

技能試験結果によるセメント改良土の試験結果の不確かさ評価

関西地盤環境研究センター 正会員 澤 孝平・中山 義久・楠本奈津子

1. まえがき 試験結果のばらつきを「不確かさ」によって表記することは、JIS Q 17025 に基づく試験所の認定審査を通じて多くの分野で行われるようになり、地盤材料試験でも地盤工学会の「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)」で研究されている。一方、試験機関の試験技能を相対的に評価する「技能試験」が実施されており、改良土を試料とした技能試験結果から試験結果の不確かさを算出する試みも行われている¹⁾。本報告は、2012年に実施された技能試験(地盤工学会主催)結果^{2),3)}から、セメント改良土の測定量の不確かさを算出し、過去の同様の成果と比較する。そして、セメント改良土の測定量の精度の実態を明らかにし、技能試験における評価基準を提案するとともに、改良土の利用における留意事項を示す。

2. 技能試験結果からの不確かさ算定方法 図-1は不確かさの算定方法を示している。まず、不確かさを求める対象測定量を決め、測定量のばらつきの要因を抽出して、要因ごとの標準不確かさを算定する。次いで、それらを合成して合成標準不確かさを求め、最後に包含係数(ふつう2)倍して拡張不確かさとする。

本報告で取り扱う技能試験はセメント改良土の湿潤密度試験と一軸圧縮試験であり、の対象測定量は、湿潤密度試験から求める含水比・湿潤密度・乾燥密度と一軸圧縮試験から求める一軸圧縮強度・破壊ひずみ・変形係数の6つである。の要因には、ふつう試験機器・試験者・試料(供試体)・試験方法・試験環境がある。技能試験では試験機器と試験者は試験機関の中に含まれるので、これを「試験機関の違い」と表記する。また、試料の不均質性は試験の繰返しと交差するため、「不均質性・繰返し」と表示する。試験環境については考慮していない。

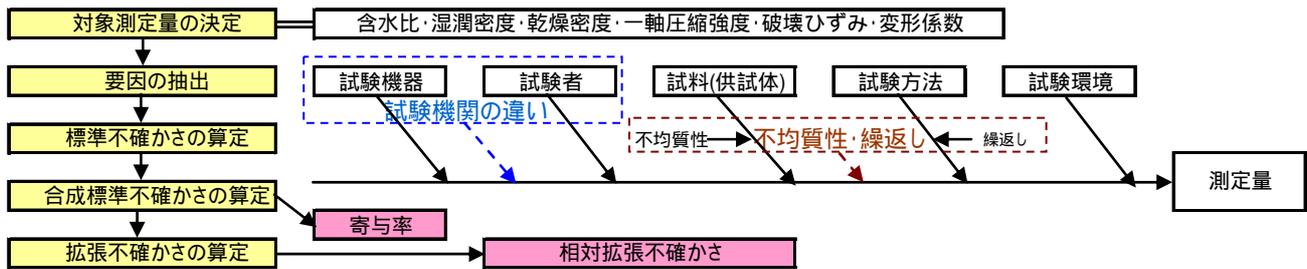


図-1 測定量の不確かさ算定方法

セメント改良土の技能試験はセメント添加量の異なる2種類の改良土について実施し、1機関につき3個の供試体の試験結果とその平均値が報告され、技能レベルは各機関の平均値により評価される。ここでは、2012年(参加機関数:51)と2009年(参加機関数:29)に実施した技能試験について検討し、2012年の試料を試料a(セメント量56kg/m³)、試料b(同59kg/m³)、2009年のものを試料c(同52kg/m³)、試料d(同57kg/m³)と呼ぶ。

3. 不確かさの算定結果 不確かさの算定は一元配置の分散分析によって行う。ここでは、2012年の試料aの一軸圧縮強度を例に説明する。表-1は51×3=153個の一軸圧縮強度の分散分析結果である。この表の右欄に示す分散の期待値は試験機関の違いの標準偏差(σ_A)と不均質性・繰返しの標準偏差(σ_e)に関係している。

表-1 一元配置の分散分析表(一軸圧縮強度)

変動要因	変動((kN/m ²) ²)	自由度	分散((kN/m ²) ²)	分散の期待値
試験機関の違い	46939.42	50	$V_A=938.788$	$\sigma_e^2+n\sigma_A^2$
不均質性・繰返し	6967.28	102	$V_e=68.307$	σ_e^2
合計	53906.70	152		

