

**JAB NOTE 7**  
**不確かさの求め方**  
**-ふるい分け試験における粗粒率-**



制定日：2009年6月29日

**財団法人 日本適合性認定協会**

## 目 次

1 . 目的 .....	3
2 . 適用範囲 .....	3
3 . 定義 .....	3
4 . ふるい分け試験方法の概要 .....	4
5 . 粗粒率の計算例 .....	4
6 . 粗粒率の不確かさの必要性 .....	5
7 . ふるい分け試験の不確かさの要因 .....	5
8 . 粗粒率の不確かさ(I) 各ふるいの間にとどまる骨材の質量を測定する場合 .....	6
8.1 粗粒率を求める一般式 .....	6
8.2 粗粒率の不確かさの計算 .....	7
8.3 不確かさの評価例 .....	7
8.4 粗粒率の不確かさの計算例 .....	9
9 . 粗粒率の不確かさ(II) 各ふるいにとどまる骨材の質量(累計)を測定する場合 .....	10
9.1 粗粒率を求める一般式 .....	10
9.2 粗粒率の不確かさの計算 .....	10
9.3 不確かさの評価例 .....	10
参考1 質量測定の不確かさ $U(M_i)$ に一定値を用いる場合 .....	14
謝辞 .....	14
参考文献 .....	14

## 不確かさの求め方 - ふるい分け試験における粗粒率 -

### 1. 目的

コンクリートに用いる骨材のふるい分け試験には、JIS A 1102:2006 [1]が用いられている。試験結果は、各ふるいの間にとどまる骨材の質量分率などにより、骨材の粒度分布を表す方法が行われているが、骨材の粗さを表す単一のパラメータとして「粗粒率」が用いられることがある。ふるい分け試験における測定の不確かさについては、財団法人日本建築総合試験所による報告書[2]があるが、ここでは粗粒率の不確かさの求め方について検討した結果を報告し、ふるい分け試験を行う試験所及び審査員の参考に供する。

### 2. 適用範囲

本文書は、ISO/IEC 17025 (JIS Q 17025) [3]に基づく認定を受ける試験所が、骨材のふるい分け試験を行う場合に、粗粒率の不確かさを求めるために使用される。

### 3. 定義

本文書に使用される用語の定義は、次にあげるもののほか、参考文献[1]、[4]、[5]による。

#### 3.1 連続する各ふるいの間にとどまる質量分率

ふるい分け後の全試料質量に対する質量分率(%)を計算し、四捨五入して整数に丸める。(以下略)

注 連続する各ふるいの間にとどまる質量分率(%)の総和が 100 %とならない場合は、最も大きい質量分率を加減して調整する。(JIS A 1102 6.1)

#### 3.2 各ふるいにとどまる質量分率

対象とするふるい及びそれよりふるい目(目開き)が大きいすべてのふるいの連続する各ふるいの間にとどまる質量分率(%)の累計を、そのふるいにとどまる質量分率とする。(JIS A 1102 6.2)

#### 3.3 粗粒率

80 mm, 40 mm, 20 mm, 10 mm, 5 mm, 2.5 mm, 1.2 mm, 0.6 mm, 0.3 mm, 0.15 mm の各ふるいにとどまる質量分率(%)の和を 100 で除して四捨五入によって小数点以下 2 桁に丸めて表示する。(JIS A 1102 6.4)

注 1 ここにあげたふるいの寸法は、呼び寸法であり、JIS Z 8801-1[6]に規定する金属製網ふるいの公称目開きに対応する。

注 2 粗粒率(fineness modulus)の量記号は、JIS A 1102 には定められていない。関係業界では、FM または F.M.が使用されているので、本文書では、*FM*を用いる。

#### 4. ふるい分け試験方法の概要

JIS A 1102:2006 [1]より抜粋して、概要を示す。

試料：試料の採取（縮分）、試料の乾燥（105 ± 5）、試験に必要な試料の質量が規定されている。

測定：連続する各ふるいの間、及び受け皿にとどまる骨材の質量を、細骨材は 0.1 g、粗骨材は 1 g まで測定する。

（各ふるいの間、受け皿にとどまる骨材の質量の総和は、ふるい分け前に測定した試料質量と 1% 以上異なってはならない、など、ふるい分け方法や条件が規定されている。）

