

報告 厚付け特性を有する無機系断面修復材の性状について

荒木 昭俊^{*1}・高木 聡史^{*2}・山岸 隆典^{*3}・水島 一行^{*4}

要旨：吹付け施工で用いる高炉スラグ微粉末を配合した無機系断面修復材のフレッシュ性状、強度特性、厚付け特性、耐久性能、及び比抵抗について、市販されているポリマーセメントモルタルの性能と比較評価した。その結果、1層あたりの吹付け厚さを10cmとしても、浮きやはく落がなく安定した下地コンクリートとの密着性が得られ、硬化モルタルの強度特性や耐久性能はポリマーセメントモルタルと同等性能を示した。また、比抵抗については、コンクリートと同レベルを示すと思われたがポリマーセメントモルタルと同程度であった。

キーワード：補修、断面修復、吹付け、ポリマー

1. はじめに

断面修復工法は、劣化したコンクリート構造物の劣化部分を除去し、新たに耐久性に優れたモルタルあるいはコンクリートで修復する工法であり、吹付け工法、左官工法、及びグラウト工法に分類できる。本報告の無機系断面修復材は吹付け工法に適用し、1層あたりの吹付け厚みを厚くできる性能（以下、厚付け特性）を有する材料である。吹付け工法用断面修復材には、専用の吹付けシステムを用いて施工可能な材料設計が求められ、種々の材料が提案されている。例えば、ポリマーセメントモルタル¹⁾、硬化促進剤を併用するモルタル²⁾、超速硬セメントを用いたモルタル³⁾が挙げられる。ポリマーセメントモルタルは、最も多く利用されている断面修復材であり、ポリマーの混和による物質遮断性能や付着・曲げ・引張性能の改善効果を期待できるが、1層あたりの吹付け厚みを厚くできない(5cm以下)ことや、断面修復したときの躯体との電気抵抗差によるマクロセル腐食の課題がある。硬化促進剤を併用するモルタルは、硬化促進剤を吹付けモルタルに合流混合して湿式で吹き付ける工法で使用するものであり、ポリマーセ

メントモルタル以上の厚付け特性を付与できる特徴がある。しかし、施工システム及び施工方法が従来方式に比べ複雑になる等の課題がある。また、超速硬セメントを用いたモルタルは、乾式吹付け工法により施工するものであり、厚付け特性に優れ大量施工が可能であるが、粉じんの発生が多いことから環境負荷が大きいといった課題がある。よって、これらモルタルの断面修復工法への適用に対しては、要求される環境、施工、及び耐久性条件を踏まえ適切な材料選定の実施が重要である。筆者らは、これら断面修復材の利点を生かし、各種条件に左右されずに広く適用可能な断面修復材の可能性を探索した結果、セメント混和用ポリマーを含まず高炉スラグ微粉末を混入したセメントモルタルとすることで、ポリマーセメントモルタルの耐久性能と同等性能を示し、速硬性を付与せずとも厚付け特性に優れる無機系断面修復材を開発した。

本報告では、開発した無機系断面修復材に関する基本性状について、市販されているポリマーセメントモルタルの性状と比較評価した結果について報告する。

-
- | | | | | |
|--------------|------|------------|--------|---------|
| *1 電気化学工業（株） | 青海工場 | 無機材料研究センター | 副主任研究員 | 工修（正会員） |
| *2 電気化学工業（株） | 青海工場 | 無機材料研究センター | 研究員 | （正会員） |
| *3 電気化学工業（株） | 青海工場 | 無機材料研究センター | 研究員 | |
| *4 電気化学工業（株） | 青海工場 | 無機材料研究センター | 主事 | |

表-1 使用した断面修復材の区分

断面修復材	ポリマー混和形態	成分
CM	—	高炉スラグ微粉末系セメントモルタル
LPCM	2材形	SBR系ポリマーセメントモルタル
PPCM	1材形	PAE-VAVeoVa系ポリマーセメントモルタル

SBR: スチレン-ブタジエン系ラテックス

PAE-VAVeoVa: アクリル酸エステル-酢酸ビニルビニルバーサテート系再乳化型樹脂

表-2 練混ぜ配合

断面修復材		P/C (%)	W/C (%)	練混ぜ配合(kg/m ³)		
				ドライモルタル	ポリマー	水
CMシリーズ	CM-1	—	40	1775	—	245
	CM-2	—	43	1750	—	241
PCMシリーズ	LPCMシリーズ	LPCM-1	5	1875	60	181
		LPCM-2	5	1750	55	196
	PPCMシリーズ	PPCM	7	1775	—	238

