

セメント硬化体の塩化物イオン透過性に及ぼすセメント種類の影響

北海道大学大学院工学研究科	正会員	○名和	豊春
北海道開発土木研究所	正会員	吉田	行
北海道開発土木研究所	正会員	田口	史雄
日鐵セメント株式会社	正会員	渡辺	宏

1. 目的

塩害を受けるコンクリートの寿命予測を行うためには、かぶりコンクリートの塩化物イオン透過性を把握することが重要となる。従来の塩化物イオンの拡散に関する研究は、十分に養生されたコンクリート供試体で検討した例が多く、若材齢から塩化物イオンが浸透する場合について検討した例はほとんど見られない。しかし、積雪寒冷地では、冬季において円滑な交通を確保する為に道路に凍結防止剤が散布されており、初期材齢から塩化物イオンが浸透する場合も想定される。本論文は、このような背景に基づき若材齢でのセメントペーストの塩化物イオン透過性について、セメントの種類の影響を含めて検討したものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および供試体の作製

本研究では、普通セメント、早強セメントおよび低熱セメントを使用した。表-1に各セメントの物理的性質と鉱物組成を示す。セメントペーストの水セメント比は40%とし、公称容量5ℓのホバート型ミキサーを用いて練り混ぜ、φ10×10cmの円柱型枠に打ち込んだ。養生は、打込み後1日まで封かん養生とし、脱型後、圧縮強度試験用供試体は所定の材齢まで水中養生した。塩分浸透試験用供試体は脱型後材齢2日および6日まで水中養生した後、円柱供試体の中央部より円盤（厚さ2cm）を切り出し、AASHTO T-277に準拠して真空デシケータ中で飽和処理を行い試験に供した。

2. 2 実験方法

塩化物イオンの透過性評価には、図-1に示す急速塩分浸透試験装置（溶液容量1000mℓ）を用いた。各溶液は適宜交換し、陰極側での塩素イオン濃度および陽極側での塩素ガスの発生を防止した。チタンメッシュを電極として、セメントペースト試験体間に6V/cmの直流電圧を付加し、陰極側セルから陽極側セルに移動する塩化イオンの量をイオンクロマトグラフィーにより測定した。また、試験材齢を3、7、14および28日として、圧縮強度試験をJIS A 1108に準拠して行った。

表-1 セメントの物理的性質と鉱物組成

セメント の 種 類	密度 (g/cm ³)	粉末度 (cm ² /g)	鉱物組成 (%)			
			C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
普 通	3.16	3280	57.5	17.8	9.9	9.0
早 強	3.14	4490	62.4	11.6	9.8	7.6
低 熱	3.22	3410	32.1	51.7	2.2	8.0

3. 実験結果と考察

3. 1 圧縮強度

図-2に材齢28日までの各セメントペーストの圧縮強度を示す。強度発現はセメントの構成化合物比率の影響を受け、材齢7日までは水和速度の多いC₃Sの多い早強>普通>低熱の順となるが、材齢7日以降の強度発現はC₂Sの水和により、初期材齢と逆の傾向を示した。