試験結果の報告：次の事項（JIS には、ここにあげた他にもある）のうち、必要なものを記載する。

- 連続する各ふるいの間にとどまる質量分率
- 各ふるいにとどまる質量分率
- 粗粒率

#### 5. 粗粒率の計算例

表 1 に、骨材のふるい分け試験の実測値の例を示す。

表 1 骨材のふるい分け試験の実測例

ふるいの呼び寸法 (mm)	各ふるいの間にとどまる骨材の質量 (g)		各ふるいにとどまる骨材の質量 (g)		各ふるいの間にとどまる骨材の質量分率 (%)		各ふるいにとどまる骨材の質量分率 (%)		
	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材	
25	-	0	-	0	-	-	0	-	0
20	-	307.4	-	307.4	-	-	8	-	8
10	0	2199.4	0	2506.8	0	0	55	0	63
5	18.7	1247.2	18.7	3754.0	4	4	31	4	94
2.5	62.2	166.4	80.9	3920.4	12	12	4	16	98
1.2	90.4	-	171.3	3920.4	18	18	-	34	98
0.6	122.5	-	293.8	3920.4	24	24	-	59	98
0.3	141.9	-	435.7	3920.4	28	29	-	87	98
0.15	32.5	-	468.2	3920.4	7	7	-	94	98
受け皿	32.1	80.2	500.3	4000.6	6	6	2	-	-
合計					99	100	100	294	655

細骨材の質量分率は、丸めを行うと合計が 100% にならないので、JIS A 1102 に従って調整を行っている。

粗粒率 *FM* は、質量分率を用いて定義されているが、質量測定値から直接求めても同じである。ただし、質量分率の丸め及び調整を行うと、差が生じることがある。

細骨材の粗粒率の計算例

質量分率から  $FM = (4+16+34+59+87+94)/100 = 2.94$

質量から  $FM = (18.7+80.9+171.3+293.8+435.7+468.2)/500.3 = 2.94$

粗骨材の粗粒率の計算例

質量分率から  $FM = (8+63+94+98+98+98+98)/100 = 6.55$

質量から  $FM = (307.4+2506.8+3754.0 + 3920.4+3920.4+3920.4+3920.4+3920.4)/4000.6 = 6.54$

**6 . 粗粒率の不確かさの必要性**

粗粒率の許容値を指定している規格の例を表 2 に示す。試験所は、顧客の要求がある場合などは、試験結果の不確かさを示す必要がある。

表 2 粗粒率の変化の許容値（契約又は指定された値に対して）の例

JIS A 5002:2003	構造用軽量コンクリート骨材	軽量粗骨材	± 0.30
	同	軽量細骨材	± 0.15
JIS A 5005:1993	コンクリート用砕石及び砕砂		± 0.15
JIS A 5011-3:2003	コンクリート用スラグ骨材 - 第 3 部：銅スラグ骨材		± 0.20
JIS A 5021:2005	コンクリート用再生骨材 H		± 0.20

**参考 ISO/IEC 17025:2005 (JIS Q 17025:2005)**

<p>5.4.6.2 試験所は、測定の不確かさを推定する手順をもち、適用すること。(以下略)</p> <p>5.10.3.1 5.10.2 の要求事項に加え、試験結果の解釈のために必要な場合、試験報告書は次の事項を含むこと。</p> <p>c) 適用可能な場合、推定された測定の不確かさに関する表明。試験報告書中の不確かさに関する情報は、試験結果の有効性又は利用に関係する場合、顧客の指示によって要求される場合、若しくは不確かさが仕様の限界への適合性に影響する場合に必要とされる。</p>
--

**7 . ふるい分け試験の不確かさの要因**

報告書[2]では、ふるい分け試験の測定の不確かさについて、次の要因をあげている。

- 測定機器
  - ふるい 校正、目開き
  - はかり 校正、量子化
  - 時計 校正、読取り
- 試験環境 大気圧、温度、湿度
- 試験体 硬さ、均質性、サンプリング、粒度
- 搬入状況 代表性、量、乾湿、よごれ
- 測定者 知識、熟練度、測定器の取扱い、ふるい作業、縮分作業

