

◆ 報文 ◆

加熱乾燥法によるコンクリート単位水量迅速推定法

片平 博* 河野広隆**

1. はじめに

コンクリートの強度管理は一般に材齢 28 日の圧縮強度試験で行われる。このため、この時点でコンクリートの品質に欠陥が認められても、すでに構造物の建造が進捗しており、構造物の大規模な補修や撤去は困難である。このため、コンクリートの品質を打設直前に迅速に判定できる試験方法の確立が求められている。

コンクリートの強度は主に単位セメント量と単位水量との比率、すなわちセメント水比によって決定される。このうち単位セメント量は生コンクリートの計量装置の精度が向上したことや、自動計量記録装置が普及したことでの比較的容易に確認できる。一方、単位水量を精度良く推定するのは容易ではない。コンクリートの構成材料は主に水、セメント(結合材)、骨材であるが、骨材、特に細骨材は一般に表面水を有しているために、計量投入される水の量は示方配合の単位水量からこの骨材の表面水を差し引いたものでなければならない。ところが骨材の表面水量は変動しやすい。また、粒度分布の微妙な変化がコンクリートのフレッシュ性状に与える影響を補正する目的から、骨材の表面水量の値を人為的に操作して投入水量を修正することもあり、練り混ぜに用いられた真の単位水量は明確でない。このため、単位水量を正確に求めるための試験法の確立が重要である。

フレッシュコンクリートの単位水量を迅速に推定する方法としては、これまで多くの方法が提案されてきた¹⁾。しかし、測定時間や測定精度、操作性の問題から実用には至っていないのが現状である。今回の検討では、これまで提案されてきた各試験方法の中から、原理が比較的単純で誤差要因が少なく、現場への適応性が高いと考えられる方法として加熱乾燥法に着目し、その推定精度と特性について整理したものである²⁾。

A Study on Rapid Test Method on Water Content of Fresh Concrete by Evaporation.

2. 実験方法

2.1 実験概要と実験目的

加熱乾燥法はフレッシュコンクリート中の水分を加熱乾燥によって完全に蒸発させ、乾燥前後の質量差から単位水量を推定する方法である。ただし、フレッシュコンクリート中の水分には単位水量と骨材中に含まれる水量(先に述べた表面水ではなく、骨材内に取り込まれている水)があるため、乾燥によって減少した質量から骨材の含水量を差し引いた残りが単位水量となる。

加熱乾燥法には様々な方法が提案されているが、今回の実験では原理の単純なものとして乾燥炉を用いる方法と、ガスコンロでフライパン上の試料を加熱する方法を選定した。試験装置の概要を図-1 および写真-1 に示す。また、加熱乾燥に供する材料については、コンクリートを直接用いる方法と、乾燥前に試料をウェットスクリーニングし、これによって抽出したモルタル分(ウェットスクリーンモルタル)を用いる方法を比較した。なお、コンクリートを直接乾燥する場合には粗骨材のサンプリング量のバラツキの影響が無視できなかったため、乾燥後の試料をフライ上で水洗いすることで粗骨材を抽出し、粗骨材のサンプリング量のバラツキの影響を補正した。

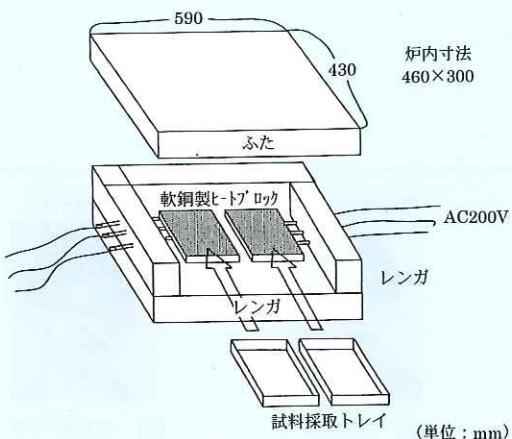


図-1 乾燥炉の概要図



写真-1 ガスコンロ法による試験状況

試験ケースは表-1に示すとおりであり、測定はコンクリートの練混ぜ直後、1時間経過後、2時間経過後について実施した。

今回の実験は以下の項目について検討することを目的とした。

- ① 加熱方式、加熱温度の違いによる影響
- ② コンクリートの配合の影響
- ③ 試料量の影響
- ④ 試料にコンクリートを用いる場合とウェットスクリーンモルタルを用いる場合の比較
- ⑤ コンクリート試料を用いる場合の粗骨材のサンプリング量のバラツキの影響

