

# フレッシュコンクリートの単位水量の迅速推定試験方法 (エアメータ法)

ZKT-211 : 2005 (制定)

2007 (改正)

[全生工組連試験方法]

1. 適用範囲 この規格は、JIS A 1128 に用いるエアメータを活用して、コンクリートの単位容積質量及び空気量の試験結果<sup>(1)</sup>からフレッシュコンクリートの単位水量を推定する場合に適用する<sup>(2)</sup>。

注<sup>(1)</sup> 空気量の測定は、無注水法又は注水法によって行う。

注<sup>(2)</sup> この試験方法は、最大寸法 40mm 以下の普通骨材を用いたコンクリートに対しては適用できるが、骨材修正係数が適切に求められない人工軽量骨材のような多孔質の骨材を用いたコンクリートに対しては適用できない。

2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS A 1115 フレッシュコンクリートの試料採取方法

JIS A 1116 フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）

JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法 - 空気室圧力方法

JIS A 1138 試験室におけるコンクリートの作り方

3. 試験器具

3.1 エアメータ エアメータは、JIS A 1128 3.1（空気量測定器）の規定を満足するものとする。

3.2 はかり はかりは、目量が 1g 又はこれより小さいものとする。

4. 準備

4.1 空気量を無注水法で測定する場合

1) エアメータの容器とふたの合計の質量 ( $M_1$ ) を 1g まで測定する。

2) JIS A 1128 5.1（容器のキャリブレーション）にしたがってエアメータの容器の容積 ( $V_1$ ) を 1mL まで求める。

4.2 空気量を注水法で測定する場合

1) エアメータの容器とふたの合計の質量 ( $M_1$ ) を 1g まで測定する。

2) エアメータの容器に水を満たし、ふたの表裏を通気できるようにしておいて、静かにふたを容器に取り付ける。ふたを取り付けた後、排水口を開け、ふたの裏側と水面との間の空気が追い出されるまで注水口から注水する。エアメータの外側についた水をぬぐい取って、エアメータと注水した水の合計の質量を 1g まで測定し、これを測定時の水の密度で除してエアメータの全容積 ( $V_2$ ) を 1mL まで求める。

4.3 骨材修正係数の測定 JIS A 1128 6.（骨材修正係数）にしたがって骨材修正係数 ( $G$ ) を 0.1% まで測定する。

5. 試料 試料は JIS A 1115 によって採取するか、又は JIS A 1138 によって作製する。

6. 試験方法 試験方法は、次による。

6.1 コンクリートの空気量を無注水法で測定する場合

1) 試料を JIS A 1128 7.（コンクリートの空気量の測定）の a) 又は b) によって容器に詰め、エアメータの外側についたコンクリート及び水をぬぐい取って、ふたを含むエアメータと試料の合計の質量 ( $M_2$ ) を 1g まで測定する。

2) コンクリートの空気量 ( $A_1$ ) を JIS A 1128 に示される無注水法によって測定する。

備考 ふたを含むエアメータは測定に用いるまでの間、その温度が環境温度と大きく異ならないように、直射日光や反射熱を受けない場所に保管しておく。

コンクリートの上面を容器上端面と正確に一致するように仕上げる必要がある。

## 6.2 コンクリートの空気量を注水法で測定する場合

- 1) 試料を JIS A 1128 7. の a) 又は b) によって容器に詰め、エアメータの外側についたコンクリート及び水をぬぐい取って、ふたを含むエアメータと試料の合計の質量 ( $M_2$ ) を 1g まで測定する。
- 2) エアメータの排水口を開き、ふたの裏側とコンクリート表面の間の空気が完全に追い出されるまで注水口から注水し、エアメータの外側についた水をぬぐい取って、ふたを含むエアメータと試料の合計の質量 ( $M_3$ ) を 1g まで測定する。
- 3) コンクリートの空気量 ( $A_1$ ) を、JIS A 1128 に示される注水法によって測定する。

## 7. 計算

フレッシュコンクリートの単位水量の推定値は、次の式によって算出し、四捨五入を行って小数点以下 1 けたに丸める。

$$W_e = W + W_1 \text{-----(1)}$$

$$W_1 = \frac{T_1 \times V - T'}{1 - \frac{T_1}{\rho}} \text{-----(2)}$$

ここに、 $W_e$  : 単位水量の推定値(kg/m<sup>3</sup>)

$W$  : 配合上の単位水量(kg/m<sup>3</sup>)

$W_1$  : コンクリート 1 m<sup>3</sup> あたりの余剰水量(kg/m<sup>3</sup>)

$T_1$  : 実験から得られる空気を含まないコンクリートの単位容積質量(kg/m<sup>3</sup>)

$V$  : 配合上のコンクリートのセメントへの浸潤による容積減少を見込んだ容積(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)  
 ([=1 - (A + C · 0.001) × 0.01]

ここに、 $A$  : 配合上の空気量(%),  $C$  : 単位セメント量(kg/m<sup>3</sup>)

$\rho$  : 測定時の水の密度(kg/m<sup>3</sup>)

$T'$  : 配合報告書の単位容積質量を水の密度で補正した値(kg/m<sup>3</sup>)

$$T' = \frac{T}{1 + W \left( \frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{1000} \right) + 0.0003 \left( \frac{t - 20}{10} \right)}$$

ここに、 $T$  : 水の密度を 1000 kg/m<sup>3</sup> として求めた配合の単位容積質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_t$  : 測定時のコンクリート温度に対応する水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$t$  : 測定時のコンクリート温度 ( )

なお、式(2)中の  $T_1$  は、以下のように求める。

### 7.1 空気量の測定を無注水法によって行った場合

$$T_1 = \frac{M_2 - M_1}{V_1(1 - A_1 \times 0.01)} \text{-----(3)}$$

ここに、 $M_1$  : エアメータの質量 (g)

$M_2$  : エアメータと試料の質量の合計 (g)

$V_1$  : エアメータの容器の容積 (L)

$A_1$  : 空気量 (%) [=  $A_2 + \frac{t - 20}{10} \times 0.1 - G$ ]

ここに、 $A_2$  : エアメータの指示値,  $t$  : 環境温度 ( ),  $G$  : 骨材修正係数(%)

## 7.2 空気量の測定を注水法によって行った場合

$$T_1 = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - (M_3 - M_2) / \rho - (V_1 \times A_1 \times 0.01)} \text{-----(4)}$$

ここに、 $M_3$  : エアメータと試料と注水した水の質量の合計 (g)

## 8. 報告 報告は、次の項目を記載する。

- 1) 試験年月日
- 2) 天候
- 3) コンクリートの種類及び配合
- 4) 試験時の温度 ( ), 湿度 (%)
- 5) コンクリート温度 ( )
- 7) エアメータの指示値, 骨材修正係数及び空気量 (%)
- 8) コンクリートの質量 (g)
- 9) エアメータの質量 (g)
- 10) エアメータの容器の容積 (L)
- 11) エアメータの全容積及び注水した水の量 (L)
- 12) 測定時の水の温度及び計算に用いた水の密度 ( $\text{kg/m}^3$ )
- 13) 単位水量の推定値 ( $\text{kg/m}^3$ )

