

## 論文 高流動コンクリートの材料分離測定方法に関する研究

皆口 正一\*<sup>1</sup>・丸山 久一\*<sup>2</sup>・稲葉 美穂子\*<sup>3</sup>・坂田 昇\*<sup>4</sup>

**要旨:** 現在、高流動コンクリートの材料分離だけを定量的に評価する方法はなく、スランプフロー試験時の目視によって評価している。よって、これに代わる簡単かつ定量的な方法の確立が望まれている。

本研究では、高流動コンクリートの材料分離、特にペーストの分離を定量的に評価する測定方法としてキッチンペーパーを用いた方法を考案し、その有効性を検討した。その結果、ペーパーの付着量の大小によって高流動コンクリートの材料分離を定量的に判断できることが分かり、また、この方法を使用することで材料分離の観点から高性能減水剤の限界添加量を見い出せることが分かった。

**キーワード:** 高流動コンクリート, 自己充填性, 材料分離, 評価方法

## 1. はじめに

高流動コンクリートは、フレッシュ時の自己充填性を備え、打設時の締固め不要コンクリートとして施工の大幅な合理化が図れるだけでなく、構造物の信頼性の向上に役立つ技術として注目されている。この自己充填性は、コンクリート材料の性質である流動性及び分離抵抗性と施工条件における間隙通過性との組み合わせによって得られる総合的な性能であると考えられている。

このうち、分離抵抗性が不足し材料分離を生じることで充填性が著しく悪化することは既に知られている。しかし、現状では材料分離の判断基準となりうる適切な試験方法はなく、間隙通過性試験における閉塞現象と目視判断の組み合わせによって評価されており、これに代わる簡単かつ定量的に評価できる方法の確立が望まれている。

そこで本研究では直接、高流動コンクリートの材料分離、特にペーストの分離を評価する方法を考案し、その有効性を実験的に検討し、また、考案した測定方法を使用し材料分離の観点から、高性能減水剤の限界添加量について検討した。

## 2. 既往の研究

構造物の信頼性の向上を目的とした高流動コンクリートの自己充填性は「粗骨材の分離がなく、コンクリートが鉄筋等の間隙をスムーズに通過し型枠の隅々まで充填する性能」と定義することができる。この性能を直接評価する方法として様々なものが考案されており、代表的なものとして、鉄筋が密に配置されている型枠内におけるコンクリートの流動状況を観察し、この型枠内に完全に充填された場合、自己充填性コンクリートであると判断するもの[1]や、鉄筋間を水平方向に通過する能力のみに着目し、流動先端部のコンクリートの高さによって定量的に自己充填性を評価することを試みたもの[2]がある。これら二つの試験は実際の施工に近い状況を観察できることが特徴である。

また、流動性、分離抵抗性及び間隙通過性などの個々の性質をできるだけ独立したものとして評価し、その結果を総合的に判断して自己充填性を評価する方法が提案されている。この方法によれば、

\*1 (株)地崎工業、工修(正会員)

\*2 長岡技術科学大学教授 工学部建設系、Ph.D.(正会員)

\*3 アジア航測(株)、工修(正会員)

\*4 鹿島(株)北陸支店、工修(正会員)

流動性を土木学会基準のスランプフロー試験にて評価し、間隙通過性をVロート試験[3]やU型充填試験[4]によって評価している。これらの評価試験によって良好な高流動コンクリートとそうでないコンクリートをある程度分類することが可能であるが、粗骨材量が比較的少ない場合や、卓越した流動性を有している場合には、材料分離したコンクリートであっても閉塞現象が確率的に生じ[5]、間隙通過性試験において良好な間隙通過性と判断されるものが存在する。このため、現状では材料分離状態をスランプフロー試験時の目視によって判断されている。しかし、この目視による材料分離の判断は定量的なものではなく、これに代わる簡単かつ定量的な評価方法の確立が望まれる。

### 3. 材料分離評価方法の提案

高流動コンクリートの自己充填性は、適度な材料分離抵抗性を持たせた条件で高い流動性を確保することによって得られるものである。しかし、流動性を高めようとし過ぎると、モルタル部分の粘性が極度に低下し、材料分離が生じる。基本配合として良好な高流動コンクリートにおいては、モルタル部分の粘性の低下は、細骨材の表面水率の設定誤差による単位水量の過剰計量や、コンクリート温度の変化によって生じることが多い。しかし、高い流動性を確保するために使用される高性能減水剤がある限界量を越えると、ペーストの分離を生じ、その結果として高流動コンクリート全体の材料分離抵抗性を著しい低下も生じている。特に、粉体系の高流動コンクリートにおいてはこの現象が顕著であり、モルタルの粘性が極度に小さくなったものは、粗骨材とモルタルの分離の他にモルタル内のペーストと細骨材との分離をも生じ、コンクリート表面部に極めて粘性の低いペーストが浮き上がる。このペースト状の水は、紙等に付着する可能性があると考え、この現象を定量的に把握することによって材料分離、特にペーストの分離を判断できるものと考えた。