LPCMシリーズに使用したSBR系エマルジョン固形分濃度: 45%

2. 試験概要

2.1 使用した断面修復材の区分

本試験で使用した断面修復材の区分について表-1に示す。CMは厚付け特性に優れた無機系断面修復材であり、セメント混和用ポリマーディスパージョンを含有せず、高炉スラグ微粉末(メジアン径: $2.9\mu\text{m}$)を配合したセメントモルタルである。LPCMは練混ぜ時に液体エマルジョンを添加する2材形のポリマーセメントモルタルである。PPCMは、再乳化型樹脂を予めドライセメントモルタルに混合した1材形のポリマーセメントモルタルである。ポリマーセメントモルタルは何れも市販品である。

2.2 配合

本試験の評価に用いた練混ぜ配合を表-2に示す。P/Cはドライモルタル中のセメントに対するポリマー固形分割合、W/Cはドライモルタル中のセメントに対する水の割合を示す(CMシリーズのW/Cは高炉スラグ微粉末を除く値)。CM及びLPCMについては、水/セメント比を変化させた配合も評価した。

2.3 練混ぜ、吹付け、及び試験体作製方法

練混ぜは、50リットルダマカットミキサー(岡三機工社製2.8型)にドライモルタル50kgを投入し、所定量の水、ポリマーを加え3分間攪拌し調整

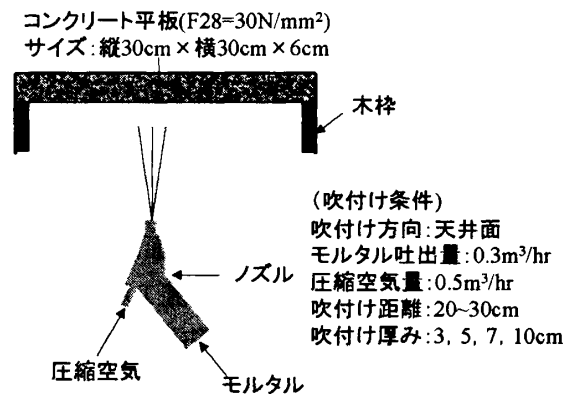


図-1 試験体作製方法

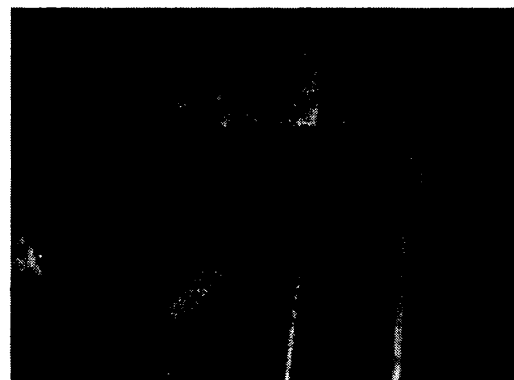


写真-1 吹付け状況 (t=10cm)

した。得られたモルタルは、ホッパー付きスクイズポンプ(岡三機工社製 OKG-05 型)で内径40mmの2MPa耐圧ホースで10m圧送し、ホース先端にノズル径9mmの専用ノズル(友定建機

表-3 試験項目

試験項目	試験方法	試験内容
フロー値	JIS R 5201	測定頻度:(練混ぜ直後, 30分後, 60分後, 吹付け後)測定温度:(20℃)
空気量	JIS A 1116	測定頻度:(吹付け後), 測定温度:(20℃)
圧縮・曲げ強度	JIS R 5201	測定材齢:(1日, 3日, 7日, 28日), 試験体サイズ:(4×4×16cm), N数=3 養生条件:(温度:20℃, 5℃, 湿度60~70%で気中養生)
付着強度	建研式接着力試験器で測定	測定材齢:(7日, 28日), 下地条件:(JISモルタル, サイズ縦7×横7×厚み1cm) 測定面積:(4×4cm=16cm ²), 吹付け厚み:1cm, N数=5 養生条件:(温度:20℃, 湿度60~70%で気中養生)
塩化物イオン浸透深さ	JIS A 1171	JIS A 6205規定の擬似海水中に浸漬したときの浸透深さをフルオレッセンナトリウム-硝酸銀法で測定。 浸漬材齢:(7日, 28日, 91日), 試験体サイズ:(10×10×10cm), N数=3
促進中性化深さ	JIS A 1171	促進条件:(炭酸ガス濃度:5%, 温度30℃, 湿度60%), 中性化深さはフェノールフタレイン法で測定。 促進材齢:(7日, 28日, 91日), 試験体サイズ:(10×10×10cm), N数=3
比抵抗		φ10×20cmの試験体を作製し2日後脱型し28日間水中養生後, φ10×5cmに切断したものを比抵抗測定用試験体とした。比抵抗測定は, 交流電源を用い試験体両面に10%ポリビニルアルコール水溶液に塩化ナトリウムを5%溶解させた高粘度液を塗り, φ10cmに成形した銅板を接触させた。印加電圧は1V, 周波数は1kHzとする二電極法で測定した。測定温度は20℃。
厚付け特性試験		図-1に示す枠内に吹き付けて, ダレや浮きの状態を観察後, 付着強度を建研式接着力試験器で測定。養生は温度及び湿度を制御していない屋内養生とした。(温度5~15℃), N数=3, 測定面積:4×4cm=16cm ²

