

令和 3 年 6 月 27 日現在

機関番号：82113

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23562

研究課題名（和文）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

研究課題名（英文）Durability assessment of carbonated concrete in terms of water transport properties

研究代表者

中田 清史（NAKADA, Kiyofumi）

国立研究開発法人建築研究所・材料研究グループ・研究員

研究者番号：40848941

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：鉄筋コンクリート造部材における中性化（炭酸化）や水分移動に関して、支配的な影響を及ぼすと考えられるセメント硬化体を対象に実験を行い、以下の成果を得た。平衡時の含水率は中性化によって低下し、中性化後の平衡含水率曲線は水粉体比やセメント種によらず同様の形状を示す可能性があることを示された。水分拡散係数は、炭酸化の度合いによって変化するが、この変化を空隙構造を指標とする単一の式によって評価できる可能性を示した。促進炭酸化の過程でセメント硬化体表面に発生する微細なひび割れは、水分拡散係数の変化には大きな影響を与えないものと考えられる。上記の他、吸水速度への炭酸化の影響についても検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリートの水分移動特性・水分保持特性に与える中性化の影響については、鉄筋腐食の進行速度と密接な関係があると考えられることから、本研究の成果は中性化を受けた鉄筋コンクリート造部材の耐久性評価に資する基礎的知見であると考えられる。また、中性化と水分移動特性・水分保持特性の変化の関係については、これまで十分な検討がなされておらず、なぜこのような変化が生じるのかについて議論の途上にあると言える。本研究では、この変化の原因について空隙構造およびひび割れの観点から検討を行い、空隙構造に関わる指標によりこの変化を評価できる可能性を示した点で学術的意義を有するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Experiments were conducted on hardened cement, which is considered to have a dominant effect on neutralization (carbonation) and water movement in reinforced concrete members, and the following results were obtained. (1) The water content at equilibrium decreases with carbonation, and the equilibrium water content curve after neutralization may have a similar shape regardless of the water-powder ratio or cement type. The equilibrium moisture content curve may have a similar shape regardless of the water-powder ratio or cement type. (2) The moisture diffusion coefficient changes with the degree of carbonation, and this change can be evaluated by a single equation using the pore structure as an index. (3) Microcracks generated on the surface of the hardened cement during the accelerated carbonation process do not have a significant effect on the moisture diffusion coefficient. In addition to the above, the effect of carbonation on the water absorption rate was also investigated.

研究分野：コンクリートの耐久性

キーワード：中性化 炭酸化 セメント硬化体 水分移動特性 水分保持特性

1. 研究開始当初の背景

従来の研究や指針等において、「中性化が鉄筋位置にまで到達するまで」の期間を一種の寿命とみなすことを前提としてきたが、近年の実構造物調査の結果から、中性化のみでは必ずしも鉄筋腐食は進行せず、鉄筋近傍の水分状態が鉄筋腐食の進行を左右する重要な要素であることが示唆されている。この結果は既往の実験とも符合しており、中性化を受けたコンクリート中の水分状態を適切に把握することが鉄筋コンクリート造（以下、RC造）建築物の耐久設計や中性化後のRC造部材の維持管理最適化に寄与する可能性がある。しかし、中性化を受けたコンクリートの性質変化について取り扱った研究は少なく、特に中性化の過程でコンクリートの水分移動特性・水分保持特性がどのように変化するかについて統一的な見解は見られない。これは、中性化を受けたコンクリートにおいて、どの深さにまで吸水や乾燥等の影響が及ぶかを定量的に評価できないことを意味し、中性化を受けたコンクリートにおける水分状態予測やこれに基づく耐久性検証が現状困難であることを意味する。

2. 研究の目的

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・水分保持特性に関する知見の体系化を念頭に実験を行った。また、これに基づいて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した。

3. 研究の方法

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（促進中性化）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、円盤を重ね合せた試験体を用いる。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。

促進環境で中性化させたコンクリートを代表的な環境に暴露し、中性化を受けたコンクリート内の湿度や含水率を予め埋設したセンサーで経時測定する。これによりどの深さにまで外部環境（吸水、吸湿、乾燥）の影響が生じるかを実験的に明らかにする。

