

第12回不確かさクラブ総会

地盤材料試験における 技能試験と不確かさ評価の現状と課題

2018年1月22日

KG&E 協同組合関西地盤環境研究センター
顧問 澤 孝 平

1

自己紹介

<略歴>

- 1943年: 滋賀県に生まれる(現在74歳)
- 1967年: 京都大学大学院修了ー工学研究科・修士課程・土木工学専攻
- 京都大学・明石高専に勤務ー助手・講師・助教授・教授
- 2006年: (協)関西地盤環境研究センターに勤務ー所長・専務理事
- 2009年: 同センター顧問(現在に至る)

<専門>

- ◇ 土木工学: 土質工学・地盤工学・環境地盤工学
- ◇ 学位: 工学博士(1982年・京都大学より)
(論文題目)マサ土の粒子破碎特性とその石灰安定処理に関する基礎的研究

<所属学会>

地盤工学会・土木学会・日本材料学会ほか

KG&E 澤

2

内 容

1. 地盤材料とその試験

- 1-1 地盤材料
- 1-2 地盤構造物の破壊と地盤材料試験
- 1-3 地盤材料の調査と試験

2. 不確かさ評価と技能試験の現状

- 2-1 不確かさ評価の現状
- 2-2 技能試験の現状

3. 不確かさ評価と技能試験の課題

- 3-1 試験結果のばらつきの取り扱い
- 3-2 地盤材料の均質性の試験結果への影響
- 3-3 試験結果の信頼性評価のインセンティブと意義・目的・効果

KG&E 澤

3

1. 地盤材料とその試験

1-1 地盤材料

地盤材料	岩石質材料	ボルダー……300 mm以上 コブル……300～75 mm
	土質材料	礫……75～2 mm 砂……2 mm～75 μm シルト……75～5 μm 粘土……5 μm以下

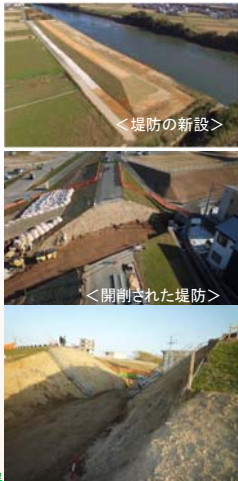


KG&E 澤

4

1-2 地盤構造物の破壊と地盤材料試験

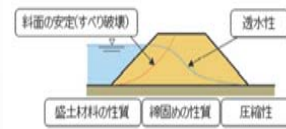
【1】河川堤防・ダム・ため池堤防



<2013年東日本大震災・阿武隈川堤防の被害>
(http://k-keikaku.or.jp/cc/modules/pc_ktech/index.php?content_id=2103)



<2014年11月・由良川堤防の沈下>
・9月27日より施工中(延長約200m、高さ約50m)
・11月21日夕方～22日朝、延長約70mに渡り最大6m沈下



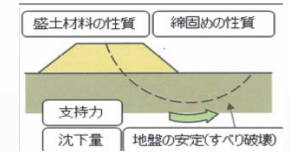
- ・物理試験
(含水比・土粒子密度・粒度など)
- ・締固め試験
(最適含水比・密度など)
- ・一軸圧縮試験・三軸圧縮試験
(強度・変形性など)
- ・透水試験
(水の通りやすさ)

5

【2】盛土・切土の斜面(道路や宅地造成地)



<2009年8月静岡県沖地震により東名高速牧の原地区盛土斜面崩壊>
(http://www.hido.or.jp/djvrousel_backnumber/2009data/0911/0911tokushu-toumei-saigaitaiou.pdf)



- ・物理試験
(含水比・土粒子密度など)
- ・締固め試験
(最適含水比・密度など)
- ・一軸圧縮試験・三軸圧縮試験
(強さ・変形性など)
- ・圧密試験
(圧縮ひずみなど)

6

【3】地盤の液状化



1965年新潟地震・新潟市
(<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%B6%B2%E7%8A%B6%E5%8C%96%E7%8F%B8%E8%B1%A1>)



1995年阪神淡路大震災:
ポートアイランド港島小学校
(<http://kobe117shinsai.jp/search/?p=27>)



2011年東日本大震災・小千谷市
(<https://matome.naver.jp/odai/2130201571270575401/2130201586870581403>)



- ・液状化試験
(繰返し非排水三軸試験)
- ・動的変形試験
(繰返し三軸試験)

7

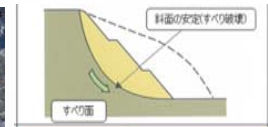
【4】自然斜面・切土の崩壊



2011年台風12号による大規模斜面崩壊(和歌山県)
(<http://www.aikis.or.jp/~shisu/houkai-houdo-typhoon12/ty12-houkai-houdo.htm>)



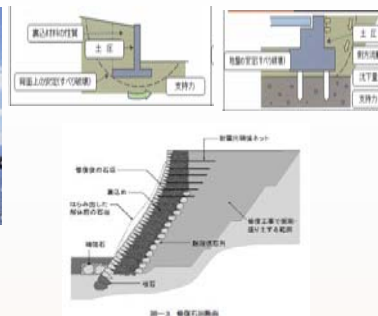
2016年熊本地震阿蘇大橋付近斜面大崩壊
(<https://www.nikkei.com/news/image-article/>)



- ・物理試験
(含水比・土粒子密度など)
- ・一軸圧縮試験・三軸圧縮試験
(強さ・変形性など)
- ・超音波速度試験

8

【5】擁壁・石積み・高架構造物の崩壊



- ・物理試験
- ・一軸圧縮試験
- ・三軸圧縮試験
- ・圧密試験

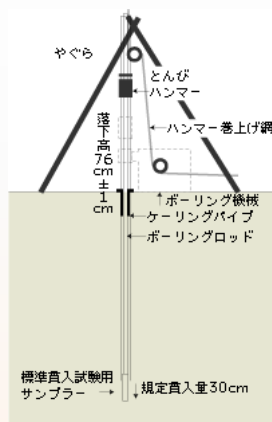
【6】地盤沈下



- ・物理試験
- ・圧密試験

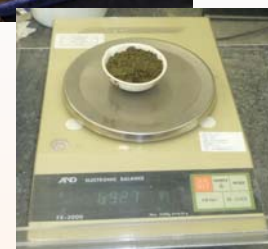
1-3 地盤材料の調査と試験

【1】ボーリング・標準貫入試験



【2】土中の水分の試験

含水比試験 (JIS A 1203)
液性限界・塑性限界試験 (JIS A 1205)



【3】粒度試験 (JIS A 1204)

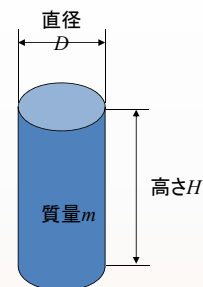


ふるい分け試験



沈降分析

【4】湿潤密度試験 (JIS A 1225)



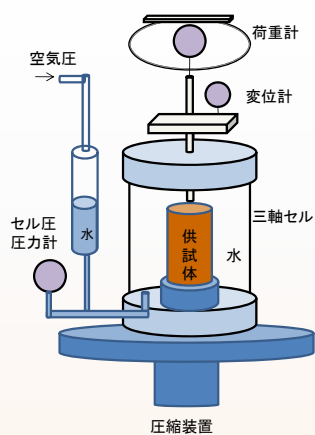
$$\text{湿潤密度: } \rho_t = \frac{4m}{\pi D^2 H} \quad (\text{g/cm}^3)$$



【5】一軸圧縮試験 (JIS A 1216)



【6】三軸圧縮試験



【7】圧密試験 (JIS A 1217)



【8】締固め試験 (JIS A 1210)



2. 不確かさ評価と技能試験の現状

2-1 不確かさ評価の現状と実施例

2-1-1 試験所認定と不確かさ評価

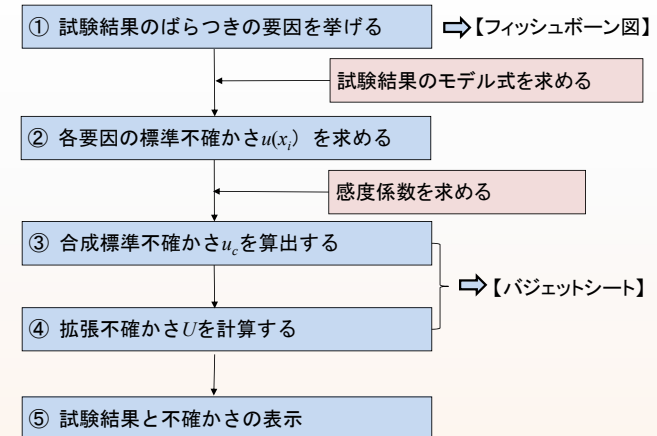
➤ 現在、地盤材料試験において「ISO 17025の試験所認定」を受けている機関は3機関のみである。

- ・JIS A 1202 土粒子の密度試験(2機関)
- ・JIS A 1203 含水比試験(3機関)
- ・JIS A 1204 粒度試験(2機関)
- ・JIS A 1205 液性限界・塑性限界(1機関)
- ・JIS A 1210 突き固めによる締固め試験(1機関)
- ・JIS A 1216 一軸圧縮試験(3機関)
- ・JIS A 1217 圧密試験(1機関)
- ・JIS A 1225 土の密度試験(3機関)

