



海洋・海岸工学と土質

2.2 直接調査法

まつ もと かず あき
松 本 一 明*

2.2 直接調査法

地盤を直接的に調査する方法としては、海底地盤から試料を採取するサンプリングと、地盤に抵抗体を貫入したり、回転させて地盤の特性を調べる原位置試験などがある。

2.2.1 底質調査法

近年、港湾施設の建設に先立って実施される環境アセスメントや、海底浄化事業など海底のごく表層部の土質を調べることが多くなってきている。この海底表層部に分布する海底堆積物は底質と呼ばれており、最近では、海洋土木および港湾土木の分野にもよく使われる用語になってきた。

底質を調査する方法には、ドレッジによる方法、グラブによる方法、柱状サンプラーによる方法があり、それぞれの目的によって使い分けられる。これらによる調査は建設工事の計画段階で本格的調査に入れない場合の船舶による概略調査として有効に利用することができる。以下にそれぞれの方法を概略的に述べる。

(1) ドレッジによる方法

ドレッジによる方法は、ワイヤーに取り付けられた筒状または箱型のドレッジャーを調査船から海底に降ろし、それを引き上げて線上の土をかき取る仕組みのものである。この方法は水深に関係なく利用できる利点があり、概略的底質を調べるのに適している。

(2) グラブによる方法

グラブによる方法は、ワイヤーで操作されるグラブを海底に降ろして底質をつかみとる方式のものである。グラブの種類は多種多様であり、クラムシェル型、オレンジピル型あるいは、写真-2.2.1に示すようなスベード型などがよく利用される。また、このほかに環境調査用として一定量が正確に採取できる「バージェクマン」と呼ばれるグラブ、あるいは漂砂調査用として「港研式」と呼ばれるグラブなどが利用されている。

(3) 柱状サンプラーによる方法

柱状サンプラーによる方法は、3～5m程度のチューブを取り付けたサンプラーをワイヤーで降下し、軟弱粘土はサンプラーの重量により静的に貫入し、砂または砂質土は、パイロハンマー等を利用して動的に貫入する。柱状サンプラーによる試料の品質は、乱さない状態とはいい難いが

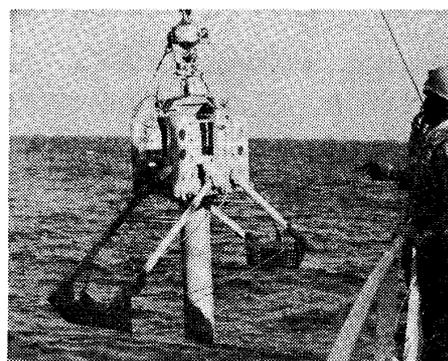


写真-2.2.1 スベード型グラブ

層序の反転しない程度の試料が得られる。また、ドレッジャーやグラブに比べてやや深い層の試料採取が可能である。

2.2.2 地層調査法

海底地盤の調査は、海底表面から深い地層までの工学的性質を求めるために必要な土質および岩石の試料を得るサンプリングと、原位置で直接的に地盤の性状を調べるサウンディングがある。サンプリングおよびサウンディングは一部の場合を除いてボーリング孔を利用して行われる。またこれらの作業には海上足場が必要である。

(1) 海上足場

海底地盤の調査において海上足場は不可欠であり、ボーリング、サンプリング、サウンディングの精度、作業の安全性と能率を左右する大変重要なものである。海上足場は、調査地点の水深や、調査目的によって使用する足場のタイプが異なり水深によって区別すると表-2.2.1のように分類することができる。

浅い海域と深い海域を明確に分けることは困難であるが、調査の難易性、採取する試料の品質に及ぼす影響の大きさなどから水深15mが一つの境界のように考えられる。

乱さない試料を採取するためには安定した海上足場が必要であり、普通は安定性の優れた着地型の鋼製足場が用いられる。水深が比較的浅い場合とか、海底地形が平滑でなく鋼製足場では傾いて据わりの悪い場合などに写真-2.2.2に示すスパット式足場（ミニセップ）が採用されることがある。スパット式足場は、鋼製足場のようにクレーン船を用いて現地に据え付ける方法と異なり、接岸施設でクレーン車を使って組み立てればあとは現地にえい航してスパットを降ろし、デッキ部を波の影響を受けない高さま

*応用地質 技師長

講 座

表-2.2.1 海上足場の分類

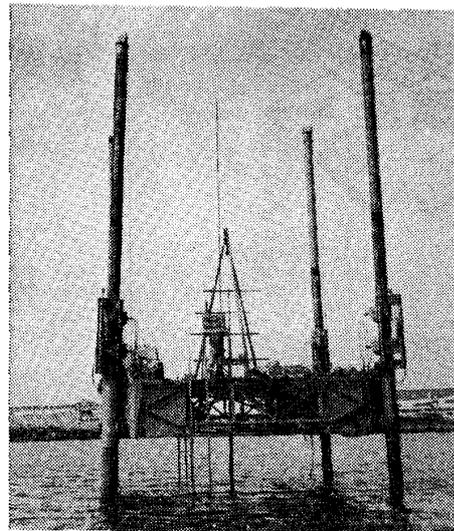
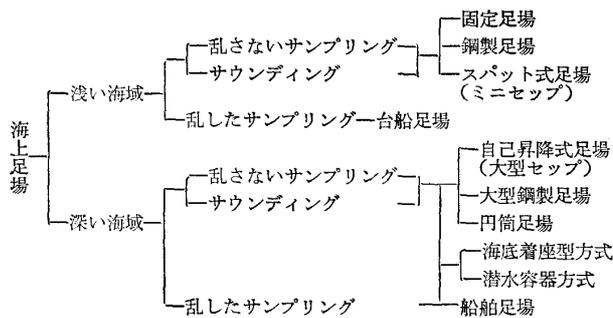


