

橋梁下部構造の計測・診断技術の開発
に関する共同研究報告書（その3）

平成9年1月

建設省土木研究所
社団法人 全国地質調査業協会連合会

Copyright © (1997) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

橋梁下部構造の計測・診断技術の開発 に関する共同研究報告書（その3）

建設省土木研究所
構造橋梁部 基礎研究室

室	長*	中	野	正	則
研	究	石	田	雅	博
		大	越	盛	幸
		田	口	博	文

(社)全国地質調査業協会連合会

専	務	理	事	矢	島	壯	一
技	術	委	員	横	田	耕	一
				原	徹	夫	
				藤	原	八	笛
				鍛	治	義	和
				中	田	文	雄
				阿	部	秋	男

要 旨

本報告は、建設省土木研究所と(社)全国地質調査業協会連合会で実施した、「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究」の成果をとりまとめたものである。

本研究では、新しい洗掘調査法として、ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法および橋上から測定機器を使用する洗掘調査手法を開発し、実橋梁にて各種実験を行い調査手法の有効性を確認した。

キーワード：橋梁下部、維持管理、調査手法、洗掘、装置開発

*) 現 建設省建設経済局

目 次

1. まえがき	1
2. 研究目的	2
3. 研究体制	4
4. 共同研究で開発した計測手法	
4. 1 ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法	5
4. 2 橋上から測定機器を使用する洗掘調査手法	37
4. 3 音波探査を使用する計測手法	64
5. まとめ	77

【参考資料】

1. ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法の追加実験	
1. 1 前回までの問題点および改良点	83
1. 2 ラジオコントロールボート「いしずえⅡ」の製作	84
1. 3 ラジオコントロールボートの航行試験	84
1. 4 ラジオコントロールボートの検証実験	90
1. 5 まとめ	103
2. 橋梁基礎の洗掘調査マニュアル(案)目次	104
3. 橋梁基礎の洗掘調査装置取扱要領(案)目次	105

1. まえがき

我が国の公的社会資本である各種土木構造物は、これまでの着実な整備の結果、現在では膨大なストックに至っている。そのなかで、橋梁に着目すると、平成5年現在、橋長15m以上の橋梁は12.4万橋、延長では7,000Kmが供用されている。このような社会資本を長期にわたり適切に保全していくためには、合理的な維持・管理を行う必要があり、建設省では総合技術開発プロジェクト「社会資本の維持更新・機能向上技術の開発」として研究を行ってきた。

橋梁の維持管理については、主に上部工および地上部の躯体を対象として各機関において調査・点検、補修・補強などに関する研究が行われ、維持管理に反映されている。しかしながら、橋梁下部構造については、その多くが、河川・湖沼などの水中部や土中部に設置されており、接近して直視するのは容易ではない。このため、十分な調査・点検が実施されているとは言い難く、損傷や変状がかなり進行した状態で発見された例も見られる。

そこで、上記プロジェクトの一環として、建設省土木研究所と(社)全国地質調査業協会連合会（以下、「全地連」という）との共同研究により、橋梁下部構造の計測・診断技術の開発を行った。

本共同研究においては、主に基礎周辺で生じる洗掘に対する計測・診断技術を対象とし、調査装置の開発および健全度判定手法の確立を目的としている。

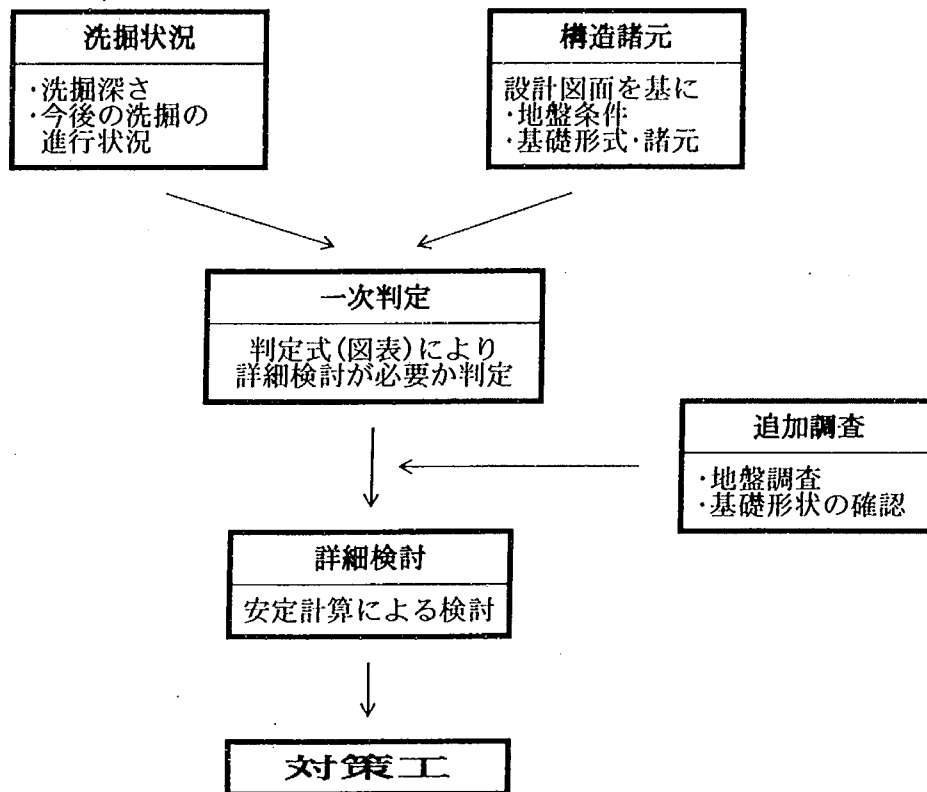
本報告書は、共同研究で開発した3つの洗掘調査手法について報告するとともに、手法を確立するにあたり行った検討内容、機器に要求される性能および実験結果等についてとりまとめたものである。

平成8年12月

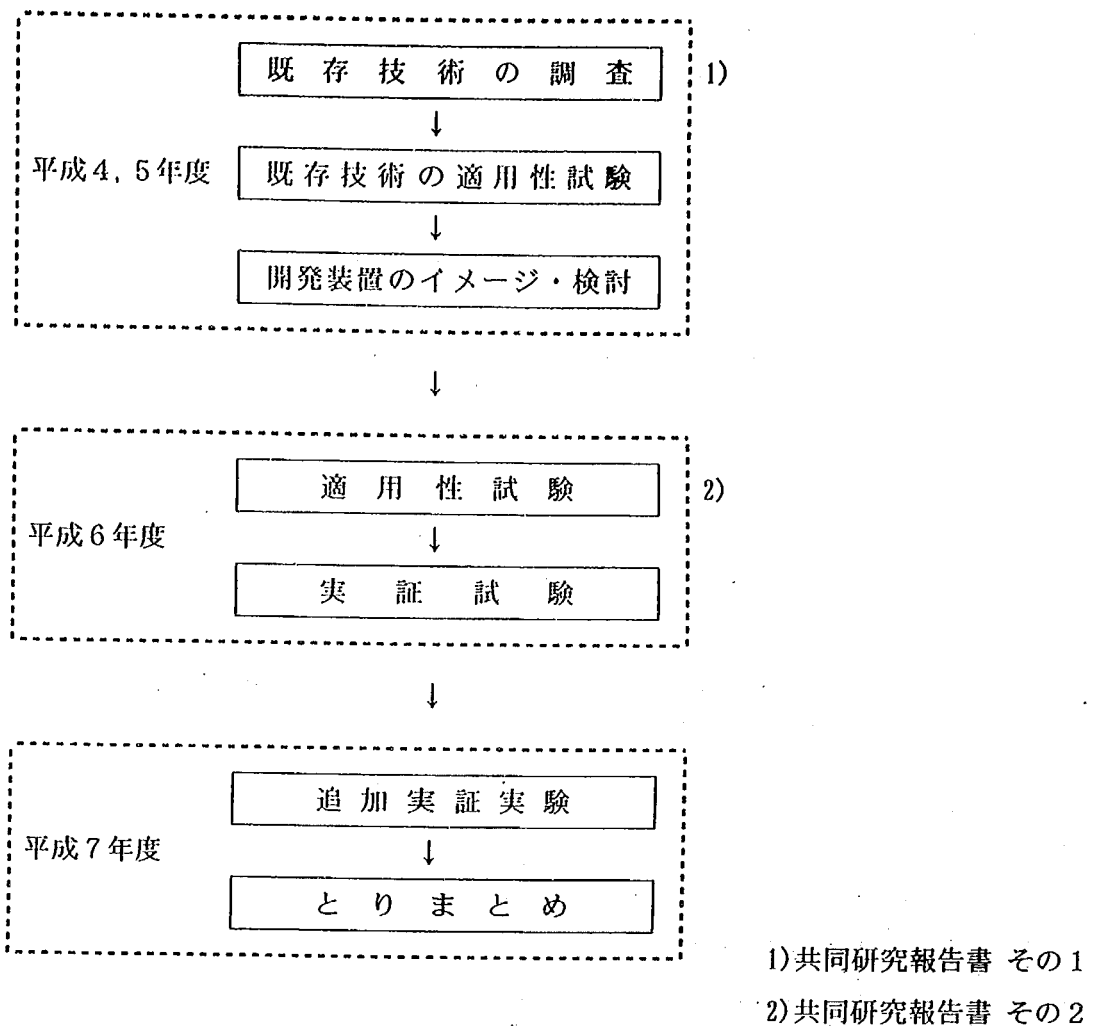
2. 研究目的

構造物を適切に維持管理していくためには、その構造物において発生が予測される損傷を想定し、それを未然に予防あるいは早期に発見することが重要となる。橋梁下部構造に被害を生じさせる原因としては、部材の劣化、地震による被害、洪水による被害、および地盤変状による被害などが考えられるが、それらの中でも洪水による被害がその大部分を占めている。また、基礎の補修・補強の要因としては、洗掘に起因するものが大部分を占めており、以降、荷重増大、車線拡幅、変位、傾斜と続いている。これらのことより、橋梁下部構造の維持管理においては、洗掘を早期に発見し、対策を行うことが重要である。

橋梁基礎周辺に生じる洗掘に対する維持管理としては図－2.1に示す手順が考えられる。維持管理の中で洗掘状況の把握については、潜水士による水中作業が必要であるが、劣悪条件下での作業となることや、調査に時間と経費を要するなどの課題があり、定期的に点検を行うのは困難である。



図－2.1 洗掘に対する維持管理



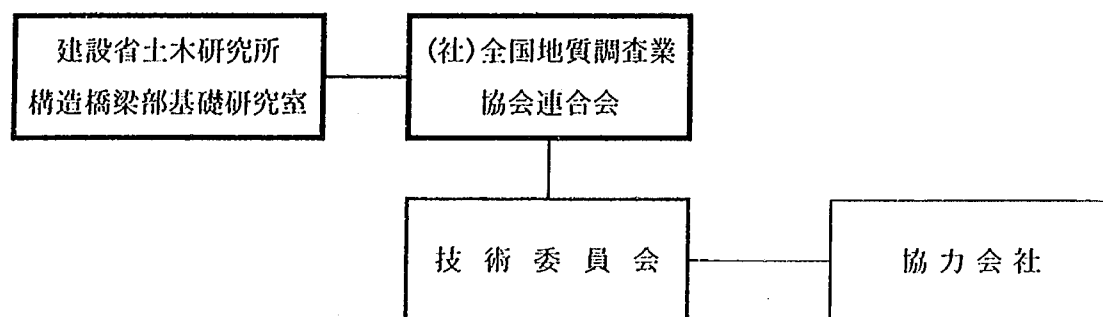
図－2.2 洗掘調査手法開発のフロー概要

そこで、基礎周辺の洗掘計測技術を開発することを目的として、基礎研究室と全地連で共同研究を行った。図－2.2に、洗掘調査手法開発の作業フローを示す。

- ・平成4, 5年度は、既存技術の文献調査、計測事例の収集を行い、橋梁基礎の洗掘調査が可能と考えられる機種について実橋梁で適用性試験を行った。その結果を基に開発する装置のイメージを作成し検討を行った。
- ・平成6年度は、前年度にイメージ化した開発装置について詳細検討を行った後、装置の製作を行った。装置について適用性試験、実証試験を行い問題点等の改良を行った。
- ・平成7年度は、開発装置の洗練、追加実証実験、とりまとめを行い洗掘調査手法の確立を行った。

3. 研究体制

平成7年度における研究体制を図－3.1に示す。共同研究は、建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室と(社)全国地質調査業協会連合会より行われている。なお、(社)全国地質調査業協会連合会の体制は、技術委員会と協力会社から構成されている。表－3.1に共同研究参加者の一覧表を示す。



図－3.1 研究体制（平成7年度）

表－3.1 共同研究参加者一覧表（平成7年度）

建設省土木研究所	構造橋梁部 基礎研究室 室 長 " " 研 究 員 " " " "	中野 正則 石田 雅博 大越 盛幸 田口 博文
(社)全国地質調査業協会連合会	専務理事(事務局)	矢島 壯一
(社)全国地質調査業協会連合会 技術委員会	応用地質(株) 企画部 部長 応用地質(株) 探査工学研究所 事業開発部 部長 川崎地質(株) 技術本部 部長 ダイヤコンサルタント(株) 物理探査部 部長 中央開発(株) 技術本部 次長 (株)東京ソイルリサーチ 総合試験所 特殊試験室 係長	横田耕一郎 原 徹夫 中田 文雄 藤原 八笛 鍛冶 義和 阿部 秋男
(社)全国地質調査業協会連合会 協力会社	(株)キュー・アイ タマヤ計測システム(株) (有)ファーストラジコン (株)フロンティア ニッケン産業(株) マリメックスジャパン(株)	泉 寿二 伊藤 光男 斎藤 浩一 甲斐 良鋪 早川 光雄 育村 由彦

4. 共同研究で開発した計測手法

現状の橋梁下部構造の洗掘に対する点検・調査は水上（ボート上）からポールなどを用いて河床深さを計測することが多く、詳細な調査が必要な時は潜水士による目視調査を実施している。しかし、点検箇所や点検数に制約を受けるうえ、危険が伴い、作業が大がかりとなり時間や費用を要するといった問題点を有していた。

そこでこれらの問題点を改善するために

①手軽にしかも簡単に計測することができ、計測結果をリアルタイムに確認できる手法

②仮設設備が簡単で、基礎や地盤に極力手を加えることなく計測できる手法

を開発することを目標として共同研究を実施した。新しい洗掘調査手法を確立するために、適用試験、実証実験を行い検証を行った。その結果、調査手法については短時間で河床形状が計測できる音波（音響測深）を使用した調査機器を中心に考えるものとした。また、これら計測機器を河川内の橋脚まで運搬する手段として、ラジオコントロールボート、橋梁点検車そして橋梁の高欄を使用する方法を選定した。

共同研究において開発した主な洗掘調査手法、計測手法は以下に示す3項目が上げられる。

- ・ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法
- ・橋上から測定機器を使用する洗掘調査手法
- ・音波探査を使用する計測手法

本章においては、各調査手法の調査方法、機器の性能、長所・短所および計測結果の考察等について記述する。

4. 1 ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法

ーラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法とはー

音響測深機を搭載したラジオコントロールボート（以下、「RCボート」という）を川岸で操縦し、計測対象範囲内を規則的に航行させ水深を測深するものである。測深されたデータは無線で川岸に転送されるようになっており、位置データとともにパソコンに取り込まれる。位置データはレーザートラックを使用して常にRCボートを追跡することにより取得することができる。

パソコンに取り込まれたこれらのデータを処理することにより、調査員が現場で直ちに河床形状を確認することができる。

4. 1. 1 システムの概要

RCボートを使用する洗掘調査手法のシステムを図-4.1に示す。

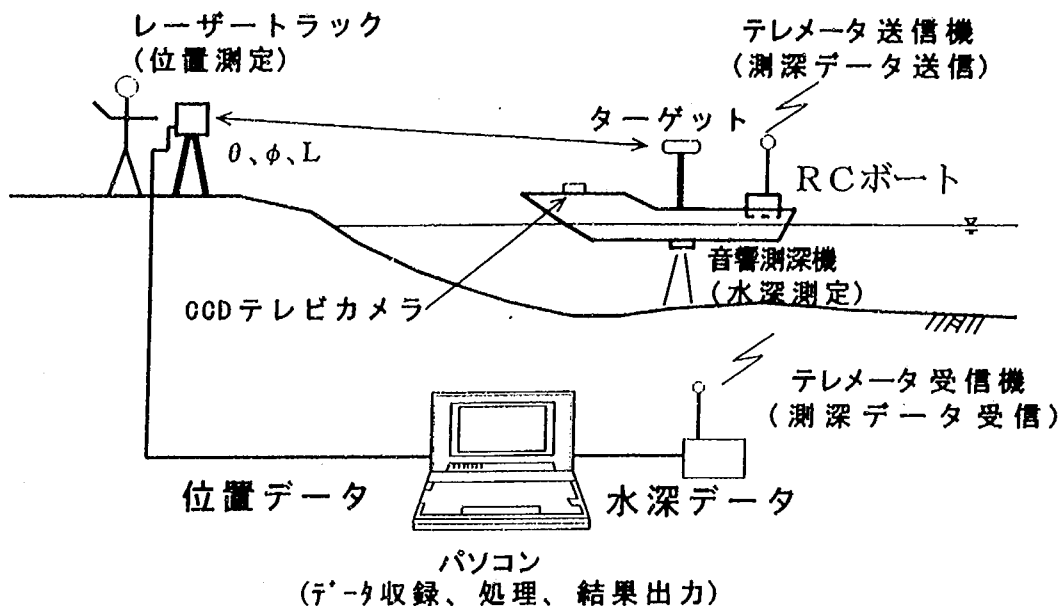


図-4.1 RCボートを使用する洗掘調査手法のシステム図

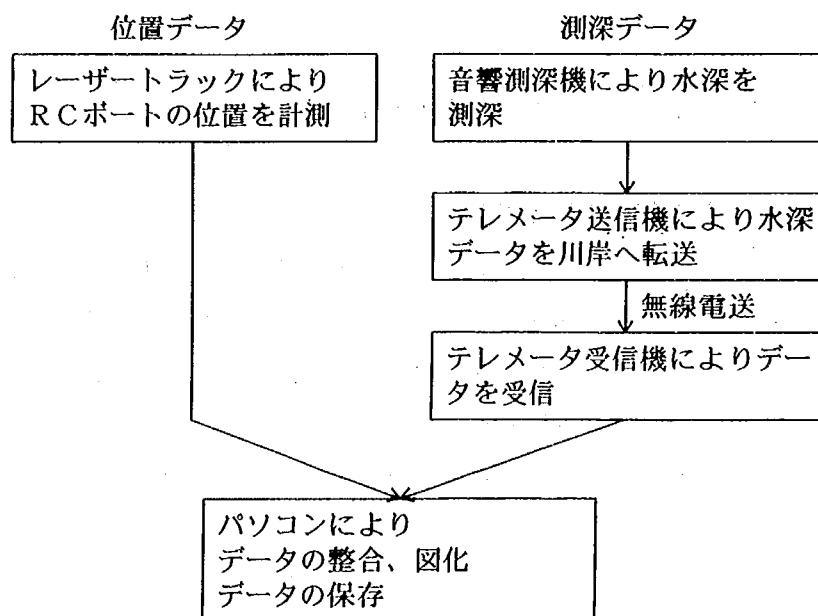


図-4.2 計測データの流れ

装置の構成は大きく3システム「水深測定」「RCボートの位置測定」「データの収録・保存（パソコン）」に分かれている。以下に各システムの概要について示す。

（1）水深測定

①音響測深機

音響測深機の送受波器から音波を単一方向（鉛直方向）に発射し、音波の往復する時間から水深を算出する。計測されたデータはデジタル水深値およびアナログ記録として出力される。

②テレメータ

テレメータは音響測深機から出力されるデジタル水深値を、RCボートからデータ収録・保存用パソコンに転送するために使用する。転送媒体に電波を使用しているためRCボートの移動を制限することはない。

RCボートには送信機を、パソコンサイドに受信機を配置する。

③パソコン

水深データと後述する位置データの整合・保存を行うためパソコンを使用して管理を行う。

（2）RCボートの位置測定

①レーザートラック

RCボートの航行位置を検出するために、川岸に設置した追跡基準点からレーザートラックを使用してRCボートを追跡する。計測した位置データは水深データ同様にパソコンに送られる。

②パソコン

位置データと水深データとを整合させる必要があるため、水深測定で使用しているパソコンに位置データを送り保存を行う。

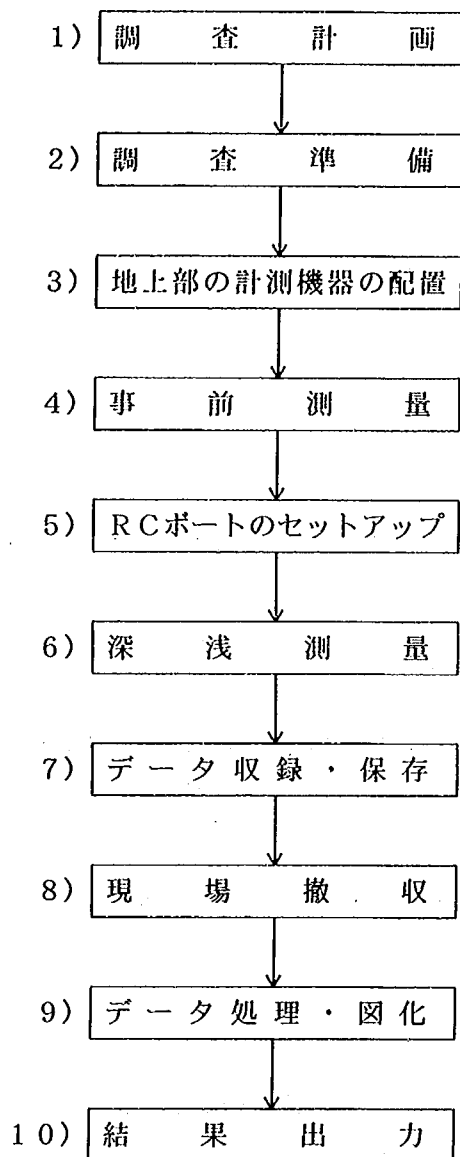
（3）データの収録・保存（パソコン）

水深データ（デジタル水深値）とRCボートの位置データを整合させ収録・保存する。

計測中はパソコンの画面にRCボートの航跡図、時系列配置の水深図等を表示する。また、計測終了後には2次元等高線図、3次元等高線図などをリアルタイムに作成することができる。

4. 1. 2 調査方法の概要

本調査手法の調査フローを以下に示す。



図－4.3 洗掘調査フロー

1) 調査計画

過去の洗掘調査結果、橋脚周辺の変状状況および河道の状況から調査を行わなければならない橋脚を選定する。

同時に、洗掘調査範囲、成果品の計測精度を決定する。

2) 調査準備

調査機器搬入前に事前踏査を行い調査地点の下見、計測基準点の仮設置を行う。

当日、事前踏査の結果に基づき調査機器の搬入を行う。

3) 地上部の計測機器の配置

追跡基準点周辺にレーザートラック、テレメータ受信機、パソコン等を配置する。

4) 事前測量

調査該当橋梁とRCボートが計測を行った箇所との相対的な位置関係を把握する必要があるため、事前測量により橋脚の位置、計測基準点の位置を計測する。

5) RCボートのセットアップ

RCボートに各種バッテリーを積込み、調査機器を立ち上げる。

6) 深淺測量

RCボートを水上に浮かべ、水深の計測を開始する。同時にレーザートラックを使用してRCボートを追跡する。

7) データ収録・保存

所定の計測範囲内を計測した後、または全ての計測が終了したら、「水深データ」「位置データ」をパソコンのハードディスクに記録・保存する。

8) 現場撤収

調査に使用した全ての機器を撤収する。

9) データ処理・図化

計測結果を図化するため、データを処理する。

10) 結果出力

2次元・3次元等高線図、任意の断面図を出力する。

調査の詳細については、参考資料1.4または「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書(その2) 共同研究報告書第136号 1995.12」を参照されたい。

4. 1. 3 使用装置の概要

本調査手法に使用する装置の機能説明および機器を選択する時の留意事項を以下に示す。

(1) RCボート

調査手法の開発案が具体化したところで研究用にRCボートを製作した。船体はベニヤ板で製作し、防水処理を施すためFRP(Fiber Reinforced Plastics)を使用して被覆した。本来ならばボートの船型を作成し、FRP製の船体とすべきであるが、船形が今後変更になる可能性があること、船型の単価が高価であることから今回の研究では見合わせた。FRP製の船体を作るためには、同型の船を数艇製作しなければ安価にはならない。

本共同研究にて作成したRCボート「いしずえⅠ」「いしずえⅡ」の構造を図-4.4、4.5に、外観を写真-4.1、4.2に示す。また、製作した2艇の性能比較を表-4.1に示す。

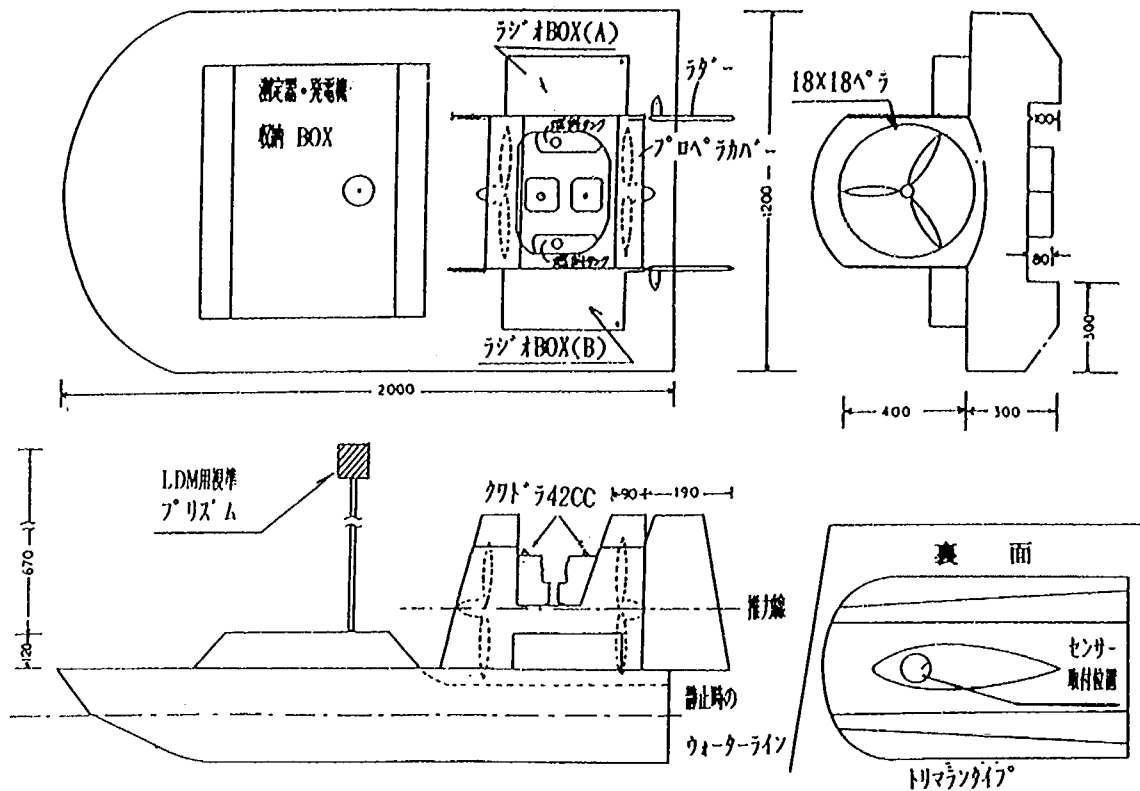


図-4.4 RCポート「いしずえ」構造

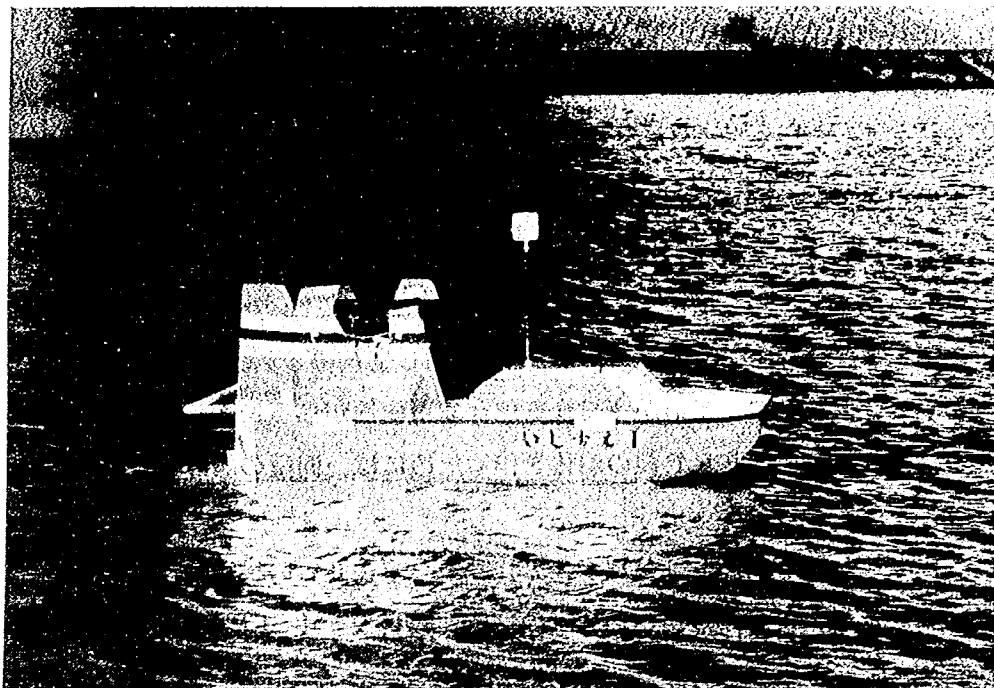


写真-4.1 RCポート「いしずえ」外観

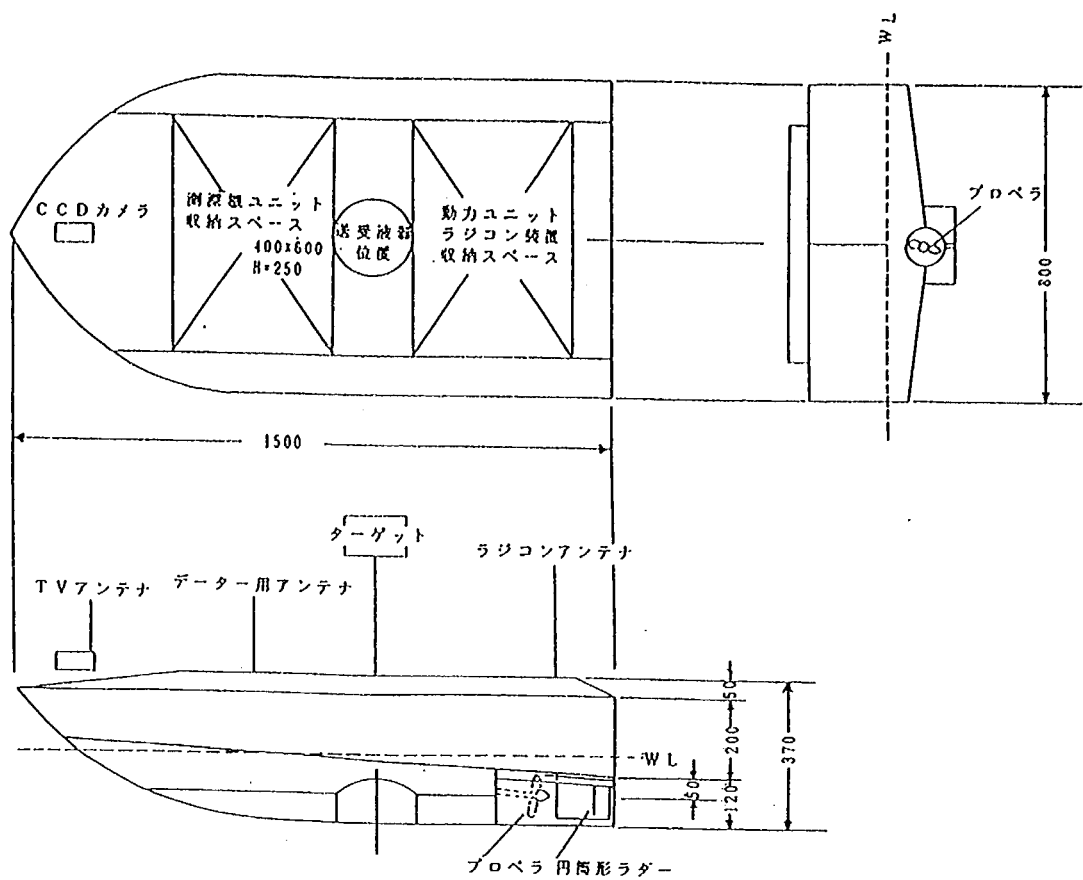


図-4.5 RCボート「いしずえII」構造

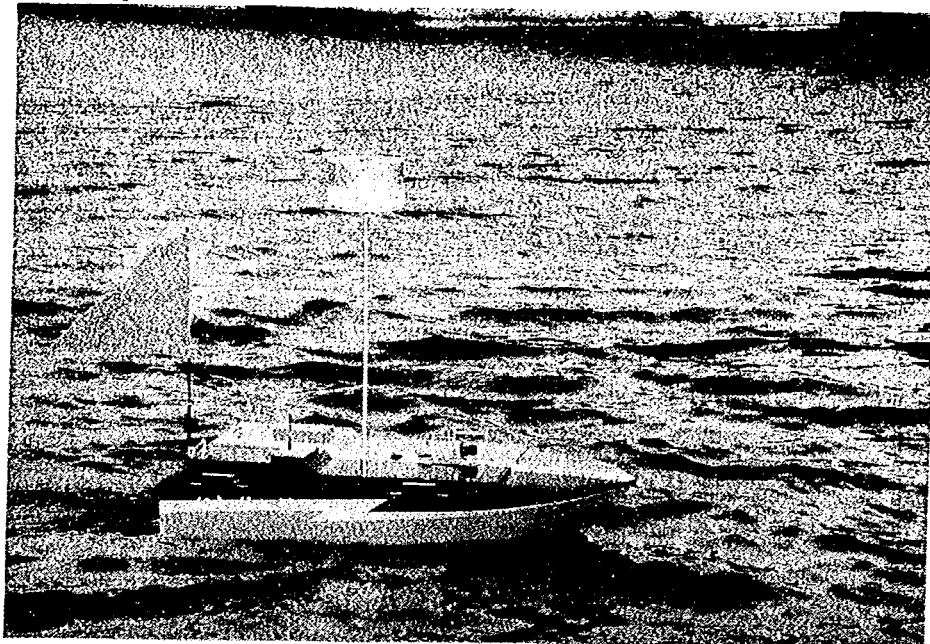


写真-4.2 RCボート「いしずえII」外観

RCボートは、過去の河床計測の研究論文、船艇製作者の意見等を参考に「いしずえⅠ」を製作し、実橋梁にて検証実験を行った。しかし、表－4.2に示す問題点があることが分り、実用化するためには改良し再度性能確認の実験を行う必要があることが判明した。そこで問題点をクリアするために「いしずえⅡ」として新艇を製作した。以下に問題解決のために行った検討内容について示す。

