

凍結工法により低温環境下となった既設人孔と鋼製セグメント間の間隙充填工法の検討

東急建設株式会社 正会員 ○高松伸行 伊藤正憲 前原 聡 堀 浩之 小川智彦
東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所 久本洋二 小崎敏之

1. はじめに

隅田川幹線工事は、足立区千住地区 293ha の雨水を收容する隅田川幹線の一部を構築するもので、仕上り内径 4.75m、セグメント外径 5.50m の二次覆工一体型セグメントを施工するシールド一次覆工（泥水式、延長 3,119.8m）と、到達部既設人孔とシールド機を接続する到達部隧道管渠工（仕上り内径 2.80m、セグメント外径 3.55m、延長 5.45m）を施工するものである。この到達部において、既設人孔とシールド機の間に優れた遮水性と強度を併せ持つ凍土を造成して止水および土留めを行い、隧道管の建設に伴う既設人孔壁の撤去と鋼製セグメント組立等の作業を安全かつ確実に施工することを目的に凍結工法を採用するに至った。図-1 に凍土造成時のイメージ図を示す。

隧道管の建設は、到達したシールド機前胴部で人力組立した鋼製セグメントを既設人孔開口部まで延長設置し、鋼製セグメントと既設人孔との隙間に無収縮モルタルを打設して止水性を確保する計画とした。無収縮モルタル打設時には凍土が造成された状態であり、通常的环境に比べて極めて低温（-15℃程度、無収縮モルタルの硬化熱により既設人孔は-10℃以上となる）になっている。本文は、凍結工法における低温環境下を再現した無収縮モルタルの性能評価試験を行い、実施工での無収縮モルタル打設環境について考察を行ったものである。

2. 性能評価試験の概要

表-1 に選定した超速硬型無収縮モルタルの基本物性を示す。通常は無収縮モルタルではセメントの水和が促進されず十分な性能が発揮できない可能性があるため、良好な流動性と分離抵抗性かつ低温環境下においても極めて高い強度発現性と無収縮性を示す超速硬型無収縮モルタルを対象として、低温環境下における強度発現性状、付着性状および耐透水性状について試験を行い評価した。

表-2 に性能確認試験の環境条件を、表-3 に性能確認試験項目を示す。低温環境を評価する条件は、環境温度および型枠温度が-10℃の状態で作成し、環境温度 5℃として養生するもの（-10℃→5℃環境）と試験体作製および養生時を 5℃とするもの（5℃環境）の 2 条件とした。付着性状および耐透水性状試験では、無収縮モルタルとコンクリート（既設人孔）の接着面および無収縮モルタルと鋼板（鋼製セグメント）の接着面を対象とし、プライマーの有無、鋼製セグメントの錆止め塗装の有無に関して、それぞれの性能を評価した。

3. 試験結果および考察

図-2 に各種環境条件下における圧縮強度の試験結果を示す。本工事で使用する無収縮モルタルは、初期の強度発現性が高く、低温環境下においても材齢 3 時間で 40N/mm² 弱の強度を発現し、さらに、材齢 28 日ではいずれの環境においても 60N/mm² 以上の圧縮強度となり既設人孔の設計基準強度 24N/mm² を上回ることが確認できた。

図-3、4 に各条件下の付着強度試験結果を示す。図-3 はす

キーワード 凍結工法、無収縮モルタル、既設人孔、鋼製セグメント

連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 東急建設株式会社 土木本部 土木技術設計部 Tel:03-5466-5322

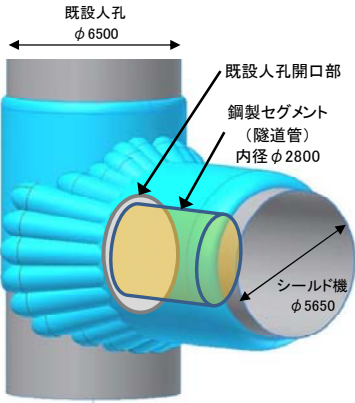


図-1 凍土造成のイメージ図

表-1 超速硬型無収縮モルタルの基本物性

練上り温度 (℃)	コンスタンス (秒)	ゲル化時間 (分)	膨張収縮率(%)		
			1 日	3 日	7 日
23.5	7.8	22	+0.11	+0.11	+0.12
	7.4		+0.20	+0.20	+0.19
	7.6		±0.05	±0.07	±0.07
			+0.12	+0.13	+0.13

表-2 性能評価試験の環境条件

項目	条件
-10℃→5℃環境	環境温度、各種型枠温度が-10℃の状態で作成し、作製終了から 10 分経過後に環境温度を 5℃にして養生
5℃環境	環境温度、各種型枠温度が 5℃の状態で作成し、その後も 5℃で養生
20℃環境	20℃に管理した標準条件で作成し、養生

表-3 性能評価試験の試験項目

項目	条件
強度発現性状	JIS A 1108(試験体 φ100×200mm)準拠、材齢:3 時間、1 日、7 日、28 日 目標値: 24N/mm ² (既設人孔コンクリートの設計基準強度)
付着性状	対象: 無収縮モルタルとコンクリートの接着面、無収縮モルタルと鋼板の接着面 下地処理: プライマーの有無、油性錆止め塗装の有無 目標値: 1.5N/mm ² (下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル)
耐透水性状	対象: 無収縮モルタルとコンクリートの接着面、無収縮モルタルと鋼板の接着面 下地処理: プライマーの有無、油性錆止め塗装の有無 目標値: 全透水しないこと

