

実構造物かぶりコンクリートにおける空隙構造プロファイルと鉄筋腐食因子の輸送性状の把握

Pore structure and transportation of liquid water in covered concrete depending on rainfall pattern

名古屋工業大学 准教授 吉田 亮

（研究計画ないし研究手法の概略）

本研究の目的は、降雨パターン（強度と継続時間）により変化する、かぶりコンクリートにおける鉄筋腐食因子の輸送量・頻度の実態を把握することであり、雨水侵入による腐食因子の輸送メカニズムについて、空隙構造をもとに解明することである。2018年に改訂されたコンクリート標準示方書では、鉄筋位置に雨水が到達する頻度により、鉄筋腐食の照査が行われることとなった。上記の目的が達成されれば、実現象と理論に基づいた高精度の腐食照査式の提案に繋がる。

本研究では、補修が予定されている実構造物から試料を採取するため、実験室では再現できない施工の影響、実環境・経年の影響も把握することができる。また、雨水侵入深さの情報を得るだけでなく、雨水侵入現象について、空隙の連続性をもとにメカニズムを究明し、耐久性予測の高精度化に寄与することが期待される。空隙をインクボトル（貯留空間）と分離し、物質移動現象に関与する連続性の情報を取得するには、申請者らが提案した分析手法を用いる。

本申請の目的を達成するために下記のサブテーマを設ける。

- A) 降雨パターンとかぶりにおける腐食物質の輸送量・頻度の把握
- B) 実構造物コンクリートにおける空隙構造プロファイルの取得
- C) 非破壊試験値による雨水侵入限界深さと空隙構造の推定

以下に本研究の特徴について具体的に示す。

（実験調査によって得られた新しい知見）

A) 降雨パターンとかぶりにおける腐食物質の輸送量・頻度の把握（発表論文1, 3）

降雨パターン（降雨前のかぶり内湿度、降雨の強度と継続時間）と腐食物質の輸送量・深さの関係について検討を行った。

対象は、愛知県内の構造物であり、供用期間と環境条件により選定した。かぶりコンクリートコア（直径100mm）を用いて、（表面からの）かぶり厚さが5, 10, 20, 30, 40, 50mmとなるように切断した。これらのコアは表面と裏面を残して側面をシーリングし、裏面には湿度センサーを貼付した。そして、ラボにおける自作の環境試験槽内で、各かぶり厚さにおける環境の経時変化、雨水侵入限界深さの情報を取得した。

降雨前のコンクリートの乾燥状態、降雨の強度や継続時間が、かぶりコンクリート内部における雨水侵入深さに及ぼす影響の程度を定量化した。また水セメント比、養生条件により、雨水侵入性状に及ぼす影響についても把握した（図1,2,3, 発表論文3）。

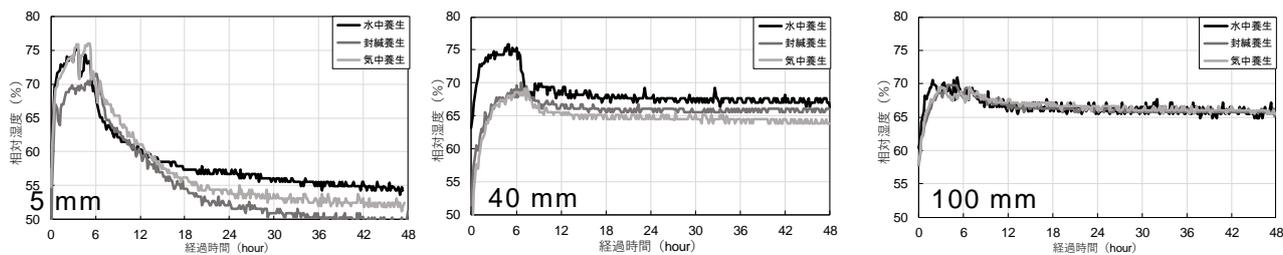


図-1 養生条件による暴露試験における相対湿度の変化への影響 (W/C50%)

