

フレッシュコンクリートの施工性能照査試験方法の検討

橋本紳一郎¹、添田政司²、江本幸雄³、櫛原弘貴⁴

著者1&3、4所属 福岡大学工学部、著者2所属 福岡大学大学院

概要：本研究では、ワーカビリティの評価を比較的容易に実施できる試験方法について、既存の試験装置と棒状内部振動機（振動機）を組み合わせる試験方法を提案し、他の試験方法とともに配合照査試験方法として検討した。その結果、試験装置の形状はボックス形容器が評価に適しており、これにより同一スランブのコンクリートでも配合条件の違いを評価できることが示された。

1. はじめに

コンクリートライブラリー126号「施工性能に基づくコンクリートの配合設計・施工指針（案）」では、施工性能を流動性と材料分離抵抗性で決定する指標とし、それぞれを打込み時に必要な最小スランブと配合上の粉体量で照査するシステムが提案されている。これにより、従来の強度や耐久性、要求されたコンクリートの施工性能を、配合や施工方法あるいはレディミクストコンクリートの種類を選定することによって照査できるようになった。

コンクリートの混和材料を取り巻く状況は、資源の有効利用や環境問題の観点から、高炉スラグやフライアッシュ（以降、FAと称す）に代表されるように産業副産物の多くがコンクリート中で有効利用されている。特にFAは、これまでの内割りや外割りの概念に捉われないことなく、その品質特性を活かし、単位混和量として整理する新しい配合設計手法も提案されている¹⁾。化学混和剤に関しても、様々な種類が開発され、混和剤の種類やその添加量により、スランブ値の調整も可能となってきた。そのため、コンクリートの材料の品質や配合条件が異なっても同一のスランブのコンクリートを製造することが比較的容易となっている。また、同一スランブのコンクリートでも、使用する材料により振動時の挙動が異なることが報告²⁾されていることから、同一スランブで同一粉体量のコンクリートでも構成材料により、その性状が異なることが予測される。しかし、現段階ではスランブに代わる試験方法が規定されていないため、これらのコンクリートはスランブ値のみをワーカビリティの判断基準とした場合、同じものとして扱うことになる。

一方で、既往の研究では、スランブで評価できないコンクリートの品質を評価する試験方法がいくつか提案されているが、大型の機械や器具の取り付けなど特殊な装置を要するため、

試験方法として定着していない。

以上から、本研究では、各種配合条件に対してワーカビリティの評価を比較的容易に実施できる試験方法として、既存の試験装置であるボックス形容器と棒状内部振動機を使用した試験方法（以降、加振ボックス充てん試験と称す）とU形装置を使用した試験（以降、加振U形充てん試験と称す）の2つの試験方法を提案し、更にそれらの容器形状が与える影響までを比較した。また、他の試験方法との比較検討として中流動覆工コンクリートの品質評価に用いられる加振変形試験とタンピング試験によりコンクリートの品質確認を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本実験で使用した材料は、セメントに普通ポルトランドセメント（密度： 3.15g/cm^3 ）、細骨材は福岡県玄界灘産海砂（表乾密度： 2.58g/cm^3 、吸水率： 0.96% 、F.M.:2.60）、粗骨材は福岡県糸島市志摩産砕石（最大寸法： 20mm 、表乾密度： 2.66g/cm^3 、吸水率： 1.11% 、F.M.:6.60）である。FAはFAⅡ種（密度： 2.25g/cm^3 、比表面積： $3990\text{cm}^2/\text{g}$ 、強熱減量： 2.7% ）を使用した。混和剤には、リグニンスルホン酸系のAE減水剤およびアルキルエーテル系のAE剤を使用した。

2.2 コンクリートの配合条件及び配合

本実験で使用したコンクリートの配合条件を表-1に示す。本実験では市内生コン工場に実際に使用されている一般的な目標スランブ： $8\pm 1.0\text{cm}$ および $15\pm 1.0\text{cm}$ 、目標空気量： $4.5\pm 1.0\%$ の配合を基準配合とした。

