# 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-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-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/cm<sup>3</sup>)、 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。



タイプ	モデル名	構成	応力付与	ひび割れ幅 <sub>Wcr</sub> (mm)
PRC	PRC-N	上部: 供試体(モルタル)	有り	無し
	PRC-0.1			0.1
	PRC-0.2			0.2
RC	RC-N	下部: アクリルブロック	無し	無し
	RC-0.1			0.1
	RC-0.2			0.2
A	A-0.1	上部・下部:	-	0.1
	A=0.2			0.2

## (3) PRC 供試体に応力付与のための載荷

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 571-2012<sup>1)</sup> 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)<sup>1)</sup>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  $w_{cr}$  =0.2mm, 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 Cl 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<sub>e</sub>

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-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<sup>2</sup>)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<sup>2</sup>/年)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  $w_{cr}$ =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。 0.030 \_\_\_\_\_ PRC-0.1 - PRC-N A-0.1 RC-0.2 0.035 0.025 濃度 0.030 0.020 (1)0.020 (1)00 ( 傾き .863E-05 陽極側水槽内溶液のCI 0.025 0.010 傾き = 9.325E-06 陽極側水 0.005 0.005 0.000 0.000 1000 1500 2000 2000 500 1000 1500 電位差×通電時間 (V・h) 電位差×経過時間 (V·h) (a)タイプ A (b)タイプ 図-3 陽極側水槽内の CI-濃度と電位差×経時変化の関係 び割れの影響
5.カ付与の影響 割れの影響(A-0.2) 付与の影響(PRC-N)-(RC-N) - PRC (RC-N ■材料の影響(RC-N) )影響(RC-N 7 RC ,... o... 7.0 (cm<sup>2</sup> PRC-0.2 PRC-0.1 j 7.0 6 م<sup>° 6.0</sup> 6.0 م <sub>5.0</sub> 5 ຊັ 5.0 4 5.0 發 単 第 3.0 2.0 業 数 業 数 業 数 業 数 業 数 業 数 業 数 業 数 業 数 業 数 業 数 業 数 業 数 数 2.0 2.0 実効拡散係数 3 2 1.0 1.0 0.0 0.0 0.0(=N) 0.1 ひび割れ幅 (mm) 単独条件 単独条件 複合 条件 の和 の和 条件 図-4 実効拡散係数と 図-5実効拡散係数における ひび割れ幅の関 複合条件の影響割合

# 引用・参考文献

 1) 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.