

けい酸塩系表面含浸材を活用した 無機系補修材料の付着性能向上に対する施工条件の影響

Effect of Construction Conditions on the Adhesion Performance Improvement of Inorganic Repair Materials Using Silicate-Based Surface Penetrants

○丁卓恒*, 上野和広**, 石井将幸**

○DING ZHUOHENG, UENO Kazuhiro, ISHII Masayuki

1. はじめに

コンクリート構造物の老朽化が深刻化している現在、補修・補強の需要が多くなっている。補修効果や構造物の一体性を獲得するために、補修材料と既設躯体の付着強度は極めて重要な要求性能である。既往の研究[1]では、付着強度に影響を及ぼす母材コンクリートの条件について検討を行い、付着強度は母材の強度が高くなるほど大きくなることが示された。また、母材の強度が同一の条件下では、一般的に低強度となる組織構造が緻密でない母材において、補修材料の成分が浸透しやすくなり、良好な付着強度が発揮される結果となった。これらの結果から、既設躯体と補修材料の一体性を高めるためには、強固な母材を形成することと、補修材料の母材への浸透性を高めることの双方を実現することが有効であると考えられる。

本研究では、そのための方法として、けい酸塩系表面含浸材と無機系補修材料の複合工法に着目し、検討を行った。本報では、付着強度に対するけい酸塩系表面含浸材と補修材料の施工条件の影響について報告する。

2. 材料および実験方法

実験では、含浸材の種類、含浸材養生期間、ポリマーセメントモルタル(以下、PCM)の養生条件が異なる条件で供試体を作製した。これらの供試体について、所定の材齢で一面せん断試験による付着強度の評価を行うことで、上記の要因が付着強度に及ぼす影響を検討した。

含浸材により改質される母材には、W/C=50%, 砂:セメント=3:1で打設したモルタルを用いた。含浸材には、主成分がけい酸リチウムの固化型と主成分がけい酸ナトリウムの反応型2種類を使用した。含浸材の施工からPCMの打設までの期間(含浸材養生期間)には、0, 7および28日を設定した。ブランク供試体については、下地処理としてPCM打設日の前日にプライマーを塗布した。

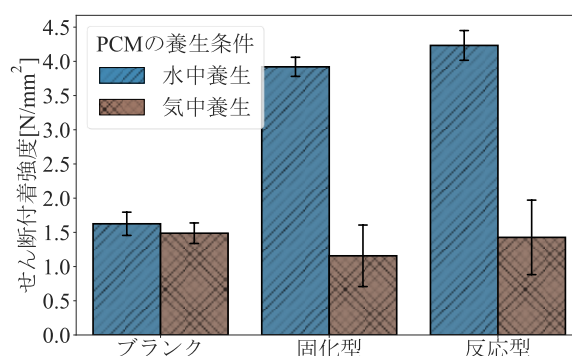


Fig. 1 付着強度の試験結果
Bond strength test results

その後、PCMを母材モルタルに打設した。PCM材齢2日で脱型し、5日の水中養生を行った後、養生条件として、水中養生を継続もしくは気中養生を開始の2種類を設定した。そして、PCM材齢28日にて一面せん断試験を実施した。

3. 結果と考察

3.1 含浸材の使用が付着強度に与える影響

Fig. 1に含浸材養生期間28日での付着強度の試験結果を示す。PCMを水中養生した場合、含浸材の使用により付着強度が向上した。けい酸塩系表面含浸材は母材内部の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応し、C-S-Hゲル生成して空隙を充填する(反応型)、もしくは材料自体の固化により空隙を充填する(固化型)。このようなメカニズムで母材モルタルの表層組織が緻密化し、強度が増加したことから高い付着強度を発揮したと考えられる。また、含浸材の改質によって母材の毛細管空隙率が低下するため、PCM打設後にPCMから母材への水分移動が減少してドライアウトをある程度を抑制した可能性も考えられる。

一方、PCMを気中養生した場合、含浸材を使用することによる付着強度の向上は見られなかった。これは、付着強度には含浸材による改質効果のほか、PCMの母材への浸透

* 島根大学大学院自然科学研究科 Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

** 島根大学学術研究院 Academic Assembly, Shimane University

キーワード：けい酸塩系表面含浸材，無機系補修材料，付着強度，施工条件

具合も影響しているためと考えられる。既往の研究[2]では、高強度コンクリートを母材とした場合、PCM 中のポリマーおよび水分子は緻密な母材にほとんど浸透しないため、良い接着層を形成できず付着強度が低下することが報告されている。PCM を気中養生した条件では、含浸材の改質効果による組織構造の緻密化が付着強度に正の影響を与える一方、この緻密化によって PCM の成分が母材に浸透しづらくなり、付着強度に負の影響を与えた可能性がある。