⇒ 不確かさ評価はほとんど実施されていない。

2-1-2 地盤材料試験の不確かさ評価例

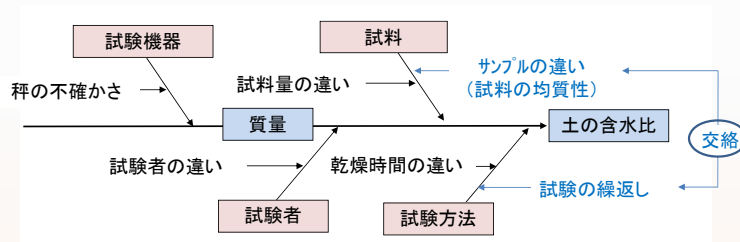
➤ 不確かさ算出の流れ



【1】土の含水比試験の場合

① 試験結果に及ぼすばらつきの要因

【フィッシュボーン図】



注意

- ・試験結果を求める際のあらゆる条件を検討し、不確かさに与える影響が少ないと判断できる要因は、排除してよい。
- ・ここでは試験室の環境（温度・湿度など）は排除している。

【試験結果のモデル式】

モデル式: 試験結果(含水比 w)を求めるための式

$$w = \frac{m_a - m_b}{m_b - m_c} + \varepsilon_{OP} + \varepsilon_{SM} + \varepsilon_{DT} + \varepsilon_{RP(SQ)}$$

m_a, m_b, m_c : (湿潤試料+容器), (乾燥試料+容器)及び容器の質量

ε_{OP} : 試験者の違いによる含水比の違い

ε_{SM} : 試料量の違いによる含水比の違い

ε_{DT} : 乾燥時間の違いによる含水比の違い

$\varepsilon_{RP(SQ)}$: 試験の繰返し(サンプルの違い)による含水比の違い

(注) 秤の不確かさは直接的には、 m_a, m_b, m_c の各質量測定値に関係するため、その測定値の中に含まれる。

② 各要因の標準不確かさ

【秤の不確かさ】

今回使用した秤の標準不確かさは秤の校正表より $u_m = \pm 0.040 \text{ g} (k=2)$

【試験者の違い】

・5名の試験者がサンプルを5個ずつ採取し含水比を求めた試験結果の分散分析より、

- 試験者の違いによる標準偏差: $\sigma_A = 0.3592 \%$
- 試験の繰返し(サンプルの違い)による標準偏差: $\sigma_e = 0.6816 \%$

・ n 回の平均値の標準不確かさは $[u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}]$ である (σ : 標準偏差)。

・含水比試験は1人の試験者が3個のサンプルの平均値により求めるので、

- 試験者の違いによる標準不確かさ: $u_{OP} = 0.3592 \%$
- 試験の繰返し(サンプルの違い)による標準不確かさ: $u_{RP(SQ)} (= 0.6816/\sqrt{3}) = 0.3935 \%$

【試料量の違い】

・試料量を約20g, 40g, 60gと3種類変え、それぞれ5個ずつ採取した含水比の試験結果の分散分析に基づき、試料量1種類の3個のサンプルの平均値による試験結果の標準不確かさは、

- 試料量の違いによる標準不確かさ: $u_{SM} = 0 \%$
- 試験の繰返し(サンプルの違い)による標準不確かさ: $u_{RP(SQ)} = 0.3221 \%$

【乾燥時間の違い】

・乾燥時間を約18時間, 24時間と2種類変え、それぞれ5個ずつの試料に含水比の試験結果の回帰分析(時間のばらつきは一樣分布)に基づき、

乾燥時間の違いによる標準不確かさ: $u_{DT} = 0.1212 \%$

【サンプルの違い(試験の繰返し)に起因する標準不確かさのまとめ】

・試験者、試料量、乾燥時間の違いを検証した試験結果の分散分析を総合すると、全体としては自由度28の変動が11.2200(%²)となる。

∴試験の繰返し(サンプルの違い)による標準不確かさ: $u_{RP(SQ)} = 0.3655 \%$ ($= \sqrt{\frac{11.2200}{28}} \times \frac{1}{\sqrt{3}}$)

③ 合成標準不確かさ u_c と拡張不確かさ U の算出

【合成標準不確かさ】: モデル式に、不確かさの伝播則を適用する。

$$u_c^2(w) = \left(\frac{\partial w}{\partial m_a} \right)^2 \cdot u^2(m_a) + \left(\frac{\partial w}{\partial m_b} \right)^2 \cdot u^2(m_b) + \left(\frac{\partial w}{\partial m_c} \right)^2 \cdot u^2(m_c) + u_{OP}^2(w) + u_{SM}^2(w) + u_{DT}^2(w) + u_{RP(SQ)}^2(w)$$

$u_c(w)$: 含水比の合成標準不確かさ

$u(m_a), u(m_b), u(m_c)$: 秤の校正が原因の m_a, m_b, m_c の標準不確かさ

$u_{OP}(w), u_{SM}(w), u_{DT}(w), u_{RP(SQ)}(w)$: 試験者、試料量、乾燥時間及び試験の繰返し(サンプルの違い)による含水比の標準不確かさ

$\left(\frac{\partial w}{\partial m_a} \right), \left(\frac{\partial w}{\partial m_b} \right), \left(\frac{\partial w}{\partial m_c} \right)$: m_a, m_b, m_c の感度係数

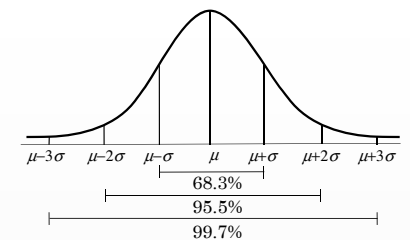
$$\begin{cases} m_a \text{の感度係数: } c_{ma} = \frac{\partial w}{\partial m_a} = \frac{100}{m_b - m_c} \quad (\%/g) \\ m_b \text{の感度係数: } c_{mb} = \frac{\partial w}{\partial m_b} = \frac{-100 \times (m_a - m_c)}{(m_b - m_c)^2} \quad (\%/g) \\ m_c \text{の感度係数: } c_{mc} = \frac{\partial w}{\partial m_c} = \frac{-100 \times (m_a - m_b)}{(m_b - m_c)^2} \quad (\%/g) \end{cases}$$

④ 拡張不確かさ $U(w)$ の算出

$$U(w) = k \cdot u_c(w)$$

$U(w)$: 含水比 w の拡張不確かさ
 k : 包含係数(ふつつ $k=2$)

・この場合、測定値の分布の約95%を含む区間が設定される。



⑤ 試験結果と不確かさの表示

一般に、試験結果 y の最良推定値(ふつつ平均値)を $\bar{y}$ とすると、試験結果は拡張不確かさ $U(y)$ に基づき次のように表わされる。

$$y = \bar{y} \pm U(y) \quad (k=2)$$

➤ 試験結果のばらつきの表示

試験結果のばらつきを表示するには、一般に変動係数(v)が用いられる。

$$v = \frac{\sigma}{\bar{y}} \times 100 = \frac{U(y)}{2\bar{y}} \quad (\%)$$

【バジェットシート】

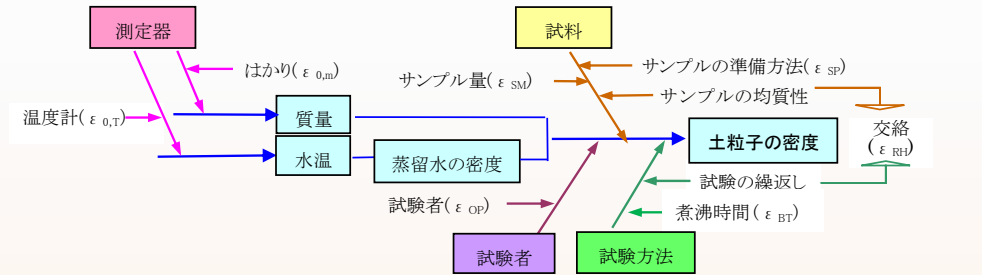
要因		標準不確かさ $u(x_i)$	感度係数 c_{xi}	標準不確かさ $u_s(w) = c_{xi} \cdot u(x_i)$	寄与率 R_x (%)
秤の校正	m_a 用	0.0200 (g)	3.575 (%/g)	0.0715 (%)	1.7
	m_b 用	0.0200 (g)	-5.127 (%/g)	0.1025 (%)	3.6
	m_c 用	0.0200 (g)	-1.552 (%/g)	0.0310 (%)	0.3
試験者の違い		0.3592 (%)	1	0.3592 (%)	43.9
試料量の違い		0.0000 (%)	1	0.0000 (%)	0
乾燥時間の違い		1.7321 (hr)	0.070 (%/hr)	0.1212 (%)	5.0
繰返し・サンプルの違い		0.3655 (%)	1	0.3655 (%)	45.5
合成標準不確かさ $u_c(w)$				0.542 (%)	100
拡張不確かさ $U(w)$ ($k=2$)				1.1 (%)	

(注) 寄与率 R_x (%) : 合成標準不確かさ $u_c(w)$ (%)の中で各要因の標準不確かさ $u_{xi}(w)$ (%)の占める割合を百分率で表したもの $R_x = \frac{u_{xi}^2(w)}{u_c^2(w)} \times 100$ (%)

∴ 含水比試験結果の不確かさ: $w = 43.4 \% \pm 1.1 \%$ ($k=2$)