表－4.1 RCボート性能比較表

名 称	い し ず え Ⅰ	い し ず え Ⅱ
推 進 方 式	エアープロペラ	ダクト式水中プロペラ（スクリュウ）
全 長	2,000×1,200×750mm（突起物を含まず）	1,500×800×370mm（突起物を含まず）
重 量	艇体約57kgf 測定機器約18kgf 計約75kgf	艇体約20kgf 測定機器約10kgf 計約30kgf
動 力	クワドラ42cc×2基（エンジン）	DC-12V 30A 1基（モーター）
スクリュウ	180×80mm 3葉 正逆1対	2葉
起 動 源	ガソリン	DC-12V 40A 蓄電池

表－4.2 「いしずえⅠ」で発生した問題点

	問 題 点
1)	RCボートの推進力はプロペラが回転することによって生じる空気の流れから得ている。プロペラは変速機を介せずエンジンに直結する構造となっているため、前進できるものの後進できない。橋脚に船首から接触した場合、根固めブロックに乗上げた場合等離脱することができない。
2)	RCボートが大型で重量が75kgfもあることから、小運搬を作業員4名で行わなければならない洗掘調査を省人化することができない。また、RCボートの搬入・搬出についても3ナンバーのワゴン、トラック等を使用しなければ運搬できないため機動性に欠ける。
3)	プロペラから発生する空気の流れにより推進力を得ているため船側から強い横風を受けた場合、船首を風上方向に向ける習性がある。操縦に熟練を要する。
4)	プロペラが船体の上部に設置されているため、不用意に手、指等を入れてしまうと負傷する危険がある。
5)	エンジンの起動装置をRCボート艇体内に装備していないため、水上で停止した場合、再起動の手段がない。

- | | |
|----|---|
| 6) | 方向転換は推進力の空気の流れをラダーを使用して行っている。
RCボートが低速で進行している時には空気量が少なくなるため機敏に方向転換することができない。 |
|----|---|

各問題項目に対する解決方法

- 1) RCボートが後進できないという問題点については、動力の形態をガソリンにより駆動するエンジン方式から、蓄電池により起動するモーターに変更することにより解決した。モーターにすることにより、蓄電池からモーターに電気を供給する際、スクリューが正回転（前進）するように接続されていた回路を、リレースイッチを介し電極を逆にすることによりスクリューが逆回転（後進）するようになるからである。

前進後進の切替えは、RCボートを操縦する送信機のレバー1つで変更することができる。

- 2) RCボートが重くて運搬しづらい点については、新艇のボートを製作するとき可能な限り小型化することによって解決した。RCボートの小型化は今の技術を持ってすればいくらかでも可能であるが、船体を必要以上に小さくすると水上での安定性が低下すること、計測機器の重量配分が困難になること等を考慮するとやみくもに小型・軽量化することはできない。

小運搬時の省人化を図るため、RCボートに取り付けていた運搬用取手の位置を船側に4箇所、船首船尾にも1箇所ずつ設けることにより2名または3名で運搬できるようになった。

- 3) 横風の影響については、エアープロペラを使用して推力を得る方式からダクト式水中プロペラ（水中スクリュー）に変更することにより解決した。

また、「いしずえⅠ」では船体後方にエアープロペラを保護するためにカバーを取付けていた。そこに強い横風があたると船尾が風下におされその反動で船首が風上に向いていたことも考えられたため「いしずえⅡ」では船体の受風面積を小さくなるようにした。

- 4) プロペラに手、指等が挟まれると負傷または骨折する危険性があった。安全対策としてプロペラ全体を覆うようにカバーを設けるべきであるが、ガソリントankがエンジン直上に付いており給油する際スムーズに行うことができないこと、エンジンスタートを人手により行わなければならないことなどから設けることができなかった。この問題点については水中プロペラに変更することにより解決した。今後、エアープロペラで普及版を製作するときには、RCボートの重量が増大しないよう安全対策を施す必要が有る。

- 5) RCボートの重量を可能な限り軽量にするためエンジンスターターを装備しなかった。しかし実河川において低速走行させるとエンジンが停止するといった事態がしばしば発生し、その都度岸に引返し再スタートさせる必要があった。エンジン停止を防止するためにはある程度の出力で走行させるとよいが、計測時の最良走行値 1 m/s を超過してしまうため十分な精度の測量図を得ることができない。起動をモーター式に変更したことによりスターターを必要としなくなり、計測中RCボートが橋脚の影に入り操縦できなくなった時など、モーターを止め川の流れにまかせて脱出させるということが可能となった。

6) 空気が後ろに流れる力により推力を得ている方式のためラダーを水上部に取付けた。しかし、低速走行時は空気量が少なく左右展開など機敏に動くことができなかった。この問題点については、推進方法を水中プロペラに変更し、ラダーも水中に取付けたことにより解決した。

以上の解決策に基づき新艇の「いしずえⅡ」を製作し、再度実橋梁で検証実験を行った（参考資料1参照）。

再実験では、表－4.2に示した問題点が改良されているかどうかの確認を行った。RCボートを改良したことにより新たに発生した問題点などについても洗出しを行った。結果、上表に示した問題点はほぼ解決することができたが、船体、動力源を変更したことにより洗掘調査を行うにあたって若干の注意事項があることが判明した。調査全体としては「いしずえⅠ」よりも順調に洗掘調査を行うことができた。

表－4.3に洗掘調査時の注意事項を示す。

表－4.3 「いしずえⅡ」で生じた問題点と解決方法

問 題 点	解 決 方 法
起動に蓄電池を使用しているため、調査経過とともに蓄電容量が低下しモーターの出力が低下する。	1時間または1時間半ごとに蓄電池を交換する（データ収録ソフトウェアの収録時間が3600秒なので、ハードディスクにデータを落としている間に交換する）。
船体の上部に大きな突起物がないためRCボートが遠くに離れた場合、船首がどちらの方向に向いているか判断しづらい。	船尾に赤旗を設置しレーザートラック用のターゲットとの位置関係で判断する。 船首方向に向いているCCDカメラから送られてくる画像から判断する。
水中プロペラ（スクリュー）がモーターの出力に比べて小さかったため動力を有効に推進力に変換することができなかった。	船艇製作時にモーターの出力を効果的に推進力に変換できる大きさの水中プロペラにする。

RCボートに要求される性能は

- ・可能な限り小型、軽量であること
- ・安定性に優れていること
- ・防水性に優れていること
- ・航行推力に余裕があること
- ・スクリューにものが絡まらない構造とすること
- ・人体に危険を及ぼさないこと
- ・視認性の良い船体色とすること（左右の配色を異なった色にする）
- ・後進ができること

(2)音響測深機

河床深さを計測する機器を選定するために、数種の調査機器を使用して、適用性試験、実証試験を行った。これら試験の具体的な目標は、各機器（表－4.4）が保有している計測精度、および結果出力までの時間などを調査することである。この中で計測時間、精度、重量とも目標を満たしている音響測深機を選定しRCボートに搭載することに決定した。

実際に音響測深機をRCボートに搭載するためには以下に示すような条件をクリアする必要がある。

- ・RCボートへの負担を軽くするため「小型、軽量」であること。
- ・水深値をテレメータで転送する必要があるため「デジタル出力」ができること。
- ・水深の検証用に「アナログの出力」も可能なこと。
- ・RCボートが被水すること考えられるため機器に「防水処理」が施されていること。
- ・RCボートの送信器からも制御できるよう「スイッチのON, OFF等を遠隔操作」できること。

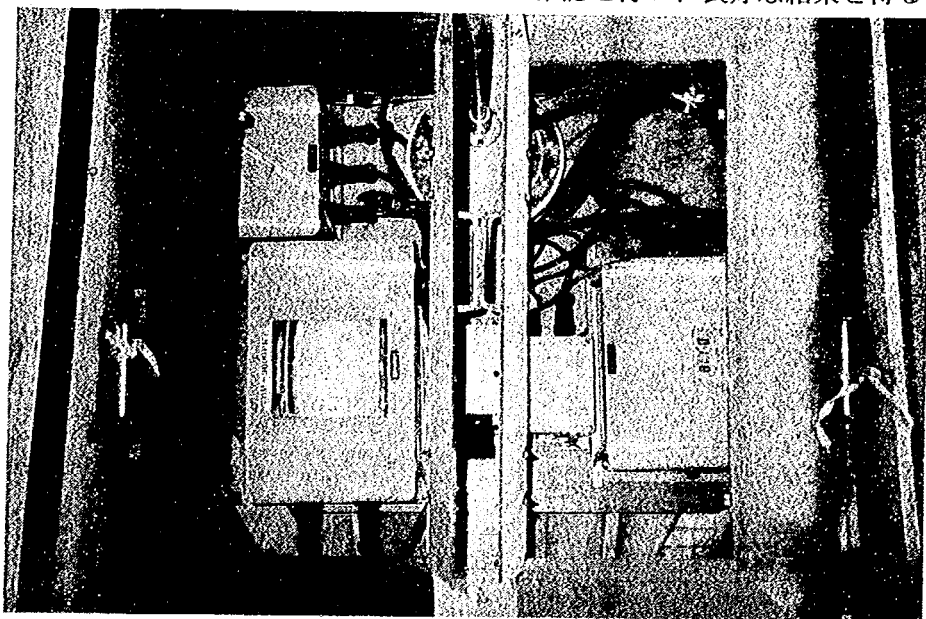
などが上げられる。

これら条件に合致した音響測深機を搭載するためには市販されている機器をそのまま用いることは不可能であった。そのため、カタログ、メーカーからの聞き取り調査等を行い優位なものを選定し、RCボートに搭載できるよう改良を施した。

主な改良点としては、

- ・重量配分を行い易くするため1つの筐体を「制御部」「デジタル信号部」「アナログ記録部」の3体に分解した。
- ・防水処理を施すため個々の機器を防水ケースに収納し、コネクタについても耐水性のものを採用した。
- ・遠隔操作させるために必要なスイッチ類をRCボートの受信器に接続した。
- ・小型、軽量の蓄電池を製作した。

以上の改良について、検証実験等で問題点がないかどうか確認を行い、良好な結果を得ることができた。



写真－4.3 改良後の音響測深機

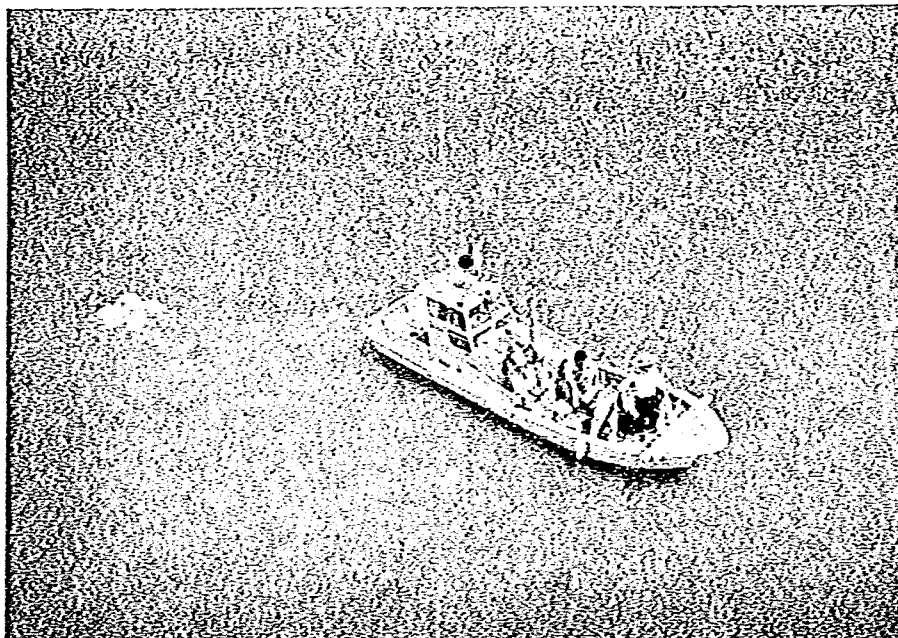
以下に計測機器を選定するにあたり行った適用性試験について記述する。

検証実験に使用した機器を表－4.4に上げる。機器はいずれも海洋で調査するために開発されたものであるため、計測可能深度が大きくなっている。特にサイドスキャンソナー、サブボトムプロファイラーはこの2種類の装置のセンサー部を同時に曳航して調査する必要がある、水深の浅い河川ではそのまま使用することはできない。そのため、センサー部に浮きを取付けて沈まないように工夫を施した。他の音響測深機、地下レーダーはセンサー部を船の舷側に固定して調査を行った。実験の様子を写真－4.4に示す。

表－4.4 検証を行った調査機器

使 用 機 器	使用周波数
サイドスキャンソナー	100KHz, 500KHz (2波同時測定可)
サブボトムプロファイラー	3.5KHz
音響測深機	600KHz
地下レーダー	30MHz～2.5GHzの 各種周波数可

表中に各機器の使用周波数を記述したが、音波（音響）は周波数が高くなるほど指向性に優れ、分解能が高くなる性質を持っている。そのため河床面を計測する場合には高い周波数を、また、河床下の地層構造を計測したい場合には低い周波数を使用するとよい。しかし、後者の場合、シャープさに欠けた記録となるため調査目的に適合したものを選定する必要がある。詳細は4.3音波探査の項を参照されたい。



写真－4.4 計測状況

調査機器の概要と検証結果

1) サイドスキャンソナー、サブボトムプロファイラー

河床面の状況を調査するサイドスキャンソナーと、地盤構造を調査するサブボトムプロファイラーが一体となったハイドロスキャン590システムを使用した。特に、サブボトムプロファイラーは二次堆積層を検出できる能力を有している。

測定結果は装置の記録紙上にプロットされ、これを編集（モザイク化）することにより、河床平面図や断面図を得ることができる。図-4.6にサイドスキャンソナーの記録を貼合わせたモザイク図と、サブボトムプロファイラーにて得られた河床断面図を合わせて示す。

本システムは

- ・ サイドスキャンソナーにより河床の底質状況、水中構造物の状況が把握できる。
- ・ 橋脚周辺が洗掘されている場合、記録に白い影として検出される可能性がある。
- ・ サブボトムプロファイラーは2次堆積層である緩い砂、泥層を把握することができる。

しかし、検証では底質が砂利であったため、河床以深へは音波が透過せず記録が得られなかった。

本装置は水深10m以深の深い水域で使用することを前提として製作されているが、簡単な艀装を施すことにより、水深1m近くの水域でも使用できることが確認された。

2) 音響測深機

音響測深機は超音波を使用した深浅機器の一種であり、水面近くの水中で超音波を発信して河床面からの反射波を検出し、発信～受信の時間差と水中の音波の伝播速度から水深を算出している。調査周波数に600KHzを使用したため指向性が高く半減全角度で3度となっている。測定した水深データは全て記録紙にアナログで記録されるようになっている。計測記録を図-4.7に示す。図中に見られる水深記録の二重部分は多重反射であって河床下の地層境界を検出しているものではない。

音響測深機の特徴として

- ・ 河床の形状を高精度で検出することができる。
- ・ 測深機の送受波器を真下に向けることによりピンポイントの水深を計測することができる。
- ・ 測定データをデジタル出力することにより、パソコンで容易に加工することができる。
- ・ データ解析に特殊な技術を必要としない

などが上げられる。

音響測深機の超音波は水温、特に媒体（この場合は河川水）の塩分濃度によって音速が変化するため計測精度に注意する必要がある。厳密な精度を要求されるような調査では、送受波機の下に板を設置し音速を補正する必要がある。この検定をバーチェックと呼ぶ。他に水温、塩分濃度を検査し図-4.8の補正表を使用する方法もある。

3) 地下レーダー

地下に電磁波パルスを放射し、反射・屈折・透過などの物理現象を利用して地下構造を探索するものであり、地下空洞、埋設管などの調査に用いられている。過去に本手法で河床形状を測定した事例もあり、測定条件が良好であれば河床面だけでなく、河床堆積物の層厚も捉えることが可能である。

計測結果は、カラーディスプレイに表示されるとともにサマールプリンタに出力され、さらに 8mm 磁気テープに記録される。

地下レーダー探索は、塩水中や粘土地盤のような比抵抗（電気伝導度の逆数）の低い地盤では電磁波の減衰が著しいため、調査不能になることが知られている。調査水域は河口付近で感潮河川ということもあり比抵抗が極めて低く水面下 2 m までしか計測することができなかった。

参考までに、地下レーダーの測定記録と同一河床の音響測深の測定記録と合わせ、図-4.9 に示す。地下レーダーの測定記録で a 部は河床を、b 部は水面と河床の多重反射波を、c 部は河床堆積物を示す。

地下レーダーの探索結果は、音響測深と同様に河床形状を明確に捉えられている上、河床面下の地層構造もある程度捉えることができることを示している。計測条件が良好であれば、地下レーダーは河床形状や地層構造の探索に有効であると考えられる。

表-4.5 に調査装置の特徴を示す。

表-4.5 調査装置の特徴

	長 所	短 所
サイドスキャンソナー サブボトムプロファイラー	- 一度の曳航で広範囲の調査を効率的に行える - 河床堆積物を調査できる - 装置を組み合わせることによって河床面と地層構造を把握することができる	- 機器の重量が重い - 艀装が大がかりとなる - 曳航に測量船が必要である - 結果の解析に熟練を要する - 曳航体を沈まないようにする必要がある
音響測深機	- 河床の形状を高精度で検出することができる - 点的な水深を計測することができる - 測定データをパソコンで容易に加工することができる - データ解析に特殊な技術を必要としない	- 機器の重量が重い - 調査に測量船を必要とする - 計測精度が水温、塩分濃度に左右される
地下レーダー	- 地層構造を調査できる - 調査目的に応じて周波数を変更できる	- 機器の重量が重い - 調査に測量船を必要とする - 結果の解析に熟練を要する - 媒体の塩分濃度に影響を受ける

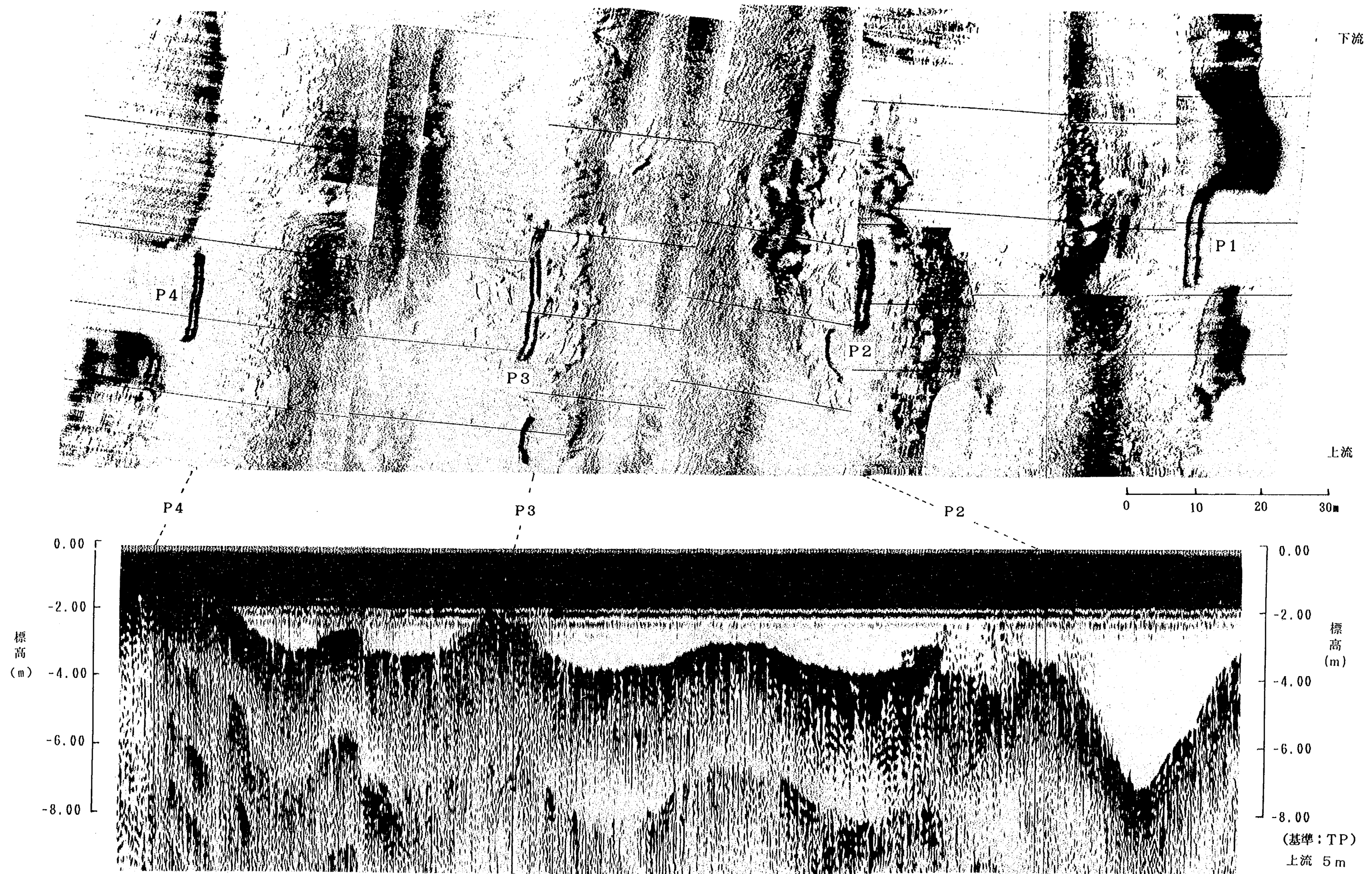


図-4.6 (サイドスキャンソナー
サブボトムプロファイラー) 計測結果

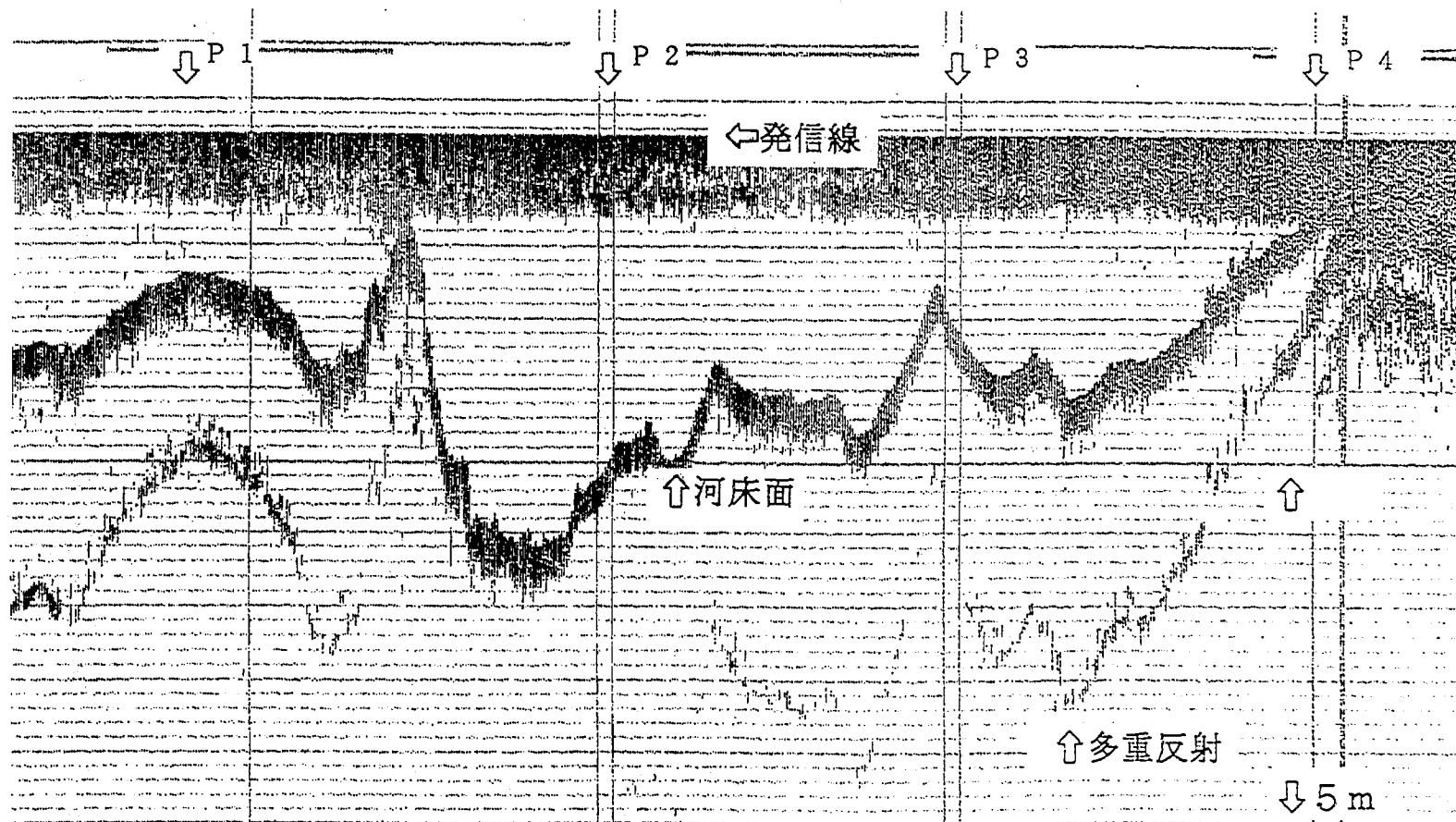


図-4.7 音響測深機計測結果

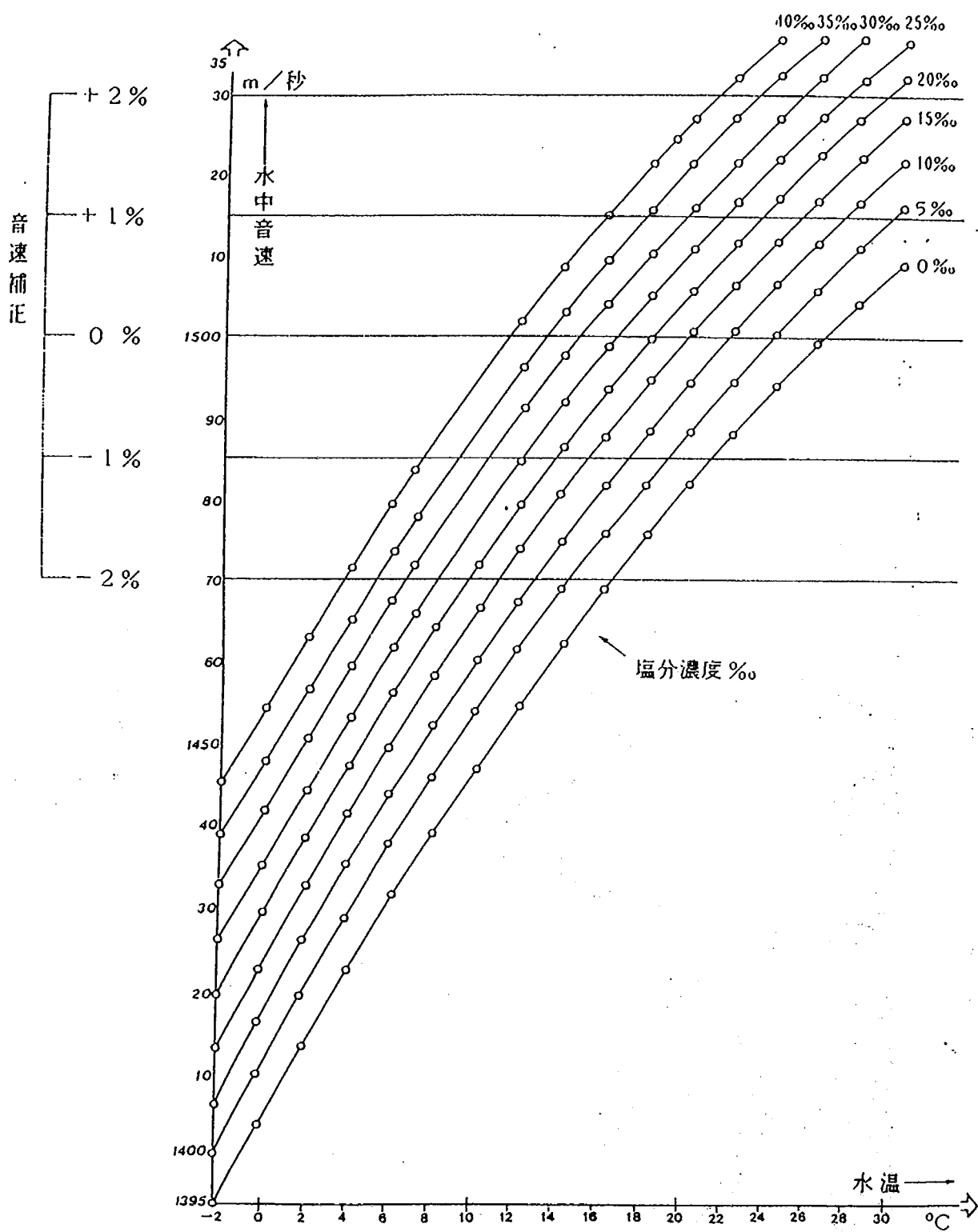


图-4.8 音速補正表

地下レーダー



音響測深

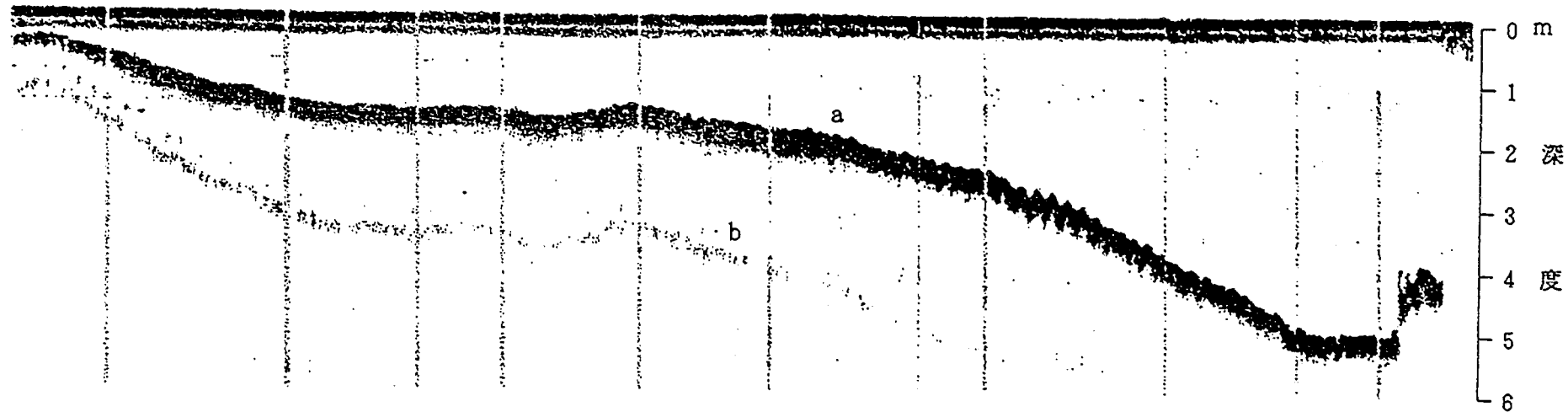


図-4.9 地下レーダー計測結果

R Cボートに搭載した音響測深機の性能について表－4.6に示す。

表－4.6 性 能 表

項 目	性 能
機器構成	制御部 160×260×100mm 2kgf以下
	デジタル信号部 (制御部に含まれる)
	アナログ記録部 200×200×120mm 5kgf以下
	送受波器 φ120mm 1kgf以下
音響周波数	200KHz
測定可能水深	0.5～100m
測定精度	±2cm±水深×1/1000
送受波器の指向角	半減全角 約6度
測深間隔	0.5秒に1回以上
デジタル出力	RS-232C 2,400bps

R Cボートに搭載する音響測深機に要求される性能は

- ・浅層においても計測できること
- ・高精度で計測できること
- ・操作が簡単であること
- ・小型、軽量であること
- ・デジタル出力が可能なこと
- ・防水処理が施されていること
- ・スイッチのON, OFF等を遠隔操作できること

(3)テレメータ

音響測深機で計測した水深データをパソコンで処理するために川岸へ転送する必要がある。転送する手段を考案するにあたり第一に考慮しなければならないのは、RCボートの航行に支障を与えない装置としなければならない点である。そのため、電波を使用して転送する方式を採用した。この時点で注意しなければならない事項は、RCボートの操縦用の周波数とテレメータの周波数が近接していたり、低い周波数の整数倍にあたるところにもう一方の周波数が該当しないことが重要である。

電波を使用することによる利点は、RCボートの行動範囲を制限しないという他に、計測した水深データがパソコンに取り込まれるまでの時間差がほとんどないこと。装置本体が軽量で操作が繁雑ではないこと、などが上げられる。

今回製作したRCボートには特定小電力型のものを使用した(写真-4.5)。特定小電力は出力のパワーこそ小さいが、装置の操作に免許が不要なこと、使用箇所に制限を受けないためどのような所でも使用できること、マルチチャンネルの中から使用していない周波数を選び出してデータを送信することから混信が極めて少ないことなどの利点がある。送信出力が小さいことによる弊害対策としては、受信側のアンテナを高くし見通し距離を良くすることによって解決することが実験により確かめられている。また、RCボート操縦用の送信機の電波が届く範囲も限られているためRCボートが行動する範囲内では問題は生じないと考えて良い。

