

海底地盤支持力の簡易調査手法の開発

水産工学研究所
高木儀昌・明田定満

1. はじめに

沿岸漁場整備事業において、水深 20m程度の浅海域から100m以上の大水深域に至る海底に、人工魚礁などの増殖施設や浮消波堤、浮魚礁等の係留施設が設置される。従来、これらの施設は比較的地盤の良好な場所を選んで設置されてきたが、今後は事業を広範囲にわたって展開する必要から、軟弱地盤海域にも設置されることが考えられ。さらに、魚礁などの底設増養殖施設や浮消波堤等の係留基礎はますます大型化する傾向にあり、海底地盤の支持力、地盤反力の推定を正確に行う必要がでてきた。

しかしながら、地盤支持力等の海底地盤の支持力特性や工学的特性を正確に推定するための海底地盤調査には土質工学に関する専門知識と特殊計測機器及び膨大な費用を有するため、調査が実施されるのは重要な構造物に限られ、大水深域ではほとんど実施されていないのが現状である。

よって本研究は、海底地盤支持力を簡易に推定する調査手法及び装置の開発を推進し、もって沿岸整備事業の円滑かつ効率的な進捗と水産業の振興に資することを目的とする。内容としては、まず海底地盤調査に関する文献を調査し、人工魚礁等の設置事業の設計時に適用可能な簡易な測定方法及び測定結果の評価手法について抽出・整理を行った。次に、この結果を元にさらに検討を進めた測定装置を試作し、現地試験を行い、その計測作業を通して操作性や測定精度等を検証した。ここでは、これらの結果の概要を文献調査と現地試験とに大別し、報告する。

2. 文献調査

2. 1 調査方法

下記の対象文献について、海底地盤調査に関する文献を抽出・整理した。

a. 学会誌・論文等の文献

過去10年間の掲載論文・報告を調査対象とする。

- ①土質工学会 会誌及び論文・報告
- ②土木学会 会誌及び論文・報告
- ③日本建築学会 会誌及び論文・報告
- ④港湾技術振興会 研究所報告、港湾技研資料及び講演会講演集
- ⑤その他の学会誌等

b. 参考図書

- ①土質調査法（土質工学会編）
- ②土質調査結果の解釈と適用例（土質工学会編）

c. 地質図等の収集資料

下記の地質図を収集した。

- ①海洋地質図（地質調査所）
- ②沿岸海域土地条件図（国土地理院）

2. 2 調査結果

(1) 文献調査の結果

本調査の目的とした地盤支持力の簡易な測定方法や評価方法に関するものは皆無であった。

(2) 海底地盤調査の手法

地盤支持力の簡易な測定方法を検討するために海底地盤調査手法の現況についてまとめると以下の通りである。

a. 予備調査の手法

1) 海底地形調査

主として音波を利用して船上から調査する方法で一般的なものとしては下記の調査方法がある。

- ① 音響測深機による海底地形調査
- ② サイドスキャンソナーによる海底地形調査

2) 海底表層土調査

船上から海底地盤を採取し調査する方法で、採取に使用するサンプラーは次の3種に大別される。

- ① ドレチャー (乱された試料) 粘性土、砂、レキに適応
- ② グラブ形サンプラー (乱された試料) 砂質土に適応
- ③ コアラ (柱状の試料) 粘性土に適応

3) 海上物理探査

海上物質探査として代表的な調査は下記の通り。

① 音波調査 (反射法)

弾性波探査の一種で非爆薬音源を用い、海底及び地層での反射波を計測することにより、地質構造を判定することが可能である。

但し、地盤の工学的性質については反射法では判定できない。

使用する機種及び発振方式は調査目的、水深、探査深度に応じて選択する。

② 海底弾性波探査 (屈折法)

音源として電磁式発振器、エアーガン、ウォーターガンなどを使用し、地質構造の他に、地層の弾性波速度及び地盤の工学的性質が判定できる。しかし、海底上で受振器を設置・移動する必要がある、作業効率の問題がある。

