

土木研究所資料

コンクリートの品質管理に関する 調査試験報告書(2)

—コンクリート品質の早期判定マニュアル(案)—

平成3年3月

建設省土木研究所
地質化学部コンクリート研究室

Copyright © 1991 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

コンクリートの品質管理に関する 調査試験報告書（2）

— コンクリート品質の早期判定マニュアル（案） —

地質化学部コンクリート研究室 室長 河野 広隆
研究員 森濱 和正
研究員 高橋 弘人

要旨

本報告書は、コンクリート工事の現場で簡易に精度よくコンクリート品質を判定する手法を確立することを目的に行った単位水量の迅速判定試験等の種々の判定試験方法の比較実験および現地実験の結果を取りまとめたものである。また、これらの結果をもとに、実際の工事に適用する際の資料となるよう、コンクリート品質の早期判定マニュアル（案）を取りまとめた。

キーワード：コンクリートの品質・品質管理・早期判定・迅速試験・試験方法・早期判定マニュアル

ま え が き

コンクリートは建設分野で最も基本的な材料のひとつであり、その品質管理は建設工事の重要な工程のひとつである。一般にはその品質は施工から28日後の圧縮強度で代表していることから、実際の工事で打ち込まれたコンクリートが所要の品質を有しているかどうかは相当の日数を経過しなければ判明しない現状にある。このため、仮に打ち込まれたコンクリートが所要の品質を満足しなかった場合でも、通常の品質管理試験の結果を待っていては根本的に対応することは困難になる。

コンクリート品質の早期判定試験は、所要の材令で到達する硬化コンクリートの品質をできるだけ早期に判定しようとするものであり、特に近年のコンクリート工事の迅速化や大規模化からも早期判定試験適用の必要性は高まってきているといえる。

本報告書は、工事の現場で簡易に精度よくコンクリート品質を判定する手法を確立することを目的に行った一連の実験結果をとりまとめ、実際に工事現場で判定試験を行う際の手引きとなるよう判定試験方法をマニュアル（案）として作成したものである。

なお、本報告書では、フレッシュコンクリートの組成を分析することで間接的に強度等の所要の品質を求める試験方法の中から現場で試験を実施する際の迅速性、簡易さ、判定精度、経費などの条件をもとにして選定した方法とあわせて、当研究室で検討した新たな試験方法を取り上げている。しかし、この分野の研究開発は盛んであるため、本報告書で取り上げていない試験方法であっても、それを適用することでコンクリートの品質管理、検査の合理化が図れるものであれば積極的に取り入れていくことが重要であると考えている。

目 次

まえがき

第1編 コンクリート品質の早期判定試験法の検討

1章 調査の目的	3
2章 土木研究所で実施した品質の早期判定試験結果	6
2.1 種々の品質の早期判定方法に関する比較実験	6
2.2 単位水量の迅速判定方法に関する実験	16
2.3 現地実験	24

第2編 コンクリート品質の早期判定マニュアル（案）

1章 適用の範囲	33
2章 早期判定の目的	34
3章 試験方法の種類と選定	35
4章 試験の実施	37
5章 試験結果の評価と判定	39

〈付属書〉コンクリート品質の早期判定試験方法

付属書1. 単位セメント量の判定方法	43
1) 塩酸溶解熱法	43
2) 比重計法	46
付属書2. 単位水量の判定方法	51
1) 大型加熱乾燥法－簡易法－	51
2) 大型加熱乾燥法－詳細法－	53
3) コンクリートの気中及び水中重量の差による方法	59
4) 空気量試験を利用する方法	62
付属書3. 水セメント比の判定方法	65
1) 振動の粘性減衰による方法	65
2) 塩酸溶解熱法とモルタルの絶対容積の差による方法を組み合わせた方法	68
3) 比重計法とモルタルの絶対容積の差による方法を組み合わせた方法	72

第1編 コンクリート品質の早期判定試験法の検討

1 章 調査の目的

コンクリート構造物は、コンクリートの製造・運搬・打設・養生・検査の一連の過程を経て造られている。ここで、運搬されてきたコンクリートが所要の品質を有しているかどうかの検査方法としては、現在のところ打ち込み現場では、スランブ試験、空気量試験、塩化物量試験が行われ、さらにコンクリートの品質を代表するものとして施工から28日後に圧縮強度試験を行って判断している。

このことから、打ち込み直前のコンクリートに対する品質管理試験を行い、その結果を速やかに次の工事に反映できる試験方法が求められており、できればスランブ試験のように現場で短時間に結果が判明する試験方法を確立することが必要となっている。

したがって本調査では、早期にコンクリート品質を判定する手法のうちで、他の方法に比較して短時間に結果が判明する、フレッシュコンクリートの配合分析による品質管理を行い、これによって異常な配合のコンクリートの打ち込みを防止できる試験方法を確立することを目的とした。

ここで、フレッシュコンクリートの配合を分析する手法の検討において配合が相違する主な要因とその影響程度を予測し、これから早期判定試験に要求される判定精度をまとめると表-1のようである。このことから、意図するしないに関わらずコンクリートの配合は変化しうるものであり、早期判定試験に求められる判定精度は、単位水量では最低でも $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ 未満、できればスランブ試験の結果に影響する範囲内の $\pm 2 \text{ kg/m}^3$ 以内で判定できることが望ましい。単位セメント量は、計量誤差の許容範囲である $\pm 1\%$ ($2 \sim 4 \text{ kg/m}^3$ 程度) 以内で判定できればよい。また、水セメント比は $\pm 1.5\%$ 以内の精度が必要といえる。

次に、コンクリートの配合、特に単位水量が変動したときに他の材料の単位量の変動する程度を試算したのが表-2である。この試算から、骨材の計量誤差が許容範囲以内であっても、セメント量および水量の単位量は計量誤差以上の変動となり、また、細骨材の表面水率が 0.5% 程度大きい場合にはセメント量および骨材量は計量誤差の許容範囲内であっても単位水量は計量誤差以上の変動となる。このため、早期判定試験では前述の精度内で判定できればよいといえる。

表-1 コンクリート配合が相違する主な原因と早期判定試験に要求される精度

配合が相違する要因	現場で検査できる項目	配合の変動程度と要求される判定精度	配合の相違による影響の度合
(1) 製造に関わる要因 a 使用材料の違い	スランプ、空気量、目視観察（色調など）	レミコンクリートの呼び強度は15kg/cm ² 間隔で設定されている。これは、水セメント比にして±1.5%程度、単位水量にして±5kg/m ³ 程度に相当する。	土木工事で使うコンクリートは、スランプ：8, 10cm、呼び強度：180, 210, 240kg/cm ² のことが多い。このため、使用材料、強度等が異なるものが投入された場合は影響が大きい。
b 計量器の整備不良 技術者の未習熟	スランプ、空気量	同上	同上
c 計量誤差	スランプ、空気量	JIS A 5308「レミコンクリート」で許容される計量誤差は、水1.0%、セメント1.0%、骨材3.0%、混和材2.0%、混和剤3.0%である。	JISの許容範囲内なら影響は比較的少ない。
d 骨材の品質変化	スランプ	角ばった骨材ほど、また、細粒分が多くなるほど同一スランプを得る単位水量は大きくする必要がある。 細骨材の比重が±0.01変化すると表面水率は±0.25%、単位水量にして±2kg/m ³ 程度変化する。	骨材の管理、細骨材の比重・表面水率をきめ細かく管理していれば影響は少ない。
(2) 運搬に関わる要因 a 配送の違い	スランプ、空気量、目視観察（色調、骨材など）	(1)-aに同じ。	(1)-aに同じ。
b 洗浄水の残留	スランプ	運搬されるコンクリートに対して、2kg/m ² 程度の残留水の場合、スランプは1cm増加。	残留水の量によっては影響有り。
(3) スランプ調整のための水の添加		スランプを1cm増やすために、約2kg/m ² の水を添加。	同上
(4) 上記の組合せ		耐久性から水セメント比を決める場合、必要な水セメント比が得られる最も低い呼び強度のレミコンを発注するが、設定する水セメント比は安全をみて必要な水セメント比より2～3%小さい値とする。 このため、単位水量で5kg/m ³ 程度の精度が必要。	

表-2 各材料の量が変化したときの配合の変動程度の試算

変 動 要 因	W/C (%)	s / a (%)	空気量 (%)	単 位 量 (kg/m³)			
				C	W	S	G
—————	50.0	44.0	4.0	320.0	160.0	805.5	1044.7
水 量：1%増	50.6	44.0	4.0	319.6	161.6	804.1	1043.1
：2kg/m³増	50.7	44.0	4.0	319.4	162.0	803.9	1042.6
：5kg/m³増	51.6	44.0	4.0	318.2	165.0	800.6	1038.6
細骨材表面水率：1%増	52.5	43.8	4.0	318.5	167.2	793.5	1039.5
：0.5%増	51.2	43.9	4.0	319.3	163.6	799.5	1042.1
セメント量：1%増	49.4	44.0	4.0	323.2	159.8	804.6	1043.5
：1%減	51.0	44.0	4.0	316.8	160.8	809.3	1049.6
細骨材量：3%増	50.0	45.1	3.9	315.8	157.9	829.7	1030.8
：3%減	50.0	42.9	4.1	324.3	162.1	781.3	1058.6
粗骨材量：3%増	50.0	42.8	3.9	313.8	156.9	790.0	1076.0
：3%減	50.0	45.2	4.1	326.2	163.1	821.0	1013.4

*) $\rho_c=3.16$, $\rho_s=2.62$, $\rho_g=2.67$

2 章 土木研究所で実施した品質の早期判定試験結果

2.1 種々の品質の早期判定方法に関する比較実験¹⁾

1) 目的

大規模構造物の施工にあたっては、施工の迅速化が要求されているほか、水中コンクリートやマスコンクリートなど特殊な工事も多い。健全な構造物をつくるうえで、コンクリートが所要の品質や施工性を有していることは構造物の強度や耐久性を確保するために必要不可欠なことであり、コンクリート品質に対する社会的関心が高い折からも大規模工事に適した簡易かつ実用的な品質管理の方法が望まれている。

本実験はコンクリート品質の早期検査手法の確立を目的として、硬化後のコンクリート品質に影響を与えるフレッシュコンクリートの特性値を分析する方法について調査・比較を行った。試験方法は従来から知られている方法に加えて、当研究室で新たに工夫したフレッシュコンクリートの気中重量と水中重量を測定することでコンクリート中の水量を判定する方法を用いた。

2) 今回の試験で用いた判定方法

今回用いた判定方法は、現場での判定試験を考慮して、試験用器具が比較的簡易でその取り扱いに熟練を必要としない方法を用いることとした。

(1) 単位セメント量の判定

単位セメント量の測定には比重計法を用いた。この方法はモルタル試料を一定量の水で希釈して懸濁状態とした後、この懸濁液の比重を比重浮ひょうを用いて測定し、セメント量は比重の測定値と比例関係にあるとして求めるものである。試験手順は付属書の記載に従った。

(2) 単位水量の判定

単位水量の測定は、高周波誘電加熱装置（東芝製「マイクロ波水分計 THM-5501」）を用いたマイクロ波法および大型加熱乾燥炉装置（東横エルメス製「大型水分計」）を用いた乾燥炉法によった。マイクロ波法はウェットスクリーニングしたモルタルを、乾燥炉法は直接コンクリートをそれぞれ加熱乾燥させ、乾燥前後の重量差を骨材中の吸水分で補正することで単位水量を求めるものである。マイクロ波法と乾燥炉法による含水率と単位水量の計算は以下の式による。

$$\text{含水率} = (M_0 - M_1) / M_1 \times 100 \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$(\text{マイクロ波法}) \text{ 単位水量} = M_M \times (M_0 - M_1 - S_0 \times q / 100) / M_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$(\text{乾燥炉法}) \text{ 単位水量} = M_c \times (M_0 - M_1 - S_0 \times q / 100 - G_0 \times p / 100) / M_0 \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 M_0 ：試料重量 (kg)

M_1 ：乾燥後の試料重量 (kg)

M_M ：配合表から求めたコンクリート 1 m³中のモルタル量 (kg)

S_0 ：試料中の絶乾細骨材量 (kg)

q : 細骨材の吸水率 (%)

M_c : コンクリートの単位容積重量 (kg/m^3)

G_o : 試料中の絶乾粗骨材量 (kg)

p : 粗骨材の吸水率 (%)

また、ウェットスクリーニングモルタルの気中重量と水中重量の差から求めるモルタル重量法（島津製作所製「W/Cメーター1A」を使用）²⁾、モルタルの絶対容積の差による容積法、コンクリートを直接試料として気中重量と水中重量から求めるコンクリート重量法で試験を行った。このうちモルタル重量法、容積法、コンクリート重量法は原理的には適用範囲の規制はないが、コンクリート重量法はフレッシュコンクリートをウェットスクリーニングすることなく試験を行える利点がある。

モルタル重量法はモルタル試料を試験者が容器に入れて試験機にセットすることで、試料の気中重量の測定、容器への注水、攪はん羽根が回転して試料中の気泡の追い出し、水中重量の測定、結果の計算の一連の作業を自動化した試験機が既に開発されている。また、容積法は細骨材の表面水率測定と同様の試験手順で行う。

今回、当研究室で新たに工夫したコンクリート重量法による水セメント比の試験は以下の手順で行う。

①試験しようとするフレッシュコンクリートから試料を約2リットル採取する、②容器に試料を入れて試料重量を測定する、③試料容器に水を加えて突き棒などで攪拌して気泡を除去する。蓋付きの容器であれば上下に振ったり、転がすなどして気泡を除去する、④3分程度静置させた後、水中重量を測定する。この際、液面の気泡を取り除きたいときはエチルアルコールを添加するとよい。試料中の水量および水セメント比の算出は以下の式による。

コンクリートの気中重量 M_o 及び水中重量 M_w は次の式であらわされる。

$$M_o = C + W + S + G \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\begin{aligned} M_w &= M_o - C/\rho_c - S/\rho_s - W/\rho_w - G/\rho_o \\ &= M_o - C/\rho_c - (M_o - C - W - G)/\rho_s - W/\rho_w - G/\rho_o \\ &= M_o(1 - 1/\rho_s) + C(1/\rho_s - 1/\rho_c) + W(1/\rho_s - 1/\rho_w) \\ &\quad + G(1/\rho_s - 1/\rho_o) \quad \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

ここに、 C 、 W 、 S 、 G : それぞれセメント量、水量、細骨材量、粗骨材量。

ρ_c 、 ρ_w 、 ρ_s 、 ρ_o : それぞれセメント、水、細骨材、粗骨材の比重。

ここで、セメント、細骨材、粗骨材の比重は既知とすると、セメント量、水量、粗骨材量のうちの2つを求めれば配合が決定できる。今回は粗骨材量は洗いだして求め、セメント量は配合表から求めた。これは一般にはコンクリートの配合では水量の変化が大きく、セメント量の変化は小さいことによる。しかし、より正確に配合を決定しようとするれば、セメント量は前述の比重計法等の方法によって直接求めるのがよい。水量及び水セメント比は(5)式を整理した(6)式、(7)式で求められる。

$$W = a M_o - b M_w + c G + d C \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$W/C = (a M_o - b M_w + c G) / C + d \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに、a、b、c、d：材料の比重から求まる定数。

$$a = (1 - 1/\rho_s) / (1/\rho_w - 1/\rho_s)$$

$$b = 1 / (1/\rho_w - 1/\rho_s)$$

$$c = (1/\rho_s - 1/\rho_o) / (1/\rho_w - 1/\rho_s)$$

$$d = (1/\rho_s - 1/\rho_c) / (1/\rho_w - 1/\rho_s)$$

モルタル重量法は(7)式のなかのGの項を除けばW/Cが求められる。容積法は(5)式中の水中重量を容積を求める式に直し、同じように展開すればW/Cが求められる。

(3) 水セメント比(W/C)の判定

水セメント比の直接測定は、フレッシュコンクリート中を伝わる振動の粘性減衰による振動法(秋父セメント製「パイプロW/CチェッカーJEM-1000型」を使用)³⁾によった。

3) 実験方法

(1) 使用材料

使用した材料は以下のとおりである。

①セメント：普通ポルトランドセメント(比重3.16)

②細骨材：富士川産川砂(比重2.62、吸水率2.07%、FM2.95)

③粗骨材：笠間産碎石(比重2.67、吸水率0.69%、FM7.04)

④混和剤：AE減水剤はポゾリスNo 8、流動化剤はポゾリスNP20Rを用いた。

(2) コンクリートの配合

コンクリートの配合は、各判定方法の適用範囲を確認するため、一般のコンクリート工事において用いられているコンクリートの大部分をカバーできる配合とした。また、流動化コンクリート4配合についても実験を行うこととし、普通コンクリート16配合とあわせて表-3に示す20配合について実験を行った。

表-3 コンクリートの配合

目標スラング (cm)		4、8、12、18
目標W/C (%)		40、50、60、70
目標空気量 (%)		4±0.5%
流動化コンクリート	ベース コンクリート	流動化後の 目標スラング
	W/C=50%, スラング 4cm	→ 12cm
	8cm	→ 18cm
	W/C=60%, スラング 4cm	→ 12cm
	8cm	→ 18cm

(3) 判定実験

判定実験はフレッシュコンクリートを直接試料にして振動法、乾燥炉法、コンクリート重量法を行い、コンクリートからウェットスクリーニングしたモルタルを試料にして比重計法、マイクロ波法、モルタル重量法、容積法による実験を行った。

実験ではコンクリートの練り置き時間の影響も調査することから、練り混ぜ直後および30、60、90、120分経過後30秒間練り直して実験を行った。

4) 実験結果

(1) 比重計法

メスシリンダー静置後1分での懸濁液の比重測定の結果から計算した単位セメント量は配合に比べて最大で $12\text{kg}/\text{m}^3$ 、平均で $5.2\text{kg}/\text{m}^3$ の誤差があった。これはこれまでの報告⁴⁾の結果とほぼ同様のばらつきで、静置後2分、3分の誤差は平均 $8.4\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $18.9\text{kg}/\text{m}^3$ と大きくなった。

比重計法によるセメント量の判定では、試料中の気泡の除去などの操作上の要因の他に比重計自体の検定や細骨材の微粒分の影響などを補正しなければならず、かなり厳密な試験と熟練が必要になると思われる。

(2) マイクロ波法

予備実験としてセメント、水、細骨材を練り混ぜたモルタル試料の実験を行った。水分の蒸発量から求めた含水率（測定含水率）と、配合単位水量と骨材の吸水率分を加えた水量（配合含水率）とはよく一致した（図-1）。

しかし、ウェットスクリーニングしたモルタルの含水率は図-2のように配合含水率よりも平均

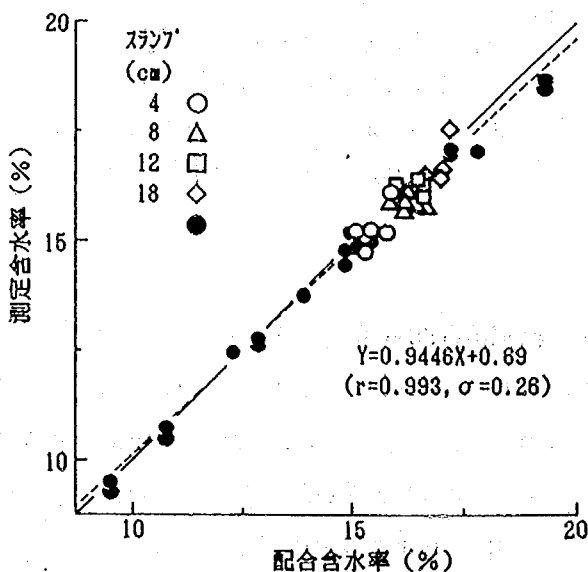


図-1 モルタルのみの含水率測定結果
(マイクロ波法)

