

II

住宅の地盤調査方法と適用範囲

高田 徹 | 株式会社ソイル

はじめに

建物の不同沈下がある程度以上に大きくなると、基礎・壁・梁にクラックが生じる、ドアが開閉しにくくなる、雨漏り、下水など、建物にさまざまな障害が起きる。このような宅地における事故を未然に防ぐためにも、地盤調査結果に基づき地盤状況を適切に把握したうえで地盤補強を含めた基礎の設計・施工を行うことが重要となる。住宅の設計・施工を行う場合には、地盤の状況を適切に把握し、調査結果に対応した基礎の設計・施工を行うべきである。平成12年4月1日に住宅の品質確保と消費者保護のために「住宅の品質確保の促進等に関する法律」が施行された。これにより、地盤が軟弱であるのに、それを考慮しない基礎の設計・施工を行ったために建物の不同沈下が生じたような場合には、基礎に瑕疵があるものとして取り扱われ、瑕疵担保期間は10年義務化の対象となる。よって、建物の施工者は、施主や買主に対して引渡しの日から10年以内に瑕疵が発見された場合、その瑕疵を無料で補修するなどの責任を負うことになる。その修復費は建物全体の施工費以上になり得る場合もあり、決して基礎・地盤を軽視できなくなっている。

今日の宅地地盤における地盤調査の多くは、スウェーデン式サウンディング試験（以下、SWS試験）で行われている。しかしながら、切土盛

表1 地盤調査の調査項目 調査方法

検査項目	調査項目	調査方法
支持層の選定	地層の構成・分布状況	ボーリング、物理探査
支持力	N値、せん断強さ	標準貫入試験、力学試験
沈下量	圧密沈下、即時沈下	物理試験、力学試験
液状化	粒度分布、地下水位	物理試験、水位調査
杭の水平抵抗	変形係数	孔内水平載荷試験
地盤の振動係数	弾性波速度	PS換層

表2 構造別の相対沈下量の限界値（圧密沈下の場合） 単位：cm（建築基礎構造設計指針1988）

構造種別	基礎形式	標準値	最大値
コンクリートブロック造	連続（布）基礎	1.0	2.0
鉄筋コンクリート造	独立基礎	1.5	3.0
	連続（布）基礎	2.0	4.0
	べた基礎	2.0～（3.0）	4.0～（6.0）

表3 構造別の総沈下量の限界値（圧密沈下の場合） 単位：cm（建築基礎構造設計指針1988）

構造種別	基礎形式	標準値	最大値
コンクリートブロック造	連続（布）基礎	2.0	4.0
鉄筋コンクリート造	独立基礎	5	10
	連続（布）基礎	10	20
	べた基礎	10～（15）	20～（30）

最大で3/1,000以下、（ ）は大きい梁せいあるいは2層スラブなどで十分剛性が大きい場合、木造やプレハブ住宅の場合、傾斜角度は標準で1/1,000

土による造成地や、大規模な分譲地など、一度に多くの戸建住宅が建設される場合などでも、SWS試験さえ実施すればすべて評価できるとして建設してしまい、複数棟の建物に不同沈下が生じて被害も大きくなったケースが後を絶たない。地盤事故の多くは、基準に準拠した調査手法で調査されていない、地盤調査に対する正しい評価がなされていない、あるいはSWS試験に依存した地盤調査ですべてを評価した場合に多い。

以上を踏まえて、ここではSWS試験以外にも有用であると思われる簡易な地盤調査手法をまとめて紹介する。簡易な地盤調査手法にはさまざまな試験があり、簡単であるがゆえに制約条件もあり、各試験とも一長一短を有している。

調査手法を選定するに当たって、

まず 既存資料（地形図や地盤図、地層図など）や現地踏査から推定して、例えば、液状化するのか、地盤沈下するのかといった検査項目をあらかじめ明確にする必要がある（表1）。そして、その検査項目を調査するうえで比較的精度の高い調査手法を選択することになる。なお、ここで紹介していない土質調査等を行えば十分すぎる結果は得られるだろうが、費用対効果を常に念頭において最適な調査手法の選択や、調査量を計画することも技術者の手腕である。簡易で有用な地盤調査法があるということを知り、各調査手法にどのような特徴があるのかを、専門技術者がしっかりと認知したうえで、調査法を選定したいと考える。

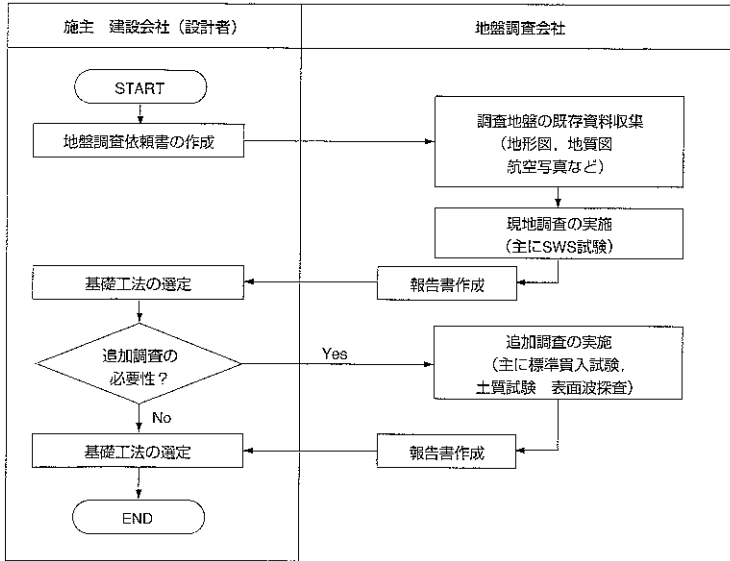


図1 地盤調査から基礎工法選定のフロー

地盤調査フロー

地盤調査の目的

地盤調査の主たる目的は、基礎工法（基礎補強工法を含む）の選定に当たって、敷地の地盤の地耐力を調べること、すなわち、その敷地に建設される建物や構造物の荷重に対して、地盤がこれを支える能力が十分であるかどうかを判断することである。

地耐力とは、地盤の支持力（許容応力度）と沈下（許容沈下量）の両方を満たす「基礎にかけられる荷重程度」であり、長期許容応力度を指す言葉である。通常、長期許容応力度はその地盤が支持できる極限の荷重程度の1/3と決められている。また、許容沈下量は建物の重要度により基準が設けられている（表2, 3）。

国土省告示H113号では、SWS試験に際して、基礎の底部から2mまでに1kNの自沈層が存在する場合や、基礎下2mから5mの範囲に500Nの自沈層が存在する場合は、地盤の沈下変形によって建築物に有害な損傷や沈下が生じないことを確かめなければならない」とある。地盤の破壊は

沈下を伴うため、支持力と沈下は密接に関連しているが、支持力はあるが沈下が起きる場合、またはその逆も起こりうる。支持力と沈下を分けてアプローチするのが正しいと考える。

地盤調査の進め方

地盤調査から基礎工法選定のフローを図1に示す。図1に示されるように、まず、発注者あるいは建設会社の設計担当者が地盤調査依頼書を作成し、地盤調査会社へ地盤調査を依頼する。地盤調査会社はこの依頼書に基づき、調査地盤の既存資料を収集することになる。実際に現地で地盤調査する前段階の調査は「敷地調査」「現地踏査」と呼ばれており、図2に示すようなチェックシートに基づき調査される。この現地踏査を踏まえて、現地調査（原位置試験：主にSWS試験）を実施し、実地盤の許容支持力を確認することになる。

ここで特筆すべきは、この敷地調査が、その後の地盤調査を行うために重要な位置づけにあることを理解しておきたい。その地域地盤の履歴（例えば、切土、盛土、既存建物の有無、地形、周辺建物や道路環境等）を捉えておくことで、SWS試験の調

山田花子邸・新築工事	
敷地 地名 地番	年月日 調査名
15名 建築本部	
調査項目	内容
1 地形図より基礎線	幅員15m・敷設地 ① ②
2 地盤調査の状況	③ 50kN/m ² ・風
3 敷地の周辺の状況	電線 ④ 水田 ⑤ 池・井・河川・海・その他
4 敷地調査	地形 ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
高低差	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
高低地	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
地質	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
排水	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
5 地盤の種類の確認	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
6 河川 水質等の関係	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
7 地盤沈下地帯	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
8 地下埋水道	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
9 過去の行政指導	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
10 近隣建物の地盤内データ情報収集	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
11 既存建物の基礎地盤	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺
12 地盤調査の実施状況	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺

図2 地盤調査チェックシート

査ポイント、ポイント数、などといった試験計画に反映できる。また、最近ではインターネットでこのような地盤情報を収集できるホームページもあり、活用している専門家も多い。試験前に、その地盤に対するある程度の予備知識を得て試験すれば、その試験データに加えて、より精度の高い地盤評価ができる。さらには、何を重点的に測る必要があるのかもわかる。図1では、まず、SWS試験を行い、追加調査が必要であることが判明した時点で、標準貫入試験や土質試験などといった詳細な調査へと進むようになっている。しかし、過去の履歴を踏まえて、すでに建設する地域が例えば液状化の可能性のある地盤であるとか、造成盛土を行って1年にも満たず圧密沈下が予想されるなどわかっている場合、現地調査がSWS試験だけでは判定しにくいことがわかる。SWS試験を行う段階で、別の詳細な試験を行う方法も考えられる。地盤調査のほとんどはポイントで測定することになるので、それらを組み合わせ、うまく平面的、立体的な地層を捉えることになる。ここには専門的な知識が必要となり、敷地調査に

よる資料を反映して、さらに正確な地層を捉えることとなる。このように、敷地調査を十分に行っておくことが、その後の調査法選定や評価にも役立つことがいえる。

地盤調査方法の紹介

ここでは、各種の地盤調査方法について説明する。まず、いくつかある簡易な地盤調査方法の比較を明示し、それからこれら地盤調査方法の詳細について個別に後述する。

図3に原位置で行える地盤調査方法を調査分類別にまとめた。なお、ここに示さない調査法も多くある。あくまで筆者が戸建住宅の地盤調査へ適用できると考え、あるいは現在この分野で使用頻度が高いと思われるものを選定してある。