③ 磁気探査

磁気探査は地球磁場や地球磁場の変化を測定し、変化量すなわち磁気異常から地下の磁性物質の存在を推定する方法である。

b. 本調査の手法

1) 海上ボーリング

海上ボーリングの目的は主としてサンプリング、孔内原位置試験及び計測機器の埋設である。さらに結果と貫入抵抗及び掘削時に得られる情報などを関連づけ、土質構成及び強度特性の連続性を推定できる。

また、海上ボーリングには作業足場が不可欠であり、海域の海象条件、水深及び地形・地質条件などにより適切な足場を選択する必要がある。

2) 海上サウンディング

海上サウンディングは現地で直接データの確認ができ、サンプリングの際に生じる水圧及び土圧の応力解放に伴う乱れの問題はない。

また、海上サウンディングは原則として固定足場とする。但し、特に大水深の海域では測定方法・精度に問題を生じるため、現在は、ワイヤーライン方式や海底着座式の装置などの研究・開発が進められている。

3) サンプリング

サンプリング方式は足場の形式により下記の四種類に大別される。

①船式足場、②半潜水式足場、③海底定置式足場、④海底着座式足場

最近では大水深の海域にも適応できるように海底着座式土質調査装置が開発されており、一部では実用化されている。

(例えば運輸省港湾技術研究所「MAS-78」)

4) 原位置試験

現状では水深20～30mの海域については設置式足場を用いて、陸上調査に使用する装置を適用している。但し、海象により足場及び試験装置が直接影響を受けるため、精度及び作業効率に問題があり、最近では海底着座式土質調査装置の開発が期待されている。

C. 海底地盤調査の現状と今後の課題

調査結果を基に海底地盤調査の現状をまとめ、人工魚礁等を対象に水深30～50mで海底地盤の工学的・力学的特性を知るために調査方法について比較した結果を表2-1に示す。

1) 地盤の工学的・力学的特性の確認を対象としては、海上ボーリング、サウンディング及び原位置試験などの方法があるが、いずれも足場が必要で大掛かりな設備となる。また、海象条件及び水深に影響されることから、試験精度及び作業性に問題が生じる。

一部に海底着座式土質試験装置が開発されているが、一般に実用化されているのではなく、今後、小型化・簡便化・経済性の面で改良が必要である。

2) また、特に海底地盤の原位置試験方法については陸上調査で行われている試験方法を適用しているのが現状であり、確立されていない。海象条件及び水深などの特殊性を考慮した試験方法の研究及びそのための装置の開発が期待されている。

3) 海底地盤調査に関する文献の抽出・整理の結果より、人工魚礁等の設計に適用可能な測定方法及び測定方法の評価方法は確立していないのが現状であり、目的に合わせた調査方法・評価方法の開発・研究が必要である。

その際にも、小型化・簡便化及び経済性について十分に考慮することが望まれる。

3. 地盤支持力測定装置の試作と現地試験

3.1 試験内容

(1) 地盤支持力測定装置

本試験で使用する地盤支持力測定装置は、岡山県において開発された簡易型地盤支持力測定装置を原形に、問題点を整理・検討した上で試作された装置であり、その外観形状は図3-1に示す通りである。

