

高炉セメントコンクリートの塩化物遮へい性能 (I)

—EPMAによる面分析結果—

Chlorides-Arrest Capacity of Portland Blastfurnace Slag Cement Concrete (I)

—Area Analyses by EPMA—

小林一輔*・白木亮司*・星野富夫*

Kazusuke KOBAYASHI, Ryoji SHIRAKI and Tomio HOSHINO

1. は し が き

高炉セメントを用いたコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに比べて塩素イオンの遮へい性能が優れていることが実験的に確かめられており¹⁾、また、海洋環境における外部からの塩化物の浸透が少ないことが海洋暴露試験を通じて明らかにされている²⁾³⁾。本文は、普通ポルトランドセメントに高炉水砕スラグ微粉末を混入したコンクリートを用いて作成した供試体を海洋飛沫帯に5年間暴露し、その断面の電子線マイクロアナライザーによる面分析を行って塩化物の浸透が供試体の表層部に留まっていることを確認したものである。

2. 海洋暴露試験の概要

2.1 コンクリートの使用材料と配合

セメントは普通ポルトランドセメント、高炉水砕スラグ微粉末としてはガラス化率99%、塩基度1.80、粉末度4,320cm²/gのものを用いた。これらの化学成分を表-1および表-2に示す。細骨材は大井川産の川砂(砂岩)、粗骨材は秩父産の碎石(砂岩)を用いた。コンクリートの配合は水セメント比を60%とし、普通ポルトランドセメントのみを用いた単位セメント量327kg/m³の配合を基準配合として、高炉水砕スラグ微粉末(エスメント)をセメントの内割りで50%および70%置き換えた配合の

合計3種の配合のコンクリートを用いた。

2.2 供試体の形状寸法と暴露試験

供試体は10×10×120cmの矩形梁の内部に長さ110cm、公称径10mmの異形鉄筋を2本埋め込んだもので、暴露試験は図-1に示すようにコンクリート梁2本を1組として曲げ荷重状態で行った。

暴露した場所は、静岡県伊豆半島の東海岸に設置した暴露試験場であって、供試体は最高潮位から50cm程度上部の架台に固定した。この場所は満潮時には波に洗われ、干潮時にも海水飛沫を浴びる環境である。

3. 電子線マイクロアナライザーによる面分析

供試体の図-2に示すような位置から、厚さ約10mmの試料を切り出し、表面研磨の後炭素蒸着を行い、波長分散型電子線マイクロアナライザー(島津製作所:EPMA

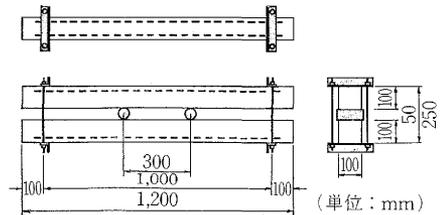


図-1 暴露供試体

表-1 普通ポルトランドセメントの化学成分 (%)

igloss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
0.5	0.2	21.8	5.2	3.1	64.9	1.3	2.1	99.1

表-2 高炉水砕スラグ微粉末の化学成分 (%)

igloss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Total・S	Mn ₂ O ₃	Total
2.6	—	32.9	12.3	0.9	41.0	6.0	1.0	0.5	97.2

*東京大学生産技術研究所 第5部

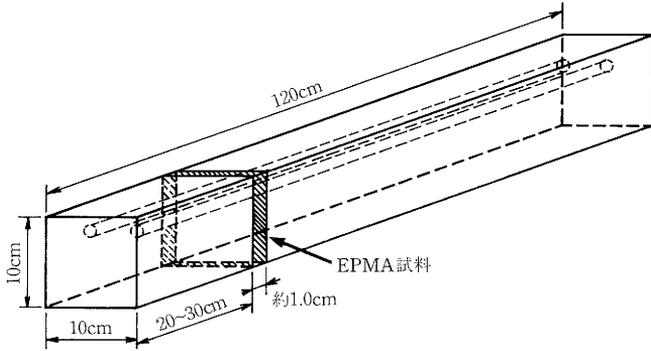


図-2 コンクリート梁よりのEPMA試料の切り出し

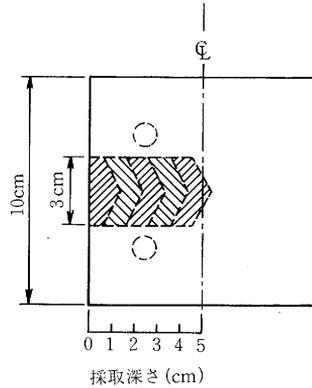


図-3 塩分分析試料の採取方法

8705) を用いて面分析を行うことにより、供試体表面からの塩化物の浸透状況を塩素の分析によって調べた。

分析は加速電圧20kVで約10 μ m ϕ のビームを照射した状態でステージスキャンさせて行った。元素濃度はX線カウント数を16段階に分け、それぞれを画面右側に示した16種類の色で示したものである。画面で青く見える部分は相対的に元素濃度が低く、黄 \rightarrow 赤 \rightarrow 白の順に濃度が高くなることを意味している。

