

論文

[1024] 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

正会員○森濱和正（建設省土木研究所）

高橋弘人（建設省土木研究所）

1. はじめに

健全な構造物をつくるうえで所要の品質のコンクリートであることが施工性や構造物の耐久性を確保するために必要不可欠なことである。コンクリートの品質を代表する圧縮強度は所定の材令が経過した後に試験されており、仮に判定の結果不合格となった場合の対応はきわめて困難となることからコンクリート品質の早期判定が必要とされ、これまでも種々の判定方法が提案されている。

今回筆者らはコンクリート品質を現場で簡易に精度よく判定し、コンクリート打設の可否を判断することを目的に、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各種方法について検討した。実施した方法は従来から知られている判定方法に加え、筆者らが新たに工夫したフレッシュコンクリートの空中重量と水中重量を測定することでコンクリートの水セメント比を判定する方法を用いて試験を行った。その結果、初期の目的をほぼ満足する結果が得られたので報告する。

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、試験用器具が比較的簡易で熟練を必要としない方法を用いることとした。

2.1 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。この判定方法の原理と試験方法は文献1)で標準として定められている。

2.2 単位水量の判定

単位水量の測定には、高周波誘電加熱装置（東芝製「マイクロ波水分計T HM-5501」、以下マイクロ波法）および大型加熱乾燥炉装置（東横エルメス製「大型水分計」、以下乾燥炉法）を用いた。マイクロ波法はウェットスクリーニングモルタルを、乾燥炉法はコンクリートをそれぞれ加熱乾燥させ、乾燥前後の重量差から単位水量を求めるものである。

2.3 水セメント比(W/C)の判定

水セメント比の測定は、粘性の減衰による方法（秩父セメント製「パイプロW/CチェッカーJ EM-1000型」、以下振動法²⁾、ウェットスクリーニングモルタルの空中重量と水中重量の差から求める方法（島津製作所製「W/Cメーター1A」、以下モルタル重量法³⁾、モルタルの体積から求める方法（以下、体積法）、および筆者らが新たに工夫したコンクリートの空中重量と水中重量から求める方法（以下、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、体積法、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。

コンクリート重量法による水セメント比の算出は次のとおりである。

コンクリートの空中重量 M_a 、水中重量 M_w は(1)、(2)式であらわされる。

$$M_a = C + S + W + G \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\begin{aligned}
 M_w &= M_0 - C / \rho_c - S / \rho_s - W / \rho_w - G / \rho_g \\
 &= M_0 - C / \rho_c - (M_0 - C - W - G) / \rho_s - W / \rho_w - G / \rho_g \\
 &= M_0 (1 - 1 / \rho_s) + C (1 / \rho_s - 1 / \rho_c) + W (1 / \rho_s - 1 / \rho_w) \\
 &\quad + G (1 / \rho_s - 1 / \rho_g) \dots\dots\dots(2)
 \end{aligned}$$

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_g ：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、セメント量は他の方法によって直接求めるのがよい。水量および水セメント比は(2)式を整理することにより(3)、(4)式で求められる。

$$W = a M_0 - b M_w + c G + d C \dots\dots\dots(3)$$

$$W / C = (a M_0 - b M_w + c G) / C + d \dots\dots\dots(4)$$

ここに、a、b、c、d：材料の比重から求まる定数。

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

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

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

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

モルタル重量法は(4)式のGの項を除けばW/Cが求められる。体積法は(2)式の水中重量を体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. 実験方法

3.1 コンクリートの配合

コンクリートの配合は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対象にする配合とした。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配合とあわせ表-1に示す20配合について実験を行った。

使用した材料は、普通ポルトランドセメント(比重3.16)、細骨材(川砂、比重2.62、吸水率2.07%、FM2.95)、粗骨材(碎石、比重2.67、吸水率0.69%、FM7.04)、混和剤(AE減水剤ポゾリスN08)、流動化剤(ポゾリスNP20R)である。

3.2 判定実験

判定実験はフレッシュコンクリートを試料にして振動法、乾燥炉法、コンクリート重量法について行い、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、体積法による実験を行った。実験で

表-1 コンクリートの配合

目標スランジ (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 目標スランジ
	W/C=50%, スランジ 4cm	→ 12cm
	8cm	→ 18cm
	W/C=60%, スランジ 4cm	→ 12cm
8cm	→ 18cm	