原型となった岡山方式の測定装置は、以下に示す長短所を有しており試作機はこの装置に主として作業性を高める改良を施したものである。

表 2-1 海底地盤調査比較一覧表

調査方法	現場条件		足場の種類	ボリング孔の必要の有無	作業性・操作性	経 済 性	備 考
	水深	底 質					
1. ボーリング 1.1 サンプリング	30~50m	超軟弱地盤 以外は適	海底定置式 船 半潜水式	有	・海象条件に影響を受ける。	・足場設置費用 ¥2,000,000 以上 ・船式、半潜水式は 日損料 ¥1,500,000 以上	・サンプラー及び足場形式等の 影響でサンプラに乱れが生じ ることもある。
1. ボーリング 1.2 孔内原位試験 リットル加圧式 ホーリントリ- フレキシブル加圧式	30~50m	超軟弱地盤 以外は適	海底定置式 船 半潜水式	有	・海象条件に影響を受ける。 ・保孔対策が必要。 ・海上からの遠隔操作 による。	・足場設置費用 ¥2,000,000 以上 ・船式、半潜水式は 日損料 ¥1,500,000 以上	・プレボーリング式からセルフ ボーリング式へ移行しつつあ る。
1. ボーリング 1.3 海底着座式ボーリン グ マグシ- ン タイプ式 ローケ- リ-式 ワシントン リエトリ- 型	30~50m		海底着座式	有	・海底勾配に影響を受ける。 ・海上からの遠隔操作 による。	・(一般で実用化され ていない。)	・プレボーリング式からセルフ ボ-リング式へ移行しつつあ る。 ・一部で開発・研究されている が、一般で実用化されている とはいえない。 ・(例) MAS-78 ・運輸省港湾技術研究所開発
2. サウンディング ベン コ ニ ン 試 験 標準貫入試験	30~50m	各試験毎に 適応土質が ある。	海底定置式 海底着座式 (固定足場 が必要)	無	・海底定置式は海象条 件に影響を受けない。 (特に底層等) ・海上からの遠隔操作 による。	・(一般で実用化され ていない。)	・測定深度の増加により測定方 法精度が問題になるため、 海底着座式もしくはワイヤー ライン方式を研究・開発中。 ・自動制御、自動記録方式等の 自動化の方向に進んでいる。 ・水深20m以上では一般に実用 化されていない。
3. 原位着座式 原位着座式 荷試験	30~50m		海底定置式 船 半潜水式	無	・海象条件に影響を受ける。 ・水深の増加に伴い、 振動・載荷重の伝達 等の問題を生じる。	・足場設置費用 ¥2,000,000 以上 ・船式、半潜水式は 日損料 ¥1,500,000 以上	・作業効率の悪さ。精度及び経 済性から、現在あまり実施さ れていない。

