RI-CPT による海成粘土の圧縮曲線の推定に向けた一検討

RI-CPT　圧縮曲線　間隙比

ソイルアンドロックエンジニアリング㈱　正 会 員　○石井正紀
同上　正 会 員　重富正幸
同上　正 会 員　松浦良信
同上　正 会 員　長澤　遼
同上　国際会員　後藤政昭
大阪公立大学都市科学・防災研究センター　国際会員　大島昭彦

1．はじめに

筆者らは，これまで主に大阪平野に分布する海成粘土（沖積粘土，Ma13 層）を対象として実施した CPT（電気式コーン貫入試験），RI-CPT（ラジオアイソトープコーン貫入試験）結果から圧密降伏応力（p_c）の推定 [1)]や鋭敏粘土の検出に関する検討 [2)]を行ってきた。しかし，粘土層の圧密沈下量の算出については含水比（w）と体積圧縮係数（m_v）との関係を用いる方法などがあるものの，やはり現地より乱れの少ない試料のサンプリングを行い，土の圧密試験から圧縮曲線（e 又は f～log p 曲線）を得る必要があると考える。これは，広範囲にわたる調査や一次（概略）調査などの場合，圧密沈下量の算出，即ち，土の圧密試験は時間的かつコスト的にボトルネックとなるケースがある。

そこで筆者らは，大島のスクリューウエイト貫入試験結果から土の圧密試験にて得られる圧縮曲線を推定する手法 [3)]を参考に，サンプリングや室内試験を行わず地盤の物理特性を迅速かつ高精度に把握することができる RI-CPT 結果を用いる圧縮曲線の推定方法についての検討を行った。なお，本検討では筆者らがこれまでに大阪平野で RI-CPT などを含む一斉試験を実施した 7 現場分の結果を用いた。

2．圧縮曲線の推定

圧縮曲線は，RI-CPT 結果を用いて任意の深度における①初期間隙比（e_0）と有効土被り圧（p_0），②p_c，③圧縮指数（C_c）を求め，C_c との関係より④膨張指数（C_s）を求めることにより推定できるものと考える（**図-1** 参照）。③の C_c については次章にて詳述する。

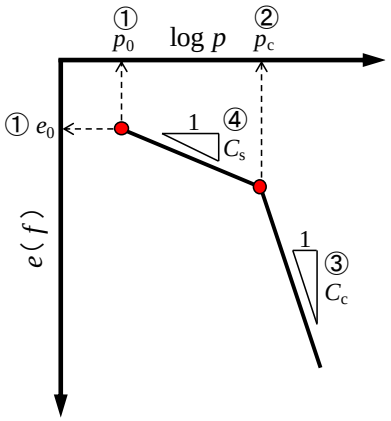

図-1　圧縮曲線の模式図

ここで RI-CPT とは，JGS 1435 に規定される CPT にて測定されるコーン貫入抵抗（q_c），周面摩擦抵抗（f_s），間隙水圧（u）に加え，RI 法を利用して地盤の湿潤密度（ρ_t）及び w（単位体積当たりの含水量，ρ_m）を測定する静的サウンディング試験の 1 つである。専用の貫入装置にて所定のコーンとコーンプローブ群を同一孔に順次貫入することにより各物性値を貫入方向に連続的に測定することができる。**図-2** は今回検討を行った 7 現場のうち，代表的な 2 現場の RI-CPT 結果である。図中には試験孔近傍にてサンプリングした乱れの少ない試料のρ_t，w と両現場の Ma13 層の土粒子の密度（ρ_s）の平均値を用いて算出した e を併記している。