ここに示されるように、戸建住宅の地盤調査でよく使用されているSWS試験は、サウンディングの静的貫入試験に分類され、これと同等の試験にはオランダ式二重管コーン貫入試験、3成分コーン貫入試験、原位置ベーンせん断試験、ポータブルコーン貫入試験がある。また、標準貫入試験は動的貫入試験に属し、動的貫入抵抗を測るものであれば、ラ

ムサウンディング試験、簡易動的コーン貫入試験も有効であるが、国土交通省より告示された建築基準法に関する地盤調査法に該当しないことを注意されたい。なお 国交省告示第1113号で、地盤の許容応力度および基礎杭の許容支持力を求めるための地盤調査の方法は、次の各号に掲げるものとされている。

- ①ボーリング調査
- ②標準貫入試験
- ③静的貫入試験
- ④ベーンせん断試験
- ⑤土質試験
- ⑥物理探査
- ⑦平板載荷試験
- ⑧載荷試験
- ⑨杭打ち試験

⑩引抜き試験

図3に示す調査法には、それぞれ適用できる土質や測定できる深さがあるので、これを図4、図5にまとめた。動的貫入試験は静的貫入試験に比べて、より硬質な地盤で、かつ測定深度も深いところまで測定できる。なお、ここに図示されない平板載荷試験は表層試験であり、表面波探査についてはおおむね深さ50mまで測定できる。

表4、5に地盤調査法一覧を示す。各種調査法にはここに示される長所、短所を兼ね備えている。これらの詳細については各種調査法の紹介を参照されたい。

(たかた とおる)

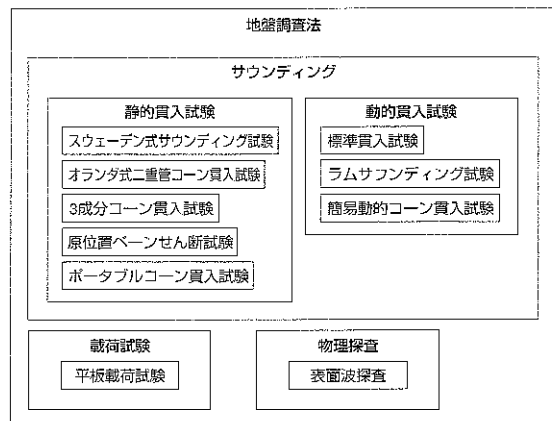


図3 簡易な地盤調査方法の分類

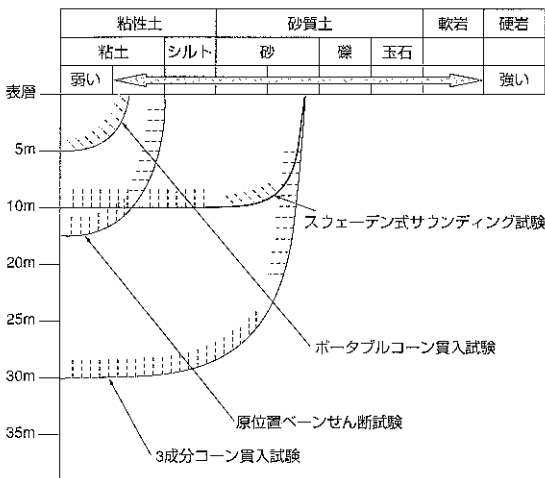


図4 各種調査方法の適用土質と測定深さの限界（静的貫入試験）

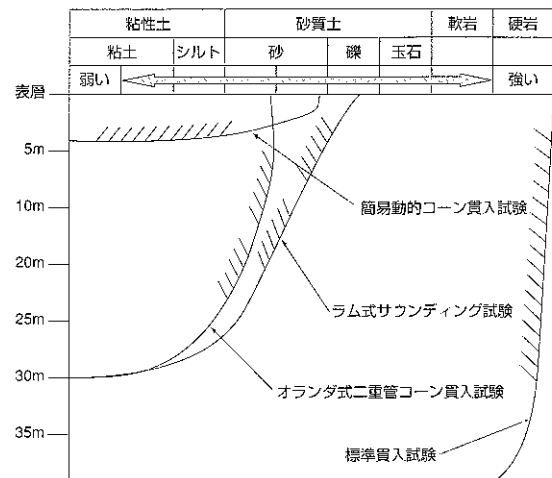


図5 各種調査方法の適用土質と測定深さの限界（動的貫入試験）

表4 地盤調査法一覧

調査名	■ サウンディング/動的貫入試験		■ 動的動的コーン 貫入試験		■ 物理探査		
	■ 標準貫入試験	■ ラム サウンディング試験	■ 動的動的コーン 貫入試験	■ 平面載荷試験	■ 表面波探査		
調査内容	63.5±0.5kgのハンマーで75±1cmの高さから自由落下させ貫入長さ30cm打ち込むのに要する打撃回数(N値)を測定することで土の貫入抵抗を求める	コーンを取り付けたロッドの頭部で50cmの高さから自由落下させ貫入長さ10cm打ち込むのに要する打撃回数を測定することで土の貫入抵抗(N ₁ 値)を求める	コーンを5kgのハンマーで50cmの高さから自由落下させて貫入長さ10cm打ち込むのに要する打撃回数を測定することで土の貫入抵抗(N ₁ 値)を求める	直径90cm以上の鋼板に荷重を段階的に載荷し、沈下量を測定することで地盤支持力を測定する	起振器で人工的に弾性波を発生させて直接あるいは異なる弾性波速度の間で屈折して地盤に伝わってくる状況を受信器で測定し、地盤特性を把握する		
試験基準	JIS A 1219	JGS 1433	JGS 1521				
建築基準法 告示第1113号 に適用する	適用する	適用しない	適用する	適用する		適用する	
測定値	N値*1	N ₁ 値*1	N ₁ 値*1	時間、載荷圧力、沈下量の関係	レイリー波速度 (m/s)		
調査結果の 主な用途	・地盤構成と硬軟 ・地盤定数の推定 ・支持力 ・液状化判定	・地盤構成と硬軟 ・基礎の支持力と沈下検討	・風化層や堆積土の潤滑確認 ・小規模建築物の地耐力	・構造物の直接基礎設計に用いる 地盤反力係数、極限支持力の調査	・線路の地盤構成 ・地中埋設管路敷設調査 ・空洞調査 ・液状化予測調査		
測定方法 (貫入方法)	機械式	機械式	人力	機械式	機械式		
使用器具	・ボーリングマシン ・ハンマー ・ノッキングフロック ・サンブロー	・自動連続貫入装置 ・油圧装置と引抜き装置 ・ロッド ・コーン	・コーン ・ロッド、ガイドロッド ・ドライブハンマー ・ノッキングフロック	・載荷板 ・載荷装置 (ジャッキ、支柱、載荷ばり、反力装置) ・荷重計 ・沈下量測定装置	・起振器 ・受信器 ・測定器		
費用	1調査点で約10万円*2	1調査点で約7万円*2	1宅地5~7万円*2 (4調査地点)	1調査点で約20万円*2	1宅地4~5万円*2		
特徴	軽量小型で取り扱いが簡単	△	○	×	○		
土質の判断ができる	○	×	×	×	△		
深度10m可	◎	◎	×	×	◎		
長所	適用範囲が広い(支持層の確認ができる) 汎用的で蓄積データが多い	オートマティックに測定できる	試験装置が簡単なため傾斜地、狭幅地でも調査可能	地盤反力係数、極限支持力を直接読み取ることができる	面的な情報が得られる 非破壊試験である		
短所	作業スペースが大きくなる(4×5m程度)	単管式のためロッドの摩擦の影響を補正する必要がある	表層の試験に限定される	費用が高額となる 深度方向の調査ができない(開削を要する)	表層に厚い軟弱層がある場合は、大きな起振器が必要 データ解析に熟練を要する		

