

論文 間隙充填モルタルの充填性に影響を及ぼす要因とその評価手法

石山 陽介*1・宇治 公隆*2・上野 敦*3・大野 健太郎*4

要旨：間隙充填モルタルの充填性を確保するには、流動性および材料分離抵抗性を併せ持つ必要がある。しかし、充填性を適切に評価する試験方法については、十分に検討がなされているとは言えない。そこで、本研究では、間隙充填モルタルの充填性に影響を与える要因とその評価手法について検討した。その結果、間隙充填において、間隙が狭くなるほど骨材粒径の影響が大きくなることが明らかとなった。また、充填性の確保には、レオロジー特性を踏まえた適切な漏斗流下時間、フローを確保する必要があるが、充填性の評価は、間隙幅、材料分離の影響を踏まえて行うべきであることが示唆された。

キーワード：間隙充填モルタル、充填性、流動性、材料分離抵抗性、レオロジー定数、骨材、粒径

1. はじめに

間隙充填モルタルは、耐震補強を目的とした橋脚の鋼板巻立て部や建物の耐震壁設置箇所、橋梁の沓座や機械基礎の箱抜き部、構造物の開口部など、様々な構造物・部位の狭い隙間を対象とし、構造物の一体性を実現するために広く用いられている。なお、橋脚の鋼板巻立てにおいても間隙幅は一樣ではなく、部分的に狭隘部となっている箇所をも通過・充填する必要がある。

間隙充填モルタルに求められる充填性を確保するためには、型枠の隅々まで充填できる流動性および流動途中で閉塞を生じない材料分離抵抗性を併せ持つ必要がある。しかし、実際の施工現場では、間隙充填モルタルの品質が重要視されているとは言いがたい。間隙充填モルタルのワーカビリティの評価方法として、主として用いられているのが漏斗流下時間である。この流下時間により充填性の評価が適切に行えているとは言えず、これまで、使用材料や施工方法に関する検討が行われ、グラウトの充填性改善に関して様々な提案がなされている^{1), 2)}。

「建築改修工事管理指針(下巻)平成19年版」³⁾では、鉄筋コンクリート壁の増設工事における壁頭部の隙間や鉄骨枠付ブレース架構の鉄骨枠内に使用する無収縮グラウト材の標準軟度を評価する試験方法として、J14漏斗試験と簡易テーブルフロー試験を併用するよう定めている。なお、簡易テーブルフロー試験をも実施するのは、J14漏斗流下時間の測定で測定値の写真記録が困難であること、測定者の測定誤差が生じること、すなわち無収縮グラウト材の施工管理を行い易くするためとされている。一方、土木分野においては、2002年のコンクリート標準示方書[規準編]の改訂により、グラウトの

流動性試験に使用する漏斗(JSCE-F531)をJ14漏斗からJP漏斗に変更している⁴⁾。これは、流出部に直管を有するJP漏斗を使用することで、グラウト材が狭い間隙を通過する状態をより適切に評価するためである。

以上のように、間隙充填性を評価するための試験方法の改善が図られているが、その妥当性、適切な使用方法については未だ、十分検討がなされていない。

そこで、筆者らは、充填性の適切な評価のため、新たな試験装置を考案し、基礎的検討を行ってきた^{5), 6)}。

本研究では、間隙充填における骨材粒径ならびに漏斗流下時間の影響について検討し、さらにJ14漏斗試験、JP漏斗試験、簡易テーブルフロー試験を用い、間隙充填モルタルに求められる性能の適切な評価手法を提案することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本実験で使用した材料およびモルタルの配合を表-1、表-2に示す。表-2に示す通り、各配合とも水セメント比30%、セメント質量に対する細骨材質量の割合を示す細骨材セメント比(S/C)0.8の一定とした。さらに、高性

