

コーン貫入試験結果を基にした液状化解析プログラム FLIP のパラメータ簡易設定法の検討

東洋建設株式会社	正会員	○新名 大輔
応用地質株式会社	正会員	植村 一瑛
株式会社日本港湾コンサルタント	正会員	黒木 賢一
株式会社日本港湾コンサルタント	非会員	上原甲太郎
一般社団法人 FLIP コンソーシアム	正会員	井合 進

1. はじめに

液状化解析プログラム FLIP¹⁾で液状化特性を決定するパラメータは、要素試験を再現するように設定することが望ましいが、実務では十分な試験結果を得られていない場合が多い。このため、FLIP では比較的入手しやすい N 値、有効上載圧 σ_v' 、細粒分含有率 F_c を用いたパラメータの簡易設定法²⁾が構築された。 N 値は国内の代表的な原位置試験方法である標準貫入試験 (SPT = Standard Penetration Test) で得られる。一方、海外では 3 成分コーン貫入試験 (CPT = Cone Penetration Test) が広く用いられている。CPT はロッド先端に取り付けたコーンプローブより、貫入時の先端抵抗、周面摩擦、間隙水圧を連続的に計測する試験法である。海外における FLIP の利用を視野に、CPT の計測値を基にした液状化パラメータ推定法の構築を目的に検討を実施した。

検討方針として、CPT の計測値から N 値と細粒分含有率 F_c を推定することができれば上述の簡易設定法を適用して液状化パラメータを求めることが可能であると考えた。そこで、既往の文献より N 値・ F_c 推定法を調査してその有効性を検討した。

2. N 値・ F_c 推定法

文献調査に基づき、CPT の計測値から N 値を推定する手法は Lunne et al.³⁾による式(1)、 F_c を推定する手法は Boulanger and Idriss⁴⁾による式(2)を採用した。

$$\frac{(q_c/p_a)}{N_{60}} = 8.5 \left(1 - \frac{I_c}{4.6} \right) \quad (1) \quad F_c = 80(I_c + C_{fc}) - 137 \quad (2)$$

ここに、 q_c はコーン貫入抵抗(MPa)、 p_a は大気圧(MPa)、 N_{60} は打撃効率 60%に相当する N 値である。 I_c は CPT の計測値から算定される Robertson の土質分類指数⁵⁾である。 C_{fc} は式(2)を統計的に求めた際の標準偏差にあたり、Boulanger and Idriss によると $-0.29 \leq C_{fc} \leq 0.29$ の値となるパラメータである。 C_{fc} は同一地点でも地層毎に値が変化することから、本検討では $C_{fc}=0$ とした。

3. 推定法の検証

液状化パラメータを推定するには、推定法で得られた土質定数が既往の液状化強度の関係を再現できることが必要である。そこで、建築基礎構造設計指針⁶⁾に掲載されている CPT の液状化強度を式(1)と式(2)を用いて補正 N 値による液状化強度に換算し、既往の補正 N 値による液状化強度の関係⁶⁾と比較して両者の一致度を確認した。

検証結果を図-1 に示す。CPT から推定した液状化強度と既往の SPT による液状化強度は F_c の違いに関わらず概ね一致しており、本推定式は有効であると判定された。

4. 推定法のばらつき評価

次に、同一地点における CPT と SPT の計測例を既往の文献^{7,8)}より収集して、採用した推定法を適用した際の推定値と実測値のばらつきの程

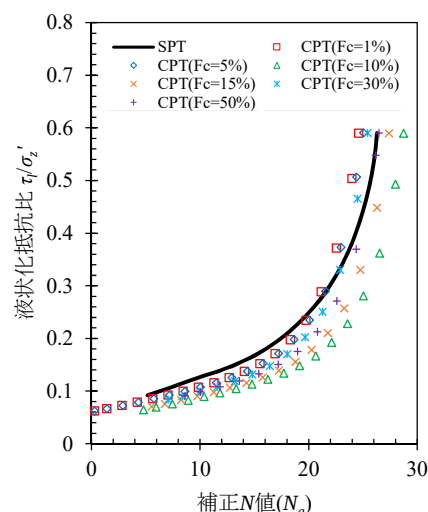


図-1 液状化強度の比較

キーワード コーン貫入試験, N 値, 細粒分含有率, ばらつき

連絡先 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町一丁目 105 番地 東洋建設(株)土木技術部 TEL 03-6361-5464

度を確認した。本検討で収集したデータは、佐々木ら⁷⁾より13地点、三村・吉村⁸⁾より2地点の計15地点であり、1地点を除いて東北地方太平洋沖地震で液状化の発生が観測されている。推定法を適用する際は、式(1)で得られる推定 N 値 N_{60} を、国内のSPTの打撃効率を80%相当と仮定した N_{80} に換算した。

図-2に N 値、図-3に F_c に関する検討結果を示す。図-2(a)、図-3(a)の横軸はCPTから換算した推定値、縦軸は実測値であり、推定値と実測値が等しい1:1に対応する線を破線で示している。図-2(b)、図-3(b)はCPTによる推定値から実測値を差し引いた差分値のヒストグラムである。

