

金沢大学工学部 正員 鳥居 和之
金沢大学工学部 正員 川村 満紀

1. まえがき

コンクリート構造物の鉄筋腐食を防止するには、コンクリートの内部組織を鉄筋腐食の原因となる水分、酸素、炭酸ガスおよび塩素イオンが侵入しにくい密実な構造にすることが基本となる。このためには、セメントの種類とその使用量、水・セメント比および初期養生期間などを適切に選択することによって、かぶりコンクリートの品質を向上させることが重要になる。一方、省資源・省エネルギーの観点から、フライアッシュおよび高炉スラグ粉末のコンクリート用混和材としての有効利用が望まれている。フライアッシュおよび高炉スラグ粉末を使用したコンクリートにおいては、各混和材を含有するセメントの水和反応の過程での密実な内部組織の形成や塩素イオンの固定により、塩素イオンのコンクリート内部への浸透性が大きく低減されるとされている。しかし、フライアッシュおよび高炉スラグ粉末の水和反応は比較的遅く、また養生の影響を受けやすいので、これら混和材を含有するコンクリートの塩素イオンの浸透抑制効果は普通ポルトランドセメントコンクリートの場合よりも比較的長期に渡る養生条件に影響されると考えられる。

本研究では、コンクリート用の急速塩素イオン透過性試験装置(AASHTO T-277)により、各種コンクリートの塩素イオン透過性に及ぼす養生条件の影響について検討している。

2. 実験概要

2-1. 使用材料および配合

本実験において使用したフライアッシュ(T火力産、略号FA)および高炉スラグ微粉末(S製鉄社産、略号

BS)の物理的性質を表-1に示す。細骨材および粗骨材は富山県早月川産の川砂(比重:2.61, 吸水率:1.3%)および砕石(比重:2.69, 吸水率:0.8%, 最大寸法:25mm)である。セメントは普通ポルトランドセメント(N社製)を使用し、AE剤はピンソールレジン(Y社製)を使用した。コンクリートの配合条件は、単位結合材量(C+FA(またはBS))=300kg/m³、水・結合材比(W/C+FA(またはBS))=55%および空気量(5±1%)を一定とした。また、フライアッシュの置換率は30%(重量百分率)であり、高炉スラグ微粉末の置換率は50%(重量百分率)である。各種コンクリートの配合を表-2に示す。養生条件は、表-3に示すような水中養生(温度20℃の水中に浸漬)と気中養生(温度20℃、湿度60%の室内にて乾燥放置)の各種組み合わせであり、7日、28日および90日まで水中養生を行なった後に、所定期間(180日および365日材令)まで気中養生を継続した。

2-2. 急速塩素イオン透過性試験^{1), 2)}

急速塩素イオン透過性試験装置(AASHTO T-277)は、図-1に示すように塩素イオン透過セル、分岐抵抗器、温度測定装置および記録計から構成されている。塩素イオン透過セルの正極側のセルには0.3NのNaOH溶液、負極側のセルには3%のNaCl溶液が満たされ、60Vの一定電圧下で6時間の間にコンクリート中を流れる電流量(Coulombs)によって、コンクリートの塩素イオン透過性を評価する。AASHTOの評価基準としては表-4に示すものが提案されている。測定用供試体は、直径1

表-1 混和材料の物理的性質

	フライアッシュ	高炉スラグ粉末
強熱減量 (%)	2.5	0.5
比重	2.28	2.92
ブレン値 (cm ² /g)	3960	3700
88μmフルイ残分 (%)	1.3	0.8

表-2 各種コンクリートの配合

コンクリートの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			スラブ (cm)	空気量 (%)
			水	セメント	FA(BS)		
ブレン	45	36	135	300		2.0	4.6
	55	38	165	300		15.0	5.8
	65	40	195	300		18.0	5.7
フライアッシュ30% スラグ50%	55	38	165	210	90	15.5	5.7
	55	38	165	150	150	12.5	6.2

表-3 水中および気中養生 表-4 塩素イオン透過性の評価基準
の各種組み合わせ

養生条件	養生期間 (日)		塩素イオン透過量 (クーロム)	AASHTO-T277における評価基準
	水中養生期間 (日)	気中養生期間 (日)		
A	180	0		
A'	365	0		
B	90	90		
B'	90	275		
C	28	152		
C'	28	337		
D	7	173		
D'	7	358		
E	0	180		
E'	0	365		

塩素イオン透過量 (クーロム)	AASHTO-T277における評価基準
> 4000	High
2000~4000	Moderate
1000~2000	Low
100~1000	Very Low
< 100	Negligible

