硫酸侵食による鋼材腐食進行と電気化学的診断手法の適用に関する研究

京都大学　学生会員　○関　玲子　　正会員　山本貴士
正会員　服部篤史　　フェロー　宮川豊章

1．はじめに

硫酸侵食に伴う鋼材腐食の進行過程を把握するとともに、電気化学的手法の適用性を明らかにすることを目的とした。

2．実験概要

実験要因を表 1 に示す。W/C は密実性の低い 60%とし、塩水乾湿繰返し環境の供試体のみ作成時に Cl^-が 0.3kg/m^3 となる NaCl を外割添加した。脱型後、材齢 28 日まで水中養生を行い、その後各環境に曝露した。浸せき(図中 AW)は図 1 の姿勢で鉄筋半分(25mm)までの喫水とし、乾湿繰返し(WD)は浸せき 3 日・室内乾燥 4 日の繰返しとした(室内：5～15℃)。所定の材齢において各環境から取出し、直ちに以下の試験を実施した。

①鉄筋の電気化学的特性：鉄筋供試体に対し、自然電位および矩形波法により分極抵抗・コンクリート抵抗を、浸せき面上で測定した。

②コンクリートおよびモルタルの外観および質量：外観目視観察を行った後、硫酸浸せき・乾湿繰返し環境の無筋供試体に対し、ワイヤブラシで劣化部を除去して質量測定を行った。

③コンクリートおよびモルタルの侵食深さ：硫酸浸せき・乾湿繰返し環境の供試体に対し、高さ測定および無筋供試体ではさらにドリル削孔粉末による断面の pH 測定を行った。後者では、浸せき面から 5、10、15 および 20mm の各箇所で採取した粉末に適当量の純水を滴下し振とう後、pH 電極により測定した。

④鉄筋の腐食量：はつり出した鉄筋の目視観察および鉄筋スキャナによる腐食面積率の測定後、JCI-SC1 に準じ腐食減量率を測定し、さらに引張試験を行った。

表 1　実験要因

材料	C:コンクリート(W/C＝0.6)	M:モルタル(粗骨材除去)
鉄筋	有(D10)／無	
環境	2.0w%硫酸乾湿繰返し／2.0w%硫酸浸せき／0.15w%硫酸乾湿繰返し／3.0w%塩水乾湿繰返し	
測定	鉄筋の電気化学的特性	7 日間隔(浸せき 28 日まで) **適時**(浸せき 28 日以降)
	コンクリート・モルタルの外観・質量／侵食深さ	浸せき 28、56、91、120 日
	鉄筋の腐食量／引張試験	浸せき 91、120 日