そこで、次のような材料分離測定方法を考案した。その試験の測定方法は以下に示すとおりである。まず、図-1に示すようにΦ10cm×20cmの圧縮供試体用モールド内に試料を詰め、ストレートエッジで表面を平滑にし、その上にキッチンペーパーを置き、さらにその上にキャッピング用のセル板を置いて静置する。試料としては、コンクリートあるいはウエットスクリーニングをしたモルタルとする。静置数分後、キッチンペーパーを静かに剥がし、ペーストが付着したキッチンペーパーの重量を測定する。使用したキッチンペーパーは表面をエンボス加工したものであり、厚さ0.28~0.35mm、吸水度1.5秒(JIS S-3104に基づく)で、材質はパルプ100%である。キッチンペーパーの大きさは114mm×112.5mmとした。

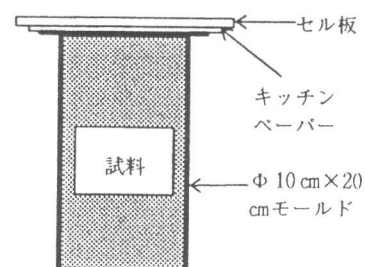


図-1 材料分離測定方法

### 4. 評価方法の妥当性の検討

材料分離を起こした高流動コンクリートは充填性が著しく悪化し、高流動コンクリートとして粗骨材量が適正な範囲にある場合においても、U型充填試験にて閉塞し充填高さが低くなることが既に知られている[4]。そこで、前項で提案した測定法による結果と、U型充填試験の充填高さ及びコンクリートを一定時間静置したときの粗骨材分布による結果とを比較することで本評価方法の有効性を検討することとした。

#### 4.1 実験概要

表-1に実験に使用した材料を、表-2に配合をそれぞれ示す。シリーズ1では、まず高流動コン

クリートとして適切な粗骨材量を把握するため、水粉体比(以下、W/P と記す)を重量比で31%一定とし、コンクリート中の粗骨材容積は、粗骨材の実積率に相当する容積とコンクリート中の粗骨材容積との比率(以下、G/Glim と記す)を50%,55%および60%となるように調整し、各コンクリートについてU型充填試験を行った。高性能減水剤の添加率は、練上り時のスランプフローが65±5cmの範囲

表-1 使用材料

項目	
セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.16
石粉	石灰石粉 比重2.70
細骨材	川砂(信濃川産) 比重2.56 FM=2.68 吸水率2.13%
粗骨材	石灰碎石(西頸城郡青海町産) 比重2.69 FM=6.86 吸水率0.50% 実積率61.5%
水	水道水
増粘剤	ウェランガム
高性能減水剤	β-ナフタリンスルホン酸ナトリウム塩

になるように調整し添加した。その結果、図-2に示すようにU型充填試験で通過可能な粗骨材量がおおよそG/Glim=55%であり、これは既往の研究成果と一致するものであった[6]。そこで、今回考案した評価方法の妥当性を検討するシリー

表-2 配合表

シリーズ	G/Glim (%)	W/P (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					増粘剤 W×%	高性能減水剤 (C+SD)×%
			水	セメント	石粉	細骨材	粗骨材		
1	50	31	189	332	284	681	794	0.05	1.8
	55	31	181	317	271	650	874	0.05	2.0
	60	31	172	302	258	620	952	0.05	2.0
2	55	30	169	302	258	696	869	0	1.9~3.3
	55	30	169	302	258	696	869	0.05	2.1~4.0
	55	35	169	260	223	763	869	0	2.3, 2.8
	55	35	169	260	223	763	869	0.05	2.6, 2.9
	55	40	169	228	195	816	869	0	2.4, 2.6
	55	40	169	228	195	816	869	0.05	3.0
	55	45	169	203	173	857	869	0	2.4
55	45	169	203	173	857	869	0.05	3.0	

