

除湿法を適用したコンクリートの湿気移動特性の評価と湿度管理システムの構築

富山県立大学（現北陸電力）正会員 ○達 柊介

富山県立大学（現アイベック）正会員 南 亮多

北電技術コンサルタント非会員 白上 新

富山県立大学 正会員 伊藤 始

富山県立大学 学生会員 塚西 弘輝

アイベック 正会員 細野 恭成

1. はじめに

アルカリシリカ反応による劣化(ASR 劣化)の要因は、反応性骨材、高アルカリ量、水分の3 要因である。これらの3 要因のうち1 つでも取り除くことができれば ASR 劣化は抑制できるとされている。

そこで本研究では、コンクリート内部の相対湿度（湿度）が 80%を下回ると ASR 膨張が抑制されるという既往の知見²⁾を踏まえ、構造物の ASR 劣化抑制対策として、除湿孔を用いた水分の除去（除湿法）を考案した。

一方、コンクリート内部の湿気移動を把握する方法として、湿気移動解析が一般的となっている。解析では、湿気移動実験より推定した湿気移動特性である透湿率や湿気容量、蒸発率を入力することで、高い精度で解析を行うことができる。しかしながら、除湿法を用いた場合の湿気移動特性を評価した研究は少ない。加えて、入力物性値が解析精度に及ぼす影響は明らかとなっていない。

本研究では、除湿法を用いたコンクリートの湿気移動特性の評価と入力物性値が解析精度に及ぼす影響を明らかにし、除湿法の設計から適用後の維持管理を見据えたシステム（湿度管理システム）の構築を目的とした。

2. 湿気移動特性の評価

2.1 湿気移動実験の概要

表-1 に実験ケースを示す。実験ケースは除湿方法、除湿孔の直径、および除湿孔の数を変化させた 7 ケースとした。供試体は角柱供試体（100×100×400mm）を用いた。A-25-2 および B-25-2 は 2 体の供試体（①、②と表示）を、その他のケースは 1 体の供試体を用意して、実験を実施した。なお、A-25-2①は実験期間中に温湿度センサに不具合が生じたため、A-25-2②の結果のみを掲載している。送風には小型送風機を使用し、除湿材には A 型シリカゲルと B 型シリカゲルをそれぞれ 10g ずつ使用した。実験ではコンクリート内部の湿度を測定した。

2.2 蒸発率の推定

蒸発率を推定するために湿気移動実験を模擬した湿気

移動解析を行った。解析ではコンクリート表面を対象とした蒸発率を 4 水準に設定し、解析モデルは角柱供試体の 1/2 モデルまたはフルモデルとした。最小二乗法を用いてそれぞれの除湿法の蒸発率を推定した。図-1 に推定した蒸発率を示す。A-25-1 および B・D シリーズの蒸発率は、コンクリート表面を対象とした蒸発率を 0.1 倍した値、A-25-2②および C-40-1 は 0.25 倍した値、C-25-1 は 0.5 倍した値となった。この結果から、送風を用いた除湿法が、本研究で提案した除湿法の中で最も湿度の低減に効果的であることが確認された。

3. 湿度管理システムの構築

3.1 湿気移動特性の妥当性の検討

除湿法を適用した平板供試体（100×200×200mm）を用いて湿気移動実験を実施した後に、実験を模擬した湿気移動解析を行った。実験ケースは除湿方法および被覆面を変化させた 5 ケースとした。ケース名は B-A のように、除湿方法（B：除湿材、C：送風、D：自然乾燥）、被覆面（A：全面、P：上下面）を示す。実験では供試体端

表-1 実験ケース

ケース名	除湿方法 (シリーズ)	除湿孔の直径 (mm)	除湿孔の数 (個)	除湿孔の状態
A-25-1	A型シリカゲル (A)	25	1	閉塞
A-25-2※			2	
B-25-1			1	
B-25-2	B型シリカゲル (B)		2	
C-25-1	送風 (C)	40	1	開放
C-40-1				
D-40-1	自然乾燥 (D)			

※湿度センサに不具合が生じたケース

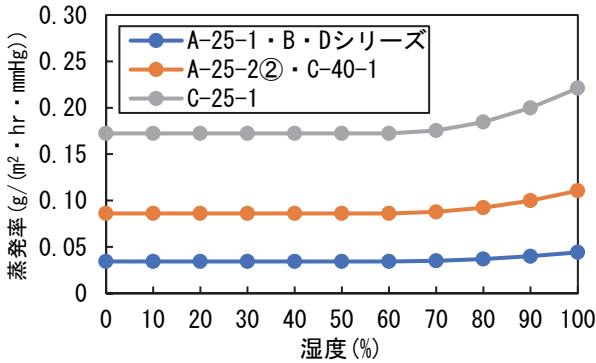


図-1 推定した蒸発率

キーワード 相対湿度、除湿法、湿気移動解析、湿気移動特性、湿度管理システム

連絡先 〒939-0398 富山県射水市黒河 5180 富山県立大学 環境・社会基盤工学科 TEL 0766-56-7500

面から 100mm の位置に除湿孔を穿孔し、除湿孔から 30, 60, 90mm の位置の湿度とひずみを測定した。90mm 位置の湿度とひずみは 2 測点 (①, ②と表示) で測定した。

