

各種コンクリートの水結合材比および内部含水率が腐食に与える影響に関する研究

福岡大学大学院 学生会員 ○中川 潤哉 福岡大学大学院 学生会員 岡部 偉大
福岡大学 正会員 樋原 弘貴 福岡大学 正会員 山田 悠二 福岡大学大学院 正会員 添田 政司

1. はじめに

近年、実構造物では早期の塩害劣化が散見されているが、鉄筋位置に塩化物イオンが多量に存在していても腐食が進展していないケースが報告されている¹⁾。塩害劣化による腐食の進展は水や酸素の供給によって異なるため塩化物イオン量のみでは判断が難しい。そこで本研究は、コンクリートの内部環境に着目し、水結合材比や内部含水率が鉄筋の腐食に与える影響を明らかにすることを目的とし、水結合材比や湿度が異なる環境に静置した各種供試体の腐食速度を評価した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

表－1 には、供試体配合を示す。セメントには、早強ポルトランドセメント(略号：H)を使用した。また、混和材として高炉スラグ微粉末 4000 ブレーン(略号：B4)、高炉スラグ微粉末 6000 ブレーン(略号：B6)をそれぞれ使用した。細骨材には、福岡県玄界灘産海砂(略号：S)を使用した。なお、高炉スラグ微粉末は、いずれも石膏無添加のものをを用いた。配合記号は、例えば、水結合材比を 45%、早強セメントに高炉スラグ微粉末 4000 ブレーン混和した場合には H45B4 として表記している。

2.2 実験概要

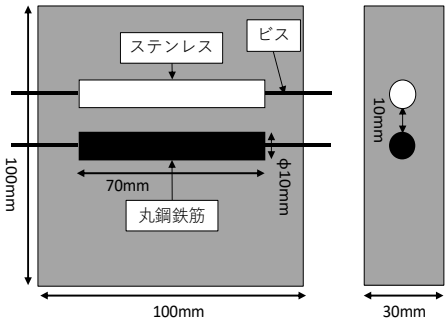
図－1 には、供試体概要を示す。供試体は水結合材比を 45%、55%とし 100×100×30mm で作製した。なお、外部の湿度の影響を強く受けるようにかぶりを 10mm としたため、本実験ではモルタル供試体を用いた。供試体中央部のかぶり 10mm 位置にφ10mm×70mm の磨き丸鋼鉄筋と、そこから 10mm 間隔をあけてアノード・カソード分極により腐食腐食電流密度を算出する際の対極として用いるために、φ10mm×70mm のステンレス棒を埋設した。なお、鉄筋およびステンレス棒の両端部には、ねじ穴をあけており、測定用コードを接続するためのステンレス製のビスを取り付けている。また、供試体の作製時には、鉄筋の腐食を促進させるために、初期塩分として NaCl(Cl⁻量換算：10kg/m³)を混和させた。なお、NaCl は練混ぜ水にあらかじめ投入して、溶解させた。打込み後は、温度 20℃の環境下で水分を含んだ吸水シートで覆い、その上からビニールシートで密封した湿布環境で養生を 14 日間行った。養生終了後は、打込み底面を試験面とし、試験面以外をエポキシ樹脂で被覆した。その後、供試体の環境を温度 20℃とし、飽和塩法により相対含水率 60%、75%、90%に調整された環境に供試体を分けて静置した。各環境に静置後は、鉄筋のアノード分極曲線とカソード分極曲線の測定を行い、腐食電流密度の算出を行った。腐食電流密度の算出はターフェル外挿法を用いて両分極曲線のターフェル勾配より算出した。

3. 結果及び考察

図－2 には、水結合材比 45%、55%における相対含水率と腐食電流密度の関係を結合材種類ごとに示す。水結合材比 45%における腐食電流密度は、いずれも相対含水率 90%が最も高い値を示したが、相対含水率 60%、75%では

表－1 供試体の配合

記号	W/B (%)	S/B	単位量 (kg/m ³)					Cl量 (kg/m ³)
			W	B			S	
				H	B4	B6		
H45	45	2.3	271	602	—	—	1385	10
H45 B4			269	299	299	—	1375	
H45 B6			269	299	—	299	1375	
H55	55		313	568	—	—	1306	
H55 B4			310	282	282	—	1297	
H55 B6			310	282	—	282	1297	



図－1 供試体概要

キーワード 水結合材比, 高炉スラグ微粉末, 相対含水率, 腐食電流密度

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8 丁目 19 番 1 号 福岡大学 TEL092-871-6631

同程度であった。また、結合材種類ごとの腐食電流密度は、いずれの相対含水率においても H45 が大きく、H45B4、H45B6 の順であった。しかし、いずれの腐食電流密度においても $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 未満であることから、不動態状態もしくは極めて遅い腐食速度と推定された。一方の、水結合材比 55%における腐食電流密度では、いずれも相対含水率が高くなるに従って増加傾向を示し、水結合材比 45%と比較しても大きな値を示しているのが分かる。結合材種類では、H55 では、いずれの環境でも腐食電流密度が $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 以上であり低～中程度の腐食速度と判定されたのに対し、H55B4、H55B6 では、相対湿度 75%以下で $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 未満であった。高炉スラグの添加によって、腐食発生限界 Cl 量は低下するが²⁾、腐食発生後の腐食速度は、抑制されることが分かった。