表-1 使用材料

セメント(C)	普通ポルトランドセメント (密度:3.16g/cm ³ 比表面積:3190cm ² /g)	
細骨材(S)	石灰石砕砂	1.2mm未満粒径 (密度:2.55g/cm ³ 吸水率:1.01%)
		大粒径(1.2mm以上) (密度:2.45g/cm ³ 吸水率:0.62%)
高性能AE減水剤(SP)	ポリカルボン酸エーテル系	
増粘剤(Vi)	メチルセルロース系 (水溶液粘度(2.0%):190~350mPa·s)	
消泡剤(An)	ポリエーテル系	

*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 (正会員)

*2 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域教授 博士(工学)(正会員)

*3 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域准教授 博士(工学)(正会員)

*4 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域助教 博士(工学)(正会員)

表-2 モルタルの配合

配合記号	大粒径細骨材の寸法 ^{注1)} (mm)	目標 J14漏斗流下時間 (s)	W/C (%)	S/C	単位量(kg/m ³)						
					水	セメント	細骨材		高性能 AE減水剤	増粘剤	注2 消泡剤
							粒径1.2mm未満	大粒径細骨材			
S1.2-1.7(7)	1.2~1.7	7	30	0.8	300	1000	640	160	C×1.0%	0.06	0.50
S1.7-2.0(7)	1.7~2.0										
S2.0-2.5(7)	2.0~2.5										
S2.5-2.8(7)	2.5~2.8										
S2.8-5.0(7)	2.8~5.0										
S1.2-1.7(9)	1.2~1.7	9	30	0.8	300	1000	640	160	C×5.0%	0.83	0.50
S1.7-2.0(9)	1.7~2.0										
S2.0-2.5(9)	2.0~2.5										
S2.5-2.8(9)	2.5~2.8										
S2.8-5.0(9)	2.8~5.0										

注1) 右記のふるいを通し、左記のふるいにとどまることを示す。

注2) 径の大きい気泡を除去するために使用した。

能 AE 減水剤と増粘剤の添加量を変化させることによって、J14 漏斗流下時間が約 7 秒と 9 秒となるよう調整した。これは、日本高速道路株式会社が定める無収縮グラウト材の品質規格におけるコンシステンシーの範囲内 (J14 漏斗流下時間が 8±2 秒) で、それぞれ粘性が小さな試料と大きな試料という想定のもとで設定した⁷⁾。また、細骨材は、間隙充填における骨材粒径の影響を把握するため、現在市販されている間隙充填モルタルの骨材粒径を考慮して、粒径が 1.2mm 未満の細骨材を全細骨材の 80% とし、残りの 20% を粒径の大きいもの (大粒径細骨材) を用いることとして、両者を混合した。

練混ぜには、回転速度 1100rpm のハンドミキサーを用いた。20 リットルの容器に、予め高性能 AE 減水剤を混合した水を用意し、その後、ハンドミキサーを回転させながら材料を徐々に投入した。投入は、セメント、増粘剤および消泡剤、そして細骨材の順とした。投入完了後、固形物が残ることがないように 1 分間攪拌し、各種試験を行った。

2.2 検討項目

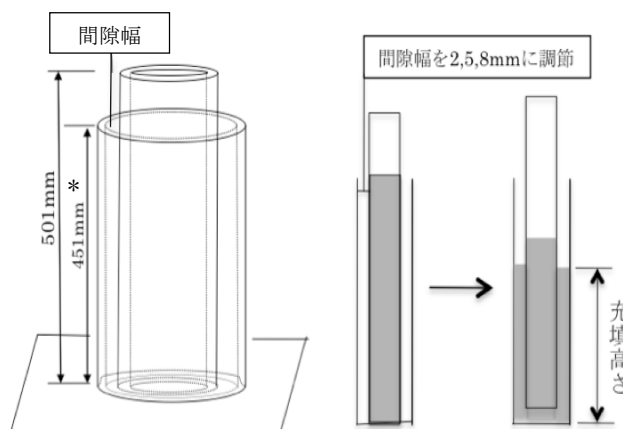
検討項目は、表-3 に示す通りである。J14 漏斗試験、JP 漏斗試験および JASS 15 M を参考にした簡易テーブルフロー試験を行った。また、粘度測定試験は、B 型粘度計を用いて行い、レオロジー定数 (塑性粘度および降伏値) を測定した。