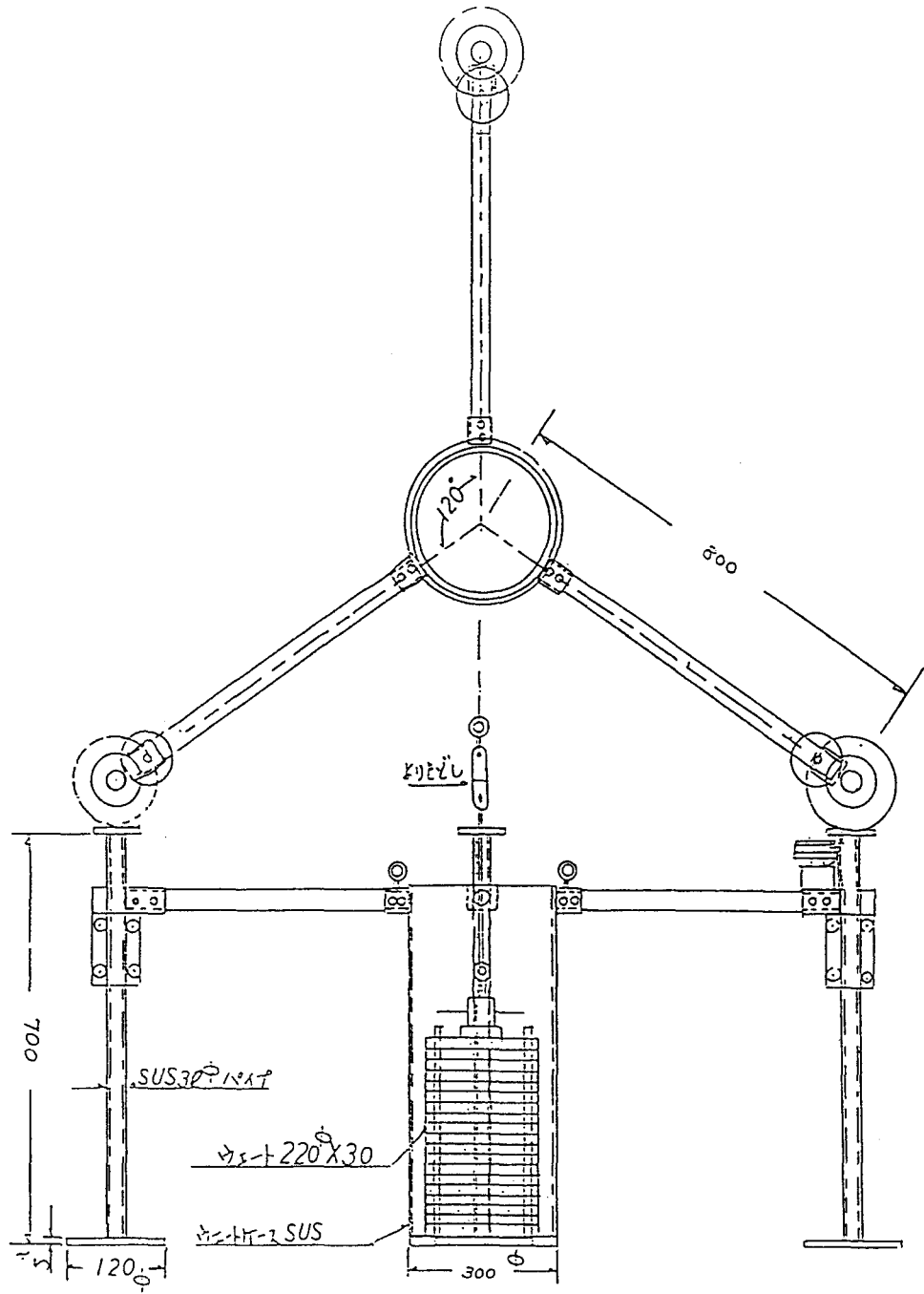


図 3 - 1
簡易地盤支持力測定装置（試作機）外觀寸図法

<岡山方式の長所>

①簡易な装置であり制作費用が安価であり、また、計測費用も特別な作業船や棧等の施設を必要としないので安価である。

<岡山方式の短所>

①载荷重量及び载荷時間を変更する度に装置を船上に引き上げ設定を変える等の作業を要するので手間が変わる。また、沈下量の時間変化が計測はできない。

②船上作業の度に測定位置が変わるのでデータのばらつきが見られる。

③载荷板が方形である等、陸上地盤の平板载荷で得られた知見との相互比較が困難である。

<試作機での改良点>

①载荷時間を岡山方式より長くできるようにした。

②沈下量の時間変化を計測できるようにした。

→ゼンマイ式タイマーに等間隔で取りつけた記録針により、測定脚の塗装をけがくことで一定時間毎の沈下量を記録する。

③地盤の平板载荷試験方式（土質工学会基準）との互換性を図るために、载荷部形状、载荷方法を変更した。

→载荷板の形状を円形。（原型は方形）

（2）現地試験の概要

現地試験は、銚子・波崎漁港区域内で地質調査試料が既存であり、でき得るべく軟弱地盤の地点で行った。また、試験は測定装置の作動状況を観察・確認するための陸上での試験と実際の使用状況に近い状態での海底での実験を行った。

①地点

飯岡漁港東防波堤港内側の堆積砂上の陸上3点および-4m航路の海底2点。

②底質

近傍での既存地質調査資料によれば地質は中砂で、N値=3から13、試験地点に最も近い地点のN値=3（深度1.15m）。

③試験方法

移動式クレーンを使用して、測定装置を防波堤上から対象地点（陸上3点、海底2点）に降ろし、60分のゼンマイ式タイマーに5分間隔で取り付けた針により測定脚の塗装をけがくことにより沈下量を測定した。また、陸上実験では測定脚脇にスケールをを立て、形か時間5分、10分、20分、30分、60分、での沈下量をこのスケールからも読み取った。

3. 2 試験結果

（1）タイマー検定結果

使用したゼンマイ式タイマーは防水防食処理が施されているものではなく、適切に時間補正やグリス塗り等の保守を行う必要があり、試験に先立ち空中・水中での作動確認及び検定を行った。

