

異なる環境に 10 年間曝露したコンクリートの環境作用の影響に関する検討

東北大学 学生会員 ○倉田 和英
東北大学 正会員 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において供用されるため、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。本研究グループでは、2003 年から環境の異なる全国 30 地点にコンクリート供試体を曝露し、経時的な物性の変化について検討してきた。本稿では、環境条件が大きく異なる北海道、仙台、沖縄に 10 年間曝露した供試体の物性の変化を観察し、示差熱-熱重量分析 (TG-DTA) および中性化深さ、ビッカース硬度を測定し、環境外力の影響について検討した。

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、セメントは表-2 の普通ポルトランドセメント (密度: 3.18 g/mm³) を用いた。作製したコンクリート供試体は、寸法 100×100×400 mm の角柱供試体および $\phi 100 \times 200$ mm の円柱供試体である。供試体を作製した翌日に脱型し、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、散水を行って乾燥を防止しながら屋外で養生した。曝露地点は北海道大学、東北大学、琉球大学である。屋外曝露の設置位置は、原則として各曝露施設の屋上とし、曝露期間は 10 年間である。

2.2 測定方法

TG-DTA を用いた水酸化カルシウム (Ca(OH)₂, 以下 CH) およびカルサイト (CaCO₃, 以下 Cc) の定量は以下の手順で作製した試料を用いた。角柱供試体の曝露上面および底面の表層から 10 mm の部分と表層から 2.5 ~ 5.0 mm の中心部を湿式モルタルカッターにて切断・採取した。それを 5 mm にスライスし、アスピレーターによる減圧下で、アセトン中に 15 分間浸せきさせる水和停止処理を二回施した。その後、11 %R.H. に調整したデシケーター内に保管して、7 日間乾燥処理を施し

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 種類	空気量調整剤	
		水	セメント	細骨材	粗骨材		種類	% vs Cwt
60	482	165	275	878	971	ボゾリス No.70*	マイクロエア 303A	0.0015

※セメント 100 kg あたり 250 ml の割合で添加した

た。乾燥試料をメノウ乳鉢にて粉碎後、150 μ m 以下に分級した粉末を 20 ± 2 mg 採取して TG-DTA 試料とした。測定は、室温から 1050 °C まで 20 °C/min の条件で昇温して実施した。CH 量は TG 曲線における 405~515°C 付近の質量減量分を CH の脱水による減量と仮定し、DTA 曲線から各試料の脱水範囲を特定して算出した。また、Cc の生成量の定量について、600 ~ 800 °C 間を Cc の脱炭酸とし、定量分析を行った。

中性化深さは、角柱供試体を割裂した断面に対して測定した。供試体割裂後に表面をはけで清掃し、割裂面にフェノールフタレイン 1 % 溶液を噴霧して紫色に呈色しない部分を中性化領域とした。溶液噴霧後、デジタルカメラで撮影した画像を画像解析することで曝露上面、底面の中性化面積を算出した。中性化深さは中性化面積を各面の長さで除した値とした。

ビッカース硬さの測定は、JIS Z 2244 に準拠して実施した。試験体は、円柱供試体の中央部を切り出したものを使用し、測定面は低粘性エポキシ樹脂含浸後に湿式研磨による鏡面仕上げを 2 度ほど施した。

3. 実験結果と考察

図-1 に TG-DTA による測定結果を示す。CH と Cc の生成量を比較すると、中心部より表層部の方が、また、曝露上面よりも曝露底面の方が、Cc が多かった。この理由は、表層部は中心部と比較して炭酸化が進んでいるためと考えられる。また、CH, Cc 由来の Ca 量を CH 量と Cc 量から式(1)にしたがって算出した。

$$Ca = CH \times \frac{40}{74} + Cc \times \frac{40}{100} \quad (1)$$

ここに、CH : 算出した CH 量 Cc : 算出した Cc 量。

キーワード 曝露試験, 気象条件, ビッカース硬さ, 中性化深さ, セメント水和物

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

表-2 セメントの化学組成

密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /cm ³)	強熱減量 (%)	化学組成(mass%)									
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Alkali	Cl
3.18	3050	0.68	21.53	5.47	3.01	64.42	1.15	1.18	0.33	0.58	0.58	0.004

Ca量は、中心部において、表層部と比較して少ないことがわかった。この理由については、中心部では、表層部と比較して、C-S-Hの様なCHやCc以外の水和物の割合が大きいためと考えられる。

次に、図-2に各測定位置のCHとCc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、図中の直線上にデータがプロットされる。しかしながら、どの点も、図中の直線よりも上側に位置していることが分かる。この結果から、Ccの生成はCHのみならず、他の水和物の炭酸化の影響も受けていることがわかる。