フロー試験の手順は、ガラス板上に、内径 50mm、高さ 100mm の円筒容器を置き、試料 (モルタル) を充填する。その後、円筒容器を引き上げ、3 分静置後、2 方向 (最長部およびそれに直交する方向) の直径を測定して、その平均値をフローとした。

間隙充填性は、図-1 に示す 2 本のアクリルパイプ (内パイプ、外パイプ) を用いた間隙充填性試験装置により評価した。内・外パイプの間隙幅は、2、5 および 8mm の 3 種類となるようにし、各間隙幅は、外パイプの径を変化

表-3 検討項目

試験項目	測定項目	試験方法
JP漏斗試験	JP漏斗流下時間	JSCE-F531
J14漏斗試験	J14漏斗流下時間	JSCE-F541
簡易テーブルフロー試験	フロー	建築改修工事管理指針 (国土交通省大臣官房官庁営繕部監修 財団法人 建築保全センター)
粘度測定試験	a)塑性粘度 b)降伏値	JIS Z 8803
間隙充填性試験 (アクリルパイプ)	a)充填高さ b)充填時間	別途記載
材料分離抵抗性試験	干渉沈降 試料の単位容積質量	



*内・外アクリルパイプの下端には止水材を配置した。

図-1 間隙充填性試験装置略図

表-4 間隙充填性試験装置 (アクリルパイプ) 寸法

間隙幅(mm)	内アクリルパイプ		外アクリルパイプ	
	外径(mm)	内径(mm)	外径(mm)	内径(mm)
2	40	30	54	44
5	40	30	60	50
8	40	30	66	56

させて調節した。内・外パイプの内径および外径を表-4 に示す。試験手順は次の通りである。(1)内径 30mm の内パイプに試料 (モルタル、約 320ml) を上縁から 50mm 下がった位置まで投入する。(2)所定の前置き時間静置後、内パイプを上方に間隙幅 (2, 5, 8mm) に対応した分だけ

表-5 フレッシュ性状

配合記号	J14漏斗流下時間(s)	JP漏斗流下時間(s)	フロー(mm)	塑性粘度(mPa·s)	降伏値(Pa)
S1.2-1.7(7)	6.94	9.37	287.5	1673	0.82
S1.7-2.0(7)	6.91	9.21	271.0	2183	3.11
S2.0-2.5(7)	7.11	9.43	278.0	1332	1.53
S2.5-2.8(7)	6.84	8.70	282.5	2393	1.26
S2.8-5.0(7)	6.50	8.46	284.5	1285	1.15
S1.2-1.7(9)	8.71	13.34	250.0	2391	5.25
S1.7-2.0(9)	8.25	11.73	244.0	2546	5.97
S2.0-2.5(9)	8.50	12.85	247.5	2945	4.60
S2.5-2.8(9)	8.23	12.20	245.0	2250	9.12
S2.8-5.0(9)	8.25	12.04	246.5	2110	9.02

引き上げ、内パイプ内の試料（モルタル）を内・外パイプの間隙に自重により流動・充填させる。前置き時間は、材料分離の影響を検討するため、試料投入直後に試験を開始する場合（以下、前置き時間 0 分）と試料投入後 1 分間静置させた後に試験を開始する場合（以下、前置き時間 1 分）の 2 通りとした。また、内パイプの引き上げは、手動にて行い、内パイプに目印を付け、所定の引上げ幅となるように工夫した。(3) 静止するまでの時間（充填時間）および試料が内パイプ中から内・外パイプの間隙へ流動して上昇した高さ（充填高さ）を測定し、充填率を算出した。なお、充填率は、充填高さを理論高さ（内パイプ中と間隙中の試料の高さが等しくなる高さ）で除した値と定義する。本研究において、充填性は、充填率によって評価することとする。

材料分離抵抗性は、図-2 に示す内径 100mm、高さ 900mm の塩化ビニルパイプを、高さ方向 300mm ずつの 3 層（上から A 層、B 層、C 層とする）に分割した試験装置を作製し、A 層と C 層の単位容積質量差により評価した。試験手順は、塩化ビニルパイプに試料となるモルタルを上面まで注ぎ、30 分間静置する。その後、各層の試料を採取（A、B 層は各排出口より）し、それぞれの試料の単位容積質量を測定した。

