

論文 スランプコンクリートの施工性を簡易に評価できる試験方法の提案

吉田 浩一郎*1・大和 功一郎*2・大西 利勝*3

要旨: 昨今の骨材事情悪化により、海砂から砕砂などに切り替えた場合にコンクリートのフレッシュ性状が変化し、型枠への充填性や材料分離抵抗性などの施工性が低下する場合がある。この変化をスランプ試験によって判定することは難しく、振動を作用させた施工性評価試験を行う必要があると考えた。本研究ではスランプ試験器と振動機を用いた簡易な施工性評価試験方法を提案し、配合や骨材が異なるコンクリートに適用して、その施工性を評価した。その結果、スランプ試験では判定が難しい施工性の違いを評価することが可能であった。

キーワード: 施工性, 間隙通過性, 材料分離抵抗性, スランプ, 骨材, レディーミクストコンクリート

1. はじめに

骨材の低品質化が進みコンクリートの施工性確保が難しくなる中で、阪神淡路大震災以降の耐震基準の見直しにより配筋の過密化が進んでいる。このため、初期欠陥による構造物の耐久性低下が懸念されており、施工性確保への関心は高まりつつある。このような状況を受け、土木学会からは「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(案)」¹⁾が発刊され、コンクリートを打込む部材毎にスランプ値(打設される時点でのスランプ値)、単位セメント量の目安が示された。また、指針案では配合設計の手順として、試し練りによる施工性確認の重要性を示しており、適切な試験項目を選択し、施工性評価を行うことを推奨している。昨今の骨材事情の悪化により、見た目で施工性を判定するのが難しくなっていることや、熟練者不在時に施工性良否の判定ができない場合が増えていることを考慮すると、試し練りによって定量的にコンクリートの施工性を確認することは重要と考えられる。

コンクリートのコンシステンシー評価方法等については多くの研究がなされており、施工性の良否判定に活用できるような優れた試験方法が提案されている²⁾³⁾。但し、評価にあたっては新たな試験設備が必要となること等から生コン工場での実施事例が少なく、未だ施工実績から施工性の良否を判定する場合は殆どである。このため、新配合への切り替え時には施工性が問題になるケースが後を絶たないのが現状である。そこで本研究では、特別な装置を必要とせず、生コン工場での配合試験等でも簡単に実施できる施工性評価方法について検討し、スランプ試験器とパイプレータを用いた試験を考案した。また、施工性の良否が判定できるように、判定基準の設定、試験回数の設定についても検討を行い、配合や骨材

の異なるコンクリートの評価を試みた。なお、考案した試験(以下、簡易施工性評価試験)は、特に振動締固め時の間隙通過性と材料分離抵抗性の評価を対象としており、振動によって試料を流動させることが特徴である。

2. 簡易施工性評価試験

2.1 試験の考え方

簡易施工性評価試験の考案にあたっては、コンクリートがポンプ圧送により配筋が密な型枠内に打設され、振動によって充填される状態を想定している。そのため、流動時の障害となる鉄筋を模したバリア(鋼棒、φ2×8cm)の内側に流下させた試料を振動機によって流動させ、振動締固め時の間隙通過性を示す指標である加振後の試料フロー値(以降、加振後フロー値)と、材料分離抵抗性を示す指標である加振後のバリア内試料とバリア外試料の単位容積あたりの粗骨材量比(以降、バリア内外粗骨材比)の測定によって施工性を評価している。また、コンクリートがポンプ圧送された状況を簡易に模擬するため、逆さにしたスランプコーンに試料を充填し、流下させている。なお、バリア内外粗骨材比は式(1)によって算出される。

$$G_{ratio} = G_{out} / G_{in} \quad (1)$$

ここに、 G_{ratio} : バリア内外粗骨材比

G_{out} : バリア外試料中の粗骨材重量(kg/m³)

G_{in} : バリア内試料中の粗骨材重量(kg/m³)

2.2 試験装置と試験方法

本研究で実施した簡易施工性評価試験状況を写真-1に示し、試験器具の配置状況を図-1に示す。簡易評価試験では、通常のスランプ試験に用いるスランプコーン、突き棒、スランプ平板に加えて厚み1cm程度のゴム板、バリアおよび振動機を使用した。バリアは、逆さに設置したスランプコーンの周囲に直径30cmの真円を描くよ

