

# 論文 断面修復材の材料特性の違いが耐久性に与える影響

槇島 修<sup>\*1</sup>・魚本 健人<sup>\*2</sup>

**要旨**：断面修復工法によって補修された鉄筋コンクリート構造物は、鉄筋コンクリート構造物自体のような耐久性設計が確立していない。そこで、断面修復工法の耐久設計を可能とするために断面修復材の耐久性評価を行い、施工条件や養生条件によって変化する材料特性が中性化の進行や塩化物イオンの浸透などの耐久性に与える影響を明らかにした。また、検討の対象としたポリマーセメントモルタルでは、同等の総細孔容積を有する普通モルタルに比べて中性化の進行が小さいことが確認された。

**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、劣化や損傷を受けたコンクリート部位、ある濃度以上の塩化物イオンを含む部位、中性化を生じた部位などを取り除き、断面を修復する断面修復工法が広く採用されている。

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も課題とされている<sup>1)</sup>。

そこで、本研究では、断面修復工法を対象としてその耐久性を評価することとした。評価の対象には、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<sup>2)</sup>、現在では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選定し、その耐久性について実験的な評価を行った。本研究では、特に施工条件や養生条件によってポリマーセメントモルタルの材料特性が耐久性に及ぼす影響を把握することを目的として行ったものである。

なお、設定した施工条件には、一般的な打込みによる方法と吹付けによる方法を採用した。

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5種(補修材A~E) 普通モルタル1種(W/C=35%)
配合条件	目標モルタルフロー3水準(160,175,190mm) ポリマーセメントモルタルは、単位水量によって調整し、普通モルタルは、高性能AE減水剤の添加量によって調整した
施工条件	吹付け/打込み
養生条件	封緘養生/気中養生

表-2 検討材料の概要

	ポリマー主成分	ポリマー形態	練り上がり時の空気量*1
補修材A	SBR系	エマルジョン型	28.4%
補修材B	ペオバ系	再乳化型	4.4%
補修材C	アクリル系	エマルジョン型	13.0%
補修材D	アクリル系	再乳化型	15.0%
補修材E	SBR系	エマルジョン型	10.6%

\*1: 練り上がり時の空気量は、目標モルタルフローの175mmの場合を示した

## 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、表-2に検討材料の概要を示す。検討材料は、市販のポリマーセメントモルタル5種類と比較として設定した水セメント比35%の普通モルタルである。ポリマーセメントモルタルは、ポリ

\*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)

マーの主成分およびポリマー形態の異なる材料を選定した。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比を設定した。その結果、普通モルタルは、比較的low水セメント比のモルタルとなっている。

なお、ポリマーセメントモルタルのワーカビリティは、施工が可能な範囲で3水準設定し、単位水量によって調整した。また、普通モルタルについては、高性能 AE 減水剤の添加量によって調整した。施工条件として、吹付けと打込みの2水準を設定した。養生条件は、封緘養生と気中養生の2条件とした。モルタルの空気量は、特別な調整は行わず、所定の配合および練り混ぜ方法によって得られた空気量を確認して実験を行った。表-2に練り上がり時の空気量を参考として示す。

## 2.2 試験項目および試験方法

表-3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の表層から 1cm の深さの範囲の塩化物イオン量を測定した。

表-4に練混ぜ方法および試験体作製方法を示す。吹付けによる供試体の作製は、小型の吹付け機を用い、500×500×50mm の木製型枠内に吹付け成型した。

今回の実験では、吹付けの方向をすべて下方とした。また、吹付けのノズルの距離は、実用の範囲から標準的な距離を設定した。

また、打込みは、練り上がり直後に試験体を採取することを基本とした。なお、打込みによる試験体は、吹付けと同様の型枠に打込み、促進中性化試験、塩水浸漬試験を行った。なお、