写真-1~3は塩素の分析結果を示したものであるが、これらの写真を通じて明らかなことは、高炉水砕スラグ微粉末を混入したコンクリートでは塩素の浸透が表層部分に留まっており、しかもその傾向はスラグ量が多いほど顕著であるということである。

写真-4および5は同じ条件の下で同時に暴露した水セメント比が40%および50%の普通ポルトランドセメントを用いた供試体についての分析結果である。これらと写真-2および3を比較すると、これらのコンクリートよりも高炉水砕スラグ微粉末を混入した水セメント比が60%のコンクリートのほうがより効果的に塩素を遮へいしていることを示している。すなわち、水セメント比60%でスラグ量50%の場合の塩化物遮へい性能は、水セメント比が40%の普通ポルトランドセメント使用コンクリートにほぼ匹敵し、水セメント比60%、スラグ量が70%の場合にはこれよりも優れた塩化物遮へい性能を有することが明らかである。

一方、図-4は図-3のようにして供試体の表面から順次分析用試料をドリルによって採取し、JCI規準案「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に規定されている塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法によって測定したものであって、供試体各部分の全塩分の分析結果を試料厚さの中央部分に相当する位置にプロットした結果である。この図は高炉水砕スラグ微粉末の混入が塩化物の浸透を効果的に遮へいしていることを示し

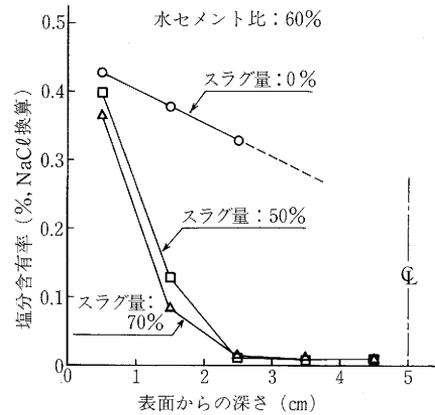


図-4 海洋飛沫帯に5年間暴露した高炉スラグコンクリートの塩化物の浸透

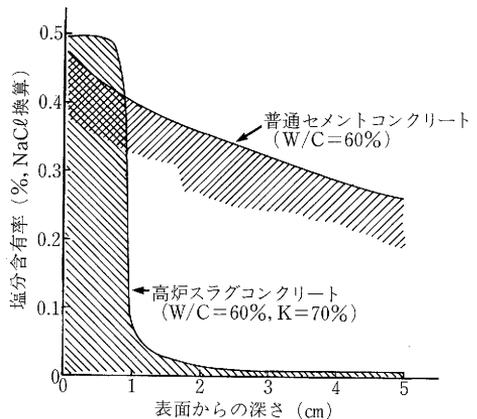


図-5 高炉スラグコンクリート供試体と普通ポルトランドセメントコンクリート供試体における塩分分布のモデル図

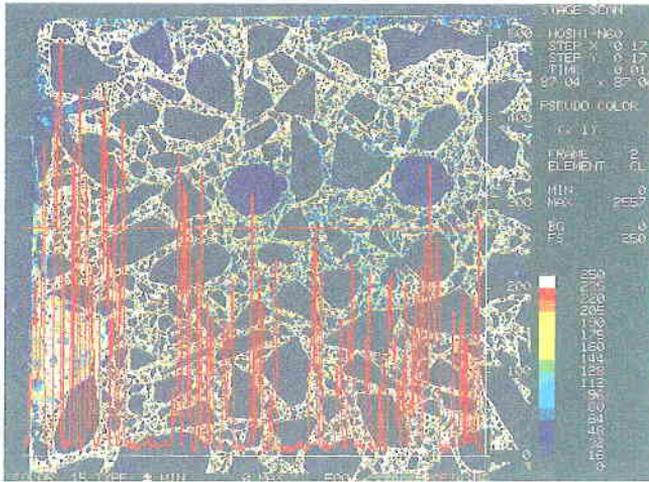


写真-1 普通セメントコンクリート (W/C=60%)の面分析結果 (Cl)

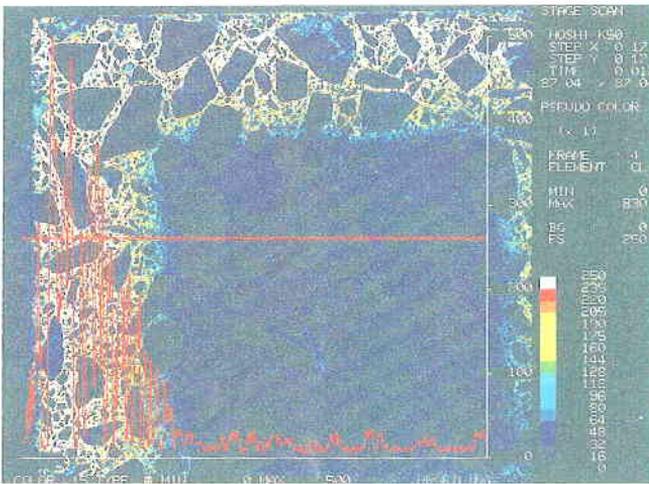


写真-2 高炉スラグコンクリート (スラグ置換率=50%)の面分析結果 (Cl)

