

III.

調査・診断の現状(問題点)と解決方法

三成分コーン貫入試験

高田徹十若命善雄 ● 株式会社設計室ノビル

はじめに

三成分コーン貫入試験(Three-Sensor Cone Penetration Test: 以下、CPTと記す)とは、三つの小型センサーを取り付けたコーンを地盤に貫入し、コーン貫入抵抗(q_c)、間隙水圧(u_d)、周面摩擦力(f_s)を電気的に測定する調査法である。これら三つの成分を利用することで、地質の判別、地盤支持力、圧密度、液状化判定など、他の調査法に比べて多様な情報を連続的に得ることができる。

図1に地盤調査法におけるCPTの位置付けを示す。静的コーン貫入試験は、円錐(コーン)状に先端が尖った丸棒を地中に静的に押し込む調査法で、大きな押し込み力が必要な場合は硬質地盤、小さな押し込み力で貫入可能な場合は軟弱地盤であることが容易に判断できる。静的コーン貫入試験には、三成分コーンのほか、ポータブルコーン、オランダ式二重管コーン(ダッチコーン)などがある。後者二つは、コーン貫入抵抗を求めるものであり、

土質の判別はできない。土質判別が可能な地盤調査法といえば、ボーリングを併用する標準貫入試験(以下SPTと記す)が代表的であるが、オペレータの熟練度によるばらつきや、N値0~1近辺の軟弱層の評価など注意する必要がある。CPTによって簡易にSPTと同等情報が得られれば、施工性・経済性の点でも優位性はある(表1)。CPTは、電気式静的コーン貫入試験の一つあり、その他にも、土壌・地下水汚染など環境測定用コーンやラジオアイソトープ(RI)コーンも開発されている。CPTは、近年わが国でも注目されつつある調査の一つである。

適用範囲

適用地盤は、砂礫・玉石層を除く粘性土、砂質土である(N値20程度まで)。測定深度は貫入装置の容量によるが、おおむね10~30m程度といわれている。住宅盤であれば、スウェーデン式サウンディング試験(以下SWS試験と記す)で自沈層が連続するような軟弱地盤

