フレッシュコンクリートにおける新しい品質管理試験に関する検討報告

STUDY OF A NEW QUALITY CONTROL TEST FOR FRESH CONCRETE

和田　淳 *・佐久間和弘 *・松山公年 **・木村　守 *** 向田隆史 ***
Jun WADA, Kazuhiro SAKUMA, Kimitoshi MATSUYAMA, Mamoru KIMURA and Takashi MUKAIDA

This study was conducted to propose a new quality control test for fresh concrete to replace the conventional slump test. The vibration motor was installed in L type flow test equipment of JSCE-F 514 to cope with low slump concrete. Various concretes were examined with this machine, and the correlation of slump values and flow-time and the effectiveness of the test method were examined.

As a result, the possibility of a precision quality control test and the effectiveness of the proposed test criterion of "flow-time of 500 mm" from the L type flow test were confirmed.

Keywords：*Fresh concrete, quality control test, L-type flow, slump test, experimental equipment*

1. はじめに

現在、フレッシュコンクリートの品質は、JIS A 5308 レディーミクストコンクリート[1)]に規定されたスランプと空気量により評価、管理されており、フレッシュコンクリートの品質評価の結果が、コンクリートの施工性や硬化コンクリートの耐久性など、様々な特性を示す指標となっている。コンクリート構造物の要求性能は、フレッシュコンクリートが密実に型枠内に打設され、セメントの水和反応が十分に進行して硬化した時点のものであるため、打設時のフレッシュコンクリートの品質評価は重要なものといえる。

近年、耐震設計規準の変化によるコンクリート構造物の鉄筋の過密化や、1960 年代以降のコンクリートポンプ車の施工能力向上による長距離圧送や大量打設など、コンクリートの施工性能に影響を及ぼす諸条件は大きく変化している。しかし、コンクリートの施工性を表す指標であるスランプについては、従来のままの事業者の発行する共通仕様書や設計図書などにおいて部材ごとに規定される場合が多く、低スランプのコンクリートなどでは現在の施工条件に適していない場合があるとされる[2)]。また一方で、コンクリートの設計体系が、従来の仕様規定型から性能規定型に移行しつつあり、今後、構造条件や施工条件に適したコンクリートの施工性（ワーカビリティー）を正確に評価する方法が求められてきている。

また、スランプ試験[1)]は、JIS A 1101 に規定されており、試験装置が簡易で扱い易く、コンクリートの品質管理において、ワーカビリティーを確認する上で最も普及した試験方法であるが、正確な試験を行うためには熟練した技術と経験が必要とされている[3)]。そのため、技術や経験に乏しい試験者によっては、試験結果に個人誤差が入り易いといった問題がある。

そこで本検討は、フレッシュコンクリートの施工性において、現状の試験方法に変わる新しい試験方法を開発したものである。試験方法は、経済的で簡便かつ個人誤差が少なく、正確にフレッシュコンクリートの状態を評価できるものを目標とした。試験器は、JSCE-F514 で規定されるL 形フロー試験器[4)]を基本とし、低スランプのコンクリートにも対応するために振動モーターを取り付けた試験器を製作した。試験器による試験では、粗骨材、細骨材率等を変えた種々のコンクリートで試験を実施し、現状の試験値との相関性や、試験器と試験方法の有効性について検討を行った。

2. これまでの経緯

筆者らは、過年度において、加振式 L 形フロー試験器の試作器（以下、試作器という）を製作し、試作器を用いたコンクリート試験において、試験方法の妥当性の確認および試験方法の開発上の課題抽出等を行った。

*　　広島支店　技術部
**　　コンサルタント国内事業本部　社会システム事業部
　　インフラマネジメント部
***　国土交通省　中国地方整備局　中国技術事務所

(1) 試作器の製作

1) 既往のワーカビリティー試験の評価検討

試作器の製作は、現状の試験方法における問題点を試験手順の変更や装置の改良等によって対応する方針とした。

そこで、国内で実施されているワーカビリティーの試験方法を抽出し、評価検討を行った。評価方法は、試験の概要、特徴および問題点を検証し、①普及度、②試験装置の扱い易さ、③測定結果の個人誤差、④試験結果の汎用性について３段階の分類評価(点数)を行った。

12 種類の試験方法について検証・評価を行った結果では、L 形フロー試験器 [土木学会、JSCE-F 514　1999「高流動コンクリートの L 形フロー試験方法(案)] が最も高い評価が得られた。L 形フロー試験器におけるコンクリート変形は、1 方向に限定され、個人差が小さく、結果が明瞭であることが考えられる。また、L フローは降伏値との関連があり、スランプやスランプフローとの相関もあるので、試験値の互換性も高い。また、試験装置は、単純で部品数が少なく、すべてが水洗いできるので利便性が高いと判断した(**表－ 1**)。