社製 TPG-40 型) を接続し, 内径 10mm の圧縮空気ホースで空気消費量 0.5m³/min の圧縮空気を導入することで吹き付けた。試験体の作製については, 各試験項目で必要となる形状の型枠に直接吹き付けて作製した。厚付け特性試験では, 図-1 に示す条件で試験体を作製した。写真-1 にはその時の吹き付け状況を示す。

2.4 試験項目

試験項目を表-3 に示す。厚付け特性試験は CM-1 と LPCM-2 のみで実施した。その他の試験についてはすべての練混ぜ配合で実施した。付着強度試験を行う場合は, 下地となるモルタルやコンクリートにプライマー(成分:エチレン酢酸ビニル系エマルジョン, 固形分:15%)を目安として 150g/m² 事前塗布した。

3. 結果と考察

3.1 フレッシュ性状

図-2 には, 各種断面修復材の練混ぜ直後から 60 分経過まで練り置いた時のフロー値の経時変化を示す。また, 吹付け後のフロー値は練混ぜ直後のモルタルを直ぐに吹き付けて採取し測定した値である。練混ぜ直後のフロー値は, 何

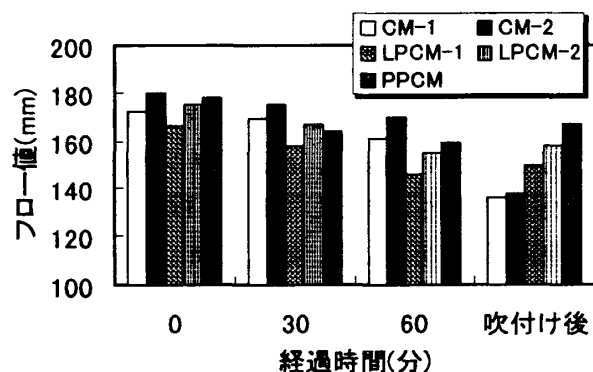


図-2 各種断面修復材のフロー値

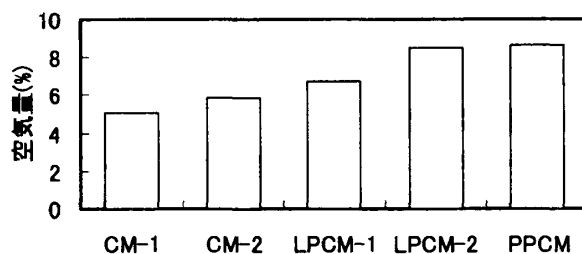


図-3 各種断面修復材 (吹付け後) の空気量

れも 165~185mm を示し, ポンプ圧送性及び吹き付けたモルタルの躯体との密着性を考慮すると妥当な範囲である。CM-1 及び CM-2 は, 時間の経過に伴い PCM シリーズと同様にフロー値は低

下する傾向を示した。吹付け後のフロー値については、練混ぜ直後に比べ何れも低下する傾向を示した。各種断面修復材の練混ぜ直後に対する吹付け後のフロー低下率は、CM-1：20.9%，CM-2：23.3%，LPCM-1：9.6%，LPCM-2：9.7%，PPCM：6.2%であった。CM シリーズは、PCM シリーズに比べ、吹付けによる締固め効果が非常に大きく、吹き付けた時のモルタル自重や衝撃力によって浮きやはく落等が起こりにくいため躯体との密着安定性が有利と考えられる。図-3には、各種断面修復材（吹付け後）の空気量を示す。空気量は、フロー値が小さいほど低下する傾向を示した。特に、CM シリーズは、PCM シリーズに比べ空気量が小さく緻密な硬化組織を形成するものと考えられる。PCM シリーズの場合は、ポリマーに含有する界面活性成分が気泡の安定化に寄与しているため CM シリーズに比べ脱泡性が小さいと考えられる。

