

# コンクリートの自己充てん性の 新しい評価手法に関する研究

原田和樹<sup>1</sup>・山本泰彦<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工修 株式会社青木建設 研究所 (〒300-2622 茨城県つくば市要36-1)

<sup>2</sup>正会員 工博, Ph.D. 筑波大学教授 機能工学系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)

本文では、まず、コンクリートの自己充てん性を簡便に試験・評価することを目的として考案した新たな試験装置の諸元と試験方法を紹介し、この試験装置がコンクリートの自己充てん性を評価するための適性を有していることを予備的に検証した結果を示した。次いで、配合、性状などが相違する多数のコンクリートの試験結果を適用しながら、この装置を用いた試験で得られる2つの測定値をコンクリートの間げき通過性と材料分離抵抗性を定量的に評価可能な2つの指標値に変換することを試み、それらの指標値を用いれば、自己充てん性の良否が判定できることを示した。さらに、考案した装置の現場試験への適用の便を考え、試験で得られる測定値を直接使用して、高流動コンクリートの自己充てん性を管理・検査する方法を示した。

**Key Words:** *self-consolidating concrete, test method for self-consolidating property, segregation, passing ability through closely spaced obstacles*

## 1. はじめに

コンクリートの自己充てん性は、流動性、材料分離抵抗性、間げき通過性、その他の複数の性質が適切なバランスを取り合った条件下で得られる「複合的な性質」であり、自己充てん性を構成する個々の性質の中には互いに相反すると考えられる性質もある。したがって、通常のコンクリートに適用されているような単純な試験による1つの試験値のみによってコンクリートの自己充てん性を試験・評価することは不可能であると言っても過言ではなく、実際にも、多くの研究者が、早くからこの点を認識し、自己充てん性の評価を目指した各種の試験方法を考案・提示している。

これまでに考案されている試験方法としては、自己充てん性を得るために不可欠な一部の主要な性質の評価・判定を主目的としたものもあるが、コンクリートに間げきを通過させ、この際のコンクリートの変形性、材料分離抵抗性、流動性などを総合的に評価することを意図しているものが多い。この例としては、流出口に鉄筋を配置したLフロー試験、流動面に鉄筋格子を配したLフロー試験、V漏斗試験、有筋型O漏斗試験、リング貫入試験、ふるい試験、流出口に鉄筋を配置したボックス充てん試験、U形充てん試験、過密配筋充てん性試験、などがある<sup>1)</sup>。これらの試験の場合は、自己充てん性を多面的に評価できるものほど、試験装置が大型、複雑、かつ高価になり、試験に要する試料の量が多くなる傾向にある。また、各種の漏斗などを用いる一部の試験を除くと、一般には、試験後の試料の排出と次の試験の準備に多大な労力と時間を要する難点もある。しかしながら、高流動コンクリートの配合を定める場合には、自己充てん性がきわめて重要な要求性能であるため、上記の種類に属する何らかの試験が採用されていることが多い。

高流動コンクリートを使用する場合は、現場におけるコンクリートの品質管理および検査にも、自己充てん性を多面的に評価できる試験方法を採用するのが望ましいことは言うまでもない。しかし、一般の現場においては、充てん試験などが採用されることは少なく、スランプフロー試験で流動性を判断し、この試験を行う際のスランプフロー速度や目視観察によって材料分離抵抗性を確認していることが多い。このような現状の背景には、現場での品質管理および検査は、工事開始前に十分な試験を行って定めたコンクリートの品質が工事中も安定して確保されていることを確認する目的で実施されるものであり、この目的のためには、多大な労力、時間および経費を要する試験方法を敢えて採用しなくても、自己充てん性の主要な構成要素である流動性と材料分離抵抗性について確認すれば良いとする工学的判断があるものと考えられる。建築学会の高流動コンクリートに関するガイド

ライン(案)<sup>3)</sup>でも、現場における高流動コンクリートのワーカビリティの品質管理および検査にはスランプフロー試験を用いることを基本とする考え方が示されているが、これは上述したような各種の試験方法の特徴、現場の実状、品質管理の意味、経済性などに配慮した現実的な対応であると思われる。

これに対し、最近発刊された土木学会の指針<sup>3)</sup>では、自己充填性の検査は、「充填装置を用いた間引き通過性試験により50m<sup>3</sup>に1回以上の頻度で行う」よう規定している。この規定は、締固めが行われないコンクリートに自己充填性が欠如した場合の悪影響を排除する目的で設けたものと考えられる。しかし、この趣旨で設けた規定であれば、検査は各運搬車毎あるいは各バッチ毎のコンクリートについて行うべきであり、検査の規定として検討の余地が残されているように感じられる。また、現場で、過大な労力や時間を要する試験を頻繁に実施すると、工事の省力化、省人化、急速施工化などの自己充填性コンクリートの使用目的の一部も犠牲になると思われる。

本研究は、現場においても簡便に実施できる自己充填性評価のための新しい試験方法(以下、BF試験という)を考案し、その適用性を予備的に検証するとともに、BF試験で得られる2つの測定値を使用して自己充填性を定量的に評価する手法について検討した結果を論じたものである。また、測定値のみを用いて自己充填性の管理・検査を行う方法についても考察を加えた。

## 2. 考案した試験装置とBF試験の概要

本研究で考案・使用した試験装置は、一般的なスランプフロー試験に使用されている器具に、新たに考案した流出障害装置(図-1参照)を組み合わせたものである。この流出障害装置は、現場での使用も考えて、簡便性を最優先させたもので、小型で質量が小さいこと、洗浄が容易であることなどの特徴を持つ。また、本研究では、流出口の大きさの調整を容易にする目的により、障害鉄筋の内側にアクリル板を円筒状に配置したが、これを金属板に交換すれば現場での使用に耐え得る丈夫な構造となる。

図-1に示した流出障害装置の諸元は、使用する粗骨材の最大寸法が20mmの場合に対するものであり、試料が流出する開口部の寸法、すなわち、障害鉄筋の中心間隔とアクリル板下端の位置(クリアランス)は、それぞれの寸法を3段階ずつ変化させた予備試験の結果に基づき、コンクリートの材料分離抵抗性と流動性が最も敏感に現れるように定めた<sup>4)</sup>。

上記の装置を用いる試験の方法は、流出障害装置をス

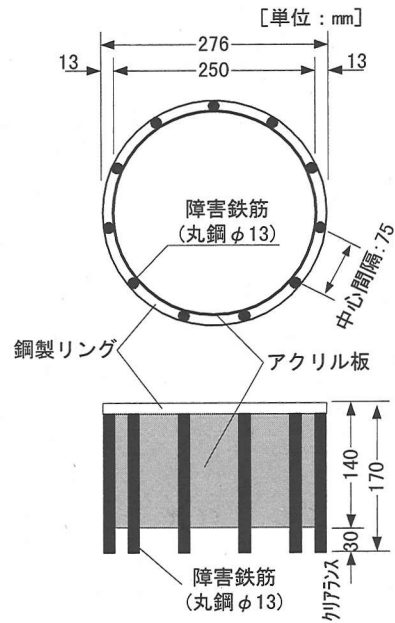


図-1 流出障害装置

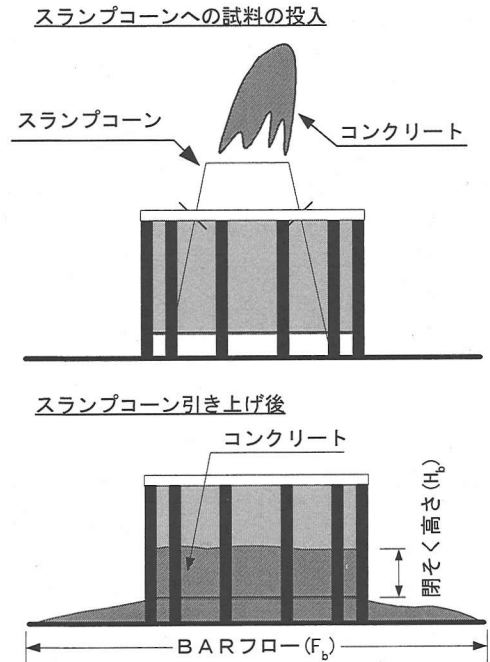


図-2 BF試験の概要と測定項目

ランプコーンの外側に配置して試験を行うことを除けば、通常のスランプフロー試験と全く同じである(図-2参照)。ただし、スランプコーンは、一般の市販品の足押さえ用突起部分を切断したものを使用し、これに試料を詰める際には棒突きは行わない方法(A法<sup>3)</sup>)を用いる。