【2】土粒子の密度試験の場合

【フィッシュボーン図】



【バジェットシート】

要因 (x)		標準不確かさ $u_i(x)$	感度係数 c_i	標準不確かさ $u(x) = c_i \cdot u_i(x)$	寄与率 (%)
秤の校正結果による質量測定	質量 (m)	0.00025179 (g)	-0.2136799 (g/cm ³ /g)	0.0000538 (g/cm ³)	0.0
	質量 (mf)	0.00025179 (g)	0.2137071 (g/cm ³ /g)	0.0000538 (g/cm ³)	0.0
	質量 (ma)	0.00050090 (g)	0.3425602 (g/cm ³ /g)	0.0001716 (g/cm ³)	0.0
	質量 (mb)	0.00050090 (g)	-0.3425330 (g/cm ³ /g)	0.0001716 (g/cm ³)	0.0
温度計の校正結果による水温と水の密度	水温 (T)	0.03605551 (°C)	0.0002 (g/cm ³ /°C)		0.1
	水の密度 ρ _w (T)	0.00000721 (g/cm ³)	-33.545332 (g/cm ³ /°C)	0.0002419 (g/cm ³)	
	水温 (T)	0.03605551 (°C)	0.0002 (g/cm ³ /°C)		
	水の密度 ρ _w (T)	0.00000721 (g/cm ³)	36.206522 (g/cm ³ /°C)	0.0002611 (g/cm ³)	0.1
測定者の違い		0.00310483 (g/cm ³)	1	0.0031048 (g/cm ³)	10.1
サンプルの準備方法の違い		0.00681542 (g/cm ³)	1	0.0068154 (g/cm ³)	48.8
サンプル量の違い		0.00490034 (g/cm ³)	1	0.0049003 (g/cm ³)	25.2
試験の繰返し (サンプルの均質性)		0.00336933 (g/cm ³)	1	0.0033693 (g/cm ³)	11.9
煮沸時間の違い		25.98 (min)	0.00007333 (g/cm ³ /min)	0.0019052 (g/cm ³)	3.8
合成標準不確かさ $u_c(\rho_s)$				0.009761 (g/cm ³)	
拡張不確かさ $U=k \cdot u_c(\rho_s)$ ($k=2$)				0.01952 (g/cm ³)	

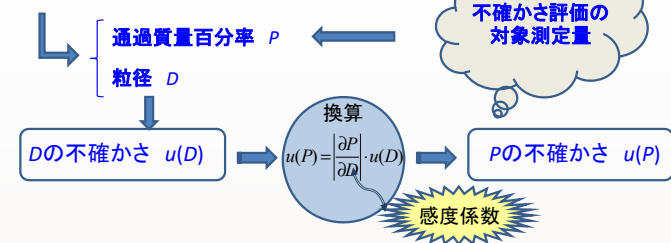
∴ 土粒子の密度試験結果の不確かさ: $\rho_s = 2.603 \text{ g/cm}^3 \pm 0.020 \text{ g/cm}^3$ ($k=2$)

【3】粒度試験の場合

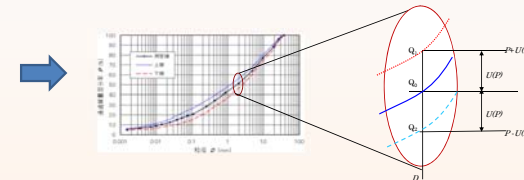
<参考> 澤・中山: 不確かさクラブ: 不確かさ評価事例集Ⅱ, pp.85-114, 2013.
澤・中山: 地盤工学会: 地盤工学ジャーナル, Vol.9, No.2, pp.255-274, 2014.

【不確かさ評価の対象測定量】

● 粒度試験の測定量

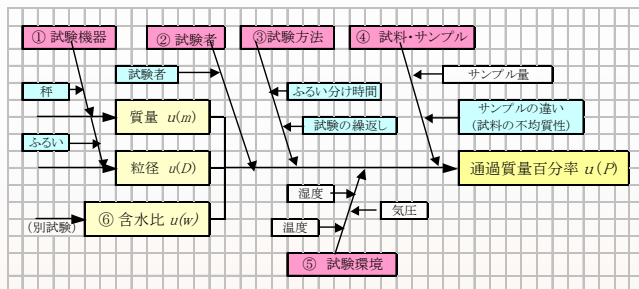


● 粒径加積曲線の上限と下限



【フィッシュボーン図】

(a) ふるい分析

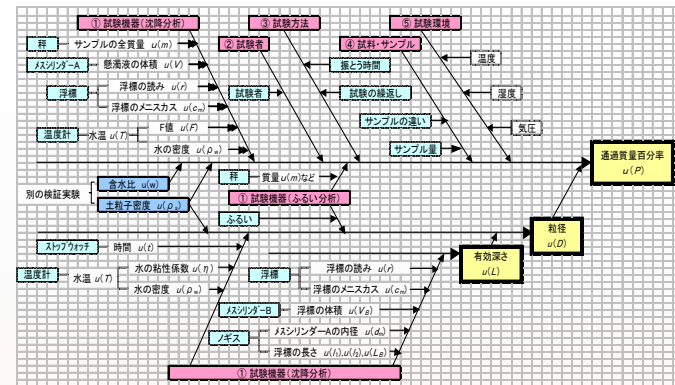
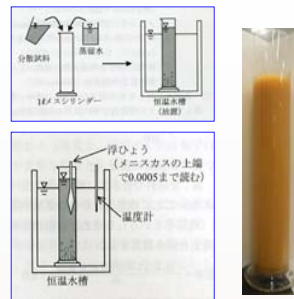


粒径 $D(\text{mm})$: 網ふるいの開き目(mm)

$$\text{通過質量百分率 } P(\%) = 100 - \frac{\sum m_d}{m_s} \times 100$$

m_d : ふるいの残留質量(g), m_s : 全乾燥質量(g)

(b) 沈降分析



$$\text{粒径 } d = \sqrt{\frac{30\eta}{g_n(\rho_s - \rho_w)}} \cdot \frac{L}{t}$$

$$\text{通過質量百分率 } P(d) = \frac{100V}{m_{1s}} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} (r + C_m + F) \cdot \rho_w \cdot \frac{m_s - m_{0s}}{m_s}$$

η : $^{\circ}\text{C}$ における水の粘性係数(Pa・s), ρ_s : 土粒子の密度(g/cm^3), ρ_w : $^{\circ}\text{C}$ における水の密度(g/cm^3), r : メシリンダー静置後の時間(min), L : 時間における浮標の有効深さ(mm), g_n : 標準重力の加速度($980\text{cm}/\text{s}^2$), F : 懸濁液の体積($=1,000\text{cm}^3$), C_m : 時間におけるメニスカス上端の浮標の読み的小数部分, C_m : メニスカス補正値, m_s : 全乾燥質量(g), m_{0s} : 2mmふるい残留試料の水洗い・乾燥後の質量(g)

【バジェットシート】

(a) ふるい分析

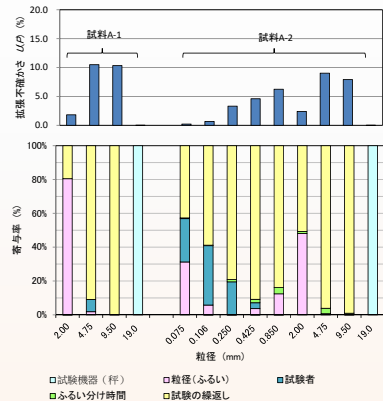
要因		標準不確かさ				標準不確かさ			
		$u(x)$	c_x	$u_x(P)= c_x \cdot u(x)$	$R_x(\%)$	$u(x)$	c_x	$u_x(P)= c_x \cdot u(x)$	$R_x(\%)$
粒径 19.0 mm									
秤	全サンプル質量(m)	0.005 g	0 %/g	0 %	0.0	0.005 g	0.0221 %/g	0.00011 %	0.0
	残留サンプル質量(M)	0.005 g	-0.0830 %/g	0.00042 %	100.0	0.005 g	-0.0830 %/g	0.00042 %	0.0
粒径(ふるいの校正結果)		0.446 mm	0.0000 %/mm	0 %	0.0	0.039 mm	4.2170 %/mm	0.16446 %	0.1
試験者の違い		0 %	1	0 %	0.0	0 %	1	0 %	0.0
ふるい分け時間の違い		1.1547 min	0 %/min	0 %	0.0	1.1547 min	0 %/min	0 %	0.0
試験の繰返し(サンプルの違い)		0 %	1	0 %	0.0	5.1671 %	1	5.16712 %	99.9
合成標準不確かさ		$u_x(P)=\sqrt{(\sum u_x^2(P))}$				$u_x(P)=\sqrt{(\sum u_x^2(P))}$			
拡張不確かさ		$U=k \cdot u_x(P) \quad (k=2)$				$U=k \cdot u_x(P) \quad (k=2)$			
粒径 9.50 mm									
秤	全サンプル質量(m)	0.005 g	0.0461 %/g	0.00023 %	0.0	0.005 g	0.0812 %/g	0.00041 %	0.0
	残留サンプル質量(M)	0.005 g	-0.0830 %/g	0.00042 %	0.0	0.005 g	-0.0830 %/g	0.00042 %	0.0
粒径(ふるいの校正結果)		0.075 mm	9.6183 %/mm	0.72137 %	1.9	0.063 mm	12.920 %/mm	0.81398 %	80.5
試験者の違い		1.4127 min	1	1.41265 %	7.2	0 %	1	0 %	0.0
ふるい分け時間の違い		1.1547 min	0 %/min	0 %	0.0	1.1547 min	0 %/min	0 %	0.0
試験の繰返し(サンプルの違い)		5.0038 %	1	5.00381 %	90.9	0.4008 %	1	0.40079 %	19.5
合成標準不確かさ		$u_x(P)=\sqrt{(\sum u_x^2(P))}$				$u_x(P)=\sqrt{(\sum u_x^2(P))}$			
拡張不確かさ		$U=k \cdot u_x(P) \quad (k=2)$				$U=k \cdot u_x(P) \quad (k=2)$			