表－１　既往のワーカビリティー試験の評価結果

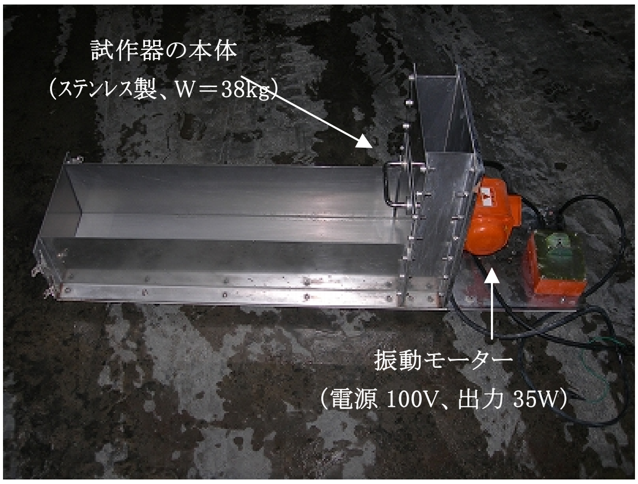
原理	試験名	適用	普及度	扱い易さ	個人誤差	結果の汎用（スランプとの相関性）	合 計 点
一定の外力を与えたときの変形量	スランプ試験	高流動 一　般 硬練り	○	○	×	○	6
	スランプフロー試験	高流動 一　般	○	○	△	○	7
	(フロー)試験	高流動 一　般 硬練り	×	○	△	×	3
	L形フロー	高流動	○	○	○	○	8
	漏斗流下試験	高流動	△	△	×	×	2
	充填性試験	高流動	△	△	○	△	5
	ボール貫入試験	高流動 一　般	×	○	○	○	6
変形を生じさせるのに必要な仕事量	リモルディング試験	硬練り	×	×	△	△	2
	VB試験	硬練り	△	×	×	△	2
その他	締固め係数試験	一　般 硬練り	△	△	○	△	5
	円筒貫入試験	高流動 一　般	×	○	○	△	5
	ツーポイント試験	高流動 一　般	×	×	○	○	4

注)　基準評価(○=2点)、低評価(△=1点)、零評価(×=0点)

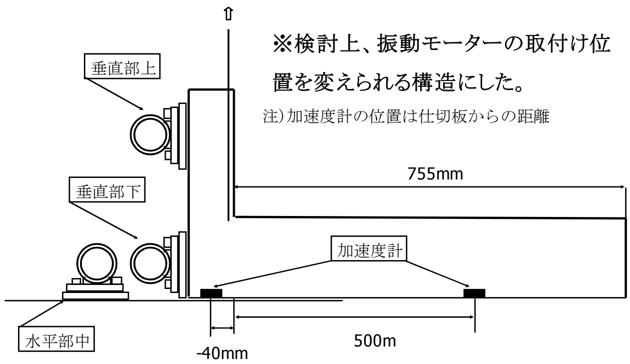
2) 試作器の設計および製作

L 形フロー試験は、コンクリートのワーカビリティーを評価するうえで優位な方法であったが、スランプ試験やスランプフロー試験のように広範なコンクリートを評価できる試験方法に比べて評価しにくい点があった。それは、本試験が、本来高流動コンクリートに開発された試験方法であるため、スランプ 18cm 以下のコンクリートに対しては感度が低いことであった。

そこで、試作器は、L 形フロー試験器に電動式振動モーター(以下、振動モーターという)を取付け、一定の変形に必要な仕事量(振動)を加えることで、降伏値が高め(低スランプ)のコンクリートに対しても評価できるように工夫した(**写真－ 1、図－ 1**)。振動モーターは、電動式振動モーターの中で重量、出力が小型であった三笠産業株式会社製ＫＪ自振モーター KJ35 を用いた(**表－ 2**)。



写真－１　試作器の全景写真



図－１　試作器の構造概要

表－２　振動モーターの仕様

型式	出力 (W)	周波数 (Hz)	振動数 (VPM) (50Hz/60Hz)	遠心力 (kN)	重量 (kg)
KJ35	35	50/60	2,850/3,450	0.21	6.2

(2) 試作器による試験的検討と改良

1) 振動モーターの取付け位置の検討

①　加速度計による振動特性の確認

試作器の振動特性を確認するため、加速度計を用い、振動モーターの取付け位置を変えて、底板 2 箇所において加速度 (m/s^2) と振動数 (V.P.M) を計測した (**図－ 1**)。

計測の結果、「垂直部下」に振動モーターを取り付けた場合、試作器の振動数のばらつきが最も少なくなり、均一に振動が伝わることがわかった。

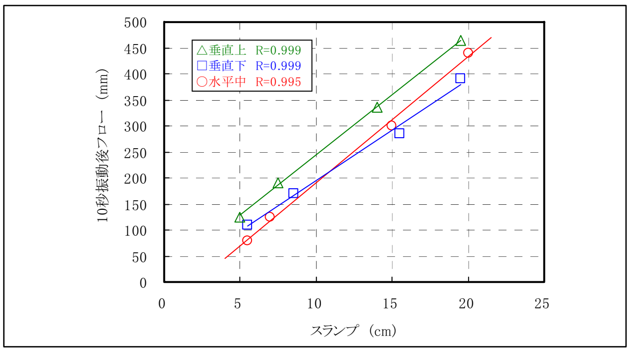
②　コンクリート試験による取付け位置の検討

振動モーターの取付け位置を「垂直部上」、「垂直部下」、「水平部中」と変え、フレッシュコンクリートを試験し、振動モーターの取付け位置の試験結果に与える影響を確認した。

