

硫酸侵食に起因するセメント硬化体の劣化および鉄筋腐食に関する研究

東北大学大学院 学生会員 ○伊藤 真利子
東北大学大学院 学生会員 宮本 慎太郎
東北大学大学院 正会員 皆川 浩
東北大学大学院 正会員 久田 真

1. 背景と目的

本研究では、0.1～3.0 %の硫酸水溶液による浸せき実験の結果から、硫酸がセメント硬化体に浸透して鉄筋が腐食を開始するまでの過程を整理し、硫酸による鉄筋コンクリートの劣化機構を解明することを目的とした。劣化指標¹⁾として侵食深さ、中性化深さ、中性化残りに加え、中性化フロントよりも深部に浸透した硫酸イオン量に着目し、これらの劣化指標に及ぼす硫酸濃度や配合の影響について検討した。

2. 実験概要

(1) 硫酸浸せき実験

本研究では、結合材を普通ポルトランドセメント、W/Cを35 %、55 %、65 %、S/Cを2.5とする3水準の配合のモルタルを基本とし、さらにW/C=55 %の水準のみ、結合材の50 %を高炉スラグ微粉末で重量置換した配合を設けた。供試体の寸法はφ50×100 mmとし、かぶりを10 mmとして供試体軸方向に直径9 mm、長さ75 mmの磨き丸鋼を配置した(図-1)。供試体側面が暴露面となるように、全ての供試体の打設面および底面をエポキシ樹脂にて被覆した。供試体の配合および記号を表-1に示す。なお、供試体の体積と硫酸の容積の比はおおむね7とし、硫酸は1週間に1度全量交換した。

(2) 測定項目

硫酸浸せきに供した供試体は、所定材齢経過後、供試体中央部で供試体軸方向と垂直に割裂し、劣化深さを図-2のように測定した。さらに、図-2に示す位置でモルタルを削り取って粉末試料2 gを採取し、塩酸70 mLを加え、30分間攪拌後、ろ過したろ液を200倍に希釈して、試料中の硫酸イオン濃度をイオンクロマトグラフィーにより測定した。そして、試料中の硫酸イオン濃度および浸せき前の供試体の空隙率、真密度から、浸透 SO_4^{2-} 量(mol/cm^3)を算出

表-1 供試体の配合

記号	W/B (%)	S/B	単位量(kg/m^3)			
			W	C	BFS	S
NC35	35	2.5	210	601	0	1501
NC55	55	2.5	299	535	0	1338
BB55	55	2.5	299	268	268	1338
NC65	65	2.5	330	508	0	1269

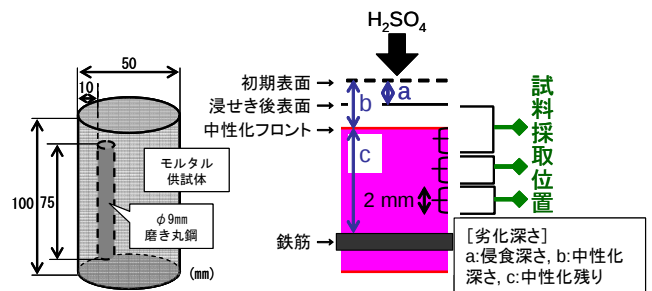


図-1 供試体概要 図-2 劣化深さと試料採取位置

した。また、割裂供試体から鉄筋を取り出し、鉄筋腐食の有無の確認、および腐食面積率を測定した。

3. 結果と考察

(1) 供試体の劣化性状

図-3にNC35およびBB55における硫酸濃度と侵食深さおよび中性化深さの関係を示す。NC35については、一般的に硫酸濃度が増加すると侵食深さおよび中性化深さは増加する傾向となった。しかし増加の傾向は線形的ではなく、特に中性化深さは、硫酸濃度が1 %以上になると、侵食深さおよび中性化深さは硫酸濃度に対して直線的に増加するものの、硫酸濃度が0.1 %の場合は侵食深さおよび中性化深さが非常に小さく、硫酸濃度が0.3 %～1.0 %ではあまり増加せず、一定となった。この傾向はNC55およびNC65でも同様であり、これは硫酸濃度によって硫酸の浸透速度と二水石膏などの反応生成物の反応速度の関係が変化するためと考えられる。また、BB55については、本研究の条件下では、硫酸濃度が高いほど、中性化深さは大きくなるものの、侵食深さは小さくなった。つまり、侵食が生じていないに

