

1) - 4 中性化を受けたコンクリート中における水分移動特性の体系化および耐久性の検証【持続可能】

Durability assessment of carbonated concrete in terms of water transport properties

(研究開発期間 平成31~令和2年度)

材料研究グループ 中田清史
Dept. of Building Materials and Components NAKADA Kiyofumi

The purpose of this study is to systematize the knowledge on the moisture movement characteristics of carbonated concrete, to predict the moisture state inside the neutralized concrete, and to present the information that contributes to the durability verification. The results of experiments using disk specimens indicate that the moisture transport properties of HCP may be evaluated by the capillary porosity. On the other hand, the effect of carbonation shrinkage cracking on these properties is small, but the cracking around the aggregate needs to be investigated further.

【研究開発の目的及び経過】

中性化に伴う鉄筋腐食は、多くのRC造建築物に共通する劣化現象であり、関連する指針等では中性化が鉄筋位置に到達するまでを一種の寿命としてきた。しかし、近年の実構造物調査の結果から中性化後でも鉄筋近傍の水分環境が適切に維持されれば腐食の進行が抑制される可能性が示唆されている¹⁾。中性化して以降のRC造部材の耐久性を評価するには、中性化を受けたコンクリートの水分移動性状を適切に把握することが求められる。しかしながら、従来の研究では、中性化を受けたコンクリートの水分移動特性については十分な整理がなされていない。

そこで、本研究では中性化を受けたコンクリートの水分移動特性に関する知見を体系化し、中性化を受けたコンクリート内部の水分状態予測を行い耐久性検証に資する情報を提示することを目的とする。

【研究開発の内容】

セメント硬化体やモルタル等の水分移動に関わる特性値（水分拡散係数、水蒸気脱着等温線等）を中性化前後（20℃、60%RH、CO2濃度5%）で測定し、中性化によってこれらの特性値がどのように変化するかを明らかにする。測定では迅速な特性値の取得を目的として、円盤状に成型した試験体（φ5mm×50mm）を用いる。また、これらの変化を水分移動特性変化に関わる指標（空隙構造やひび割れ密度等）に基づいて評価しその関係性を明らかにする。また、特性値の取得と併せて、中性化を受けたコンクリートの水分移動特性を明らかにするため、温湿度センサーを内部に設置したモルタル試験体（15cm×15cm×14cm）を作製した。なお、上記の実験で用いる試験体

は、普通ポルトランドセメント（OPC）、高炉スラグ微粉末（BFS）、標準砂を用いて作製した。セメント硬化体の調査は、表1に示す通りであり、モルタルの調査は水セメント比0.6、骨材体積比0.6のものを用いた。

表1 セメント硬化体の調合（質量比）

	N45	N60	BB45	BB60	BC45	BC60
水	0.45	0.60	0.45	0.60	0.45	0.60
OPC	1.00	1.00	0.55	0.55	0.35	0.35
BFS	0.00	0.00	0.45	0.45	0.65	0.65

【研究開発の結果】

(1) 水分拡散係数の変化

水分拡散係数については、既往の研究³⁾を参考に非定常法を用いて測定した（式(1)~(3)）。測定の結果、未炭酸化の場合はOPCのみよりもBFSを用いた方が小さくなる。一方、炭酸化した場合にはいずれの試験体も炭酸化前に対して10~100倍程度大きくなる結果となった。

ここで、本研究の実験条件においては、Ca(OH)₂の炭酸化は最大でも50%程度しか進行せず、CSHを含むその他の相の炭酸化が進行した（図1）。水分拡散係数の測定結果において、いずれの試験体も炭酸化前に対して炭酸化後の方が大きくなったのは、上記のような水和生成物の炭酸化性状が関係しているものと考えられる。なお、本実験で見られた、炭酸化性状は促進環境において見ら

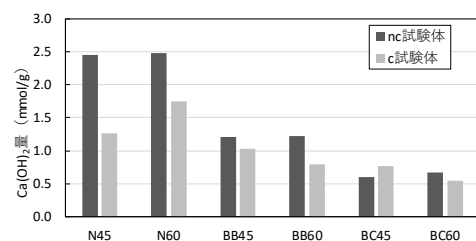


図1 熱重量分析の結果

れたものであるが、実際の環境で見られるかどうかについては今後検証が必要であると考えられる。

(2) 空隙構造変化およびひび割れ性状

空隙構造に与える炭酸化の影響を評価することを目的として、(1)と同条件の試験体について、等温脱着線を取得した(図2)。この結果、炭酸化後の平衡含水率曲線は炭酸化前よりも下側にシフトし割合によらず同様の形状となる可能性を示した。また、いずれの試験体も炭酸化によって全体の空隙量は減少したものの、毛管空隙量(飽水状態から85.1%RH間の脱水量で定義される粗大な空隙の割合)は増加した。この毛管空隙量は、(1)で求めた水分拡散係数と高い相関があることが確認された。今後は、上記の関係に基づいて、調査や使用材料、炭酸化の度合いに関わらず同様の評価式によって水分移動特性を評価する手法について検討する。

