

VI-96

ボックスシールド工法に於ける裏込注入工法

戸田建設(株) 正会員 中川雅弘
 (株)利根 渡辺太郎
 三井造船(株) 高本耕平

1. はじめに

シールド掘進に伴う地盤変動の要因は多々あるが、通常シールド機の通過に伴うテールボイド部での地山の応力解放に伴う変動が主たるものと考えられる。これを防ぐためには、即座に固結注入材を充填できる同時裏込注入が最良である。

しかし、従来円形シールドに於ける同時裏込注入管は掘削断面外にしか装備できず、注入管の配置が逆に周辺の地山を乱すという矛盾があった。その点、ボックスシールド工法は、図-1に示すように掘削断面形状の特異性から、覆工体であるセグメントの隅角部を円弧状またはハンチ状にし、同時裏込注入管をシールド機内に装備することを可能にした。そのためシールド機周辺の地山を乱すことなく掘進できるという利点がある。しかし、従来と異なる形状のテールボイドが充填されることを確認する必要がある。そこで、実際に裏込注入材を使用しテールボイドを再現する模型を製作して材料の適応性、充填性、同時注入の施工性を確認したので報告する。

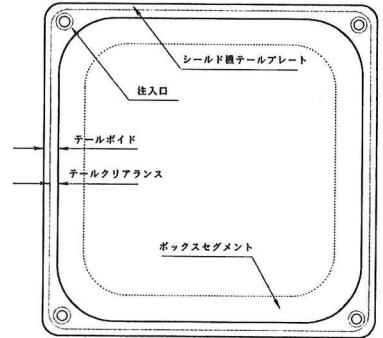


図-1 ボックスシールド機テール部概念図

2. 裏込注入材の適応性

今後ボックスシールド施工を考えた場合、超近接施工或いはトンネル同士の連結など対処すべき課題は多々ある。そこで、裏込注入材の長期的性状、止水性、切削性など見極めておく必要があった。円形シールドで使用されている2液混合の裏込注入材を数種（起泡系・可塑状系）用意し予め性状把握試験を行った後、①実験時少量の使用でもA液の混合攪拌が容易、②経時変化が少なく性状が安定している点から本実験用の可塑状系T材を選定した。

配合試験結果の1例を図-2に示す。水セメント比や助材量によらず固結時間がC/Bによってほぼ決定されている。また、止水試験状況を写真-1に示すがクラックが発生しない限り止水性は十分満足される。一方、切削性（別途報告予定）でも所要の目的を満足できる結果を得ている。

ただ長期安定性の指針ともなる経時による発現強度については、比較的早期の傾向は把握できるが長期ではデータのバラツキが多く把握しづかった。また、スラグ分を硬化材に含有する材料は耐塩性の点で有効であった。

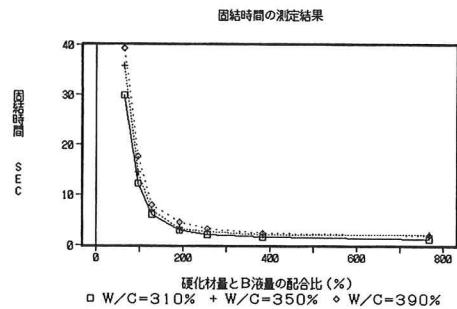


図-2 配合による固結時間の変化

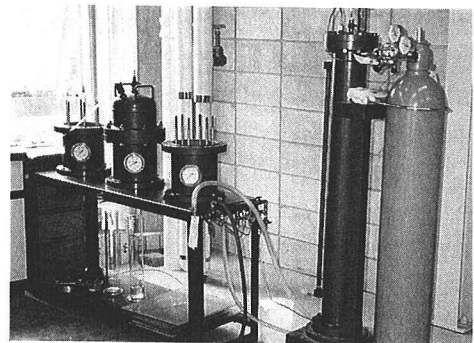


写真-1 透水試験実施状況

3. 裏込注入材の充填性

裏込注入材の充填状況を確認可能とするため、前面と側面にアクリル板を配した実験装置を製作、使用した。裏込注入材料を2種（起泡系・可塑状固結系）用意し、表-1に示すように注入箇所、テールボイド形状、注入ポンプの吐出量、注入材料の固結時間等をパラメータとして10種類以上の実験を実施した（図-3）。充填性の確認は、注入中の目視はもちろんであるが、ベーンセン断強度測定器で経時追跡し裏込注入材の発現強度でも把握した。

