

論文

[1073] ポリマー含浸コンクリートの耐久性に関する研究

正会員○新藤 竹文(大成建設株式会社)

正会員 松岡 康訓(同上)

正会員 内藤 隆史(同上)

1. はじめに

コンクリートはセメント・水・骨材等の比重の異なる種々の材料を組合わせた複合材料であるため運搬・打設・締固め等の各施工段階において材料分離を生じ、構造物全体の品質を均等にすることは非常に困難な材料であると言える。さらに通常の施工においては、養生方法・養生期間に多くの制約があるために、コンクリートの水和反応が不十分で本来有するはずの材料自体の諸性能が不完全な状態のまま、さまざまな劣化環境にさらされることになる。従って、コンクリート構造物の耐久性を向上させるためには、環境暴露に対する劣化抵抗性能を改善することは勿論であるが、同時にコンクリート自体の品質低下をも防止・改善する様な、総合的なコンクリート保護技術が必要となる。

筆者らは、コンクリートの表層物性改善による構造物の耐久性向上を目的として研究を進めてきたが、ここに、強度特性・緻密性能に優れたポリマー含浸コンクリート(以下、PICと略する)に着目した。コンクリートの表層部にポリマー含浸コンクリートを適用することで、以下のような効果が期待され、耐久性向上に非常に有効な手段になりうると考えた。

①PICの有する高強度特性・高緻密性により環境暴露に対する劣化抵抗性能を向上させる。

②PICにより表層を緻密にし内部からの水の発散を防止することで、乾燥収縮等の無い理想的な養生状態を堅持し、コンクリート材料本来の性能を十分に発揮させる。

ここに筆者らは、樹脂含浸処理を施したプレキャストのコンクリート版(以下、PIC版と略する。)をコンクリート構造物の表面に配置し、本PIC版とコンクリートとを複合一体化することにより、構造物全体の耐久性を向上させる工法(PIC版工法:写真-1参照)を開発するに至った。

本論文は、PIC版とコンクリートとの複合部材において行った、遮水性能・遮塩性能・防食性能に関する試験、および、PIC版を表面に配置することによる内部コンクリートの物性改善性能に関する試験について、その研究結果をまとめたものである。

2. 遮塩性能・防食性能に関する研究

本研究は、PIC版をコンクリート表面に配置した複合部材の、腐食因子に対する遮蔽性能を評価することを目的としたもので、圧力飽和食塩水中に浸漬した場合の遮水性能・遮塩性能の評価を行う加圧吸水試験および、乾湿繰返し環境下での遮塩性能・防食性能の評価を行う腐食促進試験の2項目の試験を行った。

2.1 加圧吸水試験

2.1.1 試験方法

加圧吸水試験は、圧力15 kgf/cm²の飽和食塩水中に試験体を浸漬する方法とした。浸漬期間は28日間とし、定期的に吸水率の経時変化(試験体初期重量に対する測定時重量の百分率)の測定を行うとともに、所要の浸漬期間終了後試験体中の内部塩分量を測定し、塩水の浸透状況を調

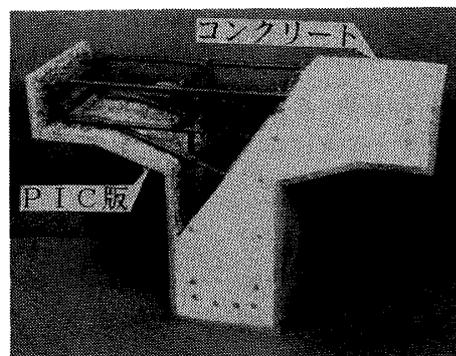


写真-1 PIC版工法

査した。ここで、内部塩分量の測定は、試験体表面部から深さ方向に試料を採取し、各深さ位置での可溶性塩分量を「建設省土木研究所法」に準拠した電位差滴定法により測定した。

2.1.2 試験体

試験体は図-1に示すように15cm×15cm×60cmの形状寸法であり、P I C 版（厚さ15mm）を表面に配置しその内部に基準コンクリートを打設したP I C 版とコンクリートとの複合部材（以下、P I C 版試験体と略する。）、および、基準コンクリートのみの部材（以下、基準試験体と略する。）の2種類である。

