

# 高炉スラグ微粉末を使用したコンクリート中の鋼材の腐食発生限界塩化物イオン濃度

大成建設土木技術研究所 正会員 ○堀口 賢一  
 大成建設土木技術研究所 フェロー会員 丸屋 剛

## 1. はじめに

新設される鉄筋コンクリート構造物の塩害耐久性照査は、潜伏期の期間に対して行われており、腐食発生限界塩化物イオン濃度が  $1.2\text{kg/m}^3$  に達するまでの時間として評価されている<sup>1)</sup>。ここで用いられている腐食発生限界塩化物イオン濃度  $1.2\text{kg/m}^3$  は、コンクリートの配合にかかわらず一定であるが、実際には水セメント比やセメントの種類により異なると考えられる。本研究では、結合材として高炉セメントB種相当の混合セメントを使用した、水結合材比 65%のコンクリートについて、腐食発生限界塩化物イオン濃度を測定結果から算定し、既報の普通ポルトランドセメントの場合の実験結果<sup>2)</sup>と比較した。

## 2. 実験内容

表-1 にコンクリートの配合、表-2 に使用材料を示す。コンクリートの水結合材比は 65%とし、結合材の種類は、普通ポルトランドセメント単体と、普通ポルトランドセメントの 50%を高炉スラグ微粉末に置換した 2 ケースとした。供試体数量は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート供試体（以下、普通供試体）で 7 体、高炉スラグ微粉末を使用したコンクリート供試体（以下、高炉供試体）で 5 体である。

図-1 に供試体と塩化物イオンの供給方法を示す。供試体は、 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$  の角柱とし、鉄筋は D19 をかぶり 20mm と 25mm で 2 本配置した。供試体の断面中央には、鉄筋と直接接触しないようにして鉛照合電極を 1 本配置した。塩化物イオンの供給は、供試体上面中央の幅 5cm × 奥行 10cm の範囲に中空の角型プラスチック容器を固定し、これに濃度 10%の塩水を満たして行った。また、供試体側面からの水の散逸を防ぐため、供試体 4 面にはエポキシ樹脂を塗布し、上下面のみを開放面とした。本実験では、鉛照合電極による自然電位の経時変化を 10 分ごとに測定し、自然電位に低下が見られた時点で供試体から鉄筋を取り出して、腐食状況を目視で確認した。また、コンクリート内部への塩化物イオンの浸透量を、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの測定方法」に従い測定した。

表-1 コンクリートの配合

供試体 記号	Gmax mm	スランプ <sup>°</sup> cm	空気量 %	水結合材比 %	s/a %	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
						水	セメント	混和材	細骨材	粗骨材	混和剤
65N	13	12.0	5.2	65	52	165	254	—	974	904	2.55
65BB		14.5	4.6	65	52	171	132	132	938	892	2.60

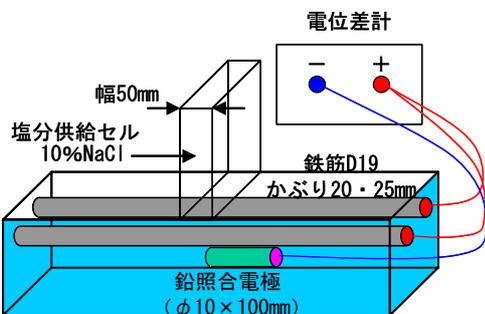


図-1 供試体および実験方法

表-2 コンクリートの使用材料

使用材料	品質
セメント	普通ポルトランドセメント, 密度 $3.16\text{g/cm}^3$
混和材	高炉スラグ微粉末, 密度 $2.89\text{g/cm}^3$ , 比表面積 $4770\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	山砂, 表乾密度 $2.59\text{g/cm}^3$ , 吸水率2.15%
粗骨材	碎石, 表乾密度 $2.67\text{g/cm}^3$ , 吸水率0.74%
混和剤	リグニンスルホン酸系 A E 減水剤

キーワード コンクリート, 腐食発生限界塩化物イオン濃度, 高炉スラグ微粉末, 自然電位

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設土木技術研究所土木構工法研究室 TEL 045-814-7228

