

報告 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

中村 博之^{*1}・十河 茂幸^{*2}

要旨: エアメータによる配合推定を行う場合には、正確な空気量と単位容積質量が必要であり、また、配合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である。そこで、ワシントン型エアメータと容積法に基づいて正確に空気量が測定できる装置を用い、水を使用して求めたセメントの密度によって配合推定ができることを確認した。この報告は、エアメータを用いて配合推定を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。

キーワード: 配合推定, 空気量, 単位容積質量, セメント密度

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。

筆者らは、これまでフレッシュコンクリートの配合推定方法として、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を提案している³⁾。中でも、エアメータの空気量と単位容積質量から配合を推定する方法は、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が必要であり、また、配合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って空気量の測定を行うものとした。また、セメントの密度については、水を使用して密度を求める際の誤差要因について検討を行い、鉱油と水で求めたセメントの密度で推定され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. 配合推定方法

2.1 空気量と単位容積質量による配合推定方法

空気量と単位容積質量から配合推定を行うための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される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等と見なす。
- (3) 製造されたコンクリートの変動要因は、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

*1 大林組技術研究所 土木材料研究室 研究員 工修 (正会員)

*2 大林組技術研究所 土木材料研究室 室長 博士 (正会員)

気量はAB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、計算通りにならないことが多い。単位容積質量が計算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、エアメータを用いてコンクリートの試験を行うため、サンプリングの影響を受けないと見なされるだけの十分な試料の量で試験を行うことができることからサンプリング誤差の影響は考慮しないこととし、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。細骨材の表面水率の見込み違いによる誤差水量は、以下ようになる。

$$\Delta WS = \{ (\gamma_0 / \gamma_1) \cdot V_0 \cdot (1 - A_1 / 100) - V_0 (1 - A_0 / 100) \} / (1 / \rho_w - 1 / \rho_s) \quad (1)$$

ここで、

ΔWS ：細骨材の表面水率の見込み違いによる誤差水量 (kg)

γ_0 ：示方配合の単位容積質量 (kg/m³)

V_0 ：示方配合のコンクリート容積 (m³)

A_0 ：示方配合の空気量 (%)

γ_1 ：表面水率の見込み違い誤差を含んだコンクリートの単位容積質量 (kg/m³)

V_1 ：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 (m³)

A_1 ：表面水率の見込み違い誤差を含んだコンクリートの空気量 (%)

表面水率の見込み違い誤差を含んだコンクリート中の水量と細骨材量は以下ようになる。

$$W' = W + \Delta WS \quad (2)$$

$$S' = S - \Delta WS \quad (3)$$

ここで、

W' ：表面水率の見込み違い誤差を含んだコンクリート中に含まれる水量 (kg)

W ：示方配合の単位水量 (kg)

S' ：表面水率の見込み違い誤差を含んだコンクリートの細骨材量 (kg)

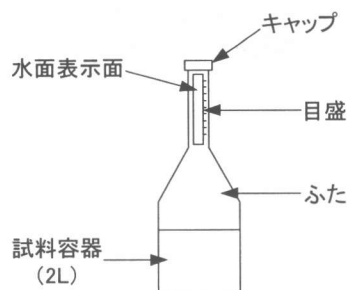


図-2.1 空気量測定装置 ROLL-A

S ：示方配合の細骨材量 (kg)

以上より求めた水量および細骨材量とセメント量、粗骨材量を単位量当りに換算することによって推定配合が求まる。

2.2 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図-2.1に示す。以下、本装置を便宜上ROLL-Aと称することとする。

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リットルであり、本実験で用いた消泡剤希釈溶液は、消泡剤を0.5%に希釈したものを用いた。

3. セメントの密度試験に及ぼす溶液種類の影響

3.1 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、水を使用して測定することが測定結果に及ぼす影響を、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。表-3.1に検討項目を示す。なお、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

表-3.2 セメント密度の経時変化

試薬の種類	測定No.	30分	60分	90分	120分	150分	180分
鉱油	1	—	3.155	—	3.155	—	3.155
	2	—	3.155	—	3.155	—	3.155
	平均値	—	3.16	—	3.16	—	3.16
上水道水	1	3.226	3.226	3.226	3.236	3.236	3.236
	2	3.226	3.226	3.226	3.236	3.236	3.236
	平均値	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23	3.23

