

新港湾基準による地盤定数特性値と一般化された設計コードによる地盤定数特性値の比較

港湾空港技術研究所 正会員 ○渡部要一
港湾空港技術研究所 正会員 田中政典
港湾空港技術研究所 正会員 菊池喜昭

1. はじめに

新港湾基準¹⁾では、信頼性設計に基づいた性能設計が本格的に導入されるとともに、地盤定数の特性値については、統計処理に基づく補正を施すことによりばらつきを考慮して設定することとなった。本報では、新港湾基準によって設定される特性値²⁾と、Eurocode7³⁾やJGS4001⁴⁾といった一般化された設計コードによって設定される特性値とを比較する。なお、紙面の制限により、性能照査において耐力側に寄与するパラメータの場合のみを記述する。

2. 新港湾基準による特性値

試験結果の分布をモデル化して推定される値(推定値)を a^* で表し、試験結果(導出値) a のばらつきを a/a^* の標準偏差(SD)、すなわち変動係数(COV)で考える。ここで、 a^* はモデル化された層内において平均値で一様に分布する、あるいは、最小二乗法等により誤差最小とする近似分布として推定される。 COV に応じて、推定値を特性値にするための補正係数 b_1 を導入し、累積確率密度約30%に相当するフラクタイル値となるように $b_1=1-(COV/2)$ と表す。新港湾基準では式を直接用いずに表1の数値が与えられている。データ個数 n が10個未満($n<10$)の場合には補正係数 b_2 も導入し、 $b_2=\{1-(0.5/n)\}$ と表す。特性値 a_k は推定値 a^* に補正係数 b_1 と b_2 を乗じて次式で決定される。

$$a_k = b_1 \cdot b_2 \cdot a^* = \left(1 - \frac{COV}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{0.5}{n}\right) \cdot a^* \tag{1}$$

3. 一般化された設計コードによる特性値

Eurocode7やJGS4001のような一般化された設計コードでは、地盤パラメータの特性値をある信頼区間の下限値に設定すべきであるとしている。多くの場合、95%信頼水準が採用される。地盤調査結果では母集団の標準偏差が未知であるから、試験結果は t -分布に従うものとして次式によって95%信頼区間の下限値を特性値に設定する。

$$a_k = a^* - k_s \cdot SD = a^* - \frac{t_{0.1;n-1}}{\sqrt{n}} \cdot SD \tag{2}$$

ここで、 n 個の導出値に対して、 a^* は上述の推定値、 SD は標準偏差、 k_s は信頼区間に応じて決まる係数である。また、 $t_{0.1;n-1}$ は95%信頼区間に対応した自由度 $n-1$ の t -分布の逆関数である。深度分布をモデル化して考えるとき、当該パラメータの導出値 a を推定値 a^* で除して正規化し、次のように変形して取り扱うと便利である。

$$\frac{a_k}{a^*} = 1 - k_s \cdot \frac{SD}{a^*} = 1 - \frac{t_{0.1;n-1}}{\sqrt{n}} \cdot COV \tag{3}$$

4. 新港湾基準と一般化された設計コードとの特性値の比較

新港湾基準の地盤パラメータ設定法によって得られる特性値が、95%信頼水準によって設定される値とどのような関係にあるかを考察する。データの絶対値のばらつきを表す標準偏差 SD ではなく、深度分布を考えた上でばらつきを正規化した変動係数 COV を用いて評価することは、新港湾基準の方法の特徴の一つである。(1)式の新港湾基準の方法と(2)式の95%信頼水準によって設定される特性値とを比較して図1に示す。ここではデータ数 n が2, 3, 5, 10, 20, 50, 100の場合を示している。 $n=10$ の場合、新港湾基準の方法と95%信頼水準による値は変動係数に依らずほぼ一致している。これは30%フラクタイル値を採用した根拠となるケースでもある²⁾。新港湾基準の方法では、 $n>10$ の場合に設定される特性値は n の増加に対してほとんど変化しない。一方、 $n<5$ の場合、95%信頼水準の値は変動係数の増加に対して急激に減少しており、変動係数が大きい場合には設計ができない恐れがある。新港湾基準の方法は、変動係数が小さいと95%信頼水準より安全側であるが、変動係数がある程度大きくなると逆転し、新港湾基準の方

キーワード 地盤定数, 特性値, 信頼水準, 港湾, 信頼性設計
連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1 (独)港湾空港技術研究所 地盤・構造部 土質研究チーム TEL046-844-5053

