

9. 拡大・縮小シールド工法の開発

清水建設㈱：*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より施行された。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、大深度・長距離シールドトンネルにおいては分岐部や接続部およびメンテナンスのためのスペースを確保するために、部分的にシールドの口径を拡大して構築することがある。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や換気設備設置などのために一定間隔で拡大断面を必要とする。現状のシールド工事でシールドトンネルを部分的に拡大する場合、通常、当該位置に立坑を構築して拡大掘削するか薬液注入や凍結工法等の補助工法を用いて拡大する方法を採用している。しかし近年、立坑用地の確保は困難となり、また大深度地下の場合、立坑の建設や補助工法に多大な費用と工期を要する。また場合によっては、全線拡大径でシールドトンネルを掘ることがあるが、無駄な掘削部分が多く工事費が増加する。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（名称 ES-Tube 工法、Expandable and Shrinkable shield method の略）の開発の概要について報告する。

2. 工法の概要

本工法の特徴は掘削しながら任意の位置で何回でもシールドトンネル断面を拡大・縮小できることである。工法の拡大縮小の手順を記す。拡大位置に通常掘進のシールド機が到達後、拡大準備として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。先行掘削の空洞部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。拡大準備掘進後、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。拡大部掘進は拡大セグメント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、シールド機胴体の拡大部を元の位置に戻し、再び通常掘進を行なう。工法の手順概要図を図-1に示す。

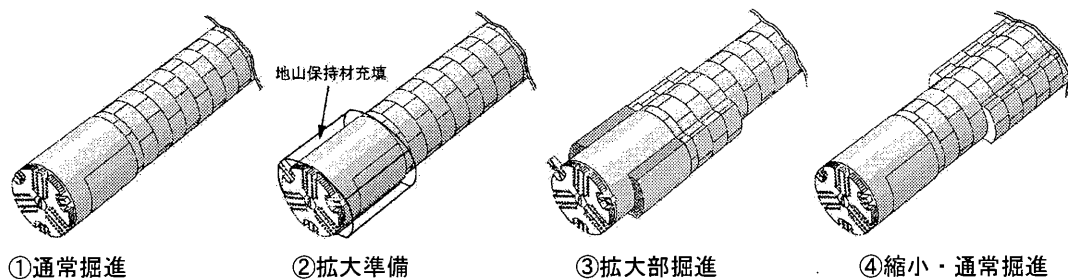


図-1 手順概要図

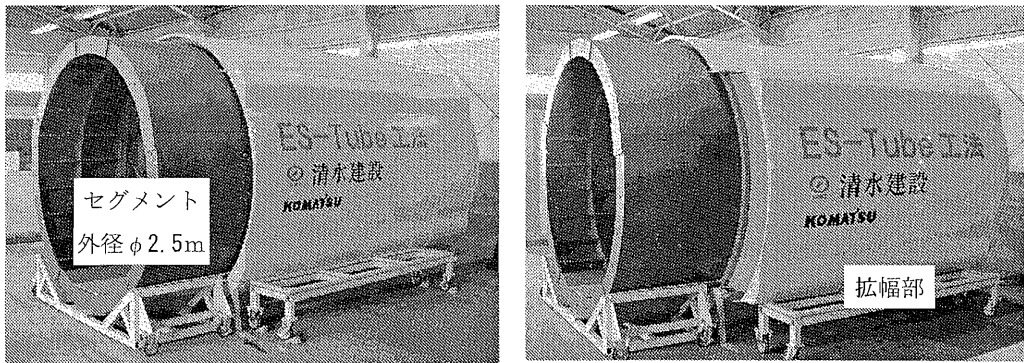
従来工法との工事費の比較を示す。深度 50m の大深度に施工延長 10km の長距離小口径シールドを築造する場合、2km 毎にトンネル断面を拡幅する本工法は 2km 毎に立坑を構築する、または全線拡大断面で掘削する従来工法に比べて工事費を 20% 以上削減できる。

3. 工法の実証および実験

当工法の実用化にむけ、実物大の木製模型の製作、シールド機拡幅部シール機構の止水性能実験、地山保持材の開発および当材料の性能実験など、次に示すような一連の実験・実証を行って、施工の信頼性を実証した。

