

論文 高温加熱による単位水量迅速判定方法の検討

田中秀和^{*1}・河野広隆^{*2}・加藤俊二^{*3}

要旨: コンクリートの強度は、種々の原因でばらつく。このため強度を早急に判定したいが、単位水量の各種早期判定方法は、いまのところ受け入れ検査に用いられるには精度等に問題がある。そこで、比較的精度の高い加熱乾燥法が現場で適用できるように改善し、実験を通して誤差要因を整理するとともに、さらに時間短縮のため乾燥終了前に試料中の水量を予測できないか検討した。

キーワード: 品質管理・検査、フレッシュコンクリート、単位水量、迅速判定、加熱乾燥法

1. はじめに

構造物に打設したコンクリートの強度を知るには通常28日要し、打設後に強度不足が判明しても構造物の撤去等に莫大な費用がかかってしまう。このため、コンクリート打設の可否を搬入時に判定できる試験方法が必要とされる。

コンクリートの強度に直接影響を及ぼす水セメント比のうち、単位セメント量は生コンプレートの計量装置の精度が向上したことや自動計量記録値で確認できることより簡単に判定できる。一方、単位水量は、骨材の粒度分布や表面水率の変動によりばらつきやすく、所定のスランプに適合するよう入力表面水率を微調整しているため、練混ぜに用いられた真の水量は判明しない。¹⁾

さらに、単位水量の変動は、高流動コンクリートの流動性や、RCDコンクリート等单位水量の極端に少ないコンクリートの締め固めに大きく影響を及ぼすため、単位水量の早期判定の必要性が高まっている。

単位水量の早期判定には、多くの方法が提案されているが、測定精度を向上させるため試料量を多くすると測定時間が長くなることや、コンクリート試料中の粗骨材量が変動することに

よる測定誤差等の問題があり、これらの試験方法は受け入れ検査に用いられていない。

ここでは、フレッシュコンクリートの単位水量を判定するのに、測定原理が単純で比較的精度の高い加熱乾燥法を選定し、その手法を改善するとともに、誤差要因を整理した。さらに、その測定時間を短縮するための検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 試験方法および試験装置

ここで選定した方法は、450℃に予熱した乾燥炉にフレッシュな試料を入れ、乾燥前後の質量差より試料中の水量を測定するものである。

図-1に示すように、試験装置は乾燥炉（炉内温度450℃）、台ばかり（秤量30kg、感量0.1g）、指示装置（炉内温度制御、炉内温度表示）、データロガーおよびパーソナルコンピュータからなる。乾燥炉は炉内温度が安定するように改善されており、しかも、その質量は17kg程度と現場間での移動が容易である。

