

製造時から塩分を含むセメント硬化体中の鋼材腐食 に関する実験的考察

濱田, 秀則
九州大学

Dio, Rudy
九州大学

福永, 隆之
九州大学

Patah, Dahlia
University of Sulawesi Barat

他

<https://hdl.handle.net/2324/7238742>

出版情報 : 2024-05-25. The Society of Materials Science, Japan
バージョン :
権利関係 :



製造時から塩分を含むセメント硬化体中の 鋼材腐食に関する実験的考察

講演番号

(講演番号は入力不要)

九州大学 ○濱田秀則 Rudy Dio 福永隆之

University of Sulawesi Barat Dahlia Patah 東京大学[院] Sabrina Harahap

An Experimental Discussion on Steel Corrosion in Initially Chloride Contaminated Cement Hardened Matrix

Hidenori HAMADA, Rudy DIO, Takayuki FUKUNAGA, Dahlia PATAH and Sabrina HARAHAP

1 緒 言

鉄筋コンクリートの塩害に関する研究の歴史は古くこれまでに多くの研究が蓄積されているものの^{例えば 1)~3)}、その知見は必ずしも十分ではない。本研究は、鉱物質混和材の混入がセメント硬化体中の鋼材の腐食発生限界塩分量に及ぼす影響を実験的に考察することを目的としている。将来的に予想される世界的水不足に対する対策の一つとして、コンクリート製造に海水を用いる技術開発を進めているが、その一環として実施したものである。実験結果から、混和材を混合したコンクリート中の鉄筋の腐食発生限界塩分量は、一般的に言われている $1.2 \sim 2.4 \text{ kg/m}^3$ よりも大きな値となることが示された。

2 実験の概要

2.1 試験体の概要

試験体の形状および寸法を Fig.1 に示す。モルタル製であり、モルタルの内部に腐食試験のための鉄筋(丸鋼: $\phi 13 \text{ mm}$)を2本、試験面からのかぶり厚が 50 mm の位置に設置した。試験体の6面のうち、試験面以外の5面はエポキシ樹脂により被覆した。また、モルタルの型枠への流し込みの方向は鉄筋に沿った方向とし、鉄筋下面に空隙が残らないように配慮した。

モルタルの製造には3種類の混和材、フライアッシュ(セメントに対する置換率20%)、シリカフェーム(同5%)、高炉スラグ微粉末(同45%)を使用した。ベースセメントは普通ポルトランドセメントである。モルタルの配合を Table 1 に示す。水結合材比を3水準(40%, 50%, 60%)とし、モルタルへの塩分の混入はNaClを練混ぜ水に溶解した。Table 2 に示すように、塩分含有量

Table 1 Mix Proportion of Mortar

W/B	水, kg/m^3	結合材, kg/m^3	細骨材, kg/m^3
0.4	232	581	1508
0.5	255	510	1508
0.6	272	454	1508

Table 2 Design of Chloride Content in Mortar

分類	W/B	混入塩分量		供試体番号
		モルタル中の塩化物含有量 kg/m^3	結合材に対する塩化物イオン濃度 %	
A	0.4	1.68	0.29	A40
	0.5	1.48		A50
	0.6	1.32		A60
B	0.4	3.31	0.57	B40
	0.5	2.91		B50
	0.6	2.59		B60
C	0.4	5.00	0.86	C40
	0.5	4.39		C50
	0.6	3.90		C60

は概ね3水準あり、結合材に対する塩分濃度を0.29% (A)、0.57% (B)、0.86% (C)とした。同一の対結合材塩分濃度の場合でも、水結合材比ごとにモルタル重量比で示される塩分含有量は3水準に異なるため、全体で9水準の塩分含有量となる。

2.2 養生および暴露の経緯

モルタルの打ち込み後は湿布養生を行い、24時間後に脱枠した。材齢91日まで湿空養生(相対湿度60%)を行い、材齢5年までコンクリート実験室内にて静置した。材齢5年時に屋内環境から屋外環境に移設し5ヶ月間暴露を継続した。その間は降雨の影響を受けている。

2.3 計測項目

計測項目は、鉄筋の自然電位、分極曲線(不動態のグレイドの判定⁴⁾)、分極抵抗(腐食電流密度の算定)、モルタルの中性化深さ、および内部鉄筋の目視観察である。

3 実験の結果

3.1 中性化の進行

一例として、フライアッシュを混入したモルタルの中性化深さは、A40が 1.9 mm 、A50が 4.1 mm 、A60が 10.1 mm 、B40が 1.0 mm 、B50が 2.6 mm 、B60が 9.0 mm 、C40が 0 mm 、C50が 1.1 mm 、C60が 6.6 mm であった。こ

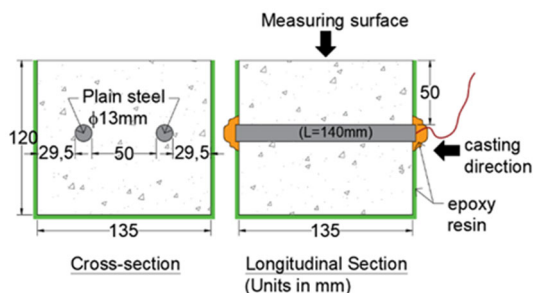


Fig.1 Specimen Layout

の結果より、塩分含有量の影響はなく水結合材比の影響が大きかった

3.1 電気化学的計測

Fig.2 および Fig.3 にフライアッシュおよびシリカフュームを混入したモルタル中の鉄筋の自然電位（材齢 5 年 5 ヶ月時）を示す。ASTM による腐食判定基準とされる -350mV を下回る電位はなく、高濃度の塩分を含む場合でも貴な電位を示した。また、水結合材比の影響も見られなかった。