3.1 実物大木製模型

実物大の木製模型を製作して、止水ラインの確認、拡大用部材の組立および拡縮作業を行ない工法の妥当性を確認した。写真-1 に実物大木製模型を示す。



拡大前

写真-1 実物大木製模型

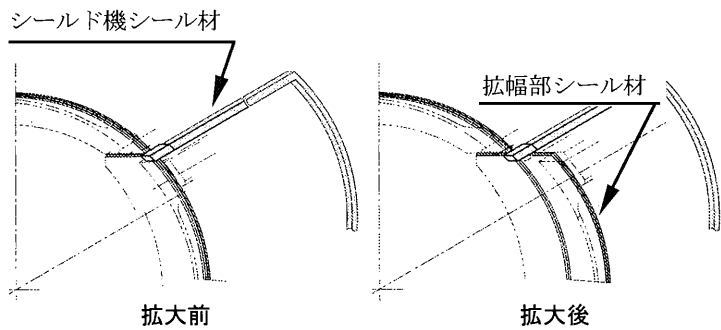
拡大後

3.2 拡幅部の止水機構実験

本工法はシールド機拡幅部の止水機構が開発の大きなポイントであった。拡幅部の止水機構は従来機にない機構のため、大深度を想定したシールド機拡幅部のスケールモデルの止水実験装置を製作し、水圧 0.6MPa (水深 60m の水圧) に耐える止水機構を開発し、その止水性能を確認した。止水シール配置の概要図を図-2 に示す。

(1) 実験概要

止水実験装置は摺動可能な拡幅部と拡幅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



拡大前

拡大後

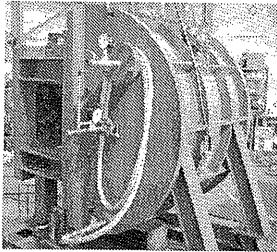
図-2 止水シール配置の概要図

圧し、静止時および拡幅部摺動時の漏水の有無を目視で確認する。摺動回数は 50 回とした。また水タ

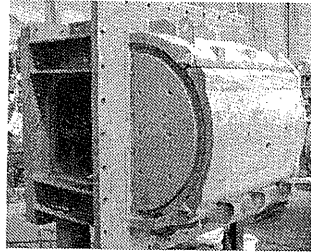
ンク内に砂を入れ縮小時の砂噛み込み試験も行った。

(2) 実験結果

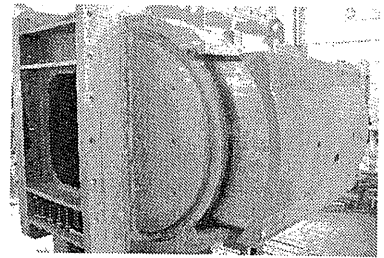
静止状態および拡縮動作中ともに 0.6MPa まで加圧したが漏水は確認されなかった。本工法の止水機構は大深度においても対応できることが確認できた。



外観



拡幅部拡大前
写真-2 止水実験装置



拡幅部拡大後

3.3 地山保持材の実験

本工法は、伸縮カッターで先行掘削した一時的な空洞部に掘進と同時に地山保持材を充填する。

開発した地山保持材の比重は 1.12、性状はゲル状で感触はプリンに似ている。この地山保持材に要求される性能を以下に示す。

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 裏込め材との置換性が良い
- ④ 長期的に安定した性状を保つ経時保持性を有する。

上記の性状を確認するため、球体沈降試験、裏込め材との置換試験、ポンプ長距離圧送試験などを行った。

3.3.1 球体沈降試験

空洞部に充填する地山保持材の地山崩落防止性能を確認する。

(1) 試験概要

球径が $\phi 50\text{mm}$ で比重 (ρ) が 2.4 と 3.6 のボールを地山保持材の表面に置き、沈降量を測定する。土粒子の比重は 2.7 であるの