これらのうち、報告書[2]で実際に評価しているのは、電子はかりの校正及び量子化、サブサンプリング、測定者の違い、繰返し測定である。測定者の違いと繰返し測定については、実測により標準偏差を求めている。この場合、同一のサブサンプリングした試

料について繰返し測定を行っているので、ふるい分けにより骨材が破碎され、試験を繰返すうちに、細かい骨材の割合が増える現象が観測されている。

本文書では、電子はかり、測定者の違い及び繰返し測定の不確かさを評価し、粗粒率の不確かさを算出する方法を示す。骨材のロットからのサンプリングは試験の依頼者である顧客が行い、試験所は持ち込まれた試料からサブサンプリングを行って、JIS A 1102に従ってふるい分け試験を行うものとする。質量測定の繰返しは新たな試料について行っており、サブサンプリングの影響は繰返し測定に含まれることになる。このほかに、ふるいの目開きの大きさの変化が粗粒率試験の不確かさに影響を与える場合があるが、ふるい目の校正は実用的でなく、試験所の管理に任されている現状であり、本文書では取り挙げない。

また、JIS A 1102 5. f)では、各ふるいに留まるものが多い場合には、一定の質量以下になるように分割して試験を行うことが規定されている。この場合、粗粒率及びその不確かさの計算に、分割した影響を考慮する必要がある。

**8 . 粗粒率の不確かさ(I) 各ふるいの間にとどまる骨材の質量を測定する場合**

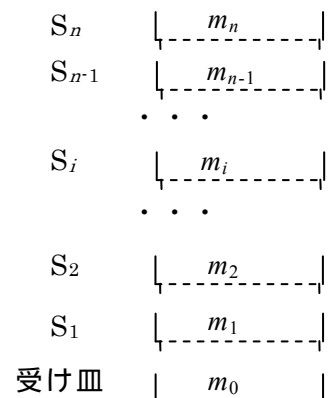
**8.1 粗粒率を求める一般式**

ふるい分け試験の計算の説明を、表 3 に示す。

以下のように、記号を用いる。

- ・ふるい 細かい順に  $S_1, S_2, \dots, S_n$
- ・骨材がとどまる最大の目開きのふるい  $S_n$   
(表 1 の例では、細骨材  $n = 6$ 、粗骨材  $n = 8$ )
- ・ふるい  $S_i$  と  $S_{i+1}$  の間にとどまる骨材の質量  $m_i$  ( $i > 0$ )
- ・受け皿にとどまる骨材の質量  $m_0$

・骨材の総質量  $M$   $M = \sum_{i=0}^n m_i$



粗粒率  $FM$  は次式で与えられる。

$$FM = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=i}^n m_j \right) \right\}}{M} = \frac{\sum_{i=1}^n i m_i}{M} = \frac{\sum_{i=1}^n i m_i}{\sum_{i=0}^n m_i} \tag{1}$$

表 3 ふるい分け試験の計算例（細骨材  $n = 6$ 、粗骨材  $n = 8$ ）

i	ふるい	呼び寸法 (mm)	$S_i$ と $S_{i+1}$ の間にとどまる骨材の質量		$S_i$ を通過しない骨材の質量（累計）	
			細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材
		25	-	0	-	0
8	$S_8$	20	-	$m_8$	-	$m_8$
7	$S_7$	10	0	$m_7$	0	$m_8 + m_7$
6	$S_6$	5.0	$m_6$	$m_6$	$m_6$	$m_8 + m_7 + m_6$
5	$S_5$	2.5	$m_5$	$m_5$	$m_6 + m_5$	$m_8 + m_7 + m_6 + m_5$
4	$S_4$	1.2	$m_4$	-	$m_6 + m_5 + m_4$	$m_8 + m_7 + m_6 + m_5$
3	$S_3$	0.6	$m_3$	-	$m_6 + m_5 + m_4 + m_3$	$m_8 + m_7 + m_6 + m_5$
2	$S_2$	0.3	$m_2$	-	$m_6 + m_5 + m_4 + m_3 + m_2$	$m_8 + m_7 + m_6 + m_5$
1	$S_1$	0.15	$m_1$	-	$m_6 + m_5 + m_4 + m_3 + m_2 + m_1$	$m_8 + m_7 + m_6 + m_5$
0	受け皿		$m_0$	$m_0$		

