

拡大・縮小シールド工法の開発

清水建設(株) 正会員 ○阿曾 利光, 細井 元規

1. はじめに

大深度地下の公共的使用に関する特別措置法が昨年から施行された。この法案により今後、大深度地下でのライフライン整備の増加が見込まれるが、長距離シールドトンネルにおいては電力ケーブルの接続などで任意の位置に拡大断面を必要とする場合が多い。また、小口径長距離シールドトンネルは施工上資材搬出入などのために一定間隔で拡大断面を必要とする。また大口径トンネルにおいても道路トンネルは非常駐車帯、鉄道トンネルは駅部などのサービス空間が必要である。経済的なトンネル築造にはトンネル掘進中の任意の位置で拡大断面を築造する技術が望まれており本工法を開発した。本稿では拡大・縮小シールド工法（Expandable and Shrinkable shield method、以下 ES-Tube 工法という）の開発の概要について報告する。

2. 工法の概要

本工法は通常掘進部では円形セグメントを組立、拡大断面部では拡大したシールド機内で拡大セグメントを組立。当シールド機の特徴として拡大断面を掘削するための伸縮カッタの装備とシールド機側部拡張機構がある。拡張の手順を記す。拡大位置に通常掘進のシールド機が到達後、伸縮カッタを伸張し拡大断面に合わせた先行掘削を行なう。余掘り部分には地山の崩落防止を目的として開発した充填材（以下、地山保持材と言う）をシールド機内から注入し、シールド機側部の外側全体が地山保持材で充填されるまで掘進を行なう。掘進後、地山保持材を機内に取り込みながらシールド機胴体の両側部を張出す。拡大部は拡大セグメント1リング分の掘進と拡大セグメント組立を繰り返す。所定長さの拡大掘進終了後、シールド機胴体の両側部を元の位置に戻し、再び通常掘進を行なう。工費について、深度50mの大深度に施工延長10kmの長距離小口径シールドを築造する場合、2km毎にトンネル断面を拡張する本工法は2km毎に立坑を構築するまたは、全線拡大断面で掘削する在来工法に比べて工費を20%以上削減できる。工法の手順概要図を図-1に示す。

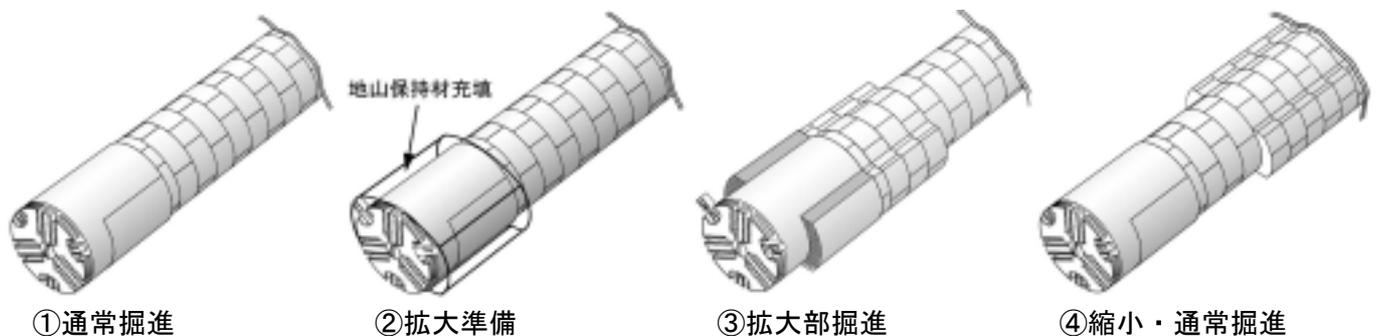


図 - 1 手順概要図

当工法の要素技術の検討や開発確認のため様々な実験を行なっているが、主要な実験について以下に記す。

3. 地山保持機構実験

本工法は、シールド機胴体の両側部を張出すまで伸縮カッタによる余掘り部ができる。この余掘り部に掘進と同時に地山保持材を注入するが、この地山保持材に要求される性能として以下の項目があげられる。

