

# 論文 間隙充填材の流動性および充填性の評価手法

石山 陽介\*1・水嶋 遼\*2・宇治 公隆\*3・上野 敦\*4

**要旨:** 間隙充填材は、その充填性を確保するために、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、間隙充填性の評価方法については、その妥当性、適切な使用法が未だ十分に検討ならびに確立されていない。そこで、本研究では、間隙充填における流動性、充填性の評価方法について検討した。その結果、漏斗試験だけでは流動性を評価し難く、フローおよびレオロジー定数の把握が必要であることが明らかとなった。また充填性の確保には、漏斗流下時間、フローおよびレオロジー特性が影響するが、骨材粒子の径も考慮する必要があることが示唆された。

**キーワード:** 間隙充填材, 充填性, 流動性, レオロジー

## 1. はじめに

間隙充填材は、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、橋梁の脊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・部位の狭い隙間部を対象とし、構造物の一体性を実現するために広く適用されている。

間隙充填材に求められる充填性を確保するためには、流動性と材料分離抵抗性の両者のバランスが適切に設定されなければならない。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り、これまでも、使用材料や施工方法に関する検討が行われ、グラウトの充填性の改善に関して様々な提案がなされている<sup>1)</sup>。

「建築改修工事管理指針(下巻)平成 19 年版」<sup>2)</sup>では、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、テーブルフロー試験をも実施するのは、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<sup>3)</sup>。これは、流出部に直管を有する JP 漏斗を使用することで、グラウト材が狭い隙間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、適切な使用法については未だ、十分検討がなされているとは言い難い。

そのような背景のもと、筆者らは、充填性評価のため、あらたな試験装置を考案し、基礎的検討を行ってきた<sup>4)</sup>。

そこで、本研究では、間隙充填材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、J14 漏斗試験と JP 漏斗試験、また、簡易テーブルフロー試験を用い、あわせて、レオロジー特性をも考慮して、間隙充填における流動性、充填性の評価方法について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料と配合

本研究では、5 種類のプレミックスタイプのセメント系無収縮材を使用した。また、練混ぜ水には 20℃の水道水を使用した。練混ぜ水量および練混ぜ時間は、表-1 に示すとおりで、各メーカー推奨範囲の中間値とした。各材料(ふるい目 0.074mm のふるいとどまったものを試料とする)の粒度分布は図-1 に示す通りである。なお、表-1 には、練混ぜ後の試料密度、材料骨材の粗粒率、95%径および 50%径も併せて示している。ここで、95%径を、骨材粒子の粒度分布における通過質量百分率 95%に対応する粒子径と定義する。また、50%径も同様の定義とする。試料 No. 2, 3 が他に比べて粒径が大きいと言える。

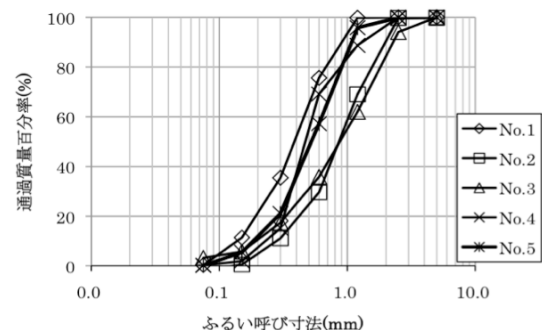


図-1 各試料の粒度分布

\*1 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境工学専攻 (正会員)

\*2 首都大学東京 都市環境学部 都市環境学科 都市基盤環境コース

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

\*4 首都大学東京准教授 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 博士(工学) (正会員)

表-1 使用材料と配合

試料	製品1袋(kg)	練混ぜ水量(kg)	練混ぜ時間(s)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	粗粒率	95%径(mm)	50%径(mm)
No.1	25	5.00	180	2.25	2.77	1.08	0.41
No.2	25	4.55	105	2.23	3.92	2.28	0.88
No.3	25	4.55	90	2.13	3.82	2.88	0.93
No.4	25	4.25	150	2.21	3.24	1.96	0.49
No.5	25	4.55	180	2.19	3.2	1.19	0.54