# フレッシュコンクリートの単位水量の迅速推定試験方法 (エアメータ法)

## 解 説

この解説は、本体に規定した事柄、及びこれらに関連した事柄を説明するもので、規格の一部ではない。

1. 制定の趣旨 レディーミクストコンクリートの単位水量は、構造物の耐久性を左右する重要な配合要因であるため、近年レディーミクストコンクリート工場で行う工程検査や建設現場における製品検査でこれを試験するケースが増えつつある。一方、平成 15 年 10 月、同年 11 月には、国土交通省より土木構造物及び建築構造物を対象とした「レディーミクストコンクリートの品質確保」に関する通達が出され、土木の場合 1 日のコンクリート打設量が 100m<sup>3</sup> 以上、建築の場合延床面積 1,500m<sup>2</sup> 程度以上の国土交通省の発注工事において、単位水量の測定が義務づけられた。また、この通達の運用文書においては、測定した単位水量が指示値（設計値 ± 20kg/m<sup>3</sup>）を超えた場合、指示値を満足するまで全運搬車の単位水量を測定することが定められている。

全国生コンクリート工業組合連合会においては、平成 14 年に全生工組連試験方法 ZKT-210（フレッシュコンクリートの単位水量迅速推定試験方法（高周波加熱法））を制定した。しかし、現時点ではすべてのレディーミクストコンクリート工場が、この試験に用いる機器を所有していないことや当該試験の所要時間が 15～20 分を要するほかに、加熱室の冷却にも時間を要するため、頻度多く測定を行うには複数の機器を用意しなければならないこと等から、試験に係わるコストや試験員への負担が少ない単位水量の推定方法を新たに制定することとした。

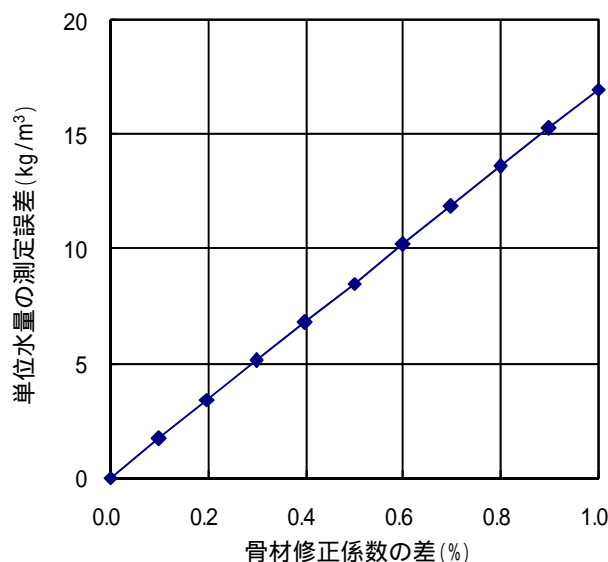
なお、本規格の制定にあたっては、独立行政法人土木研究所が開発したエアメータ法<sup>1)</sup>をもとに、当該試験の誤差要因に関する実験データや文献を参考にして試験条件等を検討し、推定精度の向上を目指して若干の補正項を導入した。

### 2. 制定の要点

#### 2.1 試験機器

1) エアメータ 試験に用いるエアメータは、試験に係わるコスト及び試験員の負担を考慮し、JIS A 1128 の規定を満足する空気量測定器をそのまま活用することとした。

2) はかり 試験に用いるはかりの精度は、コンクリート質量 5g の変動に対する単位水量推定値の変動が 0.5kg/m<sup>3</sup> 程度であることから、目量が 1g 以下のものを用いればよいこととした。



解説図1 骨材修正係数の差が単位水量推定値に及ぼす影響

## 2.2 試験方法

- 1) 骨材修正係数の影響 JIS A 1128 では骨材修正係数が0.1%未満の場合には、これを省略してもよいこととなっているが、エアメータ法においては、空気量の測定誤差 0.1%あたり単位水量が約  $1.6\text{kg/m}^3$  変化するため（解説図 1 参照）、骨材修正係数が0.1%以下の場合にかかわらず、これを考慮することとした。
- 2) 注水法と無注水法との差 JIS A 1128 では、空気量の測定を無注水法で行ってもよいこととなっている。また、既往の文献<sup>2), 3)</sup>においてもコンクリートの仕上げ高さの精度を確保することにより、無注水法と注水法とでは同等の結果が得られることが示されている。したがって、空気量の測定を無注水法と注水法のどちらで行ってもよいこととした。

なお、エアメータ中のコンクリート量が  $10\text{g}$ （約  $4.8\text{mL}$ ）変動すると、単位水量の推定値が約  $1.1\text{kg/m}^3$  変化するので、試料上面仕上げは慎重に行うことが必要である。

- 3) 試料中の粗骨材量の変動 試験室で練り混ぜたコンクリートについて、空気量試験後の試料に含まれる粗骨材量を測定した結果を解説表 1 に示す。

なお、温度の影響を除去するためにコンクリートの練上り温度は  $20 \pm 0.5$  とした。解説表 1 において、サンプリングしたコンクリート中に含まれる粗骨材の量（過小粒は含まない）は、1 データを除いて過小粒を含まない設計値よりも小さくなっており、実測値と設計値との差は、 $-186 \sim +496\text{g}$ （コンクリート  $7\text{L}$  あたり）となっている。また、試験を 3 回繰り返した場合の変動係数は  $0.5 \sim 4.5\%$ （平均  $1.5\%$ ）であった。つぎに、単位水量の推定結果は解説表-1 に併記したように、配合 No.5 の高強度域に近いもの及び配合 No.6 の高強度・高流動コンクリートにおいては、平均値、最大値とも設計値との差は小さいが、配合 No.3 及び No.4 においてはその差が 3 個の測定値の平均で  $17.2\text{kg/m}^3$  及び  $22.1\text{kg/m}^3$  と非常に大きい。また、配合 No.3 及び No.4 においては、粗骨材量の補正なしの方が単位水量の推定値と設計値との差が小さくなっている。これは、測定された空気量と単位容積質量（粗骨材量）との関係に不具合が認められ、粗骨材量による補正が適切にできていないためである。このように、粗骨材量による補正が有効なケースもあるが、そうでないケースも見られ、今後さらに検討すべき余地が残されている。なお、一般的には工程管理といえども、一回の単位水量試験で判断されると思われるが、設計値との差の最大値（表中の 印）をみると、補正ありの場合プラス側で  $23.1\text{kg/m}^3$  マイナス側では  $-6.8\text{kg/m}^3$ 、補正なしでは同様に  $+16.5\text{kg/m}^3$  及び  $-9.5\text{kg/m}^3$  となっており、1 回のみ測定では十分な注意と習熟度が必要と思われる。

解説表 2 及び解説表 3 はエアメータ法により単位水量の推定を行う場合の 1 試験における測定回数について検討を行ったもので、測定回数を 3 回、2 回の平均値と 1 回のみ測定とした場合の推定精度を比較している。解説表 2 及び解説表 3 において、試験回数毎に求めた精度（ここでは、偏差で示した）を比較すると、差の最大値はプラス側、マイナス側とも  $n=1$  より  $n=2$  がさらに  $n=3$  が小さくなっているが、エアメータ法の精度及び試験にかかる労力を考慮し、1 試験における測定回数は 1 回とした。

