

神戸市交通局	西部建設事務所	正会員	笠井 弘之
神戸市交通局	西部建設事務所		品川 澄男
佐藤・浅沼・新井	特定建設工事共同企業体	正会員	片岡 進
佐藤・浅沼・新井	特定建設工事共同企業体		井上 博司
佐藤・浅沼・新井	特定建設工事共同企業体	正会員	○市森 友明

1. はじめに

本工事（神戸市営地下鉄高速鉄道海岸線建設工事 駒ヶ林工区）は、単線並列トンネル（ $\phi 5400\text{mm}$ ）を泥土圧シールド工法（ $\phi 5540\text{mm}$ ）にて施工するものである。シールドトンネルは、地下高速道路を開削工法にて施工中の区間を通過する箇所があり、掘削工事に伴いシールドの土被りが浅くなるとともに、新設構造物への近接施工となる。本文は、この小土被り近接シールドの施工に関して、掘進に伴う地盤挙動の予測解析と掘進実績、並びに計測結果について述べる。

2. 施工条件と予測解析

開削工事（阪神高速道路公団施工）との交差部において先行シールドは、土被り約4.1mの小土被り施工となり、Uターン後の後続シールドは新設構造物底版下約1.85mでの近接施工となった（図-1）。

先行シールドの周辺地盤への影響と後続シールド施工時の躯体底版下部地盤挙動の予測解析を行った。解析は弾性2次元FEMを用い応力解放率を仮定する方法によるが、応力解放率は、過去の解析の実績等から10%とした。なお、地下道路躯体の影響は剛性を評価せず重量のみ考慮して分布荷重として作用させた。また、解析用地盤物性値および応力解放率の値は既往の実績から妥当と判断されるが、地盤のアーチング効果を期待できない小土被りへの本解析手法の適用には不明な点があるので、安全側の配慮として、トンネルスプリングラインから45度上方の範囲をゆるみ範囲として変形係数を低減した。変形係数としては、初期値、初期値の1/2、同1/3の3ケースとした。

先行シールド施工時には、変形係数を低減した場合において地表面で3.1mmの沈下が発生する。後続シールド施工時には、底版下部に10.1mmの空隙量が発生する（図-2）。この空隙は、薬液注入等により充填し躯体の安全を確保するが、この空隙の規模の事前の定量的な把握と確認が、施工管理上重要であると考えられた。したがって、先行シールド施工時における地盤変位と施工要因の関連を把握し、後続シールド施工時にフィードバックする必要性があった。

3. 先行シールドの掘進管理実績と計測結果

図-3に先行シールドの掘進管理実績を示す。先行沈下の要因となる切羽土圧に関しては、一般的に「主動土圧～静止土圧（+水圧）」の間にあると想定されるが、今回は沈下を極力抑えることに留意し、やや高めの静止土圧相当（ 1.4kgf/cm^2 ）で制御した。後続沈下の要因となる裏込注入は、地山に作用する圧力上限を、 2.5kgf/cm^2 に設定し、ゲージ圧上限を 3.5kgf/cm^2 として制御した。（※セグメント位置での注入圧は、ゲージ

