

迅速

MODEL MIC-138-1-02型

生コンの単位水量計

W-Checker

ダブルチェッカー

技術資料

改版 2003.11.



総合試験機のメーカー

株式会社

マルイ

目 次

1. はじめに	.....	( 3)
2. 単位水量計の検査装置「W-checker」	.....	( 4)
3. W-Checkerによる単位水量の測定手順	.....	( 9)
4. 単位水量の測定精度の検討	.....	(12)
5. W-Checkerによる測定精度の実証	.....	(16)
6. 単位水量の現場測定事例	.....	(19)
7. W-Checkerの使用上の留意点と性能	.....	(20)
参考・参考文献	.....	(21)

1. はじめに

コンクリート構造物の欠落などによる第三者被害などが生じ、コンクリートの品質への関心が高まりつつあります。NIKKEI CONSTRUCTION 2000.11.24号では、「見えない品質を顕在化」させる技術を紹介するなど、コンクリートに関する新技術が紹介されていますが、逆にこれまでの生コンの受け入れ検査の方法などに疑問が投げかけられています。

このような背景をもとに、平成15年10月2日より国土交通省では、すべての工事で 100m^3 ～ 150m^3 ごとに単位水量の検査を義務付けることを発表し、すでに、日本道路公団やJR各社においても、コンクリートの耐久性確保のために、生コンの受け入れに際して、単位水量を検査が行われています。

これまでの生コンにおいては、受け入れ検査でスランプ、空気量と硬化後の圧縮強度を中心に検査を行ってきた実状から、単位水量の検査の実績はほとんどなく、現状では、簡便で、迅速かつ正確な方法が確立されているとは言えません。

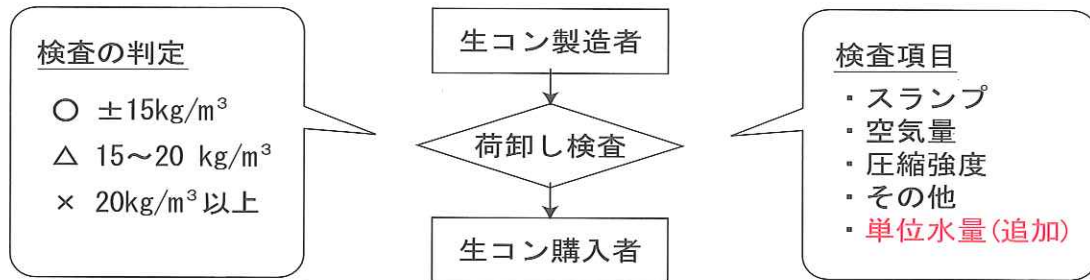
そこで、株式会社マルイは2000年に発表し「迅速」「簡便」「高精度」を目標として、単位水量を測定する方法。つまり、コンクリートの単位容積質量を測定し、空気量を補正することにより単位水量を算出する「エアメータ法」に基づく測定装置「W-Checker」を開発し普及につとめてまいりました。

この資料は、生コンの単位水量を測定する装置「W-Checker」に関する技術資料です。

2. 単位水量の検査装置 『W-Checker』

(1) 生コンの荷卸し時の検査

レディーミクストコンクリート（以下、生コンと称す）を荷卸しする際には、生コンの購入者（建設会社）がその品質を確認するために検査をすることが義務付けられています。その理由は、生コンの製造時において、使用材料の品質変動や製造時の温度などにより、示方配合（試し練りで決定した基本となる配合）の修正が必要となり、この修正配合（現場配合）に対する確認をするためです。



荷卸し時の検査は、到着した生コン車を待たすことなく迅速に行う必要があります。また、測定値は信頼できる値であることが必要です。W-Checkerは、迅速かつ簡便に測定できるだけでなく、わかり易い計算方法によるので、結果に透明性があり、かつ誤差の少ない検査装置です。

(2) W-Checkerによる単位水量の測定方法

配合設計では生コンを構成する各材料（水、セメント、骨材など）の質量を決定し、これをもとに生コンプラントではそれぞれの材料を計量し、練り混ぜます。

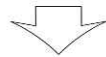
生コンはすべての材料が混合された状態で荷卸し地点に到着します。各材料が混ざったなかから水の量を測定するには、熱を加えて乾燥させる方法も考えられますが、この方法は時間がかかります。そのため、W-Checkerは単位容積質量をもとに算出する方法を採用しています。

単位容積質量から計算する方法は、それぞれの材料の密度（比重）が異なることを利用するものです。実際に製造したコンクリートの単位容積質量（ 1 m^3 当りの全材料の質量の合計値）が計画値（示方配合の設計から計算）より小さいと密度の小さい水の量が多いと判定できることを原理としています。セメントは、JIS表示認可の生コン工場であることで、正確に計量されていると見なされ、計量時の印字記録で確認できない点は、骨材の表面水率の変動したと仮定した水量の増減です。

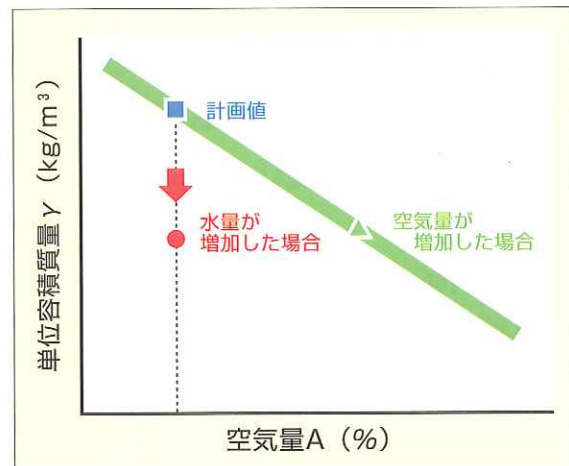
例えば、下記の示方配合において単位容積質量の計画値は2307kg/m³ですが、測定値が2290 kg/m³であった場合、骨材の表面水率を過少に判断したことによる単位水量の増加と見なすことができます。ただし、単位容積質量にはコンクリート中の空気量が影響を与えますので、計算時には空気量の補正が必要です。

単位水量	155 kg/m ³
単位セメント量	319 kg/m ³
単位細骨材量	762 kg/m ³
単位粗骨材量	1071kg/m ³

【計画値】 単位容積質量 2307 kg/m³
(空気量 4.5%で計算)



【測定値】 単位容積質量 2290 kg/m³
(空気量 4.0%)



*空気量が少なくなったにもかかわらず、軽くなったのは単位水量が増加したため

(3) 単位水量の計算式

単位容積質量から単位水量を算出する方法として、必要な条件は、使用セメントの密度、骨材の密度、正確な空気量が必要です。計算式は別紙の通りです。

(4) より精度の高い検査結果のために

単位水量を検査することは、契約に関係しますので、正確な精度が要求されます。より精度を高くするために、計算式に①セメントが吸水する水の量による容積変化を考慮、②空気量の変動を考慮した単位水量として計算する式となっています。

