

高信頼性コンクリート製造システムの開発（その1）

－ 水浸方式による細骨材の新計量方法の提案 －

十 河 茂 幸 近 松 竜 一

Development of A High Reliability Concrete Production System (Part 1)

－ Proposal for New Batching Method by Immersing Sand in Water
to Facilitate Accurate Measurement －

Shigeyuki Sogo Ryuichi Chikamatsu

Abstract

The key to development of a reliable concrete production system and stabilization of batch qualities lies in accurate scaling and adjustment of the quantities of each ingredient. Changing surface moisture of sand is the most influential factor in the fluctuation of concrete quality, and many types of moisture testing apparatus have recently been developed for controlling it. However, it is difficult to precisely evaluate the level of sand surface moisture. We propose a new batching method wherein, by combining sand and water, the relative quantities of surface moisture and sand can be accurately measured. This report outlines a highly reliable production system based on this new batching method, and the results of investigation into various problems that will need to be solved in order to put the system into practice. It also addresses the effects of the new methods on the stability of batch quality.

概 要

コンクリートの製造において、その信頼性の尺度となるのは「品質の安定性」である。品質が一定したコンクリートを製造するには、まず各材料を所定量だけ正確に計量することが基本である。しかしながら、現行の製造システムでは、細骨材に含まれる表面水を正確かつリアルタイムに把握することが困難であり、細骨材の表面水管理がコンクリートの品質変動を抑制するうえで最大の懸案課題となっている。これに対し、著者らは、既往の計量概念と逆の発想で、細骨材の表面水に左右されることなく常に正確な水量を算出できる水浸方式による細骨材の計量方法を新たに考案した。本報では、まず、信頼性の高い製造システムの根幹をなす細骨材の新計量方法について詳述する。次に、このシステムを実用化するうえでの各種の技術的課題に対する検討結果を示す。さらに、新計量システムを用いたコンクリートの品質安定性に関する検証結果についても報告する。

1. はじめに

21世紀を目前に控え、コンクリート構造物の耐久性を疑問視する社会的風潮が高まるなかで、安全性の低下に対する懸念を払拭し、コンクリート構造物への信頼性を向上させるには、構造体コンクリートの品質をより合理的に保証できる体系的なシステムを構築する必要がある。本報で提案するコンクリート材料の新計量技術は、上記のコンクリート構造物の品質保証システムの一部を担う信頼性の高い新製造システムの根幹をなすものである。

コンクリートの製造において、その信頼性を判断する尺度となるのは「品質の安定性」である。品質が一定したコンクリートを製造するには、まず各材料に対して、所定の量を正確に計量することが基本である。しかし、現行の製造システムは、特に練混ぜ水の計量に関して、

直接に計量する水は十分な精度で計量されているものの、骨材に含まれる表面水として計量される水量については必ずしも適正に把握できているとはいえず、細骨材の表面水管理がコンクリートの品質変動を抑制するうえで最大の懸案課題となっている¹⁾。これに対し、著者らは、既往の計量概念とは逆の発想により、この細骨材表面水の変動に関係なく、常に正確な水量を計量できる方法として、任意の含水状態の細骨材に加水し、これらを飽和水浸状態で計量する方法を新たに考案した。

本報では、まず、高信頼性コンクリート製造システムの根幹をなす水浸方式による細骨材の新計量方法について詳述する。次に、この新システムを実用化するうえで解決すべき各種技術的課題に対して基礎的検討を行った結果を示すとともに、新計量システムを用いたコンクリートの品質安定性に関する検証結果についても報告する。

2. 細骨材の表面水管理の現状と課題

現行の製造システムでは、細骨材の表面水管理が最大の懸案課題である²⁾。この表面水を正確に把握できれば、製造時の材料計量に起因するコンクリートの品質変動の問題はほぼ解決するといっても過言ではない。現状では、この細骨材表面水の取扱いに関して、以下のような対策が講じられている。

2.1 細骨材表面水の計測管理方法

一般には、骨材の表面に付着した水分を各種の方法で計測し、表面水の変動を管理する方法が行われている。最近では、マイクロ波式、静電容量方式、赤外線方式、中性子(RI)方式等、各種の水分測定機器が開発され、一部は既に実用化されている³⁾。しかしながら、迅速性や耐久性(メンテナンス)、経済性、測定精度等において、それぞれに一長一短があり、いまだ十分に普及するまでには至っていない⁴⁾。

2.2 細骨材表面水の制御方法

細骨材の表面水を制御する方法として、大容量の骨材サイロの底部にフィルター脱水をもつ傾斜構造の部分を設置する方法が提案されている⁵⁾。また、遠心分離の原理を利用し、表面水が一定となるように骨材の表面水制御装置(サンドスタビライザ)を用いて制御する方法も実用化されている⁶⁾。しかし、骨材の表面水処理に時間がかかること、設備投資のコストがかさむことから、一般にはあまり普及していない。