表-1 使用材料

材料	種類・成分・物性・産地など	記号	
結合材	普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm <sup>3</sup> )	B	OP
	低熱ポルトランドセメント(密度3.24g/cm <sup>3</sup> , C <sub>2</sub> S59.0%)		LP
	高炉スラグ微粉末(比表面積6050cm <sup>2</sup> /g, 密度2.90g/cm <sup>3</sup> )		BS
細骨材	鬼怒川産川砂(表乾密度2.59g/cm <sup>3</sup> , 吸水率2.48%)		S
粗骨材	笠間産砕石2005(表乾密度2.70g/cm <sup>3</sup> , 実積率58.1%)		G
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテルと架橋ポリマーの複合体		SP
増粘剤	水溶性セルロースエーテル	V	V1
	多糖類ポリマー(β-1, 3グルカン)		V2

測定項目は、スランブフローと同様な方法で測定するBAR フロー (F<sub>v</sub>) と、アクリル板の内側に残留するコンクリートの閉そく高さ (H<sub>c</sub>) の 2 項目である。なお、閉そく高さは、閉そく試料の円周方向に互いに等距離にある 4 箇所測定し、それらの平均値を 0.5mm の単位に丸めて表した。

表-2 使用した細骨材の粒度

粗粒率	ふるいを通過する質量百分率(%)					
	5mm	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
2.45	100	94	84	55	17	5

表-3 使用した粗骨材の粒度

粗粒率	ふるいを通過する質量百分率(%)			
	20mm	15	10	5
6.66	100	75	34	0

### 3. 実験方法の概要

#### (1) コンクリート用材料

コンクリートの製造に用いた材料を表-1 に示す。

表-1 の結合材の欄に示した高炉スラグ微粉末は、普通ポルトランドセメントの質量の 60%と置換する使用方法で用いた。

細骨材および粗骨材は、表-2 および表-3 のように粒度調整したものを用いた。なお、粗骨材の場合は、骨材粒子の表面に付着している微粒分を 5mm ふるいの上で水洗いした後に、粒度調整を行っている。

#### (2) コンクリートの配合

本研究では、配合および性状が相違する 53 種類のコンクリートを試験の対象とした。ただし、何れのコンクリートの配合も、自己充てん性コンクリートを製造することが可能と思われる範囲を大きく逸脱しないよう注意し、基本的には表-4 に示す条件で統一した。

表-4 に示す単位粗骨材かさ容積の 3 水準の値は、実施工に用いられている一般の自己充てん性コンクリートの場合にこの値が 0.50~0.55m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> の範囲にあったこと<sup>9)</sup>を考慮して定めた。また、スランブフローは、自己充てん性が得られる必要条件を考え、全てのコンクリートに対し、約 550~750mm の範囲内に入るよう定めた。高性能 AE 減水剤および増粘剤の添加量は、モルタル部分の性状を多様に変化させる目的により、広範囲に変化させた。

#### (3) コンクリートの練混ぜ

コンクリートの練混ぜには、練混ぜ容量 0.055m<sup>3</sup> のパン型強制練りミキサを使用し、1 バッチ当たりの練混ぜ量は 0.040m<sup>3</sup> とした。練混ぜの際は、まず、結合材、細

表-4 コンクリートの配合条件

結合材種類	OP, LP, OP+BS(質量置換率60%)		
水結合材比(%)	約30	35	50
単位粗骨材	0.500, 0.525, 0.550		
かさ容積(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0.500, 0.525, 0.550		
砂/モルタル容積比	0.4~0.5		
増粘剤使用量(kg/m <sup>3</sup> )	なし	V2:0.2~2.0	V1:0.3~1.2
高性能AE減水剤 使用量(B×wt.%)	1.2~3.0		
スランブフロー(mm)	550~750		

骨材および増粘剤をミキサに投入して 30 秒間の空練りを行い、次いで、水と高性能 AE 減水剤を加えて 120 秒間練り混ぜ、最後に粗骨材を投入して 60 秒間練り混ぜた。

#### (4) フレッシュコンクリートの性状の判定方法

本研究の実験結果の整理に当たっては、フレッシュコンクリートを、その性状に応じて表-5 に示す 4 種類に分類した。

フレッシュコンクリートを表-5 のように区分し、これに基づいて考察を行う場合は、間げき通過性あるいは自己充てん性の良否をできるだけ客観的に評価することが重要である。そこで、本研究では、製造した全てのコンクリートについて、BF 試験およびスランブフロー試験に加え、流出口の内法寸法が 65×75mm の V<sub>65</sub>漏斗(以下、「V 漏斗」と略記)を使用した流下試験<sup>3)</sup>、ボックス充てん装置 [U型充てん装置と同じ試料高さ(680mm)、同じ寸法の流出障害(D13)の鉄筋を 4@50=200mm に配置:障害 R2<sup>3)</sup>]となるように製作したもの]を用いた試験<sup>2)</sup>(以下、「ボックス充てん試験」と略記)および B8H 型回転粘度計によるウェットスクリーニングモルタルの

表-5 フレッシュコンクリートの分類と性状の判定

分類	性状
硬い	材料分離抵抗性は良好であるが、間げき通過性に劣る。間げき通過性は良好であるが、粘性が極端に大きい。
良好	材料分離抵抗性、間げき通過性ともに良好である。
分離 気味	間げき通過性は良好であるが、材料分離が観察される。
分離	材料分離が観察され、間げき通過性も劣る。

レオロジー一定数の測定<sup>9)</sup> (500ml 用ガラス製ピーカに約500ml の試料を入れて測定) も行い、これらの値が表-6 に示す条件を全て満足していれば、そのコンクリートを、良好な間げき通過性 (自己充てん性) を有する「良好」なコンクリートと判定した。ただし、表-6 の条件を全て満足した試料でも、目視観察などにより材料分離の傾向が認められたものについては、それを「分離気味」と区分した。また、材料分離の傾向はほとんど認められないが、ボックス充てん試験の結果が表-6 の条件を満足しないものおよびボックス充てん高さは表-6 の条件を満足するが、V 漏斗の流下時間が表-6 の範囲の上限を上回る (粘り気が強い) ものは「硬い」と区分した。

上記の判定の基準に用いた表-6 の値は、既往の文献と実験結果を基に定めた。すなわち、V 漏斗流下時間の範囲は、既往の文献<sup>9)</sup>を参照して 5~20 秒に決定した。また、ボックス充てん試験の充てん高さ (以下、「ボックス充てん高さ」と略記) の値に関しては、U 型充てん性試験<sup>7)</sup>における充てん高さ (以下、「U 型充てん高さ」と略記) が 300mm 以上であれば、そのコンクリートは一般には良好な自己充てん性を有すると判断してもよいとされている<sup>10)</sup>ことを考慮し、表-4 と同じ配合条件のコンクリートを試料とした予備実験の結果 (図-3) を基に、U 型充てん高さ 300mm 以上に相当する 250mm 以上と定めた。この充てん高さは、土木学会の指針<sup>11)</sup>で一般の鉄筋コンクリート構造物に対して標準としている自己充てん性のレベル「ランク2」に対応する。

なお、土木学会の指針<sup>11)</sup>では、自己充てん性を有するコンクリートのボックス充てん高さの最小値を、U 形充てん高さの場合と同じ 300mm としているが、これは、ボックス充てん装置と U 形充てん装置の形状の相違によって両者の充てん高さに約 50mm の差が生じることを考慮していないように思われる。

一方、表-6 のレオロジー一定数 (モルタルの塑性粘度および降伏値) の下限値は、図-4 の実験結果を基に定め、本研究では主にコンクリート中のモルタル部分の材料分離抵抗性を確認する目的で用いた。この図-4 は、本研究の開始時までに著者等が行った実験結果を整理したものであり、各種の配合のコンクリートからウェットスクリーニングしたモルタルを対象として、モルタルの間げき

表-6 良好な自己充てん性を得るために必要な試験値の範囲

試験名	測定項目	試験値の範囲
V65漏斗試験	流下時間	5~20秒
ボックス充てん試験	充てん高さ	25cm以上
レオロジー 定数の測定*	塑性粘度	5Pa・s以上
	降伏値	6Pa以上