表-3 試験項目および試験方法

試験項目		試験方法
耐久性試験	促進中性化試験	フェノールフタレインアルコール水溶液による無発色深さの測定によった。 ・炭酸ガス養生条件 CO <sub>2</sub> 濃度5%、温度40℃、湿度50% ・供試体寸法 100×100×50mm (吹付け施工) 100×100×100mm (通常打込み)
	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。 ・塩水浸漬条件 NaCl 3%水溶液、温度40℃ ・供試体寸法 100×100×50mm (吹付け施工) 100×100×100mm (通常打込み)
物性試験	圧縮強度試験	JISA1108コンクリートの圧縮強度試験方法によった。試料は、コアサンプリングによる50×寸法50×50mm
	密度試験	コアサンプリングによる50×50×50mmの試料の深さ方向に3位置(表層、中間層、背面)を評価
	細孔容積試験	水銀圧入式ポロシメータによった。コアサンプリングによる50×50×50mmの試料の深さ方向に3位置(表層、中間層、背面)を評価

表-4 供試体作製方法

練混ぜ		パン型モルタルミキサによる一括練混ぜ3分間
供試体作製	吹付け	使用機器 小型吹付け機, エアコンプレッサ
		型枠寸法 500×500×50mm
		吹付け方向 下方向
		ノズル先端と型枠面との距離 15~20cm
	打込み	型枠寸法: 500×500×50mm 3層に分けて打込み, 突き棒による締め固めと1層ごとに木づちによる振動を加えた

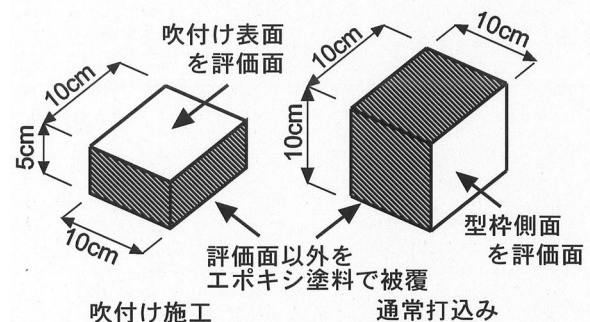


図-1 試験体形状

耐久性の評価を行った試験体は、切断によって図-1に示す100×100×50mmまたは、100×100×100mmとした。また、圧縮強度、密度測定のため、切断によって50×50×50mmの寸法として実施している。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 密度および総細孔容積

図-2にすべての試験条件によって作製された試料の密度と総細孔容積の関係を示す。ここでは、吹付けや打込みによって作製した施工条件の違いや養生条件の違い、単位水量の違いをすべて含んだ結果である。総細孔容積や密度の結果がどの程度の範囲であるかを確認するものである。

対象とした補修材料は、密度では1.91～2.24t/m<sup>3</sup>の範囲にあり、総細孔容積では0.12～0.23ml/mlの範囲であった。このことから、今回選定した補修材A～Eは、密度や総細孔容積の特性値において、比較的多様な材料が選定できているものと考えられる。

なお、いずれの補修材料も、密度と総細孔容積には相関がみられ、密度が高いほど総細孔容積が少ない傾向が認められた。ただし、その程度は、材料ごとに差異が認められた。

また、材料ごとに施工方法や養生条件などの条件の違いによって特性値に差異が見られる条件であったことが確認できた。

#### 3.2 圧縮強度

図-3にすべての試験条件によって作製された試料のうち、封かん養生による供試体の密度と圧縮強度の関係を示す。また、図-4に材料ごとに得られたすべての密度を各材料の平均密度との比率（以降密度の変化率と称す）に換算したものと、材料ごとに得られた圧縮強度を各材料の平均圧縮強度との比率（以降圧縮強度比と称す）に換算したものの関係を示す。