*1:各調査内容参照。*2:深層10m程度とする

表5 地盤調査法一覧

調査内容	1 サウンディング/動的貫入試験	2 スウェーデン式サウンディング試験	3 オランダ式二重管コーン貫入試験	4 3成分コーン貫入試験	5 ポータブルコーン貫入試験	6 原位置ベーンせん断試験
調査内容	スクリーポイントに必要半回転を測定することと土の貫入抵抗を求める	スクリーポイントを25cmねじ込むのに必要な半回転を測定することと土の貫入抵抗を求める	コーンを取り付けた二重管ロッドを機械によって地中へ圧入することで土の貫入抵抗を求める	地気式コーンを取り付けたロッドを貫入装置によって地中へ圧入し、測定装置を用いて土の貫入抵抗、間隙水圧、周囲摩擦力を求める	コーンを取り付けたロッドを人力によって地中へ圧入し、ロッドの頭部に取り付けたダイヤルゲージ(圧入計)によって土の貫入抵抗を求める	ベーン(羽根)を取り付けたロッドを機械式に地中に挿入して回転させたときの回転抵抗を求める
試験基準	JIS A 1221	JIS A 1220	JGS 1435	JGS 1431	JGS 1411	
建築基準法告示第1113号に適用する	適用する	適用する	適用する	適用する	適用する	
測定値	静的貫入抵抗 (W_{sw} , N_{sw} の総称)	コーン貫入抵抗 q_c (kN/m ²)	コーン貫入抵抗 周囲摩擦力、間隙水圧	コーン貫入抵抗 q_c (kN/m ²)	コーン貫入抵抗 q_c (kN/m ²)	最大回転抵抗モーメント M (kN・m)
調査結果の主な用途	・ 概略的地層構成 ・ N 値の推定 ・ 小規模建築物の地耐力	・ 地層構成と硬軟 ・ 基礎の支持力と沈下検討	・ 地層構成と硬軟 ・ 支持力 ・ 液状化判定	・ 軟弱な粘性土地盤の圏厚確認 ・ q_c /粘着力の推定	・ 軟弱な粘性土地盤の圏厚確認 ・ q_c /粘着力の推定	・ せん断強度/脱敏比の推定 ・ 安定解析への利用
測定方法(貫入方法)	機械式/人力	機械式	機械式	人力	人力	機械式
使用器具	スクリーポイント ・ ロッド ・ 載荷装置と回転装置	・ 圧入装置 ・ 計測装置 ・ 固定装置 (スクリアアンカー)	・ 3成分コーン ・ 測定装置 ・ ロッド ・ 貫入/引抜装置	コーン ・ ロッド (単管or二重管) ・ 測定装置 (荷重計) ・ 貫入用ハンドル	・ ベーン ・ 回転トッド ・ 載荷装置 ・ トルク測定装置 ・ 回転角計	
費用	1宅地3~4万円 (4調査地点)	1調査点で約10万円*	1調査点で約10万円*	1宅地3~4万円 (4調査地点)	1宅地5~7万円 (4調査地点)	
特徴	◎ 軽型小型で取り扱いか簡便 △ 土質の判断ができる ◎ 深度10m可	× × ◎	△ ○ ◎	○ × ×	× △ ○	
長所	試験装置、試験方法が簡単汎用的で蓄積データが多い	二重管を用いるのでロッドの周囲摩擦の影響はない	土質分類ができる	試験装置が簡単なため傾斜地、狭い地でも調査可能 二重管を用いることで、適用深度を深くすることが可能	弱軟弱地盤で一軸圧縮強度試験が適用できない地盤で効果がある	
短所	土質分類に熟練を要する	データ解析に熟練を要する	データの解析に熟練を要する	表面の試験に限定される 土質分類に熟練を要する	適用可能な土質範囲が軟弱地盤 (N値2以下) に限定される 場合により、ボーリングを要する	

*1:各調査内容参照。*2:深度10m程度とする

標準貫入試験

試験概要

標準貫入試験とは、ボーリング試験（正確には、地層構成の調査や土の採取および標準貫入試験などを行うための孔を掘ること）で掘った穴を利用して、土の硬軟や締まり具合、土の種類や地層構成を調べるための試験（JISA 1219）である。

この試験は 質量 $63.5 \pm 0.5\text{kg}$ のドライブハンマーを $76 \pm 1\text{cm}$ 自由落下させ、ボーリングロッド頭部に取り付けたノッキングブロックを打撃し、ボーリングロッド先端に取り付けた標準貫入試験用サンプラー（写②）を地盤に 30cm 打ち込むのに要する打撃回数（ N 値）を求める試験である（写① 図1）。ボーリングしながら試験を行うので適用土質 測定深さは「マルチ」といってよい。また、ボーリング孔を利用した地下水位測定や土質試験へ展開することも可能である。

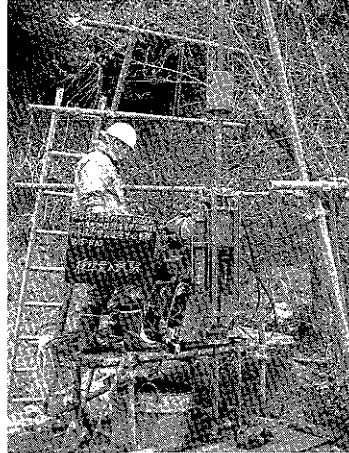
調査のポイント

いかなる調査でも人為的誤差はつきものであるが、標準貫入試験はその影響が強いことを知っておく必要がある（ N 値にして2~4倍の誤差があるといわれている）。これはボーリングを伴った試験でオペレータによっては孔底の乱れが生じたり、落下方法によっては、打撃効率にバラツキが生じやすいのも影響している。目的意識をもたせ、品質管理の重要性を認識しておくべきである。

結果の解釈と利用

試験結果は主として N 値と土質試料をもとに土質柱状図としてまとめられる（図2）。

標準貫入試験が「標準」と呼ばれている理由の一つに、豊富なデータの蓄積と、 N 値の解釈と利用について数多くの研究がなされ、各機関が定める設計指針・基準にも積極的に



①標準貫入試験状況

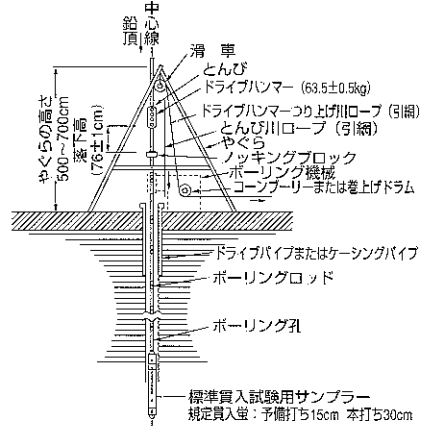
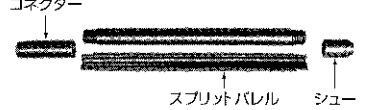


図1 標準貫入試験装置



②標準貫入試験用サンプラー



標準貫入試験	深さ (m)	30cmごとの打撃回数	標準貫入試験	N 値	標準貫入試験						
					0	10	20	30	40	50	60
1	0.74	0.80	0.90	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2.24	1.50	2.40	2	2	2	2	2	2	2	2
3	4.69	1.89	4.90	3	3	3	3	3	3	3	3
4	6.04	0.95	5.90	4	4	4	4	4	4	4	4
5	8.74	0.70	8.90	5	5	5	5	5	5	5	5
6	8.74	0.70	8.90	6	6	6	6	6	6	6	6

図2 土質柱状図

採用されている点がある。 N 値から土質定数への解釈は以下に定める他に多々あるので各専門書や設計指針の参照をお勧めする。

- 砂の内部摩擦角 ϕ

$$\phi = 15 + \sqrt{20N}$$
 (大崎の式)
- 砂の相対密度 D_r

$$D_r = 21\sqrt{N/\sigma_v'} + 0.7$$

(σ_v' :有効上載圧 (kN/m²))
- 一軸圧縮強さ

$$q_u = 12.5N$$
 (Terzaghi and Peck)
- そのほか、液状化強度、直接基礎の支持力など

概説

標準貫入試験は現在わが国で行われているサウンディングの中でも最

も復旧した方法である。

N 値を各機関が定める設計指針・基準にも積極的に採用されている背景から、ほかのサウンディング調査に至っては、この N 値への換算を行って指針へ反映するといった「二度手間」が課せられる。標準貫入試験はその N 値を直接測定できるのが長所で、また土質試料を採取でき各土質試験への展開が可能なることから、追加調査として行う率も高い。しかしながらほかのサウンディングに比べてコストが高く、作業スペースも大きく取る必要がある。

スウェーデン式サウンディング試験

試験概要

スウェーデン式サウンディング試験 (Swedish Weight Sounding Test / SWS試験) は、スクリーポイント (図1) を地盤に貫入させ、そのときの貫入に要する荷重 (W_{SW} : kN) と回転数 (N_{SW} : 回数) を測定するもので、JIS A 1221に規定された地盤調査法である。

適用範囲は玉石、礫を除くあらゆる地盤に対して測定可能で、測定深度はおおむね10m程度である。ロッドに付着した土や水分、あるいは貫入時の音によって大まかな水位や地質の推定が可能である。最近では手動式装置のほか、機械によって省力化、迅速化がなされた全自動式、半自動式装置が開発され実用化されている (写①~③, 図2)。

調査のポイント

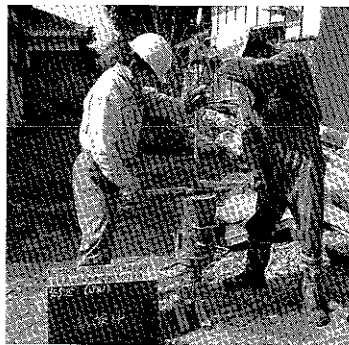
①スクリーポイントの磨耗度合

スクリーポイントの磨耗度合が貫入抵抗値に直接反映するため、測定前にスクリーの磨耗度を確認して使用することが重要である (JISでは最大径33mmが3mm程度磨耗したものは使用しないことと規定されている)。

スクリーポイントが磨耗して細くなると、軟弱地盤では鉛直力による貫入性能がよくなるため、 W_{SW} は小さくなる。一方、硬い地盤では実際よりも大きめの N_{SW} が測定され、危険側の評価となる (図3)。

②自沈層の取扱い

同じ荷重の自沈層でも、瞬時に貫入する層もあればゆっくりと貫入される層もあり、自沈の速度は異なるはずである。SWSデータシートの記事欄には、その貫入に伴う感触、貫入状況を記録するようになっている (図4)。特に「ストン」と貫入する層の取扱いに対して、1段階荷重を



①SWS試験 (手動式)

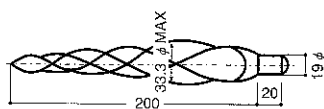


図1 スクリューポイント (単位: mm)

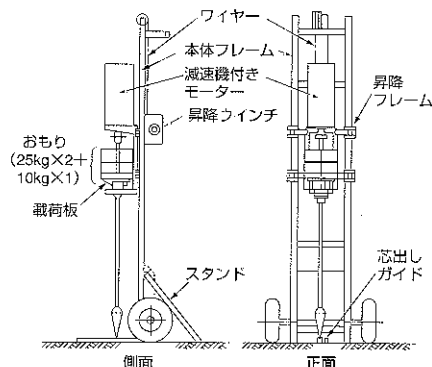
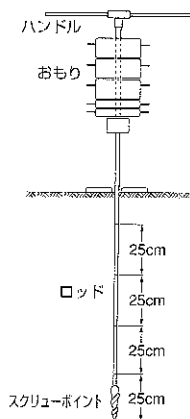


