

論文 吹付け施工による断面修復材の耐久性に関する研究

槇島 修^{*1}・魚本 健人^{*2}

要旨：断面修復材によって補修された鉄筋コンクリート構造物は、耐久性設計が確立されておらず、断面修復材の耐久性も明らかになっていない。そこで、代表的な断面修復材としてポリマーセメントモルタルを対象に耐久性及び各種の物性の評価試験を行った。また、吹付け施工を対象に、施工条件による品質変動が耐久性に与える影響について評価を行った。その結果、対象としたポリマーセメントモルタルは、比較した水セメント比35%の普通モルタルとほぼ同程度の中性化の進行や塩化物の浸透性状であることが確認された。また、吹付けされた試験体は、打込みを行ったものと同等以上の耐久性を有する結果が得られた。

キーワード：断面修復材, ポリマーセメントモルタル, 耐久性, 中性化深さ, 塩化物イオン量

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の補修を行う場合、ひび割れや剥離などの劣化や損傷を受けたコンクリート部位を取り除き、断面を修復する方法や塩化物イオンや中性化などの劣化因子を取り込んでしまったコンクリート部位を取り除き、断面を修復する方法が広く採用されている。

また、近年では、コンクリート構造物の耐久性設計や、維持管理の重要性の高まりから、既存のコンクリート構造物については、劣化の進行程度を適切に評価し、構造物のライフサイクルを考慮して計画的に補修の実施を含めた維持管理を行うことが求められている。

しかし、劣化したコンクリート構造物を補修する場合、補修工法の耐久性設計が確立しておらず、補修材料に要求される耐久性能も明確になっていないのが現状である。また、補修による性能の持続性についても課題である¹⁾。

そこで、我々は、補修工法の中でも断面修復工法を対象に耐久性を評価することとした。本件では、断面修復工法として用いられる材料の中でも付着性や寸法安定性が高く、適切な弾性係数を有するとされ²⁾、断面修復工法の主要な

材料となっているポリマーセメントモルタルを対象に耐久性についての実験的な評価を行った。また、施工による耐久性の変動要因を明確にする目的でいくつかの施工条件を設定し、耐久性への影響も評価した。

なお、施工条件としては、型枠設置の必要が無く、規模の大きい断面修復に効率が良く・経済的であるとして³⁾採用が増加し、施工による品質変動が明確になっていない吹付け施工を検討の対象とした。

2. 実験概要

2.1 要因と水準

表-1に本件で検討した実験の要因と水準を示す。検討の対象とした材料は、断面修復材として代表されるポリマーセメントモルタル2種類と比較として水セメント比35%の普通モルタルを採用した。なお、ポリマーセメントモルタルについては、吹付け施工が可能なワーカビリティの範囲で3水準設定し、単位水量の変化によって調整した。また、普通モルタルは、検討対象としたポリマーセメントモルタルと同様のワーカビリティが確保できる水セメント

*1 飛島建設(株) 土木設計部 設計第三課 主任 (正会員)

*2 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター教授 工博 (正会員)

比35%とし、ポリマーセメントモルタルの場合と同様に、3水準のワーカビリティを設定した。なお、この調整は、高性能 AE 減水剤の添加量によって行った。

施工条件として、吹付けと打込みを設定し、吹付けによる施工では、条件を吹付け距離3水準と吹付け方向3水準設定した。

2.2 試験項目および試験方法

表-2に評価の対象とした試験項目および試験方法を示す。耐久性試験として促進中性化試験と塩水浸漬試験を実施した。なお、補修材料の物性を把握する目的で圧縮強度試験、密度試験、細孔容積試験を実施した。

促進中性化試験は、炭酸ガス濃度5%温度40℃湿度50%の環境に28日間存置した試験体で評価した。塩水浸漬試験では、NaCl濃度3%、水温40℃による環境で28日間浸漬した試験体で評価した。

表-3に練混ぜ方法および試験体作製方法を示す。ポリマーセメントモルタルの練混ぜは、ハンドミキサを用いて行い、普通モルタルの練混ぜは、モルタルミキサを用いて行った。

吹付け方法は、小型吹付け機を用い、500×500×50mmの木製型枠内に吹付け成型した。

今回の実験では、吹付け方向の違いによる整形程度への影響を把握する目的で、吹付けの方向を、上、横、下方向の3水準設定した。なお、下方向および横方向については一層で仕上げており、吹付けされたモルタルの表面は、金コテによって軽微な均しを行った。上方向については、実際の施工で行われるように、剥落防止の考慮から3層に分けて成形し、各層の施工に2～3時間の施工間隔を設けた。また、各層ごとに金コテで強く押さえつける仕上げを行った。

