

8 年間の暴露試験による RC コンクリートのひび割れ部への塩化物イオン浸透特性

中部電力（株） 正会員 ○佐藤 正俊
中部電力（株） 正会員 加藤 誠司
名古屋大学大学院 正会員 中村 光
名古屋大学大学院 正会員 三浦 泰人

1. はじめに

発電所の冷却用海水取放水設備に用いられている RC 製地中ボックスカルバートでは、大規模地震時にひび割れが発生する場合があります。ひび割れ部からの塩化物イオン浸透が懸念される。一方、対象構造物は延長が長い地中構造物であることから、被災後のひび割れ補修に時間を要し、早期復旧の支障になることが懸念され、軽微なひび割れの補修は先送りする場合も想定される。したがって、対象構造物のひび割れの程度と鉄筋腐食の起因となる塩化物イオンの浸透特性との関係を把握することは、事業継続計画策定のためにも重要である。

本報では、被り厚 90mm 程度で異なるひび割れ幅を導入した梁供試体を用いた 8 年間の室内暴露実験により得られた、ひび割れ幅とひび割れ部からの塩化物イオン浸透特性に関する知見について報告する。

2. 実験概要

(1) 供試体

対象構造物は RC 製地中ボックスカルバートであるが、実験の簡易さや多数のデータ取得の観点から部材における 1 本のひび割れの再現を目的として 200×200×1000mm で断面中央に鉄筋 (SD295A D16) を有する梁供試体を用いた (図 1)。使用したコンクリートの配合を表 1 に示す。コンクリート打設後の養生は、強度発現を促進し、暴露期間中のコンクリートの水和に伴うコンクリート性状の変化を小さくするため、打設 2 時間後から常圧蒸気養生 (最高温度 50℃ を 3 時間) し、その後は暴露実験開始まで気中養生

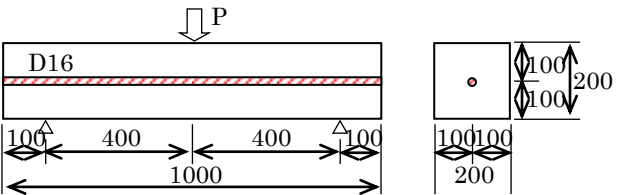


図 1 供試体の概要 (単位 : mm)

表 1 コンクリートの配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤
59	46.2	173	289	827	979	2.89

した。コンクリートの圧縮強度 (材齢 28 日) の平均値は 23.2N/mm² であった。

ひび割れは、供試体の 3 点曲げ試験により導入し、設定した除荷後の残留ひび割れ幅は、供試体表面で 0.2mm, 1.0mm, 3.0mm とひび割れ無し (0.0mm) の 4 ケースである。ひび割れ面以外からの塩化物イオンの浸透を防ぐため、ひび割れが導入された底面以外の面に浸透性吸水防止材 (上面・側面) もしくはタールエポキシ (端面) で防水処理を施した。なお、被災後にひび割れを補修した場合を想定して、暴露実験開始前に、1.0mm の供試体の一部に超高強度ひずみ硬化型モルタルによる表面被覆を施した。各ケースで導入したひび割れ幅の範囲と供試体数を表 2 に示す。() 内の数字は 8 年経過時の試験対象数である。

表 2 供試体一覧

設定ひび割れ幅 (mm)	残留ひび割れ幅 (mm)		供試体数
	供試体表面	鉄筋位置	
0.0	—	—	15(2)
0.2	0.18~0.23	0.06~0.09	15(3)
1.0	1.01~1.14	0.37~0.53	15(2)
1.0 (表面被覆)	0.99~1.24	0.40~0.52	10(2)
3.0	2.90~3.10	1.06~1.24	15(1)

(2) 暴露実験

暴露実験用の水槽は、仕切り壁により区分けされた水槽間に水中ポンプを用いて人工海水を循環させることにより、海水の干満を模擬している。実環境における状態を模擬するために、水槽には蓋を設置し、2 回/日の頻度で 1 回あたり約 3 時間供試体が浸漬するように水中ポンプを稼働するとともに、ヒーターを設置して海水温の季節変動を再現している。

キーワード ひび割れ幅, RC 部材, 塩化物イオン, 長期暴露実験

連絡先 〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1 中部電力㈱電力技術研究所 土木技術 G TEL052-621-6101

3. 塩化物イオン浸透状況

所定の経年数ごとに一定数の供試体を暴露実験用水槽から取り出し、鉄筋に沿って長軸方向に割裂破壊させた片側の割裂面に1/10規定硝酸銀溶液を噴霧して、塩化物イオン浸透状況を確認した。約8年経過後の各ひび割れ幅の供試体の塩化物イオン浸透状況の代表例を図2に示す。

