

京都大学大学院 学生会員 ○花田 真里 正会員 高谷 哲
 正会員 山本 貴士 フェロー会員 宮川 豊章

1. 研究目的

近年、アルカリシリカ反応（以下 ASR）と塩害の複合劣化の事例が報告されているが、複合劣化のメカニズムに関しては不明な点が多く、一方の劣化因子が他方の劣化に与える影響についての検討事例は少ないのが現状である。本研究では、塩化物イオンが ASR に与える影響に焦点を当て、ASR と内的塩害の複合劣化時のひび割れ性状を明らかにすることを目的として、ASR 劣化モルタル供試体による実験を行った。

2. 実験概要

図-1 に示すような 100×100×160mm の角柱供試体を使用し、断面中央（かぶり 40mm）の位置に D19 みがき鉄筋を配置した。鉄筋の腐食範囲は中央 80mm とし、腐食させない端部はブチルゴムテープで防錆処理を行った。

実験要因は、塩化物イオン量とした。0.056（セメント由来）、0.60, 1.2, 3.2, 6.8, 15 kg/m³ の 6 種類を設定し、塩化カルシウムを添加して調整した。各要因 3 体ずつ供試体を作製した。

配合は単位セメント量を 508kg/m³（早強セメントを使用）、水セメント比 0.50, 砂セメント比 3.0 とした。ASR 促進のためアルカリ総量 8.0 kg/m³ となるように水酸化ナトリウムを添加した。水酸化ナトリウム、塩化カルシウムについては、練り混ぜ水に溶解し混入した。細骨材は、非反応性骨材と反応性骨材を体積比 1:1 の割合で使用した。

作製した供試体は 1 週間の水中養生後、2 日間乾燥（20℃, 40%RH）と 5 日間湿潤（40℃, 95%RH）の繰り返し環境下に置き、定期的にひび割れの観察を行った。材齢 1 年時点で図-2 に示す供試体中央 5 ヶ所について軸方向ひび割れを対象に表面ひび割れ幅を測定した後、ひび割れからインクを注入してひび割れに沿って解体し、図-3 に示すようにインク着色部からひび割れ深さを測定した。

3. 実験結果および考察

全ての要因において材齢 3 ヶ月程度で ASR ひび割れが発生し、その後ひび割れ幅は拡大した。ひび割れの発生と同時に、モルタル表面にはアルカリシリカゲルの溶出も見られた。材齢 8 ヶ月時点のひび割れ展開図、軸方向最大ひび割れ幅の推移を図-4、図-5 にそれぞれ示す。塩化物イオン量 0.60, 1.2 kg/m³ の供試体については、0.056 kg/m³ とほぼ同じ傾向を示したため、紙面の都合上省略する。

ひび割れ展開図を比較すると、塩化物イオン量が少ない供試体ほど、亀甲状のひび割れが数多く入っていることが分かる。塩化物イオン量が増加するにつれて、亀甲状ひび割れが減り、軸方向のひび割れが卓越して発生している様子が伺える。特に、塩化物イオン 15kg/m³ を加えた供試体では、ひび割れがほぼ軸方向のみであったが、