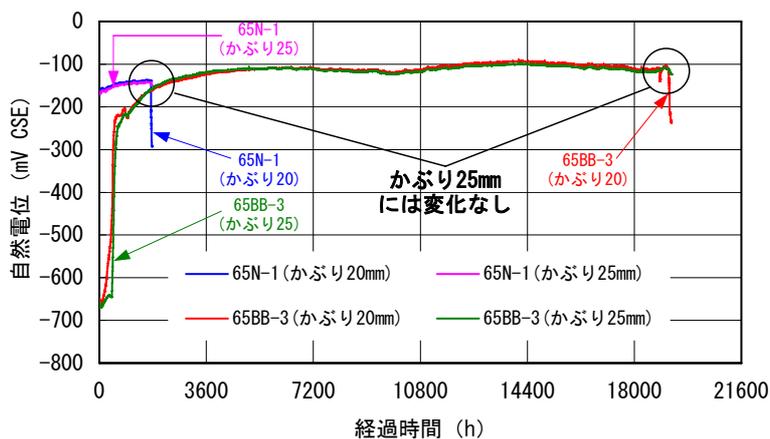


図-2 自然電位の経時変化

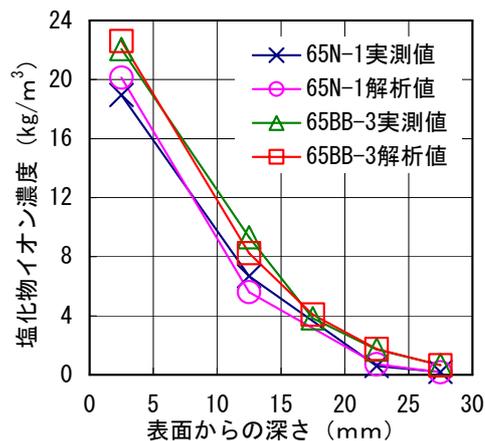


図-3 塩化物イオン濃度分布

### 3. 実験結果

図-2 に自然電位の経時変化を示す。普通供試体、高炉供試体ともに、ある時点で急激に自然電位が低下する現象が見られた。鉄筋表面での腐食は、かぶり 20mmの鉄筋に見られ、かぶり 25mmの鉄筋には見られなかった。鉄筋表面の腐食面積は 3～90mm<sup>2</sup>と小さく、自然電位に低下が見られた時点鉄筋に腐食が生じた時点として問題ないと考えられる。

図-3 に塩化物イオン濃度の深さ方向への分布を示す。腐食発生限界塩化物イオン濃度は、この実測値の分布から、表面塩化物イオン濃度  $C_0$  と塩化物イオンの見掛けの拡散係数  $D$  を、最小二乗法により求め、これらから算定した自然電位が低下した時点のかぶり 20mm の位置での塩化物イオン濃度とした。

図-3 にこのようにして算出した  $C_0$  と  $D$  に基づく、塩化物イオン濃度分布を解析値として示す。

表-3 腐食発生限界塩化物イオン濃度

供試体 No.	電位低下までの時間 (h)	表面塩分量 $C_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	拡散係数 $D$ (cm <sup>2</sup> /年)	腐食発生限界塩化物イオン濃度 (計算値) (kg/m <sup>3</sup> )
65N-1	1595	24.9	2.86	1.25
65N-2	1760	19.4	4.78	2.89
65N-3	1404	20.6	4.99	2.34
65N-4	1722	20.4	3.76	2.04
65N-5	1393	19.2	4.50	1.82
65N-6	1321	20.0	5.10	2.14
65N-7	1636	17.8	6.54	3.57
65BB-1	9253	11.4	1.05	2.04
65BB-2	8657	33.9	0.60	2.25
65BB-3	19062	27.0	0.34	2.70
65BB-4	16929	38.7	0.30	2.45
65BB-5	18799	32.8	0.42	4.47

平均 2.29

平均 2.78

表-3 に塩化物イオンの供給を始めてから自然電位が低下するまでの時間、 $C_0$ 、 $D$ 、および腐食発生限界塩化物イオン濃度を示す。自然電位が低下するまでの時間は、普通供試体で平均 1547 時間<sup>2)</sup>、高炉供試体で平均 14540 時間であり、高炉供試体が普通供試体の 9.4 倍長かった。見掛けの拡散係数 $D$ は、普通供試体で平均 4.65cm<sup>2</sup>/年<sup>2)</sup>、高炉供試体で平均 0.54cm<sup>2</sup>/年であった。また、腐食発生限界塩化物イオン濃度は、普通供試体では平均 2.29kg/m<sup>3</sup>で、信頼係数 95%での母平均区間は 1.59～2.99kg/m<sup>3</sup>であった<sup>2)</sup>。一方、高炉供試体では平均 2.78kg/m<sup>3</sup>で、信頼係数 95%での母平均区間は 1.57～3.99kg/m<sup>3</sup>となった。

### 4. まとめ

- 1)高炉スラグ微粉末を 50%置換した、水結合材比 65%のコンクリートの腐食発生限界塩化物イオン濃度は、普通ポルトランドセメント単体の場合に比べて、今回の実験方法では、平均で 1.2 倍大きい結果が得られた。
- 2)高炉スラグ微粉末を 50%置換した場合、腐食が発生するまでの時間は平均で 9.4 倍長く、見掛けの拡散係数は平均でおよそ 1/8 であり、高炉スラグ微粉末を使用した場合の塩分浸透抵抗性が定量的に確認できた。

### 参考文献

- 1) 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書[設計編]，pp.119-122，2008.3
- 2) 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，pp.1377-1382，2007.7