本試験では、完全に乾燥するまでの試料質量、試料温度および炉内温度を10秒刻みに測定した。

*1 建設省土木研究所コンクリート研究室 交流研究員（正会員）

*2 建設省土木研究所コンクリート研究室 室長 工修（正会員）

*3 建設省土木研究所コンクリート研究室 研究員（正会員）

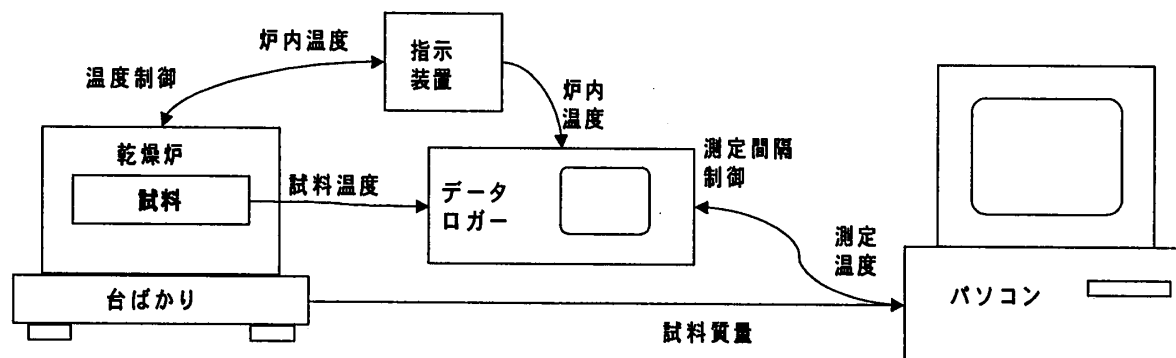


図-1 試験装置

表-1 コンクリートの配合および経過時間

目標スランプ(cm)	4	8	12	18
単位水量(kg/m³)	155	163	171	180
水セメント比(%)	40, 50, 60, 70			
混ぜ後の経過時間(分)	0, 30, 60, 90			

2.2 使用材料

セメント：普通ポルトランドセメント(比重3.16)

細骨材：大井川水系陸砂(比重2.60)

粗骨材：笠間産碎石2005(比重2.66)

混和剤：AE減水剤(リグニン系)

2.3 試験条件

表-1にコンクリートの配合および練混ぜ後の経過時間を示す。モルタルの配合はコンクリートの配合より粗骨材を除いたものとした。

試験に用いる試料の量は、コンクリート、モルタル、ペーストは1% (2000~2300g)、ウェットスクリーンモルタルは1%のコンクリートから粗骨材を除いた量、0.6% (1300g)とした。

3. 試験結果および考察

3.1 予備試験

コンクリートおよびウェットスクリーンモルタルの水量を測定する前に、各材料(セメント、細骨材、粗骨材)が蒸発水量に及ぼす影響を確認した。試料にはペースト、モルタルおよび粗骨材を別計量したコンクリート(試料中の粗骨材量が配合値となるように別計量し、モルタルを混ぜた試料)を用いた。

なお、骨材中の水分の影響などを考慮に入れ、

理論的な配合水量に対する蒸発水量を次式で補正した。以下、この値を補正蒸発量と呼ぶ。

$$W_c = (M_0 - M_1) / M_0 \times M_c - (S \times Q_s / (1 + Q_s) + G \times Q_g / (1 + Q_g)) \quad (1)$$

$$W_m = (M_0 - M_1) / M_0 \times (M_c - G) - S \times Q_s / (1 + Q_s) \quad (2)$$

ここで、 W_c ：コンクリート中の水量(kg)

W_m ：モルタル中の水量(kg)

M_0 ：乾燥前の試料質量(g)

M_1 ：乾燥後の試料質量(g)

M_c ：コンクリート単位容積質量(kg/m³)

S ：単位細骨材量(kg/m³)

G ：単位粗骨材量(kg/m³)

Q_s ：細骨材の吸水率(%)

Q_g ：粗骨材の吸水率(%)

(1) 配合水量と補正蒸発量の関係

図-2~4に各試料の配合水量と補正蒸発量の関係を示す。いずれの試料を用いても、配合水量の1%以内と精度良く測定できた。

つまり、試料中にセメントや細骨材が存在しても試料中の水量は正確に測定できる。また、粗骨材が存在しても、試料中の粗骨材量が配合値と等しければ、試料中の水分を正確に測定できることが確認された。

(2) セメント結水の影響

図-5にモルタルの練混ぜ後の経過時間と蒸発率の関係を示す。いずれの水セメント比でも、時間の経過に伴い、蒸発率(ここで、蒸発率(%) = 補正蒸発量 / 配合水量 × 100とする)は小さくなった。その減少量は練混ぜ後90分で0.7%(水量で1.0~1.2kg/m³)程度であった。