ント、水は上水道水を用いた。

3.2 実験結果

経時変化させたセメント密度の測定結果を表-3.2に、水槽温度を変化させて測定した結果を表-3.3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。

水槽温度によるセメントの密度の変化は、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。

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明らかとなった。

4. 室内試験による配合推定

4.1 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

表-3.1 検討項目

項目	種類	水準					
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						

表-3.3 セメント密度の温度変化

試薬の種類	水温(℃)	密度(g/cm ³)	
		60分後	平均値
鉱油	15.2	3.125	3.13
		3.130	
	18.6	3.135	3.13
		3.130	
	20.5	3.140	3.14
		3.135	
上水道水	15.5	3.210	3.22
		3.221	
	18.4	3.221	3.22
		3.215	
	20.1	3.215	3.22
		3.226	

表-4.1 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	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	青梅産砕石	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

した。また、コンクリートの配合推定は、セメントの密度に鉱油および水を使用して測定された値を用いて算定を行うこととした。

4.2 使用材料および配合

実験に使用した使用材料を表-4.1に、配合を表-4.2に示す。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。

4.3 実験結果および考察

(1) モルタルの空気量と単位容積質量

表-4.2 モルタルおよびコンクリートの示方配合

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

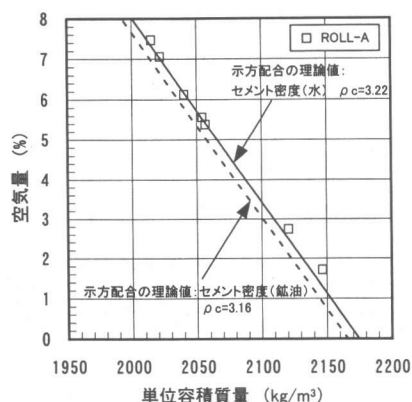


図-4.1 モルタルの空気量と単位容積質量

モルタルの空気量と単位容積質量の測定結果を図-4.1に示す。図中には、水を使用して測定したセメント密度による示方配合の理論値と、鉱油で求めた密度による示方配合の理論値の2種類を示している。

図-4.1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、示方配合の理論値が水を使用して測定したセメントの密度の値を用いた場合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明らかとなった。

(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図-4.2, 4.3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、水で求めたセメント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、材料の

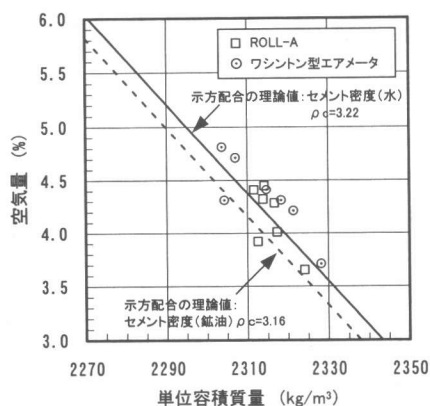


図-4.2 コンクリート (W:168kg/m³) の空気量と単位容積質量

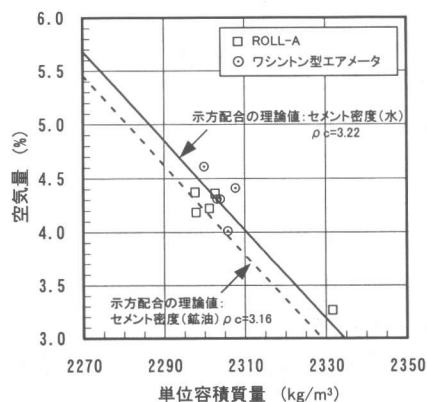


図-4.3 コンクリート (W:175kg/m³) の空気量と単位容積質量

変動因子が多くなるため、モルタルのように精度よく理論値と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、コンクリートの場合でも比較精度よく配合推定を行うことができるものと考えられる。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、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

