

報告

[1211] セグメントボルトボックスの吹付けによる充填工法の開発

池田捷也*1、家壽田昌司*2、原 廣*3、本橋賢一*4

1. はじめに

東京都は中小河川上流部流域の急速な都市化に伴う流域の保水・遊水機能の低下による水害に対する治水事業を展開しているが、河川の拡幅は用地の確保が極めて困難なこともあり、都道環状七号線（環七）の地下40～50mに「環七地下河川」を建設することを計画した。

「神田川・環状七号線地下調節池」は、この「環七地下河川」を緊急を要する神田川の部分（内径12.5m、延長4.5 km）から先行して整備し、当面これを調節池として使用するものである。これによって神田川と善福寺川から合計54万m³の水を取り入れることが可能となり、環七から淀橋までの間では現状のまま時間50分程度の降雨に対して安全性が確保されることになる。また、これまで改修できなかった環七より上流の河川整備も進めることができるようになる。

現在第一期事業として進めている「神田川・環状七号線地下調節池工事」全長2 kmにおける施設ならびにセグメントの概要を表-1に示す。このシールドを構成するセグメントはボルトで締結されるため、写真-1に示すように多くのボルトボックス、あるいは把持金物用の穴が残る。二次巻きコンクリートは施工されないため、スムーズな水の流れの確保とボルトの防食の観点から、これらのくぼみをモルタルで充填する必要がある。この部分の充填には、従来はモルタル注入や硬練りモルタルの塗り付けが行なわれていたが、本工事ではボルトボックスと把持金物合わせて17万個にもおよぶ箇所を効率よく充填する必要があつて、吹付けによる充填工法を開発したものである。

吹付けに用いた材料は補強繊維等で構成されたプレミックス材で、これを用いることにより深さ40cmの孔への上向き吹付けが可能で、必要強度、低はね返り等、施工性、品質および効率を満足する充填が可能となった。

本報告は、吹付け材の選定のための模擬試験体を用いた施工試験、実セグメントを用いた充填モルタルとセグメントとの付着試験、ならびに実工事について取りまとめたものである。

表-1 第一期事業分施設計画およびセグメント概要

貯蔵容量	240,000m ³
シールド内径	12.5m
延長	2.0k
RCセグメント幅および数量	1.2m 17,776個
ボルトボックスの数	135,744個
把持金物の数	35,552個

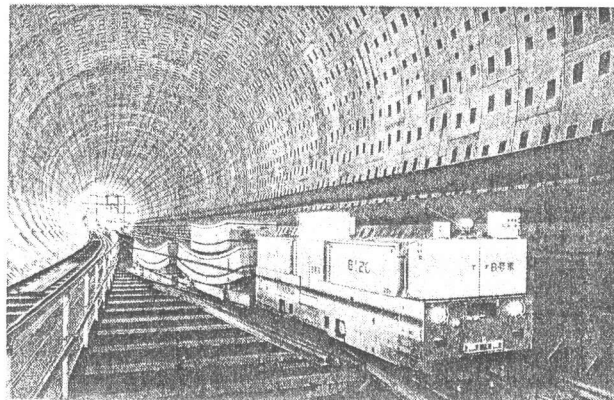
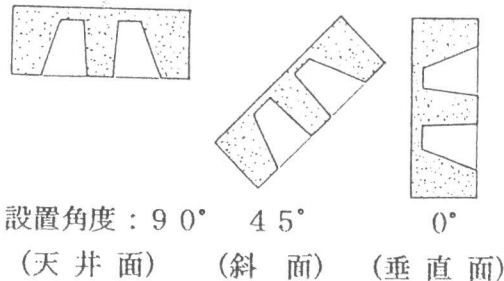


写真-1 シールドトンネルとボルトボックス

- *1 (株) ポゾリス物産 建材営業部 次長 (正会員) *2 東京都第三建設事務所 第五工区
 *3 鹿島建設 (株) 神田川調節池工事事務所 副所長 *4 鹿島建設 (株) 技術研究所 第二研究室長 (正会員)