試験の結果、スランプ試験と各測定値の相関係数(平均

値)は、「垂直部上」で0.986、「垂直部下」で0.934、「水平部中」で0.942と、いずれも高い相関関係にあった(**図－2**)。コンクリートは、スランプによってLフロー値が変わるため、振動を開始する位置がそれぞれ異なる。つまり、試料を入れた容器下(－40mm地点)と500mm地点での振動数・加速度が、ほぼ同等でないと、振動を開始する地点によって振動特性が異なってしまうため、正確な試験(評価)にはならない。

これより、振動モーターは、底板に最も均一に振動が伝達できる「垂直部下」に取付けることで、スランプとの関係が正確に評価できると判断した。



図－2　振動モーター位置を変えたコンクリート試験結果の一例（スランプと10秒振動後フローの関係）

2) 試作器における測定項目の検討

振動モーターの位置を「垂直部下」に固定し、コンクリート試験を実施した。試験項目は、スランプ試験、および試作器による計測であった。計測項目は、①沈下量、②Lフロー値、③10秒到達距離(振動作動)、④500mm到達時間(振動作動)、⑤最終到達時間(振動作動)であり、各測定値とスランプとの相関性を分析した。

各測定値とスランプ値の関係では、「500mmフロー到達時間」の相関がR=0.967と最も高く、式(1)で表された(**図－3**)。

$$Sl = -0.6263fl + 27.549 \qquad (1)$$

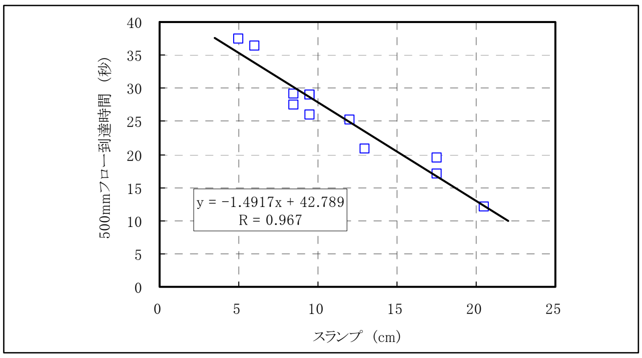
ここに、Sl　:スランプ(cm)、

fl　:500mmフロー到達時間(秒)

この関係式の標準偏差は±1.3cmと、一般のコンクリートにおけるスランプ許容値±2.5cm以下となり、本試験が、スランプ試験より高精度な測定ができると考えられる。

3) 試験方法の開発上の課題

開発上の課題には、①軽量化、②測定項目の確定、および③室内・現場試験データの蓄積、等が抽出された。



図－3　スランプと500mmフロー到達時間の関係

3.　加振式L形フロー試験器と試験方法の概要

(1) 加振式L形フロー試験器の概要

試作器の課題点を改善して製作した、加振式L形フロー試験器(以下、試験器という)は、JSCE-F 514で規定されているL形フロー試験器を基本とし、投入口背面側に振動モーターを、着脱のし易さを考慮して蝶ネジで取り付けることにした。試験器は、耐久性を考慮し、ステンレス(以下、SUSという)製とした。試験器の底板の長さは、試作器においてスランプと相関が高かった「500mmフロー到達時間」が測定できる長さとした(**写真－2～9**、**表－3**、**図－4**)。

振動モーターは、運搬性、汎用性、経済性等を考慮し、試作器と同じ仕様となる電動式振動モーター(電源100V、出力35W、低周波タイプ)を採用した(**表－2**)。

設計・製作の結果、試験器の総重量は、約20kgに抑えられ、目標重量25kgを満足し、軽量化を図ることができた。

(2) 試験方法(案)の策定と実施

本試験は、すべての試験において同一方法で実施した。

③　水平な場所に防振ゴムマットを敷き試験器を置く。

④　水準器を用いて縦横方向の水平を確認する。

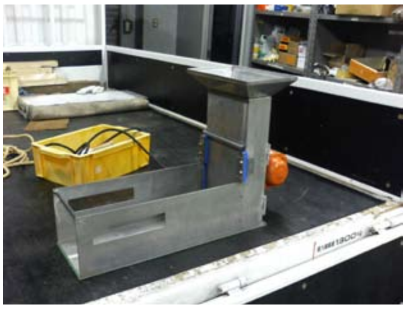
⑤　漏斗をセットし、コンクリートを詰める。詰め方は、2層に分け、1層厚さは試料投入口の1/2の高さ(20cm)を目安とする。

