 7.1m の地点において、シールド直上 2m の地盤鉛直方向変位計および先行シールドのセグメント部に設置した間隙水圧計の位置を示す。

(2) 間隙水圧の変動値 図-2 は後行シールド側（内方側）の間隙水圧計（225°~315 度位置）の経時変化を示している。切羽との距離により間隙水圧の上昇量が変化するとともに、シールドの掘進開始と共に上昇し、掘進が停止すると、ほぼ上昇前の値まで低下する状況を示している。この変動は概ね切羽前後の 30m 程度である。後行シールドに最も近い 270 度の計測位置では 0.04MPa（4m の水頭に相当）程度の増加値を示している。図-3 には後行シールドと反対側（外方側）の各位置（45~135 度）の計測値を示す。先行セグメントに遮断されて切羽の動きに伴う経時変動は殆どない。

(3) 間隙水圧の変動要因の推論 1 リング分の経時変化を図-4 に示す。これによると、掘進を停止すると間隙水圧は概ね 15 分間でいったん急速に低下したあと漸減し、その後約 3 時間でほぼ掘進開始前の静水圧と同程度になる。間隙水圧のこの急激な低下は「シールド推進圧力の除荷による消散」であり、漸減は「地盤への浸透による消散」を示しているものと推察される。

(4) 間隙水圧と地盤変位の関係 図-5 に後行シールド直上 2m の地中地盤変位を 270 度位置の間隙水圧と合せて示す。間隙水圧上昇時に地盤隆起、消散時に沈下を繰り返しながら、切羽到達前からテール通過後にかけて全体的には沈下を示した。

3. 三次元浸透流解析

(1) 解析モデル シールド掘進と停止に伴う地山の間隙水圧の変動をシミュレートする目的で、切羽の進行を考慮した三次元非定常浸透流解析を行った。要素分割を図-6 に示す。初期静水位はシールド天端+1m とし、掘進時には後

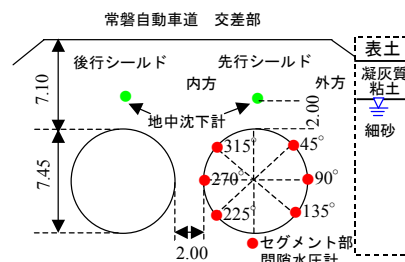


図-1 計測断面図

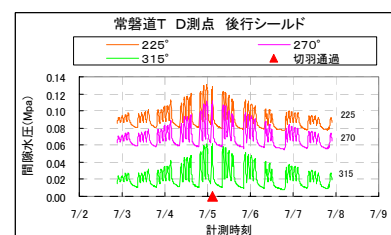


図-2 掘進と間隙水圧変化（内方側）

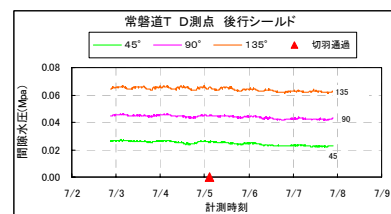


図-3 掘進と間隙水圧変化（外方側）

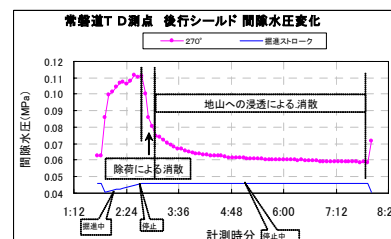


図-4 間隙水圧変化の詳細

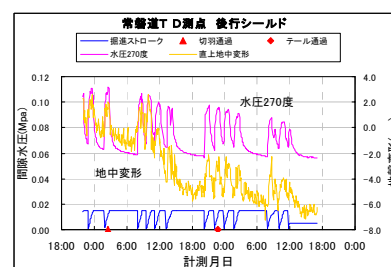


図-5 地盤変形と間隙水圧の変動

キーワード シールドトンネル, 土圧式, 間隙水圧, 三次元浸透流解析

連絡先 〒105-8434 港区西新橋 2-8-6 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 国鉄清算事業本部 tel 03-3506-2351

行シールドの切羽部に、「チャンバー内中央部泥土圧－初期静水圧」とほぼ等しい0.05MPaを均等に過剰水圧として与えた。また、シールド外周部（9m 区間）についても地山とマシンの隙間に切羽から水圧が回り込むことを想定して切羽部と等しい過剰水圧を与えた。停止時は初期静水圧を境界条件として与えた。シールド進行方向の両端は不透水境界、直角方向の両端は初期水位一定境界とした。シールドが通過する地盤は砂層で透水係数 $k=1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 、上部の表土および凝灰質粘土層は $k=1.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 、貯留係数はいずれも $S_s=0.001$ とした。セグメント長 1.5m の掘進を 1 時間、停止（セグメント組立）を 1 時間とし、4 リング掘進ごとに 4 時間の放置期間を置き、切羽が計測断面の 4 リング手前から、テールが通過して 4 リング経過するまでを 1 リング毎に切羽を進行させる逐次解析を行った。