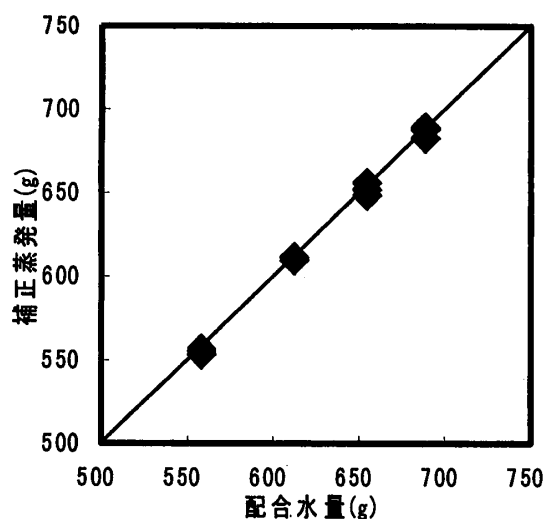


図-2 配合水量と補正蒸発量(ペースト)

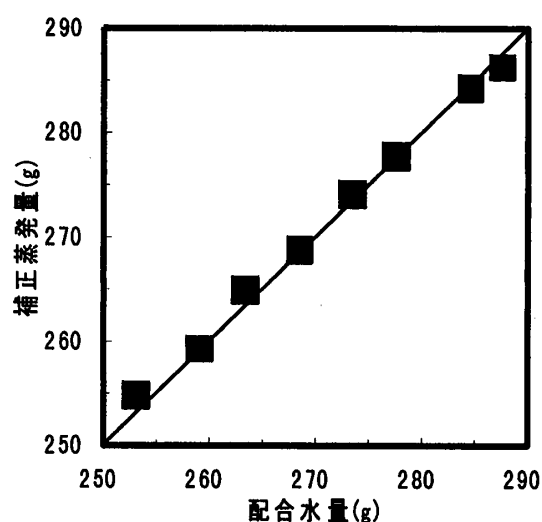
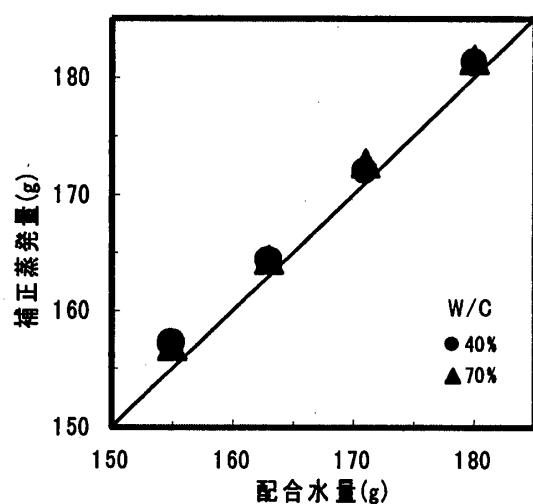
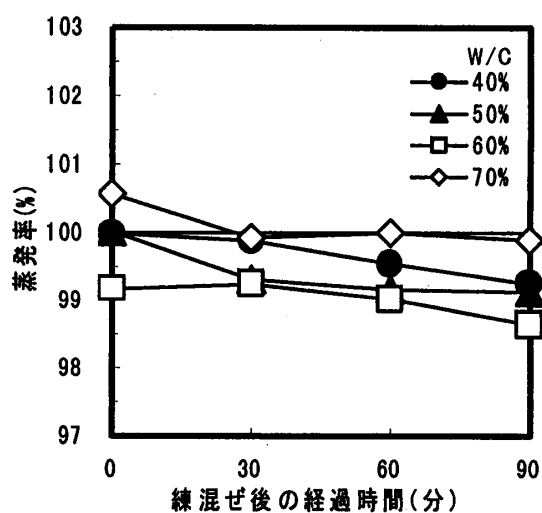


図-3 配合水量と補正蒸発量(モルタル)

図-4 配合水量と補正蒸発量
(粗骨材を別計量したコンクリート)図-5 練混ぜ後の経過時間と
蒸発率(モルタル)