解説表1 粗骨材量及び単位水量試験結果

No.	粗骨材量 (g)				単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )						
	設計値	測定値	平均 [差]	標準偏差 [変動係数%]	設計値	粗骨材量補正あり			粗骨材量補正なし		
						推定値	平均 [差]	標準 偏差	推定値	平均 [差]	標準 偏差
1	6470 (6811)	6784.5	6772 [302]	31.2 [0.5]	170	163.2	164.7 [-5.3] -6.8	1.80	160.5	163.1 [-6.9] -9.5	3.86
		6736.0				166.7			167.5		
		6794.2				164.2			161.2		
2	6823 (7182)	7038.1	7078.0 [255]	35.7 [0.5]	167	167.5	166.5 [-0.5] -2.2	0.89	171.1	168.3 [1.3] +4.1	2.43
		7106.9				165.8			166.7		
		7089.1				166.2			167.1		
3	6786 (7143)	7356.4	7282 [496]	76.3 [1.0]	200	217.5	217.2 [17.2] +17.6	0.67	198.8	200.5 [0.5] +2.8	2.08
		7203.9				217.6			202.8		
		7285.4				216.4			199.8		
4	5929 (6241)	6126.2	5827 [-102]	264.5 [4.5]	200	223.1	222.1 [22.1] +23.1	1.11	210.5	214.2 [14.2] +16.5	3.26
		5625.0				220.9			216.5		
		5729.3				222.2			215.7		
5	6754 (6754)	6863.1	6750 [4]	98.1 [1.5]	180	180.6	180.3 [0.3] +1.1	0.98	178.4	180.3 [0.3] +2.3	1.95
		6697.8				179.2			180.2		
		6688.8				181.1			182.3		
6	6810 (6810)	6603.4	6624 [-186]	53.9 [0.8]	182	182.2	180.7 [-1.3] -2.5	1.37	182.5	180.7 [-1.3] -2.8	1.67
		6685.3				180.4			179.2		
		6583.6				179.5			180.4		

空気量測定後の試料中に含まれる粗骨材の量を示す。また、粗骨材量欄の設計値とは、エアメータに配合通りのコンクリートがサンプリングされた場合に含まれる粗骨材量を示しており、カッコ内の数値は過小粒を含む示方配合を表している。印は3回の測定のうち、設計値との差が最大のものを示す。

解説表2 粗骨材量及び単位水量試験結果 (粗骨材量補正あり)

No.	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )			推定値と設計値との差の平均 (kg/m <sup>3</sup> )							
	設計値	推定値	差	n=3 a,b,c	n=2			n=1			
					a,b	a,c	b,c	a	b	c	
1	170	a	163.2	-6.8	-5.3	-5.1	-6.3	-4.6	-6.8	-3.3	-5.8
		b	166.7	-3.3							
		c	164.2	-5.8							
2	167	a	167.5	0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-1.0	0.5	-1.2	-0.8
		b	165.8	-1.2							
		c	166.2	-0.8							
3	200	a	217.5	17.5	17.2	17.6	17.0	17.0	17.5	17.6	16.4
		b	217.6	17.6							
		c	216.4	1.64							
4	200	a	223.1	23.1	22.1	22.0	22.7	21.6	23.1	20.9	22.2
		b	220.9	20.9							
		c	222.2	22.2							
5	180	a	180.6	0.6	0.3	-0.1	0.8	0.1	0.6	-0.8]	1.1
		b	179.2	-0.8							
		c	181.1	1.1							
6	182	a	182.2	0.2	-1.3	-0.7	-1.2	-2.1	0.2	-1.6	-2.5
		b	180.4	-1.6							
		c	179.5	-2.5							
差の平均				5.4	5.4			5.4			
" 最大		プラス側		22.1	22.7			23.1			
		マイナス側		5.3	6.3			6.8			
" 最小		プラス側		0.3	0.1			0.3			
		マイナス側		0.5	0.1			0.8			

解説表3 粗骨材量及び単位水量試験結果(粗骨材量補正なし)

No.	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )			推定値と設計値との差の平均 (kg/m <sup>3</sup> )							
	設計値	推定値	差	n=3	n=2			n=1			
				a,b,c	a,b	a,c	b,c	a	b	c	
1	170	a	160.5	-9.5	-6.9	-6.0	-9.2	-5.7	-9.5	-2.5	-8.8
		b	167.5	-2.5							
		c	161.2	-8.8							
2	167	a	171.1	4.1	1.3	1.9	2.1	-0.1	4.1	-0.3	0.1
		b	166.7	-0.3							
		c	167.1	0.1							
3	200	a	198.8	-1.2	0.5	0.8	-0.7	1.3	-1.2	2.8	-0.2
		b	202.8	2.8							
		c	199.8	-0.2							
4	200	a	210.5	10.5	14.2	13.5	13.1	16.1	10.5	16.5	15.7
		b	216.5	16.5							
		c	215.7	15.7							
5	180	a	178.4	-1.6	0.3	-0.7	0.4	1.3	-1.6	0.2	2.3
		b	180.2	0.2							
		c	182.3	2.3							
6	182	a	182.5	0.5	-1.3	-1.2	-0.5	-2.2	0.5	-2.8	-1.6
		b	179.2	-2.8							
		c	180.4	-1.6							
差の平均				1.4	1.3			1.3			
" 最大		プラス側		14.2	16.1			16.5			
		マイナス側		6.9	9.2			9.5			
" 最小		プラス側		0.3	0.4			0.1			
		マイナス側		1.3	0.1			0.2			

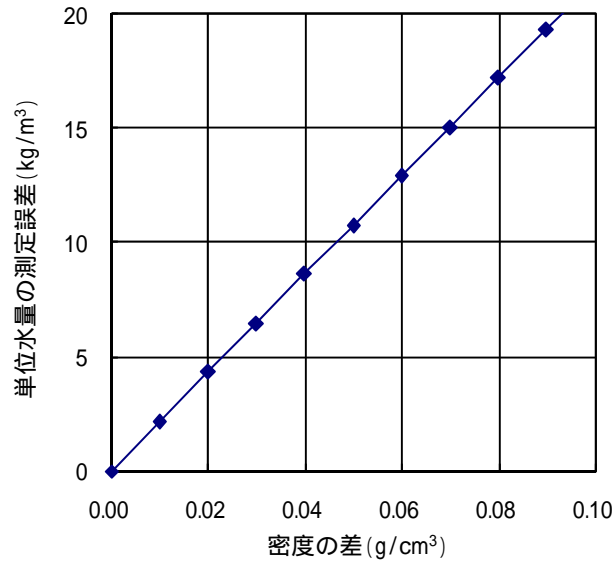
4) 試料中の密度の変動 細骨材の粒度分布を人為的に調整した試料の密度試験結果を解説表4に示す。解説表4において、仮に細骨材の粒度分布が標準粒度の上限(F.M.=3.43),中間(F.M.=2.69),下限(F.M.=1.95)にわたり変動した場合、密度の差は細骨材の種類によって相違し、0.003~0.047g/cm<sup>3</sup>の範囲で変化している。なかでも密度が2.9g/cm<sup>3</sup>を超えるKS1については標準粒度の上限と下限で0.047g/cm<sup>3</sup>の差が生じている。しかし、実際にはこれほどの粒度分離は生じないが、0.01~0.02g/cm<sup>3</sup>程度の変動は避けられない。この結果、密度の相違が推定値に及ぼす影響は解説図2から分かるように計算上2~4kg/m<sup>3</sup>となる。つぎに、粗骨材を各粒群に分け、それぞれについて密度を求めた結果は解説表5に示すようになって、密度の差の範囲は全体として0.005~0.031g/cm<sup>3</sup>であった。粗骨材の場合には標準粒度範囲を超える分離が生じることもあることが指摘されている。従って、0.02~0.03g/cm<sup>3</sup>の密度の変動が生じる可能性が高いことから考えると、その差が単位水量の推定値に及ぼす影響は、細骨材のケースと同様に解説図3から分かるように、密度0.02g/cm<sup>3</sup>あたり計算上5kg/m<sup>3</sup>程度となる。