注 1 使用するふるいの目開きの組合せは、骨材の種類により異なり、規格で指定されている。JIS A 1102 で粗粒率の定義に用いられている目開きと、各規格で指定している目開きの組合せは、必ずしも一致していない。

注 2 粗骨材の場合は、目開きの小さいふるい(表 3 の例では  $S_1 \sim S_4$ )は使用しない。使用する最小の目開きのふるい ( $S_5$ ) を通過し、受け皿にとどまる骨材の質量を  $m_0$  として総質量を計算する。

### 8.2 粗粒率の不確かさの計算

質量の測定値  $m_i$  の不確かさから、粗粒率の不確かさを計算する場合を考える。

粗粒率の式(1)から、GUM[5]に従って、感度係数  $c_i$  を求める。

(除算の微分の公式  $(f/g)' = (f'g - fg')/g^2$  を用いる。)

$$c_i = \frac{\partial(FM)}{\partial m_i} = \frac{i \left( \sum_{i=0}^n m_i \right) - \sum_{i=1}^n i m_i}{\left( \sum_{i=0}^n m_i \right)^2} = \frac{i - FM}{M} \quad (2)$$

粗粒率  $FM$  の標準不確かさ  $u(FM)$  は、次式となる。

$$u^2(FM) = \sum_{i=0}^n c_i^2 u^2(m_i) = \frac{\sum_{i=0}^n (i - FM)^2 u^2(m_i)}{M^2} \quad (3)$$

ここに、 $u(m_i)$  は、 $m_i$  の標準不確かさである。

### 8.3 不確かさの評価例

ここでは、ふるい分け試験の繰返し性を評価するために、サンプリング、ふるい分け、質量測定を含めて繰返しを 10 回行った実測例を表 4 に示す。また、同様な方法で、試験者 5 名(A ~ E)で各 1 回測定を行った例を表 5 に示す。

各ふるいについて、表 5 の標準偏差は、繰返しを含んでいるはずであるが、表 4 の標準偏差の方が大きくなっている場合もある。試験者による違いを繰返し性と分離して求める場合は、9.3 に示すように、各試験者について複数回測定を繰返し、分散分析を行う必要がある。

ここでは、表 5 の試験者による違いのデータを用いて不確かさを求めることとし、その計算結果を表 6 に示す。電子はかりによる質量測定の不確かさ（電子はかりの校正、経時変化など）は、質量に依らず一定として扱っている。電子はかりの不確かさは、実際は、この例より小さな数値になる場合があると考えられる。

表 5 のデータの平均値は、

$$\text{総質量 } M = 500.3 \text{ g}$$

$$\text{粗粒率 } FM = 2.924$$

である。なお、以下に示す数値は、表計算ソフトを用い、計算途中はまるめを行わずに計算を行い、最終結果をまるめて表示しているため、表に現れた数字で部分的に計算した結果と一致しない場合がある。また、表 4、表 5 においては、粗粒率は小数点以下 3 桁まで表示している。

