

港湾施設の設計における土質定数の新しい設定方法

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
佐伯建設工業（港湾空港技術研究所研修生）	正会員	植田智幸
東亜建設工業（港湾空港技術研究所研修生）	正会員	三枝弘幸
港湾空港技術研究所	正会員	菊池喜昭

1. はじめに

港湾施設の設計基準は、改訂作業が進められており、性能規定による信頼性設計が本格的に導入される予定となっている。本論文では、同基準の附属書に導入予定の新しい土質定数設定法を紹介する。

2. 土質定数設定の原則

性能照査に用いる土質定数の設計用値は、地盤工学会基準JGS4001-2004¹⁾に基づき、図-1に示すフローに従って推定する。調査や試験によって計測された値が「計測値」であり、これを地盤パラメータに変換した値を「導出値」と呼ぶ。さらに、当該地盤の物理・力学情報を反映した代表値が「特性値」である。特性値は、地盤パラメータそのものの真値を追求して求められるものである。しかしながら、設計で想定している限界状態によ

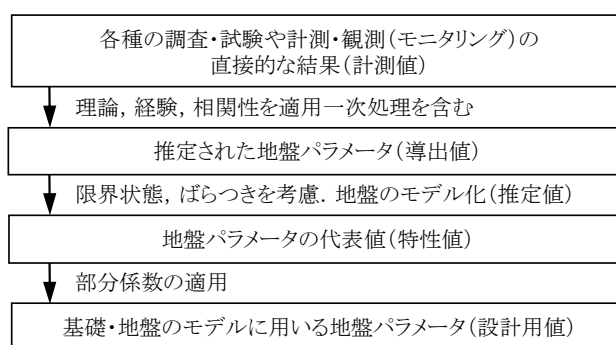


図-1 JGS4001-2004の基本概念¹⁾（一部修正加筆）

て地盤パラメータは変化し、設計に用いる照査式にも適用範囲がある。設計では、上記を勘案した地盤パラメータとするために、設計する施設ごとに設定される部分係数を特性値に乗じた「設計用値」を使う。

特性値は原則として導出値の平均値（期待値）であるが、単なる導出値の算術平均ではなく、統計的な平均値の推定誤差を勘案しなければならないとされる。JGS4001-2004では、母集団の標準偏差が既知の場合には正規分布、未知の場合には t -分布に従うとして、信頼区間に応じた特性値の設定法が示されている。しかし、地盤パラメータを扱う場合には、調査・試験法に起因した誤差、導出値の推定誤差、地盤そのものの不均質性や堆積状況等に起因した導出値の分布・ばらつきがあり、工場製品の品質指標を扱うような場合とは違い、単純な統計処理をすることは難しい。そこで、港湾の設計では、以下の簡略化した方法の導入を考えている。

3. 地盤のモデル化

信頼性設計に供するための土質パラメータの特性値を求めるには、統計処理するのに十分な個数の試験結果を得ておく必要がある。また、地盤調査・土質試験結果を性能照査に反映させるためには、土質パラメータ a の推定値 a^* の深さ方向の分布を、深さ方向に一樣（ $a^*=c_1$ ）、あるいは深さ方向に直線的に増加（ $a^*=c_1z+c_2$ ）などとしてモデル化する必要がある。ここで、 c_1 、 c_2 は定数である。なお、ある深度の範囲をモデル化する場合、統計処理をするのに十分なデータ数とは、本来ならば20個以上であることが望ましいとされる。しかしながら、地盤調査の場合には試験数量に限りがあることが多いため、ある一つの地盤モデルに対して10個以上のデータがあれば十分であると考えたい。

4. 設計における特性値の考え方

地盤定数の設定において、導出値から特性値を設定する際の基本的な考え方を以下にまとめる。ひとことで「導出値」と言っても、導出値を求める際に採用したサンプリング方法、試験方法、サウンディング方法、経験式や理論式によって適用範囲や結果のばらつき具合が異なることから、設計用値に対してこれらの影響を反映させる必要がある。例えば、非排水せん断強さであれば、「一軸圧縮試験」は結果のばらつきが大きいので

キーワード 地盤定数, 特性値, 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 土質研究室 TEL046-844-5053