しかし、粗細骨材ともに粒度の変動に伴う補正を行うとすれば、試験操作が非常に煩雑になることから、本規格ではその補正は行わないこととした。ただし、これらの変動が本試験方法における操作方法における誤差要因として、決して小さくないことも認識しておく必要がある。さらに、コンクリートのサンプルエラーを見るために行った、空気量試験終了後のコンクリートに含まれる粗骨材の粒度分布は、解説図4~解説図6に示すように、当初の粒度分布(図中に太線で併記したコンクリートの配合設計に用いた粗骨材の粒度分布)と大差なく、この程度の変動では、密度の相違が単位水量の推定値に及ぼす影響は小さいと考えられる。したがって、試料中の骨材の密度測定及びこれを用いた推定値の補正は行わないこととした。

解説表 4 細骨材の密度試験結果

粒群 (mm)	試験 No.	密度 (g/cm <sup>3</sup> )											
		S S1		S S2		K S1		K S2		N S1		N S2	
		平均		平均		平均		平均		平均		平均	
過大粒 (5~10)		2.641	2.642	2.638	2.639	-	-	-	-	-	-	-	-
		2.643		2.640		-		-		-		-	
標準 粒度	上限 F.M.=3.43	2.631	2.628	2.630	2.632	2.946	2.945	2.580	2.582	2.575	2.576	2.751	2.750
		2.624		2.634		2.943		2.583		2.576		2.749	
	中間 F.M.=2.69	2.622	2.621	2.622	2.620	2.933	2.932	2.578	2.580	2.580	2.578	2.759	2.760
		2.620		2.618		2.931		2.582		2.575		2.760	
	下限 F.M.=1.95	2.619	2.621	2.618	2.618	2.894	2.898	2.581	2.583	2.581	2.585	2.761	2.762
		2.623		2.617		2.902		2.584		2.588		2.763	
密度の差		-	0.007	-	0.014	-	0.047	-	0.003	-	0.009	-	0.012

細骨材の粒度分布を標準粒度の上限、中間及び下限とした場合の密度の範囲を示す。

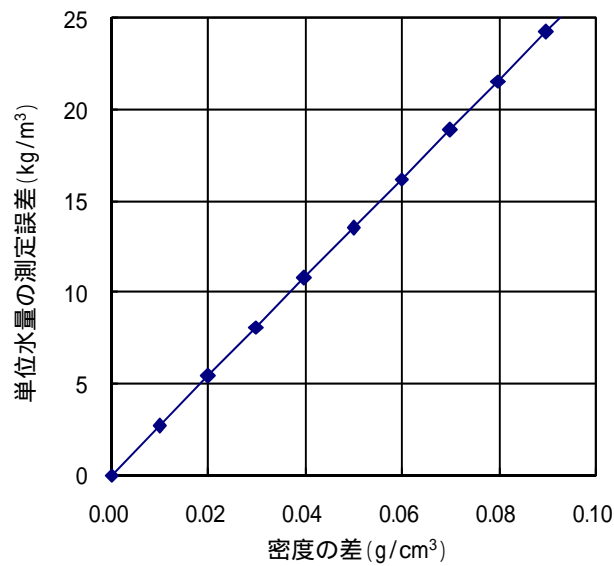


解説図2 細骨材の密度変動が単位水量推定値に及ぼす影響

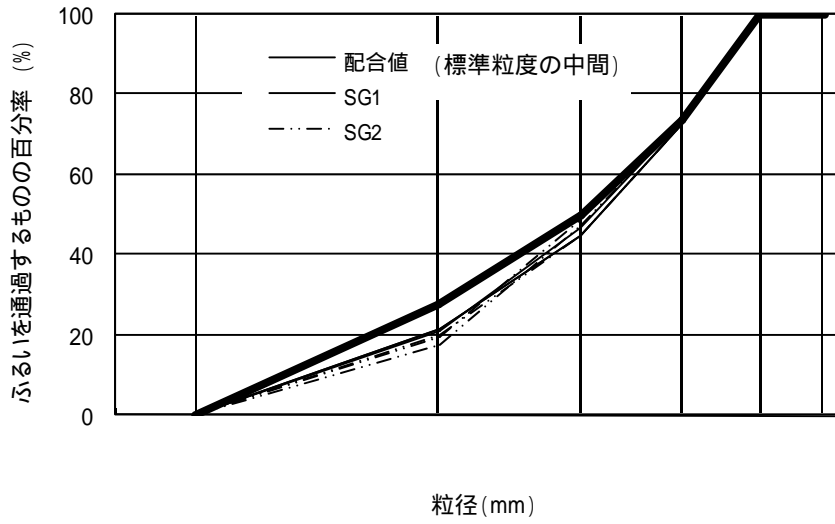


解説表 5 粗骨材の密度試験結果

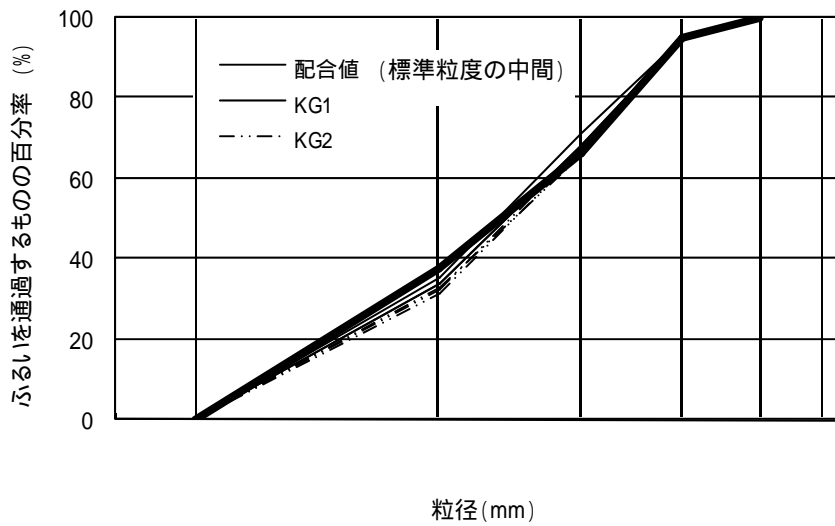
粒群 (mm)	試験 No.	密度 (g/cm <sup>3</sup> )											
		S G1		S G2		K G1		K G2		N G1		N G2	
		平均		平均		平均		平均		平均		平均	
5 ~ 20 (25)		2.638	2.640	2.641	2.641	3.008	3.007	2.630	2.628	2.606	2.606	2.753	2.752
		2.641		2.640		3.006		2.626		2.606		2.750	
15 ~ 20 (25)		2.634	2.641	2.646	2.647	3.017	3.011	2.628	2.629	2.610	2.609	2.749	2.749
		2.647		2.648		3.004		2.629		2.607		2.748	
10 ~ 15		2.640	2.641	2.639	2.641	3.021	3.022	2.632	2.630	2.607	2.604	2.756	2.754
		2.641		2.642		3.023		2.628		2.603		2.752	
5 ~ 10		2.639	2.641	2.642	2.642	2.994	2.993	2.624	2.623	2.602	2.606	2.755	2.754
		2.643		2.641		2.991		2.621		2.609		2.753	
過小粒 (2.5 ~ 5)		2.624	2.624	2.634	2.638	2.976	2.974	2.613	2.616	-	-	-	-
		2.624		2.641		2.972		2.618		-		-	
密度の差		-	0.017	-	0.009	-	0.031	-	0.014	-	0.005	-	0.005



