

化学的侵食による鉄筋腐食劣化機構に関する研究

京都大学大学院 学生員 ○井澤 昌平 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

本研究では、硫酸水溶液および硫酸ナトリウム水溶液（硫酸塩）による鉄筋コンクリート構造物の劣化現象の中において特に鉄筋腐食に着目し、その進行過程について検討を行った。

表1 実験要因

材料	C:コンクリート(W/C=60%) / M:モルタル(粗骨材除去)
環境(要因)	硫酸ナトリウム水溶液 1.42% / 7.10% / 14.2% 硫酸水溶液 0.98% / 4.90%
測定	コンクリート・モルタルの外観観察 / 寸法 中性化深さ / 硫酸イオン浸透深さ / 微小硬度 腐食減量率 /

2. 実験概要

実験概要を表1に示す。また、供試体の形状・寸法を図1に示す。W/Cは硫酸イオンの浸透を早めるため60%とやや大きくした。浸せき時は鉄筋半分(25mm)までの喫水とし、乾湿繰返し(浸せき3日・乾燥4日)に供した。乾燥4日目に以下を測定した。

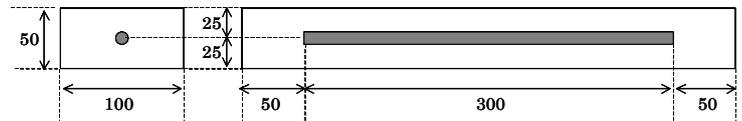


図1 コンクリート・モルタル供試体図 (D10 入り)

- ①コンクリート・モルタルの外観観察・寸法・・・目視による外観観察の後、ノギスを用いて鉄筋直上の計3点で高さ測定を行った。
- ②劣化因子浸透深さ・・・フェノールフタレイン1%エタノール溶液 (JIS K 8006) を用いて中性化深さを、硫酸イオン浸透深さ試薬^[1] (過マンガン酸カリウムと 0.2mol/l塩化バリウムの 1:3 混合液) を用いて硫酸イオン浸透深さを測定した。また、試薬による浸透深さをもとに、遷移体およびバルク部の微小硬度を測定した (図2 参照)。
- ③鉄筋の腐食減量率・・・浸せき 448 日において測定した。

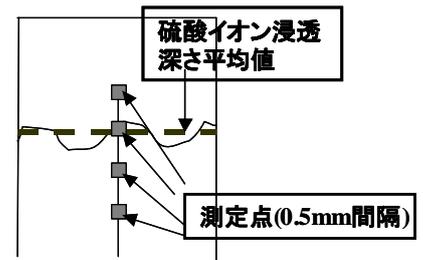
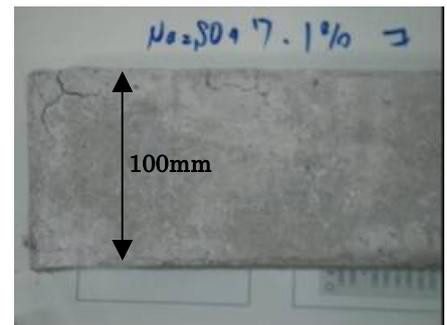


図2 微小硬度測定位置

3. 実験結果および考察

3.1 外観観察

浸せき 448 日目の外観の一例として、7.10%硫酸ナトリウム水溶液に浸せきしたコンクリート供試体の写真を図3に示す。浸せき開始 448 日目では、1.42%の供試体にはひび割れは確認されなかった。しかし、7.10%、14.2%の供試体には目視でひび割れが確認でき、特に隅角部で顕著であった。また、硫酸水溶液に浸せきした供試体については、4.90%の硫酸水溶液に浸せきした供試体において粗骨材の露出が顕著であった。

図3 コンクリート供試体外観 (448 日目, 7.10%Na₂SO₄aq.浸せき)

3.2 硫酸水溶液浸せき供試体

試薬による中性化深さ、硫酸イオン浸透深さ、微小硬度による劣化因子浸透深さを表2に示す。また、硫

キーワード：化学的腐食，硫酸，硫酸塩，鉄筋腐食，劣化過程

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂Cクラスター C1-453 TEL 075-383-3173 FAX 075-383-3177

