

養生方法および吸水方法が異なるモルタル供試体の推定単位水量に関する一考察

(株)内山アドバンス 〇須藤 絵美 日本建築専門学校 竹村 雅行
ものづくり大 中田 善久 元日大生産工 笠井 芳夫

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化が社会的な問題となっており、コンクリートの品質および耐久性評価のための技術に対する期待は大きい。コンクリートの耐久性は、水セメント比と密接な関係があることから、硬化後のコンクリートから水セメント比を推定できれば、不具合箇所の原因究明を含めた耐久性評価が可能となる。硬化コンクリートの水セメント比を求める方法として、(社)セメント協会 F-18 による方法¹⁾が代表的ではあるが、希塩酸による溶解試験を行うために石灰石骨材を用いたコンクリートには適用できないことや試験体によっては信頼性に乏しい結果となるなどの問題がある²⁾。また、グルコン酸ナトリウムによる方法^{3,4)}(以下、NDIS:3422 と称す)のような硬化コンクリートの単位セメント量のみを推定する方法^{5,6)}はいくつか報告があるものの、精度良く単位水量までを推定する方法は極めて少ない。

そこで、本報告は、単位水量を求める方法を確立するために、NDIS:3422 による分析結果をもとに単位水量の試験を行った結果について検討したものである。ここでは、モルタル供試体を用いて養生方法および吸水方法の違いが吸水量から算定される単位容積質量に及ぼす影響を調べ、さらに、セメント協会 F-18 の中で示されている差引法および強熱法の考え方をもとに、モルタルの単位水量を求めた結果について考察した。

2. NDIS:3422 の分析値に基づく試料の単位水量の求め方

セメント協会 F-18 では、単位水量を求める方法として、差引法と強熱法の 2 種類が示されている。差引法は、コンクリート粉末試料の溶解試験の結果から求めた単位セメント量および単位総骨材量をコンクリートの単位容積質量から差引いて単位水量を求める方法である。一方、強熱法は、コンクリートの表乾質量および絶乾質量から自由水を求め、さらにコンクリート粉末試料の強熱減量からセメントの結合水量を求めて、これらの総量を単位水量とする方法である。単位水量の求め方

を次に示す。

(1) 試料の単位セメント量

試料の単位セメント量の求め方は、NDIS:3422 により行った。

(2) 試料の単位総骨材量

試料の単位総骨材量は、次式により求めた。

$$insol. = \frac{(1 - R_f) \times R}{M_{500} / (1 - W_{c500} / 100)} \times 100 \quad (1)$$

$$A_d = \frac{insol.}{100} \times \frac{C_d}{V} \quad (2)$$

$$A_m = A_d + (S \times Q_s / 100 + G \times Q_g / 100) \quad (3)$$

ここに、*insol.*: 105°C 絶乾状態における粉末試料の不溶残分(%), *R_f*: 500°C におけるろ紙の残分量(%), *R*: 粉末試料の不溶残分量(g), *M₅₀₀*: 500°C における粉末試料の質量(g), *W_{c500}*: 500°C における粉末試料の強熱減量百分率(%), *A_d*: 105°C 絶乾状態における試料の単位総骨材量(kg/m³), *C_d*: 試料の 105°C 絶乾質量(g), *V*: 試料の体積(m³), *A_m*: 表乾状態における試料の単位総骨材量(kg/m³), *S*: 調合による単位細骨材量(kg/m³), *G*: 調合による単位粗骨材量(kg/m³), *Q_s*: 細骨材の吸水率(%), *Q_g*: 粗骨材の吸水率(%)

(3) 試料の単位水量

① 差引法による試料の単位水量

差引法による試料の単位水量は、次式により求めた。

$$W_s = C_{uw} - (C_m + A_m + W_a) + W_b \quad (4)$$

$$W_a = (Air / 100 \times 1000 \times \alpha / 100) \quad (5)$$

$$W_b = C_m \times \beta / 100 \quad (6)$$

ここに、*W_s*: 差引法による試料の単位水量(kg/m³), *C_{uw}*: 試料の表乾状態における単位容積質量(kg/m³), *C_m*: 試料の単位セメント量(kg/m³), *W_a*: コンクリート中の空隙(空気泡を含む)に吸水された水量(kg/m³), *W_b*: 水和セメントの結合水量(kg/m³), *Air*: フレッシュコンクリートの空気量(%), *α*: コンクリート中の空隙に吸水された水の割合(%), *β*: 1000°C における水和セメントの結合水の離脱量(%)