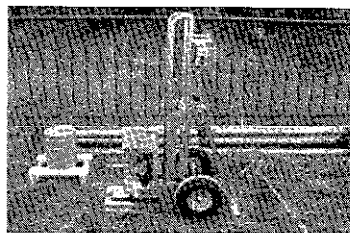
図2 SWS試験装置 (左: 手動式 右: 半自動式)

下げた判断を行うなど安全側な評価を行う調査者もいるが、1段階荷重を下げた状態でのいのかという問題もある。あくまで地盤評価を行う者にその判断を委ねるべきで、調査者は、その状況をありのまま記録すべきである。

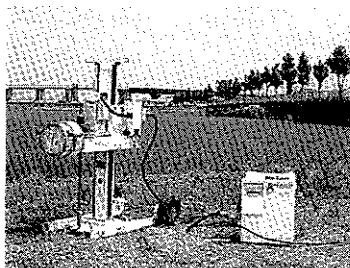
最近では自動化試験装置が普及し、すべてを機械に任せてしまい、上述した非定量的な記録を軽視しがちになる調査者も少なくない。回転層よりも、自沈層こそ十分な見極めを要することを認識されたい。

結果の解釈と利用

SWS試験で得られた W_{SW} 、 N_{SW} により、主に下記の推定量が提案されている。



②SWS試験 (半自動式)



③SWS試験 (全自動式)

• N 値

$$N = 0.002W_{SW} + 0.067N_{SW} \text{ [砂質土]}$$

$$N = 0.003W_{SW} + 0.050N_{SW} \text{ [粘性土]}$$

(稲田)

• 一軸圧縮強さ q_u

$$q_u = 0.045W_{SW} + 0.75N_{SW} \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

(稲田)

• 地盤の長期許容支持力 q_a

$$q_a = 30 + 0.6N_{SW} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \dots (1)$$

N_{SW} : 基礎の底部から下方2m以内の距離にある地盤の N_{SW} の平均値 (半回転数が150を超える場合は150とする) (国交省告示1113号)
式(1)は、平板載荷試験の下限値に近く安全側に設定されたものである (図5)。

そのほか、SWS試験による沈下量

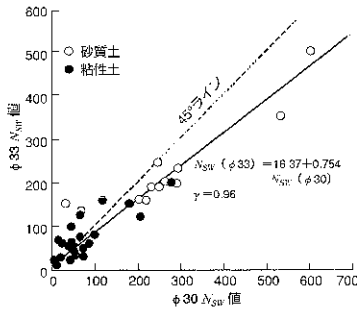


図3 φ33N_{sw}値とφ30N_{sw}値の比較

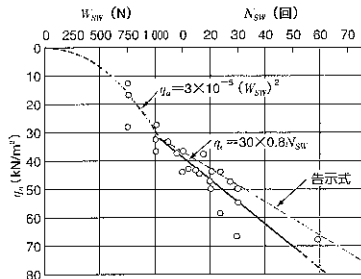


図5 平板載荷試験による許容支持力とW_{sw} N_{sw}の関係

の推定や、簡易な液状化判定などの手法もある。これらについては、各専門書を参照されたい。

概説

建築基準法の改正によりSWS試験を用いた地盤の許容応力度算定法が国交省告示第1113号で規定され、SWS試験が戸建住宅の地盤調査法の有力な方法として位置づけられている。

SWS試験が戸建住宅の地盤調査法として汎用性が高いのは、以下に示す長所が考えられる。

- 戸建住宅の場合、建物荷重が小さく基礎設計荷重はおおむね20～50kN/m²程度であり、深さ10mまでの調査で十分な評価ができる。
- 試験機が小型であり、作業スペースの少ない宅地地盤に適している。
- 調査方法が容易でかつ経済性に優れている。

このような長所から、SWS試験さえ行っておけば問題はないという実務家も皆無ではない。しかしながら、以下に示すようにSWS試験から得ら

調査件名 ○○地区地盤調査

試験年月日

地点番号(地盤高) S-1 (T.P.+8.50m)

試験者

載荷装置の種類	おもりによる載荷	目録表裏の種類	人力による		天候	時
			長さ	荷重 W _{sw} (kN)		
荷重 W _{sw} (kN)	半回転数 N _{sw}	貫入深さ D (m)	貫入長さ L (cm)	1m当りの半回転数 N _{sw} (回)	貫入量1m当たりの半回転数 N _{sw}	
0.05	0.25	25				
0.15	0.40	15				
0.25	0.50	10				
0.50	0.70	20				
0.75	1.25	55				
1.00	1.50	25				
3.5	1.65	15	23			
	2.00	35				
0.50	2.30	30				
0.75	2.40	10				
1.00	2.55	15				
	2.80	25	16			
	3.05	25	56			
	3.30	25	80			
	3.55	25	112			
	3.80	25	124			
	4.05	25	128			
	4.30	25	96			
	4.55	25	82			
	4.80	25	24			
	4.95	15				
0.75	5.10	15				
1.00	5.35	25				
0.75	5.60	25				
1.00	5.75	15				
	6.00	25	24			
	6.20	20	15			
	6.50	30				
	6.75	25	8			
	7.00	25	16			
	7.25	25	40			
	7.50	25	28			
	7.75	25	32			
	8.00	25	40			
	8.25	25	60			
	8.50	25	48			
	8.75	25	44			
	9.00	25	60			
	9.25	25	260			
	9.50	25	335			
	9.75	25	490			
	9.90	15	770			

特記事項
最後は5cm当たりの半回転数が50回を越えたので、測定を終了した

図4 データシート記入例

れる地盤情報だけでは、地盤の性能評価を十分に満たさないケースもある。

①貫入障害物により調査できない場合

SWS試験は比較的貫入能力が弱い。浅部のコンクリートガラや中間部で礫や大きな石にぶつかると貫入困難となり、それ以深に軟弱層があったとしても調査できない。そして、その貫入不能層を支持層と見なししてしまう。

①地質分類の判別を要する場合

SWS試験による地層分類は、試験者の経験・感覚に委ねられる部分が多く個人差が出やすい。軟弱地盤(自沈層)の場合、その地質がゆるい砂層であれば液状化の検討が必要

である。またセメントを利用した地盤改良を行う場合には、腐植土の混在度合を把握したいところである。残念ながらSWS試験による地層分類では、そこまで明快な分類はできない。

以上のような問題点に対して、最近では、自動式装置に打撃操作が加わり貫入障害物を貫通して試験する装置や、地層判別を目的としてサウンディング試験終了後サウンディング孔を利用したサンプラーなどの開発も行われている。

SWS試験は、施工性、経済性に優れた試験で、深さ10m程度の地盤の概要を知ることができるが、測定結果に慎重な解釈が要求される奥深い調査法ともいえる。

ラムサウンディング試験

試験概要

ラムサウンディング試験は、635 kgfのハンマーの自由落下（落下高さ50cm）により、貫入ロッド（直径32mm、1本の長さ1m）に取り付けた先端コーン（外径45mm、先端角90°）を打ち込み、20cm貫入に要する打撃回数（ N_{dm} ）を求める動的貫入試験の一つである。

貫入抵抗値は、周面摩擦による打撃回数の補正量 N_{mantle} を求め、 $N_d = N_{dm} - N_{mantle}$ を貫入抵抗とする。補正量 N_{mantle} は、ロッドをトルクレンチで回転させてトルクを測定することで求めている。

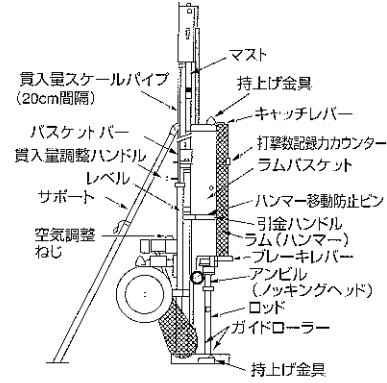
装置は図1、写①に示されるように、自動連続貫入装置、自動引抜装置、ロッドおよびコーンで構成されている。自動連続貫入装置は自動的に落下を繰り返すハンマーを搭載しており調査全体がほぼオートマチックに行われる。貫入能力も高くN値50の砂層でも2~3m貫入が可能である（ただし干石、転石は貫入不可）。結果の解釈と利用

ラムサウンディング試験で得られる N_d 値はN値とほぼ一致し、 $N_d = N$ の関係が成り立っている（図3）。

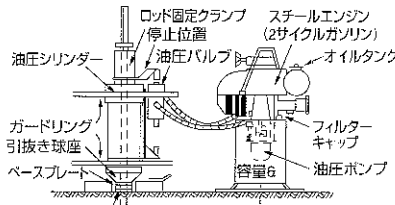
概説

ラムサウンディング試験は、スウェーデンで開発された動的コーン貫入試験であり、1974年に日本に導入された試験である。サウンディング調査を行う簡便さで、標準貫入試験に見合った地盤情報が得られ貫入能力が、N値に換算して30~50回程度の地層でも十分に貫入できる（図4）。コーンの貫入およびロッドの回収は自動化されておりオペレータによる個人差も少ない。

以上より、今後さらに宅地地盤分野でも注目される調査法の一つといえる。



(a) 自動連続貫入装置



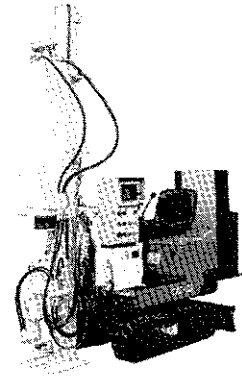
(b) 油圧装置と引抜き装置

- 1 ロッド (φ32mm×1 000mm 質量5kg)
 - 2 カップリング
 - 3 先端コーン (先端角90°, 外径45mm, 内径32mm) 円高部長90mm 質量0.4kg, 標準ロッドにさし込む)
- (c) ロッド カップリングおよび先端コーン