(b) 沈降分析

時間	要因	標準不確かさ $u(x)$	感度係数 c_x	標準不確かさ $u_x(P) = c_x \cdot u(x)$	寄与率 $R_x(\%)$
15 min	別の試験	土の含水比	0.305%	0.74348%	1.4
		土粒子密度	0.011 g/cm ³	-23.860%/g	0.1
	秤	質量 m	0.006 g	-1.6302%/g	0.013048%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	157.91%/cm ³	0.0011387%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
30 min	別の試験	土の含水比	0.305%	0.74348%	1.4
		土粒子密度	0.011 g/cm ³	-23.860%/g	0.1
	秤	質量 m	0.006 g	-1.6302%/g	0.013048%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	157.91%/cm ³	0.0011387%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
60 min	別の試験	土の含水比	0.305%	0.74348%	1.4
		土粒子密度	0.011 g/cm ³	-23.860%/g	0.1
	秤	質量 m	0.006 g	-1.6302%/g	0.013048%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	157.91%/cm ³	0.0011387%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
90 min	別の試験	土の含水比	0.305%	0.74348%	1.4
		土粒子密度	0.011 g/cm ³	-23.860%/g	0.1
	秤	質量 m	0.006 g	-1.6302%/g	0.013048%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	157.91%/cm ³	0.0011387%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%
	温度計	水の密度	0.00000721 g/cm ³	348.82%	0.0251582%

【拡張不確かさと寄与率】

(a) 試料A (砂質土)



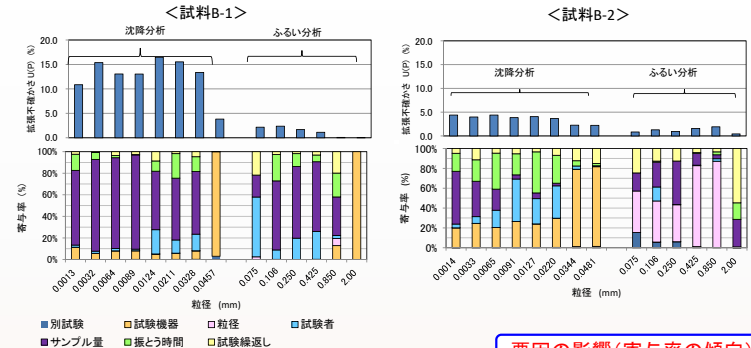
拡張不確かさU(P)の特徴

- ・ふるい分析では粒径が大きいほどU(P)が大きい。
- ・最大粒径ではU(P)は0である。
- ・最小粒径や水洗い部ではU(P)は小さい。

要因の影響(寄与率の傾向)

- ・秤とふるい分け時間の影響は少ない。
⇒ 明確なふるい分け時間の判定
- ・粒径の不確かさはふるいの校正結果であり、最小粒径と水洗い部に影響する。
- ・試験者の影響は細粒部に現れ、寄与率は30%未満である。
- ・試験の繰返し・サンプルの違い(不均質性)の影響が大きい。
⇒ サンプルの採取・準備が重要

(b) 試料B (粘性土)



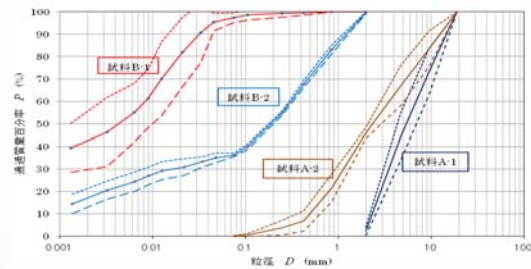
拡張不確かさU(P)の特徴

- ・沈降分析のU(P)はその後のふるい分析のU(P)より大きい(とくに試料B-1)。
- ・試料B-2のU(P)は試料AのU(P)の半分くらいである。

要因の影響(寄与率の傾向)

- ・沈降時間初期に試験機器(浮標)の影響がある(とくに試料B-2)。
⇒ 測定機器の点検の必要性
- ・サンプル量の影響が大きい(とくに、試料B-1)。
⇒ 規格化の必要性がある
- ・サンプルの違いの影響は少ない。
⇒ 細粒分が多い試料は均質なサンプルを得やすい?

【粒径加積曲線の不確かさ評価】



- ◇ふるい分析では最大粒径・最小粒径・水洗いの2mmで不確かさが小さい。
- ◇沈降分析の方が不確かさが大きい。
- ◇試料B-1では上限線が100%を超えるし試料A-2では下限線が0%以下になる。
⇒ 上限線は100%, 下限線は0%に留める。
- ◇粒径加積曲線の上限値・下限値から粒度全体のばらつきが表される。 ⇒ 下表

粒径加積曲線の上限値・下限値から求められる物理常数の範囲と拡張不確かさ

試料	項目	50 % 径 D_{50} mm	有効径 D_{10} mm	60 % 径 D_{60} mm	2.00 mm 通過率 $P_{2.00}$ %	細粒分含有量 $P_{0.075}$ %	粘土分含有量 $P_{0.002}$ %	砂分含有量 C_{sand} %	シルト分含有量 C_{silt} %	均等係数 U_c
A-1	代表値	5.5	2.4	6.9	3.0	0	0	3.0	0	2.9
	範囲	4.2~7.2	2.1~2.7	5.3~8.7	0~4.0	0	0	3.0	0	0.79
	拡張不確かさ	1.5	0.3	1.7	2.0	0	0	3.0	0	0.79
A-2	代表値	2.3	0.50	3.8	46.0	1	0	45.0	1.0	7.6
	範囲	2.1~2.9	0.36~0.64	2.8~5.2	44.0~48.0	0~2.0	0	45.0	1.0	7.6
	拡張不確かさ	0.4	0.14	1.2	2.0	1.0	0	2.2	1.0	3.1
B-1	代表値	0.0042		0.0084	100	98.0	53.0	2.0	45.0	
	範囲	0.0014~0.010		0.0028~0.016		96.0~100	38.0~66.0			
	拡張不確かさ	0.0043		0.0066		2.0	14.0	2.0	14.1	
B-2	代表値	0.19		0.31	99.0	37.0	23.0	62.0	14.0	
	範囲	0.17~0.21		0.29~0.33	98.0~100	36.0~38.0	19.0~27.0			
	拡張不確かさ	0.02		0.02		1.0	4.0	1.4	4.1	

【4】弊社における不確かさ評価の一覧

区分	試験項目	要因	試料	試験結果の不確かさ	変動係数 v (%)
ISO17025 試験所認定項目	含水比試験	秤・試験者・試料の量・乾燥時間・乾燥炉の位置・試験の繰返し・試料の違い	粘土	含水比 $w=43.4\% \pm 1.1\%$	1.3
	土粒子の密度試験	秤・温度計・試験者・試料の準備方法・試料の量・煮沸時間・試験の繰返し・試料の違い	砂質土	含水比 $w=16.15\% \pm 0.37\%$	1.1
	土粒子の密度試験	秤・温度計・試験者・試料の準備方法・試料の量・煮沸時間・試験の繰返し・試料の違い	砂質土	土粒子の密度 $\rho_s=2.603 \text{ g/cm}^3 \pm 0.020 \text{ g/cm}^3$	0.4
	一軸圧縮試験	秤・ノギス・試験者・試験の繰返し	改良土	一軸圧縮強度 $q_u=105.4 \text{ kN/m}^2 \pm 15.4 \text{ kN/m}^2$	0.1
	一軸圧縮試験	一軸圧縮試験機・ロードセル・ダイヤルゲージ・試験者・試験の繰返し・試料の違い	改良土	一軸圧縮強度 $q_u=105.4 \text{ kN/m}^2 \pm 15.4 \text{ kN/m}^2$	7.3
	六価クロム溶出試験	標準液・メスフラスコ・メスシリンダー・試験者・試験の繰返し	改良土	六価クロム濃度 $C=0.0492 \text{ mg/L} \pm 0.0019 \text{ mg/L}$	1.9
不確かさ クラブ(事例 研究会)の 成果	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験機・ロードセル・三軸セル・試験者・試験の繰返し・試料の違い	改良土	内部摩擦角 $\phi=3.57^\circ \pm 3.07^\circ$	10.9
	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験機・ロードセル・三軸セル・試験者・試験の繰返し・試料の違い	改良土	内部摩擦角 $\phi=3.57^\circ \pm 3.07^\circ$	43.0
	粒度試験(ふるい分け)	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	砂質土 A-1	50% 径 $D_{50}=5.5 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ mm}$	13.6
	粒度試験(ふるい分け)	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	砂質土 A-1	均等係数 $U_c=2.9 \text{ mm} \pm 0.8 \text{ mm}$	13.8
	粒度試験(ふるい分け)	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	砂質土 A-2	50% 径 $D_{50}=2.3 \text{ mm} \pm 0.4 \text{ mm}$	8.7
	粒度試験(ふるい分け)	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	砂質土 A-2	均等係数 $U_c=7.6 \text{ mm} \pm 3.1 \text{ mm}$	20.4
不確かさ クラブ(事例 研究会)の 成果	細粒分含有量	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	粘性土 B-1	50% 径 $D_{50}=0.0042 \text{ mm} \pm 0.0043 \text{ mm}$	51.2
	細粒分含有量	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	粘性土 B-1	細粒分含有量 $F_c=98.0\% \pm 2.0\%$	1.0
	粘土分含有量	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	粘性土 B-1	粘土分含有量 $C_c=53.0\% \pm 14.0\%$	13.2
	粘土分含有量	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	粘性土 B-1	50% 径 $D_{50}=0.19 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$	5.3
不確かさ クラブ(事例 研究会)の 成果	細粒分含有量	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	粘性土 B-2	細粒分含有量 $F_c=37.0\% \pm 1.0\%$	1.4
	粘土分含有量	秤・ふるい・温度計・ノギス・メスシリンダー・時計・試験者・ふるい分け時間・試験の繰返し・試料の量・試料の違い	粘性土 B-2	粘土分含有量 $C_c=23.0\% \pm 4.0\%$	8.0