分散(V_A と V_e)の値から、 σ_A と σ_e が求められる。ふつう、改良土の試験結果は一つの試験機関が3個の供試体の試験結果を平均して報告することが多い。従って、試験機関の違いによる標準不確かさ u_A は σ_A に等しく、不均質性・繰返しによる標準不確かさ u_e は $\sigma_e/\sqrt{3}$ であり、次のようになる。

$$u_A = \sigma_A = \sqrt{\frac{V_A - V_e}{n}} = \sqrt{\frac{938.788 - 68.307}{3}} = 17.034 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (1) \quad u_e = \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{V_e}{3}} = \sqrt{\frac{68.307}{3}} = 4.771 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (2)$$

要因ごとの標準不確かさの2乗和の平方根を合成標準不確かさ u_c と呼ぶ。また、合成標準不確かさの中で要因(試験機関の違いと不均質性・繰返し)の標準不確かさが占める割合(二乗の比の百分率)を寄与率 R という。

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_e^2} = \sqrt{17.034^2 + 4.771^2} = 17.69 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (3)$$

キーワード 不確かさ, 技能試験, 標準偏差, セメント改良土, 一軸圧縮試験, 湿潤密度試験

連絡先 〒566-0042 大阪府摂津市東別府 1-3-3 関西地盤環境研究センター TEL. 06-6827-8833

$$R_A = (u_A^2 / u_c^2) \times 100 = \frac{17.034^2}{17.69^2} \times 100 = 92.72 \text{ (\%)} \quad (4)$$

$$R_e = (u_e^2 / u_c^2) \times 100 = \frac{4.771^2}{17.69^2} \times 100 = 7.27 \text{ (\%)} \quad (5)$$

一般に、試験結果の不確かさは合成標準不確かさを包含係数(ふつう2)倍した拡張不確かさ U で表す。さらに、平均値に対する拡張不確かさの百分率を相対拡張不確かさ U_R とすると、これは変動係数の約2倍を示す。

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 17.69 = 35.4 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (6)$$

$$U_R = (U/\bar{x}) \times 100 = \frac{35.38}{110.2} \times 100 = 32.1 \text{ (\%)} \quad (7)$$

3.1 合成標準不確かさの傾向 技能試験(試験機関数 i , 供試体数 j)の試験結果(x_{ij})の平均値(\bar{x}), 合成標準不確かさ($u_c(x)$)は表-2 のようである。試験結果(x_{ij})の試験機関ごとの平均値(\bar{x}_i)を y_i とすると、これの平均(\bar{y})及び標準偏差(σ_y)は上記の \bar{x} と $u_c(x)$ に等しい。技能試験の評価はこの標準偏差(σ_y)を基準にしているの、試料(供試体)のばらつきは考慮されていることが分かる。ただし、試験機関に配付される供試体間のばらつきが許容値以上の場合はさらにこれを考慮しなければならないことになっている⁴⁾。

表-2 試験結果の平均値 \bar{x} と合成標準不確かさ $u_c(x)$

実施年	2012年		2009年		
	試料 a	試料 b	試料 c	試料 d	
含水比 w (%)	\bar{w} $u_c(w)$	59.96 1.539	59.52 1.774	43.83 0.864	42.56 0.707
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	$\bar{\rho}_t$ $u_c(\rho_t)$	1.632 0.0166	1.633 0.0194	1.707 0.0168	1.712 0.0228
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	$\bar{\rho}_d$ $u_c(\rho_d)$	1.019 0.0155	1.020 0.0254	1.187 0.0139	1.201 0.0186
一軸圧縮強度 q_u (kN/m ²)	\bar{q}_u $u_c(q_u)$	110.23 17.69	144.74 22.77	173.26 17.94	226.12 26.93
破壊ひずみ ε_f (%)	$\bar{\varepsilon}_f$ $u_c(\varepsilon_f)$	8.75 1.73	8.01 1.72	5.26 0.75	4.36 0.67
変形係数 E_{50} (MN/m ²)	\bar{E}_{50} $u_c(E_{50})$	9.82 3.61	15.52 5.61	23.29 9.61	28.19 9.53