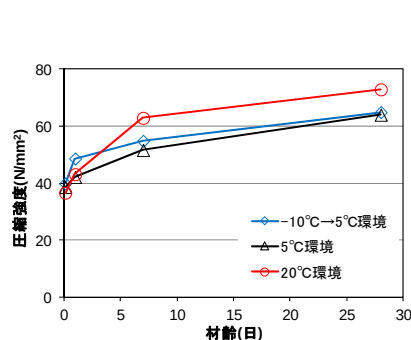


図-2 圧縮強度結果

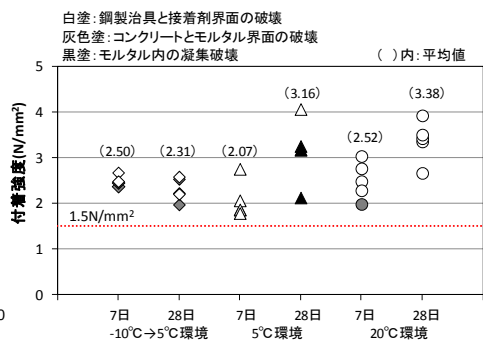


図-3 付着強度結果(無収縮モルタル-コンクリート)

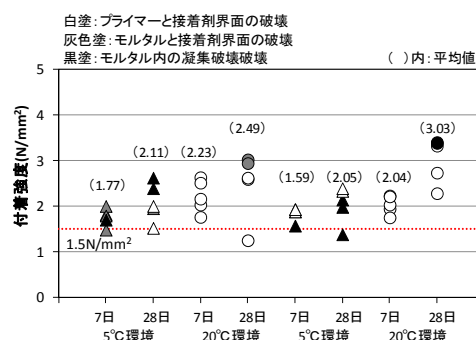


図-4 付着強度結果(無収縮モルタル-鋼板)

べてプライマー未塗布の結果であるが、いずれも目標値 1.5N/mm^2 以上¹⁾ の良好な付着力が確保できることが確認できた。なお、 $-10^\circ\text{C} \rightarrow 5^\circ\text{C}$ 環境においてプライマーを塗布した条件も実施したが、プライマーが被膜化せずに付着阻害の要因となり、無収縮モルタルとコンクリートは接着しない結果が得られた。特に 0°C 以下の水が凍結するような環境条件では、プライマーを塗布することで、逆に付着強度が低下することが確認された。図-4 は、錆止め塗装の有無に関わらずプライマーを使用した結果である。 5°C 環境の付着強度は、 20°C 条件のものより若干低下しているが、試験の平均値は目標値 1.5N/mm^2 以上の付着力が確保された。ここでも、 $-10^\circ\text{C} \rightarrow 5^\circ\text{C}$ とした付着強度試験の結果では、鋼板と無収縮モルタルは接着することができなかった。

図-5, 6 に透水試験結果を示す。図中、縦軸の透水量は試験体接着面の透水量ではなく、試験体に含浸した水量(g)を計測したものである。これは、コンクリート単体および無収縮モルタル単体の含浸水量の測定結果をあらかじめ把握したために判断できるものである。試験体を加圧水が通過、透水しないことは、水圧加圧面反対側の接着面を目視により確認した。また、「全透水」となった結果の試験体は、期待した接着力が得られず、試験中に接着面が剥離した。

図-5 より 20°C 環境ではプライマーの影響は見られず、いずれも良好な耐透水性を示しているが、 $-10^\circ\text{C} \rightarrow 5^\circ\text{C}$ 環境では、プライマーを塗布しない方が良好な耐透水性を示すことが確認できた。また、図-6 より無収縮モルタルと鋼板の接着面の耐透水性は、いずれもプライマーを使用しているが、錆止め塗装を塗布している場合、接着面の耐透水性が確保できないこと、また、環境的には 5°C 以上の温度環境が必要であることが確認できた。

以上の結果から、既設人孔にはプライマーを塗布せず低温環境下で無収縮モルタルを施工することとした。また、鋼製セグメントは組立前に錆止め塗料を除去し、プライマーを塗布した上で無収縮モルタルとの接着面の温度を 0°C 以上(凍っていない状態)として無収縮モルタルを施工することとした。

4. おわりに

実施工では鋼製セグメントの温度を 0°C 以上とするため、無収縮モルタル打設前夜から凍結設備のブライン循環を一時停止し、坑内温度を上昇させた。ただし、必要以上に坑内温度を上昇させると造成した凍土に悪影響を及ぼすことから事前に温度伝達解析を行い坑内温度と凍結設備の停止時間を管理した。

これらの検討結果を踏まえ施工することで、凍土解凍後において鋼製セグメントと既設人孔との隙間からの漏水はなく、無収縮モルタル施工部分の止水性を確保することができた。

最後に、本検討および実施工においては、電気化学工業株式会社 五味秀明氏、高木聡史氏ほか関係者の方々に多大なるご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル，平成 24 年 4 月，p.139