

パドル・シールド工法の開発

金丸 清人

昨今、都市内では輻輳する埋設物や、小土被りといった厳しい施工条件、また、トンネル断面をより有効に活用するために、矩形断面のシールド工法へのニーズが高まっている。しかし、矩形シールドは地山を掘削するカッタが矩形端部まで掘削するため複雑な機構を採用するなどコスト的にも高価であった。そこで、汎用品の使用や機構の単純化を図った横置きカッタを採用し、また上段カッタのスライド機構により小土被り部分での地表面変位を抑制出来る、パドル・シールド工法を開発し実証試験を行った。本稿はこの概要を報告するものである。

キーワード：密閉型土圧式矩形シールド、アンダーパス、シールド工法

1. はじめに

近年、都市内において道路トンネルのアンダーパスやランプを築造する場合、小土被りでの施工や、埋設管等の支障物による制約から、トンネル断面をより有効に活用出来る矩形断面非開削トンネル施工のニーズが高まっている。

この度、軟弱地盤に対応する矩形シールド工法として、多段式軸付き横配置カッタを採用した「パドル・シールド工法」を開発し、神奈川県で実証試験を行った。パドル・シールド機(以下、シールド機と記載する)は、上段カッタのスライド機構により、小土被りでの施工条件下で上方地盤の先受け効果が期待出来、地表面変位を抑制出来る特徴をもつ。また、カッタも汎用品の油圧モータや減速機を使用しているため、シールド機の製造コストや製作工期を大幅に短縮することが出来た。

実証試験に用いたシールド機は新たに製作した縦横2.1 mの正方断面形状で、実際の施工に合わせ裏込注入設備、滑材注入設備、作泥材注入設備を装備した。地下水位以下の軟弱地盤を対象としたが、一般の密閉型泥土圧式円形シールド機と同様な掘削管理が出来、地表面変位の抑制効果のあることも確認された。

