

論文 細骨材の粒度が充填モルタルの流動性に及ぼす影響

今西 達也*1・東 健二*2・森 浩二*3・柏木 隆男*4

要旨：既存建築物の耐震補強工法で使用する高流動モルタルの基本性状を把握するために、水セメント比(40%)を一定にし、セメント量(650～700kg/m³)、細骨材の形状・比表面積(実積率：64.5～70.5%)、骨材の乾燥状態などを変動因子とした室内試験を行った。試験の結果、骨材表面のペースト膜厚が大きい場合には、ワーカビリティがよいが、沈降量が多いことが分かった。

キーワード：高流動モルタル，実積率，骨材比表面積，骨材ペースト膜厚

1. はじめに

既存建築物の現場打ち鉄筋コンクリート増設耐震補強工事では、型枠工事やコンクリート工事などによる制約で工期や施工性が決まっていたことから、現場施工の合理化や工期短縮が望まれている。これらの問題の軽減を意図して補強組積造¹⁾(以下RMと呼ぶ)を用いた耐震補強工法の開発を行っている。開発を行っているRMを用いた増設耐震補強工法では、施工性を考慮し、簡易な仮設で施工できるようRMユニットの内部に高流動モルタルを充填する。

そのために、RMユニットに充填する高流動モルタルには、適当な流動性、充填性、分離抵抗性及び硬化後の強度発現性などの性能が要求される。

高流動モルタルについての研究には、骨材の実積率が小さい場合にモルタルのフロー値が小さくなる研究²⁾や、セメントや高性能AE減水剤の種類が、高流動モルタルのフロー値や圧縮強度に影響を及ぼすことを示した研究³⁾などがある。このように幾つかの研究はあるが高流動モルタルの基本性状は十分に把握できているとは言えない。

そこで、高流動モルタルの基本性状を把握す

るために、セメント量と細骨材の粒形・比表面積を変動因子とした室内試験を行い、フロー値、沈降量、圧縮強度について検討をした。

2. 試験方法

2.1 実験因子

表-1 に試験で使用した細骨材の含水率・表面水率等の物性を示す。なお、実験では気乾状態の細骨材を使用した。

表-1 細骨材の物性

	表乾比重	吸水率	表面水率
川砂(S1)	2.59	1.25%	-1.02%
砕砂(S2)	2.56	2.52%	-1.85%
山砂(S3)	2.56	1.57%	-1.17%

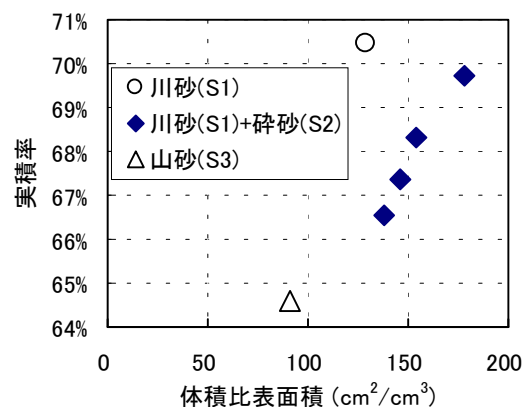


図-1 骨材の実積率と体積比表面積の関係

*1 (株)松村組 技術研究所構造研究課 博士 (正会員)

*2 (株)新井組 関西本店設計技術部 博士

*3 (株)浅沼組 技術研究所建築構造研究室

*4 (株)松村組 技術研究所材料研究課 課長 (正会員)