*1(株)宇部三菱セメント研究所 宇部センター コンクリートグループ (正会員)

*2(株)宇部三菱セメント研究所 宇部センター コンクリートグループ主任研究員 工修 (正会員)

*3(株)宇部三菱セメント研究所 宇部センター コンクリートグループリーダー 工修 (正会員)



写真-1 簡易施工性評価試験による試験状況

うに配置し、振動によって移動しないようにスランプ板上にマグネット（吸着力 0.35N/mm^2 ）を用いて固定した。バリア間隔はマグネット部分で 3cm 、鋼棒部分で 4cm となっており、マグネット部分の間隔がやや狭くなっているものの、試料が流動する際に過剰な閉塞を生じることにはなかった。振動機は壁打用バイブレータ（振動数 140Hz ）を使用した。振動時間は 15 秒とし、スランプ平板の中心における振動加速度が $20\sim 25$ (m/s^2) となるようにした。なお、振動機はスランプ平板の固定された取っ手に押し当てて使用した。試験手順を以下に示す。

- (1) ゴム板上にスランプ平板を置き、平板の中心部にスランプコーンを逆さまに置く。また、スランプコーンの周囲には流動障害バリアを配置する。
- (2) スランプコーンに容積が均等になるように3層に分けて試料を投入し、試料を均す程度に突き固めを行う。その後、スランプコーン引き抜いて試料を流下させる。
- (3) バイブレータによってスランプ平板に振動を与え、試料を流動させる。
- (4) 加振後の試料の広がりやバリア内試料とバリア外試料の単位容積あたりの粗骨材量を測定する。

なお、流下した試料がバリアの内側に収まるように、フロー値を 30cm 程度とするため、評価対象スランプは $18\sim 21\text{cm}$ に限定した。

3. 実験概要

3.1 使用材料および配合条件

コンクリートの使用材料および配合条件を表-1 および表-2 に示す。目標スランプは 18cm とし、AE 減水剤を使用した3工場の配合では単位水量によってスランプを調整し、AE 減水剤（高機能タイプ）を使用した配合では混和剤添加率によって調整した。配合水準は、単位粗骨材かさ容積、細骨材種類および細骨材粒度を変化させた20水準とレディーミクストコンクリート3工場（A, B, C 工場）の12水準の計32水準とした。なお、海砂と砕砂は 1.2mm 以上と 1.2mm 未満に分級し、それぞれ

の混合割合を変えることによって粒度分布を調整した。海砂と砕砂の粒度分布を図-2 に示す。

3.2 練混ぜ方法

コンクリートの練混ぜは、強制二軸ミキサを使用し、1バッチの練混ぜ量を 30 リットルとして行った。手順はまずセメント、細骨材および粗骨材を投入して 30 秒間空練りの後、水および混和剤を加えて 90 秒間の練混ぜとした。

