

環境要因の違いが高炉スラグ微粉末を用いたコンクリート構造物の炭酸化に与える影響

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○本名 英理香
芝浦工業大学 正会員 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、土木学会フラ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、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの実環境と促進環境における中性化進行速度の違いを確認するために、実構造物の異なる環境条件の箇所よりコンクリートコアを採取し、実環境の中性化深さと、同一コアの未中性化域を用いた促進中性化試験による中性化深さとの比較を行った。また、雨掛りの有無による炭酸化進行の違いを詳細に検討するために、深さ方向の炭酸化生成物の違いを比較した。

2. 実験概要

2.1 試料 (コアサンプル) 概要

試料には、高炉スラグ微粉末が 50% 置換されている供用 56 年の構造物より採取したコアを用いた。コアは採取箇所の環境条件ごとに、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 $\phi 75\text{mm}$ で採取し、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、示差熱分析による水酸化カルシウムと炭酸カルシウムの定量と、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、そのまま粉碎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、振動ミルにて微粉碎した。粉末 X 線回折試験の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。

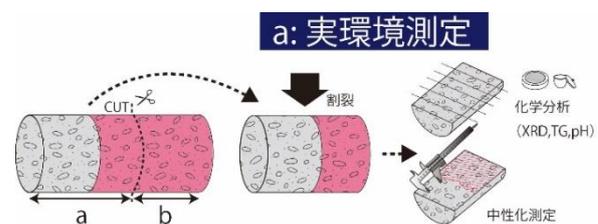


図-1 コアの使用法

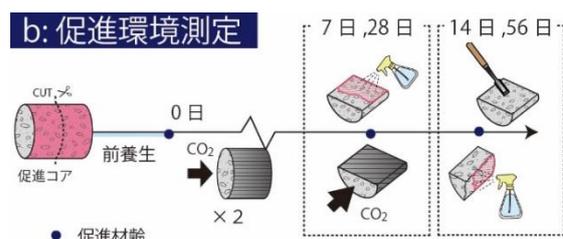


図-2 促進試験方法

キーワード：高炉スラグ微粉末、コンクリート構造物、炭酸化生成物、実環境

連絡先：〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 Tel:03-5859-8356 E-mail:me14070@shibaura-it.ac.jp

3. 実験結果および考察

3. 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²⁾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-3 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を表しており、高湿度環境のみ存在する。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。しかし屋外雨掛りありの環境では、実環境と促進環境の間に良い相関が見られなかった。これは雨掛りの程度に差があること、また気候により乾湿の程度が異なることの影響であると考えられる。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。しかし本研究におけるデータは、ほとんどの箇所において仕上げが施されているため、今後さらに検討を行っていく必要がある。

3. 2 炭酸生成物

同一柱部材の雨掛りがある面と、雨掛りがない面より採取したコアの示差熱分析より求めた水酸化カルシウムと炭酸カルシウムの生成量を図-4 に示す。破線の縦線は中性化深さを表わしている。炭酸カルシウムにおいて雨掛りなしの環境のほうが雨掛りありの環境に比べ生成量が多い。また、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生成物の生成メカニズムが異なること

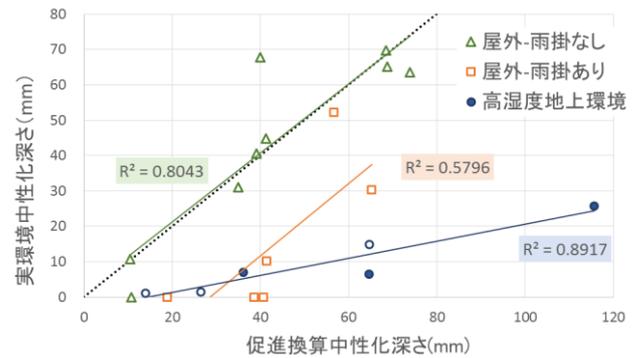


図-3 促進環境と実環境の中性化深さ

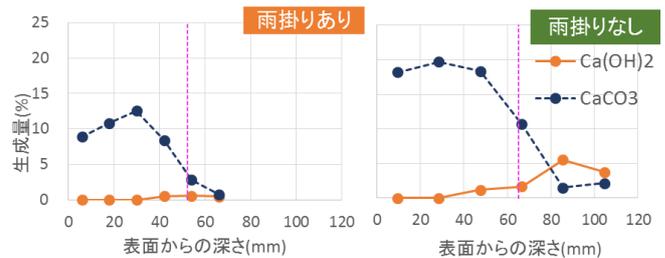


図-4 Ca(OH)₂ と CaCO₃ の生成量

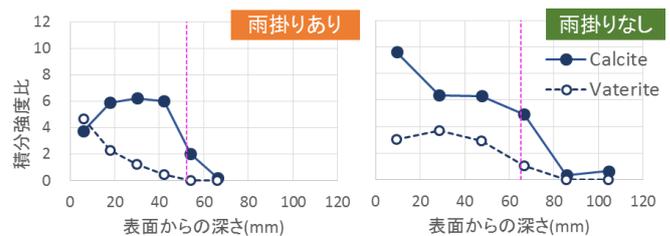


図-5 炭酸生成物の積分強度比

が考えられる。

4. まとめ

本研究から得られた結果を以下に示す。

- 1) 実環境において、屋外雨掛りなし、屋外雨掛りあり、高湿度環境の順に中性化進行が早い。
- 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った。
- 3) 雨掛りありの環境と雨掛りなしの環境では、中性化進行メカニズムは異なる。

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, pp629-634, 2010
- 2) 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, pp119-128, 1992