3.2 強度特性

図-4 及び図-5 には各種断面修復材の圧縮・曲げ強度及び付着強度を示す。CM シリーズの圧縮・曲げ強度は、水／セメント比が小さいと強度発現性が向上しており、PCM シリーズと同様な傾向を示した。また、CM シリーズの付着強度は、付着性を向上させるポリマー混和剤を含有していないにも関わらず、PCM シリーズと同様な付着強度を示した。破断状態を観察した結果、部分的に下地モルタルから破断する凝集破壊(測定面積の10~20%)の傾向を示し、PCM シリーズと同様な破断状態であった。

3.3 厚付け特性

厚付け特性は、断面修復工事において、工期の短縮化、打継ぎ回数を減少し不連続界面を少なくできるといった施工コストの削減、修復箇所の高品質化を図るために重要な性能の一つである。本報告の無機系断面修復材は、PCM シリーズに比べ、吹付けによる締固め効果が大きく、緻密なモルタルが形成されていると考えられ、密着安定性の効果を把握するために吹付け厚さの影響を確認した。写真-2には、CM-1 と

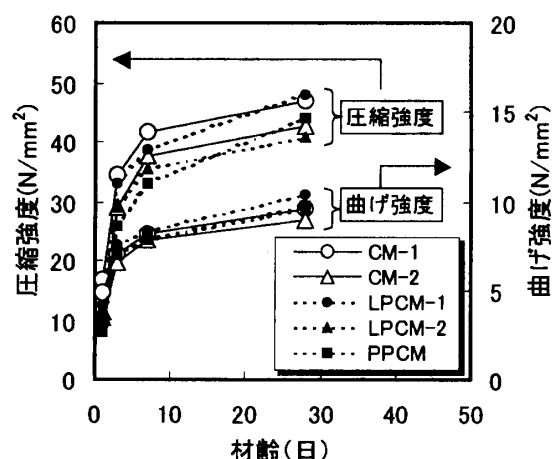


図-4 材齢と圧縮強度の関係

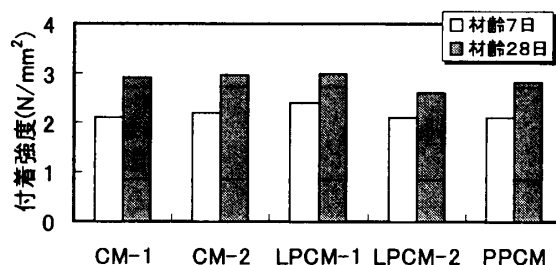
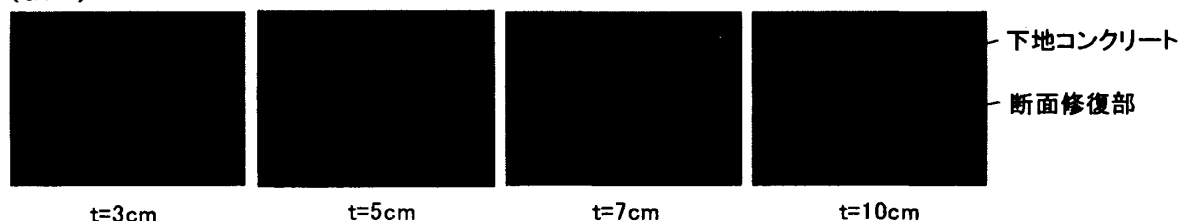


図-5 各種断面修復材の付着強度

LPCM-2 の吹付け厚さを変化させた時の厚付け特性試験結果を示す。写真は、吹き付けてから4日後に付着強度を測定するためにコンクリートカッターで切断した後に撮影したものである。CM-1 については、1 層あたりの吹付け厚さを3cm~10cm まで変化させて評価したが、浮きやはく落がなく良好な厚付け特性を示した。特に、吹付け厚さ 10cm においても優れた厚付け特性を示した。一方、LPCM-2 は、天井面において吹付け厚さ 3cm 程度まで安定した厚付け特性を示す材料であり、吹付け厚さ 5cm では、吹付けが完了してから 1 時間程度で部分的なはく落を生じた。吹付け厚さ 10cm については所定厚みの吹付けは不可能であった。図-6 には、CM-1 の 1 層あたりの吹付け厚さを変化させたときの材齢 28 日の平均付着強度とばらつきを示す。各吹付け厚さの平均付着強度は 2N/mm^2 程度を示し、吹付け厚さが 10cm まで変化しても一定の値を示した。また、破断状態は、平均付着強度より小