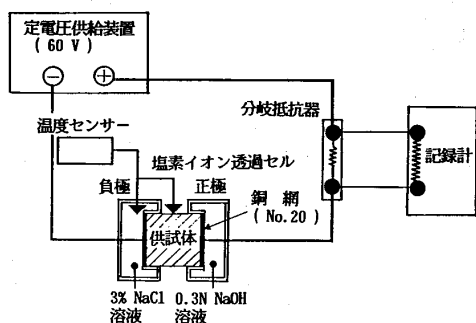


図-1 急速塩素イオン透過性試験装置の概略

0 cm、高さ 2.0 cm の円柱供試体の中央部より切り出された直径 1.0 cm、高さ 5 cm の円盤状のものであり、両端面を研磨した後、側面をエポキシ系塗料で塗装し、真空飽水装置によりコンクリート内を完全に飽水させ、実験に供した。試験は温度 20℃ の恒温室内で実施し、測定結果は 2 個の平均値である。

3. 試験結果および考察

3.1. 水中養生期間の塩素イオン透過量に及ぼす影響
 各種コンクリートの塩素イオン透過量に及ぼす水中養生期間の影響を図-2 および 3 に示す。図-2 に示すように、普通セメントコンクリートでは、水・セメント比が小さくなるにつれて塩素イオン透過量が減少し、とくに水・セメント比 45% は水・セメント比 55% および 65% と比較してかなり小さい塩素イオン透過量を示す。また、普通セメントコンクリートでは、いずれの水・セメント比のものも材令の経過にともなう塩素イオン透過量の減少は比較的小さい。一方、図-3 に示すように、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートでは、材令 28 日以後の材令の経過にともなう塩素イオン透過量の減少は非常に大きく、材令 365 日においては同一水・セメント比の普通セメントコンクリートと比較してフライアッシュ 30% の場合で 1/10、高炉スラグ微粉末 50% の場合で 1/3 程度となる³⁾。高炉スラグ微粉末の塩素イオン透過量の低減効果はフライアッシュよりも早期に表われるが、長期におい

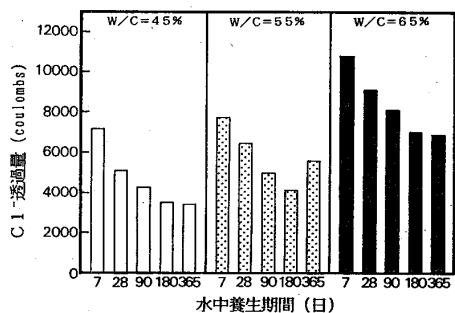


図-2 普通セメントコンクリートの塩素イオン透過量 (水中養生)

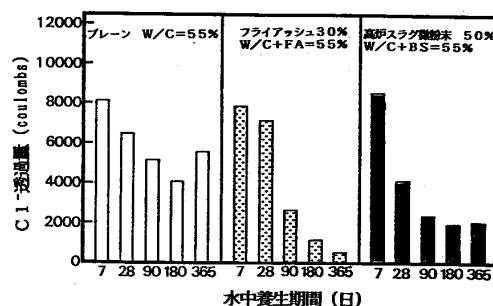


図-3 各種コンクリートの塩素イオン透過量 (水中養生)

てはフライアッシュの方がより大きな塩素イオン透過量の低減効果を示す。

3.2. 気中養生期間の塩素イオン透過量に及ぼす影響

各種コンクリートの塩素イオン透過量に及ぼす気中養生期間 (初期水中養生 7 日以後に気中養生を継続) の影響を図-4 および 5 に示す。気中養生が長期に渡って継続されると、セメントの水和反応およびボゾラン反応の減速または停止、および乾燥収縮による影響が大きく表われるようである。図-4 に示すように、普通セメントコンクリートでは、水・セメント比 45% のものと異なり、水・セメント比 55% および 65% のものは気中養生期間が長くなるにつれて塩素イオン透過量が増大する。一方、図-5 に示すように、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートでは、気中養生期間の長い場合にも塩素イオン透過量が減少する。

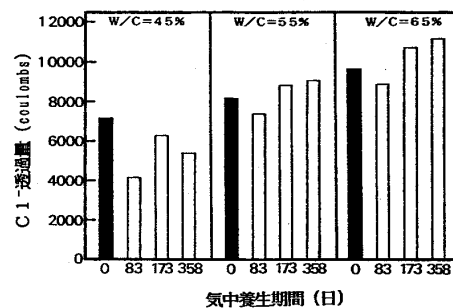


図-4 普通セメントコンクリートの塩素イオン透過量 (気中養生)