今回の実験では、吹付けられる材料の圧密による影響を把握する目的で、吹付けのノズルの距離を現実的な範囲で3水準設定した。

また、打込みは、練り上がり時に試験体採取することを基本としている。ただし、補修材Aについては、吹付け前後で空気量の変化が著

表-1 実験要因と水準

要 因	水 準
検討材料	ポリマーセメントモルタル2種 補修材A:SBR系、ポリマーセメント比:4～7% 補修材B:ベーク系、ポリマーセメント比:5～10% 普通モルタル(W/C=35%)1種
配合条件	目標モルタル3水準(160mm, 175mm, 190mm)
施工条件	吹付け施工・通常打込み
吹付け条件	吹付け距離(ノズルと型枠との距離)3水準 近:5～10cm, 中間:15～20cm, 遠:25～30cm 吹付け方向3水準(下方向, 横方向, 上方向)
養生条件	封緘養生/気中養生

表-2 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
促進中性化試験	フェノールフタレインアルコール溶液による無発色深さの測定によった。 ・前養生 : 材齢28日まで20℃封緘養生 試験条件: CO2濃度5%, 温度40℃, 湿度50% ・試験体寸法 (図-1参照)
塩水浸漬試験	JCI-SC5硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法によった。 ・前養生 : 材齢28日まで20℃封緘養生 浸漬条件: NaCl 3%水溶液, 温度40℃ ・試験体寸法 (図-1参照) ・試料位置: 表面から10mmの範囲
圧縮強度試験	JISA1108によった。 試験体は、切断による50X50X50mm 試験材齢: 28日, 養生方法: 封緘養生
密度試験	試験体寸法は、切断による50X50X50mm 試験材齢: 28日, 養生方法: 封緘養生
細孔容積試験	水銀圧入式ポロシメータによった。試験体寸法は、試料の切断による50X50X50mmなお、吹付け試験体のみ試験対象とした。 試験材齢: 28日, 養生方法: 封緘養生

表-3 試験体作製方法

練混ぜ	補修材 : ハンドミキサによる練混ぜ3分間 普通モルタル: モルタルミキサによる練混ぜ3分間
使用機器	小型吹付け機、エアコンプレッサ
試験体寸法	500X500X50mmに吹付け、以下に切断 100X100X100mm: 中性化・塩水浸漬試験 50X 50X 50mm: 圧縮強度・密度試験、細孔容積試験
吹付け方向	下方向, 横方向, 上方向
吹付け距離	近: 5～10cm, 中間: 15～20cm, 遠: 25～30cm
試験体寸法	100X100X100mm: 中性化・塩水浸漬試験 50X 50X 50mm: 圧縮強度・密度試験 φ50X100mm : 圧縮強度・密度試験
試料採取方法	補修材A: 練上がり直後にノズルから吐出した試料を採取 補修材B, 普通モルタル: 練上がり直後採取

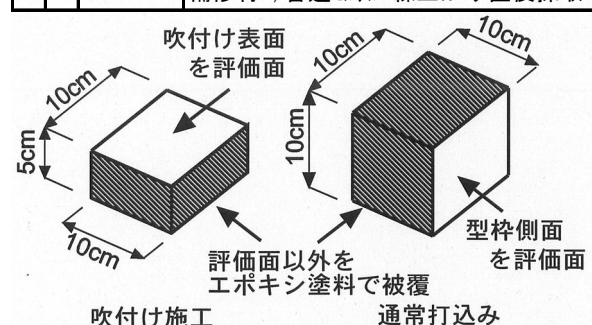


図-1 試験体形状

しいため、一度ノズルから吐出させたモルタルを採取して試験体を成型した。なお、打込みによる試験体は、100×100×100mmの型枠に打込み、促進中性化試験、塩水浸漬試験を行った。また、同様の試験体を切断によって50×50×50mmとして圧縮強度、密度を実施している。また、確認としてφ50×100mmの円柱型枠による試験体についても圧縮強度、密度の評価を行っている。

3. 結果および考察

3.1 密度および総細孔容積

図-2に吹付け条件の違いによる密度を示す。いずれの材料も打込みに比べて吹付けによって成形された試料は、密度が高かった。図-3に吹付け条件の違いによる総細孔容積を示す。いずれの材料も打込みに比べて吹付けによって成形された試料は、総細孔容積が小さかった。

