

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）



平成6年7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 ©1994 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, 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1）

建設省土木研究所	構造橋梁部	基礎研究室長	中 野 正 則
建設省土木研究所	構造橋梁部	基礎研究室 主任研究員	木 村 嘉 富
建設省土木研究所	構造橋梁部	基礎研究室	大 越 盛 幸
建設省土木研究所	構造橋梁部	基礎研究室	岡 田 光 志
(社)全国地質調査業協会連合会		専務理事	矢 島 壯 一
(社)全国地質調査業協会連合会		技術委員	横 田 耕一郎
(社)全国地質調査業協会連合会		技術委員	原 徹 夫
(社)全国地質調査業協会連合会		技術委員	藤 原 八 笛
(社)全国地質調査業協会連合会		技術委員	鍛 冶 義 和
(社)全国地質調査業協会連合会		技術委員	中 田 文 雄
(社)全国地質調査業協会連合会		技術委員	阿 部 秋 男

要 旨：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

本報告は、建設省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”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で実施している、「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究」の平成4年度、5年度分の成果を取りまとめたものである。

本研究では、橋梁基礎周辺で生じる洗掘についての調査技術に関し、既存の関連技術の現状を調査するとともに、実橋梁における適用性試験を行った。

キーワード：橋梁下部，維持管理，計測，洗掘，適用性試験

目 次

1. まえがき	1
2. 研究目的	2
3. 研究体制および研究方法	4
3.1 研究体制	4
3.2 研究方法	5
4. 文献による既存の技術の調査	6
4.1 調査項目および既往の技術について	6
4.2 河床形状の調査	8
4.3 地層構造の調査	10
4.4 基礎の諸元の調査	13
4.5 基礎の変状や損傷の調査	16
4.6 その他の技術	16
4.7 既往技術の参考文献リスト	21
5. 実橋梁における既存計測手法の適用性試験	25
5.1 適用性試験の概要	25
5.2 音響測深	28
5.3 サイドスキャンソナーおよびサブボトムプロファイラーによる探査	37
5.4 地下レーダー法	45
5.5 比抵抗法電気探査	53
5.6 まとめ	62
6. 開発装置の仕様検討	63
6.1 洗掘調査装置の要求事項	63
6.2 適用する調査手法	63
6.3 適用する運搬手段	64
6.4 開発する洗掘調査装置のイメージ	65
7. あとがき	68

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4年現在、橋長15m以上の橋梁は12万橋、延長では6,400km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、平成3年度より研究を行っている。

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、前記総合技術開発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ている。

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。平成4年度、5年度には、

- ・既存の技術についての文献調査
- ・実橋梁における適用性試験
- ・開発装置の仕様検討

を行った。

本報告書は、これらの成果についてとりまとめたものである。

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、それを未然に防ぐあるいは早期に発見することが重要となる。橋梁下部構造において想定される損傷の原因としては、地震や船舶の衝突など作用外力の増加と、地盤面の低下や部材の劣化等による下部構造の耐力の低下があげられる。

被害を生じさせる現象としては、

- ① 部材の劣化（コンクリート、鋼材）
- ② 地震による被害
- ③ 洪水による被害（洗掘や流失など）
- ④ 地盤変状による被害（軟弱地盤での側方移動、地盤沈下、地すべりなど）

などが考えられる。近年の災害により落橋に至った事例を表-2・1に示すが、地震については耐震設計や落橋防止の整備により落橋に至った被害は少なく、洪水が圧倒的であることが分かる。

橋梁下部構造の補修・補強の要因として、基礎について図-2・1¹⁾に、躯体について図-2・2¹⁾に示す。これらは、昭和58年度から62年度にかけて行われた橋梁下部構造の補修・補強についてのアンケートより得られたものである。

表-2・1 近年の橋梁の被災状況（災害統計より）

地 震		落橋数	洪 水		落橋数
新潟	(M7.5)	8	S47	梅雨前線	1561
十勝沖	(M7.9)	0	S57	梅雨前線	993
伊豆大島近海	(M7.0)	0	S58	集中豪雨	335
宮城県沖	(M7.4)	1	S60	集中豪雨	348
日本海中部	(M7.7)	0	H 2	梅雨前線	37

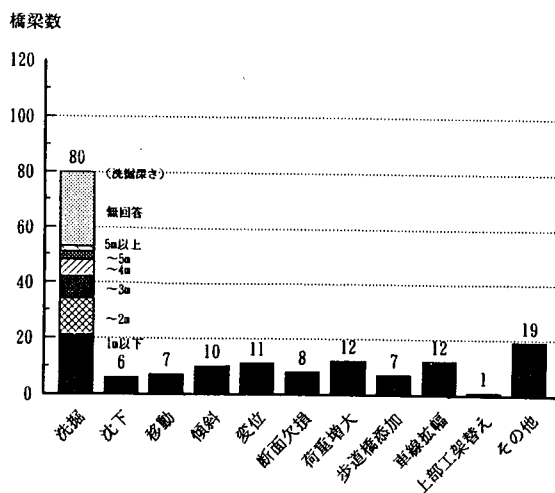


図-2・1 基礎の補修・補強の要因¹⁾

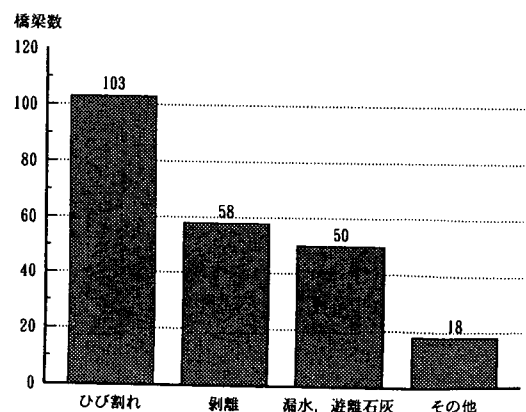


図-2・2 躯体の補修・補強の要因¹⁾

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、荷重増大、車線拡幅、変位、傾斜と続いている。図中、洗掘に関しては最大洗掘深さも記してあるが、洗掘がかなり進行しているものも多数あり、洗掘の早期発見、対策が重要であるといえる。なお、図-2・1においては、基礎本体の変状が含まれていないが、これは、基礎本体は水中あるいは土中に位置するため点検が困難であり、沈下、移動などの変状が生じてはじめて詳細に調査されるためである。

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が重要な項目としてあげられるといえる。橋梁基礎周辺で生じる洗掘に対する維持管理としては図-2・3に示す手順が考えられる。これらのなかで、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。そこで、基礎周辺の洗掘計測技術および診断技術について開発することを目的として、建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室および(社)全国地質調査業協会連合会の共同研究を行っている。

共同研究は平成4年度から7年度の計画で行っており、最終目標は以下のとおりである。

- ① 橋梁基礎周辺における洗掘調査装置を開発し、調査方法を取りまとめる。
- ② 洗掘を受けた橋梁基礎の健全度判定手法を開発する。

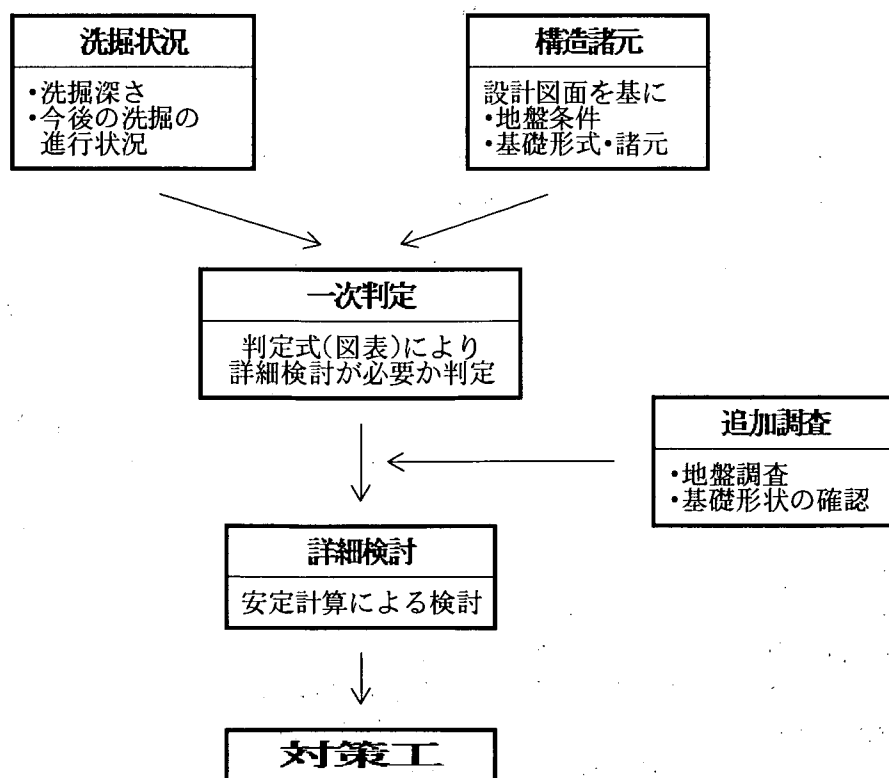


図-2・3 洗掘に対する維持管理

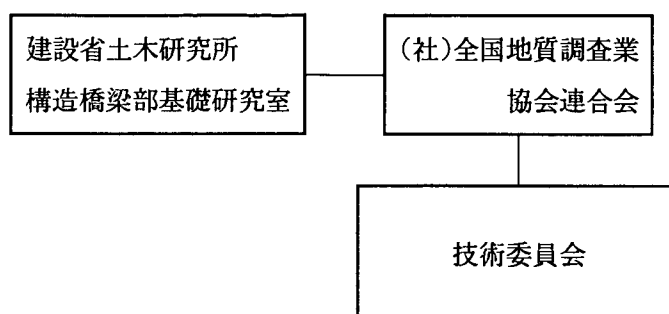
〈参考文献〉

- 1) 岡原美知夫, 渡会正晃: 橋梁下部構造の老朽化における点検と対策, 地質と調査 1991. 第3号, 1991年9月

3. 研究体制および研究方法

3.1 研究体制

平成4年度および5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（以下「全地連」という）により行われており、全地連の中に技術委員会が設けられている。表－3・1に共同研究参加者の一覧表を示す。



図－3・1 検討体制（平成4，5年度）

表－3・1 共同研究参加者一覧表

建設省土木研究所	構造橋梁部 基礎研究室長	中野 正則
	(前) " "	岡原美知夫
	" 基礎研究室 研究員	木村 嘉富
	(前) " "	渡会 正晃
	" "	大越 盛幸
	(前) " " 部外研究員	大堀 裕康
	" " "	岡田 光志
(社)全国地質調査 業協会連合会	専務理事	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	横田耕一郎
	応用地質(株) 探査工学研究所 事業開発部長	原 徹夫
	ダイヤコンサルタント(株) 物理探査部長	藤原 八笛
	中央開発(株) 技術本部次長	鍛冶 義和
	川崎地質(株) 技術本部 部長	中田 文雄
	(株)東京ソイルリサーチ 総合試験所 特殊試験室主任	阿部 秋男

3.2 研究方法

平成4年度、5年度は、橋梁基礎周辺での洗掘調査について既存の関連技術を把握し、開発する調査装置の基本性能および仕様を検討するために、以下の調査を行っている。

3.2.1 文献による既存の技術の調査

橋梁基礎周辺で生じる洗掘に対する維持管理を行う場合、下記の情報が必要となる。

- ① 基礎周辺の河床形状
- ② 河床堆積物
- ③ 基礎の諸元，形状
- ④ 水中部材の劣化状況

これらの情報を得るための既存の関連調査技術について、文献および機器のカタログなどにより調査を行った。また、これと合わせて、調査装置を調査対象まで運搬する手段や、測位技術などの周辺技術などについても調査を行った。

3.2.2 実橋梁における既存の調査技術の適用性試験

3.2.1の調査結果の中から、実用性の高い手法として下記のものを選定し、実橋梁における適用性試験を行った。

- ① 音響測深
- ② サイドスキャンソナーおよびサブボトムプロファイラーによる探査
- ③ 地下レーダー法
- ④ 比抵抗法電気探査

3.2.3 開発装置の仕様検討

既存の技術の調査や、実橋梁における適用性試験の結果をもとに、開発する洗掘調査用の装置の仕様を検討し、開発する装置のイメージを決定した。

4. 文献による既往の技術の調査

技術開発を行うにあたり、開発目的を明確にした上で関係のある技術の現状を調査し開発方針を明確にする必要がある。本章では河川内にある橋梁基礎の計測・診断技術の開発にあたり、必要な調査項目を整理して、調査方法や関係する技術をまとめるものである。

4. 1 調査項目および既往の技術について

河川内の基礎が、将来にわたってその機能を果たすことができるかどうか、つまり、基礎が健全であるかどうかを判定するために、基礎本体部材および基礎周囲地盤の情報が必要である。橋梁下部構造の計測にあたってはこれらの項目について調査することとなる（図－4・1 参照）。また、調査箇所が河川内、特に水中が中心となることから、調査用の装置を調査箇所まで運搬する手段の検討も必要である。適用可能な既存の技術として、水中ロボットや橋梁点検車などがあり、これらについてはその他の技術としてとりまとめた。

調査項目は、以下のとおりである。

①地 盤

- 1)河床形状（河床標高など）
- 2)地層構造（2次堆積物、土質条件や地層厚など）

②基礎本体

- 1)基礎の諸元（基礎形式、形状・寸法、構成部材など）
- 2)部材の損傷（劣化、断面欠落など）

③その他

- 1)計測装置の運搬手段
- 2)測位技術

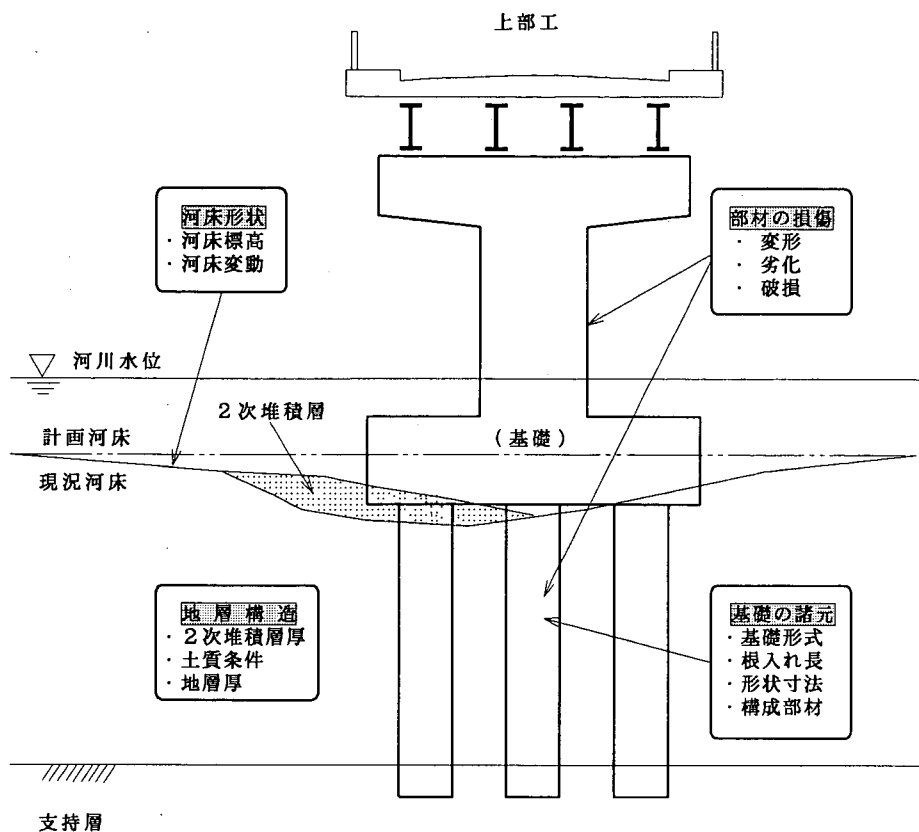
基礎はその大部分が地中にあるため必要な情報を得るための調査は容易にできない。橋梁基礎は河川内にあるためさらに調査そのものや仮設設備が大がかりとなり、調査は一層、困難を伴い多大な労力や時間を必要としているのが現状である。計測技術を開発するにあたり、

①専門技術が不要で手軽に、しかも簡易に計測でき、計測結果をリアルタイムで容易に確認できる、

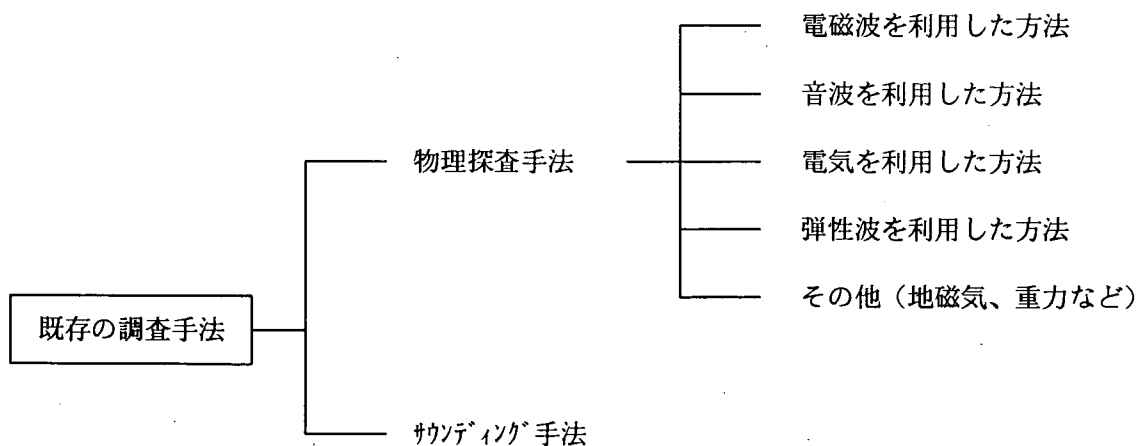
②調査のための仮設設備が不要で、基礎や地盤に極力、手を加えることなく計測ができる、

の2点を念頭において、適用が可能な既存の技術を調査した。

既存の調査技術の中でベースになり得るものとして、地質調査手法や部材の健全度を調査する非破壊検査手法などがあり、これらの手法で利用可能な手法は図－4・2のように分類できる。各調査項目と適用可能な調査技術は表－4・1のとおりである。



図－４・１ 橋梁下部構造の計測に必要な調査項目



図－４・２ 橋梁基礎の計測技術に適用可能な既存の調査技術の分類

表-4・1 調査項目と適用可能な調査技術

調査技術 \ 調査項目	4.2 河床形状	4.3 地層構造	4.4 基礎の諸元	4.5 部材の損傷
音響測深機	○			
サイドスキャンソナー	○	○	○	○
サブボトムプロファイラー	・	○		
チャープ・アコースティック・ロファイラー	・	○		
スパーカ	・	○		
地下レーダー	○	○	○	
電気探査	・	○	○	
弾性波探査		○		
サウンディング的手法		○		
D P A S			○	○
衝撃振動探査			○	○
磁気探査			○	○
水中カメラ			○	○
ジオトモグラフィ			○	○

注) ○: 本報告書で紹介する技術
・: 適用可能な技術

4.2 河床形状の調査

現状の方法では、ボートまたは基礎上からポールを使用して人力で測定する場合が多い。この方法だと、ボートがないと対象範囲まで容易に近づけない、また、測定に多大な時間を要するなど問題点がある。本項目に対応可能な技術として以下の手法があげられる。

①超音波を利用した手法

音響測深機, サイドスキャンソナー

②電磁波を利用した方法

地下レーダー

4.2.1 超音波を利用した方法

超音波がその伝播速度の境界面で反射する性質を利用して、送受信に要する時間から境界面である河床までの距離を測定しようとする手法である。この手法には、音響測深機やサイドスキャンソナーがある。

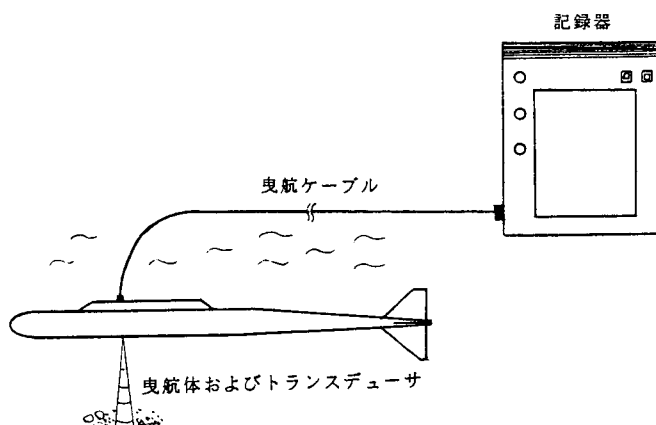
1) 音響測深機

比較的周波数の高い超音波（200～400kHz）を水中で発信し海底面までの水深を測定するもので、海底地形の測量でよく使用されている。音波を真下の一方向に発信させるものがよく使用されているが、機械的に

音波の発信方向を変え、面的な地形測量を行うことが可能なものもある。測定方法を後述の図－５・３に、測定機器を写真－５・２に、そして、測定結果の出力例を図－５・５に示す。

2) サイドスキャンソナー

測定の基本原理は音響測深機と同じであるが、音響測深機が超音波を一方向に発信するのに対し、サイドスキャンソナーは放射状に超音波を電氣的に送受信し、面的な測定を短時間で行うものである。この手法は海底地形の測定だけでなく、海底埋設管や沈没船等、海中にある構造物の探査にも使用されている。図－４・３にサイドスキャンソナーを、測定結果の出力例を後述の図－５・１１（河床面状況図）に示す。

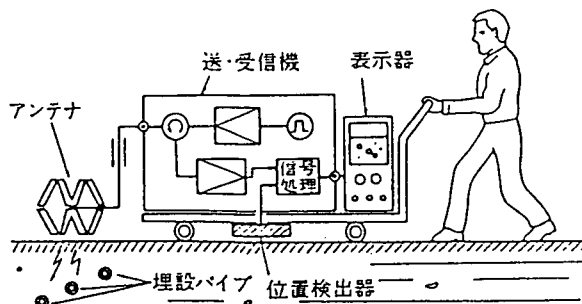


図－４・３ サイドスキャンソナー

4. 2. 2 電磁波を使用した方法

アンテナより電磁波を発信し、地盤面や地層などの境界面で反射した電磁波の強弱や反射時間を測定することにより境界面までの距離を測定するもので、この手法には地下レーダーがある。