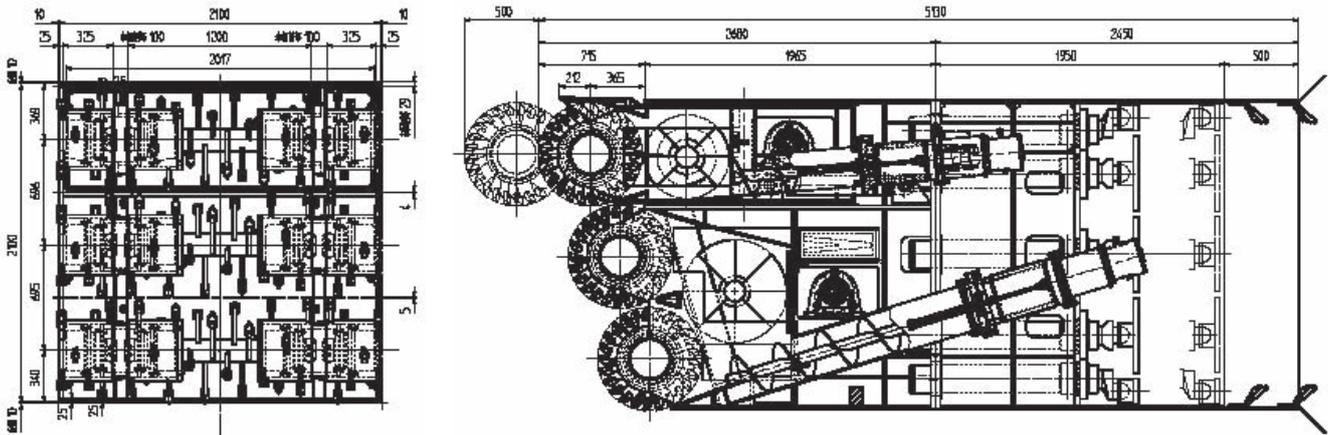
本稿は工法の概要、及び実証試験工事の概要を報告するものである。

2. 工法の概略

(1) パドル・シールド機

シールド機は、多段式(3段)横配置カッタ構成とした。上段カッタ背面にはパドルスクリュウ、排土用のスクリュウコンベアが上段用のチャンバーに装備されている。パドルスクリュウとは、掘削土と作泥材との攪拌を行う、独立した機構である。これにより掘削土の塑性流動化をより確実に促進することが出来る。上段カッタはシールド方向に500 mm摺動しながら掘削する。これは地表面により近い部分の掘削断面積を小さくすることにより地表面変位を抑制し、先受け効果も同時に発揮する。中下段カッタ背面には1台のパドルスクリュウ、1台の排土用のスクリュウコンベアが中下段用のチャンバーに装備されており、シールド機に装備されているシールドジャッキにより既設セグメントに反力を取り、シールド機鋼殻とともにシールド方向に500 mm掘削する。なお、カッタには各段4台の油圧モータと減速機が内蔵されており、これらが補強フレームに直結され回転する。また、各々独立したチャンバー内には上段2箇所、中下段4箇所の土圧計が装備されており、カッタ、パドルスクリュウにより掘削、攪拌され塑性流動化した土砂は、適切な土圧管理により地山保持される。さらに、加泥材としては気泡を用い、鋼殻4面には1箇所ずつ滑材注入孔を装備している。

なお、今回の実証試験では奥行き500 mmの1,966 mm × 1,966 mm 矩形スチールセグメントを使



図一1 パドル・シールド試験機

用したため、1リングの掘進長は500mmとしている(図一1参照)。

に1工程で掘削することも可能である。このように求められる条件に合わせて掘削方法を選択出来る利点を有している(写真一2参照)。

(2) 掘削方法

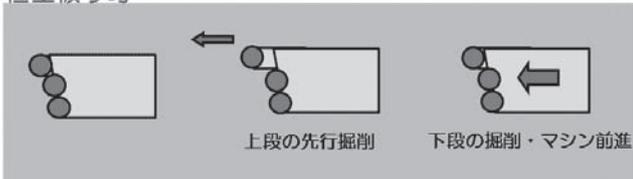
低土被りによる地上変状防止を図る場合には、図一2低土被り時に示すように上段カッタの先行掘削を行い2工程とする(写真一1参照)。