2.2 コンクリートの配合

コンクリートの配合は20ケースを設定した(表-2参照)。このうち19ケースは単位水量を種々に変化させたセメント水比1.25~2.5の範囲の配

表-1 実験ケース

記号	加熱方式	炉内温度	試料	試料量	乾燥時間	粗骨材補正
C600-a	乾燥炉	600 °C	コンクリート	1,000cc	10分	有り
C600-b	"	"	"	500cc	"	有り
C600-c	"	"	"	1,000cc	"	無し
C600-d	"	"	"	500cc	"	無し
M600-a	"	"	ウェットスクリーンモルタル	600cc ^{*1}	"	—
M600-b	"	"	"	300cc ^{*2}	"	—
M450	"	450 °C	"	600cc ^{*1}	20分	—
GS	ガスコンロ	—	"	300cc ^{*2}	10分	—

*1: コンクリート1,000ccに対応したモルタル量 *2: コンクリート500ccに対応したモルタル量

表-2 コンクリートの配合

分類	G max (mm)	C/W (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤	ケース数
				W	C	S	G		
中強度	20	1.25~2.5	42~48	153~194	224~384	722~912	985~1042	AE減水剤, AE助剤	19
高強度	20	4.0	43	160	640	693	946	高性能AE減水剤	1
材料物性 W: 上水道水 C: 中强度用; 普通ポルトランドセメント、高强度用; ハイフローセメント S: 大井川産河床砂, $\gamma_S = 2.61 \text{ g/cm}^3$, 吸水率=1.06% G: 笠間産硬質砂岩, $\gamma_G = 2.67 \text{ g/cm}^3$, 吸水率=0.6%									

ここに、

W : 推定単位水量 (kg/m^3)

W_1 : 実験から得られる蒸発水量 (kg)

$$W_1 = (M_1 - M_2)$$

M_1 : 加熱乾燥前の試料質量 (kg)

M_2 : 加熱乾燥後の試料質量 (kg)

M_c : コンクリート配合上の単位体積質量

$$(\text{kg}/\text{m}^3)$$

W_w : コンクリート配合上の単位水量 (kg/m^3)

W_s : コンクリート配合上の細骨材の吸水量

$$(\text{kg}/\text{m}^3)$$

W_g : コンクリート配合上の粗骨材の吸水量

$$(\text{kg}/\text{m}^3)$$

(2) コンクリート試料を加熱乾燥し、粗骨材量を補正するケース (C600-a, C600-b) の推定式

$$W = (W_1 - G_1 \times \frac{Q_g}{1 + Q_g}) \times \frac{M_c - W_w - W_s - M_g}{M_{m2}} - W_s \quad (2)$$

ここに、

M_{m2} : 加熱乾燥後のモルタル質量

$$M_{m2} = M_2 - G_1 \times (1 - \frac{Q_g}{1 + Q_g})$$

G_1 : 試料中の粗骨材質量

$$G_1 = M_3 \times \gamma g / (\gamma g - 1) / (1 - K)$$

M_3 : 洗い出した粗骨材の水中重量 (kg)

γg : 粗骨材の密度 (t/m^3)

K : 粗骨材に含まれる 5mm アンダーの割合

Q_g : 粗骨材の吸水率

M_g : コンクリート配合上の粗骨材量 (kg)

(3) ウエットスクリーンモルタルを加熱乾燥するケース (M600-a, M600-b, M450, ガスコンロ) の推定式

$$W = W_1 \times \frac{M_c - W_w - W_s - M_g}{M_2} - W_s \quad (3)$$

3. 実験結果と考察

3.1 乾燥方法と推定精度の関係

3.1.1 中強度コンクリートに対する実験結果

各実験から得られた推定単位水量を真の単位水量に対する百分率で示した主な結果を図-2 に示す。中强度コンクリートの結果については、いず

れのケースでも単位水量の推定値は練上りからの時間の経過に伴って徐々に低下していく傾向を示しているが、これは放置中の水分蒸発の影響と考えられる。そこで中强度コンクリートについて、練上り直後の推定百分率と、各経過時間毎の標準偏差の平均値を整理し、その結果を図-3 に整理した。

