

繰り返し荷重下のコンクリートにおける塩分浸透特性に関する実験的研究

—塩水浸せき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 ○渡部 拓大 日本大学 森本 慶
日本大学 江森 紀仁 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、国内のコンクリート橋のうち6割に適用されている。この構造は腐食を加速させるひび割れの開閉を制御できるという長所と、プレストレスの繰り返し付与による部材の損傷という短所が複雑に影響し合うため、現在、使用されている鋼材腐食の診断式に、これら影響を対応させなければならないという課題がある。そのため、PRC はり下縁領域におけるプレストレス導入と荷重作用による応力付与の繰り返しによる塩分浸透特性に及ぼす影響を明らかにする必要がある。既往研究では Saito ら¹⁾は、繰り返し応力付与によって残留ひずみが大きくなると塩分浸透量が多くなる傾向があることを報告している。齊藤ら²⁾は、繰り返し応力付与後のモルタルの塩分浸透特性を塩水浸せき試験による塩化物イオン（以下 Cl⁻）濃度から検討し、圧縮応力による材料の緻密化の影響と損傷の影響が混在すると考えられることを報告した。

本研究では、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れほどの影響を及ぼすのかについて、これまでに行っていたプレストレスの大きさより範囲を広げた条件を付与した後の塩水浸せき試験結果から、付与応力の大きさや浸透方向の違いの影響を検討した。

2. 実験概要

本試験では、PRC 構造における圧縮応力付与の影響が大きいはり下縁部のひび割れ周辺領域のコンクリートをモデル化し、繰り返し応力付与の後、塩水浸せき試験を行う。浸せき後は、コンクリート中の Cl⁻の抽出と分析を行い、塩水浸透特性を検討した。なお、供試体は応力が除かれた状態で塩水に浸せきした。表-1 に塩水浸せき試験の条件を示す。繰り返し応力付与回数は100万回とする。応力付与 (f_c比) は圧縮強度試験結果を基準に f_c比=10%、20%、30%、40% で行い、比較のために塩水濃度基準供試体 (f_c比=0%) も同様に作製

した。Cl⁻浸透方向は、応力付与方向と応力付与直角方向の2方向で行う。供試体は計9体（うち3体は強度試験を行う）作製した。

表-1 塩水浸せき試験の条件

付与応力 (f _c 比)	応力付与回数	塩水浸せき日数
0%	100万回	30日
10%		
20%		
30%		
40%		
30% (CR)		

※f_c比30%(CR)は載荷試験中にクラックが入った供試体である。

研究対象とした PRC はり下縁部のコンクリートをモデル化した供試体を図-1 に示す。供試体の配合は、水セメント比 (W/C) を 55% とし、細骨材のセメントに対する容積比 (S/C) を 300Vol% とするモルタルとした。使用材料は普通ポルトランドセメント、山砂 (2.5mm 以下の通過、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。

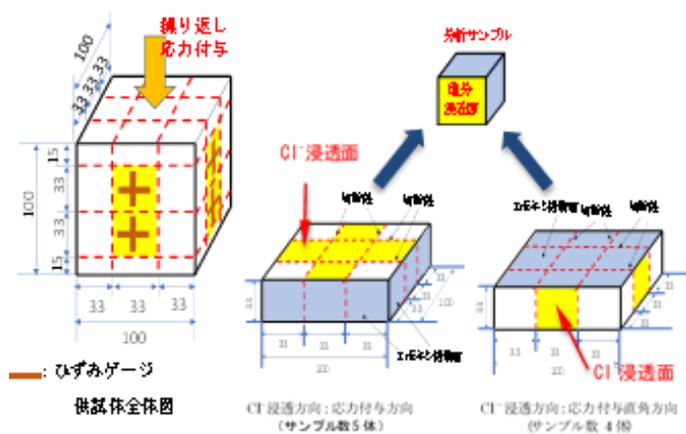


図-1 モデル供試体

力学的性質は応力付与を施す供試体と同一寸法の供試体を用い、その結果は圧縮強度が 47.04N/mm²、単位容積質量が各供試体寸法を元に計算し概ね 2100kg/m³ 程度であった。

繰り返し応力付与に際し、供試体と試験機の接触面での端面摩擦による影響を除くために、減摩パッド（テフロンシート:0.05mm）を2枚挟んで実施した。応力付与時には、ひずみゲージを貼り、応力付与終了後は残留

ひずみを取得した。塩水浸せき試験には、応力付与後の供試体から塩水浸せき試験用供試体（1辺 100×100×33 mm の立方体）（図-1）を切り出し、JSCE-G 572³⁾に準じ、濃度 10%の塩化ナトリウム水溶液中に、30日間浸せきした。塩分浸透面以外の面は塩分の侵入を遮断するためエポキシ樹脂を塗布した。Cl⁻濃度の分析に用いたサンプルは（一辺 33 mm の立方体）応力付与供試体 1 体あたり 9 体で、全モデル供試体 6 体（ f_c 比=30%は試験中にひび割れが確認できたため再度試験を行った）の合計は 54 体となる。

