

コンクリート表層部の細孔溶液の組成

金沢大学工学部 学生員○浅野篤郎

金沢大学工学部 正会員 鳥居和之

金沢大学工学部 正会員 川村満紀

1. まえがき

コンクリート中の鉄筋が腐食する主要な要因としては、中性化によるものと塩害によるものがあり前者についてはフェノールフタレインによる中性化深さの測定（アルカリ度）、後者については塩分の浸透深さの測定（塩分濃度）、によってそれらの鉄筋腐食におよぼす影響が検討されている。コンクリートの中性化深さと塩害の問題は鉄筋腐食に及ぼす影響因子が異なるとして、両者はこれまでそれぞれ別途に議論されてきた。しかし、両者の相互関係より鉄筋腐食の現象を理解することが重要であると思われる。

本研究は、塩水への浸漬・乾燥の繰り返しを約2年間受けたコンクリート供試体よりコアを採取し、高圧抽出試験装置を使用してコンクリートの細孔溶液の組成が表面から内部への深さ方向でどのように変化するかを測定することにより、コンクリートの表層部の細孔溶液の組成（ Cl^- および OH^- 濃度）と鉄筋腐食との関係について検討したものである。

2. 実験概要

コンクリートの配合は、普通ポルトランドセメント（OPC）フライアッシュ 30%置換（FA）高炉スラグ微粉末 50%置換（BS）およびシリカフューム 10%置換（SF）の4種類のものについて単位結合材量を 300kg/m^3 、水・結合材比を55%とした。塩水に浸漬するまでの養生条件は、水中養生28日（略号W）と、水中養生7日後湿度60%の屋内で気中養生21日（略号A）の2種類

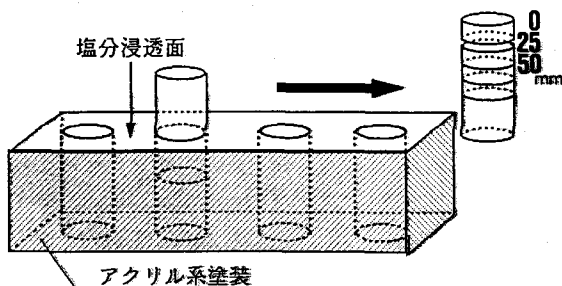


図-1 コンクリートコアの採取状況

である。塩水への浸漬・乾燥の繰り返しは、塩水（3%の NaCl 溶液）への浸漬8時間及び室温での乾燥16時間の1日1サイクルの条件で実施し、一定の繰り返し毎に自然電位および分極抵抗を測定するとともに、浸漬・乾燥の繰り返し2年経過の時点でコンクリート内部の鉄筋の腐食状況を観察した¹⁾。高圧抽出試験装置によるコンクリートの細孔溶液のしぼり出しは、図-1に示すコンクリート供試体より直径53mmのコアを各4ヶ所より採取し、塩分浸透面からの深さ方向に0~25mm, 25~50mm, および50~75mm, の各部分に対して実施した。細孔溶液の OH^- イオン濃度は1/100Nの塩酸標準規定液による滴定法（指示薬；フェノールフタレイン）、 Cl^- イオン濃度は電位差滴定法により測定した。また Na^+ , K^+ , Ca^{2+} の各元素については原子吸光光度法により求めた。

3. 結果および考察

表-1および2は、各種コンクリートの細孔溶液の組成を示したものである。コンクリートの表面部（0~25mm）は、常時塩水の浸透および乾燥が繰り返されるので Cl^- 濃度が0.3~0.5mol/lとかなり高くなる。また、この部分は同時に、水酸化カルシウムおよびアルカリ成分の溶出や炭酸化の影響を受けるので、細孔溶液の OH^- 濃度は0.1 mol/l以下の低い値を示す。とくに混和材を使用したコンクリートでは表面部の細孔溶液のアルカリ度は極めて小さく、 Cl^-/OH^- 比が非常に大きくなっているのがわかる。しかし、鉄筋の存在する25~50mmの部分（本実験では、D10mmの丸鋼をかぶり25mmで埋設している）では