表 4 ふるい分け試験の繰返しの実測例（細骨材）

ふるい	呼び寸法 (mm)	各ふるいの間にとどまる骨材の質量(g)										標準偏差 (g)
		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
S <sub>7</sub>	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
S <sub>6</sub>	5.0	20.3	20.1	17.3	15.5	21.6	19.3	17.0	16.9	19.0	19.6	1.90
S <sub>5</sub>	2.5	61.7	61.7	63.0	64.4	59.8	61.9	63.9	63.9	61.4	60.7	1.51
S <sub>4</sub>	1.2	89.4	89.7	89.0	88.8	93.3	89.4	91.8	90.9	90.6	90.7	1.40
S <sub>3</sub>	0.6	122.2	121.4	126.1	125.0	121.8	121.0	122.6	124.1	120.3	120.5	1.96
S <sub>2</sub>	0.3	141.0	140.1	142.7	142.8	140.5	142.6	138.1	141.2	146.4	144.0	2.30
S <sub>1</sub>	0.15	35.7	36.8	30.5	30.3	32.1	34.4	33.0	29.5	30.5	32.6	2.46
受け皿		31.1	31.2	30.2	31.5	32.5	32.7	33.2	32.9	32.6	32.7	0.99
総質量		501.4	501.0	498.8	498.3	501.6	501.3	499.6	499.4	500.8	500.8	1.18
粗粒率 FM		2.936	2.932	2.945	2.932	2.951	2.923	2.934	2.941	2.931	2.927	0.008



表5 ふるい分け試験の試験者による違いの実測例（細骨材）

ふるい	呼び寸法 (mm)	各ふるいの間にとどまる骨材の質量(g)					標準偏差(g)
		A	B	C	D	E	
S <sub>7</sub>	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
S <sub>6</sub>	5.0	17.4	16.6	17.2	19.3	17.8	1.01
S <sub>5</sub>	2.5	63.4	65.2	63.3	61.3	62.7	1.41
S <sub>4</sub>	1.2	85.9	92.0	91.6	91.0	85.8	3.13
S <sub>3</sub>	0.6	125.5	118.6	120.2	119.6	127.2	3.86
S <sub>2</sub>	0.3	141.7	143.4	140.5	144.5	140.5	1.78
S <sub>1</sub>	0.15	33.3	33.4	33.2	31.3	34.0	1.02
受け皿		33.6	31.6	33.4	32.9	32.5	0.80
総質量		500.8	500.8	499.4	499.9	500.5	0.61
粗粒率 <i>FM</i>		2.912	2.935	2.925	2.931	2.917	0.010

表6 各ふるいにとどまる骨材の質量測定値の不確かさ計算例（細骨材）

不確かさの要因	標準不確かさ (g)						
	S <sub>6</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	受け皿
電子はかり	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
試験者による違い（繰返しを含む）	1.01	1.41	3.13	3.86	1.78	1.02	0.80
合成標準不確かさ $u(m_i)$	1.20	1.55	3.20	3.91	1.90	1.21	1.03

#### 8.4 粗粒率の不確かさの計算例

個々のふるいの間にとどまる質量の不確かさ  $u(m_i)$  から、式(3)を用いて、粗粒率の不確かさが求められる。 $u(m_i)$  には、単に電子はかりによる質量測定の不確かさだけでなく、サンプリング及びふるい分けの繰返しなども含む方法が用いられることがある。

表6の  $u(m_i)$  を使用すると、式(3)による粗粒率の拡張不確かさ  $U(FM)$  は、包含係数  $k=2$  を用いることとして、

$$U(FM) = 0.029 \quad (k=2)$$

となる。

しかし、ふるい分けの繰返しのデータには相関があると考えられる。例えば、総質量が一定なら、あるふるいの間にとどまる骨材の質量が増えると、他のふるいの分は減ることになり、負の相関が生ずる。

相関係数の計算はやや煩雑であり、このような場合は、粗粒率  $FM$  の標準偏差をそのまま標準不確かさとし、これに電子はかりの不確かさの寄与分を合成すればよい。ちなみに、相関係数を求めて計算すると、 $FM$  の標準偏差から求めたのと同じ結果が得られる。電子はかりの不確かさは、式(3)を用いて粗粒率の不確かさに換算できるが、表6のように一定値として扱う場合は、式(5)を用いることができる。

その結果は、表7に示すように、

$$U(FM) = 0.023 \quad (k=2)$$

となる。

表7 粗粒率  $FM$  の不確かさ計算例 (細骨材)

不確かさの要因	標準不確かさ
電子はかり	0.007
試験者による違い (繰返しを含む)	0.010
合成標準不確かさ $u(FM)$	0.012
拡張不確かさ $U(FM)$ ( $k=2$ )	0.023