炭酸化した際、炭酸化収縮によって生じる表面ひび割れについて、ひび割れ密度という指標に基づいて定量化し、水分移動特性との関係性について検討した。まず、ひび割れ密度については、水粉体比が低いほど、BFSの置換率が高いほどひび割れ密度は大きくなっている(図4)。しかしながら、これらの値はいずれも円盤表面の面積の0.2%未満であり、極めて小さい値であると考えられる。水蒸気拡散係数の測定結果や毛管空隙量との相関性を考慮すると、本研究の範囲内では炭酸化によって生じるこれらのひび割れは、水分拡散係数の変化には大きな影響を与えていないものと推察される。

(3) 吸水速度係数の変化

吸水速度係数については、炭酸化前後の円盤試験体をそれぞれ50℃/80%RHで乾燥させ、表面吸水試験を行うことで測定した。図5は、試験体の質量変化曲線から取得した吸水速度係数である。この結果から、炭酸化後の吸水速度係数は、炭酸化前よりも大きくなる傾向が確認された。また、モルタルについては、炭酸化後はいずれの割合も吸水速度係数が同様の値を示した。上記のような傾向は、(1)、(2)で検討した毛管空隙量の変化と関係に加え、骨材とセメント硬化体の界面で生じる微細ひび割れも関係していると考えられ、これについては今後さらに検討が必要である。

(4) 中性化を受けたモルタル試験体

図6に本研究で作製した温湿度センサー入りの試験体を示す。本稿では、期間内にモルタルの中性化が進行しなかったため、十分な測定結果を得ることができなかった。今後、中性化や測定等を継続し、内部水分状態や鉄筋腐食等に関わる物性値を取得し、中性化を受けたコンクリートの耐久性検証について検討する。

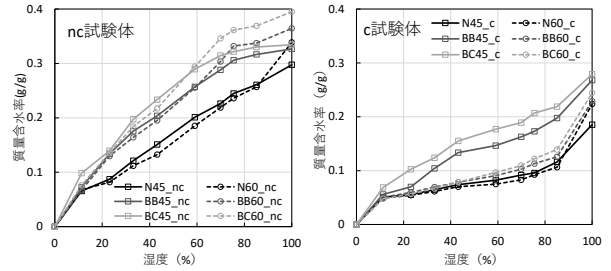


図2 等温脱着線への炭酸化の影響

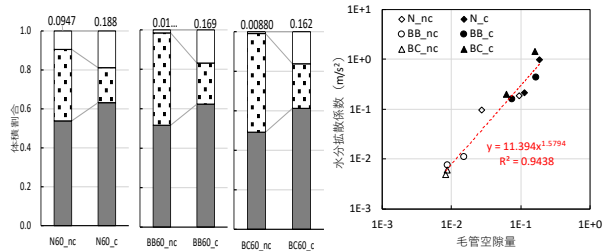


図3 空隙構造変化(左)、水分拡散係数との関係(右)

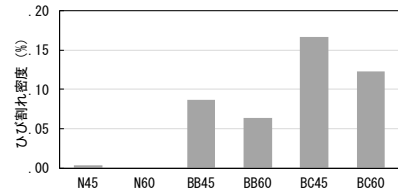


図4 炭酸化した試験体のひび割れ密度

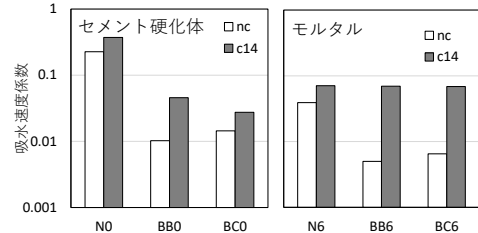


図5 吸水速度係数(nc:炭酸化前、c14:14日炭酸化)

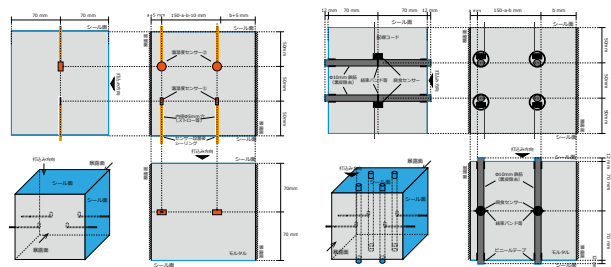


図6 本研究で作製した試験体

【参考文献】

- 1) 日本建築学会, 2017年度日本建築学会大会材料施工部門パネルディスカッション(1)資料
- 2) M. Auroy et al., Cem. Concr. Res., Vol. 74, pp. 44-58, 2015
- 3) 丸山一平ほか, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 76, No. 668, pp. 1737-1744, 2011