地下レーダーは、音響測深機とほぼ同程度の測定精度を有するが、塩水など比抵抗の低い媒質中では減衰が著しく適用できないので注意が必要である。この方法も音波と同様に地盤面を透過することが可能なので、河床形状の測定だけでなく地層構造の探査や地中埋設物の探査に使用される。図－４・４に地下レーダーのシステム図例を示し、河川上で測定する場合の実施方法を後述の図－５・１４に、測定機器を写真－５・８に、そして、測定結果の出力例を図－５・１８に示す。



図－４・４ 地下レーダーのシステム図例

4. 3 地層構造の調査

現状の方法では、調査対象箇所付近に作業台を設置し、ボーリング調査を行う場合が多い。この方法では、仮設備が必要で労力や調査装置が大がかりとなるため、必要な時に調査ができないという問題点がある。本項目に対応可能な技術として、以下の手法があげられる。

①音波を利用した手法

サブボトムプロファイラー，チャープアコースティックプロファイラー，スパーカ

②電磁波を利用した方法

地下レーダー

③電気を利用した方法

比抵抗法

④弾性波を利用した方法

弾性波探査

⑤サウンディング的手法

4. 3. 1 音波を使用した方法

測定の基本原理は音響測深機と同じであるが、河床面を透過する低い周波数の音波を使用し、地層境界面での音波の反射を測定することにより地層構造を探査するものである。この手法には、サブボトムプロファイラー、チャープアコースティックプロファイラー、スパーカがある。

1) サブボトムプロファイラー

使用する音波の周波数は 2.5～4.5KHzの周波数であり、河床面下に音波を透過させるため出力を上げているため、音響測深機に比較して構成する機器が大きくなっている。図-4・5にサブボトムプロファイラーのシステム図を、測定結果の出力例を後述の図-5・11（断面図）に示す。

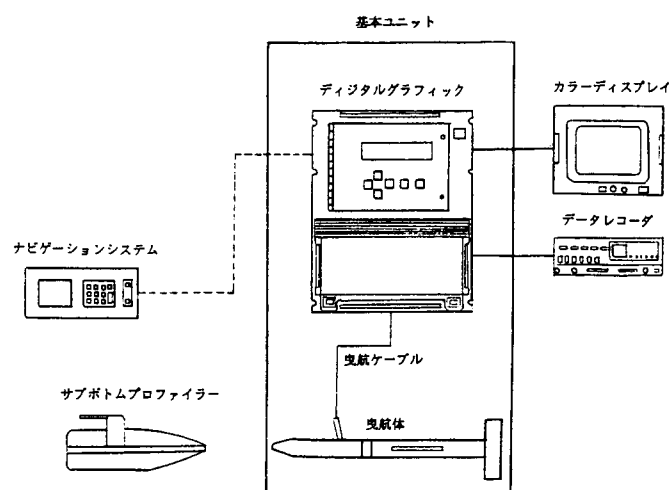


図-4・5 サブボトムプロファイラーのシステム

2) チャープアコースティックプロファイラー

システム構成はサブボトムプロファイラーとほぼ同じであるが、1～10kHzの音波を変化させて送受信し、探査能力の向上を図っているものである。図-4・6にチャープアコースティックプロファイラーのシステムを示す。

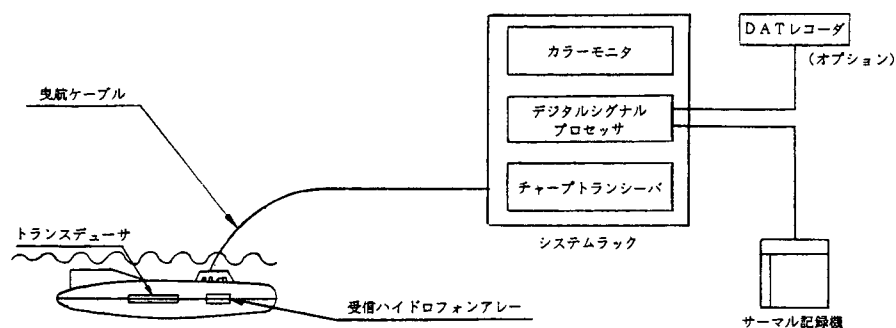


図-4・6 チャープアコースティックプロファイラーのシステム

3) スパーカ

エネルギーソースのコンデンサーに蓄積された電気的エネルギーを、水中電極で放電させて音波を発生させ、底面地形やその下の地層構造を調査するものである。図-4・7にスパーカのシステムを示す。

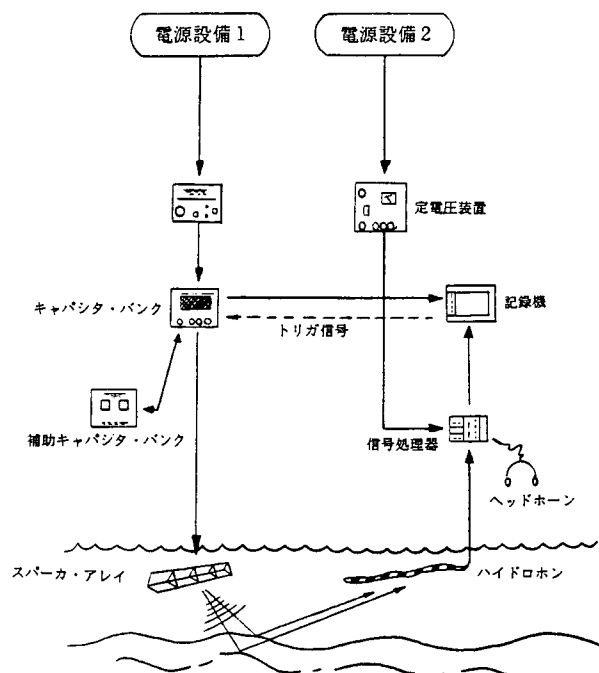


図-4・7 スパーカのシステム

4. 3. 2 電気を使用した方法

電気を使用した方法は、地層の電気的性質の違いを利用して地層の状態を調査するものである。これには、自然に生じている地表での電位分布を使用する自然電位法と、地層の電気抵抗の分布を調べる比抵抗法がある。土木分野では比抵抗法が良く用いられ、電気探査といえばこの方法を指すことが多い。

比抵抗法の探査方法は、大きく2つに分けられる。1つは水平探査法で、電極間隔を一定に保ったまま電極系を1組にして測線上を移動し、比抵抗の水平方向変化を測定し水平方向の地盤の探査を行うものである。もう1つは、垂直探査法で測定点を中心に電極間隔を順次増していく方法で、比抵抗の深さ方向の変化を測定し垂直方向の地盤の探査を行うものである。比抵抗法の垂直探査法の測定状況を後述の図-5・19に、測定機器を写真-5・12に、そして、測定結果例として比抵抗分布図を図-5・24に示す。

4. 3. 3 弾性波探査

弾性波探査は地震探査とも呼ばれ、屈折法と反射法に分けられる。反射法は、速度境界面からの反射波を捕らえて地質構造を探査する方法で、土木関係では音波探査を除いてほとんど使用されておらず、屈折法が使用されることが多く、弾性波探査といえばこの方法を指すことが多い。屈折法は、地中を伝播する弾性波が地層境界面で屈折、反射する際に、地層によって異なることを利用したものであり、弾性波を発振した瞬間から地表に設けた多数の観測点で、弾性波が到達する時間を測定し、屈折状況を測定することにより地層構造を探査する方法である。

地震波は、実体波（P波とS波）と表面波に分けられるが、この探査手法では、比較的観測しやすいP波を使用することが多い。しかし、土質工学の対象となる軟岩や洪積世、沖積世の地盤では、P波だけでは情報不足となるのでS波も合わせて調査したり、さらに、ボーリング孔を利用して直接的に両波の速度分布を捕らえようとするP S検層などの手法がある。図-4・8にP波探査法を示す。

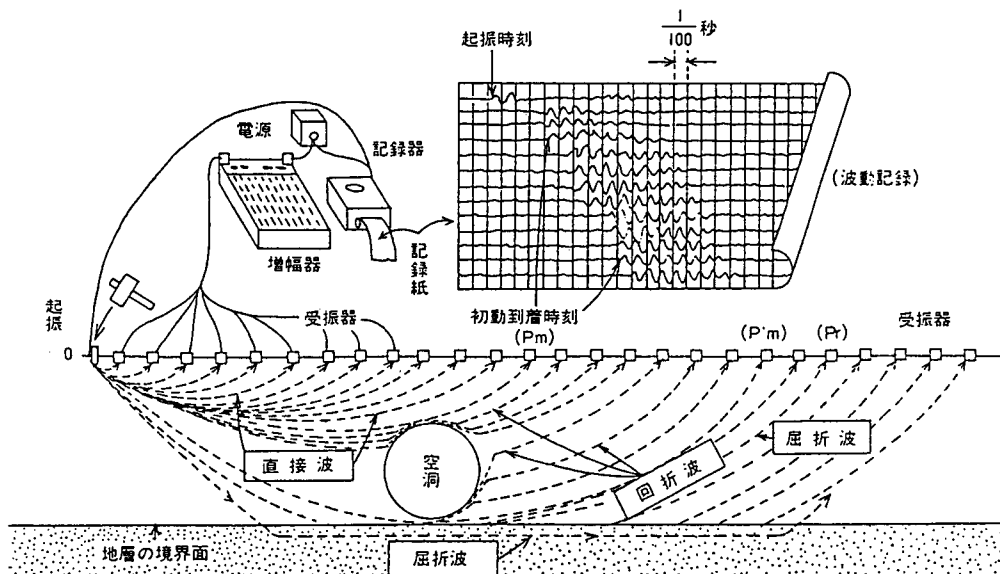


図-4・8 P波探査法

4. 3. 4 サウンディング手法

サウンディングとは、ロッドに付けた抵抗体を地中に挿入し、貫入、回転、引抜きなどの抵抗から土層の性状を探查することであり、標準貫入試験、各種のコーンペネトロメーターによる貫入試験、スウェーデン式サウンディング、ベーン試験などがある。どのサウンディングの場合でも、深さ方向に抵抗値を記録すれば、地下の土層の探查を行うことが可能である。

洗掘調査で使用する装置はできるだけ簡易なものが良く、貫入時の反力が小さく、そして、簡易に取り扱えるものが良いと考えられ、ウォータージェットによる貫入抵抗の測定、ポータブルコーンペネトロメーター、簡易動的コーン、オートマチックラム試験、そして、スウェーデン式貫入試験機が使用可能と考えられる。図-4・9にサウンディング手法の一例としてコーンペネトロメーターを示す。

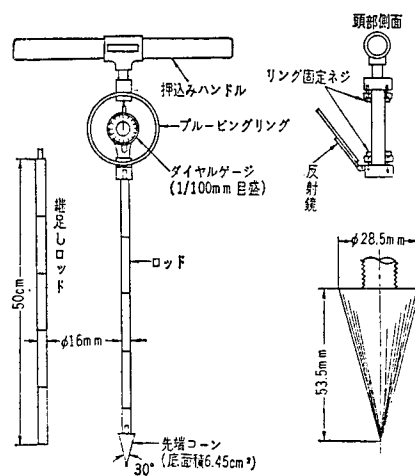


図-4・9 コーンペネトロメーター

4. 4 基礎の諸元の調査

基礎の健全度を判定する際、基礎形式ならびに基礎の諸元は不可欠である。しかしながら、既設橋梁の中には基礎に関する図面がなく、諸元はもとより形式すら不明のものがある。このような基礎を調査する方法として、必要な箇所を掘り出して形式を調べる方法や、基礎本体のコアボーリングにより根入れ長さを調べる方法がある。しかしながら、これらの方法では、河川中の作業台あるいは仮締切が必要であり、調査に多大な費用を要する。本項目に適用可能な非破壊調査技術として以下の手法があげられる。

①超音波を利用した手法

サイドスキャンソナー

②電氣を利用した方法

③弾性波を利用した方法

DPAS, 衝撃波振動探査

④磁気探査

⑤水中カメラによる撮影

4. 4. 1 弾性波を使用した方法

衝撃による弾性波を発振してその反射波を測定し、躯体の形状や、諸元を測定したり、健全度を判定するものである。これには、DPASのような杭の非破壊検査技術や躯体に直接打撃を導入する衝撃振動波探査のような手法がある。

1) DPAS

杭の形状、根入れ、支持力や健全度を調査する非破壊検査について、いくつかの手法が確立しているが、一例として、土木研究所が開発に携わったDPASを示す。この手法は、小型ハンマーで杭頭を打撃して衝撃波を発振させてその反射波速度や杭のひずみを測定し、波動理論に基づいた解析を行い杭の支持力や調査を行うものである。図-4・10にDPASのシステムを示す。

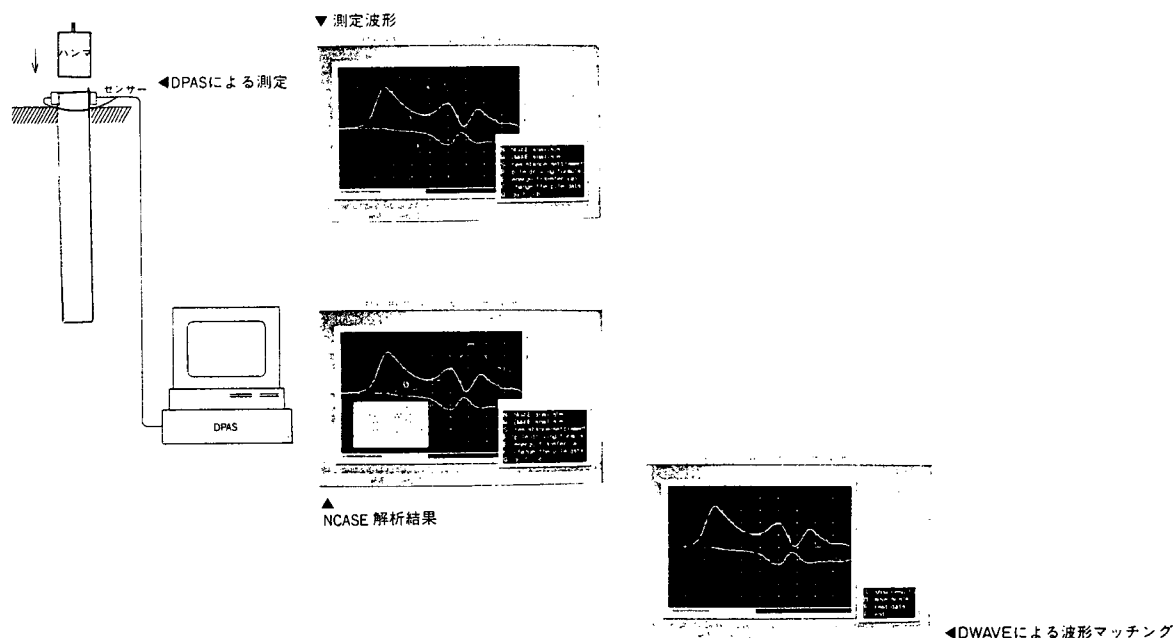
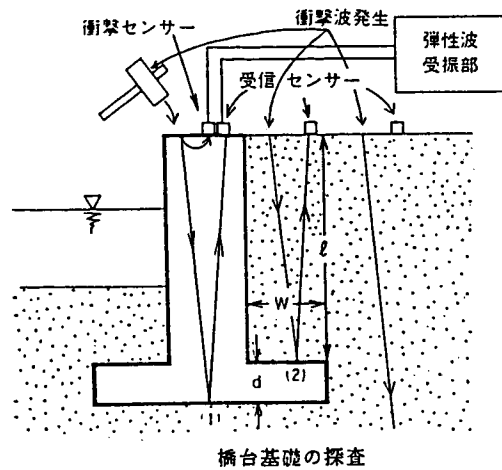


図-4・10 DPASのシステム

2) 衝撃波振動探査

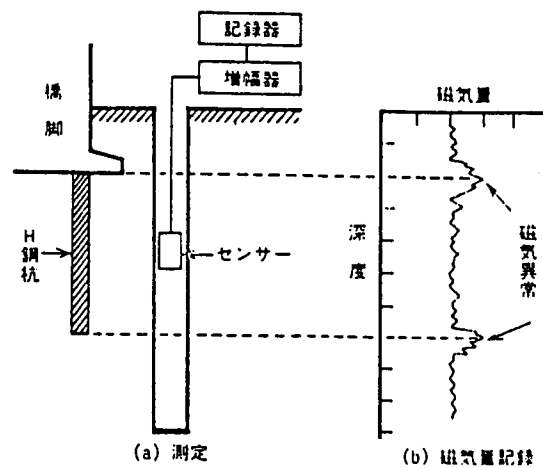
コンクリート構造物に打撃により弾性衝撃波を発振し、反射波やその反射時間を測定して構造物の形状や地中部の根入れ長さを測定するとともに、健全度を判定しようとするものである。観測の再現性において問題点があり、改善の余地が残されている。図-4・11に衝撃波振動探査のシステムを示す。



図－４・１１ 衝撃波振動探査のシステム

４．４．２ 磁気探査

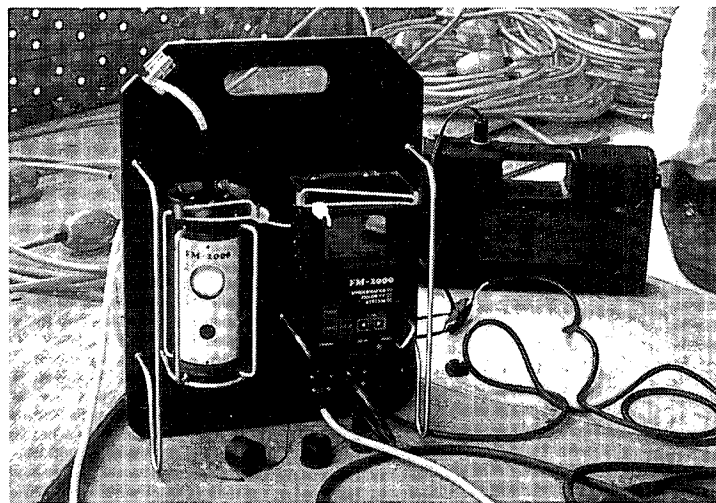
磁気探査は地球磁場を測定して、磁性体の分布状況を求めて地層構造を判定するものである。鋼管や鉄筋の様な鋼製の物質は強磁性体であるため、これによる磁気異常を測定することによりその形状や位置を測定しようとするものである。埋設構造物が地中深く設置されている場合は、ボーリング孔を利用する場合もある。図－４・１２に磁気探査のシステムを示す。



図－４・１２ 磁気探査のシステム

4. 4. 3 水中カメラによる撮影

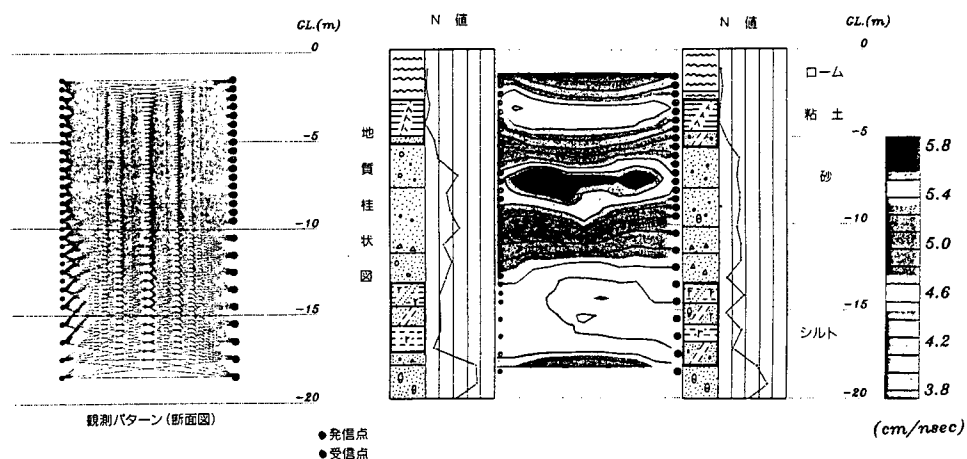
水中の状況を撮影するための水中カメラは、小型、軽量化が進み高性能のものがある。海洋調査では、水中カメラが頻繁に使用されており、潜水士が携帯するものから水中ロボットに取り付けて深海の調査を行うものまで多種多様なものがある。また、光の届かない深海においても撮影できるような照明や、濁水中での撮影を可能にするクリアサイトのような技術もある。写真－4・1に小型の水中カメラを示す。



写真－4・1 水中カメラ

4. 4. 4 ジオトモグラフィ

医療分野において、人体の断面写真を得るために使用されているCTスキャンと同様な原理で、ボーリング孔を利用して、地表面からだけでは容易に測定できない地盤内部の物性値（弾性波速度、比抵抗、電磁波など）の分布状況を解析、処理して、断面画像として表現するものであり、解析結果を断面図や立体図などで視覚的に表現する技術である。この手法により地層構造や基礎の諸元を推定することができる。図－4・13に電磁波速度のジオトモグラフィを示す。



図－4・13 ジオトモグラフィ（電磁波速度）

4. 5 部材の損傷の調査

基礎の諸元と同様に、現状の方法では問題点も多い。本項目に対応可能な技術としては以下の手法があげられる。

①弾性波を利用した方法

D P A S、衝撃弾性波探査

②磁気探査

③水中カメラによる撮影

4. 6 その他の技術

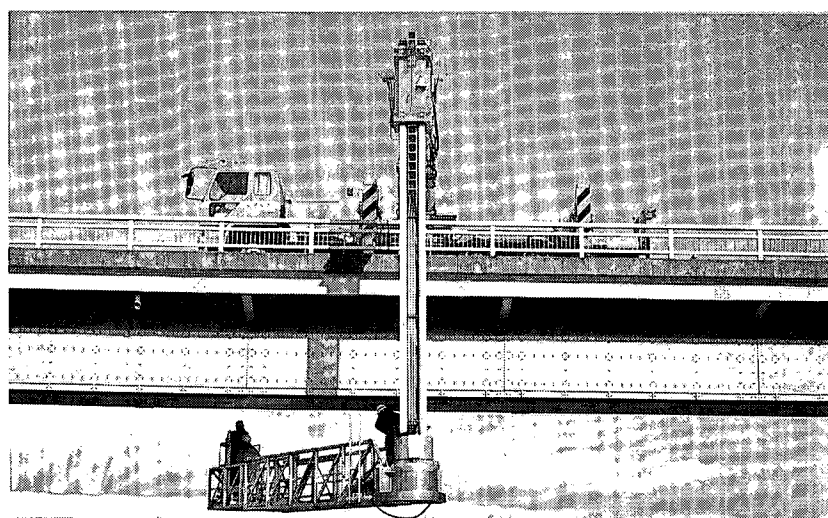
上記の計測装置を調査対象に運ぶ運搬手段、そして、運搬手段の位置をリアルタイムで計測する測位システムがある。