2-2 技能試験の現状

2-2-1 地盤材料試験の技能試験の実施状況

年	試験方法	試料	参加数	実施機関
2007	JIS A 1225(湿潤密度) JIS A 1216(一軸圧縮)	改良土 (2種類)	29	日本適合性認定協会 関西地盤環境研究センター
2008	JIS A 1210(締固め) JIS A 1211(CBR)	まさ土 粘土	23	
2009	JIS A 1202(土粒子の密度) JIS A 1203(含水比) JIS A 1204(粒度) JIS A 1205(液性限界・塑性限界)	粘土 (2種類)	26	
2010	JIS A 1202(土粒子の密度) JIS A 1203(含水比)	砂質土 粘土	18	地盤工学会 地盤材料試験結果の精度分析と表示方法につ いての研究委員会(委員長:澤孝平)
2011	2009年と同じ	粘土 (2種類)	45	
2012	2007年と同じ	改良土 (2種類)	51	地盤工学会 技能試験準備委員会(委員長:澤孝平)
2013	JIS A 1202(土粒子の密度) JIS A 1204(粒度) JIS A 1224(最小密度・最大密度)	珪砂 (2種類)	55	
2014	2009年と同じ	粘土 (2種類)	66	地盤工学会 技能試験実施委員会(委員長:日置和昭)
2015	2007年と同じ	改良土 (2種類)	55	
2016	JIS A 1202(土粒子の密度) JIS A 1204(粒度) JIS A 1210(締固め)	砂質土 (2種類)	51	
2017	2009年と同じ	粘土 (2種類)	61	

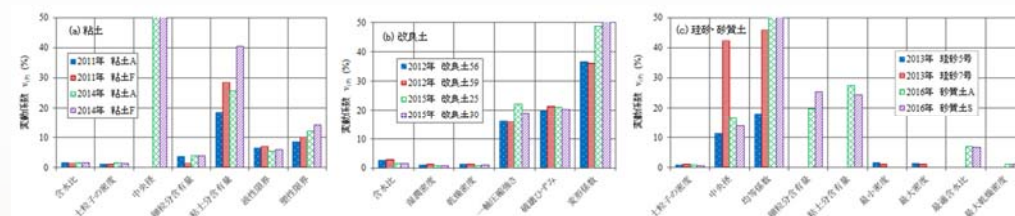
KEE:澤

37

2-2-2 技能試験結果のばらつき(変動係数)

- 技能試験結果の変動係数(v_p)は、わが国の地盤材料試験結果のばらつきの実態を示している。

【1】試料別の変動係数(2011年～2016年)



◆ 粘土・珪砂・砂質土の試験結果

- 密度系の試験結果:(土粒子の密度・湿潤/乾燥密度・最小/最大密度・最大乾燥密度) $v=0.6\sim1.6\%$
- 含水比系の試験結果:(粘土・改良土の含水比) $v=1.4\sim2.9\%$ (砂質土の最適含水比) $v=6.8\sim7.0\%$
(粘土の液性限界) $v=5.4\sim8.5\%$ (粘土の塑性限界) $v=8.5\sim14.5\%$
- 粒度試験の試験結果:(細粒分含有量) $v=1.3\sim25\%$ (粘土分含有量) $v=18.5\sim40.6\%$
(中央径) $v=11.4\sim112\%$ (均等係数) $v=18\sim70\%$

- ◆ 改良土の強度試験結果:(一軸圧縮強度と破壊ひずみ) $v=16\sim22\%$ (変形係数) $v=36\sim72\%$

KEE:澤

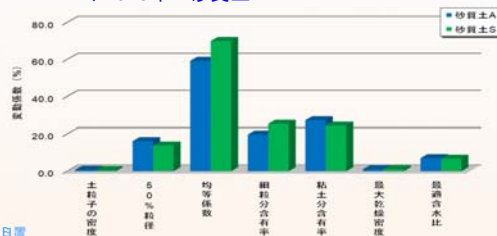
38

【2】実施年別の変動係数(2013年～2017年)

◆ 2013年・珪砂



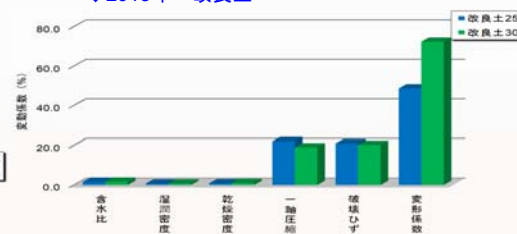
◆ 2016年・砂質土



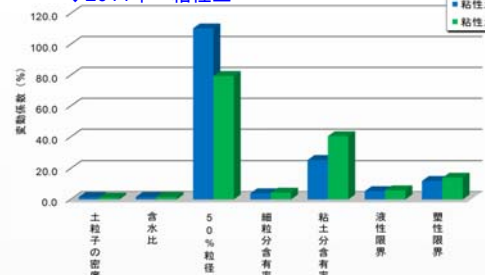
KEE:日置

39

◆ 2015年・改良土



◆ 2014年・粘性土



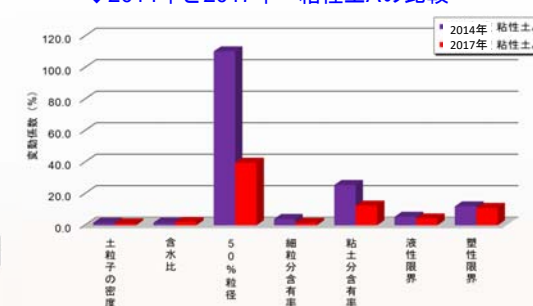
◆ 2017年・粘性土



KEE:日置

40

◆ 2014年と2017年・粘性土Aの比較



・技能試験を繰り返すと、試験結果のばらつきは小さくなる

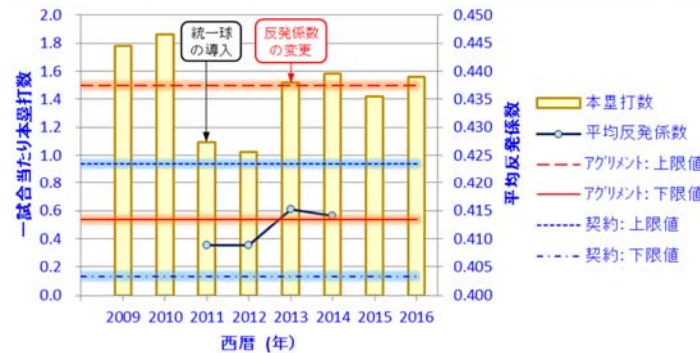
3. 不確かさ評価と技能試験の課題

3-1 試験結果のばらつきの取り扱い

＜参考＞澤：安全・安心な市民生活を支える測定の不確かさの意義，計測標準と計測管理，Vol.66，No.3，pp.38-45，日本計量振興協会，2016。

3-1-1 プロ野球の公認球の事例（NPBの第三者調査検証委員会報告書及びNPBのHPデータより） <http://npb.jp/npb/20150203release.html>

◆ 2013年：プロ野球の使用球が飛びやすいボールに変更されていたことが問題視された。



◆ 使用球の反発係数の測定値と平均値（2011年～2014年）



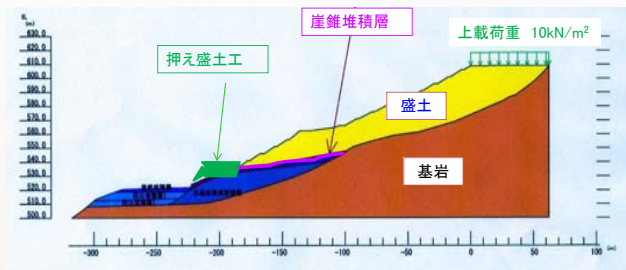
＜ミズノとの契約＞
6ダースの平均反発係数が0.4134を目標とし、
±0.01以内とする。

- ・製品の反発係数の測定値に一定の幅を許容していることは妥当である。
- ・契約において、アグリーメントの基準値より小さい値を許容していたことに問題がある。
- ・反発係数の平均値からのばらつき(残差)は、平均値の0.5～1.5%である。
- ・2015年2月に、平均反発係数の基準値を次のように変更している。
「0.4034～0.4234の範囲」⇒「0.4134を反発係数の目標値とする。」