⑥　突き棒により各層の下端まで16回突く。

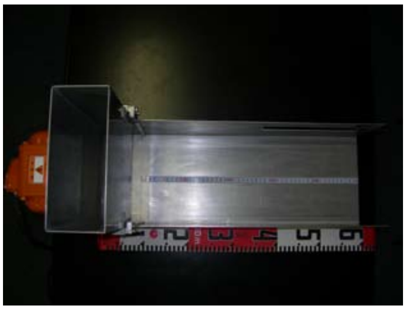
⑦　試料を詰め終わった後、コテを用いて投入口の上端に合せて均す。

⑧　ゲート引上げ後、投入口におけるコンクリートの下がりと、ゲート部のLフロー値を測定する(**図－5**)。

⑨　試験スタートを合図に振動モーターの電源をONし、ストップウォッチ等で時間を測定、フロー値および時間の測定を行う(**図－5**)。



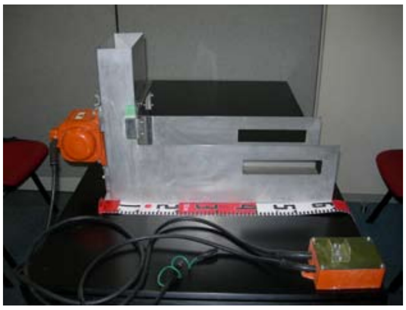
写真－2　全景（漏斗設置）



写真－3　上面

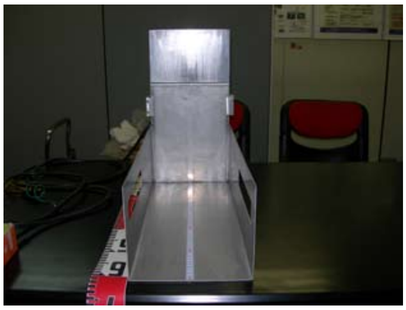
表－3　加振式Ｌ形フロー試験器の概要

項　目	諸　元
①概要	SUS製。底板厚3mm。
②主材厚	2mm
③底板厚	3mm
④概算鋼材体積	1,600cm^3
⑤振動モーター重量	6.2kg
⑥試験器(本体)重量	12.7kg
⑦総重量(本体+ﾓｰﾀｰ)	18.9kg