ズ2では粗骨材量を G/Glim=55%と一定にした。W/P は、重量比で30%,35%,40%および45%になるように調整した。増粘剤の添加率は水に対する重量比で0%および0.05%とし、高性能減水剤はW/P=30%では表に示す範囲で変化させ、また、W/P=35%,40%及び45%のものでは、練上りのスランプフローが65±5cmの範囲になるように調整して添加した。練混ぜには、容量100リットルのパン型強制練りミキサーを使用し、細骨材、セメント、石粉、増粘剤、水+高性能減水剤の順に投入し、全材料投入後90秒練り混ぜた。練混ぜ終了後、直ちに練り返し、スランプフロー試験にてスランプフローを、U型充填試験にて充填高さを測定した。それと併行して今回提案したキッチンペーパーによって材料分離を評価する試験を行った。試験装置は図-1に示すとおりである。試料としては、コンクリートおよびウェットスクリーニングしたモルタルを用い、ペーパーの静置時間を1~5分までの各1分毎に変化させ、その影響を検討することとした。

また、骨材の分離状況を検討するため、図-3に示すようにφ15cm×30cmのシリンダを2本縦につなぎ高さ60cmとした容器を使用し、コンクリートを打設した後90分間静置し、シリンダの上下のコンクリートに含まれる粗骨材量の変動を調べた。

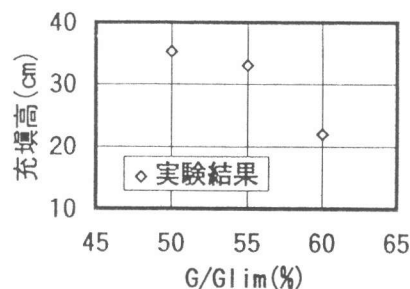


図-2 粗骨材量と充填高

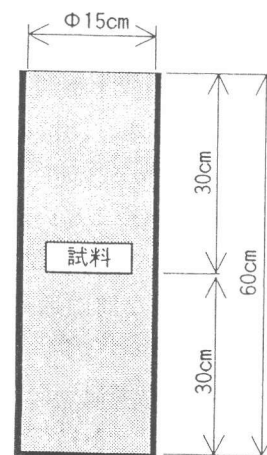


図-3 実験装置

## 4. 2 実験結果及び考察

図-4 および図-5 に静置時間と付着量の関係を示す。図中の黒塗りは、ペーストがペーパーに付着したものを示す。これより、W/Pの大きさにかかわらず、粘性の低くなったペーストが付着するような場合は、試料の種類および静置時間 1 分～5 分の長さによらず付着し、付着量が 3g 以上となった。

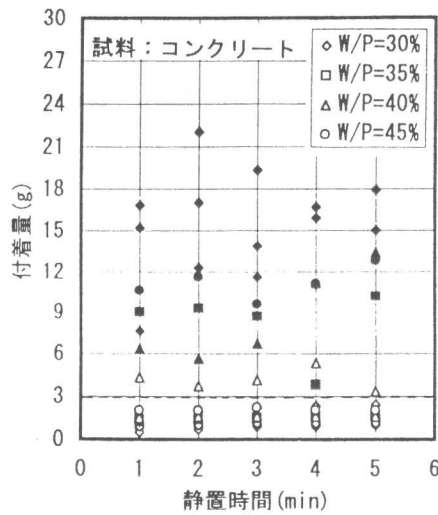


図-4 静置時間と付着量

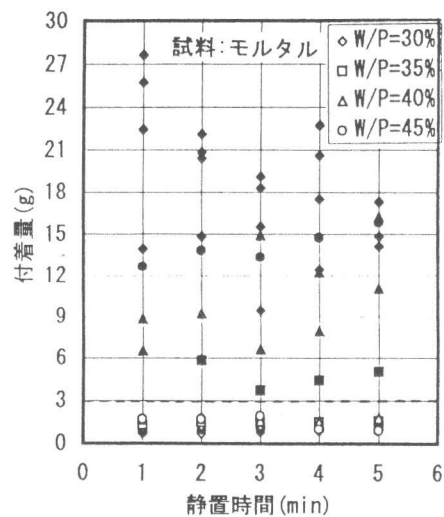


図-5 静置時間と付着量

一方、図-4 に示すように目視によってペーストがペーパーに付着していない場合は、W/P=40%のものを除いて、付着量は 3g 未満となっている。また、試料をウエットスクリーニングモルタルとした場合（図-5）では、W/P=40%のものも粘性の低くなったペーストが付着し、付着量は 3g 以上で、付着しないものとの差は明瞭に現れている。

以上のことから、試料の種類にかかわらず、付着量の大小で高流動コンクリートの異なった性状を判断できるものと考えられる。静置時間については、図-4 および図-5 とともに 5 分以内で付着量が収束する傾向にあるとは限らないが、時間の経過とともに試料が安定することを考慮すれば、静置時間として 5 分程度がよいと考えられる。