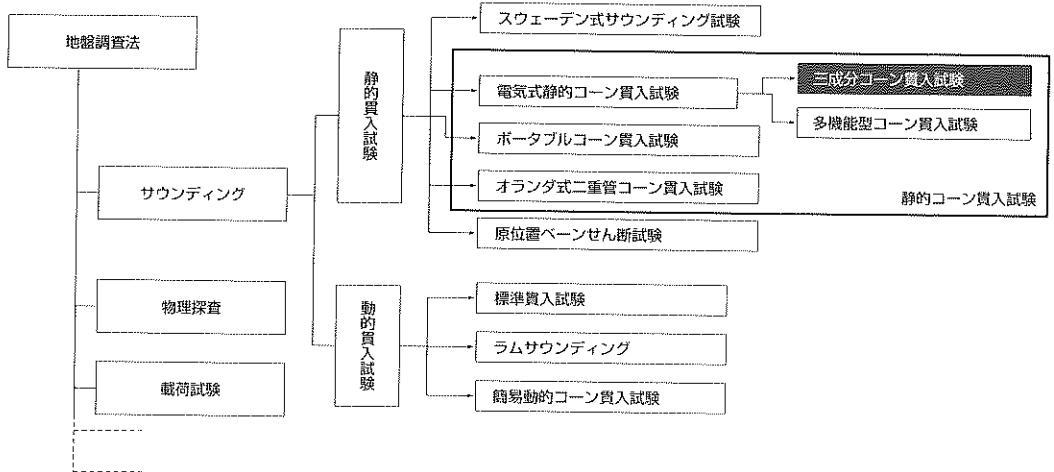


図1 三成分コーン貫入試験の分類

評価に有力である。

調査方法

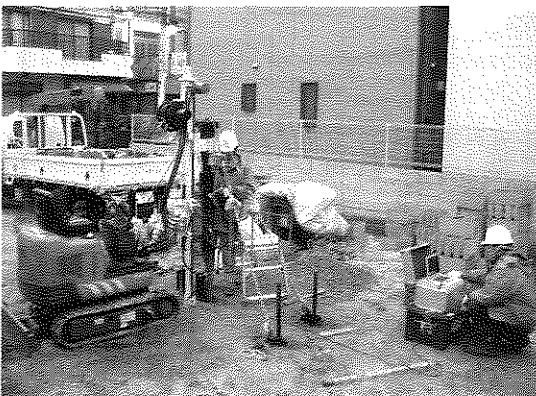
調査機器は、貫入装置、三成分コーン、ロッド、測定装置から構成される。貫入装置には、ベースマシンの自重方式とアンカー方式があり、住宅地盤では作業スペースの小さなアンカー方式を用いる（写①）。三成分コーンは、先端角60°、断面積10cm²の形状をもつコーンを有している。コーン先端部で貫入抵抗を、コーン直上部に取り付けたフィルターより間隙水が浸入して間隙水圧を、その上部のフリクションスリーブで土粒子との接触により、周面摩擦力が計測できる（図2、写②）。測定装置は、これら三つの値を深度ごとに連続測定でき、かつ間隙水圧の消散が測定できるよう、経時測定の機能を兼ね備えたものである。

測定には、三成分コーンを貫入装置により速度2cm/sで静的貫入する必要がある。測定装置にはデータが自動集積される。また、測定データはロッドによる摩擦の影響を受けないので、補正を必要としない。

調査結果の評価と解釈

土質分類

CPTによってなぜ土質分類ができるのだろうか。これは、 q_t 、 u_d 、 f_s が土質によって異なる傾向を示すからである。一般に、砂質土では q_t 、 f_s が大きくなるが、 f_s は q_t に対してさほど大きくはならない（ f_s/q_t をフリクション



①三成分コーン貫入試験状況

比という)。これに対して、粘性土は砂質土と逆の傾向があり、 q_t 、 f_s は比較的小さいが、フリクション比は大きくなる。

また、コーン貫入の際にコーンとロッドの体積分の地盤が押し退けられるため、少なからず間隙水圧が上昇しようとする。粘性土であれば、そのまま上昇した間隙水圧を測定することになるが、緩い砂質土層であれば、間隙水圧が上昇しても瞬時に消散するため、結果的には静水圧と同じ程度の値に留まる。十分に締まった砂質土層であれば、コーン貫入に伴って周辺の土の体積が増加するため、間隙水圧が低下する。その範囲が比較的広がると、地下水の流入に時間がかかるため、静水圧以下の値が測定される。

これらの傾向をもとに作成されたロバートソンによる土質分類チャート¹⁾（図3）へ、測定値をプロットすることで、土質柱状図（図4）が得られる。

地盤の強さ

先端抵抗 q_c より粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ 、一軸圧縮強度 q_u などを求める推定式は、多々提案されている^{1) 4) 5)}。CPTでは、コーン貫入抵抗 q_t から粘性土における非排水せん断強さ c_u を、