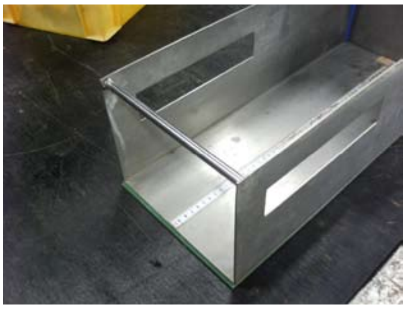


写真－4　側面

写真－5　背面

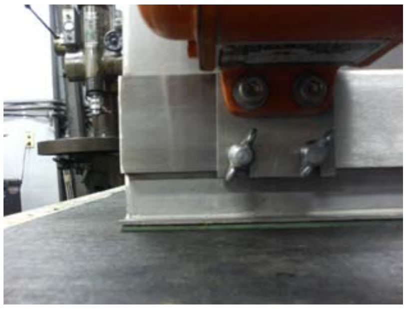


写真－6　前面

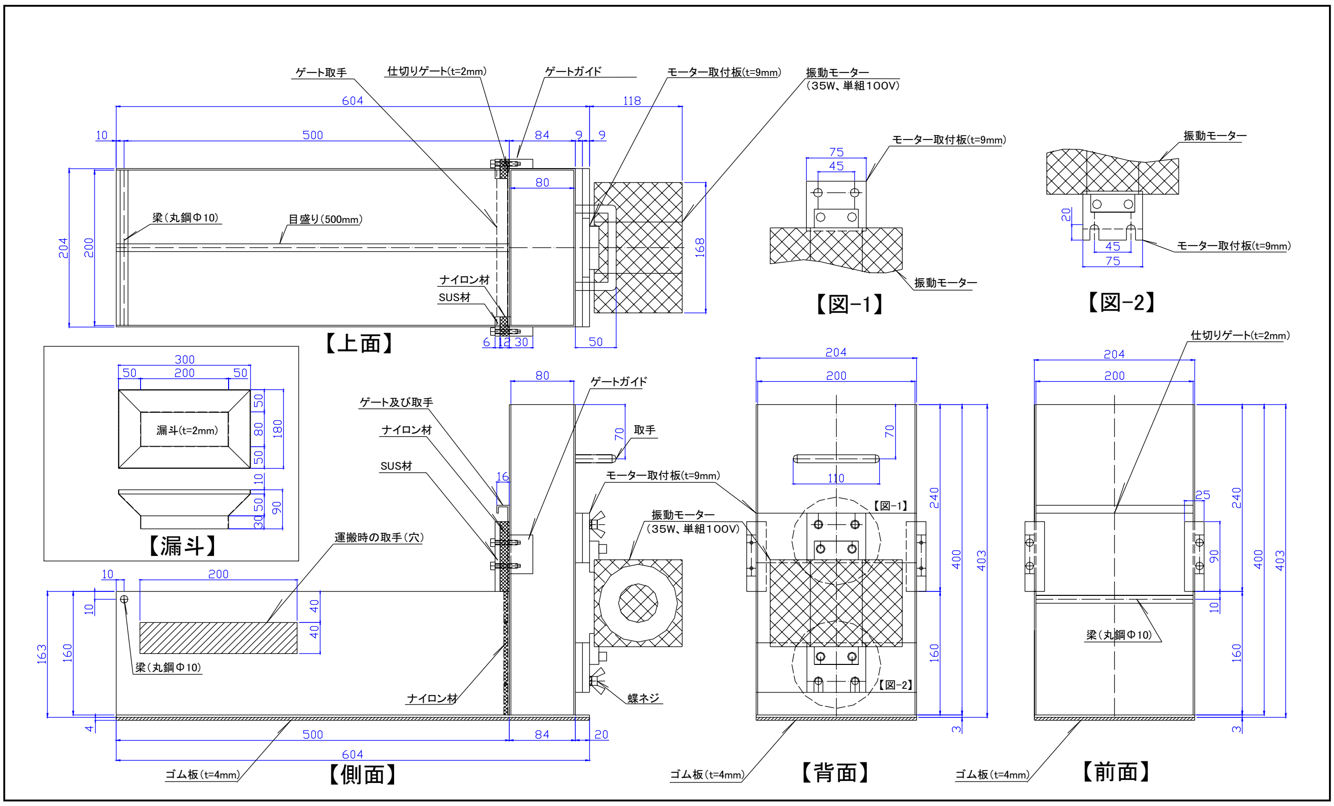


写真－7　到達地点

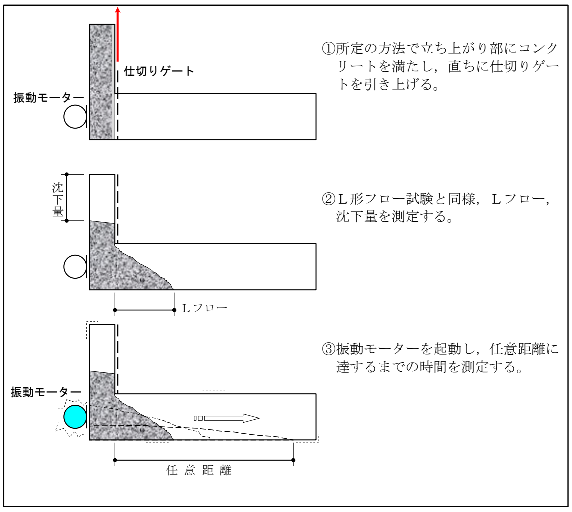
写真－8　試料投入口



写真－9　振動モーター取付け板



図－4　加振式Ｌ型フロー試験器の全体図



図－5　加振式 L 形フロー試験の手順図

4.　試験器における測定項目および適用範囲の検討

(1) 室内、現場試験におけるコンクリート配合

本試験器および試験法における様々なコンクリートに対する適用性を確認する目的で、室内および現場試験を実施し、スランプと本試験器のデータを収集した。検討上、砕石、最大粗骨材寸法（M.S.）20mm、温度 20℃の普通コンクリートを基準配合とした（表－ 4、5）。

(2) 試験器における測定項目の検討

表－ 6 に本試験器における測定項目を示す。また、図－ 6 ～ 9 に基準配合におけるスランプと各測定項目との関係を示す。これら図より、振動 500mm フロー到達時間とスランプの関係が最も相関性が高いことが明らかとなった[6]。さらに、振動 500mm 到達時間に用いたサンプルによる標準偏差は 1.5cm となり、一般的なスランプ（5cm ≦ Sl ＜ 8cm：許容差± 1.5cm、8cm ≦ Sl ≦ 18cm：許容差± 2.5cm）[5]と同等もしくは、それより高精度の品質管理試験となりえるものと考えられる（図－ 6）。

表－ 4　現場・室内試験の基準配合

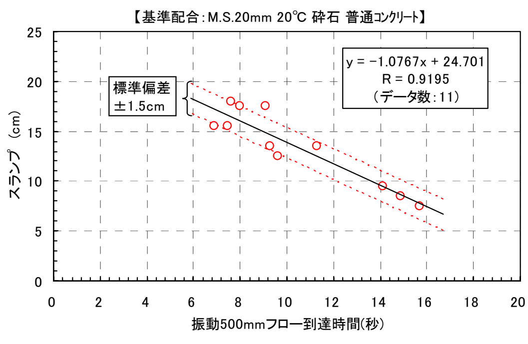
試験区分	試験場所	配 合	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	最大粗骨材寸法 (mm)	単位量 (kgf/m³) 水	セメント	空気量 (%)	温度 (℃)	備考
室内試験	試験室	18-8-20BB	62.5	47.0	20	160	256	4.6	20.0	基準配合
		18-12-20BB	62.5	47.0	20	165	264	5.0	19.0	
		18-18-20BB	62.5	49.0	20	165	264	4.3	19.0	
		21-8-20BB	56.5	46.0	20	160	283	4.5	19.0	
		21-12-20BB	56.5	46.0	20	165	292	4.7	19.0	
		21-18-20BB	56.5	48.0	20	165	292	3.6	19.0	
		BB-60%-15(微5%)	60.0	48.0	20	165	275	5.0	20.0	
		BB-60%-15(微8%)	60.0	47.0	20	165	275	4.4	20.0	
		砕-8-20N	53.3	46.0	20	160	300	5.1	20.0	
		砕-12-20N	53.3	46.0	20	168	315	5.2	20.0	
		砕-18-20N	53.3	47.0	20	176	330	4.2	20.0	