図-1は既往報告³⁾の「材料分離抵抗性、振動締固め性に関する単位セメント量の照査図（対象部材：スラブ、締固め作業高さ： 0.5m 未満）」を示したものである。材料分離抵抗性と振動締固め性は、構造条件と施工条件において欠陥を発生することなく密実にコンクリートを型枠内

に打ち込むことのできる打ち込みやすさを示しており、破線はスランプに応じた振動締固め性を確保するために必要となる単位セメント量の上限値と材料分離抵抗性を確保するために必要となる単位セメント量の下限値の目安を示す。配合条件は間隙通過性を評価するため、全ての配合の単位粗骨材量を一定で行った。また、基準配合に対して、単位粗骨材量を一定とした場

合に製造可能な細骨材率と単位セメント量の範囲で粉体量の影響を検討するため、打ち込みスランプ8.0cmおよび15±1.0cmの際の単位セメント量の上限値と下限値を超えるまたは境界付近となるように単位セメント量を50kg/m³増加及び50kg/m³減少させた配合の各3水準とした。また、FAをセメントの内割り20%混入したコンクリートも同様に単位セメント量を50kg/m³増減させた3水準とし、合計9配合で検討を行った。コンクリートの配合を表-2に示す。

表-1 配合条件

配合種類	目標スランプ (%)	目標空気量 (%)	配合条件
基準配合	8±1.0 あるいは 15±1.0	4.5±1.0	最適な配合
基準配合-50			基準配合と単位粗骨材量を同じとして、単位セメント量を50kg/m ³ 低減した配合
基準配合+50			基準配合と単位粗骨材量を同じとして、単位セメント量を50kg/m ³ 増加した配合

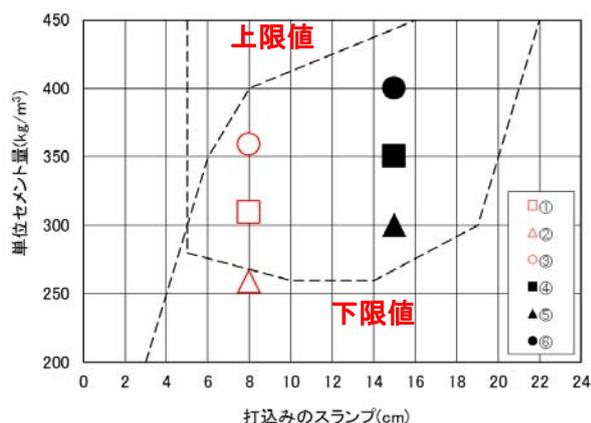


図-1 材料分離抵抗性、振動締固め性に関する単位セメント量の照査図(対象部材:スラブ、締固め作業高さ:0.5m 未満)

2.3 コンクリートの配合条件及び配合

(1)コンクリートのフレッシュ性状試験

コンクリートのフレッシュ性状試験では、スランプ試験をJIS A 1101、空気量試験をJIS A 1128に従い測定した。また、コンクリート温度と外気温も測定した。実際のスランプと空気量を表-2に示す。

コンクリートは、目標スランプ：8±1.0cm および 15±1.0cm、目標空気量：4.5±1.0%を満たしていることを確認した後、加振ボックス充てん試験と加振変形試験、タッピング試験を同時に実施した。

(2)加振ボックス充てん試験

本研究は、高流動コンクリート充てん装置を用いた間隙通過試験方法(案)(JSCE-F 511)のボックス形容器(以降、ボックスと称す)と棒状内部振動機(以降、振動機と称す)を用いて、既往の研究⁴⁾で提案されている試験方法を参考とし、以下の手順で行った。既往の研究では、仕切りゲート部に設置する流動障害について様々に検討されているが、本研究では流動障害R2のみで試験を行った。また加振ボックス充てん試験は、試験の再現性の確認や容器形状の異なるU形装置を使用したものとの比較検討も行った。

