

開削トンネルコンクリートにおける 表面含浸材の適用時期と保護効果

The application time and a protective effect of the surface penetrant
in the open-cut tunnel concrete

宮下裕介¹・宇野洋志城²・木村定雄³

Yusuke Miyashita, Yoshiki Uno and Sadao Kimura

¹学生会員 金沢工業大学 環境土木工学専攻 (〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

E-mail:y.miyashita@venus.kanazawa-it.ac.jp

²正会員 佐藤工業 技術研究所 (〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山14-10)

E-mail:uno@satokogyo.co.jp

³正会員 金沢工業大学教授 環境土木工学科 (〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

E-mail:s.kimura@neptune.kanazawa-it.ac.jp

The surface penetrant is known as one of the protection method for deterioration of concrete. The surface penetrant is used for not only the new structure but also the existing structure.

Then, the protective effect of the maintenance prevention and the preventive maintenance that assumed a new structure and an existing structure was proved by accelerated carbonation test. As a result, the clear protective effect was verified in the maintenance prevention. On the other hand, the clear protective effect was not verified in the preventive maintenance.

Key Words : surface penetrant, preventive maintenance, maintenance prevention

1. はじめに

わが国の公共事業費は高齢化や人口減少などに伴う税収の減少により、年々削減される傾向にある。一方で、高齢化した構造物を維持管理するための費用は年々増加しており、維持管理費用の低減や構造物の長寿命化が求められている。とくに地下構造物は一度構築するとそれを再構築することが困難なため、種々の観点から耐用年数を長くする必要があると考えられる。このため、地下構造物は地上構造物に比べて新規構造物における計画段階からの保全(以下、保全予防¹⁾と称す)や、既存構造物における日常保全(以下、予防保全¹⁾と称す)などの延命化が重要な課題となる。

このような延命化の技術の一つとして表面保護工法があり、その中でも施工が容易で安価な表面含浸

工法が注目されている。

これまで著者らは主に開削トンネルを念頭におき、表面含浸工法の有効性を検討してきた²⁾。既往の研究では、表面保護工法設計施工指針(案)に従ってけい酸塩系やシラン系などの一般的な表面含浸工法に用いられる材料の性能評価を行ってきたが、既に劣化が進行している既存構造物を想定した評価は行われていなかった。実際の施工では既に劣化が進行している既存構造物も想定されることから、既存構造物における表面含浸工法の有効性を確認することが必要である。

本報告は開削トンネルを主な対象として、表面含浸工法を保全予防および予防保全の異なる時期において施工した場合の抑制効果を確認することを目的としたものである。

2. 実験概要

(1) 促進中性化試験の概要

今回の実験では劣化要因のうち中性化に着目し、保全予防および予防保全の2通りの施工時期を想定した促進中性化試験を行った。促進中性化試験の流れを図-1に示す。

新規構造物を想定した保全予防では、表面含浸材を塗布した後に28日間の促進中性化を行った。既に劣化が進行した既存構造物を想定した予防保全では、劣化の進行を再現するために56日間の予備中性化を行った後に表面含浸材を塗布し、再度28日間の促進中性化を行った。また、比較のために表面含浸材を塗布しない対策なしとして28, 56, 84日間の促進中性化を行った。促進中性化はCO₂濃度が5±0.2%, 温度20±2℃, 相対湿度60±5%RHの環境とした。

(2) 表面含浸材と試験体の概要

本報告は超微粒子けい酸塩系表面含浸材(以下、含浸材と称す)を用いた。含浸材はコンクリートの表層部に浸透して水酸化カルシウムや水酸化ナトリウムと反応し、コンクリートを緻密化させることにより劣化因子の侵入を抑制するものである。含浸材の主成分および設計塗布量を表-1に示す。設計塗布量は実施工を参考にして定めた。塗布工程および塗布工程の様子を表-2、図-2に示す。

塗布対象の試験体は、表面含浸工法の試験方法であるJSCE-K571-2004³⁾で定められているW/C=50%, 既設の開削トンネル躯体コンクリートで多く用いられているW/C=55%, および過去の開削トンネルにおいて用いられた可能性のあるもののうち最も大きいW/C=65%を加えた3水準とした。試験体は全てモルタルとし、粗骨材の影響を排除した。試験体の示方配合および使用材料の物性値を表-3、表-4に示す。

