

コンクリートのひび割れ部への硫酸進入に関する一考察

東京大学大学院 学生会員 蔵重 勲

東京大学国際・産学共同研究センター FIC-会員 魚本 健人

1. まえがき

温泉地、下水道施設および酸性雨地域などの環境ではコンクリートは硫酸等の化学物質と反応し劣化する。一般的にコンクリート構造物は内部に鉄筋を有し、構造物の耐用年数は内部鉄筋の腐食時期及び腐食速度を考慮し予測される。この時、問題となるのはコンクリート表面にひび割れが存在し、腐食因子が容易に鉄筋に到達する場合である。腐食因子が塩化物イオンの場合は鉄筋の不動態皮膜を破壊し、また炭酸ガスではひび割れ部分から中性化が進行して、鉄筋が腐食しやすくなる。硫酸の場合はセメント水和物との反応により中性化が進行するだけでなく、鉄筋位置まで到達すれば鉄筋の溶解が生じることになる。

以上のことから、本研究ではひび割れを導入したコンクリートを硫酸に浸漬し、ひび割れ部の中性化深さを測定することでひび割れ内部への硫酸進入状況を実験的に調べた。その後、実験結果を元にひび割れ部への硫酸進入過程について考察した。

2. 実験概要

2.1 供試体

普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比 55%、細骨材率 48%、空気量 2%の配合で、D13 の鉄筋をかぶり 4cm で配置した 10×10×40cm の角柱供試体を作製し、28 日間標準養生を行った。ひび割れの導入は養生終了後、曲げ荷重によって行い、目標ひび割れ幅は 0.2、0.5、1.0、1.5 および 2.5mm とした。導入したひび割れの幅及び深さの測定値を表-1 に示す。またひび割れ開口面以外の 5 面に耐酸樹脂コーティングを施した。

表-1 導入ひび割れ

目標ひび割れ幅	測定ひび割れ幅	測定ひび割れ深さ
0.2	0.19 ~ 0.22	82.0 ~ 91.1
0.5	0.47 ~ 0.50	88.0 ~ 94.9
1.0	0.90	92.4
1.5	1.59	94.2
2.5	2.47	貫通

単位：mm

2.2 浸漬試験

硫酸濃度は pH0.5、1.0、3.0 の 3 種類とし、浸漬期間中それぞれ一定となるように制御した。供試体は 4 日間硫酸に浸漬した後、40±5%RH の環境で 3 日間乾燥させる乾湿繰り返しサイクルを行った。なお、環境温度は全て 20±2 とした。

2.3 硫酸進入深さの測定

セメント水和物は硫酸と反応し二水石膏を生成して、そのアルカリ性を失う¹⁾。このことから、乾湿繰り返しサイクル終了後、図-1 に示すように供試体を割裂して、フェノールフタレイン溶液を用いてひび割れ部分の中性化深さを測定し、この値を硫酸進入深さとして評価した。

3. 実験結果

図-2 にひび割れ幅 0.2 および 0.5 mm の供試体について硫酸進入深さの経時変化を示す。ひび割れへの硫酸進入はごく初期段階において、ひび割れの幅や硫酸濃度によりある