\*) 塑性粘度あるいは降伏値のいずれかが、この値を満足していること

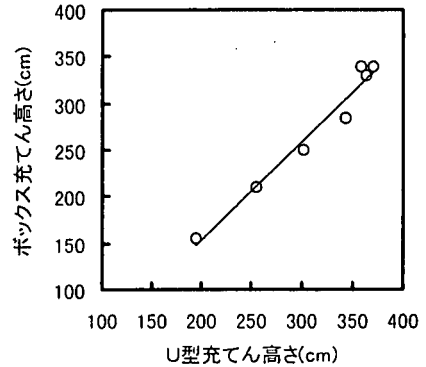


図-3 ボックス充てん高さとう型充てん高さの関係

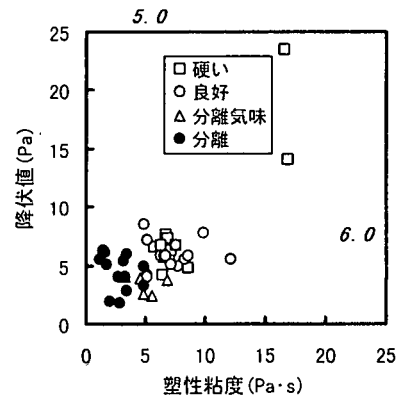


図-4 分離抵抗性を有するためのウェットスクリーニングモルタルのレオロジー一定数の下限値

通過性試験<sup>9)</sup>、B8 型回転粘度計によるレオロジー試験、目視観察などを行い、前記のコンクリートの場合と同様に、モルタル試料を分類した結果を示したものである。

なお、本研究でコンクリートからウェットスクリーニングしたモルタルについて測定したレオロジー一定数の測定値は、5. および 6. の考察にも用いている。

#### 4. BF試験の性能に関する予備的検討

コンクリートの自己充てん性の試験には、単にその流動性を評価できるだけでなく、鉄筋などの障害部におけ

表-7 増粘剤の添加量のみを変化させたコンクリートの配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					SP (B×wt.%)
		W	B	S	G	V1	
50	51.6	199	398	842	824	0.3, 0.5 0.8, 1.2	2.0

注)表中の記号は表-1に同じ。結合材にはOPを使用。

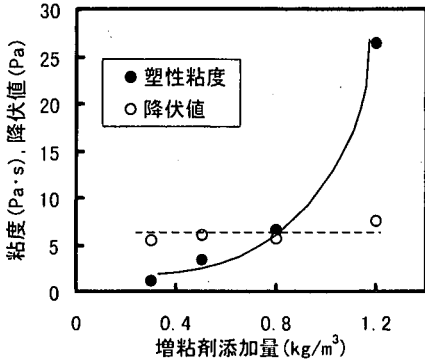


図-5 増粘剤添加量とウェットスクリーニングモルタルの塑性粘度の関係

るコンクリートの流動性低下あるいは閉そくの度合をできるだけ鋭敏に把握できる性能が要求される。一方、鉄筋などの障害部における高流動コンクリートの流動性低下あるいは閉そくは、コンクリートが材料分離を起こす場合、逆にコンクリートの粘性が過度に高く流動性が低い場合、粗骨材量が多い場合などに生じやすいことが経験的にも良く知られている。本章では、これらの経験的に明確な事実が BF 試験の試験値にどの程度反映されるかを調べることを目的として配合を定めたコンクリートの試験結果を使い、BF 試験の性能について予備的に検討した。

まず、表-7 に示すように、粗骨材などの基本的材料の単位量を一定に保ちながら増粘剤の添加量のみを変化させた4種類のコンクリートの試験結果を用い、BF 試験の測定値に及ぼすコンクリートの材料分離抵抗性あるいは粘性の影響を調べた。これらのコンクリート中のモルタル部分のレオロジー定数に関しては、降伏値はほぼ一定であったが、塑性粘度は増粘剤の添加量とともに指数関数的に増大していく傾向が認められた(図-5 参照)。

図-6、図-7 および図-8 は、上記のコンクリートの試験結果であり、それぞれ、通常の方法によるスランプフロー、BF 試験における試料の広がり (BAR フロー) および BF 試験における閉そく高さの各試験値をモルタル部分の塑性粘度に対してプロットしたものである。これらの図中の各点には、前述の基準によって区分したコンクリートの性状も付記してある。

図-6 を参照すると、モルタル部分の塑性粘度を著しく高めたコンクリートのスランプフローは他より 60mm 程

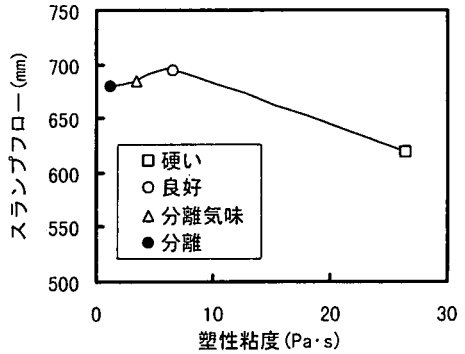


図-6 スランプフローとウェットスクリーニングモルタルの塑性粘度の関係

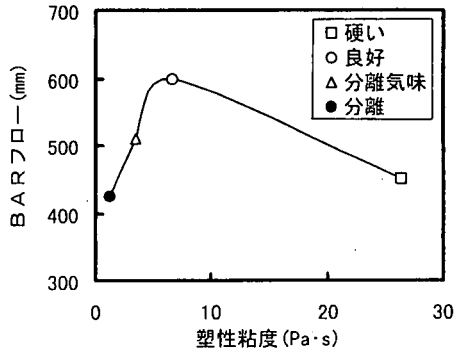


図-7 BARフローとウェットスクリーニングモルタルの塑性粘度の関係

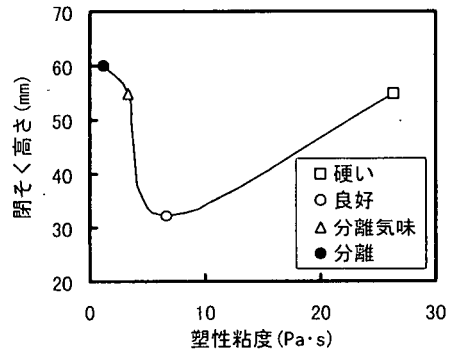


図-8 閉そく高さとウェットスクリーニングモルタルの塑性粘度の関係

度小さくなっているが、その他の3種類のコンクリートのスランプフローの差は最大 20mm 程度であり、材料分離の影響はスランプフローの値に現れ難いことが認められる。これに対し、BF 試験の BAR フローおよび閉そく高さの試験値を示した図-7 および図-8 を見ると、何れの図にも、粘性不足に起因する材料分離によって間げき通過性が悪化する影響および粘性過多によって流動性または間げき通過性が悪くなる影響がきわめて明確な差となって現れていることが認められる。この結果は、コンク

表-8 単位粗骨材かさ容積を変化させたコンクリートの配合

分類	水/結合材 容積比	砂/モルタル 容積比	SP (B×wt.%)	V1使用量 (W×wt.%)	単位粗骨材かさ容積 ( $m^3/m^3$ )
硬い	1.1	0.40	1.2	0.28	0.525, 0.55
良好	0.9	0.47	1.3	—	0.5, 0.525, 0.55
分離	1.1	0.40	1.8	0.28	0.5, 0.525, 0.55

注)表中の記号は表-1に同じ。結合材にはOPを使用。

リートの粘性の過不足によってもたらされる流動性低下や材料分離により間げき通過性が悪化する影響が BF 試験の値に敏感に反映されることを示すものと考えられる。

なお、材料分離したコンクリートの場合は BF 試験用流出障害装置の吐出口をせき止める形式の粗骨材粒のかみ合いが観察され、また、全試験を通じた一般的傾向として、材料分離の影響は特に閉そく高さ ( $H_b$ ) の試験値に顕著に現れることが認められた。図-8 において、分離気味と記された試験値が分離した試料の試験値の近くに位置しているのは、このような閉そく高さの試験値の特徴を反映した結果と思われる。

