

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）

平成7年12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 © (1996) 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2）

建設省土木研究所
構造橋梁部 基礎研究室

室 長	中 野 正 則
主任研究員	木 村 嘉 富
研 究 員	石 田 雅 博
	大 越 盛 幸
前基礎研究室	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
技 術 委 員	横 田 耕一郎
	原 徹 夫
	藤 原 八 笛
	鍛 冶 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6年度の成果をとりまとめたものである。昨年までに実施した調査や試験結果を基に、新しい洗掘調査手法として、ラジオコントロールボートを使用した手法及び橋梁点検車を使用した手法を開発し、実橋梁に対する適用性試験を行った。また、音波による河床地盤探査の適用性試験を実施した。

キーワード：橋梁下部，維持管理，調査手法，洗掘，適用性試験，装置開発，地盤探査

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. 新しい洗掘調査手法の開発	7
4.1 開発する洗掘調査手法の概要	7
4.2 ラジオコントロールボートを使用した洗掘調査手法の開発	9
4.3 橋梁点検車を使用した洗掘調査手法の開発	18
5. ラジオコントロールボートを使用した洗掘調査手法の実証実験	26
5.1 笹目橋における実証実験	26
5.2 利根川橋における実証実験	40
5.3 まとめ	55
6. 橋梁点検車を使用した洗掘調査手法の実証実験	56
6.1 笹目橋における適用性試験	56
6.2 土木研究所内橋梁における慣熟訓練	69
6.3 水郷大橋における実証実験	70
6.4 まとめ	80
7. 音波探査による河床地盤探査の適用性試験	82
7.1 実験内容	82
7.2 底質探査機の適用性試験	89
7.3 ユニブームの適用性試験	108
7.4 サブボトムプロファイラーの適用性試験	124
7.5 まとめ	143
8. 笹目橋における公開実験のアンケート調査結果	144

9. まとめ	151
10. あとがき	154

巻末資料

1. 実証実験実施場所	159
1.1 国道17号新大宮バイパス笹目橋	160
1.2 国道4号利根川橋および利根川橋新橋	167
1.3 土木研究所内橋梁	172
1.4 国道51号水郷大橋	174
1.5 利根川（銚子市小舟木町）	177
1.6 利根川（佐原市津の宮地区）	180

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、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¹⁾。

平成6年度には、

- ・新しい洗掘調査手法（ラジオコントロールボートを使用した洗掘調査手法及び橋梁点検車を使用した洗掘調査手法）の開発
- ・実橋梁における開発手法の適用性試験
- ・音波探査による河床地盤探査への適用性試験

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、それらの中で洪水による被害がその大部分を占めている¹⁾。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、荷重増大、車線拡幅、変位、傾斜と続いている²⁾。これらのことより、橋梁下部構造の維持管理においては、洗掘の早期発見、対策が重要項目としてあげられる¹⁾。

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。維持管理のなかで洗掘状況の把握について、従来は潜水土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。

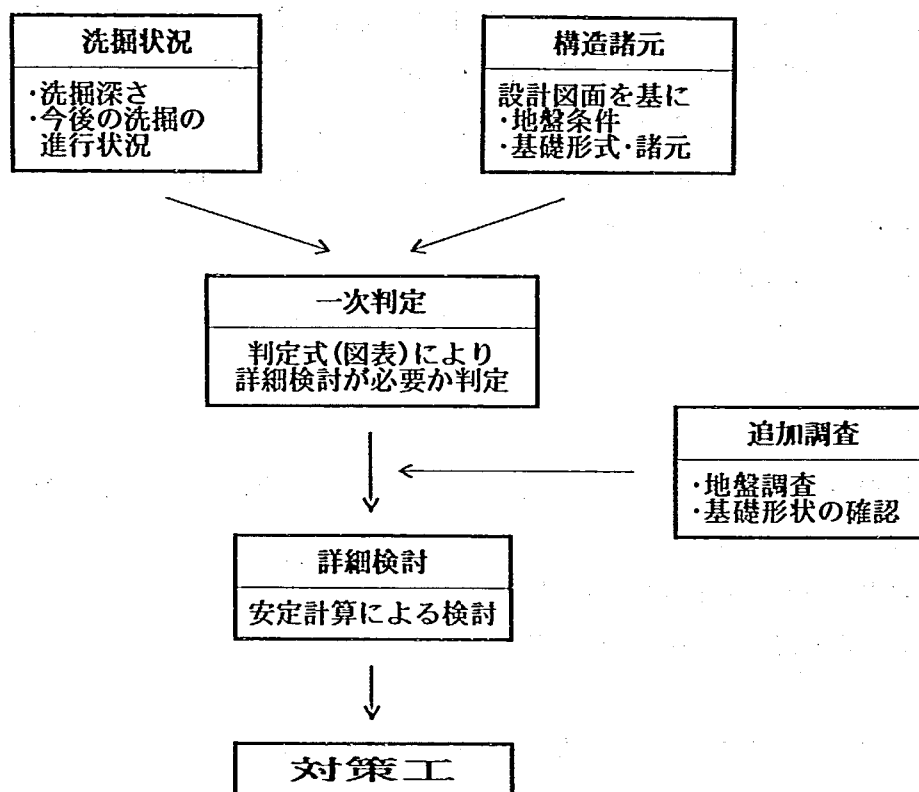
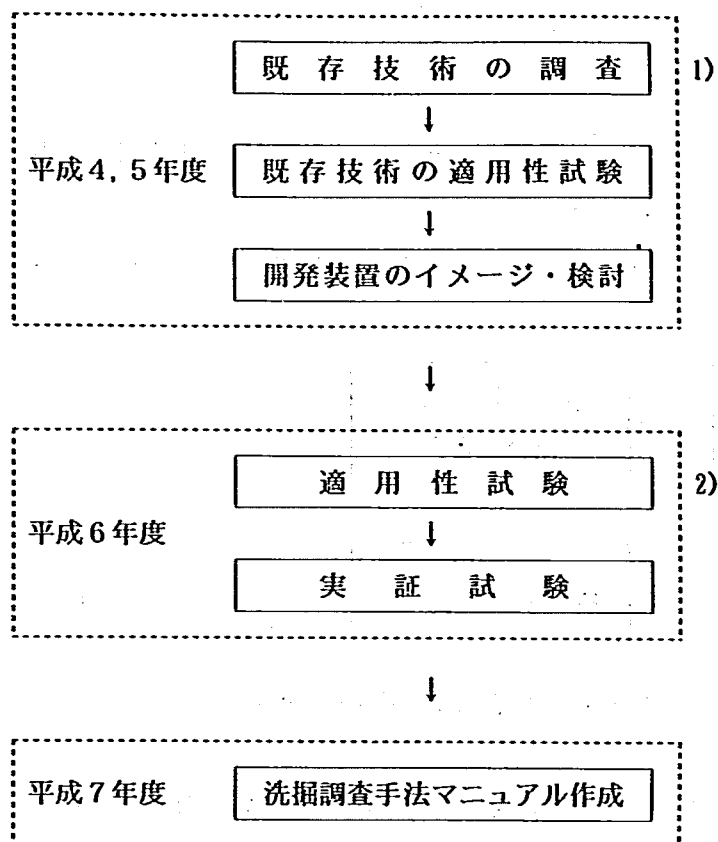