図-3 には、H45 における相対含水率ごとの分極曲線を示す。カソード反応は、いずれの相対含水率においても同等の値を示しており、明確な差がみられなかった。しかし、相対含水率が高くなるにしたがってアノード反応が増加する結果を示した。これは、相対含水率が高いことにより、コンクリート内部の水分量が増加したことで、可溶性 Cl 量が増加したと考えられる。

図-4 には、H45、H55 における相対含水率 90%の分極曲線を示す。両者の違いは、カソード反応に見られている。これは水結合材比が低いものほど、内部組織が密になるため、酸素量に依存するカソード反応が抑制されたものと考えられる。なお、水結合比による分極曲線の違いは、いずれの結合材種類、相対含水率においても同様の結果を示している。

図-5 には、水結合材比 55%の相対含水率 90%における分極曲線を結合材種類ごとに示す。高炉スラグ微粉末を混和することでカソード反応が抑制され、H55B4 よりも H55B6 で抑制されていた。これはコンクリートが緻密化したことで、空隙容積の減少に伴い酸素量も減少したためであると考えられた。一方のアノード反応は、いずれの結合材種類においても同等であり、違いは確認できなかった。

4. まとめ

1. 水結合材比 45%では、含水率 90%程度でも腐食速度は小さいことが分かった。
2. 水結合材比 55%では、相対含水率の増加に従いアノード反応が促進され、腐食速度が増加する。
3. 水結合材比が低下および高炉スラグの置換によって、カソード反応が抑制されるため腐食速度が低下する。

参考文献 1)林亮太ら：透気係数による実構造物の物質移動抵抗性および外観変状との関係性に関する研究，土木学会論文集，第 76 巻，pp.332-348，2020 2)深見桜ら：高炉スラグ微粉末を用いた低炭素型コンクリートの塩害劣化抵抗性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp161-166，2019

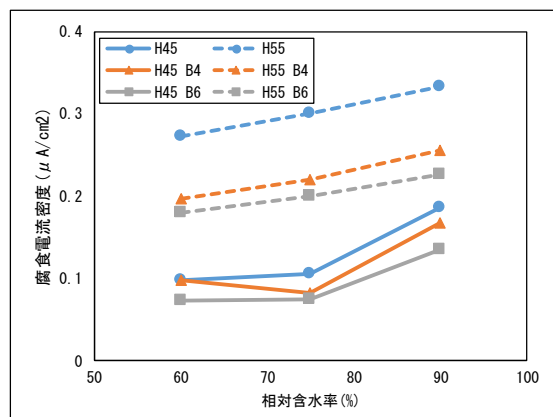


図-2 相対含水率と腐食電流密度の関係

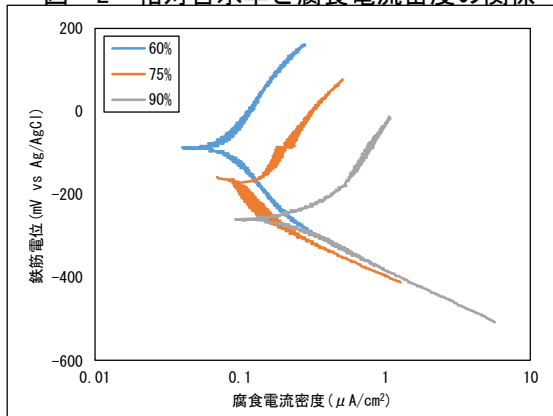


図-3 相対含水率ごとの分極曲線 (H45)

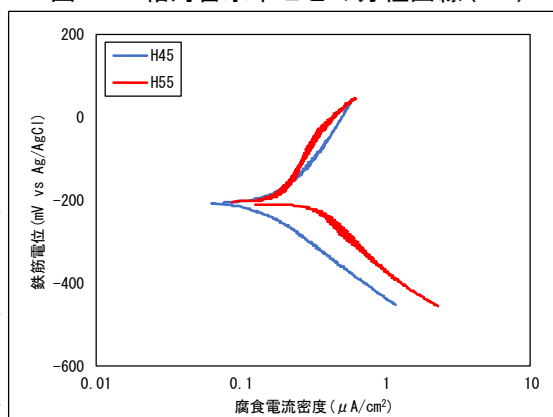


図-4 水結合材比ごとの分極曲線

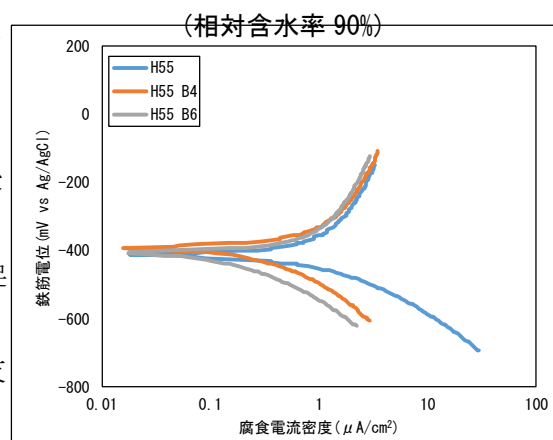


図-5 結合材種類ごとの分極曲線
(相対含水率 90%)