

論文 間隙充填モルタルの充填性に及ぼす影響要因

出口 慎太郎*1・宇治 公隆*2・上野 敦*3・大野 健太郎*4

要旨: 間隙充填モルタルに求められる性能として、間隙に空隙を生じずに充填できる高い充填性が挙げられる。この充填性を左右するのが流動性と材料分離抵抗性であるが、これらは相反する性能である。本研究は、間隙充填モルタルの流動性と材料分離抵抗性が、間隙充填に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、特に流動性についてはフローと塑性粘度、材料分離抵抗性については分離抵抗指数を定義し、それと骨材粒径に着目して検討した。流動性実験の結果、間隙充填は塑性粘度によらずフローが支配的要因であることを示し、材料分離抵抗性実験の結果、間隙充填に必要な初期流動速度ならびに分離抵抗指数の目安を示した。

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, フロー, 塑性粘度, 骨材粒径

1. はじめに

従来、耐久性に優れるコンクリート構造物は、メンテナンスフリーで半永久的に使用できると言われてきた。しかし、多くの研究結果や既存構造物の検査結果から、コンクリート構造物であっても経年劣化は避けられない事が明らかとなってきた。そして現在、高度経済成長期に建設された多くの社会基盤設備は、建設後数十年を経過し、多額の維持管理費、更新費がかかる状況になっている。さらに、このように維持管理の重要性が高まる中、1995年に発生した阪神淡路大震災以降、全国で既存構造物の耐震補強工事の必要性が高まり、その工事進捗は著しく増加し、加速している。

耐震補強工法の1つに、鋼板巻立て工法がある。これは橋脚などの既設の柱の周囲に鋼板を巻き立て、柱と鋼板の間を充填材で満たし、柱と鋼板の一体化を図ることで、せん断および靱性補強するというものである。充填材には樹脂系グラウト材やセメント系グラウト材がある。樹脂系グラウト材は接着性、ひび割れ注入性、狭い間隙を充填できる充填性において非常に優れた性能を有している。しかし施工性および経済性の観点から狭い間隙を充填する場合に用いられる事が多い。対してセメント系グラウト材は広い間隙を充填する際に用いられる事が多い。

セメント系グラウト材（以下、間隙充填モルタル）に求められる性能としては、間隙を隙間無く充填できる高い充填性が挙げられる。しかし間隙充填モルタルのワーカビリティは変化しやすく、全てにおいて間隙を完全に充填できているとは言い難い状況である。

充填性を左右するのが流動性と材料分離抵抗性である。材料分離抵抗性とは、セメントペースト相と骨材相が分

離し、間隙内で骨材相による閉塞を起こさない性能であるが、これは流動性とは相反する性能である。

そこで本研究は、間隙充填モルタルの流動性と材料分離抵抗性が、間隙充填に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、特に流動性はフローと塑性粘度、材料分離抵抗性は分離抵抗指数を定義し、それと骨材粒径に着目して検討する。

2. 使用材料

本研究は流動性実験と材料分離抵抗性実験の、2つの実験から構成されており、それぞれの実験で使用した材料を表-1中の○印で示す。

表-1 使用材料

材料	品質	流動性 実験	材料分離 抵抗性 実験
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: 3210cm ² /g	○	○
細骨材(S)	小粒径細骨材(粒径1.2mm未満) 絶乾密度: 2.54g/cm ³ 吸水率: 1.5%	○	○
	中粒径細骨材(粒径1.2~2.5mm) 絶乾密度: 2.54g/cm ³ 吸水率: 1.5%	—	○
	大粒径細骨材(粒径2.5~5.0mm) 絶乾密度: 2.54g/cm ³ 吸水率: 1.5%	—	○
高性能AE減水剤(SP)	ポリカルボン酸エーテル系化合物	○	○
消泡剤	ポリアルキレングリコール誘導体	○	○
増粘剤	メチルセルロース系増粘剤	○	—

