

## 関東ロームの非排水強度の信頼度と盛土設計の最適化

防衛大学校 (学) 熊谷尚久・村田矩広・正垣孝晴  
東京電力(株) (正) 高橋 章・鶴田 滋

### 1. はじめに

地盤調査・試験法と盛土設計の性能規定化のために、著者らはコーン貫入試験と室内せん断試験の信頼度分析や盛土設計の最適化に関する一連の検討を行っている<sup>1)</sup>。本稿では、関東ロームを用いて約80年前に築造されたダム堤体の非排水強度の信頼度が検討される。また、当該ロームを用いて築造されたダム堤体の盛土設計の最適化も検討される。

### 2. 供試土と試験方法

供試土は、ダム堤体として締め固めた関東ロームである。コーンサンプラー<sup>2)</sup>で採取した関東ロームの直径 $d=48\text{mm}$ 、高さ $h=450\text{mm}$ の試料片から、小型供試体を用いて一軸圧縮試験UCT、三軸圧縮試験 $CK_0UC$ と圧密試験ILを行った<sup>3)</sup>。 $I_p=36\sim 47$ 、 $q_u=(35\sim 197)\text{ kPa}$ の範囲の土である。

### 3. 非排水強度の信頼度

ILから推定した原位置の有効土被り圧 $\sigma'_{vo}$ に相当する $CK_0UC$ の非排水強度 $c_{u(1)}$ を求め、これに対する $q_u/2$ の比(+)と $p_m/S_0$ の関係を図-1に示す。 $S_0$ は供試体のサクションである。 $p_m$ は供試体が原位置で受けていた平均圧密圧力であり、 $K_0=0.5$ と仮定して $\sigma'_{vo}$ の $2/3$ とした。両者の関係(+)を最小自乗近似して実線( $1-0.391 \ln p_m/S_0$ )で示す。相関係数 $r$ は0.74である。また、破線は自然堆積土<sup>4)</sup>に対する回帰式である。前者は後者の下に位置し、応力解放と試料採取に伴う試料の乱れは、当該ロームで大きいことがわかる。当該ロームの $q_u$ と $S_0$ からそれらの近似式を用いて推定した原位置の非排水強度 $q_{u(1)}$ を $c_{u(1)}$ で除した比( $\times$ )を図-1に併記している。これらのプロットは(+)の範囲を反映して変動が大きい、1を中心に位置している。

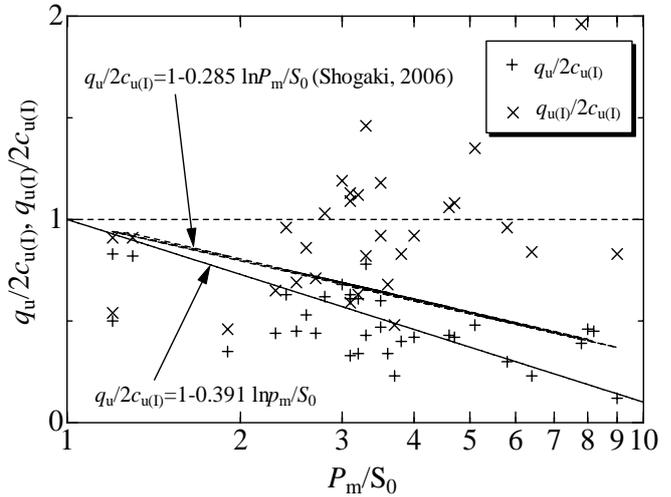


図-1 原位置強度の推定結果

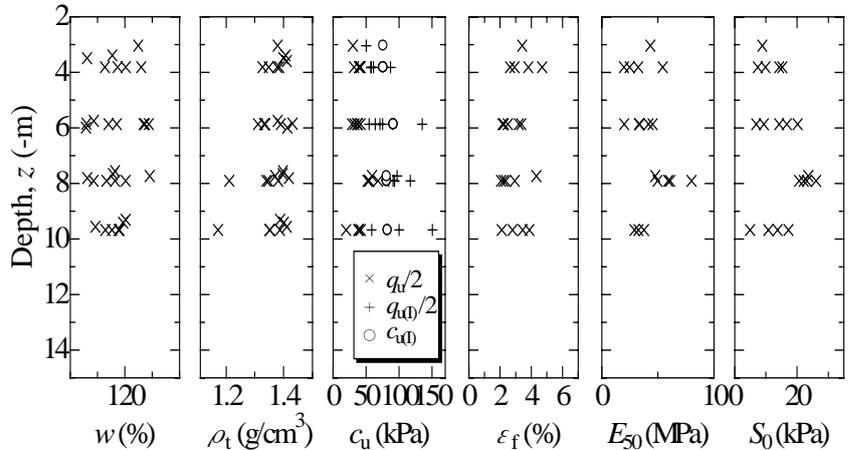


図-2 土性図 (Bor.3)