② 強熱法による試料の単位水量

強熱法による試料の単位水量は、次式により求めた。

$$W_b = \frac{W_{c1000}}{100} \times \frac{C_d}{V} \quad (7)$$

$$W_{ig} = W_b + \left((C_{uw} - W_a) - \frac{C_d}{V} \right) \quad (8)$$

Estimation of Unit Water for Hardened Mortar Specimen different from Various Curing Method and Water Absorption Method

Emi SUDOH, Masayuki TAKEMURA, Yoshihisa NAKATA and Yoshio KASAI

ここに、 W_{ig} ：強熱法による試料の単位水量 (kg/m^3)、 W_{c1000} ：1000°Cにおける粉末試料の強熱減量百分率(%)

3. 実験概要

セメント協会 F-18 の考え方にに基づき、差引法(シリーズ I)および強熱法(シリーズ II)によりモルタルの単位水量について検討を行った。実験フローを図 1 に示す。

3.1 差引法による試料の単位水量(シリーズ I)

試料の単位セメント量は、NDIS:3422 により求め、試料の単位総骨材量は、NDIS:3422 の分析結果をもとに粉末試料の不溶残分量から求めた。試料の単位水量は、モルタル供試体の表乾状態における単位容積質量から試料の単位セメント量および試料の単位総骨材量を差引き、さらにコンクリート中の空隙に吸水された水量および水和セメントの結合水量を用いて求めた。このとき、吸水後の単位容積質量から試料の単位水量を求めるため、モルタル供試体の空隙に充填された水量が問題となる。ここでは、試験結果の算定に必要な単位容積質量を正確に測定するために、養生方法の異なるモルタル供試体を用いて吸水試験を行った。また、コンクリートの空隙に吸水された水量についても検討を行った。

(1) 使用材料およびモルタルの調合

セメントは普通ポルトランドセメント((社)セメント協会製 研究用セメント、 $\rho = 3.17\text{g}/\text{cm}^3$)とした。練混ぜ水には上水道水、細骨材にはセメント強さ試験用標準砂を用いた。モルタルの調合は、水セメント比 50%、目標空気量 4.0%とした。また、モルタル供試体は、JIS R 5201 により練り混ぜたモルタルをポリエチレン容器($\phi 60\text{mm}$, 容量 200ml)に打込み後密封し、翌日脱型を行い、所要の材齢まで標準養生、封かん養生および空气中養生を行った。

(2) 試験方法

材齢 28 日まで各養生を行ったモルタル供試体を 105°C で 48 時間乾燥させた後、吸水試験を行った。吸水方法は、自然吸水および煮沸吸水とした。自然吸水は、水中に 24, 48 および 72 時間静置し、その間の水中質量の変化を 10 分間隔で測定した。煮沸吸水は、煮沸時間を 1, 2 および 3 時間とし、煮沸後、水中質量の変化を 10 分間隔で 72 時間後まで測定した。その後、水中より取り出し、モルタル供試体の質量を測定した後、105°C で一定質量になるまで乾燥させた。吸水試験後のモルタル供試体を 150 μm 以下に全量微粉碎した粉末試料を用いて NDIS:3422 により試験を行った。

3.2 強熱法による試料の単位水量(シリーズ II)

試料の単位水量は、モルタル供試体の表乾質量および絶乾質量から試料の自由水を求め、次に、粉末試料の 1000°C における強熱減量からセメントの結合水量を求め、これらの和とした。

(1) 使用材料およびモルタルの調合

使用材料およびモルタルの調合は、シリーズ I と同様とした。

(2) 試験方法

シリーズ I と同様に、吸水後の単位容積質量から試料の単位水量を求めるため、モルタル供試体の空隙に充填された水量が問題となる。ここでは、モルタル供試体の表乾質量、絶乾質量およびモルタル供試体の空隙に充填された水量は、シリーズ I における吸水試験の結果を用いた。また、1000°C における強熱減量試験は、150 μm 以下に全量微粉碎した粉末試料を用いて行った。

4. 結果および考察

4.1 差引法(シリーズ I)

(1) 試料の単位セメント量

試料の単位セメント量の結果を図 2 に示す。試料の単位セメント量の結果は、養生方法に関わらず、調合上の単位セメント量に対して $\pm 5\%$ の範囲で精度良く求めることができた。