表-2 コンクリートの配合

配合No.	コンクリートの種類	配合種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/?)					AE減水剤 (C×%)	スランプ	空気量	コンクリート温度			
					W/C	S/A	W	C	FA					S	G	Ad
1	普通 コンクリート (8cm)	基準配合	55	45	170	309	-	798	1005	C×0.2000 C×0.0041	8.0	4.0	18.7			
2		基準配合-50	66	46	170	259	-	839	1005	C×0.3000 C×0.0041	8.5	4.5	18.4			
3		基準配合+50	47	43	170	359	-	756	1005	C×0.3000 C×0.0041	8.0	4.0	17.5			
4	普通 コンクリート (15cm)	基準配合	50	44	175	350	-	745	996	C×0.1000 C×0.0041	15.0	5.0	13.2			
5		基準配合-50	58	45	175	300	-	784	996	C×0.1000 C×0.0041	15.5	4.5	13.6			
6		基準配合+50	44	42	175	400	-	703	996	C×0.1000 C×0.0041	15.5	5.0	14.0			
7	FA内割 20%置換 (8cm)	基準配合	69	44	170	247	62	777	1005	C×0.2000 C×0.0080	8.0	3.5	16.2			
8		基準配合-50	82	46	170	207	52	820	1005	C×0.2000 C×0.0100	8.5	3.5	16.4			
9		基準配合+50	59	43	170	287	72	732	1005	C×0.2500 C×0.0150	8.0	4.0	11.7			

加振ボックス充てん試験方法は、防振用のゴムマットの上にボックスを水平となるよう設置し、ボックスに仕切りゲートおよび流動障害を取り付ける。仕切り板を差し込み、仕切りゲートを閉じた状態で試料を A 室中央に 3~4 層程度に分けて詰める。A 室上面をならし、振動機を静かに A 室に挿入する。挿入深さ位置はコンクリート局面底部から 10cm 上で固定し、振動機先端がゲート中央辺りにくるようにする。仕切りゲートを引き上げ、内部振動機による加振を開始する。加振を開始した直後から B 室隅部の試料高さが 190mm と 300mm に達した時間を測り、これを到達時間とした。A 室下部、B 室上部の試料を約 2 リットル採取し、JIS A 112 に従い洗い分析試験を実施して粗骨材量を測定し、A 室と B 室の粗骨材変化率を算出した。振動機は、棒径：28mm、振幅：1.4mm、振動数：200~258Hz のものを使用した（写真-1）。

(3)加振U形充てん試験

加振 U 形充てん試験は、写真-1 の赤点線で示した位置(コンクリート局面底部)から充てん高さ(Bh)190mm および 300mm となる箇所印を入れておき、防振用のゴムマットの上に U 形装置を水平となるよう設置して、ボックスに仕切りゲートおよび流動障害を取り付ける。仕切り板を差し込み、仕切りゲートを閉じた状態で試料を A 室中央に 3~4 層程度に分けて詰める。A 室上面をならし、振動機を静かに A 室に挿入する。振動機の挿入深さ位置は、コンクリート局面底部から 10cm 上で固定し、振動機先端がゲート中央辺りにくるようにする。仕切りゲートを引き上げ、内部振動機による加振を開始する。加振を開始した直後から B 室隅部の試料高さが 190mm と 300mm に達した時間を測り、これを到達時間とした（写真-1）。

(4)加振変形試験

加振変形試験は、NEXCO JHS 733-2008「中流動覆工コンクリートの加振変形方法」に準拠して実施した。加振変形試験器上でスランプ試験を行った後、10 秒間の振動を行い、加振前のスランプフローと加振後のスランプフローから加振後のスランプフローの広がりを出算した。また、本研究では更に変形性状を把握するため再振動を加振時間 30 秒、60 秒、90 秒まで行い、再振動後のスランプフローの広がりを出算した。予備実験より、再振動 90 秒以降のスランプフローの広がりが見られなかったため、再振動時間を 90 秒までとして評価した。加振変形試験器に取り付ける振動機は、加振ボックス充てん試験に使用したものと同様のものを使用した。



