

海底土質調査におけるロボットの利用

運輸省 港湾技術研究所 正会員 松本 一明

1. はじめに

最近の港湾構造物は、水深の深いところにも多く建設されるようになってきている。そのため建設に必要な基礎地盤の情報を得る土質調査は従来より深い海域において、従来以上の精密さが要求されるようになってきた。しかし、深い海域における土質調査法が確立している訳ではなく、従来の方式を単純に延長しただけの調査方式によって高精度の土質情報を得ることは技術的に困難な状態にある。すなわち、現状の調査方法を用いて、相当注意深くボーリングやサンプリングを行っても、おのずから限界があり、高品質の乱さない試料を得ることは、不可能であるといっても過言ではなく、従来からの方式を踏襲して乱さない試料採取を伴った土質調査を行う限りにおいては水深はせいぜい20m位までである。土質調査は従来からオペレーターの土質調査への取組み方いわゆる作業に対する熱意によってどうにでもなるといっても過言ではなく、技術力の個人差によって得られる情報が極端に違うことはよく知られている。これが海上における土質調査ともなると陸上とはくらべものにならないほどの差が生じて思議ではない状況にある。例えば水深が深いために調査孔が傾斜して実際より軟弱層を厚く評価したり、あるいは地盤強度を半分以上にしか評価できないような質の悪いサンプルを採取したりすることがある。これら人為的な差異は技術力の差すなわち経験不足と熱意の欠如とによって生じることが多く、防ぐ方法がない訳ではないが、現状では土質調査の建設工事に対する位置づけの問題等から考えて困難な状態であるといわざるを得ない。とくに海上においては水深や波浪の問題があって稼働率の低下や作業の困難さに伴って能率低下をきたし、なおかつサンプルの品質が保障されないことが多い。このような観点から運輸省港湾技術研究所においては、作業能率の向上と人為的な差異のないサンプルを得る目的により海底土質調査のロボット化を試み、土質調査装置を海底に沈めて船上から遠隔操作によって標的とする「海底着座型不攪乱試料自動採取装置」が開発されているので以下に報告する。

2. 海底着座型装置の現状

我が国における海底着座型装置は、1950年代終り頃から開発され現在までに各種のものが製作されている。一般的には海底表層部の岩盤コアを採取する目的のワンビットラン又はワンストローフラン方式のものが多く、初期は地質学的調査や海底資源開発を目的として開発されている。そのため採取サンプルの品質いわゆる乱れはさほど問題にされず、いかに深いところから採取してくるかに重点がおかれている。港湾あるいは海洋構造物の建設を前提とした海底地盤調査においては、乱さない品質のよいサンプルを採取することが建設工事の安全性と経済性を確保する上に極めて重要であることはい言うまでもないことである。しかし、我が国においては、港湾、海洋における建設工事に不可欠な土質工学的定数の決定に必要な乱さない試料採取が可能な機能を有した装置は数少なく、港湾関係で製作したる基のみである。すなわち、海底着座型不攪乱試料自動採取装置(MAS-73)、海底着座型連続試料採取装置(MAS-76)、及び海底着座型土質調査機(MAS-78)である。

前二者は、運輸省港湾技術研究所が開発研究のために試作したものであり、後者は、運輸省第二港湾建設局が大水深土質調査実用機として製作したものである。これらの開発によって水深が引き起す種々の悪影響をなくし大水深下の海底地盤から自然堆積状態に最も近い状態のサンプルを採取することが可能になった。反面、装置を海底に着座させて遠隔操作により自動的に土質調査を行うので、かなり複雑な機構となることは避けられない。また、調査コストもかなり高価につくことは否めないが、地盤の強度特性等を適正に評価することができれば、建設費の節約も可能となり、建設工事までの総合的観点に立てば決して高価であるとは思われない。

3. 装置の概要

1) MAS-73の機能¹⁾

装置は海底地盤に着座して作業する海中部を、船上から遠隔操作によって操作するロボットシステムの一つとして考えることができるが、この装置の中にボーリングやサンプリング用の機具をハンドリングする人間の腕の機能をもつマニピュレーター、いわゆる一般的にロボットと呼ばれる機構を組合せ持っている。本報告では、装置全体の機構概要と、マニピュレーターの機能について述べることにする。