3. コンクリート材料の新計量システムの提案

3.1 水浸方式による細骨材の計量方法

コンクリートの製造時に水量を正確に計量する方法として、任意の含水状態の細骨材に水を加えて、細骨材を飽和含水状態で計量し、その質量および容積の測定値と水、細骨材の密度から各材料の計量値を算出する方法を提案する。細骨材と水の算出式を以下に示す。

$$W_{w1+ws} + W_s = W_t \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$W_{w1+ws}/\rho_w + W_s/\rho_s = V_t(1+A/100) \quad \dots\dots (2)$$

(1)(2)式より、次式が導かれる。

$$W_{w1+ws} = \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} (\rho_s V_t(1+A/100) - W_t) \quad \dots\dots (3)$$

$$W_s = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} (W_t - \rho_w V_t(1+A/100)) \quad \dots\dots (4)$$

- W_{w1+ws} : 水浸細骨材中の水の質量 (kg)
- W_s : 水浸細骨材中の細骨材の質量 (kg)
- W_t : 水浸細骨材の質量 (kg)
- V_t : 水浸細骨材の容積 (L)
- ρ_s : 細骨材の表乾密度 (kg/L)
- ρ_w : 水の密度 (kg/L)
- A : 水浸細骨材中の気泡 (%)

以下、この方法を水浸細骨材計量方法と称する。この細骨材の水浸計量方法を用いたコンクリートの製造イメージを Fig. 1 に示す。また、新計量システムのフローを現行方法との比較により Table 1 に示す。

この新計量方法は、JIS A 1111-1993「細骨材の表面水率試験方法」に規定されている試験方法と基本的に同じ原理にもとづくものである。つまり、計量する細骨材の全量を対象に、水と細骨材の密度差を利用して表面水率を測定することと、同じく密度差を利用して各々の質量を算出する違いであると解釈することもできる。

本計量方法によれば、1バッチ当たりの細骨材質量は(4)式から計算により求められるので、必ずしも目標のコンクリート練混ぜ量に見合った所定量の細骨材を計量できるわけではない。しかし、予め細骨材と水の質量を個別に計量して混合することにより、ほぼ設定どおりの細骨材質量を計量することが可能である。換言すれば、この計量方法は、現行の方法と同様に、細骨材の表面水を予め設定して計量した場合の細骨材量と表面水量の設定誤差を、計量した細骨材全量に対して補正し、細骨材の計算値に応じて1バッチの練混ぜ量を再設定した上で、水量の不足分を追加計量し、その他の材料(セメント、粗骨材、混和材料)を個別計量することで、各材料量を配合どおりに正確に計量できるのである。

なお、既往の文献によれば、細骨材を水中に浸漬した状態で容積計量する方法(インデータ法)が昭和初期に実用されていた⁶⁾。今回の計量方法は、細骨材を水浸状態で計量する点はこのインデータ法と同じだが、質量計量との併用、練混ぜ量の補正、計量フローが相違しており、全く別の計量方法であるといえる。

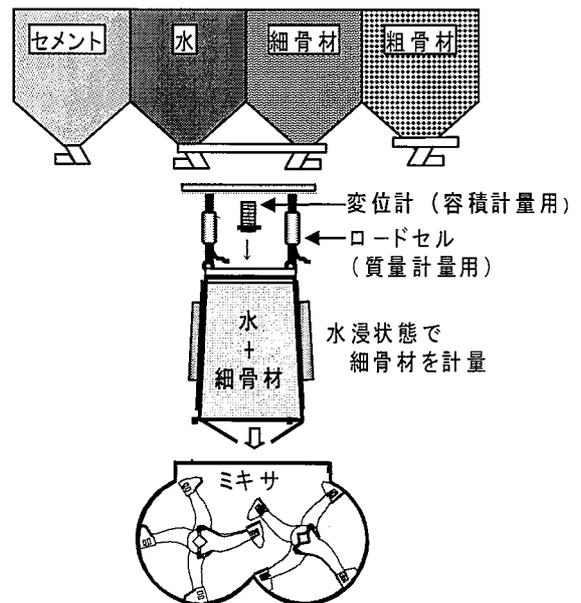


Fig.1 水浸細骨材計量方法のイメージ図
Image of New Batching Method
by Immersing Sand in Water

3.2 新計量システムの採用メリット

水浸細骨材計量方法を採用した場合のメリットとして、以下の諸点が挙げられる。

- 1) 水の計量誤差の低減により、コンクリートの品質変動が抑制され、信頼性の高い製造システムを確立できる。
- 2) 各材料の計量値から製造したコンクリートの配合を検証できるため、印字記録による配合保証が可能となり、コンクリートの品質管理・検査の合理化が図れる⁷⁾。
- 3) 細骨材の表面水管理が不要で、コンクリートの品質試験も簡略化できるため、品質管理の省力化につながる。

3.3 新計量システムの計量手順と計算例

新計量システムの計量手順および計算実施例を現行の方法と比較しながら、以下に詳述する。

一例として、A E減水剤を用いた普通コンクリートを対象とする。示方配合を Table 2 に示す。

設定練混ぜ量は 1.000m³とし、細骨材の表面水率は、実際は約2% (1.93%)であるのに対し、表乾状態(表面水率 0%)と誤って設定した場合について試算してみる。

