

# 水中地形計測技術の開発について —マルチビームソナーを用いた陸上からの計測手法—

(独) 土木研究所寒地土木研究所道央支所 ○長瀬 禎  
寒地機械技術チーム 国島 英樹  
五十嵐 匡

港内の堆砂状況を観測するためには、現状では船舶を用いた深淺測量が一般的である。しかし、船舶を用いた測量では海上作業の申請手続きが必要となることや、測量機器の船舶への艀装など、多大な時間と費用をかけているのが現状である。そこで、船舶を用いることなく陸上から港内の水中地形を、簡易に少人数で計測可能なシステムの開発を目的に、現地にてマルチビームソナーを用いた計測試験等を行ったので、その報告を行うものである。

キーワード：マルチビームソナー、水中地形、堆砂計測、深淺測量

## 1. まえがき

港内の堆砂状況を観測するためには、現状では船舶を用いた深淺測量が一般的である。しかし、船舶を用いた測量では海上作業の許可手続きが必要となることや、海上作業特有の危険性を伴うこととなるため、多大な時間と費用をかけているのが現状である。

簡易に堆砂傾向を把握する方法を確立することで、深淺測量の時期や範囲などにおいて効率的な深淺測量計画を立てることが出来る。

そこで、港内の堆砂状況を船舶を用いることなく、陸上から面的広がりを持つ港内の海底地形を、簡易に少人数で計測可能なシステムの開発を行う事を目的に、簡易型堆砂計測に適用できる技術について、検討・調査を行った結果、マルチビーム測深機を用いることが有効と判断し、マルチビーム測深機のソナーヘッドを傾けた状態での計測や、センサー構成、計測データの補正・解析について検討を行った。

これらの各調査結果・検討結果を基に基本システムについて検討を行った。

## 2. 計測機器の検討

水中での計測に有効とされる主な技術は、超音波による音響測深器が主体であり、従来から一般的に使用されているシングルビーム測深器と、一度に広域を計測することが可能なマルチビーム測深器やサイドスキャンと呼ばれる音響画像装置とに大別することが出来る。そこで、一般的に使用されている機器について比較検討をおこなった。(表-1)

これらの計測機器は、通常船舶に固定又は曳航して機器が鉛直方向を保ち移動しながら使用されることを前提として設計されているものであり、陸上から水中へ投入し遠方へビームを発射して水中地形を計測することは想定されていないため、フットプリントが拡大して取得されるデータの誤差が大きくなる事が想定される。(図-1)

この事から、ビームの指向角が $1.0^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ と最も狭く、分解能が6mmと比較した機器の中で一番高いナローマルチビーム測深器のSEABAT8125を適応性が高い機種として判断した。また、スワ幅・最大計測範囲も十分確保されていることから、ソナーヘッ

表-1 機器選定比較表

機種名	SEABAT8125	SEABAT9001	HS-800	PDR-801	Geo Swath Plus	
メーカー	RESON(デンマーク)	RESON(デンマーク)	吉野電気	千本電機	ジオアコニステック(英国)	
機器タイプ	ナローマルチビーム	ナローマルチビーム	ナローマルチビーム	一系子	サイドスキャン	
最大レンジ	120m	140m	200m	140m	300m(水深の12倍まで)	
分解能	8mm	50mm	9mm	3cm±水深/1000	12mm	
ビーム数	240本	80本	100本	1本	2ファンビーム	
ビーム指向角	1.0×0.5度	1.5×1.5度	1.5×1.5度	3度	0.5度(進行方向)	
スワ幅	120度	90度	150度	3度	最大300m	
データ更新間隔	15Hz	15Hz	32Hz	8Hz	最大30Hz	
動作温度	0℃~+40℃	0℃~+40℃	不明	-10℃~+45℃	不明	
大きさ	ソナーヘッド	383×499×192mm	285×190×473mm	φ370mm, H500mm	φ135mm	375×170×80mm
	プロセッサ	417×483×177mm	178×483×408mm	プロセッサ:450×425×140mm 送受信部:400×356×241mm	830×395×315mm	430×457×288mm
空中重量	ソナーヘッド	24.3Kg	18Kg	50Kg	10.5Kg	3.8Kg
	プロセッサ	20Kg	11Kg	プロセッサ:12Kg 送受信部:14Kg	23.5Kg	22Kg
電圧	115/230V, 最大380w	115/230V, 最大200w	100V, 300VA	DC24V, 約3A	95-285VAC, 400VA	
周波数	455kHz	455kHz	320kHz	190kHzまたは210kHz	250kHz	