3.3 試験項目と試験方法

JIS 規定の試験方法に準じて、スランプ、スランプフロー、空気量およびコンクリート温度を測定した。また、簡易施工性評価試験は2.2に記載の手順に従った。

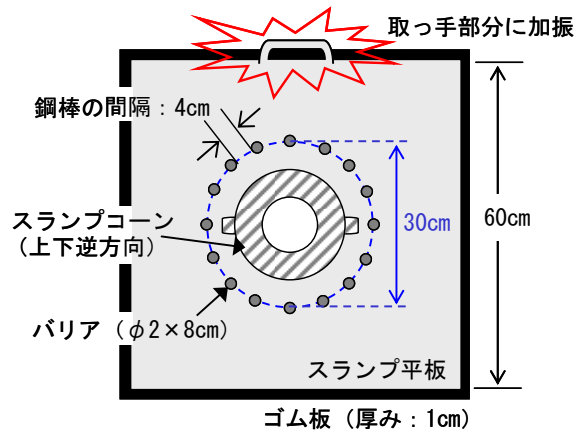


図-1 簡易施工性評価試験器具の配置状況

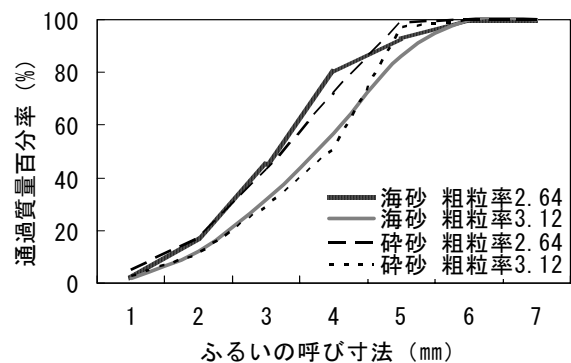


図-2 海砂と砕砂の粒度分布

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
細骨材	砕砂（アスペクト比：1.592※ ¹ ，円形度：0.751※ ² ） ①粗粒率：2.64（密度：2.68g/cm ³ ，吸水率：1.65%，実積率：62.2%，記号：S1） ②粗粒率：3.12（ “ “ “ “ “ “ 実積率：63.7%，記号：S2）
	海砂（アスペクト比：1.221※ ¹ ，円形度：0.848※ ² ） ①粗粒率：2.64（密度：2.57g/cm ³ ，吸水率：2.08%，実積率：64.9%，記号：U1） ②粗粒率：3.12（ “ “ “ “ “ “ 実積率：64.0%，記号：U2）
	石灰石砕砂＋山砂（密度：2.62g/cm ³ ，吸水率：1.58%，粗粒率：2.63，A工場使用品，記号：SA）
	石灰石砕砂＋砕砂（密度：2.59g/cm ³ ，吸水率：1.27%，粗粒率：2.72，B工場使用品，記号：SB）
	石灰石砕砂＋砕砂＋高炉スラグ細骨材 （密度：2.66g/cm ³ ，吸水率：1.76%，粗粒率：2.51，C工場使用品，記号：SC）
	粗骨材
混和剤	AE減水剤（リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体） AE減水剤（高機能タイプ）（リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体） AE助剤（アルキルアリルスルホン酸化合物系陰イオン界面活性剤） 消泡剤（ポリアルキレングリコール誘導体）
練混ぜ水	上水道水

※1：アスペクト比＝骨材粒子最大長の直角方向長さ／骨材粒子の最大長

※2：円形度＝ $4\pi \times$ 骨材粒子の面積 \times （骨材の粒子長）²

表-2 コンクリート配合

配合種類	呼び強度	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	使用細骨材	単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	スランプ (cm)	空気量 (%)
A工場配合	21	66.4	179	SA	0.61	18.0±1.5	4.5±0.5
	24	60.5	179		0.59		
	27	55.0	179		0.59		
	30	50.6	181		0.59		
B工場配合	21	63.0	195	SB	0.61		
	24	57.0	194		0.61		
	27	53.0	194		0.61		
	30	49.0	196		0.61		
C工場配合	21	63.0	181	SC	0.58		
	24	58.0	182		0.59		
	27	54.0	183		0.60		
	30	51.0	185		0.60		
海砂，砕砂を使用した配合	—	50	185	S1 S2 U1 U2	0.53, 0.56, 0.59 0.61, 0.63	18.0±1.5	4.5±0.5

4. 実験結果及び考察

4.1 配合試験結果

表-3 に配合試験結果を示す。混和剤添加率は砕砂を使用した配合より海砂を使用した配合のほうが小さくなった。また、細骨材粗粒率や単位粗骨材かさ容積が大きいほど混和剤添加率は小さくなった。スランプ試験時の試料の表面状態および形状を観察すると、試料側面や上面における粗骨材の凹凸に僅かな差が認められた。また、スランプフローは270~310mmの範囲で変動が見られたものの、試験後に試料が崩れた場合を除いては、はっきりとした差は認められなかった。

4.2 工場配合の試験による施工性判定基準の設定

本研究では、まず考案した簡易施工性評価試験方法試験の有効性を確認するため、B工場およびC工場において、実際に施工性が問題となった呼び強度が27、30の配合（以下、施工不良配合）とA~C工場において出荷実績が豊富な配合の評価結果の比較を行った。なお、施工不良配合は工場からのヒアリング調査によって明らかとなっており、主に振動締固め時における間隙通過性が劣ることが判明している。

