

V漏斗とO漏斗のキャリブレーションに関する基礎研究

辻 幸和¹・十河茂幸²・河井 徹³・鈴木一雄⁴

¹フェロー会員 工博 群馬大学教授 工学部建設工学科 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1)

²フェロー会員 工博 榎大林組技術研究所 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640)

³正会員 工博 清水建設(株)土木本部 (〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目 2-3 シーンシス S 館)

⁴正会員 工博 全生工組連中央技術研究所 (〒273-0012 千葉県船橋市浜町二丁目 16-1)

本研究では、高流動コンクリート用漏斗としての V 漏斗と O 漏斗のキャリブレーションの基礎資料として、5 種類のロットの豊浦産の旧標準砂を用いて流下時間と質量を測定し、各漏斗におけるばらつきおよび豊浦産旧標準砂間のばらつきに関する測定結果を報告した。豊浦産旧標準砂のロット間のばらつきは小さいが、V 漏斗と O 漏斗の製作ロット間の相違は流下時間について大きい。また、これらの漏斗に S 漏斗を加えて、3 種類の高流動コンクリートの流下時間をそれぞれ測定した結果についても報告した。そして、豊浦産旧標準砂を用いた V 漏斗と O 漏斗のキャリブレーション方法を提案した。

Key Words : self-compacting concrete, flowing estimation test, flowing test apparatus, calibration method, standard sand

1. まえがき

高流動コンクリートの平均流下速度、相対流下速度および流下性状指数を求める試験用器具としては、V 漏斗と O 漏斗および S 漏斗などが提案されている。これらのうち V 漏斗と O 漏斗は、土木学会標準 JSCE-F512-1999 (高流動コンクリートの漏斗を用いた流下試験方法) として、それぞれの形状・寸法は規定されているが、キャリブレーションの方法は示されていない。この種の漏斗は、許容内の形状・寸法が与えられても、用いる材質の表面状態や製作における接合方法などにより、得られる流下時間に大きな相違のあることが予想される。したがって、PC グラウトの漏斗と同様にキャリブレーションの方法を確立することは、試験結果の再現性や信頼性を高めるために不可欠なことであるが、これまでほとんど検討されていない¹⁾。

本研究では、V 漏斗と O 漏斗のキャリブレーションの方法を確立する基礎資料として、キャリブレーション材料として最適と考えられる豊浦産の旧標準砂を用いて流下時間と質量を測定し、各漏斗におけるばらつきおよび豊浦産旧標準砂間のばらつきに関する測定結果を報告する。また、これらの漏斗に S 漏斗を加えて、3 種類の高

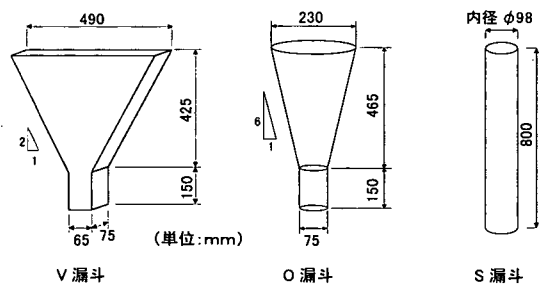


図-1 漏斗の内部寸法

流動コンクリートの流下時間をそれぞれ測定した結果についても報告する。そして、V 漏斗と O 漏斗のキャリブレーション方法を提案する。

2. V漏斗, O漏斗およびS漏斗

V 漏斗および O 漏斗は、JSCE-F512-1999 に規定されている図-1 に示す形状・寸法のものを用いた。なお、V 漏斗の吐出口は 65×75mm のものを用いた。漏斗の種類と漏斗番号等を表-1 にまとめて示す。

表-1 漏斗の種類および漏斗番号等

漏斗の種類	漏斗番号	保有場所
V漏斗	V-a	G大学
	V-b	O社
O漏斗	O-a	O社
	O-b	O社
S漏斗	S-a	S社
	S-b	S社

表-2 豊浦産旧標準砂のロット

ロット名	保有場所	製造年
A	共通N	1999
B	共通O	1993
C	O社	1999
D	S社	1994
E	Z研究所	1999

表-3 高流動コンクリートの使用材料

		粉体系	増粘剤系	併用系
セメント	C	普通ポルトランドセメント	三成分系低発熱形セメント	高炉セメントB種
混和材	LF	石灰石微粉末 ブレン値 5700cm ² /g	—	—
高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸	ナフタレン系高性能減水剤+SC剤	ポリエーテル系
増粘剤	Va	—	アクリル系	グリコール系