2. 模擬試験体を用いた吹付け材選定試験

本試験は実セグメントのボルトボックスの中で最も大きい形状のボックスをRC造で作製し、ボックスの開口位置が図-1に示すように設置した模擬試験体を実際の施工機器を用い吹付け施工を行なうことにより、施工性、物性について比較検討した。



設置角度：90° 45° 0°
(天井面) (斜面) (垂直面)

図-1 試験体の設置方向

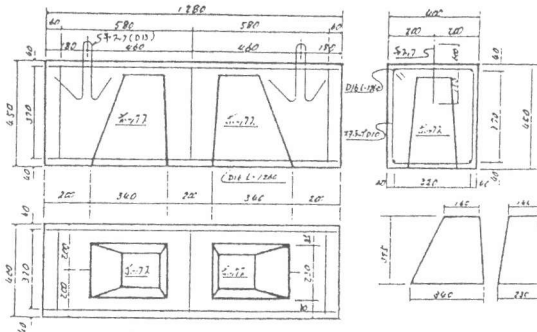


図-2 ボルトボックス模擬試験体の形状・寸法 (mm)

2.1 模擬試験体

ボルトボックス模擬試験体は、図-2に示す形状のRCコンクリートとした。

2.2 吹付け材

試験には吹付け材として3種類のセメント系湿式吹付け材を選定し、これを材料A、材料Bおよび材料Cとした。材料Aおよび材料Bは鉄筋コンクリート構造物の補修用に開発されたプレミックスタイプのモルタル材を応用したもので、構成成分は、ポルトランドセメント、珪砂、膨張材、補強繊維、鋳物質微粉末、減水剤、その他の微量成分である。材料CはS/C=2の普通モルタルである。

ボルトボックス1箇所当たり最大で40kgにおよぶモルタル重量を瞬時に自立させ、かつ表層部を平滑に仕上げる必要性から、ボックス表層部3~5cmを除いた奥の一次吹付け材にはアルミン酸塩系液状急結剤を添加し、表層部(二次吹付け)にはコテ仕上げ性を考慮して急結剤は添加していない。

材料の種類と一次、二次吹付け材の配合を表-2に示す。

表-2 吹付け材の配合

吹付け材	1 m ² 当りの配合 (kg)				目標 スランプ (cm)	
	特殊モルタル (材料A, B) 普通セメント (材料C)	砂	水	液状急結剤		
材料A	一次	1,775	—	348	24.9	16±3
	二次	1,875	—	315	—	8±3
材料B	一次	1,250	625	310	17.5	16±3
	二次	1,275	638	296	—	8±3
材料C	一次	600	1,200	318	18.0	16±3
	二次	615	1,230	301	—	8±3

2.3 施工機器

試験に用いた主な施工機器類を表-3に示す。

表-3 吹付け試験に用いた主な機器類

名 称	仕 様	備 考
モルタルミキサ	パン型、練り混ぜ容量：100ℓ、単相100V	一次・二次モルタル練り混ぜ用
コンプレッサー	吐出量：5.0m ³ /min、52PS	一次吹付け用
モルタルポンプ	スネーク式、吐出量：6.3~25ℓ/min	一次吹付け用
急結剤ポンプ	吐出量：0~1.0kg/min、最大吐出圧：7kgf/cm ²	一次吹付け用
吹付けノズル	SPガン用ノズル：φ38mm	一次吹付け用
コンプレッサー	吐出量：430ℓ/min、5PS	二次吹付け用
モルタルポンプ	スネーク式、吐出量：3~12ℓ/min	二次吹付け用
吹付けノズル	S社製スプレーガン：φ25mm	二次吹付け用

2.4 施工性ならびに物性比較試験項目

吹付け施工性評価試験項目は、リバウンド率、粉塵量、だれ性状、コテ仕上げ性、充填性で、物性評価試験項目は、圧縮強度(JIS A 1108)、乾燥収縮率(JIS A 1129)、透水性、ならびにひび割れの有無である。