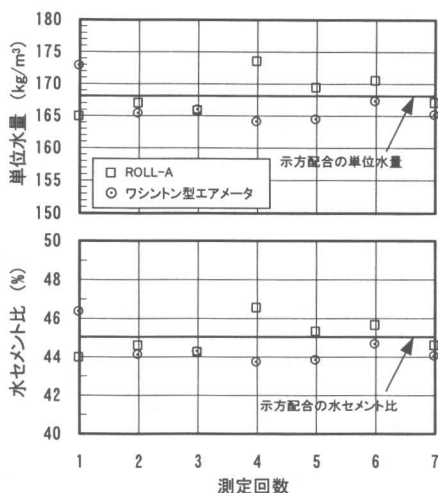


図-4.4 コンクリート (W:168kg/m³) の配合推定結果

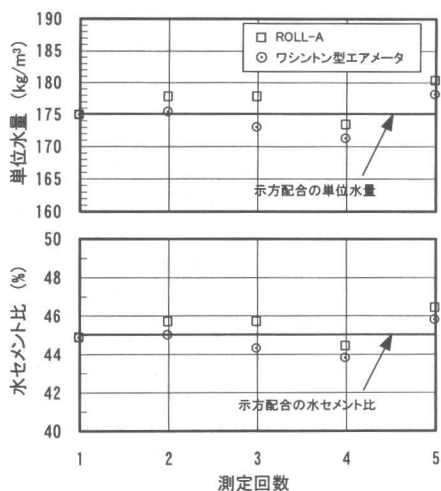


図-4.5 コンクリート (W:175kg/m³) の配合推定結果

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。

(3) コンクリートの単位水量および水セメント比の推定

配合推定は、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。図-4.4、4.5 に単位水量と水セメント比の推定結果を示す。

各配合の推定結果より、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配合の推定精度は、エアメータの測定精度が0.1%で、単位容積質量を計測するはかりの目量が0.1gのものを使用した場合、単位水量推定精度は約±2kg/m³程度である。これは、推定した単位水量には、±2kg/m³程度の範囲で値が示され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の測定精度であり、単位水量の上限値を定める場合には、測定装置の精度に対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。

5. 現場打設コンクリートの配合推定

5.1 測定概要

現場で打設されたコンクリートの配合推定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配合推定を行った。コンクリートは、水セメント比48.5%、細骨材率42.3%、セメントは高炉セメントB種を用いたものである。なお、配合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。

5.2 配合推定結果

空気量と単位容積質量の測定結果を図-5.1に示す。配合推定の結果を図-5.2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。

図-5.3にコンクリートの圧縮強度試験の結果を示す。図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～

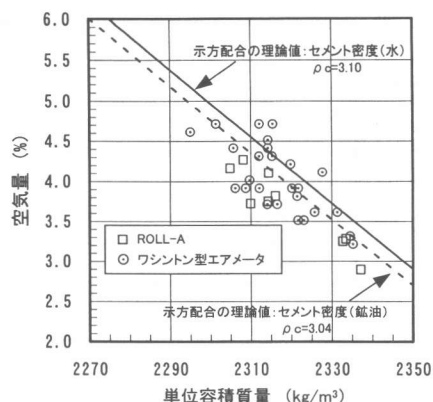


図-5.1 コンクリートの空気量と単位容積質量

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ように見受けられる。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配合推定を行う方法は、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。

6. まとめ

空気量と単位容積質量から配合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明らかとなった。
- 2) 空気量と単位容積質量から配合を推定する方法では、水を使用して測定したセメント密度によって配合推定する必要がある。
- 3) 空気量と単位容積質量から配合を推定する方法は、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。

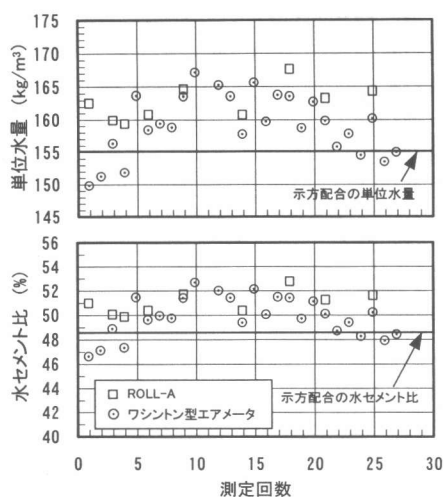


図-5.2 コンクリートの配合推定結果

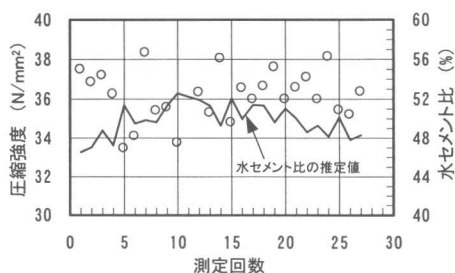


図-5.3 材齢28日のコンクリート圧縮強度

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.178-179，2000.9
- 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