

鉄筋コンクリートのひび割れ部分における化学的侵食に関する基礎的研究

東北大学 学生会員 ○伊藤 真利子
東北大学 学生会員 寺林 明日美
東北大学 学生会員 納口 恭太郎
東北大学 正会員 久田 真

1. 背景と目的

ひび割れを有するコンクリートの化学的侵食に関する研究は種々存在するが、ひび割れを通過する作用溶液の種類と作用溶液中の各種イオン濃度の変化との関係、またはコンクリートの劣化性状および鉄筋腐食との関係は明らかにされていない。そこで本研究では、ひび割れ部での化学的侵食に関する基礎的研究として、種々の溶液をひび割れ部に滴下し、溶液の違いが鉄筋コンクリートの劣化過程に与える影響の検討を目的とした。作用溶液として酸や塩、地下水模擬溶液等 7 種の水溶液をそれぞれ鉄筋コンクリートのひび割れ部に滴下し、ひび割れを通過した溶液の成分分析、ひび割れ断面の劣化性状および鉄筋の腐食状況の観察を行った。

2. 実験概要

かぶり厚 40mm の位置に D13SD345 の異形鉄筋を配置した W/C=55% のコンクリート角柱供試体(100×100×400mm)の中央部に曲げひび割れを導入し、写真-1 に示す方法により、最大ひび割れ幅が 0.5mm となるように U ボルトを用いて供試体を固定した。

作用溶液の滴下は、点滴装置(60 滴/ml)を用いて、かぶりとみなした側と反対の面から 5～8 秒に 1 滴の

速さでひび割れ直上から滴下した。滴下した作用溶液の種類と pH ならびに本文中で用いた記号を表-1 に示す。なお、地下水模擬溶液は青森県北部で採取された地下水の分析例を参考にして作製した。

ひび割れ断面を通過して供試体底面から流下する溶液を 24 時間収集した後、ろ過して得られた試料中の成分濃度を測定した。濃度測定対象成分および濃度測定方法は、Ca については ICP 発光分光分析装置で、Cl⁻、SO₄²⁻の陰イオンについてはイオンクロマトグラフィーで測定した。また、作用溶液滴下開始後、8 週を経過した時点で供試体を割裂し、フェノールフタレイン溶液を用いてひび割れ断面の中性化の有無を観察した。さらに、割裂した供試体から鉄筋を取り出し、鉄筋腐食の有無を観察した。

3. 結果と考察

作用溶液がひび割れを通過する過程を図-1 の模式図に示す。作用溶液が滴下面からひび割れを通過して底面

供試体寸法：100×100×400mm



写真-1 ひび割れの導入

表-1 作用溶液の種類

分類	記号	溶液の種類	想定溶液	濃度	pH
NaCl 水溶液	[NC03]	NaCl	海水	3%	6.20
	[NC35]	NaCl	融雪剤溶解液	飽和(35%)	5.86
硫酸系水溶液	[HS]	硫酸水溶液	下水道施設劣化環境	質量比 0.5%	1.25
	[HSN]	酸性雨模擬水	酸性雨	質量比; 硫酸:硝酸 =2:1	1.46
	[NS02]	Na ₂ SO ₄ 水溶液	JIS 規定骨材安定性試験方法 10 分の 1 濃度	2%	6.17
地下水および水	[GW]	地下水模擬水溶液	地下水	※	7.54
	[PW]	イオン交換水	比較基準溶液	-	7.10

※NaCl=8.8, NaHCO₃=51.9, K₂SO₄=2.5, CaCl₂=13.8, MgCl₂=2.5, MgSO₄=15.0 (mg/l)