解析では推定した蒸発率および湿度とひずみの関係 (乾燥収縮特性) を入力し、解析モデルは平板供試体の 1/4 モデルとした。図-2 に測定値と解析値の単位時間当たりの湿度低下量 (湿度低下速度) の 30mm 位置における関係を示す。湿度低下速度が大きい除湿初期において、D-A を除く 4 ケースの湿度低下速度に差が生じた。一方、湿度が低下すると、同程度の値を示した。この結果から、入力した蒸発率は、除湿初期を除いて湿度の低下傾向の予測に適用でき、有用であることを確認した。

3.2 乾燥収縮特性の妥当性の検討

図-3 に C-A の測定値と解析値の乾燥収縮特性の関係を示す。バラツキが生じたものの、3 測点の測定値と解析値の乾燥収縮特性は類似した。この結果から、入力した乾燥収縮特性はひずみの収縮傾向の予測に適用でき、有用であることを確認した。

3.3 実橋脚モデルを対象とした湿気移動解析

湿度管理システムのフローを設定し、湿気移動解析を用いて除湿法の試設計を行った。解析モデルは ASR 劣化したのと里山海道にある A 橋の P1 橋脚³⁾の充実部の 1/4 モデルとした。解析ケースは除湿孔間隔を 3 水準、除湿方法を 5 水準に設定した計 15 ケースとした。

図-4 に中間点の湿度が目標湿度 80% を下回るまでに要する期間 (対策年数) を示す。04-40 の対策年数が最短であり、2.1 年となった。

図-5 に除湿孔間隔 400mm、通気湿度 40% の除湿法を適用したときの除湿開始から 2.1 年後の湿度分布を示す。除湿から 2.1 年で中間点の湿度は 79% を示すことが確認された。中間点のひずみは収縮側に 346×10^{-6} を示し、橋脚全体の膨張の抑制に効果的であった。

4. まとめ

- (1) コンクリート内部の湿度は、除湿法に送風を用いることで、低下しやすくなることを明らかにした。
- (2) 湿気移動特性と乾燥収縮特性は、湿度とひずみの予測に有用であることを確認した。
- (3) コンクリート内部の湿度を低下させることで、膨張を抑制できる除湿法を適用したときの湿度管理システムを構築した。

謝辞 本研究の一部は、科研費 (20K04645) の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書，2005
- 2) 鍵本ら：大型ダムコンクリート円柱内部における湿度およびひずみの測定による ASR 表面ひびわれ発生過程の解明，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，2009
- 3) 津田ら：ASR が発生したコンクリート橋の調査診断と補強・打替技術の検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.2，2016

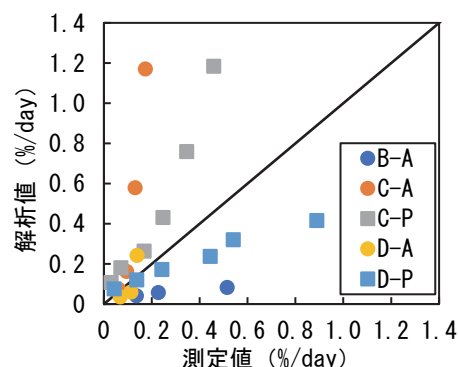


図-2 湿度低下速度の比較 (30mm 位置)

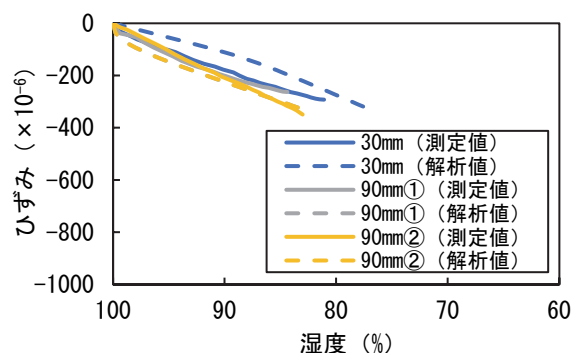


図-3 乾燥収縮特性の比較 (C-A)

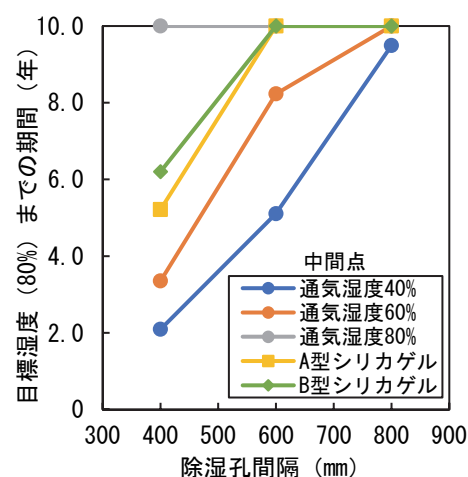


図-4 目標湿度 80% を下回るまでに要する期間

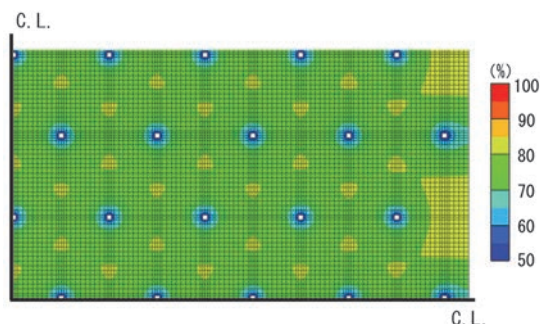


図-5 除湿から 2.1 年後の湿度分布 (04-40)