ドを水平方向に回転させるだけで一定の海底面を網羅する計測が可能であり、高い作業性を保つことが出来る点も高適性として判断し、選定を行った。

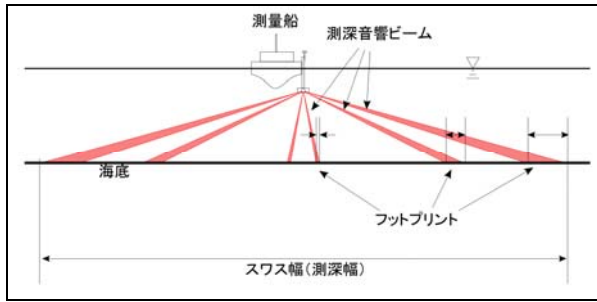


図-1 フットプリント及びスワ幅

### 3. 計測試験

簡易型堆砂計測システムの計測方法を始めとした基本概念は、岸壁等の陸上からソナーヘッドを海面下に投入し、岸壁前面から遠方へビームを送信して堆砂等の定点観測的計測を行うものである。本計測システムは、以下の2点を設計方針とした。

- ① 調査員が少人数で計測可能なシステム構成を基本とする。
- ② 調査員に別途免許や資格を要する重機等（例；ユニック、クレーン）を使用するシステム構成とはしない。（図-2）

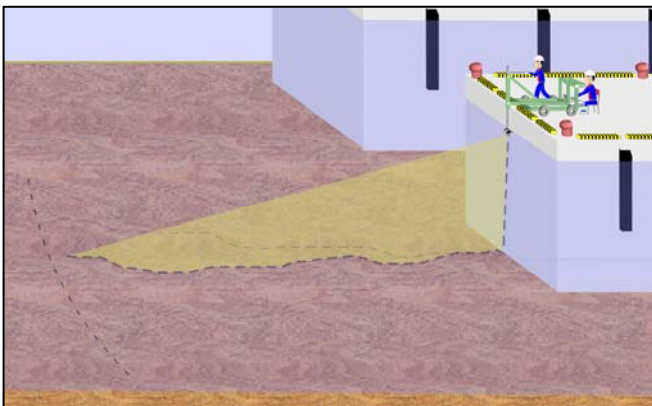


図-2 計測イメージ図

#### (1) 計測試験

計測試験は、ソナーヘッドを傾けて計測した場合の音波の到達範囲の確認、ビーム入射角による計測誤差の検証、必要な機器構成等を検討する為のデータ比較、岸壁上における作業性・安全性等について評価するために現地試験を行った。

- ・実施場所 苫小牧港西港内（図-3）
- ・実施日時 平成19年11月27日

計測システムの検討において、取得データの評価によりデータ補正に必要なセンサー等が不要となる可能性も有る事からデータを取得する事を優先と考え計測を主体とした簡易な架台を作成した。

試験架台は作業の安全性と取得データの確実性を確保するためにクレーン付き2tトラックを用いるものとした。

海面下に投入するソナーヘッドの支持パイプ長さは試験場所を考慮しても最低でも6m程度必要であり、現場での作業性を考慮し複数本のパイプを予め溶接して1本とした単管パイプを用意した。また、計測に使用するセンサー類は合計で約30kg、支持パイプを含めると60kg程度となることから、センサー類の組み立てや計測時の作業性や安全性を確保するため、クレーンにより吊り下げる方法とし、波浪に対する動揺保持の固定架台をクレーンアウトリガーを利用して固定を行った。（写真-1、2、3）