V漏斗は、異なる試験機関が異なる製作所から異なる時期に購入し保有しているものである。O漏斗は、同一の試験機関が同一製作所から異なる時期に購入し保有しているものである。またO-a漏斗は、鋼材を削りだして製作したものである。O-b漏斗は鋼板を鍛造して製作したもので、鍛造したため内面が円周方向にわずかながら波うっている。

S漏斗も、高流動コンクリートの流動性等の検討に用いた。その形状・寸法および漏斗番号等も、それぞれ図-1および表-1に示している。S漏斗は、同一の試験機関が同一製作所から異なる時期に購入し保有しているものである。

3. キャリブレーション材料および試験方法

キャリブレーション用材料としては、数10ℓの単位で均一な品質のものが随時入手でき、経時的に品質に変化のないものである。そして、その材料を用いて流下時間を測定する場合に、十分な測定精度が得られるものでなければならない。そのような条件を満足する材料としては、豊浦産の旧標準砂が最適と考えた。ただ旧標準砂は、セメントの物理試験に用いられなくなったため、ロット

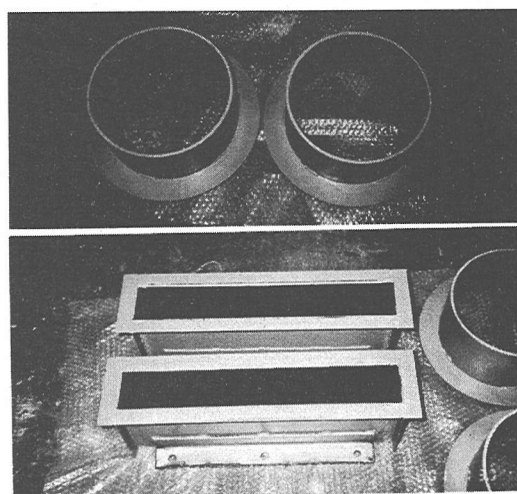


写真-1 添え枠 (内容量5ℓ)

間で品質に大きなばらつきが出てきていることも懸念された。そのため、表-2に示す豊浦産の旧標準砂のロットをキャリブレーション用材料として用いた。すなわち、キャリブレーションに用いる材料は、JSCE-F531-1999に規定されている豊浦産の旧標準砂である。群馬大学で時期を変えて購入した共通の旧標準砂(共通N, 共通O)とともに、異なる試験機関で購入した3ロットの合計5ロットのものをそれぞれ用いた。

漏斗による流下時間と質量の測定には添え枠を用いた。添え枠を併用しないと、漏斗流下時間が2秒以下となり、流下時間が短すぎて、測定精度が低下する懸念があるためである。写真-1に示すように、添え枠の内面は、漏斗の上内面と一致させ、添え枠の高さは、その内容量がそれぞれ5ℓと10ℓとなるものである。なお、測定時に動かないように、添え枠には止め具を設け、V漏斗あるいはO漏斗との内面形状を一致させている。

試験は、それぞれ3名ずつが固定して担当した。2名が流下時間の測定を、1名が材料の投入と質量の測定を行った。それぞれの豊浦産旧標準砂を用いて5回連続して測定することとした。

材料の漏斗への投入は、投入口の添え枠の少し上より、容器から自由落下させて行った。そして、少し添え枠より盛り上がるまで詰め、盛り上がった分をナイフエッジ

表-4 高流動コンクリートの配合

	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	水粉体比 W/P (%)	単位量(kg/m ³)					SP (P×%)	AE (P×%)	増粘剤 (W×%)
				W	C	LF	S	G			
粉体系	650±30	4.0±1.0	28.3	170	500	100	789	810	1.55	0.002	—
増粘剤系	650±30	4.0±1.0	44.0	165	375	—	966	810	1.70	0.032	3.0
併用系	650±30	4.0±1.0	34.7	165	475	—	909	810	1.35	0.048	2.5