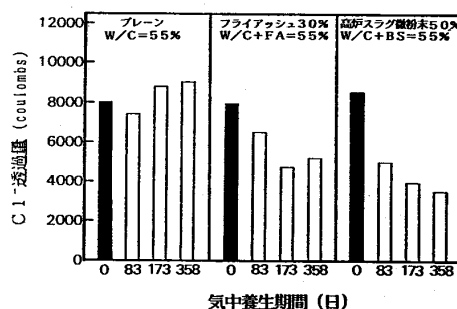


図-5 各種コンクリートの塩素イオン透過量 (気中養生)

3・3. 水中養生および気中養生の組み合わせの塩素イオン透過量に及ぼす影響

各種コンクリート（180日および365日材令）の塩素イオン透過量に及ぼす水中養生および気中養生の組み合わせの影響を図-6、7、8および9に示す。図-6および7に示すように、普通セメントコンクリートでは、水・セメント比45%のものは初期材令より塩素イオン透過量が小さく、また初期水中養生期間の影響もあまり見られないが、水・セメント比55%および65%のものは材令が長期になると初期水中養生期間が塩素イオン透過量に及ぼす影響が大きくなる。また、普通セメントコンクリートでは、水中養生後に、気中養生を行なった場合、長期において気中養生のみのものよりも塩素イオン透過量が増大する。このことは、水中養生から気中養生への急激な環境の変化によりクラックが発生し、それがその後の乾燥の進行とともに助長されたことによるものと推察される。一方、図-8および9に示すように、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートでは、初期水中養生期間が短くなるにつれて塩素イオン透過量は水中養生のみの場合と比較して増大し、気中養生のみのものが最大の塩素イオン透過量を示す。

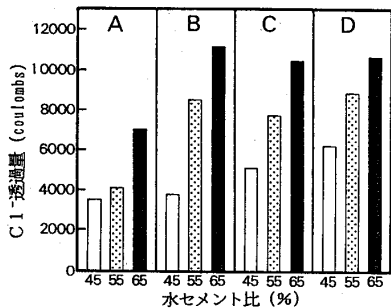


図-6 普通セメントコンクリートの塩素イオン透過量 (180日材令)

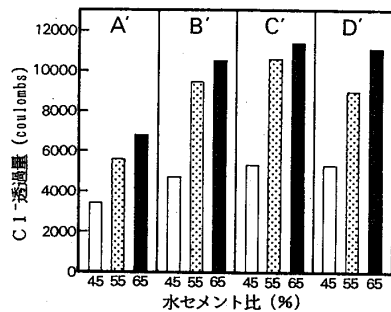


図-7 普通セメントコンクリートの塩素イオン透過量 (365日材令)

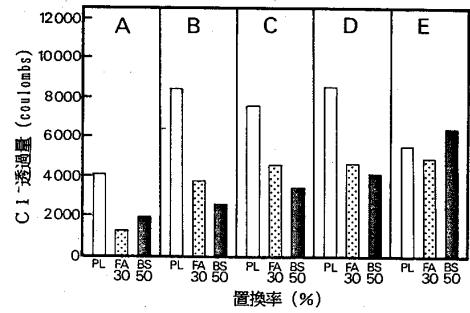


図-8 各種コンクリートの塩素イオン透過量 (180日材令)

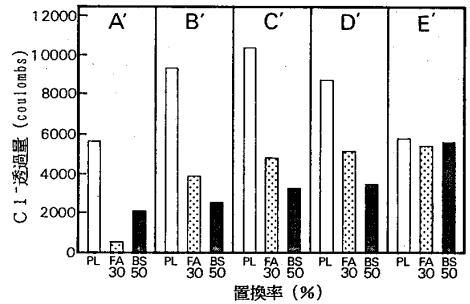


図-9 各種コンクリートの塩素イオン透過量 (365日材令)

4. 結論

本研究において得られた主要な結果をまとめると次のようである。

- (1) フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは水中養生が継続されると普通セメントコンクリートと比較して塩素イオン透過量が大きく減少する。
- (2) 普通セメントコンクリートは気中養生期間が長くなると塩素イオン透過量が増加するが、フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは気中養生期間が長い場合にも塩素イオン透過量が減少する。
- (3) フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートは初期水中養生期間にほぼ比例して塩素イオン透過量が減少する。
- (4) 普通セメントコンクリートは水中養生から気中養生への環境の変化により長期における塩素イオン透過量が増加する。

参考文献

- 1) D. Whiting, Federal Highway Administration FHWA /RD-81/119 (1981).
- 2) D. Whiting and L. Kuhlmann, Concrete International, 87-4, 18 (1987).
- 3) L. Shiqun and D. M. Roy, Cement & Concrete Research, 16, 749 (1986).