(1) N 値 図-2(a)より検討対象の N 値は概ね1:1の破線付近にデータが集中している。また、図-2(b)のヒストグラムも平均値+0.3、標準偏差4.0とばらつきは小さい。式(1)はコーン貫入抵抗 q_c を変数としており、SPTとCPTの試験方法に動的と静的の違いはあるものの地盤の貫入抵抗は比較的両者の相関が良いものと考えられる。

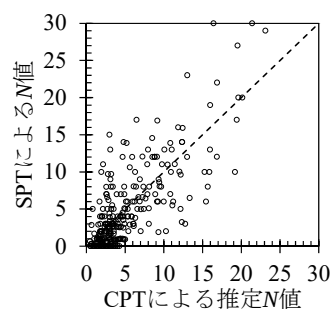
(2) 細粒分含有率 F_c 。図-3(a)より1:1の破線付近にデータが集中する傾向は示しつつも、データは全体的にばらついている。これは、図-3(b)の平均値+4.8、標準偏差23.7からも明らかである。ばらつきが生じた原因に、実測値と推定値の深度がそれぞれ異なる可能性が考えられる。CPTは数cm毎の連続データを取得するが、 F_c 試験で得られる実測値は数10cm高の供試体より試料を採取しているため正確な深度は不明である。なお、式(2)は C_{rc} を考慮すると $\pm 23.2\%$ ($=\pm 0.29 \times 80$) のばらつきを持つ。これを踏まえると、本件のばらつきは推定式が有しているばらつきと同程度であると考えられる。

5. まとめ

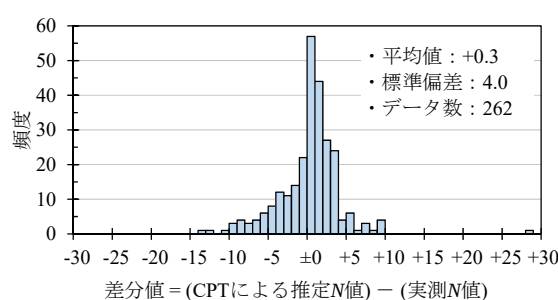
CPTに基づくFLIPの液状化パラメータ推定法構築を目的に、CPT計測値から N 値・ F_c を推定する手法を調査した。液状化強度の関係を通して採用した推定法の有効性を確認し、推定法のばらつきの程度を評価した。 N 値は標準偏差が小さく、推定法を概ね適用可能であると判断される。 F_c は標準偏差が大きい、推定法が有するばらつきと同程度であった。液状化パラメータを求めるために本報で紹介した推定法を適用する際は、推定値のばらつきの程度を考慮することが望ましい。

謝辞 本報告は、一般社団法人FLIPコンソーシアムの研究活動の一環として実施したものである。ここに記し、関係者の方々に謝意を表します。

参考文献 1)Iai, Matsunaga, Kameoka : Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, *Soils and Foundations*, Vol.32, No.2, pp.1-15,1992. 2) 森田年一, 井合進, Hanlog Liu, 一井康二, 佐藤幸博: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法, 港湾技研資料, No.869, 1997. 3) T. Lunne, P. K. Robertson and J. J. M. Powell : Cone penetration testing in geotechnical practice, *Blackie Academic*, p.151, 1997. 4) P. K. Robertson and C. E. Wride : Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test, *Canadian Geotechnical Journal*, **35**(3), pp.442-459, 1998. 5) R. Boulanger and I. M. Idriss : CPT and SPT based liquefaction triggering procedures, Report No. UCD/CGM-14/01, Center for Geotechnical Modeling, University of California, Davis, 2014. 6) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, pp.61-72, 2001. 7) 佐々木哲也, 石原雅規, 谷本俊輔, 林宏親, 江川拓也, 鷺見浩司, 川口剛: 細粒分を含む砂の液状化強度の評価法に関する再検討, 土木研究所資料, 第4352号, 2016. 8) 三村衛, 吉村貢: 原位置試験による液状化危険度評価について, 浦安地盤調査一斉試験報告会論文集, pp.55-63, 2012.

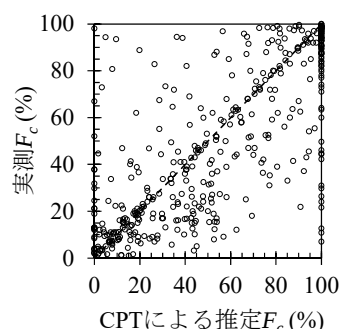


(a) 推定値・実測値比較

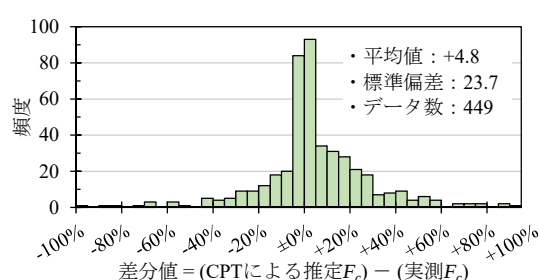


(b) 差分値のヒストグラム

図-2 N 値の検討結果



(a) 推定値・実測値比較



(b) 差分値のヒストグラム

図-3 細粒分含有率 F_c の検討結果