

土質試験結果の精度・信頼性に与える要因について

協同組合関西地盤環境研究センター 正会員
○稲角 健・井上啓司・澤 孝平・中山義久・萩家正次

1. まえがき

土質試験の結果は構造物の安全性を左右するものであり、その精度・信頼性の確認は、構造物の設計・施工管理にとって極めて重要である。平成 20 年度から完全実施される新 JIS 法では、JIS に基づく試験を「ISO17025 に基づき認定された試験所」で実施することになっているのも、この信頼性の確保を意識したものである。このたび当センターが「試験所の認定」を受けるに当たって、当センターの試験結果の精度を認定審査で必要とされる「不確かさの評価」に基づき確かめた。本文では、この過程で明らかとなった各試験結果の精度・信頼性に影響する要因について報告する。なお、室内土質試験の不確かさの算定については参考文献¹⁾²⁾を参考にした。

2. 不確かさの算出方法

「不確かさ」は、測定の精確さを表示するために ISO が定義したもので、最良推定値(たとえば平均値)の信頼の程度として定量化したものである。測定値に関する要因ごとに標準偏差を求め、それを合成することにより「合成標準不確かさ」を求め、これを測定値の不確かさとする。

試験結果の不確かさの要因としては、(a)計測器とその校正、(b)試験装置、(c)試験方法・手順、(d)試験室の環境等が考えられる。ここでは、土粒子の密度試験を例にして説明する。図 1 は土粒子の密度試験における不確かさの要因を示している。今回は試験室の環境と計算による影響は考慮せず、残りの 5 つの要因による不確かさを検討する。その試験条件を表 1 に示す。この内、秤の器差は校正の不確かさであり(タイプ B の評価といわれる)、校正証明書等の数値データを参照し、確率分布を仮定して求める。残りの 4 要因は試験結果の不確かさである(タイプ A の評価といわれる)。試験結果を統計的に分析して、条件ごとの変動係数(標準偏差／平均値)として求めた不確かさを合成(平方和の平方根)して、各要因の不確かさ(相対標準不確かさという)を算出する。

次に、各相対標準不確かさの値を合成し、合成相対標準不確かさ(u_c')を求め、これに平均値を乗じて合成標準不確かさ(u_c)を求める。試験所の試験結果の精確さは、 u_c を定数倍した信頼区間の形で表し、これを拡張標準不確かさ U という。すなわち、拡張標準不確かさは $U=k \times u_c$ (通常 $k=2$ が用いられる)で求められ、計測値の分布が正規分布の場合には $\pm U$ の範囲に試験結果の 95%が含まれることを表す。以上の計算結果を表 2 に示す。

本報告では、土粒子の密度試験以外に含水比試験、粒度試験(ふるいののみ)、湿潤密度試験、一軸圧縮試験の不確かさについて検討した。

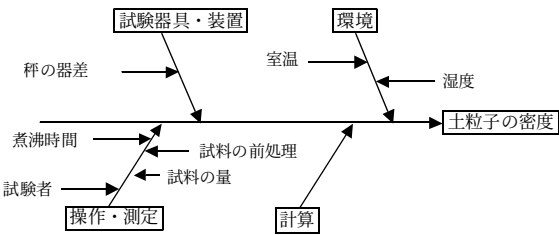


図 1 土粒子密度試験の影響要因図

表 1 不確かさの要因と試験条件

不確かさの要因	試験料	時間	前処理	試験者	試験料の量
秤の不確かさ	校正の不確かさによる				
煮沸時間による不確かさ	藤森粘土	30分	乾燥法	試験者A	30g
試験料の前処理による不確かさ		2時間	湿潤法		10g
					20g
試験料の量による不確かさ			乾燥法	試験者A	30g
試験者による不確かさ				試験者B	30g
				試験者C	
				試験者D	
				試験者E	

