

V-290 セメント硬化体中における塩素イオンの濃縮現象に関する検討

東京工業大学大学院 学生員 中下兼次
 東京工業大学工学部 正会員 大田信明
 東京工業大学大学院 学生員 Wee Tiong Huan
 東京工業大学工学部 正会員 長瀬重義

1. はじめに

セメント硬化体中に含まれる塩素イオンには、セメント水和物と反応して固定されるものと、硬化体の細孔中に可溶性塩素イオンとして存在するものとに分けられる。塩害に直接関係するものは、この可溶性塩素イオンであり、その測定およびその挙動を把握することは極めて重要である。

そこで本研究は、従来から用いられているセメント硬化体の細孔中に存在する可溶性塩素イオンの測定のみならず、鉄筋周囲の可溶性塩素イオンの測定を行なった結果、これらで確認された濃縮現象に注目し、これらの結果について検討を加えたものである。

2. 実験概要

2.1 供試体作製と配合

供試体は、普通ポルトランドセメントおよび高炉スラグ微粉末を用いたペーストで、細孔中の可溶性塩素イオンの測定については、打設後塩水に浸せきしたもの（以下外来イオンと称す）を、鉄筋周囲のものについては、打設時に塩素イオンを混入したもの（以下内在イオンと称す）を用いた。作製方法は、外来の場合は、分割混練法により¹⁾、厚さ約3mmの供試体を作製し、水中養生を行なった後、塩素イオン濃度が海水濃度と等しいNaCl水に浸せきした。また内在の場合は図. 1に示すように2.0 (Cl/Cement wt%)の塩素イオンを混入したペーストを上記と同様の方法で打設し、その中に鉄筋を入れ、所定の材令まで湿潤養生を行なった。実験条件を表. 1, 表. 2に示す。

2.2 可溶性塩素イオン量の測定

セメント硬化体の細孔中の可溶性塩素イオンの抽出は、細孔溶液抽出法を用いた。鉄筋周囲については、図. 1に示すような供試体を所定の材令で割裂し、鉄筋を取り出し、以下の手順で測定した。

- ①. 採取した鉄筋をデシケターに入れ、鉄筋周囲に付着した水分を蒸発させ、その前後の重量差で付着水分量を求める。
- ②. 蒸発後、蒸留水で鉄筋に付着した塩素イオンを洗い流し、その蒸留水中の塩素イオン濃度を測定した。
- ③. ①, ②より鉄筋周囲の見かけの可溶性塩素イオン濃度を算出した。

3. 実験結果と考察

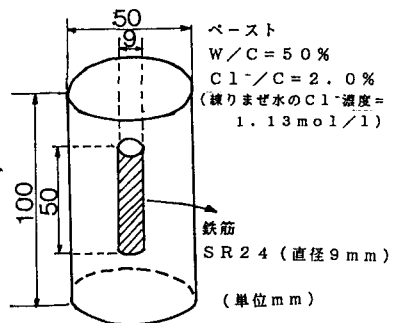


図. 1 供試体概要

表. 1. 実験条件
セメント硬化体の細孔中の可溶性塩素イオンの測定

供試体のW/C	4.0, 5.0, 6.0 (wt%)
スラグの置換率	3.0, 7.0 (wt% vs C)
浸漬液の濃度	0.56 (mol/l)
前養生	水中で1, 3, 7, 28日

