

CPT 結果から求める新たな土質分類チャート

CPT 土質分類 粒度分布

（株）地盤試験所 正 会 員 ○北條 豊 正 会 員 仲 優太郎
中央大学 国際会員 深沢 健

1. はじめに

CPT から得られる補正先端抵抗 q_t 、周面摩擦 f_s 、および間隙水圧 u は、正規化処理を経て土質性状分類（SBT）や土質性状指数（ I_c ）の算定に用いられ、原位置での地盤評価に広く活用されている。海外で提案された SBT は、地盤の力学的挙動に基づく合理的な分類手法として普及しているが、これらは主に海外の堆積土を母集団として構築されたものである。そのため、日本の複雑な堆積環境や火山灰質土といった地域的特性への適用性には依然として課題が残る。本報では、物理特性に基づく日本国内の土質分類基準より、新たな土質分類チャートの構築を試みる。

2. 基準化先端抵抗について

Lunne ら¹⁾によって提案された規準化先端抵抗 Q_{t1} および規準化周面摩擦比 F_r は、（式1）により算出される。これに対し、Robertson ら²⁾は、土質に応じて変動する応力指数 n を用いた Q_{tn} （式2）を提唱した。当初、 n の値は砂質土で0.5、中間土で0.5~1.0、粘性土で1.0とされていたが、その後、Robertson³⁾は n を（式3）のように定義した。

$Q_{t1} = (q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}, F_r = f_s / (q_t - \sigma_{v0}) * 100\%$ (式1)

$Q_{tn} = [(q_t - \sigma_{v0}) / p_a] \cdot (p_a / \sigma'_{v0})^n$ (式2)

$n = 0.381 \cdot I_c + 0.05(\sigma'_{v0} / p_a) - 0.15 \leq 1.0$ (式3)

$I_c = [(3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2]^{0.5}$ (式4)

ここで、 q_t ：補正先端抵抗（kPa）、 f_s ：周面摩擦（kPa）、 σ_{v0} ：全上載圧（kPa）、 σ'_{v0} ：有効上載圧（kPa）、 p_a ：大気圧（=100kPa）

3. 解析方法

本解析では、 Q_{t1} および F_r から算出された I_c （式4）を指標とし、表-1に示すCPT結果と粒度試験結果を比較した。なお、粒度試験データは、全地点で0.5m毎に採取したSPT試料の分析結果である。

3. 解析結果

(1) 規準化先端抵抗

図1に、 Q_{t1} および Q_{tn} の比較を示す。浅層部における Q_{t1} は、（式1）に示す通り小さな σ'_{v0} により除算するため、過大評価される傾向がある。一方 Q_{tn} は、 n による補正効果によって、浅層砂層から深部砂層にかけて値が平準化されている。SBTに着目すると、浅層部で不規則に分布した「7. 礫混じり砂」の判定が、 Q_{tn} の採用により「6. 砂」へと判定され、全体的に砂層と判定された。この傾向は、すべての調査地点において同様に確認された。以上の結果から、土質分類に Q_{tn} を用いることで、より適切な土質の判定が可能になると考えられる。

(2) 土質分類の境界

図-2に、 I_c と各土質含有率（礫分、砂分、シルト分、粘土分）の関係を示す。データにばらつきがあるものの、今回は物理的解釈の容易さと汎用性を考慮し、一次近似にて関係式を求めた。

図-3に、一次近似式から算出した各土質含有率を累積し100%に補正した結果と、図-4の条件に基づく土質分類の境界A~Gを示す。本解析で得られた I_c の範囲は $1.25 < I_c < 3.28$ であったが、実測 I_c の範囲外に位置する「A. 礫混じり砂 ($I_c=0.85$)」および「G. 粘土質シルト ($I_c=3.43$)」については、外挿により算出した。