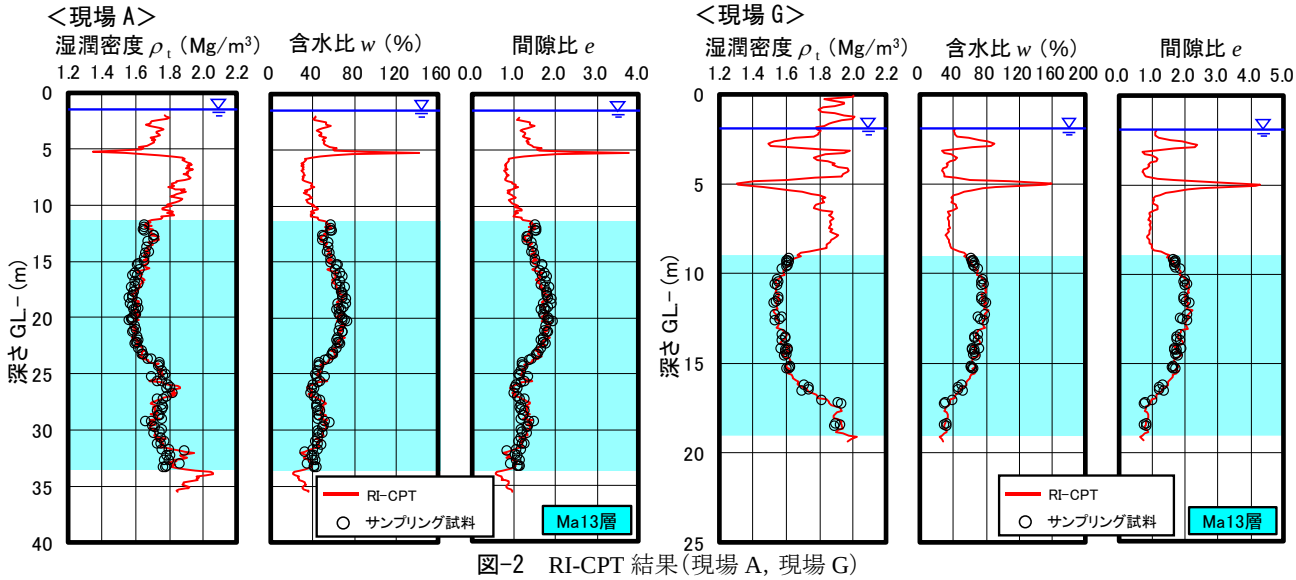

図-2　RI-CPT 結果（現場 A，現場 G）

A study on the estimation of compression curve of marine clay by RI-CPT

Masanori Ishii, Masayuki Shigetomi, Yohshinobu Matsuura, Ryo Nagasawa, Masaaki Goto Soil and Rock Engineering Co.,Ltd.
Akihiko Oshima Osaka Metropolitan University

両現場の w は，Ma13 層の特徴である上下部で低く中央部で高い弓形分布を示し（海進から海退に向かう堆積環境による），当然ではあるがρ_tはこの w が反映される分布となっている。eについては，wと相似的な分布となっている。両現場の RI-CPT により得られるρ_t，w 及びそれらとρ_sより得られる e は，サンプリングした乱れの少ない試料のそれらと非常によく一致している。したがって，圧縮曲線推定に必要な①の e_0 及び p_0 は RI-CPT にて非常に精度よく測定できるものと考える。

②の p_cについては，既往の研究から CPT にて得られる q_t（q_c を u にて補正したコーン貫入抵抗）又は u を用いて比較的精度よく推定できることを筆者らが報告している[1)]。

④の C_s については過圧密比（OCR）によっても異なることが知られており，土固有の定数として扱うことが困難である，塑性指数（I_p）によりややばらつきがあることが報告されているが，一般に C_c との間に C_s/C_c＝0.1～0.6 の相関関係があるとされている[4)]。**図-3** は今回検討を行った 7 現場の C_s と C_c との関係を整理したものである。C_s/C_c＝0.125（r^2＝0.948）となり，この結果は両者の一般的な範囲内であり比較的高い相関関係にある。このことから，C_s については C_c から推定できると考える。ただし，この相関関係は普遍的なものであるとは現時点では言い難い。

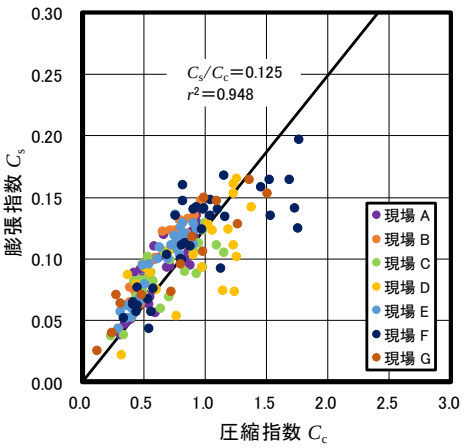

図-3　C_s と C_c との関係

3．RI-CPT 結果と C_c との関係

一般に C_c は Skempton の式に代表されるように，液性限界（w_L）と高い相関関係にあるとされている。しかし，RI-CPT では現時点で w_L を精度よく求めることは困難であることから，RI-CPT にて精度よく測定することができ，かつ C_c と良好な相関関係にあるとされる e と一義的な関係にある w に着目した。ここで，w_L と相関性が高い C_c は土固有の性質で，土の状態によって変化しない一次性質に近いものである。一方，e 及び w は土の状態によって変化する二次性質であり，両者に相関関係を見出すことは本来無理がある。しかしながら，自然堆積した粘土地盤においては同じ土被り圧下で C_c と e 又は w には一定の関係があるのではないかと考え，今回は両者の相関関係について着目してみた。

