

[17] まだ固まらないコンクリートの調合量測定装置

正会員 大岸 佐吉 (名古屋工業大学)

正会員 棚橋 勇 (名古屋工業大学)

正会員 松尾 忠 (佐藤工業 中央技術研究所)

正会員 ○田村 公一 (佐藤工業 中央技術研究所)

1. 序

コンクリートは経済的に施工し得る作業性を持ち、構造上要求される品質を満たすことが重要である。しかし、まだ固まらないコンクリートは、調合や運搬過程及び打設方法によってその品質は変動し、施工性や硬化後の強度特性等に影響を与えることが知られている。現在、まだ固まらないコンクリートの品質の変動を簡便に確認する方法として、(1)まだ固まらないコンクリートの洗い分析試験(JIS A 1112)に加え、(2)コンクリート品質の早期判定方法規準(案)等がある。¹⁾(1)はコンクリート構成材料のうち、細・粗骨材量を測定しセメント量、水量を求めるものであるが、測定に時間がかかるとともに骨材に含まれる微粒分量を明らかにできない。また、(2)に示される多くの方法は、セメント量、水セメント比を求めるもの(JCI-1, 6, 7, 8, 10, 11, 13)あるいは硬化後の強度を求めるもの(JCI-3, 4, 5)である。種々の条件下において発生するまだ固まらないコンクリートの品質の変動を把握し、諸性質への影響を判断するためには、コンクリートの構成材料のすべてを正確に知る必要がある。

本研究では、コンクリートの品質向上と施工の合理化を目指す立場から、まだ固まらないコンクリートの状態で、その構成材料(セメント、水、粗骨材、細骨材及びそれに含まれる微粒分)のすべてを簡易、迅速、高精度に、個々に分離抽出が可能な調合量測定装置の開発を目的とした。文献2)に示された方法に基づき装置を試作し、ガラス粒を骨材としたコンクリートで精度の検定を、流動化コンクリートで現場への適用性を検討、考察した。

2. 測定装置の構造

本装置は、試料の洗滌分離部と計量部の二系統から構成されている。(写真-1, 図-1参照)

2.1 試料の洗滌分離部

2種類のフルイ(直径25cm, 高さ15cm, ④上部粗骨材用; 網目5mm, ⑤下部細骨材用; 網目0.074mm)が、円筒容器(直径30cm, 高さ45cm)に固定される。④, ⑤のフルイと円筒接触面には、漏水を防ぐため硬質ゴム製Oリングが施してある。洗滌水は、円筒容器カバーに取り付けられたノズルから噴射される。円筒容器の反転攪拌は、100回/分, 60%回であり、使用モーターは、40W, 100V, 50/60Hz, 0.8A, 10uF, 1300/1500rpmである。

フルイ⑤の目づまりを防ぎ、セメントスラリーの流下を容易にするため、フルイ⑤上面に硬質ゴム製ブレードのついた固定棒(水が噴射する穴がある。)が設けられている。また、フルイ網は交換が簡単な固定方法である。

水、塩水の貯留及び排水は、円筒容器底部に設けられた自動ボール弁の開閉により行う。洗滌水とセメントスラリーは、円筒容器下部に備えつけられた回収タンク④(容積30ℓ)内に貯留される。タンク④上部には、凝集剤投入口、攪拌機、下部には、上澄水排水用バルブと取りはずし可能なセメントスラリー抽