また、曝露上面と底面に生成したCHとCcと中性化深さの関係を図-3に示す。図-3より、相対的に、上面と比較して、底面ではCH量は少なく、Cc量が多いことがわかった。しかしながら、図-3中のCc量が20.6%である曝露底面の中性化深さよりも、Cc量が12.2%の曝露上面の方が、中性化が進行しているなど、Cc量と中性化の進行の関係が必ずしも一致していない点が存在することがわかる。この要因として、雨がかりである曝露上面において、マイクロクラックの発生や、細孔液中に存在するNa⁺やK⁺などのアルカリ金属の溶出の程度が環境作用により変化する可能性が推測された。

最後に、図-4に各曝露地点の深さ方向に対するビッカース硬さの変化を示す。環境作用を受けない封緘供試体は、曝露供試体と比較して、ビッカース硬さが小さく、深さ方向に均一な値となっている。さらには、平均気温が最も大きい沖縄に曝露したものが最もビッカース硬さが大きいという結果が得られた。この理由については、屋外に曝露している供試体は、封緘のものとは異なり、系の内外において水の授受があるために水和反応が生じるため、ビッカース硬さが封緘のものと比較して大きくなり、さらには、この水和反応は平均気温が高いほど進行が速いと考えられる。また、屋外曝露供試体の表層部のビッカース硬さは不均一になっているが、この理由は、環境作用の影響によるマイクロクラックの発生や水和物の変質による微小構造の変化に起因した可能性が考えられる。

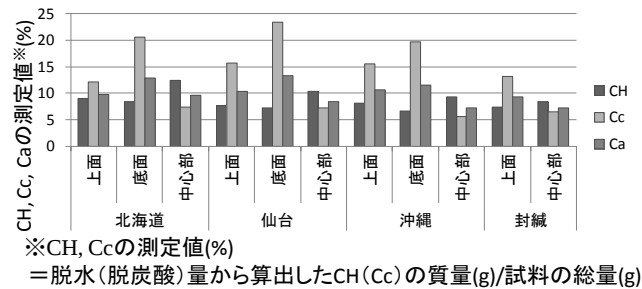


図-1 CH, CcとCH, Cc由来のCa測定量

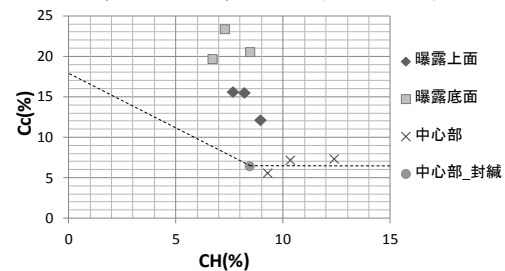


図-2 各測定位置のCHとCcの関係

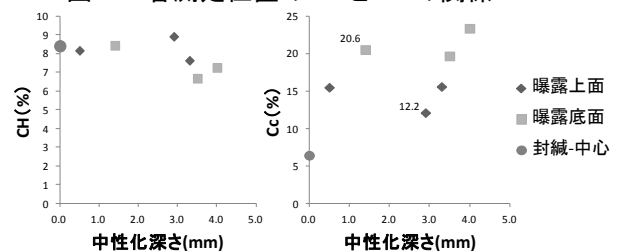


図-3 CH, Cc量と中性化深さの関係

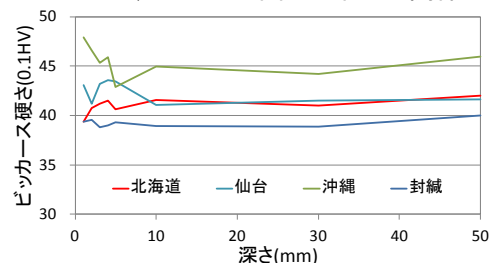


図-4 ビッカース硬さ

4. 結論

コンクリート表層部のCH量やCcの生成量は曝露環境や供試体の曝露面の影響を受ける。また、屋外曝露による水分供給や温度の影響を受けて、セメントペースト部分のビッカース硬度は封緘養生供試体と比較して大きくなる。ただし、環境作用の影響により表層部のビッカース硬度は不均一な値をとる。

謝辞

本研究の一部はJSPS(研究代表者:久田真, 研究課題番号:26289134)によって行われた。また、本稿の執筆にあたり、中性化深さ、ビッカース硬さの実験は東北大学大学院H25年度修了生・渡邊裕輝氏によって行われた。ここに記して感謝の意を表します。