図-2はBor.3の土性図である。粒度組成等の差を反映して、同じBor.の同じ深度であっても含水比は50%程度の変動を有している。非排水強度 $c_u$ として、 $q_u/2$ に加えて $c_{u(1)}$ と $q_{u(1)}/2$ を併せてプロットした。 $q_u/2$ は $c_{u(1)}$ と $q_{u(1)}/2$ の50%程度と小さいが、このような傾向は他のBor.でも同様であった。応力解放と試料採取に伴う強度低下は自然堆積した有機質土や粘性土<sup>4)</sup>と同様に関東ロームでも大きい。

### 4. 盛土設計の最適化

全応力解析として $q_u/2$ の平均値を供試体の

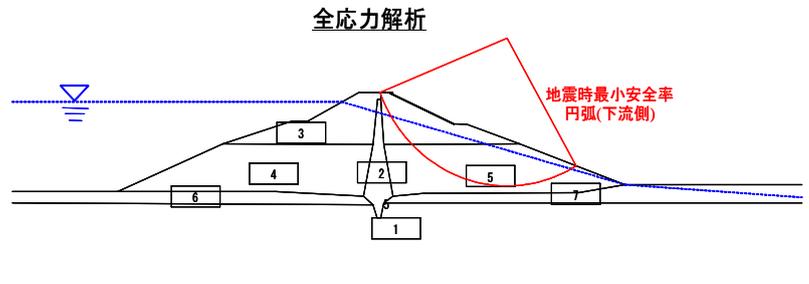


図-3 安定解析結果

キーワード：関東ローム、試料の乱れ、非排水強度、性能設計

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL 046-841-3810

測定深度に応じて図-3の③, ④, ⑤層に入れて安定解析を行った。地震力に関しては、海溝型地震を想定して水平深度を0.15として、同図中に示す最小安全率の円弧を得た。この円弧に対して、地盤の非排水強度の採用値に関する信頼性検討を行った。

$q_u/2$ ,  $c_{u(l)}$ ,  $q_{u(l)}/2$  から求めた破壊確率 $P_F$ と供試体数 $n$ の関係を図-4に示す。 $P_F$ の定義と計算方法は文献1と同様である。 $q_u/2$ は強度が小さいことに起因して $n$ に関係なく破壊するが、 $q_{u(l)}/2$ の $P_F$ は、 $n=3$ で100%から減少して $n=34$ で0%になる。 $c_{u(l)}$ は、試験総数が7と少ないことに加え、総ての強度が揃って大きいことを反映して、 $n=3$ で $P_F=0%$ になる。 $P_F \leq 5%$ を満足する $c_{u(l)}$ と $q_{u(l)}/2$ の $n$ は、それぞれ2と13である。 $c_u$ が $P_F$ に及ぼす影響が大きいことが分かる。このことは、採取試料の品質を考慮して、設計値を性能規定化できることを意味する。また、標準寸法の供試体は、採取試料と費用の制約から多くの試験を行うことが困難であるが、小型供試体はこの点でも有利である。

$n$ と $P_F$ の関係を求めるため、式(1)で計算される盛土の総費用 $C_t$ を検討する。 $q_u/2$ ,  $c_{u(l)}$ ,  $q_{u(l)}/2$ の $n$ と $C_t$ の関係を求め、地盤の非排水強度採用値の性能規定化へ向けた検討を行う。

$$C_t = C_C + P_F \times C_F + C_1 \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $C_C$ :盛土建設費(608百万円)、 $C_F$ :破壊復旧費(1,037百万円)、 $C_1$ :初期の調査・試験費(10百万円)であり、 $n$ の関数は $P_F$ と $C_t$ になる。これら費用の算出は、当該ダムの実金額及び想定金額を用いた。また、30m幅の破壊を想定している。

