

確率論に基づく改良土の一軸圧縮強度の下限值規定

電源開発(株)	水力エンジニアリング部	正会員	○吉岡	健
同 上		正会員	坂本	登
同 上		正会員	杉山	弘泰

1. はじめに

近年、地震時の液状化防止および土圧低減を目的として、セメント系固化材による地盤改良（以下、改良土）を採用する事例が多い。火力・原子力発電所では、港湾の埋立区域のみならず、取・放水設備周辺での適用例も見受けられる。その場合、改良土の信頼度向上が構造物全体のリスク低減に寄与するため、施工管理基準としては、従来の一軸圧縮強度の平均値規定のみではなく、ばらつきに関する規定も付加すべきであると考えられる。しかし、ばらつき、すなわち変動係数の許容値を直接規定することは、以下の理由により得策ではない。

- ① 1回のチェック・リソグで得られる供試体は高々数本であるため、変動係数の評価が困難であること。
- ② 強度が大きめにばらつくことも許容しないことになり、改良工法選定の自由度が下がること。

したがって、コンクリートと同様に、3回の平均値規定に加え、各1回の下限值規定を与えることが望ましいと考えられる。一般に、コンクリートの下限值規定は85%であるが、改良土に同値を規定することは厳しすぎるであろう。そこで本報告では、確率論に基づき一軸圧縮強度の妥当な下限値規定について検討した。

2. 検討方法

2.1. 評価基準関数の定式化

図-1に一軸圧縮強度の確率密度曲線の例を示す。横軸は設計基準強度で無次元化している。図において、 Q_{ud} ：設計基準強度、 Q_u ：現場強度、 q_u ：室内強度、 μ_{qu} ：室内強度の平均値（＝目標強度）、 α ：割増係数 $=\mu_{qu}/Q_{ud}$ 、 V_{qu} ：変動係数（正規分布を仮定）であり、 $\beta=Q_{u,low}/Q_{ud}$ をここでは下限値係数と称す。割増係数 α とは、室内試験と現地施工における強度の違いを補正するための係数であり、事前混合処理土では一般に $\alpha=1.1\sim 2.2$ の値が用いられている¹⁾。

まず、評価基準関数 Z を定式化する。3回の平均値規

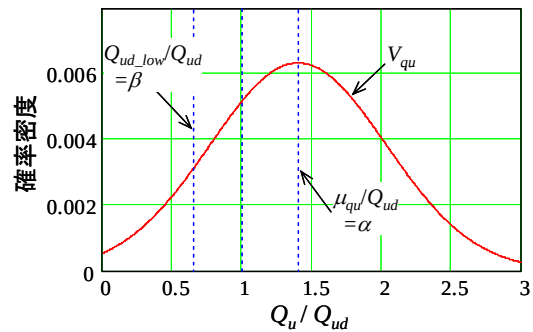


図-1 一軸圧縮強度の確率密度曲線の例

定を定式化すると式(1)となり、これを μ_{qu} で無次元化すると式(2)となる。

$$Z_1 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_i - Q_{ud} \quad (1)$$

$$Z_1' = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_i' - \frac{1}{\alpha} \quad (2)$$

式(2)を用い、規定を満足しない確率（以下、リスク P ）は次式で表される。

$$P_1 = F(Z_1' < 0) \quad (3)$$

ここに、 x_i ：正規確率変数（平均値 μ_{qu} 、標準偏差 σ_{qu} ）、 x_i' ：正規確率変数（平均値1、標準偏差 V_{qu} ）、 $F(\cdot)$ ：正規分布の結合確率分布関数である。

同様に、各1回の下限值規定についても定式化する。

$$Z_2 = \min(x_i - Q_{u,low}), i=1\ldots 3 \quad (4)$$

$$Z_2' = \min\left(x_i' - \frac{\beta}{\alpha}\right), i=1\ldots 3 \quad (5)$$

$$P_2 = F(Z_2' < 0) \quad (6)$$

2.2. 解析方法

モンテカルロシミュレーションによりリスク P を評価した。一樣乱数の発生には高精度であるメルセンヌ・ツイスタを用い、一樣乱数から正規乱数への変換方法に

キーワード モンテカルロシミュレーション、改良土、一軸圧縮強度、施工管理基準

連絡先 〒104-8165 東京都中央区銀座 6-15-1 TEL 03-3546-3222 FAX 03-3546-9423

はボックス・ミュラー法を用いた。試行回数は100万回とした。ここで、正規確率変数 x_i について、自然地盤の場合は空間自己相関性を有するが、改良土の場合は人工地盤であるため、空間自己相関性は低いと考え、互いに独立として扱った。以上の解析を α , β , V_{qu} をパラメータとして実施し、リスク P_1 , P_2 の変動性を調べた。

3. 検討結果

図-2 に解析結果の一例を示す。横軸を下限値係数 β としているためリスク P_1 は一定値であり、 β が大きいほどリスク P_2 も大きくなり、 β のある値で P_1 を上回る。このとき、 $P_2 = P_1$ となる下限値係数を β^* とする。