3. 流動性実験

充填材の流動性に着目し、間隙充填に与える影響を検討した。なお、流動性の指標として、本論文では、フ

*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 (学生会員)

*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 配合

配合 No.	充填材の種類	W/C	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	SP C×%	消泡剤 C×%
1	粘性を高めた水						
2							
3	セメントペースト	0.5	613	1226	0	0	0.05
4		0.4	559	1398			
5		0.37	539	1457			
6		0.3	486	1620			
7							
8							
9							
10	間隙充填モルタル	0.4	389	973	622	0.00	0.05
11		0.35	357	1020	653	0.80	
12		0.25	285	1140	730	3.10	
13							

ローと塑性粘度を取り上げ、この2つの値を中心に間隙充填に及ぼす影響を考察した。本実験では塑性粘度の違いによる充填性の変化を観察するために配合を調節した。

3.1 配合

本実験の配合を表-2に示す。表-2に示すとおり、充填材は「粘性を高めた水」、「セメントペースト」および「間隙充填モルタル」の3種類とした。粘性を高めた水は、水と増粘剤を混ぜ合わせて、塑性粘度が高いものおよび低いものの2水準とした。セメントペーストおよび間隙充填モルタルは塑性粘度 1000~5000mPa・sを目安にそれぞれ7水準、4水準とした。間隙充填モルタルについて、骨材粒径の影響を除くため、比較的大きな粒径(1.2mm以上)を含む細骨材は使用しないこととし、小粒径細骨材(表-1中)のみ使用した。充填性の評価には筆者らが考案した二重円筒式モルタル間隙充填性試験装置¹⁾を用い、間隙幅2,3および5mmの3水準について考察した。

粘性を高めた水、セメントペーストおよび間隙充填モルタルの練混ぜには、回転速度 1100rpm のハンドミキサーを用いた。また、セメントペーストおよび間隙充填モルタルは、予め高性能 AE 減水剤(使用する場合)と消泡剤を混合した水を用意し、セメントおよび細骨材は予め混合し、徐々に投入した。全ての材料を投入した後、90秒攪拌し、各種試験を行った。

3.2 試験項目

試験項目は、表-3に示すとおりである。J14 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。簡易テーブルフロー試験の手順は以下のとおりである。すなわち、ガラス板上に内径 50mm、高さ 100mm の円筒容器を置き、試料を充填する。円筒容器を引き上げ3分後、2方向の直径を測定し、その平均値をフローとした。

また、粘度測定試験は、B型粘度計を用いて行った。塑性粘度は、H4ロータを使用し、回転数 50rpm、測定時間を60秒として10秒ごとに測定し、その平均値とした。降伏値は、H4ロータを使用し、回転数を3水準で変化さ

表-3 試験項目

試験項目	測定項目	試験方法
J14漏斗試験	漏斗流下時間(s)	JSCE-F541
簡易テーブルフロー試験	フロー(mm)	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)
	※200mmおよび250mmフロー到達時間(s)	
粘度測定試験	塑性粘度(mPa・s)	JIS Z 8803
	降伏値(Pa)	
間隙充填試験	間隙幅2,3および5mmの充填高さ(cm)	別途記載
※材料分離抵抗性試験	試料内の中粒径および大粒径細骨材の質量(g)	

(注) ※印は4. 材料分離抵抗性実験でのみ行う

せ、流動曲線を描いて算出した。

間隙充填試験は図-1に示す2本のアクリルパイプ(内パイプ・外パイプ)から成る、二重円筒式モルタル間隙充填性試験装置を用いて、充填性の評価を行った。間隙幅は2,3および5mmの3種類とし、各間隙幅は外パイプの径のみを変化させて調節した。内・外パイプの内径および外径を表-4に示す。試験では、内パイプに試料を450mmの高さまで投入した後、内パイプを間隙幅に相当する分だけ上方に引き上げ、試料の自重により流動・充填した試料の高さを測定し、これを充填高さとした。なお、充填高さを理論充填高さで除した値を間隙充填率と定義した。理論充填高さは、内パイプ中の試料と外パイプ中の試料の高さが等しくなった時の高さである。また、内パイプの引き上げは手動で行なうため、引き上げ幅を予め内パイプに目印として付けておいた。