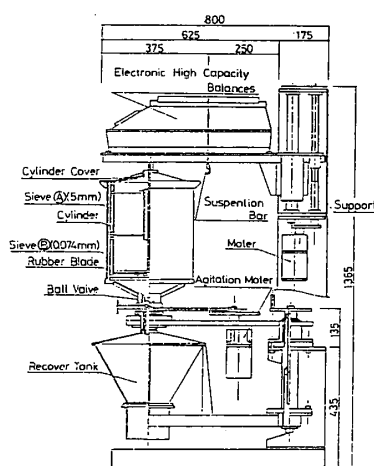


図-1 調合量測定装置構造図

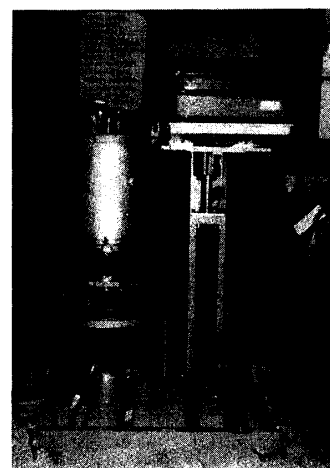


写真-1 調合量測定装置全容

出用タンク⑩（容積 2 ℓ）が装備されている。

2.2 計量部

計量に使用する天秤は、秤量 30 kg、感量 0.1 gr の電子上皿天秤である。この天秤には、フルイ懸垂装置及び防風用ケースが取り付けられている。洗滌水の噴射注水、自動反転攪拌、天秤の昇降、ボール弁の開閉及び攪拌機等はすべて自動操作である。

3. 測定概要と方法

3.1 測定概要

円筒容器内のフルイ④上へ、一定量（2～5 ℓ）のコンクリート試料を入れ、水を噴射しながら円筒容器を自動反転攪拌することにより、2種類のフルイを介して細・粗骨材及びセメントスラリーに分類する。それらの測定方法を、以下に示した。

3.2 測定方法

A. 試料の採取；「JIS A 1115 まだ固まらないコンクリートの試料採取方法」に準じて、試験 1 回分の試料として 2～5 ℓを採取し、容積 V_0 (cm³)、空中重量 W_0 (gr)、を測定する。

B. 試料の洗滌分離；試料をフルイ④上へ入れ、円筒容器のカバーを取り付ける。洗滌水重量 W_{w0} (gr) の計量後、噴射注水、自動反転攪拌を約 3 分間行うことにより、試料は洗滌分離されフルイ④には粗骨材 G、フルイ⑩には細骨材 S、タンク④にはセメント C、骨材の微粒分 S' 及び有効水 W（洗滌水を含む）が貯留される。円筒容器を天秤の下へ移動するために、タンク④を取りはずす。

C. 細・粗骨材の絶対容積、空中重量、表面水量；フルイ④、⑩を天秤に懸垂し、細・粗骨材及び表面水の空中重量 W_{a+wa} (gr) を計量する。フルイ④、⑩を円筒容器にリセットし、基線まで注水して 10 秒間自動反転攪拌しながら、骨材中に含まれる空気を追い出す。細・粗骨材の水中重量 W_{s_w} (gr)、 W_{G_w} (gr) をそれぞれ計量する。ボール弁を開き、排水を行う。次に、粗骨材を取り出し表面水をウェスで拭き取り、表乾重量 W_G (gr) を測定する。粗骨材の容積 V_G (cm³) は、水の比重を ρ_w とすると式(1)で求められる。

$$V_G = (W_G - W_{G_w}) / \rho_w \quad \text{..... (1)}$$

フルイ⑩を円筒容器にリセットし、円筒容器を自動反転させながら塩水を流下させ、細骨材表面の水を洗い流す（約 10 秒間）。ボール弁を閉じ基線まで塩水を入れ、10 秒間自動反転攪拌しながら空気を追い出し、細骨材の塩水中重量 W_{s_N} (gr) を計量する。塩水の比重を ρ_N とすると、細骨材の絶対容積 V_s (cm³)、表乾空中重量 W_s (gr) は式(2)、(3)で求められる。また、細骨材の比重 ρ_s は式(4)、骨材の表面水重量 W_{w1} (gr) は式(5)で求まる。

$$V_s = (W_{s_w} - W_{s_N}) / (\rho_N - \rho_w) \quad \text{..... (2)} \quad W_s = W_{s_w} + \rho_w \cdot V_s \quad \text{..... (3)}$$

$$\rho_s = W_s / V_s \quad \text{..... (4)} \quad W_{w1} = W_{a+wa} - (W_G + W_s) \quad \text{..... (5)}$$