キーワード 化学的侵食, ひび割れ, 鉄筋腐食, 滴下実験

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL 022-795-7430

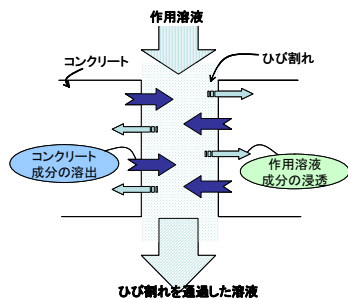


図-1 作用溶液のひび割れ通過

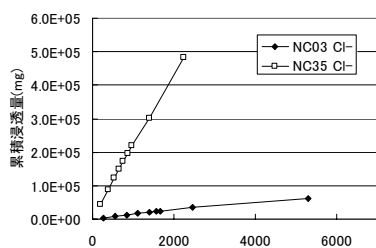


図-2 NaCl 水溶液の Cl^- 累積浸透

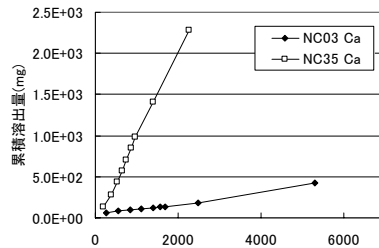


図-3 NaCl 水溶液の Ca 累積溶出量

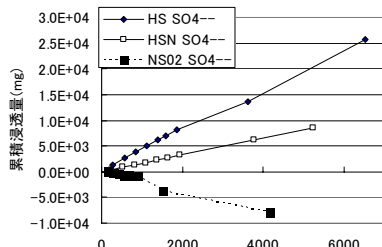


図-4 硫酸系水溶液の SO_4^{2-} 累積浸透量

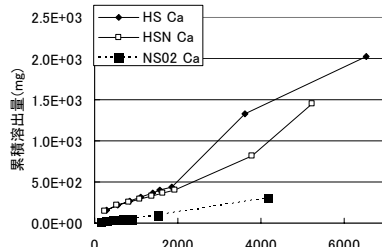


図-5 硫酸系水溶液の Ca 累積溶出量

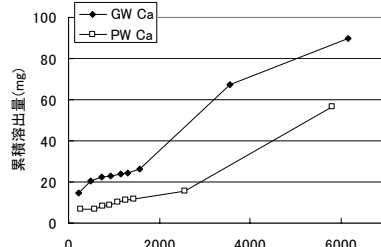


図-6 地下水および水の Ca 累積溶出量

より流下する場合、作用溶液成分がコンクリートへ浸透する現象と、コンクリートの成分が作用溶液中に溶出する現象が生じると考えられる。本研究では、浸透と溶出に着目して考察を行った。浸透量および溶出量の算出式を以下に示す。

$$X = C_0V - CV \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 X ：浸透量（mg）、 C_0 ：作用溶液の各成分初期濃度（ppm）、 C ：ひび割れを通過した溶液の各成分濃度（ppm）、 V ：ひび割れを通過した溶液の量(L)。
 なお、作用溶液中の初期成分として含まれていない成分については、 $C_0 = 0$ とした。式(1)において、 X が正となった成分はコンクリートへの浸透が生じており、 X が負となった成分はコンクリートからの溶出が生じている。コンクリートからの溶出が生じている場合、 $-X$ (mg) を溶出量とした。ひび割れを通過した溶液量の滴下開始時からの累積値を累積ひび割れ通水量とし、同様に浸透量および溶出量の累積値を累積浸透量、累積溶出量とする。

(1) NaCl 水溶液の滴下

図-2 および図-3 に累積ひび割れ通水量と Cl^- の累積浸透量および Ca の累積溶出量との関係を示す。累積ひび割れ通水量が等しいとき、NC03 の Cl^- 累積浸透量は NC35 の累積浸透量の 10 分の 1 で推移しており、これは初期塩分濃度比と一致する。量のオーダーは異なるものの、Ca 累積溶出量においても同様のことがいえる。なお、滴下開始から 8 週経過時点で、NC03、NC35 共にひび割れ近傍において鉄筋腐食が確認された。

(2) 硫酸系水溶液の滴下

図-4 および図-5 に累積ひび割れ通水量と SO_4^{2-} 、 NO_3^- の累積浸透量および Ca の累積溶出量との関係を示す。図-4 より、 SO_4^{2-} は HS、HSN は浸透しているが、NS02 では溶出しており、正負の異なる挙動を示すことがわかる。また、HS、HSN と比較して NS02 は Ca の溶出量が少ない。また、滴下開始から 8 週経過時点で HS、HSN では滴下面およびひび割れ断面で中性化が確認されたが、NS02 では中性化は確認されなかった。これらは、酸と硫酸塩によるコンクリートの劣化のメカニズムの違いや作用溶液の pH の違いなどが原因と考えられる。

(3) 地下水および水の滴下

図-6 に累積ひび割れ通水量と Ca の累積溶出量との関係を示す。GW、PW で Ca の累積溶出量に違いがみられるものの、他の作用溶液に比べれば微量である。また滴下開始から 8 週経過時点では、ひび割れ断面の中性化は確認されなかった。

4. 結論

滴下実験から、ひび割れ通過に伴う作用溶液の成分変化を把握できた。NaCl 水溶液では、 Cl^- の累積浸透量は作用溶液の初期塩分濃度に比例した。また、硫酸系水溶液では SO_4^{2-} が HS、HSN では浸透しているが、NS02 で溶出した。また、全ての作用溶液において Ca の溶出が確認され、HS の累積溶出量が最も大きい値となった。今後、滴下実験を継続し、作用溶液の成分変化とコンクリート劣化および鉄筋腐食との関連性について検討を続ける予定である。