現行の計量方法では、各材料の計量設定値は Table 2 の単位量と同じで、各材料とも設定どおりに計量したと仮定する。細骨材とみなして計量した 738kgは、実際は 724kg(=738/1.0193)の細骨材と14kg(=738-724)の水で、セメント量318kgに対し水量は 189kg(=175+14)となり、水セメント比は59.4%(=189/318×100)と設定値よりも約 5%程度大きくなる。また、この場合の練混ぜ量は、細骨材よりも密度が小さい水が多く計量されたために、約1.009m³(=1.000+(724/2.59+14-285)/1000)増加する。

一方、水浸細骨材計量方法の場合(Table 2 参照)には、水浸細骨材中に占める細骨材の混合率が65%程度になると仮定して、設定練混ぜ量 1.000m³に相当する細骨材量 738kgと1次計量水153kgを混合して、水浸細骨材の質量として 891kgが計量されたとする。この場合、水浸細骨材容積は0.438m³の設定に対して、実際は0.447m³となり

0.009 m³多い結果となる。この水浸細骨材の質量と容積を用いて各々の材料量を計算すると、当然のことながら、細骨材は当初の設定値より少なく、表面水量が多く計量されている結果となり、練混ぜ量を 0.982m³に下方補正した後、水量の不足分を2次計量水として計量することになる。なお、この際の練混ぜ量の不足分に関しては、次バッチの計量時に前バッチの結果から設定練混ぜ量を修正することで、品質・量ともに所要のコンクリートを製造することができる。

Table 1 現行方法と新計量システムのフロー比較
Flow-diagram of New Batching Method by Immersing Sand in Water and Conventional Method

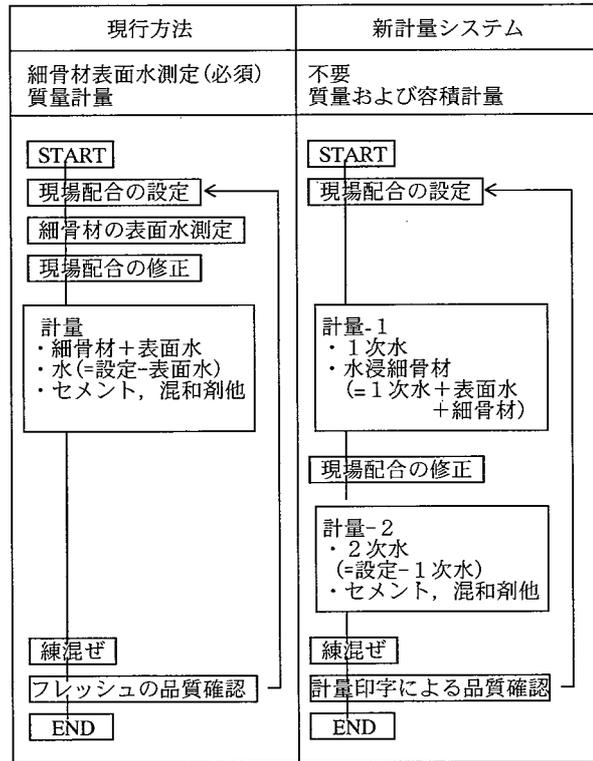


Table 2 新計量システムの計量手順および計算例
Batching Procedure and Calculation Example of New Batching Method by Immersing Sand in Water

計量手順	各種項目の設定, 計量および計算例
1-1 示方配合を設定する。	単位水量 ; $w_0 = 0.175 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $W_0 = 175 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($\rho_w = 1.00$) 単位セメント量 ; $c_0 = 0.101 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $C_0 = 318 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($\rho_c = 3.15$) 単位細骨材量 ; $s_0 = 0.285 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $S_0 = 738 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($\rho_s = 2.59$) 単位粗骨材量 ; $g_0 = 0.394 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $G_0 = 1050 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($\rho_g = 2.66$) 設定空気量 ; $a_0 = 0.045 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 合計 ; $1.000 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $2281 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($\rho_t = 2.28$)
1-2 1バッチの練混ぜ量(N)を設定する。	$N_0 = 1.000 \text{ m}^3$
2. 水浸細骨材の質量(Wt) 水浸細骨材の容積(Vt)を計量する。	$W_t = 891 \text{ kg}$ $V_t = 447 \text{ L}$
3. 細骨材の質量(Ws), 容器中の水量(Ww ₁ +ws)を計算する。	$W_{w_1+ws} + W_s = 891$ $W_{w_1+ws}/1.00 + W_s/2.59 = 447$ $W_s = 723.5 \text{ kg}$, $W_{w_1+ws} = 167 \text{ kg}$
4 1バッチの練混ぜ量(N)を補正する。	$N_1 = (N_0 W_s / S_0)$, $N_1 = 0.982 \text{ m}^3$ (=1000*725/738)
5-1 2次計量水(Ww ₂)を設定し, 計量する。 5-2 他の材料量を設定し, 計量する。	$W_{w_2} = (N_1 W_0 - W_{w_1+ws})$, $W_{w_2} = 4.85 \text{ kg}$ (=0.982*175-167)