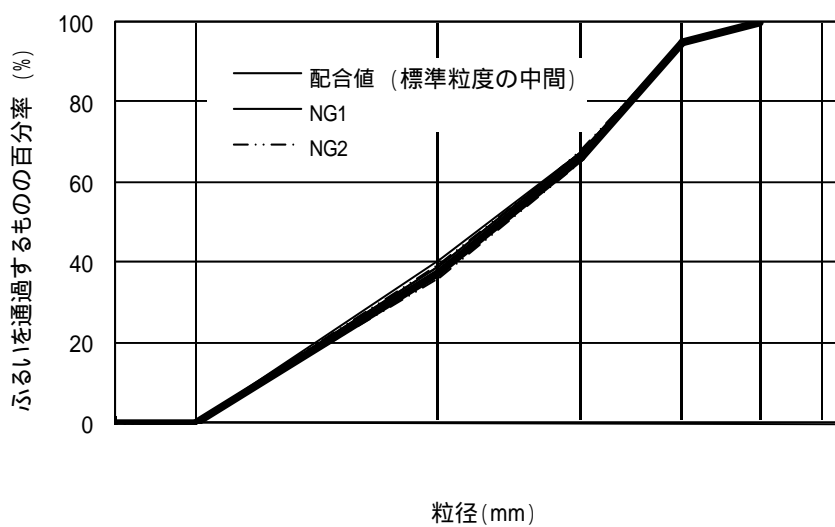
解説図3 粗骨材の密度変動が単位水量推定値に及ぼす影響



解説図4 粗骨材の粒度分布測定結果



解説図5 粗骨材の粒度分布測定結果



解説図6 粗骨材の粒度分布測定結果

3. エアメータ法における誤差要因とその影響の排除に関する検討

3.1 誤差要因の抽出とその試算 エアメータ法による単位水量推定値におよぼす影響は解説図 7 に示すようであり、これらのうちから影響の大きいと思われる以下の 6 項目について検証した。

温度変化に伴う水の密度変化

セメント及び骨材の温度変化に伴う容積変化

環境及びコンクリート温度の変化に伴うエアメータ容器の容積変化

混和剤固形分の容積の影響

エアメータ上面仕上げ精度の影響（無注水法）

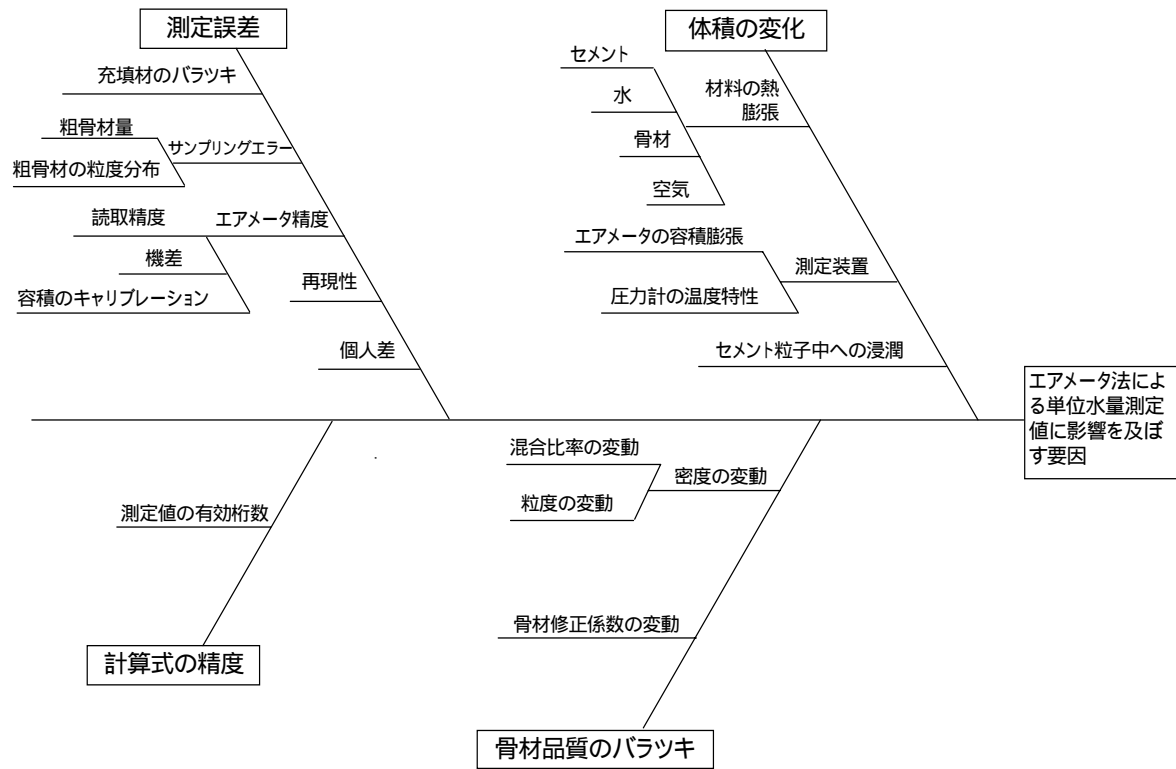
a) 質量の影響

b) 空気量の測定値が変わることの影響

エアメータによる空気量測定精度の影響

a) 測定誤差

b) 温度変化の影響



解説図 7 エアメータ法による単位水量推定値に影響をおよぼす要因

温度変化に伴う水の密度変化の影響 解説表 6 の試算条件によって、以降の誤差要因の検討を行った。誤差要因の検討を行うに当たり、以下の推定式を用いた。

$$T'_1 = \frac{M_2 - M_1}{V_1(1 - A_1 \times 0.01)} \text{-----}(5)$$

$T'_1$  は空気を含まないコンクリートの単位容積質量 (kg)

ここに、 $M_1$  : エアメータの質量 (kg)

$M_2$  : エアメータと試料の質量の合計 (kg)

$V_1$  : エアメータの容器の容積 (L)

$A_1$  : 空気量の実測値 (%)

$$W'_1 = \frac{T'_1 \times V - T}{1 - \frac{T'_1}{\rho}} \text{-----}(6)$$

ここに、 $W'_1$  : コンクリート 1 m<sup>3</sup> あたりの余剰水量(kg/m<sup>3</sup>)

$T'_1$  : 実験から得られる空気を含まないコンクリートの単位容積質量(kg/m<sup>3</sup>)