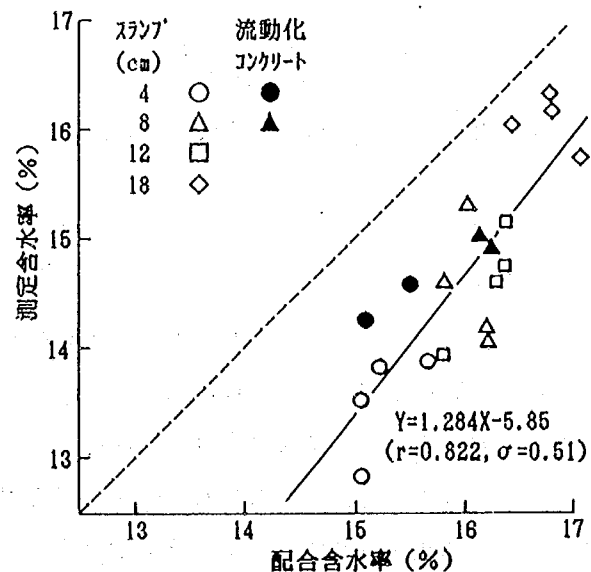


図-2 含水率測定結果
(マイクロ波法)

1.31%、単位水量にして約 $14\text{kg}/\text{m}^3$ （約8%）も小さかった。これは水和反応の進行、自然蒸発、ミキサーやウェットスクリーニング時にふりいなどに付着するためと考えられる。

(3) 容積法

はじめに、試験方法自体の測定精度を確認するために、①セメントが水和しないように水の代わりに灯油を用いて練り混ぜずに容積を測定、②容器に材料（水、セメント、細骨材）を投入しただけで練り混ぜずに容積を測定、③練り混ぜたモルタルの容積の測定、の予備実験を行った。①、②では、計算値の0.1%以内の精度で容積を測定できることがわかった。③では、水セメント比にして2%程小さかった。また、①、②では、水中重量を測定した結果0.1%以内の精度で計算値に一致していた。

つぎにウェットスクリーニングしたモルタルの水セメント比は図-3のとおり、配合値とは大きくかけはなれていた。マイクロ波法で求めた単位水量と容積法で求めた単位水量の関係は図-4のようによく一致している。両方法の精度から、ウェットスクリーニングしたモルタルの水量はかなり減少しているといえる。

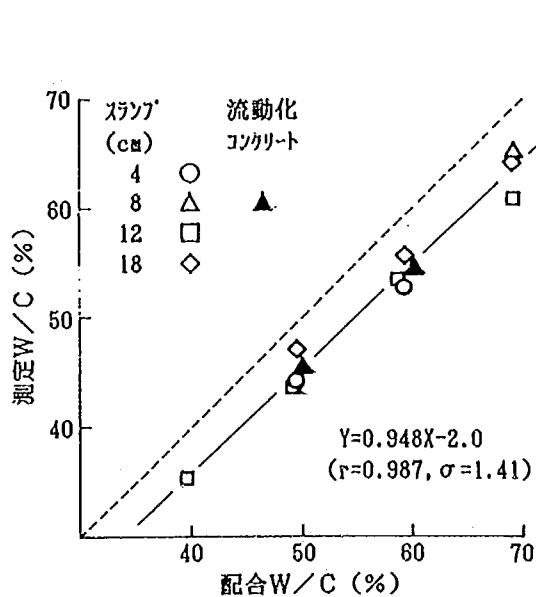


図-3 配合W/Cと測定W/Cの関係
(容積法)

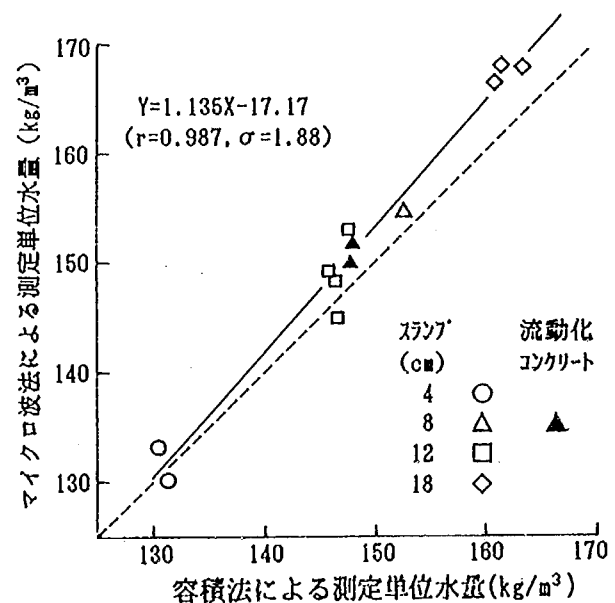


図-4 容積法とマイクロ波法による
測定単位水量の関係

(4) モルタル重量法

ウェットスクリーニングしたモルタルの水セメント比の測定値は配合値に比べて平均2.9%大きい。これは、容器中のモルタルに注水、攪はんする操作の際に容器の底と攪拌羽根の間が約8mmあいており、モルタルが完全に攪拌されていなかったことから、このモルタル分の空気量分だけ水中重量を増加させて再計算（補正W/C）した結果、配合W/Cに比べて平均0.8%大きい値となった（図-5）。しかし、容積法と比較するとモルタル重量法は補正水セメント比でもまだ平均5.6%大きくになっている（図-6）。これは、容器の底の攪拌されていない部分は丁寧に詰めているわけではないため、さらに気泡を含んでいると考えられること、攪拌部分でも気泡の除去が不十分なこと、羽根にセメント分が付着

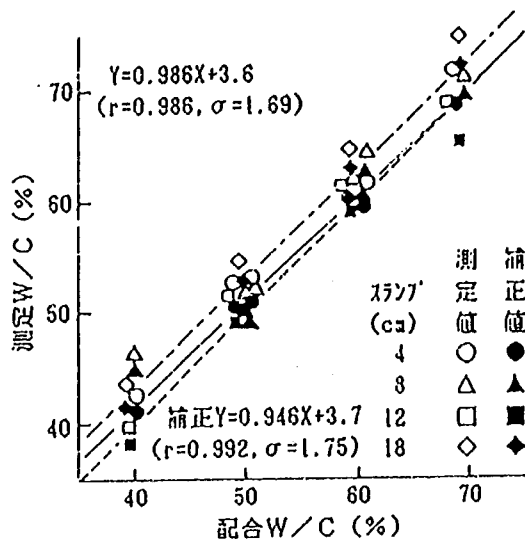


図-5 配合W/Cと測定W/Cの関係
(モルタル重量法)

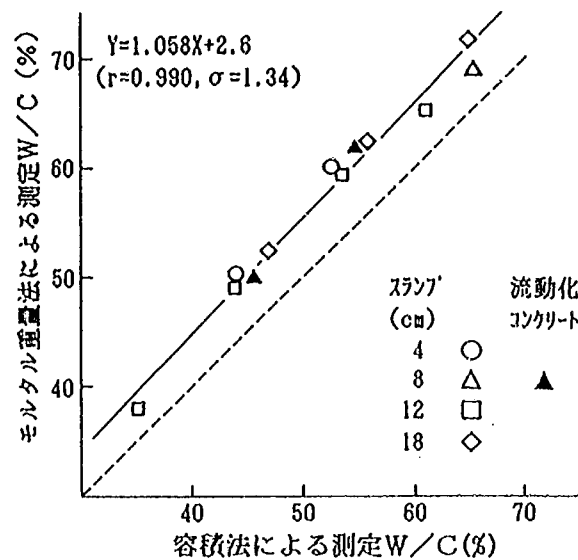


図-6 容積法とモルタル重量法による
測定W/Cの関係

すること、水中重量測定時にセメント分や細骨材の微粒分が流出することなどが原因として考えられる。

また、測定値の変動が大きかったが、これは、気中重量、水中重量の測定の際の静置する時間が短く、変動しているときの重量を測定していることと、気泡の除去が不十分なために一定の水中重量となっていないものといえる。

(5) 乾燥炉法

蒸発量から求めた水量と配合水量の関係を図-7に示す。蒸発量から求めた含水率は配合水量に比べて平均0.25% (水量で6 kg/m³) 小さい。標準偏差は0.21% (水量で4～5 kg/m³)、95%信頼限界で10kg/m³程度であり、単位水量のおおよその目安はつくといえる。

(6) コンクリート重量法

コンクリート重量法による測定値 (試験後洗いだして測定した粗骨材量を用いて計算した結果、図-8) は配合値に比べ平均0.3%程度大きくなっているが、モルタル重量法に比べてかなり小さくなっている。相関係数はモルタル重量法に比べてやや小さく測定値のばらつきがあるのは、今回の実験では気泡の除去が短時間で十分でなかったことによると考えられる。この点はモルタル重量法と同様に改善が必要であるが、フレッシュコンクリートを直接試料とすることでウェットスクリーニングによる影響なく測定できる。また、W/Cの算出式に粗骨材に関わる項が出てくるものの、試料を4 kg程度採取すれば配合表から求めた粗骨材量を用いた結果に対して、試験後洗いだして測定した粗骨材量を用いた結果はW/Cで0.2%程度小さくなるだけであり、粗骨材量はどちらを用いても大差ない。

(7) 振動法

振動法はコンクリートの配合や材料の品質がわからなくても水セメント比が測定できるのが特徴であるが、測定結果を図-9および図-10に示すとおり適用範囲の制限が大きいといえる。すなわち、水セメント比が70%以上あるいはスランプ10cm以下のコンクリートでは感應板とモルタルとにすべりが生じ

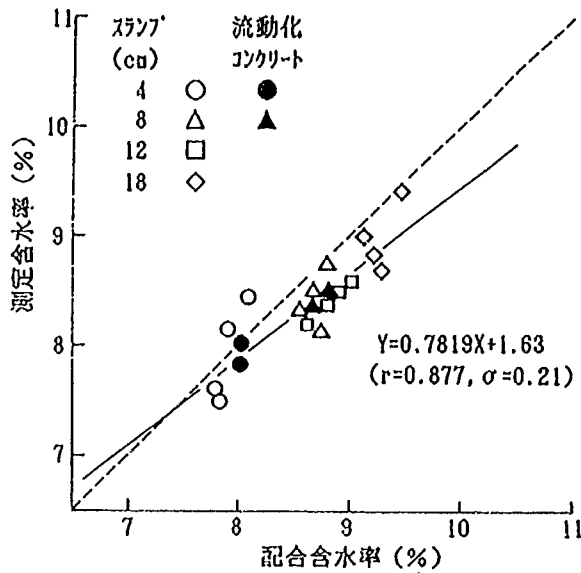


図-7 含水率測定結果(乾燥炉法)

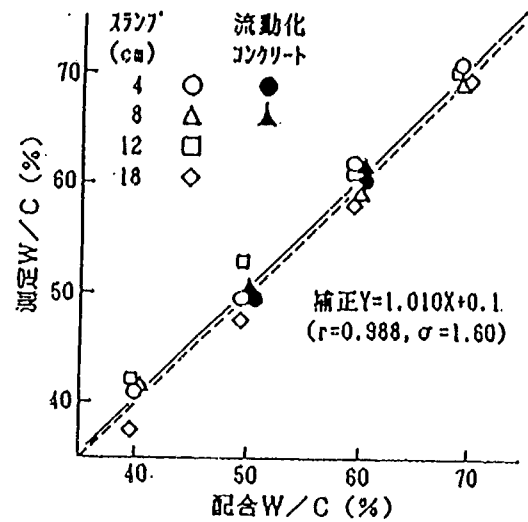
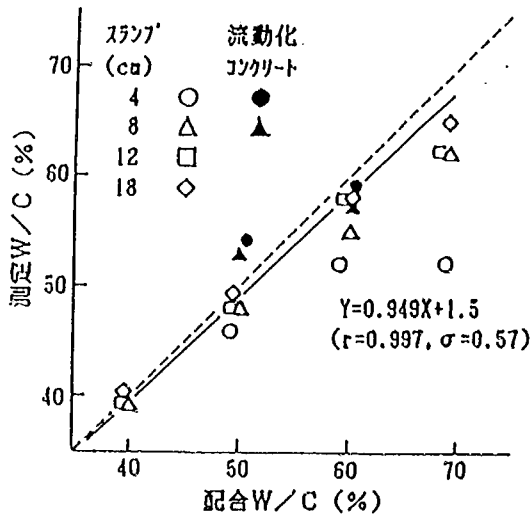


図-8 配合W/Cと測定W/Cの関係
(コンクリート重量法)



注) 回帰式はスランプ10cm以下、W/C 70%
流動化コンクリートを除いた8配合から求めた。

図-9 配合W/Cと測定W/Cの関係
(振動法)

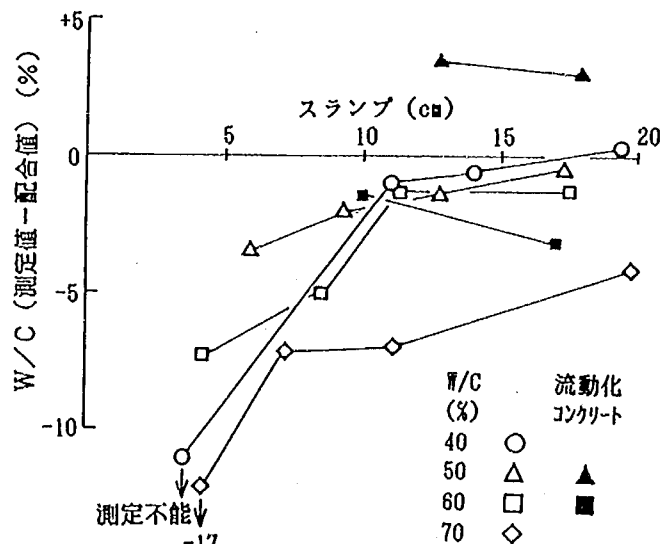


図-10 スランプと測定W/Cの関係
(振動法)

たり、モルタル分が感応板になじんでいないことなどから測定値は配合値と大きく異なっている。水セメント比が70%のコンクリートは一般には使用されることはないものの、スランプが10cm以下のコンクリートは土木用コンクリートでは多く使用されており、また流動化コンクリートへの適用も難しいことから適用範囲に注意する必要があるといえる。

(8) 練り置き時間の影響

図-11に水分の自然蒸発やセメントとの水和反応が練り置き時間にもなう測定結果に及ぼす影響をマイクロ波法、容積法、コンクリート重量法について示した。練り置き時間にもなう含水率の低下は

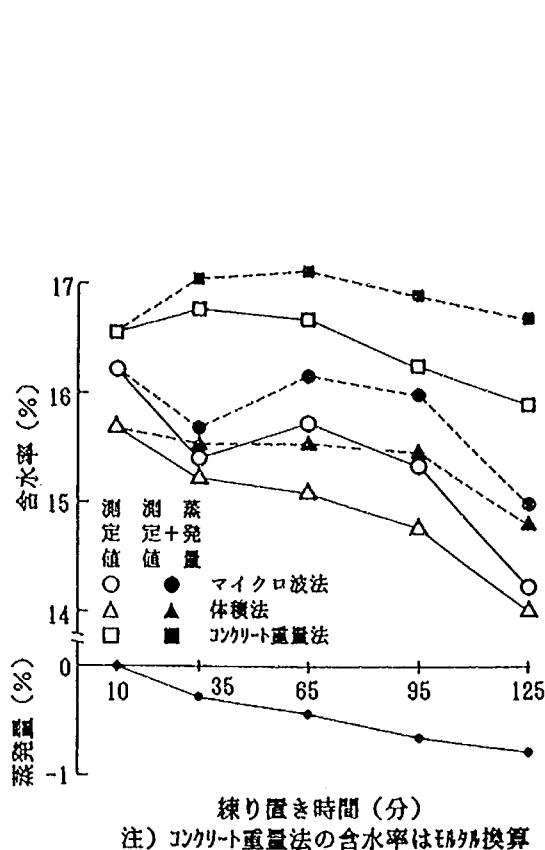


図-11 乾燥と含水率の関係

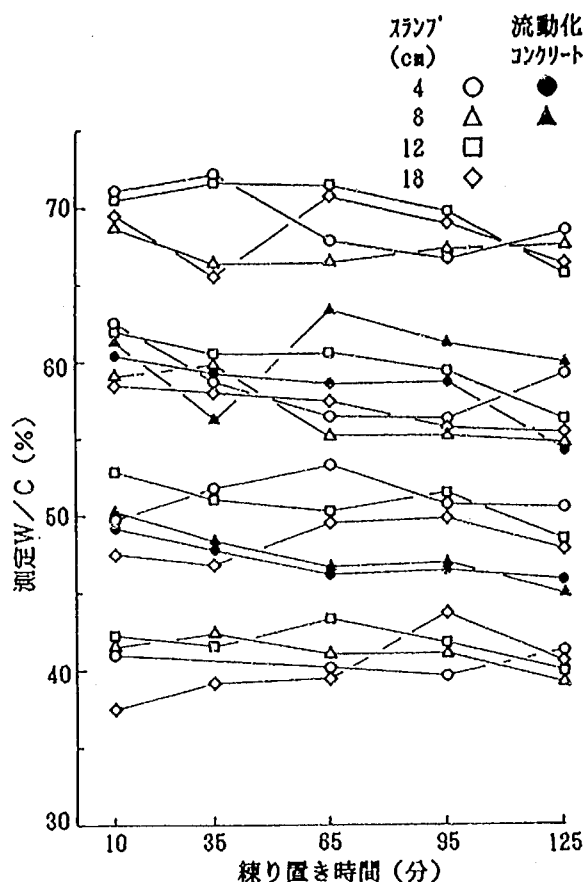


図-12 練り置き時間と測定W/Cの関係
(コンクリート重量法)

ほぼ自然蒸発の影響と考えられ、マイクロ波法、容積法ではさらにウェットスクリーニングによる水量の減少が影響していると考えられる。

練り置き時間ともなう水セメント比の測定値の変化をコンクリート重量法を例に図-12に示す。ばらつきはあるものの全体の傾向として時間経過ともなう自然蒸発の影響から測定値は低下している。他の判定方法でも時間経過ともなう測定値が低下する傾向はあったが、容積法、モルタル重量法、コンクリート重量法では水セメント比のグループごとにはほぼ直線的に低下する傾向であった。

5) まとめ

現場で簡易に精度よくコンクリート品質を判定できる方法を確立することを目的に実験を行い、その概要をまとめると表-4のようである。

- (1) ウェットスクリーニングモルタルを試料とする測定は、水量の減少が大きいことなど実際の配合からかなりかけはなれることも考えられることから注意を要する。
- (2) コンクリートを試料とする測定では、
 - ① 乾燥炉法による水量測定は、試料・容器が高温になり取り扱いに注意を要するものの、単位水量のおよその目安はつけられる。

②振動法によるW/Cの測定は、1人で短時間で測定を行うことができ、適用範囲に注意すれば精度はよいものの、適用範囲は限られることから、現状では土木用のコンクリートへの使用は難しいと考えられる。

③今回当研究室で工夫したコンクリート重量法は原理的にも実験の結果からも適用範囲の制限はなく、適当な容器があれば、水中重量が測定できる秤の他は特別な器具は必要なく、1人で15分程度で比較的精度よく水セメント比の測定ができ、気泡を完全に除去すればさらに精度の向上が図れることがわかった。