3.2 コンクリート試験

(1) 配合水量と補正蒸発量

コンクリートおよびウェットスクリーンモルタルの配合水量と補正蒸発量の関係を図-6, 7に示す。実際に練混ぜたコンクリートを試料に用いた場合, 配合水量180gで補正蒸発量が小さくなったが, 表-1より配合水量180gはスランプ18cmであるため, 他に比べ分離しやすくなり, 均一に試料を採取できなかったと考える。そこで, 乾燥後の試料を5mmフルイで水洗いして試料中の粗骨材量を求め, その値をにより求

めた補正蒸発量は $98.5 \pm 1.5\%$ となった。

一方, ウェットスクリーンモルタルではいずれの配合水量でも補正蒸発量は $98.5 \pm 1.5\%$ の範囲に収まった。

補正蒸発量が配合水量に比べて少ないのは, 練混ぜ中の水分の蒸発や練混ぜ直後にセメントと結合する水が存在するためと思われる。

(2) 試料中の粗骨材量の影響

前述のように, 試料にコンクリートを用いた場合, 計量誤差, サンプルング誤差等により試料中の粗骨材量は変動することから, 粗骨材の計量誤差, サンプルング誤差が補正蒸発量に及

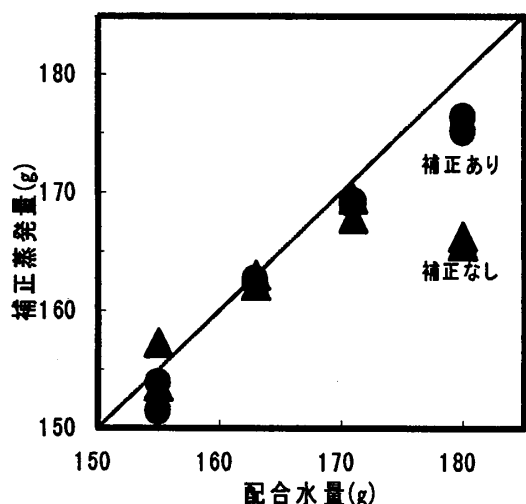


図-6 配合水量と補正蒸発量(コンクリート)

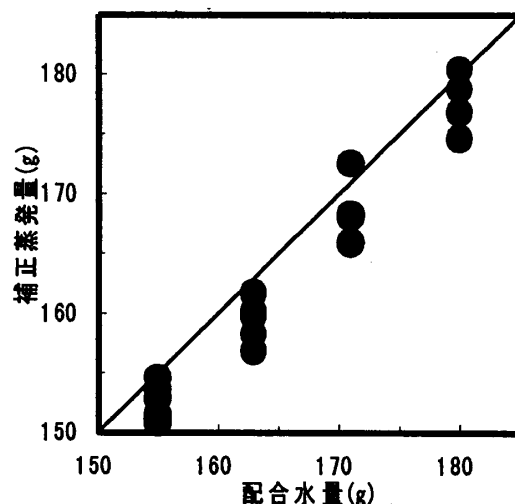
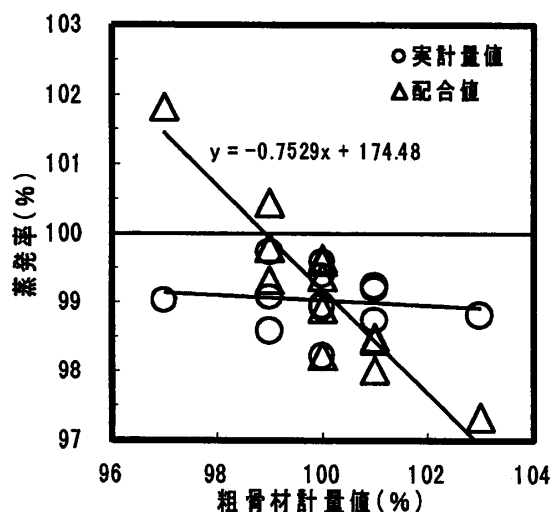
図-7 配合水量と補正蒸発量
(ウェットスクリーンモルタル)