$V$  : 配合上のコンクリートのセメントへの浸潤による容積減少を見込んだ容積(m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)

( $[=1 - (A + C \cdot 0.001) \times 0.01]$ )

ここに、 $A$  : 配合上の空気量(%),  $C$  : 単位セメント量(kg/m<sup>3</sup>)

$T$  : 配合上のコンクリートの単位容積質量(kg/m<sup>3</sup>)

$\rho$  : 測定時の水の密度(kg/m<sup>3</sup>)

解説表 6 試算条件 (20 における)

条 件	記号	設定値
単位セメント量	C	274kg/m <sup>3</sup>
単位水量	W	179kg/m <sup>3</sup>
単位細骨材量	S	880kg/m <sup>3</sup>
単位粗骨材量	G	948kg/m <sup>3</sup>
単位混和剤量	Ad	0.5 kg/m <sup>3</sup>
単位容積質量	T	2281.5 kg/m <sup>3</sup> <sup>1)</sup>
空気量の設計値	A	4.5%
空気量の実測値	A <sub>1</sub>	4.5124% <sup>2)</sup>
エアメータ容器の容積	V <sub>1</sub>	0.007m <sup>3</sup> <sup>3)</sup>
水の密度		1,000 kg/m <sup>3</sup>

1) 水の密度を 1,000kg/m<sup>3</sup> とした場合の値

2) 水のセメント粒子への浸潤で設計上の 1 m<sup>3</sup> に対し、真の容積は 1m<sup>3</sup> よりも小さくなるので、4.5%を真の 1m<sup>3</sup> 当りに換算した値

$A_1 / (1 - C \times 0.001 \times 0.01)$

3) 計算を簡単にするために仮定した値

解説表 7 温度変化にともなう水の密度変化の影響

水の密度 (kg/m <sup>3</sup> )	w	練混ぜ水の容積 (L)	差 (L)	単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	
				セメントへの浸潤 を無視した場合	セメントへの水の浸潤 による水の容積減少後
配合設計値	1000	179	0	2281.500	2287.768
20	998.20	179.322	+0.322	2280.766	2287.032
30	995.65	179.782	+0.782	2279.717	2285.981
35	993.88	180.102	+1.102	2278.989	2285.251
40	992.22	180.403	+1.400	2278.310	2284.570

20 における設計値との差を求める。

式(5)中の  $M_2 - M_1$  は、コンクリートの単位容積質量とエアメータの容積から求めると、  
 $M_2 - M_1 = T \times V_1$  となるので、 $T'_1$  は以下のとおりとなる。

$$T'_1 = \frac{T - V_1}{V_1 \times (1 - A_1 \times 0.01)}$$

上式に解説表6の数値を代入すると、

$$T'_1 = \frac{T - V_1}{V_1 \times (1 - A_1 \times 0.01)} = \frac{2287.032 \times 0.007}{0.007 \times (1 - 4.5124 \times 0.01)} = 2395.109 \text{ kg/m}^3$$

上記  $T'_1$  の値と式および20 の水の密度(解説表7)を式(6)に代入し、 $W'_1$  を求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} W'_1 &= \frac{T'_1 \times (1 - (A + C \times 0.001) \times 0.01) - T}{1 - (T'_1 / \rho)} \\ &= \frac{2395.109 \times 0.95226 - 2281.5}{1 - 2395.109 / 998.2} \\ &= \frac{-0.734}{-1.399} = 0.525 \quad 0.5 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

同様に30 との差を求める。

$$\begin{aligned} T'_1 &= \frac{2285.981 \times 0.007}{0.007 \times (1 - 4.5124 \times 0.01)} = 2394.008 \\ W'_1 &= \frac{2394.008 \times 0.95226 - 2281.5}{1 - 2394.008 / 995.65} = \frac{-1.782}{-1.404} = 1.27 \quad 1.3 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

同様に35 との差は以下のようになる。

$$\begin{aligned} T'_1 &= \frac{2285.251 \times 0.007}{0.007 \times (1 - 4.5124 \times 0.01)} = 2394.244 \\ W'_1 &= \frac{2393.244 \times 0.95226 - 2281.5}{1 - 2393.244 / 993.88} = \frac{-2.511}{-1.408} = 1.783 \quad 1.8 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

以上の結果、密度  $1,000 \text{ kg/m}^3$  の設計値において20 で  $0.5 \text{ kg/m}^3$ 、35 では約  $2 \text{ kg/m}^3$  の単位水量の増加となる。

セメントおよび骨材の温度変化に伴う容積変化の影響 骨材試験は  $20 \pm 0.5$  で行なわれるので、基本になる単位容積質量は 20 とし、30 における水および材料の容積膨張の影響を求める。

計算例 セメント+骨材  $\rho_c = 3.15$   $\rho_a = 2.65$   $V_{c+a} = 776$  (前出の試算条件の配合)

線膨張係数  $10 \times 10^{-6} /$

体膨張係数 (線膨張係数の3倍)

$$3 \times 10 \times 10^{-6} /$$

$$10 \text{ 当り, } 3 \times 10 \times 10 \times 10^{-6} = 3 \times 10^{-4}$$

$$776 \text{L/m}^3 \times 0.0003 = 0.2328 \text{L/m}^3$$

したがって、単位容積質量は  $2280.766 \div 1.0002328 = 2280.235$  となる。

この単位容積質量はセメントの水の浸潤による補正が必要である。すなわち、 $1 - C \times 0.001 = 0.99726$  で除す必要がある。よって、 $T'_1$  は以下のように計算できる。

$$T'_1 = \frac{2280.235 \div 0.99726 \times 0.007}{0.007 \times (1 - 4.5124 \times 0.01)} = 2394.550$$

したがって、 $W'_1$  は以下のようになる。

$$W'_1 = \frac{2394.550 \times 0.95226 - 2280.766}{1 - 2394.550 / 995.65} = \frac{-0.52}{-1.41} = 0.38 \text{ 0.4kg/m}^3$$

すなわち、 $W'_1$  は水以外の材料の膨張にともなう単位容積質量の減少量

ここで、温度変化にともなう膨張をまとめると、

20 をベースとした場合 (単位容積質量 =  $2280.766 \text{ kg/m}^3$ )、30 では、

(a) 水の密度の影響で単位容積質量が  $2279.717 \text{ kg/m}^3$  となり  $-1.049 \text{ kg/m}^3$  の変化を生ずる。

(b) 骨材、セメントの影響で単位容積質量が  $2280.235 \text{ kg/m}^3$  となり  $-0.531 \text{ kg/m}^3$  の変化を生ずる。

この結果、(a) と (b) を合成すると、30 における単位容積質量は、以下のように減少する。

$$2280.776 - (1.049 + 0.531) = 2279.186 \text{ kg/m}^3$$

環境およびコンクリート温度の変化に伴うエアメータ容器容積の変化の影響 20 の容積値のまま、30 で試験をした場合の影響について試算を行う。

温度	容器容積 <sup>1</sup>	試料質量 (kg) <sup>2</sup>	( 1 実測値 2 設計値から算出)
20	$0.006944 \text{m}^3$	$15.881150 = (2287.032 \times 0.006944 \text{m}^3)$	
30	$0.006952 \text{m}^3$	$15.892140 = (2285.981 \times 0.006952 \text{m}^3)$	