表-4 判定方法の種類と判定試験結果

	判定方法	判定試験の方法と特徴	試験結果(時間・人員・測定結果)
単位セメント量	比重計法	ウェットスクリーニングモルタルを一定量の水で希釈した懸濁液の比重を比重浮ひようで測定する。 予め懸濁液の比重からセメント量を求める検量線の作成が必要。 微粉末混和材添加のコンクリートには原則として適用できない。	試験は1人で10分程度。 今回の試験結果では、配合値に比べ最大12kg/m ³ 、平均5.2kg/m ³ の誤差があった。
単位水量	マイクロ波法	電子レンジでモルタル試料を加熱乾燥させる。 細骨材の使用量と吸水率が予め確認されていることが必要適用範囲の制限はない。	試験は1人で20分程度だが、試料が高温になるため注意を要する。 モルタルだけ練り混ぜて予備試験を行った結果では配合含水率とよく一致していたもののウェットスクリーニングモルタルでは単位水量にして約14kg/m ³ 小さく測定された。
	乾燥炉法	大型乾燥炉装置でコンクリートを加熱乾燥させる。 細・粗骨材の使用量と吸水率が予め確認されていることが必要な他は適用範囲の制限はない。	試験は試料・容器が高温になるため2人で30分程度。 単位水量は平均6kg/m ³ 小さく測定されたが単位水量のおおよその目安はつく。
	モルタル重量法	モルタル試料の空中重量と水中重量を測定する。 予め使用材料の比重が確認されていることが必要な他は適用範囲の制限はない。	試験は自動化した試験機で1人で15分程度 ウェットスクリーニングの影響を考慮してもW/Cは配合値に比べ平均5.6%大きい結果となった。水中重量測定で気泡の除去が不十分であると誤差が大きくなる。
	コンクリート重量法	モルタルをコンクリート試料にする他は同上。	試験は1人で15分程度。 気泡の除去が難しく、測定値のばらつきは±3%(95%信頼限界)である。
	容積法	細骨材の表面水率測定と同様の方法で行う。 予め使用材料の比重が確認されていることが必要な他は適用範囲の制限はない。	試験は1人で15分程度。モルタルだけ練り混ぜた試料で厳密に測定操作を行えばW/Cで0.1%以内で測定できる。 ウェットスクリーニングモルタルではW/Cがかなり小さく測定された。
水セメント比	振動法	測定機の感應板をコンクリート中に差し込む。 微粉末混和材が添加されていたり混和剤混入により粘性の変化したコンクリートには適用できない。	試験は1人で2～3分程度。 流動化コンクリートには適用できず、普通コンクリートでもスランプ10cm以下、あるいはW/Cが70%のコンクリートでは誤差が大きい これ以外のコンクリートは-1±1%の誤差の範囲で測定できた。しかし測定者によって多少結果が異なる。

参考文献)

- 1) 小林茂敏、森濱和正、高橋弘人、田村 久「コンクリートの品質管理に関する調査試験報告書(1)」 土木研究所資料第2736号、1989年2月
- 2) 和田貞夫、杉本靖彦他「現場で簡単にできるコンクリート品質の早期判定方法の実用化」第2回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1980
- 3) 神田 衛、鈴木 脩他「振動を利用してまだ固まらないコンクリートの水セメント比を検出する方法」コンクリート工学Vol19 No.8、1981.8
- 4) 例えば、柳田 力、上野裕康「まだ固まらないコンクリート中の単位セメント量の推定について」コンクリートの品質管理に関するシンポジウム報文集、日本コンクリート会議、1974.2
- 5) 「コンクリート品質の早期判定指針」コンクリート工学協会、1985.5

2.2 単位水量の迅速判定方法に関する実験

1) 実験の目的

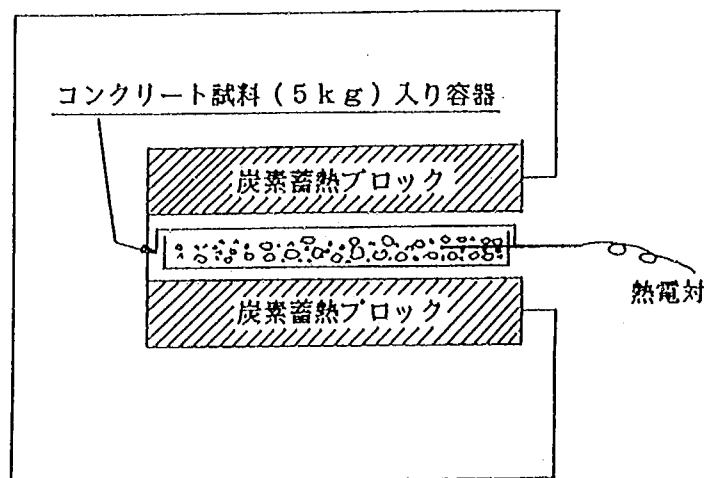
コンクリートの水セメント比は、硬化コンクリートの圧縮強度の直接的な因子であるが、このうち単位セメント量は生コン製造時に自動計量記録によって確認できるものの、フレッシュコンクリートのみならず硬化コンクリートの耐久性などの諸特性に大きな影響を及ぼす単位水量は、骨材の粒度分布や粒形あるいは表面水率の変動しやすいことや、施工性等からスランプを重視して水量を随時補正しているために、練りまぜに用いた真の値は正確には判明しないのが現状である。

さらに、流動化コンクリートや水中不分離性コンクリートなどフレッシュコンクリートのコンシステンシーが判然としないものや単位水量が極端に少ない超硬練りコンクリートを使用して施工する場合には、これまでのようにコンクリートの外観やスランプから単位水量を推測することがまったく不可能であるため、適当な方法によって単位水量を確認する必要性は高まっていると考えられる。

そこで、2.1の比較実験において単位水量の早期判定試験にはコンクリートを直接試料とするのがよいという実験結果に基づき、判定原理が単純でコンクリートを試料とする大型乾燥炉試験装置（以下、乾燥炉法）によるフレッシュコンクリートの単位水量の判定精度向上について検討することとした。

2) 乾燥炉法の概要

大型乾燥炉試験装置は、5 kgのフレッシュコンクリートを入れた容器を試験槽内に挿入し、400℃に加熱してある蓄熱層を容器に密着させてフレッシュコンクリートを乾燥させるものである。試験装置の概要を図-13に示す。フレッシュコンクリート試料中の水量は乾燥試験前後の重量差から求め、これから単位水量を計算によって求める。



*) 蓄熱層は400℃に加熱してある。

図-13 大型加熱乾燥炉試験装置の概要

乾燥炉法による含水率（ここでいう含水率とは骨材中の吸水分も含めて試料重量に対する全水量の割合とする）および単位水量の算出は以下による。

$$\text{含 水 率} = (M_0 - M_1) / M_1 \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{単位水量} = M_c \times (M_0 - M_1 - S_0 \times q / 100 - G_0 \times p / 100) / M_0 \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 M_0 ：試料重量 (kg)、 M_1 ：乾燥後の試料重量 (kg)

M_c ：コンクリートの単位容積重量 (kg/m³)

S_0 ：試料中の絶乾細骨材量 (kg)、 q ：細骨材の吸水率 (%)

G_0 ：試料中の絶乾粗骨材量 (kg)、 p ：粗骨材の吸水率 (%)

一般のコンクリート配合では、単位水量が±5 kg/m³変動すると水セメント比で±1.5%前後、圧縮強度にして10数kg/m³の変動となる。これは、生コンの呼び強度が1ランク変わるほどのものとなる。ここで、一般に生コンクリートの製造では水量以外の計量誤差は小さく、判定試験に関わる測定誤差をすべて単位水量の変動とみなすと、単位水量を±5 kg/m³で判定しようとする場合には5 kgの試料では約±10 g（含水率にして約±0.2%）の精度で測定する必要がある。

3) 実験方法

(1) 使用材料

実験に使用した材料は次のとおりである。

- ①セメント：普通ポルトランドセメント（比重：3.16）
- ②細骨材：富士川産川砂（比重：2.62、吸水率：2.02%）
- ③粗骨材：笠間産砕石（比重：2.67、吸水率：0.59%）
- ④練り混ぜ水：水道水

(2) 予備実験

①乾燥重量の測定

加熱乾燥させた試料の重量測定においては、加熱された空気の上昇によって測定重量が小さくなることが考えられる。この減少分を測定するために、コンクリート、モルタル、細骨材および容器を加熱して、熱電対で試料温度を測定しながら試料重量の経時変化を測定した。

②骨材の吸水率

フレッシュコンクリートを加熱乾燥させて単位水量を測定するには、JIS 試験法で得られた骨材の吸水率が乾燥炉法で得られた吸水率試験結果と一致することが必要である。そこで、

a 表面乾燥飽水（表乾）状態とした骨材のみの試験

b セメント、表乾状態とした骨材、水を容器に入れただけで練り混ぜていない試料の試験

を行った。aの試験は、乾燥炉法による骨材の吸水率を求めるためのものであり、bの試験は、骨材表面がセメント、水で覆われた場合でもaの結果と適合するか確認するための試験である。

③セメントと結合する水量の影響

試料を加熱乾燥させる過程では、セメントと結合する水分の影響が考えられる。このため、

a セメントのみの試験

b セメントと水を容器に入れただけで練り混ぜていない試料の試験

を行った。aの試験は、実験に用いたセメントの含水率を確認するものであり、bの試験結果との差から結合水量が求められる。bの試験の試料をセメントペーストとしなかったのは、練り混ぜ容器や練りさじに付着する水量の影響をなくするためであるが、加熱乾燥の過程で容器内のセメントは水蒸気とまんべんなく接触している。

(3) フレッシュコンクリートの判定実験

予備実験から得られた条件にしたがって、表-5に示す7配合のコンクリート試料とモルタル試料（コンクリート配合から粗骨材を除いたもの）について判定実験を行った。判定実験は各配合について試料温度をおよそ150、200、250、300℃の4段階について行った。

なお、コンクリート試料の練り混ぜは、使用材料ごとに実験に用いる量のみを計量して手練りで行い、できるだけ練り混ぜ容器に試料を残さないように乾燥用の容器に移した。すなわち、判定試験に用いた試料は粗骨材は配合値のとおりに含まれており、それぞれの材料の計量重量の合計と練り混ぜた後の試料重量との差は、練り混ぜ容器に付着したモルタル分とみなすことができる。そこで、今回の試験ではモルタル部分の水量と細骨材量を補正して単位水量を計算した。

表-5 コンクリートの配合

NO	W/C	s/a	W	C
	(%)	(%)	(kg/m³)	
1	56.7	43.4	198.5	350.0
2	46.7		163.5	
3	36.7		128.5	
4	70.0		163.5	233.3
5	35.0	466.7		
6	46.7	50.5		350.0
7		37.9		

4) 実験結果と考察

(1) 予備実験の結果と考察

① 乾燥重量の測定

試料を加熱乾燥させた後の試料温度と試料重量の関係を示したのが図-14である。なお、基準とした重量は試料温度を20℃にした時の重量である。250℃程度まで加熱した試料の重量は20℃時の重量に比べて4 g程度小さく測定されている（単位水量にして約2 kg/m³に相当）。このため、以後の試験での乾燥重量の測定は、試料温度を60℃以下にして測定した。ここで、温度と空気の密度の(10)式に容器の容積(7140cm³)を乗じて求めた計算値(図中の点線)は試料温度200℃程度から測定値とは

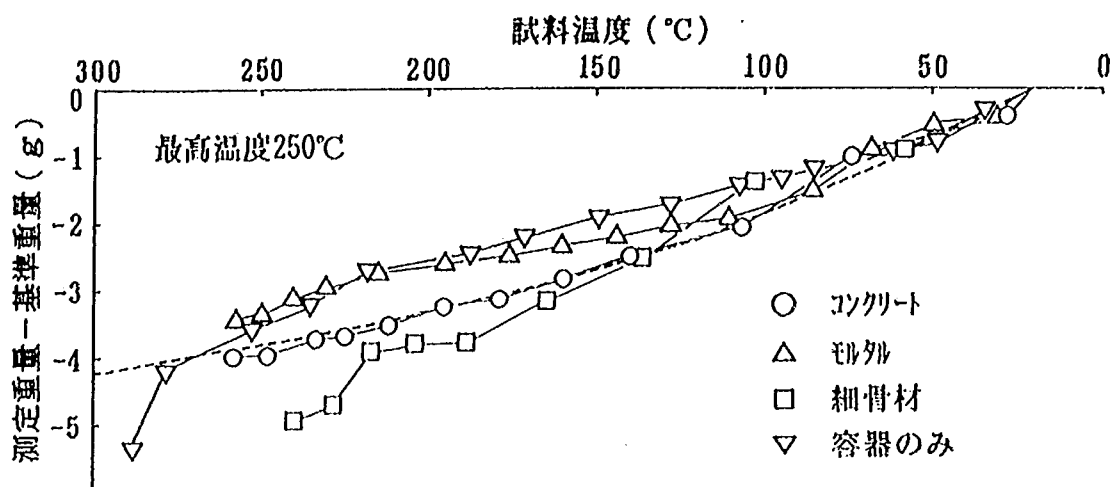


図-14 試料温度と試料重量の関係

ば一致している。このことから、乾燥重量は試料温度を下げなくても計算で求めることができるといえる。

$$\rho = 0.001293 / (1 + 0.00367 \times T) \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 ρ : 空気の密度 (g/cm^3)

T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)、ここでは、試料温度と空気の温度は同じとして、試料温度を用いた。

②骨材の吸水率

aの骨材だけの試験の結果を図-15に示す。これより、乾燥炉法で求めた骨材の含水率は粗骨材ではJIS試験法の結果とよく一致したものの、細骨材ではJIS試験法の結果に比べて0.23%程度大きな値となった。次に、bのセメント、骨材、水を容器に入れただけで練りまぜていない試料の試験結果を図-16に示す。aおよびbの試験とも試料を直接試験用の容器に入れていることから容器以外への試料や水分の付着は考えられない。また、試料温度が300 $^{\circ}\text{C}$ 程度では骨材中に吸水している以外の骨材中の水分の蒸発やセメントの強熱減量もないと考えられる。

また、aとbの試験の結果を比べると、乾燥炉法によって得られた値とJIS試験値との差は細骨材の吸水率が影響していると考えられる。

ここで、今回の試験に用いた細骨材の吸水率をJISの試験法にしたがってA、B2人の試験者が同じ種類の細骨材について合計14回試験して求めた結果では、両者間の吸水率測定値は、平均で0.27% (最大で0.40%、最小で0.04%) の差があり、比重試験の結果でも平均0.01 (最大で0.02、最小では差はない) の差があった。

また、JIS法とASTM法による比重及び吸水率測定結果を比較した報告¹⁾では、同一試料を両規格で試験するとASTM法に比べてJIS法は0.1~0.6% (平均0.26%) 程度吸水率が小さく測定されると報告されている。両規格間には細骨材の表乾状態の判定において、ASTM法ではフローコーンへの試料の詰め方を規定しているのに対してJIS法では規定がなく、また、表乾状態と判定する試料の状態

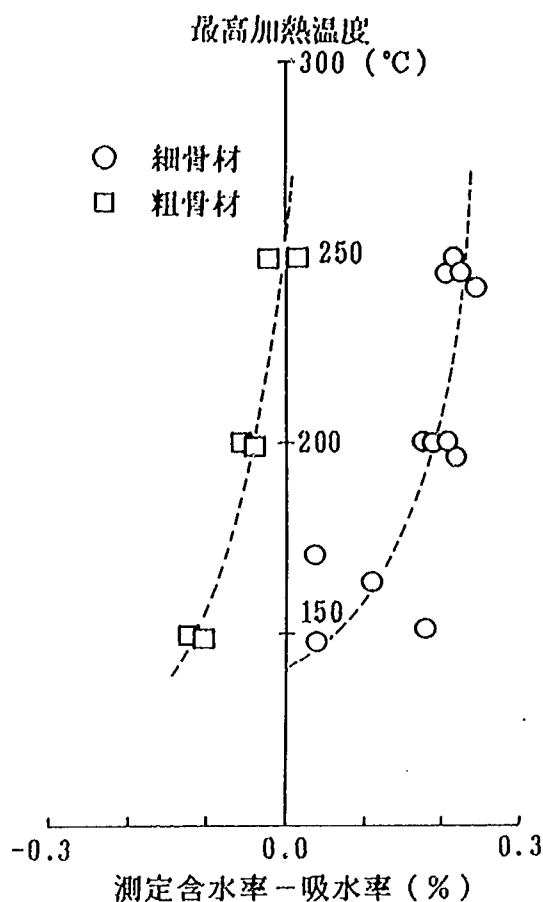


図-15 骨材の試験結果

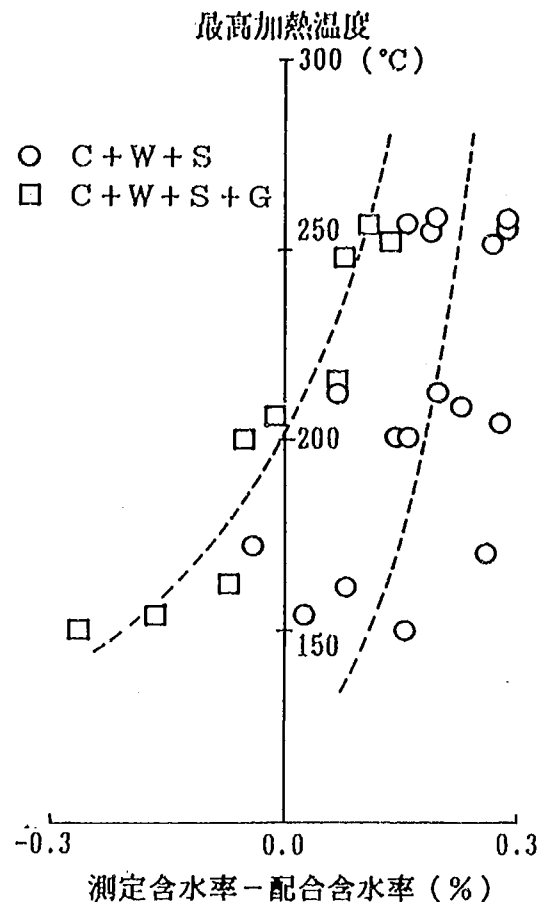


図-16 練り混ぜていない試料の試験結果

もASTM法では細骨材が少しスランプした時としているのに対して、JIS法ではコーンがスランプした時とするなどの違いがある。

このように、細骨材の吸水率は個人間、試験方法間で異なるものであり、この違いは細骨材の表乾状態の判定に原因があることから、今後の検討が必要である。

なお、以後の試験結果の計算では、細骨材の吸水率は乾燥炉法の骨材のみの試験で得られた結果を用いることとした。

③セメントと結合する水量の影響

セメントと結合する水分は、セメント量にかかわらず試料温度が200℃以上ではセメント量に対して0.1%程度、単位水量にして0.4kg/m³程度であったものの、今回の試験に用いたセメント自体の含水分ではほぼ相殺されたことから、単位水量の判定にはほとんど影響しないものとして扱うこととした。

(2) フレッシュコンクリートの判定結果と考察

予備実験の結果から得られた条件にしたがって、モルタルおよびコンクリート試料の試験を行った。その結果、当然のことながら測定単位水量は試料温度を高くすることで配合値に近づく傾向にあるものの、モルタル試料の測定単位水量は②のb試料（材料を投入しただけで練り混ぜていない試料）の試験

結果に比べて約 2 kg/m^3 小さく、さらにコンクリート試料はモルタル試料に比べても 3 kg/m^3 ほど小さく測定されている (図-17)。ここで、試料中の全水分を加熱蒸発させるうえでは、骨材量が多いほど蒸発しにくいものと考えられる。このため、コンクリート配合と測定単位水量の関係をみるために測定単位水量を目的変数とし、配合表から得られる水セメント比 (W/C)、細骨材率 (s/a)、単位水量 (W) を説明変数として試料温度ごとに重回帰分析を行った。その結果、配合単位水量と測定単位水量を一次回帰したものよりも高い相関関係が得られた。試料温度ごとの重回帰式は以下のである (式の下段の () 内の数字は偏相関係数)。

$$(200^\circ\text{C}) : w = -9.25 - 0.245W/C + 2.65s/a + 1.03W \quad (R=0.9999) \quad \dots\dots\dots (11)$$

(−0.10) (0.35) (0.99)

$$(250^\circ\text{C}) : w = -11.0 - 1.79W/C + 14.2s/a + 1.02W \quad (R=0.9998) \quad \dots\dots\dots (12)$$

(−0.27) (0.62) (0.99)

$$(300^\circ\text{C}) : w = -11.0 - 2.00W/C + 13.9s/a + 1.03W \quad (R=0.9997) \quad \dots\dots\dots (13)$$

(−0.25) (0.54) (0.99)

重回帰分析の結果、配合単位水量が測定単位水量と相関が高いのは当然としても、細骨材率も影響を及ぼしていることがわかる。この重回帰式を移項して配合単位水量 W を求める式になおし、 w 、 W/C 、 s/a を代入して計算した結果、表-6 のように単位水量は $-1.1 \sim 1.1 \text{ kg/m}^3$ の範囲で精度よく判定することができた (一次回帰式の場合は $-1.8 \sim 1.4 \text{ kg/m}^3$ であった)。

