

エアメータを利用したフレッシュコンクリートの単位水量推定方法

中 村 博 之 十 河 茂 幸

Method of Estimating Water Content per Unit Volume of Fresh Concrete using Air Meter

Hiroyuki Nakamura Shigeyuki Sogo

Abstract

To estimate the water content of concrete with an air meter, it is first necessary to accurately determine the air content and weight per unit volume of the concrete. It is also necessary to use the cement density measured with water rather than mineral oil to estimate the water content of the concrete. Thus, the air content was accurately measured by the measurement device based on the volumetric method, and the factor of measurement error of cement density was confirmed by using water. This report shows that the water content and water-cement ratio can be precisely and rapidly measured using an air meter, by applying the method of estimating water content in an indoor experiment and at a construction site.

概 要

エアメータを利用して単位水量を推定する方法は、エアメータによって求められる空気量と単位容積質量の測定値が配合の計画値と異なる場合、その変動要因を細骨材表面水率の見込み違いによるものと見なし、その誤差水量から単位水量を求める方法である。そのため、推定精度を向上させるには、正確な空気量と単位容積質量が必要であり、また、単位水量推定計算を行う際のセメントの密度には、鉱油の代わりに水を使用して測定した値を用いることが必要とされている。そこで、正確に空気量を求める方法は容積法に基づく測定装置によって空気量の測定を行い、水によってセメント密度を求める際の誤差要因について確認した。この報告は、エアメータを利用して単位水量を推定する方法を室内実験および工事現場で適用した結果、単位水量および水セメント比を迅速かつ簡易に精度良く推定できることを示すものである。

1. はじめに

コンクリートは打込まれてしまうと、所要の性能を満足していないからといって容易に取り壊して作り直すことはできない。そのため、打ち込む前のフレッシュコンクリートの段階でその性能を確認することが必要である。フレッシュコンクリートの検査方法には各種の提案がなされているものの、信頼性や測定の迅速さなど、工事現場での適用性については若干問題がある。

これまでフレッシュコンクリートの単位水量推定方法として、空気量と単位容積質量から単位水量や水セメント比を推定する方法¹⁾²⁾や、減圧乾燥方法により迅速に単位水量を測定する方法³⁾などについて検討を行ってきたが、中でも、エアメータの空気量と単位容積質量から単位水量を推定する方法は、最も迅速に測定が行える方法であり、工事現場での適用性が高い方法であるといえる。

しかし、この方法は、正確な空気量と単位容積質量の測定が必要であり、また、空気量と単位容積質量から単位水量推定計算を行う際には、セメントの吸水状態における密度（湿潤密度と称す）を用いることが必要である⁴⁾。

本報告では、正確な空気量の測定に関しては、容積法に

基づいて正確に空気量が測定できる装置により空気量の測定を行うと同時に、ワシントン型エアメータの注水法による空気量の測定も行うものとした。また、セメントの湿潤密度については、水を使用して測定した密度の誤差要因について検討を行い、鉱油で測定した乾燥密度と水で測定した湿潤密度による配合の推定精度を室内実験で検証し、本手法を現場で適用した結果について報告するものである。

2. エアメータを利用した単位水量推定方法

2.1 エアメータを利用した単位水量推定方法の概要

空気量と単位容積質量から単位水量を推定するために、算定上の仮定条件を以下のように設定した。

- (1)コンクリート製造時に計量したセメントの計量値は正確である。
- (2)空気量試験で採取した試料は、製造したコンクリートと同一配合と見なす。
- (3)製造されたコンクリートの変動要因は、細骨材の表面水率の見込み違いとする。
- (4)粗骨材の表面水率は正確である。

これらの前提によれば、コンクリート中の空気量はAE剤の量により変化し、製造量がこれにより変化する。つまり、計画量の増減が生じる。空気量の増減は、単位容積質量の計画量に増減をもたらすが、計画通りにならないことが多い。そこで、単位容積質量が計画と異なる要因として、配合が所定のものでないか、あるいは、サンプリングが代表値となっていないためと考えられるが、ここでは、細骨材表面水率の見込み違いを変動要因として取り扱うこととした。