【単位水量の算定式】

1. 設定項目

- ・コンクリートの設定容積(練混ぜ量) V_0 (m³)
- ・フレッシュコンクリートの設定空気量 A_0 (%)
- ・各材料の密度および質量設定値
 - ・水の密度 ρ_w (kg/m³)
 - ・セメントの密度 ρ_c (kg/m³)
 - ※セメントの湿潤密度 ρ_{cw} (kg/m³)
(JIS R 5201-1997セメント密度試験で鉱油の代わりに水を用いて試験した値)
 - ・細骨材の表乾密度 ρ_s (kg/m³)
 - ・粗骨材の表乾密度 ρ_G (kg/m³)
 - ・水の質量設定値 W_0 (kg)
 - ・セメントの質量設定値 C_0 (kg)
 - ・細骨材の質量設定値 S_0 (kg)
 - ・粗骨材の質量設定値 G_0 (kg)

2. 測定項目

- ・フレッシュコンクリートの単位容積質量の実測値 γ_1 (kg/m³)
- ・フレッシュコンクリートの空気量の実測値 A_1 (%)

3. 計算項目

- ・セメント(粉体)の吸水率 β_c (%)
$$\beta_c = \rho_w(1/\rho_c - 1/\rho_{cw}) \times 100 \quad \dots (1)$$
- ・セメントの吸水による容積変化 ΔV_w (m³)
$$\Delta V_w = C_0 \times (\beta_c / 100) / \rho_w \quad \dots (2)$$
- ・セメントの吸水を考慮した単位容積質量の設定値 γ_0 (kg/m³)
$$\gamma_0 = (W_0 + C_0 + S_0 + G_0) / (V_0 - \Delta V_w) \quad \dots (3)$$
- ・コンクリートの実容積(実練混ぜ量) V_1 (m³)
$$V_1 = \gamma_0 (V_0 - \Delta V_w) / \gamma_1 \quad \dots (4)$$
- ・細骨材表面水の計量誤差 ΔW_s (kg)
$$\Delta W_s = \{V_1(1 - A_1/100) - V_0(1 - A_0/100) + \Delta V_w\} / (1/\rho_w - 1/\rho_s) \quad \dots (5)$$

$$\text{推定単位水量} \quad W = (W_0 + \Delta W_s) / V_1 \quad (\text{kg/m}^3)$$

(参考) 空気量一定の条件で単位水量を比較するために、上記の推定単位水量を
実測空気量(A_1)から設定空気量(A_0)とした場合に換算すると、
$$W_{A_0} = W \times ((1 - (A_0/100)) \times (V_0 / (V_0 - \Delta V_w))) / (1 - (A_1/100))$$

【単位水量の試算例】

1. 設定項目

- ・コンクリートの設定容積(練混ぜ量) V_0 (1.000m³)
- ・コンクリートの設定空気量 A_0 (4.5%)
- ・各材料の密度および質量設定値
 - ・水の密度 ρ_w (1000kg/m³)
 - ・セメントの密度 ρ_c (3040kg/m³)
 - ・細骨材の表乾密度 ρ_s (2590kg/m³)
 - ・粗骨材の表乾密度 ρ_g (2670kg/m³)
 - ※セメントの湿潤密度 ρ_{cw} (3100kg/m³)
 - ・水の質量設定値 W_0 (155.0kg)
 - ・セメントの質量設定値 C_0 (319.2kg)
 - ・細骨材の質量設定値 S_0 (761.5kg)
 - ・粗骨材の質量設定値 G_0 (1070.7kg)

2. 測定項目

- ・単位容積質量の実測値 γ_1 (2290kg/m³)
- ・空気量の実測値 A_1 (4.0%)

3. 計算項目

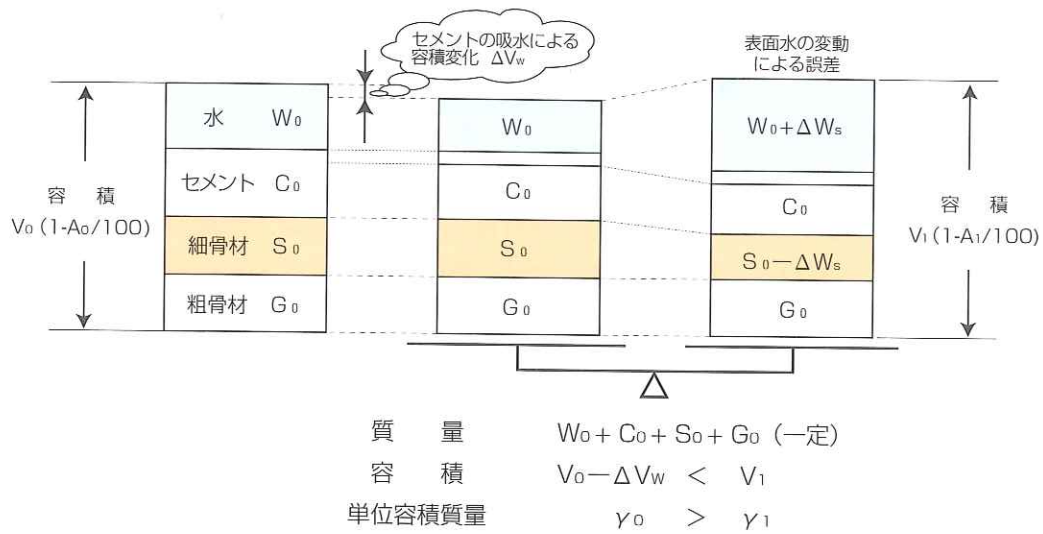
- ・セメント(粉体)の吸水率 β_c (%)
$$\beta_c = \rho_w (1/\rho_c - 1/\rho_{cw}) \times 100$$
$$= 1000 \times (1/3040 - 1/3100) \times 100 = 0.64 (\%)$$
- ・セメントの吸水による容積変化 ΔV_w (m³)
$$\Delta V_w = C_0 \times (\beta_c / 100) / \rho_w$$
$$= 319.2 \times (0.64 / 100) / 1000 = 0.002 (\text{m}^3)$$
- ・セメントの吸水を考慮した単位容積質量の設定値 γ_0 (kg/m³)
$$\gamma_0 = (W_0 + C_0 + S_0 + G_0) / (V_0 - \Delta V_w)$$
$$= (155.0 + 319.2 + 761.5 + 1070.7) / (1.000 - 0.002) = 2311.0 (\text{kg/m}^3)$$
- ・コンクリートの実容積(実練混ぜ量) V_1 (m³)
$$V_1 = \gamma_0 (V_0 - \Delta V_w) / \gamma_1$$
$$= 2311.0 \times (1.000 - 0.002) / 2290 = 1.007 (\text{m}^3)$$
- ・細骨材表面水の計量誤差 ΔW_s (kg)
$$\Delta W_s = \{ V_1 (1 - A_1 / 100) - V_0 (1 - A_0 / 100) + \Delta V_w \} / (1/\rho_w - 1/\rho_s)$$
$$= \{ 1.007 \times (1 - 4.0 / 100) - 1.000 (1 - 4.5 / 100) + 0.002 \} / (1/1000 - 1/2590) = 23 (\text{kg})$$

コンクリートの推定単位水量 W (kg/m³)