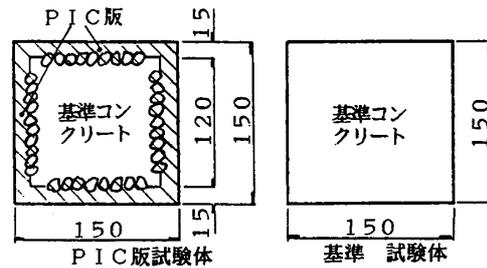


図-1 加圧吸水試験体形状

なを、P I C 版および基準コンクリートの配合は、表-1に示すとおりであり、また、P I C 版は脱気含浸・加圧重合により製造したものである。

表-1 加圧吸水試験体の配合

種別	配 合			ポリマ 含浸率 (%)
	使用 セメント	水セメント 比: W/C(%)	単位セメント 量: C(kg/m ³)	
P I C 版	普通	50.0	475	10
基準	早強	40.0	420	—

2.1.3 試験結果

各試験体において行った吸水率の経時変化測定結果を図-2に、および、28日間浸漬終了後に行った可溶性塩分量（コンクリート重量に対するNaCl重量の百分率で表示）の測定結果を図-3に示す。

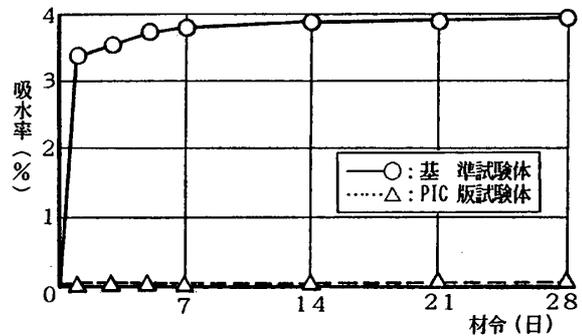


図-2 吸水率経時変化

図-2・図-3を見ると、28日間経過時点の吸水率は基準試験体において4%であるのに対しP I C 版試験体は0.1%であった。

また、可溶性塩分量の最大値においても、基準試験体において1.5%であるのに対しP I C 版試験体は0.04%と微量であり、吸水率および可溶性塩分量の両者ともにP I C 版試験体は基準試験体のほぼ1/40と非常に小さいのがわかる。

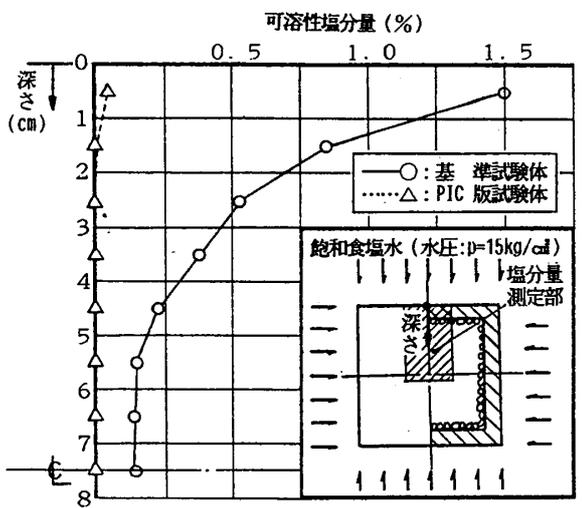


図-3 可溶性塩分量分布

以上のことから、水圧15fk_g/cm²の条件下において、P I C 版を表面に配置することにより、コンクリートの遮水性能・遮塩性能の向上が確認されたものと言える。

2.2 腐食促進試験

2.2.1 試験方法

本試験は、コンクリートに飛沫した塩分が内部に浸透し、さらにその高濃度化が促進される劣化環境のうちでも特に苛酷であると考えられる乾湿繰返し環境下において、P I C 版部材の遮塩性能・防食性能を評価すべく行った腐食促進試験である。乾湿繰返しの方法は、図-4に示すような乾湿繰返し装置 [1]を考案し、本装置により行ったもので、定期的に乾燥状態・湿潤状態を作用させることによって、試験体中の鋼材腐食を促進させる方法である。

乾燥および湿潤条件は表-2に示すとおりで、乾湿繰返しは湿潤状態から開始し、30サイク

ル終了後以下の2項目の調査を行うことで塩性能・防食性能を評価した。

- ①可溶性塩分量測定：試験体表面部から内部の深さ方向に試料を採取し、各深さ位置の可溶性塩分量を「建設省土木研究所法」に準拠した電位差滴定法により測定する。
- ②内部鋼材腐食調査：試験体中の鋼材を取出し、鋼材の腐食状況を「建設省土木研究所法」に準拠した4段階の腐食度に分けて調査する。

