

第V部門

降雨が混合セメントの塩化物イオン濃度分布に与える影響

京都大学工学部 学生会員 ○久保 拓真

京都大学大学院工学研究科 正会員 平野 裕一

京都大学大学院工学研究科 学生会員 白井 睦弥

京都大学大学院工学研究科 正会員 安 琳

1. 序論

沿岸部のコンクリート構造物のように、塩害環境下において適切な維持管理を行うには、コンクリート内部の塩化物イオン濃度分布を精度良く予測する必要がある。降雨はコンクリート内部の塩化物イオン濃度分布に影響を与える要因の一つであるが、この影響についての研究は少ない。先行研究¹⁾では、直接降雨がかかる場合、表面付近は塩分が洗い流されるが、雨水の浸透に伴いより深くまで塩分が浸透することが確認されている。しかし、混合セメントによる塩分浸透の違いや降雨と乾燥のみに着目した降雨による塩化物イオン濃度分布の変化はよく分かっていない。本研究では、水密性が向上するといわれるフライアッシュ、高炉スラグ²⁾を混入したモルタル供試体の現地観測および降雨を模擬した室内試験により、混合セメントおよび降雨が塩化物イオン濃度分布の違いを考察する。

2. モルタル供試体の暴露試験

混合セメントが塩化物イオン濃度分布に与える影響を考察するため、和歌山県の沿岸部にある天鳥橋で暴露試験を行った。天鳥橋付近の直接雨が当たる海側の位置と雨があたりにくい橋下の位置の2か所に普通セメント、フライアッシュセメント、高炉セメントの3種類のモルタル供試体（直径 100 mm、高さ 60 mm、W/C=0.5、材齢 7 日）を設置した（Fig.1）。それぞれの条件で3体ずつ供試体を用意した。供試体の側面と底面はエポキシ樹脂で被覆し、雨水が直接当たるのは上側の面のみにした。暴露期間は2018年1月30日から2018年7月25日であり、暴露場所における日降水量をFig.2に示す。暴露終了後、供試体を回収し深さ5 mm毎の塩化物イオン濃度を電位差滴定により測定し3体の平均とした（Fig.3）。普通セメント、フライアッシュでは橋下が7.5 mmまで、海側が12.5 mmまで浸透している。フライアッシュは海側、橋下どちらも他の供試体より表面の塩化物イオン濃度が高

い。フライアッシュでは海側と橋下との塩化物イオン濃度の差が普通セメントより小さい。高炉セメントはその差がさらに小さく海側と橋下が同程度であり、表面付近の塩化物イオンは普通セメントと同等である。これらの結果から、フライアッシュと高炉セメントは降雨の有無