D. セメントスラリー；セメントスラリーに凝集剤（ポリアクリルアミド系）を約 25 cc 投入し、5 秒間攪拌し約 1 分間静置することによりセメントと微粒分をタンク⑩に沈殿させる。タンク④を天秤に懸垂し、洗滌水を含むセメントスラリーの重量 W_{w2} (gr) を計量する。次に、上澄水を排水後タンク⑩を取りはずし、以下の方法でセメント及び微粒分の容積、重量を測定する。抽出したセメントスラリーの容積 V_1 (cm³)（既知）、空中重量 W_1 (gr) を計量する。次に、セメントスラリーをガスバーナで加熱乾燥し、その乾燥重量 W_2 (gr) を測定する。その容積 V_2 (cm³) は式(6)で求まる。また、セメントの比重を ρ_c とすると、セメント容積 V_c (cm³)、重量 W_c (gr)、微粒分容積 $V_{s'}$ (cm³) 重量 $W_{s'}$ (gr) は、それぞれ(7)、(8)、(9)、(10)で求められる。

$$V_2 = V_1 - (W_1 - W_2) / \rho_w \quad \text{..... (6)} \quad V_c = (W_2 - \rho_s \cdot V_2) / (\rho_c - \rho_s) \quad \text{..... (7)}$$

$$W_c = \rho_c \cdot V_c \quad \text{..... (8)} \quad V_{s'} = V_2 - V_c \quad \text{..... (9)} \quad W_{s'} = W_2 - W_c \quad \text{..... (10)}$$

E. 試料中の水量；試料中の水量 W_w (gr) は、洗滌水量 W_{w0} (gr)、洗滌分離後の骨材の付着水重量 W_{w1} (gr) 及びセメントスラリー（洗滌水の一部を含む）重量 W_{w2} (gr) が既知となるため式(11)で求められる。

$$W_w = W_{w1} + (W_{w2} - W_{s'} - W_c) - W_{w0} \quad \text{..... (11)}$$

F. 試料中の空気量； 空気量 A (%) は、式(12)で求められる。

$$A = \{V_o - (V_g + V_s + V_s' + V_c + W_w / \rho_w)\} \times 100 / V_o \dots\dots\dots (12)$$

4. 調合量測定試験

ここで開発した「まだ固まらないコンクリートの調合量測定装置」の精度の検定と現場への適用性を検討するための実験を行った。

4.1 実験計画

A. 測定項目；単位容積重量 (kg/m^3)、単位水量 (kg/m^3)、単位セメント量 (kg/m^3)、単位細・粗骨材量 (kg/m^3)

水セメント比(%)

B. 測定機器；調合量測定装置、ワシントン型エアメータ

C. 実験方法；7種類の調合の異なるコンクリートについて、3.2に示した方法により調合量測定装置を用いて実験を行った。

1) ガラス粒を骨材としたコンクリート；装置の精度の検定を行うため、ガラス粒コンクリート 3ℓをモルタルミキサー (5ℓ)で混練した。試験は各調合につき2回行った。

2) 流動化コンクリート；現場での測定を対象として本実験と異なる目的を持って混練、搬入された流動化コンクリートを使用した。流動化コンクリートは、ベースコンクリート 80ℓを傾胴式ミキサー (100ℓ)で混練した後、10分後に流動化剤を添加したものである。試料の量は2ℓとし、測定回数は各調合につき3回とした。

D. 使用材料及び調合；本実験で使用したコンクリートの調合を表-1、2に示し、使用材料の物理的性質を表欄外に示した。

E. 実験室の環境； 温度 18～22℃、湿度 60～75%

4.2 実験結果と考察

ガラス粒コンクリート及び流動化コンクリートについて、測定結果をそれぞれ表-3、4に示した。

A. 精度の検定；表-3の結果より、ガラス粒コンクリートの構成材料の調合値に対する測定誤差は、単位セメント量で±0.6%、ガラス粒については、粒径 5～0.088mm で±0.9%、粒径 25～5mm で±0.4%の範囲であった。水セメント比の誤差は、±0.7%の範囲であった。

尚、試料の量が測定値に及ぼす影響を確認するため、ガラス粒コンクリートを2、3及び5ℓ混練し、調合量を測定した。その結果、試料の量の大小による調合量への影響は、明確に認められなかった。

B. 現場への適用性；1) 誤差；図-2～5の結果から、単位水量、単位セメント量、単位細・粗骨材量の調合値に対する測定値の誤差は、それぞれ±2.7%、±2.0%、±1.7%、±1.6%の範囲である。空気量は最大1.5%減少している。水セメント比については、±1.0%の誤差であった。これらの誤差は、いずれもガラス粒コンクリートの場合よりも大きくなっている。その原因は、サンプリングの影響と考えられる。