写真-1 間隙通過試験器

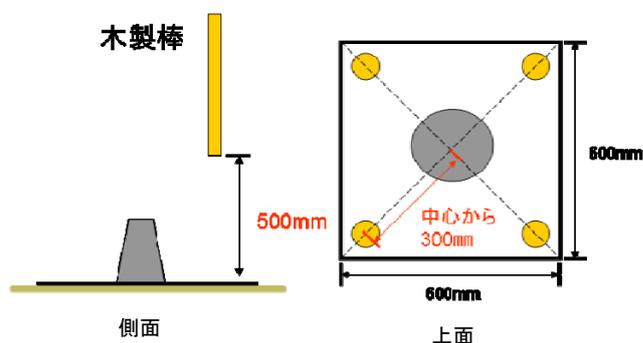


図-2 タンピング試験

(5)タンピング試験

タンピング試験は、既往の研究⁵⁾を参考とし、以下の手順で行った。表乾状態の細骨材を 1~2cm 程度の厚さで敷き均し、その上にスランプ板を設置し、スランプ試験を実施する。木製棒（質量 1.2 kg）を 50cm の高さからスランプ板の四隅に順次落下させる。木製棒を落下させる位置はスランプコーンの中心から 30 cm とした。タンピングはフローが 350mm 達した時点で終了とした。その際のスランプとスランプフローの測定、崩れ方の確認を目視により行った。（図-2）

3. 結果および考察

3.1 加振ボックス充てん試験および加振U形充てん試験結果

図-3 から図-7 に加振ボックス充てん試験の結果を示す。図-3 に加振ボックス充てん試験結果および加振 U 形充てん試験結果、図-4 に各配合における最長到達時間と最短到達時間の差、図-5 に各配合のボックス高さ 300mm 到達時間と粗骨材変化率の関係、図-6 に目標スランプ 8cm の配合で加振ボックス充てん試験の再現性