図1 ラムサウンディング試験機

測定深度 (m)	打撃回数 (N_{dm})	トルク (Ncm)	修正回数		修正打撃回数
			補正回数 M	修正係数 ΔN_d	
0.2	2	0	0	2	10
0.4	5	0	0	5	20
0.6	4	0	0	4	
0.8	2	0	0	2	
1.0	5	0	0	5	
1.2	3	0	0	3	
1.4	1	0	0	1	
1.6	1	0	0	1	
1.8	1	0	0	1	
2.0	1	0	0	1	
2.2	1	0	0	1	
2.4	1	0	0	1	
2.6	1	0	0	1	
2.8	1	0	0	1	
3.0	0	0	0	0	
3.2	0	0	0	0	
3.4	3	0	0	3	
3.6	10	20	0.8	9.2	
3.8	6	20	0.8	5.2	
4.0	9	20	0.8	8.2	
4.2	14	20	0.8	13.2	
4.4	13	20	0.8	12.2	
4.6	12	20	0.8	11.2	
4.8	8	20	0.8	7.2	
5.0	10	20	0.8	9.2	

図2 ラムサウンディング試験測定シート



① ラムサウンディング試験機

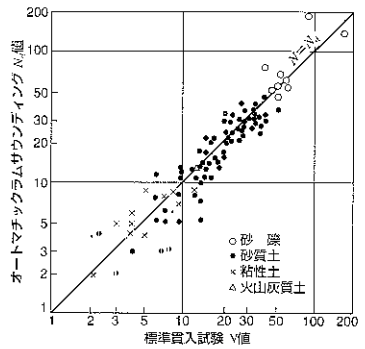


図3 ラムサウンディング試験の N_d 値とN値の関係

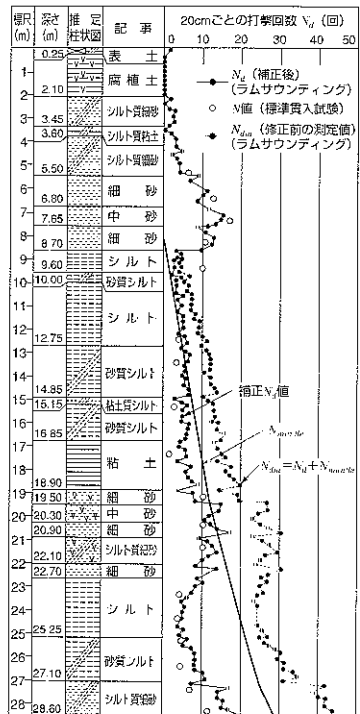


図4 ラムサウンディング試験結果の例

簡易動的コーン貫入試験

試験概要

簡易動的コーン貫入試験は、質量 $5 \pm 0.05 \text{kg}$ のハンマーを $500 \pm 10 \text{mm}$ の高さから自由落下させ、コーン（外径 25mm ，先端角 60° ）を地中に打ち込むことで、土の貫入抵抗を容易に測定することを目的とした地盤調査法である（JGS 1433，写①、図1、2）。この手法でコーンの貫入量 10cm に要する打撃回数 N_d 値を測定する。

試験機器が軽量で、かつ、人力で行うため狭隙地、傾斜地でも試験可能である。貫入抵抗の大きい硬質粘性土や砂礫地盤には適用できず、測定深さはおおむね 3m 程度である。

結果の解釈と利用

試験器が単管式のため、深くなるとロッドの周面摩擦が大きくなり、特に軟弱粘性土地盤や地下水位以下の砂地盤などで顕著となる。たとえ十分深くまで貫入できたとしても、ロッドの周面摩擦を含む貫入抵抗を測定するため、実際よりも測定値は大きくなるので、危険側な評価をしかねない。十分注意して結果を解釈する必要がある。

以下に各種土質定数への換算式を示す。中には土質によって換算式が異なる場合もあり、試験時にはコーンやロッドに付着した土の観察結果を記録しておくことが望ましい。

標準貫入試験（ N 値）との関係

$$N_d = (1 \sim 3) N \quad (\text{大久保ら})$$

$$N_d = 15N \quad (\text{新任})$$

$N_d > 4$

$$N = 0.7 + 0.34N_d \quad (\text{粗粒土})$$

$$N = 1.1 + 0.30N_d \quad (\text{砂質土})$$

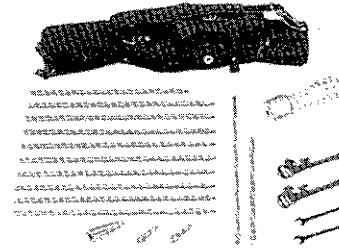
$$N = 1.7 + 0.34N_d \quad (\text{粘性土})$$

$N_d \leq 4$

$$N = 0.50N_d \quad (\text{粗粒土})$$

$$N = 0.66N_d \quad (\text{砂質土})$$

$$N = 0.75N_d \quad (\text{粘性土}) \quad (\text{岡田ら})$$



①簡易動的コーン貫入試験器

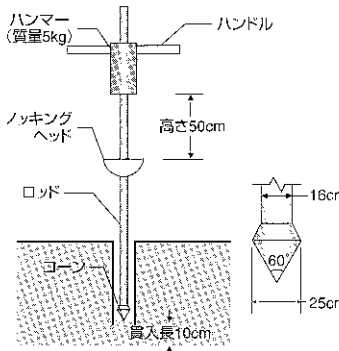


図1 簡易動的コーン貫入試験器

SWS試験との関係

$$N_{SW} = 1.50 \sqrt{N_d} + 0.75 \quad (\text{甚野ら})$$

$$N_d = 0.20N_{SW} + 0.04W_{SW} \quad (\text{粗粒土})$$

$$N_d = 0.22N_{SW} + 0.03W_{SW} \quad (\text{砂粒土})$$

$$N_d = 0.15N_{SW} + 0.04W_{SW} \quad (\text{細粒土})$$

（岡田ら）

一軸圧縮強さ： q_u （ kN/m^2 ）

$$q_u = 25 + 5N_d \quad N_d \leq 4$$

$$q_u = 11N_d \quad N_d > 4$$

（岡田ら）

オランダ式二重管コーン貫入試験

q_c （ kN/m^2 ）との関係

$$N_d = 3.3q_u \quad (\text{砂質土})$$

$$N_d = 15q_u \quad (\text{粘性土})$$

（小川ら）

概説

簡易動的コーン貫入試験は、動的貫入抵抗を求める試験の中で最も簡単な試験である。

この試験は、標準貫入試験に比べると打撃エネルギーがはるかに小さいので、表層部の調査に限定されるものの、わずかな土層の貫入抵抗の変化も把握でき、かつ、連続的に測



②簡易動的コーン貫入試験状況

調査件名 ○○地区地盤調査

地点番号（地盤高）C-1（TP+4.30m）

打撃回数 N 回	貫入深さ h cm	貫入量 $\Delta h = h_n - h_{n-1}$ cm	$N_d = 10 \sqrt{\Delta h}$
0	4
1	14	10	1
2	32	18	1
1	43	11	1
2	60	17	1
2	73	13	2
2	86	13	2
2	97	11	2
2	108	11	2
2	120	12	2
2	128	8	3
3	140	12	3
3	150	10	3
10	158	8	13
10	162	4	25
10	165	3	33
10	167.5	2.5	40
10	168.5	1.0	100

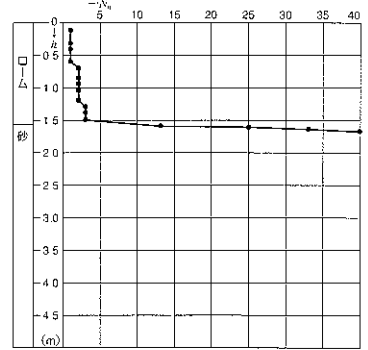


図2 データシート記入例

定できる利点がある。

小規模な建物の支持力判定のほか、盛土のり面、切土のり面、自然斜面の表層部調査などにも適している。

平板載荷試験

試験概要

平板載荷試験は、原地盤に剛な載荷板（直径30cm）を設置して荷重を与え、この荷重と載荷板の沈下との関係から、地盤の変形や強さなどの支持力特性を調べることを目的とした試験（JGS 1521）である（写①、図1）。

基礎底面より2.0mの地層で長期許容支持力30kN/m²が確認できない地盤に対して汎用されている。

結果の解釈と利用

測定結果は図2に示すように

①時間-載荷圧力曲線

②時間-沈下量曲線

③載荷圧力-沈下量曲線

④載荷圧力-残留沈下量曲線

でまとめられる。①、②は載荷試験時の載荷重、沈下量の生データであり全般的な試験状況が把握でき、③④は地盤反力係数や極限支持力など地盤の変形特性を求めるためのデータである。

・極限支持力 P_u

極限支持力 P_u は、載荷圧力-沈下量曲線で、沈下が急激に増大し始めるときの荷重または最大沈下量が3cm（載荷板直径10%）を超える場合の荷重とする。

・許容支持力 q_a

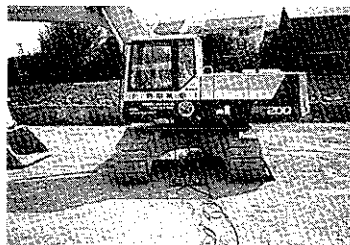
$$q_a = q_t + \frac{1}{3} N' \gamma_2 D_f \quad (1)$$

q_a ：地盤の長期許容支持力 (kN/m²)

q_t ：平板載荷試験による降伏荷重の1/2の値または極限荷重の1/3の値のうち、いずれか小さい値 (kN/m²)

N' ：地盤の支持力係数（締まった砂質地盤12、緩い砂質地盤6、粘性土地盤3）

γ_2 ：基礎底面より上にある地盤の単位体積重量 (kN/m³)



