

地盤強度採用値の性能規定化と盛土設計の最適化の検討

東京電力㈱ 正会員 ○高橋 章
防衛大学校 正会員 正垣 孝晴

1. はじめに

盛土の安定性に及ぼす地盤調査や土質試験結果の感度を設計法の中で定量化することは一般に困難である。地盤の不均質性、施工状況、盛土の安定性の状況等を踏襲して、それらの感度を総括する形で把握することが難しいからである。本稿では実盛土を対象に、当該地盤で行われたコーン貫入試験と室内せん断試験を採り上げ、性能規定化に向けた検討を行う。後者はサクシオン測定を伴う一軸圧縮試験(UCT)結果から、簡便法¹⁾で原位置非排水強度 $q_{u(l)}$ を推定する。盛土の最適設計法が、総費用と破壊確率の観点から q_u , $q_{u(l)}$, コーン貫入試験(CPT)から推定した非排水強度を用いて検討される。

2. 地盤強度採用値の性能規定化の検討

検討に用いた供試土²⁾は茨城県陸域の有機質土(O)と粘性土(C₂)であり、乱さない試料をチューブ内径 45-mm のサンプラーで採取した。以下に破壊確率 P_f の算出時に生産者危険³⁾を考慮した地盤強度採用値の性能規定化に向けた検討を示す。なお、飽和粘土地盤では、CPT の結果から非排水強度を推定する経験式(1)²⁾が提案されているため、容易に多点のデータが取得できる CPT の活用も検討した。

$$q_t - \sigma_{vo} = N_{kt} \times c_u \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 q_t :コーン有効面積で補正した先端抵抗(kPa), σ_{vo} :全土被り圧(kPa), c_u :原位置非排水強度(kPa), N_{kt} :コーン係数である。

2.1 検討手順

図-1 に示す盛土の最小安全率の円弧⁴⁾を用いて、以下に示す i)~v) の手順で母集団が未知の場合の、原位置非排水強度の試験数量 n と盛土の P_f の関係を求め、式(2)で計算される盛土の総費用 C_t (千円/m)を分析する。

$$C_t = C'_c + P_f \times C_f + C_i \dots \dots \dots (2)$$

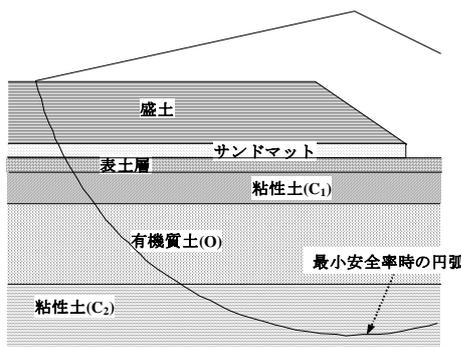


図-1 土層構造と最小安全率時の円弧

ここに、 C'_c :盛土建設費(千円/m), C_f :破壊復旧費(千円/m), C_i :初期調査・試験費(千円/m)であり、 n の関数は P_f と C_i である。

本節では盛土設計を非排水強度の平均値で行い、各土層の非排水強度はボーリング孔内のばらつきが面的なそれと等しいとし、O層とC₂層以外の土のパラメータと荷重は固定値と仮定している。

- i) 最小安全率を与える円弧より、O層とC₂層以外の層の抵抗力と滑動力を固定値として求める。
- ii) O層とC₂層の q_t から式(1)を用いて c_u を推定する。なお、 c_u の推定には N_{kt} の設定が影響を及ぼすが、今回は一般に使用されることの多い $N_{kt}=10$ を用いる。
- iii) O層とC₂層の採取試料のサクシオン測定を伴う一軸圧縮強度 q_u に簡便法¹⁾を適用し、 $q_{u(l)}$ を推定する。
- iv) c_u または $q_{u(l)}$ に円弧長さと盛土単位幅を乗じて抵抗力に変換し、ランダム抽出で n を増やした場合のO層とC₂層の抵抗力分布を式(3)と式(4)を勘案して算出する(分散の加法性³⁾を考慮)。これに、他の固定値を加えて総抵抗力の母平均分布を算出し、図-2に示すように、母平均分布が滑動力を下回る部分の確率を計算して、これを P_f と定義する。

