

報告

[1074] 高炉スラグ組成物を利用したコンクリートの耐塩害性

正会員 ○小野寺収 (北海道電力総合研究所)

正会員 坪田則行 (北海道電力藻岩電力所)

1. まえがき

工場製作のコンクリート二次製品は、一般に通常のコンクリート構造物と比べてかぶりが小さく、塩害に対しては不利な構造と考えられるが、これを改善するひとつの方法として、耐塩害性の結合材の使用が考えられる。高炉スラグ組成物（高炉スラグ高微粉末、高炉スラグ細骨材）、早強ポルトランドセメントおよび高性能減水剤の混合物を結合材とするコンクリートは、既往の報告¹によって高強度・高耐久性を指向できることが示されているが、塩害に対する耐久性についてはいまだ確認されていない。

本報告は、この結合材（NEM）をコンクリートポールに適用した場合の耐塩害性を、普通ポルトランドセメント使用の従来製品と比較するために実施した2つの試験（塩分浸透試験および電食試験）の結果を報告するものである。

表-1 使用材料

2. 使用材料

供試体作製に使用した材料は、表-1に示すとおりである。NEMは、高炉スラグ高微粉末（ブレーン比表面積 8,000 cm²/g程度）、高炉スラグ細骨材（平均粒径約 0.8mm）、早強ポルトランドセメントおよび高性能減水剤がプレミックスされた結合材であり、各構成材料の混合重量比は、およそ表-2に示すとおりである。また、高炉スラグ高微粉末の化学成分は、表-3に示すとおりである。

材 料	種 别	比 重	吸水率(%)	F.M.
セメント	普通ポルトランドセメント	3.15	—	—
NEM	—	2.90	—	—
細骨材	登別産	2.70	0.75	2.50
粗骨材	白老産砕石	2.66	2.18	6.90
混和剤	マイティ150	1.20	—	—

表-2 NEMを構成する材料の混合比

構 成 材 料	比 重	構成重量比
早強ポルトランドセメント	3.13	0.3
高炉スラグ高微粉末	2.91	0.3
高炉スラグ細骨材	2.76	0.4

表-3 高炉スラグ高微粉末の化学成分

化 学 成 分 (%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
29.8	13.7	0.5	43.4	5.2	5.5

表-4 配合

ケース	Gmax (mm)	スランプ (cm)	W/NEM (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
						W	NEM	C	S	G	混和剤
N-C	20	15±2	26.9	—	36	188	700	—	532	926	—
C-C	20	12±3	—	33	41.6	139	—	420	800	1130	3.36

4 cmの円筒形供試体を高さ10 cmにコンクリートカッターで切断した後、切断面および内面をエポキシ樹脂接着剤で防水コーティングしたものである。

この供試体を材令28日まで水中養生後、図-1に示すように3%食塩水中に浸漬し、21日、42日、および70日経過時点で供試体表面から深さ1 cmまでの粉碎試料をコンクリートドリルにより採取した。試料の採取にあたっては、粗骨材最大寸法20 mmに対してドリル径が14.5 mmと小さく粗骨材の影響を無視できないことから、供試体の8箇所から採取した試料を混合して試料採取箇所の違いによる塩分のばらつきを平均化するよう考慮した。

測定塩分は可溶性塩分とし、試料に50°Cの蒸留水を加えて30分間攪拌後、塩分測定器ソルタ-C-6にて測定し、両ケースの塩分浸透性を比較した。

なお予備試験としてJIS A1136に準拠し、外径20 cm、高さ30 cm、厚さ4 cmの供試体により材令1, 7, 14日において圧縮強度試験を実施し、遠心成形・蒸気養生による両ケースの強度発現性を比較した。

3.2 電食試験

供試体は、表-6に示す配合のモルタルで各ケース9本計18本作製したが、塩分浸透試験と同じ単位結合材・砂比でフロー値170 mmが得られるように水量を決定した。供試体形状は、直径5 cm、高さ10 cmの円柱形で、中心にφ7 mmのPC鋼線を埋設し、下面をエポキシ樹脂接着剤で防水コーティングしたものである。

この供試体を材令28日まで水中($20 \pm 3^\circ\text{C}$)養生した後、図-2に示すように3%食塩水中に浸漬し、埋設PC鋼線を陽極として35 V定電圧で直流通電した。

