

硬化コンクリート中に含まれる塩分の抽出に関する温度依存性について

福島工業高等専門学校 学生会員 ○猪俣 龍一郎
福島工業高等専門学校 学生会員 高橋 秀実
福島工業高等専門学校 フェロー 緑川 猛彦
福島工業高等専門学校 正会員 山ノ内 正司

1. はじめに

硬化コンクリート中に含まれる全塩化物イオンには固定化塩化物イオンと可溶性塩化物イオンがあり、その区別は50℃という温度の水に溶出するか否かであることがJCI-SC4で定められている¹⁾。しかしながら、この基準を決めるに至った実験に用いられた供試体は、作製時に食塩水を用いて練り混ぜることで塩化物イオンを人工的に付加したものであり²⁾、塩化物イオンが自然に侵入してきた場合の挙動とは異なる可能性がある。

そこで本研究の目的を、約10年間塩害環境下に暴露したコンクリート供試体³⁾を用いて、コンクリート中の可溶性塩化物イオンの抽出に関する温度依存性について研究することと設定した。具体的には、コンクリート中の全塩化物イオンと可溶性塩化物イオンとの抽出温度による差異を実験により求め、その温度依存性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメントおよび早強ポルトランドセメントを用いた。また、後述する高流動コンクリートには、混和材として高炉スラグ微粉末を使用した。いくつかのコンクリート供試体には、浸透性吸水防止材としてシラン系およびシランシロキサン系の材料を、浸透性無機質反応型改良材としてけい酸塩系表面含浸材を施した。また、比較用として表面被覆材の範疇に入るエポキシ系ポリマーセメントを用いた。なお、それぞれの材料は、実験開始当時に市販されていた一般的な材料である。

2.2 コンクリートの配合

コンクリートの種類は、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート、早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートおよび高流動コンクリートの3種類とし

た。設計基準強度は普通コンクリートで $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 、 30N/mm^2 、 50N/mm^2 の3水準、早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートおよび高流動コンクリートでは 50N/mm^2 の1水準とした。高流動コンクリートは、早強ポルトランドセメント量の30%を高炉スラグ微粉末で置換した配合とした。なお、コンクリートの製造および打設は、コンクリート二次製品工場で行った。

2.3 供試体の作製

暴露試験用供試体として $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 530\text{mm}$ の直方体を1体作成した。表面含浸材の塗布は、水中養生7日+気中養生14日の後(コンクリート打設21日後)に実施し、その後気中養生7日の後(コンクリート打設28日後)暴露試験を開始した。塗布方法はカタログに示してある塗布容量に準じて実施した。

2.4 暴露条件

暴露期間は2005/1/19~2014/8/19の3499日間、暴露試験場は、山形県西田川郡温海町内の国道7号線沿いであり、旧暮坪橋AI橋台部に設けた特設暴露試験場である。ここは、東北有数の塩害地域に該当する場所で、海からの直接距離が数メートルであることから、特に冬場における日平均飛来塩分量が約 $6000\text{mg/m}^2/\text{day}$ にも達する場所である。なお、この場所は国土交通省東北地方整備局酒田河川国道事務所より提供して頂いた。

設置台は木製で、供試体は、地面から約60cmの高さに5cm間隔で2列に配置した。

2.5 塩化物イオン量

供試体中の塩化物イオン分布の測定は、JSCE-G 573-2010「実構造物中におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(案)」に準拠して、ドリル削孔により得られる粉末試料を用いて実施した。ドリル粉末の採取は、供試体側面からの浸入塩分に影響されないよう供試体中心付近部とし、深さ方向に60mmまで10mm毎に

キーワード：全塩化物イオン，可溶性塩化物イオン，固定化塩化物イオン，温度依存性

連絡先：〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾30 福島工業高等専門学校 建設環境工学科 TEL 0246-46-0835

行った。全塩化物イオン量の測定は、塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法により行った。可溶性塩化物イオンの測定はJCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に準拠し、抽出温度を30℃から100℃まで10℃毎に変化させて行った。

3. 実験結果

図-1に各温度の全塩化物イオンに対する抽出された可溶性塩化物イオンの濃度の関係を示す。全塩化物イオン濃度が高ければ可溶性塩化物イオン濃度も高くなっており、全ての温度において全塩化物イオン濃度と抽出された可溶性塩化物イオン濃度は比例した。一方、図-2に示すように供試体に使用されたセメントは種々であるが、これらの違いによる塩化物イオンの抽出量の差異は見られなかった。図-3に抽出温度と抽出比率との関係を示す。抽出比率は全塩化物イオンに対する抽出された可溶性塩化物イオン濃度比と定義した。抽出比率は30℃から60℃にかけて大きく増加しているが、70℃になると減少し、100℃になるとまた増加した。しかしながら、図上に引いた近似直線により、抽出比率は抽出温度が高くなるにつれて徐々に増加し、100℃までほぼ一定の増加割合だと判断された。