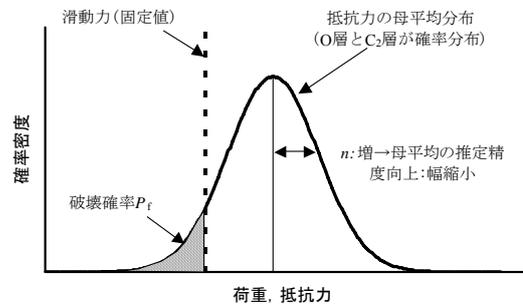


図-2 抵抗力の母平均分布、滑動力と P_f の関係

①母平均 μ の信頼区間 :

$$\bar{X} - t_{0.05} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t_{0.05} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots$$

(3)

ここに、 \bar{X} :標本平均, $t_{0.05}$: 両側有意水準 5% の t 値, s : 標本の標準偏差である。

②母標準偏差 σ の信頼区間 :

$$\sqrt{\{(n-1)s^2 / \chi^2_{0.025(n-1)}\}} \leq \sigma \leq \sqrt{\{(n-1)s^2 / \chi^2_{0.975(n-1)}\}} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $\chi^2_{0.025(n-1)}$:下側有意水準 2.5% の χ^2 値, $\chi^2_{0.975(n-1)}$: 上側有意水準 2.5% の χ^2 値である。

キーワード 性能規定化, 原位置非排水強度, 生産者危険, 消費者危険

連絡先 〒100-8560 東京都千代田区内幸町 1-1-3 東京電力㈱建設部ダム技術グループ TEL:03-4216-4299

v) iv)で得られた P_f を用いて、 n と C_1 の関係を検討する。

2.2 地盤強度採用値の性能規定化の検討

$N_{kt}=10$ と q_t より推定した c_u 、 q_u と $q_{u(l)}$ から求めた C_1 と n の関係を図-3 に示し、 C_1 が最小となる n 、 C_1 、 P_f を表-1 に示す。 q_t は深度方向に 1cm 毎にデータ取得できるが、 n の増加で C_1 が低下しない。これは $N_{kt}=10$ から得た c_u が実盛土の破壊を説明する非排水強度より小さいからである。さらに q_u も非排水強度が滑動力より低いため、 q_t から推定した c_u と同様、 C_1 が最小となる n が求まらない。しかし非排水強度が滑動力より高い $q_{u(l)}$ を用いた場合は、 n の増加に伴う C_1 の低下が著しい。すなわち、地盤強度採用値による信頼度の向上とコスト削減の効果が大きいことがわかる。このことは、本手順により、地盤強度採用値の性能規定化が可能であることを意味する。

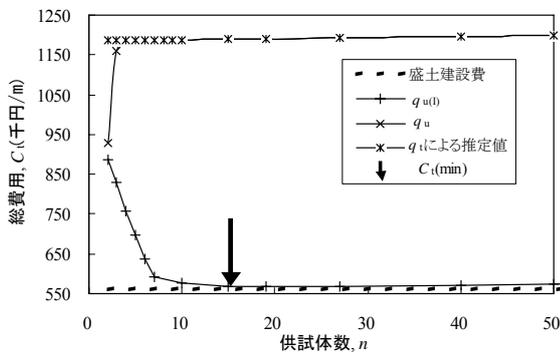


図-3 n と総費用 C_1

表-1 総費用最小値

サンプラー	n	$C_1(\text{min})$ (千円/m)	$P_f(\%)$
(CPT)	—	1185 以上	100
q_u	—	1185 以上	100
$q_{u(l)}$	15	567	0.3

3. 性能規定化を踏まえた盛土設計の最適化

3.1 消費者危険率 β の導入

前節で、 $q_{u(l)}$ が有利であることが明らかになったが、 $q_{u(l)}$ を直ちに実設計に導入することには不安が残る。本章では構造物の所有者・使用者の安心度を高めるために、設計に消費者危険³⁾を考慮して $q_{u(l)}$ を用いる盛土設計の最適化法を検討する。

β の定義を図-4 に示す。 $N(\mu_0, \sigma^2)$ は簡便法より求まる $q_{u(l)}$ の母平均 μ_0 の分布、 $N(\mu, \sigma^2)$ は平均が $\Delta\mu$ だけ低い仮想の $q_{u(l)}$ の母平均 μ の分布、 a は $N(\mu_0, \sigma^2)$ の下側 95% 限界値であ