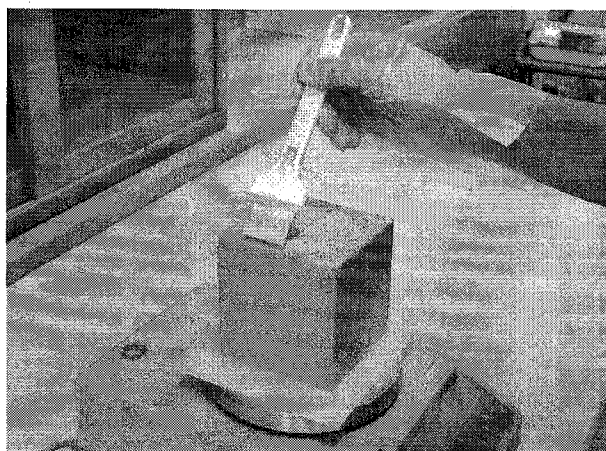


図-2 塗布工程の様子

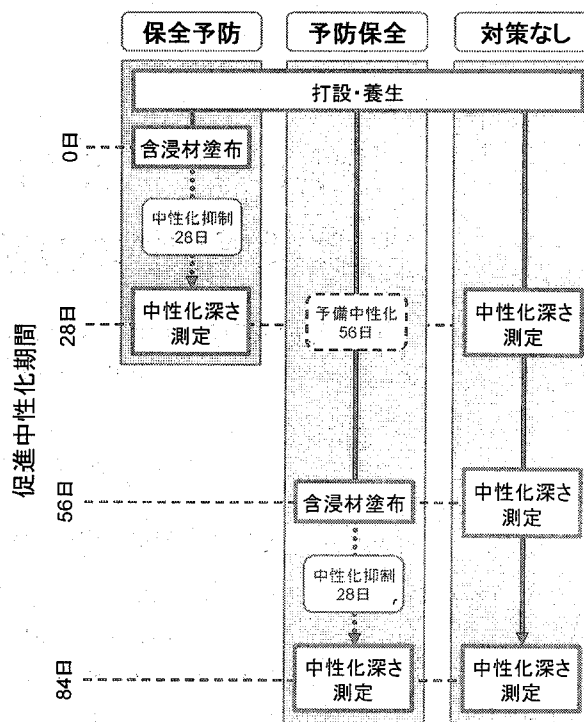


図-1 促進中性化試験の流れ

表-1 表面含浸材の主成分

表面含浸材の種類	主成分	設計塗布量
超微粒子けい酸塩系	コロイド状けい酸ナトリウム溶液	400 g/m ²

表-2 塗布工程

1工程 (1日目)	塗布	■ 1分で100g/m ² 使用
	含浸1	■ 光沢が消えるまで静置
	塗布	■ 1分で100g/m ² 使用
	含浸2	■ 光沢が消えるまで静置
2工程 (2日目)	気中養生	■ 24時間気中養生
	塗布	■ 1分で100g/m ² 使用
	含浸3	■ 光沢が消えるまで静置
	塗布	■ 1分で100g/m ² 使用
	含浸4	■ 光沢が消えるまで静置
	気中養生	■ 24時間気中養生

表-3 試験体の示方配合

水セメント比 W/C [%]	砂セメント比 S/C	単位量 [kg/m ³]		
		W	C	S
50	3	252	504	1512
55		276	502	1507
65		305	469	1406

表-4 使用材料および物性値

セメント	普通ポルトランドセメント	密度	3.16 [g/cm ³]
細骨材	石川県手取川産川砂	表乾密度	2.57 [g/cm ³]
		乾燥密度	2.51 [g/cm ³]
		吸水率	2.50 [%]
		粗粒率	2.85

3. 実験結果

(1) 中性化深さ

促進中性化28日および84日の中性化深さ測定結果を図-3および図-4に示す。促進中性化28日ではいずれのW/Cにおいても、対策なしと比較して保全予防の中性化深さが小さくなる傾向が見られ、含浸材の中性化抑制効果を確認することができる。一方で促進中性化84日を見ると、W/C=55%においては予防保全が対策なしを下回ったものの、W/C=50%および65%ではほぼ同等の値となり、明確な抑制効果を確認するまでには至らなかった。

中性化抑制率を図-5に示す。中性化深さの測定結果からもわかるように、予防保全に比べて保全予防の抑制率が高くなっており、全てのW/Cにおいて40%以上の抑制率が確認できた。一方で、予防保全ではW/C=55%において40%の抑制率を確認した以外は、明確な抑制率は確認できなかった。

