東海大学大学院	学生会員	吉橋	正勝
東海大学工学部	正会員	本間	重雄

1.はじめに

広域帯水層地盤において,シールドトンネルや共同溝など帯状に構築される連続地下構造物を施工する場合,特に被圧帯水層においては地下水環境に影響を及ぼす場合がある.すなわち,地下構造物の設置により 自然地下水流が堰き止められ,上流側では地下水位の上昇による浮力の増大やヒービングの発生,下流側で は水位低下による地盤沈下や井戸枯れなどの被害が発生する懸念がある¹⁾.近年,このような地下水流動障 害に対して地下水流動保全のための対策工法を検討しなければ状況が増えてきているが,帯水層中の構造物 の位置関係と障害の程度や対策工法による回復度合いについて定量的な把握を積み重ねる必要がある²⁾.本 研究では,被圧帯水層中に円形断面シールドトンネルが施工された場合を想定した室内砂モデル実験を実施 し,地下水流動障害の程度とフィルター設置による回復状況を調べるとともに,FEM解析を通じ地下水流動 保全工法の効果の確認を行った.

2.2次元砂モデルによる室内実験

実験装置は図-1 に示す前面ガラス張りの2次元矩形形水槽(幅 128cm×高さ75cm×奥行き20cm)で、この水槽内に豊浦砂(粒径0.106 ~0.425mm)を40cmの厚さに一定密度(e ≅ 0.74)で充填し、砂層中 央の位置に外径15cmのアクリル管トンネル模型を砂層上部、中央部、 下部と位置を変えて設置した、砂層の上部表面には厚さ1.5cmの工 作用油粘土を隙間無く敷き詰め、シリコンで密着させて被圧状態の 帯水層を再現した、砂層の左右にはスクリーンと給排の水位を調節 する装置が設置されており、実験では上流(左)側水位を60cm一定に 保ち、下流(右)側水位を55,50,45cm(H=5,10,15cm)の3段階に変 化させた水槽背面及び底面には10cm間隔でピエゾメーターが設置

図-1 被圧帯水層のシールド設置

されており,浸透水の水頭分布が測定出来るようになっている.模型表面はそのまま(無体策)の状態と,周 囲を厚さ2.5cmの透水性フィルター(粒径2.0~4.2mmの礫)で覆った状態(対策工法)について実験を行った. 図-2はトンネル設置位置が砂層中央部,上下流水位差 H=15cmのケースについて被圧帯水層内の水頭分 布を示したものである.図中の折れ線は,背面ピエゾメーターの読み取り値から内挿計算で求めた等ポテン シャル線を表している.無体策(a)の場合,トンネル周辺で等ポテンシャル線の間隔が縮まり流動障害が生じ

ていることが見てとれる.これに対してトンネル周辺に透水性フィ ルターを設置した場合(b)には、等ポテンシャル線は上流側から下流 側にかけてほぼ等間隔に並び,自然地下水流の状態に復元されてい る.充填砂の透水係数はk =1.8×10⁻²cm/s,フィルターの透水係数 はk_f=5.3×10⁻¹cm/sであるので、帯水層の約 30 倍の透水性を有する フィルターを構造物周囲に施すことにより、トンネル断面が帯水層 厚の 40%を遮断する場合でも、その流動障害を解消することができ る.近年、シールドセグメントの裏込め充填材に透水性材料を用い る対策がとられるが、地下水流動保全の観点から有効な対策と言え る.

図-3は構造物設置深さD(模型図心の砂層表面からの深さ)とシ ールド上下流側近傍のピエゾメーター(図-2のU,D点)位置で測 定された水頭差の関係を示したものである.無体策の場合,水頭差 はシールド設置深さの増加に伴い次第に増加していくが,フィルタ ーを設置した場合にはシールド設置前を若干下回る水頭差に低減さ れている.(D=30cmの水頭差が大きく出ているのは実験誤差と思わ れる.)



図-4は模型設置深さと 浸透流量の関係を示したグ ラフである.砂層内に構造 物が設置されることにより、 それが障害となって浸透流 量は設置前の状態の約半分 にまで減少する結果となっ たが,フィルターを施した 場合には設置位置が砂層中 央の場合に最も流量の回復 が認められた.

3.FEM浸透流解析

砂モデル実験では水頭値や流量の測定に若干の実験誤差が認めら れたので,実験状況を再現するFEM解析を行い,地下水流動の変 化を確認した、実験は構造物模型を中心に対し左右対称であるので 上流側半分を解析領域とし,領域を約200個の三角形要素に分割し て定常状態での解析を行った.砂層およびフィルターの透水係数は 実験値と同じ値を用いた.

(cm)

_4

左右の水顕差 3 3

嗸

喣

0<u>.</u>

水位差: H=15cm ---構造物設置前 → 構造物設置後 → フィルター設置

10

図-5(a)(b)は無対策時の等ポテンシャル線及び速度ベクトルの 分布を示したもので,等ポテンシャル線の間隔は模型周辺では給水 側の 1/2 程度に縮まるとともに,速度ベクトルの大きさは逆に約2 倍に増大している.模型中心断面における速度ベクトルと砂層断面 積からその位置を流れる浸透流量を算出するとq = 0.0422 cm³/s/cmとなり,実験結果とは若干相違する結果となった.フィル ター設置による対策工法施工時(図-6(a))では,等ポテンシャル線 は構造物模型に直交せず,それらの間隔も砂層上下部では全体的に 等間隔状態に戻されている.速度ベクトル(図-6(b))からは砂層部 には浸透速度にはほとんど変化なく,フィルター部に入って急激に 増大する様相を示す.したがって,フィルター設置による対策工法 を施すことにより被圧帯水層内の浸透流は構造物設置による影響を 受けることなく一様な流れの状態を維持することとなる. 無対策時 と同様,構造物設置位置での浸透流量を算出するとq =0.0744cm³/s/cmとなり,この値は構造物設置前および無対策時の流 量と等しい.しかし,同位置におけるフィルター部を通過する流量 は砂層部の約4.0倍に達し,砂層部の地下水はほとんど停留した状 態となる.すなわち,帯水層の浸透流量は砂層全体の給排水位差 Hによって決まるが,構造物やフィルターの設置により砂層内の流 れは局所的に大きく変化することが確かめられた.

4.まとめと今後の課題

本研究では, 被圧帯水層中に施工されるシールドトンネルによる 地下水流動障害を取り上げ,構造物の設置による浸透流量の変化と フィルター設置による対策工法の効果を室内砂モデル実験およびF EM浸透流解析を通じて検討した.砂モデル実験では,充填砂密度 の不均一性やフィルター表面に施した防護メッシュの抵抗等による

30





図-6(a) 等ポテンシャル線解析結果



図-6(b) 速度ベクトル解析結果

と思われる実験誤差が生じたが,FEM解析の結果の比較検討により流動障害と回復の程度をある程度定量 的に把握できたと思われる、今後は、帯水層とフィルターの透水係数比が流動保全効果に及ぼす影響を実験 および解析両面から検討する必要があるものと思われる.

【参考文献】1) 西垣誠 (財)エンジニアリング振興協会:地下構造物と地下水環境,理工図書,2002 2) 地下水地 盤環境に関するシンポジウム論文集,地下水地盤環境に関する研究協議会,2004 3)平野達之・本間重雄;帯状地 下構造物設置に伴う地下水流動変化に関する研究,第31回土木学会関東支部技術研究発表会,2004