図-3に示すように、いずれの材料も密度が高いほど圧縮強度が高くなる傾向が見られた。また、図-4に示すように、密度の変化率と圧

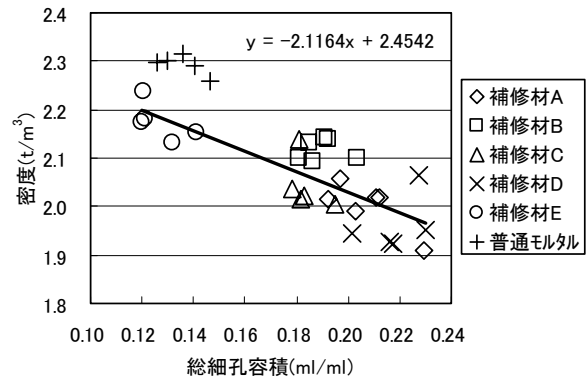


図-2 総細孔容積と密度の関係

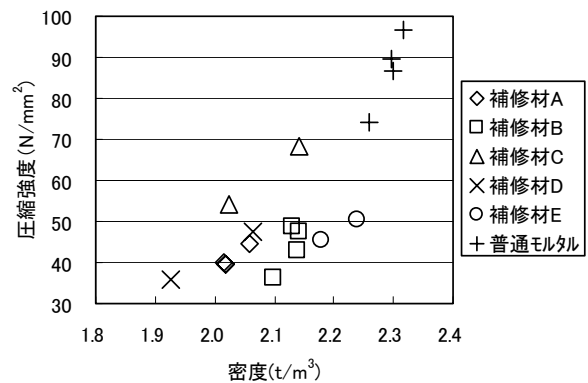


図-3 密度と圧縮強度の関係

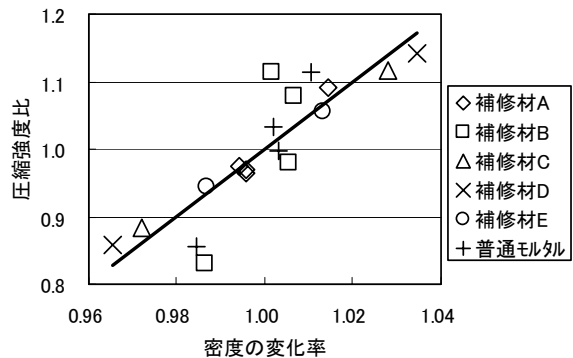


図-4 密度の変化率と圧縮強度比の関係

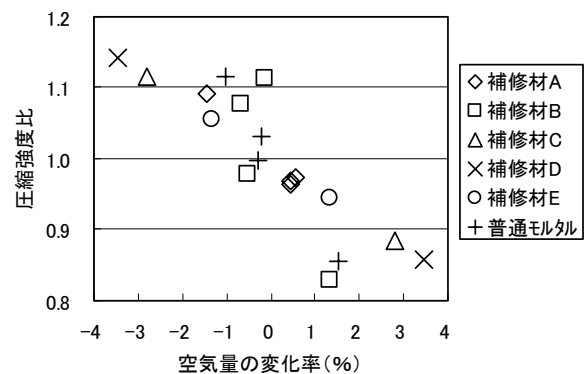


図-5 空気量の変化率と圧縮強度比との関係

縮強度比には相関がみられ、材料にかかわらず

密度の変化の程度が圧縮強度の変化の程度に与える影響はほぼ同等であることがわかる。

また、密度の変化は、空気量の変化であるともみならず空気量の変化率として換算することができるため、**図-5**に示すように空気量の変化率と圧縮強度比の関係として表した。このように、両者の関係から、空気量が1%増すと圧縮強度が約5%低下する関係にあることが確認された。この関係は、コンクリートにおける空気量の変化が圧縮強度に与える影響とほぼ同等である。

**図-6**に同一条件で試験体を作製し、養生条件の差異によって変化した総細孔容積と圧縮強度の関係を示す。また、**図-7**に単位水量の差異によって変化した総細孔容積と圧縮強度の関係を示す。なお、普通モルタルについては、モルタルフローの調整を高性能 AE 減水剤によって行ったため、対象外としている。