空気量と単位容積質量の関係を Fig. 1 に示す。

エアメータによる単位水量の推定方法では、測定値 m_1 が理論値 m_0 と等しい時、測定したコンクリートは、示方配合通り製造されたことになる。 m_1 と m_0 が異なる場合は、細骨材の質量の計量値には骨材以外に水量が含まれたと仮定し、この水量からコンクリート中に含まれるの単位水量を算定するものである。

2.2 単位水量の算定式

計量時は、表面水率の見込み違いによる水量は、細骨材の質量の一部として計量しているため、計量値の合計は見かけ上変化しない。しかし、細骨材量の減少(増加)による細骨材容積の変動量と、水の質量に相当する容積の変動量は異なるので、単位容積質量が示方配合と異なる。表面水率の見込み違いがあった場合、コンクリートの容積は以下の様に示される。

$$\left(\frac{W_0}{\rho_w} + \frac{WS}{\rho_w} \right) + \frac{C_0}{\rho_c} + \left(\frac{S_0}{\rho_s} - \frac{WS}{\rho_s} \right) + \frac{G_0}{\rho_g} = V_1 (1 - A_1 / 100) \quad (1)$$

ここで、

- W_0 : 示方配合の水量 (kg)
- C_0 : 示方配合のセメント量 (kg)
- S_0 : 示方配合の細骨材量 (kg)
- G_0 : 示方配合の粗骨材量 (kg)
- ρ_w : 水密度 (g/cm³)
- ρ_c : セメント密度 (g/cm³)
- ρ_s : 細骨材密度 (g/cm³)
- ρ_g : 粗骨材密度 (g/cm³)
- V_1 : 表面水率の見込み違いによるコンクリートの容積 (m³)
- A_1 : エアメータの空気量測定値 (%)
- WS : 表面水率の見込み違いによる表面水量 (kg)

(1) 式を WS について解くと、

$$WS = \left\{ \left(\frac{C_0}{\rho_c} + \frac{G_0}{\rho_g} \right) \cdot V_0 \cdot (1 - A_1 / 100) - V_0 (1 - A_0 / 100) \right\} / \left(\frac{1}{\rho_w} - \frac{1}{\rho_s} \right) \quad (2)$$

ここで、

- V_0 : 示方配合のコンクリート容積 (m³) = 1 m³
- A_0 : 示方配合の空気量 (%)
- m_0 : 示方配合の単位容積質量 (kg/m³)
- m_1 : エアメータによる単位容積質量の測定値 (kg/m³)

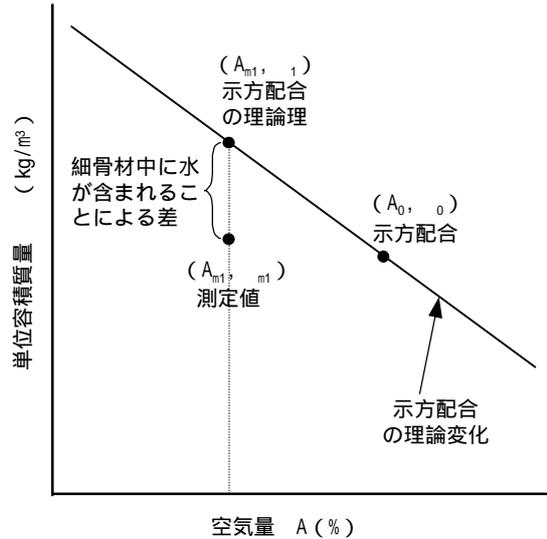


Fig. 1 空気量と単位容積質量
Relationship between Air Content and Weight per Unit Volume of Concrete

空気量試験で求めた A_1 , m_1 を (2) 式に代入することによって表面水率の見込み違いによる誤差水量が求まる。表面水率の見込み違いによるコンクリート中の水量は以下のような。

$$W_1 = W_0 + WS \quad (3)$$

ここで、

- W_1 : 表面水率の見込み違いによるコンクリートに含まれる水量 (kg)

以上によって求めた水量を単位容積質量当たりの水量として表す場合には、表面水率の見込み違い誤差を含んだコンクリートの容積 (V_1) 当たりに換算する。

3. 空気量測定装置

3.1 容積法による空気量測定装置

空気量の測定方法を容積法で行う場合の空気量測定装置を Fig. 2 に示す。以下、本装置を便宜上 ROLL-A と称することとする。

空気量の測定は、「JIS A 1118」フレッシュコンクリートの空気量容積による試験方法と同様に、容器に試料を入れ、ふたを取り付け、容器内を水で満たし、装置をころがして試料中の空気を追い出し、水面が低下した量を空気量として求める。