2.2.2 試験体

試験体は図-5に示すように、24cm×20cm×45cmの形状寸法とし、PIC版（厚さ15mm）を用いたPIC版試験体、および、基準試験体の2種類である。

また、試験体中には異形棒鋼（径16mm）をかぶり25mm・35mmの位置に配置した。PIC版およびコンクリートの配合は表-3に示すとおりであり、また、PIC版は脱気含浸・加圧重合により製造したものである。

両試験体は、基準コンクリート打設後7日間の標準養生を行い、20℃～60%RHの恒温恒湿にて3日間静置した後、腐食促進試験に供した。

2.2.3 試験結果

(1)可溶性塩分量測定結果

乾湿繰返し30サイクル終了後両試験体において行った、試験体表面より深さ方向の可溶性塩分量は図-6に示すとおりである。

図-6を見ると、基準試験体では表面部に2.4%と多量の塩分浸透が認められ、また、その浸透深さは内部8cmにまで到達しているのに対しPIC版試験体では、先の加圧吸水試験の場合と同様に、ごく表面部に基準試験体の約1/40と微量の浸透が認められる程度であるのが分る。

従って、PIC版が塩分浸

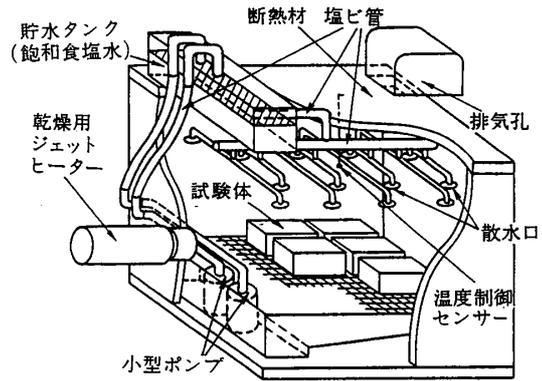


図-4 乾湿繰返し装置

表-2 乾湿繰返し条件

環境条件	仕様	雰囲気温度(℃)	各環境の作用日数	1 CYCLE 当り所要日数
乾燥	熱風乾燥	55	4日	7日
湿潤	飽和食塩水 散水	20	3日	

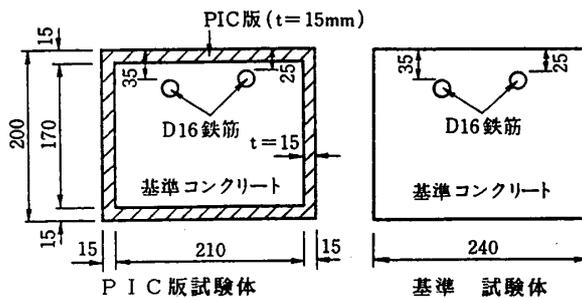


図-5 腐食試験体形状

表-3 腐食促進試験体の配合

種別	配合			ポリマ含浸率 (%)
	使用セメント	水セメント比: W/C(%)	単位セメント量: C(kg/m ³)	
PIC版	普通	45.5	450	6.4
基準	早強	41.0	345	—