信頼性に乏しく、「三軸試験」は結果のばらつきが小さいので信頼性が高いことは広く知られているが、個々の設計で、これらのばらつきの程度をひとつ一つ考慮することは難しい。ましてや部分係数にこれを反映させることは、設計法を複雑にしてしまうだけであるので避けるべきである。このような背景から、試験法の信頼度に応じた補正を最初から特性値に反映しておくという考え方を採用したいと考えている。「一軸」と「三軸」ではばらつきの程度、すなわち変動係数が著しく異なることに着目して、変動係数に応じて補正の程度を変化させれば、試験法に起因するばらつきやデータ解釈の信頼性（ある深度範囲をあるモデル分布で表現したときの信頼性）が自動的に特性値に反映されることになる。すなわち、以下に示す特性値の設定方法によれば、試験方法によらず、いつも同じ部分係数の値が使える仕組みを構築できることになる。

5. 特性値の推定方法

試験結果の分布をモデル化して推定されるパラメータを a^* で表し、試験結果 a のばらつきを考えると、 a/a^* の標準偏差で定義される変動係数（CV）を使うと便利である。ここで、 a^* はモデル化された層において平均値で一様分布、あるいは、最小二乗法等により誤差最小とする分布として推定されていることが大前提である。

均質な地盤を対象として、乱さない粘土試料に対して各種土質試験を慎重に実施すると、得られる特性値に対する変動係数は0.1以下になることが知られている²⁾。すなわち、均質な地盤といえども何らかの不均質性があること、土質試験法に起因する誤差が存在すること等によって、この程度の結果のばらつきはやむを得ない。しかし、ばらつきがもっと大きな場合には、地盤の不均質性が高い、サンプリング時の乱れが大きい、土質試験の方法が適切ではない、深さ方向の分布に対するモデル化が適切ではないなどの原因が考えられ、推定値 a^* をそのまま特性値とするのではなく、不確定要因を考慮して安全側に設定する必要があると思われる。

変動係数（CV）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、特性値を $a_k = b_1 \times a^*$ で表すことにする。対象としているパラメータ a が性能照査において耐力側に寄与する場合（安定解析におけるせん断強さなど）や設計において安全側に寄与する場合（圧密予測における圧密降伏応力や圧密係数など）には補正係数として $b_1 = 1 - (CV/2)$ 、性能照査において作用側に寄与する場合（安定解析における盛土の単位体積重量）や設計において危険側に寄与する場合（圧密予測における圧縮指数など）には補正係数として $b_1 = 1 + (CV/2)$ 程度に設定することを提案する。なお、変動係数（CV）が0.6以上のときはばらつきが大きすぎて信頼性に乏しく設計ができない。このような場合には、試験結果の解釈をもう一度見直し、必要があれば地盤のモデル化についても再検討する。場合によっては地盤調査をやり直すことになる。

上記については、統計処理を行うのに十分な個数のデータがあることが前提であったが、データ個数が統計処理をするのに不足している場合には、次のように補正係数に対するさらなる補正を行う。すなわち、データ数 n が10個以上あることにより、統計結果にもある程度の信頼性が出てくるものと考え、それより不足する場合には、補正係数 b_1 を $b_2 = \{1 \pm (0.5/n)\}$ 倍する。ここで、±の符号については、補正係数 b_1 と同様に、当該土質パラメータが性能照査上耐力側に寄与する場合や設計で安全側に寄与する場合には負号、性能照査上作用側に寄与する場合や設計で危険側に寄与する場合には正号をとる。なお、安定解析における平地盤の単位体積重量など、作用側と耐力側とが本質的にバランスしていると見なせる量については、補正係数を考える必要はない。

6. おわりに

上述の土質定数設定法によれば、十分にばらつきの小さいデータが十分な数だけ得られていれば、特性値は導出値とほぼ一致するので、従来の設計法と本質的に同じ設定となり、何ら変更点はないことになる。変動係数を小さくすることを目的に据えることにより、データの適切なモデル化（技術者の能力向上）、ばらつきが小さくなる試験法の導入（試験技術の開発）に向けて、技術が誘導されていくことに期待したい。

参考文献

- 1) 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.
- 2) Watabe, Y., Takemura, T., Shiraishi, Y. and Murakami, T.: On the homogeneity of undisturbed clay samples retrieved from Osaka Bay, *Proc. of 57th Canadian Geotechnical Conference, Québec, Session7E* pp.1-8, 2004.