P=C+LF

で水平に切り取った後、直ちに流出試験を行った。そして、流下時間と質量を測定した。

4. 高流動コンクリートの製造

高流動コンクリートには、粉体系、増粘剤系および併用系の3種類を用いた。スランプフローが650mmを目標としたものである。セメント、高性能AE減水剤、混和材および増粘剤は、表-3に示すように、それぞれの高流動コンクリートごとに適したものをを用いた。

細骨材は、静岡県浜岡産の陸砂を用いた。表乾密度は2.58g/cm³、粗粒率は2.81、吸水率は1.84%であった。粗骨材は、北海道上磯郡産の石灰石碎石を用いた。粗骨材の最大寸法は20mm、密度は2.70g/cm³、粗粒率は6.61、吸水率は0.46%であった。

高流動コンクリートの配合を表-4に示す。スランプフローが650±30mm、空気量が4.0±1.0%を目標としたものである。なお、単位粗骨材量はすべて810kg/m³(300ℓ/m³)に統一した。

5. 旧標準砂による流下時間

a) V漏斗

豊浦産の旧標準砂のロットが異なった場合の流下時間を図-2および表-5に示す。2名の測定者A、Bの相違は認められない、つまり測定者の個人差のないことが、表-5より明らかである。また旧標準砂のロットが異なっても、添え枠が5ℓの場合5回の流下時間の平均値は、最大で0.12秒(V-b, 測定者B)、変動係数の相違で1.56%(V-b, 測定者B)以下となっており、ロット間の相違も認められないと考えられる。そして、5回の測定における変動係数も最大で2.43%(V-b, ロットA, 測定者B)と小さい。このような現象は、添え枠が10ℓの場合の流下時間についても同様に認められた。

しかしながら、異なる製作所で購入したV-aとV-bの漏斗を比較すると、O社で保有しているV-b漏斗の方が、V-a漏斗に比べていずれの旧標準砂を用いても流下時間が短く測定される。そしてこの現象は、5ℓの添え枠を用

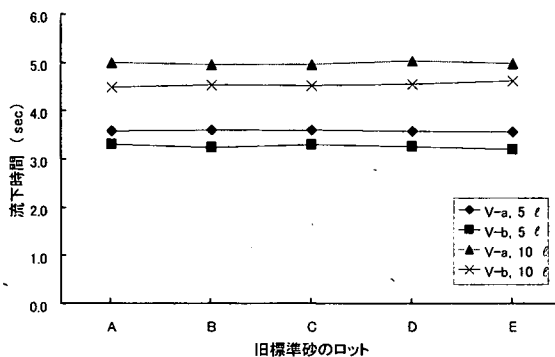


図-2 V漏斗による流下時間

表-5 漏斗流下時間の測定結果

漏斗の種類	旧標準砂のロット	測定者	平均値* (sec)	標準偏差 (sec)	変動係数 (%)	範囲 (sec)
V-a 5ℓ	A	A	3.58	0.03	0.85	0.07
		B	3.58	0.03	0.75	0.06
	B	A	3.59	0.02	0.61	0.06
		B	3.55	0.03	0.93	0.08
	C	A	3.59	0.03	0.85	0.08
		B	3.58	0.07	1.88	0.18
	D	A	3.57	0.06	1.70	0.15
		B	3.55	0.06	1.57	0.12
	E	A	3.56	0.06	1.75	0.14
		B	3.58	0.05	1.51	0.14
V-b 5ℓ	A	A	3.30	0.05	1.41	0.11
		B	3.29	0.08	2.43	0.16
	B	A	3.23	0.04	1.23	0.09
		B	3.25	0.04	1.20	0.10
	C	A	3.29	0.02	0.67	0.06
		B	3.26	0.03	1.03	0.08
	D	A	3.25	0.01	0.26	0.02
		B	3.25	0.03	0.87	0.06
	E	A	3.19	0.04	1.24	0.10
		B	3.17	0.05	1.65	0.11
O-a 5ℓ	A	A	3.76	0.04	1.06	0.09
		B	3.80	0.06	1.49	0.13
	B	A	3.82	0.05	1.22	0.13
		B	3.84	0.01	0.35	0.03
	C	A	3.77	0.05	1.42	0.14
		B	3.83	0.04	1.04	0.11
	D	A	3.85	0.04	0.93	0.09
		B	3.87	0.05	1.28	0.11
	E	A	3.80	0.04	1.01	0.10
		B	3.83	0.03	0.77	0.08
O-b 5ℓ	A	A	3.38	0.04	1.28	0.10
		B	3.47	0.09	2.46	0.22
	B	A	3.47	0.07	1.99	0.18
		B	3.51	0.03	0.91	0.08
	C	A	3.43	0.05	1.55	0.14
		B	3.53	0.03	0.79	0.06
	D	A	3.46	0.04	1.05	0.09
		B	3.52	0.06	1.61	0.14
	E	A	3.51	0.04	1.15	0.11
		B	3.58	0.02	0.68	0.06