図-1に装置の概念図を示す。図からわかるように装置は海底に沈められ、海底面の傾斜や起伏は3点レブによって水平に修正されボーリング孔の垂直性が保たれる。ボーリング及びサンプリングに使用されるドリリングパイプやサンプラー類は全て海中部のスタッカーに格納されており、マニピュレーターによって必要の都度、ドリルヘッドに搬送されるようになっている。サンプリングは2.5mに1回、1mのサンプルが繰返し採取できるようになっている。サンプリングは、粘性土地盤においては固定ピストン式サンプラーにより、また砂質土や硬質粘性土はデニソン式サンプラーによって行われる。この判別はオペレーターがドリリング中の計測結果等から判断して決定する。採取されたサンプルは、サンプルエレベーターによって採取されるたびに船上に回収される仕組みになっている。海中における作業状況は、船上の表示パネルにランプ表示されたりアナログやデジタルメーターによって刻々と知らされる。また、水中テレビモニターでも作業の一部が確認可能である。

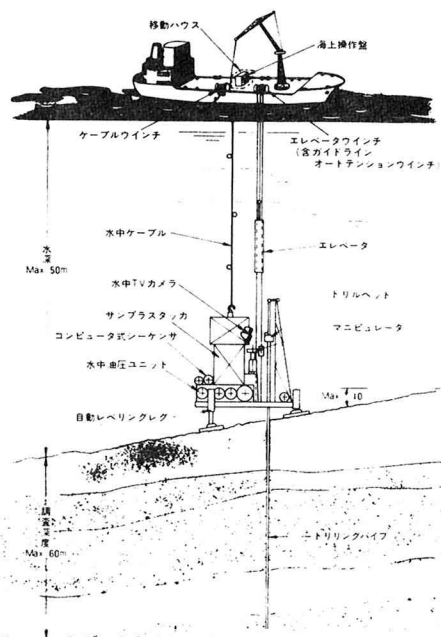


図-1 海底着座型装置の概念図

本装置の作業工程をフローチャートにして図-2に示す。フローチャートに示した工程の中は14のシーケンスプロセスがあり、オペレーターが必要なシーケンス設定ボタンを操作することによって14分割されたうちの1つの工程が自動的に遂行される。シーケンス機能のブロック図を図-3に示す。これらの指令信号は、複合水中ケーブルを介してデジタル多重通信方式により行われている。14分割されたシーケンスプロセスを表-1に示す。

2) マニピュレーター¹⁾

マニピュレーターは、前述したように人間の腕の役割りを果たすもの

- S-1 掘進行程
- S-2 クロスビット回収行程
- S-3 固定ピストン式サンブラによる装着行程
- S-4 固定ピストン式サンブラによるサンプリング行程
- S-5 固定ピストン式サンブラ回収行程
- S-6 サンプルエレベーター行程
- S-7 クロスビット行程
- S-8 ガイドロッド接続行程
- S-9 ダブルチューブサンブラ装着行程
- S-10 ダブルチューブサンブラによるサンプリング行程
- S-11 ダブルチューブサンブラ回収行程
- S-12 ダブルチューブサンブラ後処理行程
- S-13 ガイドロッド引抜行程
- S-14 ガイドロッド回収行程

