電気泳動法を用いた PRC はりのひび割れと圧縮応力付与による塩分浸透への複合的影響

日本大学理工学部 学生会員 〇古都 貴大 増渕 智康日本大学理工学部 正会員 助教 齊藤 準平 教授 下辺 悟

1. はじめに

PRC 構造は、ひび割れの発生を許すが、プレストレストコンクリートの利点を経済的に得られるため国内の全橋梁の3割以上に適用されている。構造機能の維持には鋼材腐食の原因である部材内部の塩分評価がきわめて重要となるが、PRC 構造はプレストレスによる、腐食を早めるひび割れ幅の拡大の制限と圧縮応力(プレストレス)の繰り返し付与に伴う部材の損傷という長所と短所が影響し合うため、それらの影響を考慮した評価式でなければ正しく診断することは難しいと考える。

そこで,本研究ではひび割れ幅と圧縮応力付与を施した供試体に電気泳動法を用いて,それらの影響が複合作用した時の塩分浸透特性を明らかにすることを目的として,検討を行った。

2. 実験方法

(1) 実験概要

図ー1に示すように本研究が対象とする状態は、PRC はり下縁部において、活荷重の作用時によってプレストレスによる圧縮応力がほとんど無くなり、一方でひび割れ幅は拡大するもののその幅は一定幅に制限される状態である。また、ひび割れ付近のコンクリートは、プレストレスの作用と活荷重に伴う引張応力によるプレストレスの一時的損失が繰り返し生じることで疲労損傷が生じ、その影響によってコンクリートへの塩分浸透は加速されると考えられる。本実験では、アクリル板や応力を与えたモルタルを組み合わせてひび割れを再現したモデル化(図ー2)を行い、電気泳動法を適用して実験を行った。

(2)モデル概要

当該配合を表-1に、モデル条件を表-2に示す。供 試体の形状は、幅40mm×高さ20mm、かぶりに相当す る奥行を40mm とした。使用材料は普通ポルトランド セメント、山砂(最大寸法2.5mm、表乾密度2.65g/cm³)、 蒸留水を用い、打設後28日間の封緘養生を行った。そ の後、乾燥炉を使用して水和反応を完全に停止させてか ら、乾燥デシケータ内で保管した。 モデル条件は、圧縮応力の有無、ひび割れ幅 werの違いとし、それらの条件を組み合わせて設定した。また、条件比較の為に、ひび割れがない条件を同時に設定した。タイプ A は、ひび割れ部のみの塩分浸透に限定するために、供試体の影響を除外しアクリルのみでモデルを構成した。

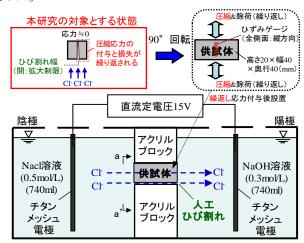
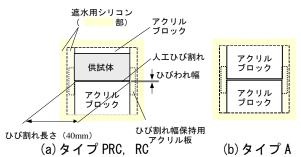


図-1 実験概要(電気泳動実験装置の概念)



(a) タイプ PRC, RC´´´´´´ (b) タイプ A 図-2 電気泳動実験装置内のモデル化部 (a-a' view)

モデル条件

表 一 1 供試体の配合					
W/C	S/C	単位量(kg/m³)			単位容積質量
(%)	(vol%)	W	С	S	(kg/m^3)
55	400	257.9	469.0	1576	2027

表 一 2

(3) PRC 供試体に応力付与のための載荷

71/7/割わ.幅 モデル名 応力付与 タイプ 構成 wor(mm) PRC-N 無し 上部 PRC 有り PRC-0.1 0.1 供試体(モルタル) PRC-0.2 0.2 無し RC-N 下部: RC 無し アクリルブロック RC-0.2 A-0.1 上部•下部: 0.1

圧縮応力付与は、圧縮強度試験結果を基準として、 供試体に圧縮強度比 50%の応力を 10,000 回付与した。

(4) 電気泳動実験

本実験は JSCE-G 571-2012¹⁾ を参考に電気泳動実験を行った。図-1電気泳動実験装置の電極間に直流定電圧 15V を印加し、塩化物イオン(Cl·)の電気泳動が定常状態になるまで連続して通電した。主な測定項目は、電流、電位差、陽極側と陰極側の Cl·濃度、pH および溶液温度とした。測定結果を用いて、式(1)¹⁾から Cl·の実効拡散係数が算出される。

$$D_e = \frac{V_{(t)}^{II}}{A} \frac{\Delta C_{cl(t)}^{II}}{\Delta t} \frac{RTL}{|Z_{cl}| FC_{cl}(\Delta E \neg \Delta E_c)} \times 100$$
 (1)