まず、20 での単位水量の増加を以下に試算する。

$$T'_1 = \frac{15.881150}{0.006944 \times (1 - 4.5124 \times 0.01)} = 2395.109 \text{ kg/m}^3$$

$$W'_1 = \frac{2395.109 \times 0.95226 - 2280.766}{1 - 2395.109 / 998.20} = \frac{+0.0005}{-1.399} = -0.0004 \text{ 0 kg/m}^3$$

次に、30 において容器容積は 20 のままとした場合の単位水量の試算

(質量は容積が増加している分、増えることになる。単位容積質量は前述の(a)と(b)の影響で減少している)

$$T'_1 = \frac{15.892140}{0.006944 \times (1 - 4.5124 \times 0.01)} = 2396.766 \text{ kg/m}^3$$

$$W'_1 = \frac{2396.766 \times 0.95226 - 2280.766}{1 - 2396.766 / 998.20} = \frac{1.578}{-1.401} = -1.126 \quad -1.1 \text{ kg/m}^3$$

この結果、エアメータの温度による容積補正を行わないと、単位水量は約  $1 \text{ kg/m}^3$  小さく推定される。

なお、キャリブレーションを種々の温度で実施し、測定時のコンクリート温度に応じた容積を用いる場合には、この温度補正は不要である。

混和剤固形分の容積の影響 固形分の密度を  $1.0 \text{ g/cm}^3$ 、混和剤容積を  $0.5 \text{ L}$ 、コンクリート温度  $20$  と仮定すると、 $20$  における基準単位容積質量は

$$\frac{2280.766}{1.0005} = 2279.626 \text{ kg/m}^3$$

$$T'_1 = \frac{2279.626 \div 0.99726 \times 0.007}{0.007 \times (1 - 4.5124 \times 0.01)} = 2393.912 \text{ kg/m}^3$$

$$W'_1 = \frac{2393.912 \times 0.95226 - 2279.626}{1 - 2393.912 / 998.2} = \frac{0.00064}{-1.398} = -0.00046 \text{ kg/m}^3$$

これより無視して差し支えない値といえる。

エアメータ上面仕上げによる誤差の影響

(a) エアメータの上面仕上げでモルタル量が  $+10 \text{ g}$  (約  $4.8 \text{ mL}$ ) 変動した場合、その分、空気量は少なくなるので、エアメータ指示値は小さくなる。

$$\text{エアメータの指示値の変化量} = \frac{-4.8 \text{ mL}}{7000 \text{ mL}} \times 100 = -0.000686 = -0.0686\%$$

$$T'_1 = \frac{2287.032 \times 0.007 - (10/1000)}{0.007 \times (1 - (4.5124 - 0.0686) \times 0.01)} = 2391.894 \text{ kg/m}^3$$

$$W'_1 = \frac{2391.894 \times 0.95226 - 2280.766}{1 - 2391.894 / 998.2} = \frac{-3.061}{-1.403} = 2.185 \quad 2 \text{ kg/m}^3$$

(b) エアメータの上面仕上げでモルタル量が  $-10 \text{ g}$  (約  $-4.8 \text{ mL}$ ) 変動した場合、その分、空気量は多くなるので、エアメータ指示値は大きくなる。

$$\text{エアメータの指示値の変化量} = \frac{4.8 \text{ mL}}{7000 \text{ mL}} = 0.000686 = 0.0686\%$$

$$T'_1 = \frac{2287.032 \times 0.007 + (10/1000)}{0.007 \times (1 - (4.5124 + 0.0686) \times 0.01)} = 2398.328 \text{ kg/m}^3$$

$$W'_1 = \frac{2398.328 \times 0.95226 - 2280.766}{1 - 2398.328 / 998.2} = \frac{3.066}{-1.403} = 2.185 \quad -2 \text{ kg/m}^3$$

すなわち、仕上げが盛り上り側（プラス側）となると、単位水量が  $2 \text{ kg/m}^3$  程度多く測定され、逆に仕上げが盛り下り側（マイナス側）の場合には  $2 \text{ kg/m}^3$  程度小さく測定されることになる。

空気量を誤って0.1%間違えて計測された場合の影響

(a) 測定誤差

配合設計上の空気量 4.5% }  
エアメータ実測空気量 4.6% } のケース

$$T_1 = \frac{2287.032 \times 0.007}{0.007 \times (1 - (4.6 \times 0.01))} = 2397.308 \text{ kg/m}^3$$

$$W_1 = \frac{2397.308 \times 0.95226 - 2280.766}{1 - 2397.308/998.2} = \frac{2.095}{-1.401} = -1.495 \text{ - } 1.5 \text{ kg/m}^3$$

したがって、空気量に測定誤差が+0.1%生じると、 $W_1$ が1.5 kg/m<sup>3</sup>だけ小さくなる。エアメータの精度が非常に大きく影響することとなる。このことから骨材修正係数を精度良く求めること、それを用いて空気量の値を補正することも大切なことである。

(b) エアメータゲージへの温度変化への影響

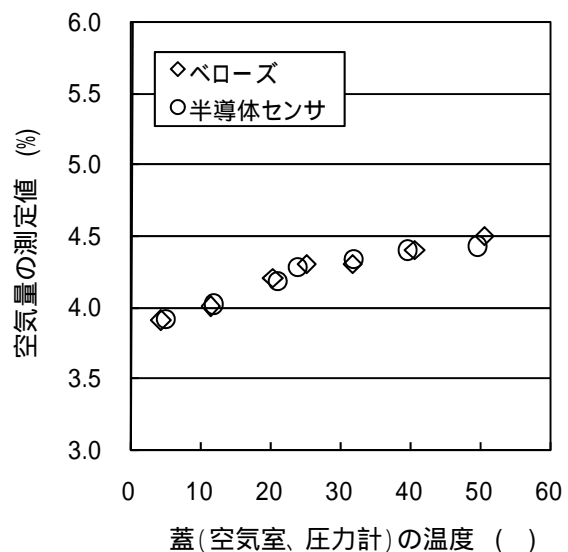
エアメータゲージの温度を0~50 (10 間隔)に変化させ、温度依存性を調査した結果を解説表8及び解説図8に示す。なお、エアメータの容器は、環境温度約24 の試験室に所定量の水を入れて静置した。

解説表8 エアメータゲージの温度依存性<sup>4)</sup>

測定 No.	エアメータゲージ温度( )		空気量測定値(%)							エアメータ容器内の水の温度( )
	目標	実測		ペローズ式			半導体センサ式			
		ペローズ式	半導体センサ式	実測	基準	差	実測	基準	差	
1	50	50.4	49.5	4.5	4.3	+0.2	4.42	4.26	+0.16	24.3
2	40	40.5	39.6	4.4		+0.1	4.39		+0.13	24.3
3	30	31.5	31.9	4.3		0	4.33		+0.07	24.3
4	20	20.2	21.0	4.2		-0.1	4.17		-0.09	24.2
5	10	11.2	11.8	4.0		-0.3	4.01		-0.25	24.4
6	0	4.2	4.9	3.9		-0.4	3.91		-0.35	24.4
7	試験室	24.9	23.8	4.3		0	4.27		+0.01	24.4

