

材料及び環境要因がコンクリート構造物の炭酸化進行に与える影響

芝浦工業大学 大学院理工学研究科
芝浦工業大学 工学部

○本名英理香
伊代田岳史

1. はじめに

コンクリート標準示方書 [維持管理編] では中性化の進行予測として、促進試験の利用が認められている。混和材で置換したコンクリートに関しても、土木学会ファイアッシュ小委員会が提示した回帰式に、それぞれ混和材の種類によって定まる定数を乗ずることで適用可能となっている。その混和材によって定まる定数は、高炉スラグ微粉末を置換した場合は 0.7 となっており、普通セメントに比べると抵抗性が低いとされている。ただし、この式にはコンクリートの養生の影響や供用環境の影響が考慮されていないため、異なる環境下では中性化速度係数が異なる場合がある。実際に松田ら¹⁾は、高炉セメントを使用したコンクリート中性化深さは、実環境での調査では特に雨掛りがある環境で普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートとほとんど差がなかったが、その採取コア供試体による中性化促進試験結果では、前者の方が大きい傾向がみられるとの報告している。そこで本研究では、まず材料の違いによる影響を明らかにするために、実構造物からコンクリートコアを採取し、普通ポルトランドセメント (N) と高炉セメント (BB) のコアを用いて実環境における中性化進行の違いを比較した (Series1)。さらに、環境要因がコンクリートの炭酸化に与える影響を明らかにするために、雨掛りの有無や湿度といった環境条件が異なる箇所の中性化進行の比較と、炭酸化メカニズムの違いを確認するために、深さ方向の炭酸化生成物の確認を行った (Series2)。

2. 実験概要

2.1 試料 (コアサンプル) 概要

Series1 の試料には、セメント種類ごとに異なる実構造物より採取したコアを用いた。N は供用 88 年の鉄道橋の柱部材、BB は国立霞ヶ関競技場の柱部材より採取したコアを用いた。BB の構造物は供用年数が 56 年で、高炉スラグ微粉末が 50% 置換されている。湿式にて $\phi 75\text{mm}$ で採取し、実環境の中性化進行を確認した。Series2 の試料には、Series1 の BB と同一の構造物より採取したコアを用いた。コアは、屋外雨掛りなし、屋外雨掛りあり、高湿度環境の 3 つの環境に分類した。湿式にて $\phi 75\text{mm}$

で採取時に、側面に 1% フェノールフタレインを噴霧して中性化の程度を把握した。この結果を元に図 1 のように未中性化部にてカットを行い、促進用試料と実環境試料に分割した。促進試験は供用中の環境条件の変動を考慮しない、コンクリートが潜在的に持つ中性化抵抗性を把握できるという仮定のもと行った。

2.2 実環境の中性化進行の測定

実環境試料は図 1 に示すように割裂後、片方は中性化深さ測定に、もう片方は化学分析に用いた。化学分析は、粉末 X 線回折試験による炭酸カルシウム (Calcite, Vaterite) の定性分析を行った。試料は、層毎に含まれる骨材量が異なっているため、そのまま粉砕すると深さ方向の比較を行えない。そこで、骨材をできる限り取り除いたものを使用した。メノー乳鉢にて骨材に付着したペースト部をそぎ落とし、 $150\mu\text{m}$ ふるいを通過した試料を採取し、振動ミルにて微粉砕した。試料には各層ごとの生成量を比較するために、内部標準試料として Al_2O_3 を試料の 10% 置換し、積分強度比を算出した。

2.3 促進試験

試験は JIS A 1153 に準じて行った。図 2 に促進試験方法を示す。中性化深さの測定は促進開始日より 7、14、28、56 日後に行い、中性化速度係数を算出した。

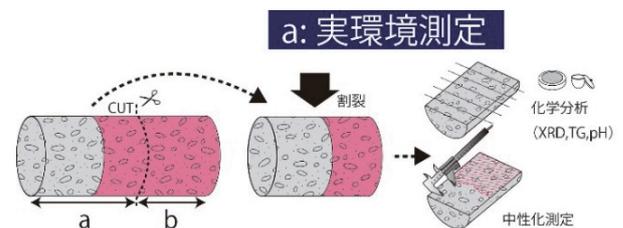


図 1 コアの使用法

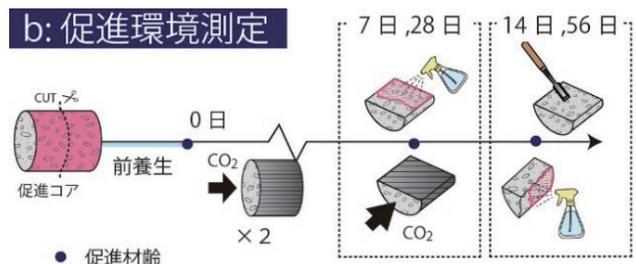


図 2 促進試験方法

3. 実験および考察

3. 1 セメント種類の違いによる影響 (Series1)