## 2.2 練混ぜ方法

練混ぜは、回転速度 1100rpm のハンドミキサーを用いて行った。20 リットルの容器に所定量の水を入れ、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、投入完了後、各メーカーで定める所定の練混ぜ時間攪拌した。攪拌終了後、練混ぜ時に巻き込んだ不安定な空気泡を排除するため、3 分間静置してから、各種試験を実施した。

## 2.3 検討項目

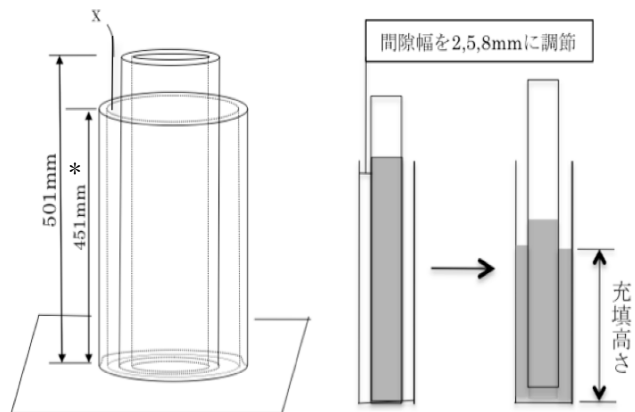
検討項目は表-2 に示す通りである。J14 漏斗試験、JP 漏斗試験および JASS15M のフロー値試験を参考にした簡易テーブルフロー試験を行った。なお、フロー試験時に併せて、200mm フロー到達時間を測定した。また、単一円筒型回転粘度計を用いて、粘度測定試験を行い、レオロジー定数（塑性粘度、降伏値）を求めた。

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 方向の直径を測定する。その平均値をフローとした。

間隙充填性は、図-2 に示すアクリルパイプ（内パイプ、外パイプ）を用いた間隙充填性試験装置を新たに作製して評価した。内・外パイプの間隙幅 X 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させて調節した。内・外パイプの内径および外径を表-3 に示す。試験手順は次の通りである。(1)内径 30mm の内パイプに試料のモルタル(約 320ml)を上縁から 50mm 下がった位置まで投入する。(2)1 分静置後、内パ

表-2 検討項目

試験項目	測定項目	試験方法
J14漏斗試験	a)漏斗流下時間 b)経時変化	JSCE-F541
JP漏斗試験	a)漏斗流下時間 b)経時変化	JSCE-F531
フロー試験	a)フロー b)経時変化 c)200mmフロー到達時間	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 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	a)充填高さ b)充填時間	図2参照



\*内・外アクリルパイプの下端には止水材を配置した。

図-2 間隙充填性試験装置略図

表-3 間隙充填性試験装置（アクリルパイプ）の寸法

間隙幅X(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

イプを上方に間隙幅(2,5,8mm)に対応した分だけ引き上げ、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。また、内パイプの引き上げは、内パイプにメモリを記入し、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）および充填高さを測定する。

各試験は、練混ぜ後 3,20 および 60 分経過した時点で行った。なお、それぞれの試験開始直前に、試料中の材料を均一にするため、15 秒程度再攪拌を行った。

## 3. 実験結果

### 3.1 モルタルの流動性

#### (1) 漏斗試験

J14 漏斗流下時間、JP 漏斗流下時間の経時変化を図-3、図-4 に示す。全ての試料で、J14 漏斗流下時間、JP 漏斗流下時間が増加している。練混ぜ後 3 分および 20 分の J14 漏斗流下時間と JP 漏斗流下時間を比較すると、J14 漏斗流下時間における試料間の差が 3~4 秒であるのに対し、JP 漏斗流下時間における試料間の差は 6~7 秒と大きい。これより、JP 漏斗の方が流動性の違いに敏感であると考えられる。また、練混ぜ後 60 分では試料 No.3