(2) 試料の単位総骨材量

試料の単位総骨材量の結果を図 3 に示す。試料の単位総骨材量は、絶乾状態として求めるため、骨材の吸水量が問題となる。ここでは、骨材の吸水率が既知であるため、その値を用いた。この結果、試料の単位総骨材量は、調合上の単位総骨材量に対して $\pm 5\%$ の範囲

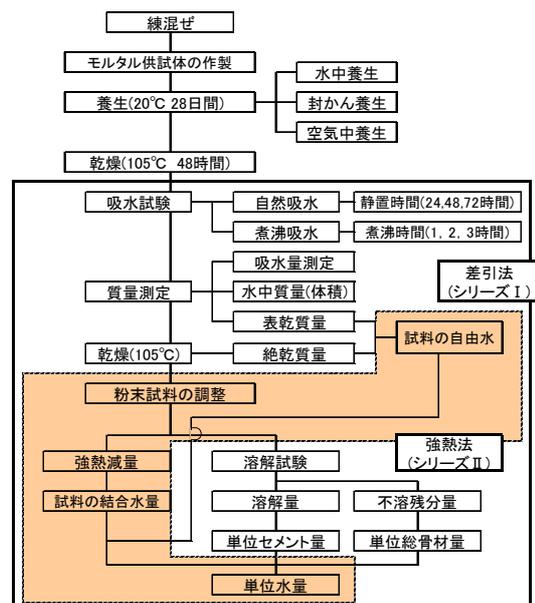


図 1 実験フロー

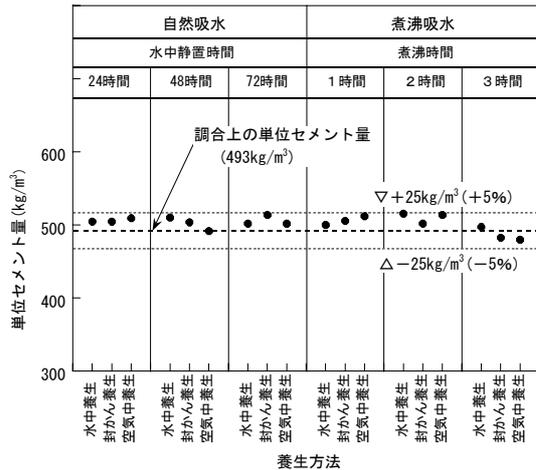


図2 試料の単位セメント量の結果

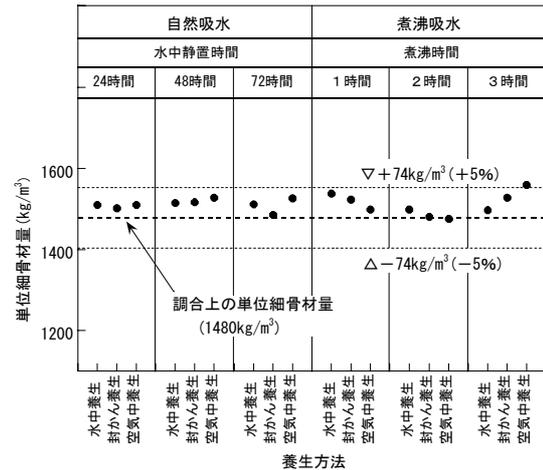


図3 試料の単位総骨材量の結果

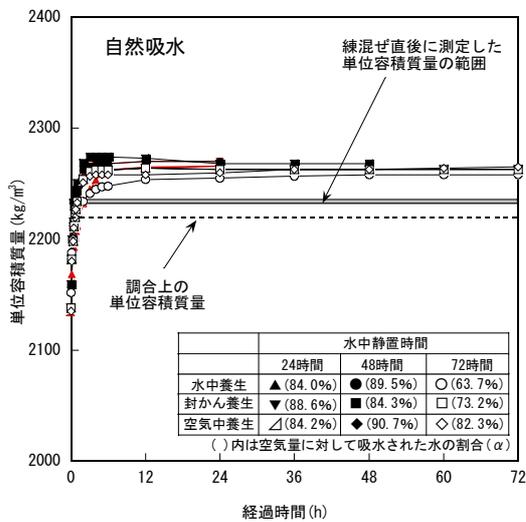


図4 吸水方法の違いによる経過時間と単位容積質量の関係（自然吸水）

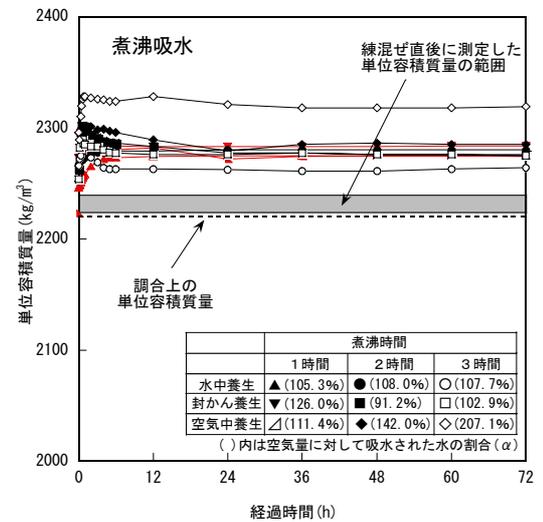


図5 吸水方法の違いによる経過時間と単位容積質量の関係（煮沸吸水）

で求めることができた。なお、試料の単位総骨材量は、全体に調合上の単位総骨材量より若干大きめとなった。

(3) 差引法による試料の単位水量

① 吸水試験結果

吸水方法の違いによる経過時間と単位容積質量の関係について、自然吸水の結果を図4に、煮沸吸水の結果を図5に示す。自然吸水および煮沸吸水ともに水中質量測定開始から12時間を経過した時点で単位容積質量がほぼ一定となっていた。吸水後の単位容積質量は、練混ぜ直後に測定した単位容積質量と比較して自然吸水では約1.5%、煮沸吸水では、約2~3%大きかった。これは、吸水を行うことによりモルタル供試体の空隙に水が入ったためである。また、練混ぜ直後に測定した空気量をモルタル供試体の空隙と仮定して、この空隙に吸水された水の割合(α)を次式により求めた。