が危険側の設定になる。

実際の地盤調査では、データ個数は10程度であることが多いことから、新港湾基準の方法により設定される特性値は95%信頼水準にほぼ対応している。しかし、データ個数が2~3個というケースにもしばしば遭遇する。特に、地層構成が複雑な場合、深度分布を考えている層が薄いとデータ個数は限られてしまう。このような場合、95%信頼水準にこだわることは非現実的であると言え、むしろ、新港湾基準の設定方法の方が現実的であろう。一方、データ数が著しく増加しても、変動係数が大きい場合には特性値を小さく設定しなければならなくなっていることも新港湾基準の設定方法の特徴である。試験結果のばらつきが著しい場合には、たとえデータがたくさんあったとしてもデータをよく見直して、適切な深度分布を考えることを促している。また、データのばらつきの原因が試験法にあるのであれば、ばらつきを小さくするような信頼性の高い試験法を採用することを促している。ところで、新港湾基準では、式で表された補正係数 b_1 を直接使うのではなく、端数を丸めた表1の値を使うようになっている。また、データ数 n が10未満の場合のみ、補正係数 b_2 を乗じる。このことを反映してプロットしたものが図2である。新港湾基準では $COV < 0.1$ で $n \geq 10$ の場合、特性値 a_k は推定値 a^* と一致するようになっている。 $n=10$ 程度の場合には、新港湾基準の方法と信頼水準95%の特性値はほぼ一致し、 $n < 10$ の場合にも両者は著しく異なるものではない。

補正係数 b_1 と b_2 の役割について、図3に概念図を示す。本報では性能照査において耐力側に寄与するパラメータを考えているので図示された範囲の下限値側をとる。試験結果から得られたデータが広い分布(A)の場合と狭い分布(B)を比較すると、データ数 n が小さい場合には95%信頼区間は広く、 n が大きくなると95%信頼区間は狭くなる。このことと対応したのが補正係数 b_2 である。新港湾基準の方法では、たとえデータ数 n が増えても、そもそもデータのばらつきが大きい場合には b_1 によって30%フラクティル値を用いるように補正される。

5. まとめ

新港湾基準による特性値は、Eurocode7やJGS4001の95%信頼水準による特性値とも整合を図った上で、データ個数の不足や著しいばらつきにも実用的に対応するものである。

参考文献

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, 2007.
- 2) 渡部要一, 植田智幸, 三枝弘幸, 田中政典, 菊池喜昭: 性能設計概念に基づいた実用的土質定数設定法, 土木学会論文集C, 63(2), 553-565, 2007.
- 3) EN 1997-1: 2004: Eurocode 7, Geotechnical design –Par 1: General rules, 2004.
- 4) 地盤工学会基準JGS4001-2004「性能設計概念に基づいた基礎構造物に関する設計原則」, 2004.

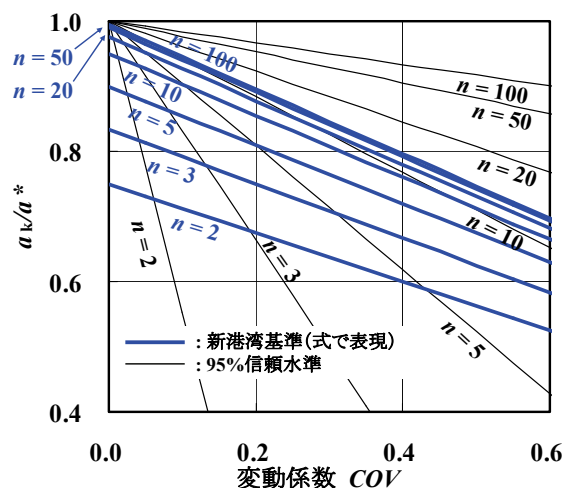


図1 新港湾基準(COV や n によらず式(1)をそのまま適用)と一般化された設計コードとの特性値の比較

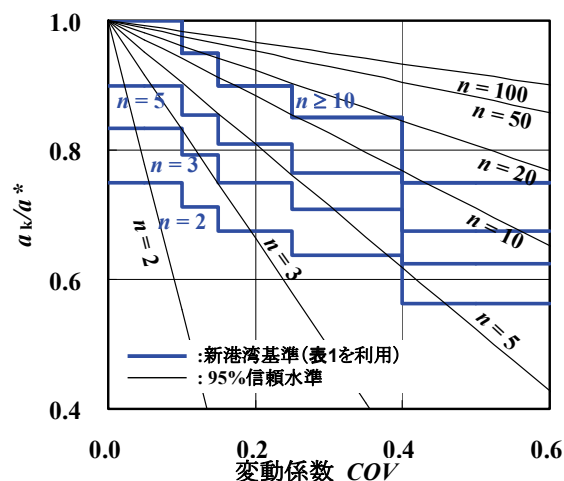


図2 新港湾基準(表1を利用. $n < 10$ の場合のみ b_2 も導入)と一般化された設計コードとの特性値の比較

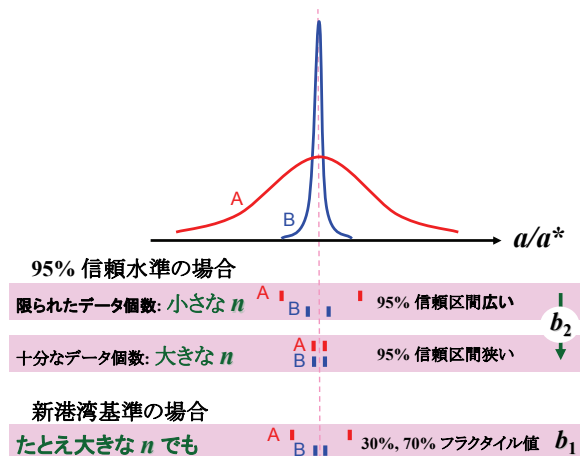


図3 補正係数 b_1 と b_2 の役割