表-1 使用データ

調査地	主な土質	調査深度
茨城県稲敷郡河内町	沖積粘性土	20m
茨城県稲敷市浮島	沖積砂質土	25m
千葉県香取市佐原	沖積砂質土	20m
千葉県浦安市高洲	沖積砂質土(浚渫)	16m, 17m
滋賀県守山市今浜町	沖積粘性土	25m
滋賀県守山市水保町	沖積砂質土	23m

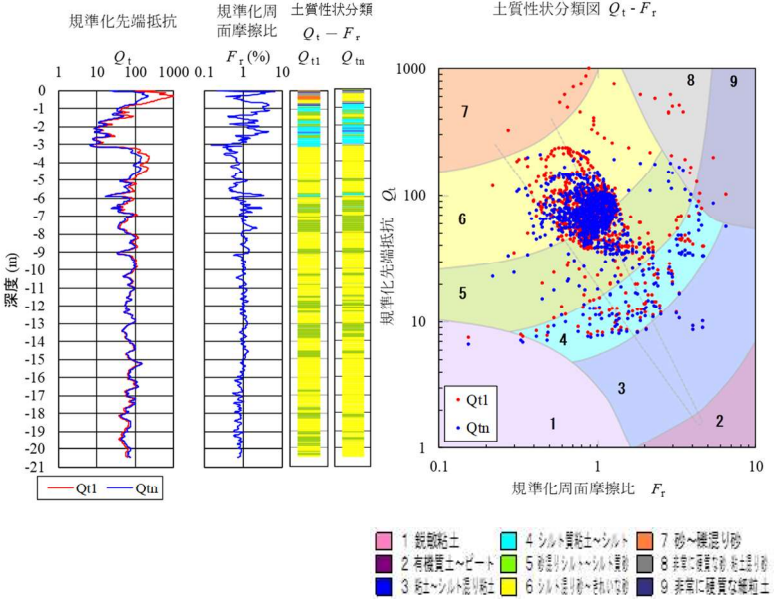


図-1 規準化先端抵抗 Q_{t1} と Q_{tn} の比較（千葉県香取市佐原）

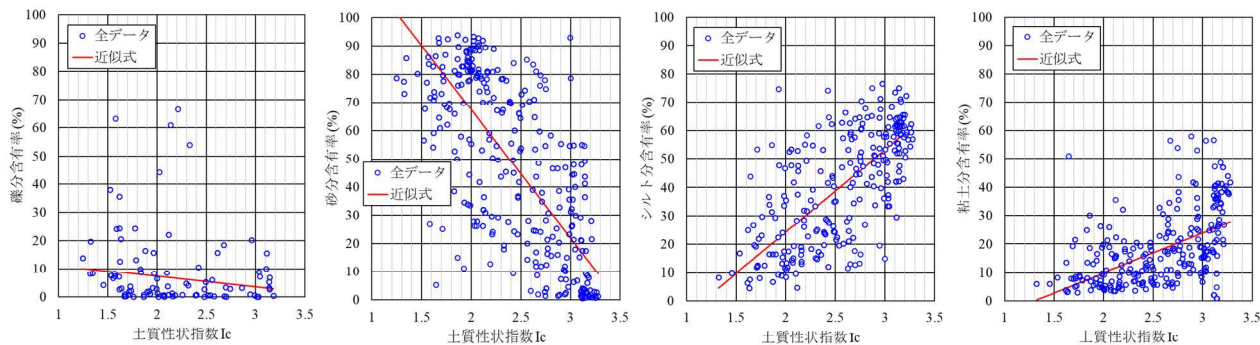


図-2 各土質の含有率と土質性状指数 I_c の関係

図4に、 I_c から求める SBT と土質分類の境界を示す。「B. シルト混じり砂」および「C. シルト質砂」は、SBT の「シルト混り砂～きれいな砂」の範囲内となった。砂質土と粘性土の境界について、SBT は $I_c=2.6$ とされるのに対し、「D. 中間土」では $I_c=2.44$ となった。本解析では、粘土含有率が最大 30%に留まっており、土質分類で最も細粒な境界は「粘土質シルト」であった。このため、粘土層に相当する境界を特定するまでには至らなかった。