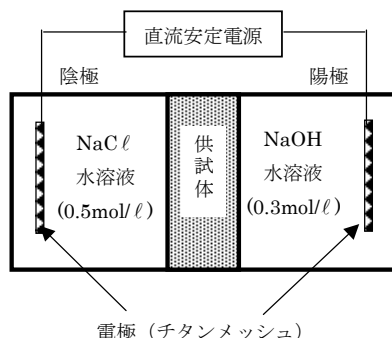


図-1 塩化物イオン透過試験装置

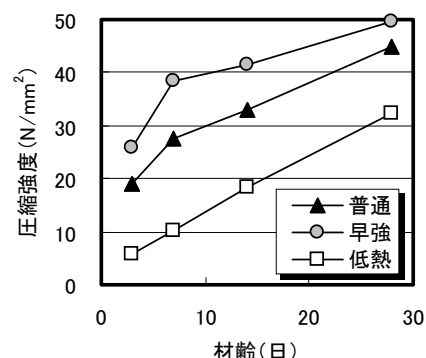


図-2 強度発現性

キーワード 塩化物イオン透過性, セメント種類, 材齢, 急速塩化物浸透試験

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 011-706-7274

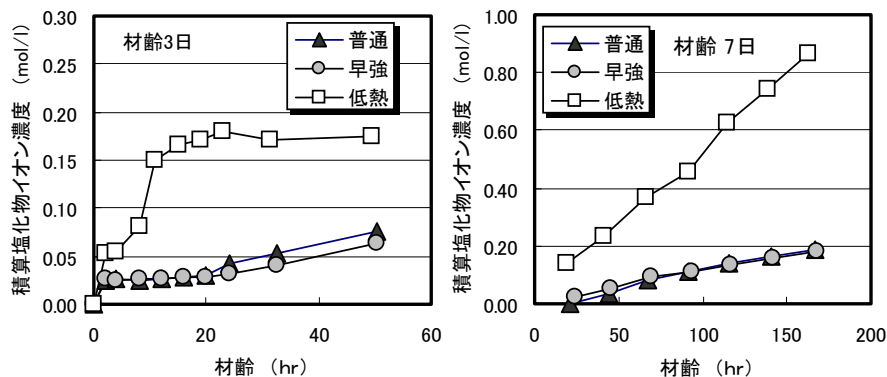


図-3 塩化物イオン濃度の経時変化に及ぼすセメント種類の影響

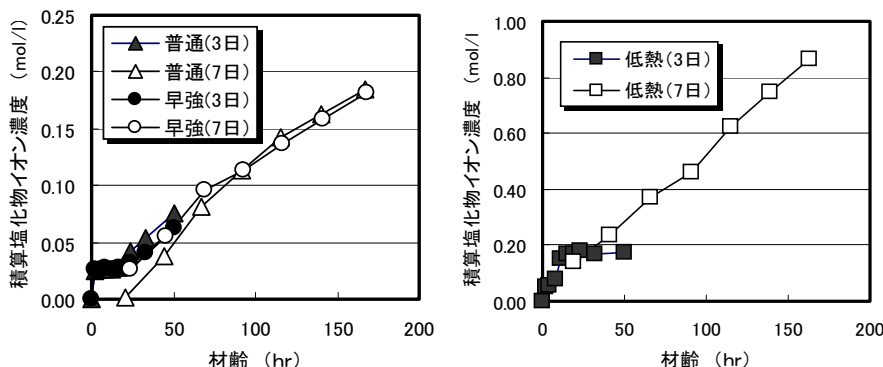


図-4 塩化物イオン濃度の経時変化に及ぼす材齢の影響

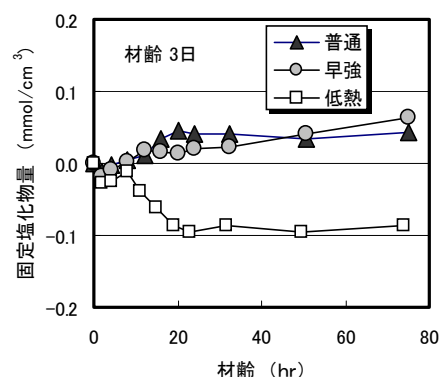


図-5 固定塩化物イオン量

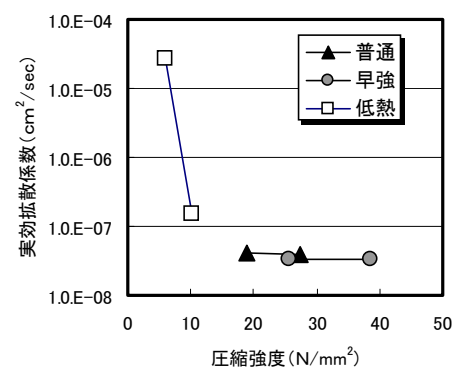


図-6 圧縮強度と拡散係数の関係

3. 2 塩化物イオン濃度の経時変化

図-3に各セメントペーストの塩化物イオン濃度の経時変化を示す。陽極側の溶液が定常状態に達する時期およびその後の濃度の増加割合は、セメントの種類で明確に異なり、低熱セメントを用いた場合には試験直後から塩化物イオンが浸透し定常状態に達するのが認められた。また、低熱セメントは定常状態での塩化物イオンの増加分も他のセメントに比べ著しく大きい傾向を示した。図-4は塩分浸透開始材齢の影響を、セメント毎に比較したものであるが、セメントの種類に拘らず試験開始材齢3日では、通電直後に急激な塩化物イオンの浸透が認められるが、その後停滞した後、定常状態に至ることが分かる。なお、定常状態では、普通および早強セメントの場合、試験開始材齢による塩化物イオン濃度の経時変化の相違は見られなかったが、低熱セメントでは試験開始材齢3日の方が塩化物イオンの浸透が抑制されるという特異な現象が認められた。

3. 3 塩化物イオンの固定能力

図-5に、材齢3日から塩化物イオン浸透試験を行った時の陰極側および陽極側溶液のイオン濃度差から求めた各セメントペースト中の固定塩化物量の経時変化を示す。同程度の C_3A 量を有する普通および早強セメントでは、それぞれ 0.05mmol/cm^3 および 0.06mmol/cm^3 とほぼ同じ固定塩分量が認められたが、 C_3A 量が少なく塩化物イオンの固定能力の小さな低熱セメントではペースト中の全塩化物量が負になる現象が観測された。

3. 3 塩化物イオンの拡散と圧縮強度の関係

図-6に定常状態での塩化物イオン濃度の経時変化から Nernst-Plancks 式より求めた拡散係数と圧縮強度の関係を示す。両者の間には、セメントの種類によらず相関が認められ、圧縮強度が低く微細構造が粗大なほど塩化物イオンの拡散係数大きいことが認められる。これより、若材齢でも、塩化物イオンの固定が平衡に達したと考えられる定常状態での塩化物イオンの拡散は微細構造に大きく支配されているものと推論される。

4. まとめ

急速塩化物浸透試験による初期材齢でのセメントペースト硬化体の塩化物イオンの浸透について検討した結果、定常状態での拡散係数は微細構造の影響を強く受けることが確認され、かつ固定塩分量は C_3A 量の影響を大きく受け、極若材齢では C_3A が少ないと負の固定塩分量が観測された。

謝辞 本研究の一部は文部科学省科学研究費（基盤研究(A)(2) 研究代表者：加賀屋誠一）による。ここに記して深謝いたします。