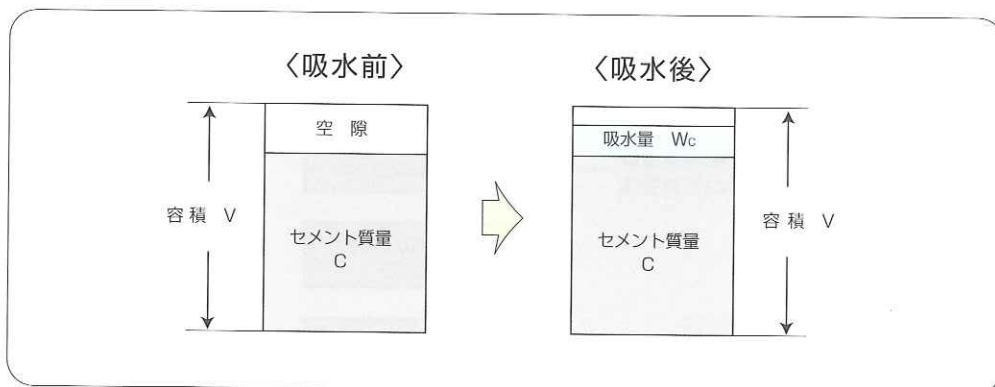
$$W = (W_0 + \Delta W_s) / V_1 = (155.0 + 23) / 1.007 = 176.8 (\text{kg/m}^3)$$

(参考) 空気量を設定空気量とした場合の単位水量に換算すると、

$$W_{A0} = W \times \{ (1 - (A_0 / 100)) \times (V_0 / (V_0 - \Delta V_w)) \} / (1 - (A_1 / 100))$$
$$= 176.8 \times \{ (1 - (4.5 / 100)) \times (1.000 / (1.000 - 0.002)) \} / (1 - (4.0 / 100))$$
$$= 175.9 (\text{kg/m}^3)$$



単位容積質量と空気量を利用した単位水量算定の概念



セメント吸水率 (BC) \Rightarrow 約 0.6 % 程度
 $BC = (W_c / C) \times 100$
 $= \rho_w (1 / \rho_c - 1 / \rho_{cw}) \times 100$ (%)
 ここで、 ρ_c セメント密度、 ρ_{cw} 水による密度測定値

セメントの吸水に関する考え方

3. W-Checker による単位水量の測定手順

フレッシュコンクリートの単位容積質量と空気量から単位水量を算定するまでのフローを図-2に示します。単位水量の測定は、高精度エアメータ「W-Checker」によって行います。

測定を開始する前に、装置自体の容積と質量を測定し、JIS A 1128 に準じて空気量のキャリブレーションを行っておきます。次に、骨材修正係数とセメント密度を測定し、配合計画書から材料密度、各種材料の配合を入力します。骨材修正係数は JIS A 1128 によります。セメント密度は、通常は鉱油を用いて測定しますが、コンクリートを製造する時にセメントは吸水しますので、水を用いて測定し、これを湿潤密度と称します。

コンクリート試料の測定では、エアメータ中の試料の質量を測定し、つぎに蓋と試料表面との空間部分に水を満たした装置質量の質量を測定します。これらの値から試料の容積が求まり、単位容積質量が算出されます。空気量は「JIS A 1128」の注水法に準じて測定します。

「W-Checker」では、予めインプットされた算定式により、装置に表示される通りに測定すれば、単位水量は自動的演算され、結果が表示されるようになっています。

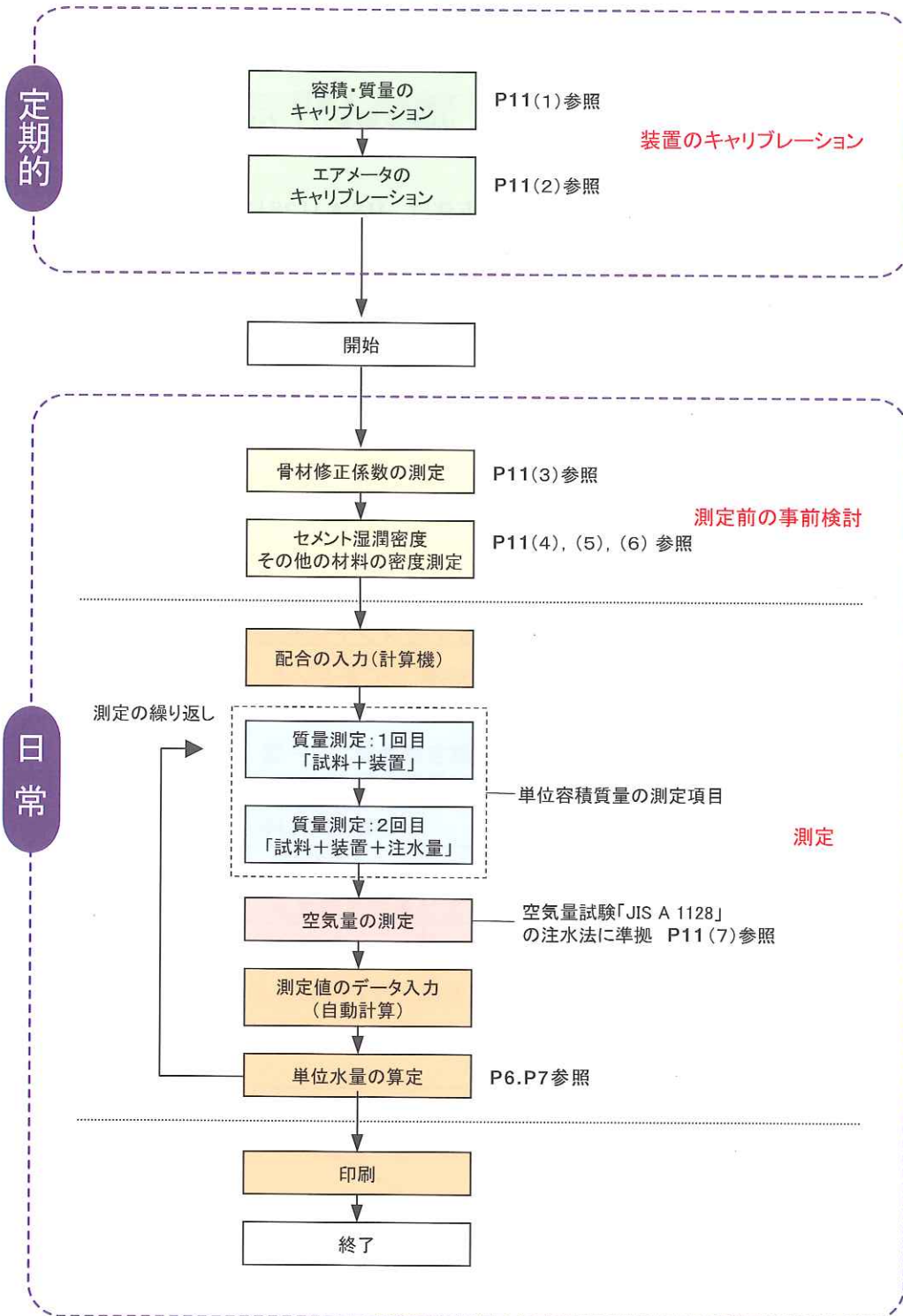


図-2 測定フロー

測定の詳細を、フローに沿って以下に示します。

(1) 測定容器の容積測定

装置の内容容積は、空の容器の質量と、内部を満水にした容器の質量から求めます。

(2) エアメータのキャリブレーション

エアメータのキャリブレーションの方法は、JISA 1128に準拠して行います。

(3) 骨材修正係数の測定

骨材修正係数は、「JISA 1128」の注水法によって測定します。

高精度エアメータでは、試料表面を平坦にならす作業がいないため、「JISA 1128」に示す試料の量を6リットルとし、骨材修正係数は、6リットルのコンクリート中に含まれる骨材量によって行います。