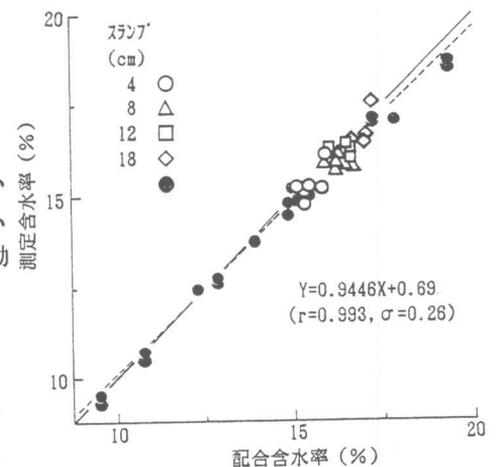


図-1 モルタルのみの含水率測定結果 (マイクロ波法)

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

4.1 比重計法

メスシリンダー静置後1分での単位セメント量は配合に比べて最大で 12kg/m^3 、平均で 5.2kg/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あり、静置後2分、3分の誤差は平均 8.4kg/m^3 、 18.9kg/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。

4.2 マイクロ波法

予備試験としてモルタルのみの実験を行った。蒸発量から求まる含水率（測定含水率）と配合の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）。

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1.31%、単位水量にして約 14kg/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るいなどに付着するためと考えられる。

4.3 体積法

はじめに、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体積を測定、②容器に材料（水、セメント、細骨材）を投入しただけで体積を測定、③モルタルの体積の測定、の予備試験を行った。①、②では、計算値の0.1%以内の精度で体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、②、③は水中重量も測定した結果0.1%以内の精度で体積の測定値に一致した。

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体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。

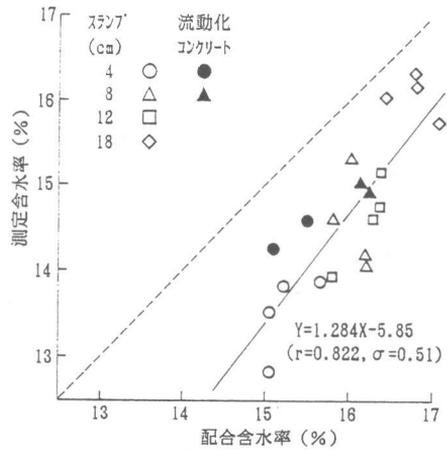


図-2 含水率測定結果（マイクロ波法）

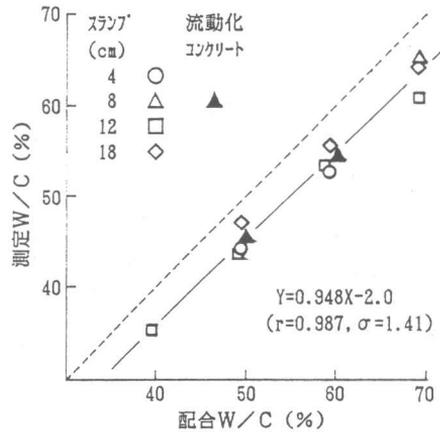


図-3 配合W/Cと測定W/Cの関係（体積法）

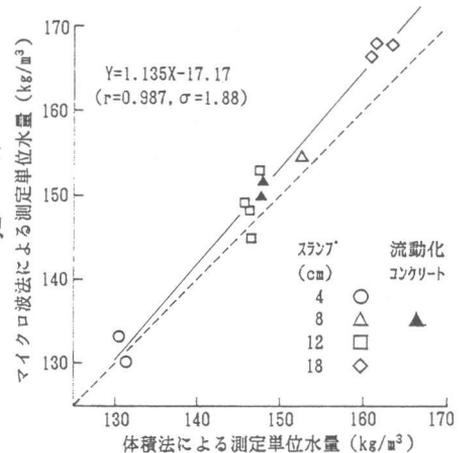


図-4 体積法とマイクロ波法による測定単位水量の関係

4.4 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測定値は図-5のように配合値に比べて平均2.9%大きい。測定時には容器の底と攪拌用羽根の間が約8mmあいており、モルタルが完全に攪拌されていないことがわかったため、このモルタル分の空気量分だけ水中重量を増加させて計算(補正W/C)した結果、配合W/Cに比べ平均で0.8%大きい値となった。しかし、体積法と比較するとモルタル重量法は補正W/Cでもまだ平均5.6%大きくなっている(図-6)。

これは、気泡の除去が不十分なこと、羽根にセメント分が付着すること、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考えられる。また、測定値の変動が大きかった。これは、空中重量、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によるものといえる。今回使用した装置はこれらの点を改善する必要があるものと考えられる。

4.5 乾燥炉法

蒸発量から求まる水量と配合の水量の関係を図-7に示す。蒸発量から求まる水量は配合水量に比べて平均0.25% (水量で6kg/m³) 小さい。標準偏差は0.21% (水量で4~5kg/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。