図-3 にレディーミクストコンクリート工場配合と施工不良配合の評価結果の比較を示す。なお、簡易施工性評価試験は1水準につき2回の測定を行った。結果によれば、出荷実績のある配合は呼び強度が21および24を除いた水準で、加振後フロー値が450mm以上、且つバリア内外粗骨材比が0.925~1.000となった。これに対して、施工不良配合は加振時のフロー値が500mmを超える場合であってもバリア内外粗骨材比は0.925未満となり、また、バリア内外粗骨材比が1.00程度で材料分離が生じていない場合であっても、加振後フロー値は450mm未満であることがわかった。施工性不良配合と出荷実績のある配合では加振時の流動性に差が認められたため、簡易施工性評価試験により施工性の良否が判定可能であると判断し、その判定基準として加振後フロー値が450mm以上、且つバリア内外粗骨材比が0.925~1.000(但し、スランプ平板中心の振動加速度が20~25m/s²の場合)を設定した。

4.3 評価にあたって必要となる試験回数について

施工性が良好であると判定される範囲の設定に続き、簡易施工性評価試験の必要回数についても検討を行った。ここでは例として粗粒率が2.64の砕砂を使用した配合の評価結果を取り上げた。表-4 に各水準の試験結果と評価を示す。1水準につき評価試験を4回試行した結果によれば、施工性が劣ると判断される水準では75%の確率で判定基準を満足しないことが確認されているのに対して、施工性に優れていると判断される水準では少なくとも50%の確率で基準を満足することが確認された。

表-3 配合試験結果

配合記号	混和剤		スランプ試験結果		外観※	
	種類	添加率 (C×%)	スランプ (cm)	フロー (mm)		
SA-21~30	AE 減水剤	0.25	18.0~19.2	290~300	○	
SB-21~30		0.25	18.2~19.5	270~300	○	
SC-21~30		0.70	18.5~19.2	280~302	○	
S1-0.53	AE 減水剤	1.50	18.8	300	○	
S1-0.56		1.30	19.0	307	○	
S1-0.59		1.10	18.8	298	○	
S1-0.61		1.00	18.8	300	○	
S1-0.63		0.80	18.6	295	×	
S2-0.53		1.20	18.3	310	○	
S2-0.56		1.00	18.4	296	○	
S2-0.59		0.80	18.2	292	○	
S2-0.61		0.70	18.7	301	○	
S2-0.63		0.60	18.0	294	×	
U1-0.53		高機能 タイプ	0.80	18.2	274	○
U1-0.56			0.70	19.0	280	○
U1-0.59			0.60	19.1	285	○
U1-0.61			0.40	19.2	296	○
U1-0.63			0.40	19.0	286	○
U2-0.53			0.50	19.3	291	○
U2-0.56	0.40		18.8	286	○	
U2-0.59	0.30		18.9	279	○	
U2-0.61	0.30	18.5	277	○		
U2-0.63	0.30	19.2	285	×		

※○：崩れていない，×：崩れる

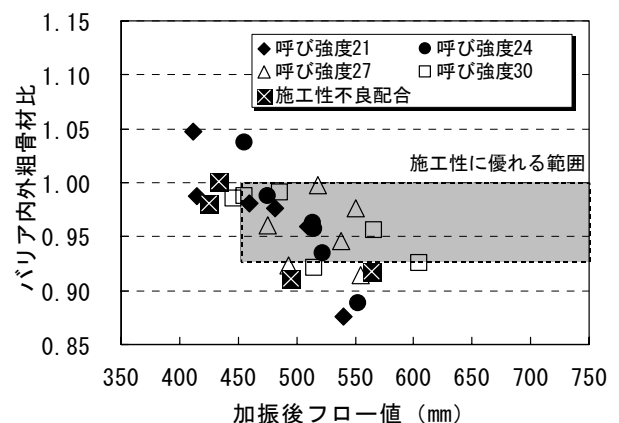


図-3 工場配合と施工性不良配合の比較（呼び強度毎に凡例を変更）

表-4 各水準の試験結果と評価（砕砂：粗粒率 2.64 の場合）

単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	上段：加振後フロー値 (mm) 下段：バリア内外粗骨材質量比				施工性が良好な範囲に 入る確率 (%)	評価
	1	2	3	4		
0.53	439	488	429	501	50	○
	1.021	0.965	1.000	0.958		
0.56	464	530	499	510	100	◎
	0.963	0.968	0.925	0.952		
0.59	498	487	500	482	50	○
	0.893	0.952	0.900	0.961		
0.61	497	436	499	448	25	×
	0.987	1.050	0.920	0.906		
0.63	551	435	413	402	25	×
	1.000	1.094	0.890	0.988		