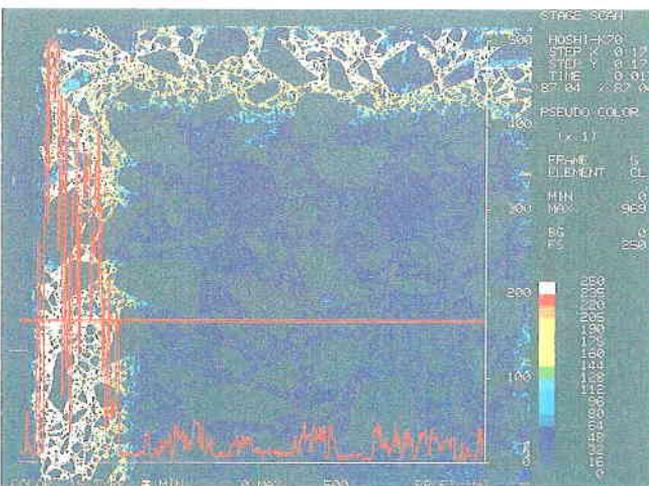


写真-3 高炉スラグコンクリート (スラグ置換率=70%)の面分析結果 (Cl)

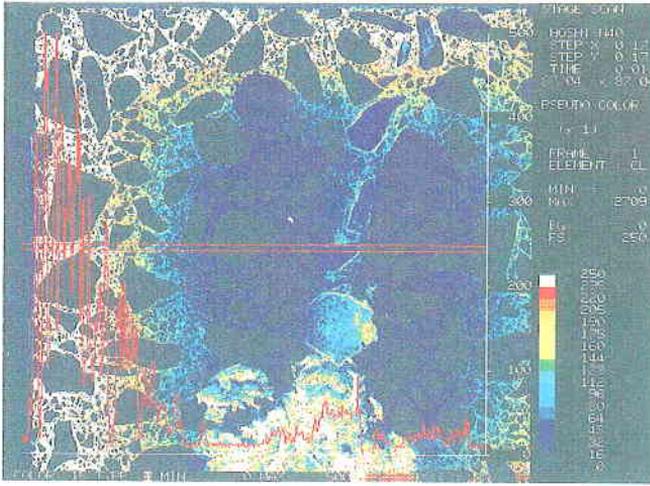


写真-4 普通セメントコンクリート (W/C=40%)の面分析結果 (CL)

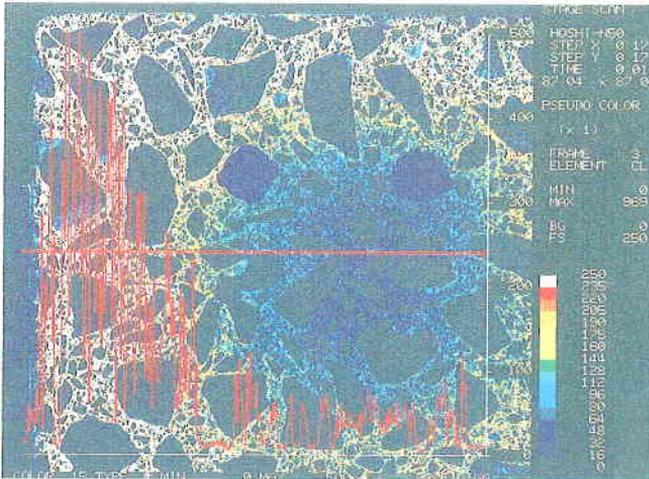


写真-5 普通セメントコンクリート (W/C=50%)の面分析結果 (CL)

ているが、写真-1～3の結果とこのような図を得るための試料の採取方法(図-3)を考慮して、高炉水砕スラグ微粉末混入コンクリートの塩化物遮へい機能をより明確に示すと図-5に示したモデル図のようになる。

高炉セメントを用いたコンクリートが優れた塩化物遮へい性能を示す理由については現在、以下のような2つの考え方があり、その1つは、コンクリートの化学的耐久性の面でマイナスであると考えられている水酸化カルシウムの生成量が少ないことと、この水酸化カルシウムがスラグと結合して非水溶性の石灰珪酸塩の水和物をつくるので組織が緻密になるためであるとするものであり、もう1つは高炉セメントの水和物が塩素イオンを化学的に固定するためであるとするものである。しかし今回の結果のみではいずれの機能によって高炉水砕スラ

グ微粉末の混入が塩化物を効果的に遮へいしているのかを明らかにすることが出来ない。今後は、塩化物の集中している部分の細孔構造や存在形態などを調べることでより上記の機能の解明を進める予定である。

(1989年3月30日受理)

参考文献

- 1) Mehta, P.K : Effect of Cement Composition on Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete, ASTM STP 629, 1977.
- 2) Page, C.L. et al : Diffusion of Chloride Ions in Hardened Cement Paste, Cement & Concrete Research, Vol. 11, No. 3, 1981.
- 3) 依田, 御所窪, 中川 : 海水の作用を受けた高炉セメントコンクリートについて, セメント技術年報, XXX (1976)