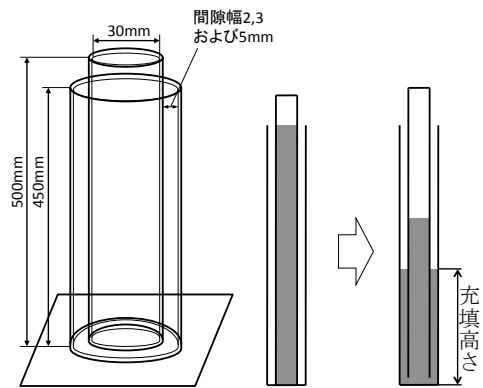


図-1 二重円筒式モルタル間隙充填性試験装置概略図

表-4 アクリルパイプの寸法

間隙幅 (mm)	内パイプ寸法 (mm)			外パイプ寸法 (mm)		
	内径	外径	高さ	内径	外径	高さ
2	30	40	500	44	54	450
3				46	56	
5				50	60	

表-5 フレッシュ性状

配合 No.	充填材の種類	J14漏斗流下時間(s)	フロー(mm)	間隙充填率(%)			レオロジー定数	
				2mm	3mm	5mm	塑性粘度 (mPa・s)	降伏値(Pa)
1	粘性を高めた水	3.95	350	96	98	100	800	3.03
2		13.81	287	94	92	94	4366	19.13
3	セメントペースト	3.35	226	89	86	95	1101	4.29
4		5.60	166	76	84	76	2234	7.74
5		5.65	168	95	80	89	2654	15.60
6		15.85	142	47	66	74	4734	14.89
7		5.81	197	82	88	100	2285	15.28
8		16.17	149	61	74	82	3901	11.69
9		9.47	170	79	88	91	2961	19.99
10	間隙充填モルタル	7.77	141	44	67	81	2666	5.16
11		3.07	324	100	100	100	364	0.41
12		5.84	267	100	98	100	1061	3.47
13		17.18	279	96	98	99	2378	2.71

3.3 結果と考察

(1) フレッシュ性状

各種充填材のフレッシュ性状を表-5に示す。

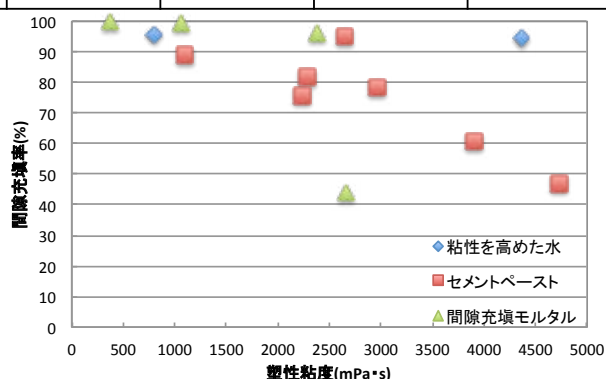
(2) 塑性粘度と間隙充填率の関係

塑性粘度と間隙幅 2, 3 および 5mm の間隙充填率との関係を図-2に示す。(a)間隙幅 2mm の図より、塑性粘度と間隙充填率は、概ね相関があるようように見える。しかし、粘性を高めた水の塑性粘度 4400mPa・s 付近の点(青◇)と、間隙充填モルタルの塑性粘度 2700mPa・s 付近の点(緑△)の2点は、他の点とは傾向が異なる。このことから、間隙充填に及ぼす要因が塑性粘度以外にも存在する可能性があるといえる。(b)間隙幅 3mm および (c)間隙幅 5mm は、(a)間隙幅 2mm と同様の傾向を示しているものの、その影響は小さくなっていることが分かる。

