異なる環境に 10 年間曝露したコンクリートの中性化の進行と気象条件との関係

東北大学　○倉田　和英　宮本　慎太郎　皆川　浩　久田　真

1．はじめに

コンクリート構造物は様々な環境条件下で供用されるため，その環境毎の経時的な物性の変化を把握することは，構造物を適切に維持管理していく上で重要である．本稿では，初期性能を統一し，日本全国に 10 年間曝露したコンクリート供試体の中性化深さに着目し，中性化深さと気象作用との関係をクラスター分析により整理することで，環境作用の影響を抽出した．また，中性化の進行に伴うコンクリートの内部性状の変化について明らかにする目的で，化学分析を実施した．

2. 実験概要

2.1 供試体の概要

供試体の配合を**表-1** に示す．なお，目標スランプ値および空気量はそれぞれ 8.0 ± 1.0 cm, 4.5 ± 1.0 %としている．水セメント比は 60 % とし，セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.18 g/mm^3）を用いた．作製したコンクリート供試体は，寸法 100 × 100 × 400 mm の角柱供試体である．供試体は打込み翌日に脱型し，その後各曝露地点へ搬送するまで約 1 ヶ月間は濡れむしろで覆い，散水により乾燥を防止しながら屋外で養生した．屋外曝露の設置位置は，環境の異なる 17 地点の各曝露施設の屋上とし，曝露期間は 10 年間である．

表-1　コンクリートの配合

W/C (%)	*s/a* (%)	単位量(kg/m^3)					
		水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤※1	AE剤※2
60	48.2	165	275	878	971	0.69	0.0015

※1 リグニンスルホン酸化合物およびポリオールの複合体
※2 アルキルエーテル系陰イオン

2.2 測定方法

JIS A 1152 に準拠し中性化深さを測定した．測定対象面は曝露底面と上面であり，これらは型枠の側面部に該当する．

TG-DTA による水酸化カルシウム（以下 CH）およびカルサイト（以下 Cc）の測定領域は角柱供試体の曝露上面，底面の表層から 10 mm の部分と表層から 25 ~ 50 mm の中心部をとした．TG-DTA 用試料は，水和停止処理と乾燥処理を施して 150 μm 以下に調整した粉末試料を用いた．CH 量は TG 曲線における 405 ~ 515 ºC 間の質量減少分から算出した．Cc の生成量の定量については，600 ~ 800 ºC 間の質量減少分から算出した．

2.3 中性化測定結果の分類

曝露上面と底面の中性化深さに着目し，階層型手法である最短距離法にてクラスター分析を実施し，測定結果を分類した．

3. 実験結果と考察

3.1 中性化深さと気象条件の関係

図-1 に各曝露地点の中性化深さとクラスター分析の結果を示す．**図-1** より，各曝露地点および同曝露地点における曝露上面と底面において中性化深さが異なることが確認できた．また，同じ群内で曝露地点が大きく距離が離れている地点が含まれており，同じ群でも気象条件が異なる項目があると考えられる．**図-2** に，中性化深さと平均気温，平均相対湿度および降水日数との関係を示す．まず，平均気温と中性化深さの関係に着目すると，平均気温と中性化深さの間に相関は認められなかった．一般的には，気温が高いほど中性化は進行する [1]と考えられているが，平均気温が最も高い点が中性化の小さいグループに存在するという結果に基づくと，平均気温の他にも中性化の進行に影響を及ぼす気象作用が存在すると考えられる．次に，中性化深さと平均相対湿度の関係に着目すると，この関係にも明確な相関は認められなかった．最後に，降水日数と中性化深さの関係に着目すると，降水日数が多くなるほど中性化の進行が遅いことが確認できる．この理由は，降雨によって空隙が水で閉塞される頻度が多いほど，CO_2の侵入が妨げられ中性化が抑制されるためと考えられる．以上の結果から，中性化の進行に強い影響を及ぼす気象条件としては，降水日数が考えられる．

3.2　化学分析結果

各曝露地点の CH 量，Cc 量，Ca 量（CH 量と Cc 量に含まれる Ca 量をモル換算したもの）を測定した結果，中心部と比較して表層部の方が，CH 量が少なく，Cc 量は多くなる傾向が確認された．この理由は，表層部の方がより炭酸化が進行しているためと考えられる．

キーワード　中性化深さ　曝露試験　気象条件　セメント水和物　クラスター分析
連絡先　〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院土木工学専攻　TEL 022-795-7427

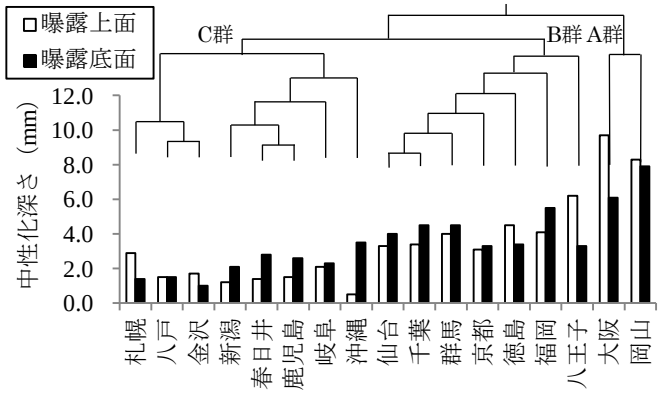

図-1　各曝露地点の中性化深さとクラスター分析の結果

また，中心部では，表層部と比較して Ca 量が少なかったが，この理由は，中心部では表層部と比較して，水和が進行し，C-S-H の様な CH や Cc 以外の水和物の割合が大きくなったためと考えられる．