表-2 調合一覧

記号	W	C	S1	S2	S3	SP	実積率 %	体積比表面積 (cm ² /cm ³)	ペースト膜厚 μm	特 記
	kg/m ³									
C700_S1_100	280	700	1291	0	－	6.3 (0.9%)	70.4	129.5	59.1	
C700_S1_90	280	700	1159	130	－	6.3 (0.9%)	66.6	137.5	53.1	
C700_S1_80	280	700	1028	260	－	6.3 (0.9%)	67.4	145.6	51.1	
C700_S1_70	280	700	897	389	－	6.3 (0.9%)	68.3	153.7	49.3	
C700_S1_40	280	700	509	773	－	6.3 (0.9%)	69.7	177.8	44.2	
C700_S1_0	280	700	－	－	1276	6.3 (0.9%)	64.6	91.0	78.5	
C700_S1_40 non	280	700	509	773	－	6.3 (0.9%)	69.7	177.8	44.2	消泡剤無
C700_S1_90表	280	700	1159	130	－	6.3 (0.9%)	66.6	137.5	53.1	表乾
C700_S1_40表	280	700	509	773	－	6.3 (0.9%)	69.7	177.8	39.6	表乾
C650_S1_100	260	650	1368	0	－	5.9 (1.1%)	70.4	129.5	48.4	
C650_S1_90	260	650	1242	140	－	5.9 (1.1%)	66.6	137.5	43.1	
C650_S1_70	260	650	962	417	－	5.9 (1.1%)	68.3	153.7	40.2	
C650_S1_40	260	650	546	828	－	5.9 (1.1%)	69.7	177.8	36.3	

記号の意味: C700 - S1_40
セメント量 川砂(S1)の比率

表
特記(表:表乾、non:消泡剤無)

細骨材は、川砂(S1)と砕砂(S2)の混合比率を変えたり、粒度の細かな部分を取り除いた山砂(S3)の3種類を使い、**図-1**のように実積率・体積比表面積を変動させた。

ふるい分け試験では、JIS A 1102 のふるい目を用い、それぞれの骨材群の平均直径の算定には、粒子が通過する最小のふるい目の寸法と、粒子がとどまる最大のふるい目寸法の平均値で表す粒子の径の相加平均として求めた。

体積比表面積

図中の体積比表面積は、骨材群の粒子の形状を球と見なし、以下のように算定²⁾した。つまり、ふるい間の骨材群の平均直径をDとすると、体積Vおよび表面積Fは、 $V=\pi D^3/6$ 、 $F=\pi D^2$ となり、単位体積あたりの表面積を体積比表面積bとすると、 $b=F/V=6/D$ となる。

調合一覧

表-2にモルタルの調合一覧を示す。モルタルの調合では、水セメント比(W/C=40%)を一定とし、セメント量を、 $700\text{kg}/\text{m}^3$ と $650\text{kg}/\text{m}^3$ でかえた。

標準仕様の調合では、気乾状態の骨材を使用し、消泡剤を添加した。セメント量 $700\text{kg}/\text{m}^3$ の調合では高性能 AE 減水剤（ポリカルボン酸エーテル系化合物と分子架橋ポリマーの複合体）をセメント量に対し 0.9%添加したが、セメ

ント量 $650\text{kg}/\text{m}^3$ の調合では、流動性が小さくなることが予測されたことから高性能 AE 減水剤の添加率を増し 1.1%とした。

調合では、空気量を減らすために消泡剤の使用を基準としたが、消泡剤の影響を確認するために消泡剤を添加しない調合も作った。また、室内試験とプラントでの実際の調合との差を比較するために、表乾状態の細骨材を用いた試験も行った。

ペースト膜厚

骨材表面のペースト膜厚を形成する骨材周りのセメントペースト量は、それぞれのモルタルについて全ペースト量から、骨材間空隙量を引いた量とした。また、骨材表面ペースト膜厚は、骨材周りのセメントペースト量を骨材の表面積で除して求めた。

2.2 試験方法

表-3に実験項目一覧を示し、**写真-1**に試験方法の例を示す。

本モルタルの使用においては、現場においてポリマーモルタル用フローコーンを用いたフロー試験(JIS A 1171)を用いることから、耐震改修指針⁴⁾の規格と比較を行うためにフローテーブルを用いた試験(JIS R 5201)と J14 ロート試験(JHS312)を併せて行った。

また、実積率やセメント量が沈降量に及ぼす影響を見るために変位計を用いた沈降量試験を行った。本試験では、レーザー変位計による試験を基準としたが、簡易な方法としてひずみゲージ式高感度変位計を用いた沈降量の計測も行った。

3. 試験結果

3.1 フレッシュ試験

図-2に実積率とフロー値の関係を示す。セメント量 650kg/m^3 の調合(C650)では、実積率の低い試験体のフロー値が小さい傾向がある。しかし、セメント量 700kg/m^3 の調合(C700)は、実積率に関わらずほぼ一定のフロー値になった。