3-1-2 ある盛土斜面の安定計算ミスとその対策事例（<http://www.ktr.mlit.go.jp/yanba/h221102.pdf>）

◆ ある盛土斜面において、安定計算に用いるデータを取り違えたため、安全率が不足し、盛土の安定性に問題が生じた。

	湿潤密度 (kN/m^3)	飽和重量 (kN/m^3)	粘着力 (kN/m^2)	内部摩擦角 (度)
(正) 崖錐堆積層	19	18	0	29
(誤) 岩屑流堆積物	20	19	0	38



◆ 対策として、「押え盛土工」により安全率を増加させることとした。

	修正前			修正後			対策後		
	起動力(P) ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	抵抗力(R) ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	安全率 ($F_s=R/P$)	起動力(P) ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	抵抗力(R) ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	安全率 ($F_s=R/P$)	起動力(P) ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	抵抗力(R) ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)	安全率 ($F_s=R/P$)
常時	464,574.80	890,117.80	1.916	333,853.30	578,795.20	1.734	129,446.70	225,830.70	1.745
地震時	1,370,625.50	1,516,480.30	1.106	529,199.40	523,381.10	0.989	8,429,558.00	8,699,205.00	1.032

◆ 多くの規準では、常時の安全率は1.2以上、地震時には1.0以上

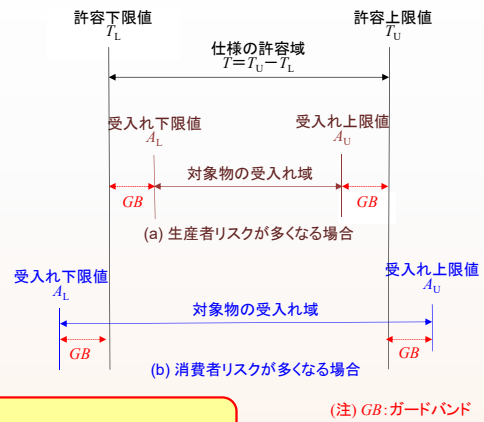
◆ 地震時の修正後・対策後の安全率は、「安全」と考えてよいか？

	修正前	修正後	対策後
小数第3位	1.106	0.989	1.032
小数第2位	1.11	0.99	1.03
小数第1位	1.1	1.0	1.0

3-1-3 APLAC TC004の方法 (注)APLAC:アジア太平洋地域試験所認定機構

判定リスクとガードバンド

- ◆ (a)生産者リスクが多くなる場合
【対象物の受入れ域<仕様(基準など)の許容域】
⇒基準内のものでも受け入れられない
⇒十分安全なモノができる
- ◆ (b)消費者リスクが多くなる場合
【対象物の受入れ域>仕様(基準など)の許容域】
⇒基準外のものでも受け入れられる
⇒安全でないモノができる
- ◆ ガードバンド(GB)
 - ・判定が不確実で判定リスクが生じる区間
 - ・多くの場合は消費者リスクを小さくする方向に設定



GBは { ・仕様の供用域の内側((a)図)に
・標準偏差の1~2倍の大きさで } 設定することが多い

構造物の安全性(仕様への適合性)の検討例:改良土の強度

- ◆ q_0 が σ を考慮して設定されている場合
⇒ 試験強度 q_m が q_0 を満足すれば良い(リスクはない)
- ◆ q_0 が σ を考慮されていない場合
(参考)セメント改良土では「不良率」と呼んでいる。
 - (a) 図 ($q_m=q_0$) のとき: $\alpha=50\%$ < $\alpha:q_0$ を満足しない試験結果の割合>
 - (b) 図 ($q_m=q_0+\sigma$) のとき: $\alpha=16\%$
 - (c) 図 ($q_m=q_0+2\sigma$) のとき: $\alpha=2.5\%$⇒ α に応じて受入れ下限値(A_L)を決定し、これを q_m の目標値とする
- ・ α が小さい ⇒ q_m が大きい ⇒ 構造物の安全性は高い
- ・ $A_L - T_L = q_m - q_0$: 図のGB ⇒ 試験結果の σ に応じて決める

試験結果の標準偏差 σ を明らかにし、試験結果と共に報告する必要がある。

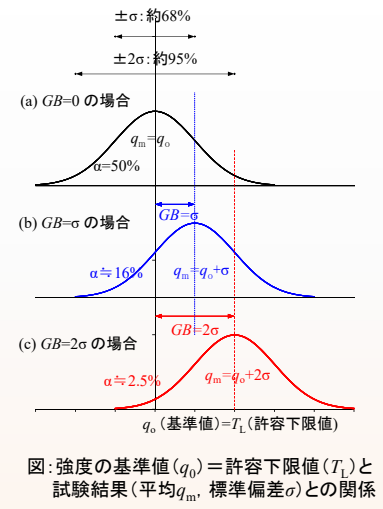


図: 強度の基準値(q_0)=許容下限値(T_L)と試験結果(平均 q_m , 標準偏差 σ)との関係

3-2 地盤材料の均質性の試験結果への影響

3-2-1 不確かさ評価における「試料の違い・試験の繰返し」の寄与率

試験項目		寄与率(%)	
含水比試験	含水比	45.5	
土粒子の密度試験	土粒子の密度	11.9	
湿潤密度試験	湿潤密度	71.5	
三軸圧縮試験	粘着力	55.9	
	内部摩擦角	99.3	
粒度試験	通過質量百分率	19mm	0
		9.5mm	99.9
		4.75mm	90.9
		2mm	19.5
		1min	0
		2min	4.7
		5min	1.8
		15min	8.7
		30min	2.5
		60min	3.5

(注) 試料の違い(均質性)と試験の繰返しの分担割合は不明である。

残留分が少ない。

<沈降分析>
試験者・サンプル量の違いの影響が大きい。

3-2-2 技能試験における配付試料の均質性

【1】配付試料の均質性の確認方法(JIS基準)

JIS Z 8405附属書B: 均質性試験の評価基準(「JIS基準」という)

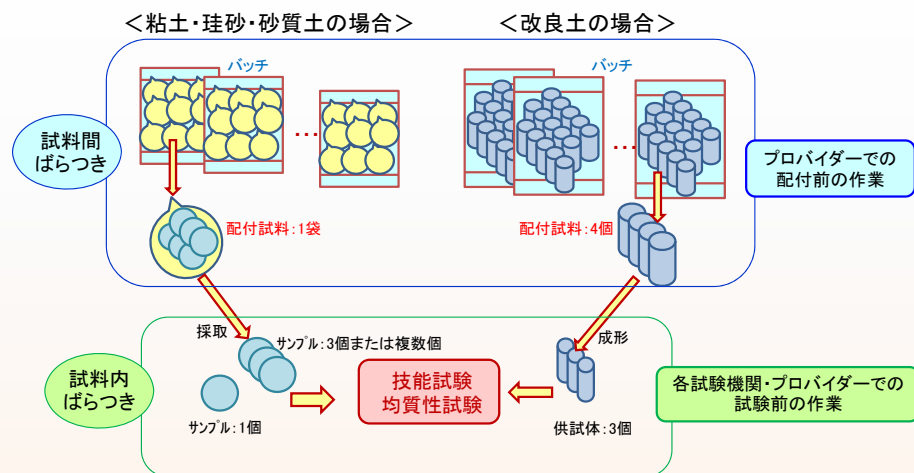
試料間標準偏差 s_s と技能評価のための標準偏差 $\hat{\sigma}$ を比較する。次の場合、この試料が十分均質であるとみなす。

$$s_s \leq 0.3\hat{\sigma} \quad \dots\dots\dots (1)$$

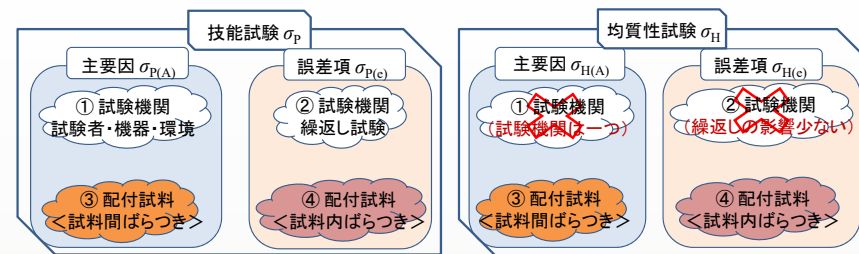
この式の係数0.3の根拠は、この基準が満たされる場合、試料間標準偏差によって生じる技能試験の標準偏差が約10%を越えないということである。(以下省略)

ここでは、式(1)より $s_s / \hat{\sigma} \leq 0.3$ を「JIS基準の比」という。

【2】試料のばらつきの考え方（試料間ばらつきと試料内ばらつき）



【3】繰返し試験結果の分散分析に基づく要因の扱い方



➤ JIS基準の方法 <「試料内ばらつき④」は試験機関によるサンプルの採取作業の影響が大きい。>

・試料間標準偏差 s_s : 「試料間ばらつき③」だけ

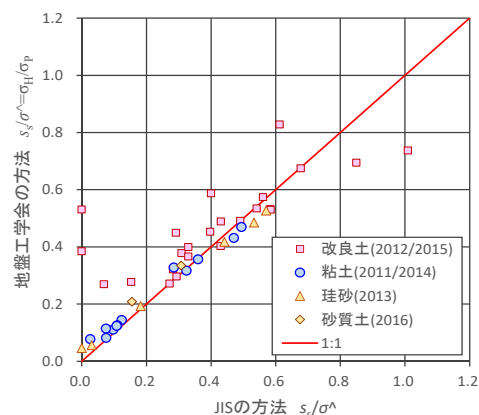
・技能評価のための標準偏差 σ : 「試験機関が関係するばらつき(①+②+④)」