3.2 寄与率の傾向 6つの測定量について要因ごとの寄与率を式(4), (5)より求めると、図-2 のようである。不均質性・繰返し寄与率は破壊ひずみで大きい(20~40%)がそれ以外は一部を除き10%未満である。逆に、試験機関の違いの寄与率はほとんどが90%以上である。これは、今回の技能試験に参加した試験機関が土質試験を業務としている試験所、コンサルタント、施工業者だけでなく研究所・大学・高専などの研究・教育機関も含まれており、試験者の経験や技能、試験機器の校正や日常点検の程度に差があることに起因していると考えられる。

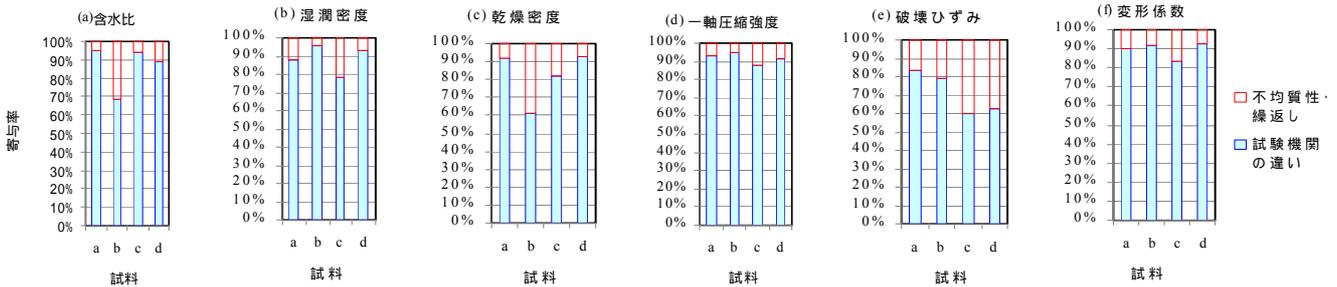


図-2 合成標準不確かさに占める試験機関の違いと不均質性・繰返しの寄与率

3.3 相対拡張不確かさの傾向 4種類の試料の6つの測定量について相対拡張不確かさを式(7)により求めると、図-3となる。4種類の試料はセメント量、供試体作成時の含水比と湿潤密度が異なるため、一軸圧縮強度と破壊ひずみも異なるが、相対拡張不確かさには試料による差はあまり見られない。湿潤密度試験から求める測定量の相対拡張不確かさは2~6%であるが、一軸圧縮試験の測定量の相対拡張不確かさは、一軸圧縮強度が20~30%、破壊ひずみが30~40%、変形係数は65~85%とかなり大きい。改良土の配合設計時にはこのような強度のばらつきを考慮すべきであるし、施工後の強度や安全性の検討にも測定量の不確かさに十分配慮する必要がある。

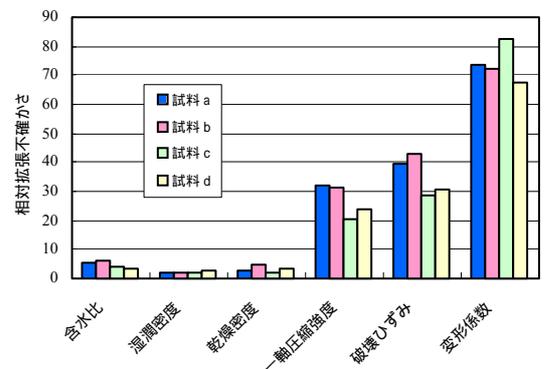


図-3 相対拡張不確かさ

4. あとがき 改良土の技能試験結果に基づき不確かさを算定したところ、(1)技能試験の評価に試料の不均質性の影響が考慮されていること、(2)試験機関の違いによる影響が大きいこと、(3)一軸圧縮試験結果の相対拡張不確かさが大きく、試験結果の利用に際して十分な配慮が必要であることが明らかになった。

参考文献 1) 澤・中山ほか：改良土の一軸圧縮試験結果の精度(不確かさ)について、第10回地盤改良シンポジウム論文集、日本材料学会、pp.181-188、2012。
 2) 中山・日置ほか：土質試験の技能試験結果における評価方法の検討(その1)、第48回地盤工学研究発表会論文集(富山)、2013、投稿中。
 3) 山内・日置ほか：土質試験の技能試験結果における評価方法の検討(その2)、第48回地盤工学研究発表会論文集(富山)、2013、投稿中。
 4) 澤・中山ほか：技能試験配付試料の均質性の評価方法と判定基準について、第48回地盤工学研究発表会論文集(富山)、2013、投稿中。