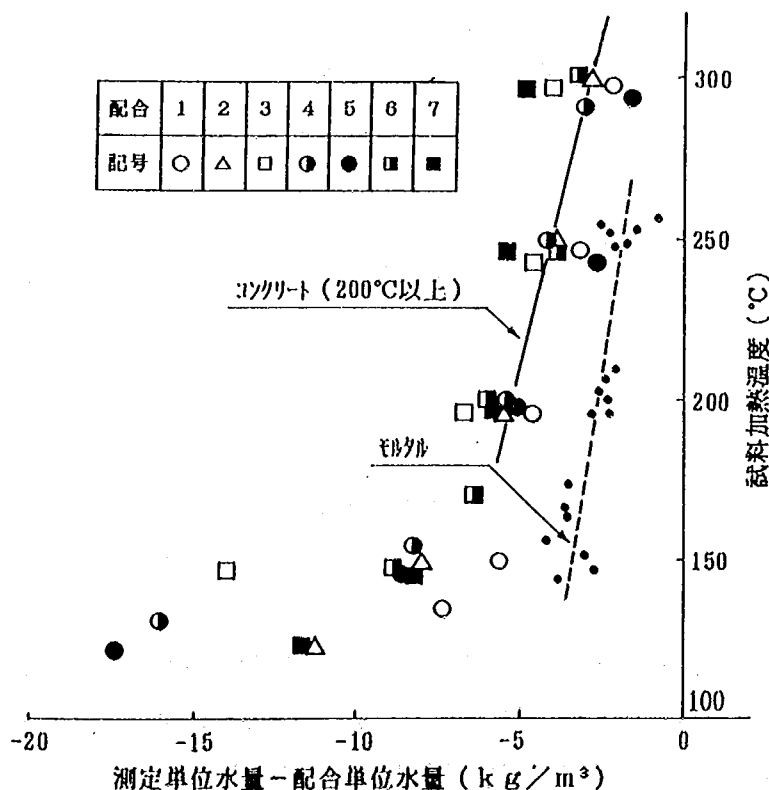


図-17 測定単位水量と試料加熱温度の関係

表-6 乾燥炉法の試験結果

試料温度 (°C)	単位水量の測定誤差 (kg/m³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
195~200	-7.0	-7.9	-5.7	0.7
	-5.5	-6.6	-4.9	0.6
	0.0	0.4	0.0	0.2
242~250	-5.4	-7.2	-3.4	1.1
	-3.9	-5.5	-2.6	0.9
	0.0	1.0	0.1	0.6
291~301	-4.5	-6.5	-2.3	1.2
	-3.1	-4.7	-1.5	1.0
	0.2	1.1	-0.1	0.7

上段：試料採取の影響を補正せず。
 中段：試料採取の影響を補正。
 下段：重回帰式から求めた値。

(3) 試料採取の影響

これまで述べてきた結果は3)で記したように試料採取の影響を補正したものであるが、ここで、仮にこの試料採取の影響を補正せずに、測定試料はコンクリート配合をそのまま縮分したものとして計算した結果を表-6に併記した。試料採取の影響を補正しない場合の単位水量は補正したものに比べて平均1.4kg/m³ほどさらに小さく判定されることになる。このため、現場での試験にあたっては、試験終了後に試料中の粗骨材を洗い出して表乾重量を測定し、以下の式で補正することが必要といえる。

$$\text{単位水量} = M_c \times \alpha \quad (M_0 - M_1 - S_0 \times q / 100 \alpha - G \times P / 100) / M_0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\alpha = (M_0 - G') / (M_0 - G) \quad \dots\dots\dots (15)$$

ここに、G'：配合表から計算して求めた試料中の粗骨材量 (kg)

G：試験終了後に洗い出して求めた試料中の粗骨材量 (kg)

5) まとめ

以上の実験結果から乾燥炉法による単位水量の迅速判定方法と測定値の補正方法は以下のようにすればよい。

(1) 試験方法

①コンクリート試料は、誤差倍率を小さくし、できるだけ配合が縮分されたものとなるよう大きくすることが望ましい。今回の実験では試験装置や加熱に要する時間的な制約から5kgとした。

②試料の加熱温度は200℃以上とする必要がある。これに要する時間はコンクリート配合によっても差はあるが、およそ15~20分である。

③乾燥重量を測定した試料から粗骨材を洗い出して粗骨材量を測定する。

(2) 測定値の補正方法

①加熱後の乾燥重量は、試料を200℃程度まで試料温度を下げれば、加熱された空気の密度の(10)式から試料温度を20℃とした時の試料重量を計算で求めることができる。

②使用材料が同じでコンクリート配合が変化する場合は、試料温度が200℃以上のある一定の試料温度での単位水量の測定値とコンクリート配合の関係を重回帰式で求めておけば測定値の補正をすることができる。

③加熱乾燥させた試料から洗い出した粗骨材量から式(14)式及び(15)式から試料採取の影響を補正する。

(3) なお、今回の試験では、JIS試験法で得られた細骨材吸水率に比べて乾燥炉法で得た結果の方が0.23%大きかった。このため、試験結果の計算では乾燥炉法で得られた吸水率を用いたが、細骨材の吸水率、特に細骨材の表乾状態の判定に関する検討が今後必要であるといえる。

以上の試験方法、測定値の補正方法に従えば、試験時間は30分程度でフレッシュコンクリート中の単位水量を $\pm 1.1\text{kg}/\text{m}^3$ の範囲で精度よく判定することができた。これは、現場でのコンクリート打設にあたって単位水量の異常値のチェックに極めて有効なものと考えられる。

参考文献)

- 1) 吉兼 享、鯉江利夫、中島佳郎「表乾状態の判定に起因する細骨材の吸水率のバラツキについて」第5回生コン技術大会研究発表論文集、1989.6
- 2) 森濱和正、高橋弘人「種々のフレッシュコンクリートの品質判定法に関する比較実験」第11回コンクリート工学年次講演概要集、1989.6
- 3) 吉兼 享「フレッシュコンクリート中の単位水量値測定の現状と課題」コンクリート工学、1989.10 vol.27
- 4) 豊福俊泰、増田 隆、吉岡博幸「迅速乾燥法、RI法および自動計量記録値による単位水量の早期迅速試験法に関する研究」コンクリート工学論文集、1990.1第1巻第1号
- 5) 小林茂敏、高橋弘人、森濱和正「フレッシュコンクリートの単位水量迅速判定法に関する実験的検討」第12回コンクリート工学年次講演概要集、1990.6

2.3 現地実験

1) 実験の目的

本実験は、これまで試験室で検討してきたコンクリート品質の早期判定試験方法を実際の工事に適用して、実際に打ち込まれるコンクリートの品質変動と、試験方法の適用性を迅速性や判定精度などの点から確認するとともに、判定試験の適用にあたっての必要事項を把握することを目的として現地実験を行った。

2) 判定試験の方法

現地実験に用いた判定試験方法は次の6方法である。単位セメント量の判定は①塩酸溶解熱法、②比重計法を、単位水量の判定は①大型加熱乾燥炉法（乾燥炉法）、②コンクリートの気中重量と水中重量の差による方法（コンクリート重量法）および③空気量試験を利用する方法を、水セメント比の直接判定は①振動の粘性減衰による方法（振動法）によった。

なお、塩酸溶解熱法と比重計法はモルタル中の水量も試験して水セメント比も求めているが、今回の実験ではセメント量の判定を重視して試験を実施することとした。これらの試験の方法は付属書に示した試験方法によることとし、予備実験が必要な試験方法についてはあらかじめ試験室で行っておいた。

3) 実験の概要

実験を行ったコンクリート試料は、JIS表示認可工場において以下に示す材料で製造された同一配合のレデーミクストコンクリートである。使用材料を以下に示す。

- (1) セメント：普通ポルトランドセメント（比重：3.16）
- (2) 細骨材：川砂（比重：2.60、吸水率：2.29%）および砕砂（比重：2.64、吸水率：1.81%）
- (3) 粗骨材：川砂利（比重：2.59、吸水率：1.95%）
- (4) 混和剤：ボゾリスNo.70標準型A E減水剤

コンクリート配合を表-7に、また、実験のフローを図-18に示す。

表-7 コンクリートの示方配合

配 合 の 設 計 条 件						
呼 び 方	標準品・特 注品の区分	骨材の種類 による区分	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大寸 法による区分	セメントの種 類による区分
	標準品	普 通	210	8	40	N

配 合 表 (kg/m³)							
セメント	水	細骨材	細骨材	粗骨材	粗骨材	混和剤	混和材
248	145	452	302	1162	—	2.65	—
水セメント比	58.5%	細骨材率	39.3%	コンクリートに含まれる塩化物 量（塩素イオンとして）		0.30kg/m³ 以下	

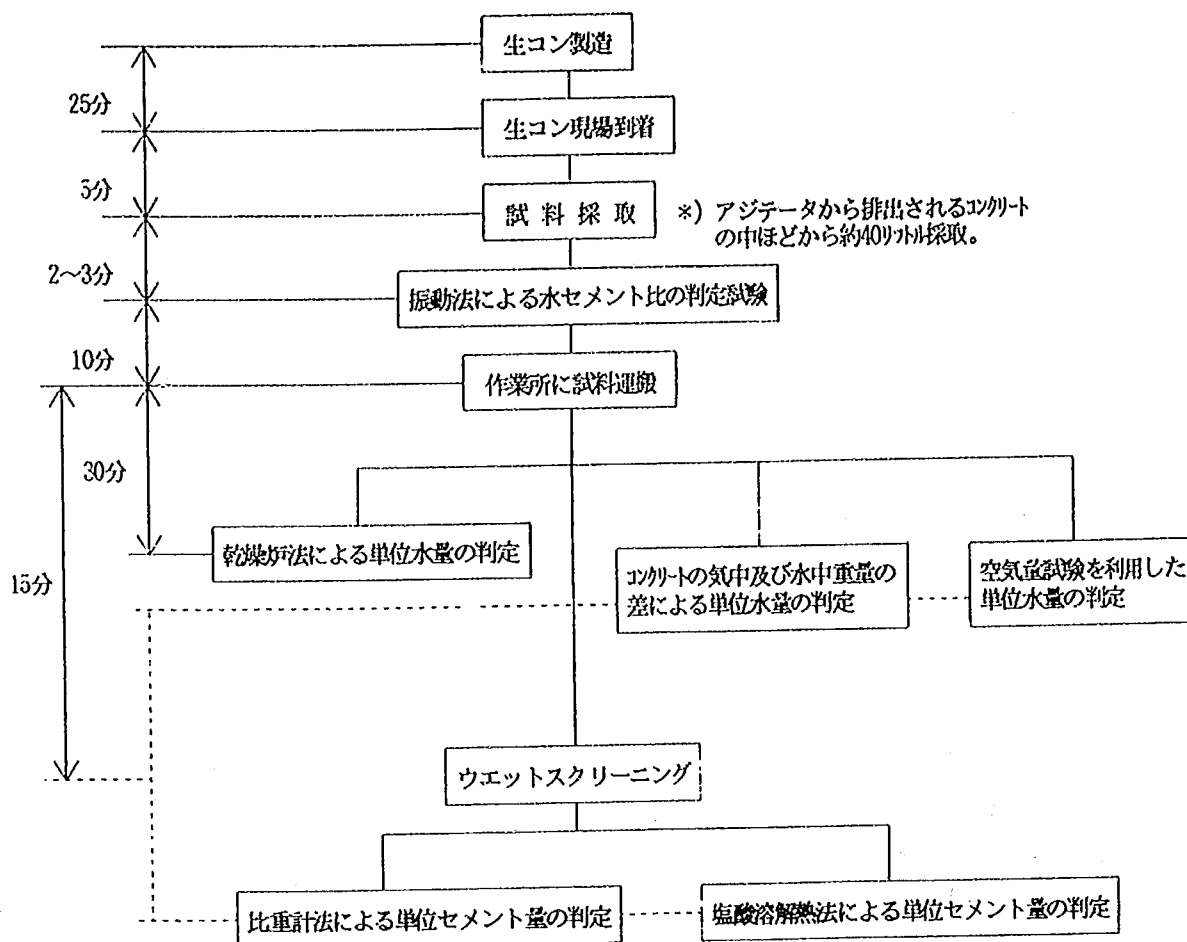


図-18 実験のフロー

4) 実験結果と考察

(1) コンクリートのスランプ、空気量および強度試験の結果

実験を行ったコンクリートのスランプ、空気量および圧縮強度試験の結果を図-19に示す。これより、コンクリートのスランプ、空気量はよく管理されている。これらの結果からは打ち込まれたコンクリートの配合はいずれの打設日時においてもほぼ同様のものと推測された。

(2) 単位水量の判定

単位水量の判定結果を図-20に示す。なお、水セメント比は測定単位水量と配合表の単位セメント量から求めた。この結果、同一試料に対する判定試験であっても試験方法間で測定値に大きな差があったものの、測定単位水量の変動は打ち込み日時によってほぼ同様の傾向となっており、練り混ぜに用いた真の値は分からないまでも、練り混ぜ水の変動傾向はこのようであったと推測できる。

なお、試験方法の違いによって測定された単位水量に大きな差があった原因は、現地実験であったために試験操作が粗雑になったことにもよるが、コンクリート重量法が他の乾燥法および空気量試験を

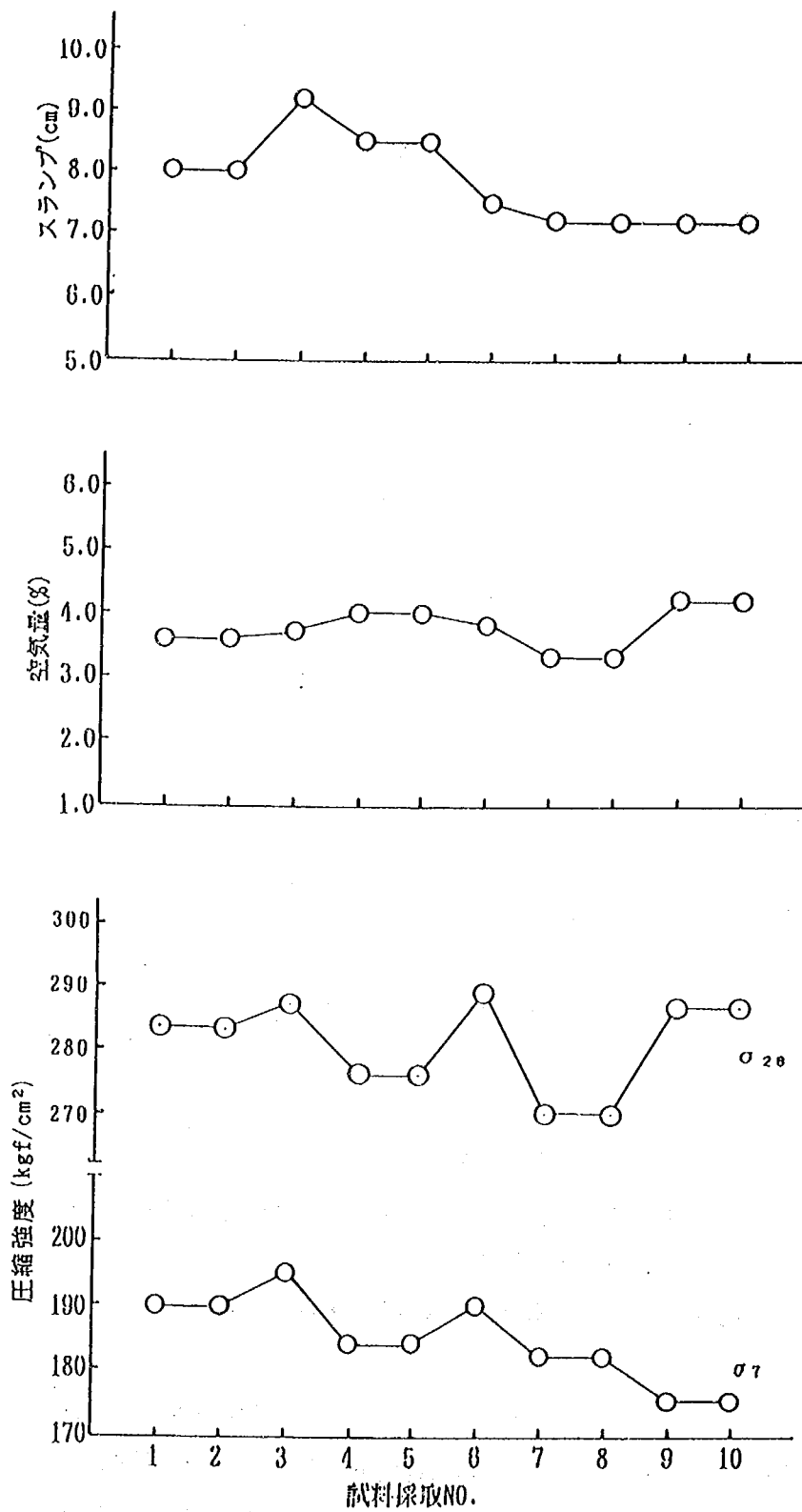


図-19 スランプ、空気量、圧縮強度の測定結果

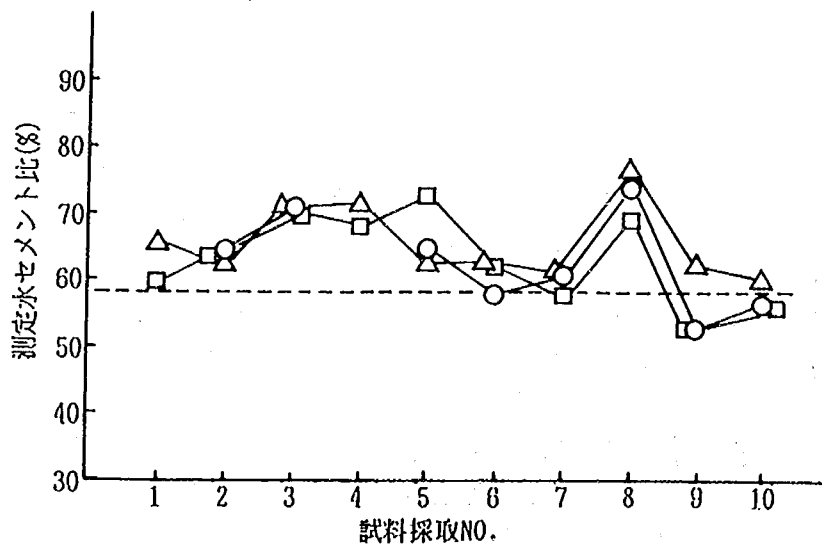
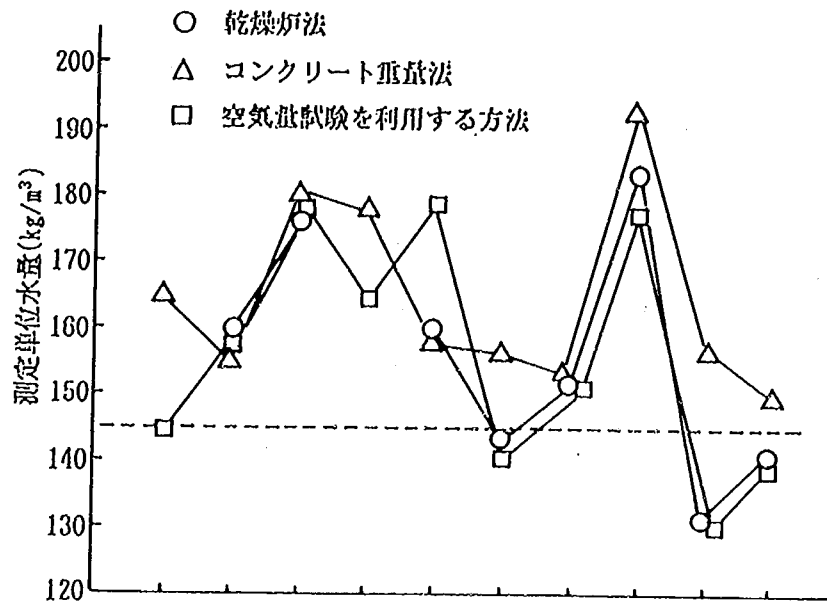