➤ 地盤工学会の方法 <繰返し試験を実施しないものもあり、要因ごとのばらつきは求められない。>

・試料間標準偏差 s_s : 「③+④」 ⇒ 均質性試験の標準偏差: σ_H

・技能評価のための標準偏差 σ : 「(①+②+③+④)」 ⇒ 技能試験の標準偏差: σ_p

➤ JISの方法と地盤工学会の方法における s_s/σ の違い (2013年～2016年の技能試験結果より)



- ・粘土と珪砂・砂質土はすべての試験項目において、両者の違いは極めて小さい。
- ・改良土では約25%の試験結果で両者が同一とは言えない状況であるが、残りの約75%は両者の違いは小さい。
- ・両者が同一でない場合でも地盤工学会の方法はJISの方法より大きく、JISの方法で均質でないものを均質であると誤るリスクはほとんど生じていない。

地盤工学会の方法により
配付試料の均質性を判定できる。

【4】地盤工学会の方法による要因の寄与率からの検討と評価基準の見直し

- ・試験機関の要因(①+②)の標準偏差: σ_{Lab}
- ・配布試料の要因(③+④)の標準偏差: σ_{Smp}

均質性試験の標準偏差: σ_H

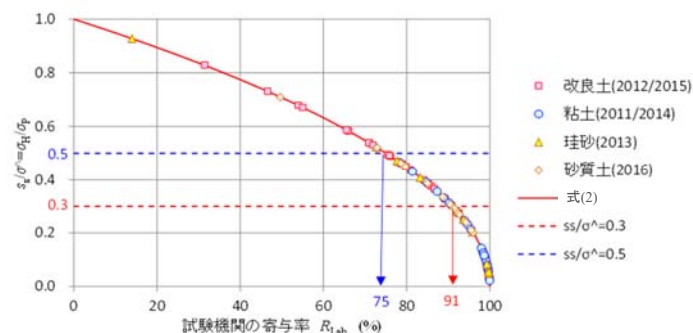
技能試験の標準偏差: σ_p

$$\text{試験機関の寄与率: } R_{Lab} = \frac{\sigma_{Lab}^2}{\sigma_c^2} \times 100 \quad \text{配布試料の寄与率: } R_{Smp} = \frac{\sigma_{Smp}^2}{\sigma_c^2} \times 100$$

$$\text{JIS基準の比: } \left(\frac{s_s}{\sigma}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_H}{\sigma_p}\right)^2 = \frac{\sigma_{Smp}^2}{\sigma_c^2} = \frac{\sigma_c^2 - \sigma_{Lab}^2}{\sigma_c^2} = 1 - \frac{\sigma_{Lab}^2}{\sigma_c^2} = 1 - \frac{R_{Lab}}{100} \quad \dots\dots (2)$$

$$\frac{s_s}{\sigma} \leq 0.3 \rightarrow \begin{cases} R_{Lab} \geq 91\% \\ R_{Sam} < 9\% \end{cases}$$

2011年～2016年の技能試験結果



地盤材料の均質性の基準を $\frac{s_s}{\sigma} \leq 0.5$ とする。

$s_s / \sigma \leq 0.3$ を満足するもの: 粘土: 77%, 珪砂: 70%, 砂質土: 43%, 改良土: 13% $\Rightarrow$ 全体: 約50%
 $s_s / \sigma \leq 0.5$ を満足するもの: 粘土: 100%, 珪砂: 80%, 砂質土: 79%, 改良土: 62.5% $\Rightarrow$ 全体: 約81%

2017年の技能試験(粘土)の場合

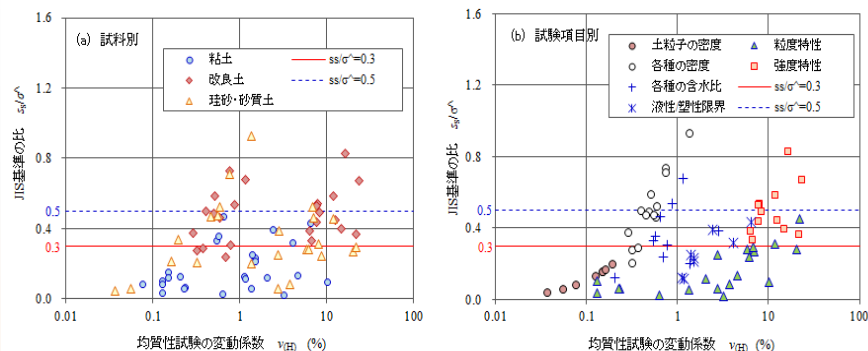
[A試料]								
区分	試料名	含水比 w (%)	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	50%粒径 D ₅₀ (mm)	細粒分含有率 F _c (%)	粘土分含有率 C _{cl} (%)	液性限界 w _L (%)	塑性限界 w _p (%)
均質性試験	平均値	37.42	2.7034	0.00499	88.22	50.01	43.05	21.46
	標準偏差 s_s	0.3676	0.004088	0.000605	0.2150	1.5560	0.7863	0.8262
	変動係数(%)	0.98	0.15	12.11	0.24	3.11	1.83	3.85
技能試験	平均値	37.45	2.704	0.00572	88.73	48.58	45.46	23.27
	標準偏差 σ^A	0.7886	0.03327	0.002269	1.438	6.025	2.030	2.585
	変動係数(%)	2.11	1.23	39.68	1.62	12.40	4.47	11.11
均質性判定	s_s/σ^A	0.47	0.12	0.27	0.15	0.26	0.39	0.32
	R _{amp} (%)	21.7	1.5	7.1	2.2	6.7	15.0	10.2
	判定結果	○	○	○	○	○	○	○

[K試料]								
区分	試料名	含水比 w (%)	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	50%粒径 D ₅₀ (mm)	細粒分含有率 F _c (%)	粘土分含有率 C _{cl} (%)	液性限界 w _L (%)	塑性限界 w _p (%)
均質性試験	平均値	49.81	2.6434	0.00114	97.21	61.62	57.78	19.77
	標準偏差 s_s	0.3604	0.005275	0.000578	0.2767	1.8820	1.37502	1.7244
	変動係数(%)	0.72	0.20	50.73	0.28	3.05	2.38	8.72
技能試験	平均値	49.73	2.658	0.00273	96.91	63.57	59.75	22.76
	標準偏差 σ^A	1.2094	0.04546	0.000731	2.068	5.329	2.623	4.104
	変動係数(%)	2.43	1.71	26.77	2.13	8.38	4.39	18.03
均質性判定	s_s/σ^A	0.30	0.12	0.79	0.13	0.35	0.52	0.42
	R _{amp} (%)	8.9	1.3	62.6	1.8	12.5	27.5	17.7
	判定結果	○	○	×	○	○	×	○

(注) 均質性の判定記号 [○: $s_s/\sigma^A \leq 0.3$ ($R_{amp} \leq 9\%$), ○: $0.3 < s_s/\sigma^A \leq 0.5$ ($9\% < R_{amp} \leq 25\%$), ×: $s_s/\sigma^A > 0.5$ ($R_{amp} > 25\%$)]

[5] 配付試料の均質性の事前確認

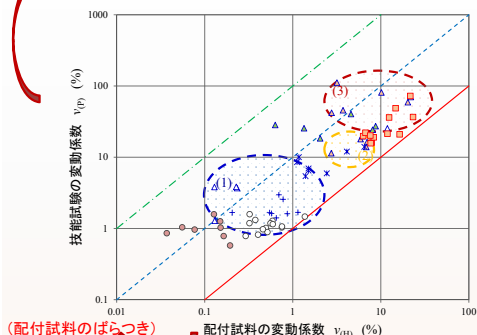
技能試験用の試料の均質性は、その準備段階(均質性試験)で推測できる。



技能試験に均質な試料 ($s_s/\sigma \leq 0.5$) を提供するためには、均質性試験の変動係数 ($v_{(H)}$) を粘土と珪砂・砂質土では5%以下、改良土では10%以下に収まる様に準備することが望ましい。

[6] 配付試料の変動係数と技能試験結果の変動係数の関係

(試験結果のばらつき)
 = (試験機関による試験結果のばらつき) + (配付試料のばらつき)



(配付試料のばらつき) 配付試料の変動係数 $v_{(H)}$ (%)

+ 含水比
 × 液性・塑性限界
 ○ 土粒子の密度
 △ 粒度(D50・Uc)
 △ 粒度(Cc)
 △ 粒度(Fc)
 ○ 各種の密度
 □ 強度・ひずみ等

— $v_{(H)}:v_{(P)}=1:1$
 - - - $v_{(H)}:v_{(P)}=1:10$
 - - - $v_{(H)}:v_{(P)}=1:100$

- ◆ 試験結果のばらつきは配付試料のばらつきより大きい。
- とくに、土粒子の密度・粒度(D50, U_c, F_c, C_c)は試験機関によるばらつきは配付試料のばらつきの10倍以上になっている。
- これらの試験では試験機関のばらつきが極めて大きい。
- ◆ 配付試料のばらつきに着目すると、次の3ケースに分けられる。
- (1) 含水比、土粒子の密度、各種の密度(湿潤密度・乾燥密度・最小密度・最大密度・最大乾燥密度)、粒度(F_c)
 $\Rightarrow v_{(H)} \leq 1\%, v_{(P)} < 5\%$: 試験結果の精度に問題がない。
- (2) 液性限界・塑性限界
 $\Rightarrow v_{(H)} = 1 \sim 5\%, v_{(P)} = 5 \sim 14\%$
- (3) 粒度試験(D50・U_c・C_c)、強度試験(強さ・ひずみ・変形係数)
 $\Rightarrow v_{(H)} \geq 1\%, v_{(P)} = 10 \sim 100\%$
 $\Rightarrow$ 均質な試料・供試体の準備・作成が課題である。

