

薄板ペースト供試体を用いたコンクリート構造物の部位・部材毎の品質変化に基づく劣化環境評価手法に関する基礎的検討

琉球大学 正会員 ○須田 裕哉
琉球大学 正会員 富山 潤

1. 背景および目的

コンクリート構造物の適切な耐久性設計と維持管理を実施するためには、その構造物に作用する飛来塩分等の環境外力やそれに対するコンクリートの品質の変化を評価することが重要と考えられる。また、構造物の劣化の進行は、構造物の部位や部材毎で異なることが知られており、塩害環境評価として、薄板モルタルを使用した評価方法が提案されている¹⁾。本研究では、この薄板モルタルと同様の手法を用いて、コンクリート構造物の部位・部材毎の飛来塩分量の調査を行うとともに、回収前後の相組成変化を調査し、構造物に貼付した供試体の暴露前後の品質の変化に基づき、新たな劣化環境評価手法を確立することを目的とした。

2. 実験概要

(1) 使用材料および暴露条件

暴露供試体はセメントペーストとした。材料は普通ポルトランドセメントを使用し、水セメント比は 0.50 とした。供試体の寸法は 4.0cm×4.0cm×1.0cm で、養生温度 40°C-飽和水酸化カルシウム溶液中で 28 日間養生した。暴露の対象構造物は、沖縄県の東海岸に位置する橋梁とした。暴露箇所は、床版下面（海側、陸側）、橋脚（飛沫帯、干満帯）、地覆部、橋台とした。暴露期間は、2018 年 9 月 19 日から 6 ヶ月間暴露を行った。なお、この期間に台風 24 号と 25 号が沖縄県を通過している。

(2) 分析および解析概要

暴露供試体に捕集された塩化物イオンは、JIS A 1154:2012 に準拠し、イオンクロマトグラフィーにより測定した。また、暴露供試体の炭酸カルシウム量は、150 μ m 以下に粉碎した試料をシリカゲルの入ったデシケータ内で乾燥させ、熱重量分析により測定した。暴露後の塩化物イオン量および二酸化炭素量（炭酸カルシウム量）から相平衡計算により、暴露供試体の固定塩化物イオンおよび自由塩化物イオン、pH、イオン強度を求めた。解析は PhreeqC を用い、データベースは CEMDATA2018 を使用した。計算は暴露前の供試体の各クリンカー鉱物の反応量を粉末 X 線回折/内部標準法により測定し、相平衡計算により初期相組成を求めた。次に、暴露後の塩化物イオン濃度と炭酸カルシウム量から初期相組成を入力値とし、NaCl と CO₂ との平衡計算を行った。

3. 実験結果

(1) 各暴露供試体の塩化物イオン濃度および炭酸カルシウム生成量

図-1 に、暴露供試体の部位・部材ごとの塩化物イオン濃度を示す。固定塩化物イオンはフリーデル氏塩中の塩化物イオンである。図より、床版部では全体的な傾向として海側の塩化物イオン濃度が高くなった。また、S-7、S-8 の塩化物イオン濃度は調査箇所の中でもっとも高くなった。S-7、S-8 は、暴露箇所の直下に消波ブロックが位置しているため、砕波された海水により飛来塩分が大量に供給されたものと考えられる。干満帯や飛沫帯では、大きな違いは示されなかった。図-2 に、暴露供試体の炭酸カルシウム生成量を示す。炭酸カルシウム量は最大でも 0.12g/g 程度となり、全ての供試体において、水酸化カルシウムは暴露前の量から半分以上が残存し、炭酸化は大きく進行していなかった。特に、干満帯の箇所ではもっとも生成量が少なかった。

(2) 相平衡計算による暴露供試体の液相中 pH とイオン強度

図-3 に、相平衡計算により求めた各暴露箇所の pH を示す。また、図中の点線は、暴露前の供試体の pH である。図より、床版 S-6、7、8 や橋脚の干満帯、飛沫帯の pH は初期の pH : 13.22 よりも高くなった。これら

キーワード 固定塩化物イオン、自由塩化物イオン、炭酸カルシウム、pH、イオン強度

連絡先 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町線千原1 琉球大学 工学部 TEL098-895-8570

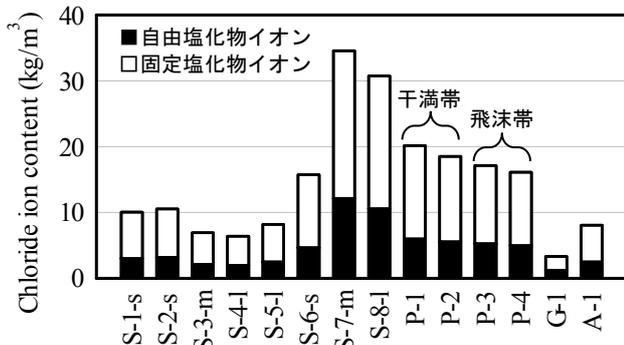


図-1 自由塩化物イオンと固定塩化物イオン濃度
(S:床版, P:橋脚, G:地覆, A:橋台 s:海側, m:中央, l:陸側)