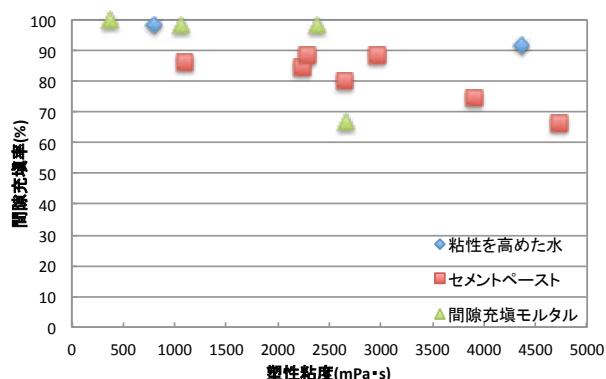
(3) フローと間隙充填率の関係

フローと間隙幅 2, 3 および 5mm における間隙充填率との関係を図-3に示す。全ての間隙幅において、フローと間隙充填率には相関があることが認められる。つまり間隙充填に影響を及ぼす支配的な要因はフローであるといえる。また、フロー250mm 以上であれば全ての間隙幅で高い間隙充填率を示しており、1.2mm 以上の骨材粒径を含まない充填材の場合、フロー250mm 程度を有していれば充填可能である。

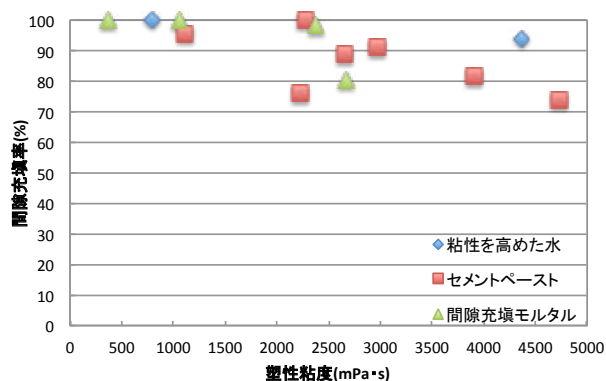
配合 No.10 の試料に着目すると、J14 漏斗流下時間は約 8 秒である。これは、間隙充填モルタルの品質規格を定めている、建築改修工事管理指針および NEXCO の規格値^{2), 3)}に適合するものの、その充填率は低い。つまり、漏斗流下時間で充填性を評価することができていないといえる。したがって、充填率の評価にはフロー試験を行うのが適当と考えられ、その値は 250mm 程度以上が目安となる。