次に、表-8 に示すように、モルタル部分の配合を一定に保ち、単位粗骨材かさ容積を 0.500, 0.525, 0.550 $m^3/m^3$  の 3 水準に変化させた試験結果を用い、単位粗骨材かさ容積の相違が BF 試験の測定値に及ぼす影響を調べた。図-9 および図-10 は、この結果を示したものである。ここで、図-9 の縦軸のフロー値の差とは、スランプフローと BAR フローの差を意味する。このような量を縦軸に採ったのは、単位粗骨材かさ容積を変化させるとスランプフローも変化するので、BAR フローの絶対値では障害鉄筋を通過する性能を評価できない理由による。

図-9 および図-10 を通覧すると、「良好」と判定された試料の場合は、フロー値の差あるいは閉そく高さの値が他より小さく、単位粗骨材かさ容積が変化しても、これらの値がほとんど変わらないことが認められる。ただし、閉そく高さの値には、単位粗骨材かさ容積が 0.550 $m^3/m^3$  となった場合に間げき通過性がやや悪化していることを示唆していると考えられる傾向が現れている。これに対し、「分離」あるいは「硬い」と判定された試料の場合は、フロー値の差および閉そく高さが「良好」な試料の場合より大きくなっていると同時に、粗骨材の量が増した場合に間げき通過性が悪くなる傾向が比較的に明瞭に現れていることが認められる。特に、粗骨材の量が多くなった場合に、鉄筋などの障害部で骨材粒がかみ合せて閉そくする現象は分離するものほど顕著になるが、この影響は図-10 の閉そく高さの試験値に良く反映されている。

以上の結果は、コンクリートの自己充てん性に及ぼす流動性、材料分離抵抗性および間げき通過性などの影響が、本研究の BF 試験の 2 つの測定値に合理的、かつ比較的敏感に現れることを示すものと考えられる。したが

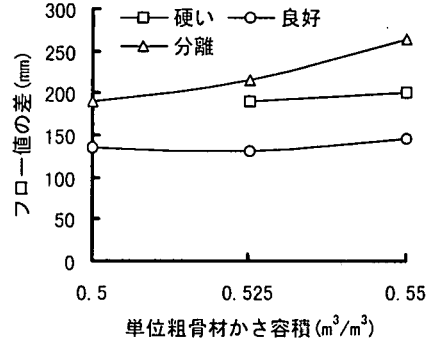


図-9 フロー値の差と単位粗骨材かさ容積の関係

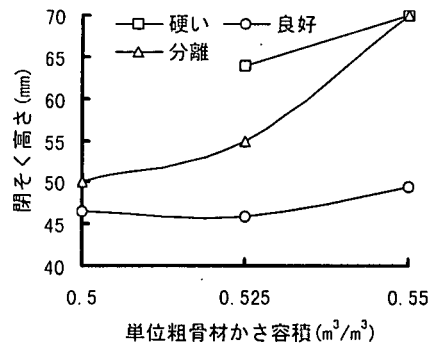


図-10 閉そく高さと単位粗骨材かさ容積の関係

って、試料流出口の寸法を適切に定めた流出障害装置を用いれば、BF 試験は、高流動コンクリートの品質の評価・管理に十分に適用できる性能を有すると思われる。

## 5. BF 試験による自己充てん性の評価方法

前章では、コンクリートの粘性や粗骨材量などの変動に起因する間げき通過性の変化が BF 試験の値に比較的に明瞭に反映されることが確認された。この性質を利用すれば、コンクリートの自己充てん性の管理・検査にも BF 試験を有効に利用できると考えられる。しかし、この目的のために BF 試験を適用する場合でも、BF 試験の測定値とコンクリートの自己充てん性能との関係を明らかにしておく必要がある。そこで、本章では、BF 試験で得ら

れる2つの試験値を、自己充てん性に関連する2つの性能指標に変換することを試み、それらの指標と3.(4)の方法によって分類した多数のコンクリートの実験結果を比較しながら、BF試験の結果を利用して自己充てん性を定量的に評価する手法について検討することにした。

自己充てん性は、一般には、所要の流動性、間げき通過性および材料分離抵抗性が同時に満足された場合に得られる性質であると考えられている<sup>9)</sup>。したがって、これらの3つの性質を定量的に評価できれば、自己充てん性を定量的に評価することが可能になると考えられる。ただし、流動性に関しては、これをスランプフローの値によって評価することが一般に行われており<sup>9)</sup>、自己充てん性が得られるスランプフローの範囲が本研究の試験条件(550~750mm)の範囲内にあることも経験的に良く知られている。これらの諸点に着目し、本章における以下の考察では、間げき通過性および材料分離抵抗性を検討の対象項目とした。

### (1) 間げき通過性の定量化

間げき通過性は、BF試験においては、コンクリートが障害鉄筋間を通過する性能と考えることができる。ここで、スランプフロー試験とBF試験を比較すると、流出障害装置の有無だけが相違し、試料の量や試験方法などは全く同じである。したがって、スランプフローとBARフローの差が間げき通過性を定量的に評価する指標となるものと考えられる。ただし、間げき通過性のみを考えた場合は流動性(スランプフロー)が大きい方が好ましいので、ここでは、両者のフローの差を、スランプフローで除して無次元化した式(1)で示される間げき通過指標値(PI)を用いて、間げき通過性を表すことにした。

$$PI = \frac{F_s - F_b}{F_s} \quad (1)$$

ここで、

$F_s$  : スランプフロー(mm)

$F_b$  : BARフロー(mm)

上式で示される間げき通過指標値(PI)は、流動性に優れ(スランプフローが大きく)、かつ間げき通過性が良い(BARフローが大きい)ものほど、小さな値となる。

図-11は、表-4に示した配合条件を満足する全てのコンクリートの試験結果を使用して、ボックス充てん高さと同げき通過指標値(PI)との関係を求めたものである。なお、図中の矢印を付した点は、それが矢印の方向にスケールオーバーしていることを意味する。

図-11において「良好」と判定された試料と「硬い」と判定された試料の試験値のみに着目すると、全般的に、

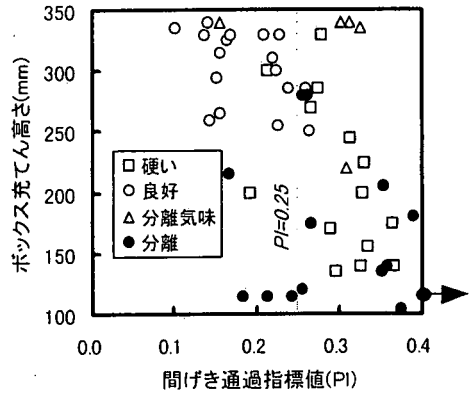


図-11 ボックス充てん高さと同げき通過指標値(PI)の関係

間げき通過指標値(PI)が小さくなるにつれてボックス充てん高さが大きくなる傾向にあり、「良好」と判定されている試験値は、何れも、PIが約0.25より小さい範囲に存在していることが認められる。このPIが0.25より小さい領域には、「硬い」と区分されている試験値も2個存在するが、これらの内、ボックス充てん高さが300mmの位置にある1つの点は、V漏斗流下時間が、22.9secで、表-6の基準範囲の上限を約3sec上回っていたために、「硬い」と区分された試料の値で、「良好」にほぼ匹敵する試験値と言えられる。また、他の1点は、ボックス充てん高さが200mmであったために「硬い」と判定されたが、この試料のスランプフローは545mmときわめて小さく、流動性がこのレベルのコンクリートとしては比較的良好な間げき通過性を持つものと思われる。

上記の諸点を考慮すると、図-11の結果は、一般の鉄筋コンクリート構造物に適する自己充てん性コンクリートのPIは0.25より小さい範囲にあり、PIが0.25より大きくなると自己充てん性を確保することが次第に困難になることを示すものと考えられる。また、このような判断基準となる意味において、PIは自己充てん性を左右する間げき通過性の良否を判定する有力な指標になり得られると思われる。しかしながら、同図にも認められるように、「分離」と判定された多くのコンクリートの場合も、分離したモルタル部分が流出障害装置の外側に大きく広がり、PIが0.25より小さくなったのである。したがって、間げき通過指標値(PI)から間げき通過性が良好と判定される試料についても、材料分離抵抗性については別途に確認する必要があると言える。

なお、図-11において、「分離気味」と区分され、かつ、ボックス充てん高さが335mm以上になっている4つの試験値は、「良好」と判定されたコンクリート(スランプフロー=700mm、ボックス充てん高さ=330mm、V漏斗流下時間=14.2sec)の高性能AE減水剤の使用量のみを1.3~1.8倍に増加させたコンクリートの試験値であり、