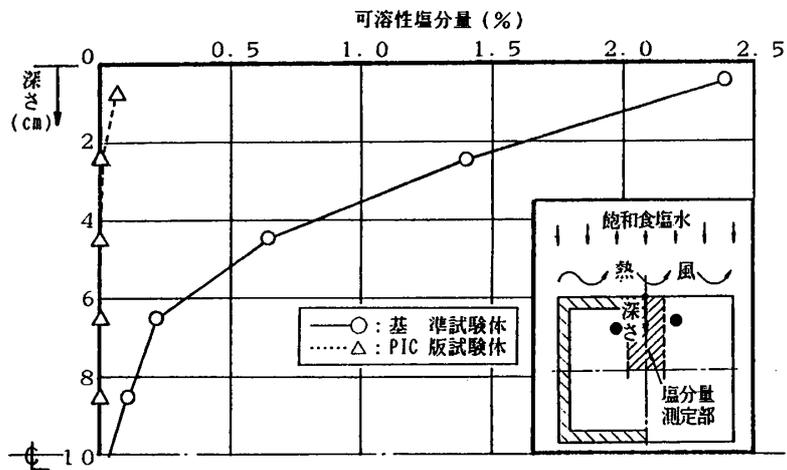


図-6 可溶性塩分量分布

透に対する遮断層として十分に機能し、ほぼ完全な遮塩性能が得られることが確認された。

(2)内部鋼材腐食度調査結果

内部鋼材において行った腐食度調査結果を一覧表にし、表-4（表中には、各腐食度の腐食面積を表示する）に示す。また、両試験体における鋼材腐食状況として、かぶり25mmの鉄筋を一例として、写真-2に示す。

表-4・写真-2を見ると、PIC版の鉄筋は全く腐食が生じていないのがわかる。これに対して、基準試験体の鉄筋は、かぶり25mm鉄筋において全表面積の83%、および、かぶり35mm鉄筋において57%と広範囲にわたり腐食が生じており、腐食状況としては腐食度：Bランクのものがその大部分を占め、局部的に腐食度：Cランクのものが生じる、比較的激しい腐食状態である。さらに、基準試験体において、かぶり25mm鉄筋の腐食面積はかぶり35mm鉄筋のおよそ1.5倍であり、かぶりの大小により腐食の進行度合は大きく影響されることが確認された。いずれにせよ、PIC版試験体においては両者の鉄筋とも腐食は生じておらず、本複合材料により完全な防食性能が得られることが確認されたものと言える。

また、PIC版の遮塩性能により塩分等の腐食因子の侵入は完全に阻止することが可能であると考えられ、防食性能においてかぶり量の大小に影響されない、すなわち、かぶり量不足に起因する早期劣化等の種々の問題の解消、あるいは逆に、かぶり量低減による構造断面の縮小等の付加価値を期待できるものと考察される。

3. 内部コンクリート物性の改善性能の評価

PIC版の高緻密性により外部からの腐食因子の侵入を阻止することは、前述の試験により確認されたものと言える。このようにPIC版の高緻密性により遮水性能・遮塩性能を得られるならば、内部に打設されたコンクリートの水の発散を防止し、乾燥収縮等の無い理想的な養生状態を保持することが可能であると考えられる

本研究は、PIC版を表面に配置することにより養生状態を向上させ、内部に打設したコンクリート自体の表層物性の改善効果を評価することを目的としたものである。ここでは、PIC版面および通常の合板型枠面の両面において行う表面剥離試験、および、凍結融解試験の2項目の試験結果について記述する。

3.1 表面剥離試験

3.1.1 試験方法

本試験は、PIC版配置面および通常の合板型枠面に、プレバッキングコンクリートを打設し、両者のコンクリート表面の剥離状況および剥離強度を調査、比較する方法とした。表面剥離強度の測定は「建設省建築研究所方式」に準じた引張り試験器を用いて行ったもので、図-7に示すように、調査面に100mm×100mm×

表-4 内部鋼材腐食度調査結果

試験体種別	鋼材かぶり(mm)	鋼材全面積(c㎡)	各腐食度の腐食面積：c㎡				腐食率(%)
			無	A	B	C	
PIC版試験体	25	225	225	0	0	0	0
	35		225	0	0	0	0
基準試験体	25	225	39	0	178	8	83
	35		97	6	117	5	57