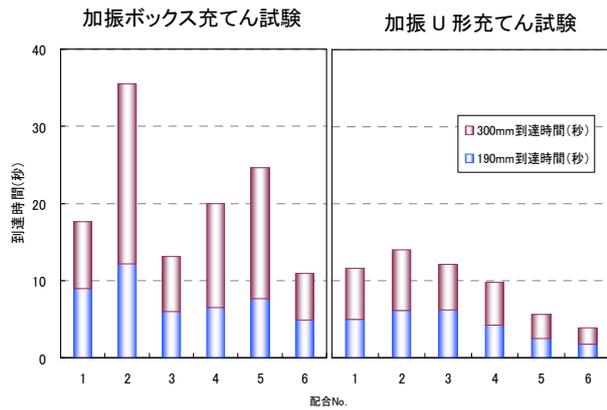


図-3 加振ボックス充てん試験結果 その1

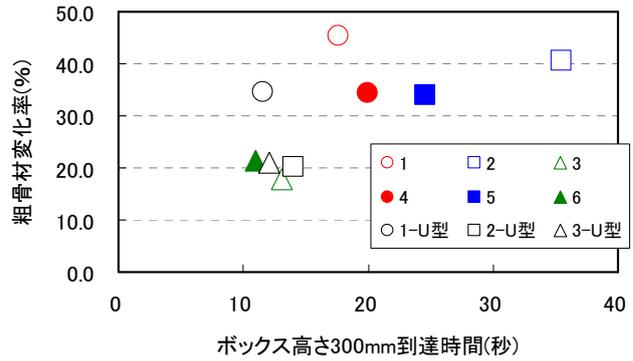


図-5 加振ボックス充てん試験結果 その3

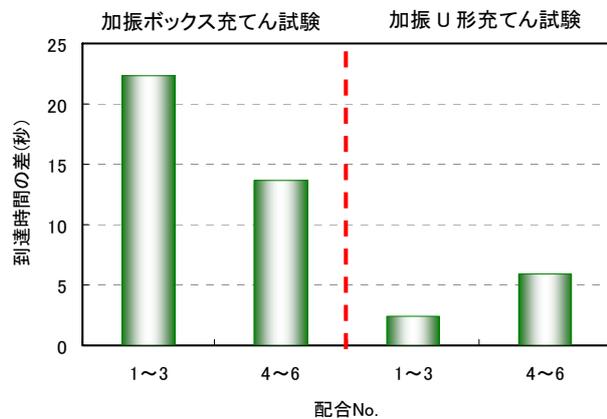


図-4 加振ボックス充てん試験結果 その2

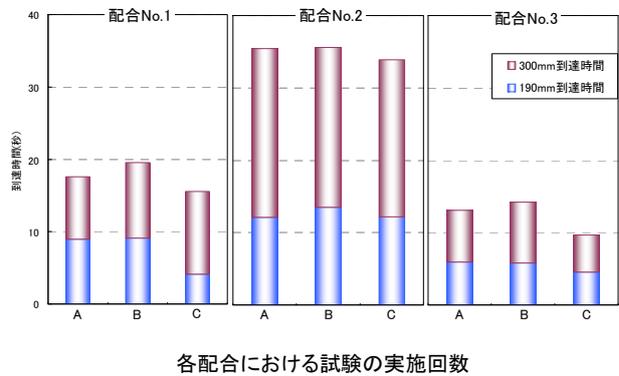


図-6 加振ボックス充てん試験結果 その4

を検討した結果、図-7に加振ボックス充てん試験における再現性確認試験のばらつきの程度を示す。

図-3より、目標スランプ8cmの配合では、基準配合No.1に対して、基準配合より単位セメント量が少ない配合No.2は約2倍程度到達時間が長くなり、基準配合より単位セメント量が多い配合No.3は到達時間が短くなる結果となった。目標スランプ15cmの配合も目標スランプ8cmの配合と同様の傾向で、基準配合No.4に対して、基準配合より単位セメント量が少ない配合No.5は到達時間が長くなり、基準配合より単位セメント量が多い配合No.6は到達時間が短くなる結果となった。本配合条件下では、単位セメント量が多くなることで粘性の増加に繋がるのが要因として挙げられ、振動を与えた際に粘性の高いコンクリートは、一体となって流動障害を通過するため、単位セメント量の増加に伴い到達時間が短くなったと考えられる。加振U形充てん試験は、目標スランプ8cmの配合では、基準配合より単位セメント量の多い配合No.2が到達時間は長くなり、基準配合No.1が短くな

る結果を示した。目標スランプ15cmの配合では、基準配合No.4が到達時間は長くなり、基準配合より単位セメント量の多い配合No.6が短くなった。本配合条件下において、加振ボックス充てん試験と加振U形充てん試験では、ボックス高さ300mm到達時間が異なる傾向を示した。また、加振ボックス充てん試験結果と比較すると、全体的に到達時間が短くなる傾向を示した。

図-4より各配合における最長到達時間と最短到達時間の差を見ると、加振ボックス充てん試験では目標スランプ8cmの配合で約22秒、目標スランプ15cmの配合で約14秒の差が確認された。一方、加振U形充てん試験では目標スランプ8cmの配合で約3秒、目標スランプ15cmの配合で約6秒の差となった。これは同一配合の条件でもU形装置下部の形状によりコンクリートが流動しやすいため、各配合における到達時間の差が小さくなったと考えられる。以上から、コンクリートの配合照査を行う際には、ボックス高さ300mm到達時間に明確な差が確認される加振ボックス充てん試験が適していると