表－ 5　現場･室内の各種コンクリート配合

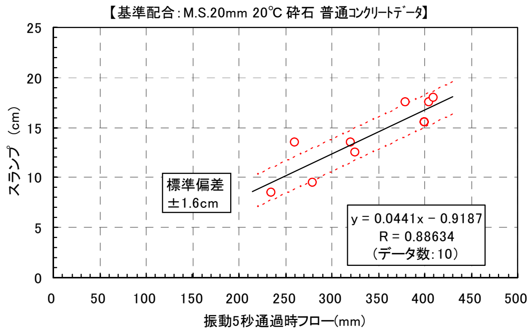
試験区分	試験場所	配 合	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	最大粗骨材寸法 (mm)	単位量 (kgf/m³) 水	セメント	空気量 (%)	温度 (℃)	備考
現場試験	工事現場	21-5-40BB(1)	57.5	43.8	40	139	242	4.7	11.0	砂防堰堤
		21-5-40BB(2)	57.5	43.8	40	139	242	4.9	11.0	
		21-5-40BB(3)	57.5	43.8	40	139	242	5.2	12.0	
		21-5-40BB(1)	58.0	43.8	40	153	264	4.4	10.0	
		21-5-40BB(2)	58.0	43.8	40	153	264	4.2	11.0	
		21-5-40BB(3)	58.0	43.8	40	153	264	4.4	11.0	
	生コン工場	24-8-20BB(1)	51.5	46.8	20	170	330	3.6	-	広島市内
		24-8-20BB(2)	51.5	46.8	20	170	330	4.0	9.0	
		18-12-20N	64.0	51.1	20	178	278	5.1	10.0	
		18-18-20N	64.0	52.3	20	192	300	5.6	11.0	
		21-8-40BB	56.0	42.2	40	161	288	4.9	8.5	
		18-12-20BB	62.5	46.2	20	176	282	5.1	8.0	
		18-18-20N	64.5	48.3	20	191	297	4.8	9.0	
		27-18-20N	50.0	47.8	20	180	360	4.8	14.0	
		24-15-20BB	53.0	44.2	20	183	345	4.6	14.0	
		30-8-20N	49.0	42.7	20	167	340	5.8	14.0	
室内試験	試験室	砕-5-40N	53.3	40.0	40	145	272	4.8	21.0	M.S.40mm
		砕-8-20N	53.3	46.0	20	160	300	4.7	11.0	10℃
		砕-8-20N	53.3	46.0	20	164	308	4.9	28.0	30℃
		砕-8-20N	53.3	46.0	20	160	300	3.7	21.0	加水7ℓ
		砕-8-20N	53.3	46.0	20	160	300	5.1	20.0	表面水
		砕-12-20N	53.3	46.0	20	165	310	4.7	11.0	10℃
		砕-12-20N	53.3	46.0	20	169	317	5.0	28.0	30℃
		砕-18-20N	53.3	47.0	20	173	325	4.2	11.0	10℃
		砕-18-20N	53.3	47.0	20	178	334	4.5	29.0	30℃
		砕-8-20N	53.3	51.0	20	160	300	5.8	20.0	最適値+5%
		砕-8-20N	53.3	41.0	20	160	300	5.3	20.0	最適値-5%
		砕-8-20N	53.3	34.0	20	160	300	4.0	20.0	分離
		砕-12-20N	53.3	51.0	20	168	315	5.5	20.0	最適値+5%
		砕-12-20N	53.3	41.0	20	168	315	4.9	19.0	最適値-5%
		砕-12-20N	53.3	34.0	20	168	315	3.5	20.0	分離
		砕-18-20N	53.3	52.0	20	176	330	5.8	20.0	最適値+5%
		砕-18-20N	53.3	42.0	20	176	330	4.6	20.0	最適値-5%
		砕-18-20N	53.3	35.0	20	176	330	3.1	21.0	分離
		川-8-20N	53.3	43.0	20	148	278	4.9	19.0	川砂利
		川-12-20N	53.3	43.0	20	153	287	5.4	20.0	
		川-18-20N	53.3	44.0	20	163	306	5.1	20.0	
		軽-8-20N	53.3	49.0	15	160	300	4.3	20.0	軽量骨材
		軽-12-20N	53.3	49.0	15	167	313	4.6	20.0	
		軽-18-20N	53.3	50.0	15	175	328	4.8	21.0	
		ス-8-20N	53.2	48.0	20	157	295	4.4	20.0	スラグ粗骨材
		ス-12-20N	53.3	48.0	20	165	310	4.5	20.0	
		ス-18-20N	53.4	50.0	20	174	326	5.0	21.0	