3. 実験結果および考察

(1) ひび割れを有するモデルへの電気泳動法の適用性

図-3に陽極側水槽内溶液の Cl-濃度と電位差×通電時間の関係を示す。モデル間の関係性を定量的に比較するに当たり、電位差の違いの影響を除外するために、横軸は通電時間と電位差の積とした。図-3(a)より、ひび割れのみに塩分浸透するタイプ A について、A-0.1、A-0.2 の傾きの違いは、A-0.2 が A-0.1 の 1.998 倍となり、ひび割れ幅の違いに相当する 2 倍に極めて近い関係性を示した。このことから、電気泳動がひび割れ幅の違いに対応する Cl-濃度の増加割合を定量的に制御できていることが確認された。

(2) 塩分浸透特性に及ぼす各因子の複合的影響

図-3(b)より、全体的傾向として、同一構造形式では ひび割れ幅 $w_{cr}=0.2$ mm、0.1mm、無しの順に、また、 同一 w_{cr} ではタイプ PRC が RC よりも塩分浸透が速く なっていることがわかる。ひび割れ有りがひび割れ無し に比べて速度が速い理由はひび割れの存在によること、 タイプ PRC が RC より CI-濃度の増加が速いのは圧縮応 力付与に伴う材料の損傷の影響と考えられる。

(3) 実効拡散係数 D_e

各条件の塩分浸透特性を定量的に比較するために、式 (1)から D_e を求めた。図ー4に実効拡散係数 D_e とひび 割れ幅の関係を示す。この際、タイプ A は設計供試体面積 $(8cm^2)$ とひび割れ面積の和を計算に用い、ひび割れ 0mm の D_e は $0(cm^2/\mp)$ とした。図より、 D_e はタイプ PRC が RC より高い値であることや、ひび割れ幅の拡大に伴い増加することが分かる。これは(2)と同様の理由と考えられる。また、各因子の影響の程度について見てみると、タイプ PRC、RC における W_{CF} =0mm から 0.2mm への増加による D_e の増加は、圧縮応力付与によるタイプ RC から PRC への変化に伴う同一ひび割れ幅での増

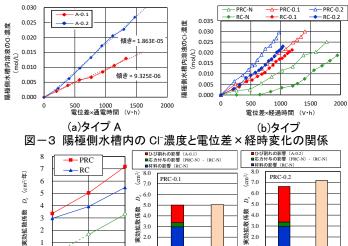
加より大きいため、本実験の条件では、圧縮応力付与の影響よりもひび割れ幅の拡大の影響の方が大きいということがいえる。この結果は PRC 構造がひび割れ幅拡大の制限によって塩分浸透に対する耐久性の向上に優位であることを示唆するものである。ただし、圧縮応力付与の影響は PRC はりの継続使用によって経時的に増加するため、さらに条件を変えて検討する必要がある。

図-5にタイプ PRC の実効拡散係数における複合条件の影響割合を示した。図には、単独条件の和と複合条件のデータを示した。図より、単独条件の和と複合条件は概ね近似していることが確認できる。このことは、複合条件の各因子の影響割合は単独条件の各因子の影響割合に相当すると考えてよく、PRC はりの塩分浸透への影響は、材料の影響とひび割れの影響、圧縮応力付与に伴う材料の損傷の影響の和で構成されると考えられる。

4. まとめ

本実験の範囲内で、PRC はりのひび割れ領域部における塩分浸透特性(拡散係数)に対し、以下のことが明らかになった。

- (1) 圧縮応力付与の影響よりもひび割れ幅の拡大の影響 の方が大きい。ただし、圧縮応力付与の影響は PRC はりの継続使用で経時的に増加するため、さらに条 件を変えて検討する必要がある。
- (2) 材料の影響とひび割れの影響および圧縮応力付与の影響の和として構成されると考えられる。



0.0(=N) 0.1 0.2 0.2 UV制和幅 (mm) 0.2 図ー4 実効拡散係数と ひび割れ幅の関

図-5実効拡散係数における 複合条件の影響割合

引用・参考文献

 土木学会:コンクリート標準示方書 [規準編 土木 学会規準および関連規準] (2013 年制定), pp.363-369, 2013.