もし大出力のテレメータを必要とするときには、簡易無線を使用するとよい。しかし、簡易無線を使用するには免許が必要なこと、諸官庁の許可を得なければならないなど繁雑な手続きを必要とする。

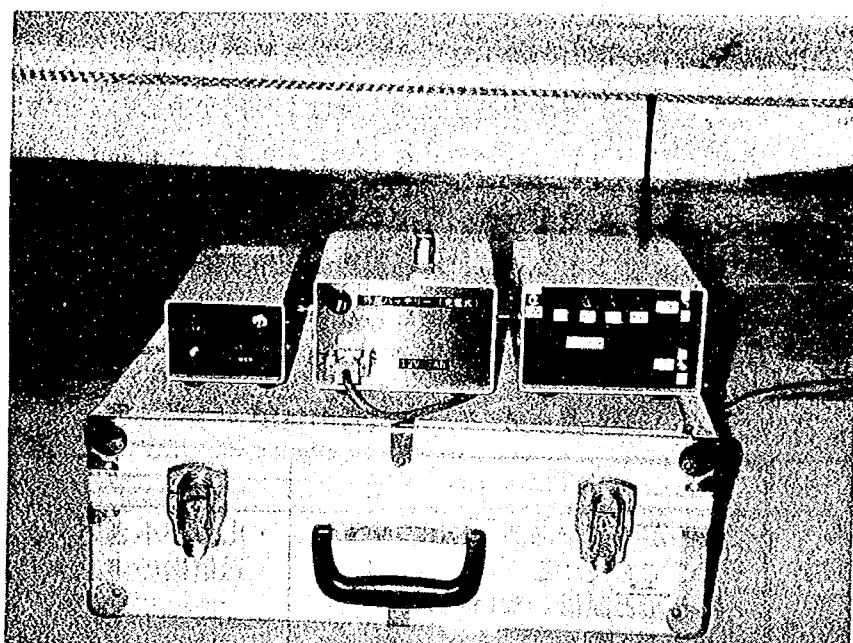
表-4.7 各装置の特徴

	長 所	短 所
特定小電力	・免許が不要である ・どこでも使える ・ほとんど混信しない	・出力が小さい ・送信機のアンテナを改良できない
簡易無線	・出力が大きい ・アンテナを改良できる ・通信距離が大きい	・免許を必要とする ・使用地域が限定される ・混信しやすい ・使用機器の検定を受けなければならない

R Cポートに搭載したテレメータの性能について表－4. 8に示す。

表－4. 8 性 能 表

項 目	性 能
通信方式	連続通信方式
周波数帯	400MHz帯
通信距離	5, 000m
空中線電力	10mW
通信速度	2, 400bps
受信部出力	RS-232C 2, 400bps



写真－4. 5 テレメータ受信機
(一番右はし)

(4) レーザートラック

本手法では調査基準点と調査橋梁の相対的な位置関係を把握するために行う事前測量と、RCボートの測深位置（位置データ）を収得するために行う測量の2つを行わなければならない。この2つの測量を異なった機械を用いて行うと作業が繁雑になること、現場に持ち込む調査機器が多くなり省人化することが難しくなることなどから、1台で双方の測量ができる機器を選定する必要がある。

測量機器に要求される性能としては

- ・ RCボートを逐次追尾することができること。
- ・ 測量データをデジタル信号として出力できること。
- ・ ある程度の距離をノンプリズムで計測できること。
- ・ 操作が簡易であり、小型であること。

などである。

以上の項目をほぼ満足する機器として「レーザートラック」を選定し使用することとした。レーザートラックは光波測距システム的一种である。計測にレーザー光を使用しているため測距精度が $\pm 4\text{ cm}$ と在来機に比較して格段に向上している。また反射鏡を使用しなくとも400mまで計測することが可能なため、橋脚天端に反射鏡を設置しなくても標高を計測することができる。この機能により計測員が反射鏡を携帯して橋脚天端に上がる必要がないため落水等の危険を回避することができる。

レーザートラックの追尾方式には自動式と手動式がある。自動式は計測開始時に視準をRCボートのターゲットに合わせると自動的にターゲットを追尾し続ける。しかし、一度目標を見失ってしまうと自動的にリカバーすることができないため、RCボートが大きく動揺したとき、橋脚の影に入ってしまったときなどは人手によって再度視準し直す必要がある。開発した手法は橋脚周辺の洗掘を調査することを目標としているため頻繁に橋脚の影に隠れることが予想される。そのため、リカバーの行いやすい手動式のレーザートラックを使用して追尾することとした。

RCボートの位置の検出について、下記に記述した装置についても適用することができないか検討を行った。しかし、本システムに使用する計測方法として適していないことが判明したため採用を断念した。

1) GPS (Global Positioning System)

GPS人工衛星から発信される位置情報を受信し現在計測している場所を検出する装置である。

洗掘のデータ解析に使用できる計測精度を得るためには、GPS受信器から常に3個以上の衛星を見通せることができること、基地局と移動局を用いて互いの誤差を修正する必要があることなど制約が大きい。また、洗掘調査は橋梁上部構造の下で行うことから常に衛星を補足することができるかどうか確約できない。計測データの管理をボート上で行うことになるため、計測終了までデータが正常に収録されているかどうか判断できない、などの問題がある。

2) トライスポンダ

船舶に搭載した主局と既知の地点に設置した従局間の見通し距離を測定する装置である。測定にはマイクロ波を使用する方式と音響を使用するタイプがある。

この検出手法は装置本体を船上に配置しなければならないため、重量制限のあるRCボートには向か

ないと考えられる。また、橋脚等の影になると検出できなくなるため従局を数点設置する必要がある。
運用は許可申請が必要となるので適用は容易でないと考えられる。

3)三角測量

従来の深淺測量で測量船を検出する手法としてよく用いられている測量方法である。

この手法は計測に2名を要するため省人化に逆行すること、RCボートが逐次移動するため従来型の
測距儀では追跡することが不可能なこと、データ解析に時間を要することなどから採用しなかった。

使用したレーザートラックの性能について表-4.9に示す。

表-4.9 性能表

項 目	性 能
本体	防塵防水型
測距精度	±4cm
分解能	2cm
測距範囲	反射鏡なし 約400m 反射鏡あり 約10,000m
計測時間	0.2秒
鉛直角	精度 0.01度、測定範囲 ±60度
水平角	精度 0.01度、測定範囲 360度



写真-4.6 レーザートラック

(5) R C ボート操縦用送信機

R C ボートの操縦用送信機については(財)日本ラジコン電波安全協会の規定に適合したものを使用し、操縦しやすいものを採用した。

送信機のチャンネル数は、遠隔操作しなければならない機器のスイッチ数を勘案し、それ以上の能力を有しているものを選定した。今回製作した R C ボートの中で遠隔操作を行わなければならない項目は以下の通りである。

- ・ 前進・後進の切替え
- ・ 速度の切替え
- ・ 右転・左転の切替え
- ・ 測量機器用バッテリーの接, 断
- ・ 音響測深機のカットマーク ON, OFF
- ・ C C D カメラの ON, OFF

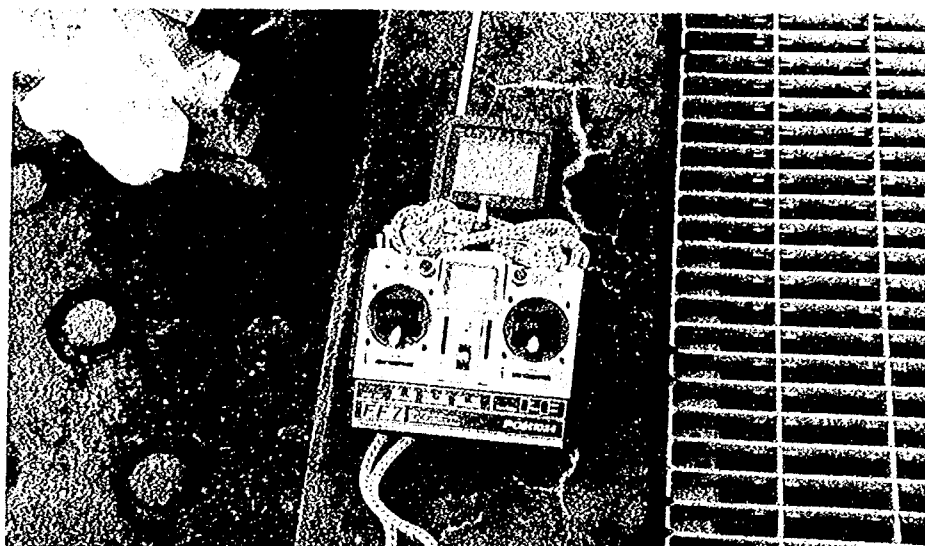
この他に制御を行こないたい項目がある場合には順次チャンネルを割り当てていく。

R C ボート操縦中に他の誘導電波と混信してしまうと受信機が飽和し操縦不能に陥ってしまう。そのため、使用する周波数は業務専用のものを使用しホビー用と区別する。調査開始前に陸上で R C ボートの電源を入れ、他の電波を受信し暴走したりしないか確認する必要がある。「いしずえ I」を用いて行った調査では、他の誘導電波と混信したときのためを考慮して操縦システムを 2 系統用意し実験を行った。しかし、お互いの送信機を近接して配置してしまったため電波が干渉してしまい逆に暴走を招く結果となってしまった。その後、送信機を 1 台としたところ暴走することは皆無であったため、1 台の送信機で行うことが望ましい。もし 2 台使用するには間隔を離すなどなんらかの対策を施す必要がある。

使用した送信機の性能について表-4.10 に示す。

表-4.10 性能表

項 目	性 能
チャンネル数	7ch
周波数帯	40MHz帯
送信距離	地上 500m、空中 1,000m



写真－４．７ （ ＲＣボート操縦用送信機
ＣＣＤ用テレビカメラ ）

（６）テレビカメラ（ＣＣＤ）

ＲＣボートの前方を操縦者が確認できるよう船首にＣＣＤカメラを取付けた。

初めに製作した「いしずえⅠ」は後進できないという構造的な弱点を有していたため、ＲＣボートが橋脚の影に隠れてしまうと慎重に操縦し可視範囲に誘導するしかなかった。新艇を製作する際には動力を変更し後進できるよう改造したが根固めブロック等が敷設されているよう箇所でもやみやたらに航行させると座礁させてしまう危険性がある。そのため、操縦者が危険箇所から離脱操作を行いやすいようにするためＣＣＤカメラを装備した。

使用したテレビカメラ（ＣＣＤ）の性能について表－４．１１に示す。

表－４．１１ 性 能 表

項 目	性 能
撮像素子	インターライン型ＣＣＤ固体撮像素子
解像度	450本
ホワイトバランス	自動／マニュアル
送信周波数	ＵＨＦ帯
消費電力	2.5W

(7) 拡張BOX

音響測深機から送られてくる「水深データ」と、レーザートラックから送られてくる「位置データ」をパソコンに収録する必要がある。

洗掘調査に使用するパソコンは調査手法に機動性を持たせるためノート型パソコンを使用することを基本としている。しかし、ノート型パソコンにはRS-232C端子が1口しかついていないため2つのデータを同時に収録することができない。そのため、各々のRS-232C端子から送られてくるデータをノート型パソコンの拡張I/Oバスコネクタから入力できるようにデータ変換する拡張BOXを介在させる必要がある。

近年のノート型パソコンにはRS-232C端子、拡張I/Oバスコネクタが付いていないため、機種選定にあたって注意を要する。

使用した拡張BOXの性能について表-4.12に示す。

表-4.12 性能表

項 目	性 能
入力	2ch (RS-232C端子)
出力	1ch (拡張I/Oバスコネクタ)
ボーレート	75~9600bps
消費電流	5V 550mA、12V 30mA

4.1.4 洗掘調査

洗掘調査の方法については図-4.3に概要を示しているが、調査の詳細については本巻参考資料1.4、または「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書(その2) 共同研究報告書第136号 1995.12」を参照されたい。

4.1.5 調査結果

本技術開発で製作した「データ収録ソフトウェア」「データ図化・処理ソフトウェア」を使用することにより図-4.10、4.11に示す計測図を表示させることができる。

河床図を作成するにあたり、密に計測することにより精密な河床を描けることはもちろんのこと、ある程度粗な計測を行っても、データ図化処理ソフトウェアを使用することにより滑らかな河床図を作成することができる。

地形情報等可視化処理 <2D図化>

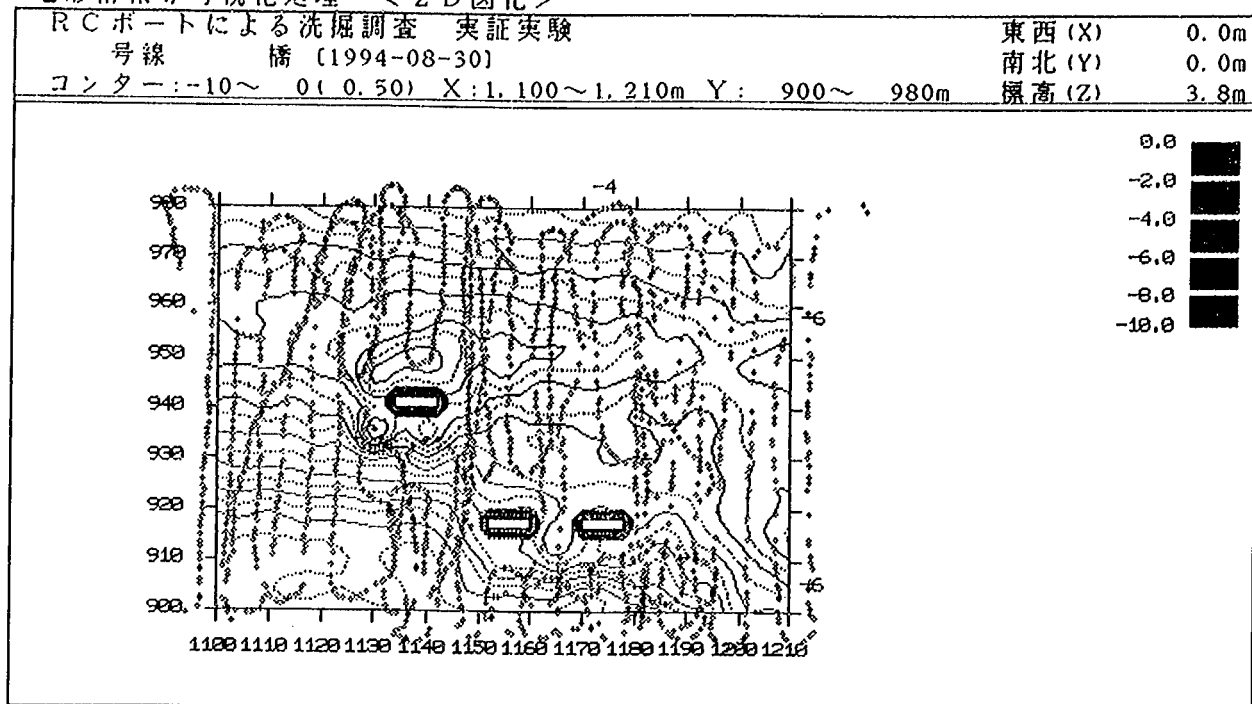


図-4.10 河床の2次元等高線図

地形情報等可視化処理 <3D図化>

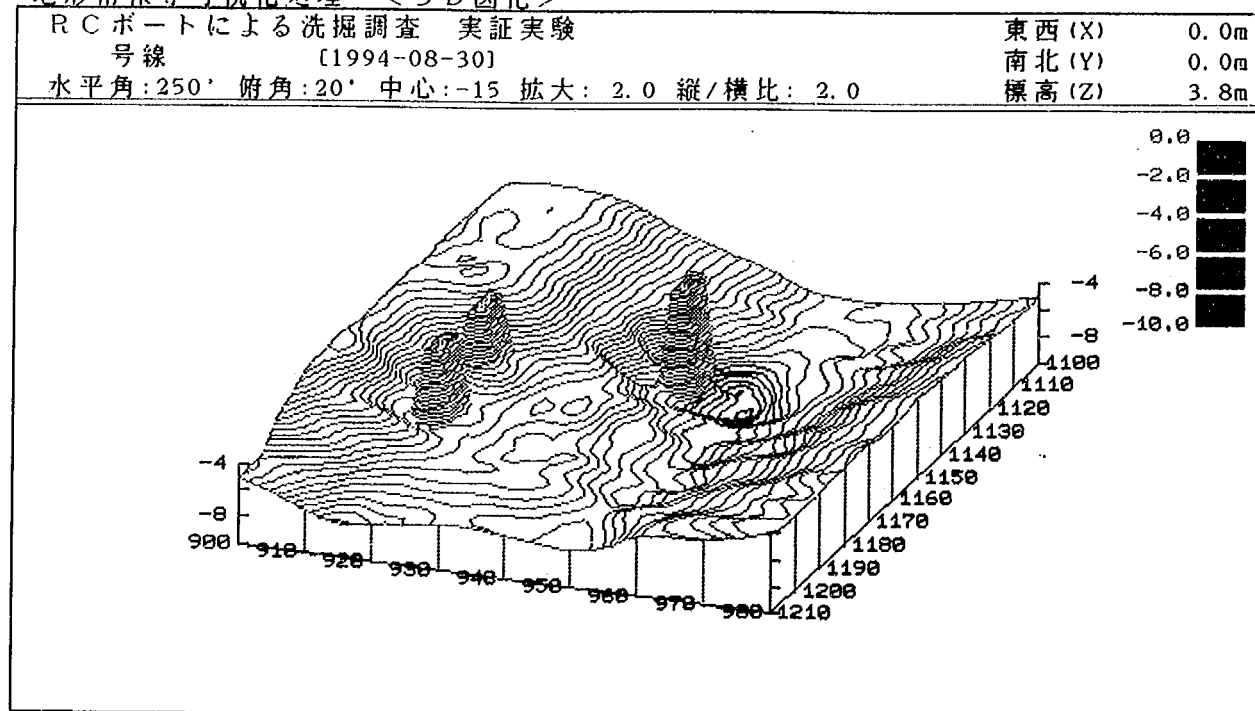


図-4.11 河床の3次元等高線図

4. 1. 6 調査人員・時間

R Cボートを使用して橋脚周辺の洗掘調査を行うときの必要調査人員を表－4. 1 3に示す。

表－4. 1 3 調査人員および時間

作業項目	必要人員	所要時間
準備	3名	60分
事前測量	レーザートラック操作 1名 反射鏡設置 1名 パソコン操作 1名	30分
深浅測量	R Cボート操作 1名 レーザートラック操作 1名 パソコン操作 1名 R Cボート誘導員 1名 ¹⁾ 船舶監視員 2名 ²⁾	120分
片付け	3名	30分
1パーティー	最低人員 4名	240分

¹⁾ 1名では誘導しきれない河川では2名計上

²⁾ 一般船舶が航行する河川で行う場合には必要により計上

※調査対象範囲

測量範囲：170m（橋軸方向）×100m（橋軸直角方向）

橋脚数：6基

追跡基準点数：4箇所

4. 1. 7 検証実験実施場所一覧

「ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法」についてシステムの有効性を確認するため実橋梁の基礎に対して検証実験を行った。

表－4. 1 4 検証実験一覧

路線名	橋梁名	河川名	実施時期
一般国道17号 新大宮バイパス	笹目橋	荒川	平成6年8月
一般国道4号	利根川橋 利根川橋新橋	利根川	平成7年1月
一般国道14号	小松川大橋 新小松川橋	荒川	平成7年8月

4. 1. 8 まとめ

ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法を開発するため、各調査機器に要求される性能のリストアップを行い、使用可能機器の性能比較、および適用実験等を行い最終的に「いしずえⅡ」を完成させた。

R Cボートを使用する洗掘調査手法は、橋脚周辺の河床状況を高精度かつ迅速に調査する方法として適していると考えられる。特に橋脚と橋脚の間、橋脚と護岸との間に落筋が発生しているような河川では、河床の状況を的確に調査することが可能である。また、河川一般部の洗掘調査にも使用することができると考えられる。

調査手法の開発を行うにあたり、従来用いられている深淺測量よりも、より少ない人数で短時間、かつ高精度に計測できることを目標として行ってきた。R Cボート使用する洗掘調査は、数度にわたり行った検証実験結果よりこれらの目標を達成できることを確認した。

4. 2 橋上から測定機器を使用する洗掘調査手法

橋上から測定機器を使用する洗掘調査手法とは橋上から計測機器を水中、水面上に降ろし、橋脚近傍の河床状況および橋脚躯体水中部の劣化、損傷状況を把握する方法である。

本調査手法の開発は「計測装置の設置手段」と「既存の計測技術」をいかに組み合わせて橋上から安全で手軽に、しかも簡単に計測が行えるかを考慮した。

計測装置の設置手段には、

- ・仮設足場を用いる方法
- ・橋梁の高欄越しに行う方法
- ・橋梁点検車の作業台から行う方法

等があげられる。

既存の計測技術には、

- ・河床形状の計測（音波を利用した方法、電磁波を利用した方法）
- ・部材の損傷調査（弾性波を利用した方法、磁気探査を利用した方法、水中テレビカメラを利用した方）
- ・地層構造の調査（音波を利用した方法、電磁波を利用した方法、サウンディング的方法）

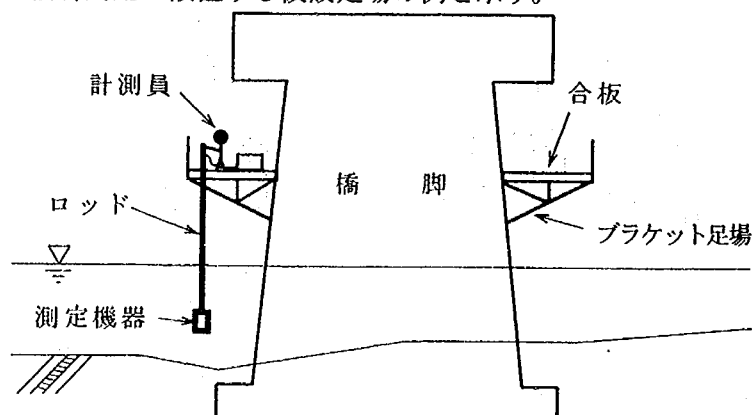
等があげられる。

4. 2. 1 計測装置設置手段

橋梁基礎周辺の河床形状、部材の損傷、地層構造の調査を行う計測手段として、従来の船上から計測する方法に比べて橋上から行う方法は安全に作業が行える方法と考えられる。橋上から計測装置を設置する手段として、「仮設足場を用いる方法」、「橋梁の高欄越しに行う方法」、「橋梁点検車の作業台から行う方法」について以下に記述する。

（1）仮設足場を用いる方法

図－4. 1 2 に橋脚周辺に設置する仮設足場の例を示す。



図－4. 1 2 橋脚周辺に設置する仮設足場の例

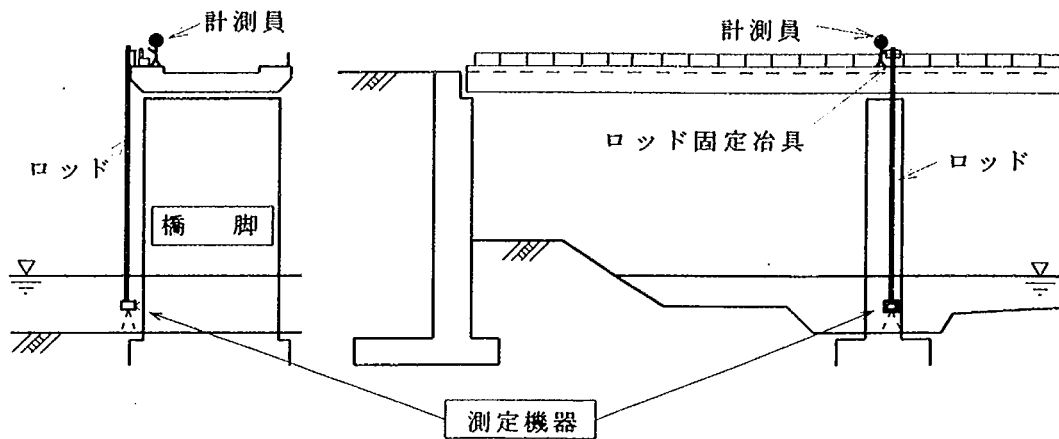
仮設足場を用いる方法は橋脚周辺に足場を設置し、足場を作業場所（測定台）として計測を行う方法である。架設は水上作業ならびに高所作業であるため、手間がかかる作業であった。しかし、設置された足場は橋脚に直接固定されているため安定しており、計測員は安全に作業を行うことができた。

設置は吊り足場架設→アンカー打ち込み→ブラケット取り付け→足場・手摺取り付けの手順で行った。

測定機器の投下場所を簡単に換えられることから、カラーイメージングソナー、水中テレビカメラ、地下レーダー、スウェーデン式サウンディングの測定に有効な測定台である。

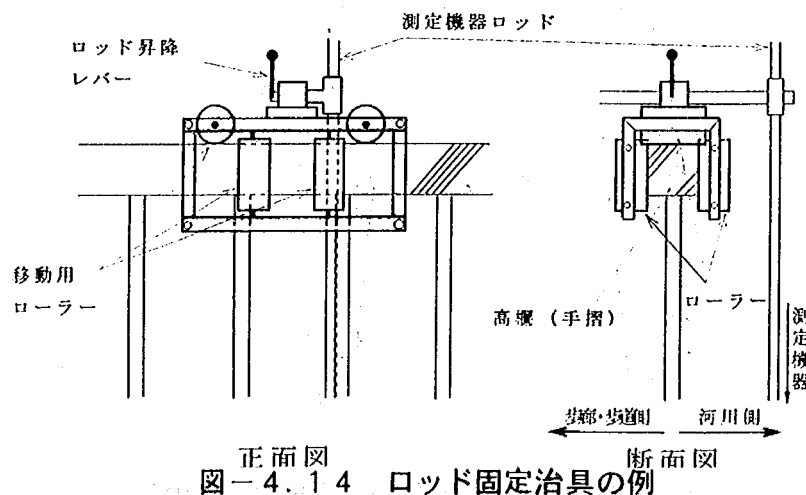
（２）橋梁の高欄越しに行う方法

図－４．１３に橋梁の高欄越しに行う方法の概要を示す。



図－４．１３ 橋梁の高欄越しに行う方法の概要

橋梁の高欄越しに行う方法は橋の高欄にロッドを固定する治具を設置し、ロッドの先端に取り付けた測定機器を所定の位置に降ろして計測を行った。本手法の問題点はロッドを固定する方法とロッドの強さ（剛性）である。図－４．１４にロッド固定治具の例を示す。



正面図 断面図
図－４．１４ ロッド固定治具の例

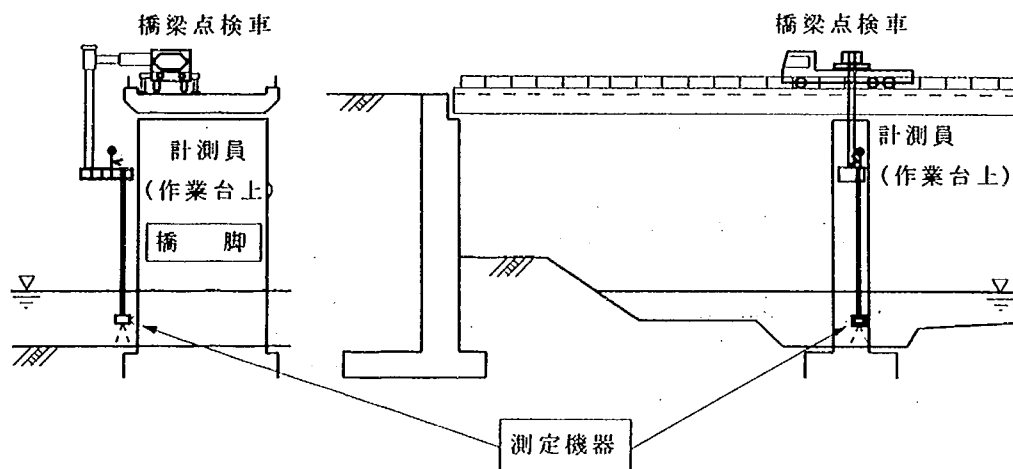
固定治具の要求される機能としてはロッドの固定と高欄上をスムーズに移動できることである。ロッドの固定はレバー式クランプ等を用いて、固定、開放の操作がしやすい構造にし、治具の高欄上部・側面部にローラーを装着させることでスムーズに移動させることができる。

ロッドは人力で昇降させるので、軽量なアルミ製合金パイプを使用した。検証実験では川の流れがゆるやかであったためロッドのたわみは少なかった。川の流れが早いときは水中部の計測機器およびロッドとの抵抗が大きくなるので、ロッドの断面剛性を検討する必要がある。また、橋面から水面までの高さが高い場合も同様である。逆に流れが遅く、水面までの高さが低い場合は今回使用した固定治具を使わずに人力で計測が行えると考えられる。

本方法は計測員が直接測定機器を計測箇所へ降ろして計測するので、作業範囲は狭くて良く、また、交通規制を必ずしも必要としない簡便な方法であり、カラーイメージングソナー、地下レーダーを使用する方法に適している。

(3) 橋梁点検車の作業台から行う方法

図－4.15に橋梁点検車の作業台から行う方法を示す。



図－4.15 橋梁点検車の作業台から行う方法

橋梁点検車の作業台から行う方法とは点検車に搭載した作業台を橋脚近傍まで移動し、作業台を測定台として計測機器を川中に降ろして計測を行う方法である。橋梁点検車とは橋梁の上部構造下面、橋脚等を点検できる作業台を搭載した作業車である。

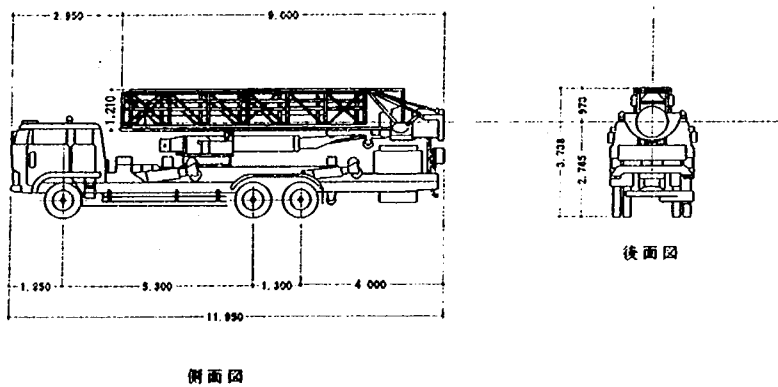
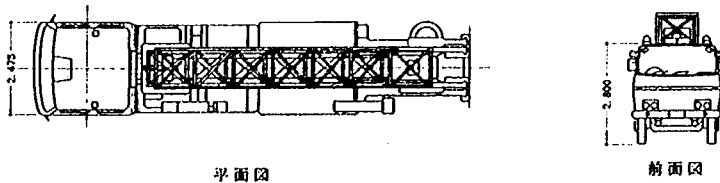
点検車に必要な構造は、計測員、計測機器を積載し、橋脚近傍まで移動できる能力を有することである。検証実験では、様々な仕様の作業台を有する点検車の中から、計測員2名、計測装置を積載できる能力を有する広い歩廊を搭載した点検車を選択した。ロッドの固定には図－4.14に示すような固定治具を作業台の手摺に取り付ける必要がある。

実証実験で使用した橋梁点検車について、表－4.15に仕様、図－4.16に一般図を示す。

表-4.15 橋梁点検車の仕様

項目	仕様
形式	歩廊式
点検範囲	橋梁下側：0～10.3 m、橋梁側部：0～5.0 m
歩廊積載重量	200 kg
大きさ	(全長)11,950×(全幅)2,475×(全高)3,738 mm、車両総重量 19,785 kg
乗車定員	7名
各部構造	
(1)脚アーム	形式(鋼製箱型溶接構造)、俯仰角度 0～15度
(2)垂直アーム	形式(アルミ合金箱型溶接一体構造)、ブーム長(8,569 m) 昇降方式(油圧ウインチロープ巻取式)、巻上・巻下(5 m/min)
(3)歩廊回転装置	歩廊回転装置(単列スラストボールベアリング支持)、旋回方式(油圧モーター、歯車減速)
(4)点検歩廊	点検歩廊(アルミ合金製トラス構造1段伸縮形)、伸縮方式(モーター)

走行時



作業時

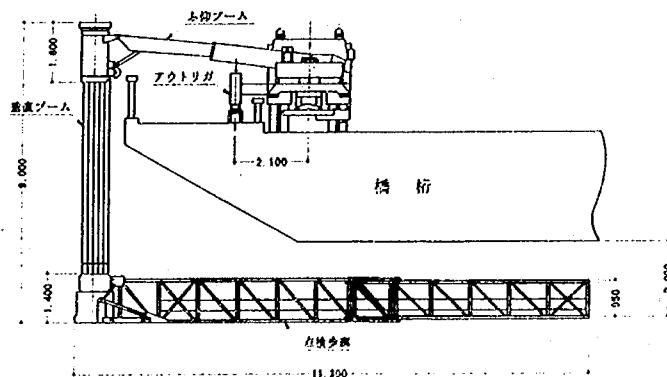


図-4.16 橋梁点検車一般図

歩廊式の橋梁点検車の特徴としては、

- ① 作業台（歩廊式）が装備されているので、任意の箇所での点検が容易である。
- ② 計測員は橋梁高欄から歩廊に移乗すると垂直方向と旋回による移動のみであるため、安定感が高い。
- ③ 各種の安全装置を装備している。
 - ・アウトリガーを装着しており、横転を防止する構造となっている。
 - ・緊急停止スイッチにより各動作が即時停止する構造になっている。
 - ・点検車側操作盤と歩廊操作盤の間はインターホーンによって作業状況の確認や緊急時の連絡が可能である。

点検車の仕様を決定するために必要なデータとしては車道縁端から歩道端部までの幅、高欄上部から橋脚天端までの距離、橋脚天端から作業台設置高さまでの距離、積載重量である。

橋上に点検車を停車させ作業を行わなければならないため交通規制を必要とし、作業区画を設け、監視員を配置する。本手法はカラーイメージングソナー、水中テレビカメラ、地下レーダーに適した方法である。表－4.16に各設置手段の特徴を示す。