注) エアメータゲージ(フタ)の温度は非接触式温度計を用いて、その表面を測定した。表中の差とは、エアメータ容器から採取した水の容積から求めた空気量。ペローズ式はワシントン型エアメータ、半導体センサ式はデジタル表示式エアメータを示す。

目盛りのキャリブレーションの結果、エアメータゲージの温度が10 上昇する毎にゲージの指示値が約0.1%ずつ大きくなり、10 低下する毎に指示値が約0.1%ずつ小さくなった。したがって、常温の範囲(5~35 )では空気量の指示値が最大で0.3%、20 でキャリブレーションを行ったとすれば±0.15%の範囲で変動することになる。前述のように空気量の測定誤差が0.1%生じると単位水量が1.5kg/m<sup>3</sup>変化するので、常温の範囲でも単位水量が20 を中心として±2.2kg/m<sup>3</sup>の変動を生じることになる。



解説図8 エアメータの蓋の温度と空気量の測定値との関係



3.2 各種誤差要因の集約と計算式の検討 ここまで述べてきた誤差要因を整理し，解説表9に示す。

解説表9 誤差要因とその対応

要因		条件	単位水量への影響 (kg/m <sup>3</sup> )	対応
水の密度変化		設計密度 1.000 に対して 20 において	+0.5	補正項として式(2)に導入
		" 30 "	+1.3	
		" 35 "	+1.8	
セメント，骨材の温度による体積膨張の影響		10 増加(上昇)	+0.4	同上
エアメータの温度による容積変化の影響 (20 のままの容積での計算)		20 に対して 30 において	-1.1	式に導入しないので温度に対応したキャリブレーションで対応
混和剤固形分の容積の影響				(無視できる)
エアメータ上面仕上げの影響		モルタルの量が 10g 多い場合 モルタルの量が 10g 少ない場合	+2.0 -2.0	式に導入しないが，測定操作の習熟度の向上で対応
a) 空気量の測定誤差		測定誤差+0.1%あたり " -0.1% "	-1.5 +1.5	同上
b) エアメータの圧力計の温度変化による誤差 (キャリブレーション 20 に対し)		环境温度+10 あたり空気量+0.1% " -10 " -0.1%	-1.5 +1.5	器差の関係もあるので式には導入しないが，キャリブレーションにより空気量の補正を求めておくか左欄の値を用いて空気量を補正する。
その他	セメントの水の浸潤によるコンクリートの容積変化			式(2)に導入
	上記に基づく真の空気量による影響			結果的に上欄の導入により対応が出来ている。

これらの補正に関して次のように考える。

(a) および に関しては温度をファクターにした補正項を (2)' 式に導入する。

例えば 20 に対して ( に関しては 20 でも +0.5 kg/m<sup>3</sup> 必要)

$$30 \text{ の場合} \quad + = 1.3 + 0.4 = +1.7 \text{ kg/m}^3$$

$$35 \text{ の場合} \quad + = 1.8 + 0.4 \times 1.5 = +2.4 \text{ kg/m}^3$$

これを一般式化すれば前述の式(2)は次のようになる。

$$W_1 = \frac{T_1 \times V - T'}{1 - \frac{T_1}{\rho}} \text{ ----- (2)'}$$

ここに， $T'$  : 水の密度で補正した単位容積質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$$T' = \frac{T}{1 + W \left( \frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{1000} \right) + 0.0003 \left( \frac{t - 20}{10} \right)}$$

$T$  : 水の密度を 1000 kg/m<sup>3</sup> として求めた配合の単位容積質量 (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_t$  : 測定時のコンクリート温度に対応する水の密度 (kg/m<sup>3</sup>)

$t$  : 測定時のコンクリート温度 ( )

解説表 6 の配合では 0.0002328 となったが安全のため 0.0003 とした。

(b) に関しても (2)' 式に導入する方法も考えられるが、容積変化は容器の材質によっても異なるので、キャリブレーションの値を用いて、測定時の容器容積を (V) として測定することで補正項の導入は不要。

(c) (b) に関しては、式 (3)' の  $A_1$  に対して測定時温度の補正を加える。

すなわち、

$$A_1 = A_2 + \frac{t-20}{10} \times 0.1 - G \quad \text{----- (3)'}$$

ここに、 $A_1$  : 空気量 (%)

$A_2$  : エアメータの指示値

$t$  : 環境温度 ( )

$G$  : 骨材修正係数 (%)

(d) (a) に関しては空気量測定の誤差が 0.1% で単位水量 1.5 kg/m<sup>3</sup> の差となる。したがってキャリブレーションを十分に行っておくことと (骨材修正係数を含め) 読み取りに十分配慮することが大切である。

(e) に関しては、仕上げが盛り側 (プラス側) となると単位水量が 2kg/m<sup>3</sup> 程度多く測定され、逆に仕上げが下り側 (マイナス側) の場合には 2kg/m<sup>3</sup> 程度小さく測定されることになるので、上面仕上げも十分配慮する。

以上に述べたことから、(b) は計算式を修正する事項、(c) はキャリブレーションを十分に行う事項、(d) (e) は測定において十分な配慮が必要な事項として示した。

なお、ここまで述べた方法は、計量配合は正しいが、水のみを加水している場合に適用できるものである。細骨材の表面水率による単位水量の変動を求める場合には、別の推定式が必要であるが、細骨材の表面水率の測定誤差が 2% 程度として、ここで示した式で試算すると 2 kg/m<sup>3</sup> 程度相違することがわかった。通常は 1% 程度の差までであることから、両者の計算結果には大差ないことが確認できたので、本規格では前者の式の一つを採用することとした。

4. 原案作成中に問題となった事項 ZKT-211 の原案作成の開始時においては、精度がもっとも良い試験方法について検討を行ったが、レディーミクストコンクリート工場において全運搬車に対して試験が実施できる所要時間であること及び試験にかかる費用や試験員への労力の負担等を提言することも重要であるとの考えから、両者を考慮した合理的な試験方法として制定することとした。

また、推定式については、配合上の単位水量と推定単位水量との間に差が発生する要因として 骨材の表面水率の測定誤差によるものと、スランプ調整などで水量のみが増減するものがあり、それぞれに計算の原理が異なるが、本規格の推定式では前者の原理をもとにした推定式のみとした。しかし、細骨材の表面水率の測定差が 1% 前後であれば、この式による推定式を用いても推定値におよぼす影響は微小なので、計算過程が容易な式に一本化して用いることとした。

#### 【参考文献】

- 1) 片平 博, 河野広隆; エアメータ法による単位水量推定法の精度と現場測定結果, 第 12 回生コン技術大会研究発表論文集, pp.113-pp.118, 2003.4
- 2) 浅野幸男, 水野 治, 澤田英真, 四宮智規; 空気室圧力方法による, 仕上げ面の高さが試験値に及ぼす影響, 岐阜県生コンクリート工業組合 第 7 回技術研究発表会研究発表論文集, pp.74-pp.79, 1994.3
- 3) 岐阜県恵那生コンクリート協同組合 技術委員会; 空気室圧力方法 (JIS A 1128) における注水法と無水法の測定値について, 岐阜県生コンクリート工業組合 第 7 回技術研究発表会研究発表論文集, pp.80-pp.89, 1994.3
- 4) 全国生コンクリート工業組合連合会: 生コンクリート工場における単位水量管理指針の策定に関する調査研究, 平成 18 年度セメント協会委託研究報告書