粉末 X 線回折試験より求めた、深さ方向の Calcite と Vaterite の積分強度比を図 3 に示す。破線の縦線は中性化深さの位置を示しており、中性化深さはほぼ同程度であった N においては、Calcite の生成が表層に近いほど多く見られる。一方で Vaterite はどの層においてもほとんど検出することができなかった。BB においては、Calcite とともに Vaterite の生成を確認することができた。Vaterite は Ca/Si 比の低い C-S-H やモノサルフェートから生成される²⁾と報告されている。高炉スラグ微粉末を用いることで普通セメントと比べて、生成する水酸化カルシウム量が少ないため、Calcite を生成する水酸化カルシウムがすべて炭酸化したあとも、C-S-H などの他の水和物は残っており、炭酸化を続け、Vaterite が生成されたと考えられる。

3. 2 環境条件の違いによる影響 (Series2)

(1) 中性化深さ

実環境と促進環境の中性化深さの比較を行った。促進環境の中性化深さは、促進材齢 7、14、28、56 日の中性化深さから促進環境における中性化速度係数を算出後、魚本・高田式³⁾を元に実環境の二酸化炭素濃度の中性化速度係数に換算を行い、供用 56 年の促進換算中性化深さを求めた。図 4 に促進換算中性化深さと実環境の中性化深さの関係を記す。グラフ内の破線は実環境と促進環境が 1:1 のとき、また記号の塗りつぶしが仕上げなし、白抜きが仕上げのありを表している。屋外雨掛りなしと高湿度環境では促進環境で中性化しやすいものほど、実環境でも中性化しており、また逆に中性化しにくいものは実環境でも中性化深さは小さかった。グラフの傾きを見ると、屋外-雨掛りなし、屋外-雨掛りあり、高湿度環境の順に傾きが大きい。最も傾きが大きい屋外-雨掛りなしに着目すると、破線とほぼ同一であることがわかる。よって促進環境における中性化進行速度は、50 年を越える長期材齢の実環境において最も中性化が進行しやすい環境を表わしており、実環境においては環境条件によって中性化は抑制されることが考えられる。

(2) 炭酸化生成物

粉末 X 線回折試験より求めた Calcite と Vaterite の積分強度比を図 5 に示す。雨掛りありの環境においては、Calcite は中性化域ではほぼ一定の生成がみられ、Vaterite は表層に近いほど多く生成された。一方で雨掛りなしの環境においては、Calcite は表層に近いほど多く生成され、Vaterite は中性化域においてはほぼ同程度の生成が見られる。よって、雨掛りの有無により炭酸化生成物の生成メカニズムが異なることが考えられる。

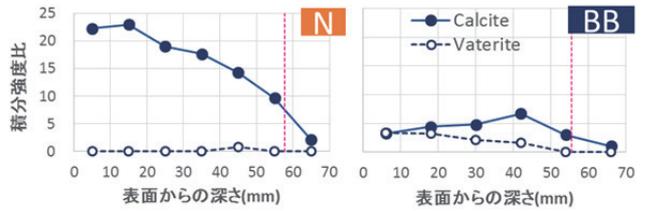


図 3 セメントの種類が炭酸化生成物に与える影響

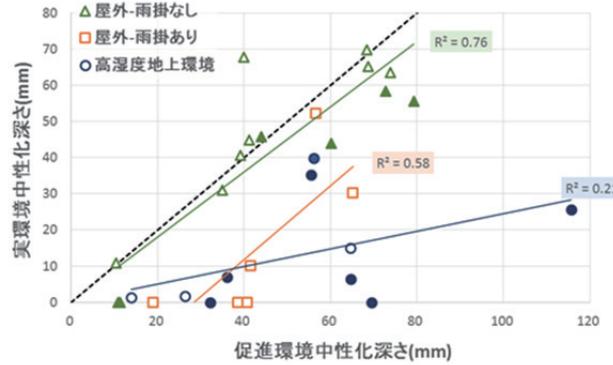


図 4 促進環境と実環境の中性化深さ

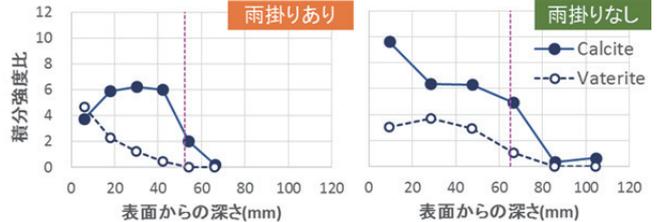


図 5 雨掛りの有無が炭酸化生成物に与える影響

4. まとめ

- 1) 中性化域において、N では Vaterite が検出されないが、BB では生成が確認された。
- 2) 促進環境における中性化進行は、実環境における中性化深さに換算した結果、最も中性化の進行が早い屋外の雨掛りなしと同程度であつ
- 3) 雨掛りの有無により、中性化進行速度と炭酸化進行のメカニズムが異なることが確認された。

【参考文献】

- 1) 松田芳範、上田洋、石田哲也、岸利治：実構造物調査に基づく炭酸化に与えるセメントおよび水分の影響、コンクリート工学論文集、Vol.32、No.1、pp.629-634 (2010)
- 2) 太田利隆：十勝大橋コンクリートの特性、北見工業大学地域共同研究センター研究成果報告書第 7 号 (2000)
- 3) 魚本健人、高田良章：コンクリートの中性化速度に及ぼす要因、土木学会論文集、Vol.1992、No.451、pp.119-128 (1992)

本研究の一部は、科学研究書補助金基盤研究 C (15K06169：研究代表者：伊代田岳史) の助成を受けたものである。