3.4 新計量システムの要件

細骨材を飽和含水状態で計量する新計量システムの要件として、以下の諸点が挙げられる。

まず、細骨材とともに計量する一次水量（細骨材の表面水を含む）は、練混ぜに必要な全水量より少ないことが前提となる。また、原則として水浸細骨材中には気泡が巻き込まないこと、気泡が巻き込む場合はその量を特定できること、細骨材の表乾密度の変動が少ないこと、などが水と細骨材の計量誤差を低減するための必要条件といえる。なお、粗骨材の表面水については、細骨材の場合より変動が小さく品質変動の大きな影響因子とならないことを前提としている。その他には、水浸細骨材を常に一定の充填状態で作製できれば、細骨材量を容易に制御でき、練混ぜ量の調整が容易となる。

4. レディーミクストコンクリートへの適用性に関する調査結果

任意の含水状態の細骨材に加水し、これを飽和水浸状態で計量する水浸細骨材計量システムのレディーミクストコンクリートへの適用性について調査した。

大阪および広島地区におけるレディーミクストコンクリートの標準配合の以下に示す範囲を対象に、各配合の細骨材と水の単位量の総和に占める細骨材量の体積比率（以下、水浸細骨材充填率と呼称する）の下限値（Fmin）を試算した。

$$F_{min} = s_o / (s_o + w_o) \quad \dots \dots \dots (5)$$

Fmin ; 水浸細骨材充填率の下限値 (%)
 s_o ; 単位細骨材絶対容積 (m³/m³)
 w_o ; 単位水量 (m³/m³)

【調査範囲】

- ・コンクリートの種類 ; 普通, 軽量1種・2種, 舗装
- ・呼び強度 ; 18~40, 曲げ4.5
- ・スランプ ; 5~21cm
- ・粗骨材の最大寸法 ; 20, 40mm, 15mm(軽量)
- ・セメントの種類 ; N, B B, H

調査結果の一例として、普通コンクリート配合における水浸細骨材充填率の下限値を呼び強度とスランプの関係で整理した結果をそれぞれ Fig.2, Fig.3 に示す。

標準配合から求まる水浸細骨材充填率は、呼び強度が大きい(水セメント比が小さい)コンクリートほど、またスランプが大きい(単位水量が多い)コンクリートほど、下限値が小さくなる傾向にある。また、本調査によれば、水浸細骨材充填率の下限値は0.45~0.65の範囲にあり、最大0.66程度であった。対象配合で使用している細骨材(海砂, 砕砂)の実積率が上記の範囲と同等かそれ以上で、

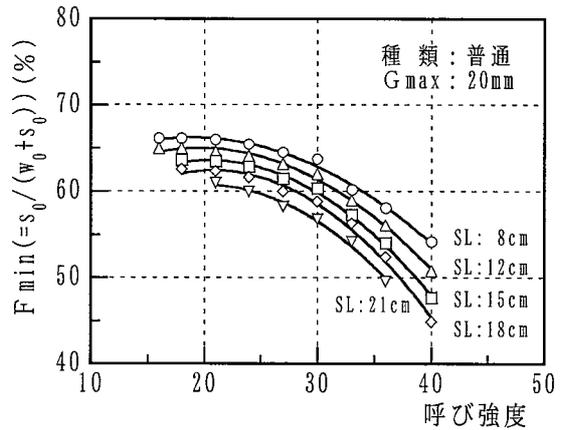


Fig.2 呼び強度と水浸細骨材充填率設定最小値の関係
 Relationship between Nominal Strength and Fmin

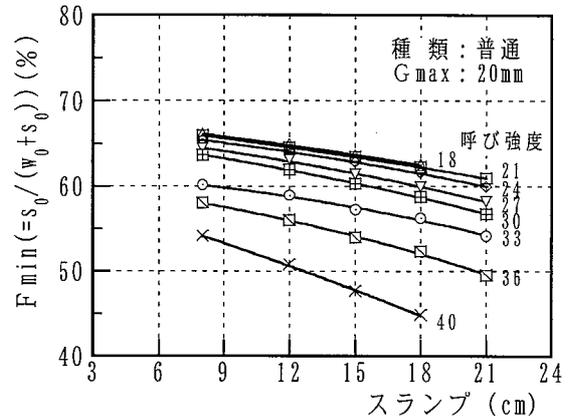


Fig.3 スランプと水浸細骨材充填率設定最小値の関係
 Relationship between Slump and Fmin

後述するように、水締め効果でさらに充填率が增大することを考慮すると、水浸細骨材による新計量システムは、レディーミクストコンクリートのほぼ全ての標準配合に対して適用できるものと考えられる。

5. 水浸細骨材の計量方法に関する検討

5.1 細骨材の高密度充填方法

水浸細骨材の計量方法では、1次計量水と細骨材に含まれる表面水の総和が練混ぜに必要な全水量より少ないことが前提となる。また、水浸細骨材中に占める細骨材の割合を大きく設定した方が2次計量水が多くなるので混和剤の添加調整が容易となる。そこで、水浸状態で細骨材を高密度に充填する方法について検討した。

細骨材は、木更津産陸砂(表乾比重2.64g/cm³, 吸水率1.58%)を表乾状態に調整して用いた。試料の充填には、容積が約10Lの円筒容器(φ240×220mm)を使用した。