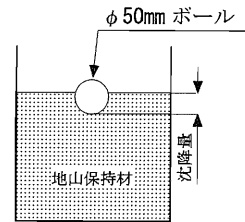


図-3 球体沈降試験図

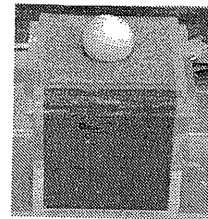


写真-3 試験状況

で、球体を保持できれば余掘り部の崩落の誘因となる地山の緩みを防止できると判断できる。図-3 に球体沈降試験図、写真-3 に試験状況を示す。

(2) 試験結果

混練後直後から 1 ヶ月まで地山保持材を放置した試験結果を示す。いずれも球体は保持した。

材 齢	0 日		7 日		28 日	
球体沈降試験	$\rho = 2.4$	1/4 沈降	$\rho = 2.4$	1/3 沈降	$\rho = 2.4$	1/4 沈降
	$\rho = 3.6$	1/4 沈降	$\rho = 3.6$	1/2 沈降	$\rho = 3.6$	1/3 沈降

3.3.2 裏込め材との置換実験

拡大掘削時のテールボイドに残る地山保持材や縮小時にシールド機側部に注入する地山保持材は、シールド機通過後にセグメント安定のため裏込め材をセグメントから注入し置換する。裏込め注入時の地山保持材と裏込め材との置換状況を確認する。

(1) 実験方法

実験装置としてトンネル形状を模したドーナツ状円筒容器内にあらかじめ地山保持材を充填する。容器内に裏込めを注入しながら地山保持材を排出する。図-4に実験装置寸法図、写真-4に実験装置外観、写真-5に置換状況を示す。

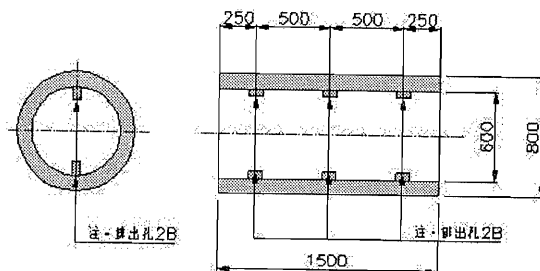


図-4 実験装置寸法図

(2) 実験結果

地山保持材を注入する注入孔と、注入孔と反対側の遠くに排出孔を設けた場合、置換率は80%前後であった。長期間のセグメントの安定に必要なとする地山と同等の強度は一般的に $0.5\text{N}/\text{mm}^2$ 程度である。使用した裏込めの長期強度は $2.45\text{N}/\text{mm}^2$ であり、注入後のばらつきを考慮しても70%程度置換できればセグメント全体として安定すると言える。

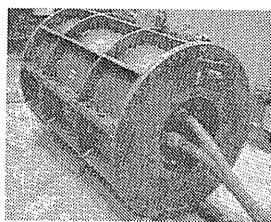


写真-4 実験装置外観

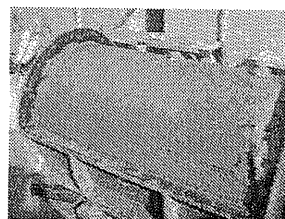


写真-5 置換状況

3.3.3 長距離圧送実験

実工事での施工性を考慮し注入ポンプ1台で地山保持材を圧送できる距離を確認する。

(1) 実験方法

$\phi 50\text{mm}$ の鋼管を1km敷設し、注入ポンプ(スクイズポンプ)で配

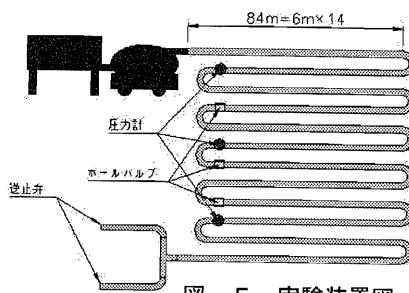


図-5 実験装置図

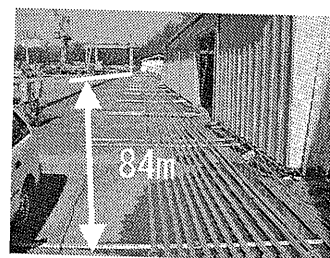


写真-6 配管状況

管内に地山保持材を圧送する。圧送状況により中継ポンプを配管途中に増設する。圧送中、吐出口や中継ポンプの位置で地山保持材の性状を確認する。図-5に実験装置図、写真-6に配管状況を示す。

(2) 実験結果

スクイズポンプ1台の圧送距離は $\phi 50\text{mm}$ の鋼管で150mであった。

4. 終わりに

一連の実験や実証により施工の信頼性を向上した。今後、機会があれば実工事に適用し、工法の普及を計りたいと考えている。