図-20 単位水量の測定結果

利用する方法に比べて大きくなったのは、気泡の除去が完全でなかったためと考えられる。

(3) 単位セメント量の判定

次に単位セメント量の判定結果を図-21に示す。水セメント比は塩酸溶解熱法および比重計法で測定した水量とセメント量から求めたものである。試験方法の特性や試験操作などの影響から比重計法での試験結果は配合値に対しては30kg/m³程度小さく測定されているものの、打ち込み日時が違っても単位水量はどの変動はなく、ほぼ一定の値となっている。これは、コンクリートの製造においてセメントは水のように随時変化させることなく、プラントの自動計量装置によって管理されているためと考えられる。

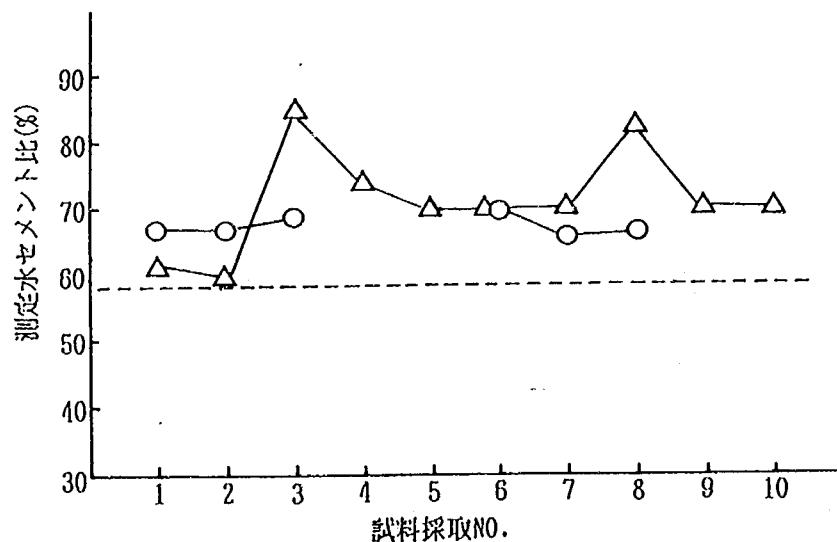
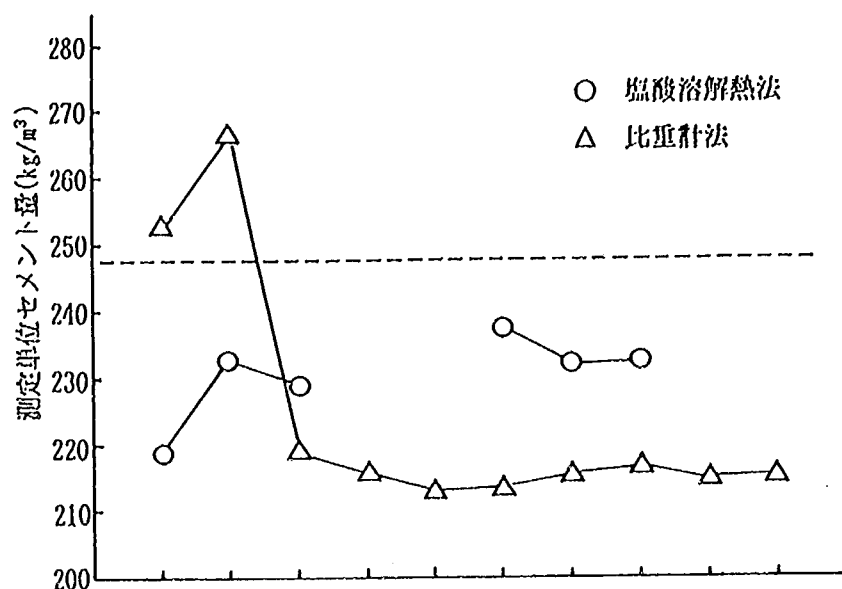


図-21 単位セメント量の測定結果

(4) 水セメント比の判定

振動法による水セメント比の直接判定結果を図-22に示す。今回試験したコンクリートがスランプ8cmと、2.1の比較実験の結果でも述べたようにこの試験方法の適用範囲から外れているものであったことから配合値に比べてかなり小さく判定されている。しかし、測定した水セメント比の打ち込み日時による変動の傾向は、他の試験方法から求めた水セメント比の変動傾向とほぼ同様のものとなっている。

以上の現地実験の結果は非常に限られた範囲内のものではあるが、まとめると以下のようである。

①スランプ、空気量試験の結果が妥当なものであっても、実際に打ち込まれたコンクリートは、単位水量は配合値よりも大きく、また打ち込み日時による変動も大きい。

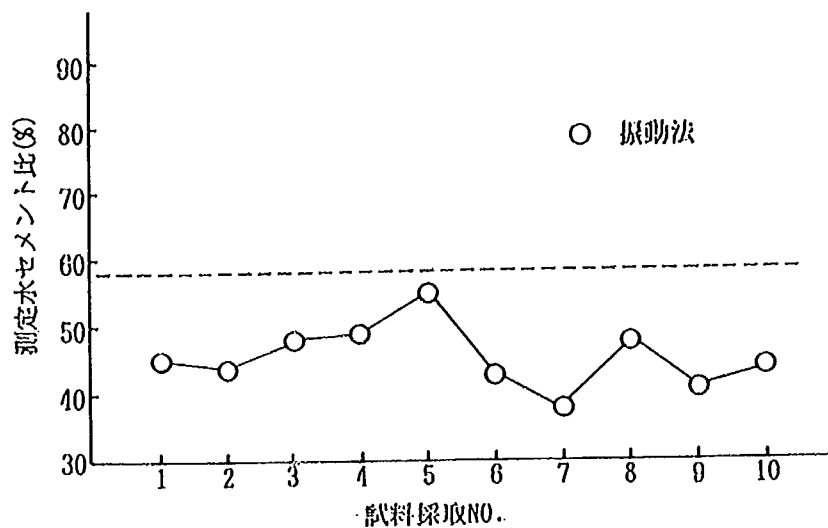


図-22 水セメント比の測定結果

②単位セメント量の測定値は、試験方法の特性などから配合値に比べて少なく測定されているものの、変動は少ない。

③したがって、打ち込まれたコンクリートはセメント量一定で水量を変えて所定のスランプに適合するように製造されていることがわかる。このことから、セメント量の早期判定試験を行わない場合にはプラントの自動計量記録によって管理してもよいといえる。

なお、今回の現地実験で用いた判定試験方法は、試験室で練り混ぜたコンクリートを試験を行った場合は精度よく判定できることから、実際の工事に早期判定試験を適用する場合は、定められた方法にしたがって特に単位水量に注目して試験を行うことが重要と考えられる。

第2編 コンクリート品質の早期判定マニュアル（案）

〈付属書〉 コンクリート品質の早期判定試験方法

1 章 適用の範囲

このマニュアルは、コンクリートが所定の材令が経過した後に到達する品質をフレッシュコンクリートの段階で適当な試験方法を用いて判定しようとする場合に適用する。

【解説】

健全なコンクリート構造物をつくるうえで、打設されるコンクリートが所要の品質であることが施工性やコンクリート構造物の耐久性を確保するうえで必要不可欠なことである。打ち込み時に把握されるコンクリートのスランプ、空気量及び塩化物量もその品質の一部であるが、コンクリートの代表的な特性値であり、諸性状の判断の目安となる圧縮強度試験は一般には28日標準養生を行った後に試験室で実施されている。

しかしながら、コンクリート工事においては、その品質を早期に判定することによってコンクリートの品質管理を確実なものとしたり、判定結果に基づいて次の工事に必要な措置をとることがコンクリート構造物全体の品質を高めることになり、ひいてはコンクリートに対する信頼性の一層の向上につながるものと考えられる。

コンクリート品質の早期判定試験方法には、大別して次の2つの方法がある。

(1) コンクリート品質に重要な影響を及ぼす特性値をフレッシュなコンクリートまたはモルタルの段階で分析して判定する方法

(2) コンクリートまたはモルタルの硬化を促進させて圧縮強度試験を行う方法

これらの方法を指針化したものとして日本コンクリート工学協会「コンクリート品質の早期判定指針」を、日本建築学会は「コンクリートの早期迅速試験方法集」をそれぞれ刊行している。

これらの方法の特徴は、(1)の方法は結果が判明するまでの試験に要する時間が30分以下で試験用器具・装置も比較的簡易なものが多い。(2)の方法は圧縮強度が直接判明する利点はあるものの、結果が判明するまでには最低でも1.5時間を要することや硬化を促進させるための養生槽などの設備が必要なことである。

本マニュアル(案)は、コンクリート工事の現場において、できるだけ簡易な方法で精度よくコンクリート品質を判定して連続している次の工事へのアクションがとれることを目的に作成していることから、コンクリートの早期判定に適用する試験方法もこの趣旨に沿って(1)の方法の中から選定した。なお、本マニュアル(案)で取り上げた試験方法以外の方法であっても、工事の規模や状況に応じて早期判定試験を適用することでコンクリートの品質管理、検査の合理化が図れるのであれば、積極的に取り入れていくことが重要である。

2 章 早期判定の意義

所要の品質のコンクリート構造物をつくるために、コンクリートの品質管理、検査を確実なものとすることを目的として、コンクリート品質の早期判定試験を行う。

【解説】

コンクリートの品質を代表する圧縮強度は、現状ではコンクリート打ち込み後、相当の日数が経過しなければ判明しない。かりに、この圧縮強度が不合格であった場合には、工事の工程や費用に極めて多大な影響を及ぼすことから、根本的に対処することが困難であったり、欠陥が潜在化している場合には構造物の機能が短期のうちに失われてしまう恐れもある。このため、コンクリートの強度等の特性を早期に判定することが必要であり、近年のコンクリート工事の著しいスピード化や大規模化もあってその必要性は増してきているといえる。しかしながら、急激にあらゆる工事を対象にして、現行の品質管理、検査体制の中に早期判定試験を含めるのは困難な点もあるので、まずは重要な工事、大規模な工事から早期判定試験を導入して実績を積み上げていくことが良いと思われる。

また、コンクリートの品質が短時間のうちに判明すれば、製造する側では一層注意してコンクリートの出荷にあたることになり、結果的に品質の優れたコンクリートが打ち込まれるという効果もある。

3 章 試験方法の種類と選定

早期判定試験方法の選定は、工事の規模、立地条件、構造物の重要度、人員計画、費用などを勘案して選定する。

【解説】

適用範囲で述べたように本マニュアル（案）では、フレッシュコンクリートの組成を分析することで品質を管理する試験方法を取り上げている。

早期判定試験方法に必要と考えられる条件を示せば以下のとおりである。

- (1) 適用性：コンクリートの種類や使用材料による適用の制限を受けないこと。
- (2) 精度：生コンの呼び強度は $15\text{kg}/\text{cm}^2$ 間隔で設定されている。これは水セメント比にすると約±1.5%程度に相当することから、判定精度としては水セメント比にして±1%程度の精度が必要になる。
- (3) 操作性：予備実験も含めて試験手順が複雑でなく、専門的な知識や熟練を要しないこと。
- (4) 迅速性：できればコンクリート打設の現場で試験できることが望ましいが、生コンプラントから現場までの運搬時間を考慮すれば30分以内に結果が判明することが望ましい。
- (5) 経済性：経費的に通常の業務に適用できる。

こうした条件をもとに本マニュアル（案）では単位セメント量の判定では、1) 塩酸溶解熱法、2) 比重計法を、単位水量の判定では、1) 大型加熱乾燥法（簡易法と詳細法）、2) コンクリートの気中重量と水中重量の差による方法、3) 空気量試験を利用する方法を、水セメント比の判定では1) 振動の粘性減衰による方法、2) 塩酸溶解熱法とモルタルの絶対容積の差による方法を組み合わせた方法、3) 比重計法とモルタルの絶対容積の差による方法を組み合わせた方法を試験方法として取り上げている。なお、これらの方法の中には(1)～(5)の条件をすべて満足しない方法であっても、その他の条件が相対的に優れている方法であれば取り上げることとした。

実際の工事に早期判定試験を適用する場合には、判定しようとするコンクリート配合の組成に応じて試験方法を選定すればよいが、一般にコンクリート配合においては単位セメント量の変動は少ない一方で、単位水量は骨材の粒度、粒形あるいは表面水率の変動しやすく、所定のスランプに適合するように随時単位水量を補正していることから誤差を生じ易く、単位水量は付属書2の試験方法によって判定して、単位セメント量は配合表の値を用いて水セメント比を求めてもよい。

また、複数の判定試験を併用することも有効であり、簡単な電算機でシステム化して活用すれば効果的である。

試験方法の種類と特徴

試験方法の種類		適用できる範囲 コンクリートの種類や使用材料による制限の有無	あらかじめ把握しておく情報	主な試験装置・試験器具等	試験の特徴	試験に要する時間
単位水量の判定	大型加熱乾燥法	軽量骨材を使用したコンクリートを除いては適用範囲の制限はない。	細・粗骨材の吸水率と使用量	大型加熱乾燥炉装置 200V電源	熟練を必要とせず、誰でも試験を行える。ただし、高温となっている試料の移動に補助者1名が必要。試験を詳細に行えば±1.1kg/m ³ の精度で判定できる。	約30分
	コンクリートの気中及び水中重量の差による方法	——	セメント、細・粗骨材の比重	比重天秤（水中重量の測定が可能天秤）	熟練を必要とせず、誰でも試験を行える。気泡の除去が完全でないとW/Cにして±3%（95%信頼限界）のばらつきがある。	約10分
	空気量試験を利用する方法	——	セメントの比重と使用量、骨材の比重	エアメーター	空気量試験を利用して、誰でも試験を行える。	約10分
単位セメント量の判定	塩酸溶解熱法	貝がら、石灰質を含むコンクリートには原則として適用できない。	混合セメントを用いたコンクリートに適用する場合はあらかじめ結合材量と温度差との関係（検量線）を求めておく必要がある。	塩酸溶解熱試験装置一式（市販されている）、 塩酸（1級）	塩酸の取扱いに注意を要するものの、熟練を必要とせず誰でも試験を行える。	約15分
	比重計法	細骨材の微粒分が多い場合やスラグ、フライアッシュを用いたコンクリートには原則として適用できない。	あらかじめセメント量とモルタル懸濁液の比重との関係（検量線）を求めておく必要がある。	比重浮ひょう（1.000～1.060）	モルタル懸濁液の比重測定に若干の習熟が必要である。	約10分
水セメント比の判定	塩酸溶解熱法とモルタル絶対容積の差による方法を組み合わせた方法	貝がら、石灰質を含むコンクリートには原則として適用できない。	セメント、細骨材の比重 混合セメントを用いたコンクリートに適用する場合はあらかじめ結合材量と温度差との関係（検量線）を求めておく必要がある。	塩酸溶解熱試験装置一式（市販されている）、 塩酸（1級）	塩酸の取扱いに注意を要するものの、熟練を必要とせず誰でも試験を行える。 判定精度は約±2%とされている。	約15分
	比重計法とモルタル絶対容積の差による方法を組み合わせた方法	細骨材の微粒分が多い場合やスラグ、フライアッシュを用いたコンクリートには原則として適用できない。	①あらかじめセメント量とモルタル懸濁液の比重との関係（検量線）を求めておく必要がある。 ②セメント、細骨材の比重	比重浮ひょう（1.000～1.060）	モルタル懸濁液の比重測定に若干の習熟が必要である。 判定精度は約±5%とされている。	約15分
	振動の粘性減衰による方法	①普通コンクリートでもスランプ、W/Cによって適用の制限がある。 ②混和剤を添加することで粘性を変化させたコンクリートには適用できない。（流動化コンクリート、水中不分散性コンクリートなど） ③スラグ、フライアッシュを含むコンクリートには原則として適用できない。		パイプロW/Cチェッカー（市販されている）	誰でも試験を行える。	2～3分

4章 試験の実施

- (1) 早期判定試験を実施する前には、その試験方法や試験機器等をよく理解しておく。
- (2) 試料の採取は、原則としてJIS A 1115「まだ固まらないコンクリートの試料採取方法」による。
- (3) 試料は、原則としてコンクリートの打ち込み直前または打ち込み中に採取する。
- (4) 早期判定試験の実施回数は、原則としてスランプ試験、空気量試験と同様の頻度で試験を実施する。
ただし、目視によって異常が認められた場合はそのつど実施することとする。
- (5) 試験によってコンクリートの配合に異常が認められた場合は、連続して3バッチの試験を行う。
- (6) 試験の実施にあたっては、事前にコンクリートの購入者と製造者の間で試験の実施にあたっての必要事項について協議しておく。

【解説】

(1) コンクリート品質の早期判定試験の実施に際しては、試験方法や試験機器等をよく理解して行う必要がある。このためには、事前にコンクリートの試し練りを行い、その試験を実施してみるのがよい。

試験機器については試験用機器一式が市販されているものもあるので、これを購入すれば試験方法に規定した精度のものが得られることになる。その他の場合は、試験方法に規定した機器を使用する。

試験方法によっては、事前に予備実験を行うことが必要なものもあるので、こうした試験方法を選定した場合は、試験方法をよく理解する意味からも必ず実施する。

(2) 試験方法の中には、フレッシュコンクリートからウェットスクリーニングしたモルタル数100gを試料とする方法がある。このような場合には、分取したコンクリート試料の合計が20リットルとなるように採取すればよい。

なお、特別な事情によらない限り、採取した試料はできるだけ速やかに試験を実施する。

(3) コンクリート品質の早期判定試験は、スランプ試験、空気量試験、塩化物量試験と同様に打ち込み直前のまたは打ち込み中のコンクリートに対して行われるのが適当である。しかし、試験方法の中には、試験を開始してから結果が判明するまでの所要時間が30分程度のものもあり、コンクリートの打ち込み現場で試験を実施することが必ずしも適当ではない場合もある。このような試験方法で判定試験を実施する場合には製造プラントにおいて出荷前のコンクリートから試料を採取して試験を実施し、判定結果を工事現場に知らせるといった措置をとることも必要となろう。

(4) 早期判定試験は、スランプ試験や空気量試験のようにできるだけ頻繁に行うのがよい。試験方法によってはこれらの試験と同程度の時間や手間で試験を実施できる方法もあり、このため、早期判定試験はこれらの試験と同様の頻度で試験を実施することとした。しかし、試験方法や試験の状況からこの頻度で試験を実施することが困難なものもある。このような場合には、少なくとも28日強度試験の実施回数よりは多く行うことが必要である。

(5) 現段階では、試験の実施にあたっては、試験の実施者、経費の負担、判定結果の評価と取り扱いな

どの必要事項を購入者と製造者との間で協議して取り決めておくことが、無用のトラブルを未然に防ぎ、信頼関係を向上させることから必要である。しかしながら、コンクリート品質の早期判定の必要性がさらに広く認識されてくるならば、現在のスランプ試験、空気量試験、塩化物量試験と同様の考え方で実施されるのが望ましいと思われる。

5 章 判定試験結果の評価と判定

早期判定試験を行うにあたっては、コンクリートの品質管理、検査体制のなかにおける判定結果の評価方法についてあらかじめ定めておく。

【解説】

打ち込まれたコンクリートの品質は所定材令が経過した後の圧縮強度がこれを代表しており、これをもってコンクリートの品質を判定するものである。

コンクリートの早期判定試験は搬入されたコンクリートの品質を強度試験を行う前の段階で、できるだけ打ち込みの時点で判定するものであるから、判定の結果、明らかにコンクリート配合に異常が認められた場合には、所定材令が経過した後の強度にも影響を与えると考えるべきである。

この場合に搬入されたコンクリートの配合を「異常」とであると判定する評価は、試験方法の精度、実績等をもとに定めておくものとする。この場合には、早期判定結果の判定は3～4段階に分類して行うことも考えられる。例えば、試験結果の水準に応じて、受け入れ拒否の検討、等として判定する。