## 9. 粗粒率の不確かさ(II) 各ふるいにとどまる骨材の質量 (累計) を測定する場合

ふるい分け試験を行う場合、ふるいの間にとどまる骨材の質量を測定して測定値を累計するのではなく、ふるい分けた骨材を順番に容器にためて、累計質量を直接測定する方法も用いられている。

### 9.1 粗粒率を求める一般式

各ふるいの間にとどまる骨材を、順番に容器に加えながら、各ふるいにとどまる骨

材の質量 (累計)  $M_i$  を測定する。 ( $M_i$  は、式(1)の  $\sum_{j=i}^n m_j$  に対応する。)

総質量を測定し、その値を  $M_0$  とすると、粗粒率  $FM$  は次式で与えられる。

$$FM = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{M_0}$$

### 9.2 粗粒率の不確かさの計算

感度係数  $c_i$  を求める。

$$c_i = \frac{\partial(FM)}{\partial M_i} = \frac{1}{M_0} \quad (i \neq 0)$$

$$c_0 = \frac{\partial(FM)}{\partial M_0} = -\frac{\sum_{i=1}^n M_i}{M_0^2} = -\frac{FM}{M_0}$$

粗粒率  $FM$  の不確かさは、次式となる。

$$u^2(FM) = \sum_{i=0}^n c_i^2 u^2(M_i) = \frac{(FM)^2 u^2(M_0) + \sum_{i=1}^n u^2(M_i)}{M_0^2} \quad (4)$$

ここに、 $u(M_i)$  は、 $M_i$  の標準不確かさである。

### 9.3 不確かさの評価例

この例では、試験者間の違いがあるかどうかを明らかにするため、3人の試験者がそれぞれ10回づつのふるい分け試験を行った。そのデータから粗粒率を求めた結果を表8に示す。

ここでも、粗粒率の不確かさは、個々の質量測定値のばらつきから式(4)を用いて評

価するのではなく、粗粒率の計算値のばらつきから求めることにする。

表 8 細骨材のふるい分け試験による粗粒率の測定例

No.	試験者		
	A	B	C
1	3.12	3.11	3.10
2	3.10	3.07	3.09
3	3.10	3.11	3.08
4	3.09	3.07	3.09
5	3.11	3.11	3.08
6	3.08	3.12	3.10
7	3.09	3.10	3.09
8	3.13	3.10	3.11
9	3.09	3.12	3.09
10	3.10	3.09	3.09

例えば、Microsoft Excel の分析ツールを利用すれば、分散分析を簡単に実行できる。表 8 のデータを用いて一元配置の分散分析を行った結果を図 1 に示す。ここで、有意水準  $\alpha = 0.05$  とした。ここで、「標準偏差」と「分散の期待値」の欄は、Excel の分析ツールの出力にはなく、参考のために付け加えたものである。分散の平方根が標準偏差である。

図 1 Microsoft Excel による表 8 のデータの分散分析の結果

分散分析：一元配置							
概要							
グループ	標本数	合計	平均	分散	標準偏差		
A	10	31.01	3.101	0.000232	0.015		
B	10	31.00	3.101	0.000333	0.018		
C	10	30.92	3.092	0.000084	0.009		
分散分析表							
変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値	分散の期待値
グループ間	0.000487	2	0.000243	1.123077	0.340003	3.354131	$\sigma_e^2 + N\sigma_A^2$
グループ内	0.005850	27	0.000217				$\sigma_e^2$
合計	0.006337	29					

ここで、グループは試験者、グループ間は試験者間などと読み替える。観測された分散比(グループ間の分散とグループ内の分散の比  $F_0$ )が  $F$ (境界値)より小さい(あるいは P-値が 0.05 より大きい)ので、表 8 の例では、グループ間の差は有意とは言えない。ちなみに、P-値は、第 1 自由度が 2、第 2 自由度が 27 の F 分布において、 $F$  値が観測された分散比  $F_0$  より大きいときに対応する確率である。