そこで、本論文では静置時間を 5 分とし、そのときの付着量が 3g 以上のものを付着あり、3g 未満のものを付着なしとする。

図-6 にスランプフローと U 型充填試験における充填高さの関係を示す。W/P=30%の場合、スランプフローが 69cm で、ペーパーへの付着ありのうち、U 型充填試験の充填高さの低いものがある。これは、既往の研究結果[4]等を参照して、材料分離を生じ閉塞したためと判定した。しかし、W/P=30%でスランプフロー 76cm と極めて高い流動性を持っている場合や、W/P=35%, 40%のケースでは良好な間隙通過性を有しているにもかかわらず、ペーパー試験では付着ありとなった。そこで、これらのコンクリートについて、図-3 に示した容器により骨材の変

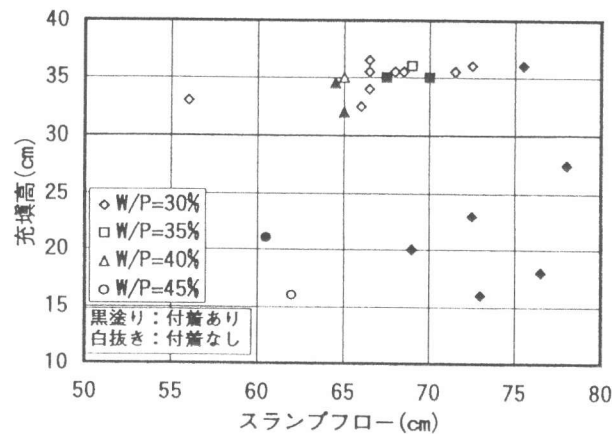


図-6 スランプフローと充填高さ

動状況を調べてみた。その結果を図-7に示す。図より、ペーパーに付着ありのものは、W/Pの大きさにかかわらず、シリンダー上下に含まれる粗骨材量の差は、付着なしのものに比べ大きく異なっている。すなわち、ペーパー試験で付着ありとされたものは、粗骨材とモルタルの分離が生じ易くなっていると判断される。

また、図-6のW/P=45%の場合、ペーパーへの付着の有無にかかわらずU型充填試験での充填高さは低くなっている。これは、単位水量を一定としてW/Pを上げたことにより、粉体量が減少し、それに伴って細骨材量が増加している。したがって、モルタル中に含まれるペーストの絶対量が減少し、コンクリートが変形する際に細骨材同士または細骨材と粗骨材との相互干渉がより敏感になり、そのため急激に充填性が悪化したものと考えられる[6]。

以上のことから、本研究で考案したキッチンペーパーによる評価方法は、高流動コンクリートの材料分離、特にペーストの分離を定量的に評価する方法としては有効であると考えられる。

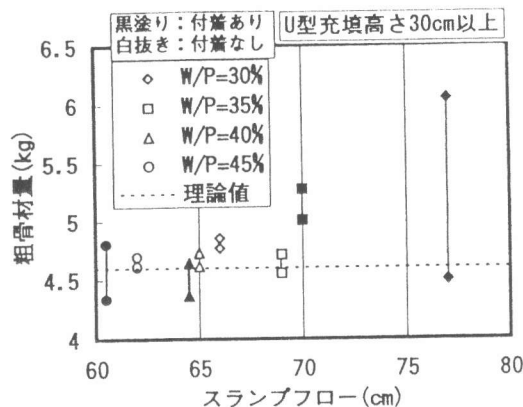


図-7 付着量と粗骨材量

## 5. 高性能減水剤の限界添加率の評価方法

高流動コンクリートの配合試験において、高性能減水剤の添加量がある限界量を越えると急激に材料分離を生じることは既に知られている[5]。そこで、本研究で考案したキッチンペーパーによる材料分離の評価方法によれば、高性能減水剤の使用限界の添加量を定量的に把握することが可能であると考へ、これに関してモルタルを用いて実験的に検討した。

### 5.1 実験概要

実験に使用した材料を表-3に、配合を表-4にそれぞれ示す。増粘剤の添加率は、水に対する重量比で0.0%および0.05%とし、高性能減水剤の添加率は表-5に示す範囲で変化させた。モルタルの練混ぜは、容量11.4リットルのホバート型ミキサを使用し、細骨材、セメント、増粘剤、水+高性能減水剤の順に投入し、低速(106rpm)1分、中速(196rpm)1分、高速(358rpm)3分の計5分間練り混ぜた。練混ぜ終了後、直ちにモルタルフロー試験にて静置フローを測定し、その後本研究で考案した材料分離評価試験を行った。実験装置は図-1に示すとおりである。