2.5 試験結果

(1) 施工性試験

吹付け実験状況を写真-2に施工試験結果を表-4に示す。

①リバウンド率およびだれ性状

材料Aの天井面でのリバウンド率は、一次吹付け材が0.9%、二次材が0~0.2%、また、材料Bでは、垂直面、斜面、天井面とも大差なく、一次材が3.1~4.3%、二次材が1.7~2.8%であり、材料Aと比較すると若干多いが、両者とも極めて少なかった。また、両者ともだれは観察されなかった。

一方、材料Cのリバウンド率は30%を越え、また、一次吹付け時に剥落し充填不能であった。

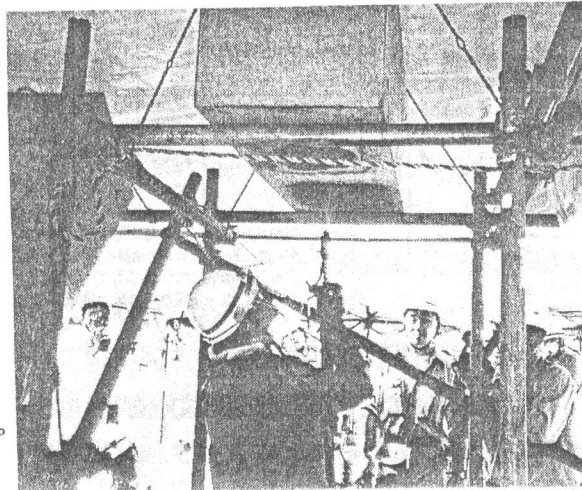


写真-2 吹付け実験状況(天井面)

②粉塵量

各工法とも一次吹付け材ではミストは見られるが粉塵量は少なく、二次吹付け材でも粉塵量は極微量であった。

③コテ仕上げ性

材料Aおよび材料Bとも一次材吹付け後10~15分で二次材を吹付け、表面のコテ仕上げ性を比較した結果、材料Aでは吹付け後20分程度でスムーズな金ゴテ仕上がりができたのに対して、材料Bではペーストの表面への上がりが多いため平滑に仕上げるのに材料Aより多少の時間を要した。

④充填性

ボルトボックス中央部を切断し、材料A、Bとも密実に充填されていることが確認された。

表-4 ボルトボックス・把持金物への吹付け施工試験結果

試験 No.	吹き付け箇所	試験体設置角度	吹き付け材料	実測スラック (cm)	練り上がり温度 (°C)	リバウンド	粉塵量	たれ性状	コテ仕上げ性	
1	B. B 一層目	90° (垂直面)	工法B	一次	16.5	24.0	1.28 kg 3.2 %	ミストは見られるが、粉塵少ない	無し	—
	B. B 二層目			二次	11.0	25.5	0.17 kg 2.8 %	ミストは見られるが、粉塵極微量	無し	ノロ上がりが悪く、仕上げに時間を要す
2	B. B 一層目	45° (斜面)	工法B	一次	16.5	24.0	1.25 kg 3.1 %	ミストは見られるが、粉塵少ない	無し	—
	B. B 二層目			二次	11.0	25.5	0.14 kg 2.3 %	ミストは見られるが、粉塵極微量	無し	ノロ上がりが悪く、仕上げに時間を要す
3	B. B 一層目	0° (天井面)	工法B	一次	16.5	24.0	1.28 kg 3.2 %	ミストは見られるが、粉塵少ない	無し	—
	B. B 二層目			二次	11.0	25.5	0.10 kg 1.7 %	ミストは見られるが、粉塵極微量	無し	ノロ上がりが悪く、仕上げに時間を要す
4	B. B 一層目	0° (天井面)	工法B	一次	16.5	24.0	1.72 kg 4.3 %	ミストは見られるが、粉塵少ない	無し	—
	B. B 二層目		工法A	二次	8.0	26.0	0.00 kg 0.0 %	ミストは見られるが、粉塵極微量	無し	仕上げ性良好
5	把持金物 一層目	0° (天井面)	工法B	二次	11.0	25.5	—	—	無し	—
	把持金物 二層目						—	—	無し	ノロ上がりが悪く、仕上げに時間を要す
6	B. B 一層目	0° (天井面)	工法A	一次	17.0	27.0	0.35 kg 0.9 %	ミストは見られるが、粉塵少ない	無し	—
	B. B 二層目			二次	8.0	26.0	0.01 kg 0.2 %	ミストは見られるが、粉塵極微量	無し	仕上げ性良好
7	把持金物 一層目	0° (天井面)	工法A	二次	8.0	26.0	—	—	無し	—
	把持金物 二層目						—	—	無し	仕上げ性良好
8	B. B 一層目	0° (天井面)	工法C	一次	18.5	25.0	12.32 kg 30.8 %	ミストは見られるが、粉塵少ない	吹き付け終了数分後に剥落	—
	B. B 二層目			二次	9.5	26.0	一次吹き付け材料が剥落したため、施工中止			