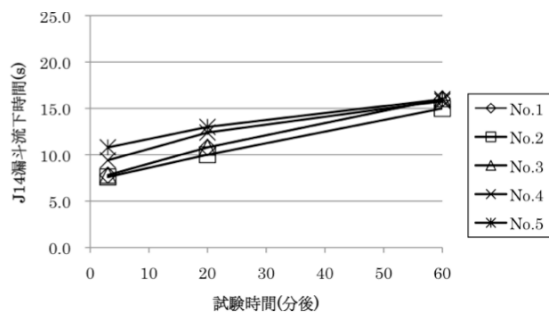


図-3 J14 漏斗流下時間の経時変化

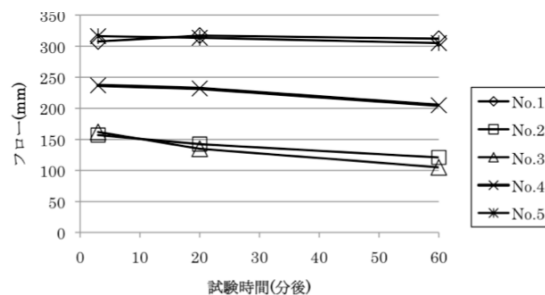


図-6 フローの経時変化

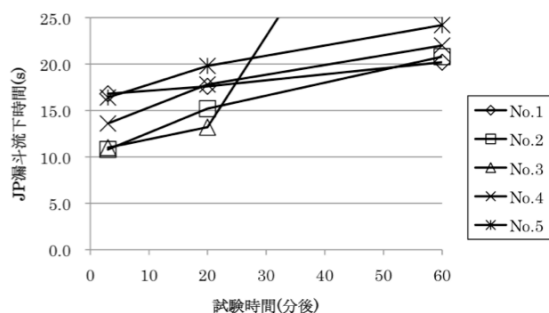


図-4 JP 漏斗流下時間の経時変化

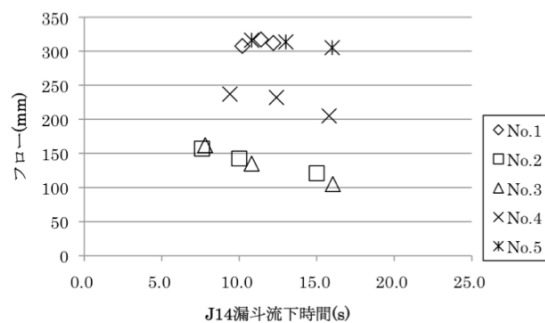


図-7 フローとJ14漏斗流下時間の関係

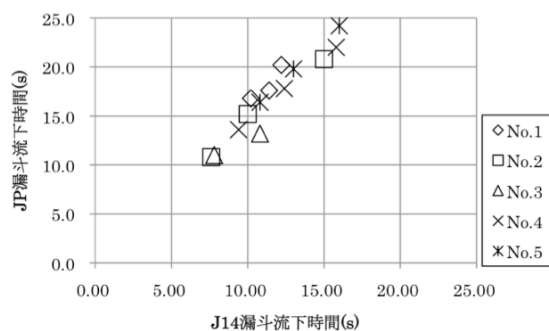


図-5 JP漏斗流下時間とJ14漏斗流下時間の関係

の JP 漏斗流下時間が極端に大きくなっていることも、これを裏付けるものである。

JP 漏斗流下時間と J14 漏斗流下時間の関係を図-5 に示す。図-5 は、練混ぜ後 60 分の試料 No. 3 のデータを除き、練混ぜ後 3、20 および 60 分における測定結果である。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。ただし、練混ぜ後 60 分の試料 No.3 のようなデータがあることに注意が必要である。また、JP 漏斗流下時間が J14 漏斗流下時間より 5 秒ほど多くなっており、JP 漏斗の直管部の影響と考えることができる。

### (2) フロー試験

フローの経時変化を図-6 に示す。試料 No.1, 5 は、フローが 300mm 程度と大きく、時間の経過による流動性の低下はみられない。試料 No.4 は、フローが 250mm 程度と比較的大きいが、時間の経過により流動性が低下している。試料 No.2, 3 は、フローが 200mm を下回り、