酸浸せき供試体において 448 日目時点での腐食減量率を図 4 に示す。

0.98%モルタル供試体と 4.90%モルタル供試体を比較すると、高濃度の硫酸に浸せきした供試体の鉄筋の方がより腐食している。試薬による浸透深さでは、中性化深さ、硫酸イオン浸透深さと高濃度の溶液に浸せきした供試体が約 3mm 深部にまで至っていた。これは、酸によりペースト部分の溶脱が顕著であり、侵食するスピードが早いと考えられる。また、微小硬度の最小値（遷移体での値）に基づく浸透深さによると、4.90%硫酸浸せきモルタルでは硫酸イオンはすでに鋼材位置に達していると推定された。このことから、pH を低下させ鋼材腐食に影響を与える以前に、劣化因子である硫酸イオンが鋼材位置にまで到達し、不動態被膜を破壊することで腐食を引き起こしたと考えられる。

3.3 硫酸ナトリウム水溶液浸せき供試体の実験結果

試薬による中性化深さ、硫酸イオン浸透深さ、微小硬度による劣化因子浸透深さを表 3 に示す。また、硫酸浸せき供試体において 448 日目時点での腐食減量率を図 5 に示す。

試薬による浸透深さ測定値から、硫酸塩の濃度が低い水溶液、高い水溶液の両要因ともフェノールフタレインによる中性化深さよりも硫酸イオン浸透深さが深部にまで至っていたことが確認できた。また、微小硬度による浸透深さの推定により、鋼材位置にまで浸透深さが達していると推定された高濃度の硫酸ナトリウム水溶液に浸せきした供試体において、腐食減量率が高い。このことから、硫酸劣化の場合と同様に、中性化の影響を受ける以前から、劣化因子である硫酸イオンが鋼材位置にまで浸透し、不動態被膜を破壊し腐食を引き起こし、その後、膨張生成物によるひび割れ等から中性化が進行することで腐食が促進していると考えられる。

4. 結論

- (1) 硫酸劣化の場合、酸等の浸入により不動態被膜の破壊を引き起こす程度の pH にまで低下する以前に、硫酸イオンが鋼材位置にまで到達し、不動態被膜を破壊し腐食を引き起こすと考えられる。
- (2) 硫酸塩劣化においては、微小硬度による浸透深さの推定より、中性化の影響を受ける以前から、劣化因子である硫酸イオンが鋼材位置にまで浸透し、不動態被膜を破壊し腐食を引き起こし、その後、膨張生成物によるひび割れ等が進み、中性化や硫酸イオンの浸透を早めることで腐食が促進されていると考えられる。

参考文献

[1] 土木学会：2001 年制定コンクリート標準示方書 [維持管理編]，2001

表 2 浸透深さ（硫酸水溶液）

	試薬	微小硬度			
		最小値	最大値		
		中性化深さ (mm)	硫酸イオン (mm)	浸透深さ (mm)	浸透深さ (mm)
0.98%	C	4.18	4.36		
	M	3.28	3.84	10.36	7.46
4.90%	C	6.38	7.23		
	M	6.62	6.83	20.28	14.34

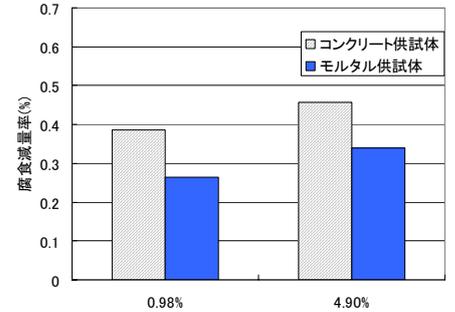


図 4 腐食減量率（硫酸水溶液）

表 3 浸透深さ（硫酸ナトリウム水溶液）

	試薬	微小硬度			
		最小値	最大値		
		中性化深さ (mm)	硫酸イオン (mm)	浸透深さ (mm)	浸透深さ (mm)
1.42%	C	3.07	4.64		
	M	2.65	3.29	6.78	6.29
7.10%	C	6.03	8.09		
	M	7.01	7.41	21.31	20.88
14.20%	C	8.42	10.08		
	M	6.66	7.22	20.74	16.10

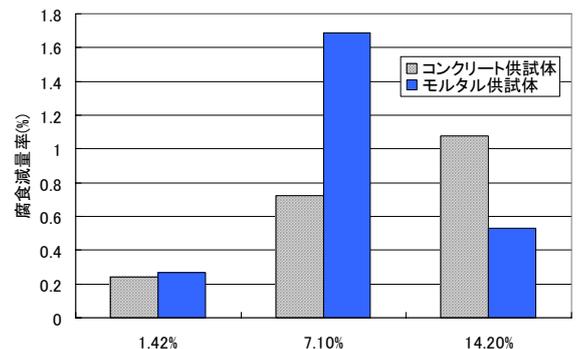


図 5 腐食減量率（硫酸ナトリウム水溶液）