いずれの材料も総細孔容積が多いほど圧縮強度が低くなる傾向が見られた。総細孔容積は、封緘養生と気中養生による養生の差によって0.012~0.028ml/ml程度の差が生じており、施工性の確保できる範囲で変動する単位水量によって0.002~0.014ml/mlの差があることが確認された。このことは、ポリマーセメントモルタルの総細孔容積に与える影響は、施工性確保のために生じる単位水量の変動に比べて養生条件の違いの影響が若干大きい傾向にあるものと考えられる。

これらの結果から、今回対象とした材料の範囲では、密度が高く総細孔容積の少ないポリマーセメントモルタルは、高い圧縮強度が得られることが確認され、施工条件や養生条件等によって変化する密度や総細孔容積が圧縮強度に影響を与えていることが確認された。

### 3.3 中性化の進行

**図-8**に密度と中性化深さの関係を示す。密度と中性化深さの関係には相関はみられず、密度が中性化に与える影響は確認できなかった。

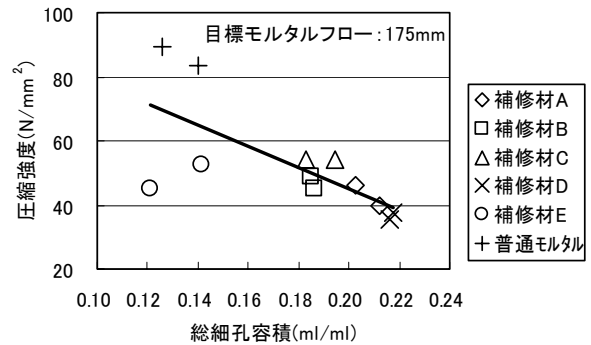


図-6 養生条件の差異によって変化した総細孔容積と圧縮強度の関係

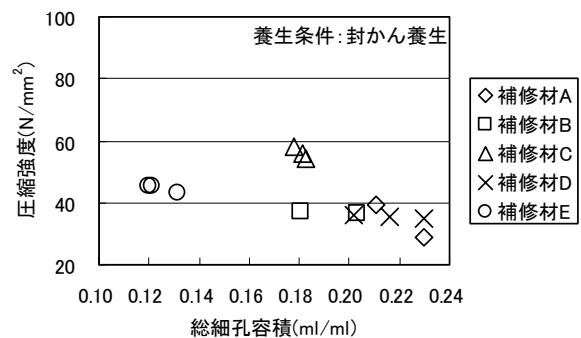


図-7 単位水量の差異によって変化した総細孔容積と圧縮強度の関係