これらの結果から、吹付けによる施工は打込みに比べてより空隙が少なく、セメント硬化体組織が緻密となる施工方法になっているものと考えられる。ただし、いずれの材料も共通して密度が高く、総細孔容積が小さくなる吹付け条件は見られなかった。

図-4に養生条件の違いによる密度試験結果を示す。いずれの材料も気中養生では、封緘養生に比べて密度が小さく、その程度は普通モルタルに比べて2種の補修材の方が若干大きいものであった。ポリマーセメントモルタルは、乾燥によってポリマーフィルムが形成されるため、ポリマーを含まないモルタルに比べて内部の乾燥を抑制する効果が期待されたが、その効果は見られなかった。また、養生条件の違いによる密度の差は、吹付け条件の違いによる差に比べて大きくはなかった。

図-5に養生条件の違いによる総細孔容積を示す。いずれの材料も総細孔容積は、封緘養生に比べて気中養生が大きく、乾燥を受けることによってセメント硬化体組織が粗になっていると考えられる。

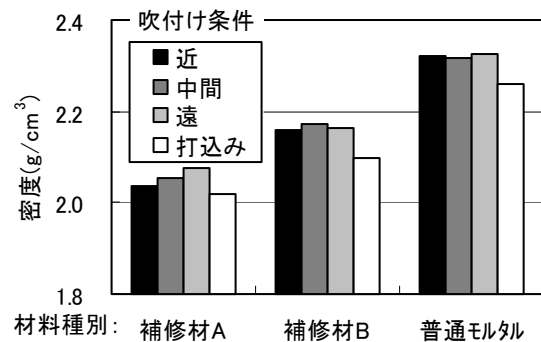


図-2 吹付け条件の違いによる密度

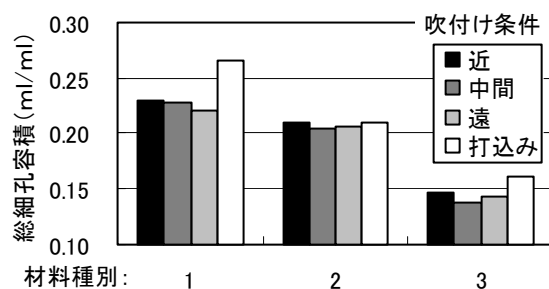


図-3 吹付け条件の違いによる総細孔容積

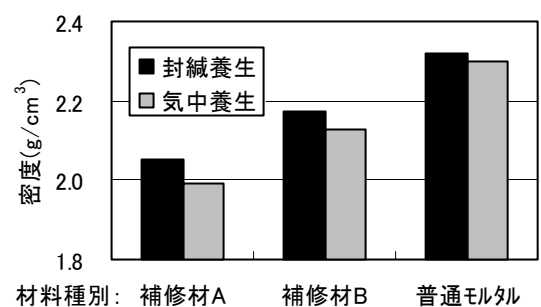


図-4 養生条件の違いによる密度

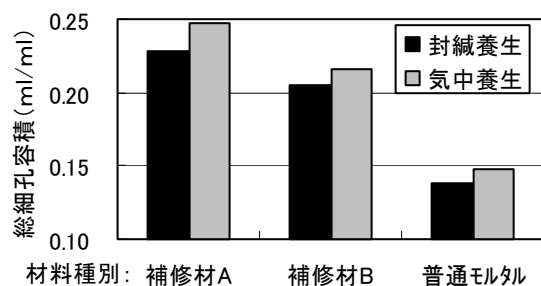


図-5 養生条件の違いによる総細孔容積

これらのことから、吹付け施工によるポリマーセメントモルタルの品質は、普通モルタルの場合と同様に、施工方法や養生条件によって影響を受けることが確認された。

図-6に吹付け方向の違いによる材料密度を示す。いずれの材料も打込みに比べて密度は高く、吹付け方向が上向き、横向き、下向き、打込みの順に密度は高いという結果であった。なお、上方向への吹付け条件は、仕上げ方法が他と異なり、モルタルの剥落防止のために複数層で仕上っていることや、金コテで強く押さえつける仕上げ方法としたことから密度が高くなった可能性も考えられる。

図-7に密度と総細孔容積の関係を示す。いずれの材料も、密度が高いほど総細孔容積が少なくなる傾向が認められた。このことから、密度の高くなる吹付け条件は、同時にセメント硬化体組織が緻密になる相乗効果を有している可能性が考えられる。