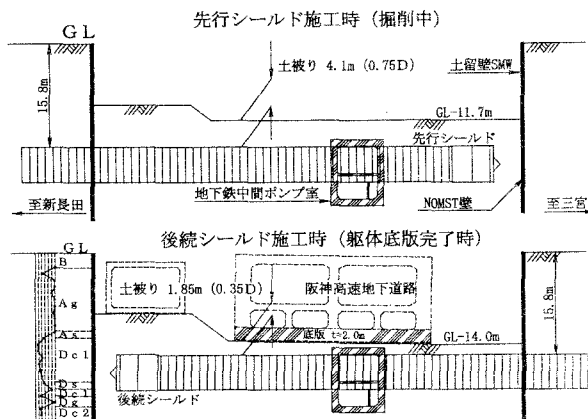


図-1 施工概要図

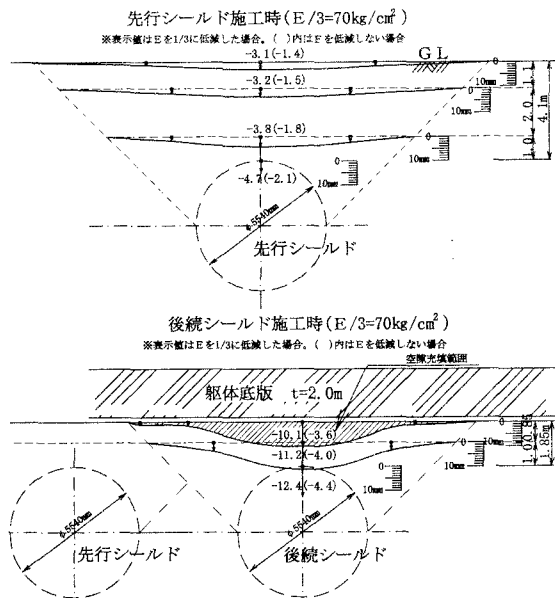


図-2 予測解析結果

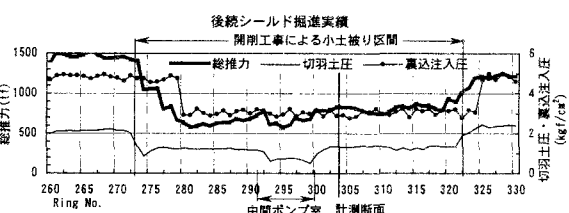
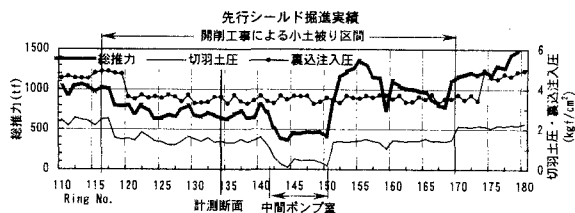


図-3 シールド掘進実績

圧に対して 1.0kgf/cm^2 程度落ちることが経験的に確認されている。)

図-4に地盤計測結果を示す。シールド直上での地盤変位(B2-1, 2, 3)をみると、切羽到達5m手前から1mm程度の先行隆起傾向が見られ、通過中は相対的に沈下傾向を示している。テール通過手前からは、裏込注入の影響による隆起傾向を示し、通過後7m付近でピーク値(4mm)を示し、その後トンネル直上1.0m(B2-3)は約3.5mm地表面(B2-1)は3mm程度の隆起となった。変動幅は、トンネルに近接した測点ほど大きく、過去の計測実績等と同様の傾向を呈している。トンネル側部(B1-1~4)は1mm前後の隆起傾向を示し、地表面に近い測点ほど隆起が大きい。

4. 後続シールドの掘進管理実績と計測結果

先行シールド施工時の隆起側の地盤挙動を考慮し、切羽土圧は「底版荷重+静止土圧」(1.4kgf/cm^2)より若干低めの $1.2\sim 1.3\text{kgf/cm}^2$ で制御し、裏込注入圧は、隆起と躯体底版の外力による応力増加に留意し、ゲージ圧上限を 3.0kgf/cm^2 (セグメント位置で 2.0kgf/cm^2)で制御を行った。(図-3)

図-5に計測結果を示す。トンネル直上1.0m(A2-2)では、切羽到達後に1mm程度の沈下傾向を示し、テール通過後に1.4mm程度の隆起を示した。底版下(A2-1)ではテール通過時から隆起傾向を示し、最終値は0.4mmの隆起となった。先行シールド時に比較し、切羽到達

前・テール通過後ともに変動が無いが、これは上部を底版により拘束されているためと考えられる。また、底版内に設置した鉄筋応力計は、シールドの施工荷重による応力増加は見られず、隆起も発生しなかった。トンネル側部(B2-0, 2, 3)においては、切羽到達からテール通過にかけて1mm程度の沈下傾向を示した。先行シールド施工時に地盤のゆるみが発生している部分であり、並設シールド間特有の地盤挙動を示したといえる。

5. まとめ

今回の施工において、予測解析で想定された、底版下の空隙の発生を防ぐことができた。また、底版本体の隆起・クラック・内部応力増加等も見られなかった。先行シールドの計測結果を的確に後続シールドにフィードバックした、情報化施工を行ったことが要因と考える。その他の要因として、今回の施工は小土被りではあるが、比較的深度が大きく、周辺地盤が洪積層であったことが想定される。一般的な地表面付近の沖積層や軟弱地盤であれば、今回のような比較的大きめの施工時荷重による隆起側の挙動は、地盤のゆるみを発生させ、将来的に大きな後続沈下につながる可能性があると考えられる。

しかしながら、都市部の輻輳する地下構造物の中で、今後トンネルを新設するに際し、今回のようなケースは必然的に発生すると考えられる。今回のケースが、そのような類似工事の参考になれば幸いと考えている。