これらのコンクリートは明らかに分離傾向にあることが目視で観察されたために「分離気味」と区分されたのである。また、ボックス充てん高さが 250mm を超える範囲にも「分離」と判定された試料の点もある。これらの事実、土木学会の指針で規定しているような充てん装置を用いる試験でも、骨材の表面水率の変動などによりコンクリートが材料分離することを管理・検査することは難しく、コンクリートの均一性に関しては別の何らかの方法によって確認する必要があることを示すものと考えられる。

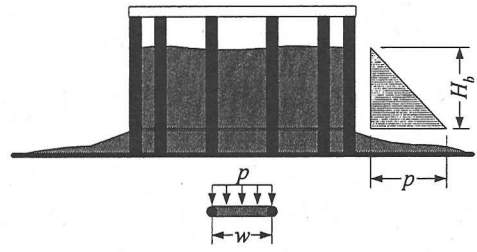


図-12 アクリル板下端に作用する圧力の概念図

## (2) 材料分離抵抗性の定量化

BF 試験の場合は、BAR フローの値にも材料分離の影響は反映される。しかし、前章でも述べたように、材料分離の程度は流出障害装置の吐出口における粗骨材粒のかみ合いの度合の形で直に観察され、材料分離抵抗性の良否も閉そく高さの値に一層明確に現れた。このため、本節における材料分離抵抗性の定量化に関する検討に当たっては、BF 試験における閉そく高さの試験値を対象とすることにした。

### a) 相対降伏値を用いた材料分離抵抗性評価の試行

間げき通過時のコンクリートの閉そく現象は、粗骨材とモルタルとの分離によって生じる場合と、コンクリートの降伏値が過大なために生じる場合があると言われている<sup>10)</sup>。しかし、前者の場合にも、モルタルの分離による鉄筋障害部における粗骨材粒同士のかみ合いがコンクリートの見掛けの降伏値を大きくすると考えれば、閉そく現象の定量的な取り扱いは後者と同様に行うことができると考えられる。そこで、本項では、まず、コンクリートが間げきを通過する際の最大せん断応力が、コンクリートの見掛けの降伏値と等しくなったときに、コンクリートの流動が停止し、閉そくするという考えに基づいて、閉そく現象を考察してみることにした。

BF 試験では、コンクリートの変形が終了した時点（閉そく高さが  $H_b$  となった時点）で、アクリル板下端には式(2)で示される圧力（側圧）が作用していると考えられる（図-12 参照）。また、コンクリートと鉄筋の間にすべりが無いと仮定し、コンクリート試料を間げきから通過させようとする圧力が開口部において試料の背後から均等に作用していると考え、間げき部分に発生する最大せん断応力は式(3)で表すことができる<sup>10)</sup>。

$$p = k_1 \cdot \rho \cdot g \cdot H_b \quad (2)$$

ここで、

- $p$  : アクリル板下端に作用する側圧 [Pa]
- $k_1$  : 側圧の低減係数<sup>10)</sup>
- $\rho$  : コンクリートの密度 [kg/m<sup>3</sup>]
- $g$  : 重力加速度 [m/s<sup>2</sup>]

$$\tau_{max} = \frac{p \cdot w}{2D} \quad (3)$$

ここで、

- $\tau_{max}$  : 最大せん断応力 [Pa]
- $w$  : 障害鉄筋の中心間隔 [m]
- $D$  : 障害鉄筋の直径 [m]

コンクリートの変形が停止した時の最大せん断応力をコンクリートの見掛けの降伏値に等しいと考えると、式(3)に式(2)を代入して、次の式(4)が得られる。

$$\begin{aligned} \tau_c &= \frac{k_1 \cdot \rho \cdot g \cdot H_b \cdot w}{2D} \\ &= k_2 \cdot \rho \cdot H_b \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、

- $\tau_c$  : コンクリートの見掛けの降伏値 [Pa]
- $k_2$  : 側圧低減係数、重力加速度、障害鉄筋の径および鉄筋間隔によって定まる定数

$$\frac{k_1 \cdot g \cdot w}{2D}$$

コンクリート試料の分離に起因して閉そくする場合は、閉そく高さが大きくなるので、式(4)から算出されるコンクリートの見掛けの降伏値は一般には大きな値となる。一方、分離傾向にある高流動コンクリートの場合は、そのモルタル部分が必要以上に軟らかく（降伏値が小さく）なっていることが多い。したがって、「モルタル部分の降伏値が小さいコンクリートほど分離しやすい」と仮定すれば、コンクリートの見掛けの降伏値（計算値）をモルタル部分の降伏値で除した値は、分離傾向が強いものほど大きくなると考えられ、材料分離抵抗性を表す1つの指標となり得る可能性もある。そこで、次式で定義した相対降伏値を考え、この指標によるコンクリートの材料分離抵抗性の評価を試みた。



$$\tau_r = \tau_c / \tau_m = \frac{k_2 \cdot \rho \cdot H_b}{\tau_m} \quad (5)$$

ここで、

- $\tau_r$  : 相対降伏値
- $\tau_c$  : コンクリートの降伏値 [Pa]
- $\tau_m$  : ウェットスクリーニングモルタルの降伏値 [Pa]

図-13 は、各種のコンクリートについて、式(5)中の相対降伏値を定数  $k_2$  で除した部分の値 ( $\rho \cdot H_b / \tau_m$ ) を計算によって求め、それぞれのコンクリートのウェットスクリーニングモルタルの降伏値に対してプロットしたものである。この図を参照すると、分離および分離気味のものは相対降伏値が大きい範囲にあり、一般的には予期した傾向が認められる。しかしながら、良好なものと分離傾向にあるものとの境界付近では両者の試験値が混在しており、相対降伏値の値のみによって両者を明確に区分することは難しいことも認められる。これらの結果は、良好なものと分離傾向にあるものとの明確な区分を行うためには、相対降伏値の誘導に当たって設けた仮定、すなわち、材料分離するものほどモルタル部分の降伏値が小さくなるとの仮定のみでは不十分であって、この仮定に基づく相対降伏値に加え、材料分離に及ぼすモルタル部分の塑性粘度の影響も考慮できる指標が必要であることを示唆するものと考えられる。

#### b) 分離指標値の導入

前項において、材料分離抵抗性の評価に際して、モルタル部分の塑性粘度の影響も考慮する必要があることが示された。ただし、BF 試験装置の間げきを通過するのはコンクリートであり、高濃度サスペンションに対する Brinkman の粘度方程式<sup>12)</sup>を示した式(6)からも容易に推察できるように、コンクリートの塑性粘度は、単にモルタル(溶媒)の塑性粘度だけではなく、粗骨材(溶質)の量によっても変化するのである。これらの点に配慮し、本項では、モルタルの塑性粘度と粗骨材の体積比率の双方の影響を考慮できるコンクリートの塑性粘度を考えることにした。

$$\eta = \eta_0 \cdot (1 - C_v)^{-K} \quad (6)$$

ここで、

- $\eta$  : サスペンションの粘度
- $\eta_0$  : 溶媒の粘度
- $C_v$  : 溶質の体積濃度
- $K$  : 溶質粒子の形状係数

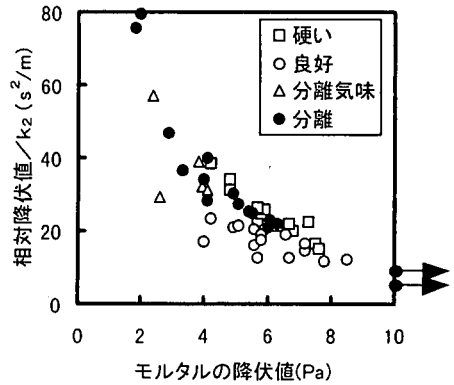


図-13 相対降伏値とモルタルの降伏値の関係

Brinkman の式が適用できないような、より高濃度のサスペンションに対しては、溶質粒子群の周囲に溶媒が付着拘束された集集体粒子を新たな溶質と考えて式(6)中の  $C_v$  を補正する手法が採られており、粗骨材粒子のような剛体粒子を溶質とする場合は、集集体粒子の体積の総和とサスペンション全体の体積との比を意味する  $C_v$  の値として単位粗骨材かさ容積に相当する量を適用した式(7)を用いるのが良いとされている<sup>13)</sup>。また、式(7)は、溶質粒子(粗骨材)の体積濃度が 0.5 程度まで成立することが確認されている<sup>14)</sup>。そこで、粘性の影響を調べる以下の考察においては、式(7)を用いることにした。

$$\eta_r = \eta_c / \eta_m = (1 - G_{br})^{-K} \quad (7)$$

ここで、

- $\eta_r$  : 相対粘度
- $\eta_c$  : コンクリートの塑性粘度 [Pa·s]
- $\eta_m$  : ウェットスクリーニングモルタルの塑性粘度 [Pa·s]
- $G_{br}$  : 単位粗骨材かさ容積