時間の経過により No.4 と同様に、流動性が低下している。このように、各試料により流動性には相違が見られた。

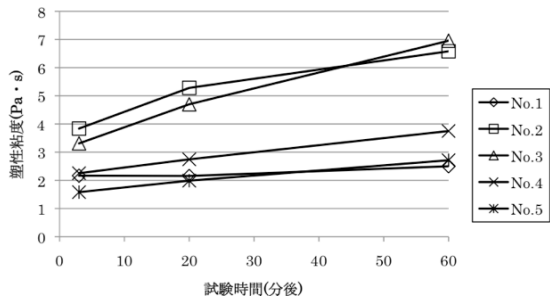
フローと J14 漏斗流下時間の関係を図-7 に示す。試料ごとでは両者の相関が認められるが、充填材全体でみた場合には、明確な傾向は見られず、J14 漏斗流下時間からフローを推定することは難しいと言える。

### (3) レオロジー特性試験

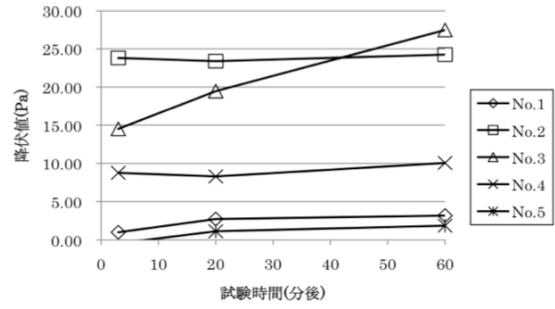
塑性粘度および降伏値の試験結果を表-4 に示す。さらに、それぞれの経時変化を図-8 に示す。両者とも、時間の経過とともに増加している。特に、試料 No.3, 4 は、

表-4 塑性粘度と降伏値の試験結果

試料	試験時間(分後)	塑性粘度(Pa・s)	降伏値(Pa)
No.1	3	2.16	1.00
	20	2.16	2.73
	60	2.50	3.18
No.2	3	3.84	23.81
	20	5.28	23.39
	60	6.58	24.25
No.3	3	3.31	14.51
	20	4.70	19.47
	60	6.96	27.46
No.4	3	2.25	8.77
	20	2.75	8.30
	60	3.75	10.06
No.5	3	1.58	-0.45
	20	1.99	1.13
	60	2.72	1.86

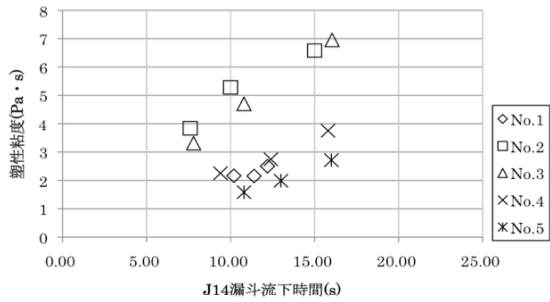


(a) 塑性粘度

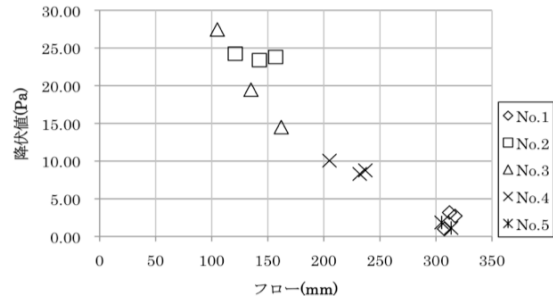


(b) 降伏値

図-8 塑性粘度と降伏値の経時変化



(a) 塑性粘度と J14 漏斗流下時間



(b) 降伏値とフロー

図-9 レオロジー定数と漏斗流下時間およびフローの関係

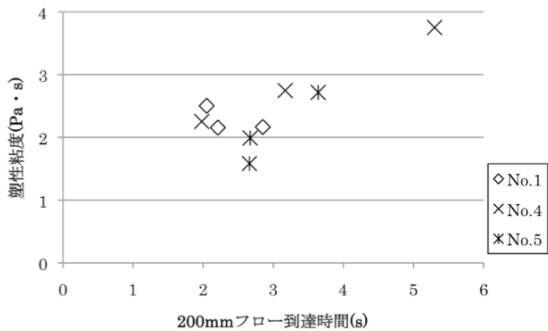


図-10 塑性粘度と 200mm フロー到達時間の関係

塑性粘度の増加傾向が大きく、また、降伏値については、試料 No.3 のみが急激に増加している。このことが、練混ぜ後 60 分の JP 漏斗流下時間が極端に大きくなったことと関係していると推察される。