各種充填方法を用いた場合における試料中の細骨材充填率の測定結果の一覧を Table 3 に示す。

細骨材のみを試料とした場合、締固めを行わない場合の充填率は約57%、骨材の実積率試験(JIS A 1104)に準じた場合は約64%、バイブレータで振動締固めを行った場合でも約66%の充填率であった。これに対し、容器内に予め水を投入し、後から細骨材を投入すると、締固め無しの場合でも約67%程度の充填率となり、さらにバイブレータによる締固めを併用した場合には最大で約74%まで充填率が增大する結果となった。以上の結果より、細骨材を水浸状態とすることで充填率が增大すること、この”水締め効果”は、外部から容器に振動を作用させることにより相乗的に高められることが確認された。

5.2 気泡の混入が少ない水浸細骨材の作製方法

水浸細骨材中に気泡が巻き込むと、容積の計量値は、水、細骨材、気泡の総和として測定される。この場合、個々の材料量を正確に算出するには、気泡量を補正することが必要となるが、実用上は予め気泡の巻き込みを抑制する対策を講じることが望ましい。そこで、気泡の混入が少ない水浸細骨材の作製方法について検討した。

細骨材は、木更津産陸砂(表乾比重2.62g/cm³、吸水率1.76%、実積率65%)を用いた。水浸細骨材中の空気量の測定は、JIS A 1118-1997「フレッシュコンクリートの空気量の容積による試験方法(容積方法)」に準拠した。

水と細骨材の充填方法を変えた場合の水浸細骨材中に巻き込む気泡量の測定結果を Table 4 に示す。

材料の投入順序の影響に関しては、細骨材を先に投入した場合には強制的に外力を加えても多量の気泡が残存するのに対し、水を先行して投入することで気泡の脱泡が促進される結果となった。次に、細骨材の投入方法に着目すると、細骨材をスコップで数層に分けて投入した場合には、木づちによるたたきやバイブレータ等の外力を作用させないと気泡が残存したのに対し、漏斗やふるいを介して細骨材を投入した場合には特別な脱泡対策を講じなくても気泡はほとんど残存しない結果が得られた。

これらの結果より、水浸細骨材への気泡の混入を抑制するには、第一に、細骨材より先に水を投入すること、第二に、細骨材は団粒化させず、極力粒子単位に分散させて投入することが効果的であることが検証された。

そこで、以上の知見を踏まえ、気泡の混入を抑制することを意図して、Photo1に示すように、振動フィーダとふるいを組み合わせた細骨材の分散投入装置を試作した。

振動フィーダは、細骨材の貯蔵容器と接続し、細骨材の投入速度を調整するとともに骨材粒子が団粒化するのを防ぐ役割を担っている。一方、ふるい(φ10mm)については、低周波振動モータと連動させることで骨材粒子を分散させながら計量容器に投入することを意図している。この装置に加えて、計量容器に振動を与えるなどの脱泡策を講じれば、実用上は気泡の影響を無視できる飽和含水状態に近い水浸細骨材を作製できるものと考えられる。

Table 3 試料の充填方法と充填率測定結果
Filling up Method and Compacting Ratio of Sample

NO	試料の種類	試料の充填方法	充填率
A-1	細骨材のみ	締固めなし	57.4%
A-2		V B 振動による振動締固め	60.6%
A-3		棒突き (JIS A 1104に準拠)	64.4%
A-4		棒突き+木づち	67.2%
A-5		バイブレータによる振動締固め	66.2%
B-1	細骨材+水	締固めなし	66.5%
B-2		棒突き+木づち	68.8%
B-3		棒突き+ジッキング	69.4%
B-4		バイブレータによる振動締固め	74.2%

Table 4 水浸細骨材の作製方法と空気量測定結果
Filling up Method by Immersing Sand in Water and Entrapped-Air Contents

NO	水の投入順序	細骨材の投入方法	脱泡方法	水浸細骨材中の気泡 (%)
C-1	後	連続	木づちたたき	6.7
C-2			突き+たたき	2.8~5.5
D-1	先	5層分割	なし	0.9~1.7
D-2			木づちたたき	0~0.1
D-3			バイブレータ	0.1~0.3
D-4		φ20ロート	なし	0
D-5		5mmふるい	なし	0~0.1

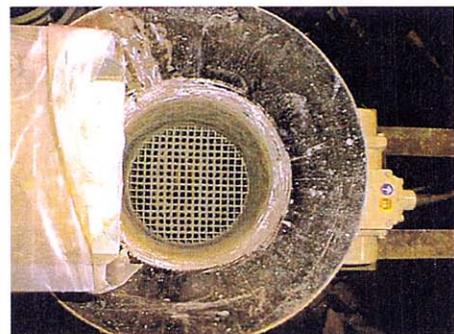
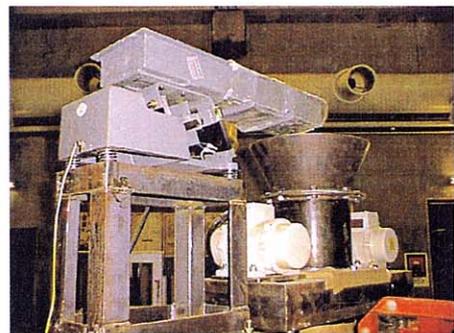