(4) セメントの湿潤密度の測定

セメントの密度は、「JISR 5201」においては鉱油で測定することになっていますが、コンクリートは、水で練り混ぜられたものであり、材料物性値として水で試験された値を用いる必要性があります。

ここで、水で測定されたセメント密度をセメント湿潤密度と称し、セメント湿潤密度が不明の場合は、表-1に示す実績データを参照して下さい。

表-1 セメント湿潤密度

種 類	JIS R 5210	湿潤密度
普通ポルトランドセメント	3.16	3.22
高炉セメントB種	3.04	3.10
早強ポルトランドセメント	3.14	3.22

(5) 細骨材の表乾密度の測定

「JIS A 1109」に準拠して測定します。

(6) 粗骨材の表乾密度の測定

「JIS A 1110」に準拠して測定します。

(7) 空気量の測定

空気量は、「W-Checker」を用いて測定します。通常のレディーミクストコンクリートの検査で使用するエアメータは、ワシントン型エアメータですが、正確に測定するには限界があります。算定誤差が大きくなることが懸念されます。

(8) 単位水量の算出

2. で示した式により、自動計算されます。

4. 単位水量の測定精度の検討

(1) はかりの性能が単位水量の算定結果に及ぼす影響

単位容積質量を求めるために、質量を2回測定します。1回目の質量測定では試料質量の測定誤差、2回目の質量測定では試料容積の測定誤差となります。試算結果は、図-3に示す通りです。

質量の測定精度が、はかりの最小表示能力(目量)とした場合、使用するはかりの目量が大きくなるほど単位水量の誤差は大きくなります。質量測定の誤差は、2回の誤差の合計を勘案しなければならないため、はかりの目量は2g以下が推奨されます。

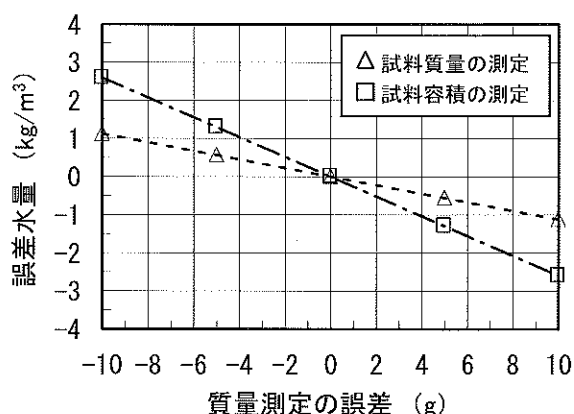


図-3 質量測定誤差が単位水量の算定結果に及ぼす影響

(2) 空気量の測定精度が単位水量算定結果に及ぼす影響

空気量の測定誤差は、単位水量の算定誤差として算定されます。水量誤差の試算結果は、図-4に示す通りです。空気量の測定誤差の影響は、質量誤差に比べて大きくなります。

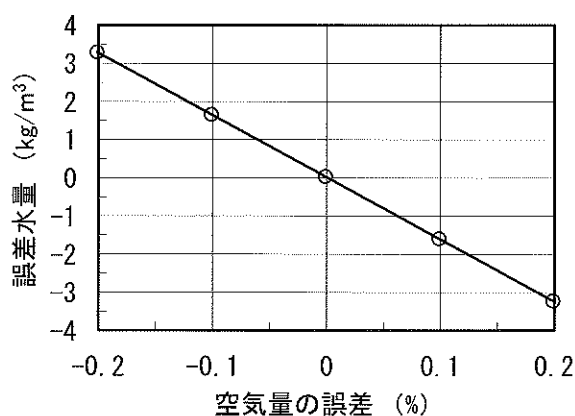


図-4 空気量測定誤差が単位水量の算定結果に及ぼす影響

(3) 「W-Checker」の性能

「W-Checker」の空気量測定精度は、空気量0.1%の測定精度を有しています。また、はかりは、感度1gのはかりを用いています。これらの装置の組み合わせによって生じる単位水量の測定誤差は、図-5に示されるように、約±2.0kg/m³以内となります。

はかりの精度と空気量の測定精度の組合せが、単位水量の算定誤差に及ぼす影響について図-6に試算しました。精度の悪いエアメータを用いる場合は、はかりの精度を高くし、エアメータの測定精度がよい場合は、はかりの精度を緩めることができます。

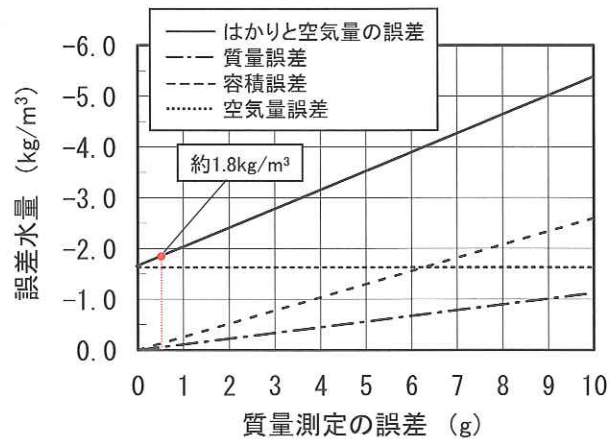


図-5 質量と空気量の測定誤差が単位水量の算定結果に及ぼす影響

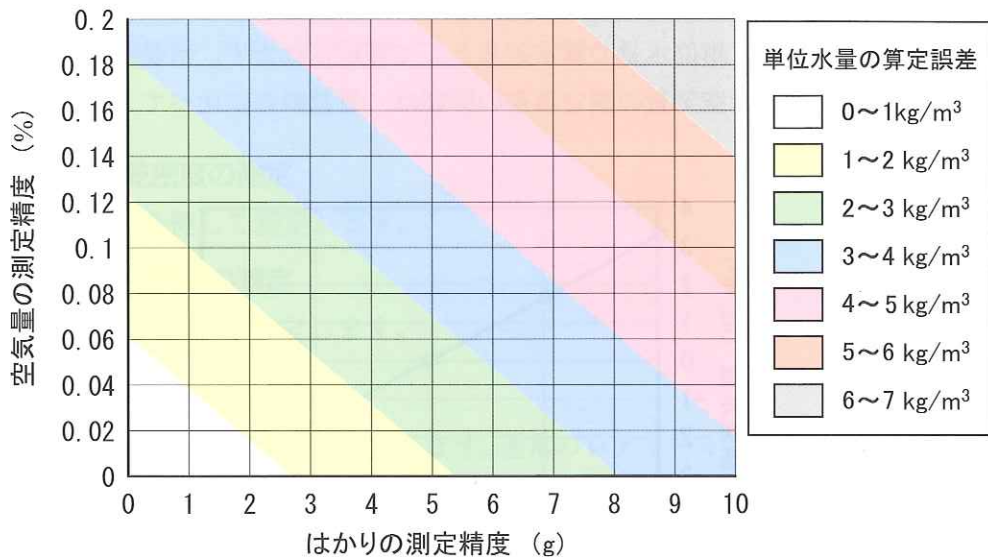


図-6 はかりと空気量の測定精度の組合せが単位水量の算定誤差に及ぼす影響

(4) 材料密度の誤差

水・セメント・細骨材・粗骨材の密度が配合計画値と異なった場合、単位水量の算定誤差として算定される影響を試算しました。図-7に示すように、細骨材および粗骨材の表乾密度は、できるだけ正確に測定する必要があります。