作動状況及び空中・水中でのタイマーセット時間と実作動時間は表3-1に示す通りであり、5台準備したうちの一台は水中では停止してしまった。タイマーを30分にセットした時の水中での実時間は平均で約34分と一割り強の時間の延長が見られた。

表 3 - 1 タイマー検定結果表 (セット時間 : 30分)

タイマー- No.	空中	水中		
		1	2	平均
1	32 ^m 05 ^s	- ^m - ^s	- ^m - ^s	- ^m - ^s
2	32 ^m 45 ^s	34 ^m 20 ^s	34 ^m 22 ^s	34 ^m 21 ^s
3	31 ^m 52 ^s	34 ^m 07 ^s	34 ^m 41 ^s	34 ^m 24 ^s
4	31 ^m 38 ^s	33 ^m 07 ^s	34 ^m 32 ^s	33 ^m 50 ^s
5	31 ^m 25 ^s	34 ^m 15 ^s	34 ^m 40 ^s	34 ^m 28 ^s
平均	31 ^m 57 ^s	-	-	34 ^m 16 ^s

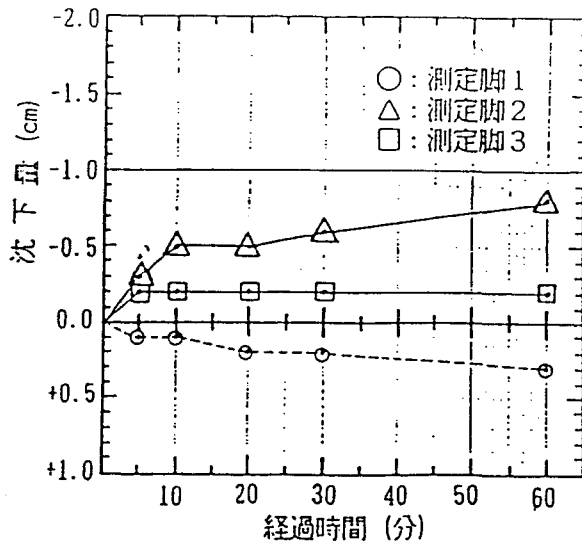
(2) 沈下量測定結果

海底 2 地点の海底での沈下量は (3) で述べるように記録方法に難があったこともあり測定結果が得られなかった。

陸上実験では測定脚に平行して立てたスケールの読みから表 3 - 2 に示す沈下量が得られたが、実験地点が砂地であったこともあり、接地圧 1.61t/m² (地点 1) での試験では沈下せず、3.15t/m² での 2 点のうちの 1 点 (地点 3) でのみ沈下が見られた。この時の沈下は不均等であり、測定脚 2 ~ 3、主として測定脚 2 の側が沈下したため、測定脚 1 での変化量は上昇となった。この時の時間 - 沈下量の関係は図 3 - 2 に示す通りである。

表 3 - 2 沈下量測定結果 (陸上地点)

地点	接地圧	載荷時間60分間での沈下量		
		測定脚 1	測定脚 2	測定脚 3
1	1.61t/m ²	0.0cm	0.0cm	0.0cm
2	3.15t/m ²	0.0cm	0.0cm	0.0cm
3	3.15t/m ²	+0.3cm	-0.8cm	-0.2cm



試験地点：陸上
 地質：砂
 接地圧：3.15t/m²
 備考：不均等沈下のため
 測定脚1は上昇

図 3 - 2 時間 - 沈下量関係図 (地点 3)

(3) 測定装置についての問題点

① 測定装置の取扱いについて

測定装置各部の組み立て・分解は容易であり、分解後の重量は最も重い部分で50kg強であり、その現地搬入・移動は比較的容易である。

また、組み立て後の重量も最も荷重を付加した状態で230kg程度であり、今回、試験位置への設置は陸上からユニックを使用して行ったが、実際に船上から行うとしても、ウインチの使用により特に問題ないと思われる。