4. 6. 1 計測装置の運搬手段

河川内にある基礎の点検を行う場合、調査対象が水中にあるため装置を運搬する手段が必要となる。既存の技術では、①橋梁点検車、②調査船、③水中ロボットが有用な技術である。

1) 橋梁点検車

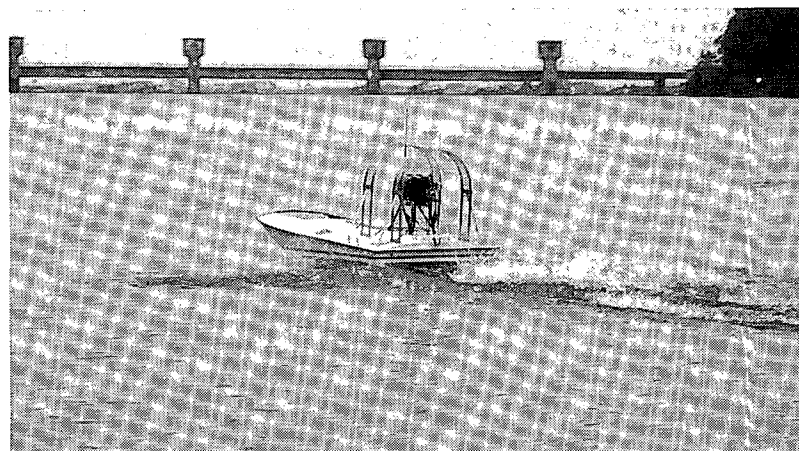
橋梁点検車は、地方建設局の技術事務所やリース会社が保有しているものがあり、上部工の点検や補修作業に使用されている。橋梁点検車は、調査対象の付近に停車した自動車からアームを降ろし、先端に設置した作業台に作業員が乗り込み、点検や補修などの作業を行う。写真－4・2に地方建設局の技術事務所が保有する橋梁点検車を示す。



写真－4・2 橋梁点検車

2) 調査船

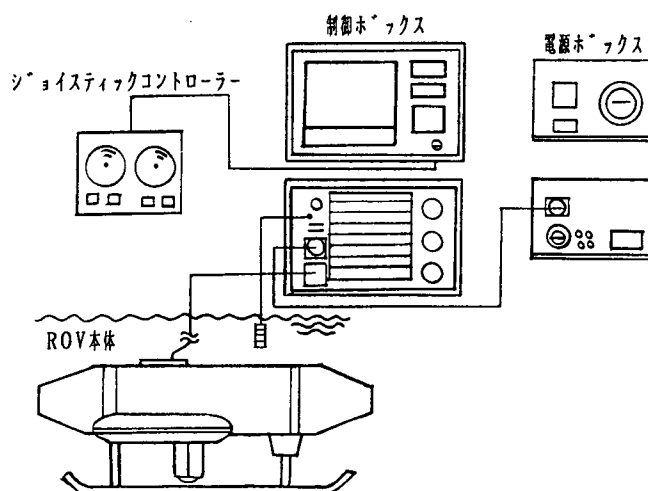
比較的広い水域の作業が中心となる海洋工事では、海底地形の調査に比較的大きな調査船が使用されている。河口付近のように川幅が広く水深のある水域では比較的大きな調査船が使用可能であるが、河川の大部分はこのような調査船の航行が容易でない箇所が多い。なお、ラジオコントロールボート（以下、RCボートとする）を使用した河床変動測定の実例もある。写真－４・３にRCボートによる河床変動の測定状況を示す（なお、写真は木下良作氏の設計・試作による、北斗測量株式会社所有艇である）。



写真－４・３ ラジオコントロールボートによる河床変動測定状況（写真提供：木下良作氏）

3) 水中ロボット

海洋工事では海中での作業が中心となるため、早くから潜水士に頼らず深海で作業ができる機械として、水中ロボットの研究がなされてきた。現在では、ROVと呼ばれる遊泳式のものが水中ロボットの大半を占めており、海中での調査や作業用、そして、発電所の水路などでも使用されている。図－４・１４に水中ロボットのシステムの例を示す。



図－４・１４ 水中ロボットのシステム図

4. 6. 2 測位技術

計測装置を運搬する手段のうち、ボートや水中ロボットのように移動するものは計測位置をリアルタイムで測定する必要がある。リアルタイムで測位を行う既存の技術として、以下のものがある。

- ①. トータルステーション
- ②. GPS
- ③. トライスポンダー
- ④. 水中音響測位機

1) トータルステーション

トータルステーションは光波により距離と角度を測定する測量器械である。測定精度も高く、パーソナルコンピュータと接続が可能で、座標計算などの処理も容易である。また、測量をする際にターゲットを自動追尾できるものもある。図-4・15にトータルステーションの測位状況を示す。

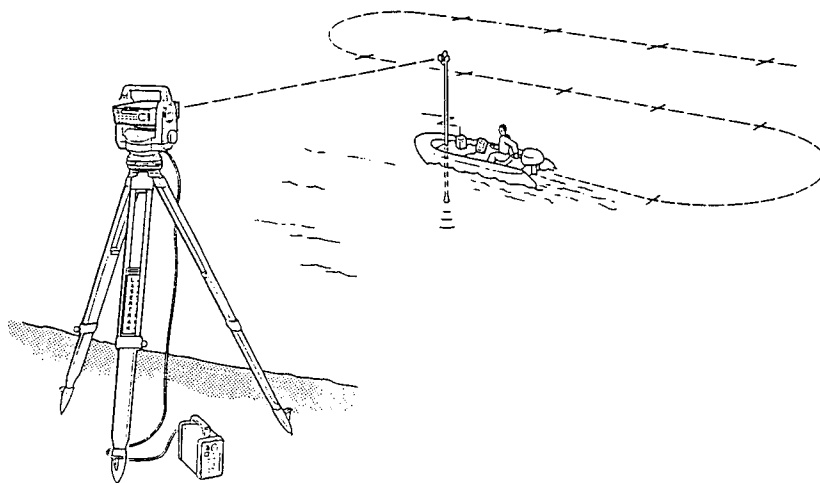


図-4・15 トータルステーションの測位状況

2) GPS (Global Positioning System)

人工衛星から発信される信号を受信し、複数の衛星までの距離を求めることにより位置を求めるシステムである。このシステムは、船舶や自動車のナビゲーションシステムとしてすでに使用されており、測位方法も数種類ある。表-4・2にGPSの各測定手法の種類と特徴を示す。

3) トライスポンダー

船舶などに搭載した主局と、既知の地点に設置した従局間の見通し距離をマイクロ波によって測定する電波測位システムである。作業範囲が広範囲な港湾工事で、複数の船舶を対象とする測位システムとして使用されている。図-4・16にトライスポンダーのシステム構成を示す。

表-4・2 GPSの種類とその特徴

測位方法	衛星台数	測定時間	測位精度	特 徴
単独測位	1 台	リアルタイム	20～100m	船舶や飛行機などの航行支援システムやカーナビゲーション等に採用されている。
ディファレンシャルGPS	2 台	リアルタイム	1～5m	単独測位用の受信機を2台用いて基地局の誤差を移動局で補正しリアルタイムな測位を行う。
スタティック測位	2 台以上	1 時間程度	1cm±2ppm	高い測位精度が要求される基準点測測量に適している。
キネマティック測位	2 台以上	1～10分程度	2cm±2ppm	精度はスタティック測位に比較して落ちるが観測効率がよい。工事測量、用地測量に適している。

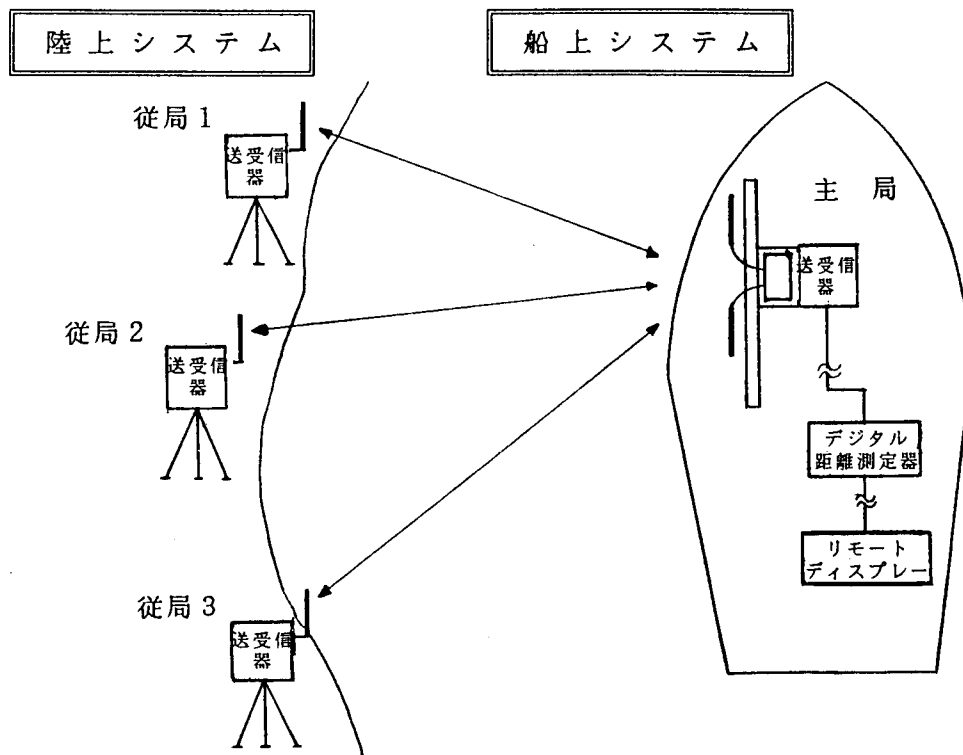


図-4・16 トライスポンダーのシステム構成

4) 水中音響測位機

海中で水中ロボットの位置を測定する方法として、超音波を利用した測位機がある。測定原理は前述のトリスポンダーと同様で、基準点と移動する物体との距離を超音波の送受信により測定し、測位を行うものである。図-4・17に音響測位機(LBL方式)の概念図を示す。

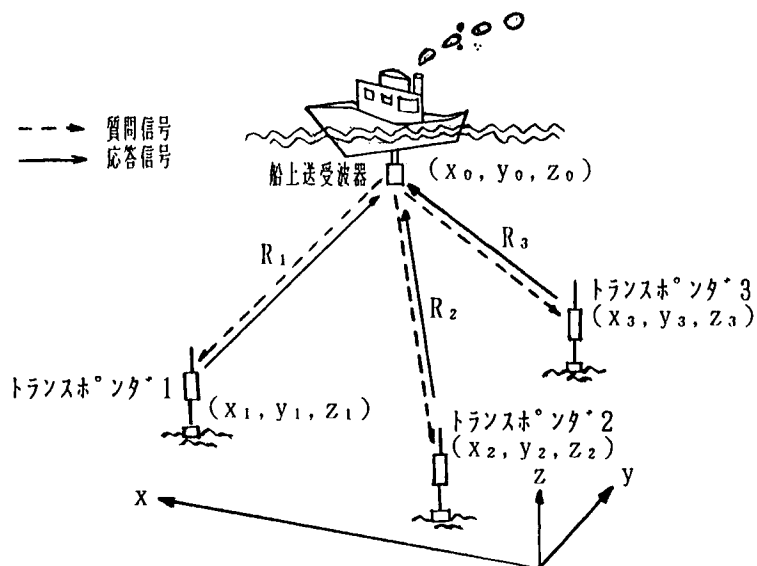


図-4・17 音響測位機(LBL方式)の概念図

4.7 既往技術の参考文献リスト

技術項目ごとの参考文献を表-4・3～4・5に示す。

表-4・3 参考文献文献リスト(その1)

No.	著 者	題 名	出 典	発行日
① 探査手法全般				
1 - 1	池田	地下構造物等を対象とした 探査法の現状	トンネルと地下 第17巻 6号	(1986.6)
1 - 2	今井, 大友, 坂山	新しい現地調査法 5. 物理探査法	土と基礎 36-7	(1988.7)
② 超音波探査				
2 - 1	中部地方建設局 中部技術事務所	洪水時の洗掘調査	中部技術事務所新技術の 成果報告 昭和57年度	(1983.)
2 - 2	本田	河川における音波探査の 適用例	地質と調査 1992. 第2号	(1992.)
2 - 3	松前, 松村	多機能サイトスキャンシステム 「ハイドロスキャン590」について	海洋調査協会第7回技術研究 発表会予稿集	(1990.)
③ 地下レーダー				
3 - 1	菅野, 有岡	電磁波法による地下埋設物 探知技術	土木工学における非破壊評価 シンポジウム講演論文集 1991.10	(1991.10)
3 - 2	中部地方建設局 中部技術事務所	河床洗掘計に関する報告書 (他7通)	中部技術事務所新技術の 成果報告 昭和58年度, 他	(1984. ~1989.)
3 - 3	鈴木	電波による地中, 水中の探査	計測と制御 vol.20 No.8	(1981.8)
3 - 4	五十嵐	地中探査レーダー	地質と調査 1988. 第1号	(1988.)
3 - 5	木村, 坂山 他	電磁波反射法による地中 埋設物探査術について	物理探査 第44巻 第2号	(1991.)
3 - 6	田村, 利岡, 陣内	河床洗掘調査への地下レーダ ー法の適用例	全地連「技術フォーラム'93」 横浜	(1993.)
3 - 7	原, 坂山	地下レーダーによる 地下構造探査	応用地質 第25巻 第2号	(1984.)
④ 比抵抗法				
4 - 1	林, 鈴木 他	水上から河床の砂礫層の厚さ を電気探査によって調べた例	物理探査学会第86回学術 講演会論文集	(1992.)

表-4・4 参考文献文献リスト(その2)

No.	著 者	題 名	出 典	発行日
4 - 2	栗林, 荻原, 原	電気探査法による橋脚根入れ 深度の判定法	物理探査学会昭和55年秋季講演 予稿集	(1980.)
⑤ 弾性波探査				
5 - 1	勇野喜, 八木沢 他	速度検層による群杭の調査	物理探査学会第83回学術 講演会論文集	(1990.)
5 - 2	田井, 鈴木 他	速度検層による木杭の 根入れ調査	物理探査学会第83回学術 講演会論文集	(1990.)
5 - 3	内山	孔井内弾性波速度測定	物理探査 第36巻 第5号	(1983.10)
5 - 4	唐沢, 戸成 他	埋設構造物の形状判定法	第19回土質工学研究発表会	(1984.6)
⑥ D P A S				
6 - 1	(土研の他多数)	杭の非破壊検査技術の開発 (その1~その9)	第23回~第26回 土質工学研究発表会	(1988. ~1991.)
⑦ 衝撃振動探査				
7 - 1	西村, 羽矢	衝撃振動試験による基礎 構造物の健全度診断	土木施工 33巻 2号	(1992.2)
7 - 2	池田, 秋鹿	土木分野における衝撃弾性波 による非破壊測定	土と基礎 29-12	(1981.12)
7 - 3	西村, 棚村 他	衝撃振動試験による橋梁 基礎の根入れ効果の検討	第23回土質工学研究発表会	(1988.6)
7 - 4	大見, 金子 他	弾性波伝播速度による石橋の 安全性診断	物理探査 第34巻 第2号	(1981.4)
⑧ ジオトモグラフィ				
8 - 1	大友	ジオトモグラフィ技術の現況	物理探査 第39巻 第6号	(1986.12)
8 - 2	企画調査委員会	ジオトモグラフィ技術への 期待	物理探査 第43巻 第4号	(1990.)
8 - 3	六川	弾性波トモグラフィと その応用	物理探査 第42巻 第6号	(1989.)

表-4・5 参考文献リスト(その3)

[illegible]

5. 実橋梁における既存計測手法の適用性試験

第4章で検討した既存の調査手法の中から、洗掘調査への適用性が高いと考えられる調査手法の実用性を検証するために、実橋梁を対象として適用性試験を行う。別途行われた洗掘に対する調査・点検手法に関するパイロット調査の結果と比較対照するため、調査橋梁は一般国道42号の天田橋を選定した。

5. 1 適用性試験の概要

5. 1. 1 調査方法

既存の技術の調査を基に、適用する調査手法は以下の条件を前提に選定した。

①計測が迅速にでき、かつ、計測結果の図化が可能で、現場で状況確認が速やかにできるもの。

②計測の機動性が優れており、広範囲の測量が短時間で容易にできるもの。

音響測深法、サイドスキャンソナーおよびサブボトムプロファイラーによる探査、地下レーダー法、そして、比抵抗法電気探査の計4手法が以上の条件を満たす、あるいは、満たす可能性があるものとして、適用性試験の対象として選定した。なお、音響測深は、比抵抗法電気探査が地盤構造の計測を中心に行うため、河床形状の計測を補完する目的も合わせている。

5. 1. 2 調査の実施

調査は平成5年8月24日～27日の間で、以下のスケジュールで実施された。

8月24日 調査準備、基線測量

8月25日 サイドスキャンソナーおよびサブボトムプロファイラーによる探査
地下レーダー法による探査

8月26日 比抵抗法電気探査

8月27日 音響測深、現地片付け

5. 1. 3 天田橋の概要

一般国道42号の天田橋は、和歌山県御坊市の日高川河口近くに架橋されている全長304mの7径間鋼トラス橋で、基礎はオープンケーソン形式である。過去の水害で橋が流されており、旧橋の基礎が一部残存している。現橋は昭和30年に竣工し、現在までに床版の打換えや、洗掘対策工としてのコンクリートブロックの敷設などの補修を行っている。

架橋付近の河川はほぼ直進して流れているが、西側にみお筋部の存在することが確認されている。また、架橋の水域は測量船が十分航行できる広さがあり、また、潮汐の影響を受ける気水域で潮の干満と共に河川水位が変動する。

天田橋の架橋位置図を図-5・1に、天田橋の写真を写真-5・1に、そして、図-5・2に天田橋の構造一般図を示す。

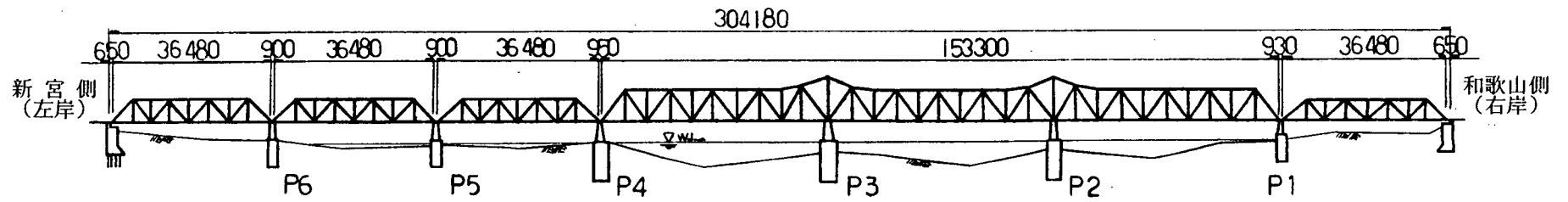


図-5・1 天田橋架橋位置図



写真-5・1 天田橋

側 面 図



上部工断面图

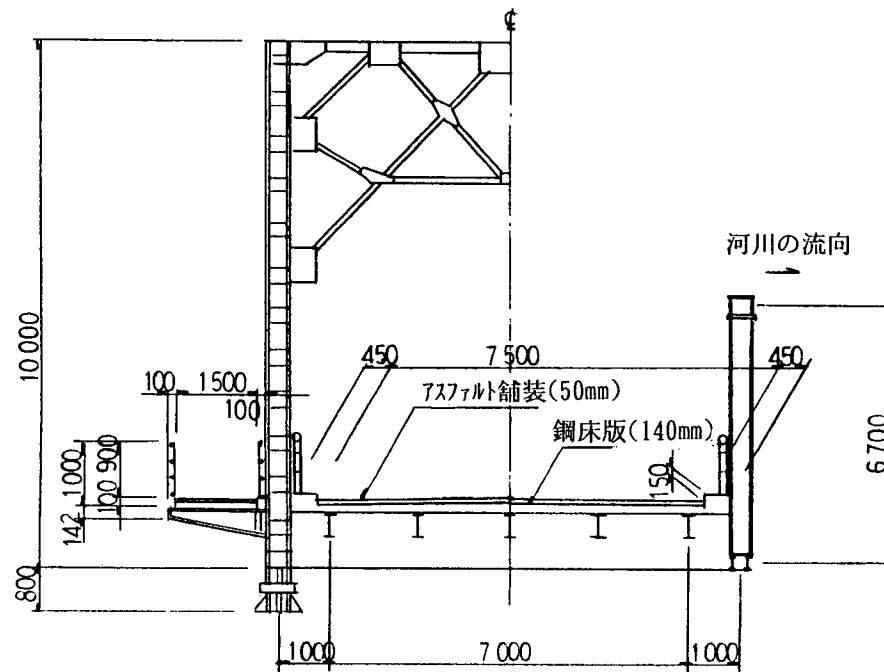


図-5・2 天田橋一般構造図

5. 2 音響測深

音響測深は超音波を使用した深浅測量の一種であり、水面近く的水中で超音波を発信して河床面からの反射音波を検出し、発信～受信の時間差と水中の音波の伝播速度から水深を計算する手法である。主として、海底地形の形状把握に使用されており、海洋工事における深浅測量などで頻繁に使用されている。

5. 2. 1 調査方法

1) 使用機器

今回使用した音響測深機の仕様を表-5・1に示す。現場水域は水深が数mと極めて浅く、深さに対する分解能を高め、測定精度を確保する必要があるため、音響測深機としては超音波の周波数が高いものに属する600kHzを発振する装置を使用した。また、周波数が高くなるほど音波の指向角は狭くなる性質がある。本装置の指向角は半減全角度で3°となり、水深5mでは、水平方向の広がり分解能は約25cmとなる。

表-5・1 音響測深機の仕様

メーカー	千本電気株式会社
名 称	105型
周 波 数	600kHz
指 向 角	3°（半減全角度）
レ ン ジ	25m幅
可測深度	1m～170m
発振回数	225回/分

2) 調査方法

今回実施した音響測深の調査方法を図-5・3に示す。測量船に音響測深機、送受波器、駆動バッテリーなど装置の全てを搭載した。また、船体の真下方向に音波が伝わるように、送受波器を支柱やロープを使用して固定した。測定した水深の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。

一般に、音波の伝播速度（音速）は、媒体の性質（この場合は河川水の塩分濃度など）で微妙に変化し、測定誤差の原因となる。このため、測定に先立ってバーチェックと呼ばれる検定を実施し、音響測深機の記録上では音速が補正された測定値が得られるようにした。