塑性粘度と漏斗流下時間、および降伏値とフローの関係を図-9 に示す。一般に、塑性粘度と漏斗流下時間には、相関があるとされている。ただし、本研究において、試

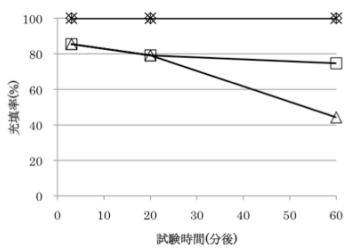
料ごとには両者に相関が見られるものの、充填材全体で見た場合、明確な傾向はない。表-1 から分かるように、各試料中の骨材の粒径特性が異なることが挙げられる。一方、降伏値とフローの関係は、降伏値が大きくなるに従ってフローが小さくなり、両者の間に良好な相関が認められる。

塑性粘度と 200mm フロー到達時間の関係を図-10 に示す。図には、フローが 200mm を上回った試料 No.1,4,5 のみをプロットしている。なお、200mm フロー到達時間が増加すると、塑性粘度も増加する傾向が見られ、200mm フロー到達時間が、粘性を表す一つの指標となり得ることを示している。

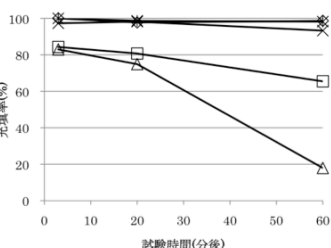
### 3.2 モルタルの間隙充填性

#### (1) 充填率の経時変化

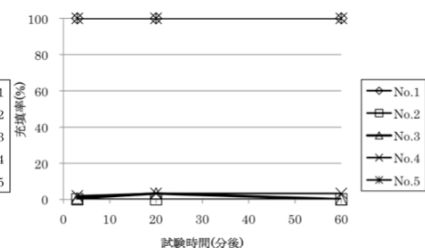
内アクリルパイプと外アクリルパイプとの間隙幅を 2,5 および 8mm に変化させた時の、充填率の経時変化を