消泡剤を添加しない調合では、添加した調合と比べ空気量が1.8%から2.4%に増えた。一方で、消泡剤の有無を比較(C700, C700non 消)した結果、消泡剤がフロー値に与える影響は見られなかった。

細骨材を気乾状態とした試験体(C700)と比べ、表乾状態とした試験体(C700 表乾)では、実積率が大きな試験体（実積率：69.7%）でフロー値が小さくなった。気乾状態の試験体は骨材に水分補正を行ったが、吸水率の高い砕砂の割合が多いこの試験体（実積率：69.7%）には、補正を行った水分が骨材中に取り込まれなかったことにより、気乾状態の試験体のフロー値が大きくなったと思われる。

実積率は、コンクリートの粗骨材粒形判定などに用いられ、角ばったもの、偏平であるものなど粒形の良くない骨材は実積率が低く、実積率の低い骨材を用いたコンクリートの場合には、骨材の周りのセメントペーストが不足し、ワーカビリティが悪くなる事が知られている⁵⁾。

本試験でも、セメント量 650kg/m^3 の調合で実積率の低い骨材を用いた高流動モルタルの場合には、コンクリートと同様にワーカビリティが悪くなることを示した。ただし、セメント量 700kg/m^3 の調合では、ペースト量が多くなり、骨材形状の影響を緩和したと考えられる。

表-3 実験項目一覧

項目	測定方法	規格
実積率	実積率試験	JIS A 1104
フロー	ポリマーモルタル用フローコーン	JIS A 1171
	モルタル用フローコーン	JIS R 5201
Jロート	J ₁₄ ロート	JIS R 5201
空気量	エアメータ	JIS A 1171
圧縮強度	試験体寸法： $\phi 50 \times 100$	材齢：28日 (現場水中：室内)
沈降量	レーザー変位計	長さ変化($\phi 100 \times 200$)
	ひずみゲージ式高感度変位計	長さ変化($\phi 100 \times 200$)



写真-1 レーザー変位計による沈降の計測

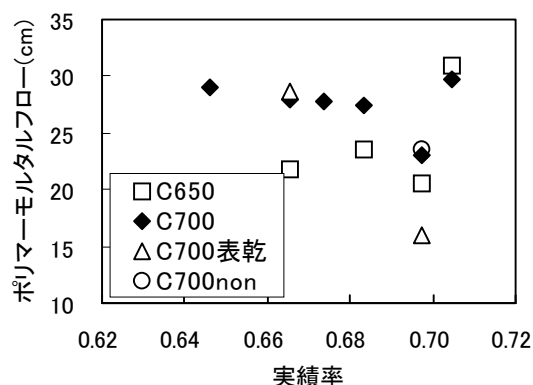


図-2 実積率とフロー値の関係

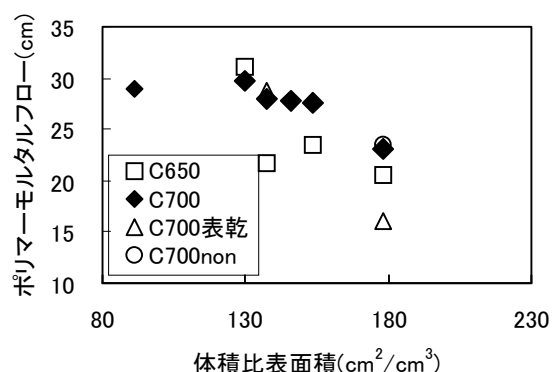


図-3 体積比表面積とフロー値の関係

図-3に比表面積とフロー値の関係を示す。セメント量 700, 650kg/m^3 の何れの調合でも比表面積が小さくなるとフロー値が大きくなる

傾向がある。セメント量 700, 650kg/m³ の調査で実積率 69.7%の試験体のフロー値が小さかったのは、体積比表面積(177.8cm²/cm³)が大きいことによると思われる。