本装置を用いる際の測定上の特徴としては、攪拌する水は消泡剤希釈溶液を用い、円筒形の容器を容器上部に取りつけることにより、試料中の空気量を水面の低下で読みとれるようにしたことである。これにより、容器をころがした後の泡の発生が低減され、水面の判読が容易に

Table 2 セメント密度の経時変化
Change of Cement Density

試薬の種類	密度	30分	60分	90分	120分	150分	180分
鉱油	g/cm ³	-	3.16	-	3.16	-	3.16
上水道水	g/cm ³	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23

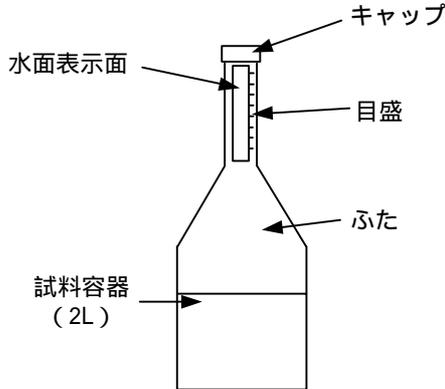


Fig. 2 空気量測定装置 ROLL-A
ROLL-A Air Meter

なるとともに、空気量は水面の低下を直接読みとることによって正確な測定が可能となる。なお、ROLL-Aの容器容積は2リットルである。

4. セメントの密度試験に及ぼす溶液種類の影響

4.1 実験方法

「JIS R 5201」セメント物理試験のセメントの密度試験において、鉱油に代えて水を使用して測定することが測定結果に及ぼす影響に関して、水槽に静置する時間および水槽の温度について検討した。検討項目をTable 1に示す。また、鉱油と水の温度変化による体積変化の測定も行うこととした。

実験方法および器具については、「JIS R 5201」セメント物理試験に準拠し、セメントは普通ポルトランドセメント、鉱油は灯油、水は上水道水を用いた。密度試験は2回行い、平均値を小数点以下2けたに丸めた。

4.2 実験結果

セメント密度の経時変化をTable 2に、水槽温度を変化させて測定した結果をTable 3に示す。

実験結果より、セメントの密度は、上水道水を使用して測定した場合、鉱油に比べて約0.07大きくなることが明らかとなった。水槽に静置した後の密度の増加は、鉱油および上水道水のどちらの場合においてもほとんど認められなかった。

水槽温度を変化させた場合のセメントの密度は、鉱油で試験を行う場合、温度が高くなるにつれて若干大きくなる傾向が見受けられた。上水道水の場合、水温15～20の範囲内では顕著な差は認められなかった。

Fig. 3に鉱油と水の温度による体積変化を示す。鉱油は水に比べて温度変化に対して膨張または収縮量が大き

Table 1 検討項目
Parameter of Experiment

項目	種類	水準					
		30分		60分		180分	
静置時間	鉱油	-	60分	-	120分	-	180分
	上水道水	30分	60分	90分	120分	150分	180分
水槽温度	鉱油	15		18		20	
	上水道水						

Table 3 水槽温度の変化に対するセメント密度の変化
Change of Cement Density for Water Temperature

試薬の種類	水温 ()	密度 (g/cm ³)
		平均値 (60分後)
鉱油	15.2	3.13
	18.6	3.13
	20.5	3.14
上水道水	15.5	3.22
	18.4	3.22
	20.1	3.22