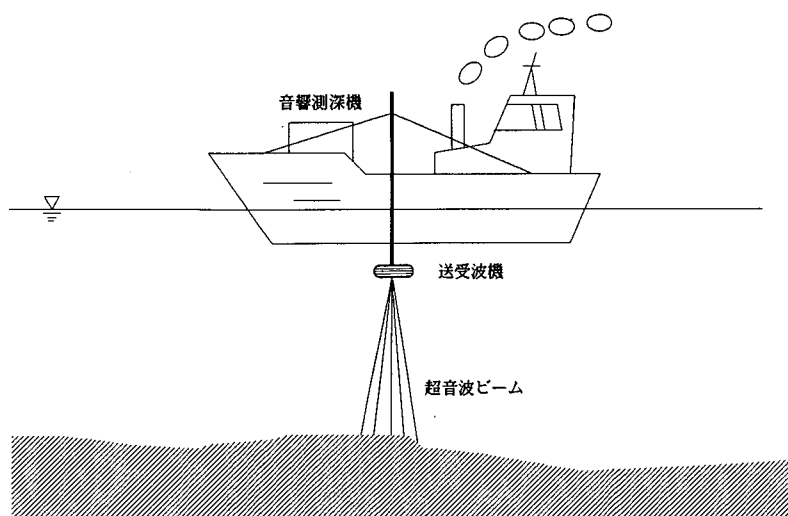


図-5・3 音響測深の実施方法

3) 測線

図－5・4の航跡図に示すように、横断方向に合計5本、縦断方向に合計27本、総延長1,715mの測線を設定した。音響測深に先立ってトータルステーションを使用し、上流側に橋梁から5mと10mに、下流側には同様に5m、10m、15mの視準点を兩岸に設置し、測量ポールで明示した。

河川横断方向の測定時は、各測線の片側の視準点にトランシットを据え、対岸の視準点を覗きながら測定船を誘導した。測定船がP1～P4の橋脚を通過する時に、記録に通過マーク（カットマーク）を入れた。上流側には古い橋脚が残されている関係で、図－5・4の航跡図に示すようにこれを迂回している。

また、縦断方向測定は、上流側と下流側の手すりに5mピッチでマーキングを行い、測定時に2本のロープを垂らし明示し、その直下を通過するように測量船を誘導した。船が5本の横断測線と橋脚の端を通過するときにカットマークを記録に入れた。橋脚の周囲には異形ブロックが設置されている関係で、船体を橋脚のそばまで寄せることができないため迂回している。

5. 2. 2 測定結果

1) 測定記録

図－5・5に本調査における音響測深機の測定記録例を示す。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からの反射波ではない。測定記録から測定時の水深を読み取り、測定時の河川水位から河床面の標高に計算した。そして、横断方向5測線、縦断方向27測線の標高値を使用してこれをメッシュデータに変換し平面図を作成した。

2) 測定結果

河床形状の平面図を図－5・6に、橋脚の上流側と下流側の横断方向の河川断面を図－5・7に示す。測定結果から以下のことが明らかになった。

- ① P2中心から15m程度右岸に寄った河床に、明らかに洗掘の影響と思われる箇所が検出された。上流側はP2から右岸側に離れているが、下流側ではP2側に寄っている。その最深部の標高は上流側で約-7.5mであり、下流ほど徐々に浅くなる傾向を示している。これら状況から、洪水時における河川流の方向が推定される。P2の左岸側の河床では、洗掘の影響は比較的少ないと考えられる。
- ② P3では程度の差が見られるが、橋脚の左右に洗掘の影響が見られる。右岸側の状況はP2右岸側と比較的類似し、かつ橋脚から15m程度離れているのに対し、左岸側では橋脚にほぼ平行する上、離れも5m程度と極めて近い。それぞれの深さは標高で-4～-5m程度である。また、P1とP4の場合も洗掘の影響が河床の形状に認められるが、他の橋脚に比べるとその程度は比較的小さい。

図－5・8はパソコンを使用して測定データの処理したもので、(a)は河床の形状を自動的に等高線として表示したものであり、(b)は河床形状を3次元立体図に表示したものである。音響測深機にデジタル出力があり、位置情報も同様にデジタルで得られるならば、現地測定後、パソコンでデータを処理し、本図のような等高線図や立体図が測定後、すぐに得られる。

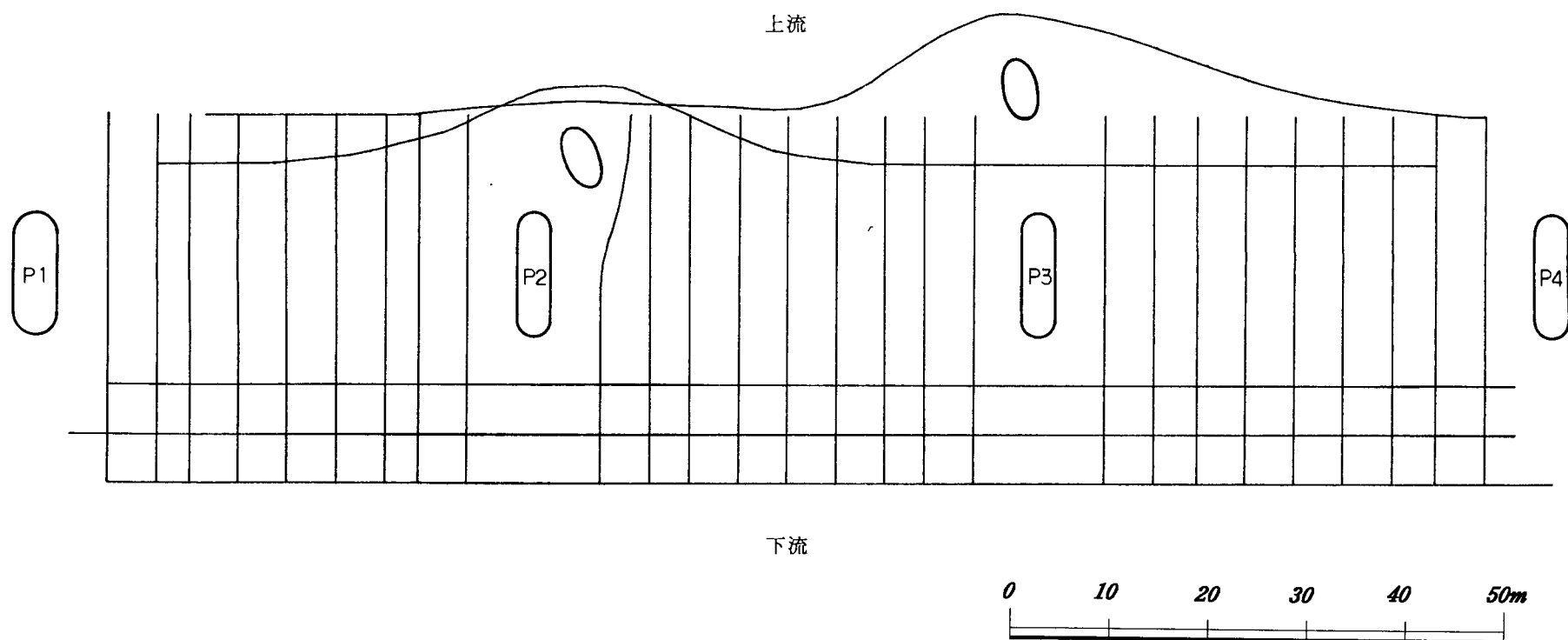


図-5・4 測量船の航跡図

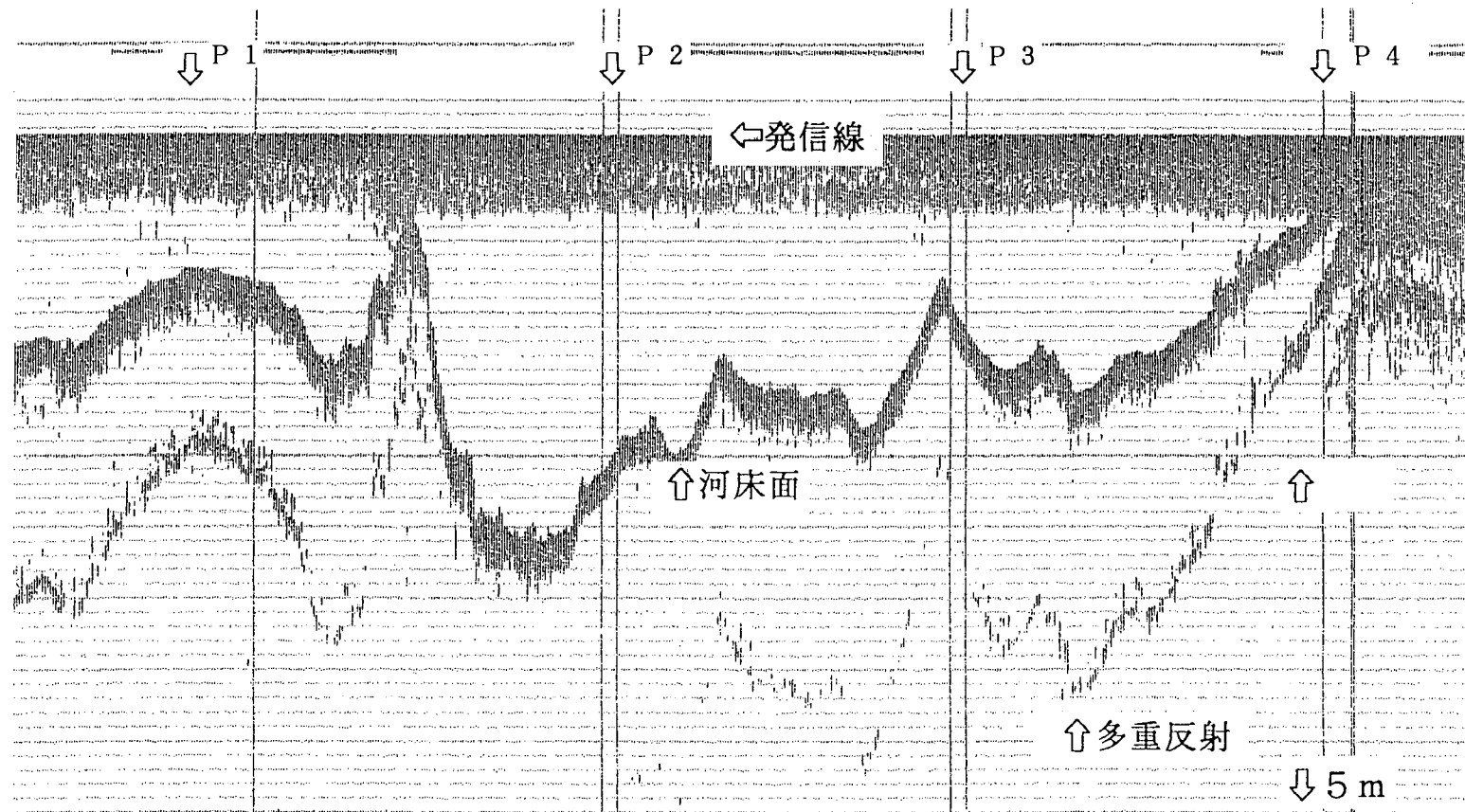


図-5・5 音響測深機の測定記録例

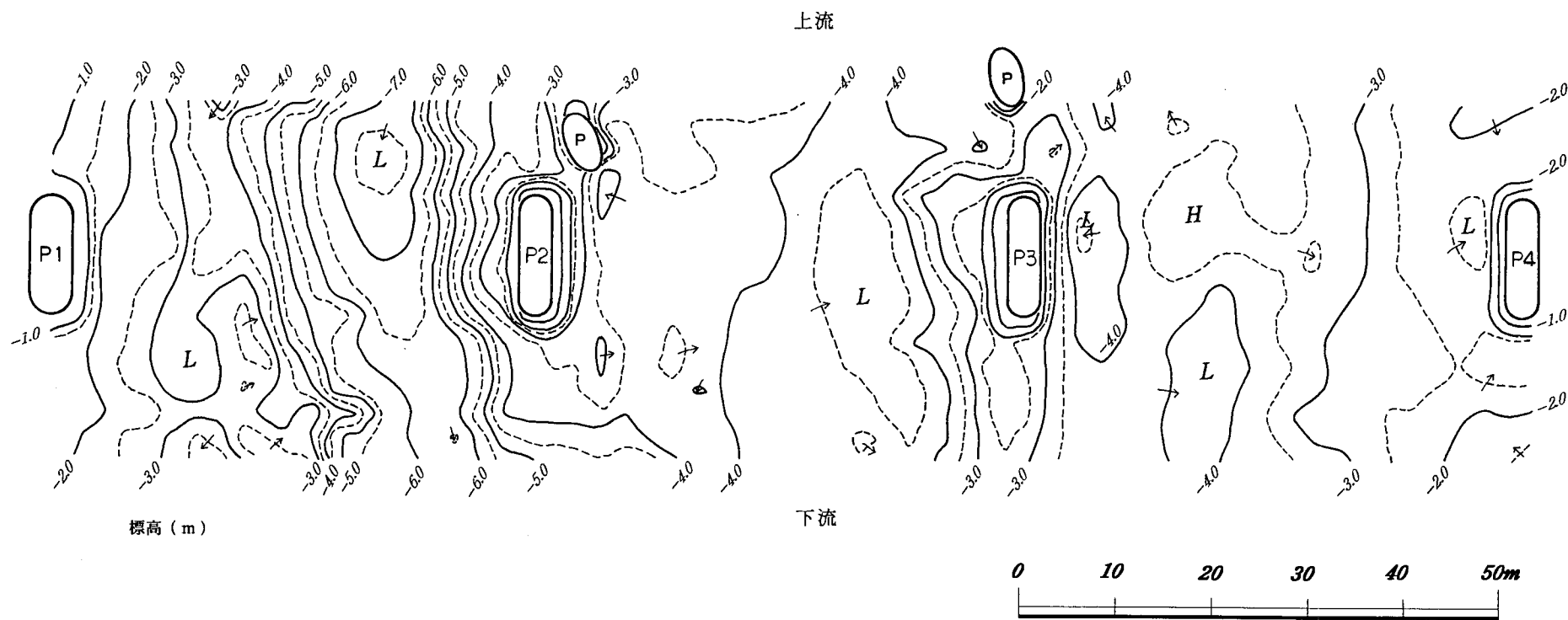


図-5・6 河床の等高線

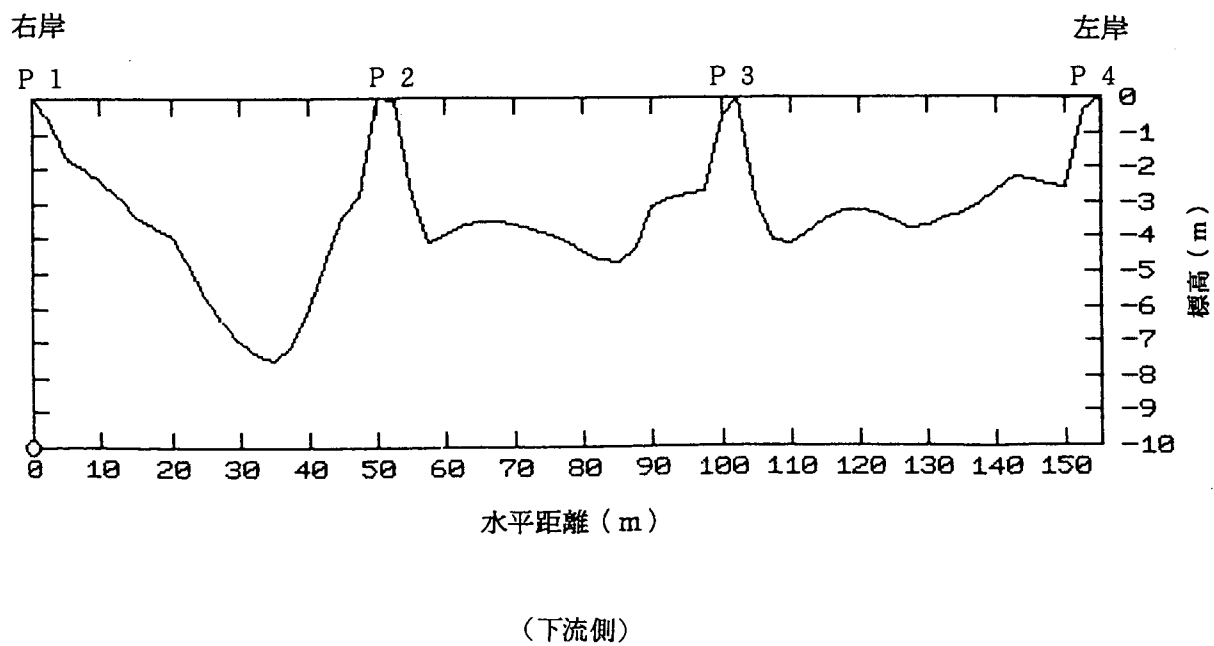
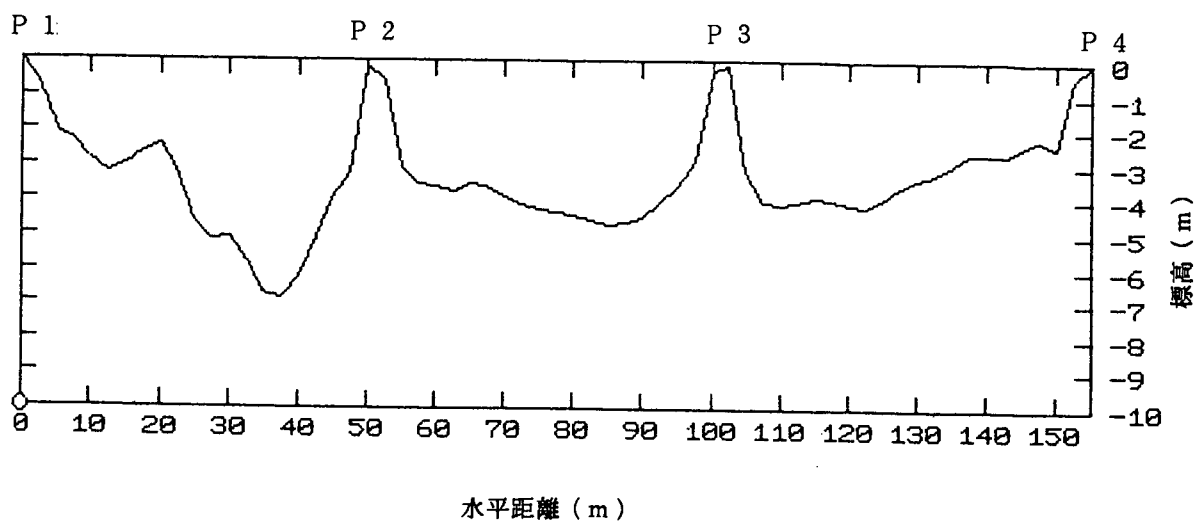
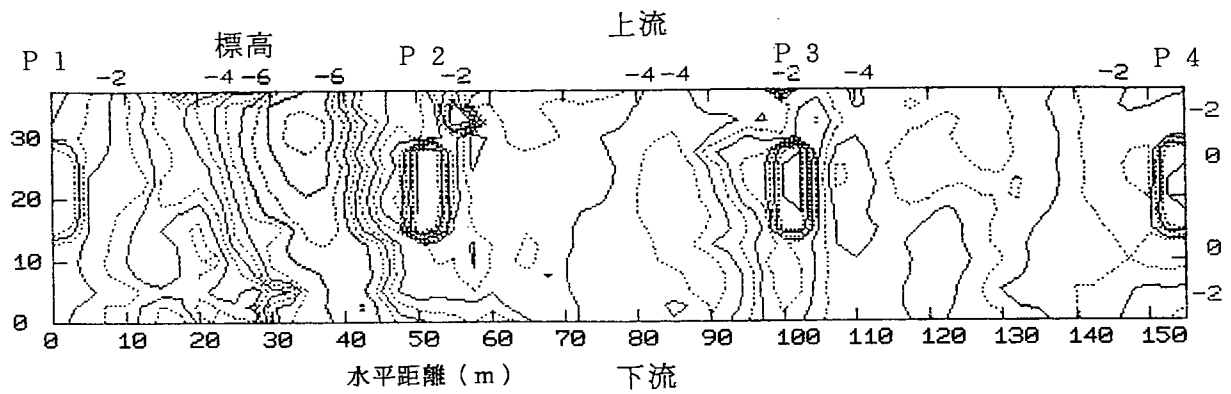
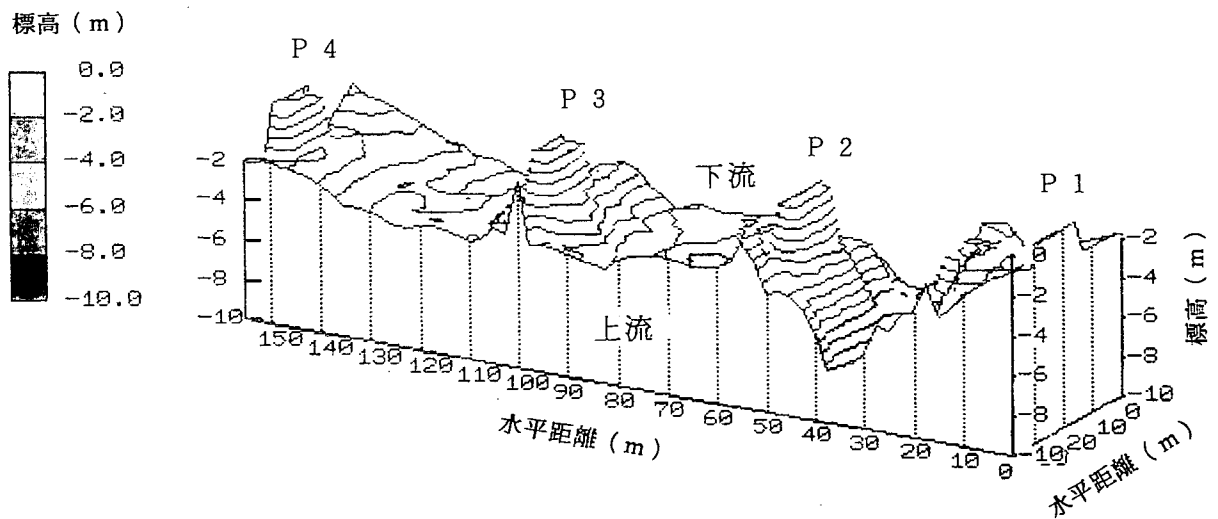


圖 - 5 · 7 河床形状断面図



(a) 河床形状平面図



(b) 河床形状の3次元立体図

図-5・8 パソコンによるデータ処理結果

5. 2. 3 まとめ

音響測深の結果を以下にまとめる。

- ①音響測深機を使用した河床形状調査では、洗掘の影響と思われる河床地形が検出された。
- ②測定データをデジタルで出力し、データの処理方法を工夫してパソコンを使用すれば、調査結果を現場で確認できる。
- ③以上のことから、音響測深が洗掘調査における河床形状の測定に有効な手法であると判断される。