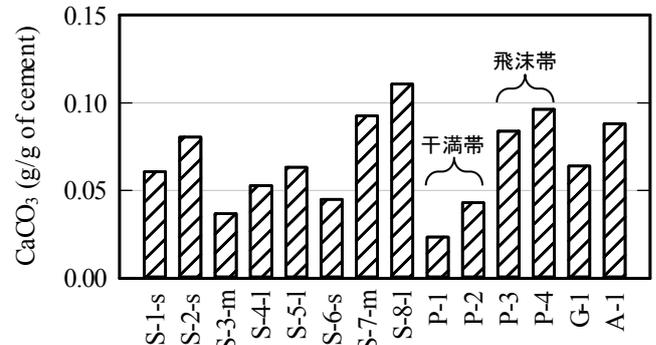


図-2 炭酸カルシウム生成量
(S:床版, P:橋脚, G:地覆, A:橋台 s:海側, m:中央, l:陸側)

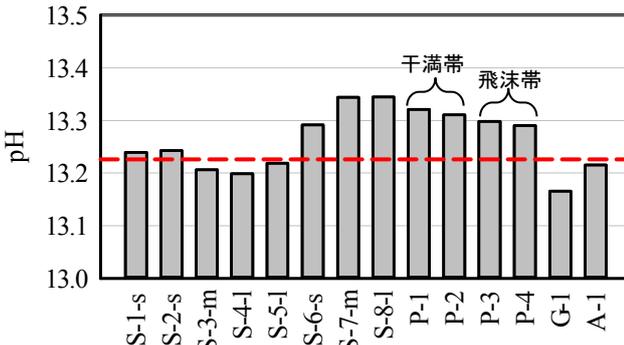


図-3 暴露箇所液相中のpH

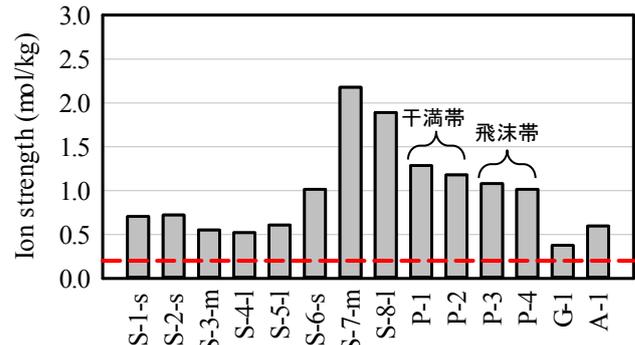


図-4 暴露箇所液相中のイオン強度

は、塩化物イオン濃度が高い箇所であり、多量の塩分が供給される環境ではpHが増加するものと考えられる。一方で、地覆部G-1においてpHは低下した。G-1では塩化物イオン濃度が低く、炭酸カルシウムもある程度生成しているためと考えられる。図-4に相平衡計算により求めたイオン強度を示す。イオン強度は塩化物イオンの作用により、初期のイオン強度:0.206mol/kg(図中点線部)よりも大きく、最大で10倍程度増加した。

ここで、既往の研究より、川端ら²⁾は安山岩のアルカリシリカ反応(ASR)性におけるpHとイオン強度の影響について検討を行い、反応性珪物の溶解挙動はpHに依存し、ASRゲルの膨張特性はイオン強度に影響を受けることを報告している。また、羽瀧ら³⁾は、海洋構造物の調査から、飛沫帯や干満帯に位置する構造物においてASRに起因したひび割れによる損傷事例を報告している。本研究の調査においても、飛沫帯や干満帯におけるpHやイオン強度が大きく増加する結果となり、飛来塩分調査と相平衡の解析を組み合わせることで塩害だけでなく部位・部材毎の中性化や塩害とASRの複合劣化に対する調査も可能と考えられる。

4. まとめ

本研究はペースト供試体を構造物の部位・部材に貼付し、暴露前後の塩化物イオン量や炭酸カルシウム生成量から相組成変化を考慮した上で、環境作用の違いによる液相中のイオン組成を評価した。その結果、飛来塩分量の調査と解析を組み合わせることで、部位・部材ごとのpHやイオン強度を評価し、既往の報告との比較から中性化や塩害-ASRの複合劣化に対する調査においても、本検討が有効である可能性が示された。

謝辞 本研究は、2018年度前田記念工学振興財団研究助成により実施された。また、粉末X線回折装置は新潟大学の佐伯・斎藤研究室の装置を利用させていただいた。ここに、関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) 佐伯竜彦, 能勢陽祐, 菊地道生: 薄板モルタル供試体を用いたマイクロ塩害環境評価手法に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.803-808, 2011.
- 2) 川端雄一郎, 山田一夫, 松下博通: 岩石学的分析に基づいた安山岩のASR反応性評価および膨張挙動解析, 土木学会論文集E, Vol. 63, No. 4, pp.689-703, 2007
- 3) 羽瀧貴士, 鳥居和之: アルカリシリカ反応と海水の複合的な作用によるコンクリートの劣化現象とその評価手法の提案, 土木学会論文集, V-65, No. 774, pp. 149-161, 2004