Photo 1 細骨材の分散投入装置
Dispersing Provided Apparatus of Sand

5.3 水浸細骨材の計量誤差に関する検討

JIS A 5308 では、各材料ごとに所定の計量誤差が定められている。水浸細骨材計量方法は、現行の計量方法に比較して、水と細骨材の質量を累加計量すること、質量に加えて容積も計量することなどが相違する。そこで、本節では、各材料を所要の誤差範囲内で計量するための計測精度に関して試算してみた。

計量項目を1次計量水の質量、水浸細骨材の質量および容積とし、質量と容積の計測誤差をそれぞれ α 、 β とすると、3.1に示した(1)、(2)式より、

$$W_{ws} + W_s = (W_t - W_{w1})(1+\alpha) \quad \dots (1')$$

$$\frac{W_{ws}}{\rho_w} + \frac{W_s}{\rho_s} = (V_t(1+A/100) - W_{w1}/\rho_w)(1+\beta) \quad \dots (2')$$

ここで、 W_{w1} : 1次計量水量 (kg)

W_{ws} : 細骨材中の表面水量 (kg)

$$W_{w1} + W_s = \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} (k_1 \alpha + k_2 \beta + k_3) \quad \dots (3')$$

ここで、 k_1 : $\rho_s W_{w1} / \rho_w - W_t$

k_2 : $\rho_s (V_t(1+A/100) - W_{w1}/\rho_w)$

k_3 : $\rho_s V_t(1+A/100) - W_t$

水の質量の計量誤差を Δw とすると、

$$\Delta w = \frac{k_1 \alpha + k_2 \beta + \rho_s V_t A / 100}{\rho_s V_t - W_t} \quad \dots (6)$$

計量誤差の試算例として、3.4で試算したコンクリー

ト配合を (Table2 参照) を用いる。

容積計量の計測誤差 (β) に関しては、現行のプラントで実用されているロードセル (計測精度 : 1/1000) を用い、気泡の巻き込みがないと仮定すると、水の計量誤差 1% を確保するには約 1/250 以上の精度が必要との試算になる。

次に、気泡の影響に関しては、計測誤差がない ($\alpha = \beta = 0$) と仮定すると、(6) 式を変形して、

$$A = \frac{\rho_s V_t - W_t}{\rho_s V_t} \Delta w \quad \dots (7)$$

となり、水の計量誤差 1% を確保するには約 0.3% 以内 (= $(2.59 \times 438 - 891) \times 0.0149 / 2.59 \times 438$) に抑制する必要があると試算される。前節で示した実験結果を参照すると、この数値は実用上十分に保証できると思われる。なお、今後は実機レベルで、温湿度条件による計測誤差や材料の密度変動の影響も含め、検討を行う予定である。

6. 新計量システムを用いたコンクリートの品質安定性に関する検証

3種類の普通コンクリートを対象として、水浸細骨材計量方法を用いた場合と従来どおり細骨材の表面水量を補正した場合について、製造したコンクリートの品質を比較した結果を Table 5 に示す。細骨材は木更津産陸砂 (表乾密度 2.58 g/cm^3 、粗粒率 2.89、表面水率 約 1%) を用いた。水浸細骨材の作製には、前述の細骨材分散投入装置を用い、Photo 2 に示す容器 (容量 40L) に投入して計量した。各配合に対して、スランプや空気量、圧縮強度のいずれも同様の結果となり、計量方法による品質の相違がないことが実験により検証された。

Table 5 コンクリートの配合と各計量方法を用いたコンクリートの品質検証結果
Mix Proportion of Test Concrete and Test Result of Concrete with Batching Method by Immersing Sand in Water and Conventional Batching Method

NO	計量方法	水浸細骨材の計量・計算値				練混ぜ量 (L)	W/C (%)	s/a (%)	各材料の計量値 (kg)				スランプ (cm)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)	28日圧縮強度 (N/mm ²)
		Vt (L)	Wt (kg)	Wws+W1 (kg)	Ws (kg)				Ww ^{*1}	Wc	Ws ^{*2}	Wg				
					1000	65.0	43.0	154	237	807	1100					
A1	新	35.74	75.22	10.75	64.47	79.9	65.0	43.0	12.30 *1.55	18.94	64.47	87.89	11.5	5.0	3.1	27.2
A2	従来	—	—	—	—	80.0	65.0	43.0	12.32 *11.67	18.96	64.56 *65.21	88.00	10.5	5.4	2.8	27.5
					1000	55.0	43.5	154	280	800	1065					
B1	新	34.20	71.94	10.32	61.62	79.8	55.0	43.5	12.29 *1.97	22.34	61.62	87.78	9.0	5.0	1.7	34.3
B2	従来	—	—	—	—	80.0	55.0	43.5	12.32 *11.70	22.40	61.76 *62.38	88.00	9.5	5.5	1.7	35.3
					1000	45.0	40.5	154	342	721	1100					
C1	新	31.96	67.30	9.68	57.54	79.8	45.0	40.5	12.29 *2.61	27.29	57.54	87.78	7.0	4.7	1.4	44.8
C2	従来	—	—	—	—	80.0	45.0	40.5	12.32 *11.74	27.36	57.68 *58.26	88.00	6.5	4.4	1.5	44.0