無：腐食を認めず。
A：表面に赤錆が浮いた程度の腐食。
B：表面の薄皮が剥けた程度の軽微な腐食。
C：浅い孔食等の軽微な断面欠損がある腐食。

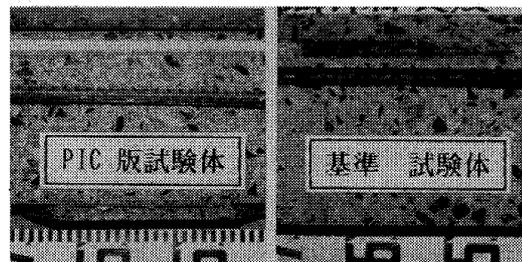


写真-2 鋼材腐食状況

写真-2 鋼材腐食状況

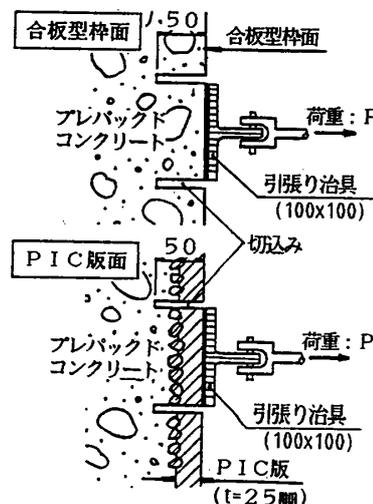


図-7 剥離試験方法

の形状で深さ50mmの切込みを設け、同形状の治具を貼付けジャッキにて引張る方法とした。

3.1.2 試験体

試験体は図-8に示すとおりであり、引張り試験面の寸法は、縦1000mm×横 900mmとしPIC版（厚さ25mm）面および合板型枠面の両者とも同一寸法・同一施工条件の下で、プレバッキングコンクリートを打設することにより製作した。

PIC版および注入モルタルの配合は、表-5に示すとおりである。また、コンクリート打設後7日間の湿潤養生を行い、10日間屋外に暴露した後、図-8に示す9点において引張り試験を行い、その剥離強度を測定した。なを、引張試験時のプレバッキングコンクリートの圧縮強度（標準養生）は225 kgf/cm²であった。

3.1.3 試験結果

PIC版面および合板型枠面の剥離強度測定結果を表-6に示す。表-6を見ると、合板型枠面の平均剥離強度は11.9kgf/cm²であったのに対してPIC版面の強度は18.8kgf/cm²と約1.6倍の剥離強度を有しているのがわかる。

また、両者の剥離状況は写真-3のとおりで、合板型枠面はコンクリートの表層2mm程の部分が、表面近傍の粗骨材界面から剥離した状態で破壊しているのに対し、PIC版面ではPIC版とコンクリートとの界面において、粗骨材が割裂した状態で破壊しているのがわかる。

試験時でのコンクリートの引張り強度は20kgf/cm²程度であると予想されることから、通常の合板型枠中へ打設されたコンクリートの表面部の引張り強度は暴露期間が10日間と短期間であったにもかかわらず、すでに、標準養生の場合の1/2程度に低下しているものと言える。これに対して、PIC版で表面を保護した場合は、標準養生の場合とほぼ同等の表面物性を有しているものと言え、従って、PIC版をコンクリートの表面に配置することにより、暴露の影響を受けず標準養生のレベルと同等の理想的な養生状態が保持されることで、内部コンクリート自体が本来有する強度発現が順調に行われた結果であると考察される。

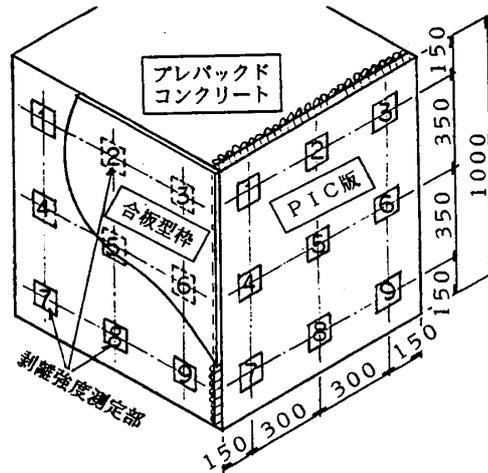


図-8 試験体形状および剥離試験位置

表-5 表面剥離試験体の配合

種別	配合			ポリマ 含浸率 (%)
	使用 セメント	水セメント 比:W/C(%)	単位セメント 量:C(kg/m ³)	
PIC版	普通	35.0	550	1.1
注入 モルタル	普通+フライア ッシュ20%置換	49.5	820	-

表-6 剥離強度測定結果

区 分	合板型枠面			平均 11.9 kgf/cm ²	PIC版面			平均 18.8 kgf/cm ²
	測定位置 1	測定位置 2	測定位置 3		測定位置 4	測定位置 5	測定位置 6	
引剥がし強度	11.3	14.3	12.7		15.9	13.9	16.2	
測定位置	4	5	6		7	8	9	
引剥がし強度	12.5	14.2	10.5		19.4	23.5	16.9	
測定位置	7	8	9					
引剥がし強度	11.4	12.4	8.2					