①平板載荷試験状況

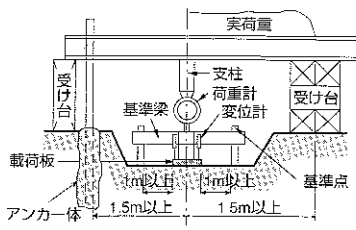
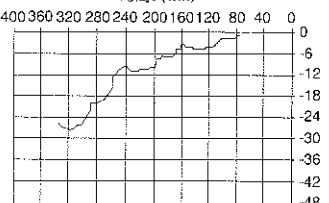
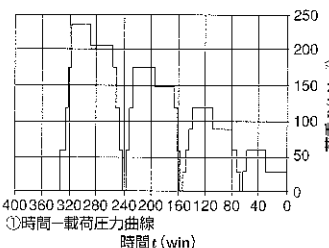


図1 平板載荷試験器



②時間-沈下量曲線

図2 平板載荷試験測定データ

D_f ：基礎底面までの深さ (m)

(国交省告示第1113号)

このほか『建築基礎構造設計指針』『道路橋示方書・同解説』などで独自の支持力公式、補正係数などが提案されているので参照されたい。

・地盤反力係数 k_v

地盤反力係数 k_v (kN/m³) は、載荷圧力-沈下量曲線で求められ、次式であらわされる。

$$k_v = \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{P_2 - P_1}{S_2 - S_1}$$

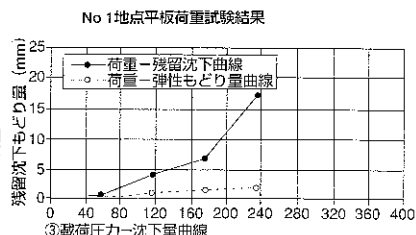
P_1 、 P_2 ：載荷圧力 (kN/m²)

S_1 、 S_2 ：各々の沈下量 (mm)

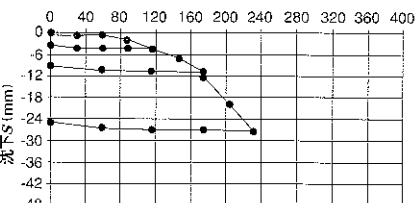
P_1 は無負荷時 P_2 は最大載荷圧力の1/3とすることを原則とする。

概説

平板載荷試験は、地盤の支持力を直接測定できるため比較的信頼性の高い試験といえる。しかし、載荷板の大きさによって載荷の影響範囲が異なり、通常、載荷板直径の1.5～



③載荷圧力-沈下量曲線



④載荷圧力-残留沈下量曲線

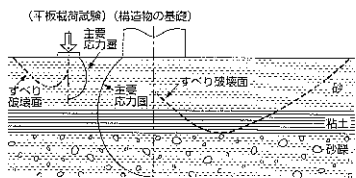


図3 載荷板と構造物基礎の大きさの関係

2.0倍程度の深さ（直径30cm載荷板であれば深さ45cm～60cm）を対象とするので、浅部の地盤を対象とした試験であり、深層部の支持力特性については不明瞭である（図3）。載荷板の大きさに対応した支持力特性であることを認識し、ボーリング調査や各種サウンディング試験などと組み合わせて設計に反映することが必要である。載荷試験時の載荷反力にはバックホーなどクローラー式の大型機械がよく用いられており、作業スペースを大きく取る必要がある。また、調査費用も他の地盤調査法に比べて高くなる。

表面波探査 (弾性波探査)

試験概要

弾性波探査とは起振器あるいはカケヤで人工的に発生させた弾性波を用いて、直接ないし、異なる弾性波速度層の間で屈折して地盤に伝わってくる状況を受信器で測定し、地盤構成・地盤強度特性を把握する調査法のことである。

表面波探査とは、その弾性波のうち表面波を用いた調査であり、得られる地盤情報は深度ごとのレイリー波 (表面波) 速度 (m/s) である。レイリー波は、伝播する深さが周波数によって規制される分散性を有するので、周波数をパラメータとして深さごとのレイリー波速度を精度よく求めることができる (写①②)。レイリー波速度は 地表面に設置された2個または数多くの検出器により検出された位相差 (時間差) と検出器間の距離によって求めることができる (図1)。

結果の解釈と利用

・横波速度 V_s と一軸圧縮強度 q_u の関係

・ $V_s = 134 q_u^{0.443}$ … (1) 実験式 (図2)
 表面波速度 V_r と横波速度 V_s はポアソン比に対してほぼ一致していることから

・ $V_r \div 0.955 V_s$ … (2) ポアソン比 0.5 の場合 (図3)

よって、

$$q_u \div 1.11 (V_r/134)^{(1/0.443)} \quad \dots (3)$$

q_u : 一軸圧縮強度 (kgf/cm²)

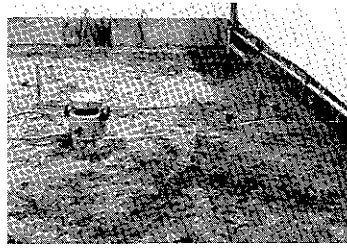
V_s : 横波速度 (S波) (m/s)

V_r : 表面波速度 (m/s)

許容応力度 q_a は、下記の式により求められる (国交省告示第1113号:平成13年7月2日)。

$$q_a = \frac{1}{3} (i_c \alpha C N_c + i_r \beta r_1 B N_r + i_q r_2 + D_f N_q) \quad \dots (4)$$

i_c, i_r, i_q : 基礎に査証する荷重の鉛直方向に対する傾斜角 θ に応じ



①弾性波探査測定状況

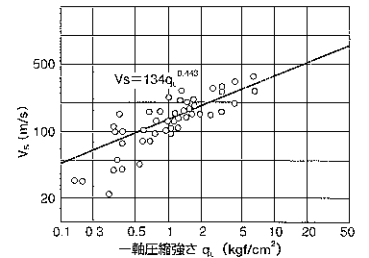
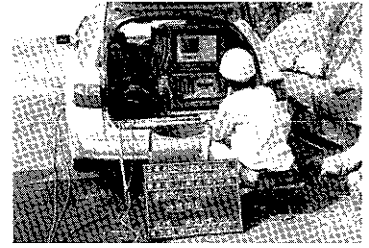


図2 横波速度 V_s と一軸圧縮強度 q_u の関係

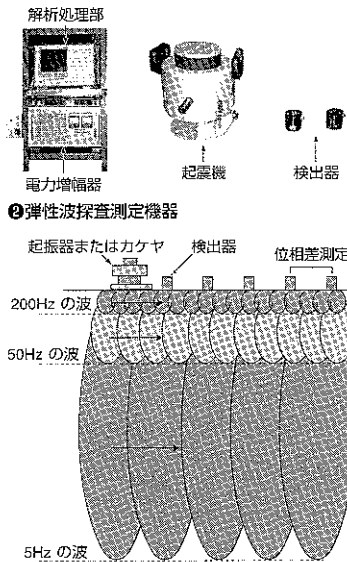


図1 弾性波探査測定状況

た係数

$$i_c = i_q = (1 - \theta/90)^2$$

$$i_r = (1 - \theta/\phi)^2$$

ϕ : 内部摩擦角

α, β : 基礎の形状係数

C : 基礎底面下にある地盤の粘着力 (kN/m²)

B : 基礎荷重面の短辺または短径の長さ (m)

r_1 : 基礎底面下にある地盤の単位体積重量 (kN/m³)

r_2 : 基礎底面より上方にある地盤の単位体積重量 (kN/m³)

N_c, N_r, N_q : 支持力係数 - 内部摩擦角 ϕ の関数

一般に C (地盤の粘着力) は、一軸圧縮強度 q_u で表すことができる。

$$c = \frac{q_u}{2} \quad \dots (5)$$

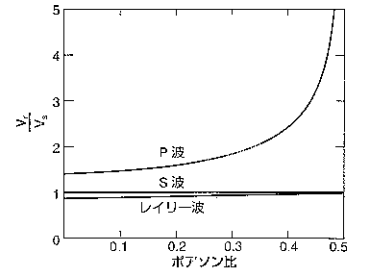


図3 ポアソン比と V_r/V_s の関係

これらの関係式 (4) に代入すると、許容応力度を表面波速度で表現できる。

$$q_a = \frac{1}{3} \left\{ i_c \alpha \frac{1.11 \cdot (V_r/134)^{(1/0.443)}}{2} (N_c + i_r \beta r_1 B N_r + i_q r_2 + D_f N_q) \right\} \quad \dots (6)$$

概説

表面波探査は非破壊試験の一つで、測定も容易でスペースを多く必要とせず、最近では戸建住宅のような狭い範囲の地盤調査としても活用されている。土質分類を行うには、ボーリングデータなど別の調査を併用する必要があるが、造成地、大型分譲地など広範囲に地盤を把握したい場合には有力な調査法になると考える。

オランダ式二重管コーン貫入試験

試験概要

オランダ式二重管コーン貫入試験は、二重管によりマントルコーン(図1、ダッチコーンとも呼ばれている)を機械的に圧入することでコーン貫入抵抗を求める試験であり、JIS A 1220に規定された地盤調査法である。

二重管ロッドにマントルコーン(先端角60°、コーン面積10cm²)を取り付け、まず外管を25cmだけ貫入させ、その後マントルコーンを貫入する。以下、順次ロッドを継ぎ足して測定を行う。求められるコーン貫入抵抗 q_c は、粘着力、 N 値などとの関係式が求められていて、ごく軟弱な粘性土を除けばかなり正確な強度を推定することができる。これは、二重管構造のためロッドの周面摩擦の影響を除外した貫入抵抗が求められるからである。

当試験は、圧入装置(100kN、20kNの2種類、写①、図2)を用い、試験前に地盤中にアンカーを取ってその反力を利用して貫入するため、比較的硬い層(N 値30程度)まで測定できる。その反面、装置が比較的大がかりになり機動性も少ない。主に補間調査や精密調査に利用されることが多い。

結果の解釈と利用

当試験で得られる値は、コーン貫入抵抗 q_c (kN/m²) と呼ばれ、マントルコーンを1cm/sの貫入速度で5cm連続的に押し込んだ時にコーン底面に作用する貫入抵抗を示す。