分散の期待値の欄の、 $\sigma_e^2$  は誤差分散、 $\sigma_A^2$  は試験者間分散、 $N$  は繰返しの数である。グループ間の分散を  $V_A$ 、グループ内の分散を  $V_e$  とすると、それぞれの不確かさ  $u_A$ 、 $u_e$  は、次のように求められる。

1) 試験者による違い

$$u_A = \sigma_A = \sqrt{\frac{V_A - V_e}{N}} = \sqrt{\frac{0.000243 - 0.000217}{10}} = 0.00163$$

2) 繰返し

$$u_e = \sigma_e = \sqrt{V_e} = \sqrt{0.000217} = 0.0147$$

この例における試験者による違いの不確かさ成分は、繰返しに比べて1桁小さく、無視してもよいことがこの計算からも分かる。

3) 質量測定の不確かさ

質量測定の不確かさは、はかりの校正の不確かさ、分解能、はかりの経時変化、環境（温度・気圧・湿度）の影響（浮力の補正、はかりの温度係数）などがあげられる。電子はかりの場合は、校正場所と使用場所の重力加速度の違いも影響する。ただし、ふるい分け試験は、高精度な質量測定が要求されるものではないので、通常は無視できる場合が多い。

図2 はかりの校正証明書の場合

校正証明書		
種類	単目量はかり	
仕様		
	ひょう量	1200 g
	目量	0.1 g
計量範囲	0 ~ 1200 g	
偏差	$W = -1.52 \times 10^{-6} \times \langle \text{計量値} \rangle$	
拡張不確かさ	$U = 0.082 \text{ g} + 1.01 \times 10^{-6} \times \langle \text{計量値} \rangle$	
	公称値 g	偏差 g
	300.0	0.00
	600.0	0.00
	900.0	0.00
	1200.0	0.00
備考 1)	拡張不確かさは、包含係数 $k=2$ とした。	
備考 4)	校正はユーザー所有の分銅（1 kg）で感度調整を行った後に実施した。	
備考 6)	温度変動効果の不確かさは、以下の条件で見積もった。	
	使用場所の温度変動幅 ±2	
	はかりの温度係数 5 ppm/	
	(一部省略)	

はかりの校正の不確かさは、はかりの校正証明書から見積もることができる。標準不確かさは、拡張不確かさを包含係数  $k$  で割って求める。

図 2 に、はかりの校正証明書における不確かさの記述例を示す。

はかりの分解能は、繰返し測定に含まれていると考えられる。はかりの不確かさの影響は、全体の不確かさに比べて小さいので、はかりの経時変化は無視する。環境(温度)の影響は、上記校正証明書の温度係数の値から、無視してよいことがわかる。

質量標準の不確かさは、測定する質量の値によって変わるが、この例では一定値として扱ってよい。その場合には、参考 1 の方法を用いることもでき、その方が簡単である。

表 9 に、各ふるいにとどまる質量の累計の測定値(試験者の平均値)から粗粒率の不確かさ成分を求める計算を示す。質量測定の不確かさから、式(4)を用いて粗粒率の不確かさを算出する。感度係数は、次のように求められる。

$$c_i = (1/M_0) = 1/(533.6 \text{ g}) = 0.00187 \text{ g}^{-1} \quad (i = 1 \sim 5)$$

$$c_0 = -\sum_{i=1}^n M_i / M_0^2$$

$$= -(101.0+221.7+311.8+373.9+516.2)\text{g}/(533.6 \text{ g})^2 = -0.00535 \text{ g}^{-1}$$

粗粒率の標準不確かさ(成分)  $u(FM)_i$  は、質量測定の標準不確かさ  $u(M_i)$  に、感度係数の絶対値  $|c_i|$  を掛けて求められる。

表 9 質量測定の不確かさによる粗粒率の不確かさ

$i$	ふるいの公称目開き (mm)	各ふるいに留まる質量の累計 (g) (試験者の平均)	質量測定の標準不確かさ (g)	感度係数 ( $\text{g}^{-1}$ )	粗粒率の標準不確かさ
6	4.75	0.0	—	—	—
5	2.36	101.0	0.045	-0.00187	0.00009
4	1.18	221.7	0.045	-0.00187	0.00009
3	0.60	311.8	0.045	-0.00187	0.00009
2	0.30	373.9	0.045	-0.00187	0.00009
1	0.15	516.2	0.045	-0.00187	0.00009
0	受け皿	533.6	0.045	0.00535	0.00024
合成標準不確かさ					0.00031