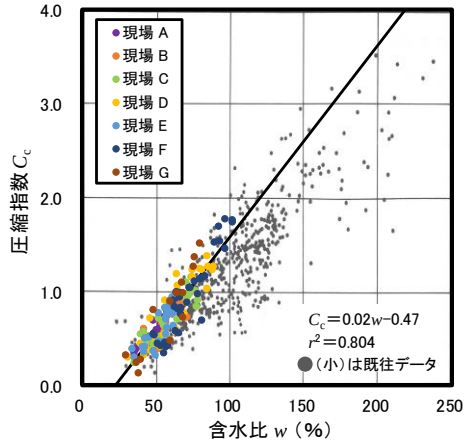

図-4　C_c と w との関係（地盤工学会[5)]に追記）

図-4，**図-5** は，既往の研究結果である海成粘土の C_c と w 及び e との関係[5)]を示した図に今回検討を行った 7 現場分の Ma13 層の C_c と RI-CPT により得られる w 及び e との関係を追記したものである。

両関係とも今回検討を行った 7 現場は既往の研究結果に示される範囲内に分布するが，地域的な偏りがあるようにも解釈できる。したがって，現時点では地域を限定すれば C_c と w 及び e には相関関係があり，この相関関係より RI-CPT 結果にて圧縮曲線推定に必要な③の C_c を推定できると考える。

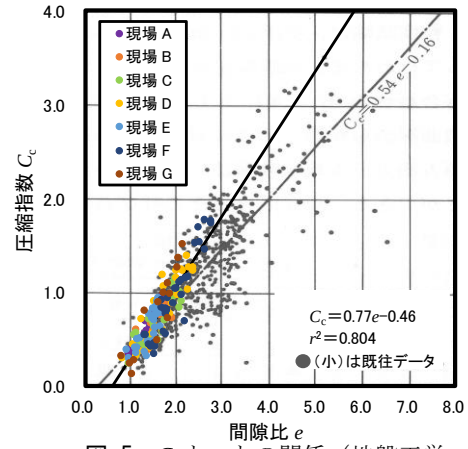

図-5　C_c と e との関係（地盤工学会[5)]に追記）

4．まとめと今後の課題

以上の結果より，RI-CPT 結果のみでも圧縮曲線を比較的精度よく推定できる可能性が示唆された。また，土の圧密試験で得られる圧縮曲線では，p_0 に対する e_0 はサンプリング時の応力解放と供試体整形時の乱れなどによって原位置の e_0 と差違が生じることがあり（土の圧密試験の e_0 は過少に評価），現場に適用する際はこれを補正しなければならないケースがある[6)]。しかし，本検討による推定方法であればこの補正は必要なく，原位置に見合う圧縮曲線を推定できるものと考える。

しかしながら，筆者らが報告した p_c の推定式や C_c と e 又は w，並びに C_s との相関関係は，普遍的なものでなく地域差が存在する可能性も示唆された。この点は今後も様々な地域にてデータを収集し，引続き検討を行っていく所存である。

参考文献

1）石井ほか：電気式コーン貫入試験（CPTU）による海成粘土の圧密降伏応力の推定，第 57 回地盤工学研究発表会，2022.7　2）重富ほか：東大阪市西岩田地区での地盤調査結果（その 3：CPTU による鋭敏粘土の検出），第 55 回地盤工学研究発表会，2020.7　3）大島昭彦：宅地地盤評価に関わる技術的問題（SWS 試験による宅地地盤の評価技術），地盤工学誌，Vol.68，No.2，pp.6-9，2020.2　4）公益社団法人 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，p.524，2020.12　5）社団法人 地盤工学会：地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例，pp.32-34，1998.3　6）公益社団法人 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，pp.529-530，2020.12