

弾性限度を超える圧縮応力が付与されたコンクリートの見掛けの拡散係数

日本大学 学生会員 ○班 鈞豪 日本大学 藤田 真大
日本大学 松崎 大喜 日本大学 正会員 齊藤 準平

1. はじめに

コンクリート構造物を長期間使用するためには、鋼材腐食の原因となる塩害対策が不可欠である。そのような部材に対して、長期使用時の内部塩分濃度を予測し適切なタイミングでの維持補修が必要となる。コンクリート構造物には圧縮応力が静的、繰り返し付与される部材が多く存在するものの、予測式にはその影響が考慮されておらず、予測精度に課題がある。齊藤¹⁾は、コンクリートに弾性限度内の圧縮応力が作用する場合、圧縮応力の増加に伴い浸透抵抗性が向上し、拡散係数が向上することを解明した。しかし、弾性限度以上の場合については、未だに解明できていない。

本研究では、実験により弾性限度以上の圧縮応力付与によるコンクリートの塩分浸透抵抗性を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

2. 1 供試体作成

供試体形状と寸法は断面 40mm×40mm、高さ 40mm の角柱供試体とした。配合条件として、水セメント比 (W/C) は 50%、細骨材のセメントに対する容積比 (s/c) は 250Vol% とした。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は山砂 (表乾密度 2.654g/cm³、2.5mm ふるい通過) を用いた。脱型・水中養生後、残留水分に伴う水和反応による供試体の強度増進を防ぐため、乾燥炉内で水和反応停止処置を供試体の質量減少率が 0.1%/日を下回るまで行った。

2. 2 圧縮強度試験

圧縮強度試験は供試体 3 本を対象に行った。供試体と加圧板の間に、2 枚のテフロンシートの上にシリコングリスを挿入した減摩パッドを設置し、試験を行った。結果として、圧縮強度は 37.14N/mm²、ヤング係数は 11.70kN/mm²、単位容積質量は 1987.4kg/m³ であった。

2. 3 応力付与試験

供試体への圧縮応力の付与は、油圧ジャッキを用いて、ステンレス板とステンレス素材のネジ切り棒とナット

によって締めて、行った。この際、2. 2 と同様の理由で、供試体とステンレス板の間に減摩パッドを挟んだ。圧縮強度に対する付与する応力の割合を応力強度比と定義し、その大きさには、基準となる大きさ 0%、比較のための弾性限度内の大きさ約 15%、弾性限度を超える大きさで 30~60% の間で 3 点を目標値として設定した。付与する応力は、本供試体と同時に打設した同一寸法の供試体への圧縮強度試験から得られた圧縮応力とひずみの関係を基に、応力付与方向の垂直面 (4 面) に貼り付けた圧縮応力付与方向のひずみゲージによるひずみの値によって制御した。応力付与 30 日間経過後、塩水浸せき試験に移行した。なお、塩水浸せき試験直前の付与応力は、ひずみの値から 0%、13.4%、36.6%、51.6%、59.5% であった。

2. 4 塩水浸せき試験

塩水浸せき試験は、応力の継続付与状態で行った。塩水浸せき前は、ひずみゲージ周辺を磨いて接着剤やひずみゲージをすべて取り除き、供試体への塩分の浸透に影響のないように処置を施した。その後、浸透面以外の面を被覆加工し、24 時間の吸水を得て、塩水浸せきを実施した (図-1)。塩水溶液は濃度 10% の塩化ナトリウム水溶液を用いた。塩水浸せきは、30 日間行った。塩水浸せき後は、分析サンプルをコンクリートカッターによって図-2 のように浸せき面から順に A、B、C、D と 10mm ずつ切断した。



図-1 塩水浸せき試験 図-2 分析サンプル

2. 5 塩化物イオン濃度分析

供試体から切断した分析サンプルを粉砕機で粉砕した後、硝酸によってサンプル内の塩化物イオンを抽出し、JIS A 1154:2018²⁾ に基づき電位差滴定装置による塩

キーワード 拡散係数、圧縮応力、細孔径分布

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 日本大学理工学部 TEL : 047-469-5241 E-mail : banjunhao@icloud.com

化物イオン濃度の測定を行った。求めた濃度分布から、表面濃度 C_0 と拡散係数 D_c を求めた。拡散係数 D_c は塩分の浸透速度を表し、値が低いほど塩分が浸透しにくいと評価される。

4. 試験結果および考察

図-3は各応力強度比の浸透面からの距離と塩化物イオン濃度の関係である。図によると、応力強度比=0%の値と比較して51.6%, 59.47%の場合は濃度が高くなる傾向が認められた。一方で、応力強度比=13.4%, 36.6%の場合は濃度が低い傾向を示した。この結果は、弾性限度より大きい場合は塩分が浸透しやすく、同程度か小さい場合は塩分が浸透しにくくなる傾向があることがわかった。