以上の解析結果に基づき、図-5 に国内の土質分類基準に整合する新たな土質分類チャートを示す。中間土から粘性土の細粒土については、継続的な検討を要する。今後は、粘性土および洪積世以前のデータ拡充、土質分類の設定手法についての再検討、ならびに間隙水圧データを含めた検討を行う予定である。

4. まとめ

本研究では、新たな土質分類チャートを構築するにあたり、主に以下の知見を得た。

- 浅層部で過大評価されやすい Q_{01} に対し、応力指数補正を行った Q_m を採用することで、深度によらず平準化された判定が可能であることを確認した。これにより、実地盤の堆積状況に整合する適切な土質判定が可能となる。
- CPT 結果から得られる土質性状指数 I_c と、粒度試験結果から得られる各土質含有率の関係を一次近似式で定式化した。これにより、土質境界は I_c を用いて定量的に評価が可能となった。
- 本解析の結果、砂層から中間土にかけて、国内地盤に適用する際の固有の境界値を示すことができた。
- 今後は、本解析で不足していた粘性土領域および洪積世以前のデータを拡充し、チャートの信頼性向上を図る。また、間隙水圧 u を含めた検討を行うことで、より精緻な土質分類評価手法の確立を目指す。

5. おわりに

本研究を遂行するにあたり、貴重なデータの使用をご快諾いただいた大阪公立大学の大島昭彦名誉教授、ならびに CPT 技術協会に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

1) Lunne, T., Robertson, P.K. and Powell, J.J.M. 1997. Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, EF-Spon/CRC Press, Blackie Academic & Professional, London: 418 p. 2) Robertson, P.K. and Wride (Fear), C.E. 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal 35 (3): 442-459. 3) Robertson, P. K. 2009. Interpretation of cone penetration tests—a unified approach. Canadian Geotechnical Journal, 46(11), 1337–1355.

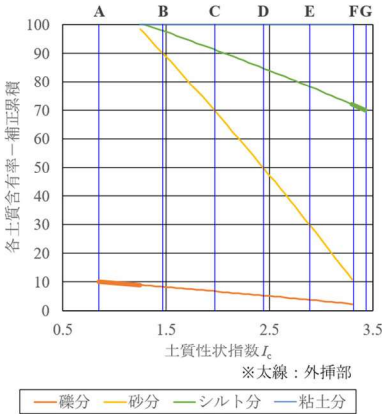


図-3 各土質の補正累積

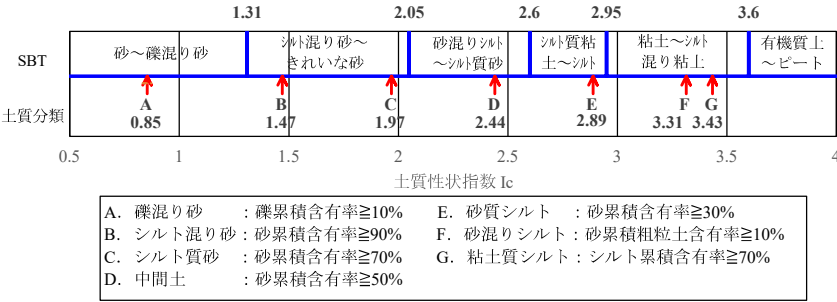


図-4 土質性状分類 (SBT) と土質分類の境界

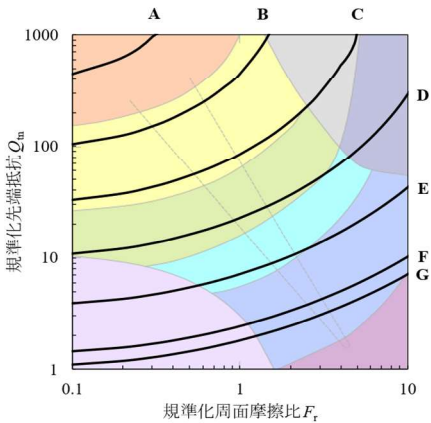


図-5 土質分類の境界