※網掛け箇所は簡易施工性評価試験結果が判定基準を満足する場合

確率としては、少なくとも2回の評価結果によって1回でも判定基準を満足すれば、施工性に優れると判断できると考えられる。しかしながら、表-4の結果によれば、評価回数が2回の場合、単位粗骨材かさ容積が大きい0.61、0.63 m³/m³の配合では施工性に優れるとの判定を下す恐れがある。このため、評価回数としては、3~4回が必要と考えられた。

4.4 簡易施工性評価結果および配合試験結果との対応

レディーミクストコンクリート工場配合の加振後フロー値とバリア内外粗骨材比との関係を図-4に示す。また、細骨材および単位粗骨材かさ容積を変えたコンクリートの加振後フロー値とバリア内外粗骨材比との関係を図-5に示す。なお、細骨材および単位粗骨材かさ容積を変えたコンクリートは1水準につき、4回の測定を行った。図-4によれば、A工場配合は呼び強度に係らず、バリア内外粗骨材比と加振後フロー値は一定となり、ほとんどが判定基準を満足した。これに対して、BおよびC工場配合は、加振後フロー値とバリア内外粗骨材比に変動が認められ、呼び強度の小さい配合では判定基準を満足しないケースも認められた。高水セメント比では粉体量が少ないため施工性の確保が難しいと考えられるが、A工場配合が施工性に優れている理由としては、粗骨材として石灰石砕石を使用しており、付着している石灰石微粉末の影響で砕石を使用したB工場およびC工場配合よりもコンクリートの粘性が高く、材料分離抵抗性に優れていることが考えられた。また図-5によれば、U1を使用した水準では、ほぼ全てが判定基準を満足しているのに対して、S1、S2およびU2を使用した

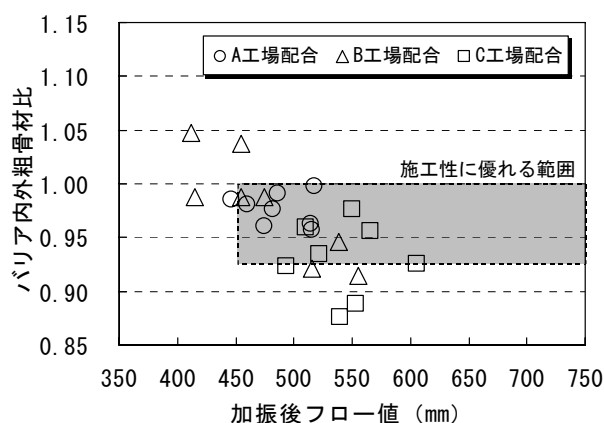
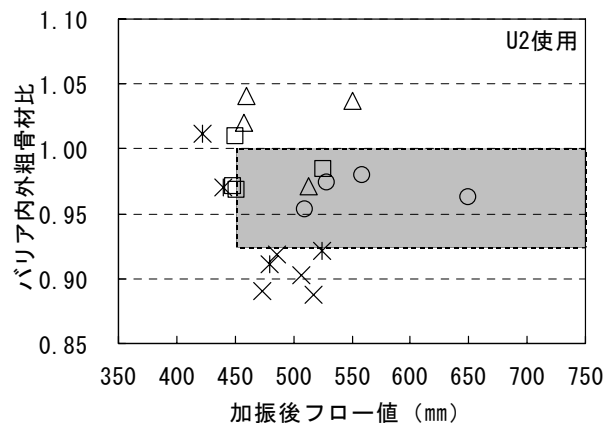
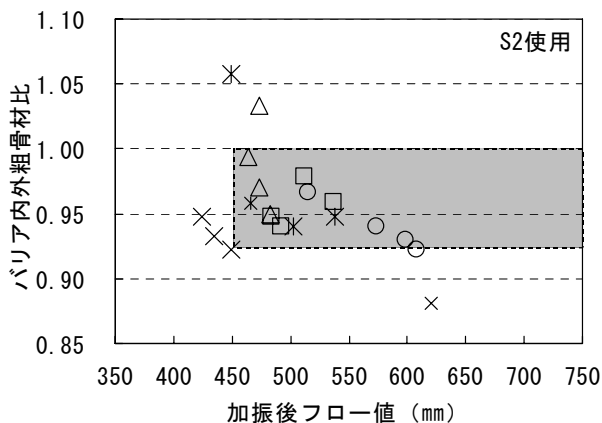
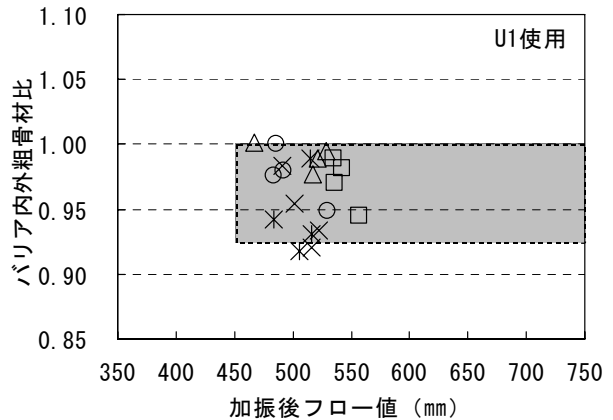
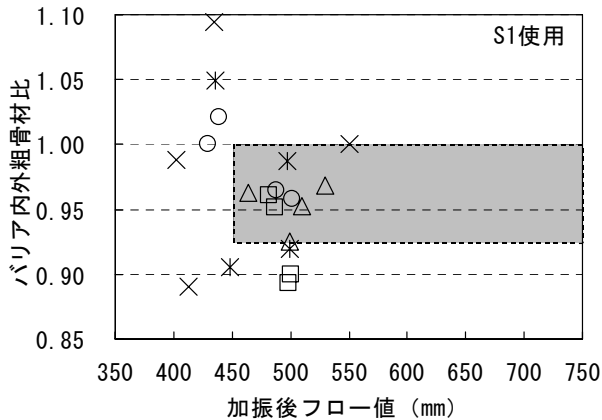