供試体作製時に食塩水を用いて人工的に塩化物イオンを付加した場合、抽出温度が高くなるほど抽出比率も増加することが明らかにされているが、塩害環境下に暴露することで塩化物イオンを付加した場合でも同様の傾向を示すことが判明した。

4. おわりに

コンクリート中の全塩化物イオンと可溶性塩化物イオンとの抽出温度による差異を実験により求めた。その結果、本実験範囲内で以下の知見を得た。

(1) 全塩化物イオン濃度と抽出された可溶性塩化物イオン濃度はすべての温度において比例した。

(2) 全塩化物イオン濃度に対する可溶性塩化物イオン濃度の抽出割合は温度の上昇に伴い、比例的に高くなった。

謝辞: 本研究は、東北コンクリート保全技術検討会(元東北学院大学 大塚浩司委員長, 活動期間:平成14年~20年)によって実施された暴露試験の結果の一部を取りまとめたものである。関係者各位には多大なご協力を頂いた。ここに記し深甚の謝意を表す。

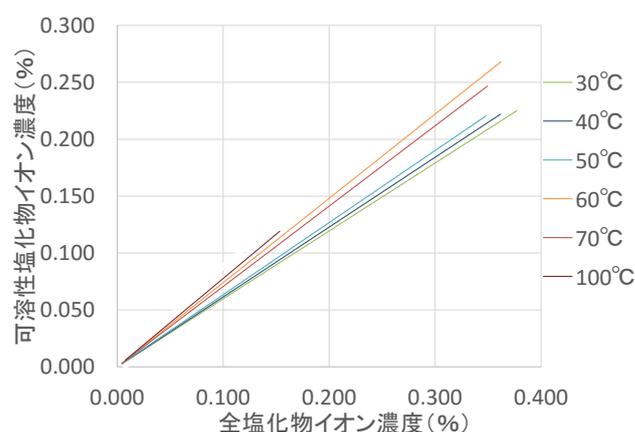


図-1. 全塩化物イオンと可溶性塩化物イオン関係図

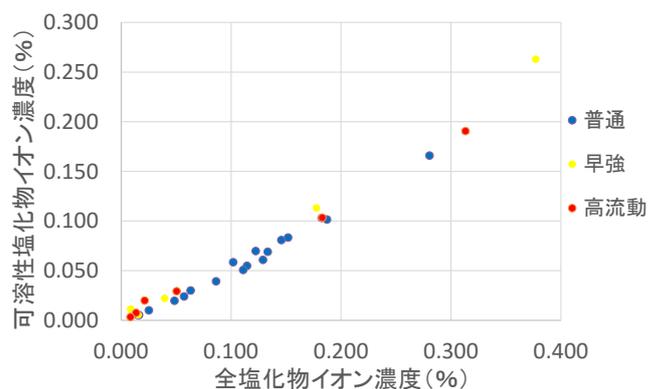


図-2. コンクリート種別塩化物イオン濃度関係図

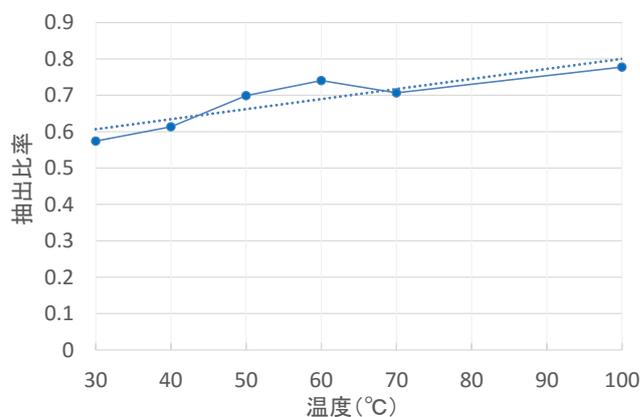


図-3. 抽出温度と抽出比率図

【参考文献】

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに基準(案), pp.23-46, (1987).
- 2) 建設省土木研究所, 地質化学部・化学研究室：コンクリート中塩分の定量および形態に関する研究, 土研資料第1987号, (1983).
- 3) 緑川猛彦, 武田三弘, 小山田哲也, 阿波稔：長期暴露試験による表面含浸材を塗布したコンクリートの塩化物イオン浸透性状, 土木学会論文集E2, pp.451-461, (2011).