$w =$ 吸水後の単位容積質量
 $-$ 練混ぜ直後の単位容積質量 (9)

$$\alpha = \frac{w}{Air \times 10} \times 100 (\%) \quad (10)$$

これよりαは、自然吸水の場合約80%以上、煮沸吸水の場合約100%となった。この結果は、自然吸水よりも煮沸吸水の方が、モルタル供試体の空隙が充填されやすいことを示唆していると考えられる。さらに、空気中養生の吸水割合が大きいのは、翌日脱型したことにより、セメントの水和に用いられる水分が蒸発したためにセメント粒子間に空隙が多くなったことが影響していると考えられる。

② 差引法による試料の単位水量

差引法による試料の単位水量の結果を図6に示す。試料の単位水量は、調合上の単位水量に対してほぼ±10%の範囲で求めることができたが、ばらつきが大きい結果となった。これは、推定した試料の単位セメント量および単位総骨材量の結果は、調合に対して誤差

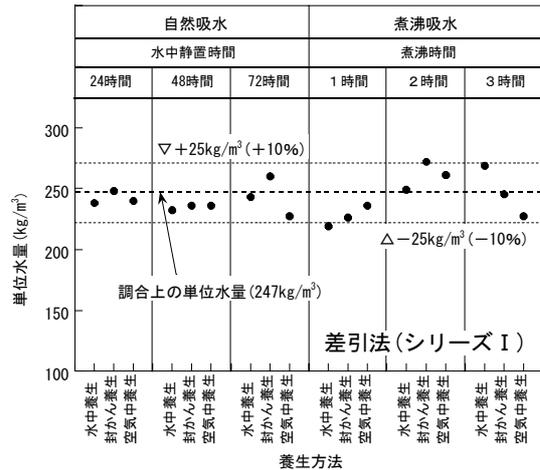


図6 差引法による試料の単位水量の結果

の割合は小さいものの、セメントおよび細骨材の単位量は単位水量と比較して大きいため、この誤差を単位水量に換算すると影響が大きくなると考えられる。

4.2 強熱法による試料の単位水量(シリーズII)

強熱法による試料の単位水量の結果を図7に示す。試料の単位水量は、調合上の単位水量に対して±10%程度の範囲で求めることができた。しかし、この方法は、強熱減量の測定に1000℃を用いるため、石灰石骨材には適用できないなどの問題が残されている。