図-3 試験場所図

#### (2) 計測パターン

試験計測は、マルチビーム測深器の取付角度を0°、10°、20°、30°と段階的に4パターン変化させ、手動で180°程度回転させ途中で回転を静止してデータ取得やビームの広がり等を確認した。（図-4）

また、計測データ検証のために、マルチビームソナーによる深浅測量を実施して、基準計測データとした。



写真-1 計測センサー写真



写真-2 動揺保持用固定架台写真



写真-3 計測試験状況写真

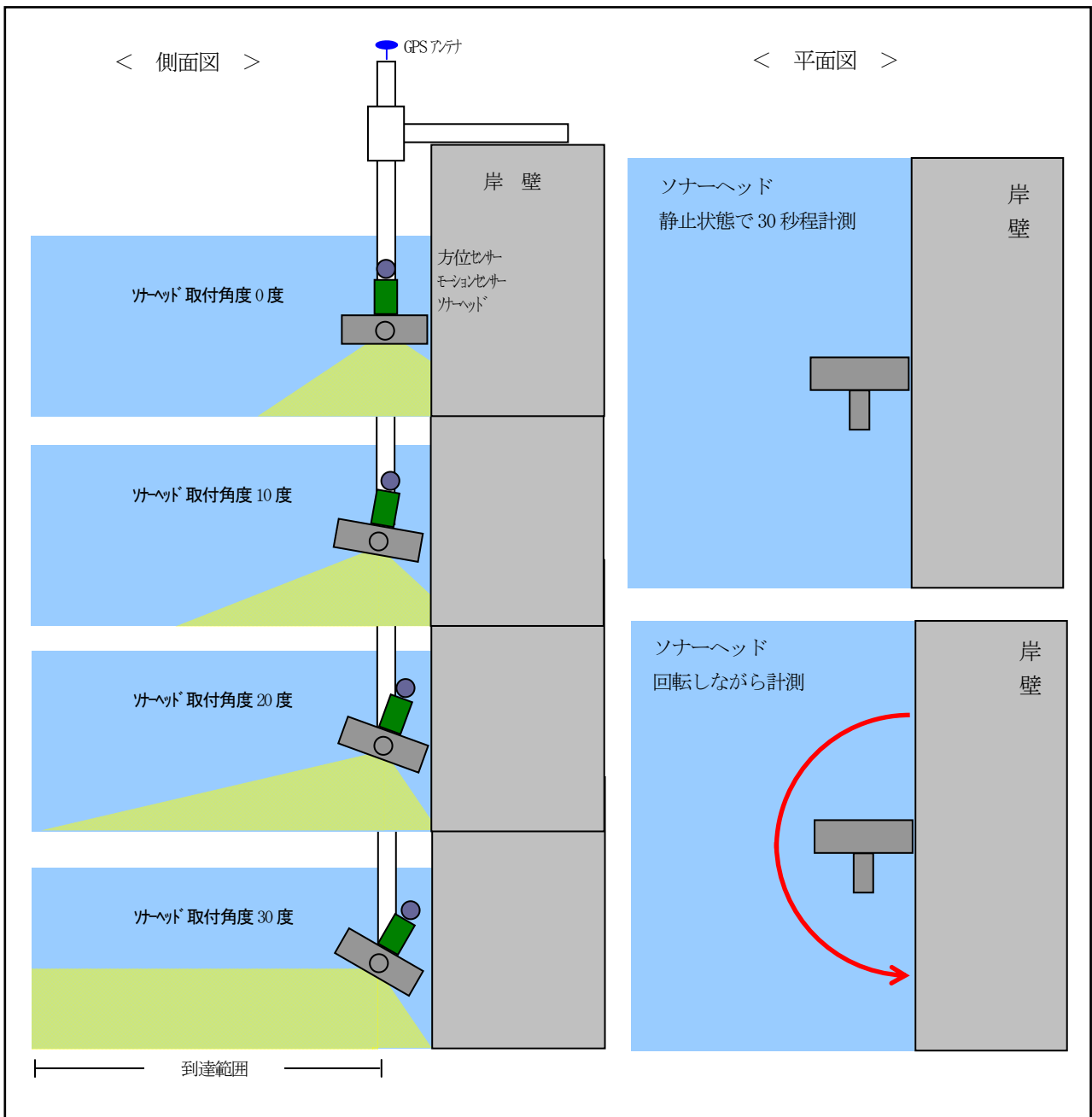


図-4 計測試験パターン概要

### 3. 試験結果

#### (1) 計測精度

ソナーヘッドの取付角度ごとの音波到達最大距離を表-3及び図-6に示す。音波の到達距離は30°計測で最大約100mの範囲であり、機器性能値をほぼ満たしていた。

図-7のソナー到達断面図を見ると、ソナーヘッドの取付角度を20°以上に設定し計測範囲を広めた場合、到達距離20mを境に計測誤差は約20cm以上と精度劣化が著しい。これは音響測深の原理として、ある広がりを持つ音響ビームの中心を中心軸と仮定して音波の往復時間から測深値を得ているが、入射角が浅い場合実際には中心軸の点よりもビームの内側の点の方が音波往復時間が短いため、実際よりも浅い測深値が得られてしまう現象が発生している可能性がある。(図-5)

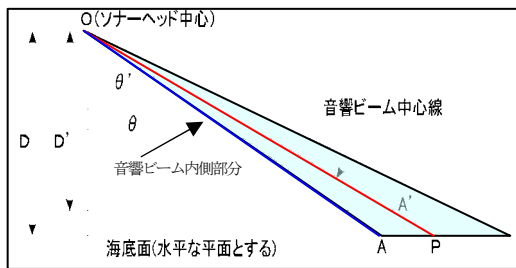


図-5 計測誤差発生原理

今回の試験結果でも同様な傾向が示されされており、通常の深浅測量の計測誤差である±10cm以内とするならば、ソナーヘッド取付角度は10°での計測が適当であるが、到達範囲が十分に取れない。

また、±10cm以上の誤差の場合においても、使用目的によっては十分運用可能である可能性が有ることから以下に事例を示す。