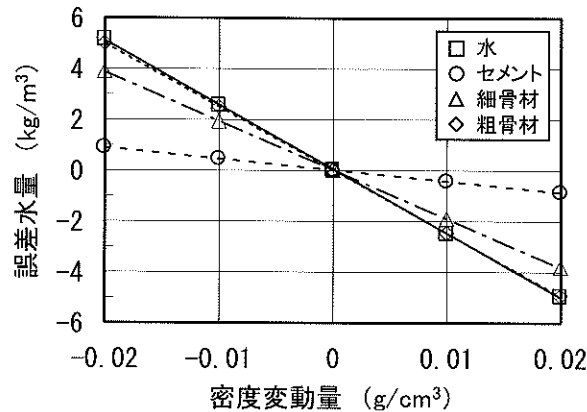


図-7 密度の変動が単位水量の算定結果に及ぼす影響

(5) 材料計量の誤差

水・セメント・細骨材・粗骨材の計量に際しては、「JIS A 5308」レディーミクストコンクリートにおいて表に示す許容誤差が認められています。この範囲が単位水量の算定誤差として算定される水量の誤差の試算を行い、図-8に示しました。できるだけ累積誤差として計算されるため、正確に計量することが望まれます。

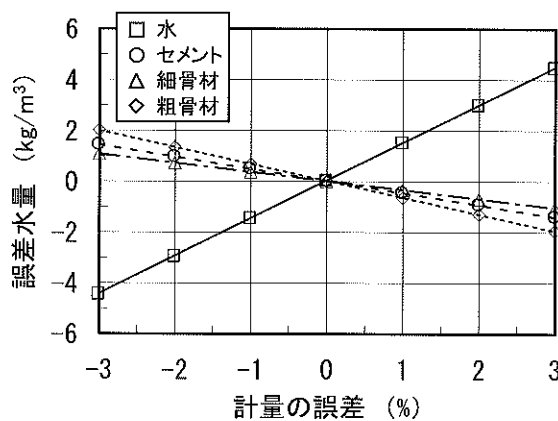


図-8 計量の誤差が単位水量の算定結果に及ぼす影響

各材料の許容誤差
JIS A 5308

材料	許容誤差 (%)
セメント	1
細骨材	3
粗骨材	3
水	1

(6) 温度の影響

寒冷期に現場で測定する場合、装置（容器）が低温でコンクリート試料の温度との差が生じる場合があります。コンクリート試料温度と容器の温度差によって生じる容器の熱膨張および収縮が単位水量の算定誤差に及ぼす影響について検討しました。

算定条件として、コンクリートの線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、容器（鉄）の線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 、容器の直径を $\phi 200\text{mm}$ 、試料の量を 6L とし、試料の温度と容器の温度差を 10°C とし、算定結果を以下に示す。

試料の量 6L に対する温度膨張収縮量は、

温度差 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ → 約 $\pm 1.8\text{cc}$

となり、温度差によって生じる膨張収縮による単位容積質量の変動率は、

温度差 -10°C → 約 0.03% $+10^{\circ}\text{C}$ → 約 -0.03%

となります。

単位容積質量が変動することによる単位水量の算定誤差は、

温度差 -10°C → 約 $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ $+10^{\circ}\text{C}$ → 約 $-0.5\text{kg}/\text{m}^3$

となります。

したがって、測定時の温度が単位水量の算定誤差に及ぼす影響は、比較的小さいといえます。容器に試料を投入したのちに、熱伝導に伴って温度が均等化することを考えれば、誤差はさらに小さくなります。

5. W-Checker による測定精度の実証

W-Checker により単位水量が理論通りに求められることを検証するために、室内において使用材料の誤差要因およびサンプリング誤差が生じない条件で、モルタルおよびコンクリートを用いて、正確な単位容積質量と空気量の測定を行い、実験から本手法の測定精度を実証しました。

実験に用いた使用材料を表-2に、検討対象にした配合を表-3に示します。モルタルの検討ケースとして、骨材の吸水や表乾水率の影響を受けないと見なしたガラスビーズを用いる場合と、骨材に粗骨材を用いた場合について検討を行いました。なお、試料の量は6リットルとしました。

表-2 使用材料

材 料	記号	種 類	物 性
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度:3.16 g/cm ³ , 比表面積:3270cm ² /g 湿潤密度:3.22g/cm ³
細骨材	S	陸砂	表乾密度:2.62kg/l, 吸水率:1.83%, F.M.:2.79
粗骨材	G	碎石	表乾密度:2.66kg/l, 吸水率:1.68%, F.M.:6.61
	Gb	φ 20 ガラスビーズ	表乾密度:2.50kg/l, 吸水率:0.02%, F.M.:6.61
混和剤	WR	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物及びポリオール複合体
練混ぜ水	W	上水道水	密度:1.00g/cm ³

表-3 モルタルおよびコンクリートの示方配合

記号	種 類	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					WR (C×%)
					W	C	S	G	Gb	
M-1	モルタル	—	40.0	—	296	741	1229	—	—	—
M-2	三材料	—	40.0	—	240	800	—	—	1267	—
M-3	三材料	—	30.0	—	240	800	—	1348	—	—
C-1	普通コン	4.5	50.0	42.0	145	290	787	1108	—	0.25
C-2	普通コン	4.5	50.0	45.0	150	300	837	1039	—	0.25
C-3	普通コン	4.5	50.0	45.0	162	324	814	1010	—	0.25
C-4	普通コン	4.5	45.0	48.0	175	389	826	909	—	—

(1) モルタルによる実証

配合 M-1 のモルタルにおける単位容積質量と空気量の関係は、図-9 に示ように、示方配合をセメント湿潤密度で補正した配合の理論変化と一致する結果となりました。

単位容積質量と空気量の測定結果から単位水量を算定すると、図-10 に示すように、示方配合の単位水量に対して $-1.8 \sim +2.0 \text{ kg/m}^3$ の範囲で算定され、ほぼ装置の性能通りの測定精度が得られることが確認できます。