表-1 シーケンスプロセス

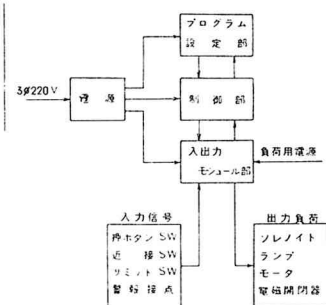


図-3 シーケンス機能のブロック図

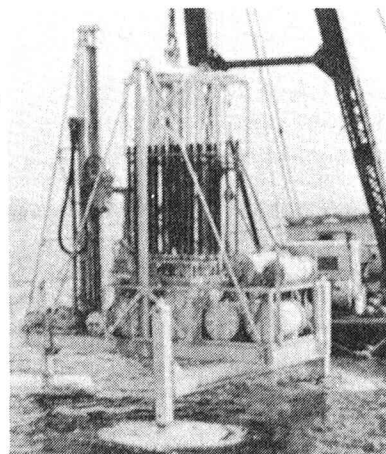


写真-1 MAS-73装置全景

でボーリングやサンプリング機具を格納装置（スタッカー）からドリルヘッド（掘進装置）に搬送供給するものである。搬送する機具の種類は、ドリリングロッド、クロスビットの掘削機具と、固定ピストン式シンウォールサンプラー、デニソン式サンプラーのサンプリング機具である。マニピュレーターの構造を写真-2に示す。またマニピュレータと各機具の取合い位置関係を図-4に示す。図に示すように搬送位置は、サンプルの回収及びドリリングパイプやサンプラーの追加供給に使用するエレベーターの位置を含めて4ポジションに制御され、位置決めはストッパー機構によって行っている。4種類の機具の把持位置は図に示すように各機具の下端から1600mmの位置を中心高さとして把持し、オーバーショット（ワイヤーライン方式によるドリリングロッド内へのサンプラー等の装着、着脱、回収に使用される用具）及びドリルヘッドとの自動接続を行っている。搬送する機具の外径は、ドリリングロッド（ガイドロッド）106mm、その他の3種類は85mmである。この2つの異なる外径のものを把持するマニピュレーターの構造は特殊リンク機構により把持爪をX-Y方向に±20mmの許容量で外径の変化に対し、把持中心の移動を防ぐようになっている。把持能力は、所定の速度で負荷100kgfを十分安全に把持できる。搬送する各機具は、格納装置であるスタッカーの深さ50mmの受皿の中に納められているので、取り出すときは50mm以上引き上げて受皿から出す必要がある。（写真-3参照）このためマニピュレータは、70