(a) 間隙幅 8mm の場合



(b) 間隙幅 5mm の場合



(c) 間隙幅 2mm の場合

図-11 充填率の経時変化

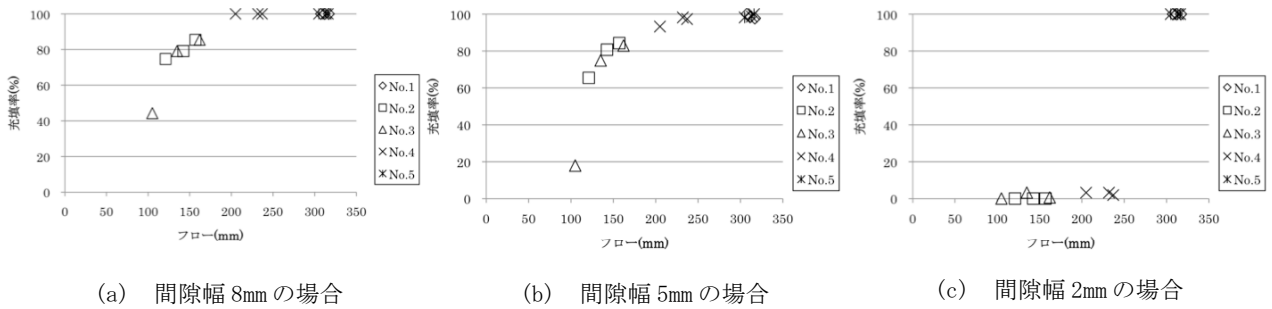


図-12 充填率とフローの関係

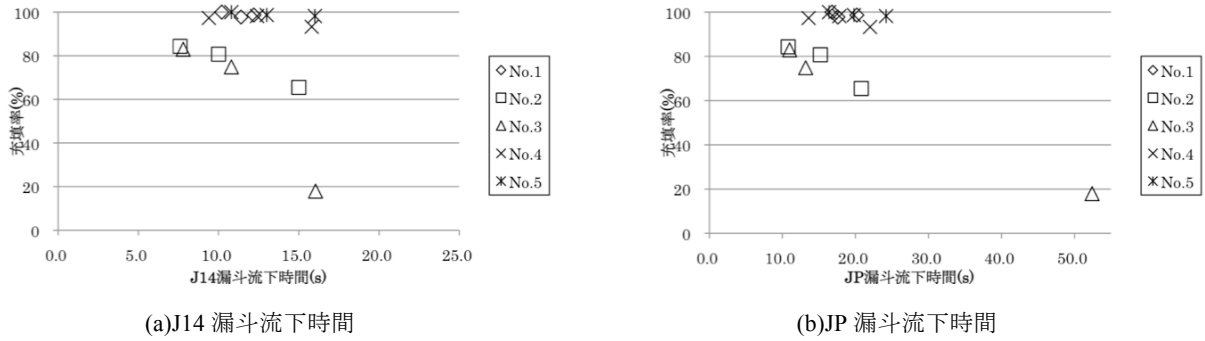


図-13 間隙幅 5mm の充填率と漏斗流下時間の関係

図-11 に示す。なお、充填率は、試料が内アクリルパイプ中から内外アクリルパイプの間隙へ流動して上昇した高さ、すなわち充填高さを、理論上、内アクリル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。

間隙幅が 5, 8mm の場合、フローが 250mm 程度を上回る試料 No. 1, 4, 5 は、ほぼ 100% の充填率となる。一方、試料 No. 2, 3 は、練混ぜ後 3 分および 20 分で 80% 程度の充填率を示し、練混ぜ後 60 分では No. 2 が 70% 程度、試料 No. 3 が 20~40% 程度の充填率まで低下する。

また、間隙幅が 2mm の場合、フローが 300mm 程度を有する試料 No. 1, 5 は、間隙を完全に充填したが、フローが 250mm を下回る試料 No. 2, 3, 4 は、閉塞し間隙を充填することができなかった。

(2) フローが充填性に及ぼす影響

各間隙幅における、充填率とフローの関係を図-12 に示す。間隙幅が 5, 8mm の場合、フローが増加すると

もない充填率も増加しており、充填率とフローには相関が認められる。

また、間隙幅が 2mm の場合、試料 No. 1, 5 が充填率 100% となっているが、試料 No. 2, 3, 4 はほぼ 0% である。間隙を充填できなかった 3 種類は、表-1 から分かるように、細骨材の 95% 径が 2mm 程度となっており、狭い間隙を充填するには、骨材粒子の径も考慮する必要があると言える。

(3) 漏斗流下時間が充填性に及ぼす影響

上述のように、内外アクリルパイプの間隙幅が 2mm の場合には試料 No. 1, 5 の 2 種類しか充填しておらず、また一方で、間隙幅が 5, 8mm の場合にはどちらも同じような傾向を示すことから、ここでは間隙幅 5mm の場合に限って、充填率と漏斗流下時間との関係を検討する。充填率と J14 漏斗流下時間あるいは JP 漏斗流下時間との関係を図-13 に示す。どちらにおいても相関は見られなかった。なお、試料ごとでみると、間隙幅 5mm を 100%