(CM-1)



(LPCM-2)

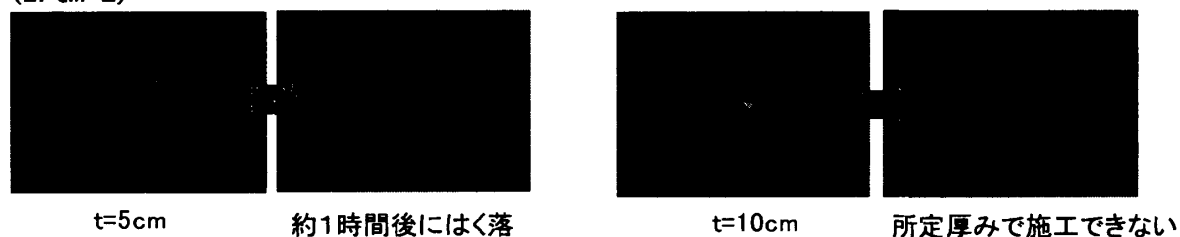


写真-2 CM-1 及び LPCM-2 の厚付け特性試験結果

さいい値の場合(図-6に示す3点)は、破断面の100%が下地コンクリートで破断し、平均付着強度と同程度か、それよりも大きい値の場合は、破断面の80%以上が下地コンクリートと断面修復材の界面で破断する結果となった。各吹付け厚さでのばらつきの大きな要因は、上記のような破断状態が影響したと考えられる。

3.4 耐久性

本項では、耐久性性能として中性化抵抗性及び塩化物イオン浸透抵抗性についてPCMシリーズの性能と比較評価した。図-7及び図-8には、CMシリーズの中性化抵抗性及び塩化物イオン浸透抵抗性を呼び強度 24N/mm^2 と 40N/mm^2 のコンクリート及びPCMシリーズと比較した結果を示す。CMシリーズの中性化抵抗性及び塩化物イオン浸透抵抗性は、コンクリートに比べ進行が遅く、PCMシリーズに匹敵する抵抗性を示した。炭酸ガスや塩化物イオンの浸透抑制に対しては、密実な硬化組織を形成させることが有利である。CMシリーズの場合は、3.1項で記載したように吹付け後モルタルの空気量がPCMシリーズよりも小さいことが進行抑制に寄与していると考えられる。また、塩化物イオン浸透抑制については高炉スラグ微粉末混入による抑制効果も働いていると考えられる。