キーワード 硫酸、中性化残り、浸透硫酸イオン量、高炉スラグ微粉末

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 建設材料学研究室 TEL 022-795-7430

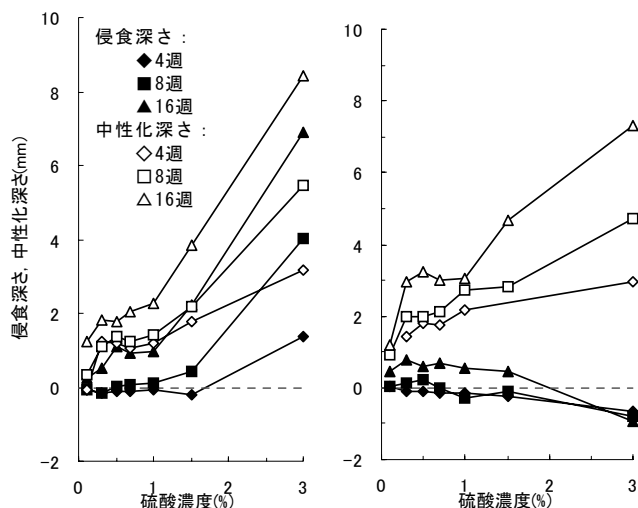


図 - 3 硫酸濃度と劣化深さの関係

も関わらず、中性化フロントは深部へ進行した。

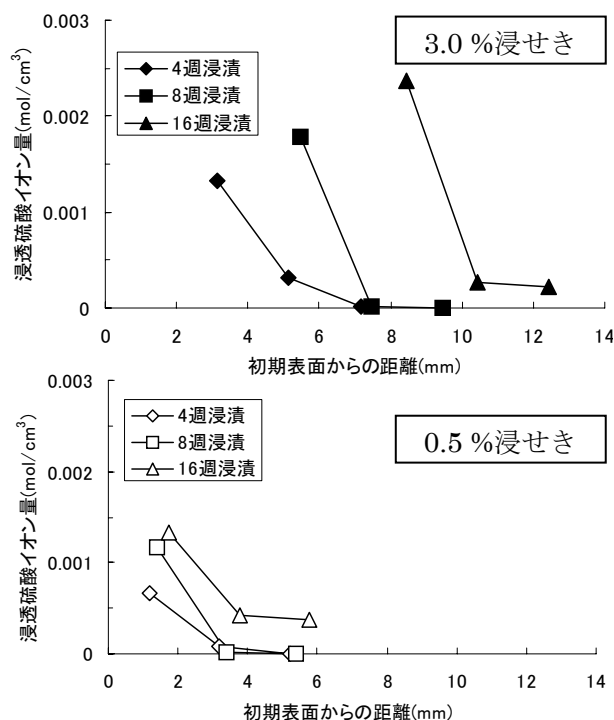
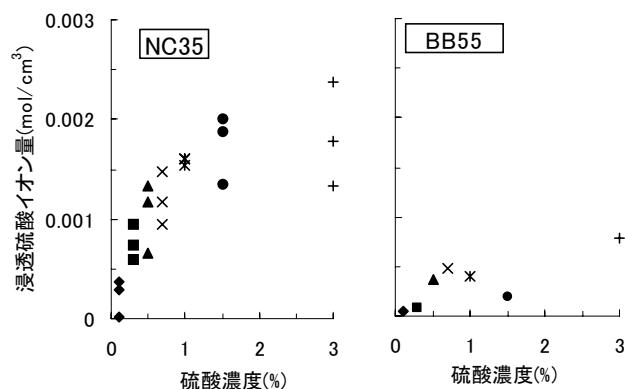
(2) 浸透 SO_4^{2-} 量の深さ分布

図 - 4 に NC35 の 3.0 % および 0.5 % 硫酸浸せきにおける浸透硫酸イオン量の深さ分布を示す。なお、各系列の左端の点はフェノールフタレイン法にて判断される中性化フロントとなる。図 - 4 より、浸せき期間によらず、中性化フロントから 2 mm より深部では、浸透 SO_4^{2-} 量はほぼ 0 mol/cm^3 であった。他の配合および硫酸濃度では中性化フロント近傍の浸透 SO_4^{2-} 量に違いはあるものの、これと同様の傾向を示した。このため、中性化残りが 2 mm 以下となった場合、中性化残りの pH 低下によって、鉄筋の腐食可能性が高くなると考えられる。

図 - 5 に NC35, BB55 の浸せき溶液の硫酸濃度と中性化フロント近傍の SO_4^{2-} 量の関係を示す。NC35 では、硫酸濃度が高いほど浸透 SO_4^{2-} 量は高くなるが、その関係は非線形である。これより、硫酸のセメント硬化体への浸透挙動は濃度によって異なることが示唆される。BB55 では、硫酸濃度によらず中性化フロント近傍の浸透硫酸イオン量は NC35 と比較して小さい結果となった。

(3) 鉄筋腐食

本研究において、鉄筋腐食の有無を確認し、腐食形態を整理したところ、①鉄筋が露出して鉄筋が硫酸と接することで腐食、②鉄筋は露出していないものの中性化残りが 0 mm で鉄筋が腐食、③中性化残りが少なくとも 0.59 mm 以上で、鉄筋腐食は生じていない、の 3 つに分類することができた。①は、侵食深さが大きく、鉄筋が露出しやすい場合、②は変

図 - 4 浸透 SO_4^{2-} 量の深さ分布図 - 5 硫酸濃度と中性化フロントの浸透 SO_4^{2-} 量との関係

質層が鉄筋の保護層として機能する場合、③は中性化フロントも硫酸イオンも鉄筋近傍まで到達していない場合に生じると予想される。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 同一配合のセメント硬化体において、中性化深さおよび侵食深さは硫酸濃度に依存して変化し、その関係は非線形に変化する。
- (2) 本研究の範囲において、硫酸劣化による鉄筋腐食の形態を 3 つに分類することができた。

参考文献

- 1) 納口恭太郎ほか：硫酸侵食が鉄筋の腐食発生条件に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.30, No.1, pp.1077-1082, 2008.7