表－4.16 各設置手段の特徴

手 段 項 目	仮 設 足 場 を 用 いる 方 法	橋 梁 の 高 欄 越 し に 行 う 方 法	橋 梁 点 検 車 の 作 業 台 か ら 行 う 方 法
適用できる 測 定 機 器	・カー-イ-ジ-ン-グ-リ- ・水中テレビカメラ ・地下レーダー ・スウェーデン式サウンディング	・カー-イ-ジ-ン-グ-リ- ・地下レーダー	・カー-イ-ジ-ン-グ-リ- ・水中テレビカメラ ・地下レーダー
設 置 方 法	吊り足場架設・アンカー打ち込み→ブラケット取り付け→足場・手摺の設置	高欄に固定治具取り付け	車線規制→橋梁点検車の展開
特 徴	・足場内で計測位置（平面位置）を自由に変えることができる	・測定機器を固定する治具を設置するだけの簡単な準備で計測が行える	・点検車の作業歩廊を上下左右操作することによって計測位置（平面位置、高さ）を自由に変えることができる
問 題 点	・足場設置が水上作業である ・足場の設置・撤去に時間を伴う	・橋面が高くなると測定機器を降ろすためのロッドを長くしなければならない。重量増加、剛性減少等が生じる	・橋梁点検車を橋上に停車させ、車線規制を行う必要がある ・作業歩廊の重量制限有り
設 置 人 員 時 間	(設置人員) 作業船→1人 作業員→6人 (設置、撤去時間) 3日	(設置人員) 作業員→2人 (設置、撤去時間) 10分	(設置人員) 作業員→4人(点検車運転手含む) ガードマン→2人 (設置、撤去時間) 2時間

4. 2. 2 既存の計測技術

(1) カラーイメージングソナーを使用する計測手法

橋上から河床形状の計測を行うための既存の計測技術には音波を利用した方法、電磁波を利用した方法が考えられる。選定の結果、カラーイメージングソナーが有効であることがわかった。

1) 使用装置

橋上から河床計測をする際の計測機器を選定するために、音波、電磁波を利用した計測機器を用いて、適用性試験、実証実験を行った。計測機器を選定する上で検討を要する項目は、

- ・橋上から計測するため1点または数点に機器を設置することで所定の範囲を調査できる。
- ・計測員が機器を設置できるように小型、軽量である。
- ・現場で計測結果をリアルタイムに確認できる。

があげられる。

以下に各計測機器の検証結果を述べる。

①音波を利用した計測機器

・音響測深機

機器の概要は4.1.3(2)を参照されたい。

音響測深機は構造上送受波器が真下を向いているので、移動しない限り1点の水深しか計測できない。橋上での移動範囲は橋桁に沿った河川横断方向となる。したがって、橋梁のどの基礎が洗掘を受けているかの検討方法としては使えるが平面的な計測は困難である。

・サイドスキャンソナー、サブボトムプロファイラー

機器の概要は4.1.3(2)を参照されたい。

本機器は水深を計測するための性能は問題はないが、機器の重量が重い、測量船が必要であるなどの特徴を有し、橋上からの計測は困難である。

・カラーイメージングソナー

本機器は水深を計測するための性能上の問題もなく、軽量で、構造上センサーが回転しながら計測を行うので、回転方向の河床形状を調査できる。したがって、橋上からソナー本体の向きを平面的に変更するだけで計測を行うことができる。

②電磁波を利用した計測機器（地下レーダー）

計測機器の概要は4.1.3(2)を参照されたい。

本機器は比抵抗の低い場所（塩水中、粘土地盤等）では電磁波の減衰が著しいので調査不能になることがあるが、条件が良好であれば性能上の問題はない。音響測深器と同様、計測範囲は河川横断方向となり、平面的な計測は困難である。

①、②の既存の計測機器の検証を行った結果、橋上から河床形状を計測するための機器として「カラーイメージングソナー」が有効であることが判明した。

カラーイメージングソナーの特徴を以下に示す。

カラーイメージングソナーはソナーヘッド部、制御表示部、電源供給部から構成されている。

図-4.17にソナーヘッド部の概略を示す。先端のトランスジューサーには超音波振動子を取り付けられており、超音波を送受信する。トランスジューサーは上下360度回転するので、直線上を連続して計測することができる(図-4.18)。

これは1箇所に機器を固定しておいても、回転させることで直線上に計測が行えることを意味する。制御表示部はパソコン(DOS-V)に専用

ボードとソフトウェアを搭載したもので、受信した超音波信号をAD変換し、信号処理結果をディスプレイに表示する。表-4.17にカラーイメージングソナーの性能一覧表を示す。

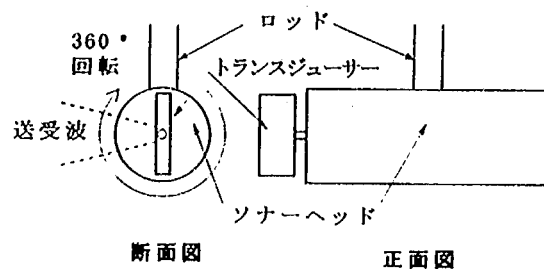


図-4.17 ソナーヘッド部の概略

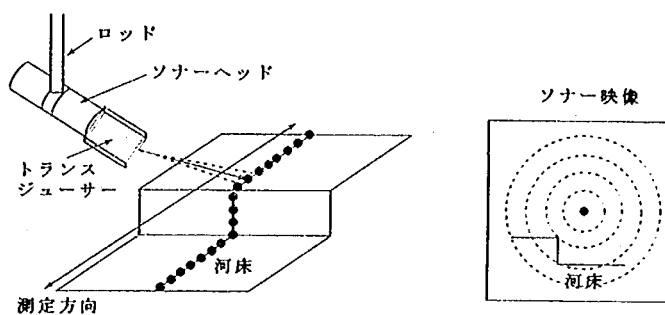


図-4.18 カラーイメージングソナー測定概要

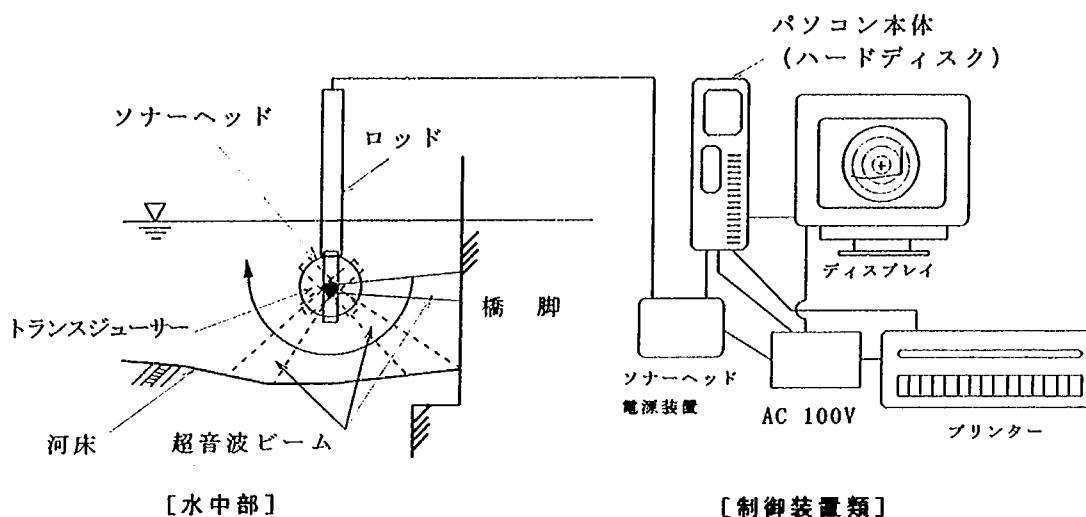
表-4.17 カラーイメージングソナー性能一覧表

項 目	性 能 等
器 機 構 成	ソナーヘッド、ソナープロセッサー、電源部、制御表示用コンピューター
周 波 数	675kHz
測 定 レ ン ジ	0.5~100 m
ビームパターン	1.7度
スキャン角度	360度(±180度)
耐 圧 水 深	1000m
寸 法 及 び 重 量	ソナーヘッド 長さ290mm、径89mm、空中重量3.6kgf(水中1.4kgf) 電源部 95×184×127mm、重量1.27kgf
電 源	100V、50VA(MAX)
組み込むパソコン 必 要 条 件	DOS V 4.01またはそれ以上 ウインドウ 3.1またはそれ以上 ハードディスク 10MB 最小 4MBメモリー マウス 640×480×256色、ディスプレイ・ドライバー フルサイズ ISAバス・スロット

本カラーイメージングソナーは超音波ビーム形状の選択（扇型と円錐型）が行える。提案された計測法は河床の1断面について測深を行い、数断面の測深データを取り込むことによって3次元等高線図を作成することから、超音波指向角がシャープであるほど精度の高い計測結果が得られる。検証実験では円錐型の超音波ビームを使用して良好な結果が得られた。

2) システム概要

図－4.19にカラーイメージングソナーを使用する洗掘調査システムを示す。

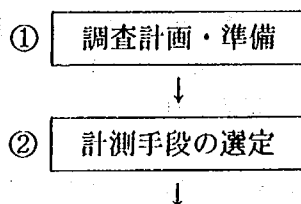


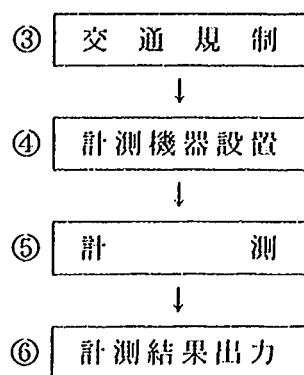
図－4.19 カラーイメージングソナーを使用する洗掘調査システム

カラーイメージングソナーは、地上部の制御装置と水中部のソナーヘッド（計測機器本体）から構成されており、ソナーヘッドの先端には回転するトランスジューサー（センサー）が取り付けられている。計測は、トランスジューサーから超音波ビームを水中に発射し、回転しながら前方の橋脚、河床からの反射波を受信して行う。計測データはパソコンに収録・保存されるとともに、ディスプレイに河床断面をリアルタイムに表示する。また、保存したデータは図化処理ソフトウェアを用いて、3次元等高線図を作成することができる。

3) 調査方法の概要

図－4.20にカラーイメージングソナーを使用する洗掘調査手法の調査手順を示す。





図－4.20 調査手順

①調査計画・準備

調査計画は橋梁一般図、河道平面図・横断図等の過去の調査結果および現場の変状状況から調査対象橋脚を選定する。同時に調査範囲、成果品の計測精度を決定する。

調査準備は調査機器搬入前に事前踏査を行い、調査地点の下見、標高基準点（高欄天端、橋脚天端など）の設置を行う。

②計測手段の選定

調査計画、事前踏査結果から計測装置の設置手段を選定する(4.2.1を参照)。

③交通規制

計測前に必要に応じて（特に橋梁点検車使用のとき）作業区画設置の車線規制等の交通規制を行い、ガードマンを配置する。通行車両、通行人に対して安全対策を施す。交通規制の際には道路管理者と審議の上、警察の許可を得ることが必要である。

④計測機器設置

選定された設置方法（4.2.1参照）に従って測定台の設置を行う。ロッドの先端に取り付けたソナーを計測箇所まで降ろし、測定台に設置した固定治具にて固定する。標高基準点からソナー設置位置までの距離を計測し、ソナー標高の算出を行う。

⑤計測

計測機器を立ち上げ、パソコンの初期設定を行った後、計測を開始する。1測線の計測が終了した後、ソナーヘッドの方向を所定の角度で回転させ、再び計測を行う。150度まで計測すると調査対象箇所の河床状況をほぼ把握できる。計測データ数が不足している場合は位置を変更し同様な計測を繰り返す。

計測終了後、計測データをパソコンに記録保存する。

⑥計測結果出力

計測中はパソコン画面に計測断面図が表示されるので、ハードコピーで出力する。

計測後は図化ソフトウェアにてデータ処理を行い、2次元・3次元等高線図を出力する。

4) 計測の注意点

計測時、注意を要することだったので以下に述べる。

①ソナー設置位置

実証実験では1橋脚付近の河床状況を調査するため、2箇所の位置から計測を行った。ソナーを1箇所だけに設置して計測すると、図-4.21に示すように橋脚の影となる計測不能箇所が生ずる。したがって、図-4.22に示すように橋脚の影にならない程度に最低2箇所にソナーを設置して計測を行うと橋脚周辺の河床状況が把握できる。

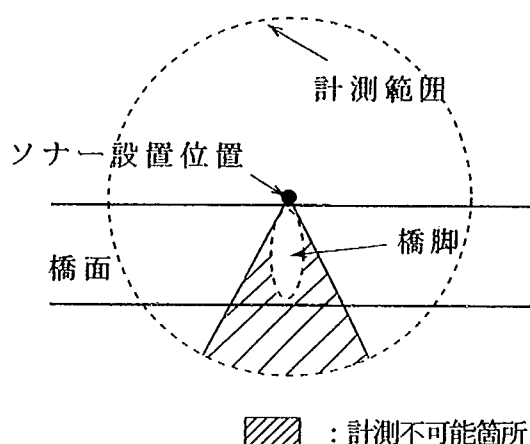


図-4.21 橋脚の影による計測不可能箇所

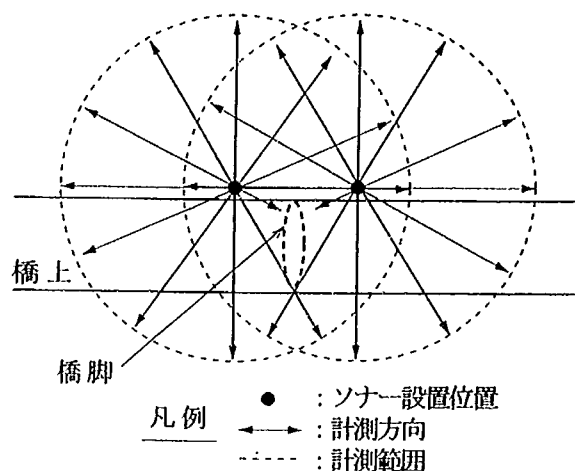


図-4.22 ソナー設置位置例

②ソナー標高算出

カラーイメージングソナーを用いた計測はソナー設置高さと河床高さの距離を計測し、計測データから断面図、3次元等高線図等を作成するので出力された断面図から河床状況はイメージできるが、河床と橋脚との相対的な位置関係は把握できない。図-4.23にソナー標高算出例を示す。図のように橋梁の高欄、橋脚天端の標高を測定しておき、計測結果と関連づけることによって、橋脚と河床の相対的な位置関係がわかり、河床標高が把握できる。

ソナー標高Hは、 $H = H1 - L$

ただし、H1：高欄・橋脚天端等の既知標高、

L：ロッド長

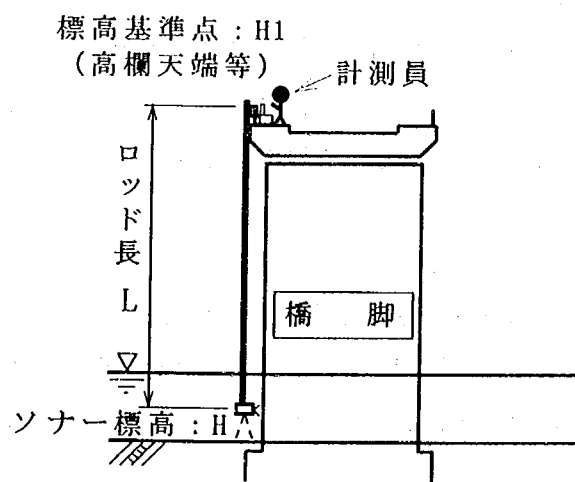
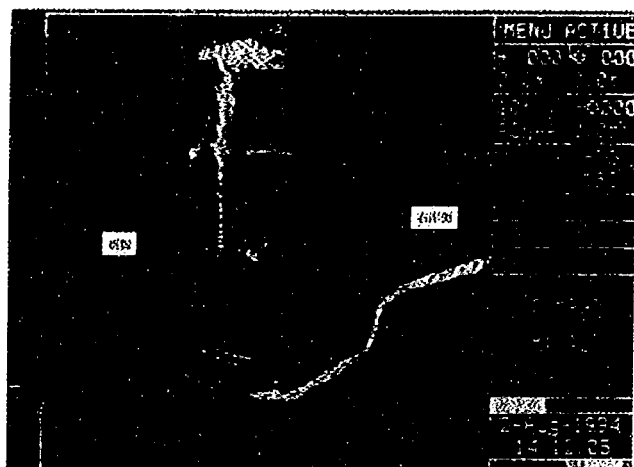


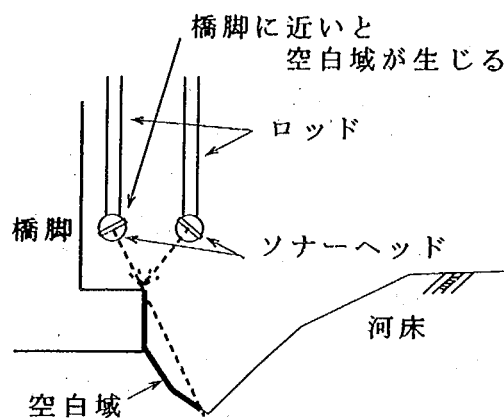
図-4.23 ソナー標高算出例

③ソナーヘッド投入位置

計測結果がフーチング端部から河床にかけて空白になって出力される場合がある。図－4.24に空白が生じた調査例を示す。これはソナーヘッドがフーチング範囲内に入って設置されたため、超音波が当たらない空白域ができ、フーチング端部から河床が出力されなかったためである。したがって、可能な限りフーチング端部より離れた位置にソナーヘッドを投入する必要がある。図－4.25にソナーヘッド投入位置による空白域を示す。



図－4.24 空白が生じた出力例



図－4.25 ソナーヘッド投入位置による空白域

5) 調査方法

洗掘調査の方法については図－4.20に概要を示しているが、調査の詳細については「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書（その2） 共同研究報告書第136号 1995.12」を参照されたい。

6) 計測結果

図－4.26に計測結果画面出力状況を示す。計測結果はリアルタイムにディスプレイ画面に出力されるので橋脚付近の洗掘状況が現場でイメージできる。計測レンジ長を小さくすると洗掘状況がより詳細に把握できる。

図－4.27に3次元等高線図の出力結果例を示す。計測終了後、図－4.26に示す計測結果断面図をハードコピーして測深データを読み取り、図化作成ソフトウェアにソナーの設置位置、測深データ等を入力して3次元等高線図を作成する。

図に示すように橋脚周辺の河床状況が視覚的に描かれ、特に橋脚付近の洗掘状況は詳細に把握できる。測線の関係から、橋脚から放射状にデータを取っているため橋脚付近は密な結果が得られるが、橋脚から離れるにしたがって粗になるので解析には注意を要する。

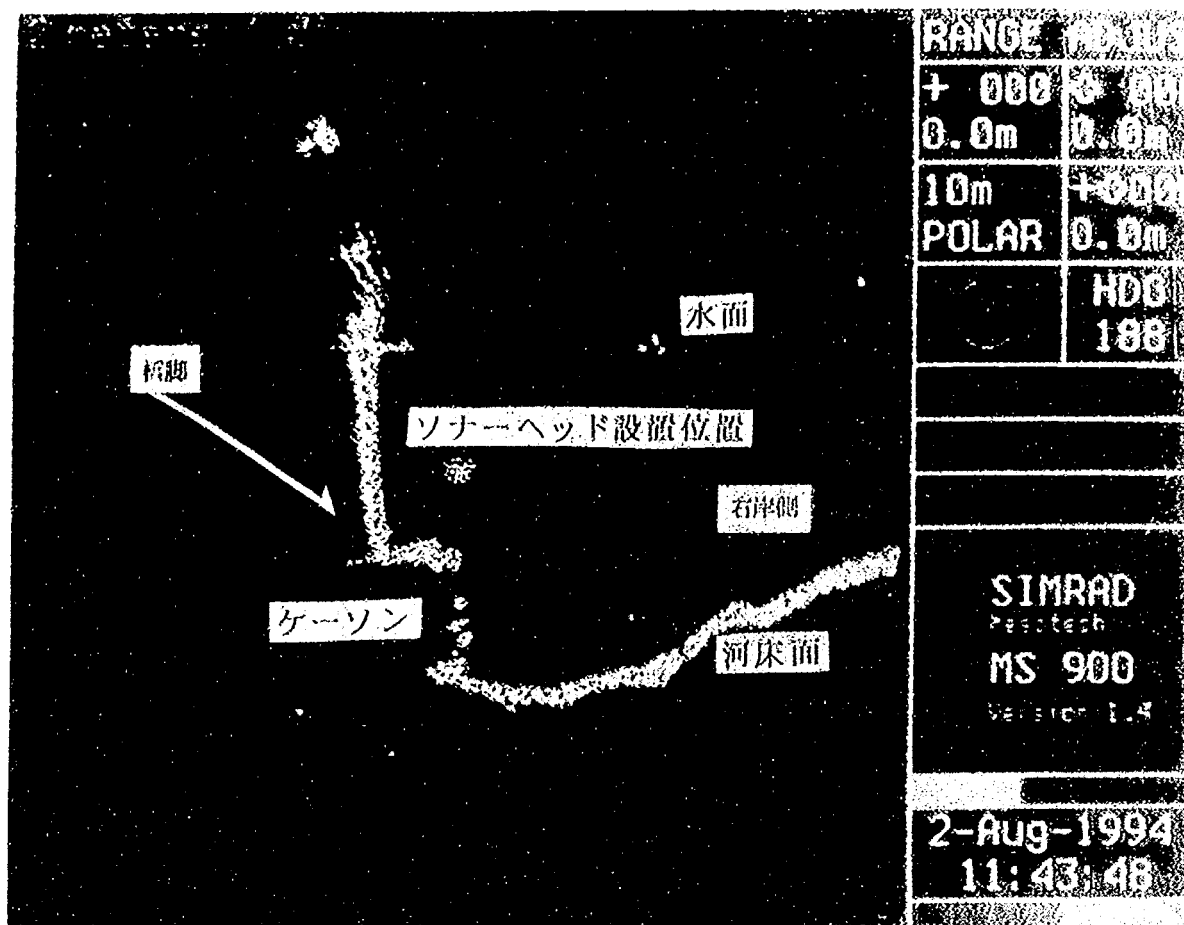


図-4.26 計測結果画面出力状況（断面図）

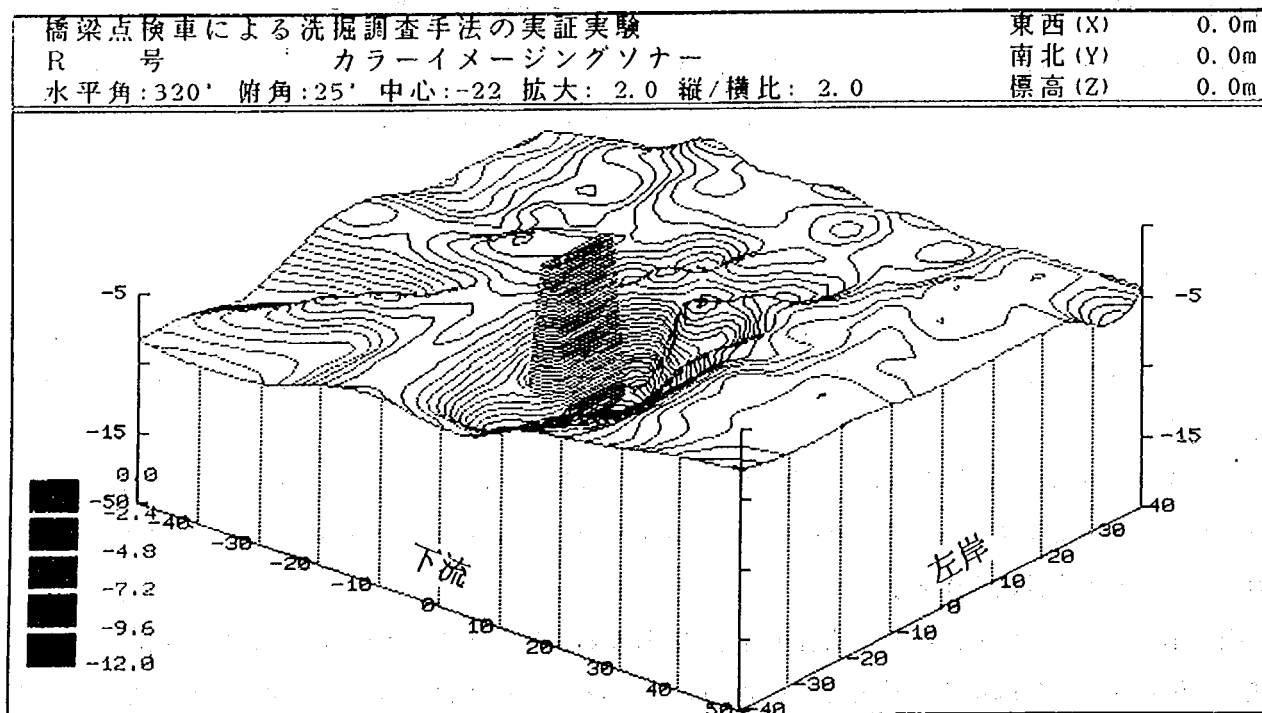


図-4.27 3次元等高線図の出力結果例

7) 調査人員・時間

表－4.18に橋梁の高欄越しに行う方法と橋梁点検車の作業台から行う方法の調査人員・時間を示す。表はカラーイメージングソナーを30度毎に回転させ計測し、2箇所で行った場合について記述した。

表－4.18 調査人員・時間

調査人員	橋梁の高欄越しに行う方法	橋梁点検車の作業台から行う方法
	調査員 2人 [歩道がない場合] (ガードマン 2人) 計 2人(4人)	調査員 2人 作業員(点検車関係) 4人 ガードマン 2人 計 8人
調査時間 (6測線×2箇所)	準備 0.5 h	車線規制 0.5 h
	計測 12測線×5分 = 1.0 h	点検車展開 0.5 h
	片づけ 0.5 h	準備 0.5 h
	計 2.0 h	計測 1.0 h 片づけ 0.5 h 計 3.0 h

8) 検証実験実施場所一覧

「カラーイメージングソナーを使用する洗掘調査手法」についてシステムの有効性を確認するために実橋梁の基礎に対して検証実験を行った。

表－4.19 検証実験一覧

路線名	橋梁名	河川名	実施期間
一般国道17号	笹目橋	荒川	平成6年8月
一般国道51号	水郷大橋	利根川	平成7年2月

9) まとめ

橋上からカラーイメージングソナーを使用する計測手法は橋脚近傍の洗掘状況、河床形状を詳細に調査できることが判明した。ソナーヘッドの方向を橋軸方向に変え、測定レンジ長を大きくすることによって橋梁全体の橋脚洗掘概況(洗掘位置)も把握できる。また、機器が軽量なことから計測員が人力で測定箇所を設置でき、計測時間も従来のボート等を用いた深浅測量より短時間に計測を行える。

本手法の問題点はソナーヘッドを保持するロッドにある。河川の流がゆるやかな場合はロッドに加わる流体力が小さいので計測員による機器の設置が可能である。ところが、流速が早い場合は流体力が大きくなりロッドの剛性を高めなければならず、それにしるが重量が重くなり、人力での計測が困難になる。したがって、人力による計測は通常時の河川において適用されるが、ブーム搭載の作業車等を用いて行えば洪水時の計測にも対応できると考えられる。

日常点検等の簡易な調査については人員・時間を省略できる「橋梁の高欄越しに行う方法」、詳細な調査が必要な場合は自由に測定台を移動できる「橋梁点検車の作業台から行う方法」が有効であると考えられる。

(2) 水中テレビカメラを使用する計測手法、

橋梁基礎の部材の損傷調査を行うための既存の計測技術として弾性波を利用する方法、磁気探査を利用する方法、水中テレビカメラを使用する方法があげられる。現状ではこれらの方法には問題点が多い。その中で水中テレビカメラを利用する方法は多くの調査事例もあり、橋上からの損傷調査に使用できると考えた。

1) 使用装置

橋上から橋梁基礎の部材の損傷調査する際の計測機器を選定するために弾性波を利用する方法、磁気探査を利用する方法、水中テレビカメラを使用する方法について調査事例等の文献調査を行った。詳しくは「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書（その1）共同研究報告書第105号 1994. 7, p14」を参照されたい。

計測機器を選定する上で検討を要する項目は、

- ・部材の損傷位置が確認できる。
- ・計測員が容易に設置できるように機器が小型、軽量である。
- ・現場で計測結果をリアルタイムに確認できる。

で等があげられる。

以下に各計測方法の検証結果を述べる。

①弾性波を利用する方法

- ・DPAS（非破壊検査）

杭の形状、根入れ、支持力等の推定方法は確立されてきているが、部材の損傷確認については問題点があり、改善の余地が残されている。

- ・衝撃波振動調査

構造物の形状、地中部の根入れ長さの測定は確立されてきているが、観測の再現性において問題点があり、改善の余地が残されている。

②磁気探査を利用する方法

鋼管、鉄筋等の鋼製物質は磁気異常を測定することでその形状、位置を推定できるできるようになってきたが、計測準備にボーリング孔を掘削するなどの手間を要する。

③水中テレビカメラを利用する方法

本機器は小型、軽量化が進み頻繁に調査に用いられており、橋脚の損傷を視覚的に把握できる。また、調査中はモニターに映像が映し出されるのでリアルタイムに状況確認ができる。

各計測方法の長所、問題点を考慮した結果、現段階での橋上から橋梁基礎の部材の損傷調査に適した計測機器は「水中テレビカメラ」が有効であると考えられる。

水中テレビカメラの特徴を以下に示す。

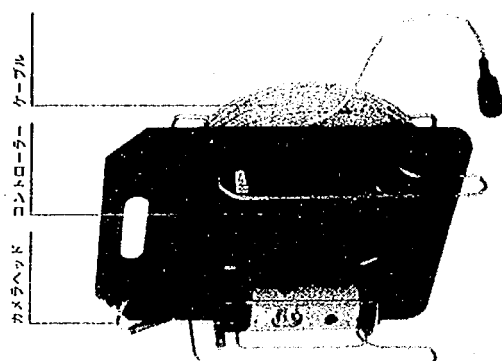
〔吊り下げ式水中テレビカメラ〕

写真－４．８に吊り下げ式水中テレビカメラ外観、表－４．２０に諸元を示す。特徴としては、

- ・テレビカメラ本体は軽量であるため、調査員が１人で降下させ設置できる。
- ・カメラ部には高感度カラーＣＣＤセンサーを使用しており、振動・衝撃に強い。
- ・ハロゲンランプを装着している。

がある。

水中テレビカメラ本体とコントロール部はケーブルでつながっているが、流れのある河川では水中テレビカメラ本体をロッドに固定しないで水中に降ろしていくと本体が揺れて映像に安定が保たれない。ロッドの先端にテレビカメラ本体を固定し、計測箇所まで降ろして撮影することで安定を保った。



表－４．２０ 吊り下げ式水中テレビカメラ諸元

項 目	諸 元
映 像 素 子	1/3" CCDカラー固体映像素子
フ ォ ー カ ス	10cm～∞
投 光 部	ハロゲンランプ 12V20W 1灯
電 源 電 圧	DC 12V
重 量	カメラ 5.4kgf
	制御器 0.8kgf
	総重量 8.5kgf
ケ ー ブ ル 長	50m

写真－４．８ 吊り下げ式水中テレビカメラ

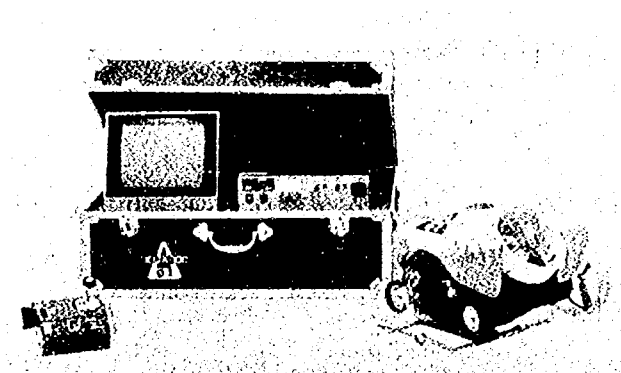
〔移動式水中テレビカメラ〕

写真－４．９に移動式水中テレビカメラ外観、表－４．２１に諸元を示す。特徴としては、

- ・４個のスラスター（スクリュウ）を装備し、前後進、上下動、左右旋回を行える。
- ・テレビカメラは±４５度の角度で上下動する。
- ・水中ライトを装備している。
- ・ジョイスティックにより操作性が良い。

がある。

スラスター装備のため自由に計測したい箇所に移動できるが、深く潜水すると位置の確認が困難になるので、浮き等を装着して本体の位置を確認できるような工夫が必要である。



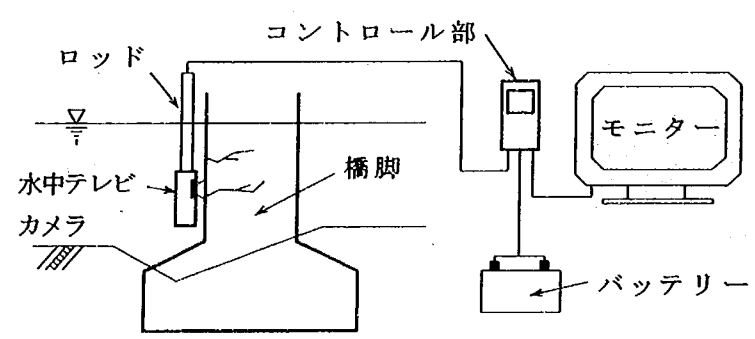
写真－４．９ 移動式水中テレビカメラ外観

表－４．２１ 移動式水中テレビカメラ諸元

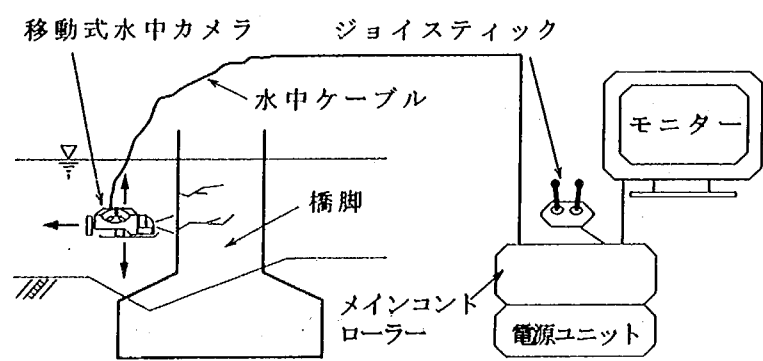
項 目	諸 元
映 像 素 子	2/3" CCDカラー-固体映像素子
フ ェ ー カ ス	5cm～∞
灯 光 器	ハロゲンランプ 100V 200W 1灯
電 源 電 圧	AC 100V
重 量	本体 16kgf
本 体 速 度	前進 約2.5ノット
視 野 角	水平約95度、垂直約74度(空中) 移動範囲 水平～±45度