- 粘性土の非排水せん断強さ c_u (kN/m²)
 $q_t = N_{kt} \cdot c_u + p_v$
 q_t : コーンの有効断面積で補正した先端抵抗 (kN/m²)
 N_{kt} : コーン係数 (8~16)
 p_v : 土被り圧 (全応力) (kN/m²)

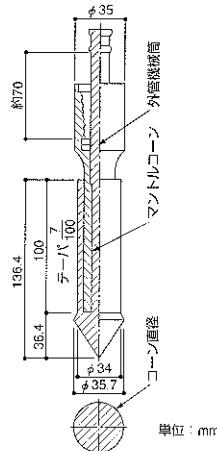


図1 マントルコーン



①オランダ式二重管コーン貫入試験状況

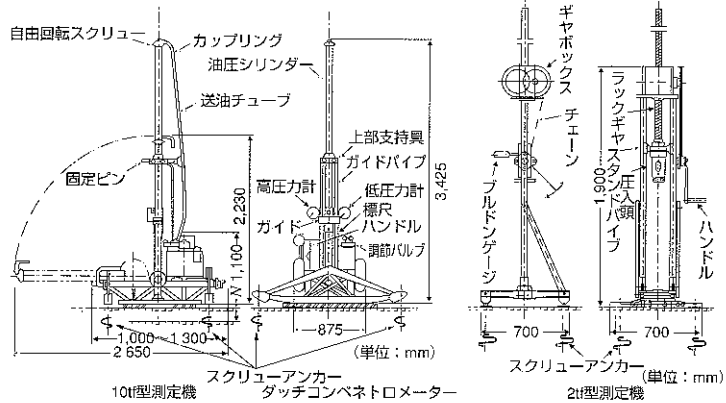


図2 試験器の種類

調査件名 ○○地区地盤調査

試験年月日

地点番号 (地盤高) D-1 (T.P.+7.50m)

試験者

試験器の種類	内径質量	計画深さ	圧入力	コーン貫入速度	測定	校正係数	コーン断面積
	mm, kg	m	kN	cm/s	m	個	m ²
100kN	1.52	1.0	100	1.0	0	1	2.30 × 10 ⁻²
20kN	1.52	1.0	20	1.0	0.5	1	1.00 × 10 ⁻³
貫入速度	cm/s						
1.00	1.0						
1.50	3						
2.00	3						
2.25	4						
2.50	4						
2.75	4						
3.00	4						

測定深さ	内径	計画深さ	圧入力	コーン貫入速度	測定	校正係数	コーン断面積
m	mm	m	kN	cm/s	m	個	m ²
0.00	1	80.5	1.85	1.88	0	1	2.30 × 10 ⁻²
0.25	2	130.5	3.00	3.04	0.5	1	1.00 × 10 ⁻³
0.50	2	86.0	1.52	1.56	1	1	2.30 × 10 ⁻²
0.75	2	43.0	0.99	1.03	1.5	1	1.00 × 10 ⁻³
1.00	2	72.5	1.67	1.71	2	1	2.30 × 10 ⁻²
1.25	3	38.0	0.87	0.93	2.5	1	1.00 × 10 ⁻³
1.50	3	70.0	1.61	1.67	3	1	2.30 × 10 ⁻²
1.75	3	19.5	0.45	0.51	3.5	1	1.00 × 10 ⁻³
2.00	3	15.0	0.35	0.41	4	1	2.30 × 10 ⁻²
2.25	4	23.5	0.54	0.61	4.5	1	1.00 × 10 ⁻³
2.50	4	21.0	0.48	0.55	5	1	2.30 × 10 ⁻²
2.75	4	16.0	0.37	0.44	5.5	1	1.00 × 10 ⁻³
3.00	4	32.0	0.74	0.81	6	1	2.30 × 10 ⁻²

図3 オランダ式二重管コーン測定シート

概説

オランダ式二重管コーン貫入試験の特徴といえば、二重管によってロッド周面摩擦を除外したコーン貫入抵抗が求められる点であろう。ラムサウンディング試験が周面摩擦の影響を補正することで対処するのに対

して、オランダ式の方がより精度の高い調査が可能である。ポータブルコーンにも二重管式が存在するが、機械による貫入という点で、測定深さを深くすることができる。

当試験は、三成分コーンの原型のような存在ともいえる。

3成分コーン貫入試験

試験概要

3成分コーン貫入試験は、3つの小型センサーを取り付けたコーン（図1）を貫入することで、コーンの貫入抵抗 q_c 、間隙水圧 U 、周面摩擦力 f_s を連続的かつ経済的に把握するもので「電気式静的コーン貫入試験方法JGS 1435」に規定された地盤調査法の一つである。

これら3つの成分を組み合わせることで、一軸圧縮強さ、許容支持力といった地盤定数の評価だけでなく簡易的な土層判別も行える。

適用範囲はコーンを静的に貫入できる地盤として砂礫、玉石層を除く粘性土、砂質土に適用できる。測定深度は貫入装置の容量にもよるが、おおむね10～30m程度である。

結果の解釈と利用

3成分コーン貫入試験は、連続測定が可能であり貫入抵抗、周面摩擦、間けき水圧の深度分布が深さ1cm程度の精度で得られる（図4）。

これら3つのデータを土質分類図（図2）に当てはめることで、深さ方向の地盤の判別ができる。

図3に同じ敷地で行った3成分コーンによる土質分類と、ボーリング調査による土質分類の比較を示す。両者の土質分類は比較的合致しており、粘土層を含む薄い腐植土層も、3成分コーンでは細かに測定できている。

この分類手法は、ほかのコーン貫入試験のほとんどがコーンの貫入抵抗で分類するのに対して、3成分コーンは、周面摩擦や間隙水圧を加味して分類するため、他試験に比べて精度が高いと考える。

概説

3成分コーン貫入試験は、 $\phi 35\text{mm}$ のコーンを無回転で静的に貫入するため、比較的大掛かりな貫入装置（写①）が必要となり、戸建住宅の

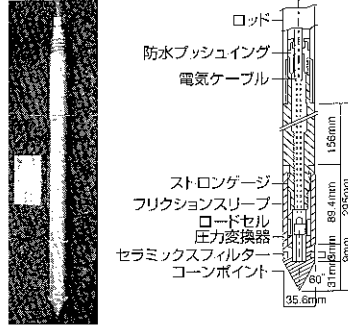
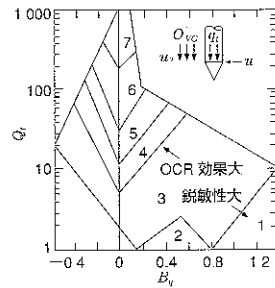
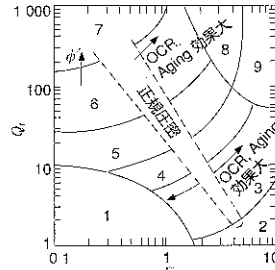
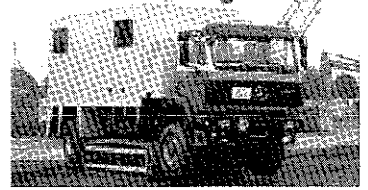


図1 3成分コーン

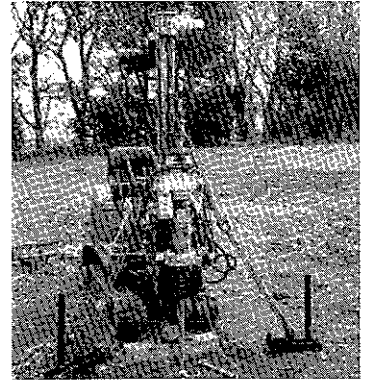


1. 鋭敏粘土
2. 有機質土～ビート
3. 粘土～シルト質粘土
4. 粘土混じりシルト～シルト質粘土
5. シルト混じり砂～砂質シルト
6. シルト質砂～きれいな砂
7. 砂～礫混じり砂
8. 非常に硬質な砂 粘土混じり砂
9. 非常に硬質な細粘土質シルト

図2 土質分類図（Robertsonによる分類チャート）



写① 従来3成分コーン試験装置（クローラー搭載式200kN貫入装置）



写② 小型3成分コーン試験装置

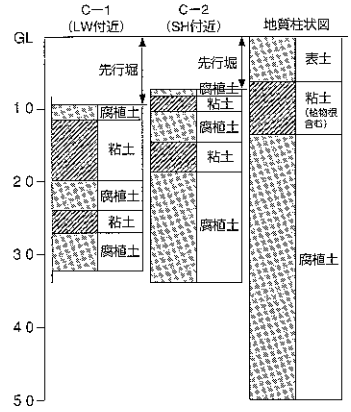


図3 3成分コーンによる土質分類とボーリング調査による土質分類の比較

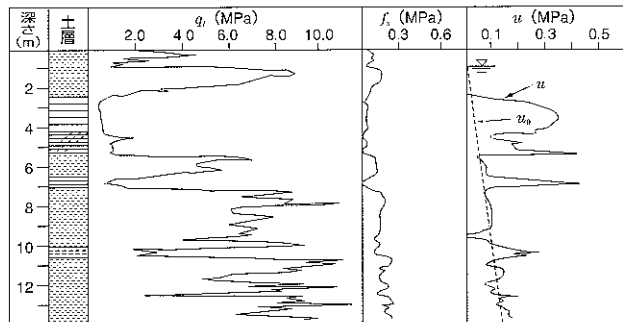


図4 3成分コーン貫入試験による測定例

地盤調査へ3成分コーン貫入試験を用いる場合には、施工的 経済的に適用しにくい面がある。しかしながら最近では重量1t近くの小型貫入装

置を利用した3成分コーン貫入試験機の開発も行われつつあり、今後の開発が注目される（写②）。

ポータブルコーン貫入試験

試験概要

ポータブルコーン貫入試験は、人力で静的にコーン（先端角度30°、断面積6.45cm²）を秒速1cm程度の速さで押し込み、ダイヤルゲージ（荷重計）によって10cmごとにコーン貫入抵抗 q_c (kN/m²) を求める試験（JGS 1431）である。このコーン貫入抵抗から、軟弱層の厚さ、粘性土の粘着力などを求めることができる。