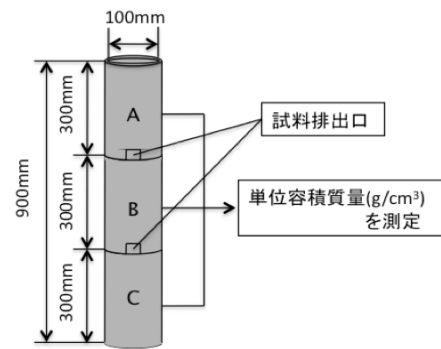


図-2 材料分離抵抗性試験装置略図

3. 実験結果および考察

3.1 骨材粒径が充填性に及ぼす影響

(1) フレッシュ性状

間隙充填モルタルのフレッシュ性状は、表-5 に示す通りである。J14 漏斗流下時間は、それぞれの配合で、目標とする J14 漏斗流下時間から±1 秒の範囲に収まり、フローも大きな変動は見られなかった。すなわち、それぞれの配合において、流動特性は概ね一定であると言える。しかし、塑性粘度、降伏値は、同程度の漏斗流下時間、フローであっても、多少のばらつきが見られた。これは、粘度測定試験に用いたモルタル中の骨材が完全には均一でなく、用いた試料によって骨材の分布状況が異なるため、試料間でばらつきが生じたと考えられる。

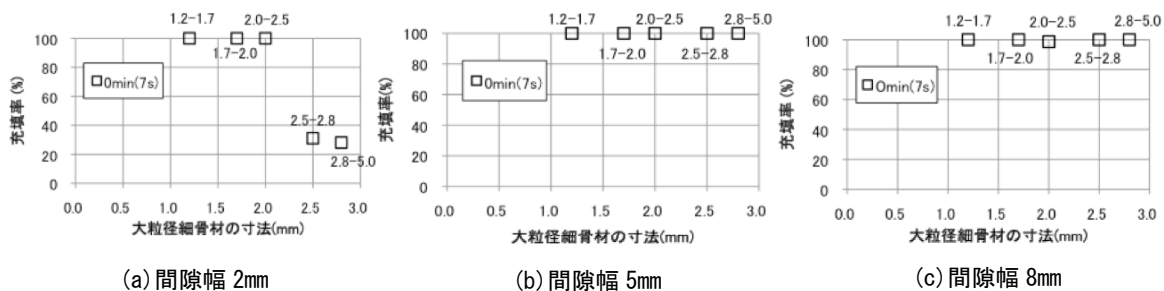


図-3 前置き時間 0 分における各間隙幅での充填率と大粒径細骨材の寸法との関係

(2) 間隙充填における骨材粒径の影響

前置き時間 0 分における内パイプと外パイプの間隙幅 2, 5 および 8mm の場合の充填率と大粒径細骨材の寸法との関係を図-3 に示す。なお、図-3 に示す結果は、目標 J14 漏斗流下時間を 7 秒とした配合の試料を用いたときのものである。目標 J14 漏斗流下時間を 9 秒とした配合の試料を用いたときの結果は、間隙幅 2mm の場合を除いて同様の傾向を示したため、表記していない。間隙幅 2mm での実験結果は、3.3(2)において検討する。

間隙幅 2mm の場合、大粒径細骨材の寸法が 1.2-1.7mm, 1.7-2.0mm および 2.0-2.5mm の試料は、間隙を完全に充填できた。しかし、2.5-2.8mm および 2.8-5.0mm の試料は、充填率が 30%程度で閉塞し、間隙を完全には充填できなかった。すなわち、各試料の流動特性は一定であるが、2.0-2.5mm の粒径の細骨材が 20%混入していても、2mm の間隙を完全に充填できるが、2.5-2.8mm 以上の粒径では不可能であることが分かった。ふるい分け試験において、Zingg の粒子形状の定義⁹⁾に従えば、粒子形状が棒状や葉片状の場合、粒子の中間径が支配的となる⁹⁾。そのため、2mm のふるいにとどまった骨材、すなわち、大粒径細骨材の寸法が 2.0-2.5mm の試料でも、骨材の短径は 2mm より小さい可能性があり、間隙幅 2mm を充填できたと考えられる。