写真-2.2.2 スパット式足場 (ミニセップ)

で上昇すると作業が可能であることから簡便な足場として知られている。反面、4本の独立した脚(スパット)によって支えられている構造であるため作業中ぐらぐらしたり、不安定であることは否めない。しかし、これらは斜材などの補強材によって安定性が得られるので今後の利用、発展が期待される足場といえる。

(2) サンプリング

海上におけるサンプリングは、港湾および海洋構造物の設計、施工に必要な土質定数を得るために行われるほかに海洋地質調査および資源開発の目的をもって行われる。

構造物の基礎地盤の設計、施工を安全かつ経済的に行うために必要な海底土質の諸定数は、高品質試料によることが重要である。海上サンプリングは、水深のために陸上よりかなり工程の多い、過酷な条件下での作業となるので高品質の試料を得ることは容易なことではない。そのため、海上の難作業をクリアーできる万全の体勢で望むことはもちろん水深、土質の種類を考慮して、調査目的に適合したサンプリング方法を選択し実施する必要がある。以下、水深および土質別のサンプリング方法について説明する。

1) 浅い海域におけるサンプリング 浅い海域と深い海域の水深による区別は明確になっているわけではないが、従来の港湾施設が水深5~15mに多く建設されてきた関係で調査方法や使用機具もそのあたりの深さに対して使いやすさ、安全性、能率などが検討されて現在の手法が確立している。したがって、現状の調査手法を用いて試料の品質を重視した調査を行う場合、水深15m以下が適切な調査深さであり、それ以上の水深では特殊な道具立てと調査手法が必要となる。

粘性土のサンプリングには、軟らかい粘性土と硬い粘性土に適したサンプラーがあり、対象土質に応じて使い分けられている。

軟らかい粘性土を対象にしたサンプラーは、土質工学会基準として規格化されている「固定ピストン式シンウォールサンプラー」が^{1),2)}最も適しているとして多くの実績を持っている。また、硬質粘性土を乱さない状態で採取するサンプラーは、外管で土を削りながら内管に試料を採取する仕組みの二重管構造のデニソン型サンプラー³⁾や、原理的に二重管構造に属するトリプルチューブサンプラー⁴⁾がある。詳細は土質調査法⁵⁾などの専門書を参照されたい。

一方、砂質土のサンプリングは、対象土質が粒状体で水の移動の容易な試料であるため乱さない試料を得ることは大変困難な状態にあり、作業条件のよい陸上の場合でも高品質の試料を得ることは容易なことではない。ましてや海上調査においては至難の技である。砂質土のサンプリングは、サンドサンプラーを用いて行われる。サンドサンプラーの構造原理は、粘性土用と大差はないが特徴として試料の脱落を防止するコアキャッチャーが取り付けられていることである。コアキャッチャーには創意工夫された数多くのものがあり、ここでは構造的に特徴のあるものを2, 3紹介する。

一つは、図-2.2.1(a)に示すように砂地盤に押し込まれたサンプリングチューブを地盤から引き抜き図-2.2.1(b)に示すように空気室に入れてサンプラーの下端部に不飽和状態をつくり、見かけの粘着力を与えて試料の脱落を防ぐ方式のもので、固定ピストンの取り付けられた改良型ビショップ式サンプラー⁶⁾がそれに当たる。

二つめは、機械的に脱落を防止する方法で、図-2.2.2のようにスプリング式のバスケット型コアキャッチャーをチューブ先端部に取り付けたものである。港研型サンドサンプラー⁷⁾などがそれに当たる。

三つめは、上述と同じ機械的な方式のものであるが、上述のものとは異なる特徴は、図-2.2.3(a)に示すようにゴムスリーブ(ゴムの筒状のもの)をチューブ先端部に内蔵し、図-2.2.3(b)②のようにゴムスリーブを捻ることによって閉じ完全閉塞できることである。ツイストサンプラー⁸⁾がそれに当たる。

砂または、砂質土のサンプリングにおいて、チューブによるサンプリング以外に砂地盤に凍結管を挿入して、その周囲を凍らせて棒状に地盤を引き抜くサンプリング方法がある⁹⁾。この方法はチューブによるサンプリングに比べてかなり高価であるが乱れの少ない試料の得られることで知られている。また、この方法は現在まで海上での利用の報