さらに，曝露上面と比較して曝露底面の方が Cc 量は多くなる傾向が得られた．この理由については，以下のように考察した．**図-3** に各測定位置の CH 量と Cc 量の関係を示す．CH, Cc のモル質量はそれぞれ，74 g/mol, 100 g/mol であり，CH のみが炭酸化し Cc になった場合，図中の破線上にデータがプロットされる．**図-3** に着目すると，中心部では，中性化が生じていないため，ほぼ封緘のものと同位置に存在している．一方，曝露底面では，曝露上面と比較して破線から最も離れた位置に集中する傾向が認められた．この結果から，曝露底面では曝露上面と比較して，CH 以外のアルミネート系水和物や C-S-H の炭酸化も多く生じたと考えられる．

次に，**図-4** に曝露上面と底面の Cc 量と中性化深さの関係を示す．**図-4** より，同じ中性化深さで曝露上面と底面の Cc 量を比較したとき，曝露上面の方が，Cc 量が少なかった．この結果より，曝露上面において炭酸化以外の要因も中性化の進行に影響を及ぼしたと考えられる．曝露上面では雨掛かりの影響が大きく，Na^+やK^+といったアルカリ金属が系外に流出したことも中性化の一因と考えられる．

4.　結論

コンクリートの中性化深さは曝露地点により大きく異なり，これは降水日数の影響を強く受ける傾向にある．また，曝露面によって中性化の性質は異なる．すなわち，雨掛かりの多い曝露上面における中性化の進行の要因としてはアルカリ金属の溶出の影響も考えられる．一方，曝露底面においては，CH 以外の水和物の炭酸化も曝露上面と比較して多く生じたと考えられる．

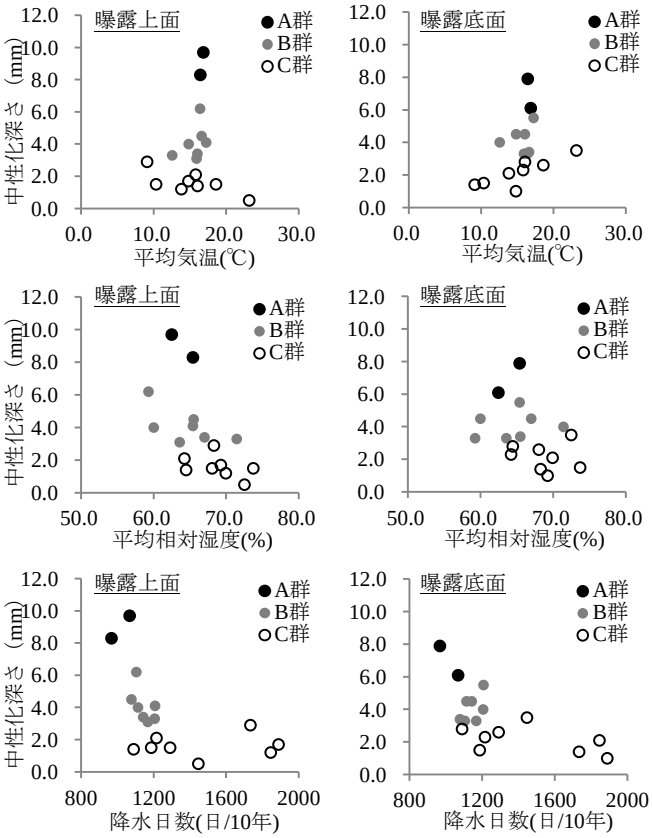

図-2　各気象作用と中性化深さの関係

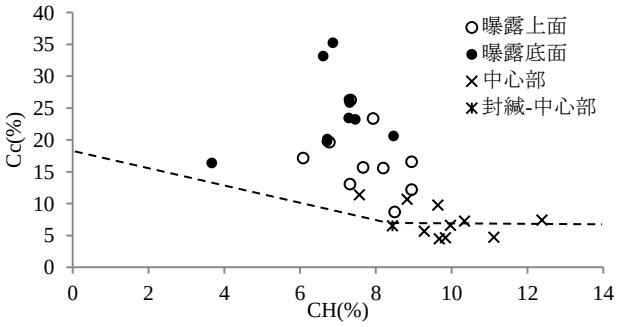

図-3　各測定位置の CH と Cc の関係

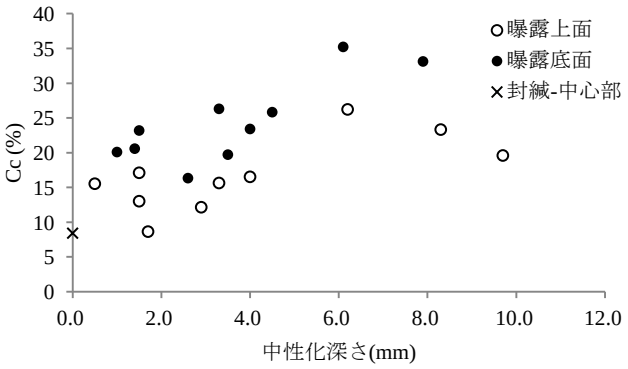

図-4　Cc 量と中性化深さの関係

【謝辞】

本研究の一部は JSPS 科研費 26289134 の助成を受けたものである．

【参考文献】

1)　魚本健人ほか：コンクリートの中性化速度に及ぼす温度の影響，生産研究，Vol.45，No.8，pp.56-59，1993.8