間隙幅 5, 8mm の場合、全ての試料において充填率はほぼ 100%となり、差が見られなかった。すなわち、間隙幅 5, 8mm を完全に充填させるためには、骨材の粒径の影響は支配的ではなく、流動特性に依存すると考えられる。しかし、試料中の骨材の粒径が大きくなるにともない、骨材の質量が大きくなり、骨材は沈降しやすくなると考えられるため¹⁰⁾、材料分離の影響も考慮する必要があると言える。これに関しては、3.3 でさらに検討する。

3.2 流動特性が充填性に及ぼす影響

(1) 漏斗試験とフロー試験

J14 漏斗流下時間と JP 漏斗流下時間の関係を図-4 に示す。図-4 には、今回用いられた試料の配合を決定した予備実験での結果も併せて示している。図より、J14 漏斗流下時間と JP 漏斗流下時間に相関が認められる。また、JP 漏斗流下時間が J14 漏斗流下時間より 3~5 秒ほど長くなっており、JP 漏斗の直管部の影響と考えることができる。また、J14 漏斗流下時間とフローの関係を図-5 に示す。図-5 には、今回用いられた試料の配合を決定した予備実験での結果も併せて示している。同じフローでも漏斗流下時間に大きなばらつきが生じ、両者に明確な相関はなく、フローから J14 漏斗流下時間を推定することは難しいと言える。すなわち、漏斗

