

乾湿繰り返し作用がセメント硬化体の空隙構造変化と液状水浸透に与える影響

東京大学工学部社会基盤学科 学生会員 ○影山 雄哉
 東京大学生産技術研究所特任助教 正会員 鎌田 知久
 東京大学生産技術研究所教授 フェロー会員 岸 利治

1. はじめに

実環境のコンクリート構造物は乾湿繰り返しを受けることで、耐凍害性などの耐久性が低下することが報告されている¹⁾。さらに、実験室レベルにおいても乾燥や乾湿繰り返しを与えた供試体では、塩分浸透抵抗性の低下や²⁾、空隙構造が粗大化することが知られており³⁾、コンクリートの表層品質は経時的に変化するものといえるが、その影響については明確でない部分が多い。そこで本研究では、モルタル供試体を対象に、乾湿繰り返し作用が空隙構造とそれに湿潤時の液状水浸透に与える影響について検討した。

2. 乾湿繰り返し試験

2.1 供試体作製及び前処理

普通ポルトランドセメント(N)を用いて、W/C=0.55、S/C=2.0(細骨材密度:2.62g/cm³、吸水率:2.1%)のモルタル供試体(φ50×100mm)を作製した。打設後は、温度20℃、相対湿度60%の室内で28日間の封緘養生(S)を与えた。養生終了後は、乾湿面(供試体底面)以外をエポキシ樹脂によりコーティングした。

2.2 乾湿繰り返し試験概要

乾燥は温度40℃、相対湿度35%の恒温恒湿槽で行い、浸せきは20℃の水槽で行った。なお、浸せき時には、析出する気泡の影響等を排除するため、供試体を水平方向に静置した。乾湿繰り返しのサイクルに関しては、1週間で1サイクルとして、乾燥期間を5日、浸せき期間を2日として計12サイクル実施した。

2.3 重量変化測定

供試体2本に対して、1/100g単位で測定可能な電子天秤を用いて重量を測定した。初期状態を0として、重量変化を初期からの変化率(%)で表した。

2.4 浸透深さの測定

乾湿繰り返しにおいて、浸せき後の供試体を圧縮試験機で割裂し、金属製角度曲尺を用いて割裂面の液状水の浸透深さを測定した。

2.5 空隙構造分析

水銀圧入式ポロシメータ(以下MIP)を用いて空隙構造分析を行った。乾湿面から30mmの深さまで、10mmごとに乾式カッターを用いて試料片を採取し、それを砕いて、5mm角程度の試料とした。採取した試料は24時間以上アセトンに浸せきさせた後、D-dry法により24時間真空乾燥させた。MIPで取得される結果から算出される閾細孔径と物質移動抵抗性との間には相関があることが示されている⁴⁾⁵⁾。そのため本研究では、空隙構造を評価するうえで、特に閾細孔径に着目し整理した。セメントペースト体積の16%に相当する水銀が圧入された時点の細孔直径を閾細孔径として算出する、酒井ら⁵⁾の手法を参考にした。セメントペーストの体積は、配合に基づき骨材質量を骨材の密度を用いて体積に変換した残りの体積とした。ここで、物質移動、特に浸せき時における液状水の浸透は、乾燥後(D)の空隙構造に依存する。そのため、本研究では、乾燥後の閾細孔径のみを示して重点的に考察する。

3. 実験結果・考察

図表に各種実験結果を示しているが、供試体の名称は、例えば1C-Dのように、乾湿のサイクル(0C, 1C, , 12C)、次に供試体の状態として乾燥後(D)または浸せき後(W)を示している。

図-1に示す重量変化を見ると、サイクルの経過とともに、乾燥時の重量減少よりも浸せき時の重量増加の幅が小さくなる傾向を示しており、吸水量が低下していることが分かる。これは、表-1に示しているように、1サイクル目は表層から13mm程度まで浸透が確認されたものの、4サイクル以降で浸透が目視で観察されなかったことと対応する。一方、図-2に示す閾細孔径を見ると、表層10mmにおいては、乾燥後は閾細孔径が増大していることが分かる。つまり、極表層の空隙が粗大化しているにも関わらず、内部に水分が浸入しにくくなっており、内部に液状水の浸透を妨げる何らかの