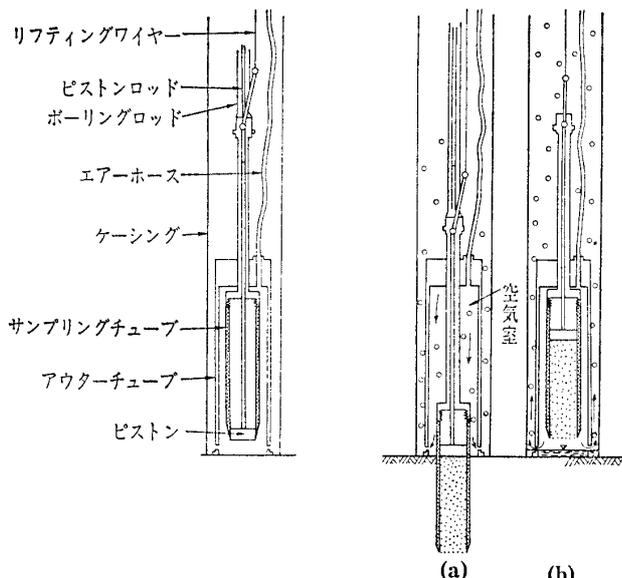


図-2.2.1 改良型ビショップサンプラーの構造と操作手順⁹⁾

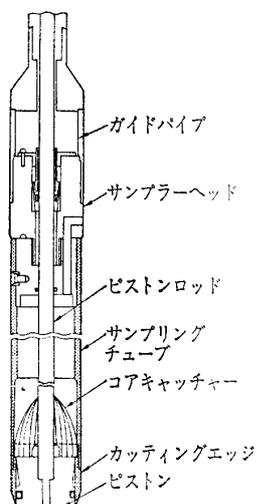


図-2.2.2 コアキャッチャー式サンドサンプラー（港研型）の構造⁷⁾

告はみられないが、必要が生じれば可能になる段階にあるものと思われる。

i) 深い海域におけるサンプリング 最近は港湾区域も沿岸部のみにとどまらず次第に沖合に範囲を広げている。それに伴って水深も当然大きくなってきている。水深が大きくなっても、土質工学的性質を変えずに試料採取のできるサンプリング法が必要である。現在では浅い海域の調査手法をただ延長しただけの方法が一般には多く利用されているため色々の問題が生じている。

水深15~30mの海域において深い地層からサンプリングする場合、浅い海域で使用できた鋼製足場や、スパット足場では間に合わなくなり、かなり大型で剛性の高い安定性のよいものを使用する必要がある。海上調査のデメリットは、水深分の余分の作業と、潮流や波浪による影響を受けて、調査精度の低下をきたすことである。また、これを防止するためガイドパイプやケーシングパイプを二重三重にする対策が必要であり、そのため使用機具も大型化して、

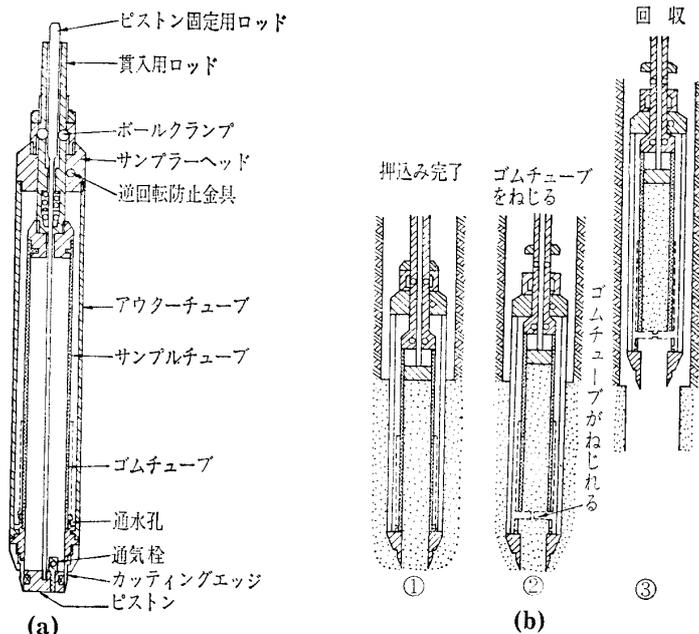


図-2.2.3 ツイストサンプラーの構造およびコアキャッチャーの作動仕組⁹⁾

重量が増加し、大変な労力と時間がかかり、その上危険が伴う困難な作業となる場合が多い。

深い海域におけるサンプリングは、その水深と調査深さのトータルで考える必要がある。すなわち、土質工学会基準の「固定ピストン式シンウォールサンプラー」を使用し、採取する試料の高品質を確保する限りにおいてはトータルで30mが限界と考えられる。それ以上の水深と採取深さになると、ボーリングマシンも hidroリックフィードを使用したひとまわりスケールの大きいボーリングシステムが必要となる。またサンプラーも水圧によって押し込むオスターバーグ (Osterberg)¹⁰⁾の考案による水圧式サンプラーを効果的に利用する必要がある。このサンプラーの構造概念図と作動手順を図-2.2.4に示す。

最近、沖合人工島の建設に関する多くの計画がある。沖合人工島のように水深が大きく、かつ広大な面積をもつ埋立地は、防波堤や護岸のような線上構造物と異なり、埋立荷重が地層深くまで伝播し、従来は無視することができた深層の洪積粘性土の沈下を考慮する必要が生じてきた。そのため深層の粘性土について圧密試験などを実施する必要があり、乱さない試料の採取が要求されるようになった。しかし従来の調査法では対応できないため、港湾技術研究所では、深層から乱さない試料の採取できるサンプリング法として、深層の岩盤採取用として開発されたワイヤーライン工法を改良して軟弱地盤から硬質地盤まであらゆる土質に適用可能な改良型ワイヤーライン工法を開発し、水深約20m、地盤下-400mまでのサンプリングを可能にした^{11), 12), 13)}。このワイヤーライン工法のシステムを図-2.2.5に示す。また、このとき使用された大型鋼製足場を写真-2.2.3に示す。この足場の形状は高さ約32m、作業ステージは2段になっており、上段のメインステージは14