図-8 計量誤差の影響

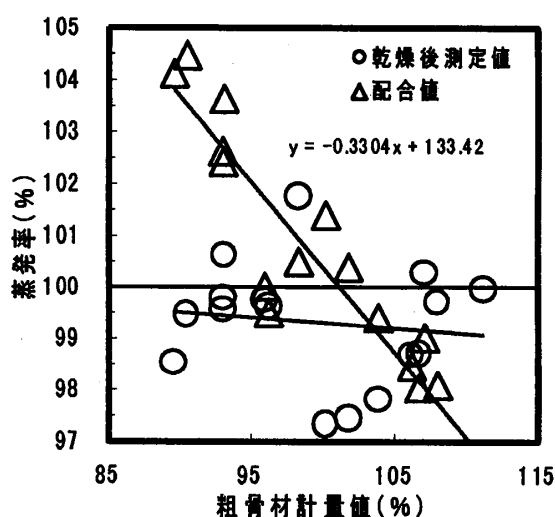


図-9 サンプルング誤差の影響

ばす影響について検討した。

練混ぜプラントでの計量誤差の影響を調べるために、粗骨材の計量値を配合粗骨材量 $\pm 0, 1, 3\%$ と変化させた試料を乾燥させた。補正蒸発量の計算には、配合粗骨材量（以下、配合値とする）と実計量値（配合粗骨材量 $\pm 0, 1, 3\%$ ）を用いた。結果を図-8に示す。

試料中の粗骨材計量値が多くなると、配合値を用いて計算した蒸発率は低くなる。例えばJIS A 5308で規定されている計量誤差3%分だけ粗骨材が多く計量されると、蒸発率は約2.2%低くなる。一方、実計量値を用いると、蒸発率は $99 \pm 1\%$ 程度と精度良く測定された。

サンプリング誤差の影響を調べるために、材料を25%計量して練混ぜたコンクリートから、1%の試料を採取して乾燥させた。補正蒸発量の計算には、乾燥後の試料を5mmフルイで水洗いして求めた粗骨材量（乾燥後測定値）と配合値を用いた。結果を図-9に示す。

配合値を用いた場合、蒸発率は $\pm 4\%$ とばらついたが、乾燥後測定値を用いることにより、蒸発率は $98.5 \pm 1.5\%$ となり測定精度を向上することができた。

3.3 回帰計算による測定時間の短縮

測定時間短縮のため、乾燥途中での蒸発率と

乾燥時間の関係を回帰することで最終蒸発量を算出できないか検討した。

図-10に各試料の乾燥時間と蒸発率の関係を示す。試料には、同一配合（スランプ8cm、水セメント比50%）のペースト、モルタル、コンクリートおよびウェットスクリーンモルタルを用いた。試料質量が安定するのにかかる時間は、ペーストが30分以上、モルタルが25分、コンクリートが20分程度であった。また、コンクリートと試料水量がほとんど等しいウェットスクリーンモルタルでは15分程度と短かった。

図-11にウェットスクリーンモルタルの補正蒸発量と試料温度の関係を示す。補正蒸発量は試料温度が上昇するまで緩やかに増加し、試料温度70℃ぐらいから水分の蒸発が活発になり補正蒸発量は直線的に上昇する。試料温度が150℃程度になると水分の蒸発は少なくなり、徐々に補正蒸発量の曲線が緩やかになる。この現象はコンクリートの断熱温度上昇に酷似していることから、補正蒸発量の変化を各種断熱温度上昇曲線⁹⁾を用いて回帰した。図-12に補正蒸発量と各種回帰曲線の関係を、図-13に回帰計算による求めた最終蒸発率を示す。

$$W(t) = W_k (1 - \exp(-at)) \quad (3)$$

$$W(t) = W_k (1 - \exp(-at^b)) \quad (4)$$

$$W(t) = W_k (1 - (1+at) \exp(-at)) \quad (5)$$

ここで、 $W(t)$ ：乾燥中の補正蒸発量(g)