5. 2. 4 調査状況写真



写真－5・2 音響測深機



写真-5・3 測定中の状況

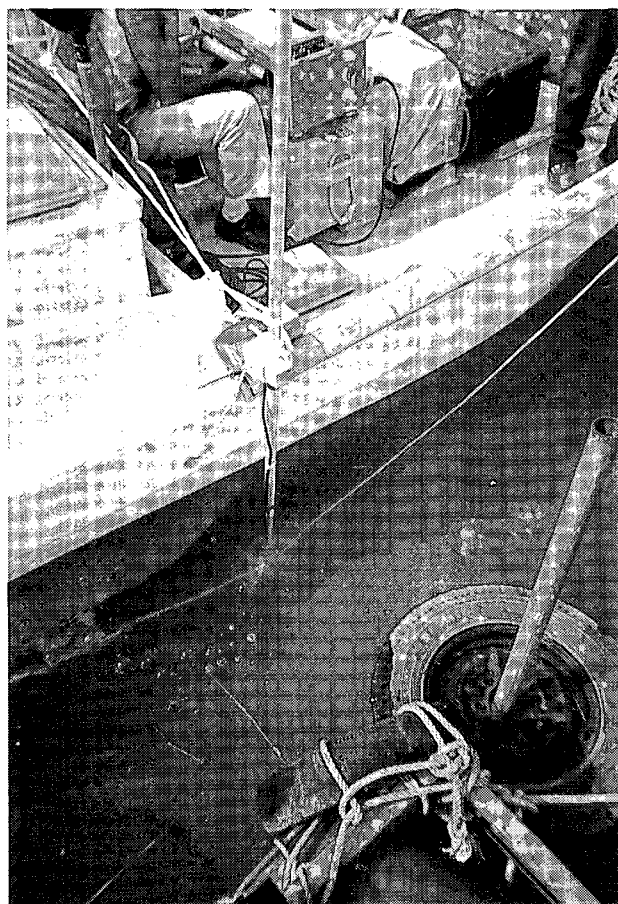


写真-5・4 音響測深機の艀装状況

5.3 サイドスキャンソナーおよびサブボトムプロファイラーによる探査

本調査は超音波探査として、河床面の状況を調べるサイドスキャンソナーと、地盤構造を探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（米国KLEIN社製）を使用して、洗掘調査における河床形状、および、水中構造物の測定、そして、地盤構造、特に2次堆積層の探査を実施し、これらの手法の洗掘調査への適用性を確認した。

5.3.1 調査方法

1) 使用機器

今回使用したハイドロスキャン590の仕様を表-5・2に、システムを図-5・9に示す。

表-5・2 ハイドロスキャン590の仕様

名 称	型 式	メーカー	仕 様
記録器	595	KLEIN	測定レンジ：12.5～750m 記録方式：感熱記録 記録階調：16段階 記録幅：41.3cm 画素数：3304個／ライン 記録チャンネル：最大4ch
曳航体 （サイドスキャン ソナー）	422S-101HF	KLEIN	周波数：100kHz, 500kHz 同時2周波測定式 水平ビーム角：1° (100kHz) 0.2° (500kHz) パルス幅：0.1msec (100kHz) 0.02msec (500kHz)
曳航体 （サブボトムプロ ファイラー）	532S-101	KLEIN	周波数：3.5kHz ビーム幅：50° パルス幅：0.4msec 分解能：約60cm
データレコーダ	RD-111	TEAC	DAT テープ使用 チャンネル数：8 周波数範囲：DC～5kHz

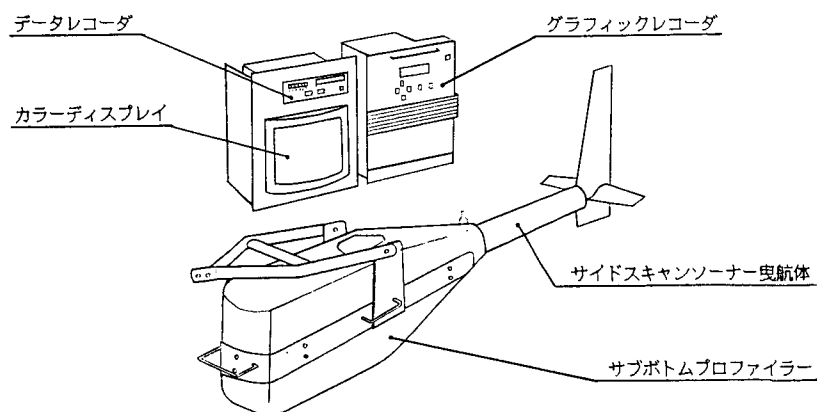


図-5・9 ハイドロスキャン590のシステム図

2) ハイドロスキャン590による調査状況

サイドスキャンソナーは、水中に吊り下げた曳航体の左右の側面に取付けられたトランスジューサーから、斜め下に向かって扇状に超音波パルス（周波数100kHz、および、500kHz）を一定間隔で発信する。この超音波が河床に到達すると散乱波が生じ、その一部が曳航体に戻ってくる。そこで受信した散乱波の時系列信号に対して、その振幅の大きさを記録紙に濃淡表示することにより、縦軸が曳航距離（船の進行方向）、横軸が曳航体から河床面までの距離に相当する河床の状況図が得られる。

一方、サブボトムプロファイラーは、曳航体直下方向に円錐状のビームパターンを持った音波パルス（周波数3.5kHz）を発信する。この周波数帯域の音波は柔らかい泥や砂の地盤であれば一部透過する性質があることから、地層境界で反射してきた波を受信することにより、地層構造が把握できる。図-5・10にハイドロスキャン590による調査状況を示す。

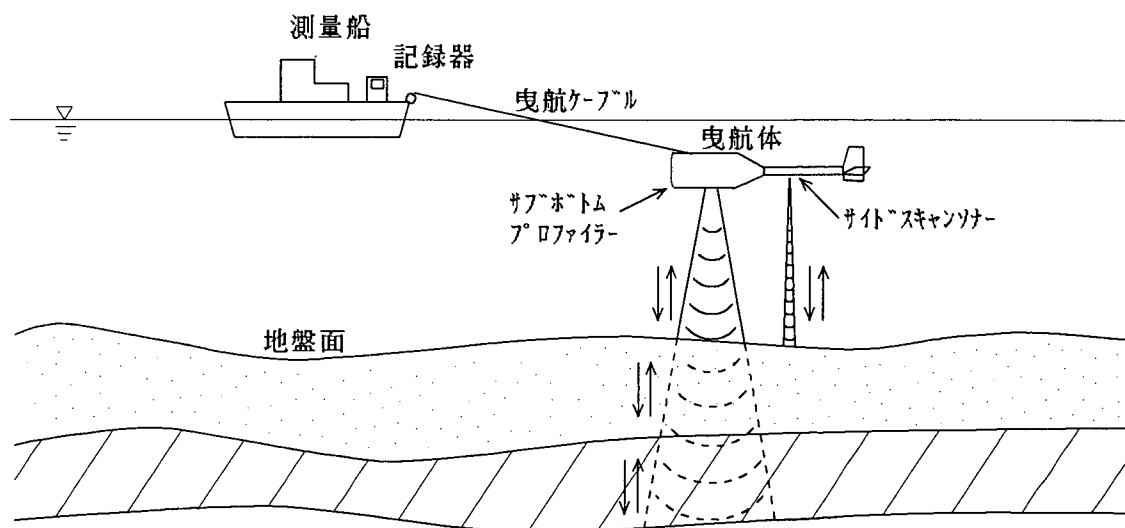


図-5・10 ハイドロスキャン590による調査状況

なお、本装置は比較的水深のある水域での作業を前提に作られており、サイドスキャンソナーおよびサブボトムプロファイラーが一体となった曳航体を測量船で曳航するようになっている。しかし、現場水域の水深は数mと極めて浅く、曳航体と河床の離隔を確保しないと測定が不可能なため、曳航体が水深0.3mより沈まないようにいかだに乗せ、いかだごと測量船で曳航して調査を行った。測量船は音響測深で使用した測量船を使用し、2～3ノットの航行速度で計測を行った。

ハイドロスキャン590システムの特徴をまとめると以下ようになる。

- ①一度の曳航・計測作業によって、河床の平面的な状況が視覚的に画像記録として得られるので、広い範囲の調査を効率的に実施できる。
- ②サイドスキャンソナー記録の濃淡パターンから、河床堆積物の種類、底質の分布状況をおおよそ推定でき、水中構造物の状況を視覚的に捉えられる。
- ③サブボトムプロファイラーにより、河床面の凹凸や地層の構造を同時に把握できる。従って、サイ

ドスキャンソナーの測定結果を組み合わせ、河床地形を3次元的イメージで捉えることができ、河床面の状況と地層構造の両方を同時に把握できる。

3) 測線

測線は音響測深と同じものを使用し、測量船の誘導も同様に実施した。サイドスキャンソナーによる1測線の測定幅は曳航体を中心にして片側50m、両側100mとした。

5.3.2 調査結果

測定結果は装置の記録紙上に図化されており、これを整理・編集することにより、河床平面図や断面図が容易に得られる。サイドスキャンソナー記録を測線に沿って貼り合わせたモザイク図と、上流側5mの測線におけるサブボトムプロファイラー記録を合わせて示した、河床面状況図及び断面図を図-5・11に示す。そして、図-5・11をもとに作成した河床面および断面の解釈図を図-5・12に示す。また、河床地形の概要を見るために、3測線（下流15m、下流5m、及び上流10m）のサブボトムプロファイラー記録である河床断面図を図-5・13に示す。これらの図面をもとに、調査結果をまとめると次のようになる。

- ①図-5・11、図-5・12により河床面状況を見ると、河床部はほぼ様なグレーの区域、色の濃い模様が見られる区域、および白く色の抜けた区域の3種類に大きく区分される。
- ②様なグレーの区域は、P2～P3間及びP3～P4間の比較的平坦な河床部に見られるが、この色調は平坦な海底で底質が砂地盤の場合に良く見られる特徴的なものであることから、この場合も平坦な砂地盤を示しているものと考えられる。
- ③色の濃い模様の区域は、上述の砂地盤に比べて音波の反射強度が強いことを示しており、砂利が分布しているものと考えられる。
- ④白く色の抜けた区域は、P1～P2間及びP3～P4間の一部に見られる。白く色が抜ける要因としては、底質が泥のように音の反射強度の弱い場合か、地形が窪んでいて音の反射が少ない場合の2つが通常考えられるが、地形断面からも分かるように後者の地形の窪みによるものと推定される。特に、P1～P2間は周囲に比べて約4mの深さの谷地形を示しており、洗掘を受けたと考えられる。一方、P3～P4間では地形の窪みはP1～P2間ほどは著しくない。
- ⑤P2とP3の橋脚の周囲には、岩のような模様の濃いゾーンがあるが、いずれもテトラポッドの分布を示していると考えられる。テトラポッドの分布範囲は、P2では橋脚を中心にして30m四方程度、P3では20m四方程度である。
- ⑥図-5・13の河床断面図によれば、P1～P2間の河床の窪みの深さは、下流部においては周囲に比べて約4m深いのにに対して、上流部は約6m深くなっており、上流部の方が窪み方が著しい。
- ⑦図-5・13によれば、河床面下の地層構造については明瞭に確認できない。河床部に堆積している砂利で音波の大部分が反射してしまい、河床下の地層まで音波が透過していないと考えられる。また河床断面図には、テトラポッドによるものと思われるもやもやした音の反射が現れている。

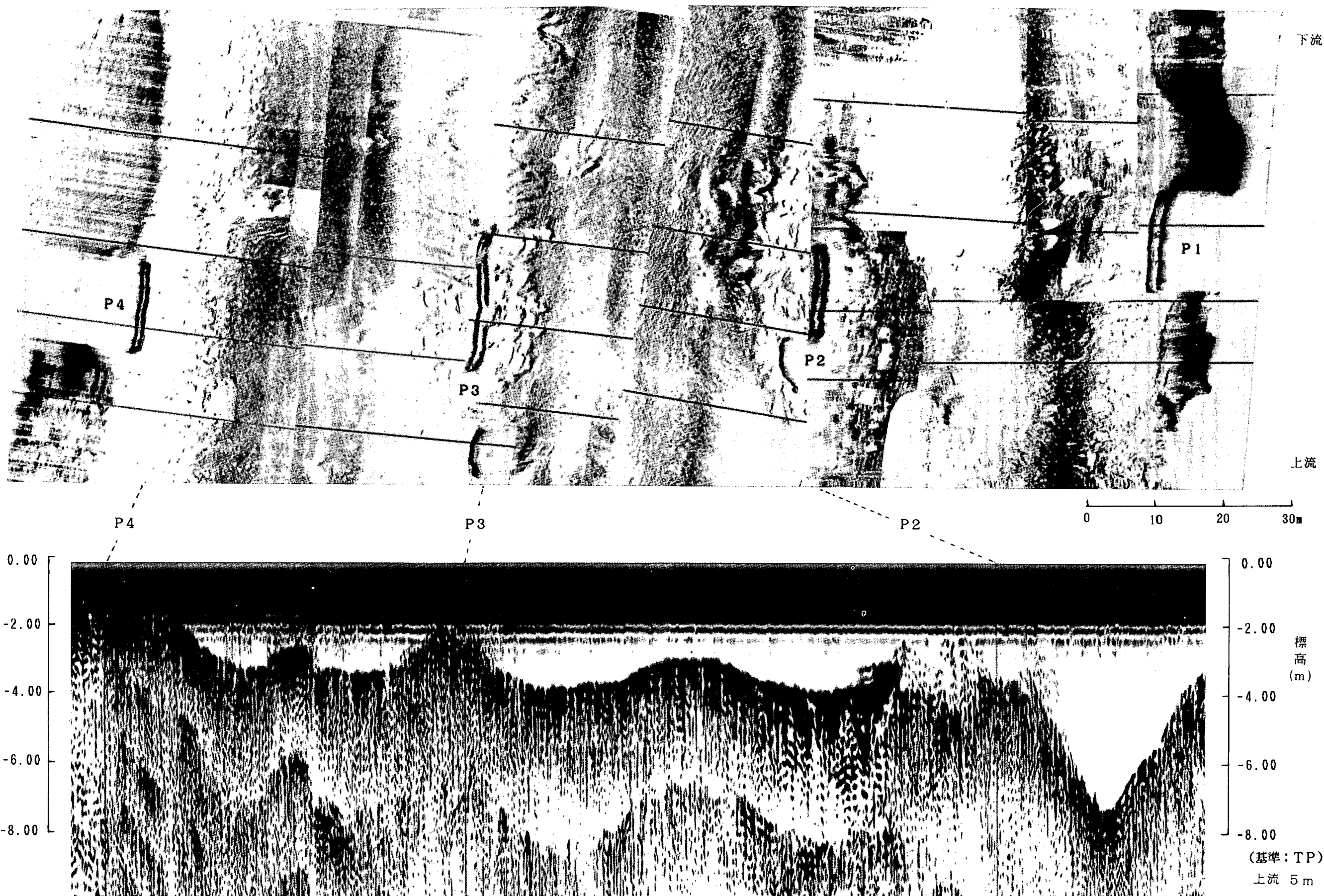


図-5・11 ハイドロスキャン590による河床面状況図及び断面図

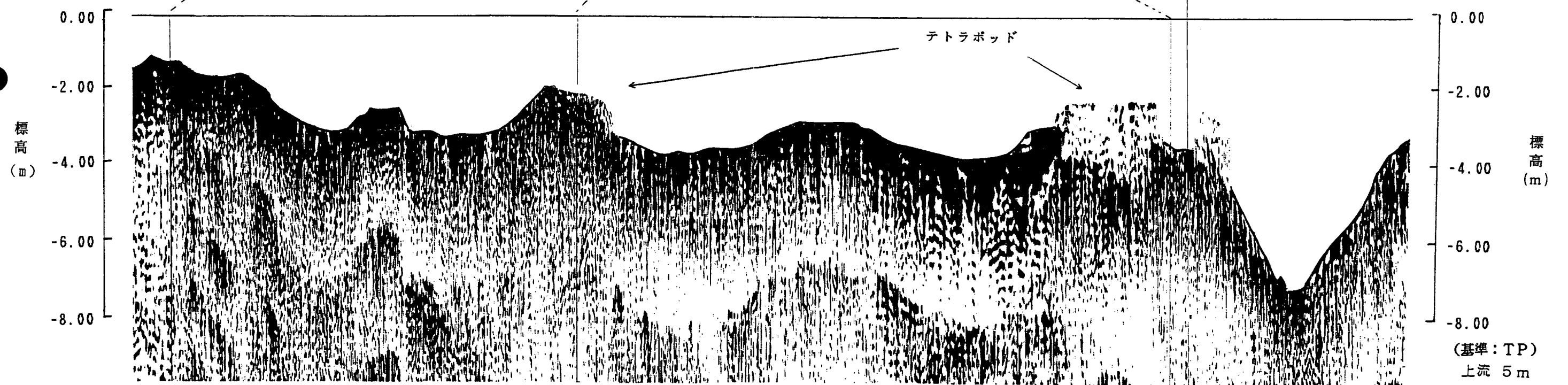
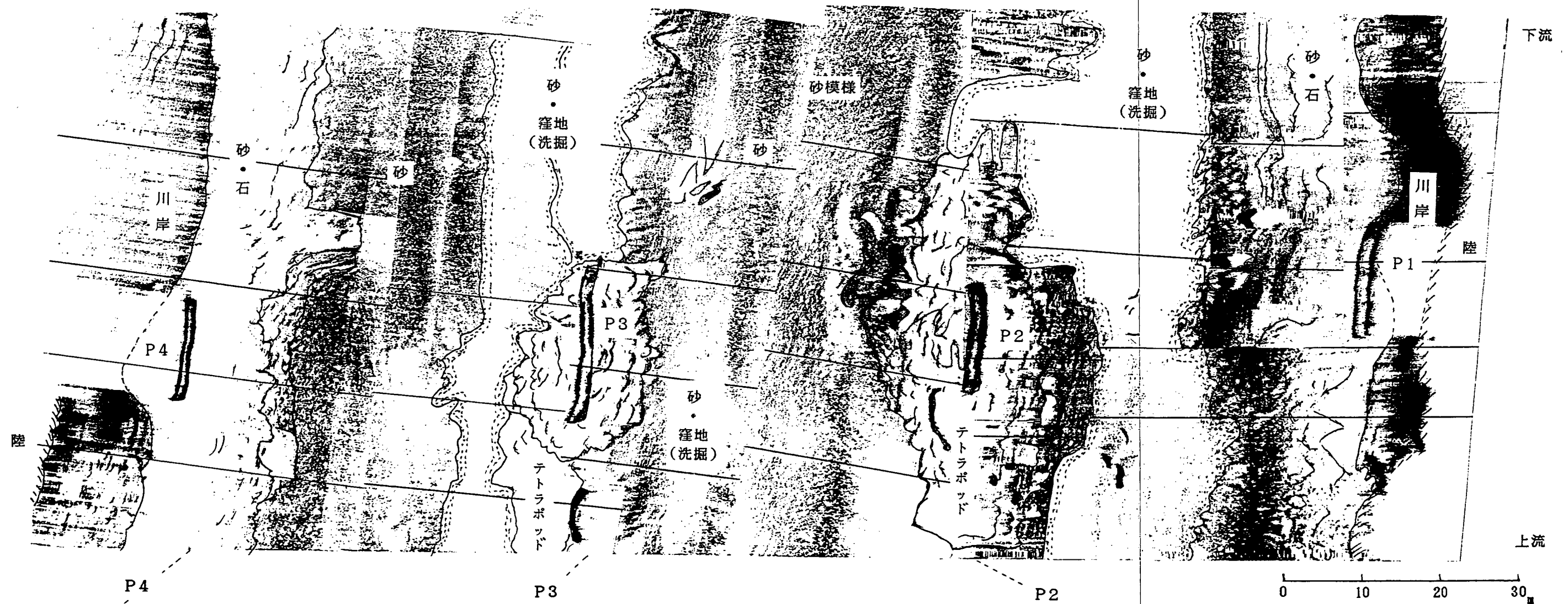


図-5・12 ハイドロスキャン590による河床面及び断面解釈図

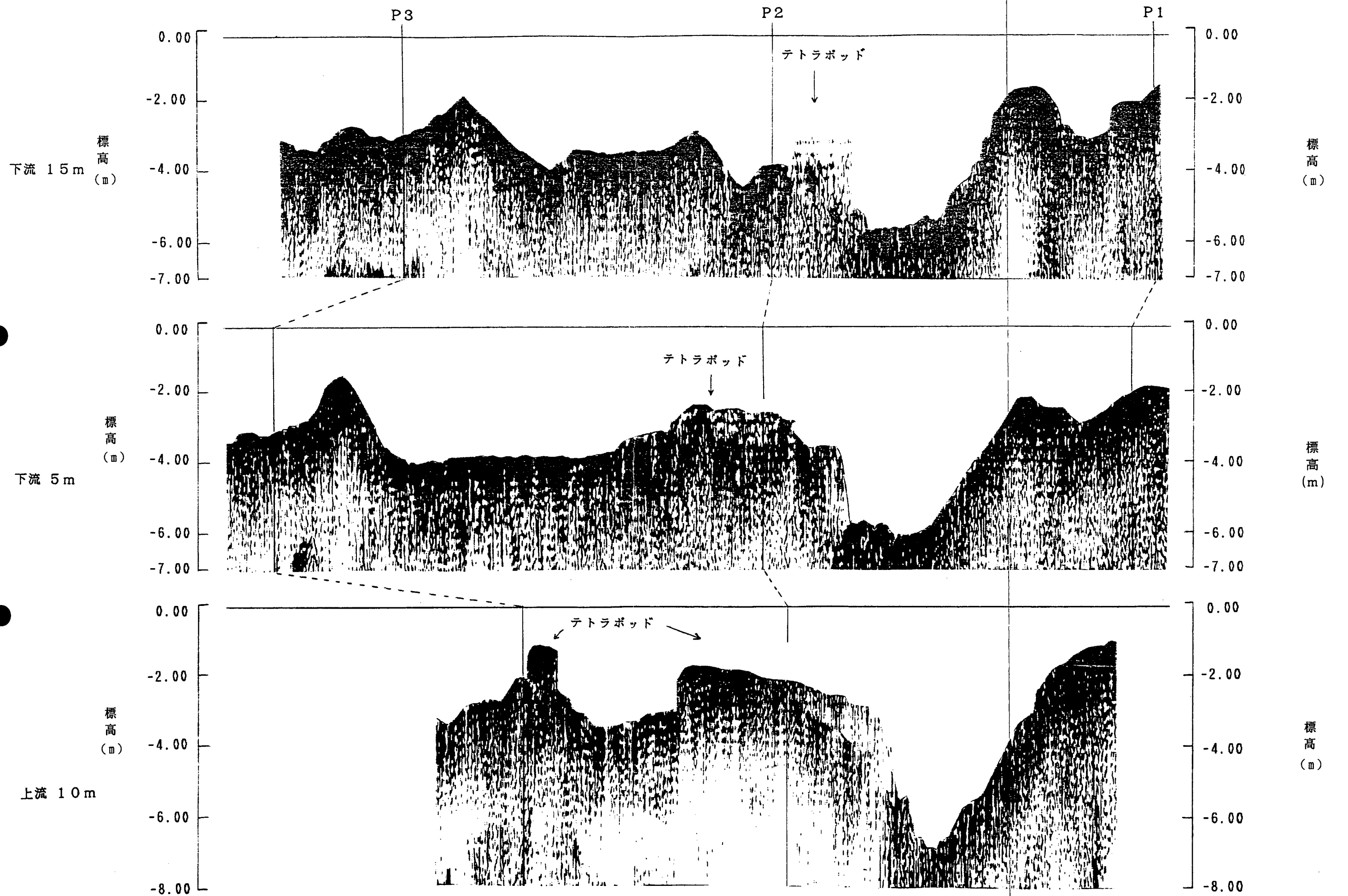


図-5・13 ハイドロスキャン590による河床断面図

(基準: TP)