図-4は応力強度比との拡散係数 D_c の関係である。図には、切片に応力強度比=0%の近似曲線を示した。図によると、応力強度比 30%までは、応力の増加に伴い、拡散係数が低下する傾向が認められる。これら拡散係数の低下による塩分浸透抵抗性の増加は、内部空隙構造の緻密化が要因と考えられる。応力強度比が弾性限度に相当する30%を超えると、応力の増加に伴い、拡散係数が増加する傾向が認められた。また、応力強度比59.5%の拡散係数は応力強度比0%よりも高い値となり、応力強度比が著しく大きくなると応力付与しない場合より塩分が浸透しやすくなることがわかった。

図-5, 6は応力強度比と30日間の応力付与後の細孔径分布である。図によると、応力強度比=35.6%の場合では、 $0.02\mu\text{m} \sim 0.07\mu\text{m}$ の空隙が多くなり、 $0.2\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ の空隙がやや多くなる傾向が認められ、応力強度比58.7%の場合では、 $0.003\mu\text{m} \sim 0.07\mu\text{m}$ の空隙が少なくなり $0.2\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ の空隙が多くなる傾向が認められた。このことは、塩分浸透抵抗性に対して、応力強度比35.6%では内部空隙構造の緻密化が優位に働き、応力強度比58.7%では内部損傷が不利に働いたと考えられる。

5. まとめ

本試験で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 応力強度比30%までは、応力の増加に伴い、拡散係数が低下する傾向が認められる。応力強度比が弾性限度に相当する30%を超えると、応力の増加に伴い、拡散係数が増加する傾向が認められた。応力強度比が著しく大きくなると応力付与しない場合より塩分が浸透しやすくなる。
- (2) 応力付与後の細孔径分布より、応力強度比35.6%

では内部空隙構造の緻密化が塩分浸透抵抗性に優位に働き、応力強度比58.7%では内部損傷が塩分浸透抵抗性に不利に働いたと考えられる。

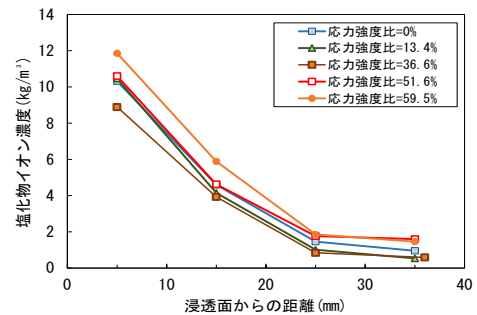


図-3 浸透面からの距離と Cl^- 濃度の関係

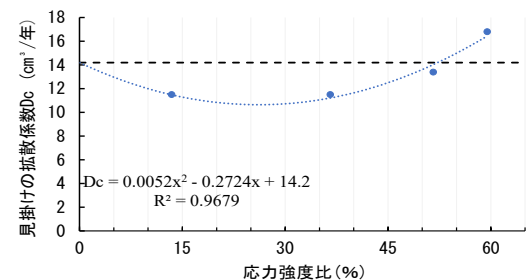


図-4 応力強度比と見かけの拡散係数 D_c の関係

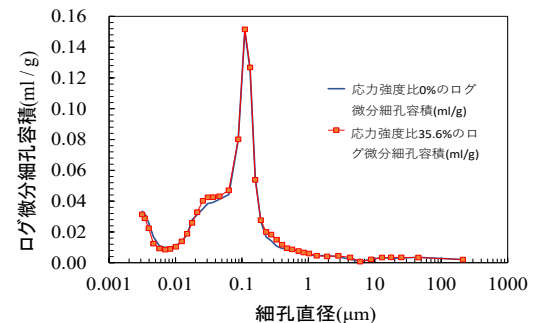


図-5 応力強度比0%と35.6%の細孔径分布

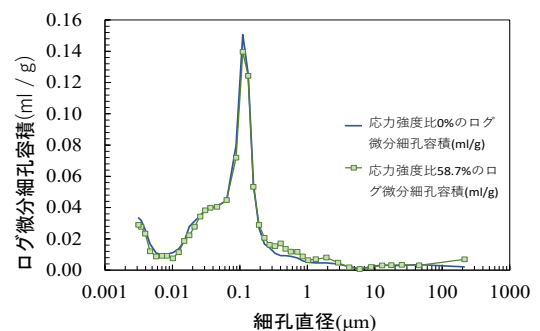


図-6 応力強度比0%と58.7%の細孔径分布の関係

参考文献

- 1) 齊藤 準平, 立石 一洋, 佐藤 元紀: プレストレスの繰り返し作用を受けるコンクリートの見掛けの拡散係数, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, pp.569-574, 2020
- 2) 日本工業規格 JIS A 1154:2018「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」, 2018