2) システム概要

図－４．２８に水中テレビカメラを使用する計測手法のシステム概要を示す。



図－４．２８（Ａ） 吊り下げ式水中テレビカメラを使用する計測手法システム概要



図－４．２８（Ｂ） 移動式水中テレビカメラを使用する計測手法システム概要

水中テレビカメラはカメラ部に高感度カラーCCDセンサーとハロゲンランプを搭載し、調査対象物を直接映像で表示し、橋脚基礎部における洗掘状況、橋脚の損傷部を把握することができる。

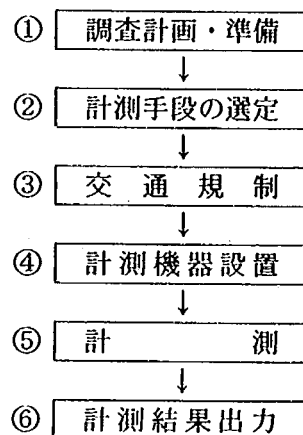
吊り下げ式はロッドの先端に水中カメラを取り付け、計測箇所まで降ろして撮影する。

移動式は水中カメラ本体に移動用スクリーが装着されており、橋上の計測員がジョイスティックを用いて対象物まで移動し調査を行う。

両方式とも橋上からリアルタイムに対象物の状況を視覚的に確認でき、ビデオに記録・保存ができるので計測後、詳細な観察・分析が行える。

3) 調査方法の概要

図－4.29に水中テレビカメラを使用する洗掘調査手法の調査手順を示す。



図－4.29 調査手順

①調査計画・準備

橋梁一般図等の資料調査および現場の事前踏査を行い、調査対象橋脚の下見、標高基準点（高欄天端、橋脚天端等）の設置を行う。

②計測手段の選定

調査計画、事前踏査結果から計測装置の設置手段を選定する（4.2.1を参照）。

③交通規制

計測前に必要に応じて（特に橋梁点検車使用のとき）作業区画の設置の車線規制等の等の交通規制を行い、ガードマンを配置する。通行車両、通行人に対して安全対策を施す。交通規制の際には道路管理者と審議の上、警察の許可を得ることが必要である。

④計測機器設置

選定された計測方法（4.2.1参照）にしたがって測定台の設置を行う。

吊り下げ式の場合はロッドの先端に取り付けたカメラを河床まで降ろし、測定台に設置した固定治具に

て固定する。標高基準点からカメラ設置位置（河床）までの距離を計測し、計測深さを算出する。

移動式の場合は装置を水中に投入した際、位置が不明になるので浮き等の目印を付けておく。計測深度の把握には深度計等の設置を行う。

⑤計測

計測機器、モニターを立ち上げた後、計測を開始する。

吊り下げ式の場合は河床まで降ろしたカメラを徐々に引き上げる。カメラの位置、深さを音声で録音しながらビデオテープに録画する。

移動式の場合は調査対象橋脚までモニターを見ながら移動し、カメラの位置は音声で録音しながら、深さはモニターに深度計の値を表示させてビデオテープに録画する。

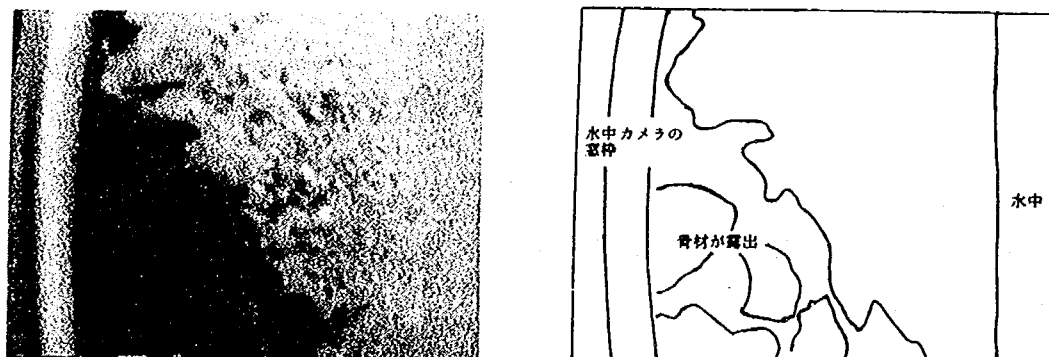
⑥計測結果出力

計測後、ビデオテープを再生し、部材に破損がある箇所をビデオプリンター等でプリント出力する。出力プリントを見ながらスケッチを行い、破損状況を記入し、分析を行う。

4) 計測結果

図－4.30に水中テレビカメラによる計測結果としてプリント出力例を示す。

図の左側が計測中で異常点と見られる状況をプリント出力したもので、右側がプリントを観察しながら異常点を図示したものである。左下側に骨材が露出しているのがわかる。



図－4.30 水中テレビカメラによる計測結果のプリント出力例

5) 調査人員・時間

表－4.2.2に吊り下げ式水中テレビカメラを用いた計測での調査人員・時間を示す。表は橋上において、車線規制を行い、橋梁点検車を用いて橋脚1基（6箇所）を計測した場合について示す。

表－4.2.2 調査人員・時間

調 査 人 員		調 査 時 間	
調査員	3人	車線規制	0.5 h
作業員（点検車関係）	4人	点検車展開	0.5 h
ガードマン	2人	準備	0.5 h
計	9人	計測(1橋脚6地点)	1.0 h
		片づけ	0.5 h
		計	3.0 h

6) 検証実験実施場所一覧

「水中テレビカメラを使用する調査手法」についてシステムの有効性を確認するために実橋梁の基礎に対して検証実験を行った。

表－4.2.3 検証実験一覧

路 線 名	橋 梁 名	河川名	実 施 期 間
一般国道17号	笹 目 橋	荒 川	平成 6年 8月
一般国道51号	水 郷 大 橋	利 根 川	平成 7年 2月

7) まとめ

水中テレビカメラを使用する計測手法は陸上から基礎構造物の損傷状況を映像でリアルタイムに確認できる方法である。画像にスケール表示させておくと対象物の寸法も把握できる。

しかし、洪水時、河川ににごりがあると映し出された映像は見づらく、有意な画像を得ることができない。河川が濁っているときは調査を避けるのが基本であるが、以下のことに留意して計測することが考えられる。

- ・水中テレビカメラをできる限り対象物に接近させて撮影を行う。
- ・濁水にライトを当てると反射するので、対象物だけを照らすような工夫を行う。
- ・水中テレビカメラと対象物の間に真水を噴射させ濁りをとばして撮影を行う。

水中テレビカメラによる方法は橋脚の損傷状況を簡便に計測することができるので日常点検に適している。河川が濁っているときなどは画像が不鮮明となるため、詳細な調査には注意を要する。

(3) 地下レーダーを使用する計測手法

橋上から地層構造の調査を行うための物理的探査計測技術には音波を利用する方法、電磁波を利用する方法が考えられる。適用性試験、実証実験の結果、「地下レーダー」が橋上からの調査に有効な調査機器であることがわかった。

1) 使用装置

橋上から地層構造の調査を行う際の計測機器を選定する上で検討を要する項目は、

- ・地層構造で少なくとも2次堆積層の把握ができる。
- ・橋上から所定の範囲を調査できる。
- ・計測員が計測中運搬できる小型、軽量な装置である。
- ・現場で計測結果をリアルタイムに確認できる。

があげられる。

上記の検討項目について既存の計測機器類で適用性試験、実証実験を行った。

以下に各計測機器の検証結果を述べる。

①音波を利用する方法（サブボトムプロファイラー、SH-20型底質探査機、ユニブーム型音波探査機）

計測機器の概要は「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書（その2）、共同研究報告書第136号 1995.12」を参照されたい。

サブボトムプロファイラーは河床下1～2m程度、SH-20型底質探査機は河床下2～5m程度、ユニブーム型音波探査機は河床下10m程度までの地盤構成を検出することができたが、機器の重量が重い、測量船が必要である等の特徴を有し、橋上からの計測は困難である。

②電磁波を利用する方法（地下レーダー）

計測機器の概要は4.1.3(2)を参照されたい。

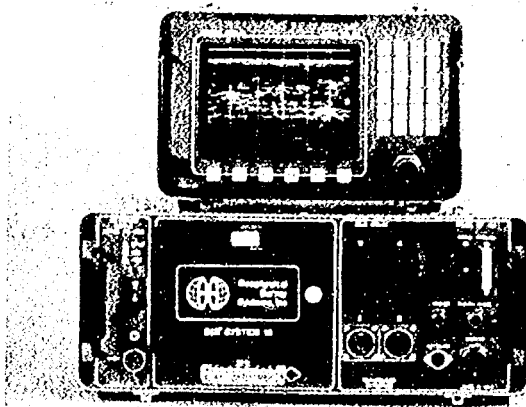
本機器は塩水などの比抵抗の低い媒質中では減衰が著しいので適用できない現場もあるが、小型・軽量であるため計測員が運搬しながら調査が行える。また、計測状況をモニターによりリアルタイムに確認することができる。

①、②を検証した結果、橋上から地層構造の調査を行うための物理探査機器として「地下レーダー」が有効であると判断した。

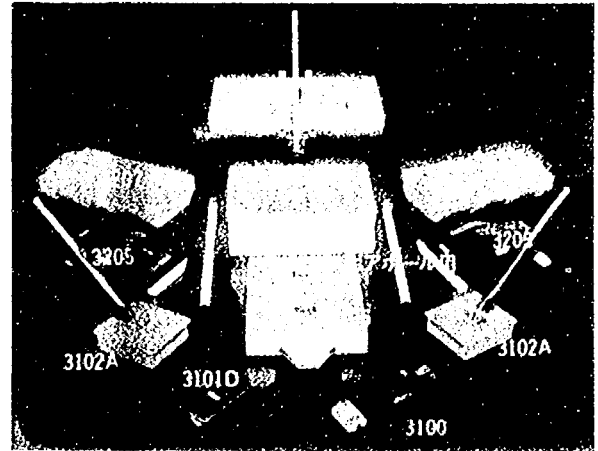
地下レーダーの特徴を以下に示す。表-4.24に諸元、写真-4.10に地下レーダーの外観を示す。

表-4.24 地下レーダー諸元

項 目	諸 元
寸 法	44.1cm×38.1cm×17.8cm(メインフレーム) 30.5cm×29.2cm×21.6cm(コントロール)
測定レンジ	0～10,000 nsec
スキャンレート	0～128 スキャン/sec
電 源	DC12V, AC100V, AC200V, 200W
送信・受信アンテナ	寸法20cm×66cm×137cm, 重量11.0kgf
記録装置	サーマル方式：1680 ドット/スキャン インターフェース：8ドットパラレル



(地下レーダー本体)



(アンテナ)

写真-4.10 地下レーダーの外観

地下レーダーはアンテナの形状で分類され、地表型レーダー、ボアホールレーダー、エアープーンレーダー、水上レーダー等に区分される。また、調査目的によって最適な周波数を選択する必要があり、河川においては深度などを考慮して300MHzアンテナが有効である。

2) システム概要

図-4.31に地下レーダーを使用する計測手法のシステム概要を示す。

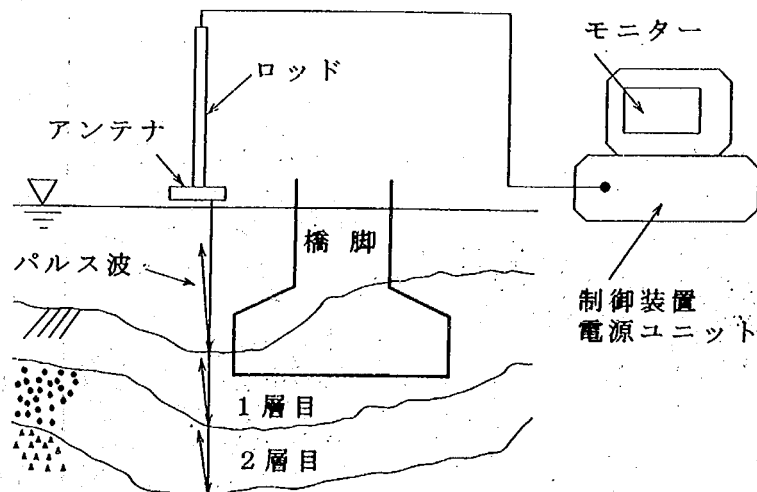


図-4.31 地下レーダーを使用する計測手法のシステム概要

地下レーダー法はアンテナを水面に接近させて電磁波パルスを放射し、電磁波の反射特性を測定することによって地下構造を調査するものである。従来は地中の不連続面、地下埋設物、地下空洞の調査に用い

られているが、本手法は水深、河床に堆積した2次堆積層の把握に適用させたものである。電磁波発射後、アンテナで得られたデータは測定装置に取り込まれ、モニターに表示される。計測データは記録、保存できるので、計測後プリンターにて断面図を得ることができる。

3) 調査方法の概要

地下レーダーを用いた手法の計測手順を以下に示す。

- ①電磁パルスの送受信用アンテナをロッドの先端に装着し、計測地点の水面付近まで降ろす。その際、ロッドの長さを測定し、アンテナの標高を求める。
- ②アンテナが計測点に到着後、ロッドを固定治具にて高欄等に固定する（4.2.1(2)参照）。
- ③ロッド固定後、高欄上を移動させ、河川横断方向の断面を計測する。高欄上を移動させる速度は一定とし、歩くより遅い程度とする。
- ④計測状況はリアルタイムでモニターに表示され、計測結果はサーマルプリンターにて出力される。また、計測データは磁気テープに収録・保存される。

4) 計測結果

図-4.32に地下レーダーの調査結果を示す。図中のaは水面、bは河底面を表す。検証実験では下流域での調査であったため比抵抗がかなり低く、河底面1.5m付近までしか検出されなかった。

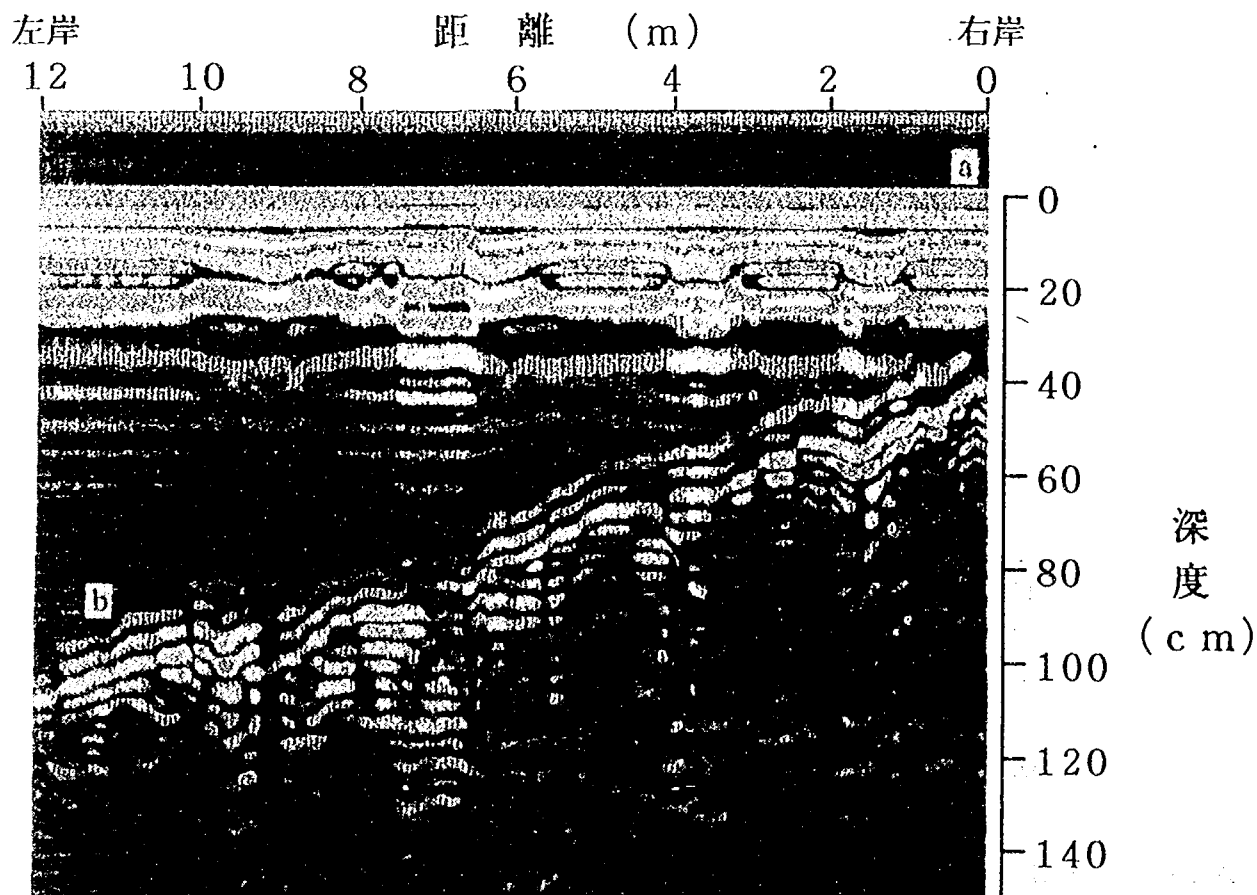


図-4.32 地下レーダーの調査結果

5) 調査人員・時間

表－4.25に橋梁の高欄越しに河川横断方向(60m)に計測した場合を示す。

表－4.25 調査人員・時間

調 査 人 員		調 査 時 間	
調査員	2人	準備	0.5 h
[歩道がない場合]		計測	1.0 h
(ガードマン	2人)	片づけ	0.5 h
計	2人(4人)	計	2.0 h

6) 検証実験実施場所一覧

「地下レーダーを使用する調査手法」についてシステムの有効性を確認するために実橋梁の基礎に対して検証実験を行った。

表－4.27 検証実験一覧

路 線 名	橋 梁 名	河川名	実 施 期 間
一般国道17号	笹 目 橋	荒 川	平成 6年 8月

7) まとめ

今回の検証実験からは河床の2次堆積層は確認できなかった。実験箇所が河川下流域で塩水を含んでいたため比抵抗値が真水と比較してかなり低く、目的とする計測結果が得られなかった。下流域の場合には適用上限界があると考えられる。適用性に際しては潮の満干に影響されない上・中流部の計測に向いていると考えられる。

(4) スウェーデン式サウンディング試験を使用する計測手法

橋上から地層構造の調査を行うためのサウンディングによる計測技術には標準貫入試験、ポータブルコーンペネトロメーター貫入試験、簡易動的コーン貫入試験そしてスウェーデン式サウンディング試験などがあげられる。検証実験ではスウェーデン式サウンディング試験を行い、有効性を確かめた。

1) 使用装置

橋上からサウンディングを用いて地層構造の調査を行う際の計測機器を選定する上での検討項目は、

- ・貫入時の反力が小さい（人力で貫入が行える）。
- ・装置の構造が簡易である。
- ・操作が簡単である。

などがあげられる。以下に各計測機器の検討を示す。

①標準貫入試験

標準貫入試験はサウンディングの中で最も普及した方法である。N値を求め、原位置における土の軟硬、締まり具合または土層の構成を判断している。試験装置は重量であり、装置の組み立て、操作共に専門の計測員で行う。したがって、橋上からの調査は困難であると考えられる。

②ポータブルコーンペネトロメーター貫入試験

ポータブルコーンペネトロメーター貫入試験は粘性土や腐植土などの軟弱地盤に人力でコーンを静的に貫入させることによって、貫入抵抗を求め、土層構成や厚さ、粘性土の粘着力などを簡便かつ迅速に求めることができる。やや硬い粘土層や砂層では貫入が困難である。河床には砂、礫が堆積していることが多く、人力で貫入できないことも考えられる。

③簡易動的コーン貫入試験

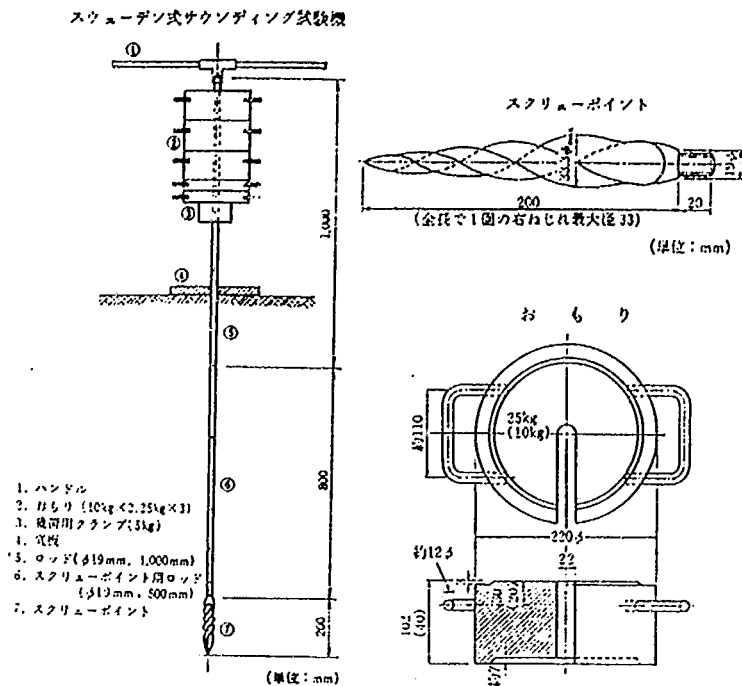
簡易動的コーン貫入試験は質量5kgfのハンマーを50cmの高さから自由落下させ、原位置における土の貫入抵抗を簡易に求めることができる。打撃エネルギーが標準貫入試験よりはるかに小さいので、貫入抵抗の大きい硬質粘性土や砂礫地盤には適用できない。

④スウェーデン式サウンディング試験

スウェーデン式サウンディング試験は装置およびその操作が容易で迅速に測定でき、簡易なサウンディングの中では比較的貫入能力に優れている。

上記に示した各サウンディング装置の長所、問題点を考慮した結果、橋上から地層構造の調査を行うためのサウンディングによる計測は「スウェーデン式サウンディング試験」が有効であると考えられる。

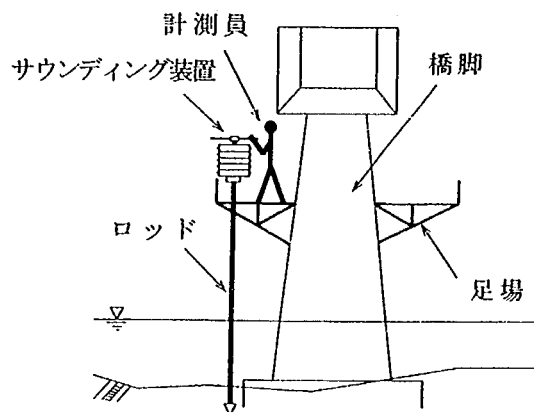
図－４．３３に試験装置の概要を示す。



図－４．３３ 試験装置の概要

2) システム概要

図－４．３４にスウェーデン式サウンディング試験を使用する計測手法のシステム概要を示す。



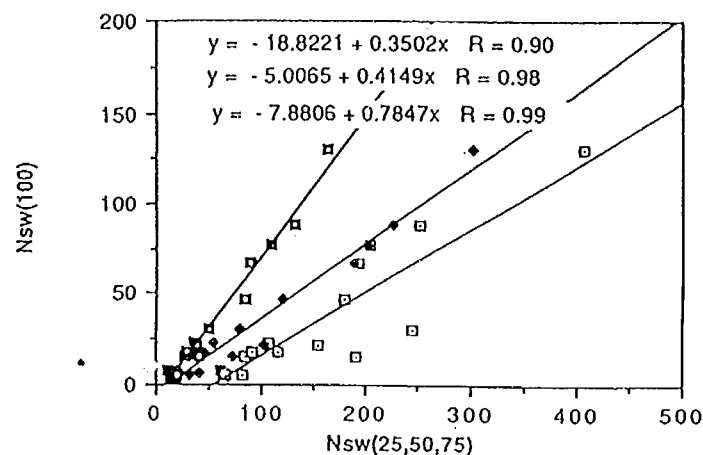
図－４．３４ スウェーデン式サウンディング試験を使用する計測手法のシステム概要

スウェーデン式サウンディング試験は荷重による貫入と回転貫入を併用した原位置試験であり、土の静的貫入抵抗を測定し、その硬軟または締まり具合を判定すると共に土層構成を把握することを目的としている。本手法は従来の装置に足場から河床までの長さのロッドを継ぎ足して測定するものである。

3) 調査方法の概要

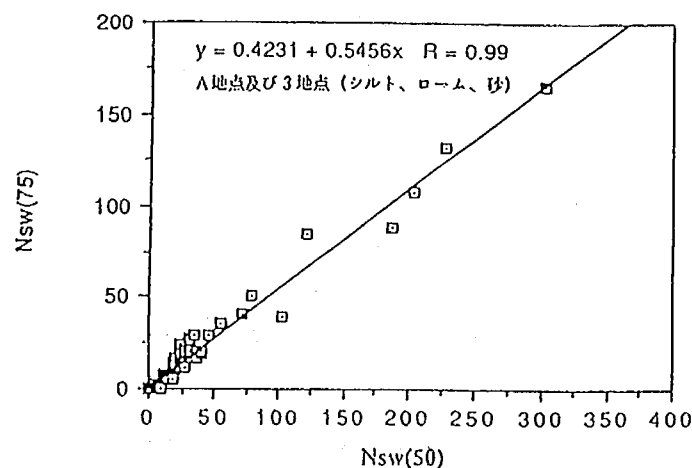
以下に計測手順を示す。

- ①試験を行うための作業台として仮設足場または橋梁点検車を設置する。
- ②サウンディング装置を作業台上に設置し、河床面にスクリーポイントが接地するまでロッドを継ぎ足す。
- ③50kgfまでの載荷重による貫入抵抗を測定する。通常の試験では100kgfの載荷重をかけて試験を行うが、作業台（足場、点検車作業台）上での調査においては積載荷重の制約により50kgfまでの載荷重とした。載荷重が100kgfに満たない場合の調査結果の判定手法としては図－4. 3 5、4. 3 6に示す二本法があり、今回の判定に準用した。図中のNsw100は載荷重100kgfの貫入抵抗を示し、Nsw25, 50, 75はそれぞれ載荷重25, 50, 75kgfの貫入抵抗を示す。



図－4. 3 5 Nsw(25, 50, 75)とNsw(100)の関係

(出典：二木幹夫「宅地地盤の土木工学的性質に関する研究」1989. 3)



図－4. 3 6 Nsw(50)とNsw(70)の関係

(出典：二木幹夫「宅地地盤の土木工学的性質に関する研究」1989. 3)

4) 調査結果

河川の流れが早かった、ロッドの剛性が低かった等の理由から30cm程度しか貫入できなかった。

5) 調査人員、時間

表には橋脚に足場を設置して調査を行った場合の調査人員、時間を示す。

表－4.28 調査人員・時間

調 査 人 員	調 査 時 間
足場設置は省く	足場設置は省く
計測員 2人	準備 0.5 h
	計測 0.5 h/1箇所×6箇所 = 3.0 h
	片づけ 0.5 h
	計 4.0 h

7) 検証実験実施場所一覧

「スウェーデン式サウンディング試験による調査手法」についてシステムの有効性を確認するために実橋梁の基礎に対して検証実験を行った。

表－4.29 検証実験一覧

路 線 名	橋 梁 名	河川名	実 施 期 間
一般国道17号	笹 目 橋	荒 川	平成 6年 8月

8) まとめ

本手法は河床地盤内の状況を調査する方法として期待されたが、架設足場からの高さがありすぎたこと、水深が深く流速が早かったこと、ロッドの剛性不足によるねじれ等が原因で回転貫入が困難で30cm程度の貫入にとどまった。今後、本手法を適用させるにはロッドの剛性を高めるなど改良が必要である。二次堆積層の強度を直接調査できるため、基礎の安定度調査を行うには適した調査手法である。

4. 3 音波探査を使用する計測手法

音波探査は低周波の音波を河床に放射し、その反射記録から河床面または河床下の地層構造を計測するものである。

既設基礎周辺の地盤特性を把握するためには、一般的にはボーリング調査を行い土質性状から判断している。しかし、調査を行うためには構などを組立てその上で行わなければならない、大がかりな仮設備を必要とするため極端に能率が悪い。これに代わる手法として、河床下の地層構造を調査できる音波探査機に着目し、ボーリング調査に代わる手法としてなり得ることができるかどうか検証を行った。

音波は周波数が低くなるにつれ砂、粘性土系の地盤を透過する能力を有し、物性値の異なる境界で反射する特徴を持っている。しかし機器装置類が高周波数を使用して調査する場合と比較し、大きな発信エネルギーを必要とするため装置が多少大きなものとなる。ここで、物性値の異なる境界とは音響インピーダンス（＝密度×音波の伝播速度）の境界のことを示しており、ボーリング調査を行ったときの地層境界とは異なるので注意する必要がある。

音波を使用した調査機器としては、4. 1 「ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法」で紹介した音響測深機もそのうちの一つである。RCボートに搭載した音響測深機は高周波数のものを使用しているため、装置も小型で軽量となっている。しかし、河床面下の地層を調査することはできない。

音波探査機に求められる性能としては

- ・河床の確認ができること
- ・地層境界をとらえることができること
- ・地層の分解能が高いこと
- ・解析が容易にできること
- ・小型・軽量であること

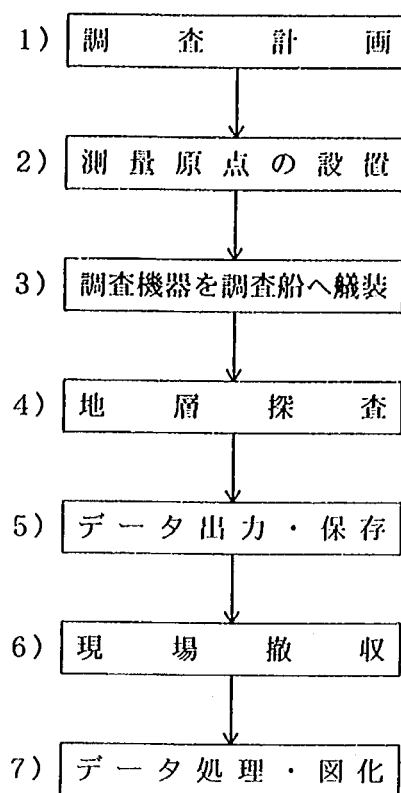
が上げられる。

しかし、全ての条件を満たす機種を見つけだすことができなかったため、有力と考えられる以下の3機種について検討を行った。

- 1) サブボトムプロファイラー
- 2) 底質探査機
- 3) ユニブーム

4. 3. 1 計測方法の概要

音波探査を使用する計測手法のフローを以下に示す。



図－4.37 計測フロー

1) 調査計画

過去の洗掘調査結果、橋脚周辺の変状状況および河道の状況から地盤（2次堆積層）の地層構造を調査しなければならない箇所を選定する。

同時に、調査範囲などを勘案し計測測線を決定する。

2) 測量原点の設置

計測測線全体を見渡せる位置に測量原点を設置する。測量原点は橋梁との相対的位置を把握できる位置としトータルステーションを使用して設置するとよい。

3) 調査機器を調査船へ艀装

音波探査装置を調査船に艀装する。使用する音波の周波数、各機器の有している特性等により艀装方法が異なるため、最良の計測結果を得られるよう艀装すること。

4) 地層探査

計測測線上を調査船が航行できるようにトータルステーションを使用して誘導する。

5) データ出力・保存

記録紙上に計測記録がプロットされる。機種によっては磁気媒体等にも記録される。

6) 現場撤収

調査に使用した全ての機器を撤収する。

7) データ処理・図化

調査地点の地層構造を図化するためデータ出力の貼合わせを行い、編集、解析を行う。

4. 3. 2 調査機器の概要

(1) サブボトムプロファイラー

サブボトムプロファイラーは円錐状のビームパターンを有する音波パルスを送受信して河床面、および地層構造を探索するものである。実験ではサイドスキャンソナーが一体となったハイドロスキャン590システムを使用した。表-4.30にハイドロスキャン590の性能を示す。

本装置は、比較的水深のある海洋で使用するよう開発されているため、専用の航行体に計測器のセンサーが取り付けられている。調査水域は水深が10m未満と予想されたため音波の送受波器が0.3m以上沈まないよう筏に搭載し調査船で曳航する必要がある。実験では、サイドスキャンソナーは使用しなかった。

測定結果は装置の記録紙上にプロットされ、これを編集、解析することにより、河床断面図を得ることができる。図-4.38にサブボトムプロファイラーにて得られた河床断面図を示す。

サブボトムプロファイラーは2次堆積層である緩い砂、泥層を把握することができるが音波散乱層(気泡混じりヘドロ等)の影響を多大に受ける。検証実験でもその影響を受け満足のいく結果を得ることができなかった。

本装置は水深10m以深の深い水域で使用することを前提として製作されているが、簡単な艀装を施すことにより、水深1m近くの水域でも使用できることが確認された。

表-4.30 サブボトムプロファイラーの性能

項 目		性 能 等
分 解 能		約60cm
送信部	発信周波数	3.5KHz
	発信方式	電歪方式
	ビーム幅	50度
	パルス幅	0.4mSec
記録器部	記録方式	感熱記録
	測定レンジ	12.5～750m
	記録幅	41.3cm
	データレコーダー	DAT
使 用 電 源		AC115V, DC26V, 100W

(2)底質探査機

底質探査機は周波数の異なる音波探査機を2台連動させ、異なる周波数の反射記録の違いから地層構造を検出する装置である。底質探査機の性能を表－4.31に示す。

底質探査機は主に浮泥層を探査する装置となっており、低周波部の周波数が低いほど地盤を透過する能力を有している。本装置は200KHzの高周波帯も併用していることから、計測結果は他の2装置と比較して河床面が明瞭に表現されるという特徴がある。

測定結果は装置の記録紙上にプロットされ、これを編集、解析することにより、河床断面図を得ることができる。底質探査機で得られる結果を図－4.39に示す。図中C9からC14にかけて記録紙がシフトしているのは、機械内の設定により河床面の深度に合わせて自動的に調整されるためである。