5. 3. 3 まとめ

今回の実験結果によって、ハイドロスキャン 590を使用した洗掘調査の適用性についてまとめると以下のようになる。

- ①サイドスキャンソナーにより、河床の底質状況、特に橋脚周辺に投入されているテトラポッド等の分布状況など、水中の構造物の状況が把握できる。
- ②サブボトムプロファイラーは2次堆積層である緩い砂、泥層の把握を目的としたが、今回の実験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。
- ③橋脚周辺が洗掘されている場合、サイドスキャンソナーの映像で白い影として検出される可能性がある。本調査では根固め用のテトラポッドがなければ、洗掘の有無は容易に確認できたと考えられる。
- ④この装置は本来、水深 10m以上の深い水域で使用されることを前提に作られているが、簡単な艀装を施すことにより、水深1m近くの極めて浅い水域でも使用できることが確認された。

5. 3. 4 調査状況写真

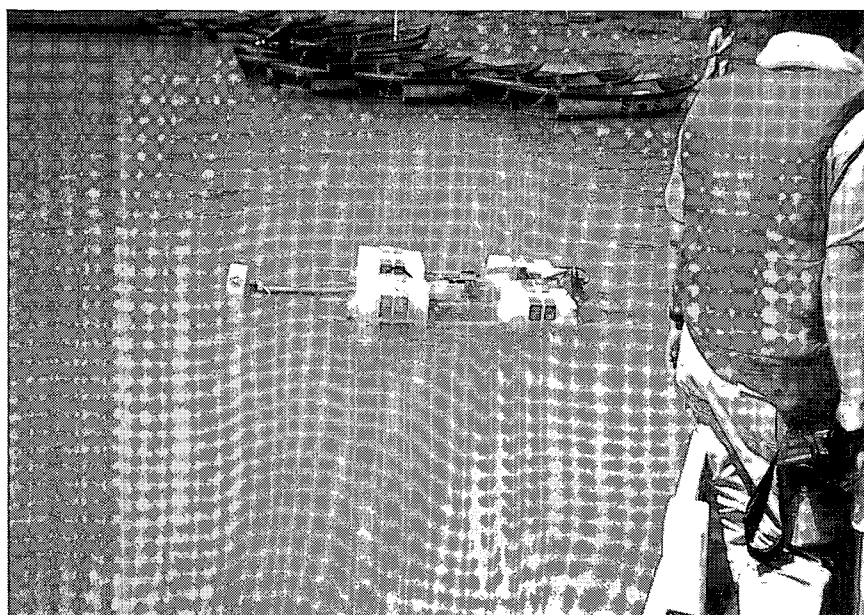


写真-5・5 いかだに搭載したハイドロスキャン590曳航体

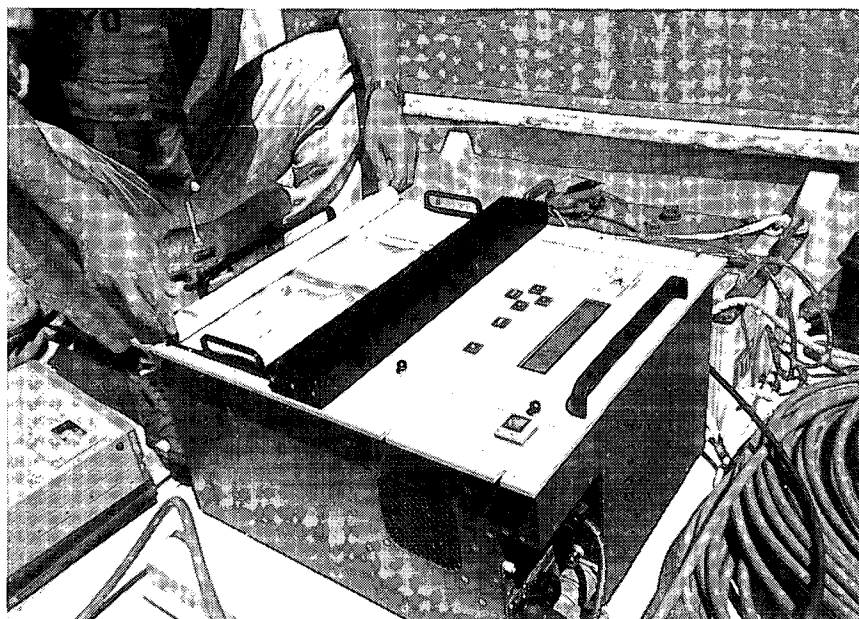


写真-5・6 測定機器



写真-5・7 ハイドロスキャン590による測定状況

5. 4 地下レーダー法

地下レーダー法は、地下に電磁波パルスを放射して、反射・屈折・透過などの物理現象を利用して地下構造を探查するものであり、地下空洞、埋設管や遺跡などの調査に広く使われている。本手法で河床形状を測定した事例もあり、測定条件が良ければ河床面だけでなく、河床体積物の層厚を捉えることも可能と考えられるため橋梁基礎洗掘調査への適用性を確認した。

5. 4. 1 調査方法

1) 使用機器

今回の調査では、SIR-10システム（米国GSSI社製）を使用した。表-5・3にSIR-10システムの主な仕様を示す。地下レーダーのシステムは国内に数種類存在するが、SIR-10システムの場合、複数の周波数用のアンテナが用意されており目的に応じて最適のアンテナを選択できること、データは8mmテープに16ビットのデジタル値として記録され、パソコンによる各種信号処理を容易に行えるソフトウェア“RADANⅢ”が用意されている、などの理由から本調査で採用した。

一般に低い周波数ほど探查深度が大きくなるが、アンテナも大きくなる。本調査の場合、測定深度を10m程度は必要と判断し、可能な限り低い周波数とするため100MHzのアンテナを使用した。水中での電磁波速度は空中に比べ1/9に低下し、100MHzアンテナを使用した場合でも波長は33cmで3～5cm程度の分解能は期待できる。

表-5・3 地下レーダー装置SIR-10の仕様

ア ン テ ナ		1台のSIR-10に4台のアンテナ接続可 30MHz～2.5GHzの各種周波数アンテナ接続可
メ イ ン フ レ ー ム	ス キ ャ ン 数	8-64 スキャン/秒
	測 定 レ ン ジ	0-2000ms (ナ) セCOND、10秒
	A D 変 換	16ビット、128-1024 サンプル/トレース
	フロッピーディスク	オペレーションソフト インストール用
	磁気記録装置	8ミリデータカートリッジテープドライブ (Exabyte Tape Drive), 2.3GB(ギガバイト、10 ⁹ バイト)
ディスプレイ (CD-10)		VGAカラー(480×640ドット) 30.5×29.2×21.6cm、10.5kg
プリンター (GP608)		サーマルプリンタ、203dpi、21.6cm幅 16階調、36.6×30.5×19.0cm、11.5kg

2) 調査方法

今回実施した地下レーダー法の調査方法を図-5・14に示す。アンテナは図に示すように、測量船の舷側に取り付けたゴムボート上に置き、航行しながら測定を行う。測定データはカラーディスプレイに表示されると共にサーマルプリンターに出力され、さらに8mm磁気テープにデジタルで記録される。

地下レーダー探査は、塩水中や粘土地盤のような比抵抗の低い地盤では電磁波の減衰が著しいため、探査不能となることが知られている。本調査の場合、調査水域が河口に近い汽水域であり、海水の影響を受けるため比抵抗が極めて低いことが予想され、目的とするような探査記録が得られない事態も懸念された。そこで、最初に探査の可能性を確認するため、橋梁を中心として上下流方向に2, 3往復し事前測定を行い、この結果が良好であれば音響測深と同じ測線で測量船を航行させて本測定を実施することとした。

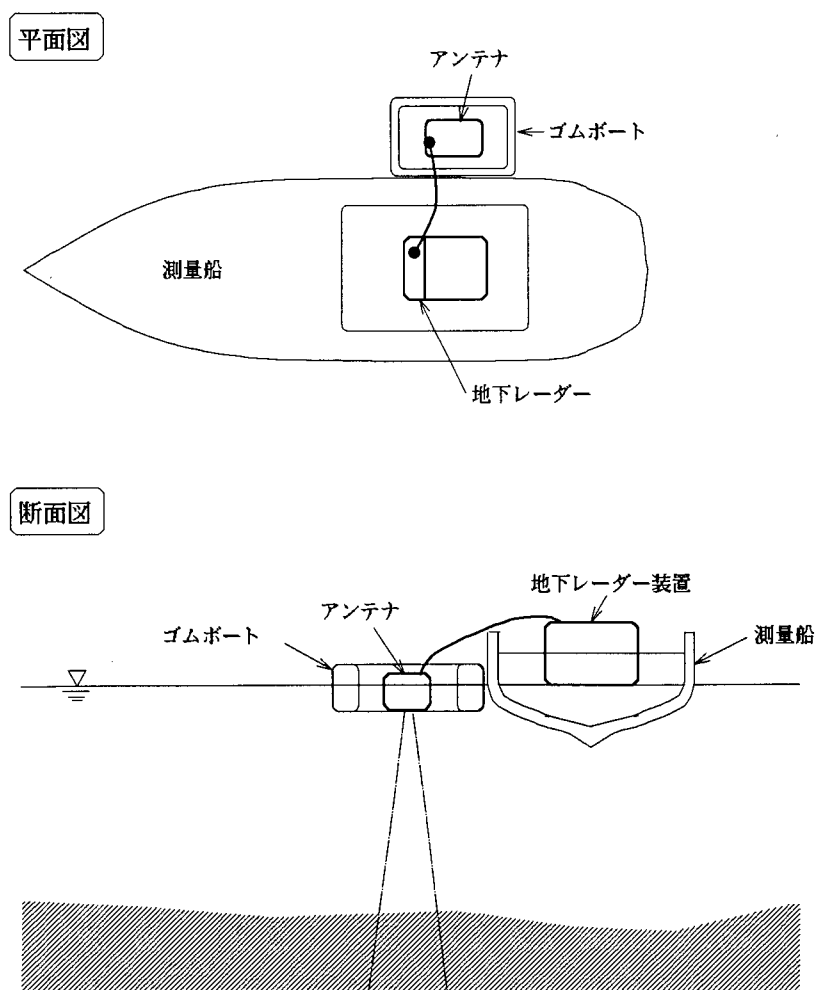


図-5・14 地下レーダーの実施方法

5. 4. 2 測定結果

1) 事前測定の結果

事前測定に先立ち、河川水表面の比抵抗値を測定した。結果は約 $20\Omega\cdot\text{m}$ と極めて小さい値となっている。事前測定を行ったが、河床を捉えられたのは水深2mまでで、それ以降の河床は測定が不可能となった。よって、河川水の比抵抗値が小さいため電磁波が著しく減衰し、本測定ができないと判断して以後の測定を中止した。

図-5・15に事前測定の測定記録の一例を示す。図中のa部は水面を、b部は河床からの反射波を示しているが、辛うじて河床を捉えているのは水深2mまで、それ以降は電磁波の減衰が著しく、河床からの反射波を捉えていないのが明らかとなっている。

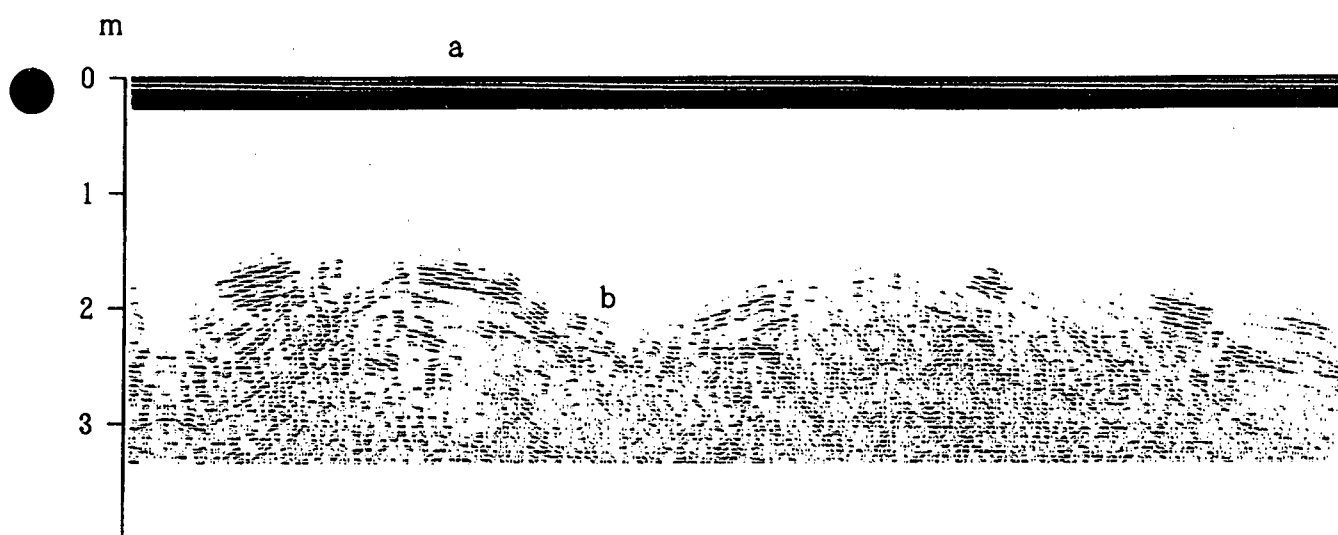


図-5・15 地下レーダーによる水深測定記録

2) 本調査に対する地下レーダー法の適用性の検討

今回の調査では電磁波の減衰が著しいため、水深2m以上の河床の測定が不可能となった。現在までに発表されている研究例などにより、本調査における地下レーダーの適用性を検証した。

図-5・16は塩水の導電率をパラメータとして周波数と減衰量(dB/m)の関係¹⁾を示したものである。合わせて、図中に今回の実績値(周波数:100MHz, 河川水の導伝率: 0.1sm^{-1})を示した。図-5・16から、本調査における電磁波の減衰量は20dB/mとなる。この値は、地下レーダー法を適用するには極めて高い値となっており、電磁波の減衰が著しいことを裏付けている。

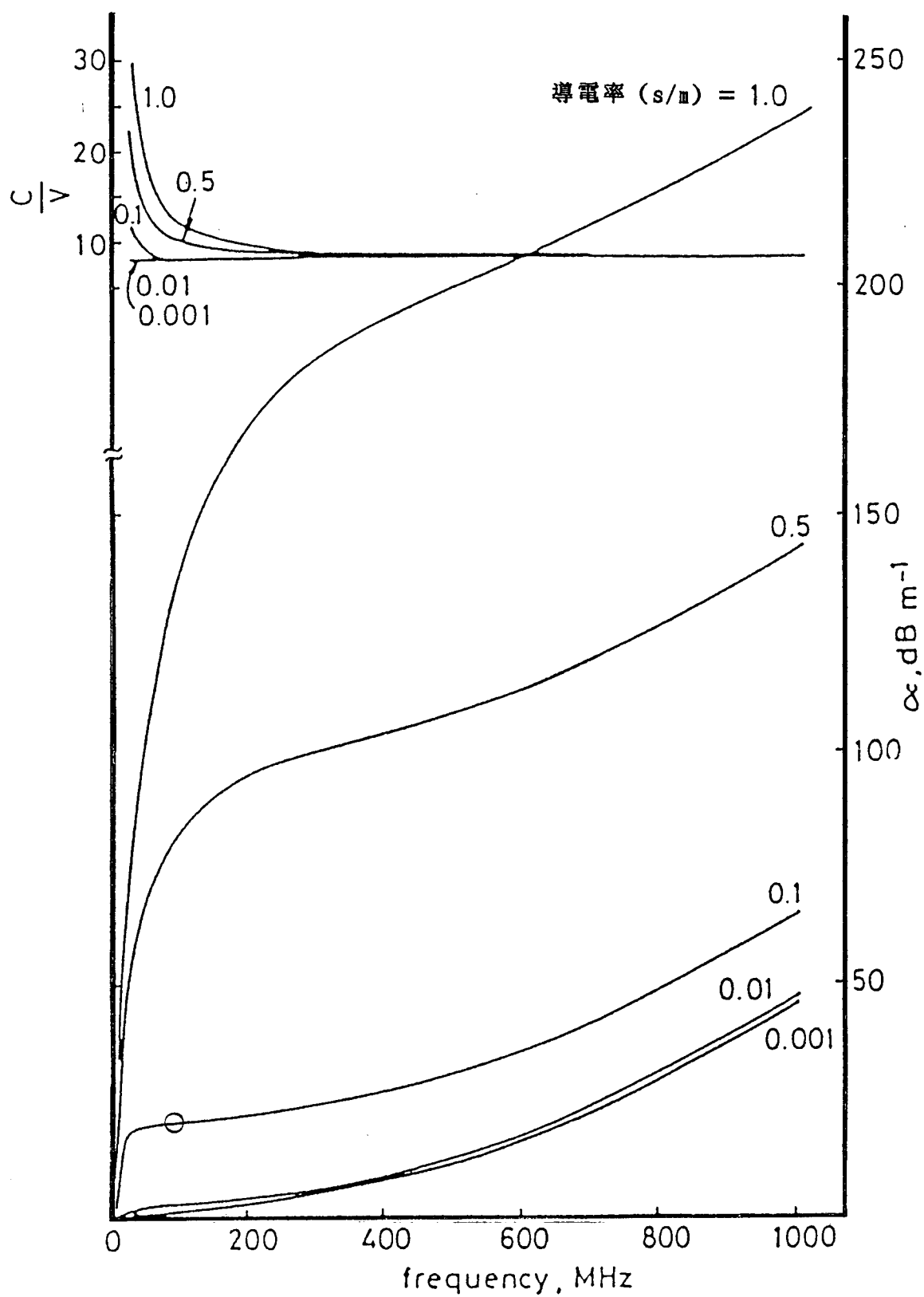
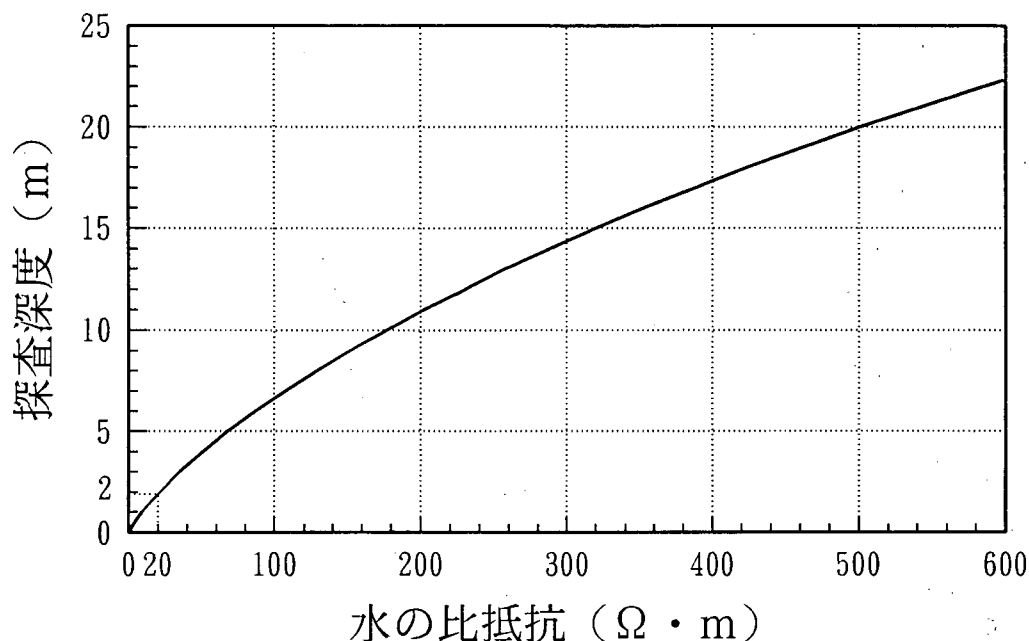


図-5・16 塩化ナトリウム溶液の減衰定数とスローネス（電磁波速度の逆数）¹⁾

また、河床における地下レーダーの適用性を考える上で、河川水の比抵抗が重要な要素となる。図－5・17は水面に100MHzアンテナを使用する場合、実験から求めた水の比抵抗と探査可能な水深の関係図²⁾を表したものである。

本調査の現場水域で測定された水面での比抵抗値は、約 $20\Omega\cdot\text{m}$ であるが、この場合の探査可能な水深は図－5・17から探査可能な深度は2m弱となる。このことから、水深2m以下の調査が不可能であったことが裏付けられる。



図－5・17 地下レーダーによる水深測定の探査深度(100MHzアンテナ使用)²⁾

以上のことから、本調査の現場水域の条件は電磁波の減衰が極めて著しい条件にあり、河川水の比抵抗から決まる探査深度が2m弱と浅いことが確認できる。

参考までに、別の河川で行った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を合わせ、図－5・18に示す。地下レーダーの測定記録図でa部は河床、b部は水面と河床間の多重反射波、そしてc部は河床堆積物を示す。

地下レーダーの探査結果は、超音波探査と同様に河床形状を明確に捉えられている上、河床面下の地層層厚もある程度捉えることができることを示している。測定条件が良好で有れば、地下レーダーは、河床形状や地層構造の探査に有効な手法であることが認められる。