#### 4) 粗粒率の不確かさバジェット表

以上の不確かさ評価をバジェット表にまとめ、合成標準不確かさ及び拡張不確かさを求めると、次のようになる。

表 10 粗粒率の不確かさバジェット表

不確かさの要因	標準不確かさ
試験員の不確かさ	0.0016
繰返しの不確かさ	0.0147
質量測定の不確かさ	0.0003
合成標準不確かさ	0.0148
拡張不確かさ $U(FM)$ ( $k = 2$ )	0.030

### 参考 1 質量測定の不確かさ $u(m_i)$ に一定値を用いる場合

ふるい分けの繰返し性や試験者による違いは、ふるいの寸法にあまり依らないので、 $u(m_i)$  を一定値（各不確かさ成分を最大値で置き換えた値）として扱う方法が用いられることがある。実際は、 $u(m_i)$  またはその成分は、 $m_i$  によってかなり大きさが異なるので、 $u(FM)$  の過大評価になるが、計算が簡単になる。

式(3)で、 $u(m_i) = u(m)$  とする。

$$u^2(FM) = \left[ \frac{u(m)}{M} \right]^2 \sum_{i=0}^n (i - FM)^2 = \left[ \frac{u(m)}{M} \right]^2 C^2$$

$$C^2 \equiv \sum_{i=0}^n (i - FM)^2 = (n+1) \left[ (FM)^2 - nFM + \frac{n(2n+1)}{6} \right] \quad (5)$$

$$u(FM) = \left[ \frac{u(m)}{M} \right] C \quad (6)$$

式(5)の数値例を示す。

$$\text{細骨材 } n = 6, FM = 2.92 \quad C = 5.30$$

$$\text{粗骨材 } n = 8, FM = 6.54 \quad C = 10.87$$

### 謝辞

相関がある場合の取り扱い、分散分析を行うデータがない場合の取り扱いなどについて、独立行政法人産業技術総合研究所 計測標準研究部門 田中秀幸氏にアドバイスをいただいた。

本文書の実測例の数値は、株式会社サンゼン殿及び岡山県南生コンクリート技術センター殿に提供していただいた。

### 参考文献

- [1] JIS A 1102:2006 骨材のふるい分け試験方法
- [2] 工業標準化法 JNLA 制度における測定の不確かさ推定及び技能試験用試料開発に係る調査研究成果報告書【JIS A 1102 「骨材のふるい分け試験方法」】、財団法人日本建築総合試験所 平成 18 年 2 月（独立行政法人製品評価技術基盤機構のウェブサイトから入手できる <http://www.nite.go.jp/>）
- [3] ISO/IEC 17025: 2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (JIS Q 17025-2005 試験所及び校正機関の能力に関する一

般要求事項)

- [4] ISO/IEC Guide 99: 2007 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) (国際計量用語集、翻訳作業中)
- [5] ISO/IEC Guide 98-3:2008 Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995), 日本語訳「計測における不確かさの表現のガイド」 日本規格協会, 1996
- [6] JIS Z 8801-1:2006 試験用ふるい 第1部：金属製網ふるい

文書内容の検討は、JABのコンクリート・土質関係審査員連絡会で行った。

審査員

伊藤康司、川尻伸治、木村博則、柴田東、鈴木一雄、辻本一志、寺石文雄、富田百合男、野尻拓男、平井渉、三上武子、岩田英夫

JAB事務局

高橋千晴、保坂守男、植松慶生

以上

財団法人 日本適合性認定協会

〒141-0022 東京都品川区東五反田 1 丁目 22-1

五反田 AN ビル 3F

Tel.03-3442-1217 Fax.03-5475-2780

本協会に無断で記載内容を引用、転載及び複製することを固くお断りいたします。