3.2 各種フロー試験の相関関係

図-4, 図-5 に各種試験（ポリマーモルタル用コーン試験, フローテーブル試験, J14 ロート試験）の結果の相関関係を示す。

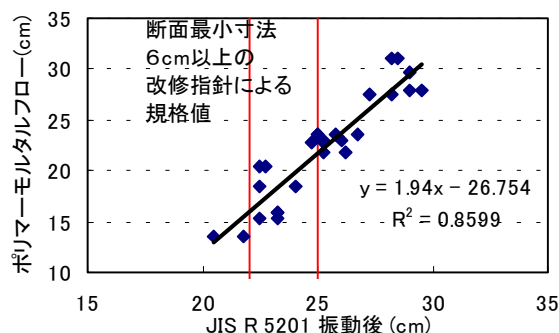


図-4 ポリマーモルタル用コーン試験結果とフローテーブル試験結果の相関関係

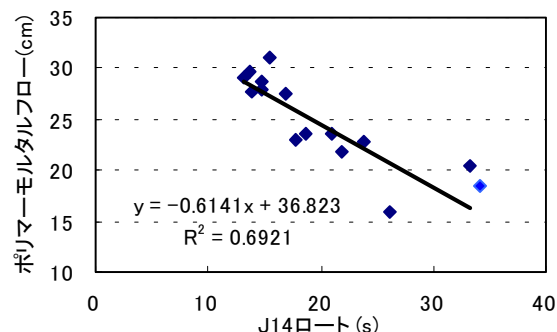


図-5 ポリマーモルタル用コーン試験結果と J₁₄ ロート試験結果の相関関係

ポリマーモルタル用コーン試験(JIS R1171), フローテーブルによる試験(JIS R5201), J14 ロート試験(JHS312)それぞれに相関性は見られるが、結果には若干のばらつきが見られた。

特に、J14 ロートによる試験の場合には、フロー値が小さいと試験結果のばらつきが大きくなり、計測不能の場合も見られた。

3.3 沈降量の計測

図-6 にレーザー変位計を用いて計測を行っ

た場合の沈降量と体積比表面積の関係を示し、図-7 にひずみゲージ式高感度変位計を用いて計測を行った場合の沈降量と体積比表面積の関係を示す。この場合の沈降量は、沈降が概ね収まったと思われる10時間経過時の値を示している。

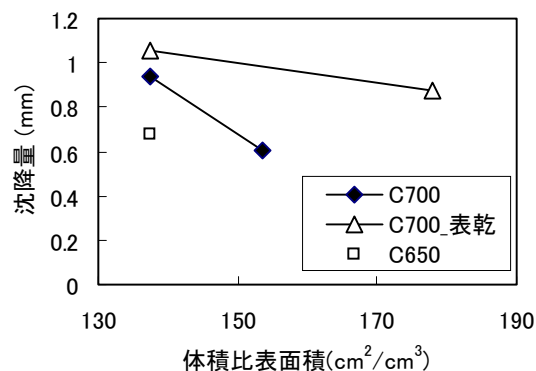


図-6 沈降量と体積比表面積の関係 (レーザー変位計による計測)

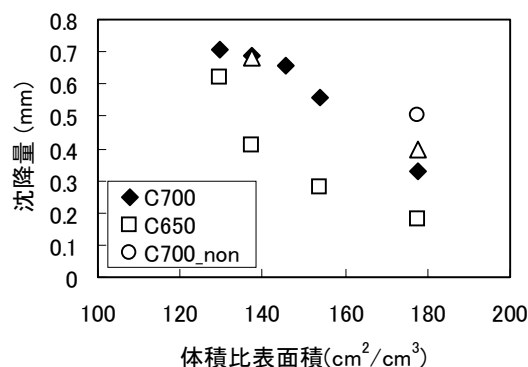


図-7 沈降量と体積比表面積の関係 (ひずみゲージ式高感度変位計による計測)