表 2 土粒子密度試験の不確かさの計算結果

不確かさの要因	試験条件	タイプ	標準偏差値	分布	除数	条件ごとの変動係数	相対標準不確かさ
試験器具・装置	u_1 電子天秤の器差	B	0.0020	JCSS		0.020g/210g	0.000952%
煮沸時間	u_2 30分	A	0.0019	正規	1	0.08	0.17%
	u_{2-2} 2時間	A	0.0038	正規	1	0.15	
試験の前処理	u_{3-1} 乾燥法	A	0.0029	正規	1	0.11	0.42%
	u_{3-2} 湿潤法	A	0.0105	正規	1	0.40	
試験の量	u_{4-1} 10g	A	0.0086	正規	1	0.33	0.39%
	u_{4-2} 20g	A	0.0009	正規	1	0.03	
	u_{4-3} 30g	A	0.0051	正規	1	0.20	
試験者	u_{5-1} 試験者A	A	0.0122	正規	1	0.47	0.79%
	u_{5-2} 試験者B	A	0.007	正規	1	0.27	
	u_{5-3} 試験者C	A	0.0021	正規	1	0.08	
	u_{5-4} 試験者D	A	0.0144	正規	1	0.05	
	u_{5-5} 試験者E	A	0.0039	正規	1	0.15	
合成相対標準不確かさ u_c'							0.99%
合成標準不確かさ u_c							0.026g/cm ³
拡張標準不確かさ ($k=2$) $U=k \times u_c$							0.052g/cm ³

キーワード：室内土質試験、精度、ISO17025、試験所認定、不確かさ

連絡先：〒566-0042 大阪府摂津市東別府1-3-3 TEL 06-6827-8833 FAX 06-6829-2256

3. 結果と考察

表3には、今回実施した各試験について、不確かさの計算過程をまとめた。ここでは、各要因が試験結果に及ぼす影響を検討するために、要因ごとの相対標準不確かさの大きさに着目する。すなわち、試験ごとに各要因の相対標準不確かさの割合を百分率(「影響率」という)で求め、その結果を図2に示す。

含水比試験の結果(図2(a))を見ると、秤の相対標準不確かさが小さいため、影響率は0%である。試料の乾燥時間の影響率は21%、試料の量の影響率は32%、試験者の影響率は47%となり、試験者が試験結果の不確かさに影響することがわかる。他の試験においても試験者の影響率は、土粒子密度試験:44%、粒度試験:100%、湿潤密度試験:98%、一軸圧縮試験(強度):67%、一軸圧縮試験(ひずみ):91%となり、不確かさに影響する要因の中で最も重要である事を示している。今回の不確かさ評価においては、試験装置や測定機器は十分に吟味し、校正などの点検は確実に実施したものをを用いて試験しているため、これらの影響は小さい。一方、試験者は入社3年目から20年以上の5名であり、試験者の技量がどの試験においても大きな影響を及ぼしたものと考える。

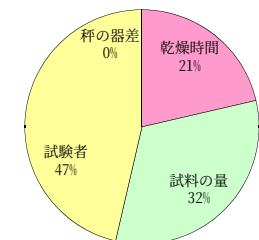
また、粒度試験における試験者の影響率には、ふるい分け作業時の粒子破壊の影響が含まれていると考えられる。同様に、試験者の影響率の大きい湿潤密度試験と一軸圧縮試験においては、実施した試験ごとに同一の大きさ・強度・破壊ひずみを有する供試体を準備することは不可能であり、供試体のばらつきの影響を考慮しなければならない。土は自然に堆積して作られた物なので、似た物は作れても同じ物は作れないという土質分野特有の原因であり、試験結果の精確さを表現する場合の大きな課題である。

4. まとめ

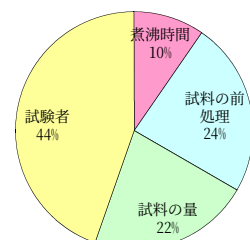
室内土質試験の精確さに影響する要因を明らかにするために、試験所認定における試験結果の不確かさ評価に基づき検討した。その結果、試験結果の不確かさ要因の中で試験者の違いによる影響が5割から10割を占めており、試験者の技量(熟練度)が試験の信頼性に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