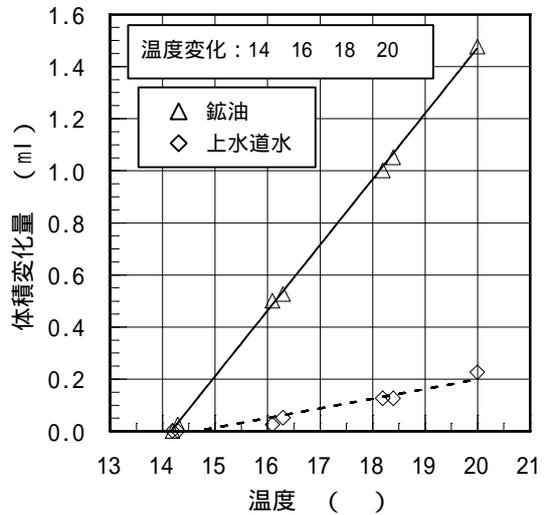


Fig. 3 温度変化による液体の体積変化
Change of Liquid Volume

くなっている。JISの試験方法では、測定で許容される温度変化は0.2以内と規定されており、温度管理を徹底して測定を行う必要があるが、水の場合は、温度変化に対して鈍感であるため、鉱油に比べて測定による誤差が生じにくいといえる。

以上の実験結果より、セメントの密度試験に水を使用して測定する場合、測定中に水和反応などによる影響などは認められず、JISの方法と同様に試験できることがわかった。

Table 5 モルタルおよびコンクリートの示方配合
Mix Proportion of Mortar and Concrete

種類	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位数 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	Ad
モルタル	50	-	-	345	690	1131	-	-
コンクリート A	45	40	4.5	168	373	693	1068	0.933
コンクリート B	45	40	4.5	175	389	681	1049	0.972

Table 4 使用材料
Properties of Materials

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	JIS A 5210 規格品 密度：3.16g/cm ³
細骨材	S	木更津産陸砂	表乾密度：2.59kg/L 吸水率：2.10%
粗骨材	G	青梅産碎石	表乾密度：2.66kg/L 吸水率：0.68%
混和剤	Ad	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

5. 室内試験による単位水量推定

5.1 実験概要

空気量測定装置ROLL-Aによって求められる空気量と単位容積質量が、正確に求められているかどうか確認するために、モルタルによる空気量と単位容積質量の測定を行った。コンクリートによる配合推定は、ROLL-Aおよびワシントン型エアメータによって求められた空気量と単位容積質量から推定計算を行うものとした。ワシントン型エアメータの空気量の測定は注水法で行い、コンクリートの単位容積質量は試料質量と注水量から試料容積を算定して求めるものとした。また、コンクリートの単位水量の算定には、セメントの密度に湿潤密度を用いて算定を行うこととした。

5.2 使用材料および配合

実験に使用した使用材料をTable 4に、配合をTable 5示す。コンクリートは水セメント比が45%で単位水量を168kg/m³と175kg/m³の場合の2ケースについて検討を行うものとした。

5.3 実験結果および考察

5.3.1 モルタルの空気量と単位容積質量 モルタルの空気量と単位容積質量の測定結果をFig. 4に示す。図中には、セメントの湿潤密度による示方配合の理論値と、乾燥密度で求めた示方配合の理論値の2種類を示している。

Fig. 4より、測定結果は、単位容積質量の変化に対して空気量が直線的に変化しており、セメントの湿潤密度によって求められた示方配合の理論値とよく一致している。この結果より、測定結果は、通常使用されている鉱油を用いたセメントの密度では配合計画通りの単位容積質量とならず、試料が示方配合通りであるかどうかを確認するためには、セメントの密度は水を使用して測定された値を用いて配合推定する必要があることがわかった。

5.3.2 コンクリートの空気量と単位容積質量 コンクリートの空気量と単位容積質量の測定結果をFig. 5 Fig. 6に示す。

空気量と単位容積質量の測定値は、モルタルの場合と同様に、セメントの湿潤密度による示方配合の理論値を中心に測定値が分布しているといえる。コンクリートの場合は、モルタルに比べて材料の変動因子が多くなるため、必ずしも理論値に一致する結果とはならないが、おおむね示方配合通りであるといえる。また、ROLL-Aによって測定される空気量が正確であると見なした場合、

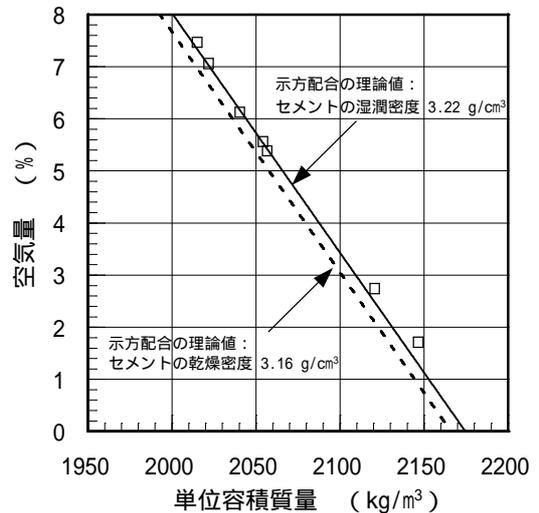


Fig. 4 モルタルの空気量と単位容積質量
Relationship between Air Content and Weight per Unit Volume of Mortar