式(7)の適用に当たっては、まず、粗骨材の形状係数を定める必要がある。この目的のために、式(7)の両辺の対数を取り、単位粗骨材かさ容積に粗骨材の実積率を乗じた値がコンクリート中に占める粗骨材の絶対容積の割合であることを考慮すると、式(8)が得られる。

$$\ln(\eta_r) = -K \cdot \ln \left( 1 - \frac{G_v}{S_g} \right) = K \cdot f(G) \quad (8)$$

ただし,

$$f(G) = -\ln\left(1 - \frac{G_v}{S_g}\right)$$

ここで,

$G_v$  : コンクリート中の粗骨材粒子の体積割合

$S_g$  : 粗骨材の実積率

吉野ら<sup>19)</sup>は、最大寸法が20mmで実積率が58%の碎石を用いて、水結合材比を30および35%とした多数のコンクリートを造り、それらの塑性粘度と、コンクリートをウェットスクリーニングして採取したモルタルの塑性粘度を測定している。これらの塑性粘度の値を用いて式(8)の左辺の値を計算するとともに、それぞれのコンクリートに用いられている粗骨材の絶対容積と粗骨材の実積率の値を代入して式(8)の右辺の  $f(G)$  を求め、両者の関係を調べた。この結果を示したのが図-14である。

図-14 をみると、両者の関係は必ずしも良好な直線関係にあるとは言いが、これらの各点を式(8)にしたがって原点を通る直線で回帰すると、粗骨材の形状係数  $K$  を表す勾配は2.5となり、式(7)は式(9)ようになる。

$$\eta_c = \eta_m \cdot (1 - G_{bv})^{-2.5} \quad (9)$$

上記の粗骨材の形状係数  $K=2.5$  を得た回帰直線の重相関係数( $r^2$ )は、0.67であり、比較的小さい。しかし、吉野らの研究のように、 $K$ の値を求めるための必要、かつ十分なデータを明示した文献が他に見当たらなかったため、本研究では、コンクリートの塑性粘度が式(9)で表せるものと考えて考察を進めることにした。

前述したように、前項では、閉そく高さに及ぼす材料分離の影響を明確にさせるためには、相対降伏値に加え、粘性の影響を加味する必要があることが示唆された。この点を検討するために、前記の図-13の横軸を式(9)で計算されるコンクリートの塑性粘度に変更して試験値をプロットしたものが図-15である。

図-15を参照すると、分離傾向にあるものと分離しないものが、原点を通り勾配が0.83である図中に示した直線によって完全に二分されており、「分離」または「分離気味」と判定されたものは全てこの直線の上側にあることが確認された。この結果は、高流動コンクリートの材料分離抵抗性の有無を評価するための指標として図-15中の直線の勾配が利用でき、この勾配が0.83より大きい場合にコンクリートが分離傾向にあると判断できることを示すものと考えられる。

上記の直線の勾配を分離指標値 ( $SI$ ) と定義し、これを数式で表すと式(10)となる。

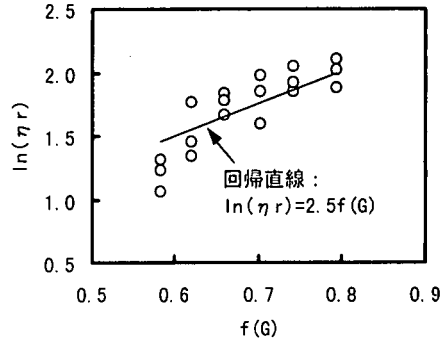


図-14 相対粘度と  $f(G)$  の関係

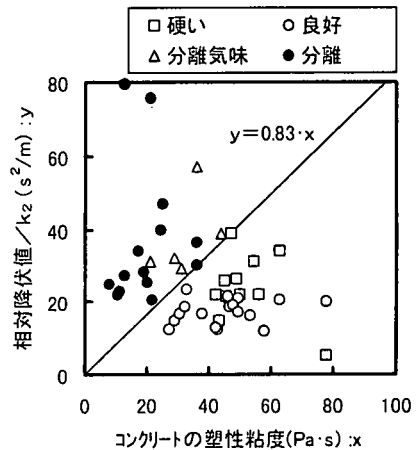


図-15 相対降伏値とコンクリートの塑性粘度の関係

$$\begin{aligned} SI &= \frac{\tau_r / \eta_c}{k_2} \\ &= \frac{\rho \cdot H_b \cdot (1 - G_{bv})^{2.5}}{\tau_m \cdot \eta_m} \\ &= \frac{\rho \cdot H_b \cdot (1 - G_{bv})^{2.5}}{\alpha} \end{aligned} \quad (10)$$

ここで,

$\alpha$  : ウェットスクリーニングモルタルの塑性粘度と降伏値の積 =  $\tau_m \cdot \eta_m$

図-16は、本研究で対象とした全てのコンクリートを対象として、式(1)で計算される間げき通過指標値と式(10)で計算される分離指標値との関係を示したものであり、前節において自己充てん性を確保するのに必要な間げき通過指標値の上限として得られた値 ( $PI=0.25$ ) と本節で得られた材料分離の限界値 ( $SI=0.83$ ) の境界線も併記してある。これらの  $PI$  と  $SI$  の限界値によって囲まれている各領域のデータに着目すると、性状の相違によるフレッシュコンクリートの分類がきわめて明確になされている。

ることが認められる。例えば、間げき通過性に優れ、材料分離抵抗性も良いために良好と判定された試料の試験値のほとんどは、 $PI$  が 0.25 以下、 $SI$  が 0.83 以下となる領域に入っている。また、この領域内に「硬い」と判定された 2 つの試料の試験値があるが、これらの試料は、前節の図-11 において  $PI$  が 0.25 より小さい範囲にある「硬い」と表示されている 2 点に対応するものであり、特に自己充てん性が劣るものではない。これらの諸点を考慮すると、図-16 の結果は、本研究で対象としてきた BF 試験が、自己充てん性の主要な構成要素である間げき通過性と材料分離抵抗性の双方を評価できる試験であり、BF 試験で得られる 2 つの測定値を使って  $PI$  と  $SI$  の 2 つの指標値を求めれば、コンクリートの自己充てん性の有無が確認できることを示すものと考えられる。ただし、 $PI$  の算定に当たってはスランプフロー試験の値が、また、 $SI$  の算定には、ウェットスクリーニングしたモルタル部分のレオロジー定数の値が別途に必要となる。

## 6. 現場における自己充てん性の管理・検査方法

前章では、式(1)で定義される間げき通過指標値 ( $PI$ ) と式 (10) で表される分離指標値 ( $SI$ ) を用いれば、自己充てん性を確認できることを示した。本章では、現場の実状も考慮しながら、前章で得られた結果を現場におけるコンクリートの自己充てん性の管理・検査に適用する場合の方法、問題点、その対応などに考えてみることにした。

なお、以下には、間げき通過性と材料分離抵抗性の管理・検査の手法のみを示すが、流動性の管理・検査には、BF 試験によって間隙通過指標値を求める際に実施するスランプフロー試験の値を用いればよい。

### (1) 間げき通過性の管理・検査の方法

自己充てん性が良好なコンクリートの場合には、間げき通過指標値 ( $PI$ ) が 0.25 以下の範囲にあることが前章で示された。しかし、実際の工事に使用されるコンクリートの場合には、 $PI$  が必ずしも 0.25 以下である必要はなく、要求される自己充てん性 (間げき通過性) のレベルに応じて、 $PI$  を適切に定めれば良いと考えられる。例えば、配筋状態が通常より過密であれば  $PI$  をできるだけ小さい値に設定するのが望ましいが、逆に鉄筋間隔が大きい場合は  $PI$  を 0.25 より大きい値に設定しても所要の自己充てん性が得られると思われる。