〈付属書〉 コンクリート品質の早期判定試験方法

付属書1 単位セメント量の判定方法

1) 塩酸溶解熱法

(1) 適用範囲

この方法は、フレッシュコンクリートの単位セメント量の試験方法について規定するもので普通ポルトランドセメント及び早強ポルトランドセメントを用い、天然細骨材（砕砂を含む）を用いたコンクリートに適用できる。ただし、石灰質分や貝殻などを含む細骨材を用いたコンクリートには原則として適用できない。

(2) 試験用器具及び試薬

容器及び断熱ケース（図-1.1に例示）、足長温度計（1/5目盛：0～100℃）、普通温度計（1/5目盛：0～50℃）、5mmふるい、試料受け皿、1000mlメスシリンダー、200mlコップ、鋼製スプーン、はかり（ひょう量1000g、感量0.2g）、塩酸（1級）。

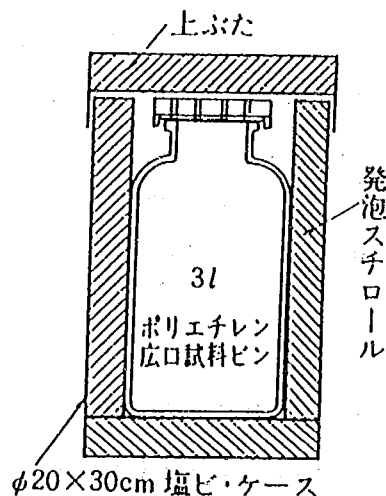


図-1.1 容器及び断熱ケース

(3) 試験方法

①フレッシュコンクリートを均質になるように練り直してから5mm網ふるいを用いてふるい分けを行い、5mm網ふるいを通過したモルタル試料約200mlを200mlコップに採取し、試料重量を測定する。

注1) ふるい、モルタル試料受け皿、鋼製スプーン及びコップの内面はあらかじめ同じモルタルで拭しておく。

②3リットルポリエチレン容器に量りとした試料を入れる。この際、予め用意した水800mlでコップの内面に付着したモルタル試料を洗いながら容器に入れる。

③容器にふたをして断熱ケースに入れ、これを横にして約30秒間両手で左右に振とうして希釈試料と

し、その懸濁液の温度を足長温度計で測定する。

④500 g の塩酸の温度を普通温度計で測定する。

⑤断熱ケースに入れたポリエチレン容器中に④の塩酸を全量投入して素早くふたをして断熱ケースを横にして約30秒間左右に軽く振とうする。

⑥ふたを取り、直ちに足長温度計を差し込み、その先端で2～3回攪はんして上昇した最高温度を測定する。

注2) 容器内の圧力は温度の上昇によって高くなっているため、容器のふたをわずかに緩め、圧力を抜いてから開けるとよい。

(4) 結果の計算

試料中のセメント量は次の式により求める。

$$\text{セメント量 (g)} = 2.92 \times (\text{温度差}) - 33.2$$

ここに、温度差 (℃) = (最高温度) - (基準温度)

$$\text{基準温度 (℃)} = 0.8 \times (\text{希釈液の温度}) + 0.2 \times (\text{塩酸の温度})$$

注3) セメント量と温度差との関係式は、使用する断熱ケースの材質により異なる。ここに示した関係式は容器及び断熱ケースが一般に市販されている試験器具の場合に適用できる。

塩酸溶解熱法による単位セメント量判定【解説】

－試験方法の要旨－

この試験方法は、フレッシュコンクリートからふるい分けたモルタル試料を用いて、モルタルの希釈試料と塩酸との反応熱による温度差を利用してセメント量を求めるものである。

－適用範囲－

この方法は、セメントの塩酸消費量は市販されているセメントの銘柄を問わずにほとんど一定であることから、普通ポルトランドセメント及び早強ポルトランドセメントに適用することができる。また、フライアッシュを混合したRCDコンクリートにこの試験方法を適用した例も報告されているが、このような場合には、銘柄別・規格種類別に検量線を作成することが必要になる。ただし、細骨材中に石灰質分や貝殻が含まれている場合には、これらが塩酸と反応して測定結果に誤差を生じるので原則として適用できないこととした。

－試験方法－

セメント量と温度差の関係式は、容器の熱容量や断熱ケースの材質によって異なるので、仮に市販されている試験用器具以外のものを使用する場合は、事前にセメント量と温度差の関係式を求めておく必要がある。

この場合に基準温度を求める式は、次のようにして求める。

$$T_0 = (C_M \cdot W_M \cdot T_M + Q \cdot T_M + C_H \cdot W_H \cdot T_H) / (C_M \cdot W_M + Q + C_H \cdot W_H)$$

ここに、 T_0 ：基準温度（℃）

C_M ：希釈液の比熱（cal／g・℃）（一般的な自然砂（例えば比重2.50～2.70）を用いたコンクリートにおいては、希釈液の比熱は配合に関係なく、0.76としてよい）

W_M ：希釈液の重量（g）

T_M ：希釈液の温度（℃）

Q ：容器の熱容量（cal／℃）

C_H ：塩酸の比熱（cal／g・℃）（0.57としてよい）

W_H ：塩酸の重量（g）

T_H ：塩酸の温度（℃）

また、温度差（最高温度－基準温度）と試料中のセメント量との関係式は、練り上がり200mlに相当する配合の異なるモルタルの使用材料－セメント、細骨材、水－をそれぞれ計量して（ただし、セメントは0.2gまで正確に計量する）これを練らずに容器内に投入し、800mlの水を加えて試験方法に示した操作を繰り返して求める。

－結果の計算－

試験結果の計算は、「付属書3 水セメント比の判定方法 塩酸溶解熱法モルタルの絶対容積の差による方法」のデータシートを参考にする。

2) 比重計法

(1) 適用範囲

この方法はフレッシュコンクリートのセメント量の試験方法—比重計法—について規定するもので、ポルトランドセメントと天然の細骨材（砕砂を含む）を用いたコンクリートに適用できる。ただし、フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材を添加したコンクリートについては、その品質が安定している場合にのみ適用することが可能である。なお、セメント量の判定の際に必要なセメント量とモルタル懸濁液の比重との関係式は、あらかじめ試験を行って求めておくものとする。

(2) 試験用器具

JIS K 2249に規定する浮きばかり（原油及び石油製品比重用、I型、番号10、有効目盛範囲1.050～1.100）またはJIS B 7525に規定する比重浮ひょう（大型、番号7、有効目盛範囲1.060～1.120）、10mlメスシリンダー、1000mlのメスシリンダーまたは口なしメスシリンダー、はかり（ひょう量2000g、感量0.5g）、5mm網ふるい、棒状温度計（0～100℃）、モルタル練り混ぜ用さじ、試料受け皿（深さ6cm、幅28cm、長さ40cm程度のもの）、時計（60秒が正しく読み取れるもの）、ラップフィルム、鋼製スプーン。

(3) 混和剤

遅延型または標準型のAE減水剤の20%溶液、アルコール（イソプロピルアルコールなど）。

(4) 試験方法

①フレッシュコンクリートを均質になるように練り直して5mm網ふるいを用いてふるい分けを行い、5mm網ふるいを通過したモルタルを試料受け皿にとる。

②①で採取したモルタルを1gまで正確に試料受け皿に400g計量して試料とする。

注1) メスシリンダーに直接400gの試料を採取できる場合は、このようにして試料を採取してもよい。

③試料受け皿にとった試料を水で流しながら残らず1000mlメスシリンダーに移し、さらに1000mlの目盛りまで水を加える。このとき、セメント粒子の分散効果を高めるために適量の（セメント量に対する標準添加量）AE減水剤を加える。

④メスシリンダーの口元をラップフィルムやゴム栓をつけるなどしてふさぐ。メスシリンダーの上下を手で持ち、メスシリンダーの口元から試料や水がこぼれないように注意しつつ、メスシリンダーの口元と底部とが入れ替わるように、上下を逆にする操作を繰り返す。その際、メスシリンダーの底部にモルタルが付着した状態であれば、メスシリンダーを上下に軽く振ってモルタルが落下するようにする。

⑤モルタル試料が水と混合してモルタル懸濁液の状態になったら、メスシリンダーの口元を開けて正確に1000mlの目盛りまで水を加える。

⑥モルタル懸濁液の温度を測定する。懸濁液の温度が20±5℃に入らない場合は、メスシリンダーごとぬるま湯または冷水に浸せきし、懸濁液の温度を15～25℃としたのち、以下の操作を行う。

注2) ⑥の操作によっても懸濁液の液温の調整に長時間を要すると思われる場合には、③で加える水にぬるま湯または冷水を加えてもよいものとする。

⑦再びメスシリンダーの口元をふさいで、メスシリンダーの口元と底部を逆にする操作を10回繰り返す。

⑧⑦の操作が終わったら、直ちにメスシリンダーを水平な台の上に置き、このときから60秒後のモルタル懸濁液の比重 ρ_{M1} を浮きばかりまたは比重浮ひょうを用いて読む。水平付近の泡で比重が読み取りにくい場合は、少量のアルコールを適下するとよい。

⑨⑧の操作を繰り返し、比重 ρ_{M2} を測定する。2回の比重の測定値が0.001以内であれば、 ρ_{M1} と ρ_{M2} の平均値を懸濁液の比重とする。 ρ_{M1} と ρ_{M2} の差が0.001を超える場合は懸濁液中のセメントが不均質になっている恐れがあるので、④～⑧の操作をさらに繰り返して比重 ρ_{M3} を測定して、3回の測定値のうち比重の小さな2回の測定値の平均(ρ_M)をとる。

(5) 結果の計算

試料中のセメント量 C_0 (g) および単位セメント量 C (kg/m³) は、次のようにして求める。

$$C_0 = A(1000\rho_M - B)$$

$$C = C_0 \times \text{単位モルタル容積重量} / \text{試料重量 (kg/m}^3\text{)}$$

A、B：試料中のセメント量が懸濁液の比重と比例するとしたときの係数。この係数は単位セメント量が異なる3配合のコンクリートについて実験を行い、検量線を作成して求める。

比重計法による単位セメント量判定【解説】

一試験方法の要旨一

この試験方法は、フレッシュコンクリートからふるい分けたモルタルを用いて、モルタル中のセメント量を判定しようとするもので、モルタルを一定量の水で希釈して懸濁状態とし、この懸濁液の比重はセメント量と比例関係にあるとしてセメント量を求める。

一適用範囲一

この方法は、天然の細骨材（砕砂をふくむ）を用いて、市販のポルトランドセメント及び混合セメントを用いたコンクリートに共通に適用できるものの、この場合、セメントの種類や使用材料が異なるごとにセメント量とセメント懸濁液の比重との関係式（検量線）を作成しなければ適用できない。

一方、フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材を添加したコンクリートでは、これらの混和材がセメントとともに懸濁状態となり易いことから、品質の安定した混合セメントであれば新たに検量線を作成して混合セメントとしての単位量を判定することも可能である。しかし、細骨材の微粒分が多い場合には、この微粒分もセメント量として判定されるために原則として適用できない。

—試験用器具—

懸濁液の比重を測定するための比重浮ひょうとしては、JIS K 2249に規定されている浮きばかりとJIS B 7575に規定されている比重浮ひょうがあるが、両者は基本的には同じものである。しかし、浮きばかりの最小目盛は0.0005であり、比重浮ひょうの最小目盛は0.001である。一方、一般に使用されている配合のコンクリートの場合、セメント懸濁液の比重が0.001異なるごとにセメント量はおよそ $10\text{kg}/\text{m}^3$ 異なることから、比重測定には比重浮ひょうの方が適しているといえる。

はかりの感量を0.5gとしたのは、懸濁液の比重を0.0005で読み取った場合でもモルタル試料400g中のセメント量に換算すると0.8~0.9gの精度となるためである。

—セメント懸濁用混和剤溶液—

この試験で用いるセメント懸濁用混和剤とは、モルタルを水で希釈して懸濁状態としたとき、セメントの沈降を遅らせる目的で添加するAE減水剤のことである。ここでは、一般的で入手しやすい基本的なタイプであるAE減水剤の遅延形または標準形とした。AE減水剤と同様の性能を有する減水剤、高性能減水剤、流動化剤などについては、懸濁液の比重とセメント量との関係式をそれぞれ作成すれば利用することができる。

AE減水剤の20%溶液とは質量百分率のことであるから、粉末のAE減水剤の場合には、20gのAE減水剤を80gの水で溶解することになる。

—試験方法—

本試験方法においてモルタルを懸濁させる操作を2回行うようにしたのは、比重の測定を正確に行うようにモルタルを懸濁した時にモルタル中の気泡によって下がる液面（モルタル懸濁液量）を調整するためである。

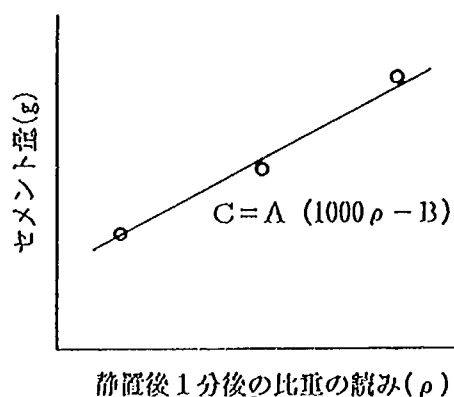
モルタル懸濁液の比重は懸濁液の温度によって異なる。モルタル懸濁液の液温による比重の相違はセメント量によってもいくぶん異なるが、15~25℃の範囲で平均0.00032であった。懸濁液の比重とセメント量との関係を20℃で作成しておけば、懸濁液の温度が 20 ± 3 ℃に対しては比重の読み取り誤差0.001を超えないものの、液温が 20 ± 5 ℃の場合は補正を行うべきである。液温が 20 ± 5 ℃の範囲を超えると液温の補正をしても誤差が大きくなるため、ここでは液温の範囲を 20 ± 5 ℃とした。なお、モルタル懸濁液の液温の調整は、調整時間を短縮するために1000mlの目盛りまで水を加えるときにぬるま湯または冷水を加えてもよいものとした。

モルタル懸濁液の比重は骨材中の微粒分によって影響を受ける。0.15mmふるいを通過する骨材中の微粒分を800mlの水で懸濁状態とし、懸濁液の比重の相違を調べた結果では、8~32gの範囲では微粒分1gの相違は比重にして0.00025であった。懸濁液の比重0.001の相違は微粒分4gに相当することから細骨材中の微粒分が2%以上変動するときは、セメント量の関係式（検量線）を補正するのが望ましい。

－検量線の作成方法－

比重浮ひょうの読み値から単位セメント量を求める際に必要となる検量線の作成は、試験しようとするコンクリートと同じ材料を用いて練り混ぜた3配合以上のコンクリート試料について試験を行う。この場合のコンクリート配合は、単位水量と単位粗骨材量を一定として単位セメント量を増減させ、この単位セメント量を増減に応じて単位細骨材量を変化させるものとし（砂セメント比（重量比）を変化させる）、各配合における単位セメント量と比重浮ひょうの読み値は比例関係にあるものとして直線式を求めて作成する。

検量線の作成例を図－1.2に示す。



図－1.2 検量線の作成例

－結果の計算－

試験結果の計算は、「3章 水セメント比の判定方法 比重計法モルタルの絶対容積の差による方法を組み合わせた方法」のデータシートを参考にする。

付属書 2 単位水量の判定方法

1) 大型加熱乾燥法－簡易法－

(1) 適用範囲

この方法は、フレッシュコンクリートの単位水量の試験方法について規定するもので、軽量骨材を使用したコンクリートを除いては原則として適用範囲の制限はない。ただし、あらかじめ骨材の使用量と吸水率が知られている必要がある。

(2) 試験用器具

大型乾燥炉試験装置（図－2.1に例示、最高温度400℃、コンクリート試料約5kgの乾燥が可能）、容器（試料約5kgが均一に広げられる大きさ）、熱電対（400℃までの温度測定が可能なもの）、はかり（ひょう量10kg、感量0.2gまたはこれよりよいものとする）、はかり台上の金網台、容器ばさみ。

(3) 試料の採取

①フレッシュコンクリート試料の採取方法は、JIS A 1115（まだ固まらないコンクリートの試料採取方法）の規定による。

②試料の量は5kg程度とする。

(4) 試験方法

①(3)の方法で採取した試料重量を測定したのち、容器のすみずみまで均一に広げる。

②試料温度測定用の熱電対をガイドパイプに差込む。

注1) 熱電対の先端は、モルタル分で覆うようにし、粗骨材と接触することや空隙の温度を測定しないようにする。

③容器のふたをして乾燥炉内に入れ、上下の蓄熱ブロックを加圧密着させて加熱を開始する。

④加熱開始後、1分間隔で試料温度を読み取り、図－2.2のような変化であることを確認する。

注2) 図－2.2のような変化でないときは、熱電対のセットが悪いためであるから試験を中止して、試験をやり直す。

⑤試料が500℃以上となるまで加熱した後に容器を乾燥炉から取り出し、加熱を停止する。

注3) この時、容器は高温になっていることから十分に注意して取り扱う。

⑥乾燥させた試料の重量を測定する。

注4) はかりが電子天秤の場合には、天秤台に直接容器を載せないようにし、台上に金網台を載せて重量を測定する。

(5) 結果の計算

試料中の水量 W_0 (g) 及び単位水量 W (kg/m³) は次のように求める。

$$W_0 = M_0 - M_D - S_0 \times q / 100 - G_0 \times p / 100$$

ここに、 W_0 ：試料中の水量 (g)

S_0 ：配合表から計算で求めた試料中の絶乾細骨材量 (g)

q ：細骨材の吸水率 (%)

G_0 ：配合表から計算で求めた試料中の絶乾粗骨材量 (g)

p ：粗骨材の吸水率 (%)

W = コンクリートの単位容積重量 $\times W_0 / M_0$ (kg/m³)

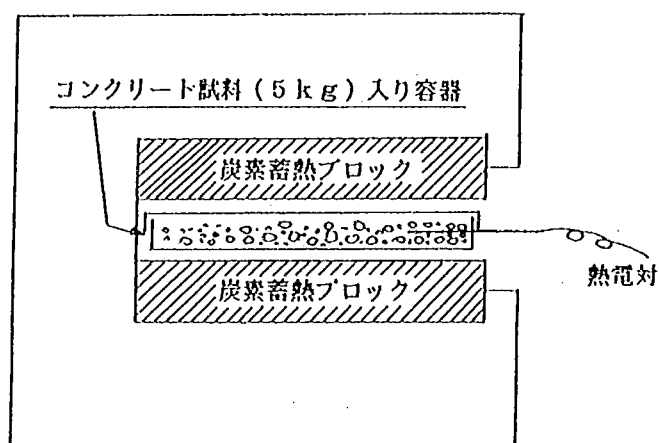
2) 大型加熱乾燥法－詳細法－

(1) 適用範囲

この方法は、フレッシュコンクリートの単位水量の試験方法について規定するもので、軽量骨材を使用したコンクリートを除いては原則として適用範囲の制限はない。ただし、あらかじめ細骨材の使用量と粗骨材の吸水率が知られている必要がある。

(2) 試験用器具

大型乾燥炉試験装置（図－2.1に例示、最高温度400℃、コンクリート試料約5 kgの乾燥が可能）、容器（試料約5 kgが均一に広げられる大きさ）、熱電対（400℃までの温度測定が可能なもの）、はかり（ひょう量10kg、感量0.2 g またはこれよりよいものとする）、はかり台上の金網台、5 mm網ふるい、容器ばさみ。