講座

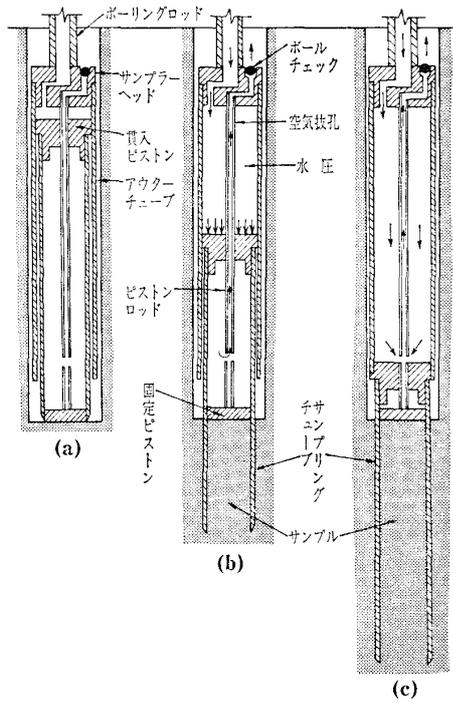


図-2.2.4 水圧式サンプラーの構造概念図と作動手順

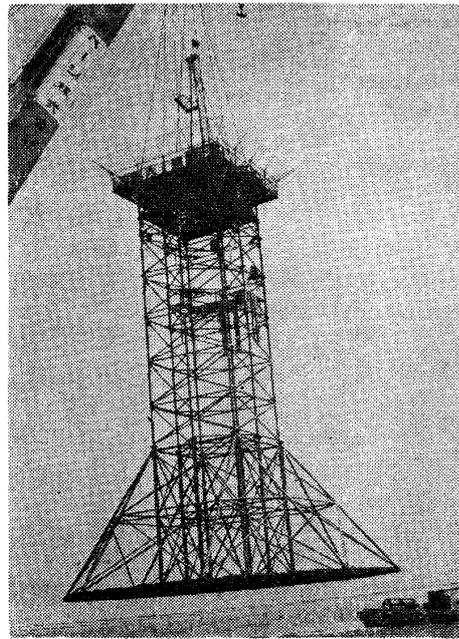


写真-2.2.3 移動式大型鋼製足場

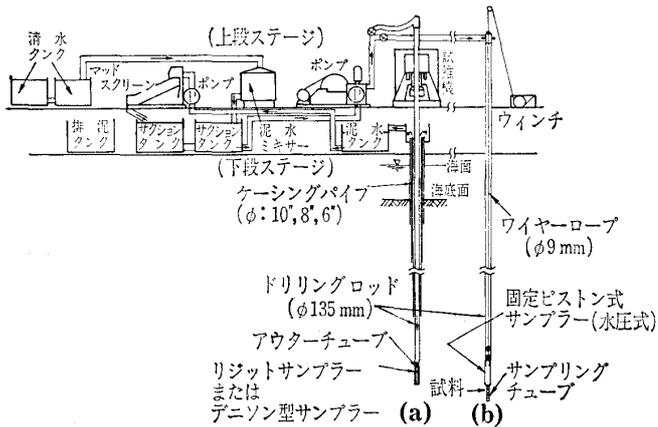


図-2.2.5 改良型ワイヤーライン工法のシステム¹²⁾

×14m, 下段は7×7mである。

一方、水深が30mを超える海域でのサンプリングは、次のような方法によって行われる。

- ① 円筒足場を用いる方法
- ② 船舶を足場とする方法
- ③ 装置を直接海底に沈める方法

円筒足場を利用したサンプリングは、以前よく利用されたが、転倒事故が多発したこと、および軟弱地盤では、円筒が地盤深く貫入して乱さない試料の採取ができないことなどから最近ではあまり使用されなくなってきた。それに代るものとして図-2.2.6に示すようにフーチングやフロートを付けて軟弱地盤に貫入しないようにしたり、また地盤への負担を軽くする改良が行われたサスペンド工法と呼ばれるものが使用されている。

船舶を利用した方法は、数多くの種類が報告されているが、海洋構造物の基礎地盤の工学的性質を求めるという立場で考えると採取した試料の土質力学的品質が重要であり、

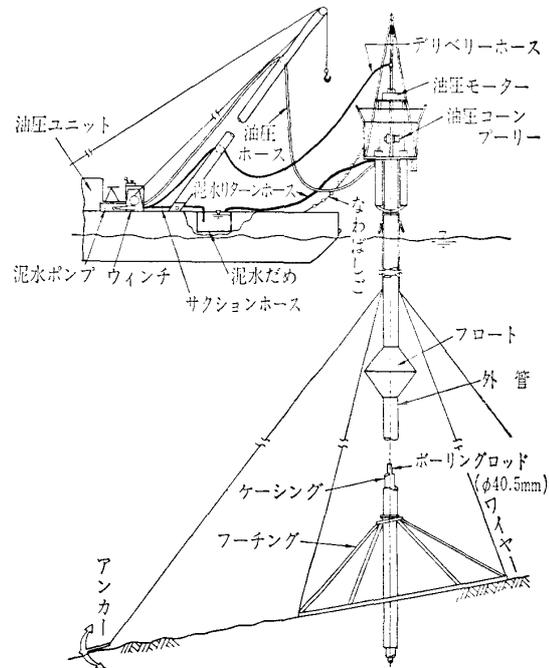
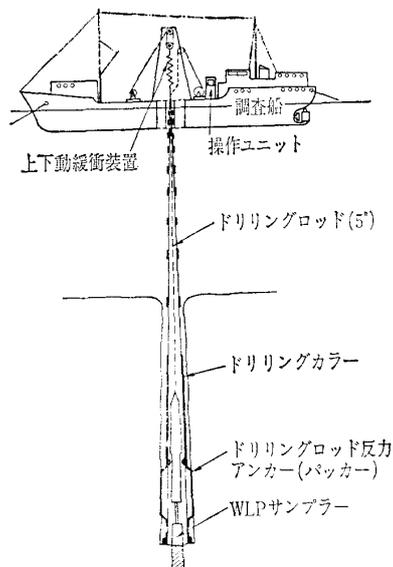


図-2.2.6 サスペンド足場方式の概念図

それに適した調査方法は数が限られる。船舶を足場とする場合、ボーリングおよびサンプリングはワイヤーライン工法を採用している例¹⁴⁾が多くみられ、よい効果を挙げている。サンプラーを地盤に貫入する際の反力は、ワイヤーライン工法のドリリングロッドの重量を利用したり、また、孔壁との摩擦力を利用したパッカー方式の特殊アンカーなどによって確保されている¹⁴⁾。