注-1 試験実施場所：(株)エヌエムビー 中央研究所 屋外実験場
 注-2 気象条件：天候 晴れ、気温 22.0°C
 注-3 * 印：エマコS88C1袋(25kg)当たりの水量を示す。
 注-4 材温：20.0°C、水温：21.0°C

(2) 圧縮強度試験結果

標準供試体ならびにコア供試体を用いた各材料の試験材令と圧縮強度の関係を図-3、-4にそれぞれ示す。

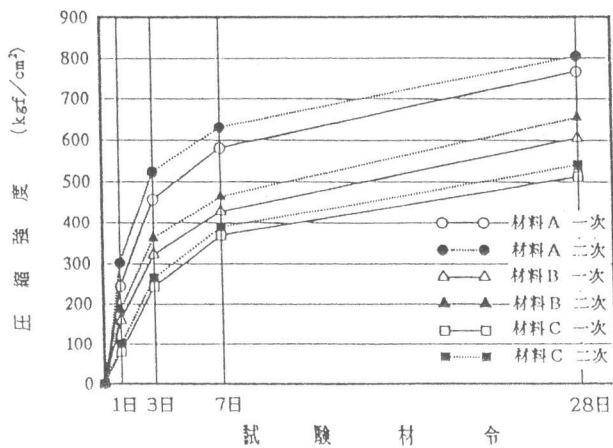


図-3 材令と圧縮強度の関係 (標準供試体)

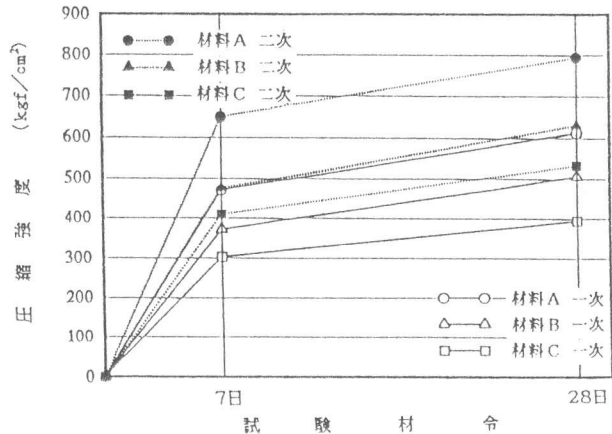


図-4 材令と圧縮強度の関係 (コア供試体)

コア供試体による一次吹付け材の材令28日における圧縮強度は、材料Aで約600 kgf/cm²、材料Bで約500 kgf/cm²、材料Cで約400 kgf/cm²であった。これらの値は急結剤を用いない標準供試体に比して約20%低下しており、急結剤の影響と考えられるが、材料Cの一次材を除いてコア強度はセグメントコンクリートの設計基準強度480 kgf/cm²を上回っていた。

(3) 乾燥収縮率および透水試験結果

各二次吹付け材料の材令3ヵ月での長さ変化率は、材料Aが-0.074%、材料Bが-0.092%、材料Cが-0.123%であった。また、拡散係数は材料Aが 0.24×10^{-4} cm²/sec、材料Bが 0.60×10^{-4} cm²/sec、材料Cが 2.10×10^{-4} cm²/secであった。

(4) ひび割れ発生の有無

吹付け施工後試験体を屋外に暴露して7ヵ月経過したが、材料AおよびBともモルタル表面ならびにモルタルとコンクリートとの界面にひび割れは観察されていない。

2. 7 材料選定試験結果のまとめ

以上述べるように、S/C=2の普通モルタル(材料C)では急結剤を使用しても深さ40cmへ吹付け充填は不可能であり、補強繊維等を混入したプレミックス品を使用してはじめて可能となることが確認された。