(2) 間隙水圧の解析結果 図-7 に図-2 の測定点に対応する内方側の計算結果を示す。初期値は計算値の方が小さい箇所（225、270 度）、計算値の方が大きい箇所（315 度）があり、変動の振幅は計算値の方がやや小さく、また影響が出始めるタイミングは測定値の方が早く、影響が継続する期間（距離）も測定値の方が遅い時期までとなっている。外方側は測定値と同様ほぼ変動しない結果となった。図-8 は 270 度位置での間隙水圧変動の関係を 1 リング分について示したもので透水係数を変動させた感度解析を行ったもので、図-4 に対応する計算値である。間隙水圧変動は透水係数と非常に密接な関係が有り、今回想定した透水係数 $k=1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ は妥当な値と評価できる。今回行った解析結果が測定された間隙水圧挙動を比較的良く再現していることから、土圧シールドの施工に伴う帯水地盤内の間隙水圧の変動は、掘進に伴う間隙水圧の上昇・伝播と、停止に伴う浸透・消散により生じているものと考えられる。

(3) 地盤への浸透流量 今回の解析では境界条件として水圧既知境界を与えたので、解析結果としシールド機から地盤への浸透流量が計算される。今回解析した 14 リングの累積浸透流量を図-9 に示す。加圧時には地盤中へ水が浸透し、停止時には若干戻るような挙動を繰り返し、平均的には約 $6.5 \text{m}^3/\text{リング}$ の浸透流量となった。これは 1 リング分の掘削体積約 65m^3 の 10% に相当する数量であり、更に掘削体積の約 25% 程度の添加材を注入していることから、帯水性砂層を掘進に際して、地盤内の間隙水を一部押しのけ添加材と置き換えながら、地山をチャンバー内に取り込んでいるものと推察される。

4. おわりに

測定された間隙水圧挙動のシミュレーション解析として三次元非定常浸透流解析を行った。切羽およびシールド外周部に掘進時に過剰水圧、停止時に静水圧を設定することにより、測定された間隙水圧挙動を比較的よく説明できることがわかった。シールドの施工要因としてはジャッキ推力や泥土圧設定等他の要因もあり、これらの要因による水圧挙動の関係も検討していきたい。また、地盤の変位と間隙水圧は非常に密接な関係を示しており、有効応力の変動の観点から、地盤変位のメカニズムについて説明を進めていきたい。

【参考文献】1) 鉄道・運輸機構：常磐新線常磐自動車道 T に係る設計・施工技術の研究報告書，2001.3～2003.3

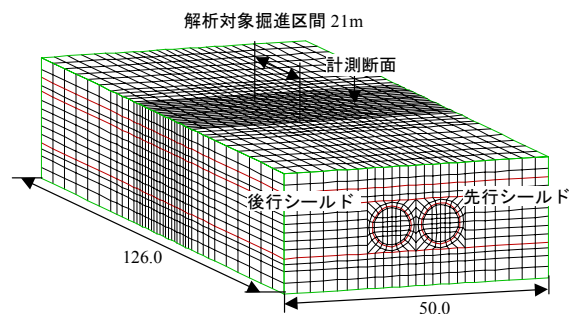


図-6 解析モデル

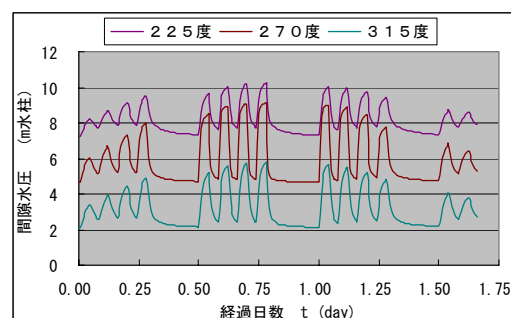


図-7 間隙水圧計算値（内方側）

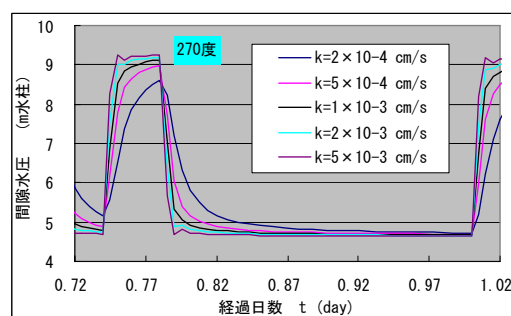


図-8 透水係数と間隙水圧変動の関係

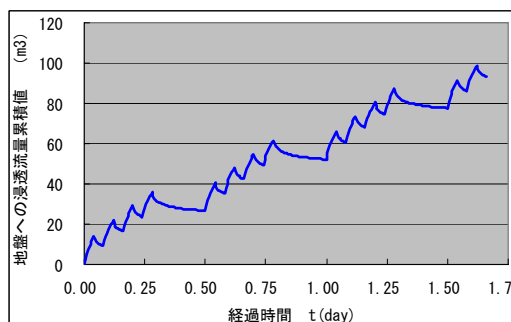


図-9 地盤への浸透流量