

繰り返し荷重下における PRC 道路橋の塩分浸透特性に関する研究
- 電気泳動試験によるはり下縁部からの塩分浸透に着目して -

日本大学 学生会員 ○相澤 悠 日本大学 非会員 杉山 崇斗
日本大学 学生会員 竜 岳弘 日本大学 正会員 齊藤 準平

1. はじめに

PRC 構造は、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ことから、多くの橋梁に適用されている。構造機能の持続には鋼材腐食の原因である部材内の塩分濃度の評価が極めて重要である。

本稿は、プレストレスと荷重作用による繰り返し応力付与が塩分浸透特性にどのような影響を及ぼすのかについて明確にするために、いくつかの応力付与条件における電気泳動試験を行い、そこで得られた定量的な知見を示すものである。

2. 試験概要

2.1 供試体

図－1 に試験方法の概要を示す。供試体は、研究対象とした PRC はり下縁部のひび割れに近接するコンクリートをモデル化する。断面 40mm×40mm の正方形で長さ 160mm とした。電気泳動試験には中央部から左右 40mm となる立方体を切り出して使用する。主に、はり下縁部からの塩分浸透について検討するために、応力付与直角方向を塩分浸透面とするものと、参考までに応力付与方向からの塩分浸透について検討するものの 2 種類とした。表－1 に配合と力学的性質を、表－2 に供試体一覧を示す。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は山砂を用い、打設後から 28 日まで封緘養生とした。

2.2 繰り返し圧縮応力付与

可能な範囲で現実的な多回数の繰り返し応力を与え

ることや、より傾向が顕著になるという既往研究¹⁾から判断し、繰り返し応力付与回数は 100 万回とする。上限荷重の f_c 比は、コンクリートの圧縮強度に対する許容応力度の目安とされる f'_c 比=30%、プレストレスの影響の有無を比較するために f'_c 比=0% (タイプ N)、ならびに 200 万回疲労強度の目安とされる f'_c 比=50%を条件とした。塩分浸透特性と応力付与によるひずみの関係を検討するために、応力付与時には塩分浸透用供試体として後に切り出しされる当該範囲 (応力付与方向に垂直となる 4 面 (図－1 参照)) にひずみゲージを貼り、応力付与終了後の残留ひずみを取得した。

2.3 電気泳動試験

試験で使用する電気泳動試験装置は、JSCE-G571²⁾に基づき矩形断面に適用できるように独自の加工を施して製作したものである。試験は同試験方法に準じて行い、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)、(2) から、Cl⁻の実効拡散係数が算出される。

3. 試験結果および考察

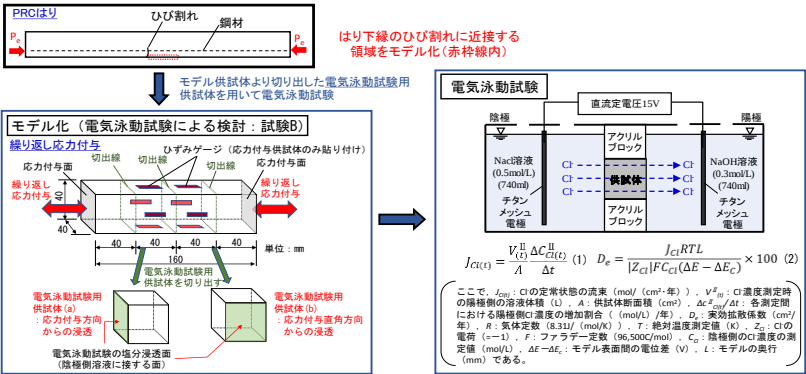
図－2 に、電気泳動試験における陽極側水槽溶液中の Cl⁻濃度と供試体表面間の電位差と経過時間の積の関係を、塩分浸透方向別に示す。なお、経過時間でなく電位差と経過時間の積として示したのは、各供試体の試験中の電位差が完全に一致しないことからその違いの影響を除去することができる³⁾ためである。図より、応力

表－1 供試体の配合と力学的性質

W/C	S/C	単位量 (kg/m ³)			圧縮強度	単位容積質量
(%)	(Vol%)	水	セメント	細骨材	(N/mm ²)	(kg/m ³)
55	400	257.9	469.0	1576	30.59	2003

表－2 供試体一覧

供試体	繰り返し応力付与		塩分浸透方向	
	付与応力 (fc比)	繰り返し回数	応力付与直角方向	応力付与方向
塩分濃度基準供試体 (タイプN)	0%	—	○	○
PRCモデル供試体 (タイプPRC)	30%	100万回	○	○
	50%		○	○



図－1 試験方法の概要

キーワード：PRC はり、プレストレス、塩分浸透特性、塩害、電気泳動試験

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 TEL.047-469-5241 E-mail : saitou.junpei@nihon-u.ac.jp

付与が無いタイプ N は、塩分浸透方向の違いに関わらず、しばらくの間まったく濃度が増加しない非定常状態を経た後に定常状態に移行していることが確認された。一方、タイプ PRC では応力付与方向の供試体は、Cl⁻濃度の挙動における通電開始直後の Cl⁻濃度の増加と緩やかな増加曲線後の定常状態への推移が確認され、応力付与方向の Cl⁻濃度の浸透には繰り返し応力付与に伴う微細ひび割れ等の内部損傷の影響を受けているものと考えられる。それに対し、付与直角方向の供試体の Cl⁻濃度の挙動は、タイプ N と同様にはっきりとした非定常状態と定常状態が示され、応力付与直角方向の Cl⁻濃度の浸透には繰り返し応力付与に伴う内部損傷の影響をほとんど受けていないものと考えられる。