* 5回の平均値

いるよりも 10ℓのものを用いるほど顕著である。V-a と V-b の流下時間の差の最大は、5ℓの添え枠を用いた場合に 0.41 秒（ロット E，測定者 B），10ℓの添え枠を用いた場合に 0.52 秒（ロット A，測定者 A）であった。

b) O漏斗

O漏斗の流下時間についても、図-3および表-5に示す。図-2と同様に旧標準砂のロットを横軸にとり示している。O漏斗についても、測定者間の相違と旧標準砂のロット間の相違は認められないことが明らかである。

しかしながら、板金加工で製作した O-b 漏斗は、削り出して製作した O-a 漏斗に比べて流下時間が少し短く測定された。両漏斗間の流下時間の相違は、いずれの旧標準砂を用いても、また測定者が異なっても同様に認められる。そして V漏斗と同様に、添え枠が 5ℓを用いた場合よりも 10ℓを用いた場合の方が、両漏斗間の流下時間の相違は著しくなった。すなわち、O-a と O-b の流下時間の差の最大は、5ℓの添え枠を用いた場合に 0.39 秒（ロット D，測定者 A），10ℓの添え枠を用いた場合に 0.70 秒（ロット E，測定者 B）であった。

6. 旧標準砂の流下質量

流下時間の測定の後漏斗から流下した豊浦産旧標準砂の質量（以下、流下質量と称する）を測定した結果を、表-6にまとめて示す。添え枠が 5ℓの場合である。

5回の平均値について、旧標準砂のロットが異なっても最大値は V漏斗で 0.10kg（V-a 漏斗），O漏斗で 0.11kg（O-b 漏斗）とロット間の相違は小さく、旧標準砂のロット間のばらつきは小さいことが認められる。また 5回の測定の変動係数も最大で 0.15%（O-b 漏斗，ロット E）と小さく、測定の際のばらつきも小さいものであった。なお、10ℓの添え枠を用いた場合の 5回の測定の変動係数は、最大で 0.28%（V-a 漏斗，ロット A）と少し大きくなったが、変動係数の値そのものは小さいものであった。

V漏斗の製作所が異なった V-a と V-b の漏斗では、流下時間が少し異なることに対して、流下質量も流下時間が短いと少なくなっていることが確かめられた。しかしながら、流下質量の差は最大で 0.12kg（ロット B，C）であり、平均値の 0.5%程度であるのに対して、流下時間の差は 10%程度と大きいものである。