3. 試験結果および考察

図-2に、応力付与に対する浸透面の方向別にCl⁻濃度と f_c 比の関係を示す。図には、 f_c 比=0%の平均値と、全データの近似曲線を併記した。図によると、Cl⁻浸透方向の違いに関わらず f_c 比が増加するに伴いCl⁻濃度が増加する傾向があることが認められた。増加傾向は、本研究にて応力付与後の衝撃弾性波試験から内部損傷が確認されたことにより、内部損傷が塩分浸透をしやすくさせたものと考えられる。

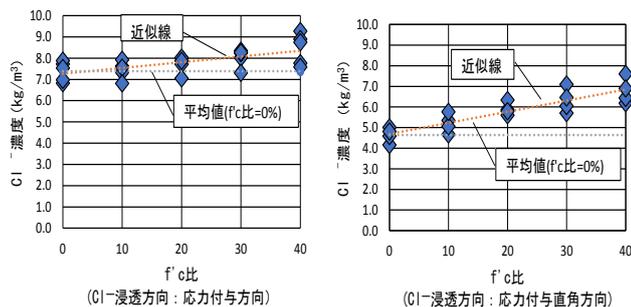


図-2 Cl⁻濃度と f_c 比の関係

図-3に、 f_c 比=30%のひび割れ有り供試体とひび割れ無し供試体の比較を示す。 f_c 比=30%は、繰り返し応力付与試験において表面に目視できる微細なひび割れが発生した（ひび割れあり供試体）ため、同条件下で予備の供試体（ひび割れ無し供試体）に再度載荷試験を行い、塩水浸せき試験を行った。なお、ひび割れ電子顕微鏡、衝撃弾性波試験による弾性波速度にて確認でき、電子顕微鏡で計ったところひび割れ幅は約 0.01mm～約 0.02mm という超微細な幅であった。ひび割れあり供試体のひび割れが有る分析サンプルのCl⁻濃度は、同一箇所ひび割れ無し供試体の分析サンプルと比べ、浸透方向の違いに関わらず 15～30%ほど増加したことが認められた。このように、ひび割れの存在は、ひび割れ幅が 0.01～0.02mm という微細な幅であっても塩分浸透にかなり大きな影響を与えることがわかった。

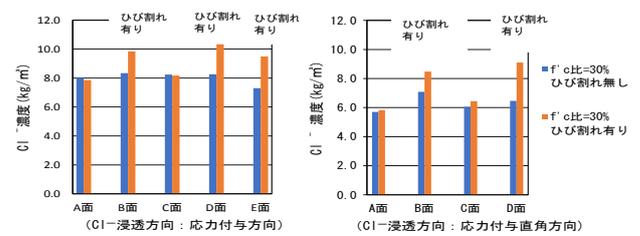


図-3 ひび割れの有無の比較

図-4に、Cl⁻濃度と残留ひずみの関係を示し、残留ひずみとCl⁻濃度の近似直線を併記した。図によると、残留ひずみの増加によりCl⁻濃度が高くなる傾向があることが確認された。これは、繰り返し応力付与によって残留ひずみが増加することによって疲労損傷による塩分浸透の影響がより表れるものと考えられる。

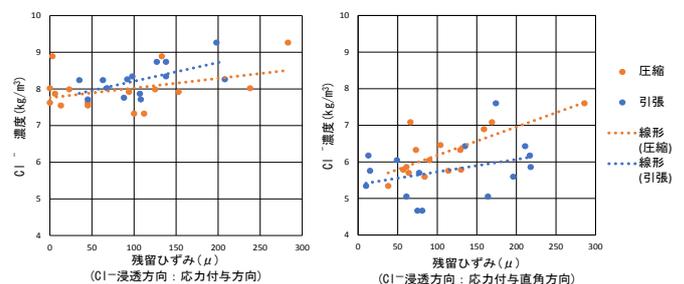


図-4 Cl⁻濃度と残留ひずみの関係

4. まとめ

本試験の結果、以下ようになった。

- (1) f_c 比が増加するごとにCl⁻濃度が増加していく傾向を示した。塩分浸透方向別では、応力付与方向より応力付与直角方向の方が大きくなる傾向を示した。
- (2) ひび割れの有無の比較では、0.01mm～0.02mmほどの微細なひび割れであってもかなり大きな影響を与えることがわかった。
- (3) 残留ひずみの増加によりCl⁻濃度が高くなる傾向があることが確認された。

参考文献

- 1) Saito, M. and Ishimori, H. : Chloride Permeability of Concrete under Static and Repeated Compressive Loading, Cement and Concrete Research, Vol.25, No.4, pp.803-808, 1995
- 2) 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回プレストレスト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
- 3) 土木学会: 2013年制定 コンクリート標準示方書 [基準編]土木学会規準及び関連基準, JSCE-G 572-2013, pp.363-369, 2013