(2) 中性化進行モデル

中性化の進行は一般に $\sqrt{t}$ 則に従うとされ、式(1)で表すことができるが、予防保全では途中で進行速度が変わることを考慮して式(2)⁴⁾を用いた。

$$y = b\sqrt{t} \quad (1)$$

ここに、

y : 中性化深さ

b : 中性化速度係数

t : 中性化期間

$$y = b_0\sqrt{t_0} + b_x(\sqrt{t} - \sqrt{t_0}) \quad (2)$$

ここに、

b_0 : 補修前の中性化速度係数

b_x : 補修後の中性化速度係数

t_0 : 補修時までの中性化期間

上式と中性化深さ測定結果を用いて表した中性化進行モデルを図-6に示す。抑制効果の確認できなかったW/C=50%および65%の予防保全は非表示としている。W/Cが小さくなるほど中性化の進行が遅いことがわかる。保全予防はW/Cに関わらず同等の進行を示し、対策なしに比べて明確な抑制効果が確認することができる。予防保全のW/C=55%では、促進中性化56日を分岐点として抑制側に進行することがわかる。

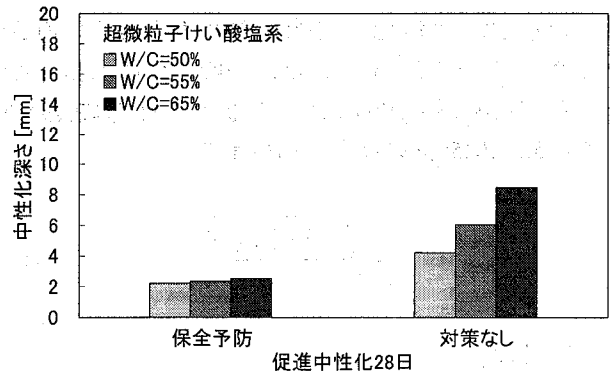


図-3 中性化深さ（保全予防）

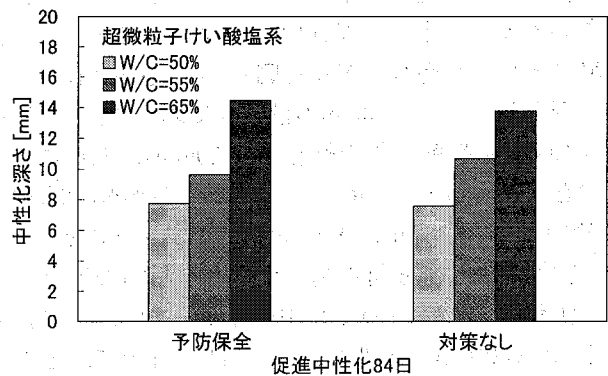


図-4 中性化深さ（予防保全）

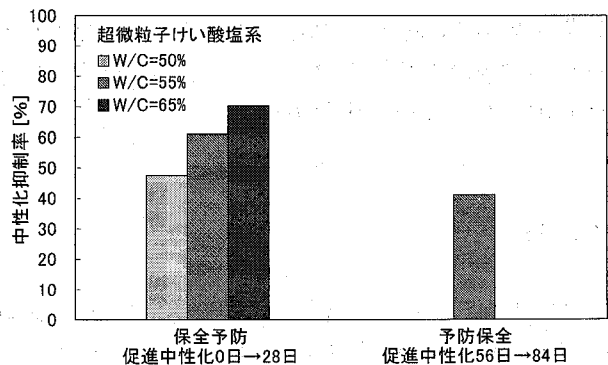


図-5 中性化抑制率

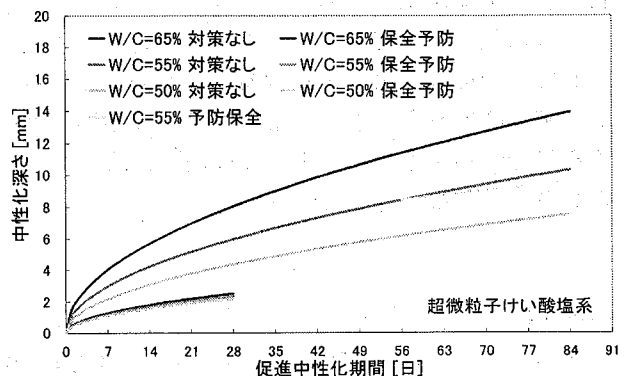


図-6 中性化進行モデル

(3) 実環境換算

CO₂濃度5.0%の促進中性化試験を実環境に換算するために、式(3)⁵⁾を用いた。一般的な屋内環境におけるCO₂濃度約0.1%に対して、促進中性化試験のCO₂濃度5.0%は50倍の促進に相当する。

$$b_{CO_2} = \sqrt{\frac{CO_2 \text{濃度}(\%)}{5}} \quad (3)$$

ここに、

b_{CO_2} : CO₂濃度に関する係数

含浸材の性能が低下せず中性化速度係数が変わらないものと仮定し、促進中性化期間を50倍して実環境に換算した進行モデルを図-7から図-9に示す。

例としてかぶり30mmの構造物において、中性化残り10mmを考慮して中性化深さ20mmに到達するまでを想定すると、対策なしの場合W/C=50%で約80年、W/C=55%で約43年、W/C=65%で約24年となった。