② 沈下量の記録方法について

沈下量の記録方法にはゼンマイ式のタイマーに一定間隔で針を取り付け、これにより測定脚の塗装面をけがき、その傷の間隔から経過時間毎の沈下量を読み取る方法である。しかしながら、この方法では以下のような問題点が見られ、実際には記録を得ることができなかった。

- ・測定脚と記録針の位置関係の調整が大変微妙であり、針が脚に接しなければ塗装面に記録をのこせないことは当然ながら、1/10mm程度長かった場合には、ゼンマイ式タイマーの力が弱いこともあって、その針のところでタイマーが停止してしまう。
- ・タイマーの海中での作動は不安定であり、実際に実験で使用したタイマーのほとんど(4台中 3台)が不安定で停止してしまった。
- ・脚定脚の塗装が脚受け内のベアリングで剥げてしまい、また、装置設置の吊り上げ下げ時の脚の回転によっても秘録塗装が剥げ、タイマーが巧く作動したとしても記録が得られないことになる。
- ・試作機の測定脚止めはリングをはめて脚の滑り落ちを止めるようになっているが、沈下量が10cmを越えるような時は、このストッパーが記録針に当たり、タイマーを移動させることとなる。(試作機のタイマーは磁石で固定)。

3. 3 考察

現地試験から以下のようなことが云える。

(1) 海底地盤支持力判定に関しての有効性

試験地点は、既存の地質調査資料を見るとN値 = 3 ~ 13程度の緩い砂であったが、試作装置での測定では最大荷重：3.15 t/m²の時に1cm弱の沈下量がみられたのみである。このことからみて、本装置によっては、底質が砂の場合、ほとんど沈下が測定されないと云え、従って、より軟弱な地盤での試験を行い、その沈下量を把握することで、本装置を用いての海底地盤支持力判定基準等を検討することは可能である。

(2) 試作機の改良について

試作装置の載荷方法、操作性に関しては十分に実用的であるが、ゼンマイ式タイマーに取り付けた記録針によって測定脚の塗装面をけがくことで沈下量の記録方法は3(3)で述べたように多々問題点があり、現地での使用に供するにはこの点の改良が必要であることが明らかになった。この改良の方法としては、測定脚に取り付けたロータリーエンコーダ（方式としてはポテンションメータなど）により抵抗値やパルス信号等として沈下量を検出する方法に変更することが考えられる。

4. おわりに

本調査により、海底地盤の強度を簡易に推定する手法の基本的な考え方及びその問題点が明らかになった。今後はこれらの成果をもって、手法及び装置の改良を進め、完成度を高めて行きたいと考えている。

付表-1(1) 海底地盤の調査に関する文献目録

1. 土質学会研究会発表会			
No	論文・報告名	年・回	掲載番号
1	海底着座式原位置試験器の試作について 第2報	S.55年 第15回	17(C-3)
	東海大学海洋学部により試作された海底着座式原位置試験器についての報告。 装置概要：サイズ 底部幅=3m, 全高=4.35m, 重量=1.5t 測定項目 コーン貫入, 堆積土の柱状採取, 音響特性による地盤密度 計測情報は電気信号でケーブルを介し船上で収録		
2	神戸沖における海底粘土の土質特性について	S.57年 第17回	367(C-9)
	神戸沖海底地盤での原位置試験と室内試験の変形特性に関する比較結果。		
3	海底土質調査技術開発の近況と将来	S.59年 第19回	23(C-3)
	海洋石油開発に伴う地質調査に使用されるような大掛かりな調査装置の紹介。		
4	広島湾海底地盤の物理特性について	S.60年 第20回	4(B-0)
	既存地質調査結果による広島湾海底地盤の地盤分類及び土質特性のとりまとめ。		
5	鹿児島湾海底土の工学的特性について	S.61年 第21回	56(D-2)
	鹿児島湾で採取した表層底上資料の物理特性の検討。		
6	大阪港海底粘土の物理的性質からみた地域性	S.63年 第23回	12(B-0)
	大阪港でのネリグ調査結果を基に、海底沖積粘土における物理的性質の検討。		
7	大阪湾海底の沖積粘土層と 洪積粘土層(Ma12)の土質工学的性質について	H. 1年 第24回	46(D-2)
	既存資料を基にした大阪湾沿岸の土質工学的性質の検討。		
8	海底土のCu/pについて	H. 2年 第25回	35(B-6)
	海底堆積土の力学的特性、特にCu/pについて理論的予想値と実際のサンプルからの値の検討。		
2. 土質学会誌 土と基礎			
No	論文・報告名	年・号	掲載頁
1	海底地盤調査	S.61年 336号	p.63
	海底地盤調査方法の概要。		
2	海洋・海洋工学と土質 測量・間接調査法	S.61年 346号	p.87
	海底地盤の事前調査としての音波探査等の間接調査の方法について記述。		
3	海洋・海洋工学と土質 調査法	S.61年 347号	p.63
	海底地盤の調査方法としてのサンプリングや原位置試験の方法について記述。		
3. 土木学会 年次学術講演会講演概要			
No	論文・報告名	年・回	掲載番号
1	海底地盤の土質工学的性質の特殊性 と構成粘土鉱物について	S.60年 第40回	Ⅲ-284
	広島湾沿岸域の海底粘土地盤の工学的性質を構成粘土鉱物との観点から検討。		
2	広島湾海底地盤の力学的特性について	S.60年 第40回	Ⅲ-385
	1-4.と同一内容。		