ワシントン型エアメータの空気量は、ROLL-Aに比べて若干大きくなる傾向が見受けられるが、空気量と単位容積質量の関係は、理論値通りの変化傾向にあるのでワシントン型エアメータの注水法も比較的正確に測定できているものと判断される。

5.3.3 コンクリートの単位水量および水セメント比の推定 単位水量の算定は、示方配合に対してどの程度変動しているのかを示すために、示方配合の空気量4.5%に換算して求めた。単位水量と水セメント比の推定結果をFig. 7, Fig. 8に示す。

各配合の単位水量の算定結果より、単位水量は±5kg/m³以内、水セメント比は±2%以内でコンクリートが製造されたという結果が得られた。空気量測定装置の測定精度から求まる単位水量の推定精度は、エアメータの測定精度0.1%、単位容積質量を計測するはかりの目量が0.1gの

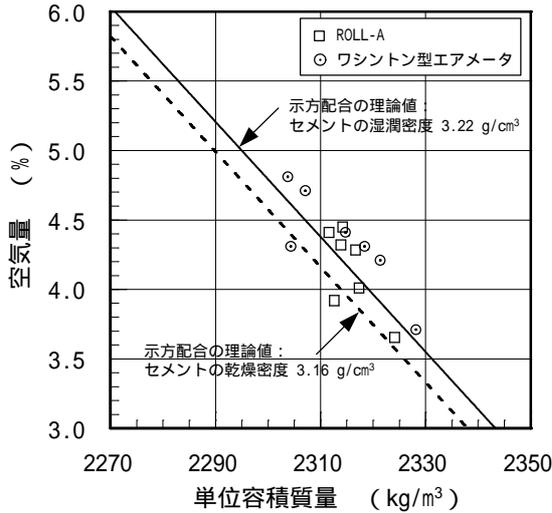


Fig. 5 コンクリートAの空気量と単位容積質量
Relationship between Air Content and
Weight per Unit Volume of Concrete A

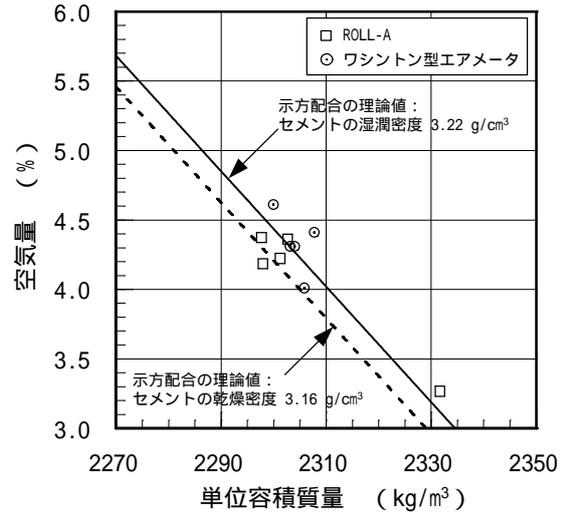


Fig. 6 コンクリートBの空気量と単位容積質量
Relationship between Air Content and
Weight per Unit Volume of Concrete B