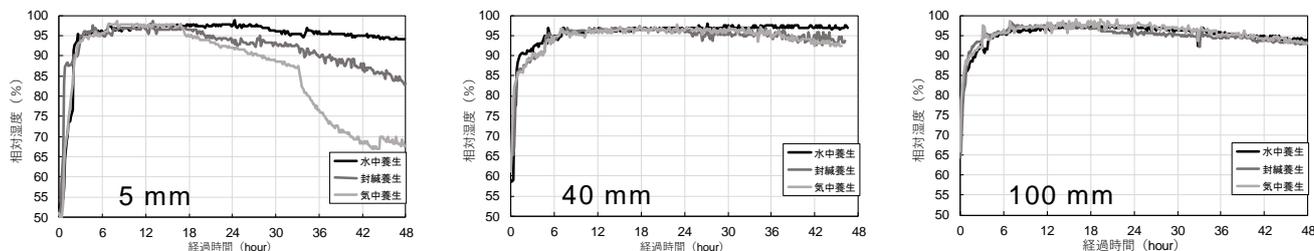


図-2 養生条件による散水試験における相対湿度の変化への影響 (W/C50%)

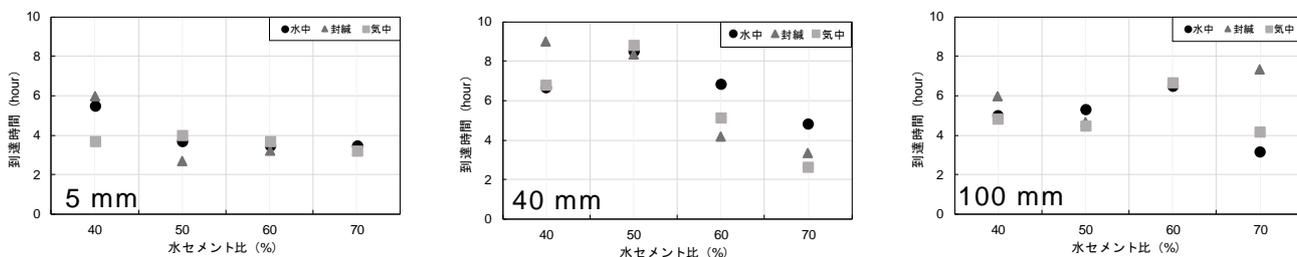


図-3 散水試験における R.H.95到達時間と W/C・養生条件の関係

- 1) 雨掛かりを受けない箇所を想定した暴露試験では、外部環境の変化にともない供試体内部の相対湿度が上昇した。乾燥の影響により相対湿度は低下するが、厚さが大きくなると相対湿度の低下量は小さく、一定の湿度を維持した。相対湿度の低下時には W/C が高くなると養生条件による影響がみられ、封緘養生や気中養生では水中養生よりも相対湿度が低下した。
- 2) 雨掛かりを受ける箇所を想定した散水試験では、降雨により相対湿度が急激に上昇した。乾燥の影響は厚さ 5 mm の場合のみ顕著に現れ、厚さが大きくなると一度浸入した水分は抜けきらず、高い相対湿度を維持し続けた。
- 3) 散水試験における R.H.95到達時間は、厚さ 40 mm で W/C や養生条件による影響が現れた。厚さ 100 mm では W/C や養生条件による影響が小さく、水分子の拡散により水分が到達したと考えられる。

現在は同上の試料の空隙構造を分析しており、雨水侵入速度や侵入深さとの関係を検討する予定である。

B) 実構造物コンクリートにおける空隙構造プロファイルの取得 (発表論文 2, 4)

空隙構造と外部作用を入力値とする厳密な耐久性予測の高精度化(空隙構造モデル修正)のためには、環境作用と空隙構造変化の関係を明らかにし、空隙構造から外部作用履歴を復元するプロファイルの作成が重要である。

申請者は中性化や乾燥など外部環境が、空隙構造(連続空隙とインクボトル空隙の寸法と量)の特徴として抽出できる可能性を示してきた。本申請では独自提案手法によって分

離抽出される連続空隙とインクボトル空隙が、実環境の影響を受けたコンクリートにおいてかぶり表面から内部に、どのように分布するのかという「空隙構造のプロファイル」の取得を試みた。

ここでは、水セメント比、養生条件、および材齢をパラメータとし、物質移動性の代表的な指標であるしきい空隙径、限界空隙径に現れる変化を把握した。乾燥や炭酸化による空隙の粗大化、そして水中養生のように水分の供給による空隙の緻密化、の影響が空隙の連続性（インクボトル空隙を分離した連続空隙）の変化として現れることを示した（発表論文 2）。また、図-4,5,6 に示す通り、この連続空隙に関するしきい空隙径、限界空隙径と各種水分移動特性には、強い相関関係があることを見出した（発表論文 4）。