計測結果より全般にわたり表層が堆積しているのが判読できる。特にC8からC12にかけては2層目との境界が明瞭に表れている。

表－4.31 底質探査機の性能

項 目		性 能 等
最 大 水 深		約120m
分 解 能		$\pm (0.05 + \text{水深}/500)\text{m}$
高周波部	周波数	200KHz
	発信回数	450回/分
低周波部	周波数	2～7KHz
	発信回数	60回/分
	発信方式	電磁誘導方式
記録器部	記録方式	放電破壊記録
	記録幅、長さ	15.0cm×20m
使 用 電 源		AC100V, 5A

(3) ユニブーム

ユニブームは「単一パルスブーマー」を使用して比較的低い周波数を発生させて地層を探索する装置である。選定した3装置の中で発信エネルギーが一番大きく地層深くまでの探査が可能であると考えられる。ユニブームの性能を表-4.32に示す。

測定結果は装置の記録紙上にプロットされると同時にDATテープに記録されるため、後に修正、加工することが可能である。ユニブームで得られる計測結果を図-4.40に示す。

ユニブームも他の2装置と同様に2次堆積層である緩い砂、泥層を検出することができるが、検証実験地では音波散乱層の影響を受け満足のいく結果を得ることができなかった。

表-4.32 ユニブームの性能

項 目		性 能 等		
最 大 水 深		約75m(地質に依存)		
分 解 能		15～20cm		
送信部	エネルギー	100ジュール	200ジュール	300ジュール
	発信周波数	0.7～15KHz	0.5～10KHz	0.4～8KHz
	発信回数	6回/秒	4回/秒	2回/秒
	発信方式	電磁誘導方式		
受信部	周波数帯	0.1～10KHz		
	受信器	ハイドロフォン(水中マイク)		
記録器部	記録方式	マーサル記録		
	記録幅、長さ	22.86cm×48m		
使 用 電 源		AC115V, 32A		

R-2-2 (下り): 佐原市津の宮(利根川河口から36.5km付近)

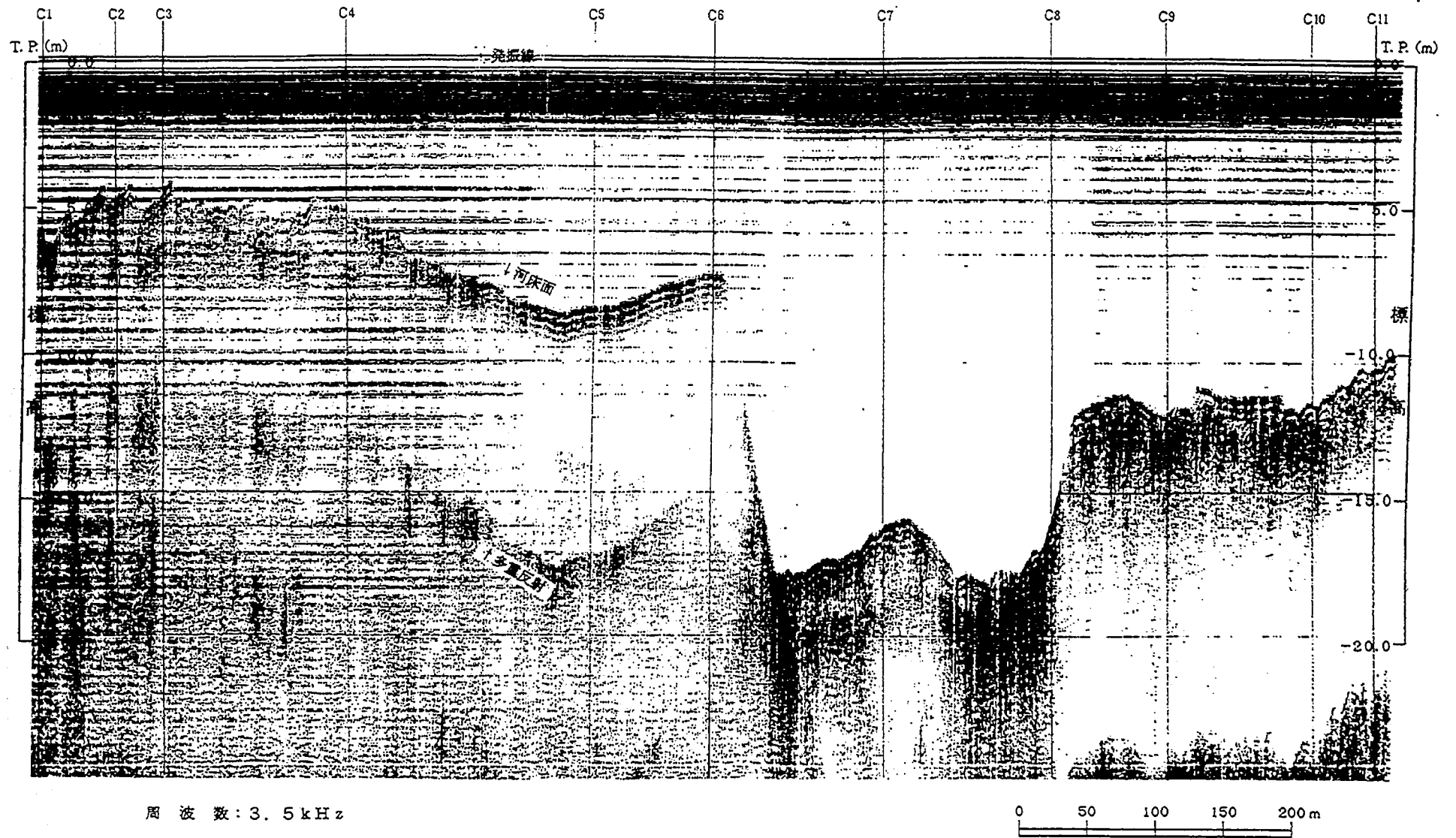


図-4.38 サブボトムプロファイラーの河床断面図

上流側

R-2-I (下り): 佐原市津の宮(利根川河口から36.5km付近)

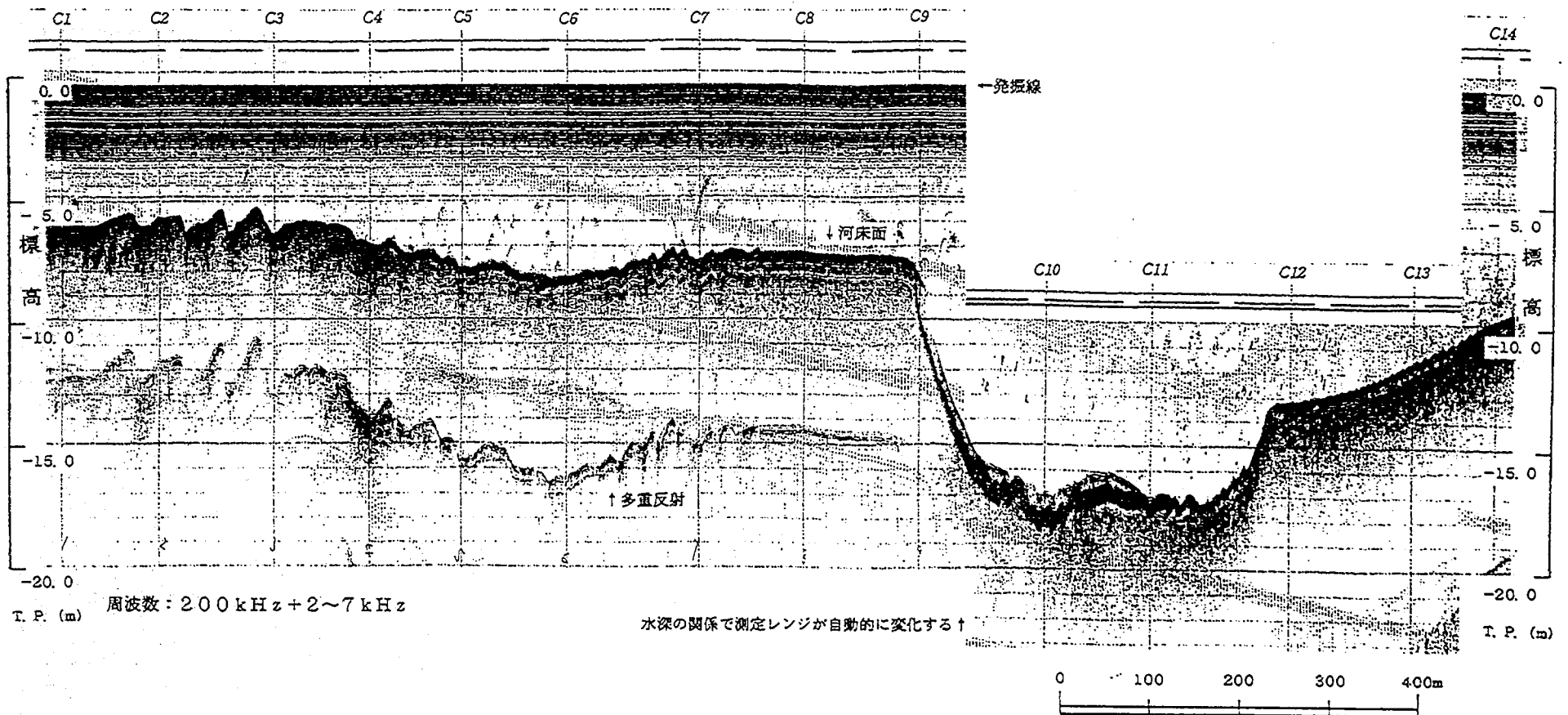


図-4.39 底質探査装置の河床断面図

R-2-1 (下り): 佐原市津の宮(利根川河口から36.5km付近)

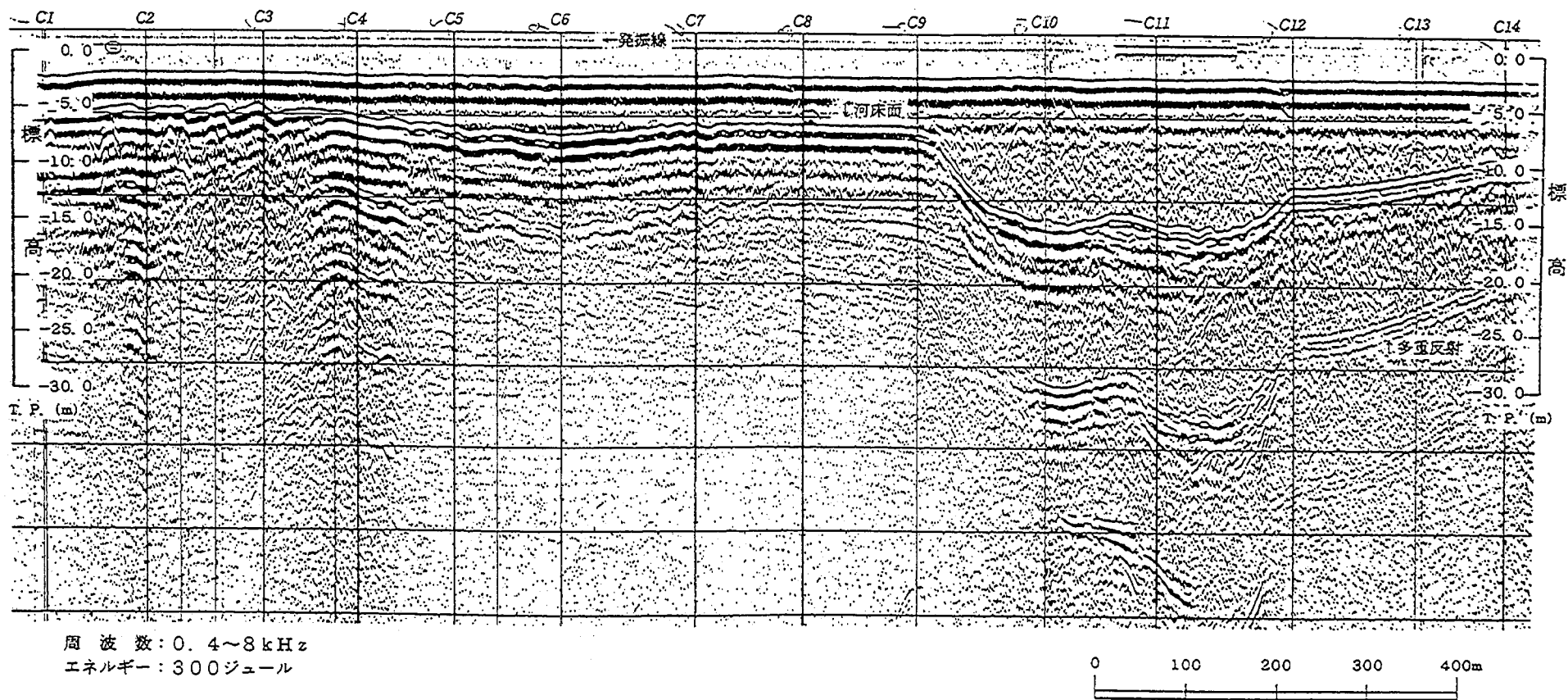


図-4.40 ユニブームの河床断面図

4. 3. 3 調査方法

調査機器運搬に特別な装置を作成しなかったため、小型漁船（積載量 1 t）を使用して調査を行った。

検証実験では音波探査機で得られた地層データと同一地点のボーリングデータとを比較してどの程度の精度で検出することができるか検証する必要がある。そのため、水域で行ったボーリングデータの収集を行い、その中から船舶が航行できる河川を選定し実施した。

(1) 計測装置の艀装

3 装置の艀装方法について以下の点に配慮し検証を行った。装置の艀装については各機種により異なる。

1) サブボトムプロファイラー

- ・通常の河川では水深が10m未満と予想されるため、音波の送受波器が水面から0.3m以上沈まないように曳航体を筏に搭載する必要がある。この時、送受波器と河床の距離よりも送受波器と調査船の距離が近い場合には、河床に向けて発射した音波が調査船で反射してしまいその距離を河床深と誤計測してしまう可能性がある。そのため船尾と曳航体との間隔が15m以上離れるように艀装する（図-4.41(a)）。

2) 底質探査機

- ・調査船の舷側に底質探査機の送受波器を搭載する。この時2~7KHzの低周波部については音波の干渉を防止するため、片側の舷側に送信器を固定したならば、受信器についてはその反対側の舷側に固定するとよい。200KHzの高周波部については送信・受信が1体となっているため調査船の片方の舷側に固定する（図-4.41(b)）。

3) ユニブーム

- ・ユニブームのセンサー部もサブボトムプロファイラーと同様曳航式となっているが、発信器と受信機が独立した構造となっている。ユニブームのセンサー部は筏に搭載する必要がないため、船尾との間隔が15m以上離れて曳航できるように艀装する（図-4.41(b)）。
- ・調査装置の制御器、記録器等は船上に搭載し調査船が動揺したときでも動かぬよう固定する。
- ・実験場所まで調査船を回航するときには、曳航するセンサー、送受波器部を常に監視し、航行中の安全を確保する必要がある。

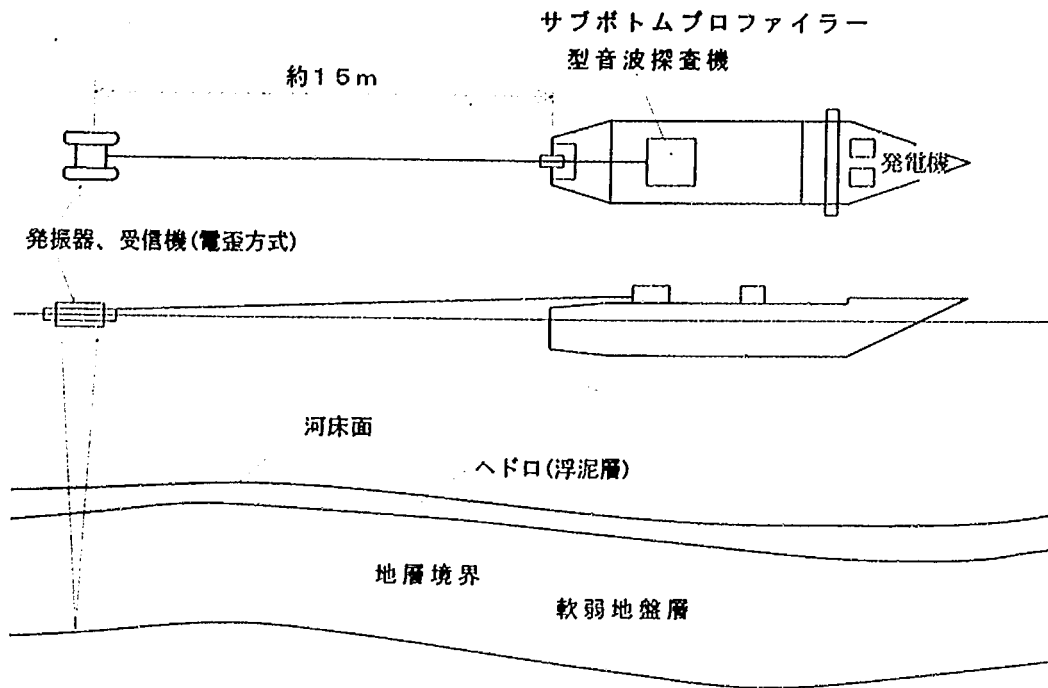


図-4.41(a) サブボトムプロファイラー艦装方法例

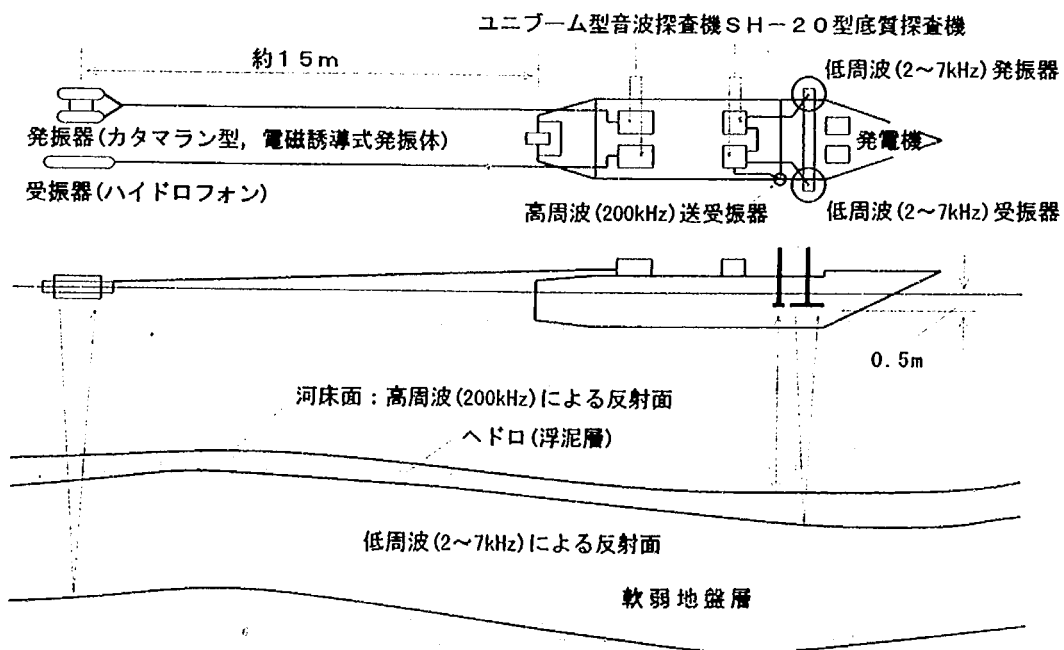


図-4.41(b) (底質探査機
ユニブーム) 艦装方法例

(2) 調査船の誘導および位置測定

測線の設置や調査船の誘導は、原則的にトータルステーションを使用して測量原点の位置出しや調査船の位置測定・誘導を行うこととした。

検証では、ボーリング地点を確実に計測する必要があるため公共座標点を使用することとしている。

- ・ 2箇所の公共座標点を基準に、測量原点を設置する。測量原点などについては、あらかじめ調査範囲などを考慮した上で決定する。
- ・ 測量原点にトータルステーションを設置し、調査船の誘導とカット点(目印)の位置出しを行う。
- ・ 調査船に全方向ミラーを設置し調査船の位置を測定する。
- ・ 測線の端部から調査船を航行させ、適宜その位置を測定しながら調査船が測線に乗るように誘導する。
- ・ 始点のマーカースを通過し測線を航行し始めたら概ね1分ごとに調査船の位置を測定し、位置を確認する。測定値は無線によって連絡し、調査船を誘導する。
- ・ 調査船の位置を測定すると同時に無線で連絡をとり、船上に搭載した記録紙上にカットマークを入れる。

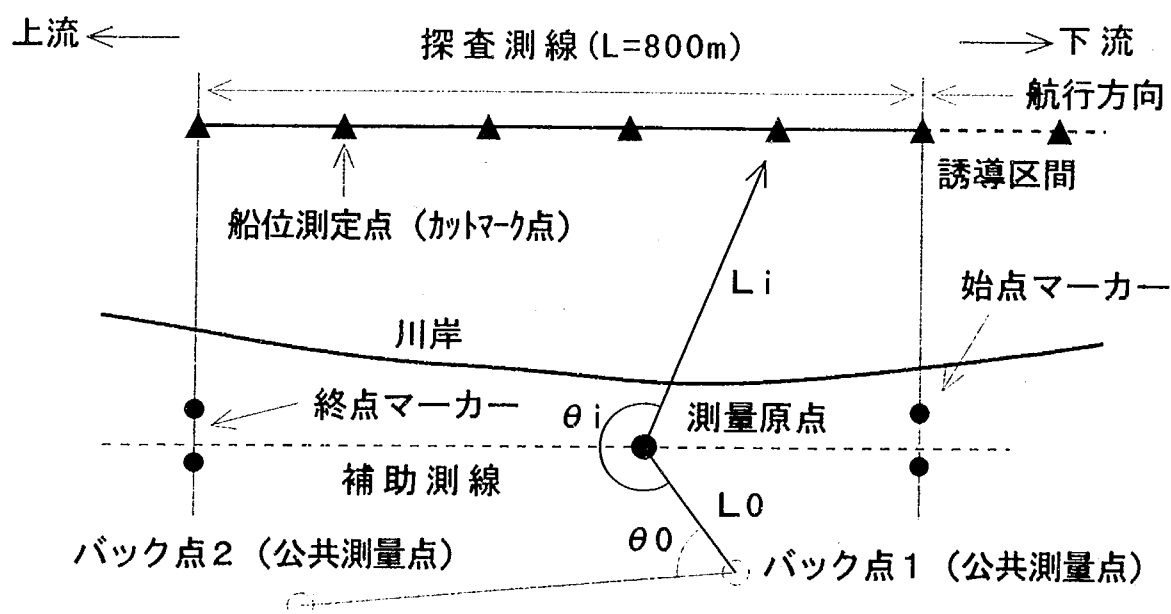


図-4.42 測量原点設置と調査船の誘導

(3) 計測方法

- ・調査水域に到着したならば、測線の開始点に到着するようトータルステーションによって誘導する。
- ・測線上を対地速度約3ノットで航行させる。この場合曳航しているセンサーや舷側に固定している送受波器の状況を常に監視し、水上設置物や他の船舶に注意を払う。
- ・河床堆積物の厚さや状況によって使用するエネルギーや周波数が異なるため、計測記録を常に監視し最良の記録が得られるように発信出力を調整する。
- ・計測は基本的に同一測線を1往復する。なお計測記録が不良と判断される場合には、もう1往復する。

4. 3. 4 調査人員・時間

音波探査装置を使用して地層構造の調査を行うときの必要調査人員を表－4. 3 3に示す。

表－4. 3 3 調査人員および時間

作業項目	必要人員	所要時間
測量原点の設置	トータルステーション操作 1名 反射鏡設置 1名	約30分
調査機器の艀装	艀装 3名	30分
地質探査	調査機器操作 1名 トータルステーション操作 1名 連絡要員 1名 船夫 1名	60分
片付け	3名	30分

4. 3. 5 検証実験実施場所一覧

「音波探査を使用する計測手法」の有効性を確認するため実橋梁の基礎、河川に対して実験を行った。

表－4. 3 4 検証実験一覧

路線名	橋梁名	河川名(実施場所)	実施時期
一般国道51号	水郷大橋	利根川(水郷大橋下)	平成7年2月
—	—	利根川(小舟木町地先)	平成7年2月
—	—	利根川(津の宮地先)	平成7年2月

4. 3. 6 音波探査を使用する計測手法の結果

表－4. 3 5 音波探査装置の計測結果

	地盤に対する透過能力	音波境界層に対する 検出能力	音波散乱層の 影響について
サブボトムプロファイラー	1～2m程度	概ね0. 5m程度	表層については 影響なし*2)
底質探査機	概ね2m程度 条件により2m程度*1)	概ね1m程度	表層は測線全体の 20％程度に影響あり
ユニブーム	概ね10m程度	最良で2m程度	表層は測線全線の 60％程度に影響あり

*1) 条件とは音波の透過度のことであり、緩い砂層やガスを含まない粘性土層のことを指す。

*2) 表層の探査深度は探査機の機種によって異なる。

音波探査を河川で使用する際に最も重要となる条件は、地層中に含まれているガスによる音波散乱層の有無である。

音波散乱層の影響についてに示したように、探査深度が最も浅いサブボトムプロファイラーはほとんどその影響を受けていないのに対し、探査深度が最も深いユニブームは測線全線の50％以上に影響を受けている。

したがって、河床下2mまでの底質を探査することは、音波散乱層の有無に係わらずある程度可能であると考えられるが、それより深い地層まで探査する必要がある場合には音波散乱層の有無によって探査か不可能であることも十分考えられる。この場合、どこに音波散乱層が分布しているか予め調査することはほとんど不可能であるため、探査結果に対する効率が悪くなることを考慮しながら調査する必要がある。

5. まとめ

5. 1 開発した洗掘調査手法の適用範囲、機器の特徴、留意点等を示す。

1) ラジオコントロールボート

特 徴

- ・ 橋梁周辺の広範囲の河床状況を迅速に調査する手法として最も適している。
- ・ 特に橋脚と橋脚の間、橋脚と護岸との間に滞筋が発生している場合では、今回の実験で使用した手法の中で、河床の形状を調査するのに有効な手法の1つである。
- ・ データの管理をパソコンで行うことから、図化処理時間を短縮することができる。
- ・ 各種測定機器を使用して計測することにより、高精度の河床図を作成することができる。
- ・ 河川一般部の深淺測量にも使用することができる。

留意点

- ・ 河川の流速よりも速度のでるRCボートを使用する必要がある。
- ・ 橋脚に接近しづらいため、橋脚の基部が洗掘されている場合、その形状を正確に把握できない恐れがある。

2) カラーイメージングソナー

特 徴

- ・ 実験結果から、橋脚を中心として数十mの範囲の河床状況調査が可能であることから、カラーイメージングソナーのデータとRCボートのデータを総合することにより、より正確な河床状況を作成することができる。
- ・ 橋脚近傍の河床状況を詳しく調査する手法であって、特に橋脚の基部が洗掘されている場合、その形状を正確に把握するのに最も適している。
- ・ トランスジューサーが回転することにより1測線の河床形状の調査が可能である。
- ・ トランスジューサーを支持するロッドの固定用治具を橋梁の高欄に取り付けられれば、橋梁点検車がなくても調査することが可能である。
- ・ センサー自身を移動させる必要がなく、センサーを水中に降ろすだけで任意方向の断面図を得ることができる。1つの橋脚に対して右岸側、左岸側から行うことにより橋脚付近の河床図を作成することができる。計測レンジを変更することにより河床断面図も計測することが可能である。

留意点

- ・ トランスジューサーを垂直に回転させながら音波を発射することによって調査を行うため、平面的な調査はどちらかといえば不得意である。
- ・ センサーから距離が離れるほど計測精度が低下する。

3) 水中テレビカメラ

特 徴

- ・水中部分の橋脚表面を調査するのに適している。
- ・水中下部構造物の劣化状況をその場で確認することができる。
- ・潜水士を任用しなくてもよいため危険作業を回避することができる。

留意点

- ・河川水が濁っている場合には使用できないため、透明度が回復するまで待つか、カメラと橋脚の間にクリアーサイトと呼ばれる装置を使用する必要がある。
- ・映し出される画像のみでは計測箇所を判読することは困難なため、水中カメラ入水時に箇所、深さなどを記録しておく必要がある。

4) 地下レーダー

特 徴

- ・河床および河床面下の地盤状況を計測することができる。
- ・測定条件が整えば、二次堆積物の有無などを判断することが可能性がある。

留意点

- ・河川水、地盤の比抵抗が低いと電磁波が減衰して計測が不可能となる。
- ・地層の断面図を得るためにはアンテナ自身を移動させて計測する必要がある。
- ・装置が大がかりとなるため、調査計画を綿密に立てる必要がある。

5) スウェーデン式サウンディング

特 徴

- ・河床面下の地盤の状況をロッドの貫入抵抗から推測することができる。

留意点

- ・ロッドが座屈したり、河川水の流圧により流されるため調査水深に限定をうける。
- ・現状のサウンディング装置では、ロッドの剛性が不足し地中に貫入できない。

6) 音波探査

特 徴

- ・河床および河床面下の地層状況を計測することができる。
- ・測定条件が整えば、二次堆積物の有無などを判断することが可能性がある。

留意点

- ・底質探査機は舷側に固定するため比較的小回りが利き、橋脚近傍の航行が可能と思われる。
- ・サブボトムプロファイラーとユニブームは曳航式のため小回りが利かず、橋脚近傍の調査には向いていない。
- ・音波散乱層の影響を多大に受けるため、使用にあたっては細心の注意を払う必要がある。

7) 橋上から行う調査

特 徴

- ・必ずしも交通規制を行う必要がないため手軽に洗掘調査を行うことができる。
- ・調査地点の移動を迅速に行うことができる。

留意点

- ・出水時、強風時等の気象条件ではロッドを固定することが困難であるため調査するのは容易ではない。

8) 橋梁点検車の作業台から行う調査

特 徴

- ・橋梁点検車の作業台から行うことができるため、計測予定地点に確実に測定機器を降ろすことができる。
- ・上部構造点検時に合わせて行うことにより、合理的に点検できる。

留意点

- ・橋梁点検車に求められる性能として、作業台の積載荷重が150kgf以上、定員が2名以上であること、作業台を橋脚天端付近に寄せられること（水中カメラ）
- ・交通規制が必要であるため、道路管理者、警察との協議が必要となる。

5. 2 本研究開発を行った調査手法の防災点検等の調査への適用。

従来の洗掘調査手法と開発した洗掘調査手法との比較を表－5.1に示す。

表-5.1 洗掘調査手法の比較表

洗掘調査手法	概要	特徴	留意点	計測結果、備考
ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査	・RCボートを使用して、水深測定と同時にRCボートの位置を測定する。 ・RCボートは、河床状況を確認することができる。	・橋梁基礎周辺の広範囲の河床状況を迅速に調査できる。 ・多数のデータを短時間に収録することができる。 ・川岸から調査を行えるため安全である。 ・現場でリアルタイムに河床状況を把握できる。	・システムの製作が必要 ・河川の流速に影響される	河床の2次元・3次元等高線図、任意の河床断面図
橋上から測定機器を使用する洗掘調査				
カラーイメージングソナーを使用する洗掘調査	・橋上から道路に取り付けたソナーヘッドを水中に降ろし、ソナーヘッドが河床に当たると、ソナーヘッドから反射した光をカラーイメージングソナーで検出する。 ・橋上歩道から行う方法もある。	・橋脚近傍の河床状況を(断面)を迅速に調査することができる。 ・断面図は逐次表示される。 ・ため、洗掘箇所を逐次調査する範囲を大きくすることになる。 ・計測範囲が広いことによる安全に計測することができない。	・河川の流速に影響される ・気象条件に影響される(強風の時は不可)	河床断面図、3次元等高線図、任意の河床断面図 橋梁点検車使用時は道路管理者、警察の許可が必要
水中テレビカメラを使用する洗掘調査	・橋上から道路に取り付けた水中テレビカメラをリアルタイムで観測できる。 ・橋梁点検車から行うこともできる。	・潜水士に頼らなくとも橋脚の損傷状況を調査することができる。	・河川の流速に影響される ・気象条件に影響される(強風の時は不可) ・河川の濁度に左右される	損傷箇所の画像(プリントアウト、ビデオテープ) 橋梁点検車使用時は道路管理者と警察の許可が必要
従来の洗掘調査手法				
橋上から下げ振子を使用する洗掘調査	・橋脚上の歩道から高欄越しに下げ振子を降ろして計測する。	・最も簡単に調査できる。(橋上、橋梁点検車、ボート上から計測できる)	・歩道直下の測定に限られる ・河川の流速に影響される ・気象に影響される(強風の時は不可)	橋脚上流、下流側の水深値
ボート上からボール(レッド)を使用する洗掘調査	・ボート上からボール、レッドを使用して深淺測量を行う。	・特殊な技術を必要とせず詳細計測ができる。(ボート上、橋梁点検車から計測できる) ・自由な位置を計測できる	・流速が早い場合は危険 ・計測に時間を要する	橋脚周辺の深淺図

[参 考 資 料]

1. ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法の追加実験

1. 1 前回までの問題点および改良点

ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法について、実用性を検証するため平成6年度に笹目橋、利根川橋にて実証実験を行ってきた。しかし、実験中に各種の問題点が発覚しそのつど計測方法の手直しや改良を行ってきたが、前記2回の実証実験で解決しなかった課題も多数残されていた。平成7年度にはこれらの問題点を解決するために表-1.1に示す対策を施し、再度実橋梁にて実証実験を行った。