2) 作業性及び所要時間；噴射注水、反転攪拌が自動操作で行われるため、コンクリート試料を細・粗骨材及

表-1 ガラス粒コンクリートの調合表

Mix No.	Water cement ratio W/C (%)	Volume mix (l/m ³)				Weight mix (kg/m ³)			Air (%)	Air/AE cement ratio (%)
		Water	Cement	G.B.1	G.B.2	Cement	G.B.1	G.B.2		
1	48	186	123	287	364	389	712	903	4.0	0.017
2	52	185	113	302	360	357	749	893	4.0	0.019
3	57	184	102	320	354	322	794	878	4.0	0.021

*1 Ordinary portland cement $\rho=3.16(\text{gr}/\text{cm}^3)$

*2 G.B.1 ; Glass beads $\phi 0.088\text{mm} \sim \phi 5\text{mm}, \rho=2.48(\text{gr}/\text{cm}^3)$

*3 G.B.2 ; Glass beads $\phi 5\text{mm} \sim \phi 25\text{mm}, \rho=2.48(\text{gr}/\text{cm}^3)$

*4 AE ; Air-entraining Agent

表-2 流動化コンクリートの調合表

Mix No.	Water cement ratio W/C (%)	Slump SL (cm)	Volume mix (l/m ³)				Weight mix (kg/m ³)			Air (%)	AE/AE cement ratio (%)	SP/SP cement ratio (%)
			Water	Cement	Sand	Gravel	Cement	Sand	Gravel			
1	48	11	177	116	293	374	368	755	977	4.0	0.017	0.4
2	48	15	184	122	287	367	385	740	957	4.0	0.017	0.4
3	57	11	174	97	326	363	307	840	947	4.0	0.021	0.4
4	57	15	183	101	320	356	320	825	930	4.0	0.021	0.4

*1 Ordinary portland cement $\rho=3.16(\text{gr}/\text{cm}^3)$

*2 Fine aggregate ; Kiso river, $\text{FM}=2.68, \rho=2.58(\text{gr}/\text{cm}^3)$

*3 Coarse aggregate ; Kiso river, $\text{FM}=6.84, \rho=2.61(\text{gr}/\text{cm}^3)$

*4 AE ; Air-entraining Agent

*5 SP ; Super plasticizer

表-3 実験結果 (精度の検定)

Mix No.	Water cement ratio W/C (%)	Volume mix (l/m ³)				Weight mix (kg/m ³)			Air (%)
		Water	Cement	G.B.1	G.B.2	Cement	G.B.1	G.B.2	
1	48.7	189	123	286	363	388	709	900	3.9
	47.6	185	123	287	363	389	712	901	4.2
2	51.7	185	113	301	360	358	746	893	4.1
	52.7	187	112	302	359	355	749	891	4.0
3	56.5	182	102	318	354	322	789	879	4.4
	57.3	184	102	323	353	321	801	875	3.8

表-4 実験結果 (現場への適用性)

Mix No.	Water cement ratio W/C (%)	Volume mix (l/m ³)				Weight mix (kg/m ³)			Air (%)
		Water	Cement	Sand	Gravel	Cement	Sand	Gravel	
1	47.9	179	118	298	380	374	768	993	2.5
	49.6	180	115	294	373	363	759	974	3.8
	47.9	179	118	297	380	374	767	992	2.6
2	48.3	190	124	283	365	393	730	953	3.8
	47.8	187	124	291	372	391	752	972	2.6
	48.7	188	122	291	369	386	751	963	3.0
3	58.1	180	98	328	364	310	846	951	3.0
	55.7	176	100	330	369	316	851	963	2.5
	57.0	179	99	321	361	314	828	942	4.0
4	56.8	184	103	324	361	324	835	942	2.8
	57.0	183	102	321	357	321	827	931	3.7
	57.3	181	100	321	358	316	828	934	4.0

びセメントスラリーに分離することは非常に容易であり、所要時間は約3分である。

計量は、自動操作による電子天秤の使用により短時間かつ高精度である。粗骨材量及び細骨材量の測定は並行して行うため、所要時間は15分以内である。また、セメントスラリーを乾燥し、セメント量、微粒分量、水量を求めるのに約20分必要である。これらの作業は2人で並行して行えるため、所要時間は約20分以内である。