船舶を足場とした調査事例として、磐城沖約40km、水深150mの地点で行われたガス生産用基地の建設に必要な基礎地盤の工学的性質を得る目的の調査がある。そのときの船舶と、サンプリングシステムの関連概念図を図-2.2.7に示す。このときのサンプリングは、衝撃力によってサン

図-2.2.7 WLP サンプラーシステム¹⁴⁾

プラーを貫入するパーカッション式 サンプラー、および静的に貫入するプッシュ式サンプラー (Wire Line Push Sampler—WLP サンプラー) の2種類が用いられ、両者ともワイヤーラインによって操作されている。前者のサンプラーは、打込み式のため試料は乱されたものとなっているが、後者のサンプラーは、乱さない試料の採取が可能である。

ボーリングやサンプリング装置を海底に沈め水深分の悪影響をなくす方法は、1970年ごろから開発が始められている。この方法には、ワンストローククレーン方式と、繰返し操作の可能なリエントリー方式の2種類がある。前者は、大水深の海底に岩盤が露出しているような場合のコアリング (サンプリング) のために、後者は、粘性土地盤、砂質土地盤が交互に繰り返した複雑な地層や、層の厚さが大きい場合の調査を対象として開発されている。ここでは、軟弱層のサンプリングと砂礫層の貫入試験を主目的に開発された後者に分類できる装置を紹介する。

その装置は、MAS-78 (Marine Auto Sampler-78)¹⁵⁾ と呼ばれ、実用機としては国産第1号の海底着座型装置である。この装置の製作に先立ってMAS-73¹⁶⁾およびMAS-76¹⁷⁾の2機種を試作研究が行われており、これらの研究成果を踏まえてMAS-78が実用装置として完成している。

この装置は、釜石湾口、最大水深65mの海域に防波堤を建設するための基礎地盤の工学的情報を得るという目的のために製作されている。したがって装置の性能は、作業可能水深80m、掘進深さ50mである。サンプリングは、1mごとに繰返し可能であり、サンプラーは、粘性土、砂質土、礫質土の3種類の土質に適したものが、それぞれ用意されており、エレベーターカプセルによって船上から装置へ供給し、また装置から船上に回収できるようになっている。また、この装置には、砂質土および礫質土地盤に対し水中貫入試験が実施できる特徴を有している。これについ

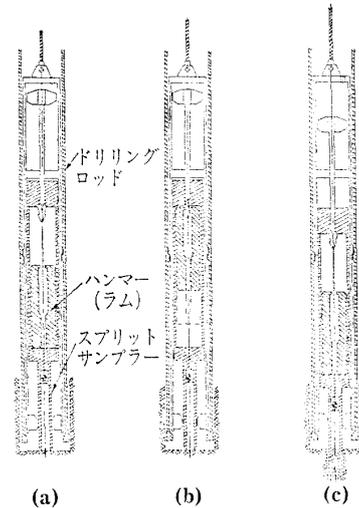
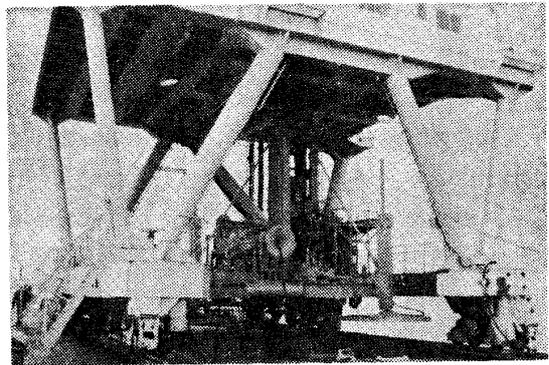
図-2.2.8 水中貫入試験 (水中N値) の操作手順¹⁵⁾

写真-2.2.4 海底着座型方式土質調査装置

てはあとで述べる。MAS-78の母船上での姿を写真-2.2.4に示す。

(3) サウンディング

我が国の土質調査におけるサウンディングの位置づけは、標準貫入試験のみが基礎地盤の設計に不可欠な重要な位置を占めており、その他のサウンディングは、諸外国の利用現状に比べて、まだサンプリングの補完的役割しか果たしていない現状である。

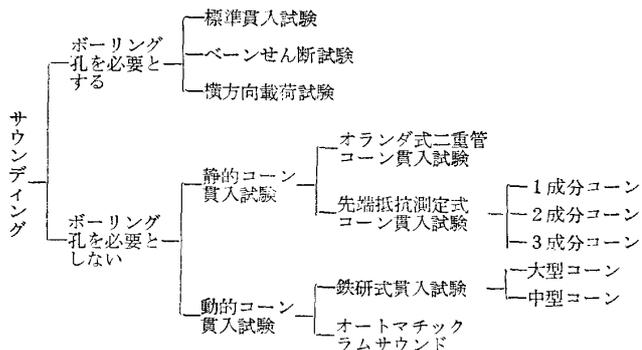
海上における利用も、欧米においては、大水深海域にも利用できるよう多くの開発事例があり、その成果は、設計にも大いに役立てられている。我が国の場合は、標準貫入試験のN値以外は、設計の参考数値程度の扱いにとどめられている現状である。

i) 浅い海域におけるサウンディング 浅い海域で行われるサウンディングは、陸上で行われている方法がそのまま適用されている。

サウンディングは、ボーリング孔を必要とするものとそうでないものに大別でき、表-2.2.2のように分類できる。

標準貫入試験は、JIS A 1219に規定されているものの、土質の種類に対する適用範囲や、適用深さに確たる歯止めがないまま利用されていることを考えると、結果の利用に当たっての評価が大変難しい問題である。この試験方法は土質調査法¹⁸⁾など専門書に詳しいので、ここでは説明を割愛する。なお、大水深下でのN値についてはあとで述べる。