*1 : 上段は全練混ぜ水量、下段は練混ぜ水の補正量 (AE減水剤量含む) *2 : 下段は表面水を含む細骨材量

次に、細骨材の表面水が変動した場合を想定し、水浸細骨材計量方法による細骨材および水の計量補正がコンクリートの品質安定性に及ぼす影響について調べてみた。試験配合は、水セメント比55%、スランプ約8cmの普通コンクリートおよび水セメント比33%、スランプフロー約650mmの高流動コンクリートとした (Table6参照)。細骨材は木更津産陸砂(表乾密度2.59g/cm³、粗粒率2.55、表面水率約5%)を用い、表面水率の設定を故意に実測値に対して、0, ±1, ±2%の計5水準に変化させた。なお、比較のために、現行どおりの計量方法で表面水の設定誤差を補正しない場合についても試験した。

コンクリートの各種品質試験結果を細骨材表面水率の設定誤差の関係で整理し、配合別に Fig. 4, Fig. 5に示す。現行の計量方法では、細骨材表面水率を一旦設定すると、

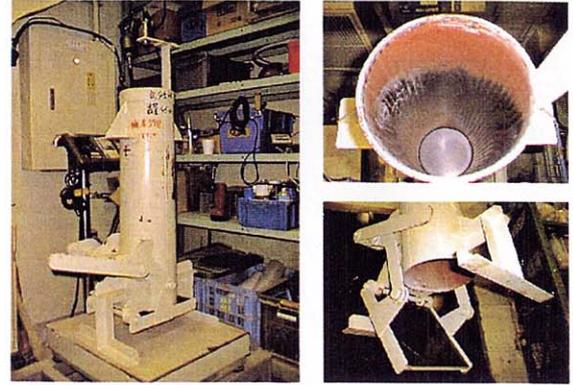


Photo2 水浸細骨材の計量容器
Batching Container of The Immersion of Sand in Water

Table 6 試験に用いたコンクリートの配合
Mix Proportion of Test Concrete

記号	種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
				W	C	S	G	WR	SP
D	普通	55.0	42.0	175	318	739	1050	0.80	—
E	高流動	33.0	46.5	175	530	739	872	—	12.2

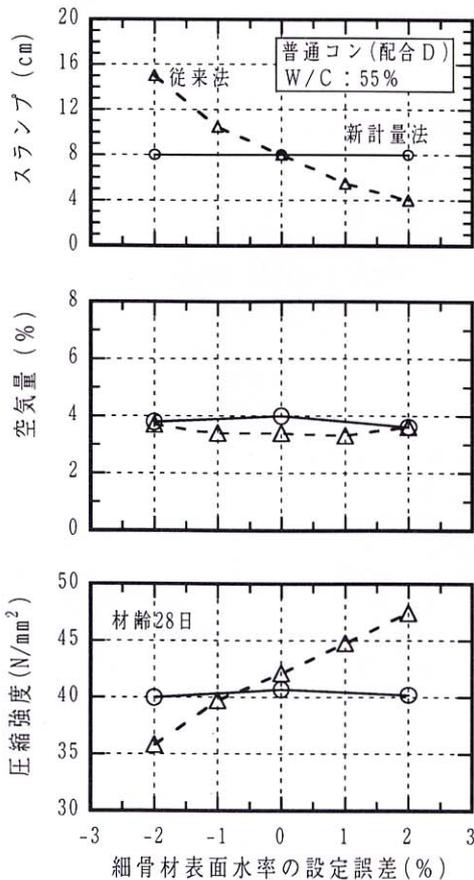


Fig.4 細骨材表面水設定誤差による品質変動(その1)
Relationship between Error of Sand Surface Moisture and Qualities of Concrete (Part 1)