表面部と比べて細孔溶液の Cl^- 濃度は大きく減少し、かつ OH^- 濃度は増大している。

混和材を使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントコンクリートと比較して表面部から内部に向かって Cl^- 濃度が急激に減少しており、さらに内部では OH^- 濃度が、普通ポルトランドセメントコンクリートと同程度かまたはそれより高い値に維持されているのが特徴である。表-3および4は塩水への浸漬・乾燥の繰り返し2年経過時での鉄筋の電気化学的測定値および目視観察の結果を示したものである。自然電位および1/分極抵抗の測定より、普通ポルトランドセメントコンクリートでは約6ヶ月の塩水への浸漬・乾燥の繰り返しにより腐食の傾向が認められ、2年経過時には実際に鉄筋の端部に深い腐食が観察された。一方、混和材を使用したコンクリートでは、気中養生を行ったフライアッシュコンクリートに軽微な腐食がみられた以外には鉄筋の腐食はまったく観察されなかった。

表-1 コンクリートの細孔溶液中の組成
(水中養生供試体)

水中養生	表面からの深さ(mm)	Cl^- 濃度(mol/l)	OH^- 濃度(mol/l)	Cl^-/OH^- 比
OPC	0~25	0.118	0.013	9.1
	25~50	0.136	0.057	2.4
	50~75	0.016	0.078	0.2
FA	0~25	0.363	0.002	181.3
	25~50	0.011	0.135	0.1
	50~75	0.005	0.117	0.0
BS	0~25	0.241	0.014	17.9
	25~50	0.022	0.092	0.2
	50~75	0.009	0.091	0.1
SF	0~25	0.518	0.013	40.6
	25~50	0.010	0.113	0.1
	50~75	0.004	0.085	0.0

表-2 コンクリートの細孔溶液中の組成
(気中養生供試体)

気中養生	表面からの深さ(mm)	Cl^- 濃度(mol/l)	OH^- 濃度(mol/l)	Cl^-/OH^- 比
OPC	0~25	0.413	0.009	48.6
	25~50	0.182	0.078	2.5
	50~75	0.009	0.091	0.1
FA	0~25	0.347	着色せず	—
	25~50	0.010	0.058	0.2
	50~75	0.003	0.105	0.0
BS	0~25	0.331	0.001	662.1
	25~50	0.010	0.076	0.1
	50~75	0.003	0.091	0.0
SF	0~25	0.455	着色せず	—
	25~50	0.010	0.070	0.1
	50~75	0.006	0.055	0.1

表-3 電気化学的測定結果及び鉄筋の腐食状況
(水中養生供試体)

水中養生	電気化学的測定		鉄筋の腐食状況
	自然電位(mV)	1/分極抵抗($10^{-6}/\Omega\text{cm}^2$)	
OPC	-498	7.51	鉄筋端部に腐食あり
FA	-470	1.53	鉄筋端部に腐食なし
BS	-346	2.09	〃
SF	-214	2.04	〃

表-4 電気化学的測定結果及び鉄筋の腐食状況
(気中養生供試体)

気中養生	電気化学的測定		鉄筋の腐食状況
	自然電位(mV)	1/分極抵抗($10^{-6}/\Omega\text{cm}^2$)	
OPC	-453	4.18	鉄筋端部に腐食あり
FA	-376	1.32	〃
BS	-428	2.43	鉄筋端部に腐食なし
SF	-233	1.23	〃

4. まとめ

塩水への浸漬・乾燥の繰り返しを受けるコンクリートの表面部(0~25 mm)は、 Cl^-/OH^- 比が大きくなり、鉄筋の腐食が促進されやすい状態にあるが、それより内部では Cl^-/OH^- 比が急激に減少し、鉄筋に対する保護機能が增大する。混和材を使用したコンクリートは、普通セメントコンクリートと比較して内部の Cl^-/OH^- 比が小さくなり、鉄筋の腐食に対する抵抗性が增大する。

【参考文献】

- 1), 鳥居和之他, コンクリート工学年次論文報告集, 12-1.1990