実験装置の構造上、実施工時を想定した地下水圧を掛けることは不可能であった。そのため4箇所の内、下部の注入口を使用したのが、注入口から充填水中にゲル化注入材が連続的に導入され、空隙も発生することなく完全に充填される様子を確認できた。注入実験後のコア採取やベーン測定によると、1系統注入にも拘らず水抜き部（注入材の充填に伴う余剰水の排出口）で発現強度が劣りはするものの、図-4に示すようにほぼ一定の値を示していた。しかし、実施工の圧力下注入を再現しきれていないため層境などを発生し、発現強度は所要強度（ $\sigma_{28}=20\text{kg/cm}^2$ ）には及ばず低い値であった。別途実験で圧入と無圧入による強度発現の差違を確認したが、圧入状態は無圧入に比べ約2倍の高い値が示されており、実用上は問題と判断される。

充填性に関して矩形断面による不具合はなく、円形断面とまったく遜色無い結果が確認できた。

4. 裏込注入材の施工性

テールボイドの充填を考えた場合、同時裏込注入を採用すれば4隅全てから注入する必要は無く、一箇所からでも十分であり、下方からの注入はさらにより結果を与えることが解った。本工法のように確実に同時裏込注入方式を実施でき必要注入量に適した注入系統を配することができれば、施工性を考え上部から注入しても十分な充填性を得ることが予想できる。

5. おわりに

ボックスシールドでは、特に掘削後のテールボイドの発生による地盤の応力解放が、円形シールドに比べ不利なことが考えられていた。しかし、ボックスシールドの同時裏込注入は機内配置が可能な点から、従来の円形シールドと同様に安全で確実な施工が可能であると考えられる。また、従来の同時裏込注入にありがちな注入材の固結による管内閉塞を機構的に改良した注入機構を開発している。今後実機スケールの実験施工も予定しており、その結果は別の機会で報告したいと考えている。

表-1 実験一覧表

実験NO	注入箇所	ボイド奥行	ボイド幅	ポンプ吐出量	設定タイマ	備考
1	下部1点	120mm	100mm	17.0ℓ/min	2.5sec	可塑
2	下部1点	120mm	100mm	17.0ℓ/min	8.0sec	〃
3	上部1点	120mm	100mm	17.0ℓ/min	2.5sec	〃
4	下部1点	120mm	100mm	34.0ℓ/min	2.5sec	〃
5	下部2点	120mm	100mm	34.0ℓ/min	2.5sec	〃
6	下部1点	500mm	100mm	34.0ℓ/min	2.5sec	〃
7	テールボイド上	500mm	100mm	48.8ℓ/min	2.5sec	〃
8	上部1点	120mm	100mm	17.0ℓ/min	4.0sec	起泡
9	下部1点	120mm	100mm	17.0ℓ/min	4.0sec	起泡
10	下部1点	500mm	75mm	48.8ℓ/min	2.5sec	可塑
11	下部2点	500mm	75mm	48.8ℓ/min	2.5sec	〃

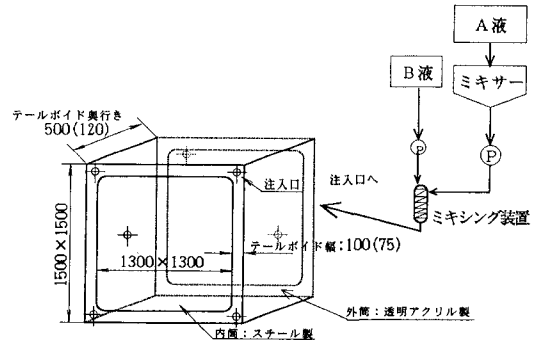


図-3 充填性確認実験概要図

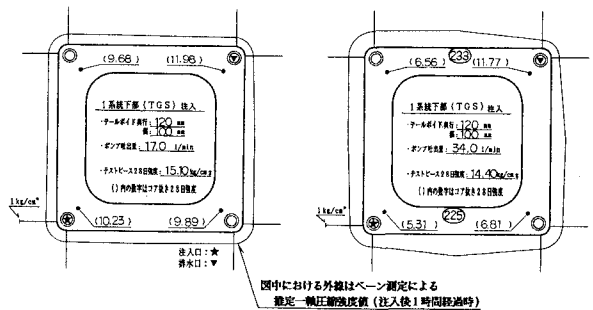


図-4 充填性測定結果