表-3 使用材料

項目	
セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.16
細骨材	川砂(信濃川産) 比重2.52 FM=2.68 吸水率1.61%
水	水道水
増粘剤	ウェランガム
高性能減水剤	$\beta$ -ナフタリンスルホン酸ナトリウム塩

表-4 配合表

W/C (%)	S/C (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			増粘剤 W×%	高性能減水剤 C×%
		水	セメント	細骨材		
30	0.8	322	1072	855	0	2.0~6.9
30	0.8	322	1072	855	0.05	2.0~9.0

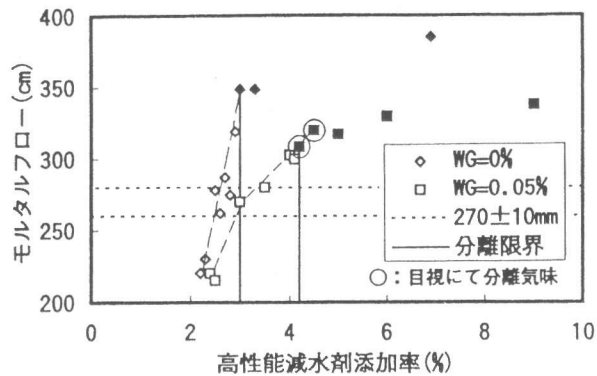
### 5.2 実験結果及び考察

図-8に高性能減水剤とモルタルフローの関係を示す。図中の黒塗りは付着ありのもの、白抜きは付着なしのものをそれぞれ示す。図より増粘剤の添加の有無にかかわらずペーパーに付着ありのものと付着なしのものとは、ある高性能減水剤添加率を境にして明確に分かれている。一方、材料分離をモルタルフロー測定時の目視により判断しようとした場合、増粘剤無添加の系では比較的明瞭に判断

できるものの、増粘剤を添加した系では、材料分離の境が必ずしも明瞭でなく、目視で判断することは難しく思われた。

また、増粘剤を添加することにより、高性能減水剤の添加量を多少変化させても、モルタルフロー値の変化は小さくなっている。これは、増粘剤の添加が流動性の変化を安定にし、材料分離抵抗性を向上させる目的から有効な手段であることを示しており、既往の研究結果[7]を改めて確認できたことを示している。

以上のことより、本研究で考案したキッチンペーパーによる評価試験によって、材料分離に対する高性能減水剤の限界添加率を定量的に把握できるものと考えられる。



図一八 高性能減水剤添加率とモルタルフロー

## 6. 結論

本研究では、高流動コンクリートの材料分離、特にペーストの分離を定量的に評価する方法として、キッチンペーパーによる試験方法を考案し、その有効性を実験的に検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 考案したキッチンペーパーによる試験方法を用いると、ペーパーへのペーストの付着量の大小によって高流動コンクリートの材料分離、特にペーストの材料分離を定量的に評価できる。また、ペーパーの付着時間として容器に詰めた試料が安定することを考慮すれば、5分程度が妥当だと考えられる。
2. 考案したキッチンペーパーによる試験を用いることで、粉体系及び、併用系の高流動コンクリートの配合検討時における高性能減水剤の限界添加量を定量的に把握することができる。

今後の課題として、粉体や高性能減水剤が異なる高流動コンクリートについても今回提案したキッチンペーパーによる評価試験の有効性を検討するとともに、実施工における品質管理試験としての適用性についても実験的に検討していく予定である。

## 謝辞.

本研究は長岡技術科学大学 丸山久一教授研究グループの研究の一部であり、実験実施及び材料提供にあたって、花王(株) 田中秀輝氏、泉達男氏、三晶(株) 南昌義氏、吉崎政人氏より多大なご助力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1]小沢 雅、前川宏一、岡村甫：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、1993
- [2]坂田昇ほか：高流動コンクリートの充實性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、12-1, pp301~306, 1990
- [3]小沢 雅、坂田昇、岡村甫：ロード試験を用いたフレッシュコンクリートの自己充實性評価、土木学会論文集、No490/V-23, pp61~70, 1994.5
- [4]新藤竹文ほか：超流動コンクリートの基礎物性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、13-1, pp179~184, 1991
- [5]皆口正一ほか：高流動コンクリートの材料分離評価方法についての考察、土木学会第50回年次学術講演会、pp1136~pp1137, 1995.9
- [6]松尾茂美、小沢 雅：自己充實コンクリートの充實性に対する粗骨材特性の影響、コンクリート工学年次論文報告集、16-1, pp165~170, 1994
- [7]坂田昇ほか：特殊増粘剤が高流動コンクリートの流動性を安定させる効果—コンクリート温度の影響—、土木学会第48回年次学術講演会、pp140~141, 1993.9