

地盤材料試験の技能試験結果の評価方法についての検討

関西地盤環境研究センター 正会員 ○澤 孝平・中山 義久
産業技術総合研究所 非会員 城野 克広

1. まえがき

地盤材料試験を実施している試験所・研究所・大学・高専などの試験技術・技能を比較し、そのレベルを評価するために技能試験が 2007 年から日本適合性認定協会と関西地盤環境研究センターの共催で行われていた。2011 年には地盤工学会に設置された研究委員会がこれを研究的に、2013 年には同学会調査部が試行的に実施し、2014 年からは基準部が同学会の恒例行事として年 1 回実施している¹⁾。技能試験の評価方法は JIS Z 8405:2008 (ISO 13528:2005) 及び JIS Q 17043:2011 (ISO/IEC 17043:2010) に定められている。本論では過去 7 年間の技能試験結果に基づきこれらを比較検討し、地盤材料試験にとって妥当な評価方法を考える。

2. 技能試験の評価方法

前述の JIS では表 1 に示すような評価方法が示されており、ふつうは(4)の z スコアが用いられることが多い。これらの評価方法において用いられる付与された値 x と技能評価のための標準偏差 $\hat{\sigma}$ 及び x の標準不確かさ u_x や拡張不確かさ U_{ref} (U_x) は技能試験に用いる配付試料が標準試料の場合には、それを作成する過程で一義的に決定できる。

しかし、地盤材料には標準試料がないため、参加機関の試験結果の平均値 $\bar{x}$ と標準偏差 σ を用いる。ただし、参加機関の試験結果に外れ値が多いので、地盤材料試験の技能試験では四分位法 (NIQR 法) により試験結果の四分位数 (Q_1 , Q_2 , Q_3) からこれらを算出している。また、配付試料にばらつきがあることから、これを準備する段階で技能試験プロバイダー(地盤工学会)が実施する均質性確認試験の標準偏差 (s_s) を考慮して、試験機関 i の試験結果 x_i に対する z スコア (z_i) を式(1)により算出している²⁾。

$$z_i = \frac{x_i - Q_2}{\sqrt{\{(Q_3 - Q_1) \times 0.7413\}^2 + s_s^2}} \quad (1)$$

キーワード 技能試験, z スコア, 標準偏差,
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

表 1 技能試験結果の評価方法 (JIS Z 8405)

番号	名称	算出式	記号の説明
(1)	かたよ り	$D = x - X$	x : 試験所の試験結果, X : 付与された値 p : 試験所の総数 $\hat{\sigma}$: 技能評価のための標準 偏差 u_x : 付与された値 X の標 準不確かさ U_{lab} : 技能試験の試験結果 x の拡張不確かさ U_{ref} と U_x : 付与された値 X の拡張不確かさ u_x : 技能試験の試験結果 x の標準不確かさ U_x : 技能試験の試験結果 x の拡張不確かさ
(2)	ハート ンセン テ ン シ ン 差 分	$D_{\%} = 100 \times \frac{x - X}{X}$	
(3)	順序	(順位) $i=1,2,3,\dots,p$	
	ハート ンセン テ ン シ ン 順 序	(%順位) $100(i-0.5)/p$ %	
(4)	z スコア	$z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}}$	
(5)	z' スコア	$z' = \frac{x - X}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + u_x^2}}$	
(6)	En 数	$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$	
(7)	ζ スコア	$\zeta = \frac{x - X}{\sqrt{u_x^2 + u_x^2}}$	
(8)	Ez スコア	$E_{z-} = \frac{x - (X - U_x)}{U_x} \quad E_{z+} = \frac{x - (X + U_x)}{U_x}$	

