

パドル・シールド工法



※金丸 清人¹

¹清水建設株式会社 土木技術本部 技術開発部 (〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3)

昨今、都市内では輻輳する埋設物や、小土被りなどの厳しい施工条件、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必要から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2.1m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事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もパドルスクリュウ、排土用のスクリュウコンベアが中下段用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掘削する。なお、カッタには油圧モータと減速機が内蔵されており(写真-3 参照)、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土

圧計が装備されており、カッタ、パドルスクリューにより掘削、攪拌され塑性流動化した土砂は、適切な土圧により地山保持される。なお、今回の実証試験で用いたシーールド機は上中下3段のカッタ配置とし、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た。また、奥行き500mmの1,966mm×1,966mm矩形スチールセグメントを使用したため、1リングの掘進長は500mmとした。(図-1参照)

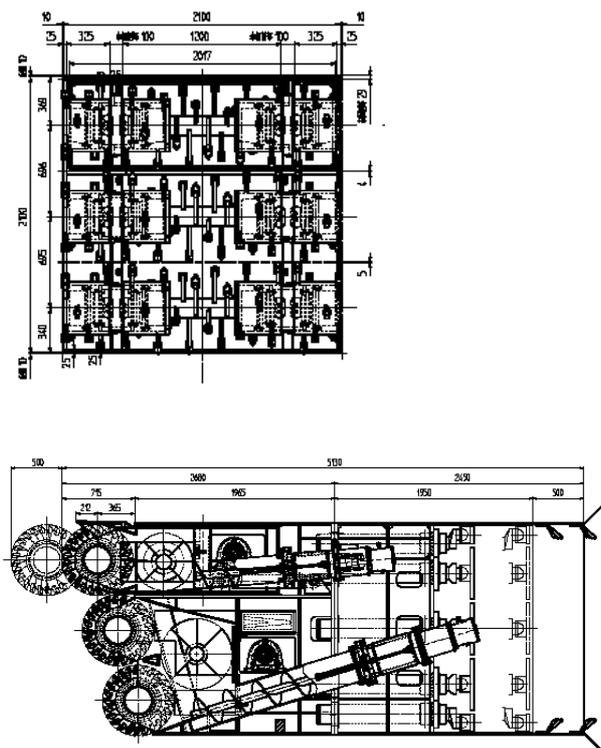
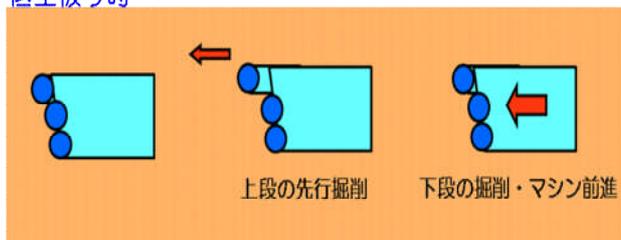


図-1 パドル・シーールド試験機

(2) 掘削方法

ここでは具体例として、実証試験に用いた3段カッタのシーールド機で説明する。低土被りによる地上変状防止を図る場合には、図-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-2参照) また、十分な土被りが確保出来る場合は図-2 通常時に示すように上段カッタを格納し、3段とも同時に1工程で掘削する事も可能である。この様に求められる条件に合わせて掘削方法を選択できる利点を有している。(写真-1参照)