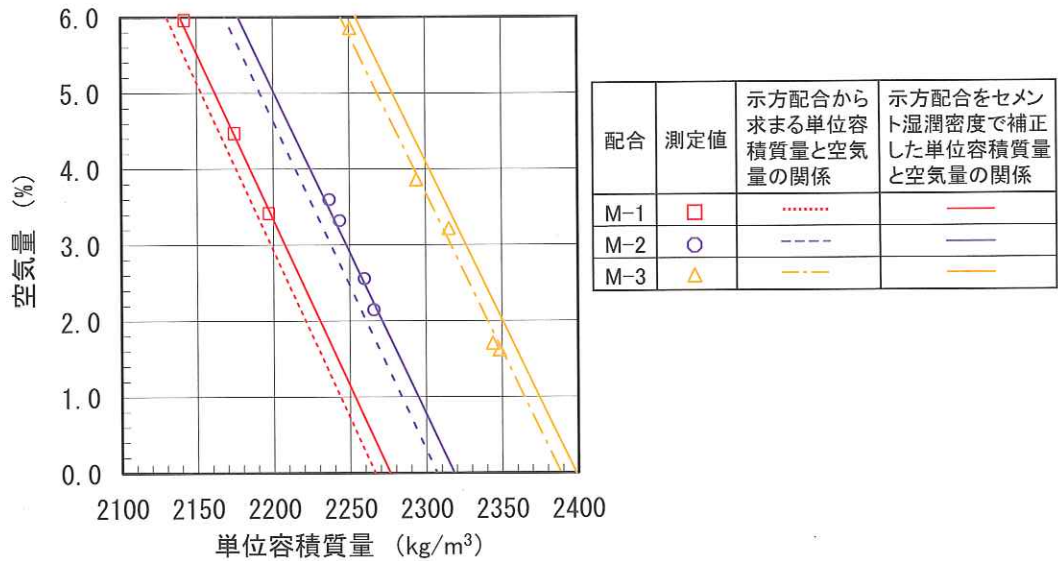


図-9 モルタルの単位容積質量と空気量の測定結果

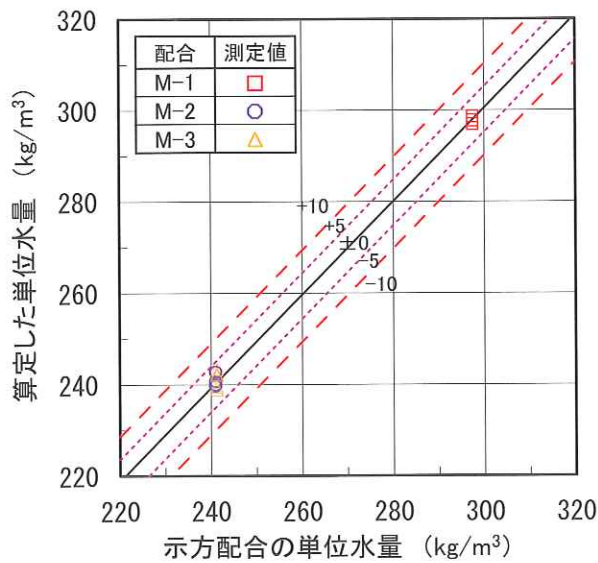


図-10 モルタルの単位水量の算定結果

(2) コンクリートによる実証

図-11は、配合C-1～C-4のコンクリートについて、単位容積質量と空気量の関係を示したものです。単位容積質量と空気量の関係は、セメント湿潤密度で補正した理論変化に一致します。単位水量が、145～175 kg/m³のコンクリートの配合において、配合の理論値とほぼ一致しています。

単位水量を算定した結果を図-12に示しますが、すべての配合において、算定される単位水量は、約±2kg/m³の範囲内で求められています。コンクリートの場合においても、測定装置の性能から求まる誤差範囲にほぼ収まっています。

「W-Checker」を用いることによって、単位水量は、約±2kg/m³の測定誤差の範囲で求められることを示しています。

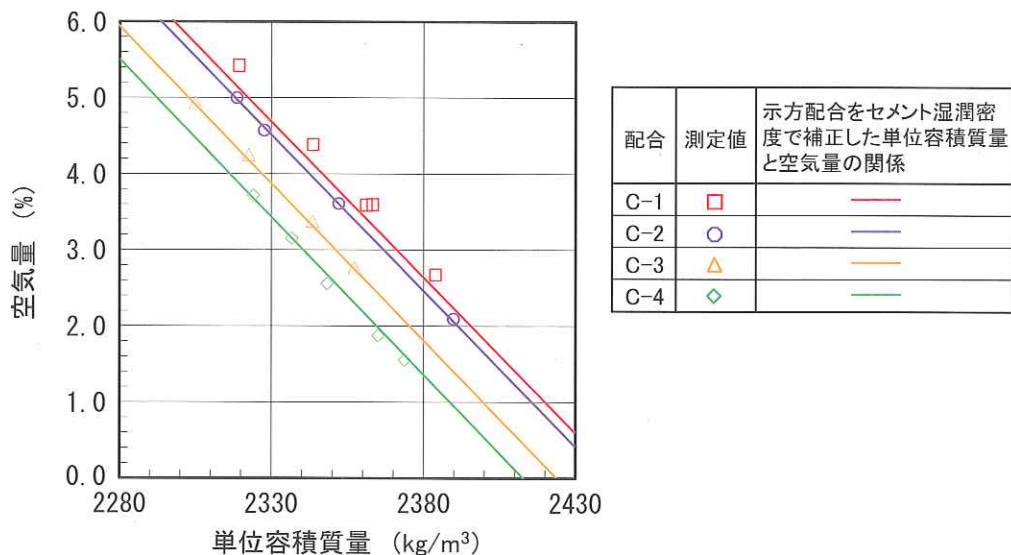


図-11 コンクリートの単位容積質量と空気量の測定結果

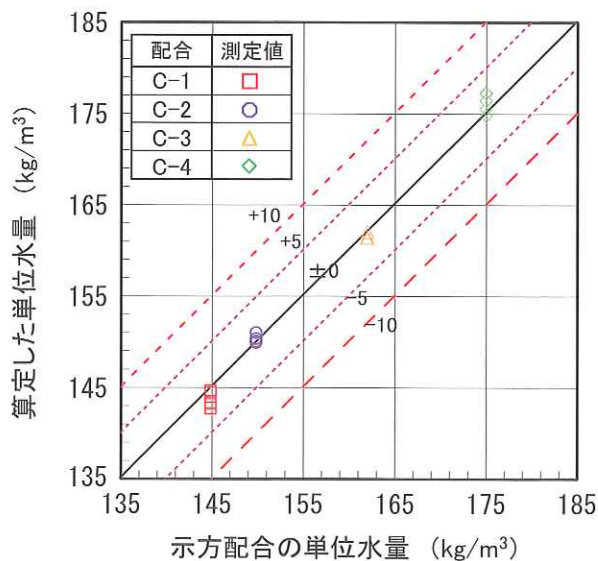
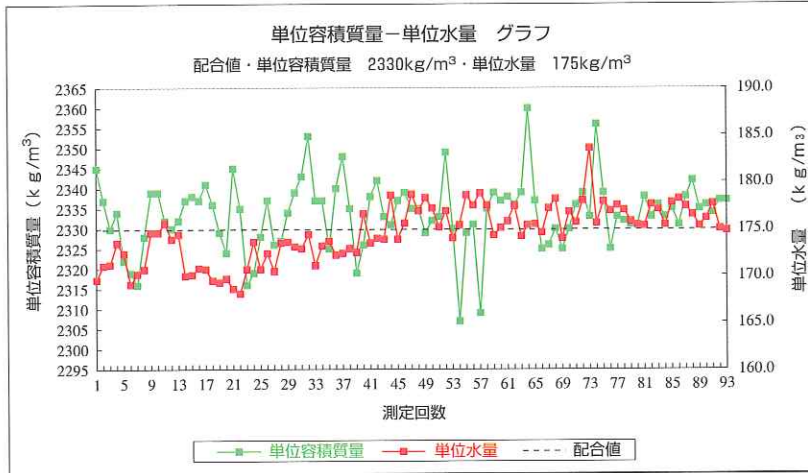