地下レーダー



音響測深

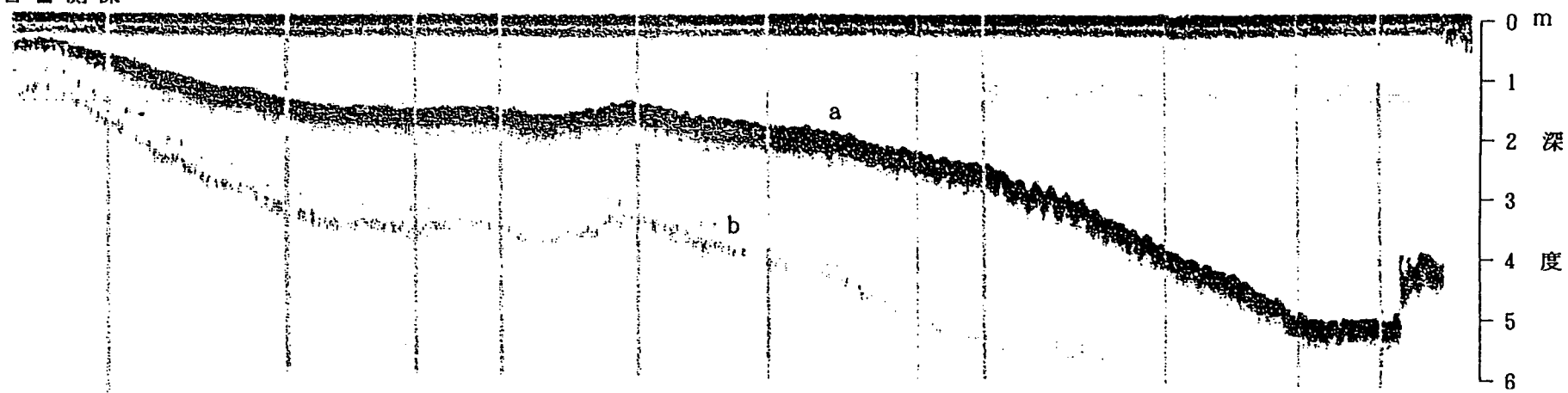


図-5・18 地下レーダーと音響測深による河床洗掘調査記録対比例

5. 4. 3 まとめ

本調査では現場水域が汽水域であり、海水の影響を受けて河川水の比抵抗が低いため、地下レーダーによる限界探査深度が極めて浅く、調査そのものが不可能であった。このことは、現在発表されている研究例を適用して検証した。

参考例に示した様に、別の河床形状を調査した別の事例では、地下レーダーは超音波探査と比較すると、河床形状に関しては同等の測定ができ、地層構造の探査ではより確実に状況を把握できることが報告されている。したがって、海水の影響を受けない上流域では地下レーダーの測定条件はより望ましくなるので、調査を上流域で実施して、適用調査の継続が必要と考える。

5. 4. 4 測定状況写真



写真－5・8 船上のSIR-10Aシステム

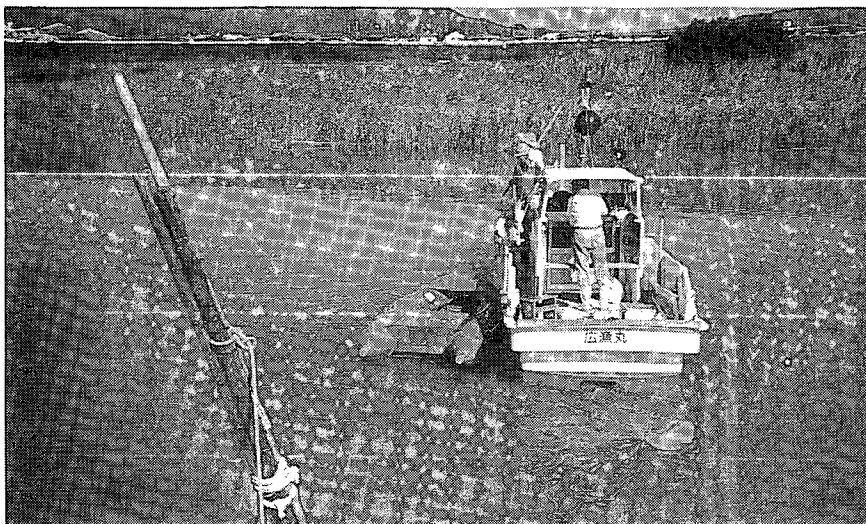


写真-5・9 アンテナの機装状況



写真-5・10 調査状況

〈参考文献〉

- 1) D. J. Daniels, D. J. Gunton, H. F. Scott, Introduction to subsurface radar, IEE PROCEEDINGS, Vol. 135, Pt. F, No. 4, AUGUST 1988
- 2) 原徹夫, 坂山利彦: 地盤調査に対する地下レーダーの適用性について, 応用地質調査事務所年報No. 5, 1983年

5.5 比抵抗法電気探査

比抵抗法電気探査は、地表面下の電気抵抗の分布を計測し、地層構造を調べるものである。この手法は前述の3手法と違い、地表面下の地層構造の探査を主眼に置いているため、河床形状のデータは音響測深の結果で補うものとする。

5.5.1 調査方法

1) 使用機器

今回の調査で使用した使用機器を以下に示す。

Mc OHM-21	1台
スキャナー	2台
ケーブル	1式

2) 測定方法

所定の位置に電極ケーブルは1m間隔に50電極が付属した防水電極ケーブルを作業船を使って、測線設定位置の河床に敷設した。ケーブルを敷設したのち、測量船に搭載した機器により測定を行った。図-5・19に測定状況図を示す。

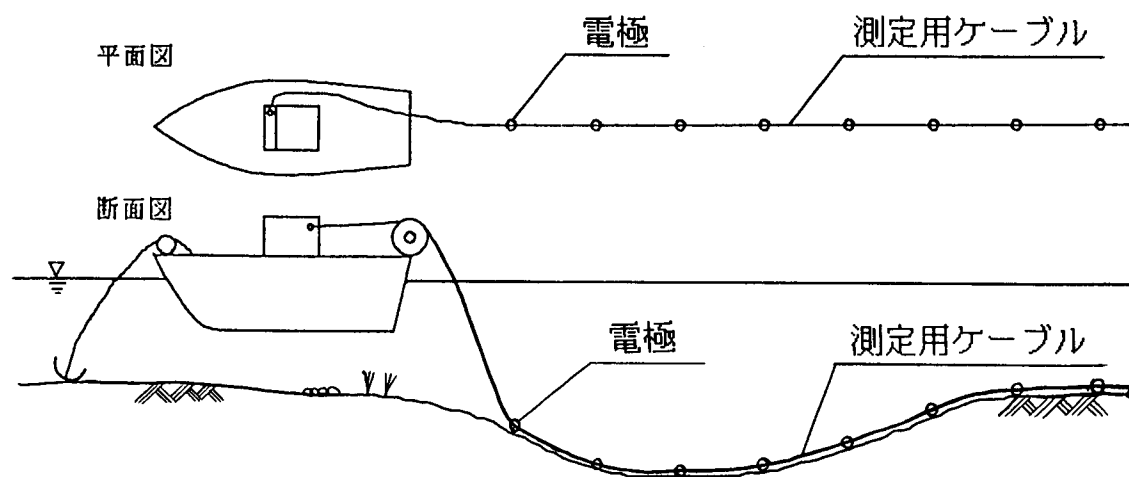


図-5・19 比抵抗法電気探査の測定状況図

測定用の電極配置方法は、ダイポール・ダイポール法を採用した。図-5・20に一般的なダイポール・ダイポール法の測定手順説明図を示す。ダイポール・ダイポール法は、電流ダイポールと電位ダイポールをともに測線線上におき、両方のダイポール間の離隔距離を上げながら測定する方法であり、遠電極を設置する必要がないことから採用した。電極間隔 a は1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10と変化させた。測定データの総数は、1回の測定あたり（電極50極）527データで、合計1054データとなった。

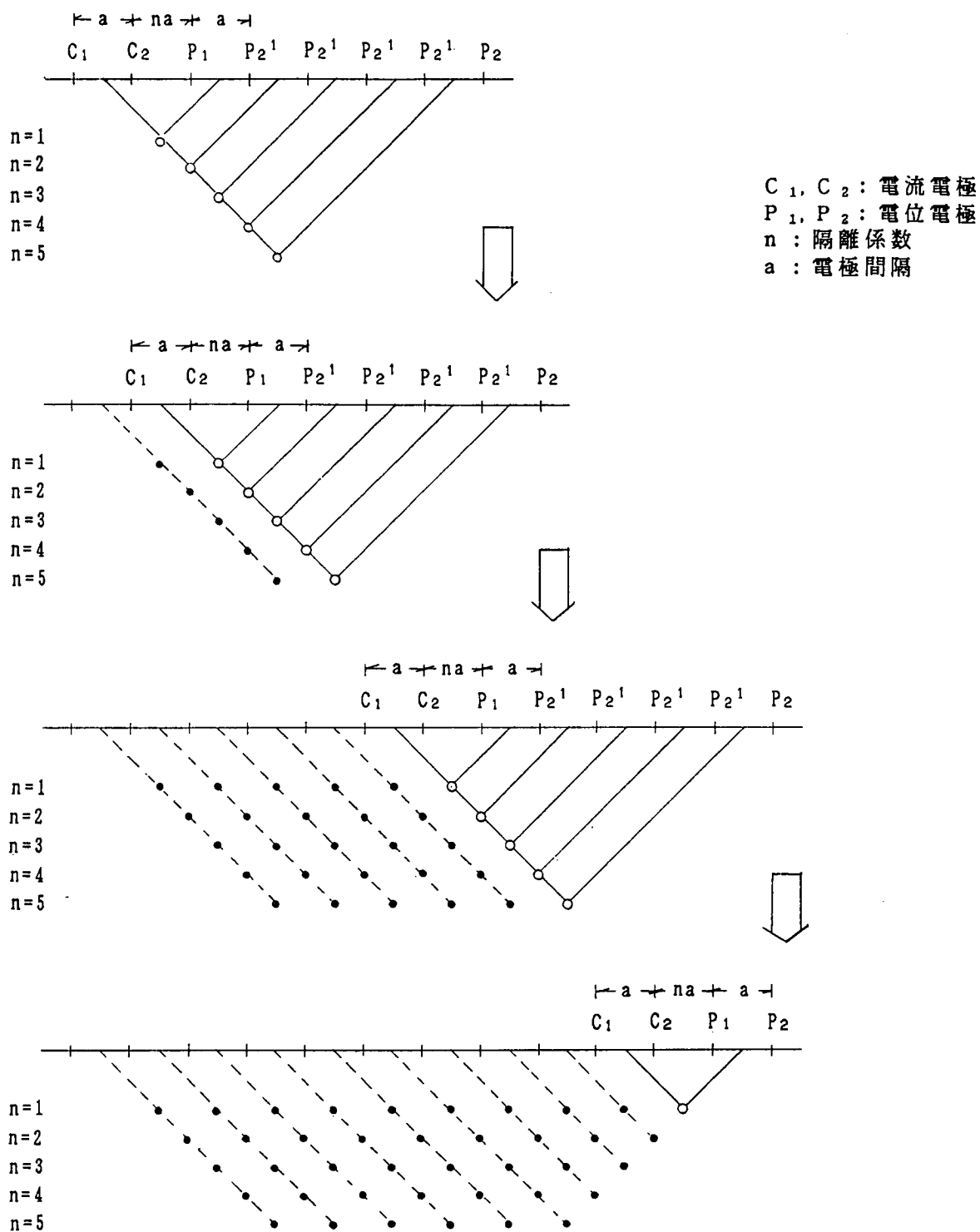


図-5・20 ダイポール・ダイポール法の測定手順説明図

3) 測線

測線は音響測深で使用したものと共通とし、橋梁から下流側 10mに河川横断方向に、河川の流心部に近い P 1 ～ P 4 の間の100mに設定し、電極ケーブルの長さは 49mなので測定は2回に分けた。1回目はP 3 橋脚を中心に、2回目はP 2 橋脚を中心にケーブルを敷設し、いずれも右岸側を始点として測定を実施した。

橋脚の下流側 10mの測線を兩岸にポールで明示し、測線の始点と終点位置には橋梁上から目標を下げて、測量船を誘導した。測線の両端部で、少し余裕を持たせてアンカーを投下した後、アンカーロープをたぐり寄せながら作業船を移動してケーブルを所定の河底に敷設し、その後、ケーブルの敷設位置は、ケーブルの両端を光波距離計を用いて位置測量を行い確認した。

4) 計測データの解析方法

測定結果は有限要素法を用いた逆解析手法により解析を実施し、比抵抗分布図として成果をまとめるものとする。1回目と2回目の測定データは合わせて1測線の測定データと見なし、1度に解析するものとする。

図-5・21にデータ解析の流れ図を示す。

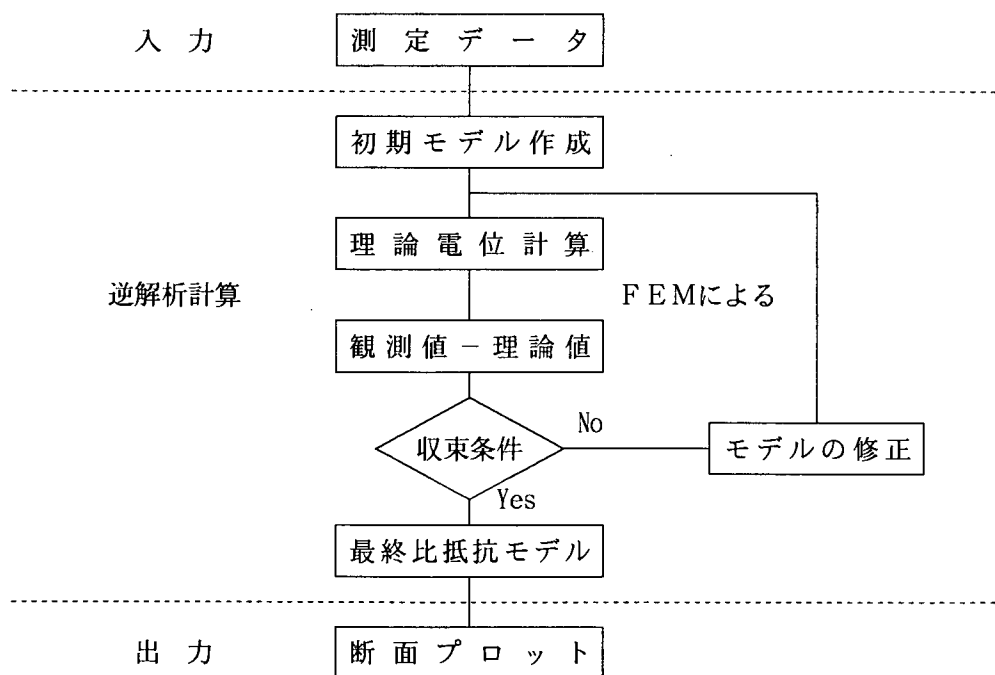


図-5・21 データ解析の流れ

5.5.2 調査結果

1) ケーブル位置の測量結果

光波測距器で測定したケーブル敷設位置を図-5・22に示す。ケーブルの敷設線は、河川の横断線とはやや斜交しているが、その程度はさほど大きくないので、橋梁の下流側 10mの測線上で調査を実施したものと判断し、河底地形は下流 10mの横断線上での音響測深結果をそのまま用いた。

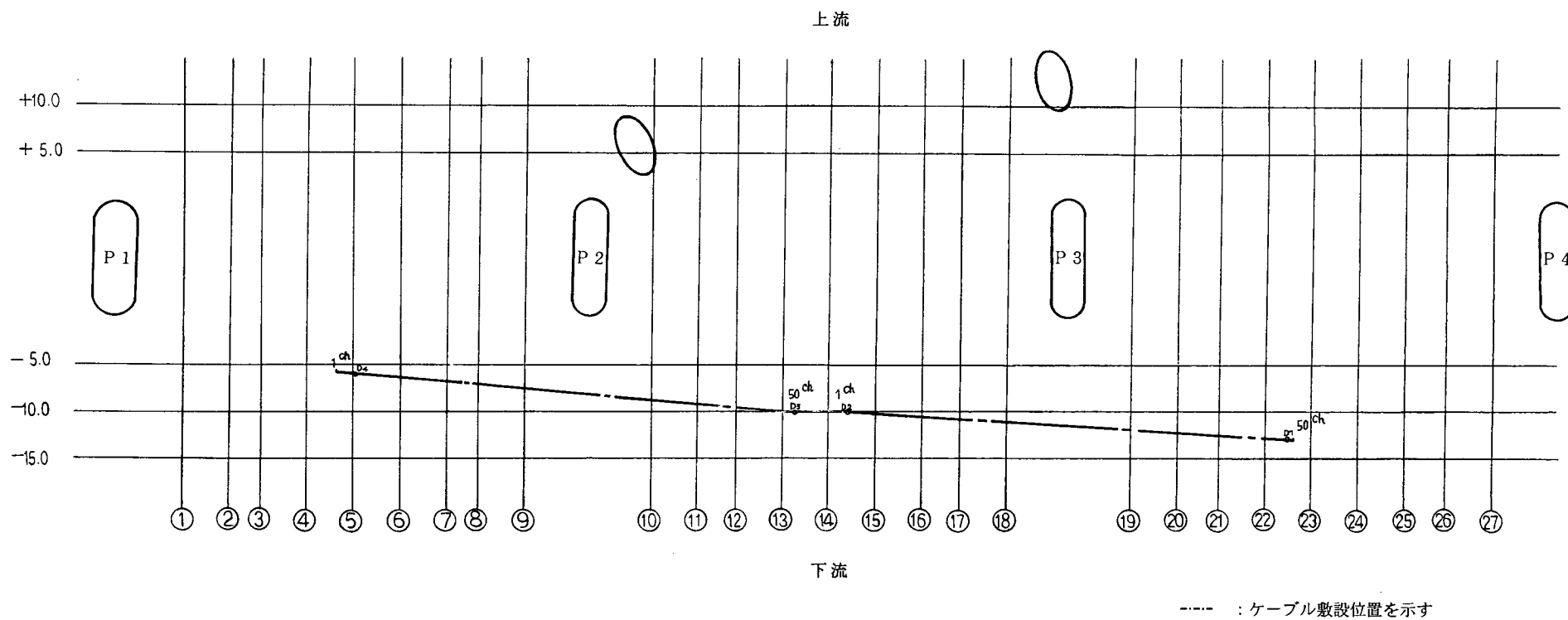


図-5・22 ケーブル敷設位置図

2) 河川水位

右岸に近いP 1において水位変動を測定した。測定時間内における河川水位は1回目の測定時が+0.49、2回目の測定時が+0.09であった。また、計測位置の水深は2.0m~6.3mの範囲にあった。

3) 測定状況

現場水域は河口近くあり、海水の影響をうける汽水域であるため、水の比抵抗値が通常の河川と異なるものと判断された。調査水域の水の比抵抗測定値は大変に小さく、電気伝導度計による船上での測定で、約2時間30分の間での比抵抗値は $11.5 \sim 23.1 \Omega \cdot m$ の間であった。ただし、これは水面付近での測定であり、深度方向の比抵抗の変化は測定していない。水位変動は無視できるものとし、測定誤差内と見なして補正は実施しなかった。

水の比抵抗値が全般にかなり小さいものであったことから、流電電流 200mAに対して測定電流は極めて小さく 1mV以下であったので、電極隔離係数 n は2までとした。測定電位は小さかったが、測定値の再現性は良く S/N比は悪くなかった。1つの測定値に対するスタック回数は2回とし、1測線 527データあたりの測定時間は約177分、合計約355分であった。なお、ブースターは使用しなかった。

4) 測定結果の解析

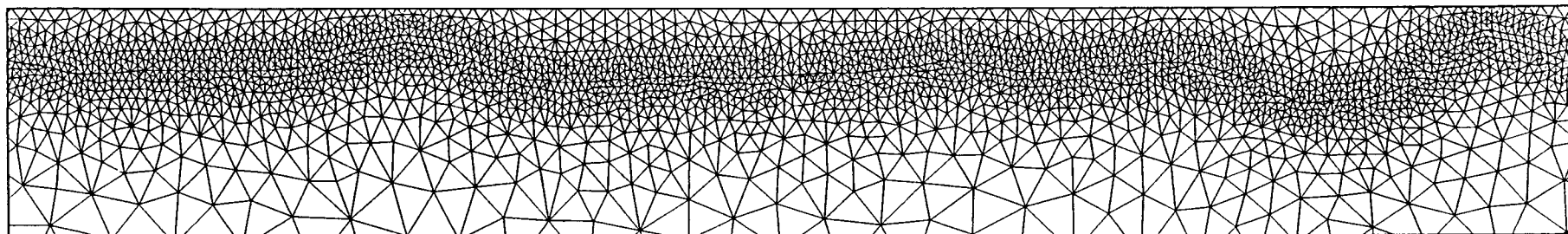
理論電位の計算は、有限要素法を用いて実施した。水面付近では前述のように、河川水は $11.5 \sim 23.1 \Omega \cdot m$ を示すのに対し、測定データから得られる見かけ比抵抗値は $0.2 \Omega \cdot m$ 前後ときわめて小さく、河川水の中でも水深による比抵抗の変化が予想されたため、河川水の部分について比抵抗値は固定していない。

図-5・23に解析に用いた有限要素法のメッシュ図を示す。電極位置付近での最小メッシュ間隔は0.5mである。

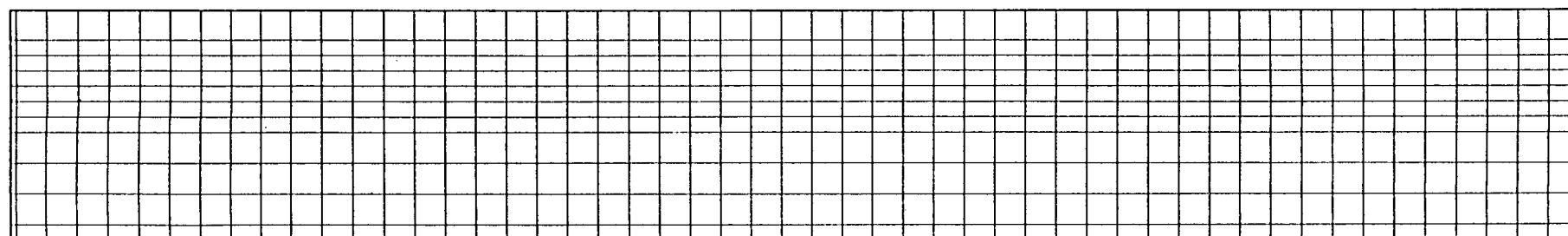
5) 調査結果

図-5・24に解析の結果得られた比抵抗分布図、河底地形および橋脚の位置を示す。本図から得られた結果をまとめると以下のとおりとなる。

- ①全般的に比抵抗値は小さく、水中部分で $0.1 \sim 0.5 \Omega \cdot m$ 程度、地盤中では $1 \sim 2 \Omega \cdot m$ 程度である。水中部分の比抵抗は、水面付近で電気伝導度計を用いた測定結果の $11.5 \sim 23.1 \Omega \cdot m$ よりはかなり小さい値となっている。このことは、水中深部への海水の流入や、地盤中に海水成分の沈積があることを示していると考えられる。
- ②P 3の対応位置に偽像と見られる高比抵抗部が水面付近に認められるが、P 2の位置には認められない。河底面より約1.5m程度深い所に比抵抗が大きく変化する境界がある。また、P 2より右岸側の河底の谷部では低い比抵抗のコンターが河底面より大きく下方に広がっている。これらは、河底の軟堆積物の存在を示すものと考えられるが、対応関係を調べるためにサンプリングや貫入試験などにより確認する必要があると考えられる。