また、十分な土被りが確保出来る場合は図一2通常時に示すように上段カッタを格納し、3段とも同時

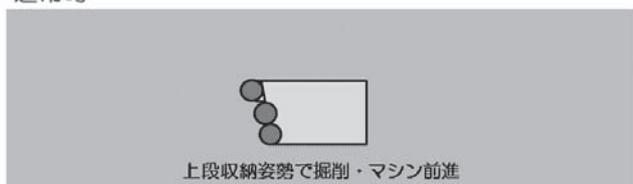


写真一2 上段カッタ格納時全景

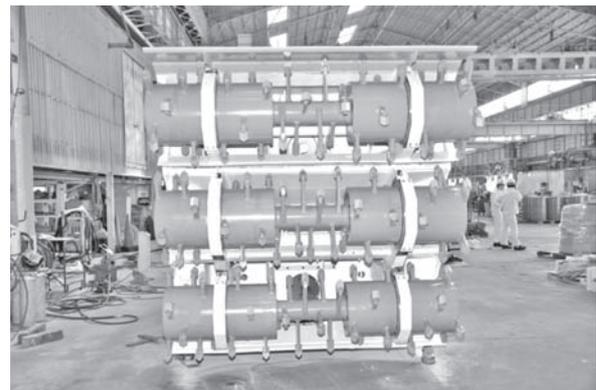
低土被り時



通常時



図一2 掘削方法



写真一3 カッタ前面



写真一1 上段カッタ掘進時全景

3. 実証試験

(1) 概要

以下の確認を行うために神奈川県海老名市の民地内にて実証試験を行った。

- ・従来の土圧式シールド機と同等の掘削性能の確認
- ・低土被り掘削時、周辺地盤への影響抑制確認

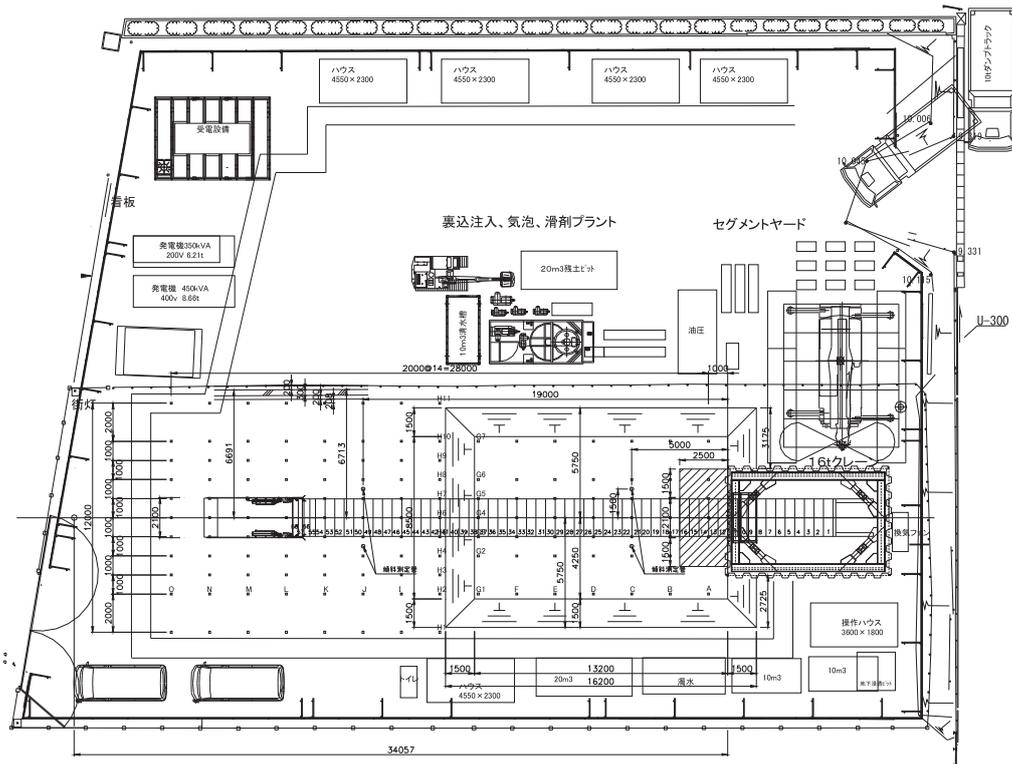


図-4 現場平面図

土された（写真—5 参照）。また、滑材もシールド機の滑材注入孔より均等に注入し、シールド機鋼殻上面の摩擦低減に努めた。しかし、今回は実証試験であることから中折れ装置をシールド機に装備していないため、縦断曲線の下り5%から水平への勾配変更では、シールド機の下方ジャッキで片押しする掘進となった。今後、実施工においては中折れ装置の装備が必須であると考えられる。また、シールド機の断面形状が矩形であるということから、円形断面のシールド機に比べシールドジャッキの選択変更によるシールド機の姿勢が敏感に変わらないという特有の傾向が認められた。