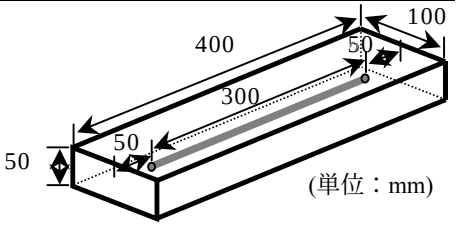

図 1　鉄筋供試体

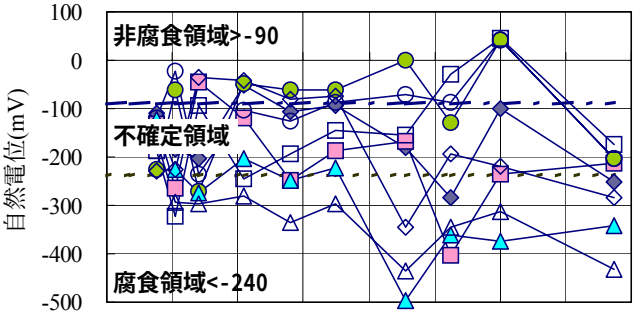

図 2　自然電位

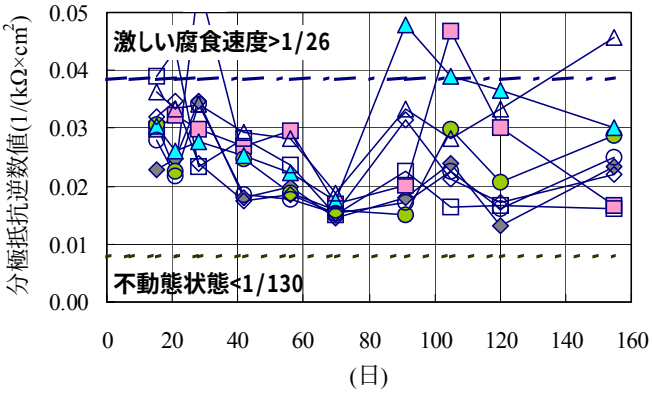

図 3　分極抵抗逆数値

2.0w%硫酸 WD:◆C/◇M　2.0w%硫酸 AW:■C/□M
0.15w%硫酸 WD:●C/○M　3.0w%塩水 WD:▲C/△M

3．実験結果および考察

3.1　鉄筋の電気化学的特性

図 2 に自然電位の経時変化と ASTM C 876 基準を示す。いずれもほぼ卑変傾向にあり、塩水環境下で顕著である。

図 3 に分極抵抗逆数値の経時変化と CEB 基準を示す。硬化の進行と思われる低下の後、浸せき 70 日前後を境に腐食速度の増加が見られた。この傾向は塩水環境下で顕著である。

図 4 にコンクリート比抵抗の経時変化と武若らの基準[1]を示す。硫酸曝露で増加する傾向にあり、浸せき面に粗な膨張生成物が生成したことが原因と考えられる。

キーワード: 鉄筋腐食　硫酸　自然電位　分極抵抗
連絡先: 〒606-8501　京都市左京区吉田本町　TEL: 075-753-5102　FAX: 075-752-1745

3.2　コンクリート・モルタルの外観および質量

2.0w%硫酸に浸せき環境のコンクリート供試体で最も劣化が激しく、粗骨材の露出が顕著であった。しかし、いずれの供試体にも目視可能なひび割れは発生していなかった。

図 5 に質量残存率を示す。2.0w%硫酸乾湿繰返しおよび浸せき環境の供試体で質量減少が著しい。また、全ての要因において、コンクリートよりモルタルの質量減少が著しい。

3.3　コンクリート・モルタルの侵食深さ

全要因の供試体高さは、質量ほどではないが、減少傾向が見られた。2.0w%硫酸浸せき環境のコンクリート供試体の高さ減少が顕著であった。

図 6 に 2.0w%硫酸乾湿繰返し環境の供試体における pH の経時変化を示す。浸せき日数に伴い深い部分まで低下する傾向が見られるが、中性化域ではない。また、コンクリートで低下が顕著であり、粗骨材の界面を通じた侵入が考えられる。鉄筋表面(20mm)では若干の低下は見られるが、その程度は小さい。

3.4　鉄筋の腐食量・引張試験

はつり出した鉄筋には赤褐色の腐食生成物が確認され鉄筋単体の硫酸浸せきにより生成する淡緑色の $FeSO_4$ ではなかった。

図 7 に腐食面積率を示す。コンクリート中の鉄筋の方がモルタル中より腐食面積が大きい。粗骨材を有するコンクリートは脆弱な遷移帯が多いことから、腐食因子が浸透しやすかったと考えられる。腐食減量率も同様であった。腐食生成物の生成は、塩水環境下で顕著であった。