O漏斗については、流下質量にはほとんど差が認められない。しかしながら前述したように、流下時間は 15%程度の差が生じていた。

漏斗内の容積は同じでも、流下時間には 10%から 15%程度の相違が生じることはあり得るのである。なお、O漏斗の内容積は 10ℓとなるように形状寸法を決めている

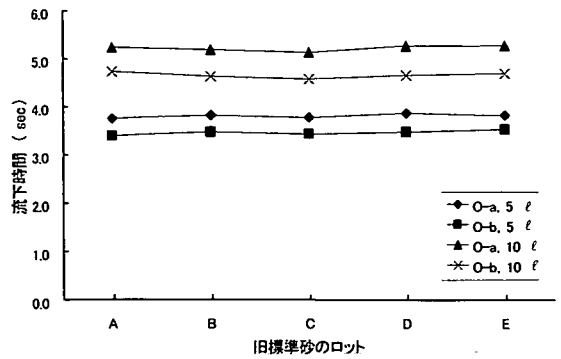


図-3 O漏斗による流下時間

表-6 漏斗流下質量の測定結果

漏斗の種類	旧標準砂のロット	平均値 (kg)	標準偏差 (kg)	変動係数 (%)	範囲 (kg)
V-a 5ℓ	A	19.52	0.01	0.05	0.02
	B	19.61	0.01	0.04	0.02
	C	19.54	0.01	0.03	0.01
	D	19.51	0.01	0.07	0.03
	E	19.51	0.02	0.09	0.04
V-b 5ℓ	A	19.42	0.01	0.07	0.03
	B	19.49	0.02	0.09	0.05
	C	19.42	0.02	0.08	0.04
	D	19.43	0.02	0.08	0.03
	E	19.42	0.03	0.14	0.06
O-a 5ℓ	A	20.17	0.03	0.14	0.07
	B	20.23	0.02	0.12	0.06
	C	20.17	0.02	0.10	0.06
	D	20.13	0.01	0.06	0.03
	E	20.17	0.01	0.07	0.03
O-b 5ℓ	A	20.13	0.01	0.04	0.02
	B	20.24	0.01	0.05	0.02
	C	20.18	0.01	0.04	0.02
	D	20.14	0.02	0.11	0.05
	E	20.14	0.03	0.15	0.08

* 5回の平均値

が、V漏斗は、図-1に示すもので 9.58ℓである。また、添え枠を 5ℓと 10ℓに変えた場合の流下質量が V-a と V-b、O-a と O-b で異なる差は、ほぼ等しい値であった。

7. 高流動コンクリートの流下時間

高流動コンクリートの V漏斗、O漏斗および S漏斗による流下時間を、表-7および図-4に示す。各漏斗による流下時間の測定は、流下試験の 1分前に漏斗内部を適度に湿らせた後、S漏斗を除き湿布で内面を拭いて直ちに、高流動コンクリートを漏斗に投入して行った。その後直ちに漏斗内面にモルタルが付着した状態で新しく高流動コンクリートを投入した場合の流下時間についても測定した。このように、モルタルが付着した状態でも流下試験を 2回または 3回連続して行った。それぞれの

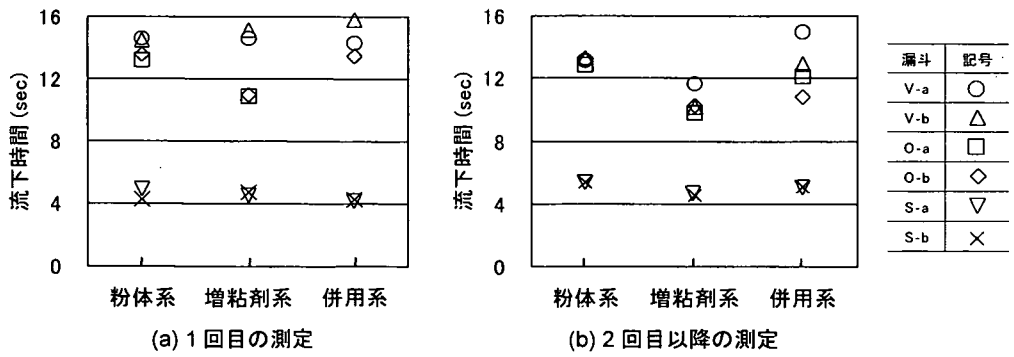


図-4 V漏斗およびO漏斗による高流動コンクリートの流下時間

漏斗については2名で分担し、3種類の高流動コンクリートの流下時間を測定した。

図-4より、V漏斗とO漏斗とも、漏斗内部を水で湿した後流下時間を求めると、高流動コンクリートの種類の影響を大きく受ける傾向が認められる。粗骨材の量を一定にしているため、高流動コンクリート中のモルタルの粘性の大きさが、流下時間の相違に著しい影響を及ぼしたと考えられる。