$$q_t = N_{kt} \cdot c_u + \sigma_{vo}$$

N_{kt} ：コーン係数、 σ_{vo} ：鉛直全応力（kN/m²）

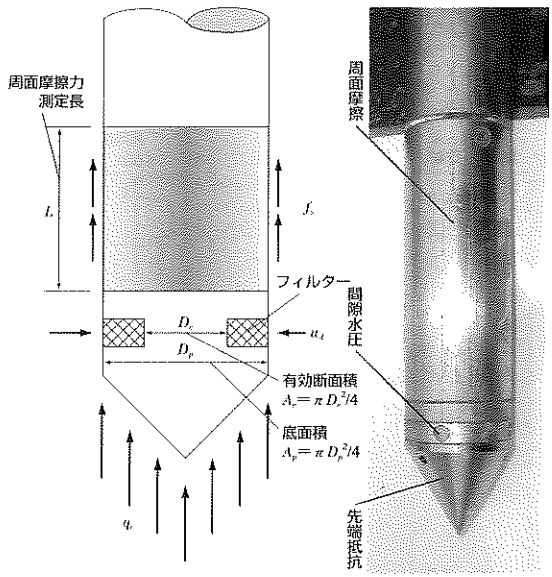


図2 三成分コーン模式図

②三成分コーン

表1 三成分コーン貫入試験の特徴

長所

1. 三つの測定成分を用いることで、土質の判定のほか、地盤支持力、液状化判定、圧密度など、多様な情報が得られる
2. 深度に対して連続測定可能なことより、ボーリングでは困難な軟弱粘土層中の薄層の探知力が高い
3. ボーリングに比べて廉価、迅速である

短所

1. 土質試料を採取できない
2. N 値20以上の硬質地盤では貫入できない
3. データ評価に熟練を要する

で関連付けることができる。しかし、コーン係数が地盤によってばらつきが大きいので、十分な配慮が求められている。

通常、CPTで取り扱うコーン貫入抵抗 q_c とは、貫入力を断面積で除した値 q_c から、貫入時に発生する水圧の影響を補正した値である。この q_c は、タッチコーンで測定される貫入抵抗とはほぼ同等である。これらを加味すれば、タッチコーンによる換算式の適用が可能である。また、これらで求めた c 、 ϕ をテルツァーギの支持力式に代入することで、地盤の許容支持力 q_n を算出することも可能である(図5)。

液状化判定

一般の土質調査や試験結果をもとに液状化を予測する簡易法には、 N 値に基づく手法と F_L 値を用いる方法がある。CPTの場合は後者に相当し、コーン貫入抵抗から液

状化抵抗 τ_l を求め、地震によるせん断応力振幅 τ_d と比($\tau_l/\tau_d=F_L$)によって、液状化発生に対する安全が計算できる。 F_L 値が1より大きくなる土層では、液状化発生の可能性はなく、1以下となる場合は、その可能性はある。値が小さくなるほど、液状化発生危険度かくなる。また、1を切る土層が厚くなるほど、危険度高くなる(図5)。

液状化判定には土の粒度(細粒分含有率)が必要かつ重要なパラメータである。CPTでは土質試料を採しないため、細粒分含有率については、上述した土質種類から換算して求めている。CPTの結果、液状化発生危険度が高くなる場合には、土質試料を採取すること、液状化マップなどの地域特性を含めた総合的な判断がまれる。