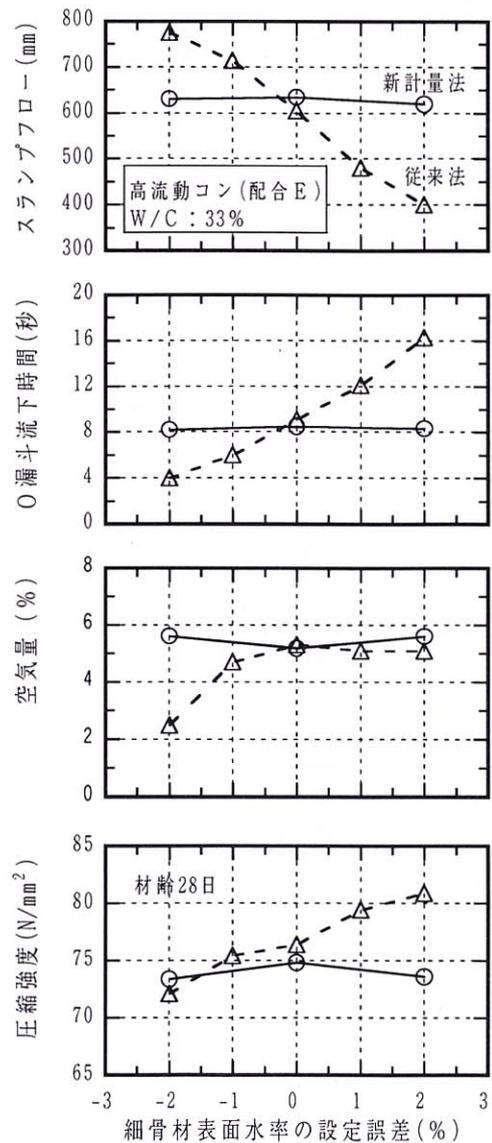


Fig.5 細骨材表面水設定誤差による品質変動(その2)
Relationship between Error of Sand Surface Moisture and Qualities of Concrete (Part 2)

少なくともその計量バッチについては変動に対して計量補正が行われないため、表面水率の設定誤差に対応してコンクリートの品質が大きく変動する。例えば、普通コンクリートの場合、8cmのスランブが表面水率±2%の増減に伴って、4~15cmの範囲で変動した。また、高流動コンクリートの場合には、さらにスランブフローが約400~800mm、○漏斗流下時間についても約4~16秒と水量の増減によって流動性、材料分離抵抗性とも著しく変化する結果となり、硬化後の圧縮強度に関しても当然のことながら大きく変動した。これに対して、水浸細骨材計量方法を用いた場合には、水浸細骨材の質量と容積の測定値をもとに正味の細骨材量と表面水量が算出できるので、自動的に表面水率の設定誤差がチェックされ、各材料の計量設定に反映されるため、いずれの特性値についても表面水率の設定誤差に伴う品質変動はほとんどなく、安定した結果が得られている。以上の結果より、水浸細骨材計量方法を用いた新計量システムは、細骨材表面水の変動に関係なく常に品質の一定したコンクリートを製造できる信頼性の高いシステムとして実用できる可能性が高いことを実験的に検証することができた。

7. まとめ

コンクリートの品質変動を左右する最大の影響因子である細骨材表面水の変動によらず、常に正確な水量を計量できる「水浸方式による細骨材の新しい計量方法」を提案し、その有用性に関して各種検証を行った。本報告の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1)レディーミクストコンクリートの標準配合から試算した水浸細骨材充填率の下限値は、呼び強度が大きく、スランブが大きいコンクリートほど小さい傾向にある。また、この水浸細骨材充填率の下限値が用いる細骨材の実積率と同等以下であること、水締め効果により充填率が高まること等を考慮すると、水浸細骨材方式の新計量システムは、レディーミクストコンクリートのほぼ全ての標準配合に対して適用できるものと考えられる。
- (2)細骨材を水浸状態で容器に詰めると充填率が高まる。この「水締め効果」に加え、外部から振動を作用させることによりさらに充填率を増大させることができる。

- (3)水浸細骨材中に気泡が巻き込むのを抑制するには、まず水を先行して投入すること、次に細骨材を団粒化させず個別粒子に分散させて投入するのが効果的である。
- (4)水浸細骨材計量方法において、水および細骨材ともJIS A 5308で規定されている所定の計量誤差を満足させるには、質量計量で約1/1000の精度が得られるとすると、容積計量は約1/250以上の精度を確保する必要がある。
- (5)水浸細骨材計量方法を採用した新計量システムは、水浸細骨材の質量と容積の測定値から各材料の計量値を算出する過程において、自動的に表面水率の誤差誤差がチェックされ各材料の計量補正にフィードバックされる。したがって、現行の計量方法を用いた場合のようにバッチ間の細骨材表面水の変動に左右されることなく、常に品質が一定したコンクリートを製造できる信頼性の高いシステムといえる。

今後は、これまでの研究成果を踏まえ、さらに実規模の水浸計量装置を作製し、計量精度、計量速度等の実験的検証を行い、水浸細骨材計量方法を用いた信頼性の高いコンクリート製造システムの実用化を図る予定である。

参考文献

- 1) コンクリートの製造システム研究委員会報告書、(社)日本コンクリート工学協会、(1992. 3)
- 2) 生コン工場の自動化・省力化の現状と方向、月刊生コンクリート、Vol. 15、(1996. 11)
- 3) 阿部淳一ほか：特集骨材の現状と展望、使いこなし技術Ⅰ．表面水率変動への対応、月刊生コンクリート、Vol. 10、No. 11、pp. 170~172、(1991. 11)
- 4) 建設材料研究会；生コン工場の設備と管理、技術書院、pp. 71~72、(1983)
- 5) 小原 直ほか；細骨材の表面水安定化脱水槽の開発、コンクリート工学、Vol. 27、No. 10、pp. 24-33、(1989. 10)
- 6) 成田英一：生コンプラントの技術変遷と今後の展望、月刊生コンクリート、Vol. 2、No. 6、pp. 35~43、(1983. 6)
- 7) 辻 幸和ほか；コンクリートの性能評価と品質保証、コンクリートの製造システムに関するシンポジウム論文集、pp. 81-88、(1992. 5)