4.6 コンクリート重量法

コンクリート重量法による測定値(試験後洗いだし測定した粗骨材量を用いて計算した結果、図-8)

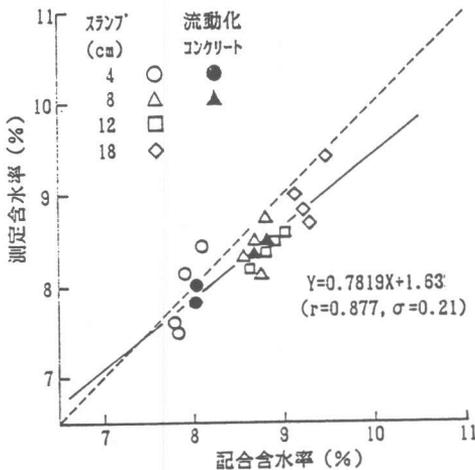


図-7 含水率測定結果(乾燥炉法)

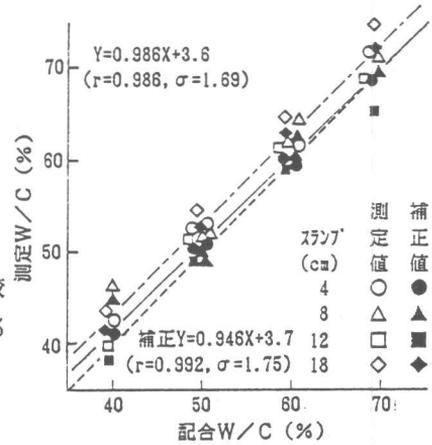


図-5 配合W/Cと測定W/Cの関係(モルタル重量法)

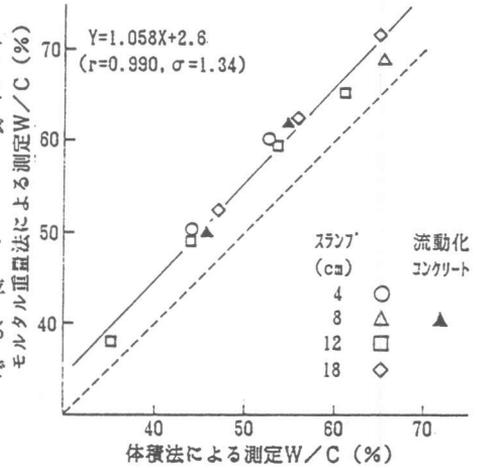


図-6 体積法とモルタル重量法による測定W/Cの関係

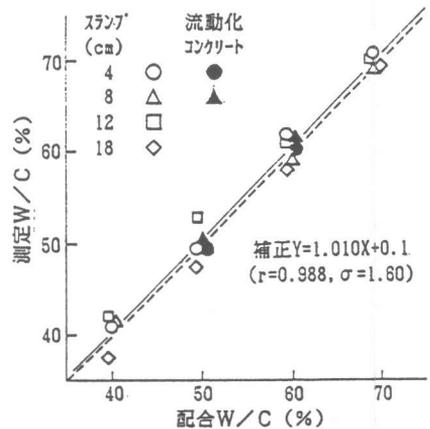


図-8 配合W/Cと測定W/Cの関係(コンクリート重量法)

は配合値に比べ平均 0.3%程度大きくなっているのみであり、モルタル重量法に比べてかなり配合値に近くなっている。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を算出する(4)式に粗骨材に関わる項が出てくるものの、試料を4kg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。

4.7 振動法

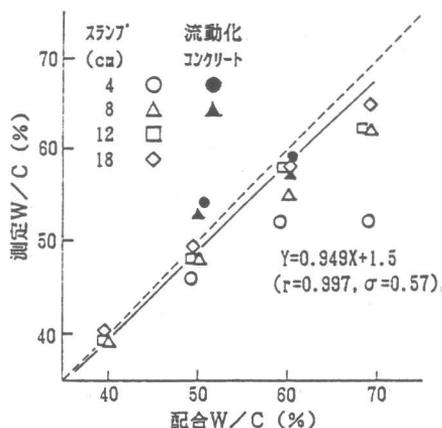
振動法はコンクリートの配合や材料の品質がわからなくても水セメント比が測定できるのが特徴である。しかし、測定結果を図-9および図-10に示すとおり適用できる範囲に限られる。スランブ10cm以上のコンクリートのW/Cは $-1 \pm 1\%$ 以内で測定できているが、水セメント比が70%以上あるいはスランブ10cm以下のコンクリートでは感応板とモルタルとにすべりが生じたり、モルタル分が感応板になじんでいないことなどから測定値は配合値と大きく異なっている。水セメント比が70%のコンクリートは一般には使用されることはないものの、スランブが10cm以下のコンクリートは一般の土