以上より、本装置を使用した調合量測定試験を行った結果は、特殊な技術、経験を必要とせず、一連の作業を30分以内で行うことができ、十分な精度が得られた。

本実験において、試験1回の洗滌水使用量は約30ℓであり、凝集剤は20～25ccで充分であった。尚、15回の試験で0.074

mm網のランニングコストは、100円未満である。

5. 結 言

ここに開発した「まだ固まらないコンクリートの調合量測定装置」は、現場におけるコンクリートの品質管理に充分活用できるものである。

- 1) 本装置は、まだ固まらないコンクリートの構成材料を個々に分離抽出し、高精度に求めることができる。
- 2) 調合量測定試験に際しては、サンプリングによる調合値への影響を小さくするため、均質な試料を採取するよう注意することが必要である。
- 3) 本調合量測定装置は、その測定にあたり特殊な技術、経験を必要とせず、一連の作業を30分以内で行うことができる。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、中部工業大学の小野博宣氏をはじめ、名古屋工業大学学生の山下明男君らの協力を得ました。ここに謹んで謝意を表します。

参考文献

- 1) コンクリート品質の早期判定法委員会；コンクリート品質の早期判定方法規準案について、コンクリート工学，Vol. 19, No. 10, No. 12, 1981, Vol. 20, No. 1, No. 7, 1982
- 2) 棚橋勇；まだ固まらないコンクリートの調合量の測定方法，コンクリート品質の早期判定に関するシンポジウム，日本コンクリート工学協会，1979，p.p 37～40

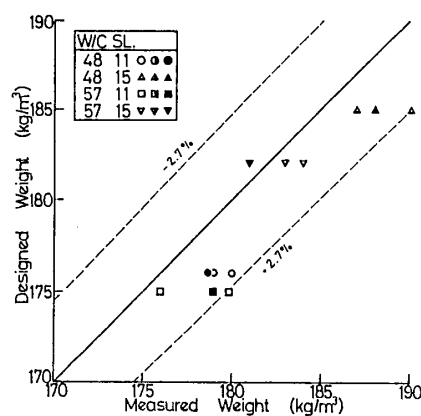


図-2 調合値と測定値の比較
(単位水量)

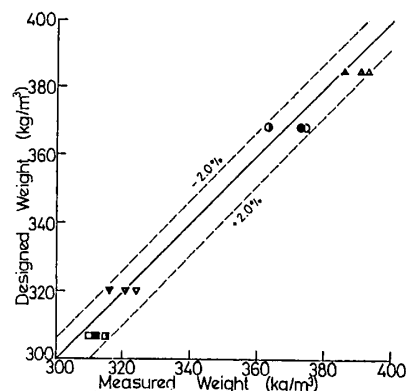


図-3 調合値と測定値の比較
(単位セメント量)

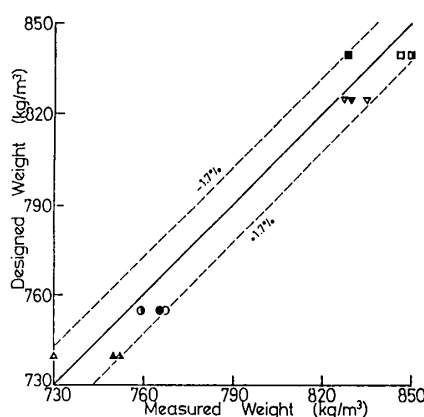


図-4 調合値と測定値の比較
(単位粗骨材量)

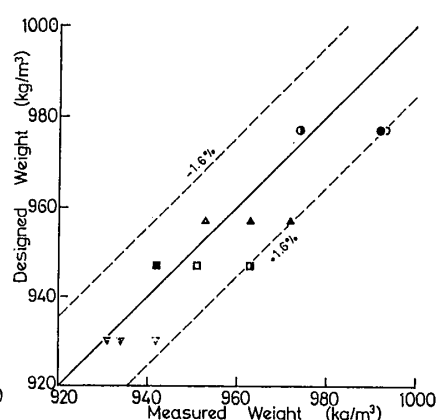


図-5 調合値と測定値の比較
(単位粗骨材量)