低土被り時



通常時

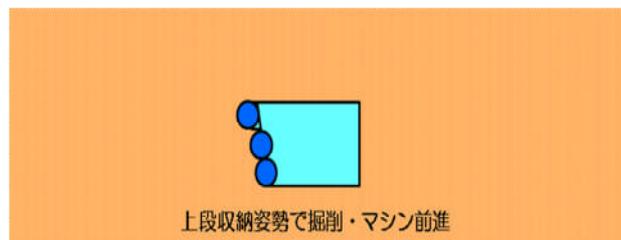


図-2 掘削方法

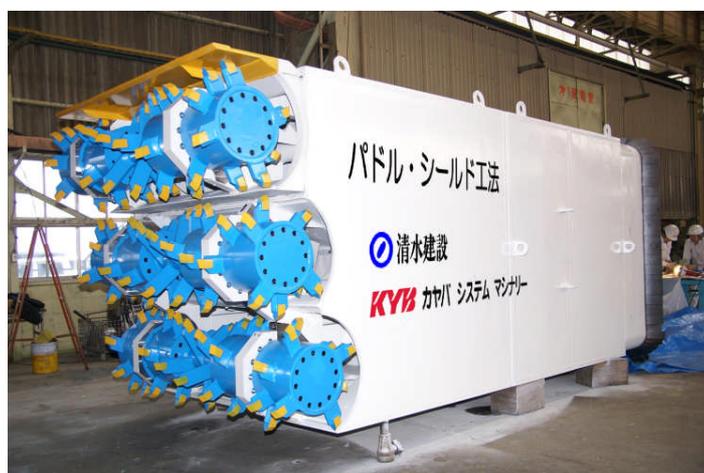


写真-1 上段カッタ格納時全景



写真-2 上段カッタ掘進時全景



写真-3 カッタ前面

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

まず、都市内のアンダーパス等を想定し縦断は立坑から下り5%の下り勾配で発進し、縦断曲線 R=150m を経て水平勾配となる線形とした。また、平面線形は直線とした。さらに、5%下り勾配部分は現地盤を 1,200mm すき取り発進部分の 150mm 低土被りの状態を再現し掘削性能を確認した。(図-2 参照)

また、周辺地盤への影響を確認するため、地表面には各計測ポイントにプリズムを設置、トータルステーションで変状を計測するシステムを導入した。写真-4 は到達部より発進立坑を撮影した写真であり、これら計測ポイントが確認出来る。

(2) 土質状況

現地は周囲を畑に囲まれた地域であり、掘削範囲はN値=1程度の軟弱な粘土質シルトである。また、GL-1.3mには地下水位が認められた。なお、GL-1.4mまでの埋土部分では異物除去の目的もあり、すき取りを行った。



写真-4 計測ポイント状況

(3) 仮設備

実証試験の仮設備は前述したように実際の現場と同様な設備を配置し、掘削を行った。裏込注入設備、作泥材注入設備、滑材注入設備を装備しそれぞれ図-3 に示すように地上に配置した。なお、作泥材は気泡を用いて掘削土砂の塑性流動化を図った。また、掘削延長が短いためシールド機の排土は簡便なベルトコンベアの乗り継ぎで発進立坑まで搬送し、バケツで地上の土砂タンクへ搬出した。さらに、セグメントはスチール製のため軽量であるので、人力による坑内搬送および組立を行った。

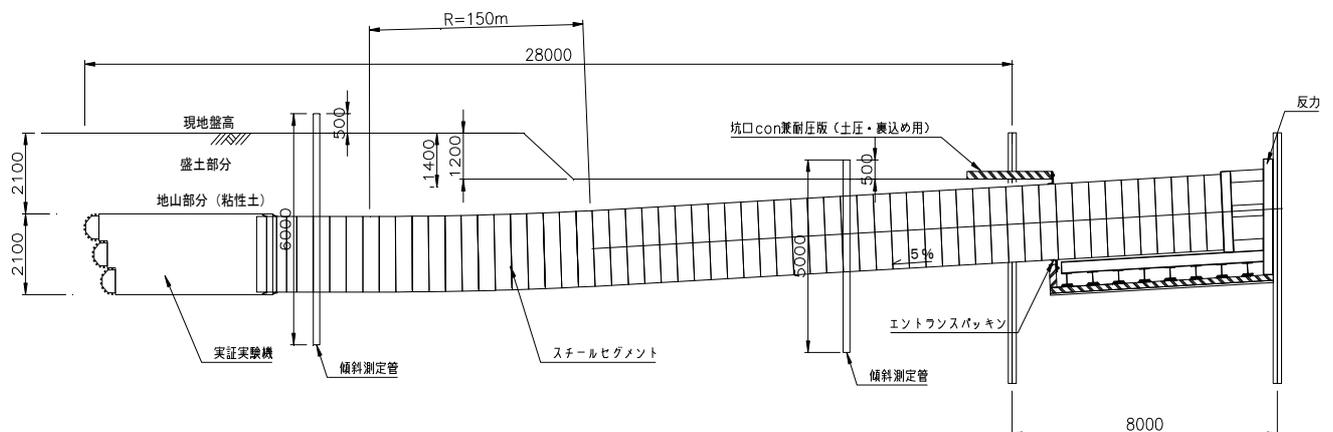


図-2 現場縦断図

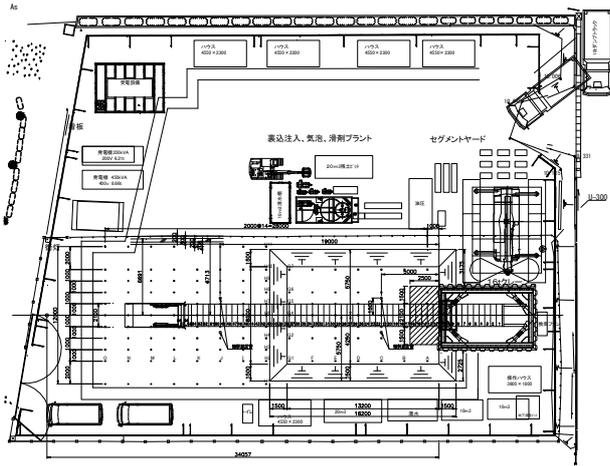


図-3 現場平面図



写真-4 排土状況

(4) 掘削管理

管理土圧値は上限：全土被り圧、管理値：静止土圧、下限：主働土圧とし、各土圧計深度での管理土圧を事前に計算し施工を行った。その結果、今回開発したシールド機は通常の円形土圧式シールド機と同様な土圧管理が可能であることが確認出来た。