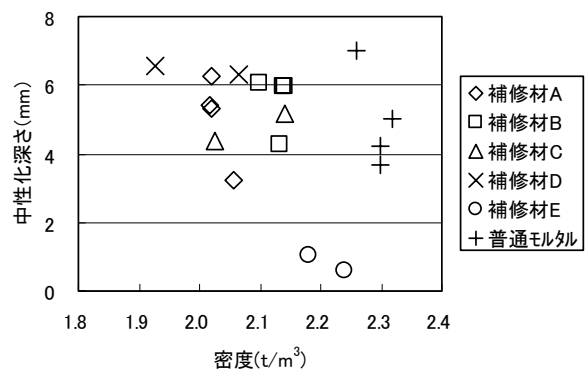


図-8 密度と中性化深さの関係

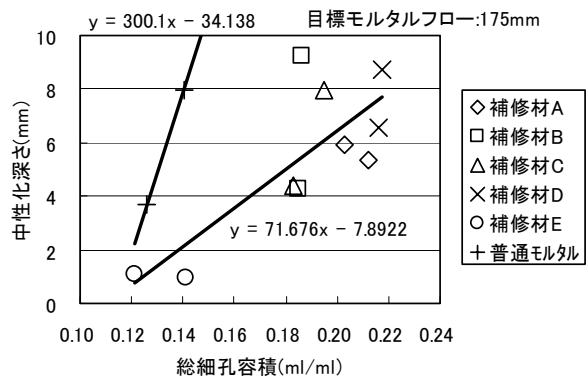


図-9 養生条件の差異によって変化した総細孔容積と中性化深さの関係

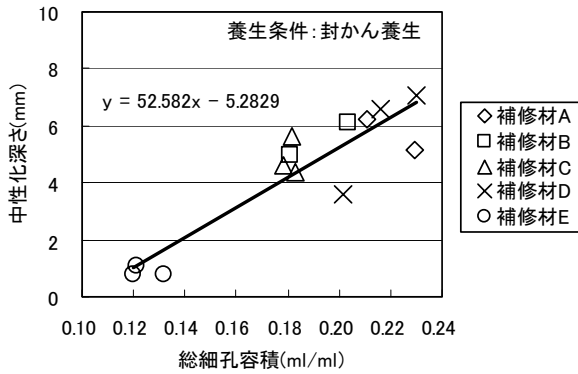


図-10 単位水量の差異によって変化した総細孔容積と中性化深さの関係

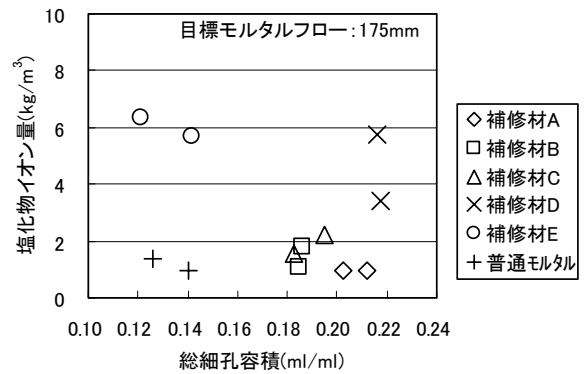


図-12 養生条件の差異によって変化した総細孔容積と塩化物イオン量の関係

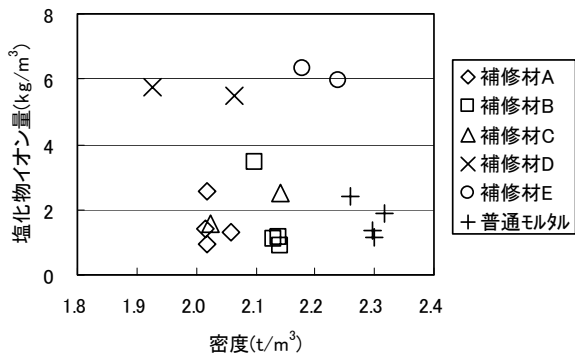


図-11 密度と塩化物イオン量の関係

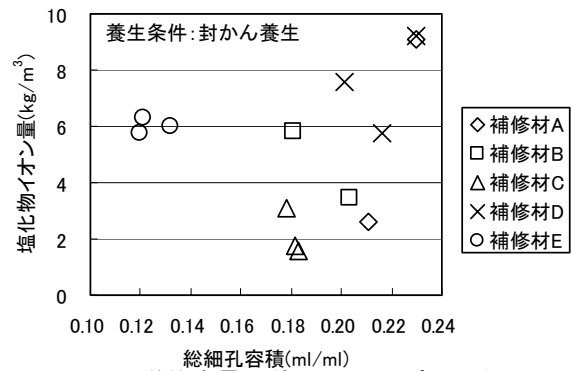


図-13 単位水量の差異によって変化した総細孔容積と塩化物イオン量の関係

ただし、材料ごとにみると密度が大きいものほど中性化深さが小さくなる傾向が見られるものもある。図-9に同一条件で試験体を作製し、養生条件の差異によって変化した総細孔容積と中性化深さの関係を示す。また、図-10に単位水量の差異によって変化した総細孔容積と中性化深さ