間げき通過性の管理・検査は、試験によって求めた間げき通過指標値が上記のように設定した間げき通過指標値を上回らないことを確認することによって行う。この場合、式(1)をもとに作成した図-17 を使用すれば、管理・

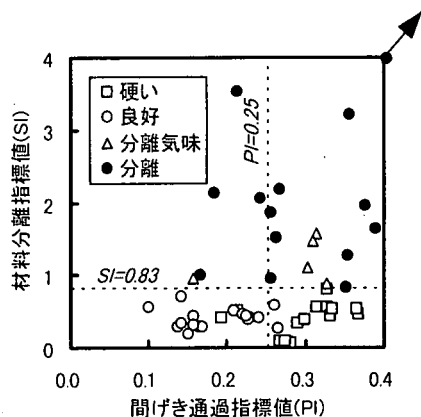


図-16 材料分離指標値と間隙通過指標値の関係

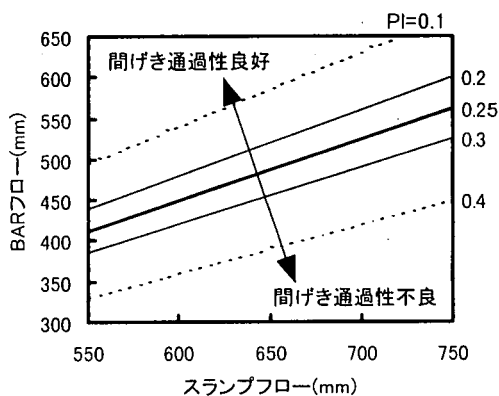


図-17 間げき通過性評価のための簡易図

検査が容易になる。すなわち、試験によって得られた BAR フローとスランプフローの値から、図-17 によってそのコンクリートの間げき通過指標値を確認し、その値が管理・検査の目標とした値より小さい範囲にあれば、そのコンクリートは、所要の間げき通過性能を有していると判定するのである。

### (2) 材料分離抵抗性の管理・検査の方法

材料分離抵抗性に関しては、何れの自己充てん性レベルにおいても、これが良好である必要がある。したがって、前章で得られた  $SI$  の上限値は、これをそのまま適用する必要がある。しかし、前章の  $SI$  の算定式には、ウェットスクリーニングモルタルのレオロジー定数が含まれており、現場においてこれらの定数を測定することは、品質管理や検査の作業量を増やすことになる。そこで、本節では、式(10)に示した  $\alpha$ 、すなわちレオロジー定数の値を測定しなくても材料分離抵抗性が判断できる簡便な方策について検討することにした。

現場における高流動コンクリートの材料分離抵抗性の管理・検査においては、本来良好な品質であるべきもの

が材料分離するものに変化するのを正しく判別することが重要となる。このような場合の材料分離抵抗性の変化は、一般には、モルタル部分のレオロジー定数の変化によって生じると考えられる。この点に着目し、ここでは、「良好」、「分離気味」および「分離」と判定された全試料を対象として、 $\alpha$ の逆数とSIの対応関係を調べた。

図-18は、この結果を示したものである。この図より、両者の間には良好な線形関係（重相関係数=0.96）が存在することが認められる。この関係を線形回帰すると式(11)が得られ、これに前章で得た分離の境界であるSI=0.83を代入して、 $\alpha$ を算出すると21.7を得る。この $\alpha$ の値が分離・不分離を区別する限界値となり、 $\alpha$ がこの値以上であれば、材料分離抵抗性を有すると考えることができる。この結果を利用すれば、ウェットスクリーニングしたモルタルのレオロジー定数を測定する方法によっても高流動コンクリートの材料分離抵抗性を管理・検査することも可能であると考えられる。しかし、本節では、レオロジー定数を使用しない方法について検討を行っているので、レオロジー定数を含む式(11)を閉そく高さや間数とする式に変換することにした。

$$\frac{1}{\alpha} = 0.048(SI) + 0.0058 \quad (11)$$

SI=0.83,  $\alpha=21.7$ を式(10)に代入すると、分離と不分離の境界線を与える次の式(12)が得られる。

$$\rho \cdot H_b = 18.0(1 - G_{bv})^{-2.5} \quad (\text{分離境界式}) \quad (12)$$

図-19は、上記の分離境界式の適用性について検討した結果を示したものであり、別の研究<sup>10)</sup>の実験において単位粗骨材かさ容積を0.47m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>としたコンクリートにBF試験を適用して得た2つのデータも加えてある。この図を参照する場合、式(12)を表す図中の曲線は、図-16の分離境界値を使って得られた分離境界線であり、単に、分離しないものの領域と分離するものの領域を区分する境界を表しているに過ぎないことに留意する必要がある。すなわち、材料分離抵抗性の程度は式(10)あるいは式(11)のSIの値で定量的に評価できるのであって、式(10)の一部分の変数である $\rho \cdot H_b$ を表す縦軸は材料分離抵抗性の程度を表す量ではないのである。例えば、材料分離抵抗性が良好な範囲では、間げき通過性の良い試料の値ほど図の下方に位置することになる。

上記を念頭において図-19を参照すると、材料分離する試料と良好な試料は、分離境界線によってほぼ完全に二分されていることが認められる。ただし、「分離気味」と判定された試料の試験値も良好な領域に1つ存在して

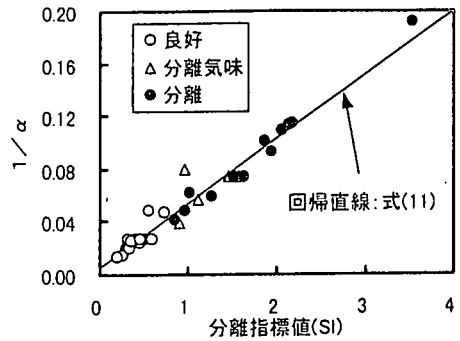


図-18  $\alpha$ と分離指標値の関係

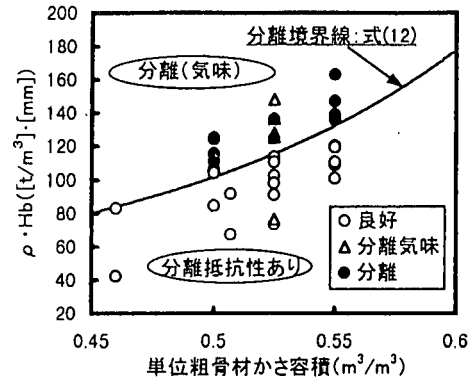


図-19 分離境界線と実験値の関係

おり、例外的な点も認められる。この例外的な点に関しては、これが図-11においてPI=0.16の位置にある試料の点であり、間げき通過性がきわめて良好であったために $H_b$ が著しく小さくなり、この結果として、良好な領域に打点されたのである。しかしながら、この試料の場合は、そのスランプフローが高流動コンクリートのスランプフローの上限に近い730mmであったこと、このような高い流動性レベルでも「分離」とは判定されなかったことなどを考えると、一般には、図-19の分離境界線の考え方を適用しても実用上の問題はほとんどないと思われる。

なお、上記の分離境界線を用いる手法は、式(11)を得る際の仮定からも明らかなように、コンクリートの品質が「流動性が大きくなる方向へ変動した時のみ」に適用できるものであることを注意する必要がある。この適用条件の下では、配合選定時の値が分離境界線の近傍に位置しても、図-19は材料分離の判定に使用できるのである。例えば、流動性が大きくなって材料分離が生じなければ、 $H_b$ が小さくなるので、試験値は図の下側（分離抵抗性あり）に移動する。逆に、流動性が大きくなった場合に自己充てん性が損なわれるような材料分離が生じれば、 $H_b$ が大きくなり、分離境界線の上側（分離領域）に打点されるのである。

一方、コンクリートの品質が流動性の小さくなる方向

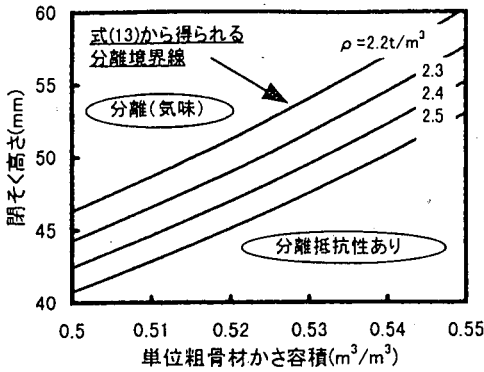


図-20 分離抵抗性の評価のための簡易図

へ変動する場合に対しては、本節では何らの手法も示していない。しかし、流動性が小さくなる方向へ品質変動する場合は、一般には材料分離が生じ難くなると考えられるので、材料分離していないことを目視で確認すれば良いと考えられる。