表－ 6　加振式 L 形フロー試験の測定項目

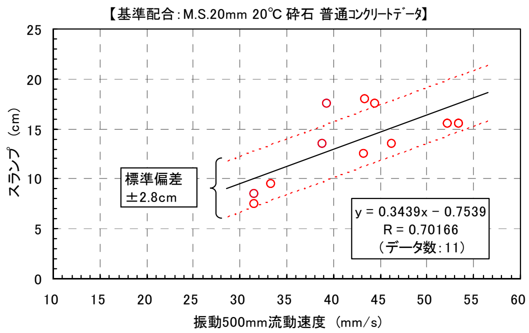
測定項目	記号	内容
振動500mmフロー到達時間	T_{500}	Lフロー500mmの到達時間
振動5秒通過時フロー	L_{5s}	加振5秒時のLフロー（加振は継続）
振動500mm流動速度	V_{500}	V_{500}=500mm/T_{500}
振動5秒通過時速度	V_{5s}	$V_{5s}=L_{5s}/5_{(s)}$



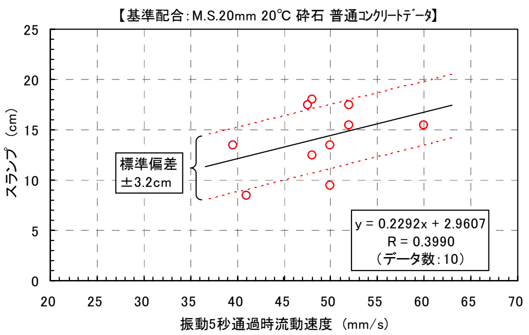
図－ 6　振動 500mm フロー到達時間とスランプの関係



図－7　振動 5 秒通過時フローとスランプの関係



図－8　振動 500mm 流動速度とスランプの関係



図－9　振動 5 秒通過時流動速度とスランプの関係

(3) 試験器および試験方法の有効性の検討

骨材の表面水量の変動を想定したコンクリート、コンクリート運搬後のスランプ調整のための「後加水」をしたコンクリート、および材料分離をおこすコンクリート(以下、不適切なコンクリートという)を擬似的に練り、試験器で振動 500mm 到達時間を測定した。試験結果を図－10 に示す。同図より、現行スランプ試験では「合格」と判断される不適切なコンクリート(グラフの■、▲、△)を、本試験器および試験方法によると「不合格」と判定することが可能となる[7]。

(4) 試験器および試験方法の適用性の検討

① 最大粗骨材寸法(M.S.)40mm コンクリートへの適用性

最大粗骨材寸法の相違によるスランプと振動 500mm フロー到達時間の関係を図－11 に示す。本試験での最大寸法 40mm のコンクリートのスランプ目標値は 5cm であるものの、そのデータ(グラフ△、▲)は 16 ～ 30 秒とばらつく分布となる[7]。

② 異なる温度(10℃、30℃)のコンクリートへの適用性

コンクリート温度が変化した場合(10℃、20℃、30℃)のスランプと振動 500mm フロー到達時間の関係を図－12 に示す。温度が高いと凝結が始まり振動 500mm フロー到達時間が増加する傾向が伺える(グラフの▲)。その傾向は、とくにスランプが小さい(固練りの)コンクリートで顕著となる[7]。

③ 細骨材率を変化(s/a ± 5%)のコンクリートへの適用性

最適な細骨材率(s/a)を増減(± 5%)したコンクリートのスランプと振動 500mm フロー到達時間の関係を図－13 に示す。

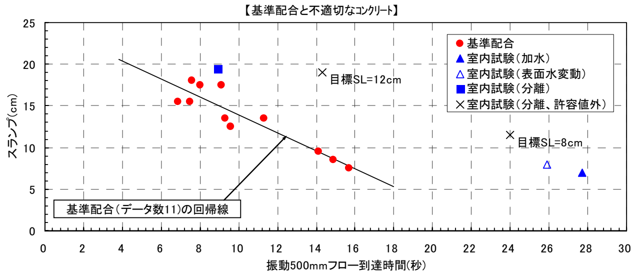
同図より、s/a が増加(+5%)すると振動 500mm フロー到達時間が大きくなる。とくにスランプが小さいコンクリートで顕著である(▲)。これは、細骨材率が大きくなるとコンクリートの粘性が高くなり、流動性が低下すると考えられる。

また、s/a を減少(－ 5%)した場合においても、振動 500mm フロー到達時間が大きくなる傾向にあり、スランプが小さいコンクリートで顕著となる(△)。これは、細骨材率が少なくなると粗骨材を繋ぎとめるモルタル効果が小さくなり、粗骨材の噛み合わせによって流動性が低下すると考えられる。

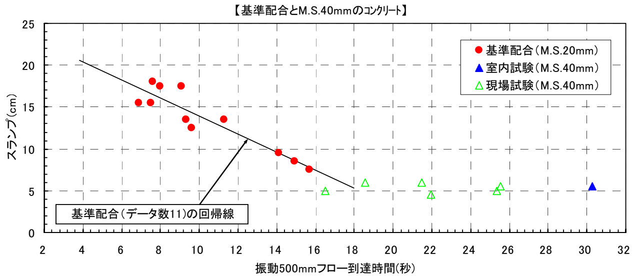
④ 異種の粗骨材を用いたコンクリートへの適用性

異種の粗骨材(川砂利、軽量骨材、高炉スラグ)を用いたコンクリートのスランプと振動 500mm フロー到達時間の関係を図－14 に示す。川砂利の場合、振動 500mm 到達時間が大きくなる(▲)。また、軽量骨材、高炉スラグの場合、スランプの小さいコンクリートで振動 500mm フロー到達時間が大きくなる(△、□)。

