

海洋環境下における表面含浸材の長期的なひび割れ補修効果に関する研究

○福岡大学 学生員 久保田崇嗣 福岡大学 正会員 樋原弘貴
福岡大学 正会員 添田政司 福岡大学 学生員 西嶋大貴

1. はじめに

けい酸塩系表面含浸材は、コンクリート中の Ca^{2+} および水と反応して結晶を生成あるいは材料自体がガラス質の固化物としてコンクリート表層を緻密化し、耐久性を向上することができる。それ以外にも近年では、微細ひび割れに対する新たな補修材料として注目され始めており、促進試験や透水試験によって微細ひび割れへの有効性について報告されている¹⁾²⁾。しかし、長期的なひび割れ補修性能や効果の持続性といった情報が少ないのが現状である。そこで本研究は、けい酸塩系表面含浸材を用いてひび割れ補修を行った供試体を海洋大気中に 10 年間曝露し、長期的な補修性能を確認すると共に、曝露過程で再塗布を施して再補修の有効性についても検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表-1 に海洋大気中に曝露した供試体の配合を示す。セメントは、普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm^3)、細骨材には、鹿児島県鹿児島市産川砂(密度 2.48g/cm^3 、吸水率 3.03%)、粗骨材は、鹿児島産砕石(密度 2.64g/cm^3 、吸水率 1.03%)を使用した、水セメント比 50% のものである。目標スランプ 10cm、空気量 4.0%としている。

2.2 供試体概要

図-1 には、供試体概要を示す。供試体は、 $10\times 10\times 60\text{cm}$ の角柱コンクリートであり、かぶり 3cm 位置に $\phi 10\text{mm}$ の鉄筋を 2 本埋設している。水中養生 28 日後に、供試体を曲げにより中央部にひび割れを導入後、互いの供試体を抱合させて拘束用ボルトを調節することで目標ひび割れ幅 0.2mm を導入した。また、妻面からの塩化物イオンの浸入を防ぐ目的から拘束ボルトより外側の端部 100mm の範囲にはエポキシ樹脂で被覆した。実験に用いた表面含浸材は、

表-2 に示す含浸材 A、B の Na を主成分とする反応型けい酸塩系表面含浸材である。いずれも粘性が低いため、塗布のみでも十分にひび割れ内部へ供給が可能であったことから、製品規定に従ってひび割れ箇所およびその他全面に塗布を行った。曝露期間は 10 年とし、一部の供試体には、曝露 3 年目にひび割れおよびその他の供試体全面に再塗布を行った。

いずれの供試体も曝露 10 年で解体し、測定項目として、自然電位、ひび割れ部の全塩化物イオン量、鉄筋腐食面積率を測定した。自然電位は、ひび割れ位置を中心に $\pm 5\text{cm}$ 、 $\pm 15\text{cm}$ 位置で鉛照合電極を用いて測定を行った。ひび割れ部の全塩化物イオン量は、ひび割れ部 10mm の範囲を深さ方向に 10mm ごとに 40mm まで採取し、JCI-SC4 に準拠して行った。腐食面積率は、取り出した鉄筋にセロハンテープを巻きつけ腐食部分を描写後、画像処理により腐食面積を求め、それを全鉄筋表面積で除して算出している。なお、いずれの測定も埋設された 2 本の鉄筋に大きな差異がなかったため平均値として表している。

表-1 コンクリート供試体の配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)			
		W	C	S	G
50	45	195	390	785	949

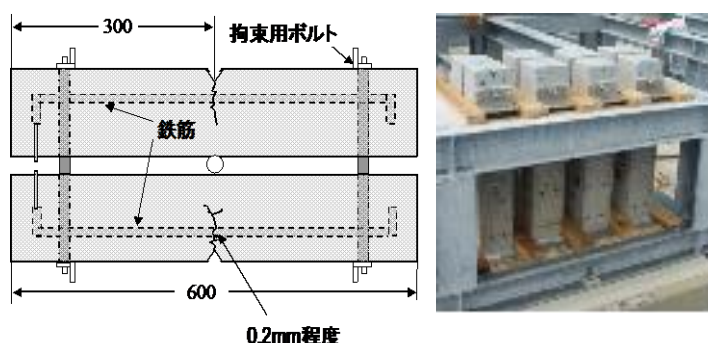


図-1 供試体の概要および曝露状況

表-2 表面含浸材の組成および物性値

含浸材種類	成分 (%)		密度 (g/cm^3)	粘度 ($\text{mPa}\cdot\text{S}$)	pH
	Na	Si			
A	5.7	10.6	4.5	1.1	11.23
B	8.9	17.3	6.5	1.23	11.21

3. 結果及び考察

図-2 は、ひび割れから±5 cm, ±15 cm位置における自然電位を示す。いずれの含浸材を塗布したものは、全ての測定位置で無塗布よりも自然電位が貴であり、鉄筋の腐食抑制がなされていると推察された。また、再塗布を施したものは、いずれの種類で初期塗布のみよりも電位が貴となっており、更なる腐食抑制がなされているものと考えられる。