図-4 工場配合の加振後フロー値とバリア内外粗骨材比との関係（工場毎に凡例を変更）

水準では、施工性の変動が大きく、特に S1 を使用した配合ではほぼ全ての水準で判定基準を満足しなかった。このため、海砂を使用する場合には、粒度分布を JIS 標準粒度の中心程度とすれば、施工性を確保することができるが、砕砂を使用する場合には、細骨材粒度と粗骨材量によって施工性が異なり、評価試験による確認の必要があると考えられた。砕砂と海砂では、粒子形状や粒度分布の違いに起因する粒子間距離やモルタル粘度等が異なるため、施工性能に差が生じると推察される。

5. まとめ

以上、スランプ試験器を活用した試験方法によって、施工性の良否が判定できるように、判定基準の設定、試験回数設定について検討を行い、配合や骨材の異なる



注1) 凡例は粗骨材かさ容積 (m³/m³) を示す。○ : 0.53, △ : 0.56, □ : 0.59, ＊ : 0.61, × : 0.63

注2) 点線圍繞箇所は施工性に優れる範囲

図-5 加振後フロー値とバリア内外粗骨材比の関係 (海砂・砕砂使用)

コンクリートについて施工性評価を試みた。以下に結論をまとめる。

- (1) 配合や骨材の異なるコンクリートに簡易施工性評価試験を適用すれば、スランブ試験では判定できない施工性の良否を判定することができる。
- (2) 簡易施工性評価試験回数を3~4回とし、2回以上判定基準を満足すれば、施工性に優れると判定できる。
- (3) 砕砂を使用したコンクリートは、骨材や配合条件によって施工性が大きく変動しやすいため、評価試験による確認を行う必要がある。

本研究では、レディーミクストコンクリート工場配合の評価によって判定基準を設定したが、より多くのレディーミクストコンクリートを評価することによって良否判定基準の精度を高めていく必要があると考えられる。また、硬練りコンクリートの場合に本試験を適用しようとした場合には、逆さまにしたスランブコーンを試

料が流下する際に閉塞することが予想される。このため、スランブを限定せずに幅広く活用できるような試験方法についても検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) コンクリート委員会 コンクリートの施工性能評価小委員会:施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針 (案), コンクリートライブラリー126, 土木学会, 2007.3
- 2) 橋本親典, 石丸啓輔, 渡辺健, 水口裕之:加振BARフロー試験によるコンシステンシー評価試験方法の検討, セメント・コンクリート論文集, No.56, pp.196-203, 2002
- 3) 府川徹, 大友健, 新藤竹文, 坂田昇:異なるスランブに対するコンクリートの施工性能の定量評価に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1061-1066, 2006