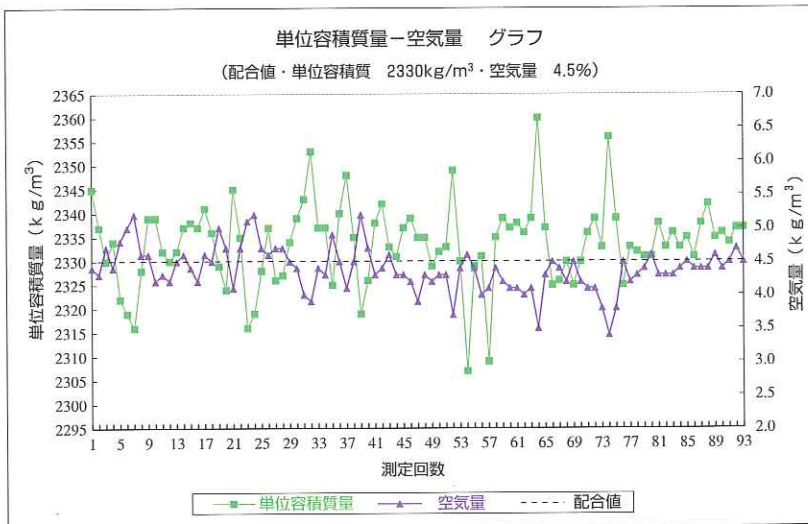
図-12 コンクリートの単位水量の算定結果

6. 単位水量の現場測定事例

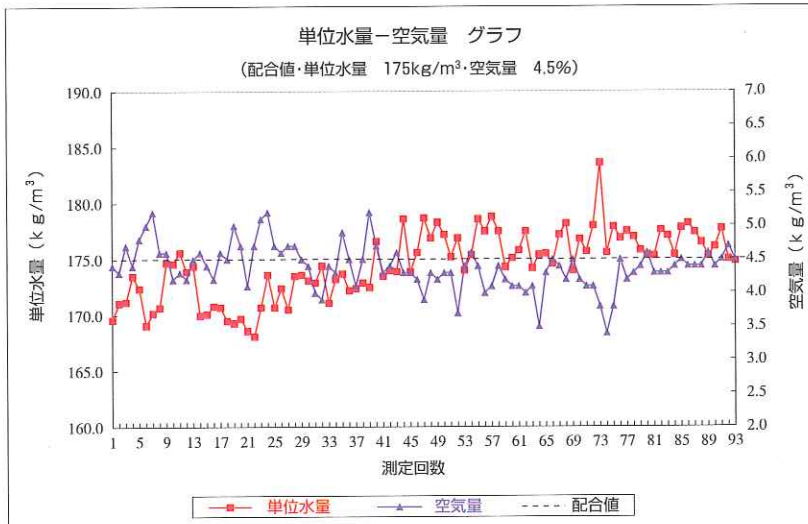
W-Checker を用いて生コンの荷卸し地点における測定結果。



	単位容積質量	単位水量
平均値	2333.66	174.50
標準偏差	8.50	2.93
最大値	2360.00	183.60
最小値	2307.00	168.10



	空気量	単位容積質量
平均値	4.39	2333.66
標準偏差	0.32	8.50
最大値	5.20	2360.00
最小値	3.40	2307.00



	空気量	単位水量
平均値	4.39	174.50
標準偏差	0.32	2.93
最大値	5.20	183.60
最小値	3.40	168.10

コンクリートの示方配合

種類	空気量 (%)			単位量 (kg/m ³)				HP-11
				W	C	S	G	
高流動コン	4.5	33.0	47.0	175	530	726	836	1.20

7. W-Checker の使用上の留意点と性能

フレッシュコンクリートの単位容積質量と空気量から単位水量を推定する方法について、以下のことについて留意することによって、精度の高い単位水量の測定が行えます。

- (1) 測定の事前検討項目として、骨材修正係数を測定する。
- (2) セメント湿潤密度およびその他の材料の密度を正確に測定する。
- (2) 測定前にエアメータのキャリブレーションをする。
- (3) 装置の性能として、はかりが 1 g、空気量 0.1% の計測が行える「W-Checker」を用いる。
- (4) コンクリートの製造管理を厳密に行い、正確に計量する。

以上の結果を満足すれば、「W-Checker」を用いることによって、単位水量を $\pm 2 \text{ kg/m}^3$ 以内の精度で求めることが可能です。

【参考】 各種の単位水量測定方法

フレッシュコンクリートの単位水量測定方法には、種々の方法があります（付表-1）。表中の測定精度および測定時間は、文献中に記されているものです。

測定方法は、各種多様ですが、試料は大別してモルタルとコンクリートの2種類に分けられます。

モルタルを用いて試験する場合は、ウェットスクリーニングされた試料を用いるもので、サンプリングや少量の試料による測定誤差などの影響が測定結果に及し、精度向上には限界があるとされています。

コンクリートで試験する方法では、試料の量が測定誤差を生じさせます。すなわち、試料の量が少ないと、粗骨材のサンプリング誤差が測定誤差要因となり、測定後に粗骨材量の補正が必要となる場合は、測定の迅速さに欠けることとなります。

構成材料比・質量差・容積差法においては、使用材料の密度が正確である必要があります、水中質量法は、セメントの密度の経時変化を考慮する必要性が指摘されています。

高周波加熱乾燥法は、ウェットスクリーニングに伴うサンプリング誤差の影響と、加熱に

付表-1 フレッシュコンクリートの単位水量測定方法

試験方法	使用器具類	試料量	測定精度	測定時間	現場適用性	
構成材料比・質量差・容積差法	絶対容積の差による方法	一定容器	ウェットスクリーニング モルタル:400g	データなし	データなし	×
	空気中質量と水中質量の差による方法	三角フラスコ	ウェットスクリーニング モルタル:200ml	3%	10分	△
		水槽, かご	コンクリート	±4~6kg/m ³	15分	○
	空気量試験による方法	高精度 エアメーター	コンクリート:約16kg	±5~10kg/m ³	約5分	◎
水抽出法	一般加熱乾燥法	ガスコンロ, 電熱器, 赤外線乾燥器	コンクリート:1L	99±2%	20~30分	△
	高周波誘電加熱乾燥法	電子レンジ	ウェットスクリーニング モルタル:300~600g	-5~-0.5%	10~20分	○
	減圧乾燥法	減圧乾燥装置	ウェットスクリーニング モルタル:400g	約4kg	20分	○
		減圧乾燥装置	コンクリート:約5L	±2kg	約40分	△
試薬濃度差法	アルコール比重計法	アルコール比重計	コンクリート:約1L	±5%程度	約20分	×
	塩分濃度差法	塩分測定器	コンクリート:約2L	±3%	20分	△
		電量滴定器	コンクリート:約2kg	1.2%	20分以内	△
		滴定器	コンクリート:7L	約4L/m ³	20~90分	×
水分計法	静電容量測定法	静電容量型水分計	ウェットスクリーニング モルタル:330ml	±2.9~3.4%	10分	○
	中性子測定法	RI水分計	コンクリート連続測定	2.7~3.2kg/m ³	120秒	△
	赤外線測定法	光ファイバー式 赤外線水分計	コンクリート:500cc	±2kg	40秒	△

