

大気中または酸性河川中の実構造物におけるコンクリートの中性化の性質の違い

東北大学, 日本学術振興会特別研究員 DC1 学生会員 ○宮本 慎太郎
 東北大学 正会員 皆川 浩 久田 真
 (株)ネクスコ・エンジニアリング東北 正会員 光岡 達之 早坂 洋平

1. はじめに

コンクリートの中性化は, その作用環境や作用物質の違いにより中性化の進行メカニズムも異なることが知られている。例えば, 炭酸ガスがコンクリートに作用すると, 二酸化炭素がセメント水和物と反応し炭酸カルシウムが生成される。また, 酸がコンクリートに作用すると, 強アルカリと酸の間で中和反応が生じカルシウム塩が生成される¹⁾。このように, コンクリートの中性化には複数の要因が存在しているため, 要因の異なるコンクリートの中性化を同様の劣化として取り扱うことが可能であるかについては不明な点が数多く残されている。以上の背景を踏まえ, 本研究ではおよそ18年間大気および酸性河川に曝されていたコンクリートを用いて EPMA による面分析とビッカース硬さ試験による深さ方向のビッカース硬度の推移を測定し, 炭酸ガスの作用による中性化と酸の作用による中性化の違いに関する検討を行った。

2. 実験の概要

2.1 コア試料の諸元

本研究では, 約18年間酸性河川に曝されていた RC 橋脚からコア試料を採取した。採取位置は, 酸性河川の作用を著しく受ける橋脚下部と常時大気に曝されている橋脚上部の2点である。なお, 採取時期は平成22年1月で, その時の河川水の pH は3.4であった。

2.2 供試体の作製

採取したコア試料は湿式ダイヤモンドカッターを用いて軸方向に切断し, 一方の切断面にフェノールフタレイン水溶液を噴霧して中性化厚さを測定した。ここで中性化厚さとは, 劣化表面から健全領域までの間の中性化部分の距離である。また, 本研究では初期表面から侵食された部分までの深さを侵食深さと定義した。

もう一方のコア試料は, 酸性河川あるいは大気に曝されていた劣化表面から中性化部分を含む深さ60 mm までの30 x 60 mm に切断した。なお, 試料の厚さは試

料が切断時に破損しない程度の厚さを確保した。切断した試料は樹脂包埋し, その分析面を研磨した。研磨した分析面にメタクリル樹脂を含浸させた後, 再度分析面を研磨した。研磨において使用する浸展液と洗浄液には, それぞれケロシンを用いた。研磨後, 分析面に対して導電性を与える目的でカーボン蒸着し, EPMA による面分析を行った。その後, この試料をビッカース硬さ試験に供した。

2.3 測定条件

2.3.1 EPMA の測定条件

本研究では酸性水のコンクリートへの浸透に伴うカルシウムの溶脱状況を確認するため, 分析対象酸化物は CaO とした。CaO 量は mass % で表示した。

2.3.2 ビッカース硬さ試験の測定条件

本研究では, ①酸あるいは炭酸ガスの作用により中性化した部分(以下, 中性化部と呼称), ②アルカリ雰囲気有する健全部分の中性化境界付近(以下, 境界部と呼称), ③完全にアルカリ雰囲気である試料表面より内部側50 mm の点(以下, 健全部と呼称)の3点をビッカース硬さ試験に供した。中性化部と境界部, 健全部現場を変えてそれぞれ50点で圧子を押し込み, 得られたビッカース硬度の値の上下10点ずつを切り捨て, 残りの計30点の平均を測定部におけるビッカース硬度とした。なお, 中性化部については劣化表面から2 mm の範囲でビッカース硬さ試験を実施した。また, 酸性河川に曝されていた部位に関しては, 酸性水の浸透の影響を確認するために劣化表面から内部へ2 mm 毎に深さ50 mm までビッカース硬さ試験を実施した。さらに, ビッカース硬度のばらつきを評価する目的で変動係数を算出した。

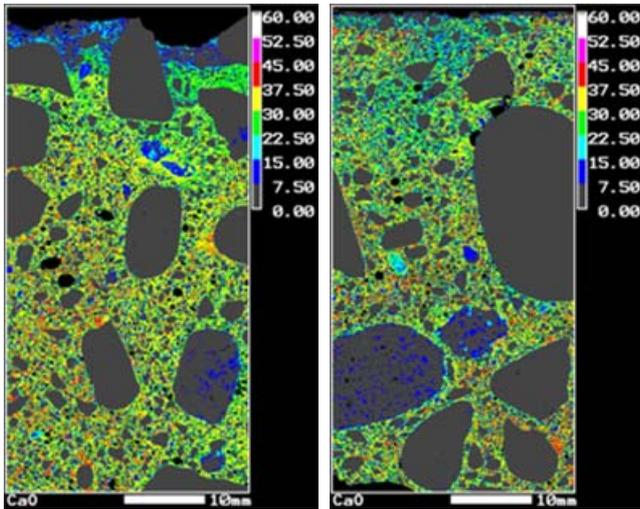
3. 試験結果と考察

写真-1にEPMAによる面分析結果を, 表-1に中性化厚さおよびビッカース硬度の測定結果を示す。

写真-1に着目すると, 酸性河川に曝されていた部位

キーワード 化学的侵食, 中性化深さ, カルシウム溶脱, ビッカース硬度

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL 022-795-7430



(i) 酸性河川 (ii) 大気中
写真 - 1 EPMAによる面分析(対象酸化物:CaO)