以上の結果から、吹付け施工によるポリマーセメントモルタルは、必ずしも打込みに比べて粗に成形されるものではないことが確認された。ただし、今回の実験結果からは、最も密実に成形できる吹付け方法は、明確にならなかった。

3.2 圧縮強度

図-8に吹付け条件の違いによる圧縮強度を示す。いずれの材料も打込みに比べて吹付けによって成形された試験体の方が圧縮強度は高いという結果となった。ただし、いずれの材料も共通して圧縮強度が高くなる吹付け条件は見られず密度試験の結果と同様であった。そこで、圧縮強度と密度の関係を比較すると図-9に示すように、いずれの材料も、圧縮強度と密度には相関関係が見られ、密度が高いほど圧縮強度が高いという傾向が認められた。

3.3 中性化の進行

図-10に吹付け条件の違いによる中性化深さを示す。本件で評価の対象としたポリマーセメントモルタルは、打込みで比較すると、水セメント比35%の普通モルタルとほぼ同様の中性化深さであり、中性化の進行に対して高い耐久性を有していることが確認された。また、いずれの材料も吹付けによって成型された試料は、打込みによる試料と比べて中性化深さが小さい

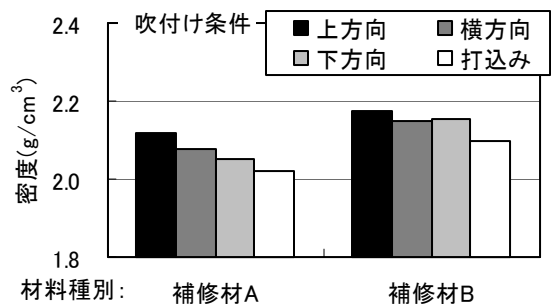


図-6 吹付け方向の違いによる密度

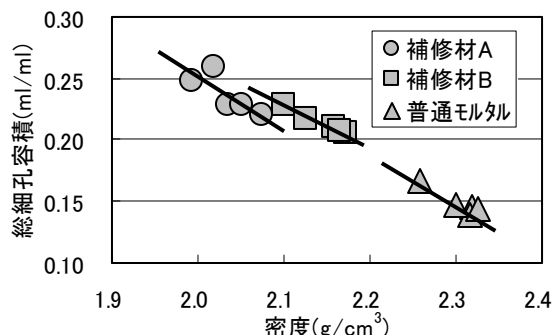


図-7 密度と総細孔容積の関係

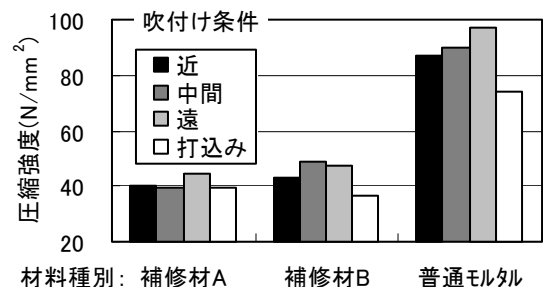


図-8 吹付け条件の違いによる圧縮強度

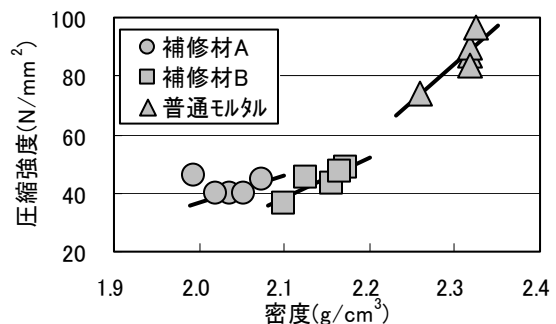


図-9 圧縮強度と密度の関係

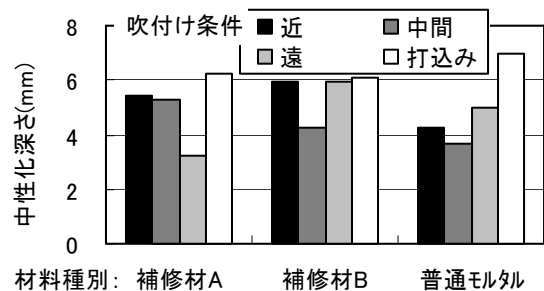


図-10 吹付け条件の違いによる中性化深さ

という結果になった。

このことから、吹付け施工は、打込みに比べて中性化に対する耐久性能が必ずしも劣るものではないと考えられる。なお、吹付け条件の違いによって中性化の深さに差異は生じているが、その傾向は明確ではなかった。

