

ひび割れを有する超高強度ひずみ硬化型モルタルの海洋環境下における鋼材防食性能について

東亜建設工業(株) 正会員 ○水田 潤, 田中 亮一  
 岐阜大学 正会員 国枝 稔  
 東京工業大学大学院 正会員 岩波 光保  
 (独) 港湾空港技術研究所 正会員 加藤 絵万, 川端 雄一郎

1. はじめに

超高強度ひずみ硬化型モルタル(以下, UHP-SHCC)の特徴的な力学的性質として, 高強度, 高靱性, ひび割れ分散性が挙げられ, また, 低水結合材比であるため物質移動抵抗性が高いという性質もある。さらに, 水分が供給される環境下では, 発生した微細ひび割れ部が自己治癒する性質もある<sup>1)</sup>。そこで筆者らは, ひび割れを有する UHP-SHCC により被覆した鋼板を海洋環境下に曝露し, 鋼材の腐食状況を調査した。本稿では, 曝露3年後における鋼材防食性能を検討した結果を示す。

2. 検討概要

検討に用いた試験体は, 表-1に示す UHP-SHCC を図-1のように鋼板に被覆したものであり, 図-2に示す純曲げ区間の UHP-SHCC 表面に 1.5%の曲げひずみを与え微細ひび割れを導入した。その後, ひび割れ面を曝露面として鋼板を含むそれ以外の面すべてをエポキシ樹脂にて被覆し, 横須賀市に立地する栈橋下の飛沫帯に試験体を曝露した(図-3参照)。

曝露期間は3年とし, 曝露後に試験体を回収して図-1に示す位置にて交流インピーダンス法により鋼板の分極抵抗を測定した。分極抵抗測定後, UHP-SHCC 被覆を鋼板から剥がし, 図-4に示す切断面において塩化物イオン(以下, Cl<sup>-</sup>)の浸透状況を 0.1N 硝酸銀溶液の噴霧および EPMA 分析により観察した。併せて, 鋼板および鉄筋表面の腐食状況を観察した。

3. 検討結果

図-5に分極抵抗の測定結果を示す。曝露後1年と3年で測定を実施したが分極抵抗の値はほとんど変化がなく, CEBによる腐食速度の判定基準<sup>2)</sup>では不動態状態(腐食なし)と判定された。

Cl<sup>-</sup>の浸透状況を図-6に, EPMA 分析した結果を図-7に示す。

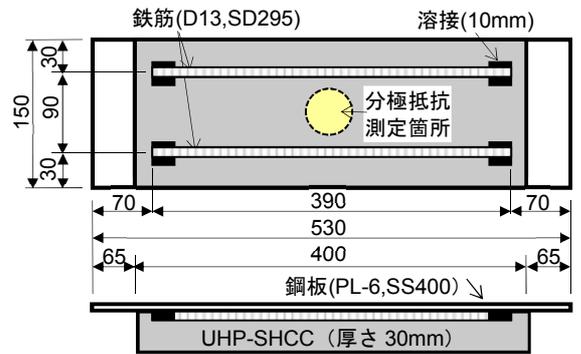


図-1 試験体概要(単位:mm)

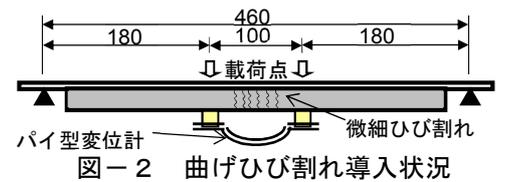


図-2 曲げひび割れ導入状況



図-3 試験体の曝露状況

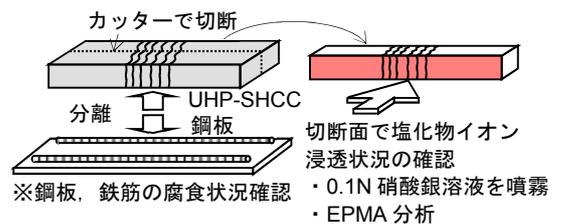


図-4 塩化物イオン浸透深さおよび鋼材腐食状況の確認

表-1 UHP-SHCC の配合

水結合材比	砂結合材比	繊維混入率(%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						混和剤量 (kg/m <sup>3</sup> )	
			水	セメント <sup>注1)</sup>	シリカフェューム <sup>注2)</sup>	膨張材 <sup>注3)</sup>	砂 <sup>注4)</sup>	繊維 <sup>注5)</sup>	高性能 AE 減水剤 <sup>注6)</sup>	消泡剤 <sup>注7)</sup>
0.22	0.10	1.5	357	1340	243	40	162	14.6	32.5	7.14

注1) 普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm<sup>3</sup>), 注2) シリカフェューム(密度: 2.20g/cm<sup>3</sup>, 比表面積: 200,000cm<sup>2</sup>/g)

注3) エトリンガイト・石灰複合系膨張材(密度: 3.10g/cm<sup>3</sup>), 注4) 砂7号(密度: 2.68g/cm<sup>3</sup>)

注5) 高強度ポリエチレン繊維(密度: 0.97g/cm<sup>3</sup>, 直径: 0.012mm, 長さ: 6mm, 弾性係数: 88GPa, 引張破断強度: 2700MPa)

注6) 高性能 AE 減水剤(密度: 1.10g/cm<sup>3</sup>, ポリカルボン酸系), 注7) 消泡剤(密度: 1.00g/cm<sup>3</sup>, ポリエーテル系)

キーワード 超高強度ひずみ硬化型モルタル, 鋼材防食性能, ひび割れ, 塩化物イオン浸透深さ

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1丁目3 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター TEL 045-503-3741