表-2.2.2 サウンディングの分類



ベーンせん断試験は、原位置においてせん断強さ τ を直接求めることができるので、サンプリングにおける応力解放などの乱れを含む値よりも、より原位置の強度に近い値が得られることで知られている。ベーンせん断試験を海上で利用する場合、陸上で使用されている方法をそのまま適用する限りでは、ベーンを回転するロッドが水深分だけ長くなり、ロッドの曲がりやねじれに起因する測定上の誤差が生じやすいので、無制限に深くすることはできない。したがって、精度の高い測定値を期待する場合にはロッド長30m程度が限界と考えられる。それ以上に深いところで実施する方法については後述する。

横方向載荷試験については紙面の都合上割愛する。

静的コーン貫入試験は、オランダ式二重管コーン貫入試験などのように貫入ロッドの上部で貫入抵抗を計測する方式と、先端抵抗測定式コーン貫入試験などのように先端コーンの部分で直接貫入抵抗を計測する方式の2つに大別できる。

前者はダッチコーンの略称と呼ばれ、静的コーンの代表的存在で軟弱地盤の調査に広く用いられている。

一方、後者は電気式コーンとも呼ばれ、コーン先端部で貫入抵抗を電氣的に測定するので、ロッドの周面摩擦などの影響のない信頼性の高いものとして最近ではむしろこの方式の方がよく利用されるようになってきている。この方式には貫入抵抗のみを単純に測定する1成分コーンと、電気式の特徴を活用して間隙水圧も測定できるようにした2

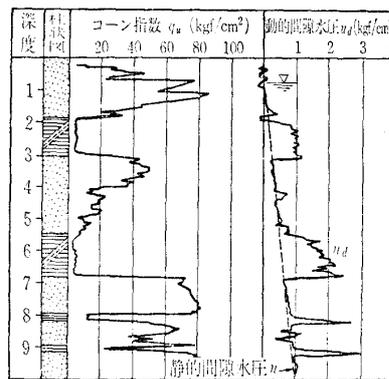


図-2.2.10 2成分コーンによる結果¹⁹⁾
(海岸埋立地盤の測定例)

成分コーン、最近では更に周面摩擦抵抗まで測定できる3成分コーンも開発されている。ここでは電気式コーンについて説明する。

電気式コーンは、上述のように現在3種類のものがあるが、最近では主として間隙水圧の測定できる2成分コーン¹⁹⁾がよく利用されている。この方式を用いれば、貫入抵抗値と間隙水圧の値との関連から粘性土層に存在する砂の薄層を見逃すことなく適確にとらえることができる。2成分コーン装置の構成図を図-2.2.9に、また測定結果例を図-2.2.10に示す。

また、最近では圧密係数 c_v を間隙水圧の消散状況から求めることが試みられるなどコーンの利用範囲は更に広がりつつある。

静的コーン貫入試験の測定結果の評価において重要な事項は、貫入方向の鉛直性と貫入速さを一定に保つことである。貫入速さは、現在我が国では1 cm/s が標準的に採用されている。また、粘性土地盤で得られた貫入抵抗値 q_c は一軸圧縮強さ q_u と対応して利用されるのが普通であるから、その換算に際しては土質の種類によって換算係数が異なることに注意する必要がある²⁰⁾。

動的コーン貫入試験は、鉄研式動的円錐貫入試験に代表されるが、ほかにスウェーデンで製作されたオートマチックラムサウンディングが最近よく利用されている。

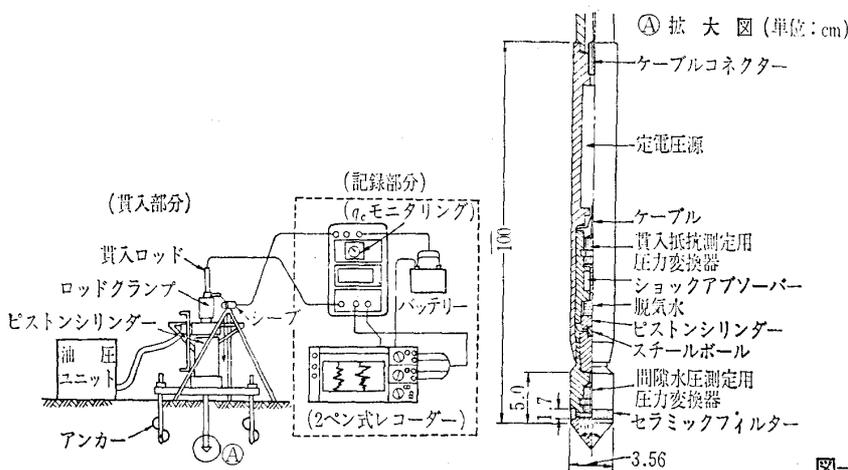


図-2.2.9 2成分コーン装置の構成

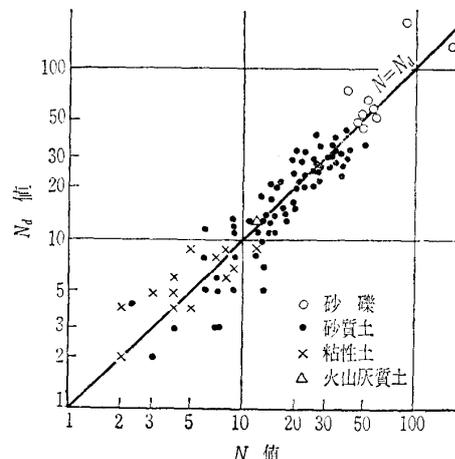


図-2.2.11 N 値と N_d (オートマチックラムサウンディング)値の相関²²⁾

鉄研式コーン²¹⁾は、標準貫入試験装置の先端部を円錐状のコーンにしたものでボーリング孔を必要としない上、連続的に貫入できるので海上調査において船舶など浮体を足場にした試験が可能である。ただし、貫入ロッドの鉛直性の確保と周面摩擦の問題を考慮すると水深が10m以下と比較的浅い場合に適し、かつ調査深度も10m前後であることが条件となる。適用土質は主として砂質土を対象とするが、標準貫入試験による N 値30以上の領域では周面摩擦の影響が大きくなり、鉄研式コーンによる N_a 値は過大に得られることがあるので注意が必要である。