図-11に養生条件の違いによる中性化深さを示す。いずれの材料も気中養生の中性化深さは大きい。ただし、その程度は材料によって異なり、補修材B、普通モルタルは、2倍程度の差が生じたのに対して、補修材Aは、わずかな差であった。

中性化深さと密度の関係は、図-12に示すように、いずれの材料も密度の増加に応じて中性化深さが減少する傾向であった。また、中性化深さと総細孔容積の関係は、図-13に示すように、いずれの材料も総細孔容積の減少に応じて中性化深さも減少する傾向であった。

これらのことから、吹付けによって成型されたポリマーセメントモルタルについてもコンクリートの場合と同様に、密実に成型することは、中性化の進行を遅くすることができると考えられる。

3.4 塩化物の浸透

図-14に吹付け条件の違いによる塩化物イオン量を示す。打込み試験体で比較すると、本件で評価の対象としたポリマーセメントモルタルは、水セメント比35%の普通モルタルとほぼ同程度の塩化物イオン量であり、塩化物イオンの浸透に対して高い耐久性を有していることが確認された。また、いずれの材料も吹付けによって成型された試料は、打込みによる試料と比べて塩化物イオン量は小さい。この傾向は、中性化深さの結果よりも顕著な違いであり、塩化物イオンの浸透についても吹付け施工は、打込みに比べて必ずしも耐久性が劣るものではないと考えられる。なお、吹付け条件の違いによって塩化物イオン量に差異は生じているが、その傾向は明確でなかった。