4.3 差引法による試料の単位水量と強熱法による試料の単位水量の関係

差引法による試料の単位水量と強熱法による試料の単位水量の関係を図8に示す。差引法による結果と強熱法による結果の関係は、「差引法=強熱法」に対して±10%以内の範囲に分布していた。これより、それぞれの方法による試料の単位水量は、差引法と強熱法ではほぼ等しい結果が得られると考えられる。ただし、煮沸吸水の場合、「差引法>強熱法」となっていたことから、差引法の方が強熱法により求めた結果より若干大きくなる傾向があると思われる。

5. まとめ

今回の実験は、差引法および強熱法の考え方をもとに、モルタルの単位水量について検討した。これより、モルタル供試体の空隙に充填される水量は吸水方法により異なっており、この結果を用いることにより差引法および強熱法による試料の単位水量は、調合上の単位水量に対して±10%程度の範囲で求めることができた。しかし、モルタル供試体の空隙に吸水された水量の問題および強熱処理温度1000℃におけるセメントの結合水の離脱量に関する問題など課題が残る。これらの問

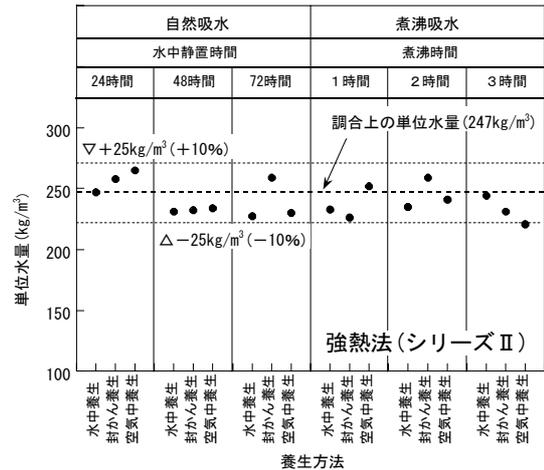


図7 強熱法による試料の単位水量の結果

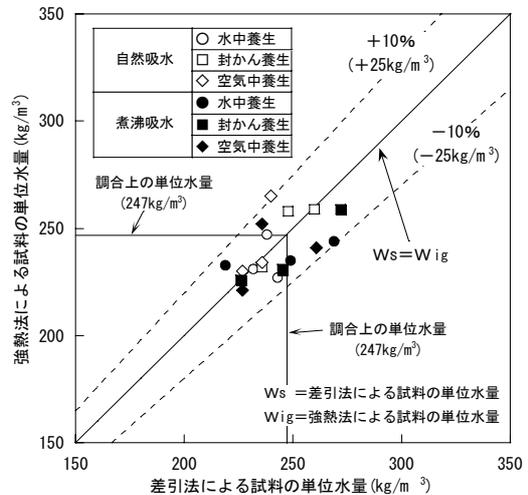


図8 差引法による試料の単位水量と強熱法による試料の単位水量の関係

題を解決することにより試験精度の向上が期待できる。今後は、水セメント比の異なるモルタル供試体を用いてこれらの問題についての検討をさらに重ねていきたいと考える。

【謝辞】

本実験を行うにあたり、ものづくり大学技能工芸学部の鈴木大介君に多大なるご協力を頂きました。ここに付記し、心より感謝の意を表します。

【参考文献】

- (社)セメント協会コンクリート専門委員会報告, F-18, 硬化コンクリートの配合推定に関する共同研究報告, (1976.9)
- 石川陽一, 硬化コンクリートの配合推定の精度向上に関する2,3の考察, 第56回セメント技術大会講演要旨, (2002), pp.116-117
- (社)日本非破壊検査協会:NDIS 3422, グルコン酸ナトリウムによる硬化コンクリートに単位セメント量試験方法, (2002.8)
- 中田善久, 笠井芳夫, 松井勇, 湯浅昇, 硬化コンクリートの単位セメント量判定試験方法に関する研究-グルコン酸ナトリウムによる試験方法の確立-, 日本建築学会構造系論文集, No.460, (1994), pp.1-10
- 吉田八郎他, 石灰石骨材を使用した硬化コンクリート中のセメント量推定試験方法, コンクリート工学年次論文報告集12-1, 1990.6, pp.347-352
- 河合研至他, 硬化コンクリートの単位セメント量の推定方法に関する研究, 土木学会論文集, Vol.402V, (1989.2), pp.145-150