図-2 および図-3 から以下のことが明らかとなった。

試験ケースの中で最も高い推定精度を示したのはコンクリート試料を加熱乾燥し、洗い出しで粗骨材量を補正した C600-a, b であり、推定百分率の平均値はほぼ 100%、データのバラツキの標準偏差は 2.5%程度であった。次に推定精度が高かったのはコンクリート試料を加熱乾燥し、洗い出しを行わない C600-c, d であり、推定百分率の平均値は 98%程度、データのバラツキの標準偏差は試料量が 1,000cc の C600-c で 3.3%、試料量が 500cc の C600-d で 4%であった。

一方、ウェットスクリーンモルタルを用いた M600-a, b, M450, GS の実験結果はいずれもほぼ同様な値を示しており、加熱方法や加熱温度、試料量の影響は認められなかった。しかしながら単位水量の推定精度は低く、推定百分率の平均値は 94%程度、データのバラツキの標準偏差は 3.5~4%の範囲となった。

3.1.2 高強度コンクリートに対する実験結果

高強度コンクリートの試験結果は中强度コンクリートの結果とは大きく異なるものであった。

すなわち、図-2 から分かるように、高強度コン



写真-2 骨材にベーストが付着した状態
(高強度コンクリート)

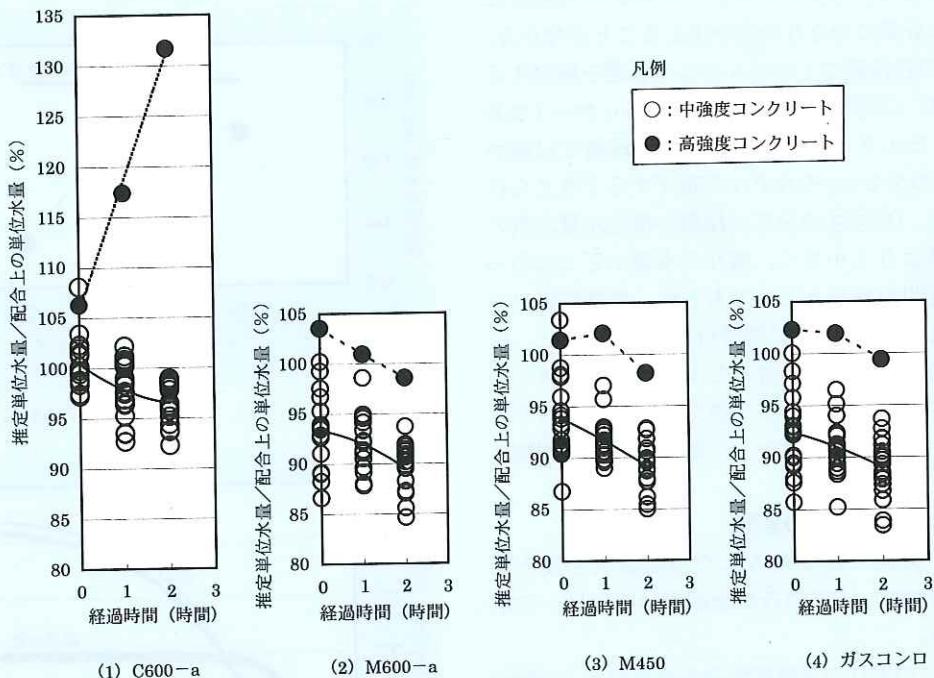


図-2 主な実験結果

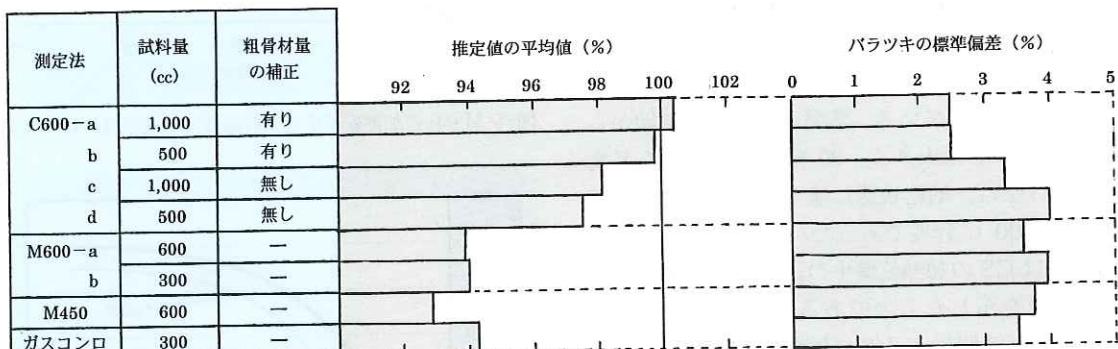


図-3 推定平均値と標準偏差

クリートでは、C600-aによる単位水量推定値は時間の経過に伴って著しく増加し、真値と大きくかけ離れる結果となった。これは写真-2に示すように、高強度コンクリートでは加熱乾燥後のセメントペーストの骨材への付着強度が高く、洗い出しによる粗骨材の分離がうまくできなかったためである。

これとは逆に、ウェットスクリーンモルタルによるM600, M450, GSの試験では、高強度コンクリートの試験結果は良好であり、中強度コンクリートの結果とは正反対の結果となった。この原因としては、高強度コンクリートでは混和剤に高性能AE減水剤を使用しており、この高い分散効果

によって、均質化したウェットスクリーンモルタルが採取できたのではないかと考えられる。