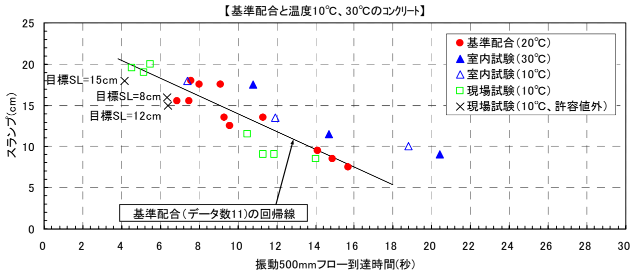
川砂利は、骨材が球形なため単位水量が減じられること、またセメント量の減少や、単位体積当りの骨材量の増加等の影響も考えられる。軽量骨材および高炉スラグを用いたスランプ 8cm のコンクリートは、骨材の表面がコンクリートの水を含んでモルタルと分離することが影響すると考えられる。



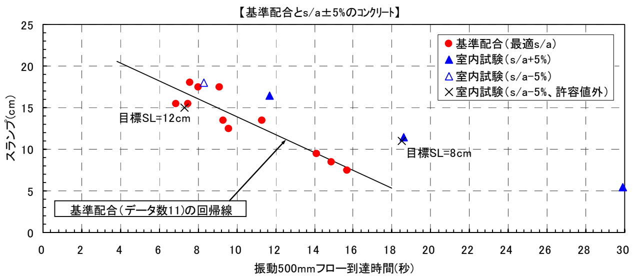
図－ 10　不適切なコンクリートと基準配合の分布



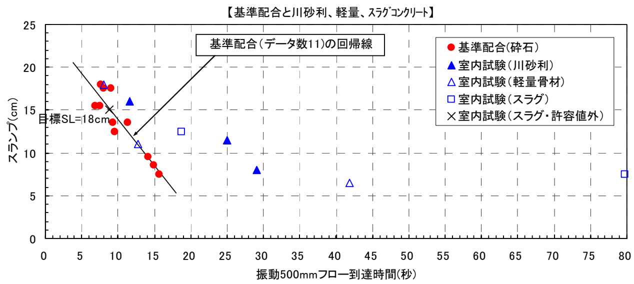
図－ 11　M. S. 40mm コンクリートと基準配合の分布



図－ 12　異なる温度条件（10℃、20℃、30℃）での分布



図－ 13　s/a ± 5% のコンクリートと基準配合の分布



図－ 14　異種粗骨材のコンクリートと基準配合の分布

5.　おわりに

軽量化を図り、試作器に比べて使い勝手が向上した加振式 L 形フロー試験器を製作することができた。

また、この加振式 L 形フロー試験器を用い、現場（工事現場、生コン工場）および室内において幅広い配合条件のフレッシュコンクリートの試験を実施することができた。

試験結果では、加振式 L 形フロー試験器および試験方法は、現行のスランプ試験と比較してフレッシュコンクリートの性状を同精度もしくはそれ以上の精度で評価できること、スランプ試験で合格する後加水コンクリート等の不適切なコンクリートを判別できること等が明らかとなった。

今後は、同試験器および試験方法の有効性の確認（試験精度の検証、不適切なコンクリートの判別等）、また適用範囲の検討（骨材種類、骨材配合条件等）のための試験データ収集・分析、および同試験器に関するマニュアル（案）の作成等を行い、スランプ試験を補完できる試験方法として提案してゆく計画である。

謝辞：本検討内容は、国土交通省中国地方整備局中国技術事務所より受注した業務―フレッシュコンクリート測手方法検討業務の結果に基づくものであります。本検討を進めるに当り、試験器の製作、現場および室内試験において多大なるご協力、ご助言を頂いた関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

1)　土木学会：2005 年制定　コンクリート標準示方書［規準編］JIS 規格集、pp.447-487、2005.
2)　土木学会：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.
3)　国土交通省中国地方整備局中国技術事務所：フレッシュコンクリートの測定方法に関する調査　報告書、2005.
4)　土木学会：2005 年制定　コンクリート標準示方書［規準編］土木学会基準および関連基準、pp.205-206、2005.
5)　土木学会：2002 制定　コンクリート標準示方書［施工編］、2002.
6)　向田隆史、木村守：加振式 L 形フロー試験器および試験法の開発検討、第 59 回土木学会中国支部研究発表会、V-7、pp.337-338、2007.
7)　向田隆史、木村守、松山公年：フレッシュコンクリートの新たな試験方法の開発、第 62 回土木学会年次学術講演会、講演概要集、5-541、pp.1081-1082、2007.