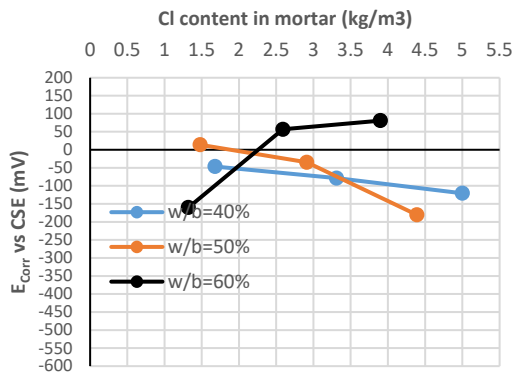


Fig.2 Natural Potential of Steel Bar in Fly Ash Mixed Mortar

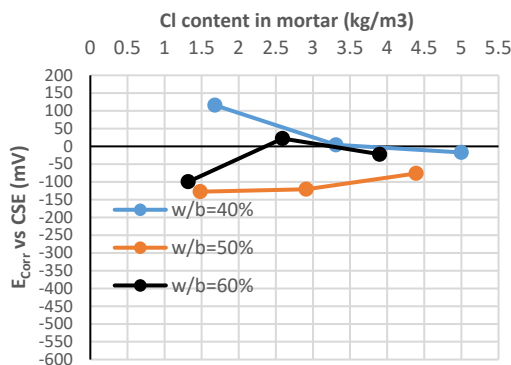


Fig.3 Natural Potential of Steel Bar in Silica Fume Mixed Mortar

Table 2 にアノード分極曲線より求めた不動態のグレードの判定結果（材齢 5 年 5 ヶ月時）を示す。グレード 5 はほぼ完全に不動態が残っている状態、グレード 4 も良好な不動態が残っている状態を意味しており⁴⁾、い

Table 2 Passivity Grade Obtained by Anodic Polarization Curve

	フライアッシュ	シリカヒューム	高炉スラグ微粉末
A40	4	4	4
A50	4	5	4
A60	4	4	4
B40	5	5	4
B50	5	5	4
B60	5	5	4
C40	5	5	4
C50	4	4	4
C60	5	4	3

ずれの供試体においても内部鉄筋は良好な不動態を維持していることが確認された。唯一、高炉スラグ微粉末の C60 でグレード 3 となった。

3.2 鉄筋の腐食面積

Table 3 に材齢 5 年 5 ヶ月時にモルタルより取り出して求めた鉄筋の腐食面積率を示す。高塩分濃度の試験体において 30.22%、14.99% という 10% を超える腐食が発生している鉄筋があるが、総じて鉄筋の腐食は軽微であった。

Table 3 Corroded Area of Steel Bar in Mortar Specimen

	フライアッシュ	シリカヒューム	高炉スラグ微粉末
A40	0.68	0.20	0.00
A50	0.78	4.39	0.00
A60	1.92	0.66	0.05
B40	1.21	0.00	1.40
B50	0.33	0.73	4.43
B60	0.42	0.56	5.47
C40	5.50	2.23	0
C50	30.22	4.97	2.57
C60	2.18	1.10	14.99

4 結言

材齢 5 年まで実験室内に静置し、その後屋外の環境に 5 か月間暴露した供試体の観察より以下の結果を得た。

- 1) 鉄筋の自然電位は「貴」な電位に保たれていた。
- 2) 分極曲線から判断される不動態のグレードは総じて良好であった。
- 3) 分極抵抗から求めた腐食電流密度は小さな値 ($0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 未満) を示した。
- 4) 中性化深さは、水結合材比が支配要因であった。
- 5) 混和材の混合は腐食発生限界塩分含有量を大きくする効果を有し。その効果は、シリカヒュームにおいてフライアッシュ、高炉スラグ微粉末よりも大きくなった。

参考文献

- 1) M. F. Montemor, A. M. P. Simoes, M. G. S. Ferreira, "Chloride-induced corrosion on reinforcing steel: from the fundamentals to the monitoring techniques", *Cement and Concrete Composites*, 2003; 25:491-502
- 2) A. B. Revert, K. D. Weerd, K. Hornbostel, M. R. Geiker, "Carbonation-induced corrosion: Investigation of the corrosion onset", *Construction and Building Materials*, 2018; 162:847-856.
- 3) N. Otsuki, S. Nagataki, K. Nakashita, "Evaluation of the AgNO₃ solution spray method for measurement of chloride penetration into hardened cementitious matrix materials", *Construction and Building Material*, 1993; 7:195-201
- 4) 大即信明: コンクリート中の鉄筋の腐食に及ぼす塩素の影響に関する研究, 港湾技術研究所報告, 第 24 巻, 第 3 号, pp.183-283, 1985.9