(a) 間隙幅 2mm

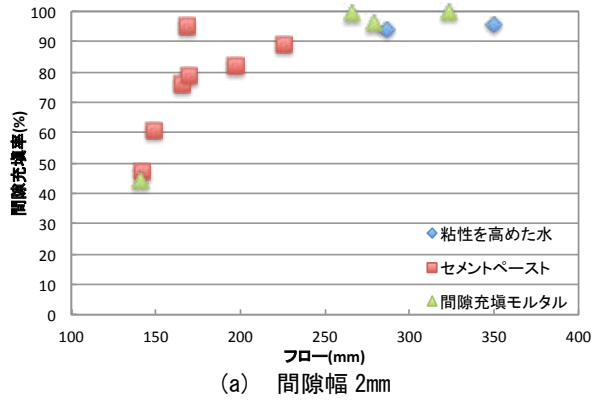


(b) 間隙幅 3mm

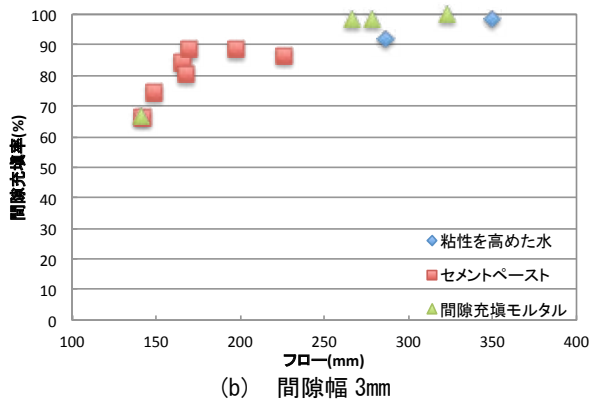


(c) 間隙幅 5mm

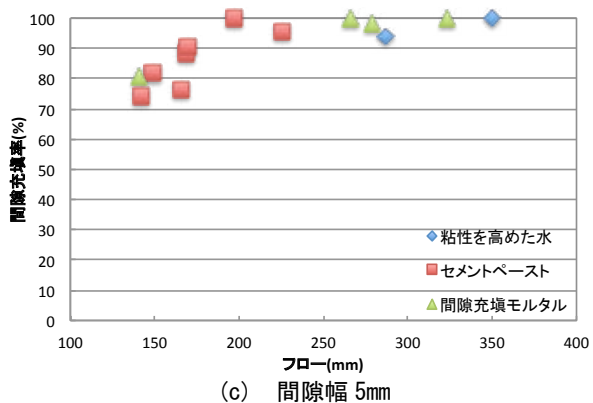
図-2 塑性粘度と間隙充填率の関係



(a) 間隙幅 2mm



(b) 間隙幅 3mm



(c) 間隙幅 5mm

図-3 フローと間隙充填率の関係

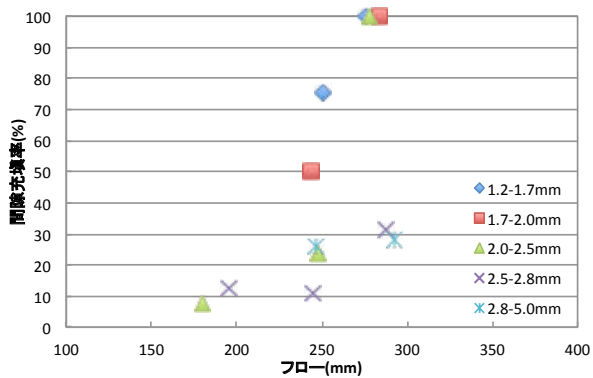


図-4 フローと間隙充填率の関係 (間隙幅 2mm) 1)

4. 材料分離抵抗性実験

間隙充填モルタルの材料分離抵抗性に着目し、間隙充填に及ぼす影響を検討した。この実験では流動性を一部統一して各種試験を行った。3. 流動性実験の結果より、フロー250mm程度を有していれば充填可能であり、さらに図-4に示す既往の研究結果¹⁾から、間隙幅2mmの場合、フロー250mm付近で間隙充填率が大きく変化していることが分かる。よって、材料分離抵抗性が間隙充填に及ぼす影響を明確にするため、フローを250mmに統一して試験を行った。

4.1 使用材料および配合

本実験で使用した材料は表-1で示したとおりである。細骨材として中粒径および大粒径のものを使用した。また、配合は表-6に示すとおりで、水セメント比は0.25から0.50の6水準とした。細骨材は小粒径細骨材(粒径1.2mm未満)、中粒径細骨材(粒径1.2~2.5mm)、大粒径細骨材(粒径2.5~5.0mm)を単独または混合して使用することとし、S:小粒径細骨材のみ、M:小粒径細骨材と中粒径細骨材を8:2で混合、L:小粒径細骨材と大粒径細骨材を8:2で混合した3種類とした。

Sを用いた予備実験において、高性能AE減水剤の添加量を変化させ、フロー250mm(誤差5%以内)となるように調整し、その添加量を決定した。これをMおよびLにも適用した。

また、消泡剤は径の大きい気泡を除去するために使用した。

練混ぜには、回転速度1100rpmのハンドミキサーを用いた。高性能AE減水剤と消泡剤を混合した水を用意し、そこに予め混合したセメントおよび細骨材を徐々に投入した。全ての材料を投入し終わった後、90秒攪拌し、各種試験を行った。