の関係を示す。なお、普通モルタルについては、モルタルフローの調整を高性能 AE 減水剤によって行ったため、対象外としている。

いずれの場合も、総細孔容積と中性化深さには相関がみられ、総細孔容積が少ないほど中性化深さが小さくなる傾向が見られた。この傾向は、養生条件の違いによる場合も単位水量の違いによる場合も同様であることが確認された。その傾向は、総細孔容積が 0.1ml/ml 増加すると

中性化深さが約 5~7mm 増加する関係にある。

また、図-9より、ポリマーセメントモルタルの中性化深さは、同等の総細孔容積の普通モルタルに比べて小さいという結果であった。このことは、ポリマーセメントモルタル中に形成されたポリマーフィルムが炭酸ガスの侵入に対する遮蔽効果が期待できたためと考えられる。

### 3.4 塩化物イオンの浸透

図-11に密度と塩化物イオン量の関係を示す。密度と塩化物イオン量の間には相関はみられず、密度が塩化物イオン量に与える影響は確認できなかった。ただし、材料ごとにみると密度が大きいものほど塩化物イオン量が少なくなる傾向が見られる。

図-12に同一条件で試験体を作製し、養生条

件の差異によって変化した総細孔容積と塩化物イオン量の関係を示す。また、図-13に単位水量の差異によって変化した総細孔容積と塩化物イオン量の関係を示す。なお、普通モルタルについては、モルタルフローの調整を高性能 AE 減水剤によって行ったため、対象外としている。

総細孔容積と塩化物イオン量には明確な相関はみられず、養生条件の違いによって変化する総細孔容積または、単位水量の違いによって変化する総細孔容積が塩化物イオン量に与える影響は確認できなかった。

また、対象とした補修材は、普通モルタルと比べて総細孔容積は同等以上であり、塩化物イオン量も普通モルタルに比べて同等以上の塩化物イオンが進入していることが認められた。この結果から、対象とした補修材は、比較とした普通モルタル（水セメント比 35%）に比べて硬化体組織が粗であるといえる。そのため、塩化物イオンの進入した量が多くなっていると考えられるが、総細孔容積が普通モルタルとほぼ同等であるにもかかわらず塩化物イオン量の多い材料（補修材 E）もあり、総細孔容積だけでは塩化物イオン量の進入を予測できないものと考ええる。

#### 4. まとめ

本検討で得られた結果を以下にまとめる。

- (1)ポリマーセメントモルタルは、密度と圧縮強度に相関関係が見られ、空気量と圧縮強度の関係に換算すると空気量 1%の増加は圧縮強度約 5%の低下の関係にある。
- (2)ポリマーセメントモルタルは、総細孔容積と圧縮強度に相関関係が見られ、総細孔容積が増加すると圧縮強度が低下する関係にある。
- (3)密度と中性化深さには明確な相関がみられない。

総細孔容積と中性化深さには相関がみられ、総細孔容積が 0.1ml/ml 増加すると中性化深さが約 6mm 増加する関係にある。

また、ポリマーセメントモルタルは、同等

の細孔容積を有する普通モルタルに比べて中性化深さが小さい。

- (4)密度と塩化物イオン量には、明確な相関がみられない。ただし、材料ごとにみると密度が大きいほど塩化物イオン量が少なくなる傾向がみられる。また、総細孔容積と塩化物イオン量には、明確な相関がみられない。

なお、本件では、硬化体組織の細孔構造について総細孔容積を代表として評価したが、劣化因子の進入に影響を与えた材料特性は何であるのかを細孔径分布やポリマーの影響度などを含めて多角的に検討を加えていきたい。

#### 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へ感謝致します。また、実験の実施にあたっては、芝浦工業大学 4 年生谷口広樹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) 榎島修，魚本健人：吹付け施工による断面修復材の耐久性に関する研究，日本コンクリート工学年次大会論文報告集、2003.7
- 4) 榎島修，魚本健人：吹付け施工した断面修復材の品質変動に関する研究，土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集、2003.9
- 5) 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、防食研究会、1989.1
- 6) コンクリート・ライブラリー第 64 号フライア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、土木学会フライアッシュ研究小委員会、1988.3