養生条件の違いによる塩化物イオン量への影

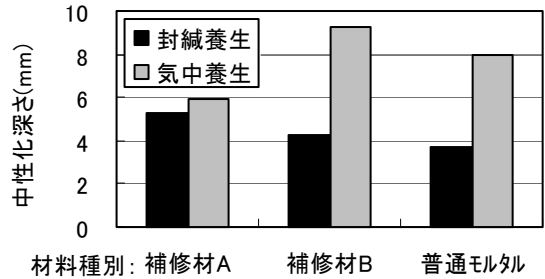


図-11 養生条件の違いによる中性化深さ

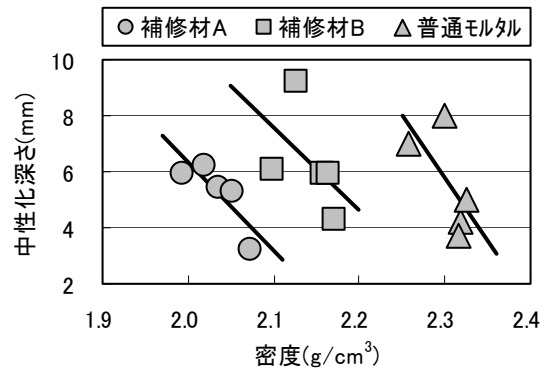


図-12 中性化深さと密度の関係

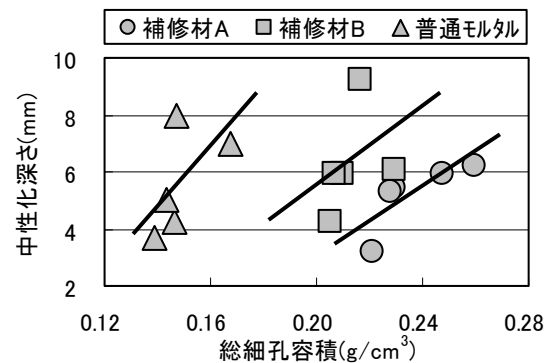


図-13 中性化深さと総細孔容積の関係

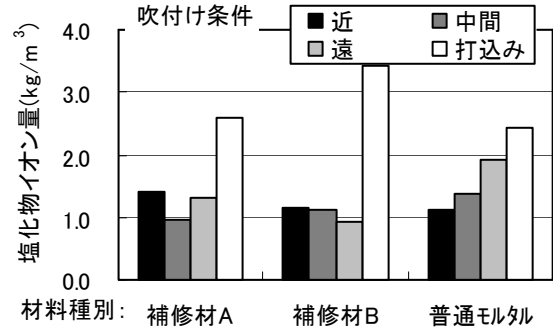


図-14 吹付け条件の違いによる塩化物イオン量

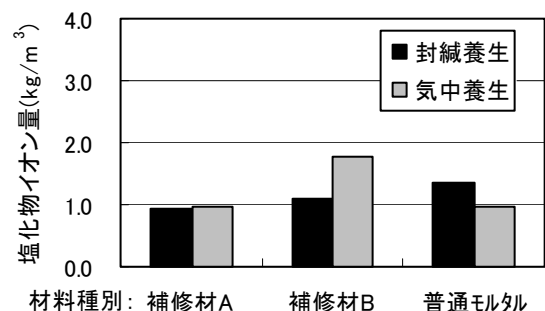


図-15 養生条件の違いによる塩化物イオン量

響は、図-15に示すように、それぞれの材料ごとに異なった傾向を示した。補修材Aは、封緘養生と気中養生はほぼ同程度であり、補修材Bは、気中養生の方が大きい値となった。また、普通モルタルでは、封緘養生の方が大きい値となった。

塩化物イオン量と密度との関係は、図-16に示すように、いずれの材料も密度の増加に応じて塩化物イオン量が減少する傾向が見られた。また、塩化物イオン量と総細孔容積の関係は、図-17に示すように、いずれの材料も総細孔容積の減少に応じて塩化物イオン量が減少する傾向が見られた。

これらの結果から、塩化物イオンの浸透は、密度および総細孔容積に影響を受け、空隙を作らない試験体の作製方法をとることが塩化物イオンの浸透を抑制できるものと考えられる。

4. まとめ

本検討で得られた結果を以下にまとめる。

- (1)吹付け施工されたポリマーセメントモルタルは、打込みによる試験体に比べて必ずしも粗にならない。
- (2)密度を高く総細孔容積を小さくできる吹付け条件は明確にはならなかった。
- (3)対象としたポリマーセメントモルタルの中性化の進行は、密度および総細孔容積と相関が見られ、水セメント比35%程度のモルタルと同等の高い耐久性を有していた。
- (4)対象としたポリマーセメントモルタルの塩化物イオンの浸透は、密度および総細孔容積と相関が見られ、水セメント比35%程度のモルタルと同等の高い耐久性を有していた。
- (5)施工条件によっては、吹付け施工が打込みと同等以上の耐久性を有する施工方法である可能性が認められた。

謝辞

本研究にて御指導頂きました東京大学生産技術研究所岸助教授、同加藤佳孝講師および研究室の皆様に感謝致します。また、実験の実施に

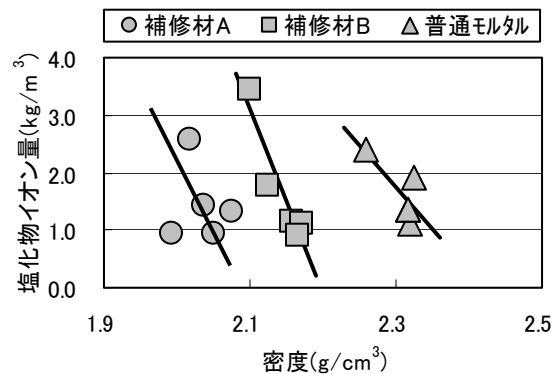


図-16 塩化物イオン量と密度の関係

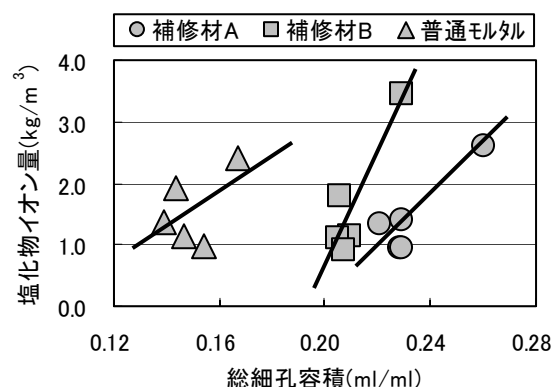


図-17 塩化物イオン量と総細孔容積の関係

あたっては、電気化学工業(株)森本丈太郎氏、荒木昭俊氏および(株)エヌエムビー元売正美氏、杉山知巳氏、芝浦工業大学4年生吉村紀子氏に御協力頂きましたことを感謝致します。

参考文献

- 1) コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書、日本コンクリート工学協会、1998.10
- 2) 鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向(その2)-コンクリート委員会腐食防食小委員会報告-、2000.12
- 3) 鉄筋腐食によって損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術-技術の現状-、日本コンクリート工学協会、防食研究員会、1989.1
- 4) コンクリート・ライブラリー第64号フライッシュを混和したコンクリートの中性化と発錆に関する長期研究、土木学会フライッシュ研究小委員会、1988.3