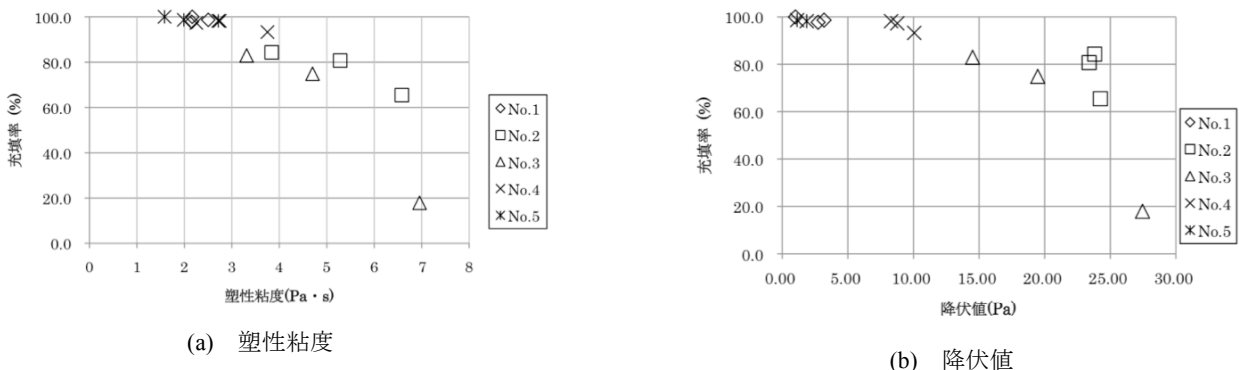


図-14 間隙幅 5mm の充填率とレオロジー定数の関係

充填できなかった試料 No. 2, 3 において、漏斗流下時間が長くなるにともない充填率が低下する傾向にあることが伺える。ただし、試料 No. 3 については、練混ぜ後 60 分のデータが特異な傾向を示している。すなわち、J14 漏斗では他の試料と流下時間に差がなく、試料 No. 3 においても連続性が無い（延長線上に無い）のに対し、JP 漏斗では流下時間が 50 秒を超えるが、他のデータとの連続性が見られる。これより、充填性の評価において、J14 漏斗よりも JP 漏斗の方が信頼性は高く、JP 漏斗流下時間から充填性をある程度評価することが可能である。ただし、全試料で見た場合、明確な傾向が得られないことから、更なる検討が必要となる。

#### (4) レオロジー定数が充填性に及ぼす影響

間隙幅が 5mm の場合の、充填率とレオロジー定数との関係を図-14 に示す。60 分経過後、充填率が 20% を下回った試料 No. 3 は、他の試料に比べ、塑性粘度、降伏値ともに最も大きくなっている。このデータを除くと、塑性粘度の増加にともない、充填率が低下する傾向があると言える。また、充填率と降伏値の関係においては、塑性粘度と同様の傾向を示し、降伏値の増加にともない、概ね充填率が低下する。これらのことから、充填性は、塑性粘度、降伏値のようなレオロジー定数の影響を受け、5mm 程度の間隙であれば、塑性粘度、降伏値とほぼ整合が取れていると考えられる。

#### 4. まとめ

間隙充填材の流動性ならびに充填性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) J14 漏斗流下時間と JP 漏斗流下時間には相関が認められる。ただし、JP 漏斗の直管部の影響により、評価結果に相違を生じることがあることに、注意が必要である。
- 2) 間隙充填材のフローは試料により相違する。また、

J14 漏斗流下時間とフローには相関はない。

- 3) 試料 5 種類全体で見た場合、塑性粘度と漏斗流下時間には、明確な相関は認められない。一方、降伏値とフローの関係は、降伏値が大きくなるに従ってフローが小さくなり、両者には良好な相関が認められる。

また、塑性粘度と 200mm フロー到達時間には相関が見られ、200mm フロー到達時間が、粘性を表す一つの指標になり得る。

- 4) 簡易な間隙充填装置を、あらたに考案し、間隙幅 2, 5, および 8mm を採用することで、各材料の流動・充填特性を評価できることを明らかにした。
- 5) 充填率とフローには相関が認められるが、狭い間隙を充填するには、骨材粒子の径も考慮する必要がある。
- 6) 充填性の評価には、J14 漏斗よりも JP 漏斗の方が信頼性は高く、JP 漏斗流下時間をもとに充填性を評価するのが適当であると考えられる。ただし、全試料で見た場合には、明確な傾向が得られないことから、更なる検討が必要となる。
- 7) 充填性は、レオロジー定数(塑性粘度、降伏値)の影響を大きく受け、5mm 程度の間隙であれば、塑性粘度、降伏値とほぼ整合が取れていると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 宮本一成，魚本健人，勝木太：各種要因が PC グラウトの充填性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol24，No. 1，pp1041-1046，2002
- 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) 土木学会：2002 年制定コンクリート標準示方書(規準編)
- 4) 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，pp623-624，V-313，2009. 9