β^* の最適値を検討するにあたり、まずリスク P_1 の許容値を決定する必要がある。図-3 は割増係数 α に対する P_1 の関係を見たものである。コンクリートの場合、変動係数 5~10%、割増係数 1.1~1.2 程度であるから、 P_1 の値は 5×10^{-3} (200 回に 1 回の NG) 程度となる。改良土における P_1 の許容値もこれと同値とし、さらに変動係数の目標値 V_{qu}^* を、文献 2) を参照して安全側の値である 20% と設定すれば、割増係数の目標値 α^* は 1.4 となる。

図-4 は α に対する β^* の関係を見たものである。コンクリートの場合の変動係数 5~10%、割増係数 1.1~1.2 に対する β^* は 85% となり、一般に用いられてきた 85% 下限値規定は適切であることがわかる。一方、改良土の一軸圧縮強度の場合、先に設定した目標値 $V_{qu}^* = 20\%$, $\alpha^* = 1.4$ に対する β^* は 65% となる。

図-5 は、 $\beta = 65\%$ とした場合の α に対する P_2/P_1 の関係を見たものである。目標値 $V_{qu}^* = 20\%$, $\alpha^* = 1.4$ の場合に、 P_2 は P_1 と同程度の値になる。これを境界として、 $V_{qu} < 20\%$ のときには $\alpha = 1.0 \sim 1.4$ の範囲で $P_2 < P_1$ であり、 P_1 が支配条件となる。この場合、割増係数は従来と同程度の値でよい。一方、 $V_{qu} \geq 20\%$ のときには $\alpha = 1.4 \sim 2.2$ の範囲で $P_2 > P_1$ であり、 P_2 が支配条件となる。この場合、従来よりも高い割増係数が要求されることとなる。

4. まとめ

改良土の施工管理指標である一軸圧縮強度について、モンテカルロシミュレーションを用いた検討により、従来の平均値規定に加えて下限値規定 $\beta = 65\%$ を付加することを提案した。これにより、ばらつきの大きい改良工法が棄却され、改良地盤の信頼性向上が期待できる。

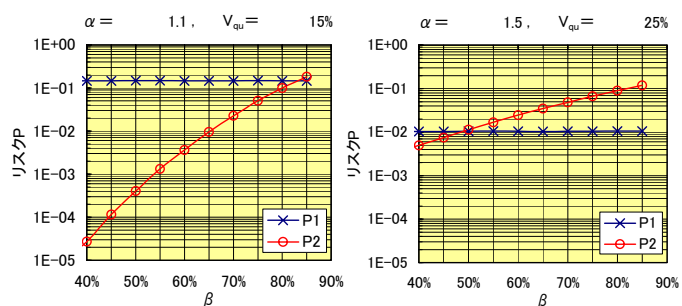


図-2 解析結果の一例

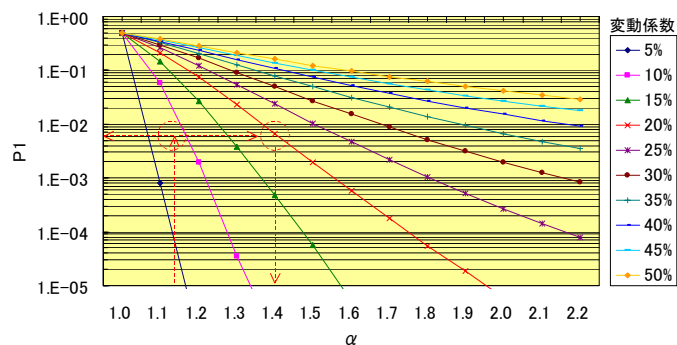


図-3 α に対する P_1 の関係

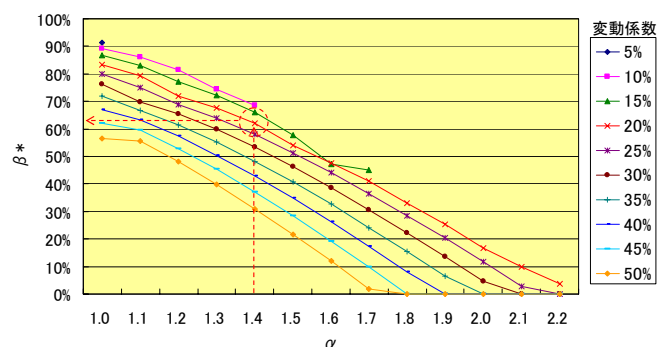


図-4 α に対する β^* の関係

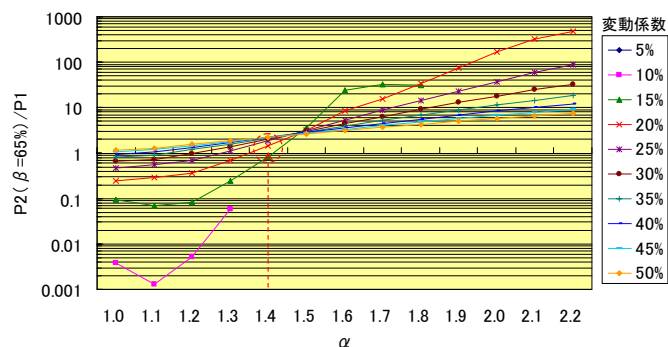


図-5 $\beta = 65\%$ とした場合の α に対する P_2/P_1 の関係

参考文献

- 1) 事前混合処理工法技術マニュアル, (財) 沿岸開発技術研究センター, 1999.
- 2) セメント系固化材による地盤改良マニュアル【第3版】, (社) セメント協会, 2003.