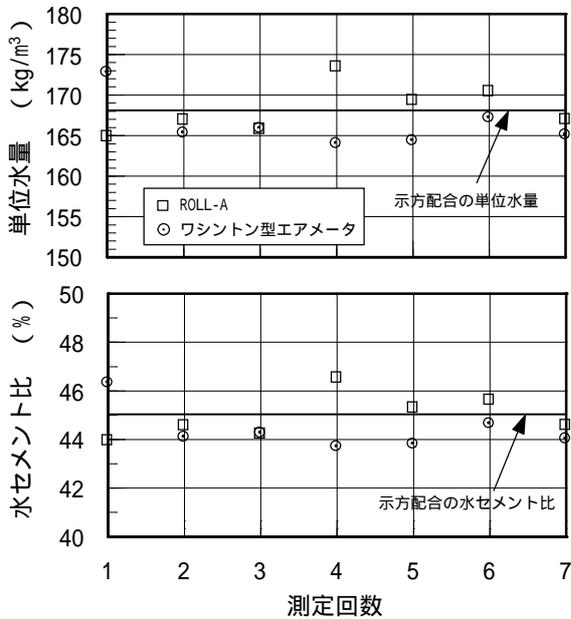


Fig. 7 コンクリートAの単位水量および
水セメント比の推定結果
Water Content and Water-cement ratio of Concrete A

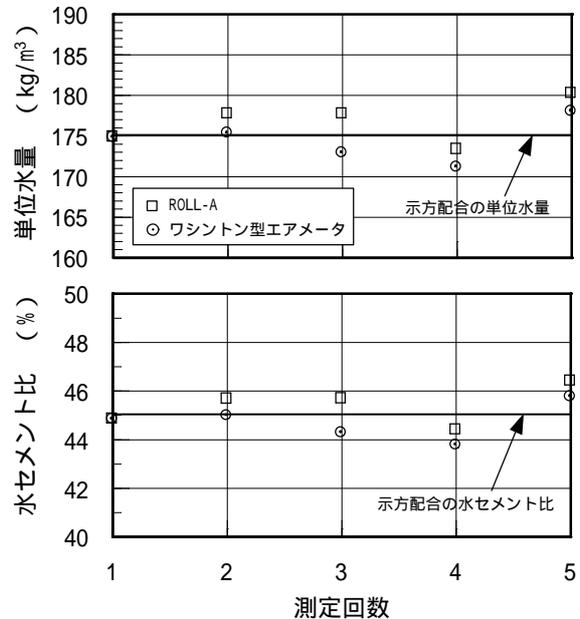


Fig. 8 コンクリートBの単位水量および
水セメント比の推定結果
Water Content and Water-cement ratio of Concrete B

ものを使用した場合、約±2kg/m³程度である。これは、推定された単位水量には、±2kg/m³程度の誤差が生じることを意味するものであり、仮に単位水量が185 kg/m³と求められた場合には、183～187kg/m³の測定精度である。このため、単位水量の上限値を定める場合には、測定装置の精度や測定誤差などを考慮して単位水量の管理値を適切に定める必要があるといえる。

6. 現場打設コンクリートの単位水量推定

6.1 測定概要

現場で打設されたコンクリートを室内実験と同様に、ROLL-Aとワシントン型エアメータを用いて測定した空気

量と単位容積質量の測定結果から単位水量の推定計算を行った。コンクリートの配合は、水セメント比48.5%、細骨材率42.3%、セメントに高炉セメントB種を用いた。なお、単位水量推定に用いたセメントの密度は、現場で使用したセメントを採取して水による密度測定を行った値を用いた。

6.2 配合推定結果

空気量と単位容積質量の測定結果をFig. 9に示す。単位水量の算定結果をFig. 10に示す。

ワシントン型エアメータの空気量は、室内試験の場合と同様にROLL-Aより若干大きく測定される傾向となった。単位水量の変動は、打設初期では示方配合の設定値を

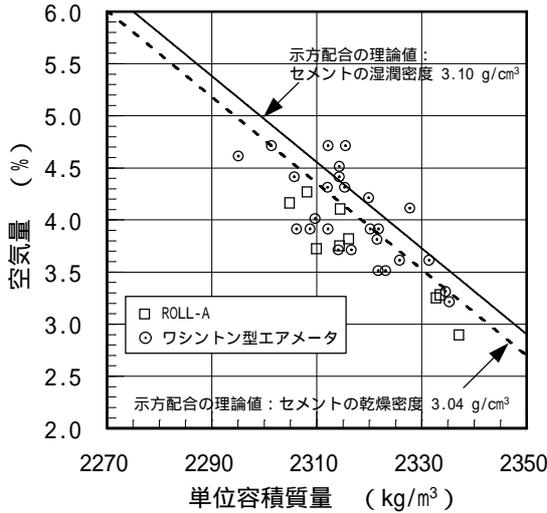


Fig. 9 コンクリートの空気量と単位容積質量
Relationship between Air Content and
Weight per Unit Volume of Concrete