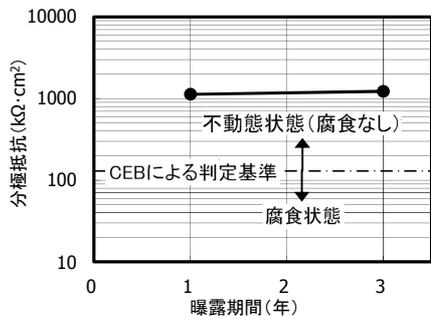


図-5 分極抵抗の測定結果



図-6 0.1N硝酸銀溶液の噴霧結果

ひび割れがない箇所では、曝露3年後においてもCl<sup>-</sup>の浸透深さは5mmに留まっており、Cl<sup>-</sup>はほとんど浸透していなかった。一方、ひび割れがある箇所ではCl<sup>-</sup>がひび割れに沿って浸透し鋼板表面に達していた。次に、図-7におけるひび割れがない箇所を①、断面内に多くみられるひび割れ幅を含む箇所を②、比較的大きいひび割れ幅を含む箇所を③とし、曝露面からの深さ方向を5mmの幅で平均化したCl<sup>-</sup>濃度分布を示す(図-8参照)。また、図-8の分布からFickの拡散方程式の解に対して回帰分析を行い、UHP-SHCC表面のCl<sup>-</sup>濃度(C<sub>0</sub>)およびCl<sup>-</sup>に対する見掛けの拡散係数(D)を得た(表-2参照)。なお、位置②、③ではCl<sup>-</sup>がひび割れに沿ってコンクリート深部まで浸透しているため、本検討ではコンクリート深部のCl<sup>-</sup>濃度(C<sub>i</sub>')を初期Cl<sup>-</sup>濃度(C<sub>0</sub>)と置換えて回帰分析を行った。その結果、位置①の見掛けの拡散係数は0.012cm<sup>2</sup>/年と非常に小さく、位置②、③では①よりも値は大きいものの、一般的なコンクリート(普通ポルトランドセメント、W/C=50%)に比べると1/20以下であった。

次に、鋼板および鉄筋表面の腐食状況を図-9に示す。図より、UHP-SHCC被覆にひび割れを有していたにも関わらず、鋼板表面に腐食は見られなかった。なお、位置③におけるCl<sup>-</sup>の濃度分布は、曝露面からの深さ17mm(鉄筋のかぶり深さ)で4.1kg/m<sup>3</sup>、深さ30mm(鋼板のかぶり深さ)では2.6kg/m<sup>3</sup>であったが、鉄筋表面にわずかな腐食が観察される程度であった。これは、UHP-SHCCが有するひび割れ分散性により、導入されたひび割れ幅が微細であったため、酸素、水等の劣化因子の供給が抑制されたことが考えられる。

以上より、今回の実験の範囲では、UHP-SHCCで被覆された鋼材の腐食発生限界Cl<sup>-</sup>濃度は、ひび割れを有している場合でも2.6kg/m<sup>3</sup>以上と考えてもよいと思われる。

4. まとめ

ひび割れを有するUHP-SHCCを海洋環境下に曝露した場合、UHP-SHCCの有するひび割れ分散性によりひび割れ部においてもCl<sup>-</sup>に対する侵入抵抗性は高く、鋼材の防食性能が保持されていることが確認できた。今後も継続して鋼材の防食性能を確認していく予定である。なお、本研究の一部は、国土交通省「平成25年度建設技術研究開発助成」により実施したものである。

参考文献

- 1) 森本ほか：超高強度ひずみ硬化型セメント系複合材料の自己治癒特性，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレードシンポジウム論文報告集，第9巻，pp.245-252，2009.10
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'14「基礎編」，pp.169，2014

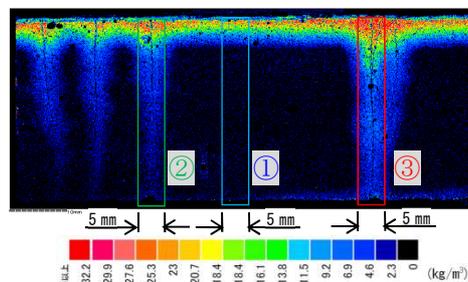


図-7 Cl<sup>-</sup>のマッピング画像

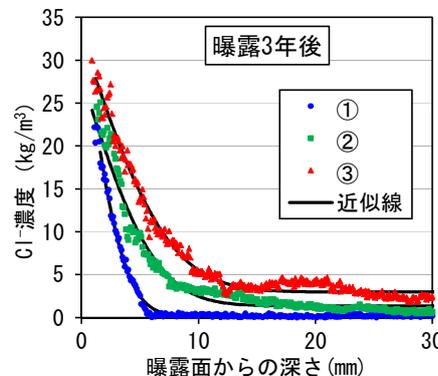


図-8 Cl<sup>-</sup>の濃度分布

表-2 回帰分析の結果

	C <sub>0</sub>	D	C <sub>i</sub> '
①	34.2	0.012	0.2
②	26.7	0.040	1.4
③	29.8	0.056	3.0

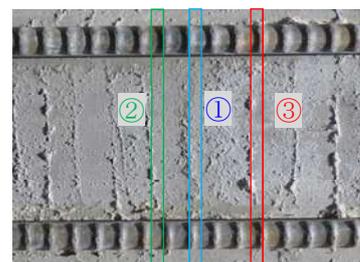


図-9 鋼板・鉄筋表面の腐食状況