表 2 本論で検討する技能試験の評価方法

評価方法	名称	算出式	記号の説明
技能試験の全データを使用	【1】 z スコア(一般法)	$z_c = \frac{x - X}{\hat{\sigma}} = \frac{x - x_m}{\sigma_c}$	x_m : 試験結果の平均値 (一般法)
	【2】 En 数	$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} = \frac{x - x^*}{\sqrt{U^2 + (2u_x)^2}}$	σ_c : 試験結果の標準偏差 (一般法)
	【3】 En' 数	$E_n' = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} = \frac{x - Q_2}{U}$	x_{m0} : 外れ値を除いた平均 値 (一般法) σ_{c0} : 外れ値を除いた標準 偏差 (一般法)
技能試験の外れ値を除外したデータを使用	【4】 z スコア(一般法/外れ値除外)	$z_{c0} = \frac{x - X}{\hat{\sigma}} = \frac{x - x_{m0}}{\sigma_{c0}}$	x^* : Huber 法の平均値
	【5】 En 数(外れ値除外)	$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} = \frac{x - x_0^*}{\sqrt{U_0^2 + (2u_{x0})^2}}$	s^* : Huber 法の標準偏差
	【6】 En' 数(外れ値除外)	$E_n' = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} = \frac{x - Q_{20}}{U_0}$	U : 試験結果の拡張不確 かさ u_x : s^* から求める標準 不確かさ
ロバストな値を使用	【7】 z スコア(Huber 法)	$z(\text{Huber}) = \frac{x - X}{\hat{\sigma}} = \frac{x - x^*}{s^*}$	Q_2 : 四分位法の平均値
	【8】 z スコア(NIQR 法)	$z(\text{NIQR}) = \frac{x - X}{\hat{\sigma}} = \frac{x - Q_2}{\sigma_{\text{NIQR}}}$	σ_{NIQR} : 四分位法の標準 偏差
ロバストな値及び配付試料の均質性を考慮	【9】 z スコア(Huber 法/ s_s 考慮)	$z_s(\text{Huber}) = \frac{x - X}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + s_s^2}} = \frac{x - x^*}{\sqrt{s^{*2} + s_s^2}}$	x_0^* , U_0 , u_{x0} , Q_{20} : 外れ値を除外したデータ による x^* , U , u_x , Q_2
	【10】 z スコア(NIQR 法/ s_s 考慮)	$z_s(\text{NIQR}) = \frac{x - X}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + s_s^2}} = \frac{x - Q_2}{\sqrt{\sigma_{\text{NIQR}}^2 + s_s^2}}$	(注) Huber 法は JIS Z 8405 附属書 C を参照

本論では、表 2 に示す 10 個の評価方法について検討する。方法【1】は本来の z-スコア(表 1 の(4))であり、付与値 (X) と技能評価のための標準偏差 ($\hat{\sigma}$) は技能試験結果の平均値 (x_m) と標準偏差 (一般法: σ_c) である。方法【2】は En 数(表 1 の(6))であり、付与された値 (X) およびその拡張不確かさ (U_{ref}) として Huber 法によるロバスト平均 (x^*) 及びロバスト標準偏差 (s^*) から求める標準不確かさ (u_x) を $k=2$ 倍して用いている。地盤材料では En 数の U_{lab} と U_{ref} が

同じ技能試験結果からしか求められず、この両者が共役関係となる恐れがあるため、 U_{ref} を無視した En 数を本論では En' 数とし、方法【3】としている。方法【4】【5】【6】は、技能評価の基準 ($x_m, \sigma_c, x^*, u_x, U$) に技能試験結果の外れ値が影響しないように、外れ値 (方法【1】の z スコアが 2 より大きい試験結果) を除いたデータにより評価するものである。方法【7】【8】は、付与値 (X) と技能評価のための標準偏差 ($\hat{\sigma}$) のロバストな値を Huber 法と NIQR 法で求めるものである。方法【9】【10】では、方法【7】【8】の技能評価のための標準偏差 (s^* , σ_{NIQR}) に配付試料の均質性の影響 (s_s) を加味するものである。なお、地盤工学会の技能試験において採用している式(1)は、方法【10】である。

3. 評価方法の違いの実態

(1) 技能評価のための標準偏差 ($\hat{\sigma}$) の違い

表 2 の 10 個の評価方法における分子を構成している試験結果の平均値は、算術平均 (x_m, x_{m0}) とロバスト平均 (NIQR 法: Q_2, Q_{20} , Huber 法: x^*, x_0^*) ではあまり変わらないので、10 個の評価方法の分子 (試験結果 x の偏差) にはほとんど差がないといえる。一方、分母を構成している技能評価のための標準偏差 ($\hat{\sigma}$) は一般法 (σ_c, σ_{c0}) と NIQR 法 ($\sigma_{NIQR} = 0.7413(Q_3 - Q_1)$) と Huber 法 (s^*) 及び不確かさ評価から求める拡張不確かさ (U) に違いがある。図 1 は、地盤工学会が技能試験の評価方法として採用している方法【10】の s_s を考慮した NIQR 法の標準偏差 ($\sqrt{\sigma_{NIQR}^2 + s_s^2}$) と他の方法の標準偏差 ($\hat{\sigma}$) の関係を表している。いずれの標準偏差も平均値 ($Q_2, x^*, x_m, Q_{20}, x_0^*, x_{m0}$) で除した変動係数で比較している。 s_s を考慮した Huber 法【9】が方法【10】と最もよく一致しており、 s_s を考慮しない Huber 法【7】や NIQR 法【8】もほぼ同様である。配付試料の均質性を考慮する方法【9】【10】がそれを考慮しない方法【7】【8】に近いことは注目すべきである。また、外れ値を除外する方法【4】も一部を除いて方法【10】と近い関係にある。