一方、オートマチックラムサウンド²²⁾は、名称が示すようにハンマー（ラム）が自動的に落下して貫入試験が行われる方式のものである。最大の特徴は動的コーン貫入試験の欠点であるロッドの周面摩擦を測定して補正できることである。すなわち試験1mごと、またはそれより短い間隔でトルクレンチによってロッドを回転させ、そのとき得られるトルクから周面摩擦力を測定して差引きできるようにになっている。このようにして得られた N_a 値と、標準貫入試験による N 値との関係は、図-2.2.10に示されているように、かなりよい相関を示している。この試験の海上調査への適用は、鋼製足場などを利用することによって可能である。海上足場での利用状況を写真-2.2.5に示す。

ii) 深い海域におけるサウンディング 深い海域で実施されるサウンディングは、陸上または浅い海域で行われている従来の方式のままでは、水深分のため作業能率が悪く、高精度は期待できない。そこで、サウンディング装置を海底に着座させるか、潜水船など圧力チャンバーを海底面に沈め、その中から測定するか、あるいは船舶を足場としてワイヤーライン方式によって剛性の大きいドリリングパイプの中に装着して計測するなどの方法が考えられる。これらについては、欧米の進歩は著しく多くの開発事例が



写真-2.2.5 海上で実施中のオートマチックラムサウンド

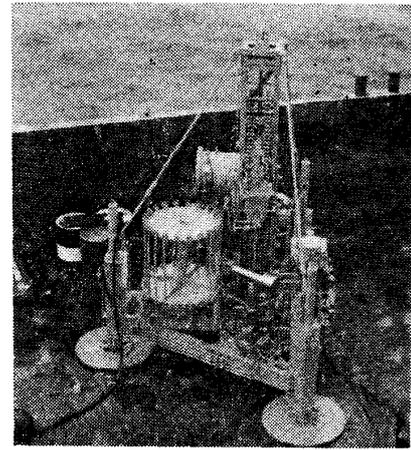


写真-2.2.6 海底サウンディング調査機（土研型）

ある。ここでは、三つの方式についてそれぞれ一つずつ紹介する。

まず、海底着座型は、土木研究所で開発された装置²³⁾および、前述したMAS-78がある。前者の装置は、1976年に開発試作されたもので二重管方式のダッチコーンを海底着座方式にして船上からの遠隔操作によって自動的に試験するものである。稼働水深30m、サウンディング深さ20mまで可能である。貫入試験は、長さ1mのロッドを継ぎ足しながら25cmごとに行われる。ロッドの継ぎ足しは、船上からの遠隔操作によって、マニピュレーターが自動的に行う仕組みになっている。装置の全景を写真-2.2.6に示す。一方、後者は、1978年に開発された前述のMAS-78サンプリング機能と共用して水中貫入試験が可能になっている。その操作手順を図-2.2.8に示す。この水中貫入試験は、空中で行われる標準貫入試験から得られる N 値に相当するものであるが、ロッドレスであることおよび密閉容器内でハンマーが落下することなど標準貫入試験と条件の異なる点もあり、今後解決しなければならない問題も少なくないが新しい試みのものである。

次に潜水船など圧力チャンバーにサウンディング装置を積み込み作業員も乗り込んで試験する方法であるが、1976年に、グリーンズダイビング会社とデルフト地盤力学研究所で共同開発されたものがある²⁴⁾。圧力チャンバーは、図-2.2.12に示すように底板、ボールジョイントによって支

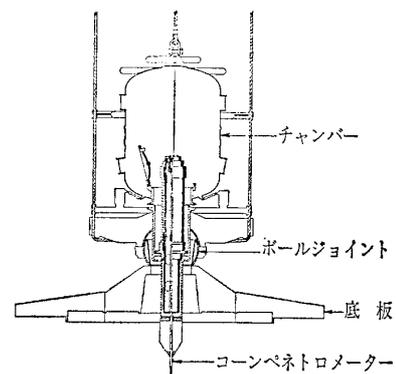
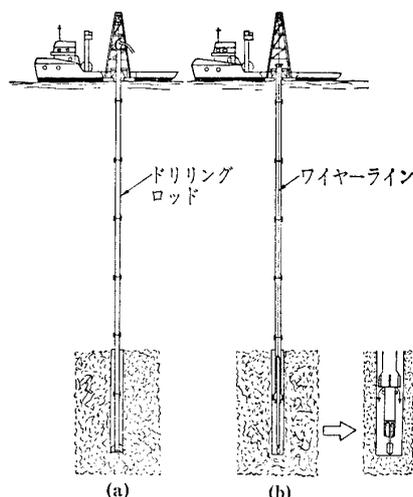


図-2.2.12 潜水圧力容器型²⁴⁾



図—2.2.13 ワイヤーライン方式によるベーンせん断試験の概念図²⁵⁾

えられ、傾斜した海底地盤でも鉛直性が確保できる。この装置は水深 200m に対し安全に設計されており、コーン貫入試験の場合、通常の大気圧下で作業できることが大きな特徴である。コーンの貫入は、水圧式シリンダーによって行い、貫入容量は 600 KN である。また、このチャンバーでは、コーン貫入試験のほか、水深 200m 下での密度計による密度測定が可能である。更にチャンバーを水深に対応した圧力にすることによってボーリングも可能であるといわれている²⁴⁾。