$q_u/2$ ,  $c_{u(l)}$ ,  $q_{u(l)}/2$  から求めた $C_t$ と $n$ の関係を図-5に示す。また、 $C_t$ が最小となる $n$ ,  $P_F$ ,  $C_t$ を表-1にまとめた。 $q_u/2$ は強度が小さいことに起因して、 $n$ が増しても $C_t$ が低下することは無く一次関数的に増加している。一方、 $q_{u(l)}/2$ は $n$ の増加につれ非排水強度の平均値の信頼度が向上し $C_t$ の低下が著しい。 $n=15$ で $C_t$ は792百万円の最小値となる。 $c_{u(l)}$ は $n=3$ で $C_t$ の最小値が645百万円となる。 $q_{u(l)}/2$ との結果の差は、試験個数が7と少なかったことが原因であると考えている。

4. おわりに

採取試料の品質確保を前提とすれば、地盤強度採用値も性能規定が可能となる。また、各種せん断・応力条件下の強度・圧密特性がコーンサンプラーで採取した $d48\text{mm}$ の試料片から測定できるので、小型供試体は調査・試験費用の削減に加え、調査・設計の精度向上に寄与できると考えている。そして、原位置非排水強度として $q_{u(l)}$ を用いれば、盛土形状をスリム化できる可能性もある。

参考文献:

- 1) 高橋・正垣・桜井: コーン貫入試験と室内せん断試験の信頼度分析と盛土設計の最適化, 土と基礎, 54(8), pp.25-28, 2006.
- 2) Shogaki, T., Sakamoto, R., Kondo, E. and Tachibana, H.: Small diameter cone sampler and its applicability for Pleistocene Osaka Ma 12 clay, *Soils and Foundations*, 44 (4), 119-126, 2004.
- 3) 熊谷・岩崎・正垣・高橋・鶴田: 各種せん断試験による関東ロームの非排水強度, 土木学会年次学術講演会, 2007.
- 4) Shogaki, T.: An improved method for estimating *in-situ* undrained shear strength of natural deposits, *Soils and Foundations*, 46 (2), 1-13, 2006.

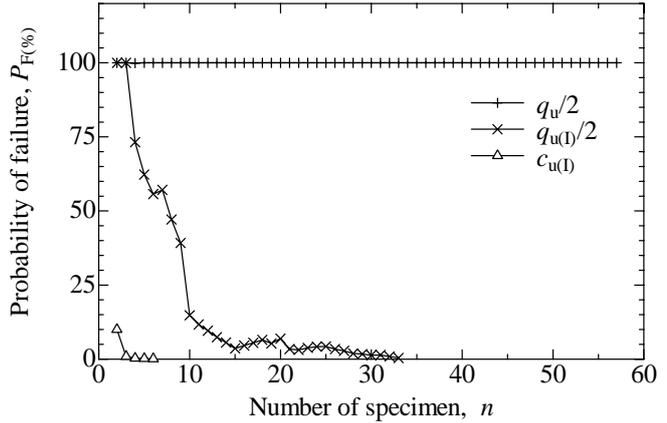


図-4 非排水強度と破壊確率の関係

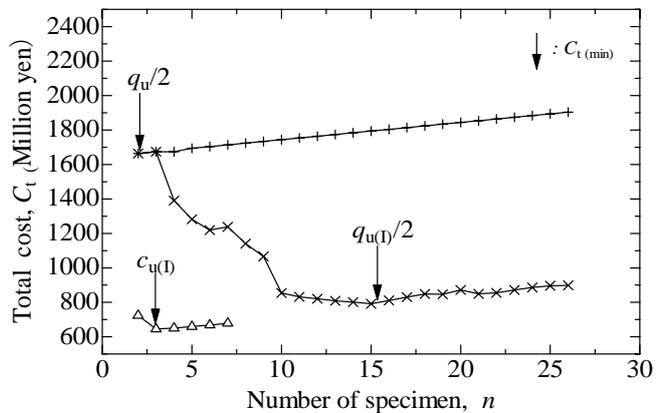


図-5 非排水強度と総費用の関係

表-1  $C_{t(\min)}$ を与える $n$ と $P_F$

$c_u$	$n$	$C_{t(\min)}$ (Million yen)	$P_F(\%)$
$q_u/2$	—	—	100
$q_{u(l)}/2$	15	792	3.3
$c_{u(l)}$	3	645	0.2