表-1.1 問題点と対策

	問 題 点	対 策
R C ボ ー ト	RCボートが後進できないため、橋脚に船首から接触した時、根固めブロックに乗上げた場合離脱することができない。	RCボートの推力を電動式に変更し、RCボート操縦用送信機からの制御で後進できるよう設計変更する。(新艇の製作)
	発動発電機から電源を供給した場合、測深データ、測位データの欠落量が多くなるため実作業に見合った計測点数を収得することができない。	発動発電機と各種計測装置の間にノイズフィルター付きのタップ(延長コード)を使用する。 発動発電機の点火プラグを抵抗付きのものに交換する。
	RCボートの制御不能状態を回避するため2台使用していた送信機を1台に変更した。	1台に変更したことへの有効性を確認する。
事前 測 量	事前簡易測量の実用性の確認。 前回の実証実験では問題なく作業を行うことができたが、他の橋梁でも検証する必要がある。	利根川橋で実施した事前簡易測量と同様に測量基準点を設置する。
処 理 ソ フ ト	処理ソフトウェアの収録点数が2,200点(約36分)しかないため、計測する橋梁によってはデータが1ファイルに収録できない。	1ファイル3,600点(約60分)以上記録できるよう収録ソフトの改良を行う。
	計測時、パソコンの画面に表示される計測範囲のスケールが自動的に設定されてしまうため、レーザートラックがミストラックした場合など見づらい表示となってしまう。	処理ソフトの手直しを行い、パソコンに表示されるスケールを任意に指定し、X、Y座標の表示限界を設定できるように改良する。
	データファイルを2つに分割して収録する際、直前の航跡図が表示されないため、2ファイル目の計測範囲は前回の航行範囲を推測しながら行わなければならない。	処理ソフトの改良を行い、指定するファイルの航跡図を表示できるようにする。

1. 2 ラジオコントロールボート「いしずえⅡ」の製作

表－1. 1 に示した R C ボートの問題点を解決するため、動力を電動式とする R C ボートを製作した。R C ボートの性能諸元を本編 表－4. 1 に、R C ボートの構造を本編 図－4. 5 に、外観の写真を本編 写真－4. 2 に示す。

R C ボートの艇体はベニヤ製で F R P カバーによる防水処理を施している。艇体の重量配分は搭載する計測装置を考慮し、ボートの製作後、各装置を搭載して調整を行った。

1. 3 ラジオコントロールボートの航行試験

R C ボートの航行性能、処理ソフトウェア改良点の確認を行うため、建設省土木研究所構内の海底作業実験水槽 B (40m×20m 最大水深1.6m) にて航行試験を行った。

1. 3. 1 航行試験の検証項目

航行試験において改良、手直し等を行った箇所の検証を行った。その項目について以下に示す。

1) R C ボートの航行試験

- ・前進・後進性の確認
- ・操縦性（機敏性）の確認
- ・最高・最低速度の把握
- ・キャビテーション^{*)} 発生の有無
- ^{*)} スクリューが高速で回転することにより生じる気泡

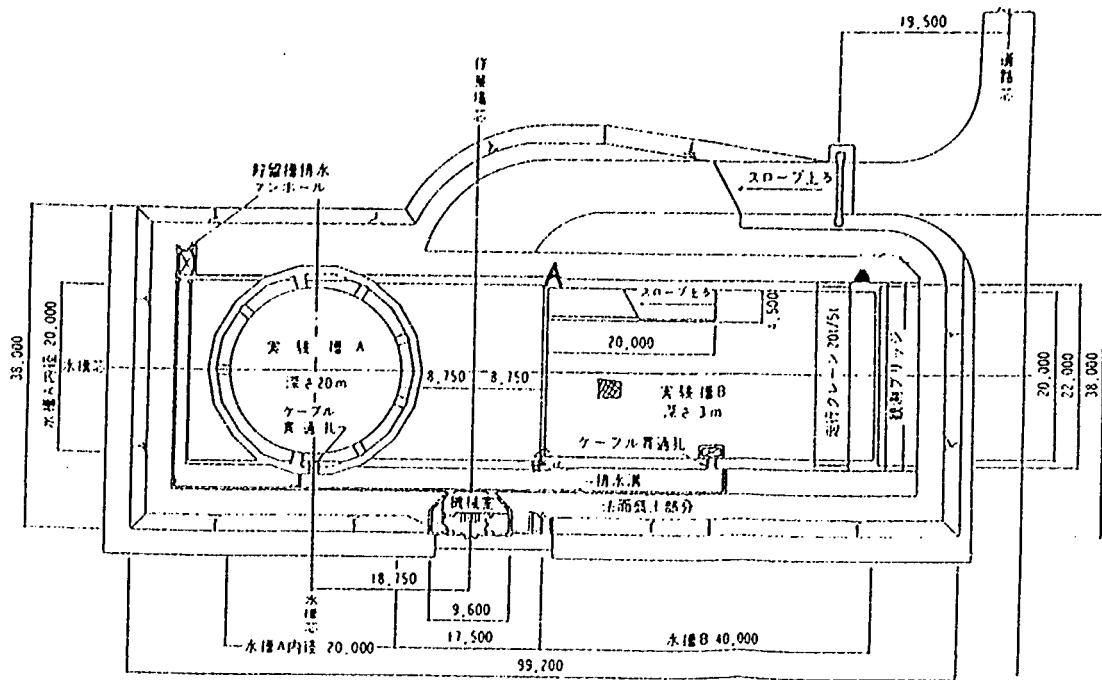
2) 処理ソフトウェアの作動確認

- ・データ収容量増大の確認
- ・航跡図作図モードの確認
- ・航跡図再表示の確認
- ・測深、測位データ欠落状況の確認

1. 3. 2 測定機器設置

航行試験に使用した水槽を図－1. 1 に示す。

水槽全体の形状を把握するため図中 A に示す位置にレーザートラック（以下、「LDM」という）を設置し測量基準点とした。水槽の四隅に計測用の棒を立て LDM を使用して各点の座標を計測した。標高は航行試験ということで厳密な高さを必要としないことから任意の点を基準として求めた。



図－1.1 海底作業実験水槽 B

1. 3. 3 深度測定台の設置

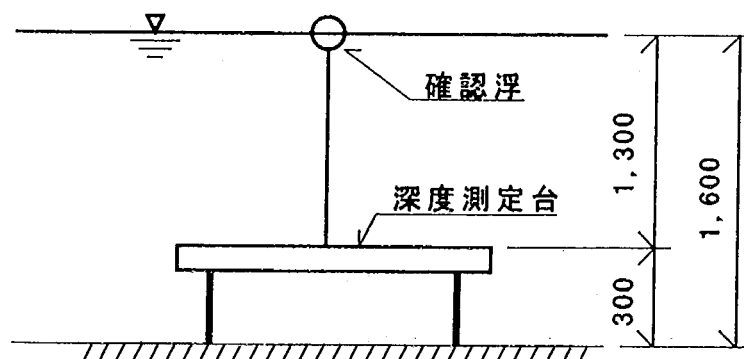
深度測定台は図－1.2 に示す形状のものを使用した。

海底作業実験水槽の槽底はフラットな構造となっているため、RCボートに音響測深機を搭載して計測しても河床地形のような凹凸データを得ることはできない。そのため図－1.2 に示すような台を水槽中に沈め、人工的に起伏を作ることとした。

測定台は、高さ0.3m、上面寸法1.0×1.0mの単管枠に、音響測深機の音波が反射するようにベニヤ板を取り付けた構造となっている。板中央部には沈設後の台を確認するために「確認浮」を取り付けた。

深度測定台の設置は、水中に沈めた後、あらかじめ足に取付けておいた2本のロープを引いて図－1.3 に示す位置に設置した。

設置後、確認浮きをLDMを使用して測定し座標を求めた。図－1.3 に各点の座標値を示す。



図－1.2 深度測定台の構造

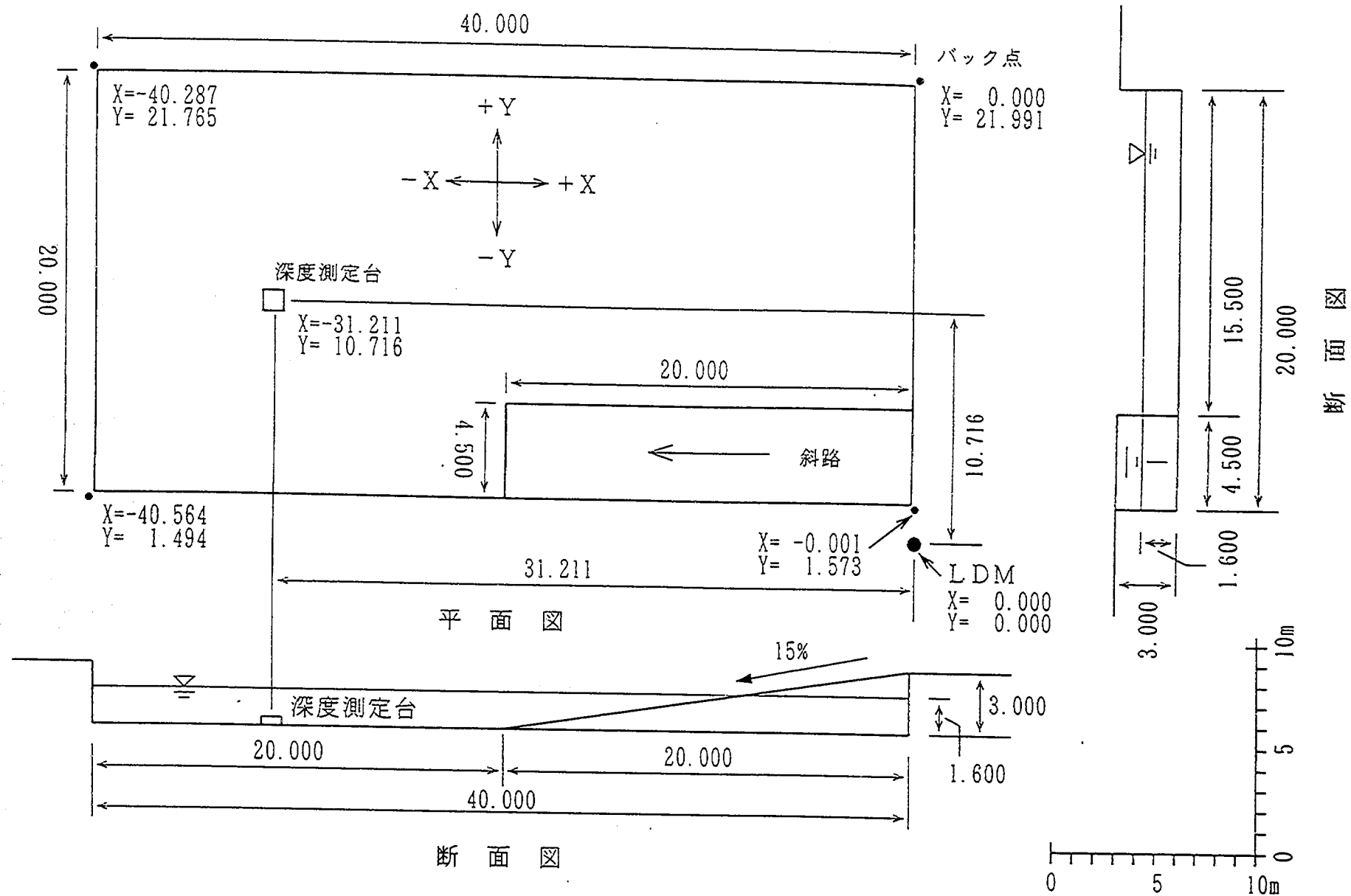


図-1.3 各点の座標

1. 3. 4 水深計測

本調査は、実橋梁での計測と同様にLDM、パソコン等を使用して計測を行った。

RCボートの航行は、深度測定台の直上を通過させる必要があるため、RCボートが確認浮を乗り越えるように誘導した（ランダム方式）。

1. 3. 5 検証結果

(1) RCボートの航行試験

航行試験結果について表－1. 2に示す。

表－1. 2 RCボートの航行試験結果

項 目	評 価	備 考
前進性能	○	水槽内では問題なし
後進性能	△	検証実験までに改良の必要あり
操 縦 性	◎	問題なし
最高速度	△	1m/sec 改良が必要
最低速度	○	問題なし
キャビテーション	○	問題なし

◎：性能諸元以上 ○：性能諸元通り △：要改良

検証結果の要改良の点について以下の改造を行った。

- ・後進性能：船底の開口部を大きくし水の流れを良くすることにより解決。
- ・最高速度：モーターを大型のものに変更し、スクリューを一回り大きくすることにより解決。

(2) 処理ソフトウェアの作動確認

1) 処理ソフトウェア

各項目の検証結果を表－1. 3に示す。

表－1. 3 ソフトウェアの検証結果

項 目	評 価	備 考
データ収容量増大	◎	3,600点以上収録可能
航跡図作図モード	◎	スケールと表示枠固定可能
航 跡 図 再 表 示	◎	過去の航跡図の重書き可能

◎：性能諸元以上 ○：性能諸元通り △：要改良

2) データの欠落状況

測深データ、測位データの欠落状況を表－1.4に示す。

表－1.4 測深、測位欠落状況

項 目	データ数 (点)	データエラー		備 考
		欠落数(点)	欠落率(%)	
全測定データ数	1,541(a)	-----	-----	25.7分間
測 深 データ 数	1,512	29(b)	1.9(b/a)	
測 位 データ 数	1,498	43(c)	2.8(c/a)	
総 合 データ 数	1,469	72(d)	4.7(d/a)	上記2項目単純合計

※総合欠落数72点は、測深、測位エラー数の和であり、実際には同時欠落の場合もあるため欠落数はもう少し少ない。

1. 3. 6 水深計測結果

図－1.4にRCボートの航跡図と水深の2次元等高線図を、図－1.5に3次元等高線図を示す。

RCボートの計測結果から得られた深度測定台の水深とLDMで計測した水深との比較を表－1.5に示す。

RCボートの計測結果から深度測定台の水深を求めるには、測定台の中心座標を図化処理ソフトを利用してグリッド化した後求める。LDMにて深度測定台を計測したデータと、RCボートにて計測したデータとの誤差はX座標で0.3m、Y座標で0.2m程度であった。水深値はほぼ同じ値が得られた。

表－1.5 深度測定台位置の比較

位置	RCボートによる 測定台の 計測	LDMによる 確認浮きの 計測	誤 差
X	-31.5 m	-31.21m	0.29m
Y	10.5 m	10.72m	0.22m
水深	-1.27m	-1.3 m	0.03m

RCボート・データ処理 <2D図化>

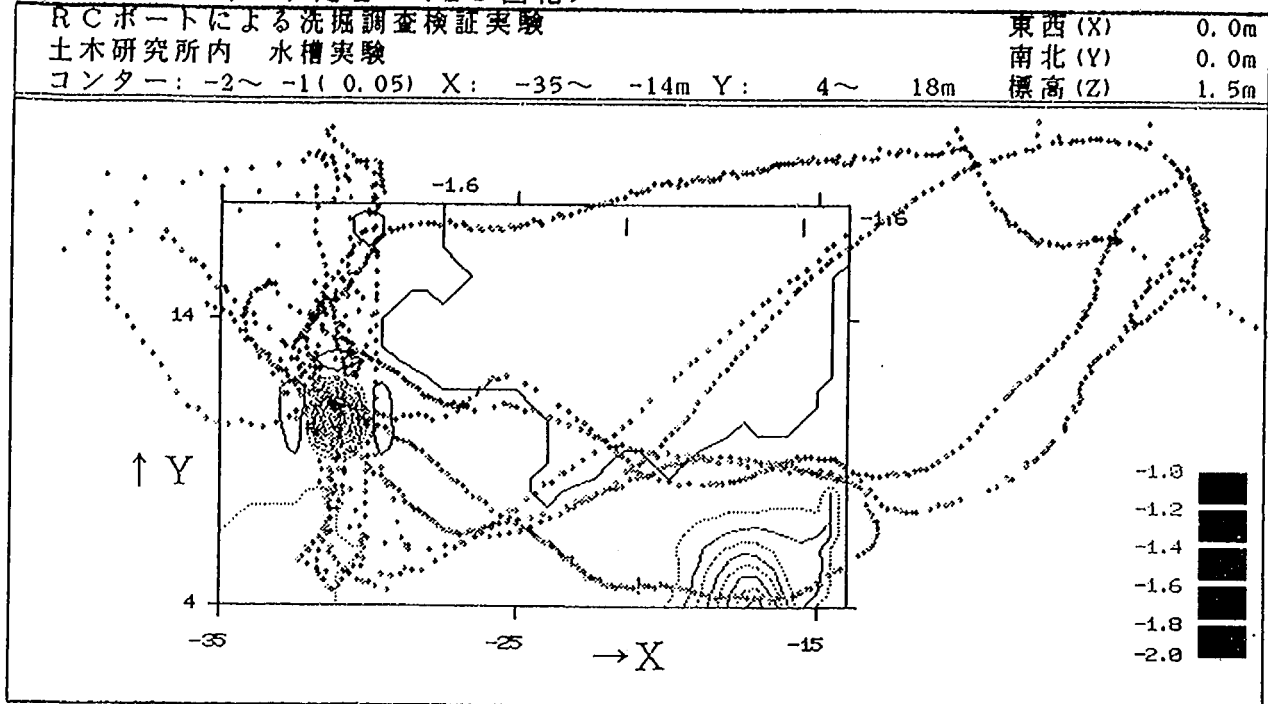


図-1.4 RCボートの航跡図と水深の2次元等高線図

RCボート・データ処理 <3D図化>

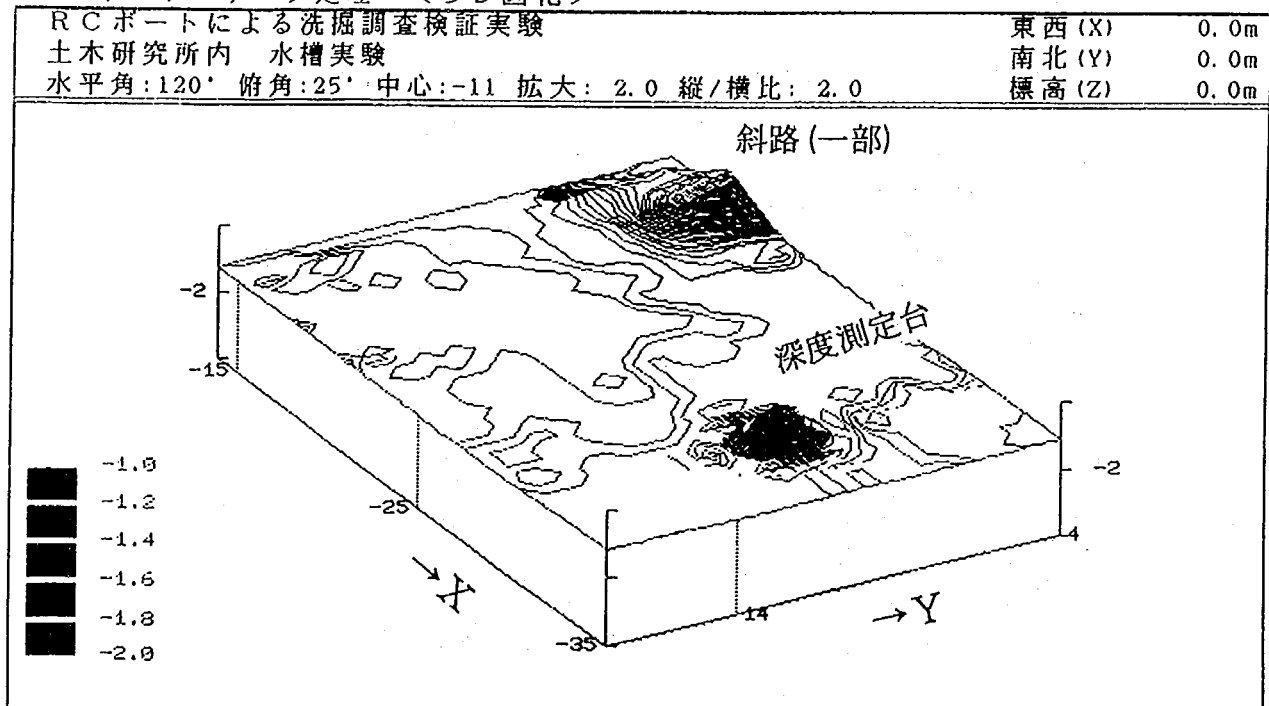


図-1.5 3次元等高線図

1. 4 ラジオコントロールボートの検証実験

1. 4. 1 検証実験場所

図-1.6に橋梁位置図、図-1.7に小松川大橋の橋梁一般図を示す。

小松川大橋、新小松川橋は、東京都江東区と江戸川区を結び、1級河川荒川に架設されている。本橋は2列並列橋（上流側が小松川大橋、下流側が新小松川橋）となっている。

周辺の河道は幅約340mで、本河川は感潮区域となっており河川水位は潮位変動の影響を受けている。当該河川は船舶が航行しP8橋脚とP9橋脚の間が航路となっている。

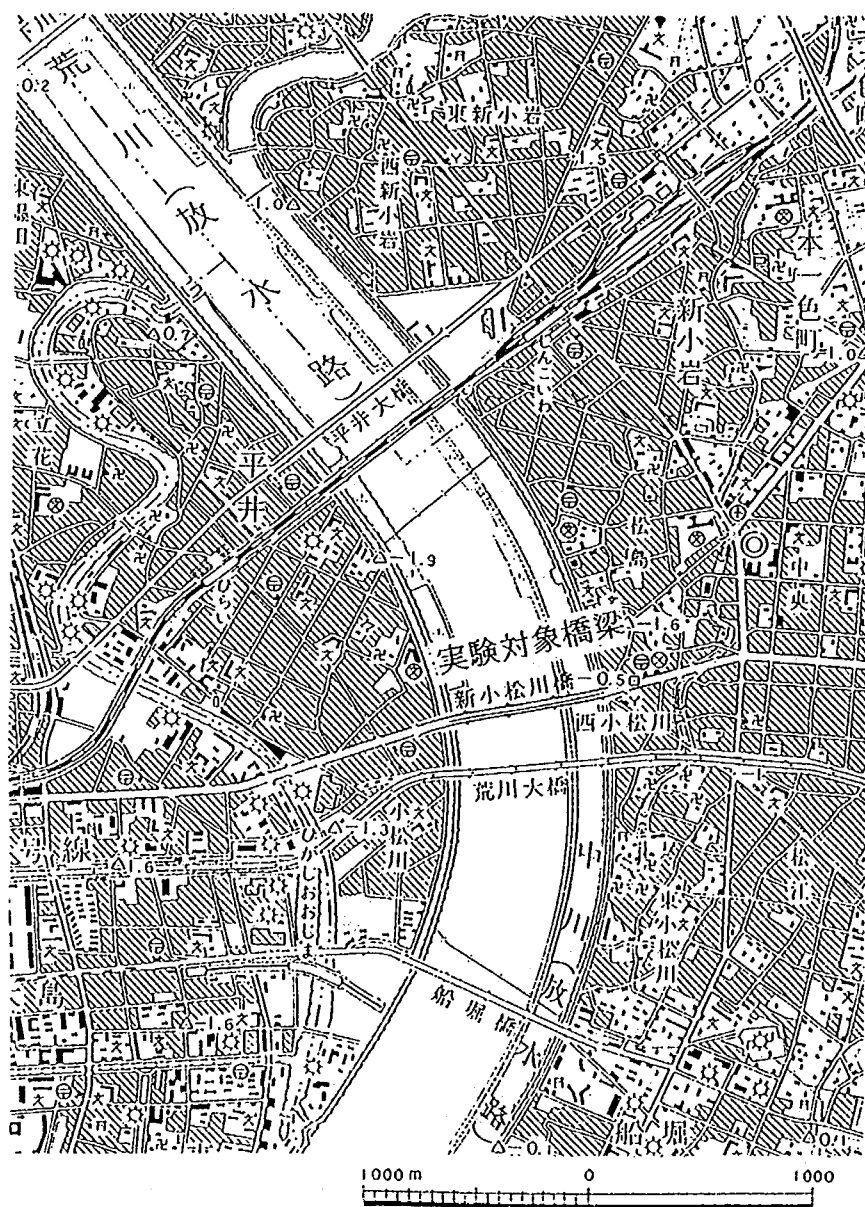
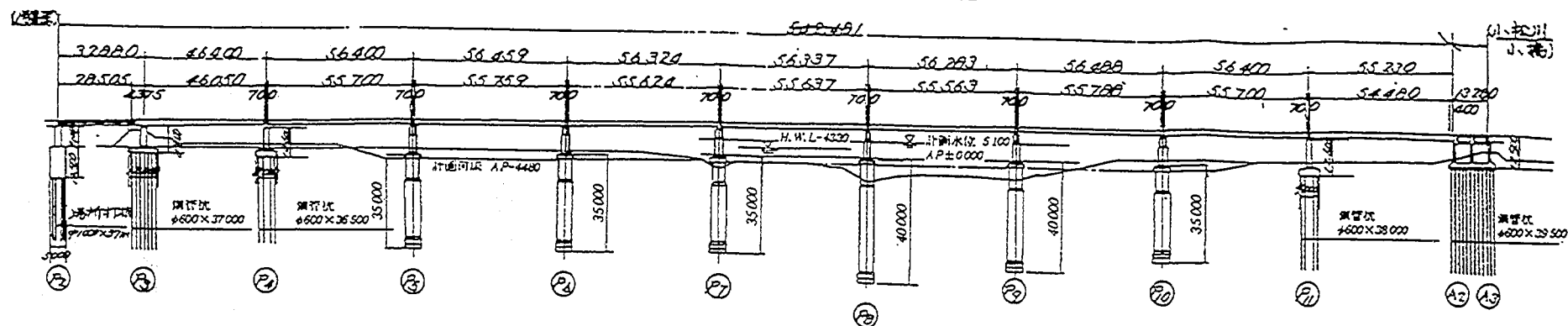
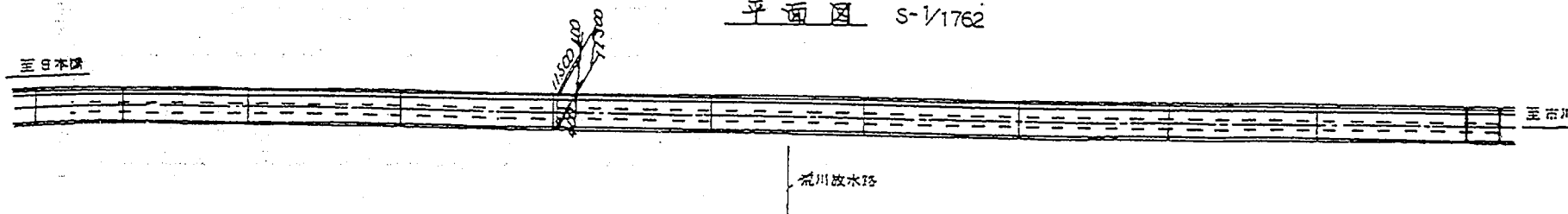


図-1.6 橋梁位置図

側面図 S-1/1762



平面図 S-1/1762



断面図 S-1/180

(2 ~ 13)

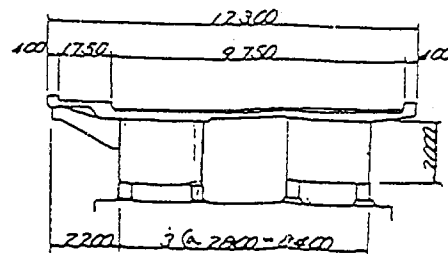


図-1.7 小松川大橋の橋梁一般図

1. 4. 2 検証実験範囲

調査範囲は図-1.8に示すように範囲が広いことと、荒川を航行する一般船舶が多いことから4つの区域に分割して行った。以下に分割方法について記載する。

①右岸上流側（図-1.8 A）

小松川大橋、新小松川橋のP5～P7周辺の右岸から河川横断方向に約169m、両橋梁の中心から上流方向に50mの範囲。

②右岸下流側（図-1.8 B）

小松川大橋、新小松川橋のP5～P7周辺の右岸から河川横断方向に約169m、両橋梁の中心から下流方向に50mの範囲。

③左岸上流側（図-1.8 C）

小松川大橋、新小松川橋のP8～P10周辺の左岸から河川横断方向に約169m、両橋梁の中心から上流方向に50mの範囲。

④左岸下流側（図-1.8 D）

小松川大橋、新小松川橋のP8～P10周辺の左岸から河川横断方向に約169m、両橋梁の中心から下流方向に50mの範囲。

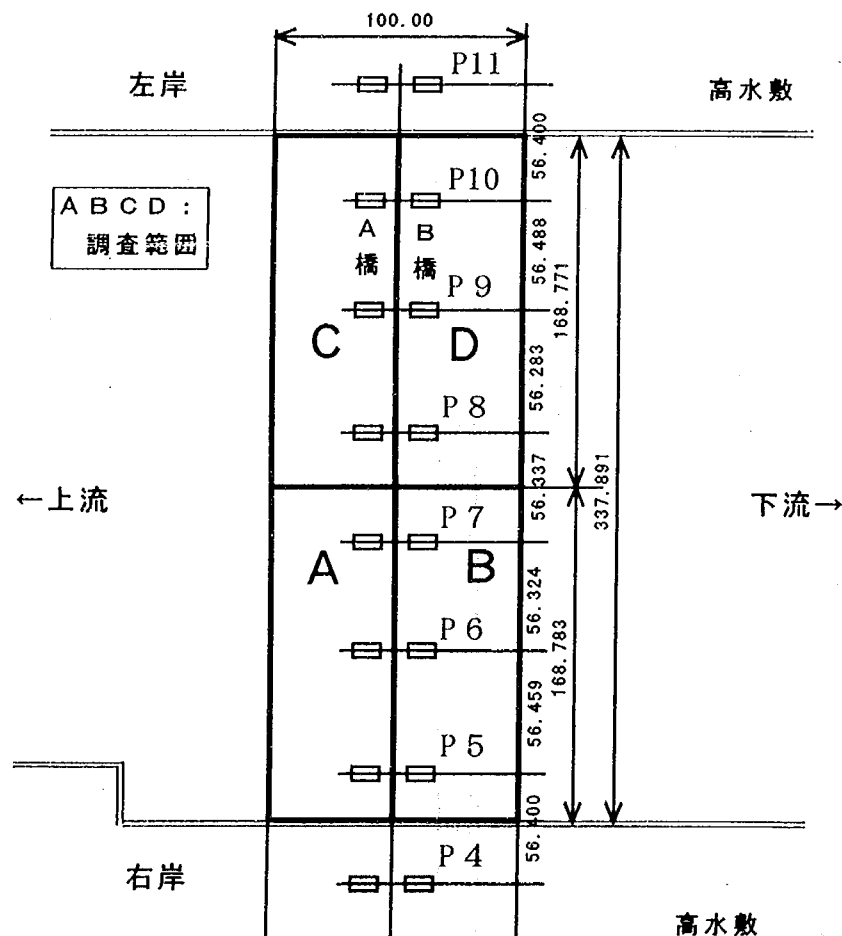
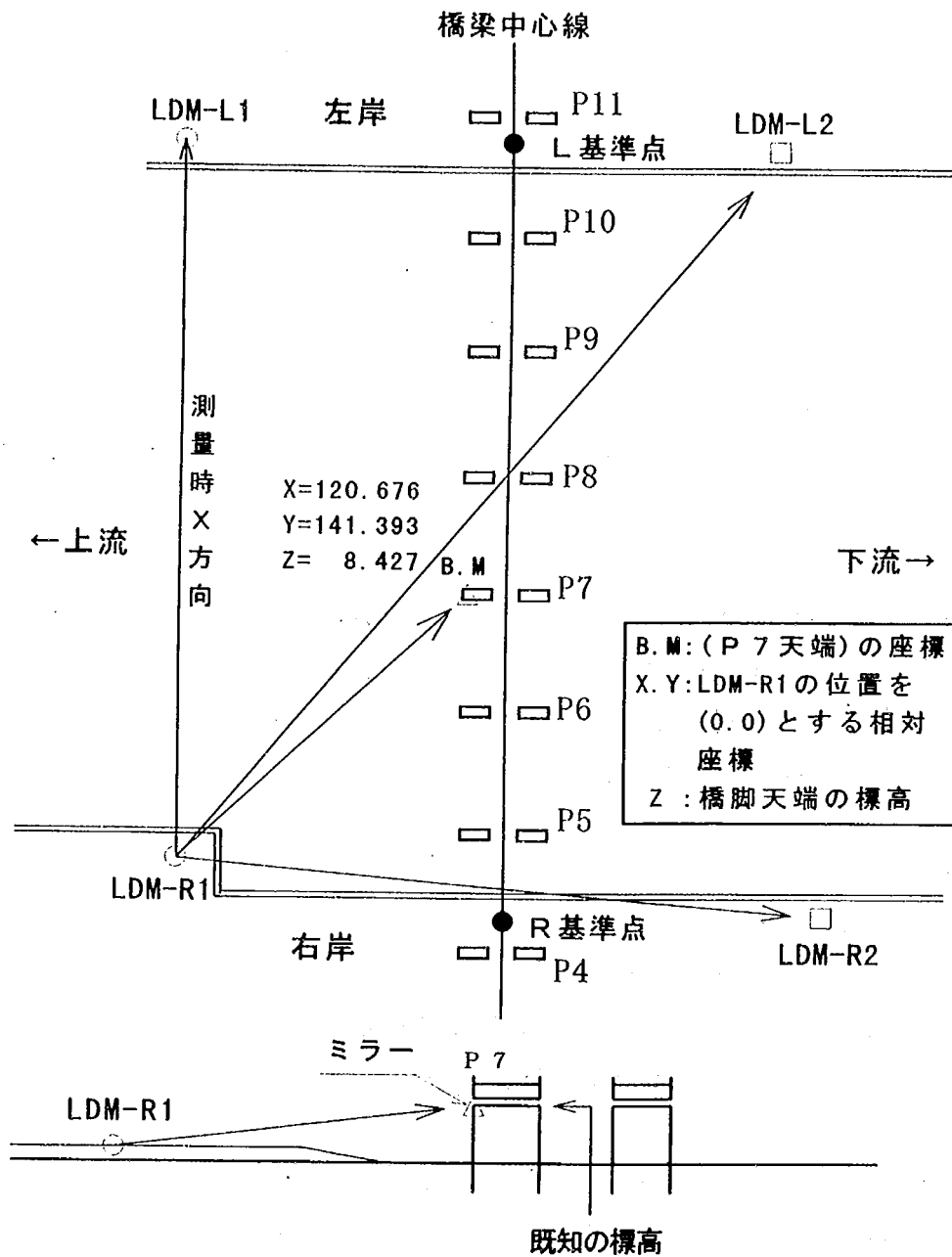


図-1.8 調査範囲

1. 4. 3 事前簡易測量

前回の利根川橋の実験と同様に、既知の基準点を使用した深淺測量は実施せず以下に示す要領で事前測量を実施した。図－1. 9に簡易測量の概要を示す。

- ・ R Cボートの平面位置（計測した河床と橋脚の位置を合わせる時に必要）
： 橋梁中心線に対する相対表示
- ・ R Cボートの標高（洗掘深さと基礎の標高を合わせる時に必要）
： 小松川大橋 P 7 橋脚の天端を基準とする標高表示