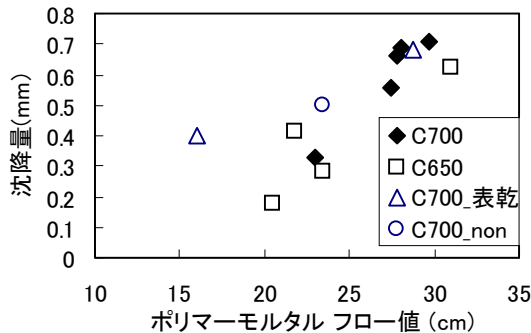
図-6, 図-7 いずれの場合にも、C650 と比べ C700 の沈降量は大きかった。これは、水セメント比を一定としたことから、ペースト量の多い C700 の沈降量が多くなったと思われる。

また、セメント量 700 kg/m³ の試験体(C700, C700non)では骨材の乾燥状態に関わらず、本試験では体積比表面積が大きくなると沈降量が少なくなる傾向を示した。消泡剤添加の有無による差を比較すると、消泡剤を添加しない試験体では、沈降量がやや大きくなった。

図-8 にひずみゲージ式高感度変位計を用い

て計測を行った沈降量とフロー値の関係を示す。

この結果からは、フロー値が大きくなると沈降量が大きくなる結果が分かる。また、消泡剤を添加していない場合 (C700non) についても同様の結果を示しており、消泡剤が沈降量に及ぼす影響は明確でない。



図－８ 沈降量とフロー値の関係
(ひずみゲージ式高感度変位計による計測)

3.4 骨材ペースト膜厚による影響

コンクリートのワーカビリティにとって、骨材の表面に付着するペースト量が重要な働きを示し、骨材表面のペースト膜の厚さが増すと、スランプが大きくなることが知られている⁵⁾。そこで、本章では、モルタルの骨材表面のペースト膜厚が、モルタルのフロー値と沈降量に及ぼす影響を検討した。

図－９に骨材表面のペースト膜厚とポリマーモルタル用フローコーンを用いて計測したフロー値の関係を示す。

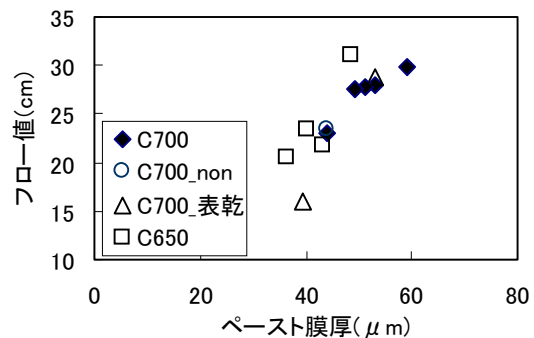
フロー値は、セメント量(C700,C650)に関係なく骨材表面ペースト膜厚が大きくなる程大きくなる傾向がある。ただし、本実験では、水セメント比を一定にしたことから、セメント量の少ない試験体では、骨材周りのセメントペースト量が少なく、フロー値が小さい傾向がある。

図－１０には骨材表面のペースト膜厚と沈降量の関係を示す。図－１０の沈降量は、図－９のフロー値と同様に、骨材表面のペースト膜厚が大きくなると多くなっている。

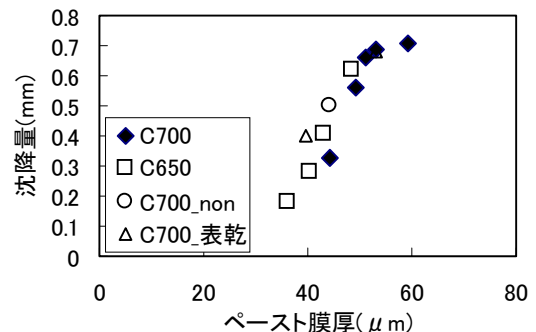
骨材表面のペースト膜厚が大きい場合には、ワーカビリティがよいが、沈降量が多いこと

がわかった。沈降量の限界値については、充填性試験を実施して硬化後の充填状況から判断すべきであると思われる。

本試験では、ブリーディングが確認されなかったことから、骨材表面のペースト膜厚が大きいと、骨材と骨材が機械的にかみ合っている部分が少なくなり、硬化前の骨材の動きが起こりやすくなるために、ペーストの収縮により、沈降量が多かったと考えられる。