3.2 ウェットスクリーニングの影響

中強度コンクリートでは、ウェットスクリーンモルタルでの単位水量推定精度は低い結果となった。そこで、ウェットスクリーニングの程度が推定精度に与える影響について検討した。

5mm フルイ上に採取した中強度コンクリートに対して、段階的に①手作業による振動、②バイブレータによる弱振動、③バイブルレータによる強振動を与え、それぞれの段階でフルイから落下したモルタルを600°Cの乾燥炉で10分間加熱乾燥し、単位水量を推定した。この結果を図-4に示

す。これより、ウェットスクリーニングの程度によって水分量にかなりの差が生じることが分かる。

図-4の各段階ごとのモルタルの状態を解説すると、まず、①②の段階では比較的柔らかい(水分の多い)モルタルが落下する。③の段階では硬めの(水分の少ない)モルタルが落下すると考えられる。なお、①②③の全ての段階の推定水量が真の単位水量よりも小さく、残りの水量がどこに行つたのか疑問の残るところであるが、最終的にフリイ上に残った試料(主に粗骨材)を観察すると、粗骨材の表面には水分を含んだセメントペーストの膜が存在しており、かなり強力な振動によってもそのペースト膜を骨材から分離することは困難と考えられる。

3.3 加熱方式の違いの影響

今回の実験では加熱方式や加熱温度を変えたM600, M450, GSの各試験結果はほぼ同一の値を示した。

図-5はM450の加熱乾燥中の試料温度(2箇所)と蒸発水量を示したものである。これによると試料温度は加熱開始後約2分で100°Cに達し、10分程度までは100°Cを維持するが、その後再び緩やかに上昇し、約15分後に300°C、約25分後に400°Cに達している。蒸発水量は加熱開始から10分程度までは大きく、20分以降はほとんど変化していない。絶乾状態に達するときの試料温度は300~400°C程度であった。

図-6はGSの加熱乾燥中の試料温度(2箇所)と蒸発水量を示したものである。この図を図-5と比較すると時間軸が2/3に短縮されている点を除くと、グラフの傾向はほぼ一致している。すなわち、GSは炎というかなり高温の媒体による加熱方法であるにも関わらず、試料中の温度の上昇は緩やかで、300~400°Cに達した時点で絶乾状態に達していると考えられる。