図-3 は、ひび割れ面から深部方向への全塩化物イオン量分布を示す。含浸材を塗布した供試体は、いずれの測定箇所においても塩化物イオン量が無塗布に比べて少なく、ひび割れを C-S-H 結晶あるいは、ガラス固化体として閉塞できたことで、浸入を抑制できたものと考えられる。また、かぶり 25mm 位置付近の全塩化物イオン量は、無塗布で 5.4kg/m^3 であるのに対し、含浸材 A で 2.0kg/m^3 、含浸材 B で 3.6kg/m^3 程度であった。曝露 10 年時にて、かぶり 25mm 位置の全塩化物イオン量を無塗布の 30%～60%程度に抑制する結果を示した。含浸材種類の違いでは、含浸材 A の方が含浸材 B に比べて塩化物イオン量が少なかった。これは、含浸材 A の方が含浸材 B に比べて粘性が低いため、ひび割れ深部への浸透量に違いが現れたものと推察される。一方の、再塗布を施したものは、初期塗布のみよりもさらに塩化物イオン量が少なく、いずれの含浸材においても 1.0kg/m^3 以下であった。これは、初期塗布では十分に閉塞しきれなかったひび割れ内部を再塗布を行ったことで、さらに閉塞性が高まったものと考えられる。以上のことから、表面含浸材の長期的なひび割れ補修効果と再塗布の有効性について確認することができた。

図-4 には、自然電位と鉄筋腐食面積率の関係をそれぞれ示す。解体時の目視による腐食状況は、含浸材の有無により明確な違いが確認されており、いずれの供試体もひび割れに起因する腐食であった。特に、再塗布を施した供試体は、明らかに他のものよりも腐食が少なく点錆程度であった。また、腐食面積率は自然電位が卑になるに従って大きくなる傾向を示し、無塗布の腐食面積率は 7.2%であったのに対し、初期塗布のみでは、それぞれ含浸材 A で 0.7%、含浸材 B で 1.8%程度であった。一方の、再塗布を施したものは、塩化物イオンの浸入を抑制していたことで、0.2%程度と明確な腐食抑制を確認することができた。

4. まとめ

海洋大気中に 10 年間曝露した供試体を用いて、けい酸塩系表面含浸材のひび割れ補修性能について検討を行った結果、以下の知見を得ることができた。

- (1) 長期的なひび割れ補修効果を確認することができ、初期塗布のみでかぶり位置における塩化物イオン量を 30%～60%、腐食面積率を 7%～25%程度に抑制されていた。
- (2) 再塗布を行うことで、含浸材種類に関らず更なる補修効果が得られ、再補修の有効性と長期性能を確認できた。

[参考文献]

- 1) 樋原弘貴，武若耕司，山口明伸，白澤直：ケイ酸塩系表面含浸材の浸透特性および保護性能に関する基礎的研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 8 巻，pp.77-84,2008
- 2) 樋原弘貴，武若耕司，山口明伸，白澤直：ケイ酸塩系表面含浸材を用いたひび割れ補修による止水効果に関する検討，コンクリート工学年次論文集，第 31 巻，第 1 号，pp.1933-1938,2009

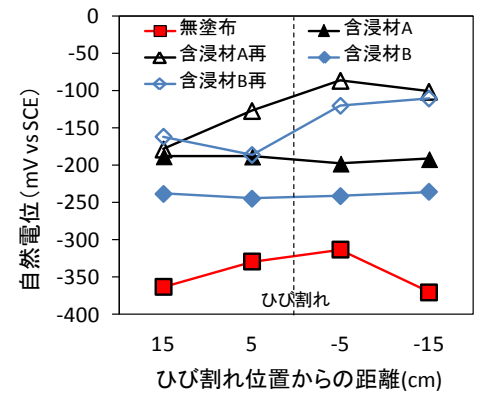


図-2 自然電位分布

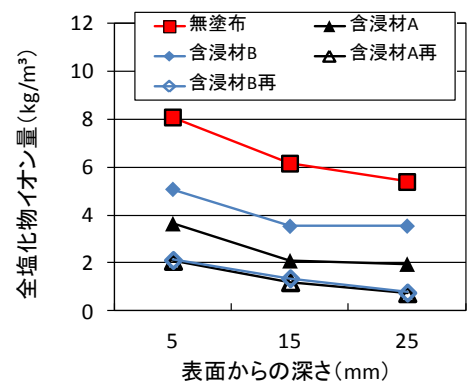


図-3 全塩化物イオン量分布

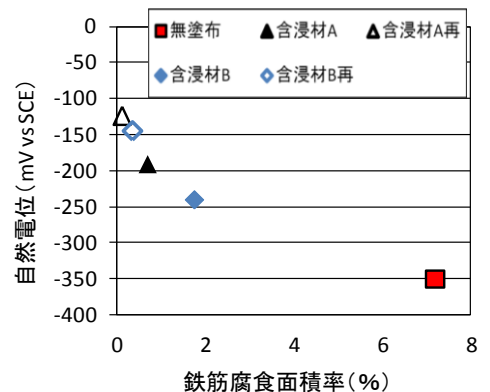


図-4 電位と腐食面積率の関係