2回目以降の流下試験は、モルタルが漏斗内面に付着したまま高流動コンクリートを漏斗に投入して流下時間を測定した。2回目以降の流下時間は、高流動コンクリートの種類にかかわらずその差は小さくなった。これは、漏斗内面の付着状態が均一に近くなったためであり、土木学会規準のPCグラウト(JSCE-F531-1999)や充てんモルタル(JSCE-F541-1999)の流動性試験と同様な処置を行った方が、高流動コンクリートの流動性状のばらつきが小さくなると考えられる。なお、1回目と2回目以降の2個または3個の平均値のそれぞれの流下時間の値は、O漏斗の場合は1回目が大きいが、V漏斗とS漏斗の場合は必ずしも1回目の方が大きくならないコンクリートがあった。

漏斗のロットが異なる場合の流下時間については明瞭な傾向が認められないことが、表-7から推測できる。前述したように、豊浦産の旧標準砂によるキャリブレーションでは、流下時間で約0.3秒の差が生じたV漏斗とO漏斗それぞれについて、高流動コンクリートの流下時間はそのような傾向が認められない。すなわち、キャリブレーションで小さい流下時間を示した漏斗を用いた方が、高流動コンクリートの流下時間が必ずしも小さい値を示すとは限らず、逆の値を示しているような場合もある。このことは、製作所が異なる2種類のV漏斗についても同様である。なお、漏斗間の流下時間の差の最大値は、V漏斗では2.06秒(併用系)、O漏斗では1.27秒(併用

表-7 高流動コンクリートの流下時間

漏斗の種類	高流動コンクリートの流下時間(sec)				旧標準砂(5%添え枠)の流下時間(sec)
	測定順序	粉体系	増粘剤系	併用系	
V-a	1	14.60	14.62	14.35	3.57
	2,3	13.11	11.65	15.01	
V-b	1	14.53	15.20	15.86	3.25
	2,3	13.32	10.13	12.95	
O-a	1	13.20	10.90	16.10	3.82
	2~4	12.83	9.80	12.07	
O-b	1	13.60	11.00	13.50	3.49
	2~4	13.13	10.30	10.80	
S-a	1	5.00	4.60	4.28	—
	2~4	5.30	4.60	5.04	
S-b	1	4.30	4.70	4.24	—
	2~4	5.40	4.52	5.08	
コンクリートの品質	スランプ70-(mm)	610×600	650×620	645×635	—
	空気量(%)	3.7	5.2	4.6	
	温度(°C)	21.5	20.0	20.5	

系)となったが、これらの値は流下時間のそれぞれ約15%と約10%であり、比較的小さい相違であった。なお、S漏斗間の流下時間の相違は、他の漏斗より小さいものであった。

8. V漏斗とO漏斗のキャリブレーション方法

前述までの検討結果を踏まえて、V漏斗とO漏斗のキャリブレーションの方法を以下に提案する。

(1) キャリブレーション材料

キャリブレーションに用いる材料は、豊浦産の旧標準

表-8 V漏斗およびO漏斗のキャリブレーション

	質量の範囲 (kg)	流下時間の範囲 (秒)
V漏斗	19.2~19.8	3.0~3.8
O漏斗	20.0~20.4	3.1~4.0

砂とする。

(2) 添え枠

V漏斗あるいはO漏斗の上端に設置する添え枠は、内容量が5ℓの鋼製のものとする。添え枠の内面形状寸法は、V漏斗あるいはO漏斗の上端形状寸法と同一とする。厚さは2mm程度とし、V漏斗あるいはO漏斗の上端に設置して動かない止め具が設けられているものとする。

(3) 材料の投入と流下時間の測定

添え枠の少し上方から容器に入れたキャリブレーション材料を静かに自由落下させて投入していき、材料が添え枠の上面より少し盛り上がるまで連続して投入する。盛り上がった材料をナイフエッジで材料を押さえつけないように切り取り、上面を水平にする。底蓋を開き、添え枠の上方より材料が流出口から流出するまでの時間を0.01秒まで測定し、これを流下時間とする。