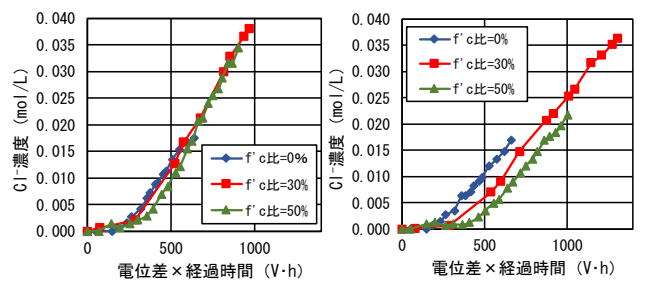
図-3 に、実効拡散係数 D_e と f'_c 比の関係を示す。なお、タイプ N (f'_c 比=0%) の D_e ($D_{e(N)}$) に対するタイプ PRC の各 D_e の関係 ($D_e/D_{e(N)}$) を併記している。図より、応力付与方向において、タイプ PRC の D_e はタイプ N より f'_c 比の違いに関わらず約 1.6 倍大きく、一方で応力付与直角方向において、タイプ PRC の D_e はタイプ N より f'_c 比=30%では約 5%小さく f'_c 比=50%では約 14%大きいことが確認され、塩分浸透方向の違いによってプレストレスによる塩分浸透抵抗性への効果に顕著な優劣の差が示された。

図-4 に、実効拡散係数と残留ひずみの関係 ($D_e/D_{e(N)}$ と残留ひずみの関係) を併記) を示す。この残留ひずみは、各断面におけるひずみの平均値である。図より、浸透方向の違いに関わらず、残留ひずみの増加に伴い D_e が増加する傾向が示された。 $D_e/D_{e(N)}$ と残留ひずみの関係は、応力付与方向の近似線は約 1.0 の切片と正の傾きによる一次式が示され、付与直角方向の近似線は約 0.78 の切片と正の傾きを示す一次式となった。この $D_e/D_{e(N)}$ と残留ひずみの関係における付与直角方向の一次式は、切片が 1.0 から 0.78 に小さくなる分がプレストレスによる内部の潜在的クラックや空隙の閉塞の効果を、傾きが疲労損傷による塩分浸透の助長を表すと考えられる。なお、この近似式は残留ひずみが約 200 μ になるとタイプ N と同じ D_e になる。

4. まとめ

本試験の範囲内で、以下のことが明らかになった。

- (1) 塩分浸透抵抗性に対するプレストレスと塩分浸透方向の関係は、応力付与方向においてはいかなるプレストレスの大きさであっても不利な影響を受け、



(a) 応力付与方向

(b) 応力付与直角方向

図-2 陽極側の Cl⁻濃度と電位差×経過時間の関係

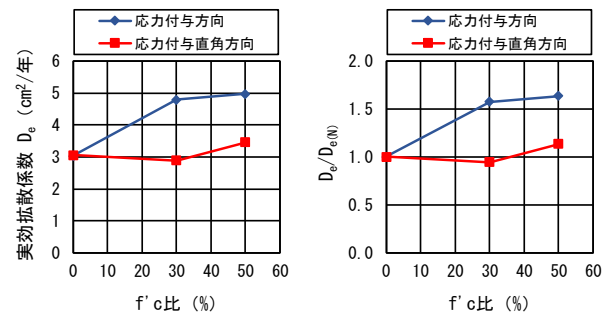


図-3 実効拡散係数と f'_c 比の関係

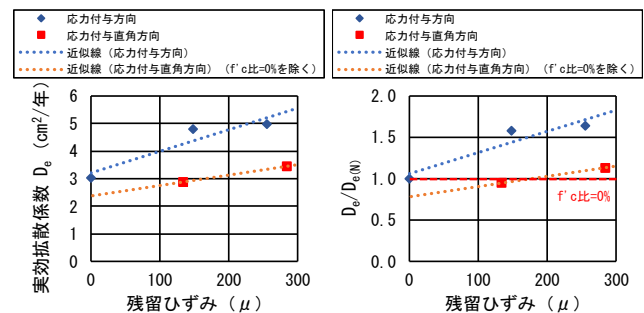


図-4 実効拡散係数と残留ひずみの関係

付与直角方向においては標準的なプレストレス内において優位な影響を示した。

- (2) 付与直角方向の塩分浸透において標準的なプレストレスによる応力付与の影響は、付与応力が小さいほど塩分浸透抵抗性に優位な結果を示した。

参考文献

- 1) 齊藤 準平, 下邊 悟: 繰返し荷重下におけるコンクリートの塩分浸透特性, 第 26 回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.93-98, 2017
- 2) 土木学会: 2013 制定 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, JSCE-G 571-2013, pp.363-369, 2013
- 3) 齊藤 準平, 下邊 悟: 電気泳動法を用いた PRC はりのひび割れ領域部における塩分浸透特性に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, pp.679-684, 2017