#### ① 定点観測

正確な水深値を必要とせず、堆積や洗掘等の構造物前面の地形変化の有無を判定する場合、ソナーヘッドの音響特性に起因しているものならば、同一地点で同一のセンサー構成で定期的に計測することにより、系統誤差は打ち消される可能性が高い。よって、複数回の計測結果の比較により地形変化の有無を判断できると考える。

#### ② 事前調査

ソナーヘッドから40mまでの範囲ならば計測誤差30cm以下であったことから、本格的な深浅測量等の精度を有しない事前資料として、簡易に計測が可能である。

#### (2) 補正センサーの有効性

データ補正に必要なセンサーの有効性は動揺センサーのみ評価対象とし、固定地点での計測となることからGPSの位置情報は対象外とした。

動揺センサーの有効時・無効時の結果より、ソナーヘッドの取付角度が10°以下ならば計測値に対する動揺センサーの必要性は大きくない。

また、20°以上で回転計測を行うと、動揺センサーを有効にした方が標準偏差49~72cmと大きな誤差が生じている。これは動揺センサーをソナーヘッドと同様に傾けた状態で取り付けたことにより正常なデータ出力がされていない可能性が大きい。今後、動揺センサーを直立に固定し、補正精度の検証を行う必要がある。(表-4)

表-3 ビーム到達範囲

項目	差分最大	差分最大	平均差分 m	最大距離 m	データ数 個	標準偏差 m
	+方向	-方向				
0度静止	0.220	-0.050	0.098	11.500	24	0.076
0度回転	0.441	-0.480	0.113	12.290	861	0.160
10度静止	0.130	-0.100	0.024	18.000	37	0.052
10度回転	0.714	-1.300	-0.045	18.996	1692	0.190
20度静止	0.470	-0.100	0.115	42.000	85	0.139
20度回転	1.935	-0.333	0.150	43.521	4766	0.258
30度静止	1.330	-0.090	0.316	100.695	148	0.331
30度回転	1.874	-1.660	0.137	100.418	8188	0.334