一方、拡張不確かさを用いる En 数や En' 数 (【2】【3】【5】【6】) は z スコア (一般法)【1】とともに方法【10】と一致せず、2 倍ほど大きな値になる。これは En 数や En' 数に用いている拡張不確かさが標準偏差の約 2 倍であることによる。従って、後述するように、 z スコアと En 数・ En' 数との評価基準には違いがある。方法【1】は z スコアであるが、 En 数・ En' 数に近いといえる。また、 En 数は En' 数とほぼ同じであ

り、付与値の拡張不確かさ U_{ref} を Huber 法の標準偏差 s^* から算出する影響は小さい。

(2) 不満足な試験結果と評価される試験機関の割合

方法【1】【4】【7】【8】【9】【10】の z スコアでは、 $|z| \geq 3$: 不満足、 $3 > |z| > 2$: 疑わしい、 $2 \geq |z|$: 満足と評価される。方法【2】【3】【5】【6】では、 $|En| > 1$: 問題あり、 $|En| \leq 1$: 問題なしとなる。そこで、7 年間の技能試験結果を 10 個の評価方法で検討した結果、不満足・問題あり ($|z| > 2$, $|En| > 1$) とされる試験機関数は図 2 の様である。実施年、試験項目、試料土によりかなりの違いがあるので、ここでは試料土 (改良土・粘土・珪砂) ごとに不満足・問題ありの合計数を求め、全試験機関数に占める割合 (R_p) を示す。

不満足・問題ありの割合 (R_p) は評価方法により違いがあるが、粘土が大きく、珪砂は粘土より少し小さい。改良土は粘土や珪砂に比べて小さい。評価方法別でみると、方法【1】【2】【3】が $R_p = 4 \sim 6\%$ と小さい。技能試験の試験結果の分布が正規分布の場合には R_p が約 5% となるので、妥当な結果ともいえる。しかし、地盤材料の技能試験結果の正規性は十分でない場合が多く、外れ値の影響や配付試料の均質性を考慮すると、この評価方法では不十分であると考えられる。

方法【4】【5】【6】の外れ値除外データによるものが $R_p = 8 \sim 11\%$, 方法【7】【9】の Huber 法が $R_p = 6 \sim 10\%$, 方法【8】【10】の NIQR 法が $R_p = 6 \sim 13\%$ で、ほぼ同じレベルである。配付試料の標準偏差 s_s を加味した方法【9】【10】はこれに加味しない【7】【8】より小さい結果であり、配付試料の影響が考慮できている。また、外れ値を除くデータにより評価した方法【4】【5】【6】がこれら 4 者とほぼ同じ割合を示すことは注目すべきである。

4. あとがき

技能試験の評価方法を検討した結果は次のようである。

- (1) 方法【4】～【10】が同じような結果を示し、不満足・問題ありと評価される機関が 8～11% と多い。
- (2) 均質性を加味する評価方法【9】【10】の効果がみられる。
- (3) 外れ値を除く試験結果の平均値と標準偏差から求める方法【4】【5】【6】はロバスト法や NIQR 法及び配付試料の均質性を考慮する方法と同じ傾向を示す。

参考文献 1) 澤孝平ほか, 第 51 回地盤工学研究発表会論文集 (岡山), 地盤工学会, 2016, (投稿中). 2) 澤孝平ほか, 産業技術総合研究所第 3 次事例研究会報告, 2017, (投稿予定).

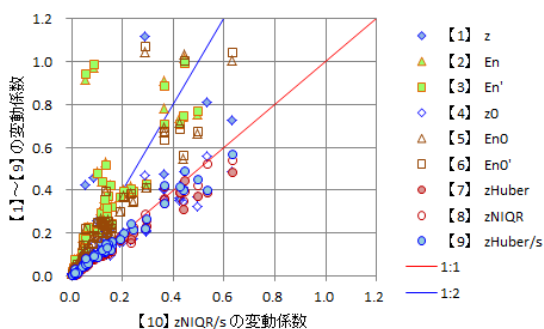


図 1 方法(C1)と他の方法の $\sigma/\bar{x}$ の比較

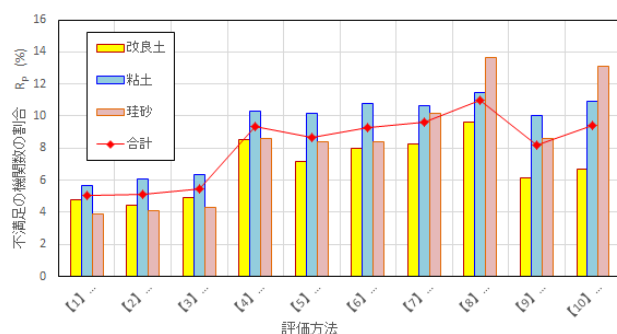


図 2 不満足と評価される試験機関の割合