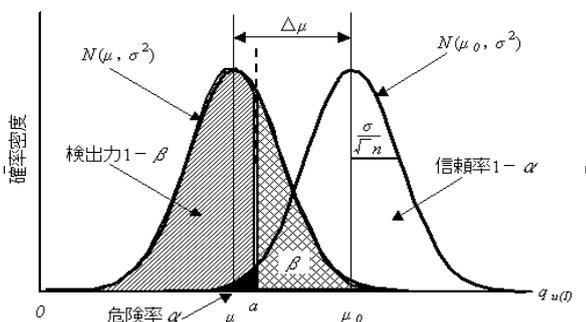


図-4 消費者危険率 β の定義

る。 $\mu=\mu_0$ の検定時には、 a より左側は危険率 $\alpha(=5\%)$ で棄却されるが、 a より右側(信頼率 $1-\alpha$)は総て $\mu=\mu_0$ が採択される。すなわち、 $\Delta\mu$ だけ低品質であっても、 β 部を正しいとして採用する危険がある。実務では、調査初期にたまたま設計値を満足する値が出た時に、それを強度の代表値として採用する場合はこれに該当し、構造物の安心を損なう要因となる。

β を低下させるには式(5)で示される検出率 $1-\beta$ を高める必要がある。具体的には $\Delta\mu$ と n を大きく、 σ を小さくするが、人為的な調整が可能なのは n で、他は地盤状態に依存する。

$$1-\beta = \text{Probability}\{q_{u(l)} \geq 1.65 - \Delta\mu / (\sigma/\sqrt{n})\} \dots \dots \dots (5)$$

3.2 n と C_1 に及ぼす β の影響

β の考慮に関する n と C_1 の関係を図-5 に示す。 β を考慮しない場合(○)は、 n の増加に対して C_1 が直ちに低下し、 $n=15$ が $C_1(\text{min})$ となる。一方、 P_f と β を考慮した場合(●)は $\beta \leq 5\%$ となる n は未考慮の 15 から 40 が増え、 C_1 も 567→572(千円/m)へ増す。ただし、 β は 20% から 0.1% と劇的に小さくなり、コスト増に対して潜在危険を回避できるメリットが大きい。このことは、 β を考慮することで、 $q_{u(l)}$ を用いた設計法が性能規定化の方向で導入できることを示している。

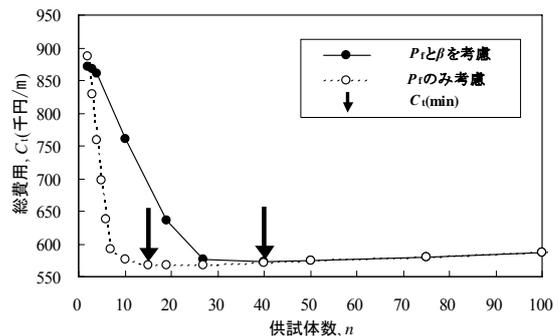


図-5 n と C_1 の関係($q_{u(l)}$ の場合)

4. 結論

- 1) 地盤強度の採用値が、安全性・総費用に及ぼす影響は大きい。所要の信頼度で実盛土の検討を行い、非排水強度の採用値に対する性能規定化の方法を示した。
- 2) 総費用と試験数量の算定に消費者危険率を導入すれば、 $q_{u(l)}$ を用いた設計法が性能規定化の方向で使えると分かった。

参考文献

- 1) Shogaki, T.: An improved method for estimating in-situ undrained shear strength of natural deposits, Soils and Foundations 46(2), pp.1-13, 2006.
- 2) Shogaki, T., Sakamoto, R., Kanno, Y., Kobayashi, H. and Momose, S.: Standard penetration test sample quality, IS-Osaka, pp.159-164, 2004.
- 3) 例えば,石川馨:品質管理入門, 日科技連出版社, p.361, 1990.
- 4) 高橋・正垣: 性能規定化を踏まえた調査位置・数量及び調査の段階性に関する一考察, 最近の地盤調査・試験法と設計施工への適用に関するシンポジウム論文集, 2006.