以上のことから、加熱乾燥法では加熱方式や加熱速度によらず、試料中の温度が300~400°Cに達するまで加熱することで、同等の結果が得られるものと考えられる。

4.まとめ

加熱乾燥法によるコンクリートの単位水量推定法について実験的検討を行った。この結果、以下の特性が明らかとなった。

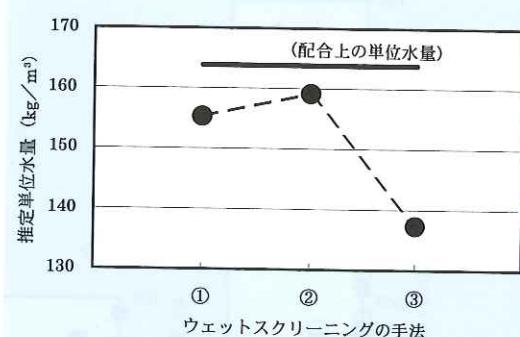


図-4 ウェットスクリーニングの影響

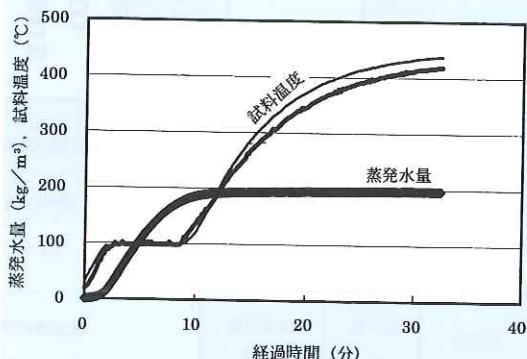


図-5 M450 の加熱乾燥中の試料温度と蒸発水量の経時変化

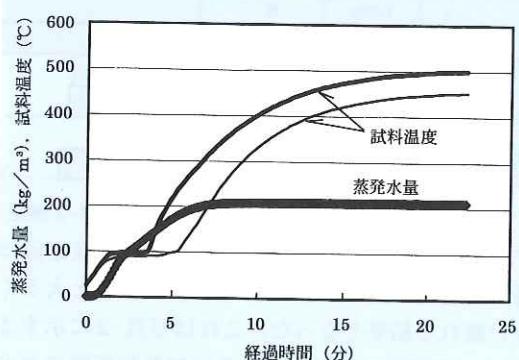


図-6 ガスコンロの加熱乾燥中の試料温度と蒸発水量の経時変化

- (1) 中強度コンクリートに対しては、コンクリート試料を加熱乾燥し、乾燥後の試料をフリイ上で洗い出すことで粗骨材量を補正する方法が最も高い精度を得た。
- (2) 中強度コンクリートではウェットスクリーンモルタルを用いる方法の推定精度は低かった。これはウェットスクリーニングの程度によって

モルタル中の水分量が異なるためである。

- (3) 高強度コンクリートではウェットスクリーンモルタルを用いる方法の推定精度が高かった。
- (4) 加熱乾燥の方式・加熱速度によらず、試料温度が300~400°Cに達するまで加熱乾燥することとで、同等の結果が得られる。
- (5) 試料量の影響については、今回の実験の範囲では、コンクリート試料を加熱乾燥し、粗骨材量を補正しないケースでは影響が見られたが、その他のケース(モルタルを対象としたケース)では試料量の影響は認められなかった。

5. おわりに

今回の研究結果から、一般の中強度コンクリートに対しては、コンクリート試料をそのまま加熱乾燥し、粗骨材のサンプリング誤差は乾燥後の試料をフルイ上で洗い出して補正する方法で、単位水量を比較的精度良く推定できることが分かった。ただし、それなりに手間のかかる作業であり、日々の施工管理に適応するには時間的な面や費用面から現実的ではなく、むしろ抜き打ち検査的な使用法に適していると考える。

現場での日々の施工管理に対しては、多少精度が劣っても、できる限り簡便な方法が適していると考えられる。一つの方法として、エアメータを用いて空気量を測定する際に試料の質量を測定し、コンクリートの密度から水量を推定する方法について検討を行っている²⁾。

なお、本文中に紹介したガスコンロ法に用いるガスコンロであるが、一般に市販されている家庭調理用コンロには、本試験のように試料を高温域まで加熱できるように設計されていないものがあり、機種の選定には注意が必要である。特にカセットコンロは一般的の調理温度では安全であるが、試料温度があまり高温になると誘爆の危険があり、使用は厳禁である。

参考文献

- 1) コンクリートの早期迅速試験方法集,(社)日本建築学会,1985.
- 2) 片平博, 河野広隆: フレッシュコンクリートの単位水量迅速推定法に関する実験的研究, 土木研究所資料 第3657号, 1999.7

片平 博*



建設省土木研究所
材料施工部
コンクリート研究室研究員
Hiroshi KATAHIRA

河野広隆**



同 コンクリート研究室長
Hirotaka KAWANO