粒度試験では1個の試料の試験結果しか求めないために、試験機関の違いによるばらつきが出やすい。

粒度試験も複数の試料による繰返し試験の平均値を報告する様に改めるべきである。

3-3 試験結果の信頼性評価のインセンティブと意義・目的・効果

3-3-1 不確かさ評価と技能試験のインセンティブ

【1】参加機関数

➢ 地盤材料試験関連の不確かさの評価

(ISO17025の試験所認定数) 5年前:5機関 ⇒ 現在:3機関

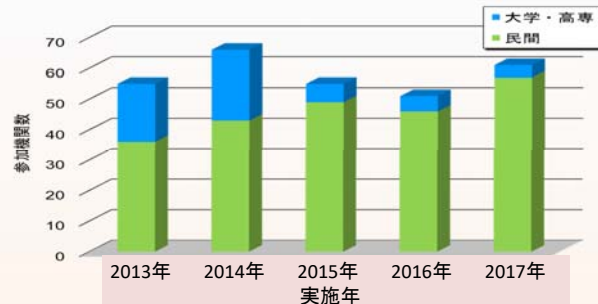
・地盤材料試験分野では、
不確か評価(試験所認定)の
必要性がない。

➢ 地盤材料の技能試験: 50~60数機関(2013年~2017年)

この内、5年間継続している機関数:28機関

・技能試験の参加機関数は
安定しているが、
大学・高専は減少している。

・技能試験の意義は認識
されている。



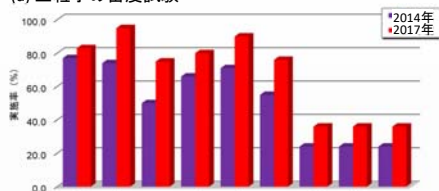
【2】技能試験の活かし方(技能試験参加機関のアンケート回答より)

年	試料土	試験項目	「技能試験の活かし方」の回答割合(%)						
			教育へ反映	精度の確認	技能の向上	研究資料	営業活動	その他	計
2015年	改良土	湿潤密度	8	48	39	0	5	0	100
		一軸強度	9	51	35	0	5	0	100
2016年	砂質土	土粒子密度	12	44	35	3	6	0	100
		粒度	12	41	39	4	4	0	100
		締固め	13	40	38	4	5	0	100
2017年	粘土	土粒子密度	15	43	35	2	3	2	100
		含水比	15	43	34	3	3	2	100
		粒度	15	43	34	4	2	2	100
		LL・PL	14	45	34	3	2	2	100
		平均	12.6	44.2	35.9	2.6	3.9	0.9	100

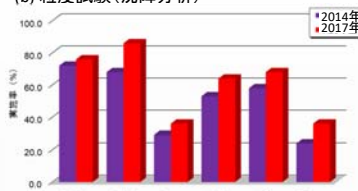
・技能試験が試験精度の確認や試験技能の向上に活かされている。
・営業活動に利用できればさらに効果が期待できるが、・・・?

【3】試験器具の校正・検査の実施率(技能試験参加機関のアンケート回答より)

(a) 土粒子の密度試験



(b) 粒度試験(沈降分析)



(c) 含水比試験



(d) 液性・塑性限界試験



・2014年に比べて、2017年は校正・検査の実施率は向上している。

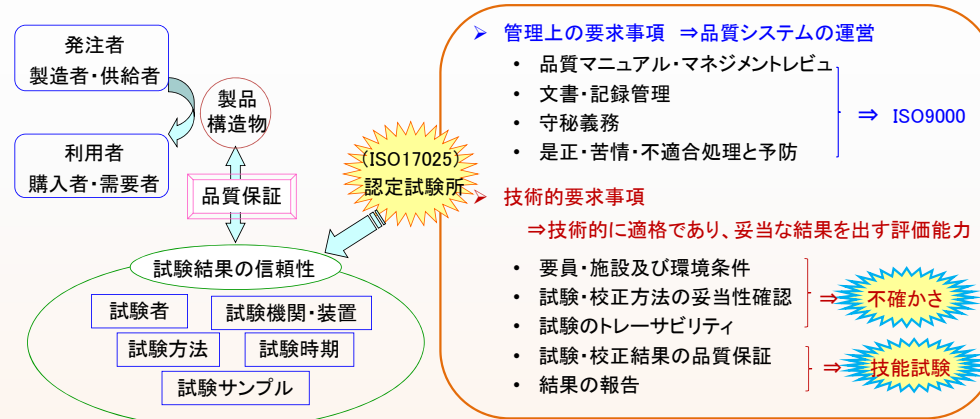
⇒ 精度に関する認識が高まっている。

・実施率が80%程度までであり、中には50%未満のものもある。

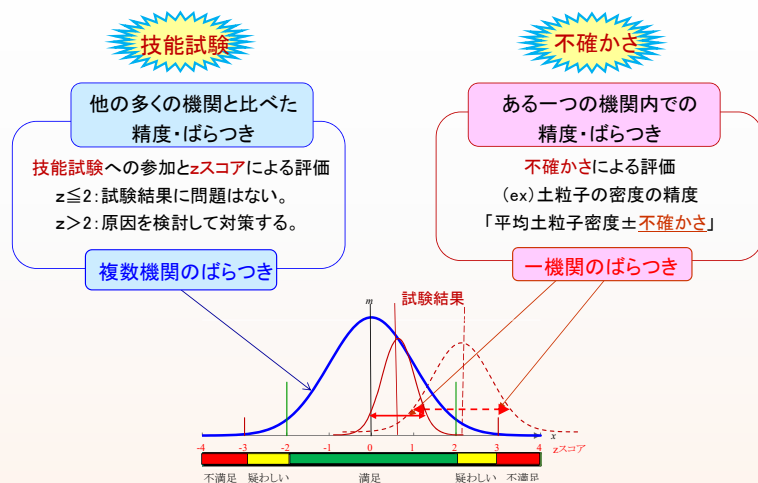
⇒ 精度向上に向けた意識改革が必要

3.3.2 試験結果の信頼性評価の意義・目的・効果

【1】製品・構造物の品質保証と試験結果の信頼性

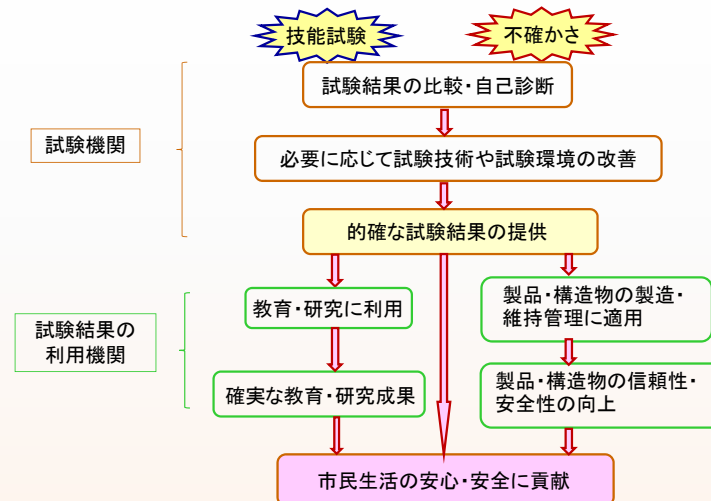


【2】試験結果の信頼性の評価と表示



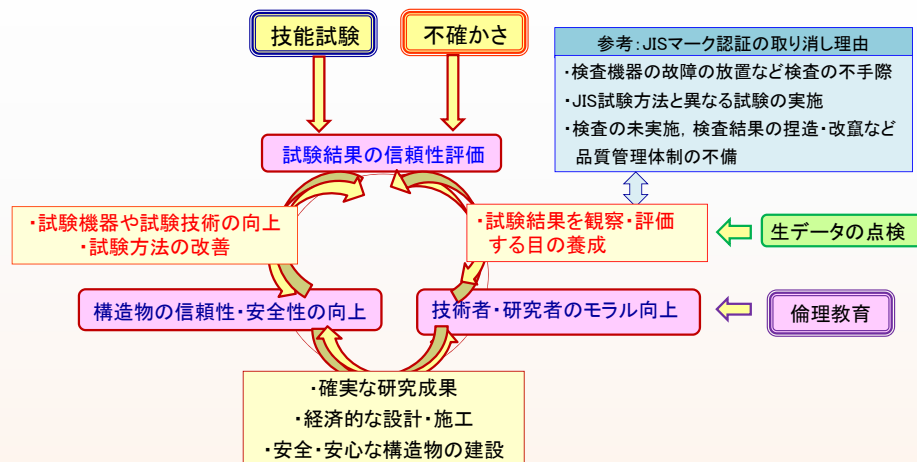
61

【3】試験結果の信頼性評価の意義・目的



62

【4】試験結果の信頼性評価の効果



63

試験結果の信頼性(ばらつき・精度)評価の推進に
取り組みましょう!!

ご清聴ありがとうございました!!

64