表. 2. 実験条件
鉄筋周囲の可溶性塩素イオンの測定

供試体のW/C	5.0 (wt%)
混入Cl ⁻ 量	2.0 (wt% vs C)
鉄筋の種類	SR24 直径9mm
養生	湿潤養生

3.1 塩素イオンの濃縮現象

図. 2は外来における細孔中の可溶性塩素イオンを細孔溶液抽出法により抽出し、その濃度の経時変化を示したものである。この図によると、細孔中の塩素イオン濃度は、セメント単味では浸せき2～3週目で、浸せき液の濃度よりも高くなり、その後も増加する現象が見られた。また高炉スラグ微粉末を置換したものについても、塩素イオンの浸透速度が小さい傾向にあるものの、セメント単味と同様に、塩素イオンの濃縮現象が確認された。これはセメント硬化体中の細孔表面がカルシウムイオン等により電気的にプラスに帯電し、電気二重層を形成しているため、電気的にマイナスである塩素イオンが引き寄せられたことによるものとも考えられる^{2), 3)}。これまで塩素イオンの浸透は簡単な拡散現象として捉えられてきたが、今後は濃縮現象考慮した検討を行なう必要があると思われる。

3.2 鉄筋周囲の塩素イオン

塩害を検討するにあたって、鉄筋周囲の塩素イオン濃度は重要であり、ペーストと塩素イオンの関係のみでは不十分である。そこで鉄筋周囲の塩素イオンを測定した。図. 3は鉄筋周囲と細孔中の塩素イオン濃度の経時変化を示したものであるが、その濃度は材令3日で練りませ水、細孔溶液中の濃度より高くなり、材令をおって増加する傾向にあり、鉄筋周囲においても塩素イオンの濃縮現象が見られた。これは電気的にマイナスである塩素イオンがプラスであるところの鉄筋周囲に引き寄せられる等が考えられる。また、4年間海水循環水槽内(神奈川県久里浜港、運輸省港湾技術研究所内)に暴露したモルタル供試体($W/C=60\%$, $S/C=2.0$, 1年間水中養生後干満帯)中にあった鉄筋についても、同様の試験を行なった結果、鉄筋周囲の塩素イオン濃度(最大 17.7 mol/l , 最小 7.94 mol/l)は、海水の濃度(約 0.56 mol/l)の15～30倍であり、自然暴露環境下においても濃縮現象が起ることを確認した。これにより今後塩害を検討するにあたって、細孔中の塩素イオンだけでなく、鉄筋周囲の塩素イオンについても検討する必要があると思われる。なお、この方法では鉄筋に付着した水分量が少なく測定値が多少ばらつく為、今後さらに改良が必要である。

3.3 まとめ

以上の研究により、塩害を検討するにあたって、細孔中において塩素イオンの濃縮があり、これを考慮した検討が必要であること、また細孔中と鉄筋周囲の塩素イオン濃度は異なり、両者を併せた検討が必要であることが確認できた。

参考文献

- 1) 氏家、長瀬、戸矢 分割混練したコンクリートに関する基礎的研究; 37回年講 1982
- 2) 後藤、茂啓、高木、大門 セメント硬化体の細孔径分布とイオンの拡散; セメント技術年報36 S57
- 3) 茂啓、高木、後藤、大門 セメント硬化体中のイオンの拡散とセメントの種類; セメント技術年報37 S58

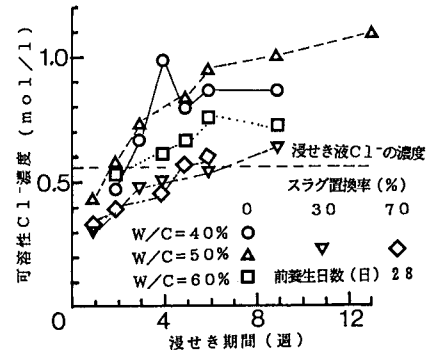


図. 2 細孔中の可溶性 Cl^- の経時変化

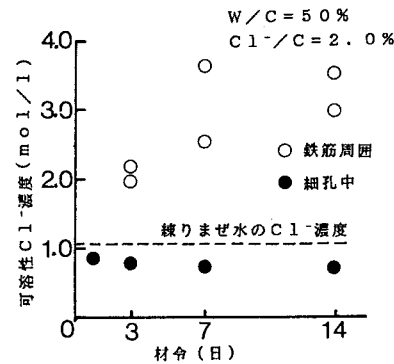


図. 3 細孔中と鉄筋周囲の可溶性 Cl^- の経時変化