表-6 配合

No.	種類	W/C	W	C	S			SP C×%	消泡剤 C×%
					小粒径	中粒径	大粒径		
1	S	0.50	442	884	566	0	0	0.15	0.05
2		0.45	416	924	592			0.3	0.05
3		0.40	388	970	621			0.5	0.05
4		0.35	357	1020	653			0.8	0.05
5		0.30	323	1073	687			1.5	0.05
6	M	0.50	442	884	566	141	0	0.15	0.05
7		0.45	416	924	592	148		0.3	0.05
8		0.40	388	970	621	155		0.5	0.05
9		0.35	357	1020	653	163		0.8	0.05
10		0.25	285	1140	730	182		2.7	0.05
11	L	0.45	416	924	592	0	148	0.3	0.05
12		0.40	388	970	621		155	0.5	0.05
13		0.35	357	1020	653		163	0.8	0.05
14		0.25	285	1140	730		182	2.7	0.05

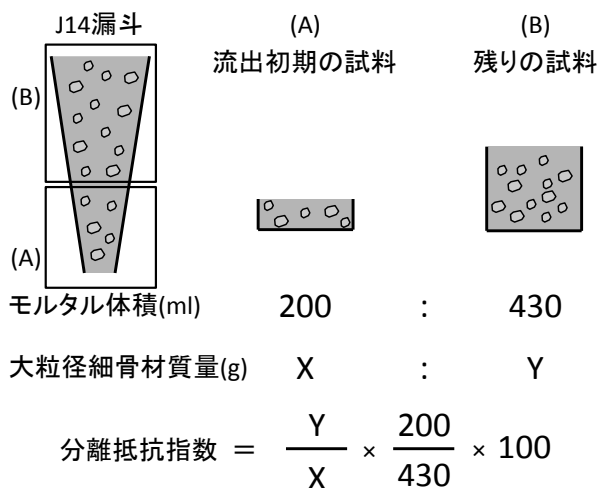


図-5 材料分離抵抗性試験概要

4.2 試験項目

試験項目は、表-3 に示すとおりである。なお、フロー試験において200mmおよび250mmフロー到達時間も合わせて測定し、試料の広がる速度を把握した。

材料分離抵抗性試験は図-5 に示すようにJ14 漏斗を用いて行った。漏斗内を試料で満たし、1 分間静置した後、(A)流出初期の200ml と、(B)残りの430ml に分けて採取した。洗い分析によって(A)、(B)それぞれに含まれていた中粒径細骨材または大粒径細骨材の質量を絶乾後に測定した。漏斗内で中粒径細骨材または大粒径細骨材が沈降分離していなければ、その質量比は200:430 になることを利用し、図-5 中に示す式で分離のしにくさを表す、分離抵抗指数を算出する。なお、本研究においては、材料分離抵抗性を分離抵抗指数で評価した。

4.3 結果と考察

(1) フレッシュ性状

フレッシュ性状は表-7 に示すとおりである。フローが

250mm (誤差 5%) の範囲に収まった 14 配合の結果を示している。水セメント比の違いによって漏斗流下時間が大きく変動しており、同じフローであっても、流動性は異なると判断できる。

(2) 200mm および 250mm フロー到達時間と間隙充填率の関係

200mm および 250mm フロー到達時間と間隙幅 2, 3 および 5mm における間隙充填率との関係を図-6 に示す。また、分離抵抗指数の値を各印に括弧付きで記している。

(a) 間隙幅 2mm の図より、S は充填可能、M は分離抵抗指数によらず 200mm フロー到達時間が 1 秒未満であれば概ね充填可能、L は初期流動速度が大きく、材料分離抵抗性が高い場合 40%まで充填可能である。ここで、初期流動速度として 200mm フロー到達時間 1 秒未満、材料分離抵抗性として分離抵抗指数 80 程度が目安となる。なお、この分離抵抗指数 80 は、250mm フロー到達時間 3~5 秒に対応する。

