

超高強度ひずみ硬化型モルタルの塩化物イオン侵入抵抗性の評価

名古屋大学大学院 学生会員 ○志水 康祐  
 名古屋大学大学院 正会員 国枝 稔, 中村 光, 上田 尚史

1. はじめに

補修材としての適用を目的の一つとして開発された超高強度ひずみ硬化型モルタル(UHP-SHCC)は、水結合材比が小さく、シリカフェームを添加していることにより高強度で緻密な材料である<sup>1)</sup>。そのため、UHP-SHCCを補修材として利用した場合、コンクリート構造物の劣化の原因となる物質の侵入を遮断する表面保護の効果も期待することができる。そこで本研究では、UHP-SHCCの塩化物イオンの侵入に対する抵抗性の把握を目的とした実験的検討を行った。

2. 実験概要

本研究は UHP-SHCC と普通コンクリートを対象に電気泳動試験(JSCE-G571-2003)<sup>2)</sup>と塩水浸漬試験を行い、それらより得られる塩化物イオンの拡散係数や侵入状況を比較、検討することで UHP-SHCC の塩化物イオン侵入に対する抵抗性を評価した。

表-1 配合表 (UHP-SHCC)

VF(%)	W/B	S/B	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
			水	セメント	シリカフェーム	細骨材	混和剤	消泡剤	膨張剤	繊維
1.00	0.22	0.1	316.2	1246.7	223.5	149.0	4.5	0.66	20	9.7
1.25	0.22	0.1	315.3	1243.2	222.9	148.6	4.5	0.65	20	12.1
1.50	0.22	0.1	314.4	1239.6	222.3	148.2	4.4	0.65	20	14.6

2. 1. 電気泳動試験

本試験で用いた繊維混入量が異なる3水準のUHP-SHCCと比較用の普通コンクリートの配合を表-1, 表-2に示す。UHP-SHCCの作製には低熱ポルトランドセメント(密度 3.14g/cm<sup>3</sup>)を使用し、

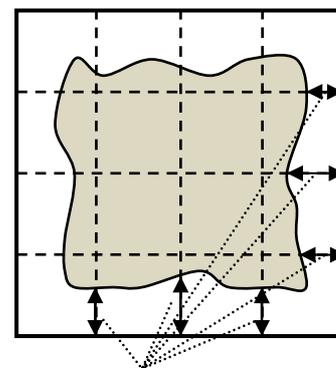
表-2 配合表(普通コンクリート)

W/C	s/a	Gmax(mm)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材
0.57	49.4	15	176	314	860	882	1.5

セメント質量の15%をシリカフェーム(密度 2.2g/cm<sup>3</sup>)で置換した。細骨材には7号珪砂(密度 2.68g/cm<sup>3</sup>)を結合材の10%混入し、混和剤には高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)を使用した。繊維は高強度ポリエチレン(直径 12μm, 長さ 6mm)を用い、膨張材(エトリンガイト・石灰複合系)を1m<sup>3</sup>あたり20kg混入した。供試体の作製、試験方法はJSCE-G571-2003に規定されている方法で行ったが、UHP-SHCCの試験時のみ直流安定化電源による印加電圧を30Vと土木学会の方法の2倍とし、試験の促進を図った。塩化物イオン濃度は、複合イオン銀電極を用いた硝酸銀滴定法により測定した。

2. 2. 塩水浸漬試験

本試験は供試体を10%塩化ナトリウム水溶液に28日間浸漬させたときの塩化物イオンの侵入状況を確認した。供試体には繊維量1.5%のUHP-SHCCと普通コンクリートを用いた。配合は繊維量1.5%のUHP-SHCC、普通コンクリート共に電気泳動試験と同一の配合である。供試体は、UHP-SHCCは40×40×160mm、普通コンクリートは100×100×400mmの角柱型供試体を作製し、材齢28日まで水中養生を行った後、10%塩化ナトリウム水溶液に浸漬した。侵入状況の確認は乾式のコンクリートカッターを用い、切り出した断面に硝酸銀水溶液の吹きかける方法を用いた。硝酸銀水溶液を吹きかけることで塩化物イオンが侵入している箇所は塩化銀が生成され白色に、侵入していない箇所は酸化銀が生成され褐色に変色する。図-1に示すように、断面を16