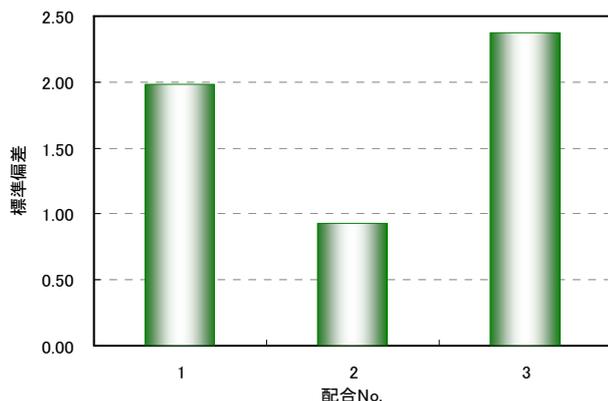


図-7 加振ボックス充てん試験結果 その5

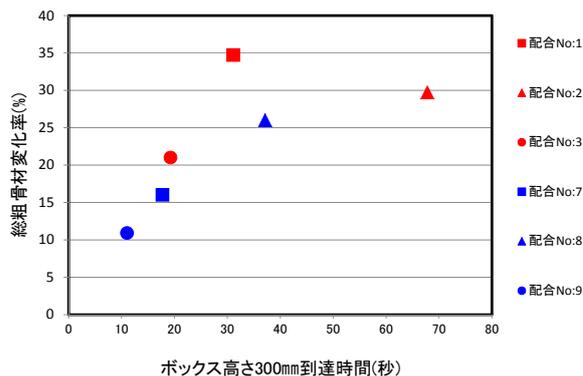


図-9 FA コンクリートの加振ボックス充てん試験結果 その2

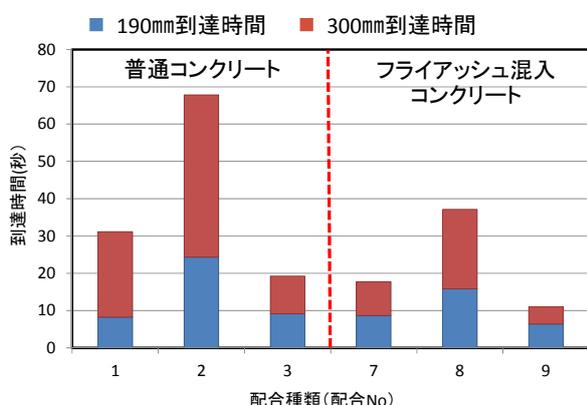


図-8 FA コンクリートの加振ボックス充てん試験結果 その1

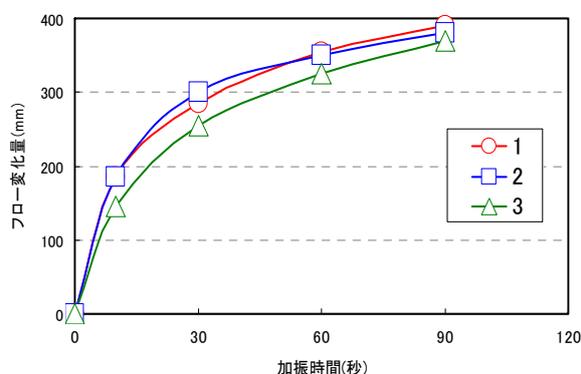


図-10 加振変形試験結果

いえる。

また、図-5より、加振ボックス充てん試験では、単位セメント量の増加に伴い粗骨材変化率は小さくなる結果を示した。加振U形充てん試験では、配合No.2と配合No.3の粗骨材変化率がほぼ同等であることから、単位セメント量と粗骨材変化率に加振ボックス充てん試験のような傾向が現れにくいといえる。

図-6は、各配合に対して加振ボックス充てん試験を3回行った結果で、X軸のアルファベット(A、B、C)は試験を行った人員(3名)を表している。各配合とも300mm到達時間はほぼ同程度の値を示した。また、図-7より、3回行った再現性確認試験のばらつきを見てみると、配合No.1は1.98秒、配合No.2は0.93秒、配合No.3は2.37秒と非常に小さい値を示し、人員誤差を含め、気温や湿度、水温の違う環境で作製されたコンクリートであっても十分な試験方法の再現性を確認することができた。