(b) 間隙幅 3mm の図より、S および M は充填可能、L は所定の初期流動速度および材料分離抵抗性を有するもののみ充填可能で、どちらか一方だけの試料は充填できなかった。この場合、初期流動速度として 200mm フロー到達時間が 1 秒程度、材料分離抵抗性として分離抵抗指数 80 程度を有する必要がある。

(c) 間隙幅 5mm の場合、S, M および L の全て充填でき、フローが 250mm あれば骨材粒径の影響を受けずに充填できることが明らかとなった。

5. まとめ

間隙充填モルタルの充填性に及ぼす影響要因を流動性と材料分離抵抗性の観点から実験的に検討した。得られた成果を以下にまとめる。

表-7 フレッシュ性状

No.	種類	W/C	J14漏斗 流下時間 (s)	フロー(mm)	フロー到達時間(s) ^{注)}			間隙充填率(%)			レオロジー定数		分離抵抗 指数
					200mm	250mm	2mm	3mm	5mm	塑性粘度 (mPa·s)	降伏値(Pa)		
1	S	0.5	3.31	246	—	—	96	98	100	931	6.06	/	
2		0.45	3.45	262	—	—	97	98	100	1098	8.37		
3		0.4	4.83	250	2.14	—	95	98	99	1314	7.36		
4		0.35	4.82	244	0.66	4.73	98	98	99	1286	6.58		
5		0.3	11.51	259	1.16	6.55	100	99	100	1581	1.12		
6	M	0.5	2.80	262	0.24	0.55	93	97	99	886	4.70	90	
7		0.45	2.98	250	0.74	2.27	81	97	100	892	7.19	80	
8		0.4	3.64	248	0.48	3.95	96	95	100	1032	6.50	83	
9		0.35	5.83	247	0.45	2.10	8	82	100	1467	7.06	91	
10		0.25	25.43	253	3.36	16.94	2	97	99	4014	3.59	95	
11	L	0.45	3.42	241	0.71	2.10	6	27	99	1258	7.68	62	
12		0.4	3.90	238	0.53	4.97	40	98	99	1234	7.50	78	
13		0.35	5.47	253	1.11	3.24	11	97	100	1197	5.76	76	
14		0.25	26.31	249	2.01	11.72	0	22	99	5162	0.83	89	

注) フローは直交する2方向の測定を行うが、到達時間はどちらかが200mmまたは250mmに達した時間を示す。また、Sにおける200mmの列の未記載は測定不能、250mmの列の未記載は未実施である。