各供試体は隨時電流を測定し、また表面にひび割れが確認されるまでの任意の時点で試験を終了し、埋設PC鋼線を取り出して腐食量を測定した。PC鋼線の腐食量は、試験開始前の重量と試験終了時点に10%クエン酸2アンモニウム溶液でさびを洗った後の重量との差で表わした。

測定値から、両ケースの電流量の経時変化および電食係数を求め、比較した。

表-5 遠心成形・蒸気養生条件

条件	内容
遠心成形	遠心力締固め：初速2.5G 1分、中速12G 2分 中高速22G 2分、高速32G 3分
蒸気養生	常圧蒸気養生：前養生1時間、最高温度65°C 保持時間1時間、昇温20°C/h

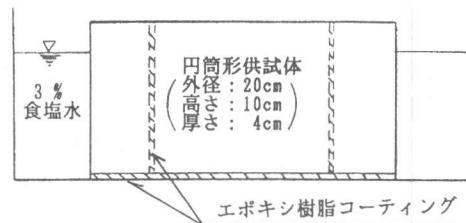


図-1 塩分浸透試験の概要

表-6 配合

ケース	重量比				フロー値 (mm)
	NEM	C	S	W	
N-M	1000	-	760	221	170
C-M	-	1000	1905	360	

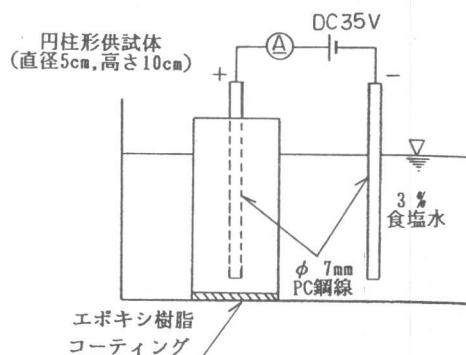


図-2 電食試験の概要

4. 試験結果

4.1 塩分浸透試験

(1) 圧縮強度

予備試験として実施した圧縮強度試験の結果は図-3に示すとおりである。

N-Cの遠心成形・蒸気養生による強度発現性はC-Cと比べて遜色なく、N-CはC-Cと同程度あるいはC-Cを若干上回る強度が期待できるものと考えられる。

(2) 塩分浸透量

供試体の表面から深さ1cmまでの採取試料の重量に対するNaCl重量%の測定結果は、表-7に示すとおりである。試料中には相当量の粗骨材が混入しているものと考えられることから、試料中のモルタル分の重量を配合から求め、これに対するNaCl重量%に測定値を換算したものモルタル塩分濃度とした。浸漬日数に対するモルタル塩分濃度の変化は図-4に示すとおりである。N-CはC-Cに比べて塩分の浸透速度が小さく、塩分の浸透を抑制する効果があるものと考えられる。

4.2 電食試験

(1) 電流量の経時変化

N-MおよびC-Mの電流量(A·hr)の経時変化は、それぞれ図-5、図-6に示すとおりである。

図において曲線の勾配は電流を表わすが、C-Mでは16mA程度なのに対し、N-Mは7mA程度となっており、明らかにN-Mの方が電流が小さい。このことから、N-MはC-Mに比べて電気抵抗が大きく、腐食電流を小さくする効果があるものと考えられる。

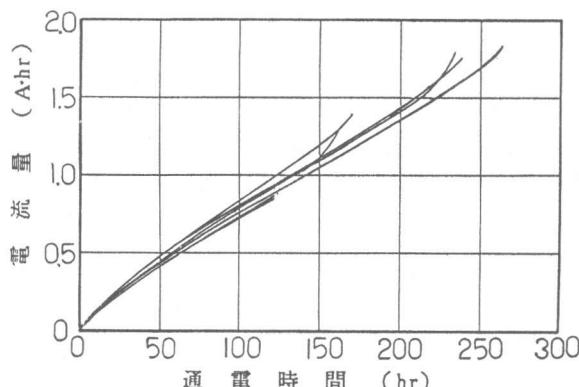


図-5 電流量の経時変化 (N-M)