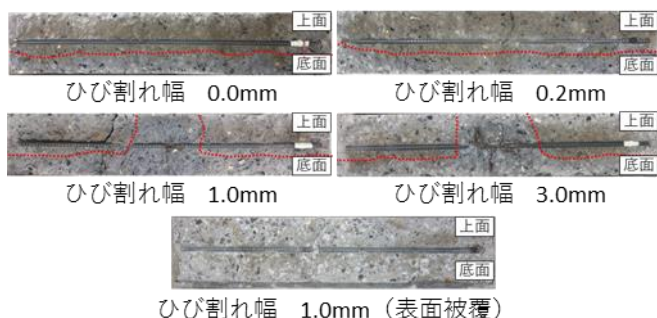


図2 割裂面における塩化物イオン浸透状況の例

ひび割れ無し(0.0mm)では、底面から約80~100mm程度まで塩化物イオンが浸透している。ひび割れ幅0.2mmでは0.0mmの浸透状況と同様であり、ひび割れ部からの塩化物イオンの浸透は確認できない。他の0.2mmの供試体も同様であり、表面ひび割れ幅が0.2mm程度では、ひび割れ部からの塩化物イオンの浸透には留意する必要が無いと考えられる。1.0mmと3.0mmでは、ひび割れ部からも塩化物イオンが浸透しており、底面よりもひび割れ面からの浸透が顕著となっている。これは、ひび割れ面では塩化物イオンが付着しやすいこと、および、ひび割れ面ではコンクリート表面に比べて物質透過性が高まり、塩化物イオンが浸透し易くなったためと考えられる。なお、ひび割れ発生後の補修を模擬して表面被覆を施した供試体では、施工面からの塩化物イオンの浸透は見られず、補修効果が高いことがわかる。

図2に示した供試体を対象に、残る片側の割裂面のひび割れ部近傍でドリル粉を採取し(図3)、電量滴定式塩分計を用いた塩分量測定を実施した。測定結果を図4に示す。図4の左図は底面からの距離と塩化物イオン濃度との関係、右図はひび割れ面からの距離と塩化物イオン濃度との関係を示す。図4に

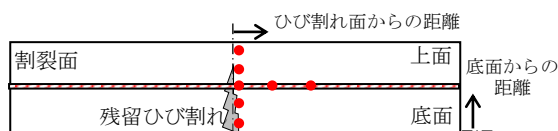


図3 ドリル粉採取位置

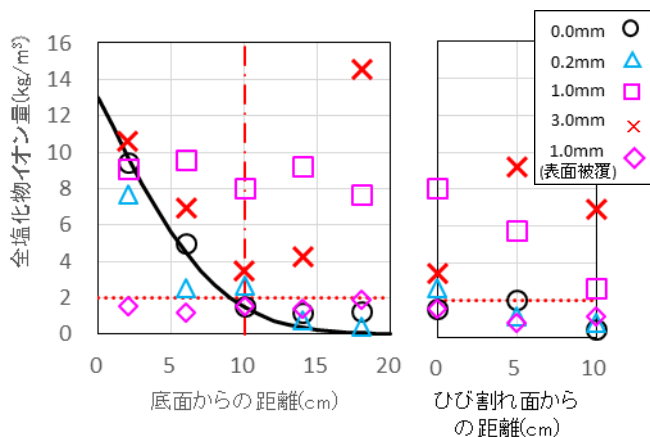


図4 塩化物イオン濃度

は、拡散方程式より得られる塩化物イオン濃度分布(C_0 : 13.0kg/m³, D : 2.61cm²/年)を併せて示す。

ひび割れ幅0.0mmと0.2mmでは、拡散方程式より得られる塩化物イオン濃度分布とよく一致しており、ひび割れ面からの距離による塩化物イオン量の違いは見られないため、底面からのみ塩化物イオンが浸透していることがわかる。ひび割れ幅1.0mmでは、底面からの距離によらず8~10kg/m³程度であることと、ひび割れ面から側方へ離れるにつれて値が低下していることから、ひび割れ部から塩化物イオンが浸透していると考えられる。ひび割れ幅3.0mmでは、1.0mmの場合に比べ底面からの距離による塩化物イオン量の低下傾向がより大きいものの、ひび割れ部から側方へはより多くの量が浸透している。鉄筋位置のひび割れ面での値が小さくなっている理由として、採取した試料に骨材が多く含まれていた可能性が考えられる。また、ひび割れ部の上面付近で値が高いのは、載荷時に上面部分が圧潰した部分の防水の一部に損傷が生じたことが原因と考えられる。

4. まとめ

被り厚90mm程度のRC部材を対象に、ひび割れ幅の異なる供試体を用いて、8年間の長期暴露実験を行い、ひび割れ部からの塩化物イオン浸透状況に関して以下の知見を得た。

- ・表面残留ひび割れ幅が0.2mm程度では、ひび割れ部からの塩化物イオンの浸透は見られない。
- ・表面残留ひび割れ幅が1.0mm以上になると、ひび割れ面での塩化物イオン量が高くなり、コンクリート表面よりもひび割れ面からの塩化物イオンの浸透が顕著となる。