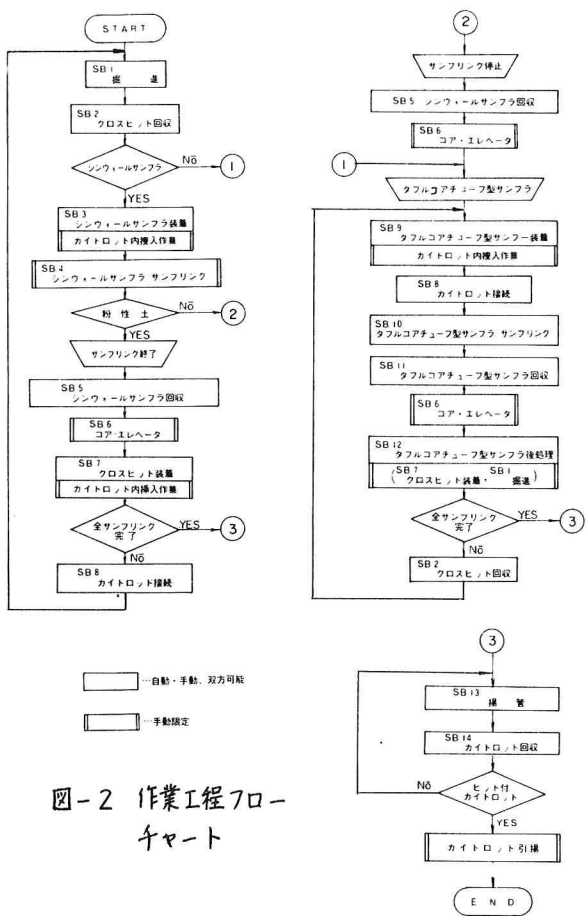


図-2 作業工程フローチャート

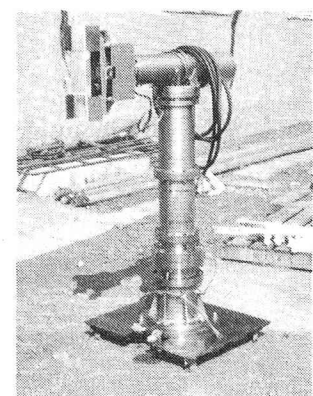


写真-2 マニピュレータの全景

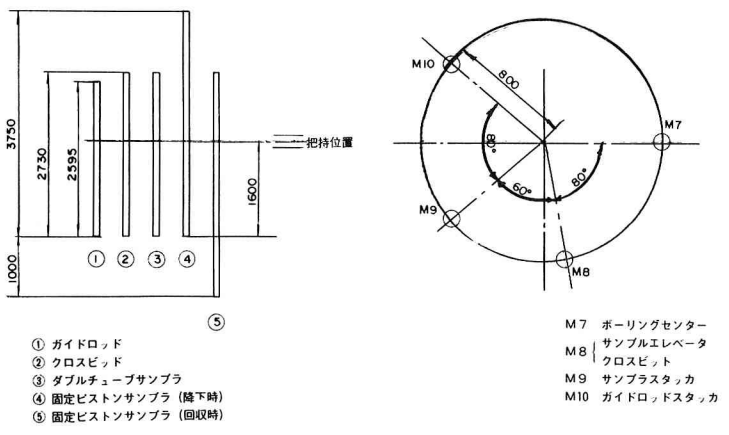


図-4 マニピュレータと各機具の取合い位置

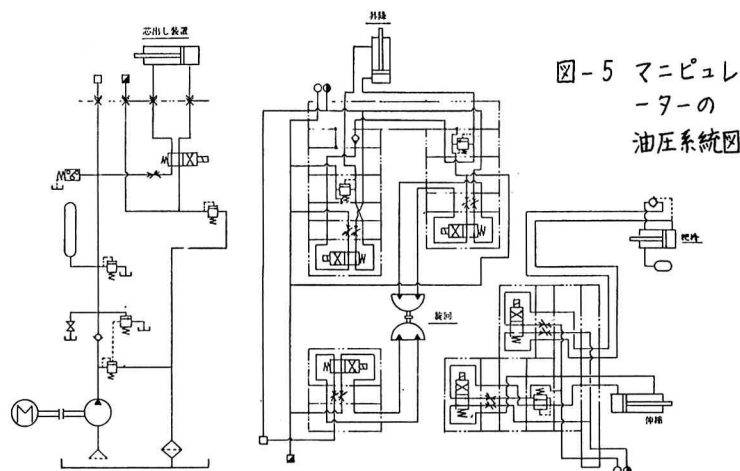


図-5 マニピュレーターの油圧系統図



写真-3 マニピュレーターによるハンドリング

の昇降ストローフが設けてある。この昇降ストローフは、クロスビットと2種類のサンプラーとオーバーショットから切離すための解放機構として利用されている。(図-5参照) マニピュレーターは、MAS-73装置の中で唯一の内外圧バランス方式を採用している部分である。水中で使用される場合、油圧ユニットを圧カタンクに収納する方法と、油圧ユニットを海中部に露出させ内外圧をバランスさせる方法とがある。前者にくらべて後者は装置の小型化とメンテナンスが容易となる利点がある。しかし本装置では油圧ユニットの水中露出型の開発途上にあったこと及び経費の点からマニピュレーター以外の油圧ユニットは圧力容器方式が採用されている。MAS-76は、この水中露出型油圧ユニット及び長尺連続サンプルの採取を目的として開発されている。²⁾

3) 実用機MAS-78による調査概要³⁾

MAS-78は、上述のような研究開発機の成果を踏まえて製作されたものである。この装置はマニピュレーターに代えてエレベーターカプセル方式をとり入れ母船から機具を一つひとつ送り込む方式の遠隔操縦ロボットであり、乱さないサンプリングのほかN値の測定も可能である。本装置は釜石湾口防波堤建設の実施設計調査に使用され、主として砂質土のサンプリングが行われ動力学的特性の把握に必要な乱さない試料を得ている。

4. おわりに

本装置のような海底着座型が活躍しなければならない大水深の土質調査は今後ますます増加することが予想される。最近のマイコン等の発達により土質調査の画一化による品質の統一もロボット化によって実現可能であろうが、大きな問題として経済性の問題がある。大水深の場所で従来方式ではどうにも対応しきれない場合は、経済性は度外視されてでも必要な土質調査は行われるであろうが、従来方式を延長すればどうにか処理できる場合は、サンプルの品質は多少犠牲にされて経済性を優先する傾向がある。しかし、建設費にね返る影響は大きいので、浅海域の土質調査にもロボット化など思いきった改革が望まれるところである。

参考文献

- 1) 松本一明ほか；大水深におけるボーリング及びサンプリングの現状(第2報)―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, 1978, p. 57.
- 2) 松本一明ほか；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, 1978, p. 24.
- 3) 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、1981, pp. 169~179.