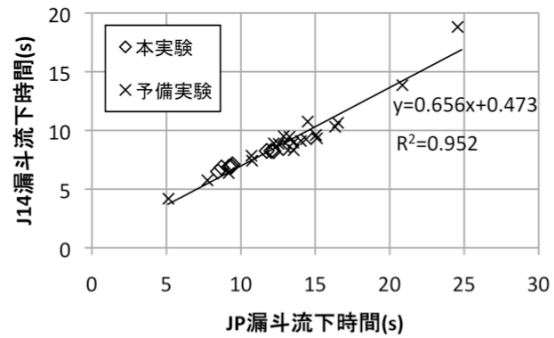


図-4 J14 漏斗流下時間と JP 漏斗流下時間の関係

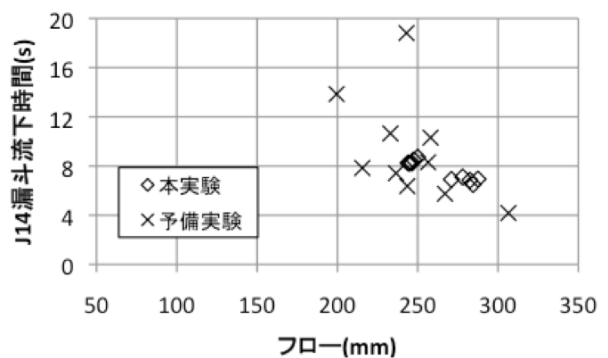


図-5 J14 漏斗流下時間とフローの関係

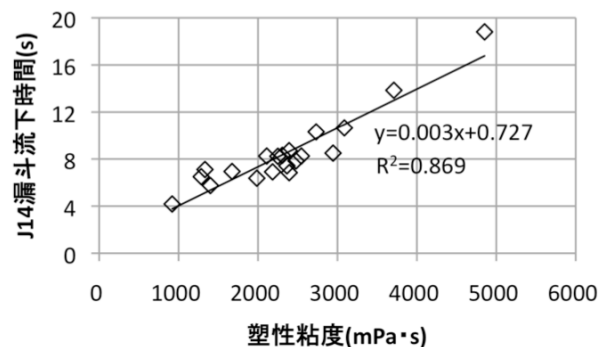


図-6 J14 漏斗流下時間と塑性粘度の関係

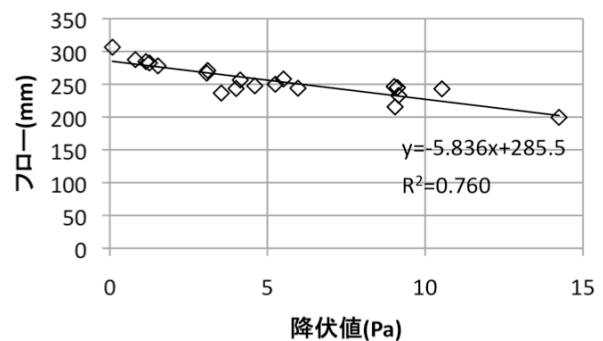


図-7 フローと降伏値の関係

表-6 材料分離抵抗性試験結果

配合	S1.2-1.7(7)	S1.7-2.0(7)	S2.0-2.5(7)	S2.5-2.8(7)	S2.8-5.0(7)	S1.2-1.7(9)	S1.7-2.0(9)	S2.0-2.5(9)	S2.5-2.8(9)	S2.8-5.0(9)
A層	2.25	2.24	2.22	2.24	2.20	2.21	2.2	2.21	2.20	2.19
B層	2.24	2.24	2.23	2.25	2.20	2.19	2.22	2.21	2.20	2.21
C層	2.23	2.25	2.27	2.30	2.32	2.21	2.21	2.2	2.20	2.22
単位容積質量差(C-A)	-0.02	0.01	0.05	0.06	0.12	0	0.01	-0.01	0	0.03

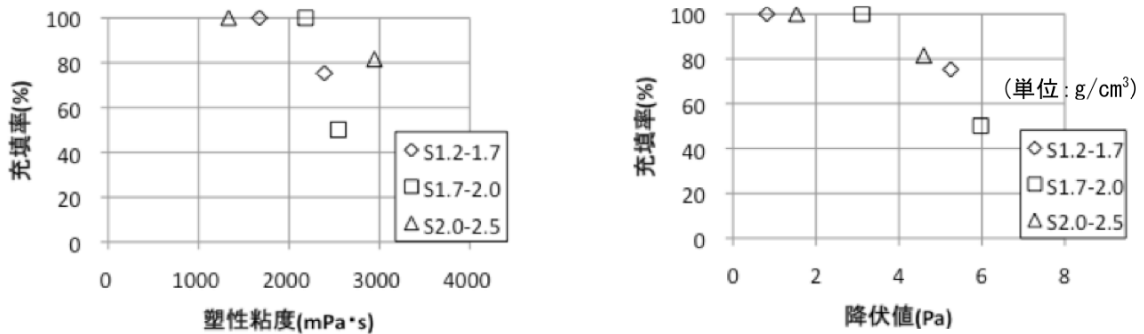


図-8 間隙幅 2mm の充填率とレオロジー定数(塑性粘度・降伏値)の関係

流下時間とフローでは、異なる物性を測定しており、それらを明確にする必要がある。

そこで、J14 漏斗流下時間と塑性粘度、フローと降伏値の関係をそれぞれ図-6 および図-7 に示す。図-6 より塑性粘度が増加すると J14 漏斗流下時間も増加し、両者の間に良好な相関があることが分かる。また、図-7 より、降伏値が大きくなるに従い、フローが小さくなる傾向が見られる。すなわち、漏斗流下時間およびフローは、それぞれ塑性粘度、降伏値を示す指標になり得ると言える。