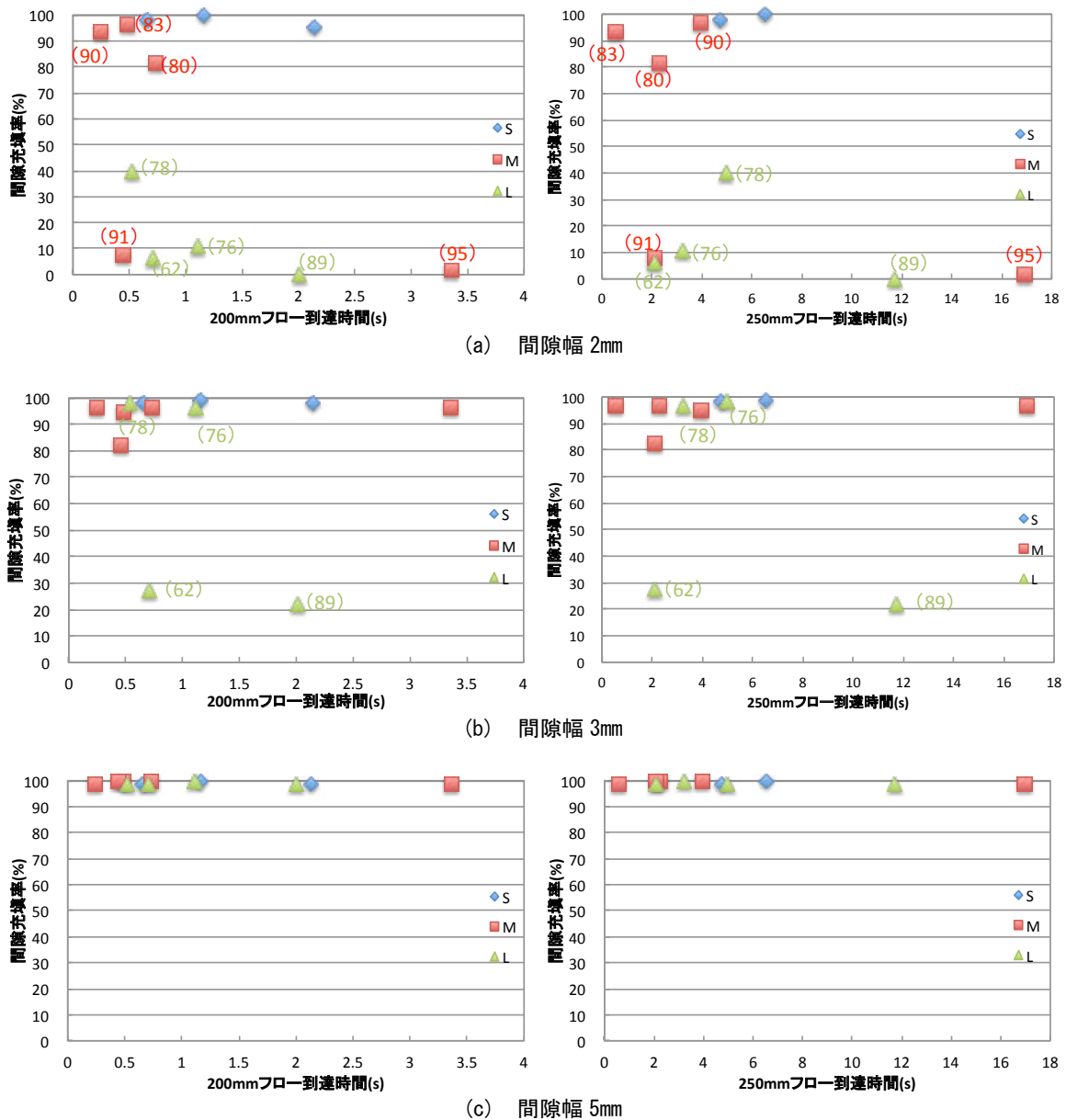


図-6 200mm および 250mm フロー到達時間と間隙充填率の関係

- (1) 塑性粘度で充填性を評価する場合、間隙幅が狭くなるにつれてその精度は低下する。
- (2) フローが大きくなるにしたがって充填性は向上し、今回の実験の範囲内においてはフロー250mm程度以上を有していれば良好な充填性を示す。
- (3) 間隙充填には、細骨材の粒径が影響し、粒径が大きくなると、それらの骨材を流動させる初期流動速度が必要である。しかし流動することができる骨材の量に限界がある。
- (4) 初期流動速度はそのまま、沈降分離する骨材の量を抑制できれば、充填性の向上が期待できる。今回の使用材料および配合の範囲内においては、初期流動速度として 200mm フロー到達時間 1 秒程度、材料分離抵抗性は分離抵抗指数 80 が目安

となる。なお、分離抵抗指数 80 は 250mm フロー到達時間 3~5 秒が対応する。

参考文献

- 1) 石山陽介, 宇治公隆, 上野敦, 大野健太郎: 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1367-1372, 2011.6
- 2) 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 年度下巻(国土交通省大臣官房官庁営繕部監修)
- 3) 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)」