下回っており、その後、設定値を最大で 10 kg/m³ 以上超える場合が見受けられ、打設後半では徐々に単位水量が設定値に戻っていく結果となった。

コンクリートの圧縮強度試験の結果を Fig. 11 に示す。Fig. 11 には推定した水セメント比の推移を同時に示している。圧縮強度は、平均で 36.0N/mm²、標準偏差は 1.34 N/mm² であった。水セメント比が最大で 3.5% 増加した測定回数 5 ~ 15 回の範囲内では、圧縮強度が平均値より若干減少していき見受けられる。また、測定回数が 15 回以降では、水セメント比は安定してきており、圧縮強度も平均値以上に推移しているように思われる。

空気量と単位容積質量から単位水量推定を行う方法は、ワシントン型エアメータを用いれば、従来の品質検査の延長で配合検査を行うことができ、迅速に測定が行えるとともに、結果がすぐに得られるため、現場での適用性が高い方法であると考えられる。

7. まとめ

空気量と単位容積質量から単位水量を推定する方法について室内実験および工事現場で適用した結果、以下の知見が得られた。

- 1) セメントの密度試験を鉱油に代えて水を使用して測定する場合、測定中に水和反応などによる影響などは認められず、JIS の方法と同様に試験できることが明らかとなった。
- 2) 空気量と単位容積質量から単位水量を推定する方法では、セメント密度に水を使用して測定した湿潤密度によって算定する必要がある。
- 3) 空気量と単位容積質量から単位水量を推定する方法は、測定精度は比較的高く、迅速に測定を行うことができるため、工事現場における配合検査手法として適用性が高い方法の一つであるといえる。

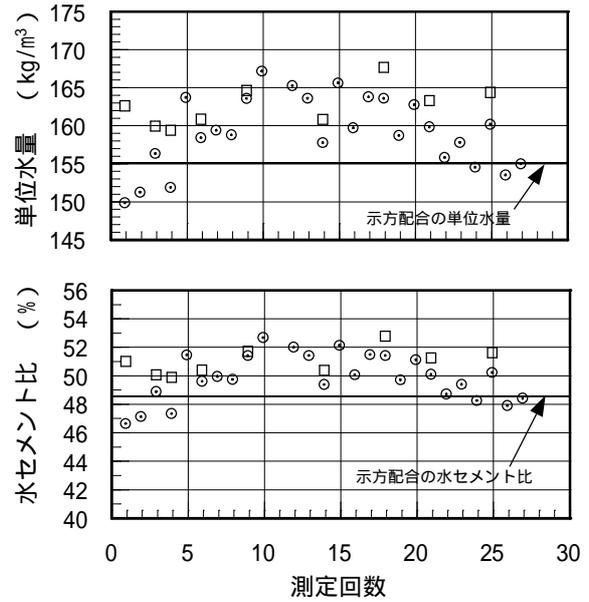


Fig. 10 コンクリートの単位水量および
水セメント比の推定結果
Water Content and Water-cement ratio
of Concrete

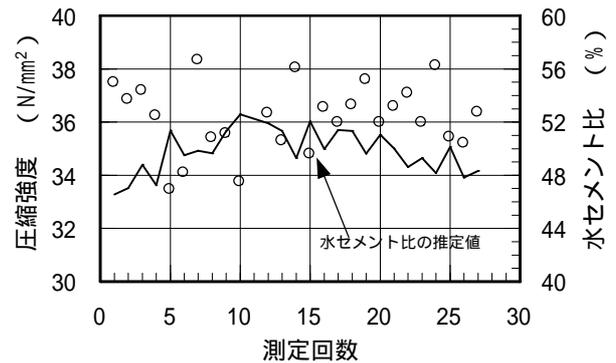


Fig. 11 材齢28日のコンクリートの圧縮強度
Compressive Strength of Concrete

参考文献

- 1) 中村博之, 平田隆祥, 十河茂幸: フレッシュコンクリートの配合予測に関する一考察, 土木学会第55回年次学術講演会, pp.178-179, (2000)
- 2) 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, No.1, pp.391-396, (1997)
- 3) 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, (2000)
- 4) 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, (1999.7)