(2) レオロジー定数が充填性に及ぼす影響

前置き時間 0 分における間隙幅 2mm の充填率とレオロジー定数(塑性粘度と降伏値)との関係を図-8 に示す。2mm の間隙を完全に充填させるには、2.0-2.5mm の粒径の細骨材を含む配合まで、との考え(3.1(2))から、図-8 には、大粒径細骨材の寸法が 2.5-2.8mm および 2.8-5.0mm の配合の試料における結果は表記していない。塑性粘度と充填率の関係において、塑性粘度が増加すると、充填率が低下するとは言えず、塑性粘度から充填率を推測することは困難である。一方、降伏値と充填率の関係においては、降伏値が増加すると、4Pa 程度を境に、充填率が低下する傾向が見られる。すなわち、本実験の範囲内では、間隙幅 2mm の隙間を完全に充填させるには、降伏値が約 4Pa (フロー260mm 程度)を有する試料でなければならないと言える。これらのことから、充填率は、レオロジー定数の影響を大きく受け、特に降伏値の影響が支配的になると考えられる。なお、本研究における充填性の評価は、充填に時間を要したとしても最終的にどこまで充填が可能であるのかを重視した評価としているため、施工面から充填時間を考慮すれば、適切な塑性粘度にするのが望ましいと考えられる。間隙幅 5mm での充填時間と塑性粘度の関係を図-9 に示す。この結果から

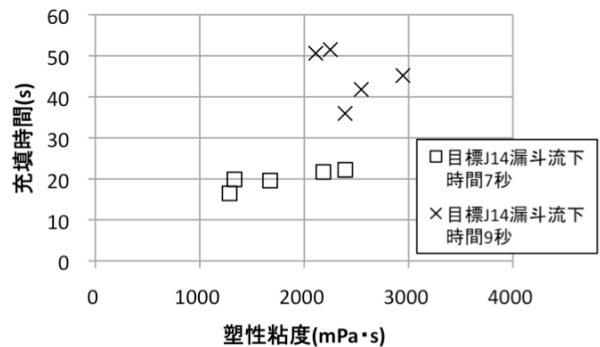


図-9 間隙幅 5mm の充填時間と塑性粘度の関係

も分かるように、塑性粘度が大きくなると、充填時間も長くなる傾向が見られた。

3.3 材料分離が充填性に及ぼす影響

(1) 材料分離抵抗性試験

材料分離抵抗性試験の結果を、表-6 に示す。なお、表-6 は、C層とA層(下層と上層)の単位容積質量差も併せて示している。単位容積質量差におけるプラス表記は、下層の単位容積質量の方が上層のそれよりも大きいことを意味しており、粒径の大きい骨材が試料(モルタル)中を沈降し、材料が分離していると考えられる。目標 J14 漏斗流下時間を 9 秒とした配合は、単位容積質量差に顕著な違いは見られなかったが、大粒径細骨材の寸法が 2.8-5.0mm の配合で多少の差が生じた。一方、目標 J14 漏斗流下時間を 7 秒とした配合は、大粒径細骨材の寸法が 1.2-1.7mm および 1.7-2.0mm の配合を除いて、骨材粒径が大きくなるにともない、単位容積質量差の増加が顕著となっている。これは、漏斗流下時間が短く、それに起因してモルタルの塑性粘度も小さいため骨材の沈降に対する粘性抵抗が小さくなること、また、骨材粒径が大きくなるにともない沈降の駆動力が増加したことによると考えられる。