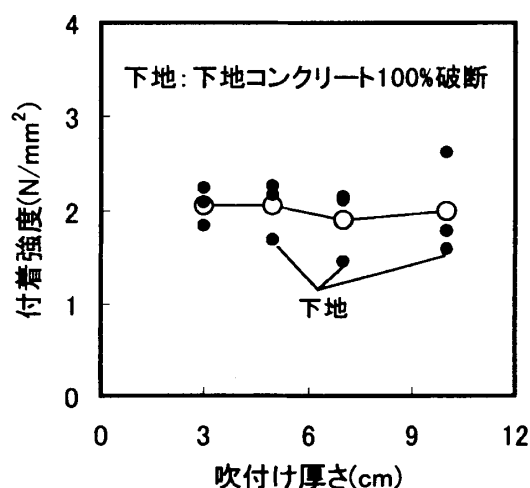


図-6 吹付け厚さと付着強度の関係

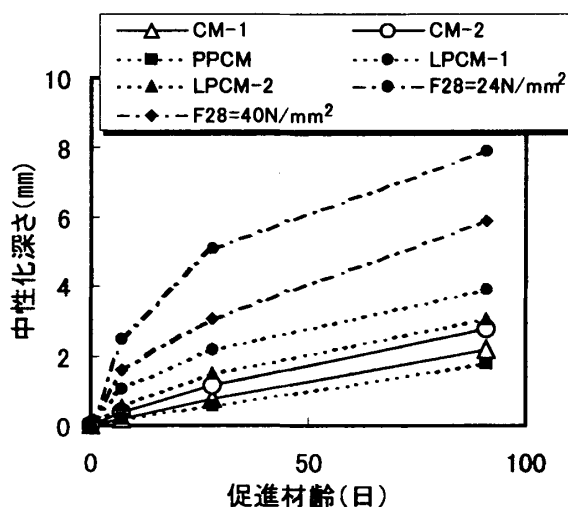


図-7 促進材齢と中性化深さの関係

3.5 比抵抗

代表的な電気的性質として、各種断面修復材の比抵抗測定を行った。マクロセル腐食はいろいろな要因の影響で進行し、一概に、コンクリートと同等の比抵抗を持つ断面修復材で補修すれば抑制できることは断定できないが、腐食抑制に対して重要なパラメータの1つと考えられる。図-9には、水/セメント比と比抵抗の関係を示す。比較として、JISモルタルとW/Cを変化させたコンクリートの比抵抗も示す。CMシリーズの比抵抗は、ポリマー混和剤を含有しないため、コンクリートと同等と思われたが、コンクリートレベルまでの減少は認められなかった。

4. まとめ

本報告の結果を以下にまとめる。

- (1) 無機系断面修復材の練混ぜ直後に対する吹付け後のフロー低下率は、ポリマーセメントモルタルより大きい。
- (2) 無機系断面修復材の強度特性はポリマーセメントモルタルと同等である。
- (3) 無機系断面修復材の厚付け特性は、ポリマーセメントモルタルに比べ吹付け後の密着安定性に優れるため、厚み10cmまで吹付け可能であった。また、吹付け厚みによらず 1.5N/mm^2 以上の付着強度を示した。
- (4) 無機系断面修復材の中性化抵抗性及び塩化物イオン浸透抵抗性は、ポリマーセメントモルタルに匹敵することを確認できた。
- (5) 無機系断面修復材の比抵抗はポリマーセメントモルタルよりも低下すると考えられたが大きな差は認められなかった。

今後の予定として、実施工レベルで適用した場合の各種性能について評価すると共に、電気化学的な関点から詳細な検討を加えたい。

参考文献

- 1) 瀧澤貴司, 藤原博, 川上裕人: 桁端狭小部における塩害対策 ―ウォータージェット工

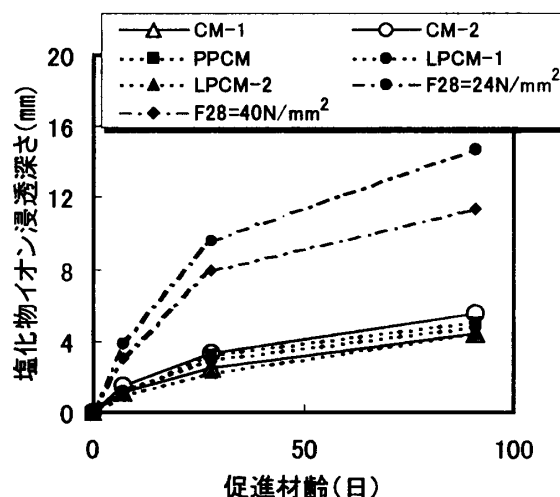


図-8 促進材齢と塩化物イオン浸透深さの関係

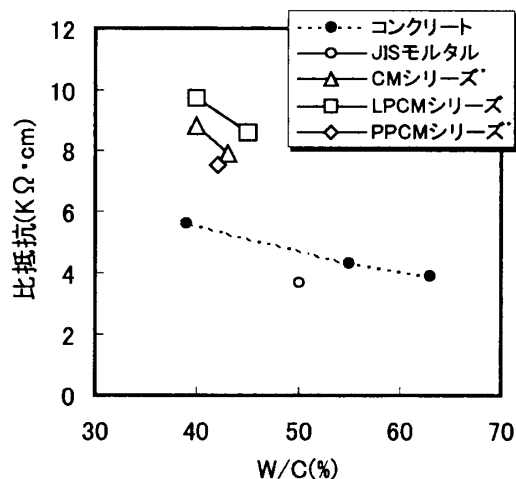


図-9 水/セメント比と比抵抗の関係

法による「はつり」と湿式吹付け工法による「断面修復」, ハイウェイ技術, No.27, pp.60-66, 2004

- 2) 川端康夫, 松尾勝弥, 名倉政雄, 平間昭信, 寺村悟, 荒木昭俊: 新しい断面修復用吹付け工法の開発, 土木学会 土木建設技術シンポジウム 2004 論文集, pp.311-312, 2004
- 3) 川俣孝治, 内田美生, 鳥取誠一: 超速硬セメントとビニロン繊維を用いた吹付けモルタルに関する検討, 土木学会年次学術講演会 講演概要集第5部, Vol.44, pp.304-305, 1990