誌面の都合上、 F_L 値の算出方法については省略す

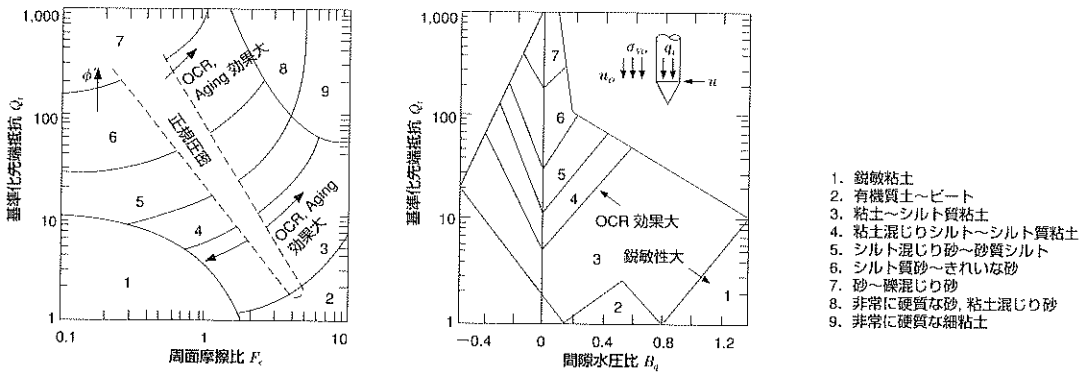


図3 ロバートソンによる土質分類チャート

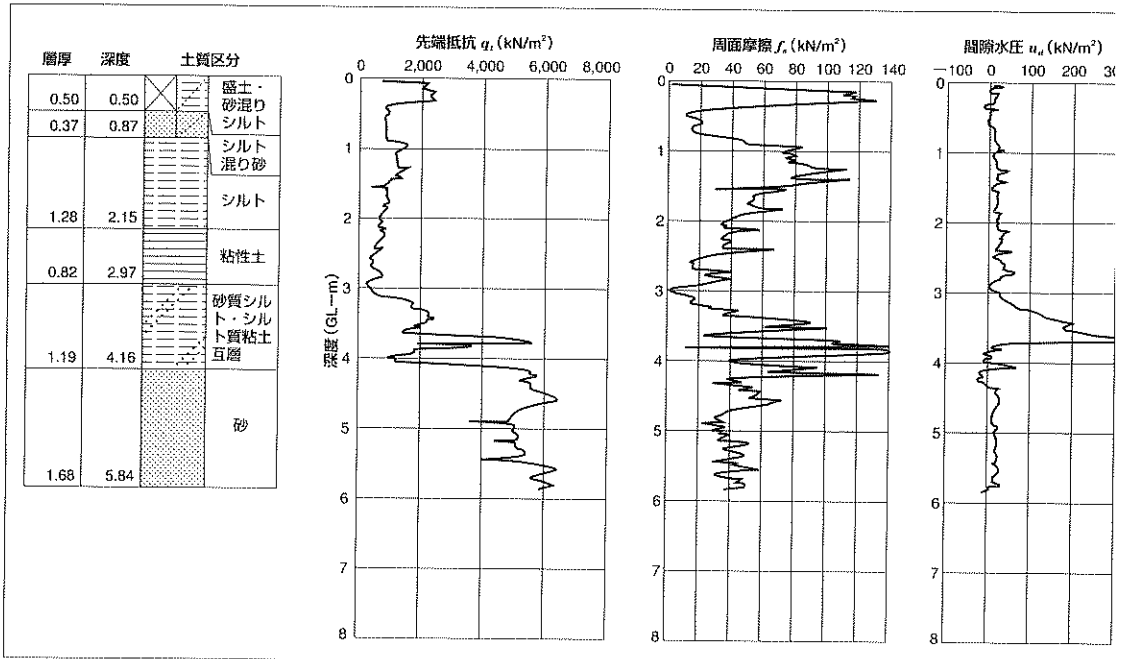


図4 CPT測定例(場所:茨城県)

詳細は参考文献4) 7)を一読されたい。

沈下の判定

建物の沈下量の予測は、FEMなどの数値解析を用いて精度よく推定する方法が最良であると考えるが、実務レベルでは機能しにくい。CPTでは、対象とする深さでコーン貫入を止めて、過剰間隙水圧の消散時間を測定することで、圧密係数 C_v を推定する手法が提案されている。しかし、貫入過程で発生する過剰間隙水圧の最大水圧の値が定量的には明らかにできず、また、貫入に伴うコーン周辺せん断変形と攪乱の影響が、圧密係数にどのように影響するのかは明確になっていないので、注意が必要である。

若命・妹尾⁶⁾は、建物荷重に対する有害な地盤沈下の有無について、SWS試験結果をもとに、「有効土被り圧+建物荷重による増加応力 σ_z 」が「圧密降伏応力 P_{yz} 」より大きい場合には、地盤が沈下を起こす可能性があるとした判定手法を提案している。CPTで推定した q_u を用いることで、この手法も適用できる(図5)。これは簡易推定法であるが、大きな間違いはなく、感覚的にも理解できる。