引張試験では、著しい機械的性質の変化はなかった。

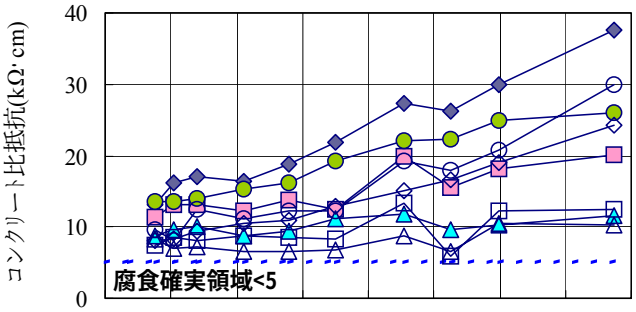

図 4　コンクリート比抵抗

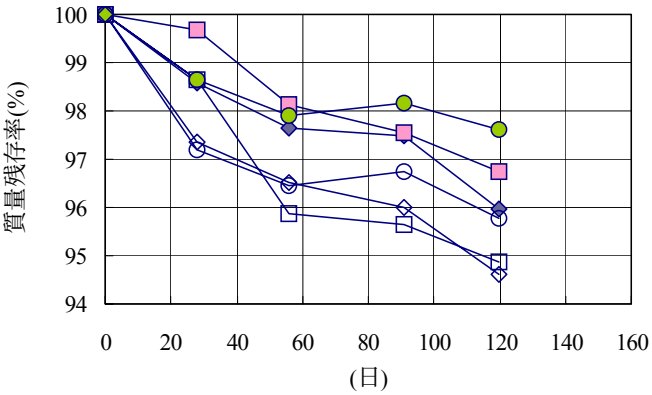

図 5　質量残存率

2.0w%硫酸 WD:◆C/◇M　2.0w%硫酸 AW:■C/□M
0.15w%硫酸 WD:●C/○M　3.0w%塩水 WD:▲C/△M

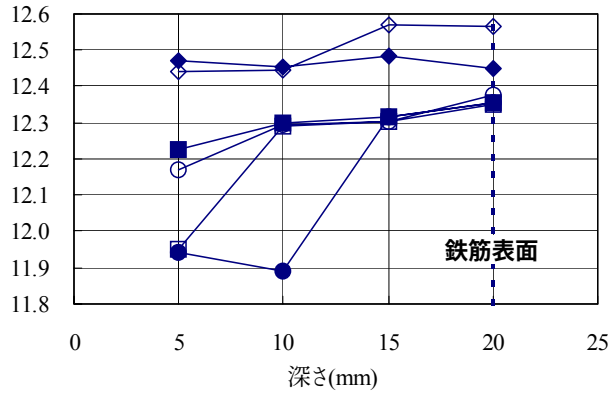

図 6　pH(2.0w%硫酸乾湿繰返し)

56 日:◆C/◇M　91 日:■C/□M　120 日:●C/○M

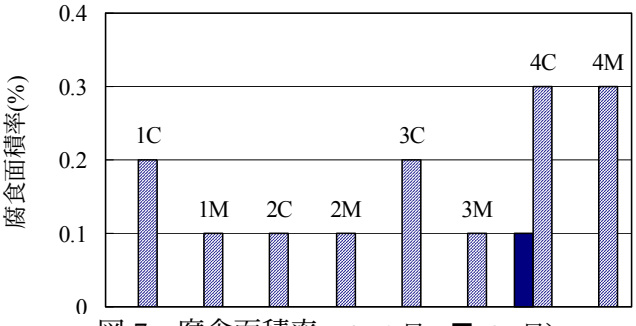

図 7　腐食面積率　(120 日、■: 91 日)

2.0w%硫酸 WD:1　2.0w%硫酸 AW:2
0.15w%硫酸 WD:3　3.0w%塩水 WD:4

4．結　　論

(1) 硫酸環境では、鉄筋の腐食生成物が赤褐色であったこと、目視可能なひび割れが発生していなかったこと、および中性化残りが約 20mm ある状態で腐食が開始したことから、供試体中の微細なひび割れ、遷移帯、空隙を通って微量の硫酸イオンが鉄筋まで到達し、鉄筋と接触したことにより鉄筋の不動態被膜が破壊され、酸素、水の供給により腐食が開始したと考えられる。

(2) 自然電位および分極抵抗の結果から、塩水環境より硫酸環境での供試体の腐食は顕著でないと判断されたが、これは腐食面積率、腐食減量率の大小と同じであった。現段階では、自然電位および分極抵抗の適用可能性は大きいと判断される。しかし、コンクリート抵抗の適用に関しては検討の余地がある。

参考文献　[1] 武若耕司・小林一輔：コンクリート中の鉄筋腐食性状の非破壊検査方法に関する実験的検討、第 13 回セメント・コンクリート研究討論会講演要旨、1986