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の制限があるといえる。今後、校正値の検討などの必要があると考えられる。

4.8 練り置き時間の影響

図-11に水分の自然蒸発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、体積法、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ほぼ自然蒸発の影響と考えられ、マイクロ波法、体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。

練り置き時間に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に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にもなう測定値が低下する傾向はあったが、体積法、



注) 回帰式はスランブ10cm以下、W/C 70% 流動化コンクリートを除いた3配合から求めた。

図-9 配合W/Cと測定W/Cの関係 (振動法)

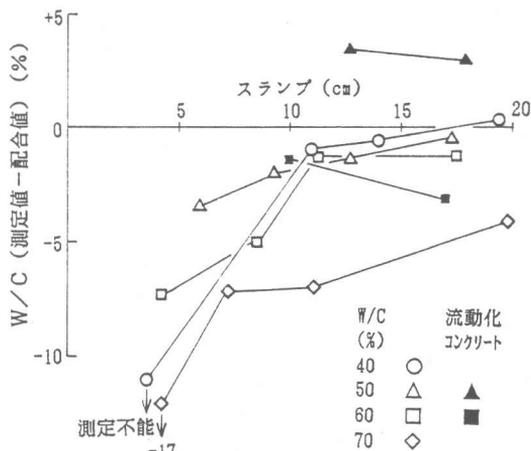


図-10 スランブと測定W/Cの関係 (振動法)

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ほぼ直線的に低下する傾向であった。

5. まとめ

今回筆者らは、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った。その結果をまとめると以下のとおりである。

(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ため、注意を要する。

(2) コンクリートを試料とする測定では、

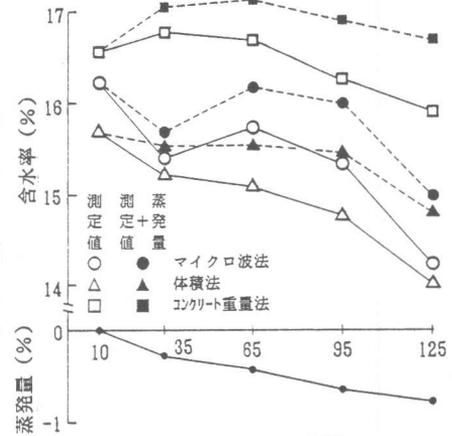
① 乾燥炉法による水量測定は試料・容器が高温になり、取り扱いに注意を要するものの、単位水量のおおよその目安はつけられる。

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、現状では一般の土木用コンクリートでの使用は難しいと考えられる。

③ 今回筆者らが工夫したコンクリート重量法は適用範囲の制限はなく、1人で配合値にかなり近くW/Cが測定できた。この方法は試料中の気泡を完全に除去することで測定値のばらつきをなくし、精度の向上が図れることから今後も検討していく予定である。

参考文献

- 1) 「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) 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Vol119 N08、1981.8
- 3) 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
- 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



練り置き時間 (分)
注) コンクリート重量法の含水率はモルタル換算

図-11 乾燥と含水率の関係

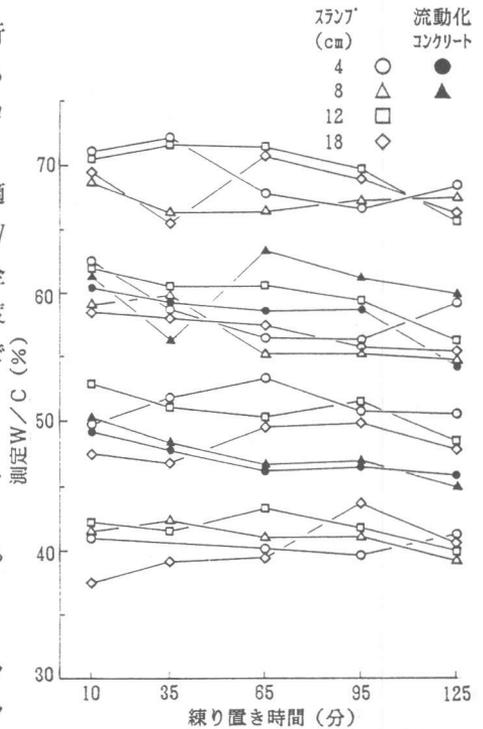


図-12 練り置き時間と測定W/Cの関係 (コンクリート重量法)