では劣化表面から 21 mm の範囲でカルシウムの溶脱が生じており、特に劣化表面から 8~11 mm の範囲においてカルシウムの溶脱量が顕著であることが確認できる。一方で、大気に曝されていた部位については、部分的にカルシウム量の低下は生じているものの、中性化部や境界部、健全部のどの位置においてもおよそ CaO 量はほぼ同程度であることが確認できる。

次に表 - 1 に着目すると、酸性河川に曝されていた部位の中性化厚さは 2.4 mm であったのに対し、大気に曝されていた部位の中性化厚さは 21.7 mm と 9 倍程度大きいことが確認できる。しかしながら、酸性河川に曝されている部位に関しては酸性河川的作用を受けて 7.5 mm 初期表面から侵食されていることを確認したため、実際には大気に曝されている部位の方が酸性河川に曝されている部位と比較して 2.2 倍程度中性化が進行していると言える。また、ビッカース硬度に着目すると、酸性河川に曝されていた部位は中性化部と境界部のビッカース硬度が健全部のそれと比較して 3 分の 1 程度であるのに対し、大気に曝されていた部位に関してはどの領域においてもビッカース硬度は中性化等の影響を受けずにほぼ同程度であることが確認できる。さらに、ビッカース硬度の変動係数に着目すると、大気に曝されていた部位の方が酸性河川に曝されていた部位と比較して変動係数が小さいため、ビッカース硬度のばらつきが小さいと言える。

次に、酸性河川に曝されていた部位における供試体深さとビッカース硬度の関係を図 - 1 に示す。図 - 1 より、劣化表面から 20 mm 程度の領域において健全部と比較してビッカース硬度が小さな値を示しており、特

表 - 1 劣化深さとビッカース硬度の測定値

	侵食深さ mm	中性化厚さ mm	ビッカース硬度:HV (変動係数:%)		
			中性化部	境界部	健全部
酸性河川に曝されていた部位	7.5	2.4	16.78 (39.11)	18.01 (34.12)	59.09 (16.89)
大気に曝されていた部位	0	21.7	57.02 (16.75)	58.76 (14.79)	58.54 (12.50)

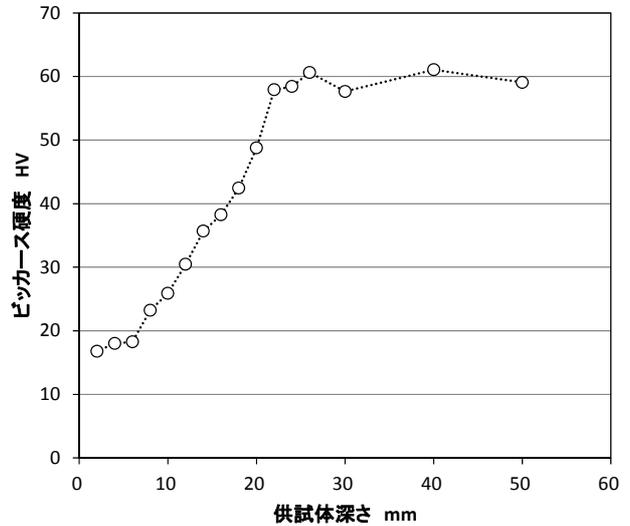


図 - 1 供試体深さとビッカース硬度の関係

に劣化表面から 6 mm の間においてビッカース硬度が非常に小さな値を示していることが確認できる。この結果は EPMA で確認したカルシウム溶脱領域と非常に良く合致している。これらの結果から、酸性河川に曝されていた部位では酸性水のコンクリートへの浸透に伴うカルシウム溶脱が生じ、カルシウム溶脱に起因したビッカース硬度の低下が生じたと推察される。一方で、大気に曝されていた部位ではカルシウム溶脱が生じなかったため、ビッカース硬度の低下が生じなかったと推察される。

4. まとめ

- 1) 本研究で確認した範囲では、大気に曝されていた部位に関しては、中性化に伴うビッカース硬度の低下は生じなかった。
- 2) 本研究で確認した範囲では、酸性河川に曝されていた部位では、ビッカース硬度の低下は中性化部よりさらに内部側においても生じていた。
- 3) 酸性河川に曝されていた部位で確認されたビッカース硬度の低下は、酸性水のコンクリートへの浸透に伴うカルシウム溶脱によって引き起こされた現象であると推察される。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状、コンクリート委員会化学的侵食・溶脱研究小委員会(323 委員会)報告