付表-1(2) 海底地盤の調査に関する文献目録

4. 土木学会 海洋開発シンポジウム論文集			
No	論文・報告名	年・Vol.	掲載番号
1	音響による海底地盤判別法の研究	S.62 Vol.3	(21)
	水中マイクロホーンを取り付けた曳航体を使用して、海底表面の地質を連続的に調査する比較的簡易な装置・方法の開発についての報告。		
2	深度の大きい海底粘土地盤の強度決定について	S.63 Vol.4	(3)
	三軸試験により海底粘性土地盤の強度を決定する方法について検討。		
3	音響を用いた底質調査法の開発	H.1年 Vol.5	(12)
	4-1.と同一内容。		
5. 土木学会 学会誌			
No	論文・報告名	年・Vol.	掲載番号
1	土研・海底サウンディング調査機を開発	S.52年 62・11	p.79
	建設省土木研究所開発の沈着式海底土質サウンディング調査機の紹介記事。		
6. 港湾技術振興会「港湾技術研究所報告」,「港湾技研資料」,「講演会講演集」			
該当なし			
7. 日本建築学会「建築雑誌」,「論文報告集」,「大会学術講演梗概集」			
該当なし			
8. 参考図書			
No	図書名	発行者	
1	土質調査法(第2回改訂版)	S.54年 (社)土質工学会	
	「第14章 F. 海底地盤の調査(pp.780-821)」に海底地盤の調査がまとめられている。		
10. その他(サウンディングシンポジウム発表論文集、1980)※			
No	論文・報告名	発行者	
1	海底サウンディング調査機の開発と地盤調査	S.55年 (社)土質工学会	
	従来のオランダ式二重管コーン貫入試験機を海底用に改良した調査装置の紹介。		
2	港研式先端抵抗測定式静的コーン貫入試験機について	S.55年 (社)土質工学会	
	運輸省港湾技術研究所で開発した先端に変位量測定用センサーを取り付けたコーン貫入試験機とオランダ式二重管コーン貫入試験機との比較・検討結果の報告。		
3	静的コーン貫入試験(CPT)の現状と展望	S.55年 (社)土質工学会	
	静的コーン貫入試験の実績のとりまとめと今後の動向についての検討。		
4	動的貫入試験およびスエーデン式サウンディングの利用に関する現状と将来の展望	S.55年 (社)土質工学会	
	動的貫入試験およびスエーデン式サウンディングの種類・試験方法およびその利用の推移についてのとりまとめと将来の展望についての検討。		

※調査対象以前の文献ではあるが、サウンディングの装置及び試験方法についての説明が比較的詳しく述べられているため収集。