

海洋環境下に暴露したシリカフュームコンクリートの塩分浸透性状について

(株)前田先端技術研究所 MKプロジェクトチーム 正会員 中村 裕  
 前田製管(株)営業推進部 正会員 小林 忠司  
 (株)前田先端技術研究所 MKプロジェクトチーム 正会員 米田 正彦  
 (株)前田先端技術研究所 研究部 伊藤 眞子

1. まえがき

山形県酒田市酒田北港内において、シリカフュームを混和したコンクリートの暴露試験を実施した。そして暴露開始から1年、3年及び10年目にコンクリート内部に浸透した塩化物イオン量を測定し、水セメント比(以下、W/Cと略記)及びシリカフューム混和率(以下、SF/Cと略記)の違いが塩化物イオンの浸透性状に与える影響について検討した。

2. 実験の概要

使用材料を表1に、配合を表2にそれぞれ示す。尚、表中のW/Cは、減水剤の水量を含めて求めている。供試体は10x10x40cmの角柱とし、1日湿空(20℃、80%R.H.)養生後、蒸気養生(昇温速度20℃/h、80℃-3h保持)を行った。ただし、シリカフューム無混和のものは、蒸気養生の保持条件を65℃-4hとした。蒸気養生後、屋内に静置し材齢5週~6週目に図1に示す位置に供試体を設置した。そして暴露開始から1年、3年及び10年経過時に供試体を引き上げ、塩化物イオン量を測定した。測定試料は曲げ試験後の供試体を供試体表面から0~0.5cm、2~2.5cm及び4~5cmのそれぞれの深さについてドライカットして採取した。そして、JCI-SC4に準拠して各深さの試料からコンクリート質量に対する可溶性塩化物イオン量を測定した(暴露材齢10年のものは全塩化物イオン量も同時に測定)。さらに塩分濃度の分布はFickの第二法則に近似できると仮定して、測定された塩化物イオン量から次々に示すFickの拡散方程式における表面の塩化物イオン量(C<sub>0</sub>)と見掛けの拡散係数(D<sub>e</sub>)を求めた。

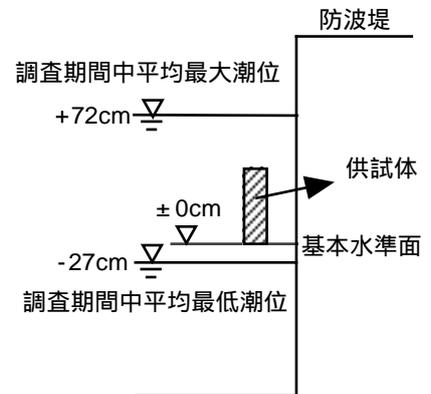


図1 供試体の設置位置

表1 使用材料

セメント(C)	普通ポルトランドセメント(比重:3.16)
細骨材(S)	岩手県米里産安山岩砕砂(表乾比重:2.77, 吸水率:1.47%)
粗骨材(G)	岩手県米里産安山岩砕石(表乾比重:2.80, 粒径:5-15mm, 吸水率:0.57%)
混和材(SF)	ノルウェー産シリカフューム(比重:2.20, 比表面積:15~20m <sup>2</sup> /g, S <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :90.3%)
混和剤(SP)	ナフタレン系高性能減水剤(比重:1.21, 固形分:42%)

表2 コンクリートの配合

配合名	設計 空気量 (%)	設計 スランブ (cm)	W/C (%)	SF/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
						W	C	SF	S	G		SP
										5-10	10-15	
30-0	2.0	10±2.5	30	0	45	144	500	0	836	515	515	11.1
30-10				10		131	465	46.5				15.4
30-20				20		119	433	86.6				19.6
50-0			50	0		190	381	0				1.22
50-10				10		176	360	36.6				6.72
50-20				20		165	341	68.2				9.89

$$C = C_0 \cdot 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_e t}}$$

C:表面から深さxでの塩化物イオン量(%), C<sub>0</sub>:表面部(x=0)での塩化物イオン量(%), D<sub>e</sub>:塩化物イオンの見掛けの拡散係数(cm<sup>2</sup>/s), x:表面からの深さ(cm), t:経過時間(s), erf:誤差関数。

3. 実験の結果及び考察

(1)可溶性塩化物イオンの濃度分布

キーワード 海洋環境 シリカフュームコンクリート 水セメント比 シリカフューム混和率 塩分拡散係数  
 連絡先 〒998-0842 山形県酒田市上本町6-7 TEL 0234-23-5022 FAX 0234-22-1283

図2に可溶性塩化物イオンの測定値をプロットし、求められた $C_0$ と $D_0$ を上記の拡散方程式に代入して得られる塩分濃度曲線を図中に併せて示す。暴露後10年が経過するとW/C30%では塩化物イオン量が0.1% (コンクリート1m<sup>3</sup>中約2.5kgに相当)以上である表面深さはSF/Cに拘わらず2cm以下となる。一方、W/C50%ではSF/Cが10%以下の場合、供試体の中心部にまで0.2%を越える塩化物イオンが浸透している。またいずれのW/CにおいてもSF/Cを20%とした場合に塩分浸透を抑制する効果が最も高いことが認められた。