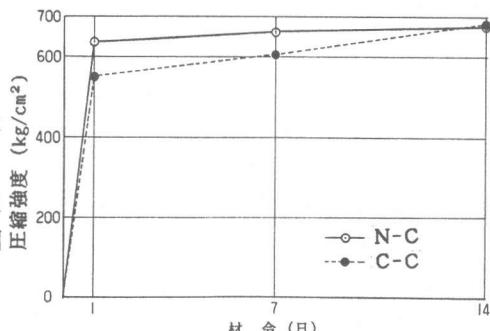


図-3 圧縮強度試験結果

表-7 塩分測定結果

ケース	試料に対するNaCl重量%		
	21日	42日	70日
N-C	0.079	0.153	0.166
C-C	0.097	0.183	0.215

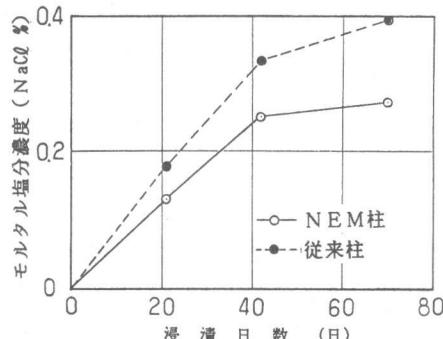


図-4 モルタル塩分濃度の変化

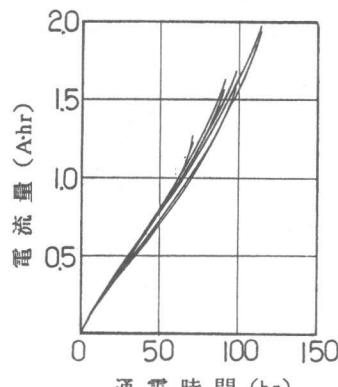


図-6 電流量の経時変化 (C-M)

(2) 電流量とPC鋼線腐食量の関係

鋼材が電食を受ける場合、鋼材の陽極腐食量（さび量）と電気量との間にはファラデーの法則と呼ばれる次式のような定量的関係が成立する。

$$W_0 = K i t \quad (1)$$

ここに W_0 : 鋼材腐食量 (g) i : 電流 (A)

K : 鉄の電気化学当量 (1.042 g / A·hr) t : 電解時間 (hr)

実際の腐食量は種々の因子により影響されるため上式のとおりにはならず、電食係数 η を導入した次式で示される。

$$W = K \eta i t \quad (2)$$

電流量 $i t$ (A·hr) と PC 鋼線腐食量 W (g) の関係は、図-7 に示すとおりである。腐食量は、多少のばらつきはあるがほぼ電流量と直線関係にある。この関係を原点を通る直線で近似して電食係数 η を求めると、C-M が $\eta = 0.148$ に対し N-M は $\eta = 0.0998$ であり、電食係数は N-M の方が約 33 % 小さい。

のことから、N-M は C-M に比べて電流量に対する鋼材腐食量を小さくする効果があるものと考えられる。

5.まとめ

(1) 塩分浸透試験の結果、遠心成形・蒸気養生

により作製したコンクリート供試体の塩分浸透速度は、普通ポルトランドセメントを使用したものに比べ NEM を使用したものが小さく、NEM は塩分の浸透抑制に効果があるものと考えられる。

(2) モルタル供試体によって行なった電食試験の結果、NEM を使用したモルタルは、普通ポルトランドセメントを使用したものに比べて電気抵抗が大きく、腐食電流を小さくする効果があるものと考えられる。

(3) NEM を使用したモルタルは、普通ポルトランドセメントを使用したものに比べて電食係数が小さく、電流量に対する鋼材腐食量を小さくする効果があるものと考えられる。

謝辞：本試験の実施にあたり、多大なご指導、ご協力をいただいた日鐵セメント㈱ならびに北海道コンクリート工業㈱の関係者の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 今井益隆、大橋 猛、小出儀治、下林清一：高炉スラグ組成物を利用した高耐久性コンクリートに関する研究、北海道開発局土木試験所月報 No. 404, 1987, pp. 9~22

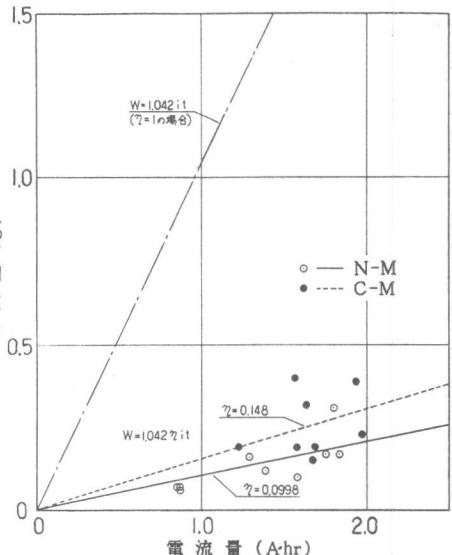


図-7 電流量と腐食量の関係