侵入深さを測定した箇所

図-1 侵入深さ測定箇所模式図

キーワード UHP-SHCC 電気泳動 塩水浸漬試験 拡散係数

連絡先 〒464-0814 名古屋市千種区不老町 名古屋大学材料形態学グループ Tel 052-789-4484

EPMA 分析を行い測定された塩化物イオン濃度分布から拡散方程式(Fick の第二法則)の解析解である式(1)を用い、近似により見かけの拡散係数を算出した。濃度分布を求める際の濃度は、UHP-SHCC では中央 2cm 幅の濃度を、普通コンクリートでは中央 6cm 幅の濃度を平均した値を用いた。

$$C(x,t) - C_i = C_{a0} \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \right) \quad (1)$$

ここで、 $x$ :浸漬面から全塩化物イオンを測定した箇所までの距離(cm),  $t$ :浸漬期間(年),  $C(x,t)$ :距離  $x$  (cm), 浸漬期間  $t$  (年)において測定された単位質量あたりの全塩化物イオン(%),  $C_{a0}$ :浸漬試験によるコンクリートの表面の全塩化物イオン(%),  $C_i$ :初期に含有される単位質量あたりの全塩化物イオン(%),  $D_{ap}$ :見掛けの拡散係数( $\text{cm}^2/\text{year}$ ), erf:誤差関数, である。

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1. 電気泳動試験

電気泳動試験より得られた塩化物イオンの実効拡散係数を表-3 に示す。UHP-SHCC の実効拡散係数は繊維量の違いによる影響は少なく 0.04~0.05( $\text{cm}^2/\text{year}$ )程度の値となった。また、普通コンクリートと比較すると、UHP-SHCC は 1/50 倍程度小さい値となった。

表-3 実効拡散係数

	UHP-SHCC			普通 コンクリート
	Vf=1.50(%)	Vf=1.25(%)	Vf=1.00(%)	
実効拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{year}$ )	0.05	0.041	0.052	2.4

#### 3. 2. 塩水浸漬試験

硝酸銀水溶液による侵入深さ測定結果を表-4 に、EPMA 分析による濃度分布を図-2 に示す。

表-4 侵入深さと見かけの拡散係数

	UHP-SHCC	普通コンクリート
侵入深さ(mm)	2.2	15.7
見掛けの拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{year}$ )	0.067	4.0

UHP-SHCC の侵入深さは 2.2mm 程度で、普通コンクリートの侵入深さ 15.7mm と比較すると極めて小さい。また、EPMA 分析結果より、濃度も小さく塩化物イオンの侵入量も少ないことが確認された。また、UHP-SHCC の見掛けの拡散係数は普通コンクリートの 1/60 程度で 0.067 $\text{cm}^2/\text{year}$  であった。

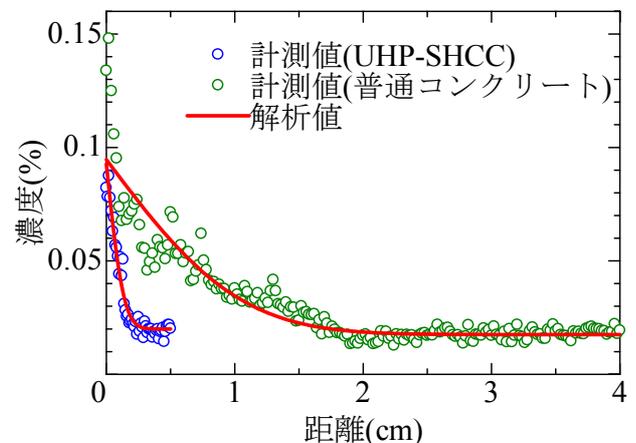


図-2 塩化物イオン濃度分布

### 4. 結論

本実験により UHP-SHCC の塩化物イオンの侵入に対する抵抗性は普通コンクリートに比べ非常に高いことが以下のことから明らかとなった。

- (1) UHP-SHCC の塩化物イオンの実効拡散係数、見掛けの拡散係数は非常に小さく、普通コンクリートの 1/50~1/60 程度である。
- (2) UHP-SHCC を 10%の塩化ナトリウム水溶液に 28 日間浸漬させた場合、侵入深さは 2.2mm 程度であった。

### 謝辞

本研究は、国土交通省道路局新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」の助成を受けて実施した。ここに記し謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 国枝稔, A.Kamal, 中村光, E.Brühwiler : 超高強度ひずみ硬化型セメント系材料の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.315-320, 2007
- 2) 土木学会, 電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験法(案)(JSCE-G571-2003), コンクリート標準示方書[規準編], pp.267-274, 2005