表-4 動揺センサー補正計測値

項目	差分最大	差分最大	平均差分 m	標準偏差 m	動揺センサー (TSS)
	(+方向)	(-方向)			
0度回転	0.362	-0.563	0.057	0.119	有効
0度回転	0.441	-0.480	0.113	0.160	無効
10度回転	0.548	-1.126	-0.090	0.193	有効
10度回転	0.714	-1.300	-0.045	0.190	無効
20度回転	3.313	-1.180	0.204	0.493	有効
20度回転	1.935	-0.333	0.150	0.258	無効
30度回転	4.302	-2.469	0.317	0.721	有効
30度回転	1.874	-1.660	0.137	0.334	無効

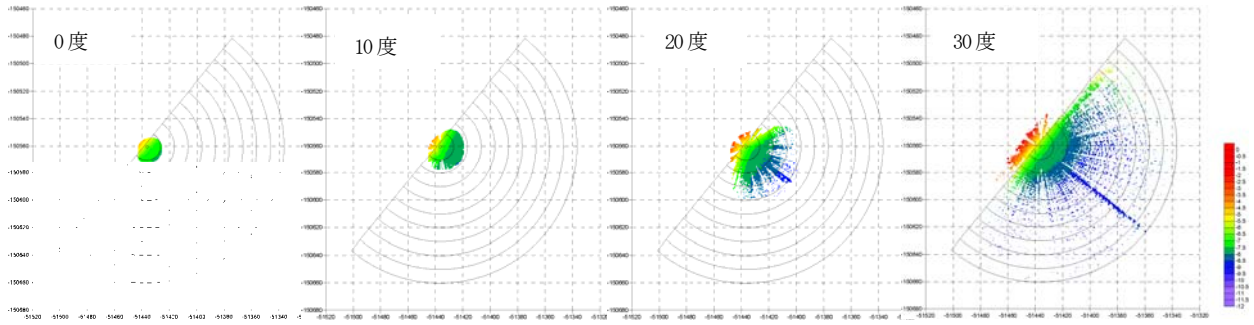


図-6 ビーム到達範囲

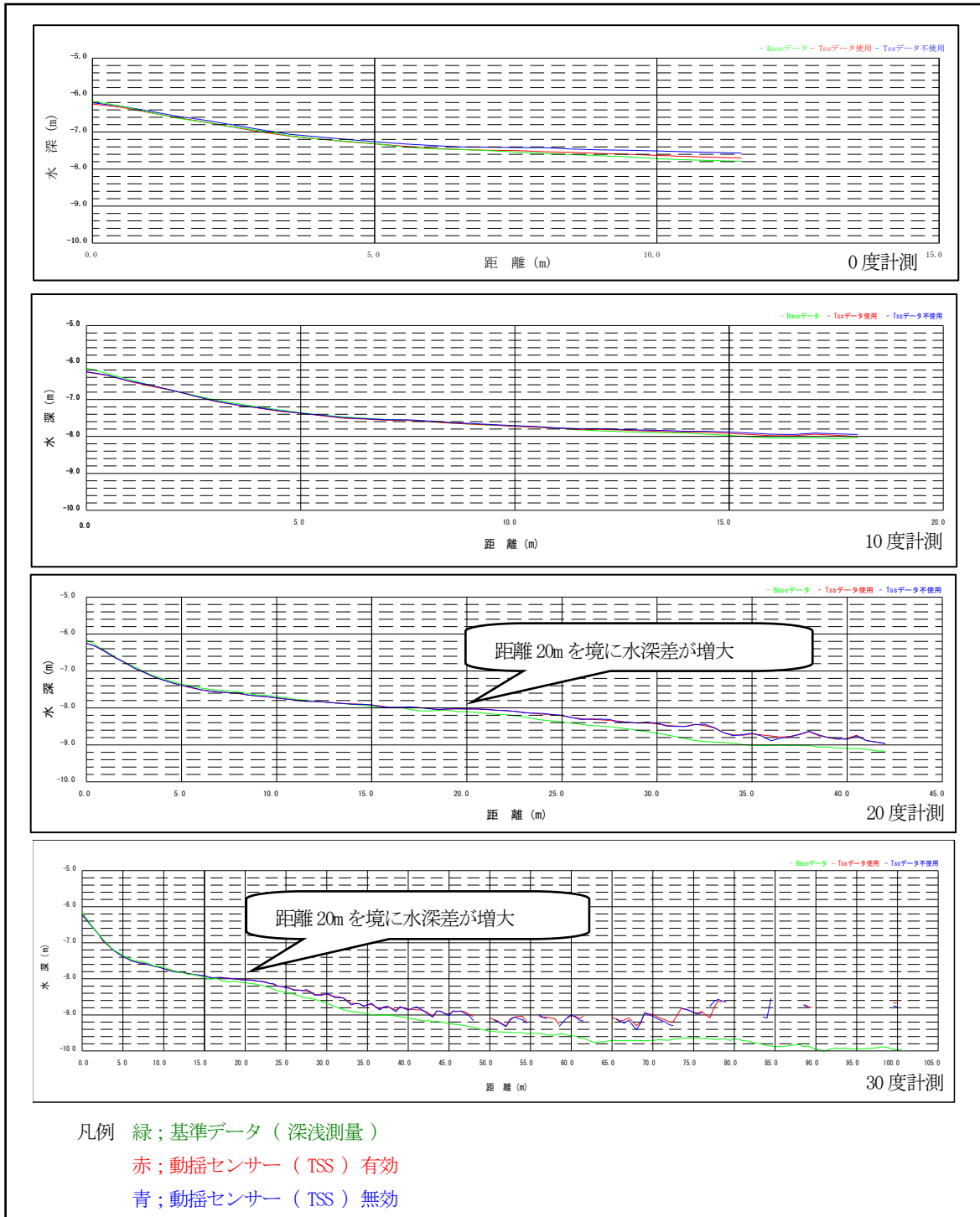


図-7 ビーム到達断面

#### 4. 今後の課題

今回の計測試験により明らかとなった以下の課題について今後検討が必要である。