W_k ：回帰により求めた補正蒸発量(g)

t ：乾燥開始からの経過時間(秒)

a, b ：回帰係数

式(3)および(5)により回帰した曲線は、乾燥中の補正蒸発量とは異なる線形を示し、回帰計算による最終蒸発率も実測値よりかなり高くなった。一方、式(4)を用いた曲線は、補正蒸発量と酷似しており、最終蒸発率は実測値の99.6±0.3%と精度良く回帰することができた。

図-14に、回帰計算時の試料温度と式(4)により回帰した蒸発量の関係を示す。回帰には各試料温度までの補正蒸発量のデータを用いた。また、図中の()内の数字は測定開始からそれ

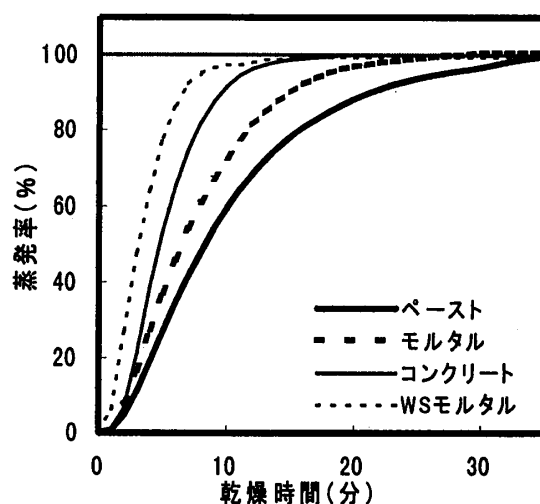


図-10 各試料の乾燥時間と蒸発率の関係

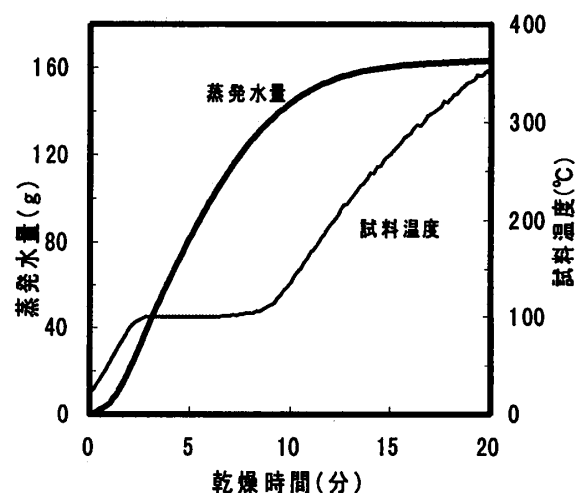


図-11 補正蒸発量と試料温度の関係

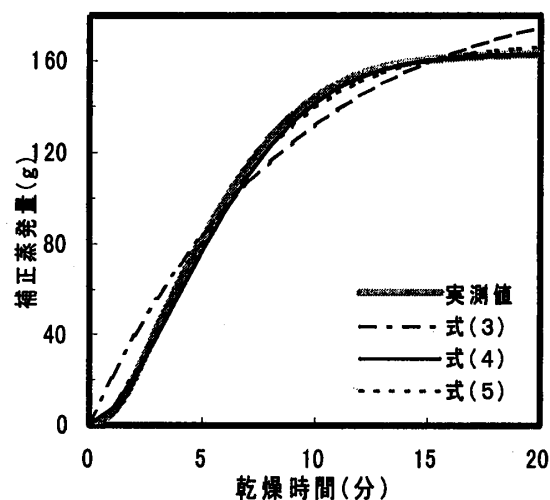


図-12 補正蒸発量と各種回帰曲線

ぞれの温度になるまでにかかる時間を示す。
回帰計算時の試料温度が高くなるほど、蒸発率の回帰精度が高くなるが、反面乾燥時間が長くなる。試料温度を200℃とすると、 $99 \pm 1\%$ と高い回帰精度を保ちながら、15分程度必要であったウェットスクリーンモルタルの乾燥時間を10分程度まで短縮できた。