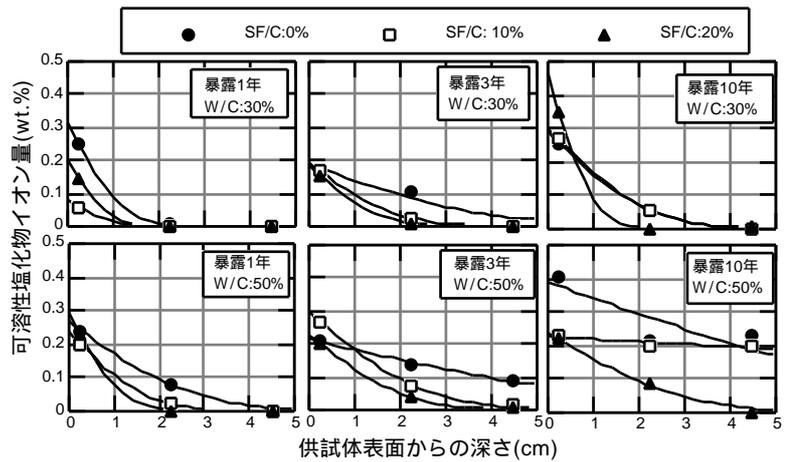


図2 可溶性塩化物イオンの濃度分布

(2)見掛けの拡散係数( $D_0$ )と表面の塩化物イオン量( $C_0$ )

見掛けの拡散係数と表面の塩化物イオン量を表2に示す。拡散係数( $D_0$ )は、暴露材齢に拘わらずW/C30%の方がW/C50%に比べて小さい値を示す。そしていずれのW/CにおいてもSF/Cの増加に伴って拡散係数は低下する傾向を示す。表面の塩化物イオン量( $C_0$ )は、図2からも分かるようにW/C50%では暴露材齢やSF/Cに拘わらず約0.2~0.3%の値を取る。W/C30%ではプレーンを除けば、おおよそ暴露材齢に伴って増大する傾向を示す。

表2 見掛けの拡散係数と表面の塩化物イオン量

配合名	見掛けの拡散係数, $D_0$ ( $\times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$ )				表面塩化物イオン量, $C_0$ (wt.%)			
	暴露材齢				暴露材齢			
	1年 <sup>*1</sup>	3年 <sup>*1</sup>	10年 <sup>*1</sup>	10年 <sup>*2</sup>	1年 <sup>*3</sup>	3年 <sup>*3</sup>	10年 <sup>*3</sup>	10年 <sup>*4</sup>
30- 0	1.37	4.78	0.47	0.44	0.318	0.188	0.290	0.504
30-10	0.95	1.17	0.48	0.56	0.080	0.192	0.301	0.394
30-20	0.72	0.76	0.09	0.12	0.206	0.183	0.465	0.468
50- 0	7.38	15.2	6.65	15.8	0.268	0.214	0.389	0.449
50-10	2.83	2.11	96.9	58.0	0.237	0.295	0.226	0.277
50-20	1.29	1.42	0.84	0.56	0.294	0.228	0.242	0.388

\*1:可溶性塩化物イオン量から算出  
\*2:全塩化物イオン量から算出

\*3:可溶性塩化物イオン量  
\*4:全塩化物イオン量

(3)水結合材比と見掛けの拡散係数との関係

表2に示した全ての拡散係数と水結合材比 ( $W/(C+SF)$ )との関係を図3に示す。また、既往の研究データを整理・分析して得られた水セメント比と拡散係数との関係式<sup>1)</sup> ( $W/C35 \sim 70\%$ の範囲で普通セメントのみを使用したものに関する)を図3に併せて示す。その結果、いずれの水セメント比に関して特にプレーンの結果とその関係式とは、比較的良く一致することが認められた。一方、シリカフェーム混和率を20%とした場合にはその関係式よりも小さな値を示す傾向にある。

4. まとめ

(1)水セメント比50%よりも水セメント比30%の方が塩化物イオンの浸透量や見掛けの拡散係数は小さい傾向にある。(2)水セメント比や

暴露材齢に拘わらずシリカフェーム混和率を20%とした場合に塩化物イオンの浸透量や見掛けの拡散係数を低減する効果が最も高い。(3)本実験結果で得られた水結合材比と見掛けの拡散係数との関係とそれらに関する既往の研究から得られた関係式とは、特にプレーンにおいて比較的良く一致する傾向にある。ただし、シリカフェーム混和率を20%とした場合には、その関係式よりも見掛けの拡散係数が小さい方へシフトする傾向にある。

[謝辞] 本試験を行うに当たりコンクリート暴露場所の借用をご許可頂くと共に御指導を賜りました東京工業大学大学院大即信明教授並びに運輸省港湾技術研究所、(社)セメント協会及び運輸省第一港湾建設局酒田港湾工事事務所の関係各位に感謝の意を表します。

[参考文献] 1)土木学会：平成11年版 コンクリート標準示方書 [施工編] - 耐久性照査型 - 改訂資料、コンクリートライブラリー99、pp.23-26、2000.

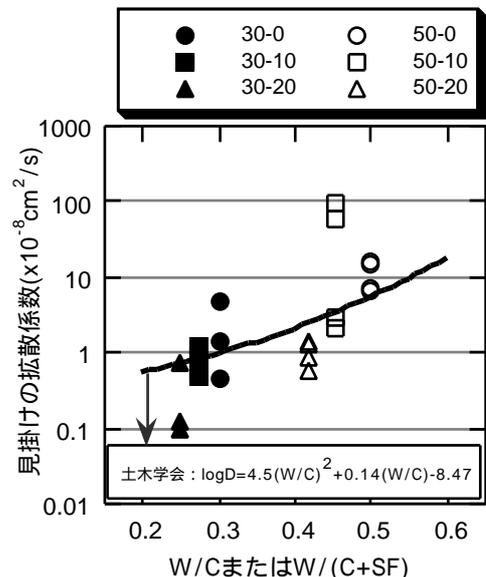


図3 水結合材比と拡散係数との関係