適用地盤は粘性土や腐植土といった軟弱地盤を対象とし、貫入可能な深さは単管式で3~5mであり、これ以上の深さでは二重管式を用いる（写①、図1）。

調査のポイント

①貫入速度

この試験は人力によってコーンを貫入するため、一定の速度で貫入することは難しく、調査者による個人差が生じやすい。JGS 1431では、貫入速度は10mm/sを標準としている。一般に10~25mm/sの範囲ではコーン貫入抵抗に及ぼす影響は少ないとされており、それ以上に速く貫入すると貫入抵抗が大きくなる傾向がある。また、荷重計の読みも不正確になる。

②単管式と二重管式の使い分け

ポータブルコーン貫入試験器には単管式と二重管式の2種類がある。単管式を用いると、コーン先端の貫入抵抗にロッドの周面摩擦を加えた値が荷重計で読み取られる。3m未満の深さ、あるいはシルトでは、周面摩擦は少ないが、3m以上の深さあるいは有機質粘土層などでは周面摩擦が大きく影響するので、このような場合は二重管式を用いる必要がある。

結果の解釈と利用

ポータブルコーン貫入試験で得られた q_c から、以下の土質定数への換

算式が提案されている。

- 1軸圧縮強さ

$$q_u \approx 0.2q_c$$

$$q_u : 1軸圧縮強さ (kN/m^2)$$

- 非排水せん断強さ

$$C_u \approx 0.1q_c$$

$$C_u : 非排水せん断強さ (kN/m^2)$$

そのほか、 q_c の深さ分布図を用いて地層断面図の作成ができる。しかし、 q_c だけで地層判別を行うのは難しい場合が多く、ボーリング柱状図対比することが望ましい。

概説

試験器が軽量で携帯に便利であり操作も容易であることから、軟弱地盤表層の強度や支持力特性を簡単に把握するのに適している。

戸建住宅の地盤調査として用いる場合、試験可能な深さが表層5m程度と浅く、かつ、軟弱地盤に限定さ



●ポータブルコーン貫入試験状況

れることから、SWS試験に代用して用いるには至らない。利用範囲としては、SWS試験などで表層に軟弱層（自沈層）が見られた場合の追加調査として行えば、より詳細な評価ができる。また、盛土の締固め管理などにも適している。

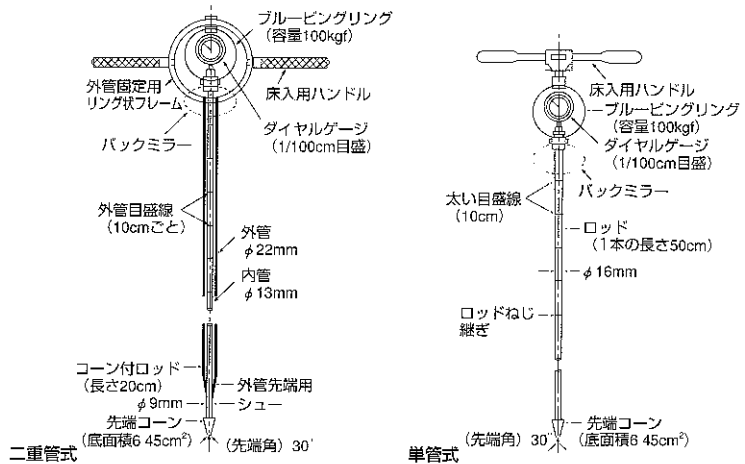


図1 ポータブルコーン貫入試験機

調査件名		地区地盤調査		試験年月日				
地点番号 (地盤高)		P-1 (T.P.+5.55m)		試験者				
試験機の種類	単管式 (二重管式)	荷重計容量	kN	1,000	校正係数	KN/m ²	4.02	
ロッド質量	kg	0.76	先着コーン質量	kg	0.12	コーン底面積	A (m ²)	6.48×10 ⁻²
貫入速度	cm/s	1.0	試験機挿入深さ	m	3.5	単位		
測定深さのロッド	質量	長さ	質量	長さ	質量	長さ	質量	
m	kg	m	kg	m	kg	m	kg	
0.0	1	15.7	63	112				
0.1	1	69.2	275	445				
0.2	1	41.9	168	274				
0.3	2	48.8	195	325				
0.4	2	47.2	190	319				
0.5	2	42.6	171	290				
0.6	2	39.3	158	270				
0.7	2	29.9	120	211				
0.8	3	33.0	133	245				
0.9	3	20.5	82	164				
1.0	3	23.6	95	184				
1.1	3	16.5	66	139				

図2 ポータブルコーン貫入試験シート

原位置ベーンせん断試験

試験概要

原位置ベーンせん断試験（ベーンシャーテスト）とは、十字に直交する鋼製の羽根（図1、写①（ベーンプレート））をボーリング孔底より地中に押し込み、それを地上でロッド回転させたときの回転トルクにより、土のせん断強さを求めるものでJGS 1411に規定された地盤調査法である。

試験機には押し込み式とボーリング孔を利用したボアホール式がある（図1）。一般にN値2以下の粘土、シルト、分解の進んだ有機質土に有効であり、N値4以上の粘性土や砂に対しては試験の実施が困難なことが多く、測定深度としてはおおむね15m程度といわれている。

調査のポイント

地中回転部に異物が挟まれたり、回転ロッド・ベーンロッドの曲がり偏芯があると、せん断強さが実際の強さより大きく評価されるので注意を要する。また、無機質で軟弱な粘性土地盤を対象としており、繊維質を多く含む腐植土、泥炭などには適用できない場合が多いので、地質の確認を要する。

おわりに

ここまで述べてきたように、地盤調査の目的は、敷地地盤の地耐力を確認すること、さらには土質を確認することにある。しかしながら、スウェーデン式サウンディング試験で土質を正確に把握することは非常に難しい。良好な地盤であることが確認できればそこで地盤調査を終えて、支持層深さや主体となる地質から勘案して基礎工法の選定へと進め

結果の解釈と利用

土のせん断強さ： τ_v (kN/m²)

$$\tau_v = 6(M - M_f) / 7\pi D^3$$

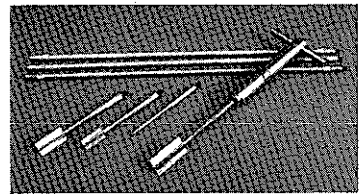
M : 測定最大トルク (kN/m)

M_f : 試験機の摩擦トルク (kN/m)

D : ベーンプレートの幅 (m)

概説

原位置ベーンせん断試験の適用条件は、ボーリング試料も採取できないような軟弱な粘性土地盤に適した試験である。初期調査・踏査の段階でこのような地質が想定されれば、その地層を対象とした追加調査として役立つものと思われる。



①原位置ベーンせん断試験機

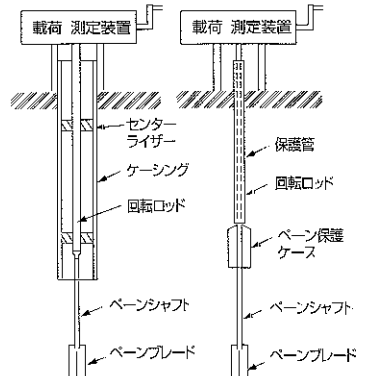


図1 原位置ベーンせん断試験機

調査種別 ○地区地盤調査 試験年月日 2004 4 1

地点番号 (地盤高) No A (T.P +3.50m) 試験者 地盤太郎

試験深さ GL - 5.00 m ベーン寸法 $D=0.05$ m $H=0.1$ m

回転速度 6 1/min

回転角度		荷重		回転角度		荷重		回転角度		荷重	
読み度	回転角度	読み度	荷重 N	読み度	回転角度	読み度	荷重 N	読み度	回転角度	読み度	荷重 N
(原状試験)				(乱した試験)							
80	0	0	0	84	9	119.2	225	75	0	0	0
				85	10	132.5	250				
81	1	9.0	15	86	11	140.7	265	76	1	13.5	25
82	2	9.5	18	87	12	149.5	282	77	2	23.3	44
83	3	9.6	18	88	13	159.4	301	78	3	27.7	52
84	4	9.5	18	89	14	169.0	319	79	4	31.8	60
85	5	9.4	18	90	15	175.8	332	80	5	35.3	67
86	6	9.5	18	91	16	179.7	339	81	6	38.7	73
87	7	9.8	18	92	17	176.0	332	82	7	39.3	74
88	8	10.1	19	93	18	171.7	324	83	8	39.7	75
89	9	10.3	19	94	19	164.5	310	84	9	40.1	76
90	10	10.6	20	95	20	157.4	297	85	10	40.3	76

図2 測定シート

ばよいが、腐植土、泥炭層などを厚く介在する地盤や、緩い砂地盤で実際に地質を判断できないにもかかわらず、それらのデータを軽視して基礎工法へと進むのは危険である。誤った判断で次のステップへ進む前に追加調査を行い、不安を取り除くよう進めていきたいものである。

また、最近の地盤調査法の進歩もめざましく、ここで紹介したようにさまざまな調査機械の小型化、省力化がなされてきており、調査法の選択肢が広がったと考えてよい。

ここで述べた住宅の地盤調査手法と適用範囲が、地盤調査に関する実務家のみなさまのハンドブック的な一助になればさいわいである。

(たかた とおる)

【参考文献】

- 1) 藤井衛, 若命善雄 田村昌仁 伊集院 諒; ザ・ソイルⅡ 建築技術 2002年9月
- 2) 地盤工学会 地盤調査法改定編集委員会; 地盤調査の方法と解説 (地盤工学会 2004年6月)
- 3) ロケーション手帳 基礎編・相補改訂版 地盤をどう捉えるか; やすらぎ技術委員会, 2003年3月