初期段階に含浸材を施工する保全予防の場合には、いずれのW/Cにおいても中性化深さ20mmに到達するには100年以上を要し、保全予防が有効であることが確認できる。一方で、途中段階で含浸材を施工する予防保全において、抑制効果の見られたW/C=55%では約78年となり、対策なしと比べて35年の延命化効果が見込まれるが、W/C=50%および65%においては抑制効果が確認できなかったことから延命化効果を評価することができなかった。

4. おわりに

今回の実験では、開削トンネルを模擬して含浸材の施工時期の違いによる抑制効果の違いを明らかにしてきた。実験結果より、含浸材を保全予防として用いることは延命化に大きく寄与することが確認された。再構築が困難な地下構造物において、このような延命化は有効である。一方で、予防保全では、一部でしか抑制効果を確認することができなかったが、施工時期や環境などによっては抑制効果を見込める可能性があるため、十分な検討を行って用いるのが最適であると考えられる。

参考文献

1) 土木学会：材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能，コンクリート技術シリーズNo.71，pp.175，2006.9

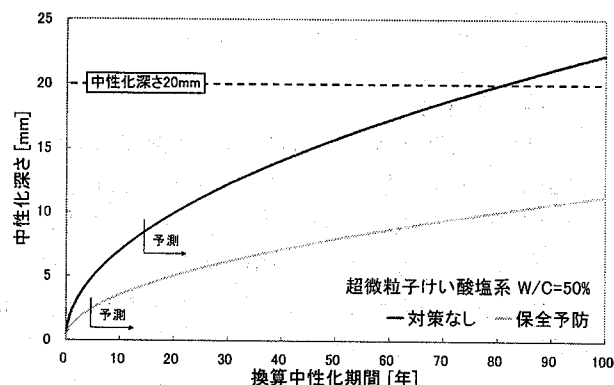


図-7 実環境換算モデル W/C=50%

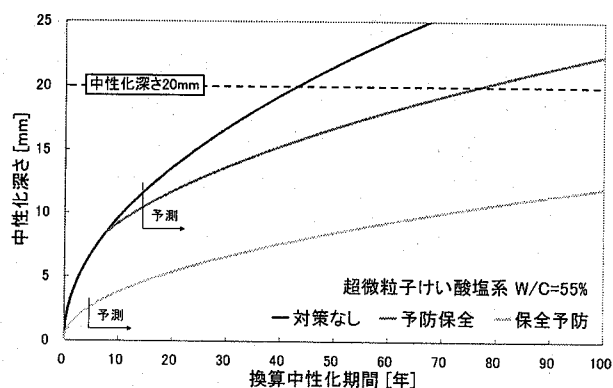


図-8 実環境換算モデル W/C=55%

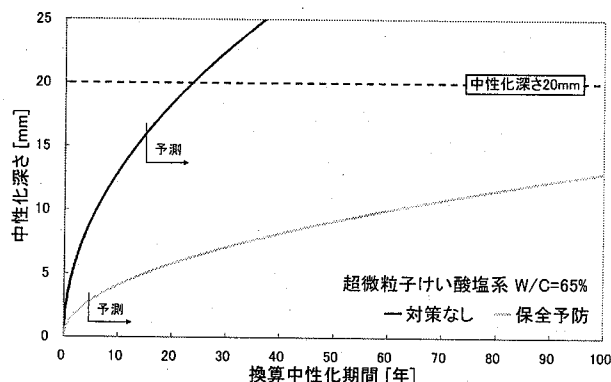


図-9 実環境換算モデル W/C=65%

- 2) 例えば、宇野洋志城，玉井攻太，木村定雄：コンクリート表面含浸材の基本性能の評価，土木学会第61回年次学術講演会，V-002，2006.9.
- 3) 土木学会：表面保護工法設計施工指針(案)，コンクリートライブラリー119，pp.56，2005.4
- 4) 伊部博：塗布含浸材及びポリマーセメントモルタルの中性化抑制効果，セメント・コンクリート論文集，No.49，pp.874-879，1995
- 5) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案)・同解説，pp.183，1991.7