(4) 質量の測定

漏斗より流出した材料の質量を、はかりで0.1kgの単位まで測定する。そして、測定した質量は、漏斗の種類ごとに表-8に示す値の範囲内にあることを確かめる。測定した質量が表-8に示す範囲にない場合は、材料の投入方法を調整する。特にナイフエッジで盛り上がった材料を切り取る際に、材料を強く押さええないこと、また切り取った表面が凹凸でないことを確かめる。このような材料の投入方法を調整しても、質量が表-8に示す範囲にない場合は、豊浦産旧標準砂のロットを代えてみる。

(5) 測定回数

材料の質量が表-8に示す範囲にあったものについて、5個の流下時間の測定値を求める。そして、その平均値を0.1秒まで算出する。

(6) キャリブレーションの適合性評価

流下時間の測定値の平均値が、表-8に示す範囲の場合、その漏斗は高流動コンクリート用漏斗として適合していると判定する。なお、表-8のキャリブレーションにおける質量と流下時間の範囲については、本研究で実施した測定値がすべて含まれるように設定した。今後の

データの収集により、修正されることは考えられる。

9. あとがき

高流動コンクリート用漏斗として、V漏斗、O漏斗およびS漏斗を用いた3種類の高流動コンクリートの流下時間の相互関係を求めた。また、V漏斗とO漏斗について豊浦産の旧標準砂を材料に用いたキャリブレーションの結果を報告した。

本実験の範囲において次のことがいえる。

- 1) V漏斗とO漏斗に添え枠を設置して、その内容量が5ℓと10ℓについて、豊浦産の旧標準砂を材料に用いてキャリブレーションを行ったが、5種類のロットの旧標準砂間における流下時間と漏斗内を流下した材料の質量のばらつきは小さい。ただ、V漏斗とO漏斗の製作ロット間の相違は、5ℓの添え枠よりも10ℓのものを用いた方が著しくなる。
- 2) 漏斗の製作ロット間の相違は、旧標準砂の流下質量よりも流下時間の方が著しくなる。
- 3) 3種類の高流動コンクリートの流下時間をV漏斗、O漏斗およびS漏斗で測定したが、いずれの漏斗においても、漏斗内部を水で湿した直後に求めるとモルタルが付着した状態で求めた場合よりも大きく、粘性が高いほどその差が大きい。2回目以降の測定では一定のモルタルが付着しているため、高流動コンクリートの種類にかかわらず変動は小さい。
- 4) 漏斗のロットが異なる場合の高流動コンクリートの流下時間と旧標準砂の流下時間は、必ずしも対応するものではなかった。
- 5) 作業の容易さを考慮して、容量が5ℓの添え枠を設置するV漏斗とO漏斗の豊浦産の旧標準砂によるキャリブレーションの方法を提案した。

謝辞： 本研究は、科学研究費補助金（基盤研究(B)(1)課題番号11555115）により実施したものである。研究の実施に際しては、清水建設㈱技術研究所 栗田守朗氏、㈱大林組技術研究所 近松竜一氏、中村博之氏、全国生コンクリート工業組合連合会中央技術研究所 伊藤康司氏はじめ各研究所の研究員の方々に多大なご援助を頂いた。厚くお礼申し上げる。

参考文献

- 1) 辻幸和, 河井徹, 十河茂幸, 鈴木一雄: グラウト用漏斗型試験器具のキャリブレーション, 第54回セメント技術大会講演要旨2000, pp.36-37, 2000.

(2001. 4. 25 受付)

A FUNDAMENTAL STUDY ON CALIBRATION METHOD FOR V TYPE AND O TYPE FUNNEL

Yukikazu TSUJI, Shigeyuki SOGO, Toru KAWAI
and Kazuo SUZUKI

This paper has been conducted to develop calibration method for funnel type flowing test apparatus for self-compacting concrete. A standard sand produced at Toyoura has been selected after carrying out selection tests of standard material for calibration. Variations due to production and types of the V type and O type testing apparatus, and selection lots of standard sand were obtained. Variation due to production of the apparatus are larger than selection lots of the standard sand. Three types of self-compacting concrete were produced to measuring flowing time by the use of O type, V type and S type testing apparatus. A calibration method was proposed for funnel type flowing test apparatus.