含浸材を使用した供試体について、PCM の養生条件によって付着強度に差が大きく生じた他の原因として、C-S-H ゲルの生成メカニズムの相違が考えられる。既往の研究により[3]、けい酸塩と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の反応で生成される C-S-H ゲルの粒子径はけい酸塩の濃度によって大きく異なることが示された。けい酸塩の濃度が高いほど、分散性が不安定でシリカ粒子同士が接近し、網目の小さな C-S-H ゲルを形成する一方、けい酸塩の濃度を低くすると、シリカ粒子同士が離れているため、より多くの溶媒を受け入れることができる粒子径の大きい C-S-H ゲルとなる。このようなメカニズムにより、PCM 水中養生期間中において、含浸材が再溶解して $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と再反応することでより大きな C-S-H ゲルを形成し、付着強度の向上に寄与した。一方、PCM 気中養生の条件では、含浸材の再溶解と再反応が生じず、付着強度が大きくならなかったと考えられる。

3.2 含浸材養生期間の影響

Fig. 2 に含浸材養生期間と付着強度の関係を示す。PCM を水中養生した供試体は、含浸材種類によって付着強度の変化傾向が異なった。固化型について、養生期間にかかわらず、付着強度が 3.0N/mm^2 以上を保っており、養生期間 28 日の供試体は最も高いかつ安定した付着強度(3.9N/mm^2)を示した。反応型に関しては、養生期間 0 日の供試体の付着強度が比較的小さく、7 日に増やすと急激に 5.5N/mm^2 まで増加する。養生期間 28 日の付着強度は 7 日のものと比較して平均値が少し小さくなるが、ばらつきが小さく最も安定した付着強度を発揮した。これらの結果から、固化型については塗布後に短期間で PCM を施工した場合でも良好な改質効果が得られる一方、反応型は良好な改質効果を獲得するために、十分な反応時間を確保することが必要であると言える。

PCM を気中養生した供試体については、含浸材養生期間を増やした場合でも付着強度が依然として低い。したがって、付着強度を向上させるために、含浸材を塗布後にも水分を供給し、含浸材を再反応させることが重要である。

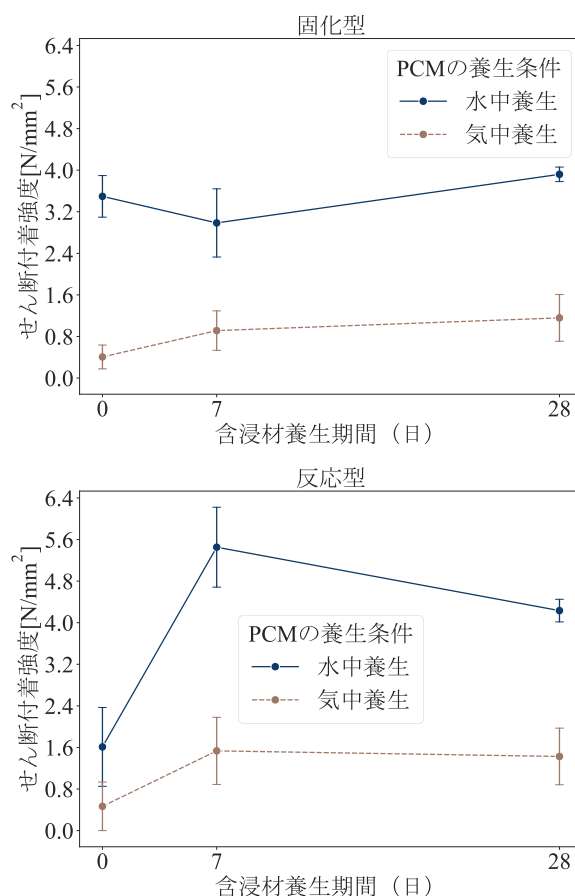


Fig. 2 含浸材養生期間と付着強度の関係
Relationship between curing periods and bond strength

4. まとめ

本研究では、けい酸塩系表面含浸材と PCM による複合工法に対する施工条件の影響を付着強度によって評価した。その結果、適切な条件下での施工が付着強度の向上に必要なことが確認できた。

参考文献

- [1] 上野和広, 吉田美里, 石井将幸. コンクリートの諸条件が無機系補修材料とのせん断・単軸引張付着強度へ及ぼす影響. 農業農村工学会論文集 2023;91:I_121-I_128.
- [2] Zhang D, Ueda T, Furuuchi H. Fracture Mechanisms of Polymer Cement Mortar: Concrete Interfaces. J Eng Mech 2013;139:167-76.
- [3] 加藤諄, 吉田亮, 近藤政晴, 藤正督. 水分浸透抵抗性を向上させるケイ酸ゲルの生成メカニズムに関する基礎研究. コンクリート工学年次論文集 2021;43:1055-60.