(5) 掘削工

発進に当たっては始めから土圧管理を行うため、圧力を保持できる矩形エントランスを設置した。また150mmの低土被りでの発進となるため、作泥材や裏込注入材、滑材が地上に噴発ないように厚さ $t=100\text{mm}$ の押さえコンクリートをシールド方向2mの長さで設置した。さらに、裏込注入は注入率120%での量管理から土被りが大きくなるにつれ最大注入圧0.1MPa管理へと変更した。作泥材として使用した気泡は比重が小さいため地上への噴発が懸念されたが、カッターで掘削した土砂と気泡が、パドルスクレーンにより十分攪拌され、排土は全掘削延長に渡り順調に排土された。(写真-4参照)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変化が、敏感に行われ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

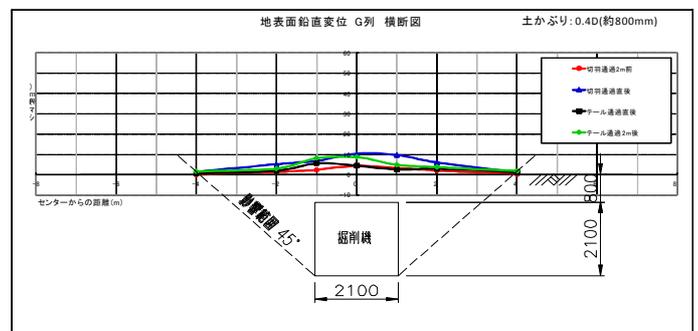


図-4 地表面鉛直変位(土被り 0.4D)

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-4 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-5 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。

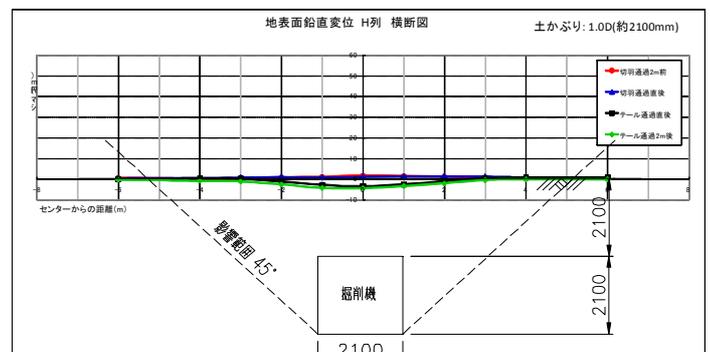


図-5 地表面鉛直変位(土被り 1.0D)

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。

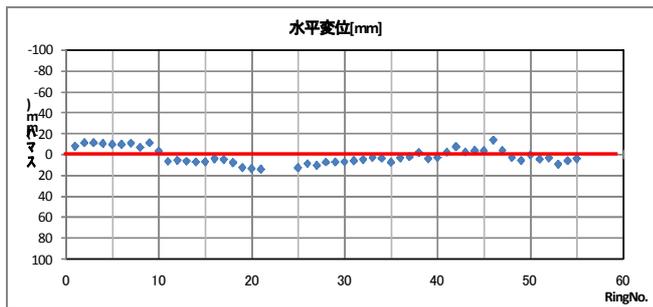


図-6 セグメント水平変位

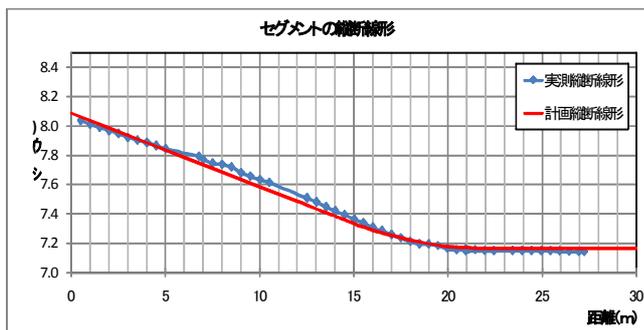


図-7 セグメント鉛直変位

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できた。

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 8m×縦 6m)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。

謝辞：本工法開発に当たり共同開発者としてカヤバシステム マシーナリー殿には多大なご協力をいただき紙面をお借りし、感謝いたします。