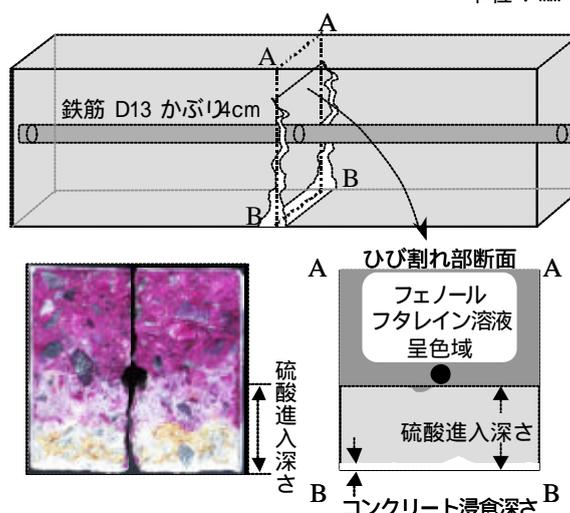


図-1 硫酸進入深さの測定

キーワード：化学的腐食，硫酸，ひび割れ，石膏化，拡散

連絡先：〒106-8558 東京都港区六本木 7-22-1 東京大学 生産技術研究所 第5部 魚本研究室

TEL (03)3402-6231 (ex)2543 FAX (03)3470-0759

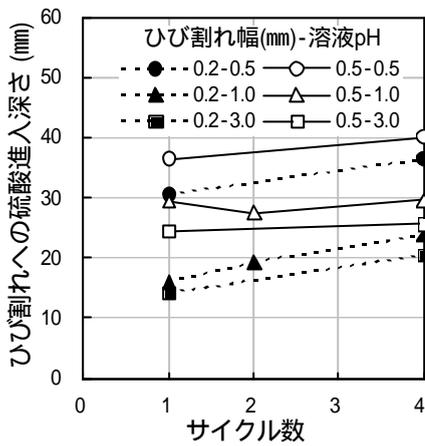


図-2 硫酸進入深さの経時変化

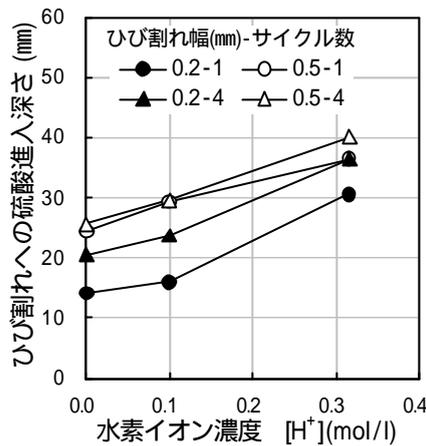


図-3 硫酸 pH の影響

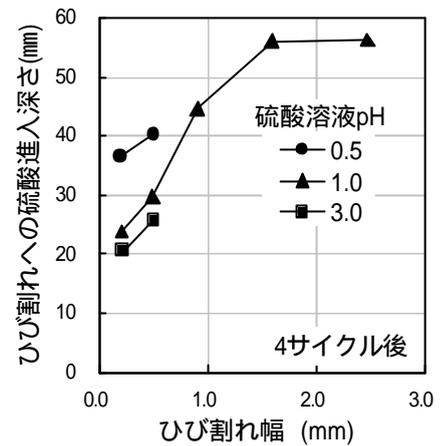


図-4 ひび割れ幅の影響

深さまで到達し、その後徐々にひび割れ内部へと浸透していることが分かる。また表-1に示すようにひび割れ深さが80mm以上であるにも拘わらず、本実験サイクル数では硫酸進入深さは20~40mm程度である。これらの実験結果は式(1)、(2)に示すようにセメント水和物と硫酸が反応して体積膨張することにより、反応生成物である二水石膏^{1),2)}がひび割れ部を充填することで説明できるものと考えられる。

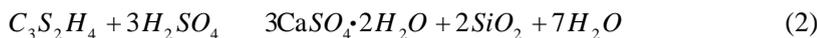
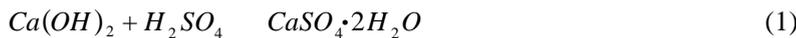


図-5に示すひび割れへの硫酸進入概念図のように、ひび割れ内面のセメント硬化体と硫酸の反応で生じる二水石膏がひび割れ内部に充填される。

この時ひび割れからコンクリート内部への硫酸反応拡散は比較的微小であるとすると、ひび割れの深い部分ではひび割れ幅も小さく、開口部付近より二水石膏が密に存在することになり拡散係数が小さくなるものと考えられる。このことから、硫酸の進入とともにその拡散速度は小さくなり、図-2に示すようなある深さにおいて硫酸の進入が小さくなるという結果になったものと考えられる。

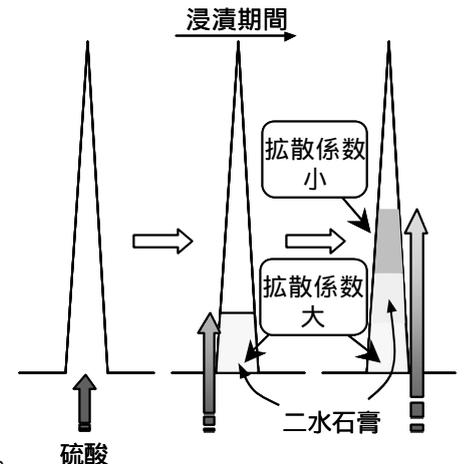


図-5 硫酸進入概念図

図-3に硫酸濃度の影響を見るため水素イオン濃度と硫酸進入深さの関係を示す。水素イオン濃度が高いほど硫酸進入深さが大きくなっている。これは前述のとおり硫酸が二水石膏中を浸透していくことから、境界条件である硫酸濃度が高いほどひび割れ内部との濃度差が大きくなり、より内部へ浸透していくことになる。

またひび割れ幅が硫酸の進入深さに与える影響を硫酸のpH別に図-4に示す。炭酸ガスによるひび割れ部の中性化の進行³⁾と同様にひび割れ幅が大きいほど硫酸進入深さは大きくなり、ひび割れ幅が約1.5mm以上ではほぼ同等の値を示した。

4. まとめ

本研究ではひび割れからの硫酸進入過程を硫酸とセメント水和物の反応生成物である二水石膏がひび割れ部を充填するという点に着目し、硫酸はひび割れ内の二水石膏部を拡散していくものと説明した。また、ひび割れ深部ほどひび割れ幅が小さくなり、二水石膏の充填密度が大きくなることから硫酸の拡散係数は小さくなると考え、硫酸の進入速度は次第に小さくなるものと考えられる。

硫酸濃度の影響はひび割れ開口部の境界条件の影響と同様に考え、水素イオン濃度に比例して硫酸進入深さも大きくなることが分かった。また、ひび割れ幅が大きくなると硫酸進入深さも大きくなるが、ひび割れ幅がある程度大きい場合ではその影響がほとんどないことが分かった。

【参考文献】1)水上国男：化学的腐食，技報堂出版，pp.16-28，1996

2)蔵重勲，魚本健人：硫酸腐食環境におけるコンクリートの劣化特性，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.22，投稿中

3)伊代田岳史，矢島哲司，魚本健人：コンクリートのひび割れが中性化速度に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.20 No.2，pp.979-984，1998