＊）蓄熱層は400℃に加熱してある。

図－2.1 大型加熱乾燥炉試験装置の概要

(3) 試料の採取

①フレッシュコンクリート試料の採取方法は、JIS A 1115（まだ固まらないコンクリートの試料採取方法）の規定による。

②試料の量は5 kg程度とする。

(4) 試験方法

①(3)の方法で採取した試料重量を測定したのち、容器のすみずみまで均一に広げる。

②試料温度測定用の熱電対をガイドパイプに差込む。

注1）熱電対の先端は、モルタル分で覆うようにし、粗骨材と接触することや空隙の温度を測定しないようにする。

③容器のふたをして乾燥炉内に入れ、上下の蓄熱ブロックを加圧密着させて加熱を開始する。

④加熱開始後、1分間隔で試料温度を読み取り、図-2.2のような変化であることを確認する。

注2) 図のような変化でないときは、熱電対のセットが悪いためであるから試験を中止して、試験をやり直す。

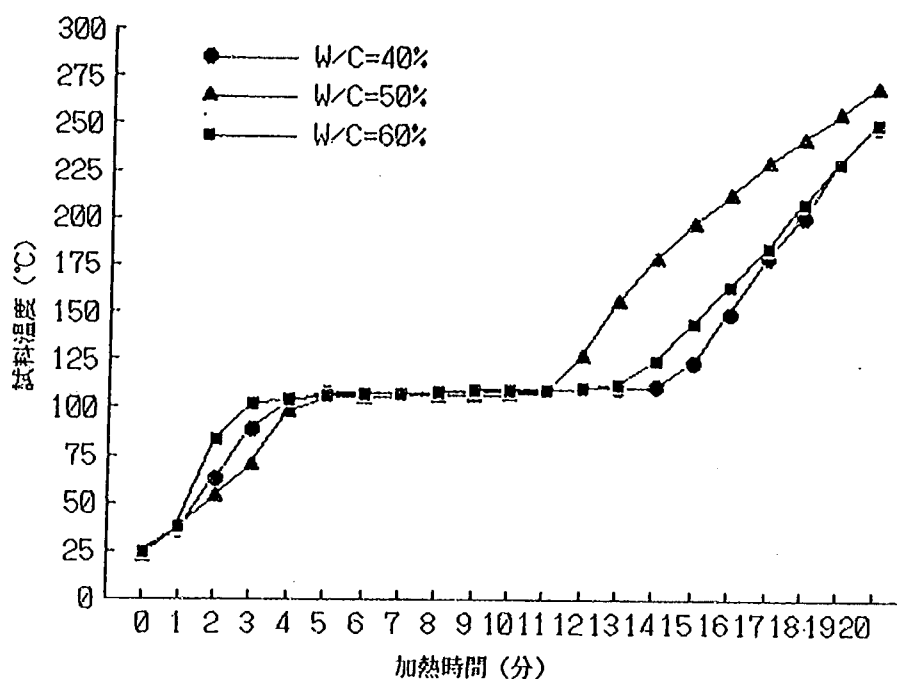


図-2.2 加熱時間と試料温度の関係の測定例

⑤試料が200℃以上となるまで加熱した後容器を乾燥炉から取り出し、加熱を停止する。

注3) この時、容器は高温になっていることから十分に注意して取り扱う。

⑥乾燥させた試料の重量は、試料温度を200℃以下にして測定することとし、重量測定時の試料温度 T (°C) を測定する。

注4) はかりが電子天秤の場合には、天秤台に直接容器を載せないようにし、台上に金網台を載せて重量を測定する。

⑦乾燥重量測定後、試料中の粗骨材を5mmふるいで洗いだして、表面乾燥飽水状態として重量を測定する。

(5) 測定値の補正方法

①乾燥重量の補正

試料温度を200℃以下にして測定した乾燥重量は、次の式で補正する。

$$M_D = M_D' + A \{0.001293 / (1 + 0.00367 \times T)\}$$

ここに、 M_D : 補正した乾燥重量 (g)

M_D' : 乾燥重量の測定値 (g)

A : 試料を入れた容器の容積 (cm³)

T : 乾燥重量を測定したときの試料温度 (℃)

②試料採取の影響の補正

試料採取の影響を補正するための補正係数は次の式から求める。

$$\alpha = (M_0 - G) / (M_0 - G')$$

ここに、 α : 試料採取補正係数

M_0 : 乾燥前の試料重量 (g)

G : 配合表から求めた試料中の粗骨材量 (g)

G' : 乾燥後に洗いだして求めた試料中の粗骨材量 (g)

(6) 予備実験

①細骨材の吸水率

a 試験しようとするコンクリート試料中に含まれている細骨材量に相当する量の細骨材を表面乾燥飽水状態とする。

b この細骨材試料を乾燥用の容器にあげ、試料重量を測定して(4)の①～⑥の操作を行う。

c a～bの操作を試料温度3点、1試料温度ごと3回行う。

(7) 結果の計算

単位水量W (kg/m³) は次のように求める。

$$W = \alpha \times (M_0 - M_b - S_0 \times q / 100 \alpha - G_0 \times p / 100)$$

×コンクリートの単位容積重量 / 試料重量

ここに、 S_0 : 配合表から求めた試料中の絶乾細骨材量 (g)

q : (6)の予備実験で求めた細骨材の吸水率 (%)

G_0 : 試験後に洗い出して求めた試料中の絶乾粗骨材量 (g)

p : 粗骨材の吸水率 (%)

乾燥炉法による単位水量の判定【解説】

－試験方法の要旨－

この試験方法は、フレッシュコンクリートを加熱乾燥することによって絶乾状態とし、乾燥前後の重量差から骨材中の吸水分を差し引くことで試料中の水量－練りまぜに用いた水量－を求める。このようにして、測定値から直接単位水量を求める方法を－簡易法－とし、測定値補正のための予備実験や粗骨材洗い出しの操作を行う方法を－詳細法－とした。

－適用範囲－

この方法は、フレッシュコンクリートを加熱乾燥させて単位水量を求めるものであるから、コンクリートの種類や使用材料による適用範囲の制限はない。ただし、軽量骨材は吸水率の試験方法が定まっていないことから適用の範囲から除くこととした。

－試験用器具－

フレッシュコンクリート試料の乾燥に用いる装置は、試料温度を200℃以上に加熱することやそれに要する時間をできるだけ短くすることから、400℃以上に加熱されているブロックで試料の入っている容器を加圧密着できるものの方がよい。

－試験方法－

コンクリート試料の加熱温度を200℃以上としたのは、大型乾燥炉試験装置を使用してコンクリート試料を絶乾状態とするのに20分程度であることと図-2.3に示すように骨材は200℃以上まで加熱すればほぼ絶乾状態となることによる。

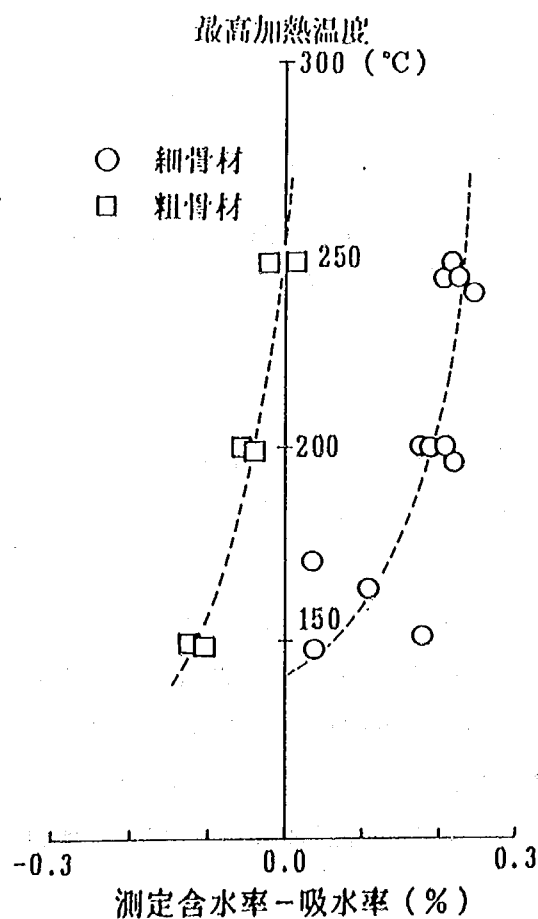


図-2.3 大型乾燥炉試験装置での
骨材吸収率の測定例

－結果の計算－

加熱された試料の乾燥重量を試料温度を250℃とした直後に測定した場合には、容器中の加熱された空気の密度の影響によって試料温度が20℃とした時に比べて4 g程度小さく測定されていた。このまま測定値を計算に用いると単位水量は配合値に比べておよそ1.8kg/m³大きく計算されることになり、計量の際の誤差との区別が難しくなるためである。

また、細骨材の吸水率を乾燥炉法で求めたのは、粗骨材は表乾状態が得やすいことからJIS試験法で求めた値とほぼ一致したものの、細骨材はJIS試験法で求めた値に比べて0.23%大きくなったことによる（JIS試験法で求めた吸水率を用いて計算した場合に比べて単位水量はおよそ1.8kg/m³小さく計算される）。このため、細骨材の吸水率を確認することからも乾燥炉法でも求めておくこととした。

簡易法と詳細法の試験結果の比較を表2.1に示す。

表2.1 大型加熱乾燥法における簡易法と詳細法の測定比較例

	測定単位水量	補 正 値		補正単位水量	誤 差
		乾燥重量測定	試 料 採 取		
簡 易 法	157.9	—	—	—	-5.6
詳 細 法	157.9	+2.0	+4.0	163.9	+0.4

配合単位水量 = 163.5kg/m³

試料採取補正係数 $\alpha = 1.025$

試料は250℃まで加熱し、乾燥重量は200℃の時に測定した。

細骨材の吸水率は予備実験によって求めた値を使用した。

－参考事項－

使用材料が同一で配合が変化するようなコンクリートを試験する場合は、単位水量測定値を目的変数とし、配合表から得られる水セメント比、細骨材率、単位水量を説明変数として重回帰分析を行えば、さらに精度よく測定値の補正をすることができる。

乾燥炉法と同様の原理で、電子レンジ、ガスコンロ、電熱器などの乾燥器具を用いてウェットスクリーニングモルタルを試料として単位水量を求める方法—加熱乾燥法—も考えられるが、その場合にはウェットスクリーニング等の影響を補正するための係数を予備実験によって求めておく必要がある。すなわち、電子レンジを用いて試験した結果では、ウェットスクリーニングモルタルの測定単位水量は配合値に比べて約14kg/m³も小さかった。これは、水分の自然蒸発やセメントとの水和の進行の他に、練り混ぜ容器やふるいに付着したためと考えられる。

大型加熱乾燥法 データシート

試験名				試験年月日			
試料番号				試料採取時刻			
試料採取場所				試験場所			
試験者							
コンクリート配合							
粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (mm)	空気量 の範囲 (%)	水モル比 W/C (%)	細骨材率 s/o (%)	単位量 (kg/m ³)		
					水 W	セメント C	細骨材 S
コンクリートの単位容積重量 (A): kg/m ³				細骨材の吸水率 (B): %		粗骨材の吸水率 (C): %	
測定番号						1	
容器番号				容器の容積 (D): cm ³		2	
① 容器重量 (g)							
② (容器+試料) 重量 (g)							
③ 試料重量 (g)				②-①			
④ 試料中の細骨材量 (g)				③×単位細骨材量/n			
⑤ 試料中の粗骨材量 (g)				③×単位粗骨材量/n			
⑥ 最高加熱温度 (℃)							
⑦ 乾燥重量 (容器+試料) (g)							
⑧ 乾燥重量 (g)				⑦-①			
⑨ 乾燥重量測定時の試料温度 (℃)							
⑩ 容器中の空気密度 (g)				0.001239/(1+0.00367×⑨)			
⑪ 補正乾燥重量 (g)				⑧×⑩			
⑫ 試料中の細骨材の絶対重量 (g)				④/(1+B/100)			
⑬ 細骨材吸水率 (g)				④-⑫			
⑭ 実測粗骨材量 (g)							
⑮ 粗骨材の絶対重量 (g)				⑭/(1+C/100)			
⑯ 粗骨材吸水率 (g)				⑭-⑮			
⑰ 試料採取補正係数				③-④/③-⑯			
⑱ 単位水量 (g)				n×⑰(③-⑯-⑬/④-⑮)/⑥			
⑲ 水モル比 (%)				⑱/単位モル量			

3) コンクリートの気中及び水中重量の差による方法

(1) 適用範囲

この方法は、フレッシュコンクリートの単位水量の判定方法について規定するもので、原則として適用範囲の制限はない。ただし、骨材とセメントの比重があらかじめ知られていることが必要である。

(2) 試験用器具

試料容器、比重天秤（感量0.5gまたはこれよりよいものとする、金網かご付き）、水中重量測定用水槽、5mm網ふるい。

(3) 試験方法

①フレッシュコンクリートからJIS A 1115（まだ固まらないコンクリートの試料の採取方法）によって試料を採取する。

②採取した試料から2リットル程度試験用試料を容器に入れる。

③試料の気中重量を測定する。

④予め用意した水を容器の肩口付近まで注水し、突き棒で試料と水を攪はんして気泡を追い出す。次に容器の口まで注水し、容器の蓋を締めて上下の振ったり、転がすなどして気泡を完全に追い出す。

⑤容器の蓋を開け、3分間静置して試料を沈澱させる。

注1) この時、液面の気泡を除去したい時は、エチルアルコールを少量添加するとよい。

⑥容器中の試料をできるだけ動かさないようにして試料の水中重量を測定する。

注2) 水中重量測定の際は、容器の底面に気泡が残らないようにする。

⑦水中重量を測定した試料から5mm 網ふるいで粗骨材を洗いだして表乾重量を測定する。

(4) 結果の計算

単位水量 W (kg/m³) は次のように求める。

$$W = \alpha (a M_0 - b M_w + c G + d C' / \alpha) \times \text{コンクリートの単位容積重量} / M_0$$

ここに、 M_0 ：試料の気中重量 (g)

M_w ：試料の水中重量 (g)

α ：試料採取補正係数

G ：試験後に洗いだして求めた試料中の粗骨材量 (g)

C' ：配合表から求めた試料中のセメント量 (g)

a 、 b 、 c 、 d ：材料の比重より求める係数。

$$a = (1 - 1/\rho_s) / (1/\rho_w - 1/\rho_s)$$

$$b = 1 / (1/\rho_w - 1/\rho_s)$$

$$c = (1/\rho_s - 1/\rho_o) / (1/\rho_w - 1/\rho_s)$$

$$d = (1/\rho_s - 1/\rho_c) / (1/\rho_w - 1/\rho_s)$$

試料採取補正係数 (α) は次の式で求める。

$$\alpha = (M_o - G') / (M_o - G)$$

ここに、 M_o ：試料の気中重量 (g)

G' ：配合表から計算で求めた試料中の粗骨材量 (g)

G ：試験後に洗いだして求めた試料中の粗骨材量 (g)

(5) 参考事項

試料を採取してから持ち運ぶ場合、あるいは測定までに時間のあく場合には、容器に試料を入れ、蓋をしておくといよい。

コンクリートの気中及び水中重量の差による方法【解説】

－適用範囲－

この試験方法は、フレッシュコンクリートの単位水量試験方法について規定するもので、原則として適用範囲の制限はない。ただし、予めセメントの比重と使用量、細骨材の比重と使用量ならびに粗骨材の比重が知られていることが必要である。

－試験用器具－

この試験に用いる試料容器は、2リットル以上のコンクリート試料を入れることができるもので、できるだけ容器の内面が底部から口部まで凹凸のないものが望ましい。また、底部が凹状になっていて気泡がたまり易いものは用いないほうがよい。

－試験方法－

この試験方法において大切なことはコンクリート試料中から空気を完全に除去することである。このため、コンクリート試料と水を試料容器に入れて攪はんする場合には、試料容器の口部まで水を入れることとし、攪はん操作の間に試料中に再び空気が混入しないようにする。

水中重量の測定は、セメント粒子ができるだけ水槽に流れでないようにすることから3分間静置することとした。

水中重量測定後に粗骨材を洗いだして表乾状態とし、粗骨材重量を測定する操作は試料採取の影響を補正しようとするものである。

コンクリートの気中及び水中重量
の差による方法

データシート

試験名					試験年月日			
試料番号					試料採取時刻			
試料採取場所					試験場所			
試験者								
コンクリート配合								
粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G mm ~ mm mm ~ mm
								混和材料 混和材 混和剤
セメントの比重 (ρ _c):				細骨材の比重 (ρ _s):		粗骨材の比重 (ρ _G):		
測定番号						1		2
容器番号								
①容器の気中重量 (g)								
②容器の水中重量 (g)								
③(容器+試料) 気中重量 (g)								
④試料の気中重量 (g)				③-①				
⑤(容器+試料) 水中重量 (g)								
⑥試料の水中重量 (g)				⑤-②				
⑦試料中のセメント量 (g)				④×単位セメント量/単位容積重量				
⑧試料中の粗骨材量 (g)				④×単位粗骨材量/単位容積重量				
⑨比重係数				a=(1-1/ρ _s)/(1/ρ _v -1/ρ _s)				
				b=1/(1/ρ _v -1/ρ _s)				
				c=(1/ρ _s -1/ρ _G)/(1/ρ _v -1/ρ _s)				
				d=(1/ρ _s -1/ρ _c)/(1/ρ _v -1/ρ _s)				
⑩実測粗骨材量 (g)								
⑪試料採取補正係数				⑩-⑧/④-⑥				
⑫単位水量 (kg/m ³)				⑪×(a×④-b×⑥+c×⑩+d×⑦)/⑩×単位容積重量/④				
⑬水セメント比 (%)				⑫/単位セメント量				

4) 空気量試験を利用する方法

(1) 適用範囲

この方法はフレッシュコンクリートの空気量測定試験を利用して水量の試験を行う場合について規定するもので、原則として適用範囲の制限はない。ただし、あらかじめセメントの比重と使用量、骨材の比重が知られていることが必要である。

(2) 試験用器具

JIS A 1118「まだ固まらないコンクリートの空気量の容積による試験方法」で使用する器具一式、はかり（感量：0.5 g）、5 mm網ふるい。

(3) 試験方法

①空気量試験用の容器に試料を入れ、空気量測定直前の試料重量を測定する。

注1) この時、空気量試験用の容器の蓋はしないで試料重量を測定する。

②JIS A 1118の試験方法によってコンクリート試料の空気量を測定する。

③コンクリート試料を5 mm網ふるいで洗いだして粗骨材の表面乾燥飽水状態の重量を測定する。

(4) 結果の計算

単位水量 W (kg/m³) は次の式で求める。

$$W = \alpha \{ M_0 - C_0 / \alpha - \rho_s (V - V \cdot A / 100 - C_0 / \rho_s \alpha - G_v) - G_0 \} / (1 - \rho_s) \\ \times \text{コンクリートの単位容積重量} / M_0$$

ここに、 M_0 ：コンクリート試料の重量 (g)

C_0 、 G_0 ：それぞれ試料中のセメント量、粗骨材量。 C_0 は配合表から計算して求めることとし、 G_0 は試料から洗いだして求める。

V ：エアメーターの容器の容積 (ml)

A ：空気量測定値 (%)

G_v ：試料中の粗骨材の絶対容積 (ml)、 G_v は試料から洗いだした粗骨材量 G_0 から求める。

ρ_c ：セメントの比重

ρ_s ：細骨材の表乾比重

試料採取補正係数 (α) は、次の式から求める。

$$\alpha = (M_0 - G') / (M_0 - G_0)$$

ここに、 G' ：配合表から求めた試料中の粗骨材量

空気量試験を利用する方法【解説】

1. 適用範囲

この試験方法は、まだ固まらないコンクリートの空気量の容積による試験方法を利用して水量を求めるもので、適用範囲の制限は原則としてない。

2. 参考事項

この試験と同様の原理で細骨材の表面水率試験方法を利用してモルタル中の水量を判定する試験方法も考えられる。この場合には、JIS A 1111「細骨材の表面水率試験方法（重量法）」と同様の操作を行って次の式でモルタル試料中の水量 W_0 （g）を求める。

$$W_0 = \{M_0 - C_0 - \rho_s (M_v - C_v)\} / (1 - \rho_s)$$

$$M_v = M_0 + W_1 - W_2$$

ここに、 M_0 ：試料の質量（g）

C_0 ：モルタル試料中のセメント量（g）

ρ_s ：細骨材の比重

M_v ：試料中の気泡を追い出した時の容積（ml）

W_1 ：ガラス容器に水だけを縁まで正しく入れたときの水の質量（g）

W_2 ：ガラス容器に試料と水を入れて試料中の気泡を追い出し、ガラス容器の縁まで正しく水を入れたときの試料と水の合計の質量（g）

C_v ：試料中に含まれているセメントの絶対容積（ml）

付属書3 水セメント比の判定方法

1) 振動の粘性減衰による方法

(1) 適用範囲

この方法は、フレッシュコンクリートの水セメント比を既に開発・市販されている試験機を用いて、フレッシュコンクリート中を伝わる振動の粘性減衰によって判定する方法について規定するもので、フレッシュコンクリートのコンシステンシーやコンクリートの種類によっては適用が制限される場合がある。また、フライアッシュや高炉スラグ粉末を混入したコンクリートでは、これらがセメント量として測定される。