PIC版面 合板型枠面

写真-3 表面剥離状況

3.2 凍結融解試験

3.2.1 試験方法および試験体

本試験はASTM C 666に準拠した凍結融解試験であり前述2.1加圧吸水試験の図-1に示す試験体と同断面の試験体を用いて行った。PIC版および基準コンクリートの配合は表-7に示すとおりであるが、こ

表-7 凍結融解試験体の配合

種別	配 合			ポリマ 含浸率 (%)
	使用 セメント	水セメント 比:W/C(%)	単位セメント 量:C(kg/m ³)	
PIC版	普通	50.0	475	10
注) 基準	普通	49.0	338	—

注) 基準: 軽量コンクリート

では、基準コンクリートとして凍結融解抵抗性の極めて小さい24時間吸水させた軽量骨材を用いた、軽量コンクリートを使用した。

3.2.2 試験結果

両試験体における相対動弾性係数の経時変化は図-9に示すとおりであり、基準試験体は100サイクル程度で破壊が生じるのに対しPIC版試験体では300サイクルにおいても90%以上の相対動弾性係数を保持しているのがわかる。

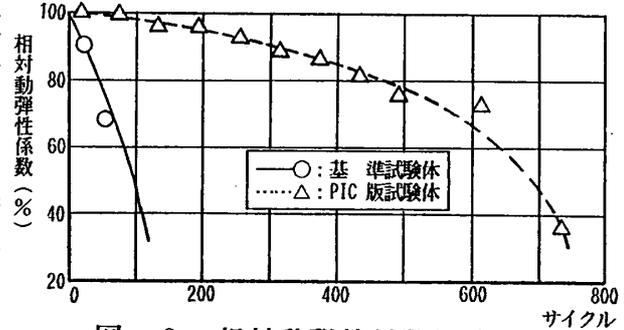
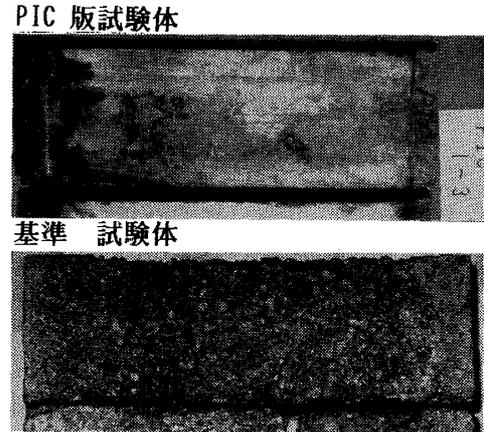


図-9 相対動弾性係数経時変化

また、写真-4はPIC版試験体におけるほぼ700サイクル終了時、および基準試験体の表面状況を示したものである。PIC版試験体ではスケーリング等の表面劣化は生じておらず初期の表面状態を保持している。



以上のことから、PIC版を表面に配置することにより、コンクリートの耐凍結融解性能が大幅に改善されることが確認された。

4. 結論

本研究により得られた知見をまとめ、以下に記述する。写真-4 凍結融解による表面状況

- (1) PIC版を表面に配置することにより、水圧15kgf/cm²および乾湿繰返し環境条件下において、コンクリートの遮水性能・遮塩性能を40倍に向上させることが可能であることが示された。また、本工法により完全な防食性能が期待できることが示された。
- (2) PIC版を表面に配置することにより標準養生と同レベルの理想的な養生状態が保持され、内部のコンクリートは乾燥収縮等に阻害されることなく、順調な強度発現を示す。
- (3) PIC版部材の耐凍結融解性能は高く、また、スケーリング等の表面劣化を生じない。

5. おわりに

以上、PIC版を表面に配置することにより、内部コンクリートの遮水性能・遮塩性能・防食性能が向上すること、および、理想的な養生状態に保持されることから、内部コンクリート自体の材料の高品質化も期待できることが、室内試験において確認できたものと言える。

現在、PIC版部材を塩分飛沫帯および温泉地帯の実環境下に暴露し、実環境暴露での耐久性の評価を実施している。また、これら小試験体の暴露試験とは別に、大型の壁状部材を暴露し、その寸法安定性および遮水性能の調査を行っている。次回は、これらの調査結果について報告する所存である。

[1]松岡 康訓、新藤 竹文、内藤 隆史：乾湿繰返し試験装置を用いたコンクリートの耐塩性の評価、土木学会第42回年次学術講演会講演概要集、1987、p.24~25