3.2 FA コンクリートでの検討

図-8と図-9に普通コンクリートとFAコンク

リートを加振ボックス充てん試験で評価した結果を示す。図-8は普通コンクリートとFAコンクリートの配合とボックス高さ190mmおよび300mm到達時間の関係、図-9はボックス高さ300mm到達時間と粗骨材変化率の関係を示す。FAコンクリートでも普通コンクリート同様に基準配合No.7に対して、基準配合より単位セメント量が少ない配合No.8は到達時間が長くなり、基準配合より単位セメント量が多い配合No.9は到達時間が短くなる傾向を示した。また、各普通コンクリートの配合と置換したFAコンクリートの配合の結果を比較した場合、FA混入コンクリートの300mm到達時間が全て短く、粗骨材変化率も低くなった。これより、FAを混入により間隙通過性や材料分離抵抗性が向上することを定量的に示せた。

3.3 加振変形試験とタンピング試験結果

図-10に加振変形試験の目標スランプ8cmの配合における加振時間とフロー変化量の関係、写真-2に普通コンクリートとFAコンクリートの加振90秒後のフローの状態を示す。加振時間



普通コンクリート FA コンクリート
写真-2 加振 90 秒後のフロー状況



普通コンクリート FA コンクリート
写真-3 スランプフロー350 mmの形状

とフロー変化量の関係では、配合 No.1~No.3 で各加振時間の変化量は同程度の値であり、配合条件による大きな違いは確認できなかった。これは目標スランプ 15cm の配合 No.4~6 でも同様の結果であった。普通コンクリートと FA コンクリートでは、写真-2 の目視確認より加振時間初期から終了まで FA コンクリートは粘性を保った状態で一体となってフローが広がるのに対して、普通コンクリートは加振時間初期でフローの外からペーストのみの広がるといったフローの広がり方の違いは確認できたが、フロー値には違いが見られなかった。また、加振変形試験は試験を行う前のテーブル上でのスランプ試験の影響(スランプ形状)が大きいと言える。以上から、加振変形試験のみではコンクリートの配合照査を行うことは難しい。

写真-3 に普通コンクリートと FA コンクリートのタンピング試験の結果で、スランプフロー350mm の到達時の状態を示す。普通コンクリートはスランプ下部にひび割れが生じているのに対して、FA コンクリートにはスランプ下部にひび割れの発生がなく、タンピング試験の変形状態により配合の違いを確認することが出来たが、同一スランプの各種配合の違いを同一フローで評価することは出来なかった。

以上より、既存のボックスと振動機を組み合わせた試験方法である加振ボックス充てん試験は、加振変形試験やタンピング試験など他の試

験では評価できないコンクリートの配合照査試験方法としての可能性を示唆することが出来た。しかし、材料条件や他の配合条件、振動条件等の詳細な検討を行っていないため、今後、これらについて検討を行う必要がある。

4. まとめ

以下に本研究の結論を示す。

- (1) 加振ボックス充てん試験の方が、加振 U 形充てん試験より、コンクリートの配合条件の違いを明確に示すことが可能である。
- (2) 加振ボックス充てん試験は、他の試験方法では評価することのできない、コンクリートの配合条件の違いを定量的に示すことが出来る。また、試験の高い再現性も確認できた。

本報告書内容の一部は、公益社団法人土木学会西部支部研究発表会で既に発表済みである。また、公益社団法人日本コンクリート工学会年次大会 2011 と公益社団法人土木学会「コンクリートの施工性能の照査・検査システム」に関するシンポジウムでも発表予定である。

参考文献

- 1) 土木学会編：コンクリートライブラリー132、循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術、2009.12
- 2) 土木学会編：コンクリート技術シリーズ No.54、フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題 (II)、2003.7
- 3) 土木学会編：コンクリートライブラリー126、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)、2007.3
- 4) 浦野真次、栗田守朗、江渡正満：高密度配筋部におけるコンクリートの充てん性に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.30、No.2、pp.31-36、2008
- 5) 石井佑大、宇治公隆、上野敦：タンピング試験におけるワーカビリティの簡易評価方法の検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.30、No.2、pp.37-42、2008