本研究では、水銀圧入法におけるインクボトル空隙を分離した連続空隙における、しきい空隙径と限界空隙径と、セメントペースト中の水分の移動性との関係を検討した。インクボトル空隙の影響を考慮することで、従来のしきい空隙径、限界空隙径で捉えることができなかった、水の浸入・排出のしやすさとの関係をより精緻に表現する可能性が示された。

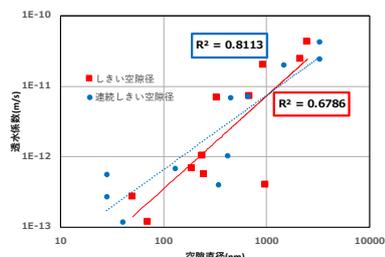


図-4 透水係数としきい空隙径の関係

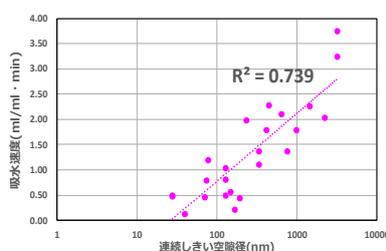


図-5 吸水速度としきい空隙径の関係（連続空隙）

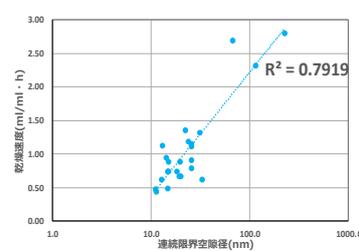


図-6 乾燥速度と限界空隙径の関係（連続空隙）

C) 非破壊試験値による雨水侵入限界深さと空隙構造の推定の試み（発表論文 2, 4）

取得した空隙構造プロファイルと、表層品質（吸水）の非破壊試験値、雨水侵入深さの関係を検討した。図-4,5,6 では、アウトプット法による透水係数、吸水試験による吸水速度、吸水後の乾燥試験による乾燥速度と、連続空隙の構造の間に強い相関関係が確認できた。このうち、吸水試験については、現行される非破壊試験であるため、現場で得られた吸水試験の値から吸水速度を算出することで、連続空隙を推定することが可能と考えられる。そのためには、材齢や環境作用などさらに多くのデータで検証をすることが必要である。また、高炉スラグ微粉末などインクボトル空隙の影響が大きい材料については、吸水速度だけでは、その構造を同定することが難しいこともわかった。そのため、インクボトル空隙が関与する硬化体からの水分逸散現象に着目し、乾燥速度と空隙構造の関係性について検討した。その結果が図 6 であり、両者には強い相関が認められた。混和材を用いたコンクリートの特徴である狭小なインクボトル空隙の同定には、乾燥速度が指標となる可能性が示された。こちらも、より多くの事例を重ねて検証する必要がある。

吸水係数や雨水侵入深さを空隙構造により記述することで、非破壊の表層品質試験により、鉄筋腐食リスクの判定ができ、加えて、耐久性予測の入力値となる空隙構造のデータを取得することができる可能性が示された。

(発 表 論 文)

- 1) 大島美穂，米塚真道，吉田亮，降雨パターンによるコンクリート内の湿度変化に関する一考察，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，社団法人日本材料学会，Vol.19，pp.401-406，2019.10
- 2) 吉田亮，岸利治，OPC ペースト硬化体における空隙の連続性に及ぼす養生の影響，コンクリート工学年次論文集，社団法人日本コンクリート工学協会，Vol.41，2020.7（投稿中）
- 3) 野倉誉斗，大島美穂，吉田亮，岸利治，W/C および養生条件がモルタル硬化体における水分浸透性状に及ぼす影響，2020年度日本建築学会大会，社団法人日本建築学会，2020.9（投稿済み）
- 4) 小倉夏槻，瀨瀨彩瑛，吉田亮，岸利治，水銀圧入法で得られる空隙指標とセメントペースト硬化体の水分移動性状に関する一考察，2020年度日本建築学会大会，社団法人日本建築学会，2020.9（投稿済み）