三つめは、船舶を足場としてサウンディングを行う方法であるが、ワイヤーライン工法との組み合わせによってボーリング掘削とベーンせん断試験やコーン貫入試験を繰り返しながら深い地層まで到達することが可能になっている。ここでは、ベーンせん断試験を紹介する。この方法は、アメリカのマクレーランド社 (McClelland Engineers) によって 1970 年頃から実用化されているものである²⁵⁾。図—2.2.13 に示すように船舶を足場としてのワイヤーライン方式のドリリングパイプを用いて所定の深さまで掘削する。次に、(b) のようにベーンせん断装置をワイヤーラインによって孔底まで降ろし、ドリリングパイプの重量を利用して所定量を押し込んだのち、ドリリングパイプを船が動揺しても測定に影響のない高さまで上げ、フリーな状態にして、船上からの信号によってベーンを回転させ、そのときのトルクと回転角を電氣的に検出して船上で記録する。試験終了後、ベーンせん断装置をワイヤーラインによって回収し、次の試験深さまで掘進する。この操作を繰り返すことによって、現在では、水深 300m、海底面下 150m までの調査が可能といわれている。なお、この装置により測定された地盤の非排水せん断強度は、ピストンサンプラーで採取された試料による値とほぼ等しい結果が得られたことが報告されている。それについては、文献 26) が詳しいので参照されたい。

参 考 文 献

1) 土質工学会編：土質調査法 (第 2 回改訂版), pp. 283~301,

1982.

- 2) 土質工学会編：サンプリングマニュアル (第 1 回改訂版), pp. 60~74, 1986.
- 3) 例えば、土質工学会編：土質調査法 (第 1 回改訂版), pp. 152~153, 1972.
- 4) 森 博・竹村 因・古長孟彦：トリプルチューブサンプラーによるサンプリング—締った砂・土丹・地すべり粘土を対象として—, 第 11 回土質工学研究発表会講演集, pp. 35~38, 1976.
- 5) 例えば、文献 1) pp. 321~322.
- 6) 半沢秀郎・松田栄一：サンドサンプリングにて得られた砂層の密度実測結果, 土のサンプリングに関するシンポジウム論文集, pp. 9~18, 1976.
- 7) 松本一明：サンゴ礫混り土のサンプリング, 第 11 回土質工学研究発表会講演集, pp. 39~42, 1976.
- 8) 松原幹夫・久芳光明・山本恒雄・今井常雄：ツイストサンプラーによるサンドサンプリング, 第 13 回土質工学研究発表会講演集, pp. 85~88, 1978.
- 9) Yoshimi, Y., Hatanaka, M., and Oh-Oka, H.: Undisturbed Sampling of Saturated Sand by freezing, *Soils and Foundations*, Vol. 18, No. 3, pp. 59~73, 1978.
- 10) Osterberg, J.O.: New Piston Type Soil Samplers, *Engineering News-Record*, Vol. 148, No. 17, pp. 77~78, 1952.
- 11) 松本一明・堀江宏保・善 功企・石井一郎：ワイヤーライン方式サンプラーによる乱さないサンプリングについて, 昭和 56 年度サンプリングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 9~16, 1981.
- 12) 奥村樹郎・松本一明・善 功企：関西国際空港における土質調査工事 (大深層土質調査), 建設の機械化, No. 390, pp. 11~16, 1982.
- 13) 堀江宏保・善 功企・石井一郎・松本一明：大阪湾泉州沖海底地盤の工学的性質 (その 1) ボーリング及びサンプリング, 港湾技研資料, No. 498, pp. 1~30, 1984.
- 14) Fugro B.V., Holland: Field Report on Soils Investigation, Iwaki Gas Field, Offshore, JAPAN, Fugro B.V. Report, No. K-1061, 1979.
- 15) 平野忠告：海底着座型土質調査機による釜石湾口防波堤土質調査について, 第 27 回全国港湾工事報告会報告概要集, pp. 169~179, 1981.
- 16) 松本一明・堀江宏保・小川富美子・小林茂雄：大水深におけるボーリングおよびサンプリングの現状 (第 2 報), 一海底着座型, 不攪乱試料自動採取装置について, 港湾技研資料, No. 295, p. 57, 1978.
- 17) 松本一明・堀江宏保・小川富美子・小林茂雄：海底着座型長尺サンプル採取装置 (MAS-76) の開発について, 港湾技研資料, No. 306, p. 24, 1978.
- 18) 文献 1) に同じ.
- 19) 菅原紀明・安藤 廉：ポアプレッシャーコーンの開発とその測定記録, サウンディングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 169~174, 1980.
- 20) 松本一明・堀江宏保：港研型先端抵抗測定式静的コーン貫入試験について, サウンディングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 185~190, 1980.
- 21) 室町忠彦：貫入試験による地盤断面調査の実施例, 土と基礎, Vol. 6, No. 6, pp. 5~9, 1958.
- 22) 佐藤勝英・岩崎恒明：オートマチックラムサウンズの試験装置と結果の一例について, サウンディングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 213~222, 1980.
- 23) 久柴勝行・斎藤義章・石塚広史：海底サウンディング調査機の開発と地盤調査, サウンディングシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 175~184, 1980.
- 24) J. Vermeiden: The Submersible Working Chamber, *Delft Soil Mechanics, Laboratory*, 1977.
- 25) Kraft, Jr. L.M., N. Ahman and J.A. Focht, Jr.: Application of remote vane results to offshore geotechnical problems, Proc. Eighth Offshore Technology Conference, pp. 75~96, 1976.
- 26) 中瀬明男：新体系土工学, 84 海洋土質, 技報堂出版, pp. 69~71, 1984.