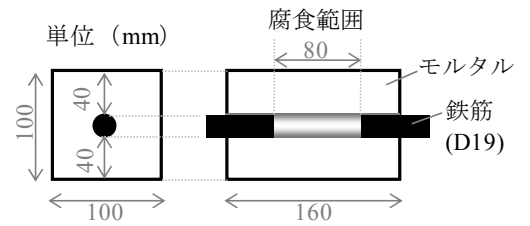


図-1 供試体

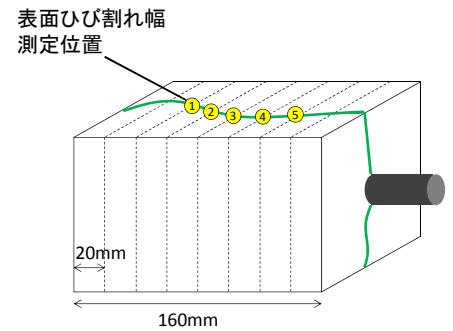


図-2 表面ひび割れ幅の測定

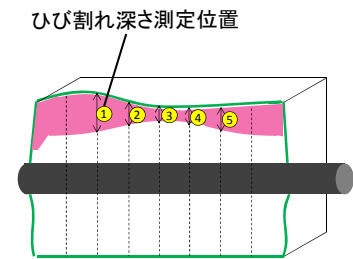


図-3 ひび割れ深さの測定

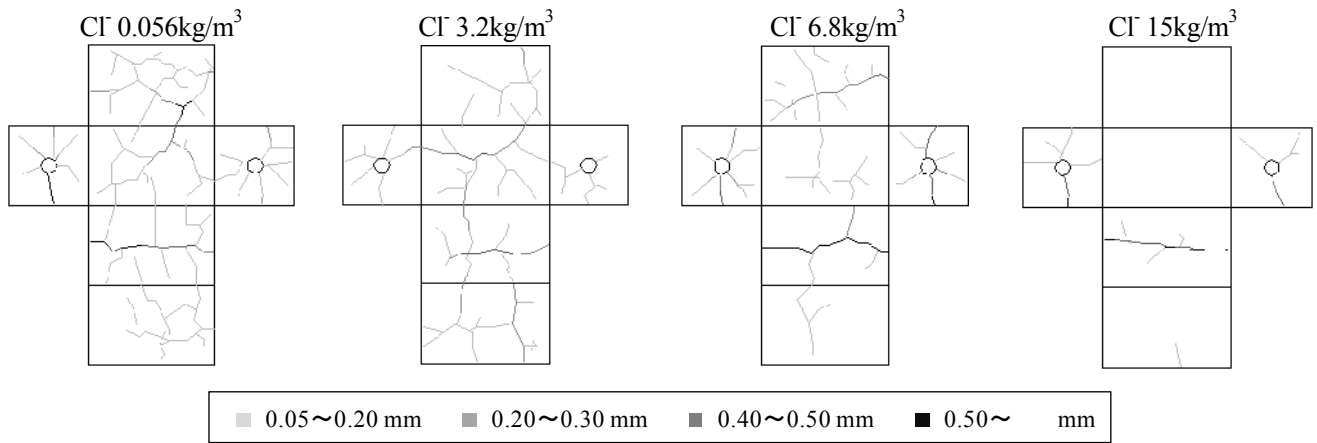


図-4 ひび割れ展開図 (材齢8ヶ月)

最大ひび割れ幅の拡大が著しかった。このような ASR ひび割れ性状の差が生じた原因として、塩化物イオンの影響が考えられる。上田ら¹⁾は、反応性骨材を使用した ASR 劣化供試体について、アルカリとして水酸化ナトリウムを添加した場合には網目状のひび割れが発生するが、アルカリとして塩化ナトリウムを添加した場合には鉄筋軸に沿ったひび割れが卓越すると報告している。本実験でも同様のひび割れ形態変化が見られたことから、塩化物イオンによる影響でひび割れに差が生じた可能性が高く、塩化物イオンの多い要因では鉄筋腐食の進行により、ひび割れが鉄筋の軸方向に優先的に入ったと考えられる。また、塩化物イオンの増加に伴い、亀甲状ひび割れが減った原因としては強度の影響も考えられる。塩化物イオン量が $0.056\sim 3.2\text{kg/m}^3$ では圧縮強度が 30N/mm^2 程度であったが、 6.8kg/m^3 では 37N/mm^2 、 15kg/m^3 では 43N/mm^2 となり、明らかな強度増加が見られた。かぶり部分の強度が増すことで、アルカリシリカゲルの膨張に対してひび割れ発生への抵抗力が増し、軸方向ひび割れが卓越した可能性がある。

最後に、表面ひび割れ幅とひび割れ深さとの関係を図-6 に示す。

塩化物イオン量に関わらず点はほぼ直線状に並び、表面ひび割れ幅と深さとの間には高い相関が見られた。今後データを蓄積することにより、表面ひび割れ幅からひび割れ深さを推定できる可能性があると考えられる。

ASR ひび割れが生じると腐食因子の侵入により鉄筋腐食は加速されると考えられるため、複合劣化によって生じる鋼材腐食を考える上で、本実験結果（塩化物イオンによるひび割れ性状の変化）に加えて、表面ひび割れ深さの推定は重要な指標となりうると考えられる。

4. 結論

ASR 劣化モルタルを使用した本研究の結果より、以下のような結論を得た。

- 1) 塩化物イオンの増加に伴い、ひび割れ形態は亀甲状から軸方向に移行し、ひび割れ幅は拡大する傾向が見られた。このことから塩化物イオンはひび割れ性状に影響を与えていると考えられる。
- 2) ASR の表面ひび割れとひび割れ深さとの間には相関関係が見られた。今後さらにデータを集積することで、表面ひび割れ幅から深さを推定できる可能性が示された。

参考文献 1)上田隆雄, 浜田和也, 松本義章, 松坂裕介: 温度変化が塩害と ASR の複合劣化機構に与える影響, 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, Vol.11, pp.457-462, 2011.10

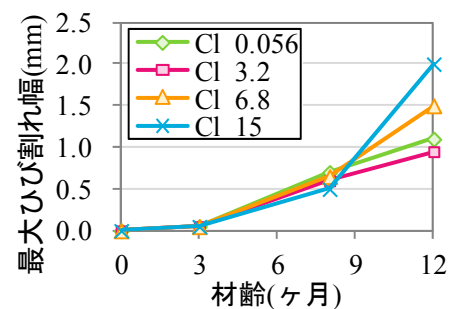


図-5 軸方向最大ひび割れ幅の推移

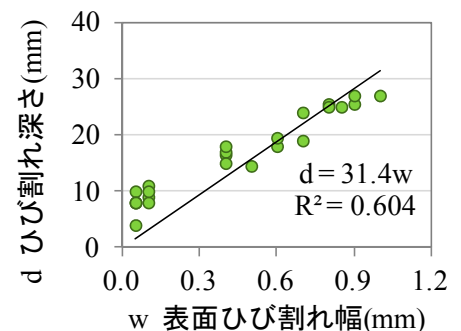


図-6 表面ひび割れ幅と深さ関係