材料Bは砂を増量して材料Aのコストダウンを図ったものであり、品質的には材料Aに比べて若干劣るものの、施工性、強度等の要求性能を満たしており、経済性を考慮して材料Bを採用することとした。

3. 実セグメントを用いたモルタルの付着性試験

構造物の供用開始後においては、メンテナンス等の目的でシールドトンネル内に担当者が出入りすることになり、充填モルタルの剥落は絶対に避けなければならない。

そこで、ボルトボックス内にはボルト頭部を利用して脱落防止金物を埋め込むこととし、その方法で実大セグメントを用いて吹付け充填を行い、充填材の引抜き試験を実施した。

その結果、モルタル重量40kgの2.5倍に相当する荷重100kgfでモルタルの抜け出しは見られず、2,000 kgfでも抜け出し量は1mm以下で、充填モルタルは十分な付着性を有していることが確認された。

4. 神田川・環状七号線地下調節池ボルトボックス充填工

本工事は平成5年9月より開始され、1日7リング分(ボルトボックス:588個、把持金具:154個)の施工速度で順調に進められている。吹付け施工には前述した材料Bを使用している。コテ仕上げ性に問題がないことが確認されたことから、実験で一次吹付け材と称した急結剤添加配合でセグメント表面部まで連続して吹付けを行っている。

1日の充填モルタル量は9m³(17ton)にもおよぶため、使用するモルタル材はあらかじめ骨材を混合したプレミックス品として施工の簡略化を計り、フレキシブルコンテナで1袋1tonに包装して供給している。作業台車上にはモルタル材用サイロ、水槽、250ℓパン型ミキサ(2台)、スネーク式モルタルポンプ(4台)、急結剤ポンプ(4台)あるいは高圧空気配管等の

吹付け施工設備を搭載し作業の効率化を計った。

吹付け作業は4系列で同時に行なわれるため、個々のノズルマンがモルタルならびに急結剤の吐出の開始・停止の繰り返し、あるいは吹付け空気圧の調節をノズル先で制御できるようノズルシステムを開発するとともに、ボルト、ナットあるいは脱落防止金具が設置された奥行の深いボルトボックス内に密実にモルタルを充填できるようノズル先端部の開発改良を行った。

なお、モルタル吹付け状況を写真-3に、また、吹付け後のセグメント表面状態を写真-4にそれぞれ示す。

5. まとめ

大型RCセグメントボルトボックスのモルタル充填を目的とした本工法の開発に当たっては、作業の効率化、天井面でも剥落しない付着性、平滑な仕上げ性、安全な作業性、作業の省力化を主眼とした。本吹付け工法は、これらの目的を満たし、現在工事は予定を上回る効率で進行している。

今後、大断面のシールドトンネル工事はますます増加すると考えられ、本報告がこれらの工事に参考となれば幸いである。



写真-3 モルタル吹付け状況

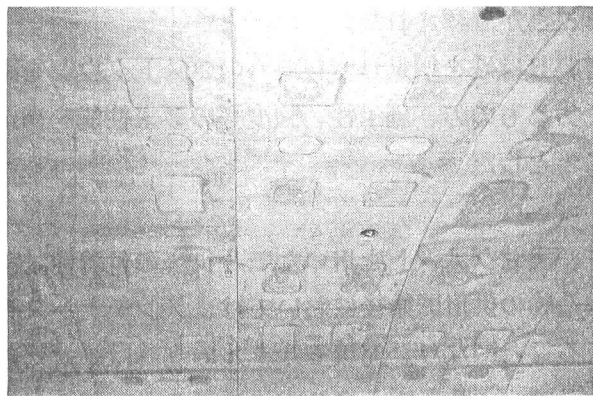


写真-4 吹付け後のセグメント表面状態

1) 参考文献：池田捷也、岸谷孝一ほか「鉄筋コンクリート構造物の補修用特殊モルタルに関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集、1990.10