4. 研究成果

2019年度は、セメント硬化体を用いた実験を行った。実験の結果、平衡時の含水率は中性化によって低下し、平衡含水率曲線は水粉体比やセメント種によらず同様の形状を示す可能性があることを示された。また、空隙率については中性化によって低下するものの、粗大な空隙の割合は増加した。本研究で実施した実験の範囲では水蒸気拡散係数はいずれの条件でも上昇したが、これは上記のように粗大な空隙が増加したことと関係があるものと考えられる。このことから、両者の関係を比較したところ高い相関性が確認され、この関係は水粉体比やセメント種によらず同一の式で示せる可能性が示された。上記の関係式を応用すれば、任意の条件（セメント種類、水粉体比、中性化度合い）のコンクリートについて、その水蒸気拡散係数を長期間にわたって評価できる可能性があると考えられる。

また、上記の実験と並行して、中性化の過程で生じる収縮ひび割れについて検討を行った。促進中性化の結果、セメント硬化体表面には数 μm 程度の幅を持つひび割れが発生した。ひび割れ面積率によりひび割れの発生状況を比較したところ、このひび割れは水粉体比が低いほど高炉スラグ置換率が高いほど発生しやすいことが確認された。表面全体に占めるひび割れの面積率は0.2%未満であるが、中性化後の吸水性状を評価する場合にはこのひび割れが影響を及ぼすと考えられ考慮に入れる必要がある。

2020年度は、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントを用いて試験体を作製し、中性化前後の吸水速度係数の比較を行った。試験体は、昨年度の試験結果を踏まえて水セメント比は1水準とし（0.6）、セメントと骨材の体積比は2水準（5:0および2:3）とした。また、吸水速度係数の測定については、前処理として50/60%RHにおいて乾燥を行ったうえで一面吸水試験を行い、得られた質量変化曲線から吸水速度係数を算出した。実験の結果、中性化前の試験体の吸水速度係数は、高炉スラグの含有量が多い方が、骨材の体積比が大きい方が小さくなることが確認された。一方、中性化した試験体においては、いずれの試験体も吸水速度係数が上昇した。また、モルタルにおいては、中性化前の吸水速度係数は割合ごとに異なっていたにもかかわらず、中性化後の吸水速度係数は割合によらずほぼ同程度の値となった。上記のような傾向

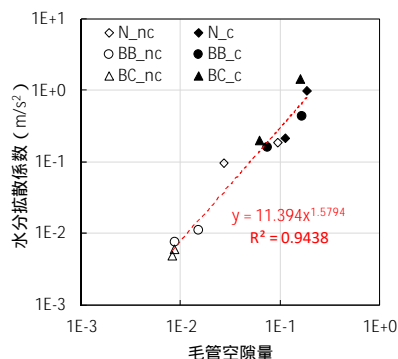


図1 毛管空隙量と水分拡散係数

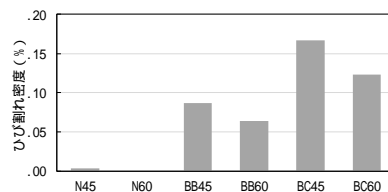


図2 中性化後の表面ひび割れ

を示した原因については、水和生成物の中性化や空隙構造変化、微細ひび割れの発生など様々な要因が考えられ、今後関連する物性値等を取得したうえで検討を進める。

上記と併せて、内部に温湿度センサー等を埋設したモルタル試験体を作製し、中性化を開始した。本研究の期間内では十分な深さまで中性化が進行しなかったため、今後中性化の進行度合いを見極めつつ必要な測定を継続する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 中田清史, 鹿毛忠継, 松沢晃一, 兼松学	4. 巻 42
2. 論文標題 セメント硬化体の水分移動特性・水分保持特性に与える炭酸化の影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中田清史, 松沢晃一, 鹿毛忠継, 関英晶, 西尾悠平, 兼松学	4. 巻 2020
2. 論文標題 炭酸化したセメント硬化体に生じる収縮ひび割れに関する一考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------