コンクリートの密度  $\rho$  は、コンクリートの配合が定まれば算出できる。したがって、実際の現場における管理・検査では、式(12)の両辺をコンクリートの密度  $\rho$  で除した式(13)の右辺の値を計算しておき、コンクリートの品質が流動性が大きくなる方向に変動した場合に、 $H_b$  の試験値が計算値より小さいことが確認されれば、材料分離抵抗性が良好であると判定する。

$$H_b = \frac{18.0(1 - G_{bv})^{-2.5}}{\rho} \quad (13)$$

図-20 は、 $\rho$  をパラメータとし、式(13)を図示したものである。なお、この図は、本研究で示した形状・寸法の器具を用い、標準的な粒度の碎石 2005 を用いたコンクリートの材料分離の有無を判定する場合に便利に使用できるものと思われる。図-19 にも認められるように、試験値は一般には分離境界線にほぼ平行な領域に分布することを考慮すると、図-20 は、材料分離が生じない良好なものでも、単位粗骨材かさ容積が大きくなる場合やコンクリートの密度が小さくなる場合は、閉そく高さが大きくなること、すなわち、間げき通過性が悪くなることを示唆していると考えられる。

## 7. 結論

粗骨材として碎石 2005 を用い、スランプフローが約 550 ~ 750mm の範囲に、また、単位粗骨材かさ容積が 0.50 ~ 0.55m³/m³ の範囲に入るように定めた各種の配合のコンク

リートを試料として、コンクリートの自己充てん性を簡便に評価するための新しい試験方法 (BF 試験) の適用性と、BF 試験による自己充てん性の定量的評価手法について検討した。

本研究の範囲内で、次のことが言えると思われる。

- (1) BF 試験に用いる流出障害装置の試料流出口の寸法を適切に定めれば、高流動コンクリートの粘性の過不足に起因する流動性低下および材料分離による間げき通過性の悪化が BF 試験の結果に敏感に反映される。
- (2) 材料分離していない高流動コンクリートの間げき通過性能の評価は、次式で定義される間げき通過指標値 ( $PI$ ) によって行うことができる。

$$PI = (F_s - F_b) / F_s$$

ここで、

$F_s$  : スランプフロー(mm)

$F_b$  : BAR フロー(mm)

- (3) 高流動コンクリートの材料分離抵抗性能の評価は、次式で計算される分離指標値 ( $SI$ ) によって行うことができる。

$$SI = \left[ \rho \cdot H_b (1 - G_{bv})^{2.5} \right] / \tau_m \cdot \eta_m$$

ここで、

$\rho$  : コンクリートの密度(kg/m³)

$H_b$  : BF 試験の閉そく高さ(m)

$G_{bv}$  : 単位粗骨材かさ容積(m³/m³)

$\tau_m$  : モルタル部分の降伏値(Pa)

$\eta_m$  : モルタル部分の塑性粘度(Pa·s)

- (4) 標準的な粒度を有する碎石 2005 を用いる場合は、本研究で用いた形状・寸法の流出障害装置を用いることにより、コンクリートの自己充てん性を判定することが可能である。この場合、一般の鉄筋コンクリート構造物の施工に適する良好な自己充てん性を確保するための条件は、スランプフローが約 550 ~ 750mm の範囲にあり、間げき通過指標 ( $PI$ ) が 0.25 以下で、かつ、分離指標値 ( $SI$ ) が 0.83 以下となる。
- (5) 現場におけるコンクリートの自己充てん性の管理・検査では、スランプフローの値と間げき通過指標値 ( $PI$ ) に加え、材料分離抵抗性を判定するためにウェットスクリーニングモルタルの降伏値と塑性粘度の積の値を併用することもできるが、後者に関しては、BF 試験の閉そく高さの測定値を使う簡便な方法 (分離境界線を使う方法) に代えることも可能で

ある。

- (6) 土木学会の指針で規定している充てん装置を用いる試験では、分離の傾向にあるコンクリートであっても充てん高さがきわめて大きくなることもある。したがって、高流動コンクリートの品質管理・検査に充てん装置を用いる場合でも、コンクリートの材料分離抵抗性に関しては、別の方法によってこれを確認することが望まれる。
  - (7) 鉄筋障害の諸元、横断面寸法、試料高さなどの条件を同一にしても、U形充てん装置とボックス充てん装置には縦断面の形状の相違によって充てん高さに差が生じる。一般の高流動コンクリートの場合は、ボックス充てん装置を用いる場合の充てん高さは、U形充てん装置の場合より、約50mm小さくなる。
- 7) 新藤竹文, 松岡康訓, S.Tangtermsirikul, 坂本 淳: 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, Vol.13, No.1, pp.179-184, 1991.
  - 8) 井 秀傑, 山本泰彦, 矢野 努, 寺島 毅: 自己充てん性コンクリート中のモルタル部分の特性に関する研究, 土木学会高流動コンクリートシンポジウム論文報告集, pp.19-24, 1996.
  - 9) 日本コンクリート工学協会: 超流動コンクリート研究委員会報告書(Ⅰ), 1993.5.
  - 10) 谷川恭雄, 森 博嗣, 黒川善幸: 超流動コンクリートにおける粗骨材連行性に関するレオロジー的考察, 超流動コンクリートに関するシンポジウム論文集, pp.79-84, 1993.5.
  - 11) 野口貞文, 友澤史記, 吳 相均: 高流動コンクリートの間隙通過性に関するレオロジー的考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.23-28, 1994.
  - 12) Brinkman, H. C.: *Journal of Chemical Physics*, Vol.20, 1952.
  - 13) 村田二郎, 岡田 清: 最新コンクリート技術選叢 1, フレッシュコンクリートのレオロジー・コンクリートの弾性とクリープ, 山海堂, 1981.5.
  - 14) Roscoe, R.: *The Viscosity of Suspension of Rigid Spheres, British Journal of Applied Physics*, Vol.3, pp.267-269, 1952.
  - 15) 吉野 公, 西林新蔵, 井上正一, 黒田 保: コンクリートのレオロジー定数に及ぼす使用材料の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.581-586, 1995.
  - 16) 谷口秀明, 牛島 栄, 増田和機: 高流動コンクリートのポンプ圧送性の改善に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, pp.97-102, 1997.

謝辞: 実験に際して、筑波大学機能工学系技官飯高稔氏に多大なご協力を得ました。ここに謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会: 超流動コンクリート研究委員会報告書(Ⅱ), pp.11-16, 1994.5.
- 2) 日本建築学会: 高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説, 1997.1.
- 3) 土木学会: 高流動コンクリート施工指針, コンクリートライブラリー 93, 1998.7.
- 4) 原田和樹, 山本泰彦, 浜田 崇, 飯野浩行: コンクリートの自己充てん性評価のための新しい試験方法, 土木学会高流動コンクリートシンポジウム論文報告集, pp.151-156, 1996.
- 5) 土木学会: 高流動コンクリートに関する技術の現状と課題, コンクリート技術シリーズ 15, 1996年12月.
- 6) 川崎種一: 回転粘度計による粘度測定の実験, *New Food Industry*, Vol.22, No.4-6, pp.1-30, 1980.

(1998. 10. 22 受付)

## STUDY ON A NEW TEST METHOD FOR SELF-CONSOLIDATING PROPERTY OF CONCRETE

Kazuki HARADA and Yasuhiko YAMAMOTO

Firstly, a simple apparatus for evaluating the self-consolidating property of concrete was introduced, and the results of tests conducted to confirm the suitability of the apparatus were shown. Then, applying the test results on concrete mixtures of various mix proportions and various properties, an effort was made to convert two measured values using the apparatus into two indices with which both the passing ability through closely spaced obstacles and segregating property of fresh concrete could be quantitatively evaluated, and it was confirmed that the indices were quite adequate for their evaluation. Simple means for judging the self-consolidating property of field concrete using the apparatus were also shown.