図－1. 9 簡易測量の概要

事前簡易測量実施方法

- ① 小松川大橋と新小松川橋の中間位置に橋梁中心線を設け、右岸にR基準点、左岸にL基準点を設置した。
- ② 橋梁中心線から右岸側上流約150mの地点に、RCボートを追跡するための追跡基準点(LDM-R1)を設置した。
- ③ 橋梁上流左岸側に、LDM-R1から見通せる位置に追跡補助基準点(LDM-L1)を設置する。
- ④ ③と同様に下流側の右岸側と左岸側にも追跡補助基準点LDM-R2とLDM-L2を設置した。
- ⑤ 追跡基準点(LDM-R1)にLDMを設置し、バック点(LDM-L1)にミラーを置いて座標(X、Y、比高)を計測する。座標系はLDM-R1を原点(0, 0)として組んだ。LDM-R1→LDM-L1方向をX軸とした。
- ⑥ ⑤と同様に基準点(R、L基準点)と追跡補助基準点(LDM-R2、LDM-L2)にミラーを置いて、それぞれの座標を計測した。
- ⑦ 小松川大橋のP7橋脚天端にミラーを設置し水平位置と標高を計測した。橋梁一般図からP7橋脚天端の標高を求め、計算によってLDM-R1の標高を求めた。

この結果と⑤⑥の結果から各基準点の地盤高さを計算によって求めた。

- ⑧ 各基準点の使用は、RCボートの航行位置に合わせ、レーザートラックからの視準が最適となる場所を選定した。

基本的には、以下に示す組合わせで洗掘調査を行った。

- ・ 橋梁上流側で右岸側の計測時(A) : LDM-R1追跡基準点
- ・ 橋梁下流側で右岸側の計測時(B) : LDM-R2追跡補助基準点
- ・ 橋梁上流側で左岸側の計測時(C) : LDM-L1追跡補助基準点
- ・ 橋梁下流側で左岸側の計測時(D) : LDM-L2追跡補助基準点

計測範囲の計測が終了し、LDM設置点を変更する場合でもLDM-R1追跡基準点の座標を(0, 0)とし、航行区域が第1象限となるように座標系を設定する。

1. 4. 4 深浅測量

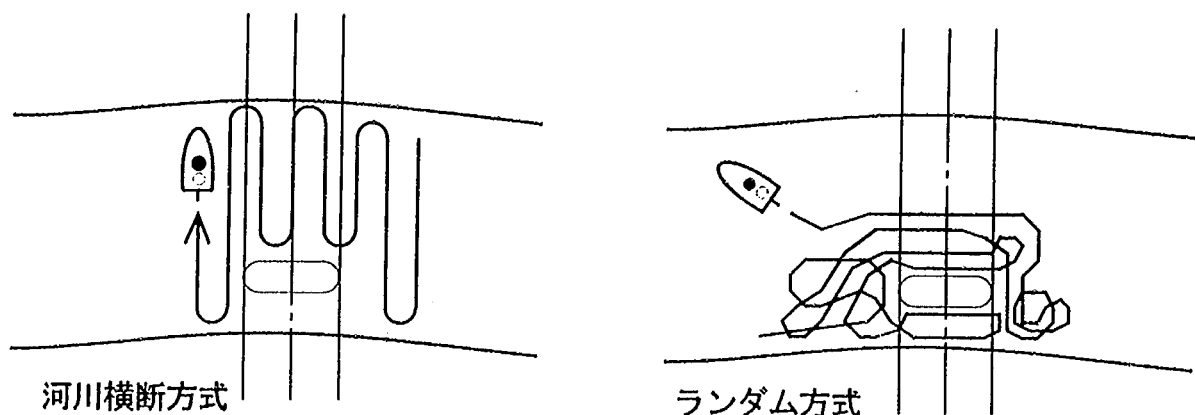
(1) RCボートの航行方法

深浅測量では図-1.10に示す2種類の航行方式で計測を行った。

河川横断方式の計測は、測線の間隔を5m～10m程度の平行測線となるように設定した。

ランダム方式は、橋脚の周囲を取り囲むように航行させるケースと、橋脚に向かって航行させるケースの2つの方法を使用した。

本橋梁では船舶が頻繁に航行しているため、しばしば実験の進行を中断させるを得なかった。このため、2種類の計測方式を各々に実施する時間的余裕がなかったため、実験の進行状況を判断しながら適宜計測方式の変更を行った。



図－1.10 RCボートの航行方式

(2) 計測方法

河川横断方式の計測について以下に示す。

- ① 上流右岸に設置したLDM-R1にレーザートラックを据付けた。操縦者とボート誘導員を各1名、船舶の監視員（上下流各1名）を配置した。
- ② まず、図－1.8 Aの範囲について最初に調査を行った。各員配置終了後、RCボートを河川の横断方向に航行させた。順次計測を行い測線の終点を通じたならば徐々に回頭させて隣の測線に誘導し逆方向に航行させた。以後測線を変更しながら計測を行った。
- ③ RCボートが橋脚の陰になり見通せない場合には、RCボートに搭載されているCCDテレビカメラからの画像と誘導、監視員の指示によりRCボートを航行させた。
- ④ 一般船舶が近づくなどRCボートが危険と判断した場合には、停止あるいは岸まで引返して待機し、危険が去った後で再び計測を続行した。
- ⑤ 河川横断方式の計測中でもランダム方式で橋脚の周辺を計測した方が良いと判断した場合には、適宜変更した。
- ⑥ 計測が終了したならば、RCボートを岸まで引返し、同時に計測データをファイルに保存した。
- ⑦ 図－1.8 Bの範囲を測定するために、LDMをLDM-R2に移動した。また、追跡基準点（LDM-R1）にミラーを設置してバック点として座標系を組んだ。
調査方法については①～⑥と同様に計測を行った。
- ⑧ C、Dの範囲についても⑦に同じである。

1. 4. 5 事前簡易測量結果

測量座標系では、追跡基準点、追跡補助基準点からバック点を視準した方向がX軸（LDMが原点）となり、それに直角の方向がY軸（LDMから見て右が+）となるように設定される。

今回の実験区域では、荒川の川幅が300mを越えているのに対し、河川流下方向が100mしかないためそのまま図化作業を行うと、X軸である橋軸方向がパソコン画面の上下方向となってしまう見づらくなってしまう。そのため、図化処理ソフトの座標回転機能を使用して、X軸を画面の左右方向に変換し図化座標系として解析を行った。

表-1.6に事前簡易測量結果を示す。

表-1.6 小松川橋、新小松川橋事前簡易測量結果

測 量 点		X 座 標		Y 座 標		標 高	備 考
		測量時 ¹⁾	図化時 ²⁾	測量時	図化時		
LDM-R1		0.00	-36.1	0.00	262.0	2.748	右岸上流
LDM-R2		-27.88	-50.3	261.28	-0.4	2.389	右岸下流
LDM-L1		323.22	286.7	0.06	278.8	2.724	左岸上流
LDM-L2		320.56	299.5	294.98	-15.8	4.497	左岸下流
R基準点		-23.04	-51.1	151.47	109.5	---	右岸橋梁基準点
L基準点		329.96	302.3	167.98	111.5	---	左岸橋梁基準点
小 松 川 橋	P 5	7.9	-20.7	143.1	119.5	--	下り線
	P 6	64.4	35.9	145.8	119.8	--	
	P 7	120.7	92.2	148.4	120.1	--	
	P 8	177.0	148.6	151.0	120.5	--	
	P 9	233.3	204.9	153.7	120.7	--	
	P10	289.8	261.5	156.3	121.0	--	
新 小 松 川 橋	P 5	7.9	-19.6	163.9	98.7	--	上り線
	P 6	64.4	37.0	166.6	99.0	--	
	P 7	120.7	94.3	169.2	99.4	--	
	P 8	177.0	149.7	171.8	99.7	--	
	P 9	233.3	206.0	174.5	99.9	--	
	P10	289.8	262.6	177.1	100.3	--	

¹⁾ LDMを使用して事前簡易測量を実施したときの座標系

²⁾ 座標軸を87度回転させ、X軸を変換した後の座標

1. 4. 6 深浅測量結果

(1) データ編集

今回の検証実験では調査区域を4つに分けて行ったことから複数のファイルが作成された。各種の図を作成するためにはこれらのファイルを1つにまとめる必要があることから、データ編集プログラムを使用して1つに連結した。

また、LDMのトラッキングミス、テレメータのノイズなどによりデータに欠落が生じている箇所は、同プログラムの編集機能を使用して削除した。

(2) データの欠落状況

データの欠落状況について表-1.7～1.10に示す。

表-1.7 データ欠落状況(1)

項 目	データ数 (点)	データエラー		備 考
		欠落数(点)	欠落率(%)	
全測定データ数	4,062(a)	-----	-----	67.7分間
測 深 データ数	2,892	1,170(b)	28.8(b/a)	測深エラー、データ欠落
測 位 データ数	2,237	1,825(c)	44.9(c/a)	測位エラー、データ欠落
総 合 データ数	2,195	1,867(d)	46.0(d/a)	何れか、同時欠落

※テレメータアンテナ高さ：0.3m

表-1.8 データ欠落状況(2)

項 目	データ数 (点)	データエラー		備 考
		欠落数(点)	欠落率(%)	
全測定データ数	2,978(a)	-----	-----	49.6分間
測 深 データ数	2,768	210(b)	7.1(b/a)	測深エラー、データ欠落
測 位 データ数	2,670	308(c)	10.3(c/a)	測位エラー、データ欠落
総 合 データ数	2,484	494(d)	16.6(d/a)	何れか、同時欠落

※テレメータアンテナ高さ：1.5m

表-1.9 データ欠落状況(3)

項 目	データ数 (点)	データエラー		備 考
		欠落数(点)	欠落率(%)	
全測定データ数	5,363(a)	-----	-----	89.4分間
測深データ数	5,204	159(b)	3.0(b/a)	測深エラー、データ欠落
測位データ数	4,136	1,227(c)	22.9(c/a)	測位エラー、データ欠落
総合データ数	4,026	1,337(d)	24.9(d/a)	何れか、同時欠落

※テレメータアンテナ高さ：2.0m

表-1.10 データ欠落状況(4)

項 目	データ数 (点)	データエラー		備 考
		欠落数(点)	欠落率(%)	
全測定データ数	3,876(a)	-----	-----	64.6分間
測深データ数	3,821	55(b)	1.4(b/a)	測深エラー、データ欠落
測位データ数	2,428	1,448(c)	37.4(c/a)	測位エラー、データ欠落
総合データ数	2,398	1,478(d)	38.1(d/a)	何れか、同時欠落

※テレメータアンテナ高さ：2.5m

1) 測深データの欠落について

前回の実験では80%以上のデータが使用不可能な状態であった。そのため今実験では、発動発電機から発生するノイズを極力低減させるためフィルター付きタップを使用した。

しかし、実験中にテレメータ受信機のアンテナ高さを変化させたところ、高くなるにつれデータエラーが減少することが判明した。これはアンテナ同士の見通し距離が良くなったことに起因するものと思われる。

2) 測位データの欠落について

測位エラーは平均して約29%で、この値は前回の実験結果(最大7%)に比べて高いエラー率であった。その理由として以下の点が考えられる。

- ①RCボートが橋脚の向こう側を航行する場合は、LDMは橋脚を計測してしまうが、今回はLDM～橋脚までの距離が遠かったことから、ノンプリズムの測定範囲外となった。
- ②船舶通過後の航跡波でRCボートが大きく動揺し、RCボートのターゲットを追跡することが困難であった。

(3) 航跡図

図-1.11にデータ収録ソフトで描いた航跡図を示す。

今回の実験では10個のデータファイルが作成された。図に示した航跡図はデータ編集プログラムを使用して1つにまとめた後に作成したものである。

10個のデータ数は計16,700点強となるため一度に編集ソフトで取扱うことはできない。そのためRCボートの航行距離が1秒間に2m以内のデータを間引いて有効データとした。

今回の実験は調査範囲を4分割しそれぞれにLDMを設置して計測したが、お互いの計測結果が異なったり、ずれているといった問題は生じなかった。

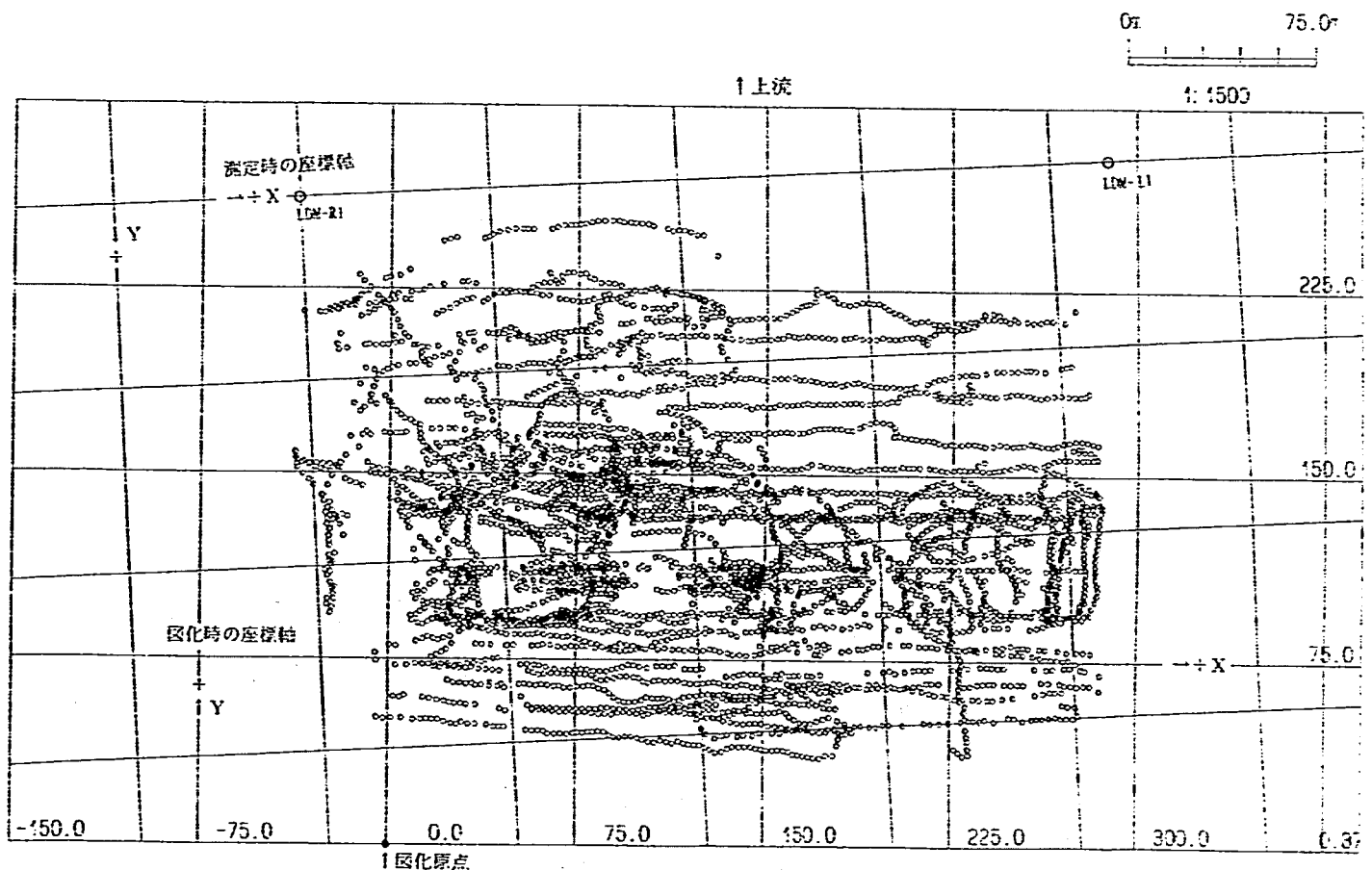


図-1.11 航跡図

(4) 深浅測量結果

図-1.12にデジタル水深測定記録を示す。

得られた水深データ (T. P. に換算済み) と位置データから調査範囲のメッシュデータを作成し、河床の2次元、3次元等高線図、断面図を描いた。なお、メッシュデータに変換する際、事前簡易測量で計測したP7橋脚の座標を基に、橋脚も人工的に付加した。

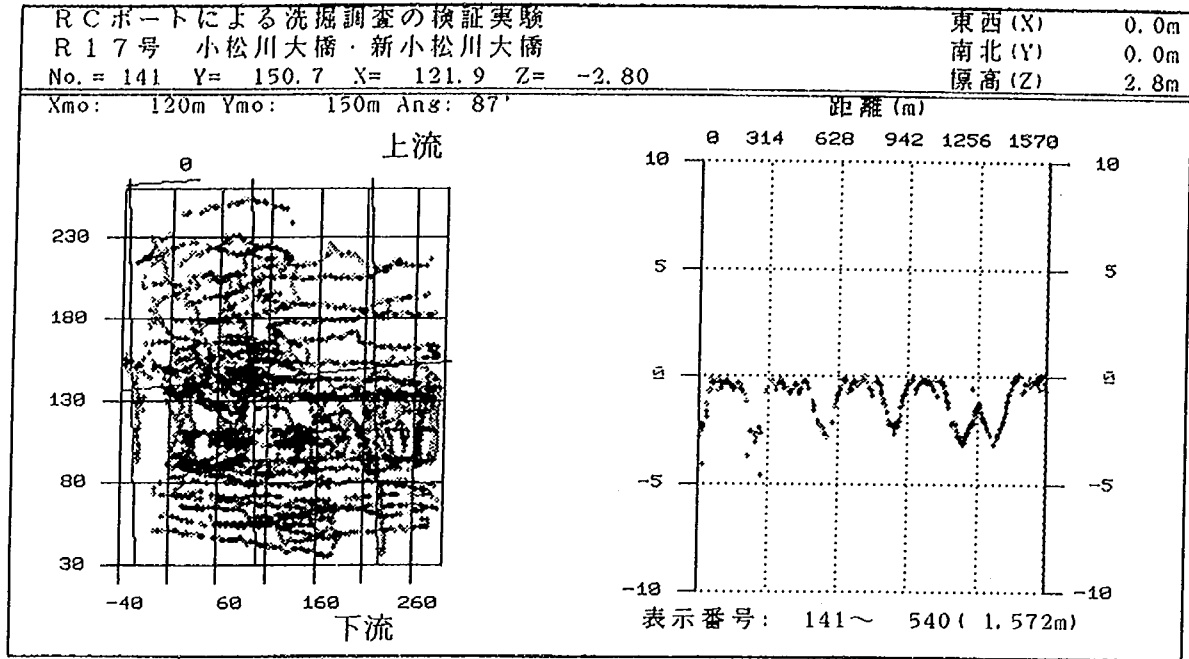


図-1.12 デジタル水深記録

図-1.13、1.14に河床の2次元等高線図、3次元等高線図を、図-1.15に新小松川橋の河床断面図を示す。

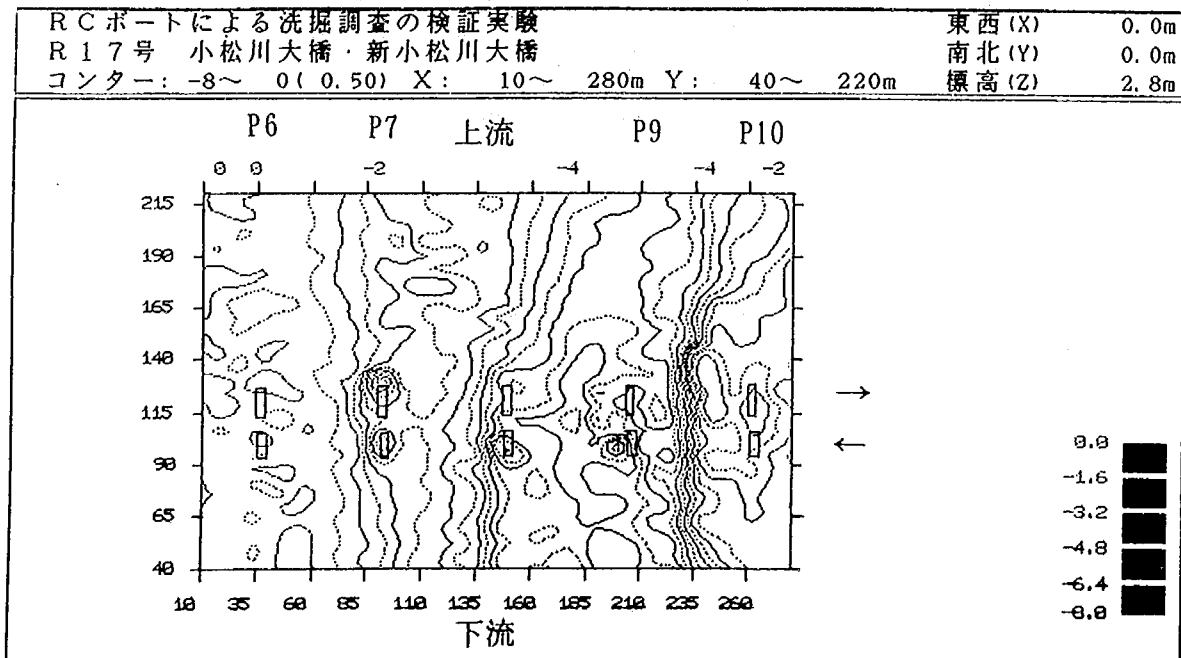


図-1.13 河床の2次元等高線図

RCボート・データ処理 <3D図化>

RCボートによる洗掘調査の検証実験

R17号 小松川大橋・新小松川大橋

水平角: 20' 俯角: 25' 中心: -12 拡大: 2.2 縦/横比: 4.0

東西(X) 0.0m

南北(Y) 0.0m

標高(Z) 2.8m

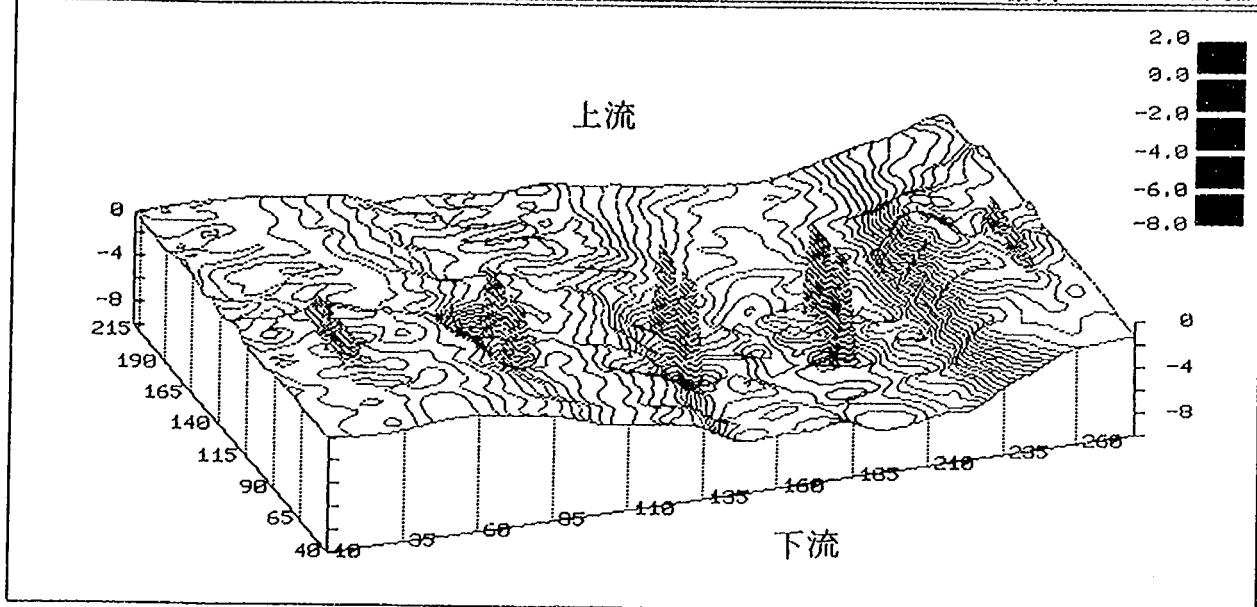


図-1.14 河床の3次元等高線図

RCボート・データ処理 <断面図化>

RCボートによる洗掘調査の検証実験

R17号 小松川大橋・新小松川大橋

断面位置: X= 10.0 ~ 280.0m Y= 100.0 ~ 100.0m

東西(X) 0.0m

南北(Y) 0.0m

標高(Z) 2.8m

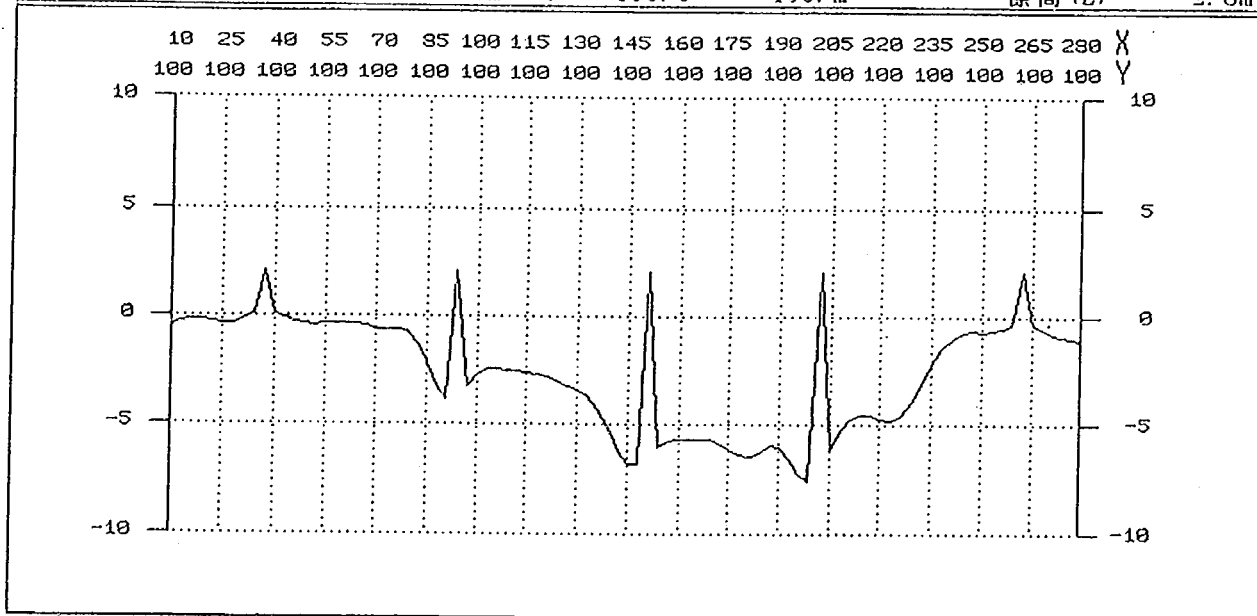


図-1.15 河床断面図

(5) 計測人員

今後、RCボートを使用する洗掘調査を行う時の参考資料を作成するために、1計測範囲を計測するために必要な人員、所要時間等についても調査を行った。

本検証実験では計測範囲を4つに分割して行っているため、そのうち4回目の計測範囲(D)についての作業員数構成を以下に示す。

RCボート操縦	2名 ¹⁾
LDM操作	1名
パソコン操作	1名
船舶監視要員	2名 ²⁾
計	6名

¹⁾ RCボートは操縦員1名と連絡要員1名

²⁾ 船舶の航行しない河川では見張り要員は不要

1. 5 まとめ

本検証実験では、今までに行ってきた実験の問題点を解決するため新艇のラジオコントロールボート「いしずえⅡ」の製作、処理ソフトの改良等を行った。

(1) RCボート「いしずえⅡ」

RCボート「いしずえⅠ」ではエンジン式のエアープロペラを採用していたため、後進性能を有していなかった。そのため、船首から橋脚に接触した場合、根固めブロックに乗上げた場合などでは自力で離脱することができない。RCボートの動力をモーターに変更したことにより、前進後進の変更をRCボート操縦用送信器からの制御で簡単に行えるようになった。

当初、スクリューの回転数調整にアンプを使用して無段階的に調整できるようにしたが、電流量が一定値に納まらず、アンプの信頼性を得ることができなかったため、高速・低速回転、停止の3段階調整に変更した。

RCボートの操縦性は前艇を上回る性能を有しているが、いしずえⅠがガソリン式のエンジンを使用していたのに対しいしずえⅡは蓄電池を使用している。そのため残電流量に考慮する必要がある。容量40Aの蓄電池は約1.5時間で消費する。

(2) ノイズ対策

発動発電機から発生するイグニッションノイズを消去するため、抵抗付きプラグ、ノイズフィルター付きタップを使用してデータ収集を行った。これら装置は有効に作用し欠落データ低減に役だった。

また、テレメータのアンテナ高さをより高くすることによって欠落データ削減に寄与することが今回の検証実験で判明したため、今後は、アンテナ高さを2m以上にするとよい。

(3) RCボートのコントロール

前回の実証実験で2台の送信機を使用すると電波の相互干渉によりRCボートが操縦不能になることが判明していた。そのため利根川橋での実験と同様に送信機を1台にして行ったところ、トラブルの発生もなく順調に計測を行うことができた。

(4) 事前測量

前回の実証実験と同様、問題なく作業を行うことができた。

(5) 処理ソフトの改良

前回の実証実験の結果、処理ソフトの収録点数の増大、航跡図表示スケールの任意設定、指定ファイルの航跡図再表示等の改良を行った。本検証実験でこれらの作動確認をしたところ問題なく処理できることを確認した。また、処理ソフトウェア関係で修正を要する点はなかった。

本共同研究において橋梁基礎の洗掘調査マニュアル(案)および橋梁基礎の洗掘調査機器取扱要領(案)を作成した。本書においてはその目次について示す。

2. 共同研究報告書第157号

橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書 —橋梁基礎の洗掘調査マニュアル(案)—

目 次

まえがき

1. 一般

- 1. 1 適用範囲
- 1. 2 調査手法の概要
- 1. 3 安全対策

2. ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法

- 2. 1 調査手順
- 2. 2 事前測量
- 2. 3 深浅測量
- 2. 4 データ編集方法
- 2. 5 データ処理方法
- 2. 6 データ図化方法

3. 橋上から測定機器を使用する洗掘調査手法

- 3. 1 調査手順
- 3. 2 調査台
- 3. 3 計測
 - 3. 3. 1 カラーイメージングソナー
 - 3. 3. 2 水中テレビカメラ

【参考資料】

1. 調査実施例

- 1. 1 ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査例
- 1. 2 橋上から測定機器を使用する洗掘調査例

2. 使用機器の仕様

- 2. 1 ラジオコントロールボート関連機器
- 2. 2 カラーイメージングソナー関連機器
- 2. 3 水中テレビカメラ関連機器

3. 洗掘調査一覧表

4. 73MHz帯の電波を使用する産業ラジコン用無線局に関する指導基準

3. 共同研究報告書第158号

橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書 —橋梁基礎の洗掘調査装置取扱要領(案)—

目 次

まえがき

1. ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法
 1. 1 システムの概要
 1. 2 装置構成
 1. 2. 1 ラジオコントロールボートおよび搭載機器類
 1. 2. 2 陸上に設置する機器類
 1. 3 計測方法
 1. 3. 1 事前測量
 1. 3. 2 ラジオコントロールボートの航行前の準備
 1. 3. 3 深浅測量
 1. 3. 4 データ収録ソフトウェア
 1. 3. 5 測定データの編集方法
 1. 3. 6 データの処理方法と図化方法
 1. 3. 7 データ処理および図化ソフトウェア
 1. 4 Q&A
 1. 5 機器・部品類の性能表
 1. 5. 1 ラジオコントロールボートおよび搭載機器類
 1. 5. 2 陸上に設置する機器類
2. 橋上から測定機器を使用する洗掘調査手法
 2. 1 システムの概要
 2. 2 装置構成
 2. 2. 1 カラーイメージングソナー
 2. 2. 2 水中テレビカメラ
 2. 2. 3 治具関係
 2. 2. 4 橋梁点検車
 2. 3 カラーイメージングソナーを使用する計測方法
 2. 3. 1 計測機器設置
 2. 3. 2 交通規制
 2. 3. 3 橋梁の高欄越しに行う方法
 2. 3. 4 橋梁点検車の作業台から行う方法
 2. 3. 5 データ処理および図化ソフトウェア
 2. 4 水中テレビカメラを使用した計測方法
 2. 4. 1 計測機器設置

- 2. 4. 2 交通規制
- 2. 4. 3 調査方法
- 2. 4. 4 解析方法
- 2. 5 Q & A
 - 2. 5. 1 カラーイメージングソナー
 - 2. 5. 2 水中テレビカメラ
- 2. 6 機器・部品類の性能表

【参考資料】

- ・岡原、渡会：橋梁下部構造の老朽化における点検と対策、土質と調査、1991. 3
- ・岡原、福井、渡会：橋梁下部構造の維持管理の現状と課題、土木技術資料、1992. 8
- ・建設省土木研究所，(社)全国地質調査業協会連合会：橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書（その１）、共同研究報告書第105号、1994. 7
- ・建設省土木研究所，(社)全国地質調査業協会連合会：橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書（その２）、共同研究報告書第136号、1995. 12

橋梁下部構造の計測・診断
技術の開発に関する共同研
究報告書（その3）

土木研究所共同研究報告書第156号
平成9年1月（1997）

建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室 中野正則
(社)全国地質調査業協会連合会 矢島壯一

要 旨

本報告は、建設省土木研究所と(社)全国地質調査業協会連合会で実施した、「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究」の成果をとりまとめたものである。

本研究では、新しい洗掘調査法として、ラジオコントロールボートを使用する洗掘調査手法および橋上から測定機器を使用する洗掘調査手法を開発し、実橋梁にて各種実験を行い調査手法の有効性を確認した。

キーワード：橋梁下部、維持管理、調査手法、洗掘、装置開発

*)現 建設省建設経済局



郵便はがき

50円切手
をはって
下さい。

305□□

茨城県つくば市旭一番地

建設省土木研究所
構造橋梁部 基礎研究室

No. 3

No. 3

配布先氏名

配布先住所





土木研究所共同研究報告書第156号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名



共同研究報告書 第156号

橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究報告書 (その3)