表3 各試験の不確かさの計算

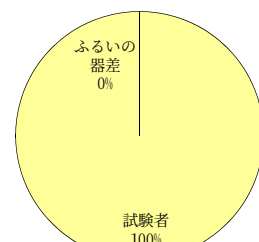
含水比試験 (w)		土粒子密度試験 (ρ_s)		粒度試験(ふるい)	
不確かさの要因	相対標準不確かさ	不確かさの要因	相対標準不確かさ	不確かさの要因	相対標準不確かさ
秤の器差	0.000667%	秤の器差	0.000952%	試験器具・装置	0.000667%
乾燥時間	1.61%	煮沸時間	0.17%	ふるいの器差	0.00%
試料の量	2.41%	試料の前処理	0.42%	試験者	7.01%
試験者	3.48%	試料の量	0.39%	試験者	7.01%
合成相対標準不確かさ u_c'	4.53%	試験者	0.79%	合成標準不確かさ u_c	7.01%
合成標準不確かさ u_c	1.96%	合成相対標準不確かさ u_c'	0.99%	拡張標準不確かさ u	14.01%
拡張標準不確かさ u	3.92%	合成標準不確かさ u_c	0.026g/cm ³		
		拡張標準不確かさ u	0.052g/cm ³		
$W=43.3\% \pm 3.92\%$		$\rho_s=2.606\text{g/cm}^3 \pm 0.052\text{g/cm}^3$			
湿潤密度試験 (ρ_t)		一軸圧縮試験(強度) (q_u)		一軸圧縮試験(ひずみ) (ϵ)	
不確かさの要因	相対標準不確かさ	不確かさの要因	相対標準不確かさ	不確かさの要因	相対標準不確かさ
秤の器差	0.000667%	ノギスの器差	0.59%	試験器具・装置	1.95%
ノギスの器差	0.00667%	試験器具・装置	1.94%	試験者	22.85%
試験者(質量)	0.03%	試験者	5.28%	試験者	22.9%
試験者(高さ)	0.14%			合成標準不確かさ u_c	0.25%
試験(直径)	0.26%			拡張標準不確かさ u	0.50%
合成相対標準不確かさ u_c'	0.30%	合成相対標準不確かさ u_c'	5.66%		
合成標準不確かさ u_c	0.009g/cm ³	合成標準不確かさ u_c	49.8kN/m ²		
拡張標準不確かさ u	0.018g/cm ³	拡張標準不確かさ u	99.5kN/m ²		
$\rho_t=1.732\text{g/cm}^3 \pm 0.018\text{g/cm}^3$		$q_u=879.4\text{kN/m}^2 \pm 99.5\text{kN/m}^2$		$\epsilon=1.08\% \pm 0.50\%$	



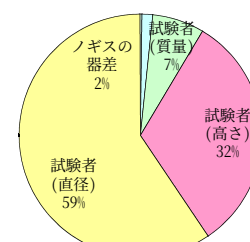
(a) 含水比試験



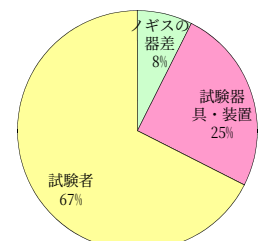
(b) 土粒子密度試験



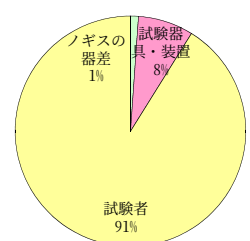
(c) 粒度試験(ふるい)



(d) 湿潤密度試験



(e) 一軸圧縮試験(強度)



(f) 一軸圧縮試験(ひずみ)

図2 各試験結果の不確かさに与える要因の影響率

参考文献 1) 鈴木直文、真島淑夫、柴田東：室内土質試験結果における不確かさ算定の試み、第40回地盤工学研究発表会、No.147、2005.7。

2) 鈴木直文、真島淑夫、柴田東：室内土質試験結果における不確かさ算定の試み(その2)、第41回地盤工学研究発表会、No.121、2006.7。