1) 空洞への充填性がよく、ポンプ圧送・機内取込みが容易にできる流動性を有する。2) 地山の崩落を防止し、切羽部に廻りにくい自立性を有する。3) 長期的に安定した性状を保つ経時保持性を有する。

3.1 実験概要

開発した地山保持材の性能確認のため以下の実験を行なった。

キーワード：シールド工法，拡大縮小シールド，余掘り充填材

連絡先：清水建設（株）土木事業本部 東京都港区芝浦 1-2-3 TEL 03-5441-0518, FAX 03-5441-0508

①＜水中打設実験＞同実験は水を満たした水槽に圧送ポンプで地山保持材を打設し、水中における地山保持材の流動性、打設後の地山保持材の性状を確認する。②＜球体沈降試験＞ $\phi 50\text{mm}$ のボール（比重3.6）を材料表面に置き沈降量を測定する。土粒子の比重は2.7、球体を保持できれば余掘り部の地山の緩みを防止できる。③＜ポケットベーン試験＞地山保持材の粘性度を把握するためにせん断抵抗値を測定する。④＜押し抜きせん断試験＞ $\phi 15\text{cm}$ のモールドに $\phi 5\text{cm}$ の開口を設けた蓋をセットし、錘を順次載荷する。開口部から地山保持材が抜けて蓋がスムーズに沈み込むまで錘を載せることにより、地山保持材の取込みやすさを確認する。写真-1に実験状況を示す。



写真 - 1 押し抜きせん断試験

3.2 試験結果

表-1に試験結果を示す。混練り直後採取材料と水中打設直後採取材料を比較すると、地山保持材は柔らかくなったが球体沈降試験の結果から要求された性能は満足すると言える。また材齢による変化も少なく長期的に安定した性状を保つことがわかった。また、水中打設実験からポンプ圧送性や充填性と、押し抜きせん断試験から拡張ジャッキ力に比べ十分小さい値での機内取り込み性が確認できた。

表 - 1 地山保持材試験結果

材 齢	混練り直後採取材料		水中打設直後採取材料	
	0 日	28 日	0 日	28 日
球体沈降試験	1/4 沈降	1/3 沈降	3/4 沈降	1/2 沈降
ポケットベーン試験	0.0014 N/mm ²	0.0010 N/mm ²	測定不能	測定不能
押し抜きせん断試験	12kN/m ²	14kN/m ²	6kN/m ²	3kN/m ²

4. 止水機構実験

本工法は拡張時のシールド機拡張部の止水性能が重要である。しかし拡張部の止水機構は従来機にない機構のため、拡張部のスケールモデルを作製し拡張部外側に水圧をかけながら拡張部を摺動し、拡張部止水性能の確認を行った。

4.1 実験概要

止水実験装置は摺動可能な拡張部と拡張部全体を覆う水タンクからなる。タンク内は大深度を想定して最大 0.6MPa まで加圧することができる。写真-2に止水実験装置を示す。実験は水を入れたタンク内に 0.6MPa まで加圧し、静止時および摺動時の漏水の有無を目視にて確認する。摺動回数は50回とした。また水タンク内に砂を入れ縮小時の砂噛み込み試験も行なった。



タンク装置



拡大時

縮小時

写真 - 2 止水実験装置

4.2 試験結果

静止状態および拡張動作中ともに 0.6MPa まで加圧したが漏水は確認されなかった。本工法の止水機構は大深度においても対応できることが確認できた。

5. 終わりに

任意の場所でトンネル断面の拡大が可能であり、所定の延長の拡大断面築造後、元の断面に戻ることができ、従来工法よりもコストダウンができる ES-Tube 工法を開発した。本工法における大きな技術的課題である伸縮カッターによる余掘り部の地山保持機構と拡張時の止水機構についての有効性は実験において確認できた。今後、実工事への適用に向け実証実験などを行ない、さらに信頼性を向上したいと考えている。