図－９ 骨材表面ペースト膜厚とフロー値の関係



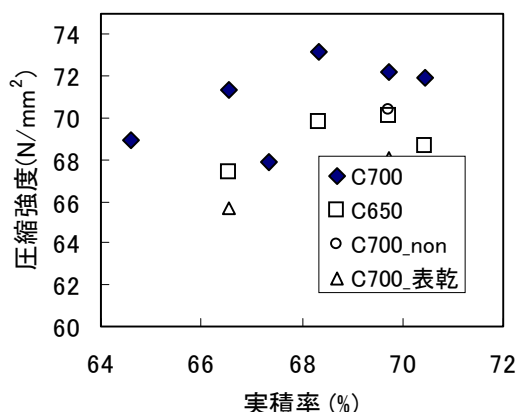
図－１０ 骨材表面ペースト膜厚と沈降量の関係

3.5 圧縮強度

図－１１に材齢２９日のモルタルの圧縮試験結果を示す。図－１１は、それぞれ３本のテストピース(φ50×100)の圧縮強度の平均値を示している。圧縮強度は 73.2～65.7N/mm² の幅でばらついている。

セメント量 650kg/m³ (C650) の場合、骨材を表乾とした場合(C700 表乾)、消泡剤を添加しなかった場合(C700non)の圧縮強度は、やや小さ

めの傾向である。実積率と強度の関係は明確でないが、セメント量 650kg/m^3 、 700kg/m^3 何れの場合にも実積率 68～70%程度で圧縮強度は高い傾向がある。なお、本報では記していないが、ペースト膜厚が圧縮強度に及ぼす影響も、明確でなかった。



図－１１ 圧縮強度の比較

4. まとめ

RM組積体の内部に充填するモルタルの基本性状を把握するために、水セメント比(40%)を一定にし、セメント量と細骨材の形状を変動因子とした室内試験を行った。以下に試験結果の概要を記す。

- (1) 本試験では、細骨材の比表面積が小さいと、流動性が良くなる傾向を示した。ただし、セメント量が少なく実積率の小さな試験体では、比表面積が小さくても流動性が悪くなった。
- (2) セメント量 650kg/m^3 の調合では、実積率の低い試験体のフロー値が小さい傾向がある。しかし、セメント量 700kg/m^3 の調合は、実積率に関わらずほぼ一定のフロー値になった。これは、セメント量 700kg/m^3 の調合では、ペースト量が多くなり、骨材形状の影響を緩和したためと考えられる。
- (3) 各種フレッシュ試験方法による結果の相関性は見られた。ただし、結果には若干のばらつきがあった。
- (4) 消泡剤添加の有無による差を比較すると、

流動性には影響を与えなかったが、消泡剤を添加しない試験体では、沈降量がやや大きくなった。

- (5) 水セメント比を一定にした場合、セメント量 650kg/m^3 の試験体と比べセメント量 700kg/m^3 の試験体の沈降量は大きかった。
- (6) 骨材表面のペースト膜厚が大きい場合には、ワーカビリティがよいが、沈降量が多いことが分かった。本試験では、ブリーディングが確認されなかったことから、骨材表面のペースト膜厚が大きいと、骨材と骨材が機械的にかみ合っている部分が少なくなり、硬化前の骨材の動きが起りやすくなるために、ペーストの収縮により、沈降量が多かったと考えられる。
- (7) セメント量 650kg/m^3 、骨材を表乾とした場合、消泡剤を添加しなかった場合の圧縮強度は、やや小さめの傾向である。しかし、実積率と強度の関係は明確でなかった。

参考文献

- 1) 建設省建築研究所：建築研究報告 組積造に関する日米大型耐震実験研究（中層 RM 構造設計指針（案）施工指針（案）について、1992
- 2) 柏木隆男，寺島明彦，大橋正治：単位水量を少なくするための骨材粒度に関する研究，日本建築学会大会梗概集，2001, pp1-2
- 3) 呉承寧，手塚正道，今井昌文，堀越直樹：高流動モルタルの性状に及ぼすセメント及び高性能 AE 減水剤の影響，コンクリート工学年次論文集，VOL.18，No.1，1996, pp57-62
- 4) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修指針・同解説，2001 改訂版
- 5) 戸祭邦之：コンクリートの実像 4. コンクリートの性能・性質，理工図書，pp116-131