各種セメントの鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度に関する検討

太平洋セメント(株) 正会員 〇東 洋輔 正会	員
-------------------------	---

1. はじめに

コンクリート中の鋼材腐食は、内在あるいは外来の塩 化物イオン(以下, CI)の作用によって生じる劣化現象 である。現行の土木学会コンクリート標準示方書の設計 編では、コンクリート中の鋼材を腐食させる CIの限界 濃度値(すなわち、鋼材腐食発生限界 CI濃度。以下、 Clim)について、セメント種類と水セメント比ごとに定 めており、単位体積中のコンクリートに対する全 CIの 質量で表わされている。その中で、低熱ポルトランドセ メント (以下, L) および早強ポルトランドセメント (以 下,H)の場合は、同一の式からC_{lim}を求めることが定 められている。しかしながら、この式は L あるいは H を用いた実験から求められた実測のものではなく, 普通 ポルトランドセメント(以下,N)の実験値を基に算出 されている。したがって、セメントの鉱物組成が異なる 場合でも、Climが同一になるか実験的検討を行い、確認 する必要がある。

以上より本検討では、LおよびHを用いたモルタル中 鋼材のC_{lim}を実験から測定・評価することを目的とした。

2. 実験概要

使用材料に関して,セメント(以下,C)は市販のL, H および N とした。 混和材は BET 比表面積 20m²/g のシ リカフューム(以下, SF), 細骨材(以下, S)には陸砂, 混和剤には消泡剤(以下,T)を用いた。鉄筋は SR235 ♦9mmの丸鋼を,10%クエン酸二アンモニウム水溶液に 浸漬(60°C,1日間)し,表面の黒皮を除去して用いた。 モルタルの配合を表1に示す。配合は,水結合材比45% および 55%, C=500kg/m³および 650kg/m³とし, 空気の 連行を抑制するため消泡剤を適宜添加した。流動性は打 ち込みが可能な範囲で S/B を調整した。水準は、L およ びH,比較としてNおよびSF(N基材)水準を加えた。 なお,暴露試験開始時の圧縮強度は約50N/mm²である。

供試体を図1に示す。供試体は100×100×400mmの角 柱とし、かぶり10mm 位置に鉄筋を埋設した。打込みは 長手方向から行い,ブリーディング水が鉄筋背面に堆水 することを防いだ。鉄筋の両端はエポキシ樹脂で被覆し,

/ト(株)	正会員	○東 洋輔	正会員	河野	克哉
		多田 克彦	正会員	田中	敏嗣

端部において腐食しないように配慮した。打込み後,対 を成す100×400mmの2面以外をエポキシ樹脂で被覆し, 開放面上面の中央部にアクリル製のセル(内寸 W50× H100×L100mm)を設置した。セル直下には、鉛基準電 極を埋設設置し,鉄筋および基準電極にはリード線を接 続した。なお、供試体は1水準につき2体作製した。

養生に関して、初期養生をNは8日、HおよびNSF は3日,Lは14日間の湿潤養生を行い,その後気中養 生とした。暴露開始は材齢28日とし、セルに10%濃度 NaCl 水溶液を満たし、浸透供給した。塩水は所定の濃 度を保つよう定期的に補充・交換した。なお、本実験は 全て 20℃, RH60%環境下で行った。

暴露中は電位差計により自然電位を計測(1回/日)し, 値が卑に急変した時を鋼材表面の不動態皮膜が破壊さ れた時(腐食開始)と判断した。腐食を検知された供試 体は,解体し,腐食箇所を含むモルタルを乾式切断によ り試料採取した。試料は EPMA で塩素の面分析を行い, かぶり 10mm 位置のセメントペースト部の CI濃度を塩 水セルの範囲で平均し Clim とした。その他の測定項目は、 CI浸透深さおよび鉄筋の腐食面積とした。

表 1 モルタルの配合

	W//D	単位量(kg/m ³)				A :	σ	
水準名	W/ В (%)	W	B (kg/	′m³)	S	Т	Air (%)	(NL (mm ²)
	(/0)	(kg/m^3)	С	SF	(kg/m^3)	(B×mass%)	(/0)	(N/mm)
L45-500	45	225	L: 500	-	1599	0.05	0.8	60.5
L55-500	55	275	L: 500	-	1470	0.02	1.1	47.2
L55-650	55	358	L: 650	-	1140	0	1.3	50.9
H45-500	45	225	H: 500	-	1583	0.05	0.9	58.8
H55-500	55	275	H: 500	I	1454	0.02	1.1	52.0
N55-500	55	275	N: 500	-	1455	0.05	0.8	53.4
SF55-500	55	275	N: 450	50	1440	0.1	1.2	41.9



キーワード 鋼材腐食発生限界濃度,低熱ポルトランドセメント,早強ポルトランドセメント,自然電位 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL043-498-3804 連絡先

3. 実験結果

-408

自然電位の結果を図2に示す。なお、自然電位は飽 和硫酸銅基準電極(以下,CSE)に換算・表記している。 自然電位は材齢に伴い、貴に移行した。その後、約50mV 卑に急変したタイミングで供試体を解体した。その結果, 鉄筋には錆が発生し、腐食面積は2~11mm²程度で、点 靖程度であることを確認した。すなわち、本手法は鉄筋 の腐食発生直後を捉えられたと判断できる。なお、腐食 開始時期はHよりLの方が早くなる傾向を示した。

CI浸透深さ(0.1N 硝酸銀水溶液噴霧)の結果を図3 に示す。図中には供試体解体時に測定した結果(点)お よび別途作製した円柱供試体を塩水に浸漬暴露した結 果(線)を併記している。円柱供試体の結果(線)から, LはHよりCI浸透速度が速くなることを確認した。ま た,解体した供試体(点)のCI浸透深さは20~30mm であり,かぶり10mmを超えた値であった。

腐食発生時の CI のマッピング例 (L55-500, H55-500) を図4に、全CI濃度分布曲線を図5に示す。これらか ら、LおよびHは同じW/Bであっても、腐食発生時の CI浸透量が異なり、Lの方が小さかった。かぶり10mm の全 CI濃度すなわち Cim と単位結合材量との関係を図 6に示す。なお、腐食面積が11mm²(点錆程度)より大 きい水準は除外した。図6より、ClimはHよりLの方 が小さくなること、Clim は単位結合材量に応じて増加し、 単位結合材量が多くなると示方書 C_{lim} との乖離が大き くなることを確認した。なお、本検討は堀口らの実験¹⁾ を参考にしており、NのC_{lim}はW/C=55%, C=291kg/m³, コンクリートの場合で、2.5kg/m³になる¹⁾。ここで、 C_{lim} と単位結合材量に正の直線相関があると仮定し、Lから 求めた相関式 (C_{limL}=0.051B-18.4) に, C_{limN} と C_{limL}の差 分 4.6 kg/m³を加え(C_{limN}=0.051B-13.8), 文献のセメン ト量 (B=291kg/m³) を代入すると, C_{limN} は 1.1kg/m³ に なる。Lの相関式を用いたため値が多少異なるが、同程 度と判断し、本実験で得られた Clim は妥当と判断した。

4. まとめ

セメント種類(L, H, N)が異なる場合, CFの浸透 速度,自然電位の経時変化から判断した腐食発生時期が 異なる。鋼材腐食発生限界 CF濃度は, H より L の方が 小さく,単位結合材量に応じて増加した。

参考文献

1) 堀口賢一,丸屋剛,武若耕司:腐食発生限界塩化物イオン濃度に及ぼすコンクリート配合の影響,コンクリート工学年次論文集,Vol.29, No.1, pp.1377-1382 (2007)