おわりに

CPTは、簡便で実用的なサウンディング法として世界で広く用いられている。しかしながら、わが国では、急

流河川によって運搬される砂礫層が複雑に存在するため、貫入力を大きくする必要があり、ボーリングを併用するSPTが主流となっている。よって、わが国でのCPTの調査・試験方法の基準化は遅れており、技術者の力量に大きく依存しているのが実状である。

最近では、地盤の複雑さを乗り越える新技術の開発や学会主導の研究委員会の設立など、CPTの適用性を広く利用しようという気運にある。CPTを取り巻く今後の動向が注目される。

(たかた とおる、
わかめ よしお)

【参考文献】

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，2004年6月
- 2) 高田：住宅の地盤調査方法と適用範囲，建築技術，No.663，2005年4月
- 3) 佐藤，高田，田村：小型三成分コーン貫入試験機の開発と住宅地盤調査への適用性の検証（その1，その2），第41回地盤工学研究発表会（掲載予定），2006年
- 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2003年
- 5) 室町，小林：qc/N値の粒度による変化の実測例について，サウンディングシンポジウム発表論文集，1980年
- 6) 若命，妹尾：戸建住宅の基礎地盤の支持力と沈下判定法の提案，基礎工，1997年11月
- 7) 吉見，福武：地盤液状化の物理と評価・対策技術，技報堂出版，2005年

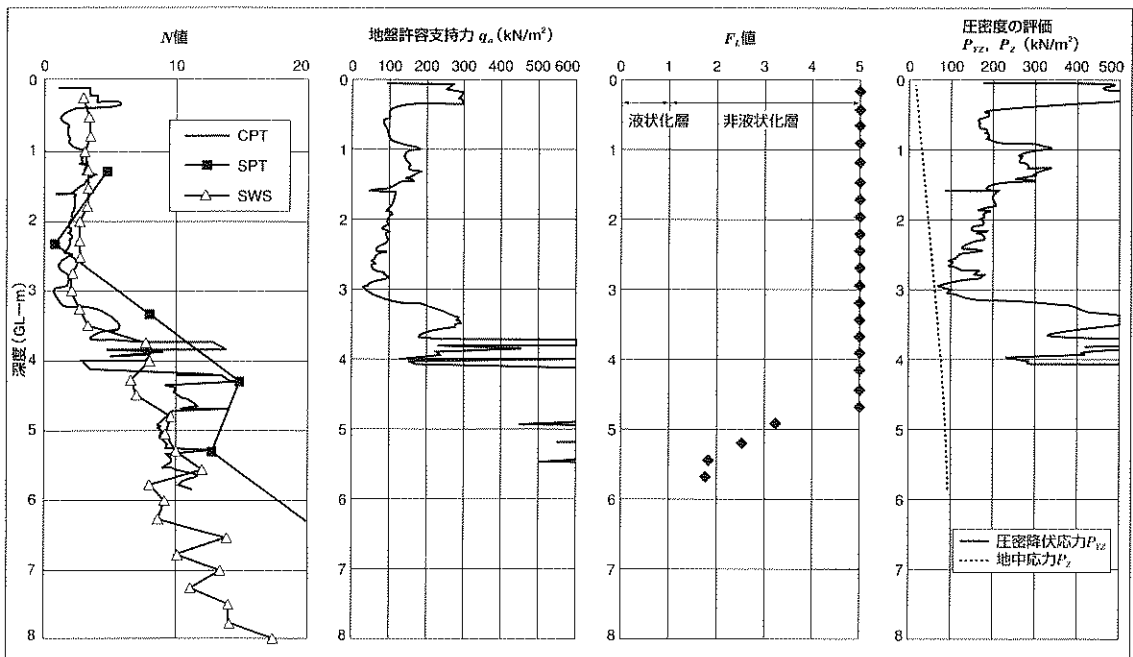


図5 CPT解析例（場所：茨城県，図4と同等）