キーワード 乾湿繰り返し作用, 空隙構造, 閾細孔径, 物質移動抵抗性, 気泡

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 Be406 TEL 03-5452-6098

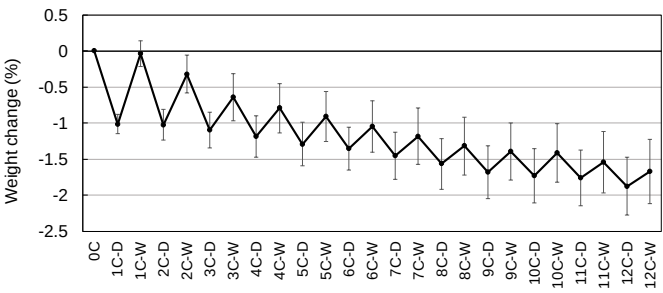


図-1 乾湿繰り返しにおける重量変化

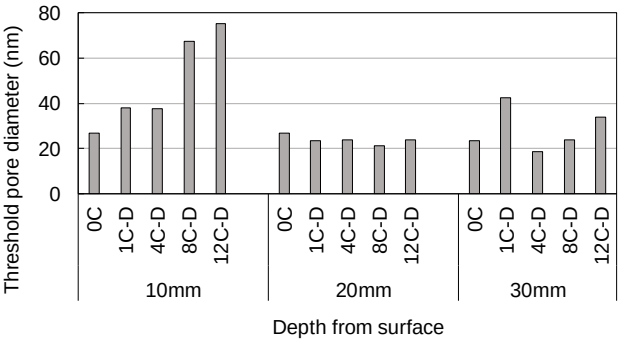


図-2 乾燥後の閾細孔径の推移

表-1 浸せき後の液状水浸透深さ

サイクル	浸透深さ
1	約 13mm
4	約 0mm
8	約 0mm
12	約 0mm

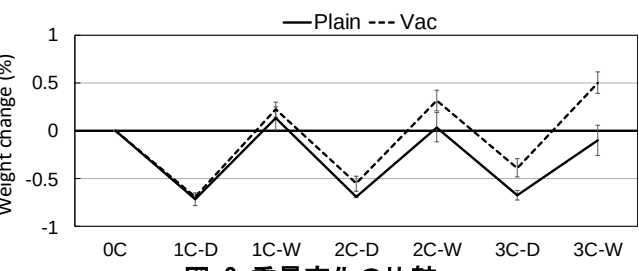


図-3 重量変化の比較

抑制因子が働いている可能性が考えられる。そこで次章では、抑制因子の一つとして気泡に焦点を当て、以下に示す検討を実施した。

4. 気泡の影響を低減した乾湿繰り返し試験

4.1 実験概要

供試体の配合および前処理は 2.1 節と同様である。乾湿繰り返しの条件について、通常供試体 (Plain) は、2.2 節と同様である。気泡の影響を低減した供試体 (Vac) は、初回のみ 5 日乾燥を与え、2 サイクル目以降は、乾燥を 4.5 日与え、その後真空脱気を 0.5 日実施することで、残存気泡を低減した。その後 2 日間の浸せき時には、真空ポンプにより水道水を減圧して作製した脱気水 (酸素飽和度：約 40%) を用いた。なお、負圧の影響を避けるため、真空脱気を行ってから、約 30 分後に脱気水に浸せきさせた。本実験では、重量変化を測定することで、気泡の影響を確認した。

4.2 実験結果・考察

乾湿繰り返しにおける供試体の重量変化について、3 サイクルまでの結果を図-3 に示す。気泡の影響を低減した Vac と通常供試体 Plain を比較すると、2 サイクル後から吸水量に明確な差異が確認できる。このため、吸水時に巻き込まれた、もしくは内部から析出した気泡が液状水浸透に対する抵抗因子となっていることが示唆された。このことから、鉄筋腐食に関与する液状水浸透は乾湿繰り返し作用下で少なくとも短期的には抑制される可能性がある。

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 乾湿繰り返しのサイクルの経過とともに、極表層部の閾細孔径が増大した。
- (2) 乾湿繰り返しのサイクルの経過とともに、浸せき時の吸水量が低下していく傾向にあった。
- (3) 吸水量の低下は、吸水時に巻き込まれた、もしくは内部から析出した気泡が原因であることが示唆された。

参考文献

- 1) 田畑雅幸ほか：北見市に 26・27 年屋外暴露したコンクリートの耐凍害性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.635-636，2009
- 2) 志村雅仁ほか：コンクリートへの塩分浸透に支配的な影響を与える停滞現象に関する実験的検討，セメント・コンクリート論文集，Vol.69，No.1，pp.478-483，2015
- 3) 青野義道ほか：乾燥および乾湿繰り返しによる硬化セメントペーストの微細構造変化，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.993-998，2007
- 4) 酒井雄也ほか：コンクリートの物質移動抵抗性を代表する空隙構造指標の抽出と検証，土木学会論文集 E2，Vol.70，No.4，pp.390-401，2014
- 5) 酒井雄也ほか：臨界浸透確率に基づく閾細孔径の抽出とコンクリート中の液状水移動の定量評価，土木学会論文集 E2，Vol.72，No.2，pp.83-96，2016