##### (1) 計測架台の検討

岸壁上から海面下1 m程度にソナーヘッドを投入するには、パイプ長が6 m程度必要である。また、マルチビームソナーを初めとする機器の重量も30 kg程度有り、安全面や運用面から伸縮式が考えられるが、パイプの「構造、材質、強度」等は実証試験を経て検討する必要がある。

##### (2) 遠方計測精度の向上

計測試験結果より、通常の深浅測量誤差±10 cm以内の計測誤差で計測可能な範囲は、概ね水深の3倍程度であった。

計測誤差発生要因から入射角等による水深誤差の補正方法を検討し、より遠方のデータ精度の向上について検討する必要がある。

##### (3) システムの運用

広範囲のデータ取得には計測点数の増加が必要である。よって、計測システムの設置準備の時間を短縮し、より多くの計測点数の消化が可能なシステムとする必要がある。

また、計測精度を必要としない運用方法も考えられる事から、補正センサーの必要性についても詳細に検証する必要がある。

#### 5. あとがき

マルチビーム測深機を用いて、実際に岸壁上から遠方へ向け計測を行ったが、機器の音響ビーム到達範囲はカタログスペックと同様な結果が得られたが、計測精度を通常の深浅測量程度とすると十分な計測範囲を確保する事が出来なかった。

今後は、音響ビームの入射角による誤差の補正を主体に検討し、遠方計測データの精度向上を図り、簡易に計測可能なシステムの提案を行う予定である。