(2) 試験用器具

表示器（スランプ設定用つまみ：5、8、10、12、15、18、20、22cmの8段階、水セメント比表示機：30～70％）、測定機（感応板：単一方向の正弦振動を与える一対の板。スランプの相違によって加振力が変化する）、AC100V電源を使用。

(3) 試験方法

①試験器の電源を入れ、空中で感応板を振動させて所定の加振力が加わっているか確認する。

②試験しようとするフレッシュコンクリートのスランプに表示器の「スランプ設定用つまみ」を合わせる。

③測定機の感応板保護カバーを引き上げ、感応板を振動させながらフレッシュコンクリートの中に挿入レベル板まで感応板を押し込む。この際、測定機を振動方向に軽く揺すり、コンクリートと感応板をなじませる。

注1) 感応板の保護カバーは判定試験の時だけ引き上げるようにし、その他の時は必ず下げておくようにする。

④表示器の「W/Cメーター」の指針が安定したときの値を読み取る。

注2) 指針の読み取りの時は、測定機はできるだけ静止させる。

(4) 参考事項

振動を利用したフレッシュコンクリートの水セメント比の判定方法は、次のようなコンクリートには適用できない。

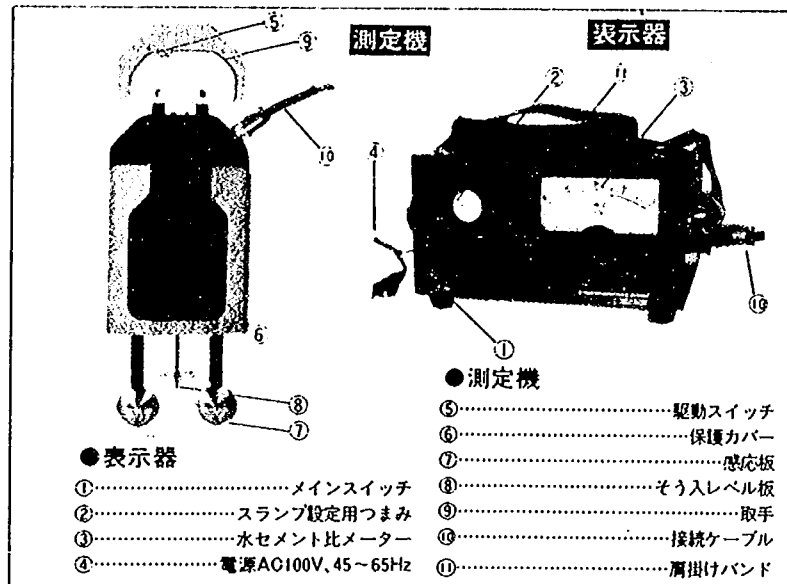
①流動化コンクリートや水中不分離性コンクリートのように普通コンクリートと粘性が異なるコンクリート。

②超硬練りコンクリートのようにペースト分が少なく、感応板に沿ってセメントペーストの層流が生

じないコンクリート。

③普通コンクリートでもスランプが10cmより小さい、または、水セメント比が60%を超えるコンクリート。

④フライアッシュや高炉スラグ粉末が混入している場合はこれらの混和材はセメント量と判定される。



試験名				試験年月日				
試料番号				試料採取時刻				
試料採取場所				試験場所				
試験者								
コンクリート配合								
粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材G 500～ 1000 1000～ 2000
								混和材料 混和材 混和剤
測定番号				1	2	3	4	
スランブ実測値 (cm)								
スランブ設定値 (cm)								
水セメント比 (%)								

2) 塩酸溶解熱法とモルタルの絶対容積の差による方法を組み合わせた方法

(1) 適用範囲

この方法は、フレッシュコンクリートの水セメント比の試験方法について規定するもので普通ポルトランドセメント及び早強ポルトランドセメントを用い、天然細骨材（砕砂を含む）を用いたコンクリートに適用できる。ただし、石灰石や貝殻などを含む細骨材を用いたコンクリートには原則として適用できない。

(2) 試験用器具及び試薬

容器及び断熱ケース、足長温度計（1/5目盛：0～100℃）、普通温度計（1/5目盛：0～50℃）、500ml三角フラスコ、5mm網ふるい、試料受け皿、1000mlメスシリンダー、200mlコップ、ガラス棒、鋼製スプーン、はかりまたは比重天秤（感量200g、比重天秤の場合は金網かご付）、塩酸（1級）。

(3) 試験方法

①フレッシュコンクリートから5mmふるいを用いてふるい分けられたモルタル試料約200mlを200mlコップに採取する。

注1）ふるい、試料受け皿、鋼製スプーン及びコップの内面はあらかじめ同じモルタルで拭しておく。

②あらかじめ質量および容積（縁の高さと正しく一致するように水を入れたときの水の質量 M_1 を0.5gまで計って求める）の分かっている三角フラスコにスプーンを用いて試料を入れ、試料の気中重量 M_0 を測定する。

注2）フラスコは、内面に水分が付着していないことを確かめて使用する。また、試料をフラスコに詰めた後、フラスコの口に付着したモルタルはきれいに拭き取ってから気中重量を測定する。

③あらかじめ用意した水の800mlの一部を三角フラスコの肩口付近まで注水し、ガラス棒で攪はんして試料中の空気を追い出す。

④気泡の分だけ低くなった水面に③で用意した水の一部を移し、水面の高さが三角フラスコの縁の高さと正しく一致するようにする。三角フラスコ内の試料と水の合計重量 M_2 をはかりを用いて0.5gまで測定する。

⑤容器に三角フラスコを逆にして、軽く上下に振りながら中身をこぼさないようにあけ、③及び④の残りの水全部で三角フラスコ内をよく洗いながらこれも容器に入れる。

⑥容器にふたをして断熱ケースに入れ、これを横にして約30秒間両手で左右に振とうし、希釈試料としてその温度を足長温度計で測定する。

⑦500gの塩酸の温度を普通温度計で測定する。

⑧断熱ケースに入れた容器中に⑦の塩酸を全量投入して素早くふたをして断熱ケースを横にして約30秒間左右に軽く振とうする。

⑨ふたを取り、直ちに足長温度計を差し込み、その先端で2～3回攪はんして上昇した最高温度を測定する。

注3) 容器内の圧力は温度の上昇によって高くなっているので、容器のふたをわずかに緩め、圧力を抜いてから開けるとよい。

(4) 結果の計算

①セメント量

試料中のセメント量は次の式により求める。

$$\text{セメント量 (g)} = 2.92 \times (\text{温度差}) - 33.2$$

ここに、温度差 (°C) = (最高温度) - (基準温度)

$$\text{基準温度 (°C)} = 0.8 \times (\text{希釈液の温度}) + 0.2 \times (\text{塩酸の温度})$$

注4) セメント量と温度差との関係式は、使用する断熱ケースの材質により異なる。ここに示した関係式は容器及び断熱ケースが一般に市販されている試験器具の場合に適用できる。

②水量の計算

試料中の水量 W_0 (g) および単位水量 W (kg/m³) は、次のようにして求める。

$$W_0 = \{M_0 - C_0 - \rho_s (M_v - C_v)\} / (1 - \rho_s)$$

$$M_v = M_0 + M_1 - M_2$$

ここに、 M_0 : 試料の質量 (g)

C_0 : モルタル試料中のセメント量 (g)

ρ_s : 細骨材の比重

M_v : 試料中の気泡を追い出し時の容積 (ml)

M_1 : 500ml三角フラスコに水だけを縁まで正しく入れたときの水の質量 (g)

M_2 : 500ml三角フラスコに試料と水を入れて試料中の気泡を追い出し、ガラス容器の縁まで正しく水を入れたときの試料と水の合計の質量 (g)

C_v : 試料中に含まれているセメントの絶対容積 (ml)

③水セメント比

$$\text{水セメント比 (\%)} = \text{水量} / \text{セメント量} \times 100$$

塩酸溶解熱法とモルタルの絶対容積の差による方法を組み合わせた方法【解説】

「付属書1 単位セメント量の判定方法 塩酸溶解熱法」を参照。

なお、モルタル試料中の水量をモルタル試料の気中重量と水中重量の差から求める場合には、試験方法の③以降の操作を次のように行う。

④ 5 分間静置して試料の沈降を待ち、③の残りの水を三角フラスコの口まで加える。

⑤ 三角フラスコに試料をいれたまま金網かごに入れて静かに浸水し、試料の水中重量を測定する。

注) 浸水の際、フラスコ底面のくぼみに気泡を残さないようにする。

このようにして測定した結果から試料中の水量を計算するときは次の式による。

$$W_0 = M_0 - \left[\{M_w - C_0 \times (\rho_c - 1) / \rho_c\} \times \rho_s / (\rho_s - 1) + C_0 \right]$$

ここに、 M_0 ：試料の気中重量 (g)

M_w ：試料の水中重量 (g)

C_0 ：試料中のセメント量 (g)

ρ_c ：セメントの比重

ρ_s ：細骨材の比重

塩酸溶解法と水の絶対容積

の差による方法を組み合わせた方法

ワークシート

試験名				試験年月日				
試料番号				試料採取時刻				
試料採取場所				試験場所				
試験者								
コンクリート配合								
粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランツ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	
					粗骨材 G		混和材料	
					mm ~ mm		mm ~ mm	
							混和材	
							混和剤	
セメントの比重 (ρ _c):				粗骨材の比重 (ρ _s):				
測定番号				1				
2				2				
2.2.2 番号				容器の縁まで入れた水の質量 (n) (g)				
1000mlメスシリンダー-容器番号								
① 容器の質量 (g)								
② (容器+試料) 質量 (g)								
③ 試料質量 (g)				② - ①				
④ (試料+水+容器) 質量 (g)								
⑤ (試料+水) 質量 (g)				④ - ①				
⑥ 塩化液の温度 (°C)								
⑦ 塩酸の温度 (°C)								
⑧ 最高温度 (°C)								
⑨ 基準温度 (°C)				0.8 × ⑥ + 0.2 × ⑦				
⑩ 温度差 (°C)				⑧ - ⑨				
⑪ 試料中のセメント量 (g)				2.92 × ⑩ - 33.2				
⑫ 単位セメント量 (kg/m ³)				⑪ × 単位モルタル容積質量 / ③				
⑬ 試料の容積 (ml)				③ + n - ⑤				
⑭ セメントの絶対容積 (ml)				⑪ / ρ _c				
⑮ 試料中の水量 (g)				(③ - ⑪ - ρ _s (⑬ - ⑭)) / (1 - ρ _s)				
⑯ 単位水量 (kg/m ³)				⑮ × 単位モルタル容積質量 / ③				
⑰ 水セメント比 (%)				⑯ / ⑫ (⑯ / ⑫)				

3) 比重計法とモルタルの絶対容積の差による方法を組み合わせた方法

(1) 適用範囲

この方法はフレッシュコンクリートのセメント量の試験方法—比重計法—について規定するもので、ポルトランドセメントと天然の細骨材（砕砂を含む）を用いたコンクリートに適用できる。ただし、フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材を添加したコンクリートについては、その品質が安定している場合にのみ適用することが可能である。なお、セメント量の判定の際に必要なセメント量とモルタル懸濁液の比重との関係式は、あらかじめ試験を行って求めておくものとする。

(2) 試験用器具

JIS K 2249に規定する浮きばかり（原油及び石油製品比重用、I型、番号10、有効目盛範囲1.050～1.100）または JIS B 7525に規定する比重浮ひょう（大型、番号7、有効目盛範囲1.060～1.120）、10mlメスシリンダー、1000ml口なしメスシリンダー、500ml三角フラスコ、1リットルビーカー、はかり（ひょう量2000g、感量0.5g）、5mm網ふるい、棒状温度計（0～100℃）、ガラス棒、モルタル練り混ぜ用さじ、試料受け皿（深さ6cm、幅28cm、長さ40cm程度のもの）、時計（60秒が正しく読み取れるもの）、ラップフィルム。

(3) 混和剤

AE減水剤の遅延型または標準型のものの20%溶液、アルコール（イソプロピルアルコールなど）

(4) 試験方法

- ①フレッシュコンクリートを均質になるように練り直して5mm 網ふるいを用いてふるい分けを行い、5mm 網ふるいを通過したモルタルを試料受け皿にとる。
- ②容器の質量及び容積（縁の高さと正しく一致するように水を入れたときの水の質量 M_1 を0.5gまで量って求める）の分かっている500ml三角フラスコに①のモルタルを練りさじで練り直した後、400g採取し、これを試料 M_0 （g）とする。
- ③1000mlのメスシリンダーを用いて水を800ml計り、これを1リットルビーカーに入れる。水の温度は、①の試料と混合したときに 20 ± 5 ℃となるように、あらかじめ調整しておく。
- ④10mlメスシリンダーを用いて(3)のセメント懸濁用混和剤溶液4mlを計り、これを③の水800mlの入っているビーカーにあげ、ガラス棒を用いて水とよく混合する。
- ⑤④で用意したセメント懸濁用混和剤溶液入り水の一部を試料の入っている500ml三角フラスコの肩口付近まで入れ、ガラス棒を用いて約3分間攪はんして試料中の気泡を追い出す。
- ⑥気泡の分だけ低くなった水面に④で用意した水の一部を移し、水面の高さが三角フラスコの縁の高さと正しく一致するようにする。三角フラスコ内の試料とセメント懸濁用混和剤入りの水の合計 M_2

をはかりを用いて0.5gまで測定する。

⑦三角フラスコ内の試料とセメント懸濁用混和剤入りの水を、こぼさないように注意しながら1000ml口なしメスシリンダーに移す。その場合、三角フラスコ内の内壁面はセメント及び細骨材の一部が残っているから、④で用意した水で洗い落としながらこの水とともにすべて1000mlメスシリンダーにあける。

⑧試料及び水の入っているメスシリンダーの口元をラップフィルムやゴム栓をつけるなどしてふさぐ。メスシリンダーの上下を手で持ち、メスシリンダーの口元から試料や水がこぼれないように注意しつつ、メスシリンダーの口元と底部とが入れ替わるように、上下を逆にする操作を繰り返す。その際、メスシリンダーの底部にモルタルが付着した状態であれば、メスシリンダーを上下に軽く振ってモルタルが落下するようにする。

⑨モルタル試料が水と混合してモルタル懸濁液の状態となったら、メスシリンダーの口元を開けて正確に1000mlの目盛りまで水を加える。

⑩モルタル懸濁液の温度を測定する。懸濁液の温度が 20 ± 5 ℃に入らない場合は、メスシリンダーごとぬるま湯または冷水に浸せきし、懸濁液の温度を $15 \sim 25$ ℃としたのち、以下の操作を行う。

⑪再びメスシリンダーの口元をふさいで、メスシリンダーの口元と底部を逆にする操作を10回繰り返す。

⑫⑪の操作が終わったら、直ちにメスシリンダーを水平な台の上に置き、このときから60秒後のモルタル懸濁液の比重 ρ_{M1} を浮きばかりまたは比重浮ひょうを用いて読む。水平付近の泡で比重が読み取りにくい場合は、少量のアルコールを適下するとよい。

⑬⑪と⑫の操作を繰り返して、比重 ρ_{M2} を測定する。2回の比重の測定値が0.001以内であれば、 ρ_{M1} と ρ_{M2} の平均値を懸濁液の比重とする。 ρ_{M1} と ρ_{M2} の差が0.001を超える場合は懸濁液中のセメントが不均質になっている恐れがあるので、⑪と⑫の操作をさらに繰り返して比重 ρ_{M3} を測定して、3回の測定値のうち比重の小さな2回の測定値の平均をとる。

(5) 結果の計算

①セメント量の計算

試料中のセメント量 C_0 (g) および単位セメント量 C (kg/m³) は次のようにして求める。

$$C_0 = A (1000 \rho_M - B)$$

$$C = C_0 \times \text{単位モルタル容積重量} / \text{試料重量}$$

A、B：試料中のセメント量が懸濁液の比重と比例するとしたときの係数。この係数は、単位セメント量が異なる3配合のコンクリートについて実験を行い、検量線を作成して求める。

② 水量の計算

試料中の水量 W_0 (g) は、次のようにして求める。

$$W_0 = \{M_0 - C_0 - P_s (M_v - C_v)\} / (1 - \rho_s)$$

$$M_v = M_0 + W_1 - W_2$$

ここに、 M_v ：試料中の気泡を追い出し時の容積（ml）

M_0 ：試料の質量（g）

W_1 ：500ml三角フラスコに水だけを縁まで正しく入れたときの水の質量（g）

W_2 ：500ml三角フラスコに試料と水を入れて試料中の気泡を追い出し、三角フラスコの縁まで正しく水を入れたときの試料と水の合計の質量（g）

C_v ：試料中に含まれているセメントの絶対容積（ml）

③水セメント比の計算

$$\text{水セメント比} = W_0 / C_0 (\%)$$

比重計法と絶対容積の差による方法を組み合わせた方法【解説】

「付属書1 単位セメント量の判定方法 比重計法」を参照。

比重計法とモル法の絶対容積の差
による方法を組み合わせた方法

データシート

試験名				試験年月日			
試料番号				試料採取時刻			
試料採取場所				試験場所			
試験者							
コンクリート配合							
粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)		
					水 W	セメント C	細骨材 S
セメントの比重 (ρ _c):				細骨材の比重 (ρ _s):		換算線: C=A(1000 ρ _H -B)	
測定番号						1	
ガラス容器番号				容器の縁まで入れた水の質量(C)(g)		2	
1000mlメスシリンダー容器番号							
①容器の重量 (g)							
②(容器+試料)重量 (g)							
③試料の重量 (g)				②-①			
④(試料+水+容器)重量 (g)							
⑤(容器+水)重量 (g)				④-①			
⑥懸濁液の温度 (℃)							
⑦懸濁液の比重 (ρ _{H1})							
(ρ _{H2})							
(ρ _{H3})							
比重の平均値 AVG(ρ _H)							
⑧試料の容積 (ml)				③+C-⑤			
⑨試料中のセメント量 (g)				A(1000 ρ _H -B)			
⑩単位セメント量 (kg/m ³)				⑨×単位モル法容積重量/⑧			
⑪セメントの絶対容積 (ml)				⑩/ρ _c			
⑫試料中の水量 (g)				(③-⑨-ρ _s (⑩-⑪))/(1-ρ _s)			
⑬単位水量 (kg/m ³)				⑫×単位モル法容積重量/⑧			
⑭水セメント比 (%)				⑫/⑩ (⑬/⑩)			

コンクリートの品質管理に関する
調査試験報告書(2)

—コンクリート品質の早期判定マニュアル(案)—

I S S N 0386—5878
土木研究資料第2979号
平成 3 年 3 月(1991)
室 長 河野 広隆
研究員 森濱 和正
研究員 高橋 弘人

要 旨

本報告書は、コンクリート工事の現場で簡易に精度よくコンクリート品質を判定する手法を確立することを目的に行った単位水量の迅速判定試験等の種々の判定試験方法の比較実験および現地実験の結果を取りまとめたものである。また、これらの結果をもとに、実際の工事に適用する際の資料となるよう、コンクリート品質の早期判定マニュアル(案)を取りまとめた。

キーワード：コンクリートの品質・品質管理・早期判定・迅速試験・試験方法・早期判定マニュアル

郵便はがき

41円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所

地質化学部コンクリート研究室 行

No. 002

土研資料第2979号

No. 002

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2979号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名

印

土木研究所資料第2979号