よって生じるセメントの水和反応による影響が算定結果に誤差として含まれ、誤差の補正が必要となります。

一般加熱乾燥法は、試料の高温加熱が必要であり、乾燥後に粗骨材を抽出しその補正を行う必要があります、測定の安全性や簡便性が問題です。

減圧乾燥法は、ウェットスクリーニング試料を用いる場合、サンプリング誤差が問題であり、コンクリート試料を用いる場合は、測定結果が得られるまでに時間を要することが、現場測定において欠点となります。

試薬濃度差法において、アルコールを用いる方法では、測定の中にアルコール分が蒸発するなどの測定誤差が生じやすいことが難点です。塩分濃度差による方法では、塩水濃度に影響する粉体に吸着する水量の影響など考慮する必要があり、適切な補正が必要とされます。清水らによる塩分測定器による方法は、現場適用性に関しても検討がなされています。測定の手順において、個々の操作は単純ですが、工程数が多いため必ずしも簡便であるとはいえません。また、測定に約20分の時間を要しており、迅速とは言えません。

水分計法において、静電容量測定法は、電極間の静電容量を測定することにより、モルタル試料の水分率を算出し、これをコンクリートの1m³の単位水量に換算して求める方法です。測定は迅速にできますが、ウェットスクリーニングを試料とすることによるサンプリング誤差、使用材料の変動（例えば混和材・骨材）による影響など、測定精度は必ずしも高精度であるとはいえません。

RI水分計による方法も、迅速に測定することが可能ですが、骨材の影響を受けやすいなど測定精度は必ずしも高くなく、装置も比較的高価であり容易に適用できません。

赤外線水分計を用いる方法は、水分計の出力電圧とコンクリートの水分量の校正線を事前に求めておく必要があります、このキャリブレーションを行った場合に限り短時間で精度良く求められるとされています。

一方、単位容積質量と空気量から単位水量を求める方法（エアメータ法）は、他の測定方法に比べて試料量が5～7リットルと多いため、試料のサンプリング誤差が無視できる容量で試験が行えるとともに、試験方法が従来の空気量試験と同様に行うことができるため、測定の簡便性や迅速性などから現場適用性が高い方法です。なお、この方法は測定精度にやや問題があるとされ、検査より管理に向いているとの報告もありますが、条件設定を正確にすることにより、精度高く測定できます。

【参考文献】

- 1) コンクリート工業新聞：第1598号
- 2) 日経コンストラクション：「見えない品質」を顕在化 pp.64-66 2000.11
- 3) 十河茂幸，中村博之，近松竜一，平田隆祥：ウェットスクリーニングの方法がモルタルの品質に及ぼす影響 セメント・コンクリート論文集 No.53 pp.285-290 1999
- 4) 近松竜一，花田貴史，十河茂幸：フレッシュコンクリートにおける単位水量の迅速測定方法とその適用例、日本コンクリート工学協会「フレッシュコンクリートの単位水量迅速測定及び管理システムに関するシンポジウム論文集」 pp.91-98 2002.12
- 5) 吉兼 亨：フレッシュコンクリート中の単位水量値測定の実状と課題 コンクリート工学 Vol.27 No.10 pp.5-14 1989
- 6) 笠井芳夫，池田尚治：コンクリート試験方法（上） 技術書院 1993
- 7) 日本建築学会編：コンクリートの早期迅速試験方法集 1985
- 8) 丸嶋紀夫，黒羽健嗣，並木哲，久保田浩：水中質量法によるフレッシュコンクリートの単位水量試験方法 コンクリート工学年次論文報告集 Vol.20-2 pp.313-318 1998
- 9) 中村博之，十河茂幸：フレッシュコンクリートの空気量と単位容積質量の測定結果による配合推定方法の適用 コンクリート工学年次論文報告集 Vol.23-2 pp.325-330 2001
- 10) 若松 岳，相原 功，近松竜一，平田隆祥：フレッシュコンクリートにおける水セメント比の簡易推定方法に関する基礎的研究 コンクリート工学年次論文報告集 Vol.19-1 pp.391-396 1997
- 11) 河野広隆，片平 博：フレッシュコンクリートの単位水量迅速測定法に関する実験的研究，土木研究所資料 第3657号 1999
- 12) 河野広隆，加藤俊二，田中和秀，片平 博：高温加熱によるフレッシュコンクリートの単位水量迅速推定方法の検討 土木研究所資料 第3611号 1999
- 13) 友沢史紀，柘田佳寛，棚野博之：高周波加熱装置を用いたフレッシュコンクリートの単位水量迅速試験方法の開発 日本建築学会構造系論文報告集 pp.1-7 1989
- 14) 菅井敏彦，田岡浩太郎，長田英和：生コンクリートの単位水量・水セメント比・推定強度測定器の開発について 第22回日本道路会議論文集 pp.830-831
- 15) 中村博之，平田隆祥，十河茂幸：減圧乾燥によるフレッシュコンクリートの単位水量検査方法に関する研究 セメントコンクリート論文集 No.54 pp.596-601 2000
- 16) 清水昭之，梅津裕二：フレッシュコンクリート中の水量推定のための簡易試験方法に関する研究（その3）日本建築学会学術講演概要集 pp.107-108 1987
- 17) 清水昭之，梅津裕二：フレッシュコンクリート中の水量推定のための簡易試験方法に関する研究（その4）日本建築学会学術講演概要集 pp.313-314 1988
- 18) 丸嶋紀夫，黒羽，久保田浩：フレッシュコンクリートの単位水量試験方法の研究（その2）日本建築学会学術講演概要集 pp.281-282 1989
- 19) 南條毅一，宮下有生，辻村博美：単位水量試験方法（塩化物イオン法）の提案 第10回生コン技術大会集 pp.251-256 1999
- 20) 斎 充，伊木純一，沓掛文夫：静電容量型水分計によるフレッシュコンクリートの単位水量推定 コンクリート年次論文報告集 Vol.20-2 pp.307-312 1998
- 21) 瀬古繁喜，田村博，鈴木一雄，熊原義文：RI水分計を用いたポンプ配管中のコンクリートの水量連続モニタリング コンクリート年次論文報告集 Vol.20-1 pp.125-130 1998
- 22) 若松岳，近松竜一，平田隆祥，十河茂幸：現場におけるフレッシュコンクリートの単位水量管理方法に関する提案 コンクリート年次論文報告集 Vol.20-1 pp.107-112 1998
- 23) 片平 博：フレッシュコンクリートの単位水量 コンクリート工学 Vol.39-5 pp.64-67 2001

● 編集発行人 ●

株式会社 **マルイ**

〒574-0064

大阪府大東市御領1-9-17

TEL 072-869-3201(代表)

FAX 072-869-3205

東京営業所 03-5819-8844

名古屋営業所 052-809-4010

九州営業所 092-501-1200

<http://www.marui-group.co.jp>