Fig.1 暴露試験の様子

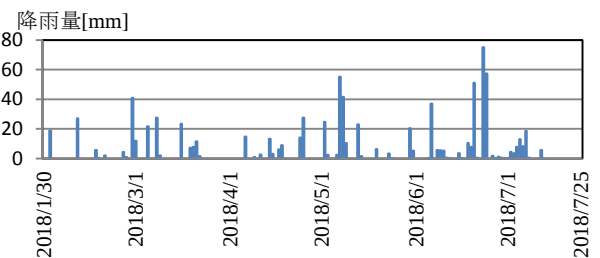


Fig.2 暴露期間の日降水量

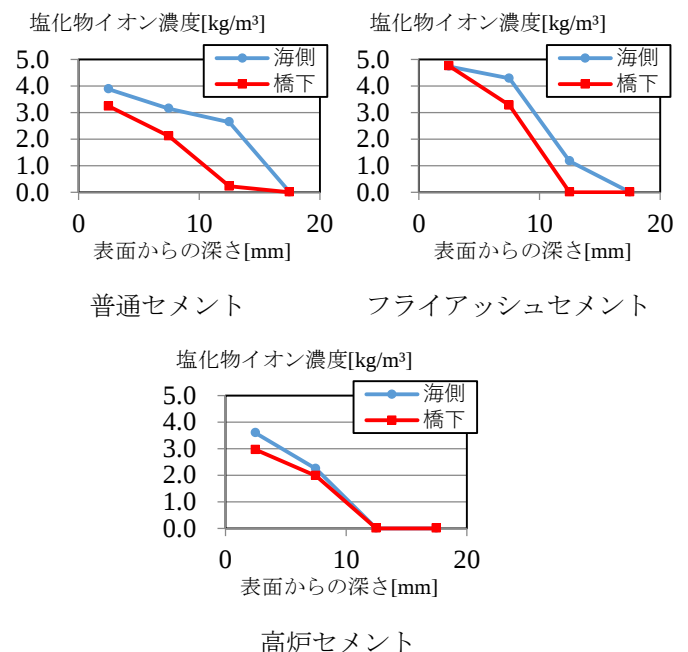


Fig.3 各場所の塩化物イオン濃度分布

の影響を受けにくいと考えられる。また、フライアッシュは表面に塩化物イオンが付着しやすいと考えられる。

3. 降雨サイクルが塩分に与える影響

降雨頻度が塩化物イオン濃度分布に与える影響を考察するため室内試験を行った。40×40×160 mm の直方体のモルタル供試体 (W/C=0.6, 材齢 7 日) を用いた。それぞれの条件で 3 体ずつを用意し、測定値は平均とした 40×160 mm の側面は全てエポキシ樹脂で被覆している。全ての供試体に塩水の浸漬 3 時間と乾燥 21 時間を 10 回繰り返し、塩化物イオン濃度分布の初期条件とした。その後、Table1 の乾燥方法とサイクル数の条件で各試験を行った。case1 の初期条件を他の case と比較することで降雨の影響を考察する。Fig.4 に示す滴下装置を用い、1 サイクルにおける滴下時間は 3 時間、乾燥時間は 21 時間とした。滴下は蒸留水を用い、滴下量は毎時間 100 ml であり、これは降水量 63 mm/h に相当する。case3, case4 で乾燥炉を使用しているのは、同じ時間でより長い乾燥時間を模擬するためである。10 または 20 サイクル後、供試体を表面からの深さ 10 mm 毎に切断し、塩化物イオン濃度を電位差滴定により測定した。塩水浸漬時の重量変化を Fig.5、塩化物イオン濃度分布を Fig.6 に示す。case1 と比べ他の case は表面の塩化物イオン濃度が低いが、深さ 30 mm~50 mm での塩化物イオン濃度が高くなった。このことから、滴下による水分の浸透に伴い塩分がより深部に浸透したと考えられる。乾燥炉による乾燥ではサイクル数 20 の case5 がサイクル数 10 の case4 より表面付近では塩化物イオン濃度が低いが、より深くまで塩分が浸透していることがわかる。室内乾燥では case3 が case2 よりも塩分濃度が全体的に低いのは、塩分を加える時に case3 は case2 に比べ塩水があまり浸透せず (Fig.5)、case2 の試験前の供試体内部の塩分が case3 より少なかったためと考えられる。しかし、塩化物イオン濃度分布の傾向は同程度であり、このサイクル数では大きな違いが現れないと考えられる。これらの結果から、乾燥時間が長いほど少ないサイクル数で塩化物イオン濃度分布が変化しやすく、より深部まで浸透すると考えられる。

2. の暴露試験では降雨と降雨の間に十分な乾燥時間があつたと考えられる (Fig.2)。これが、普通セメントとフライアッシュセメントの海側で塩化物イオンがより深くまで浸透した理由であると考えられる。

Table1 滴下試験の条件

case	乾燥方法	サイクル数[回]
1	—	—
2	室内乾燥	10
3	室内乾燥	20
4	乾燥炉	10
5	乾燥炉	20

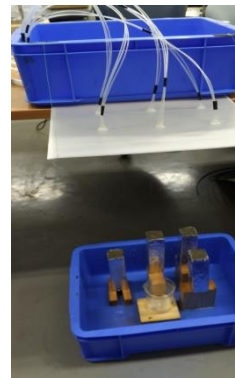


Fig.4 滴下の様子

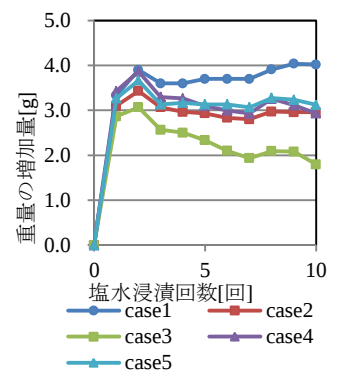


Fig.5 初期塩水浸漬時の質量

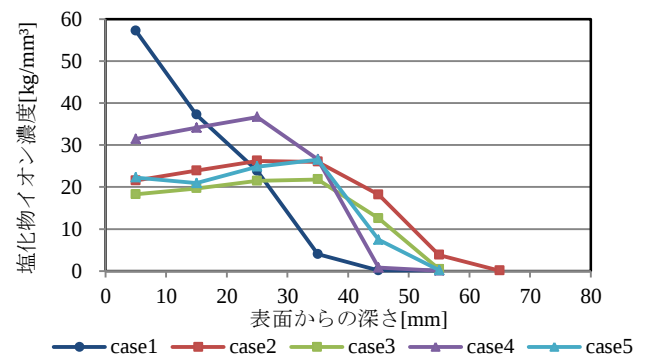


Fig.6 滴下試験後の塩化物イオン濃度分布

4. 結論

- 1) フライアッシュセメント、高炉セメントの順に塩化物イオン濃度分布に与える降雨の影響が少ないと考えられる。
- 2) 降雨サイクル数が多いまたは降雨サイクル間の乾燥期間が長いほど、塩化物イオンがより深くまで浸透すると考えられる。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 15H02261 の助成を受けた。

参考文献 1) 白井睦弥, 三歩一奏人, 周満, 平野裕一, 安琳, 白土博通: 降雨および微小ひび割れがコンクリートへの塩分浸透に与える影響, 平成 29 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, V-26, 2017.5

2) 宮川豊章, 六郷恵哲: 土木材料学, 朝倉書店, pp.111-112, 2013