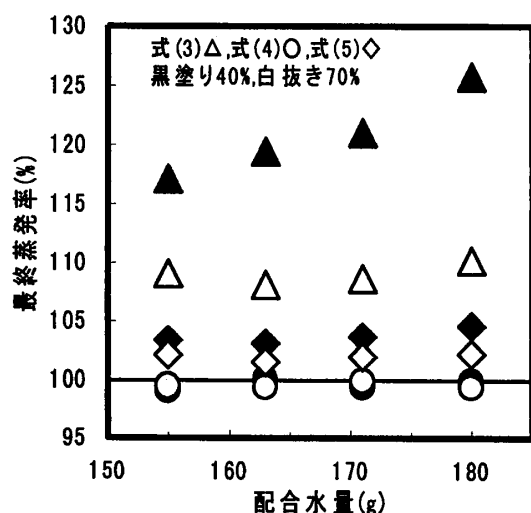


図-13 回帰計算による最終蒸発率

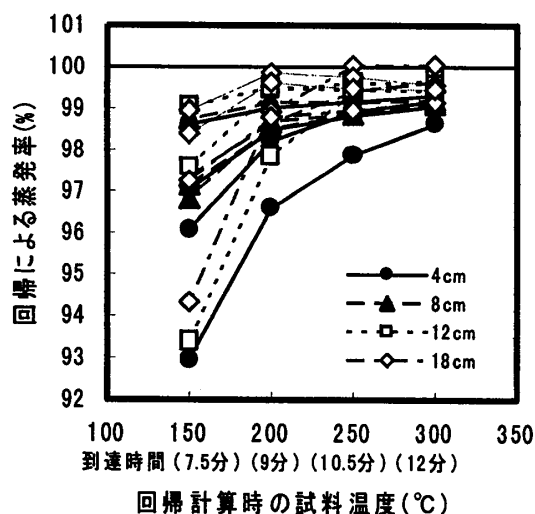


図-14 試料温度と推定蒸発率

4. まとめ

(1) 試料にペースト、モルタルおよび粗骨材を別計量したコンクリートを用いた場合、配合水量 $100 \pm 1\%$ の誤差で測定できた。

(2) 試料にコンクリートを用いた場合、測定誤差は大きくなるが、乾燥後の試料中の粗骨材量で補正することにより、 $98.5 \pm 1.5\%$ の精度で水量を測定できた。

(3) 試料にウェットスクリーンモルタルを用いた場合、配合水量の $98.5 \pm 1.5\%$ の精度で測定できた。

(4) 乾燥中の試料の質量変化は、式(4)に示す断熱温度上昇曲線と酷似しており、式(4)を用いて回帰した最終蒸発率は補正蒸発量の $99.6 \pm 0.3\%$ となった。

(5) ウェットスクリーンモルタル0.6Lの乾燥時間は約15分であった。乾燥中の試料の質量変化を式(4)により回帰計算を行うことにより、ほとんど精度を下げることなく、測定時間を10分まで短縮することができた。測定時間の目安は試料温度200℃以上である。

以上、フレッシュコンクリートの単位水量を早期に判定する方法としては、ウェットスクリーンモルタルを加熱乾燥させ、試料温度200℃以上になった時点で、式(4)により補正蒸発量を回帰させるることにより、ごく短時間で、精度良く判定できることが確認された。今後は、コンクリートについての回帰による検討を行うとともに、特殊コンクリート（高流動コンクリート、RCDなど）での確認や現場での適用性について調査する予定である。

参考文献

- 1) 吉兼亨：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，Vol. 27, No. 10, pp5-14, 1989. 10
- 2) 土木学会：マスコンクリート技術の現状と動向，土木学会，コンクリート技術シリーズ8，pp22-35, 1994. 10
- 3) 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，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 12, No. 1, pp307-312, 1990. 6