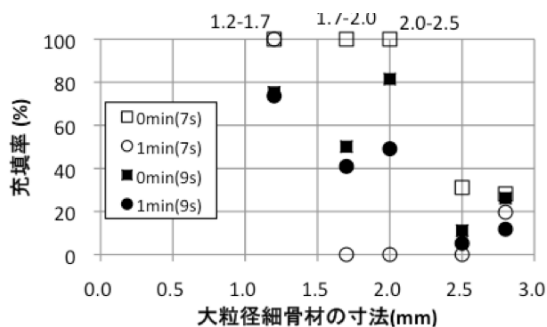


図-10 間隙幅 2mm での充填率と大粒径細骨材の寸法との関係（前置き時間 0, 1 分）

(2) 間隙充填における材料分離の影響

間隙幅 2mm での充填率と大粒径細骨材の寸法との関係を図-10 に示す。まず、目標 J14 漏斗流下時間を 7 秒とした配合（図中、□および○印）については以下のことが言える。前置き時間 0 分で間隙を完全に充填した大粒径細骨材の寸法が 1.7-2.0mm および 2.0-2.5mm の試料は、前置き時間を 1 分にした場合、途中で閉塞し間隙を完全に充填することができなかった。これは、前置き時間を 1 分にしたことにより、試料(モルタル)中の一部の骨材が充填部まで沈降して、充填を阻害したためと考えられる。一方、目標 J14 漏斗流下時間を 9 秒とした配合（図中、■および●印）においては、前置き時間 0 分の場合、塑性粘度が増加して、流動特性が変化したことにより、全ての試料で充填率が低下したが、骨材の沈降が抑制され、材料分離が緩和したことによって、前置き時間 0 分と 1 分における充填率の変化は小さくなり、1.7-2.0mm および 2.0-2.5mm の試料では、目標 J14 漏斗流下時間が 7 秒の試料よりも充填率が明らかに増加した。すなわち、狭い間隙を充填させるには、間隙充填モルタルに適切な粘度を付与する必要があると言える。

4. まとめ

間隙充填モルタルの充填性に影響を及ぼす要因とその評価方法に関して実験的に検討した。得られた成果を以下にまとめる。

(1) 間隙幅 2mm を完全に充填させることができる骨材の粒径は、2.0-2.5mm までであり、間隙幅に対して多少、粒径が大きい骨材が含まれていても影響が小さいことが分かった。また、間隙幅 5, 8mm と比較的広い隙間を完全に充填させるためには、骨材粒径の影響は支配的ではなく、流動特性に依存すると考えられる。しかし、試料の骨材粒径が大きくなるにともない、骨材は沈降しやすくなると考えられるため、材料分離の影響も考慮する必要がある。

- (2) 間隙充填モルタルの J14 漏斗流下時間とフローには相関はない。ただし、レオロジー定数に着目してみると、J14 漏斗流下時間と塑性粘度の関係は、J14 漏斗流下時間が増加するに従って塑性粘度も増加し、両者には良好な相関が認められる。また、フローと降伏値の関係は、フローが大きくなるに従って降伏値は小さくなる傾向が見られる。
- (3) 充填率は、レオロジー定数の影響を大きく受け、特に降伏値の影響が支配的であると考えられる。なお、本研究における充填率の評価は、充填に時間を要したとしても最終的にどこまで充填が可能であるのかを重視した評価としているが、施工面からの充填時間を考慮すれば、適切な塑性粘度にするのが望ましいと考えられる。
- (4) 間隙充填モルタルの充填性は、間隙幅を考慮し、さらに粒径が大きい骨材を含む材料の場合は、適切な範囲内で漏斗流下時間を長くし、材料分離の影響を踏まえた評価を行うのがよい。

参考文献

- 1) 角田忍, 馬場隆, 永淵強: 高流動充填モルタルのレオロジー評価, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.540-544, 1998
- 2) 角田忍, 植木康知, 永淵強: グラウト材の充填性とその評価方法について, セメント・コンクリート論文集, No.53, pp.312-316, 1999
- 3) 財団法人建築保全センター: 建築改修工事管理指針平成 19 年度(国土交通省大臣官房官庁営繕部監修)
- 4) 土木学会: 2002 年制定コンクリート標準示方書(規準編)
- 5) 石山陽介, 宇治公隆, 上野敦: 間隙充填材の流動性および材料分離抵抗性の評価手法, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 第 5 部, pp.623-624, V-313, 2009.9
- 6) 石山陽介, 水嶋遼, 宇治公隆, 上野敦: 間隙充填材の流動性および充填性の評価手法, コンクリート工学年次論文集, vol.32, No.1, pp.1331-1336, 2010
- 7) NEXCO(旧日本道路公団): 平成 22 年 7 月版 NEXCO 試験方法第 3 編コンクリート関係試験方法「無収縮モルタル品質管理試験方法(JHS 312-1999)」
- 8) Zingg, T.: Beitrag zur Schotteranalyse, Schweiz. Mineral. Petrog. Mitt. 15, pp.39-140, 1935
- 9) Power, T., C.: The Properties of Fresh Concrete, John Wiley & Sons, inc., pp.14-18, 1968
- 10) 岩崎訓明: コンクリートの特性, コンクリート・セミナー1, 共立出版, pp.35-38, 1975