(6) 計測結果

計測結果を以下に示す。

(a) 地上変状

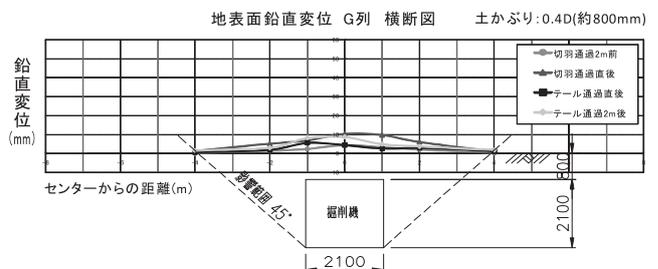
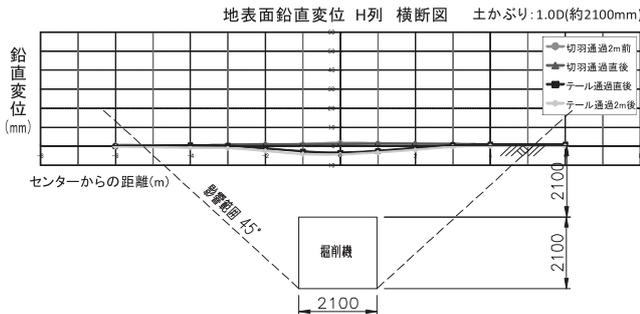


図-5 地表面鉛直変位（土被り0.4D）

土被りが0.4D（D：シールド機高さ）約800mmでの地表面鉛直変位を図-5に示す。これより切羽通過前2mよりテール通過後2mの全範囲において約10mm以内であり、シールド機下方より45°の影響範囲外では数mmの変位に収まっている。次に土被りが1.0D約2,100mmでの地表面鉛直変位を図-6に示す。同様に地表面鉛直変位は極小に収まっている。これより低土被り掘進時の周辺地盤への影響の抑制効果が確認された。



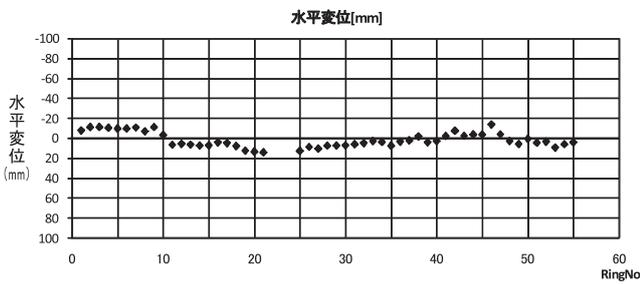
写真—5 排土状況



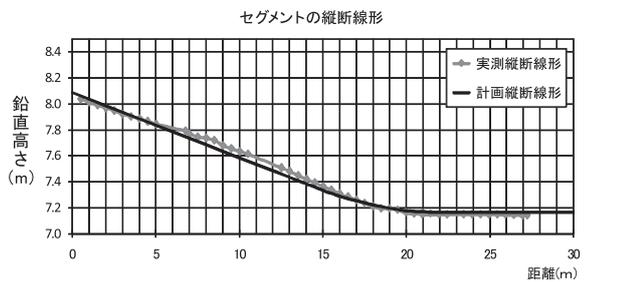
図一六 地表面鉛直変位 (土被り 1.0D)

(b) 線形制御

セグメントの水平、鉛直変位を計測した結果を以下に示す。



図一七 セグメント水平変位



図一八 セグメント鉛直変位

これより、従来の土圧式シールド機と同等のパドル・シールド掘削性能が確認出来た。

4. 本工法の適用性

今回の実証試験によりパドル・シールド機が一般の円形土圧式シールド機と同等の掘削性能を有し、さらに低土被り掘進時の周辺地盤への影響の抑制が確認された。これより、2車線一般国道 (横 8 m × 縦 6 m) 規模の矩形断面トンネルへの適用は十分可能であると考えられる。

5. おわりに

矩形断面シールドトンネルのニーズは道路や通路だけでなく、電力やガス、地域冷暖房等のユーティリティー管路にも、断面が有効に利用でき点検通路の設置が可能となるなどメリットが大きいため、大きなニーズがあると考えられる。

筆者らは本工法実績の蓄積により施工性の一層の改良・改善を行うと共に、社会インフラ整備に貢献して行きたい。

最後にパドルシールド機の開発、実証実験に多大なるご協力をいただいたカヤバシステムマシナリー(株)に感謝を申し上げます。



【筆者紹介】

金丸 清人 (かねまる きよと)
清水建設株
土木技術本部 技術開発部