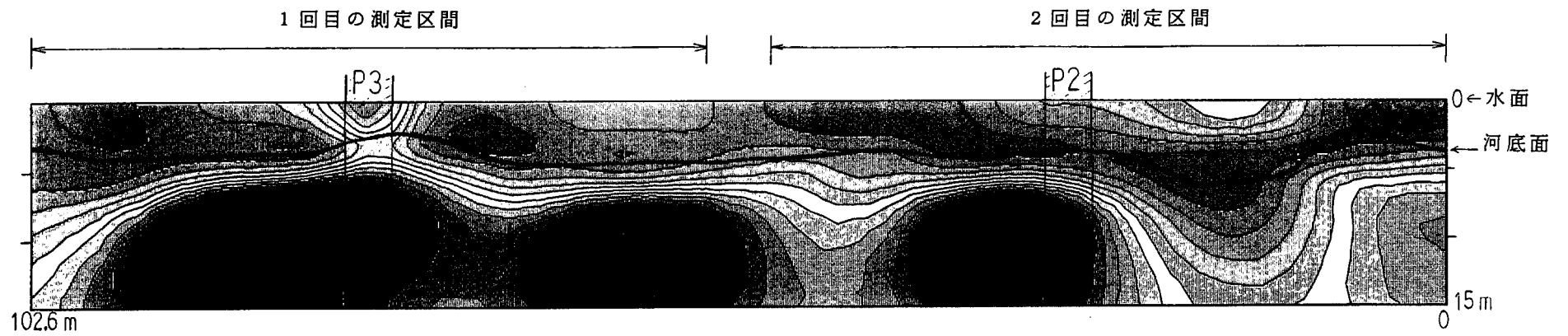


メッシュ図



グリッド図

図-5・23 解析に用いた有限要素法のメッシュ図とグリッド図



凡例

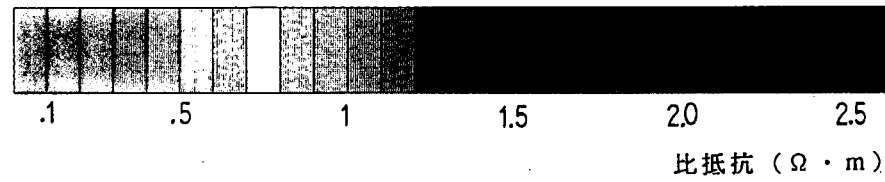


図-5・24 比抵抗分布図

- ③河床地盤中に比抵抗の変化が数カ所で認められる。この中で相対的に低い比抵抗部分は、軟堆積物である2次堆積層を示している可能性がある。

5.5.3 まとめ

以上の調査結果をまとめると以下のようになる。

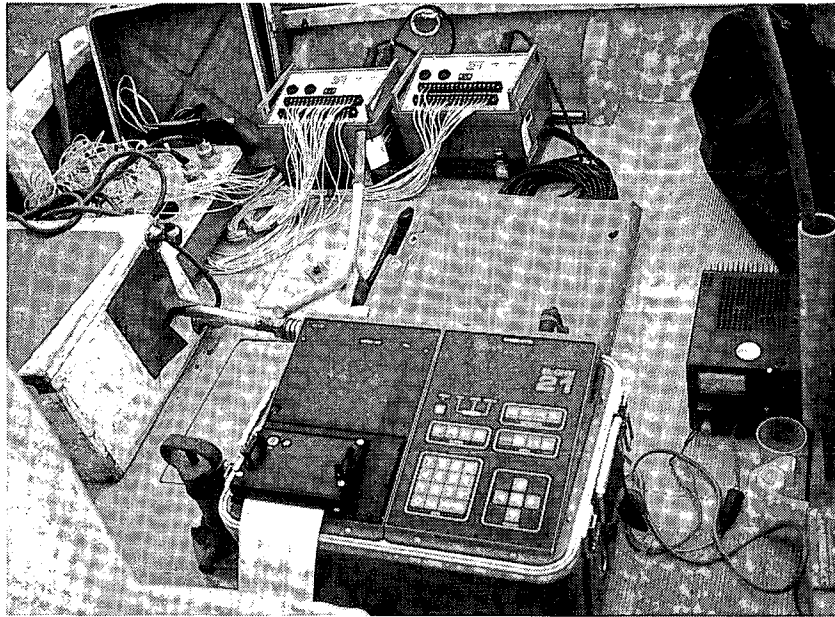
- ①今回の調査場所は河口に近く、海水の進入がかなりある場所であったので、河川水と地盤の比抵抗はともに極めて低く、電流量 200mA に対して測定値は 0.5mV 程度できわめて小さかった。河川水の比抵抗は水面付近で $11.5 \sim 23.1 \Omega \cdot m$ であったが、水深方向は変化するものと考えられ測定していない。
- ②解析の結果、比抵抗値は $0.1 \sim 2.0 \Omega \cdot m$ と全般に小さい値が得られ、河床を境にして河川水の方がより小さい比抵抗値を示している。
- ③比抵抗断面図には橋脚による偽像のほか、河床地盤内に堆積物の違いに起因すると思われる比抵抗値の変化が認められる。

今回の調査水域は汽水域で、海水の進入がある箇所であったので河川水と地盤の比抵抗はともに極めて低く測定および解析は容易ではなかった。しかし、本手法は2次堆積層など、地層構造の確認手法として有力な手法と考えられるため、電気探査のための条件がより望ましくなる、海水の影響がない上流域などでの適用性試験の継続が必要と考えられる。

5.5.4 測定状況写真



写真-5.11 調査状況（上流側から船首を望む）



写真－５．１２ 測定装置一式



写真－５．１３ 調査状況（下流側から船尾を望む）

5. 6 まとめ

調査を実施した各調査手法について、調査の結果を以下にまとめる。

1) 音響測深

音響測深機を搭載した測量船が自由に航行可能であれば、広い範囲の河床形状を短時間で測定できる。河川で調査を行う場合は、水深が数 m 以下と極めて浅いため、周波数の高いものを用い、精度を向上させることが有効である。この装置は水深の計測を目的としているため、超音波が河床表面でほとんど反射するので、2次堆積層などの河床面下の状況を推定することは困難である。

今回の測定では水深のデータをアナログで処理したため、記録紙から測定データを読み取ったが、データをデジタル化することにより処理が容易になり、パソコンを使用すると現場で結果の確認が可能となる。

2) サイドスキャンソナーおよびサブボトムプロファイラーによる探査

音響測深と同様に計測装置を搭載し、曳航する測量船が自由に航行可能であれば、広い範囲の河床形状を短時間で測定できる。サイドスキャンソナーとサブボトムプロファイラーの結果を照合することにより、河床面下の地盤状況をより確実に把握することが可能である。

橋梁周辺が洗掘されている場合、サイドスキャンソナーの映像では白い影として検出できると考えられる。今回の調査では、2次堆積層の調査も目的としたが、底質が砂利であったため、サブボトムプロファイラーによっても河床面下の地層境界のデータは得られなかった。

3) 地下レーダ法

調査地点が気水域であったため、発信した電磁波の減衰が著しく、水深 2 m 以上の河床の測定が不可能となった。本手法は、今回のような気水域での適用は困難であるが、海水の影響を受けない上流では有効な調査手法と考えられるので、さらに、上流にある別橋梁での適用試験が必要と判断される。

4) 比抵抗法電気探査

河床面以深の地盤構造、特に、2次堆積層のような軟らかい土層を推定できると考えられる。今回の調査結果ではそれらしい傾向が見られるものの、満足する結果を得ることができなかった。本手法は、今回のような気水域での調査例がなく、また、海水の影響を受けない箇所では有効な調査手法と考えられるので、さらに、上流にある別橋梁での適用試験が必要と判断される。

また、今回の調査方法では、全長 100m の測線の測定に約 6 時間の時間を費やし、データ解析も労力を要することから、調査手法の改善も必要と考える。

6. 開発装置の仕様検討

洗掘調査に適用可能な既存の調査技術の文献調査を行い、そして、4種類の物理探査的手法を選定し実橋梁（国道42号天田橋）において洗掘調査への適用性試験を行った。そして、合わせて計測装置の運搬手段などの周辺技術についても同様に調査を行い検討した。

以上の検討をもとに開発する装置の手法や技術を整理し、開発する洗掘調査装置の仕様を決定する。

6. 1 洗掘調査装置の要求事項

洗掘調査装置の開発を考える上で、既存技術の検討や実橋梁における適用性試験の結果と開発の実現性などを考慮して装置の調査項目を決定し、装置に要求される事項を以下にまとめる。

6. 1. 1 調査項目

橋梁基礎の維持管理における必要な情報として緊急性が高く、しかも調査も比較的容易に実施できると判断される、以下の項目を優先して考える。

- ①基礎周辺の河床形状
- ②基礎（水中部）の状況
- ③河床面の状況

また、以下に示す項目も維持管理において必要な情報であるが、調査技術の技術動向を踏まえ、洗掘調査装置への適用は将来の課題とする。

- ④基礎（地中部）の諸元
- ⑤部材（地中部）の損傷
- ⑥地層構造の探査（2次堆積層の調査も含む）

6. 1. 2 装置の要求事項

洗掘調査装置に要求される事項は以下のとおりである。

- ①使用にあたっては、十分な安全性を有していること。
- ②システム、および、その運用のコストが低いこと。
- ③操作は簡易で、できるだけ省力化を図り、かつ狭あいな場所での使用が容易であること。
- ④調査データが容易でしかも短時間で処理可能であること。
- ⑤比較的濁度が高く、しかも流速の早い水中部での調査が可能であること。
- ⑥水深が1m以下の箇所は人力による測定が可能と考えられるため、原則として調査対象外とする。
- ⑦測量精度は通常の河川測量と同等とし、高い精度は要求しない。
- ⑧使用する装置は許可申請が必要となるものは極力避けること。

6. 2 適用する調査手法

実橋梁における適用性試験の結果を表－6・1にまとめる。

表－6・1 適用性試験の結果一覧表

調査手法名	試験結果の概要
音響測深	河床形状を比較的短時間で確実に測定できた。
サイドスキャナーおよびサフボトムプロファイラー	河床の形状や状況を測定できたが、河床が礫質のため河床面下の地層構造の測定は困難であった。
地下レーダー	現場水域は気水域で比抵抗が低く、電磁波の減衰が著しいため、水深2m以上の探査が不可能であった。
比抵抗法電気探査	概略の地層状況は探査できたが、測定に多大な時間を要した。

今回の適用試験を行った実橋梁は、河川の河床地盤が礫質で、河口近くの幅が広く水深も比較的ある気水域に設置されたものであるため、他の橋梁で同じ様な試験を行うと違った結果が出る可能性がある。しかし、開発する装置の実現性を考えた場合、確実に、そして、短時間で河床形状が計測できる音響測深を採用するのが良いと判断される。その他の手法の適用については、技術動向を踏まえて将来の課題とする。

6. 3 適用する運搬手段など

計測装置を河川内の調査対象位置まで運搬する手段として、橋梁点検車、調査船、そして水中ロボットが考えられる。このうち、調査船は調査装置の省力化を考えると、ラジオコントロールボート（以下、RCボートとする）が良いと考える。これらの運搬手段の洗掘調査装置への適用の評価を表－6・2にまとめる。

表－6・2 運搬手段の橋梁洗掘調査への適用性

運搬手段	適用性
橋梁点検車	各地方建設局の技術事務所に配備されている他、リース会社においても上部工の作業・点検用のものが稼働している。作業は作業台上が中心となるが、既存のもので対応できると判断される。
RCボート	洪水時の河床洗掘調査の事例もあり、適用は十分可能と考える。
水中ロボット	河川の流速は速く(2m/s以上)水深も浅いことから、高度の水中移動能力が必要となるため、現状では適用は困難と判断される。

ここで、RCボートや水中ロボットを使用する場合は、計測位置をリアルタイムで把握する必要があるため、測位システムが必要となる。運搬手段と同様に評価を表-6・3にまとめる。

表-6・3 測位システムの橋梁洗掘調査への適用性

測位システム	適用性
トータルステーション	測量精度は良く機器構成もコンパクトであり、適用は可能と判断される。
GPS	測位方法によって精度は異なるが、リアルタイムで測定できるものは精度が劣るので、適用は容易でないと判断される。
トリスポインター	測位精度に問題はないが、運用に許可・申請が必要となるので適用は容易でないと判断される。
水中測位システム	水中ロボットを使用する場合は適用可能だが、水深が浅い場合は本システムでなくても対応は可能と考える

以上の検討の結果、計測装置を運搬する手段として、橋梁点検車、またはRCボートが良いと判断される。また、RCボートを使用する場合は、調査位置をリアルタイムで測定する必要があるため、測位機械としてトータルステーションを合わせて使用するものとする。

6.4 開発する洗掘調査装置のイメージ

以上の検討結果をもとに、橋梁点検車を運搬手段とするシステムと、RCボートを運搬手段とするシステムの開発イメージをまとめる。

6.4.1 橋梁点検車案

橋上の橋梁点検車から作業台を降ろし、そして、この作業台上から計測装置を河川に降ろして、基礎周辺の河床形状、基礎（水中部）の状況、河床面の状況を測定する。

①使用する機械・機器

橋梁点検車、音響測深機（音波の発信が首振り式）、水中カメラ、サウンディング装置など

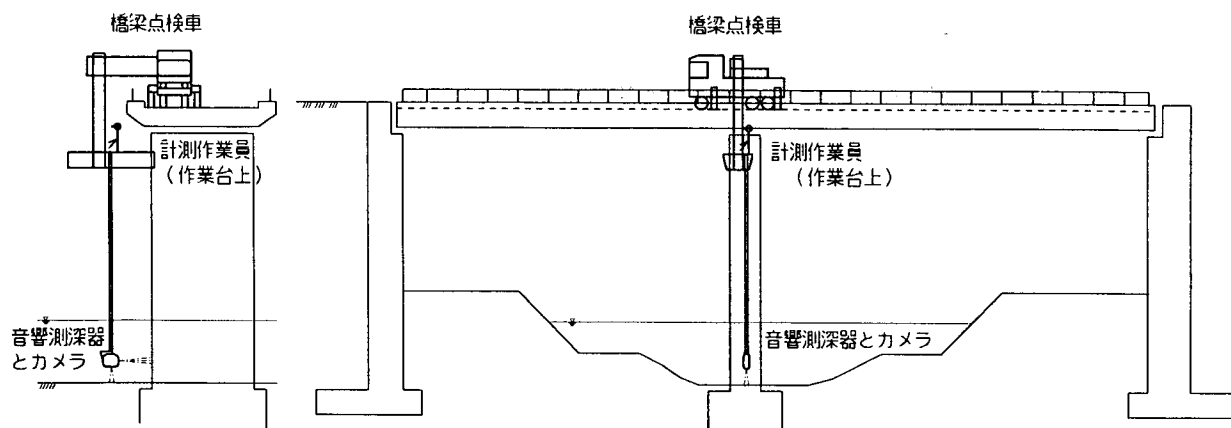
②開発に当たっての懸案事項

- ・適用を考えている調査装置は、橋梁基礎の洗掘調査への適用事例が無いため、実証実験を行う必要がある。
- ・使用する調査機器の選定が必要である。橋梁点検車をベースマシンにする場合は機動性が低いため、河床の測定では広い範囲のデータを測定できる調査機器が必要とされる。
- ・既存の橋梁点検車は橋梁上部工の点検作業台を目的として製作されているため、調査機器を安全に操

作でき、しかも、洗掘調査が可能のように、作業台を含めて検討を行う必要がある。橋梁点検車そのものの改造を行う必要はないが、細部の詳細検討が必要である。

- ・洗掘調査装置と橋梁点検車を検討した上で、システムの構成、特に調査機器の配置の検討が必要となる。調査機器のセンサー類は作業台から降ろさざるを得ないが、データを処理する装置は作業台に設置することは困難であるため、設置方法も含めた検討が必要である。
- ・測定データを処理し、分かりやすく図化したものを瞬時に現場で確認できるよう、測定位置、河床水深、既設構造物の位置などの計測データの処理が必要となる。

③イメージ図



図－６・１ 橋梁点検車を使用した装置のイメージ

6. 4. 2 RCボート案

RCボートに音響測深機を搭載し調査対象に接近して河床の水深を測定する。川岸にトータルステーションを設置し、RCボートの位置を常に測定すると共に、水深のデータと合わせてパーソナルコンピュータに取り込み処理を行う。

①使用する機械・機器

RCボート、音響測深装置、データ転送システム、測位器械（トータルステーション）

②開発に当たっての懸案事項

- ・構造物周辺では河川流が相当乱れるため、RCボートに高い操縦性が要求される。操縦性は船底の形状によって大きく異なるので、場合によっては船体の改良が必要となる。
- ・システム中に組込む調査機器およびその周辺機器を選定する必要がある。特に調査装置は、RCボートに搭載可能なもので、しかも、水密性を有するものが必要である。また、周辺機器はデータ処理が確実にでき、かつ、コンパクトにまとめられて使いやすいものが要求される。
- ・測定データを処理し、図化したものを現場で確認できるよう、測定位置、河床水深、既設構造物の位

置など、計測データなどの処理方法を検討する必要がある。

③イメージ図

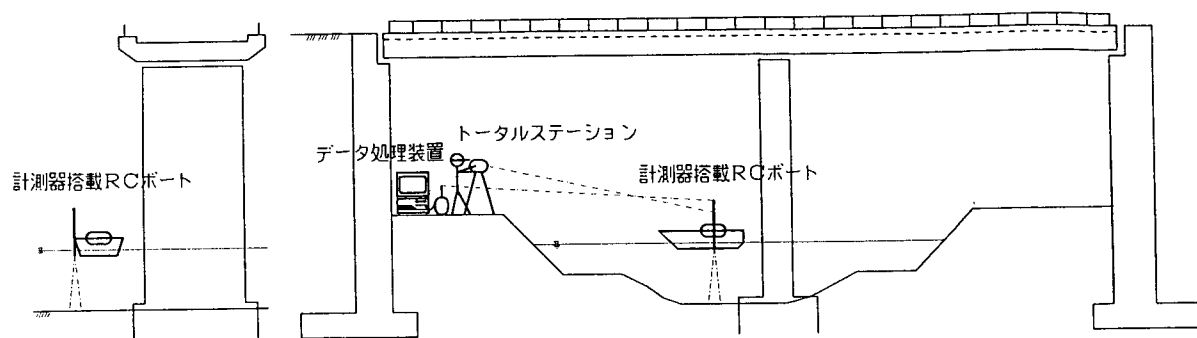


図-6・2 RCボートを使用した装置のイメージ

7. あとがき

建設省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」の一環として、平成4年度より建設省土木研究所基礎研究室と(社)全国地質調査業協会連合会との共同研究である、「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発」を実施し、主に基礎周辺で生じる洗掘に対する計測・診断技術を中心に、洗掘調査装置の開発、および健全度手法の確立を目指している。

最初の段階にあたる平成4年、および5年度には、既存の技術についての文献調査、実橋梁における調査技術の適用性試験、そして開発装置の仕様検討を行い、以下の知見が得られた。

1) 既存の技術についての文献調査

橋梁基礎の洗掘調査に必要な情報を得るために適用が可能と考えられる調査手法や、調査機器を運搬する手段を始めとする周辺技術について、文献や機器のカタログにより調査を実施し、これを取りまとめた。

2) 実橋梁における調査技術の適用性試験

調査した既存の調査手法のうち、橋梁基礎の洗掘調査に適用が可能な手法として、物理的探査手法の中の音響測深、サイドスキャンソナーおよびサブボトムプロファイラーによる探査、地下レーダー法、および比抵抗法電気探査を選定した。そして、これらの調査手法により実橋梁(国道42号天田橋)における適用性試験を実施した。

現場水域が河口近くの気水域であったため調査に数々の制約を受け、特に地下レーダー法は測定が困難を極めた。河床形状の測定は超音波を使用した手法によって確実に測定できたが、地層構造の探査は河床材質の影響もあり容易に測定はできなかった。

3) 開発装置の仕様検討

既存の技術についての文献調査と、実橋梁における調査技術の適用性試験の結果を基に、開発する洗掘調査装置のイメージを2案決定した。第1案は、橋梁点検車の作業台から、音響測深機などの調査装置を橋脚周辺に降ろして洗掘調査を行うものである。第2案は、ラジオコントロールボートに小型の音響測深機を搭載して、橋脚周辺の河床形状を調査するものである。

今後は、以上の2案のシステム開発を進めて装置を具体化し、洗掘調査装置の実用化を進め、最終的に洗掘調査手法を確立する予定である。

最後に、実橋梁における調査技術の適用性試験を行うにあたり、試験フィールドを提供して頂くなどご協力を頂いた、近畿地方建設局、および紀南工事事務所の各位、そして、既存の技術の文献調査でご協力頂いた関係各位に心から感謝の意を表する次第である。

橋梁下部構造の計測・診断 土木研究所共同研究報告書第105号
技術の開発に関する共同研 平成 6 年 7 月 (1994)
究報告書 (その1)

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: 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

本報告は、建設省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”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で実施している、「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発に関する共同研究」の平成4年度、5年度分の成果を取りまとめたものである。
本研究では、橋梁基礎周辺で生じる洗掘についての調査技術に関し、既存の関連技術の現状を調査するとともに、実橋梁における適用性試験を行った。

キーワード: 橋梁下部, 維持管理, 計測, 洗掘, 適用性試験

郵便はがき

五十円切手
をはって
さい。

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

構造橋梁部 基礎研究室

行

No. _____

No. _____

配布先氏名

○

配布先住所

土木研究所共同研究報告書第105号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

共同研究報告書第105号