図-2・1 洗掘に対する維持管理



1) 共同研究報告書 その1
2) 本報告書

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および診断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ている。

図－２・２に、洗掘調査手法開発のフロー概要を示す。

平成４、５年度は、既存技術の調査、既存技術の適用性試験、開発装置のイメージ・検討を行った。

平成６年度は、前年度に検討した開発装置の製作、適用性試験、実証試験を行った。

平成７年度は、洗掘調査手法のマニュアルを作成する予定である。

共同研究は平成４年度から４年間計画されており、最終目標は以下のとおりである。

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。

3. 研究体制および研究方法

3. 1 研究体制

平成6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、技術委員会と全地連の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。

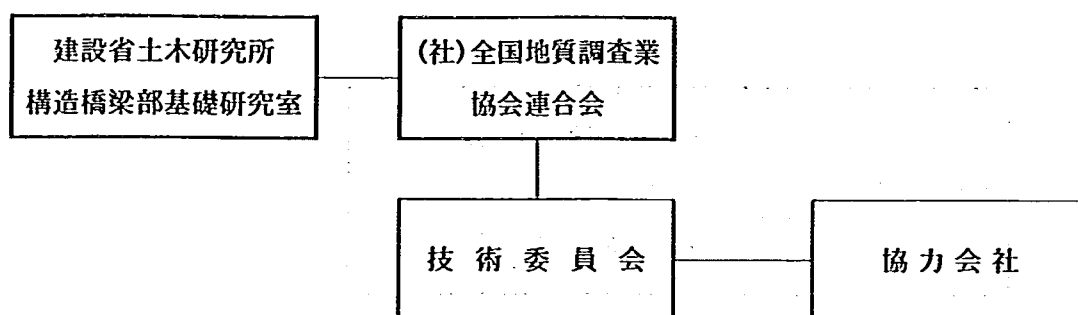


図-3・1 研究体制 (平成6年度)

表-3・1 共同研究参加者一覧表 (平成6年度)

建設省土木研究所	構造橋梁部 基礎研究室 室 長 " 基礎研究室 主任 研究員 " " 研 究 員 " " 前基礎研究室	中野 正則 木村 嘉富 石田 雅博 大越 盛幸 岡田 光志
(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 (調査・設計、調査・設計) 応用地質(株) 調査課 課長 部長 (調査・設計、調査・設計) ダイヤコンサルタント(株) 物理探査部 部長 (RCホ-ト担当) 中央開発(株) 技術本部 次長 (調査・設計) 川崎地質(株) 技術本部 部長 (RCホ-ト、調査・設計) (株)東京ソイルリサーチ 総務課 課長 係長 (調査・設計)	横田耕一郎 原 徹夫 藤原 八笛 鍛冶 義和 中田 文雄 阿部 秋男
協 力 会 社	(有)ファーストラジコン (ラジオコントロール製作) (株)フロンティア (トータルソリューション、レモーター製作) タマヤ計測システム(株) (音響計測製作) ニッケン産業(株) (調査・設計) マリメックスジャパン(株) (カラーイメージング製作) (株)キュー・アイ (水中カメラ)	斎藤 浩一 甲斐 良錦 伊藤 光男 早川 光雄 育村 由彦 泉 寿二

注) ()内は担当業務を示す。

3. 2 研究方法

平成6年度は新しい洗掘調査手法の開発と具体化を行うために以下の事項を実施した。

3. 2. 1 新しい洗掘調査手法の作動確認試験

平成5年度にとりまとめた新しい洗掘調査手法の開発案を基に、その具体化を行った。開発案は、ラジオコントロールボート（以下、「RCボート」という）を使用した洗掘調査手法と、橋梁点検車を使用した洗掘調査手法の2案である。実施した内容については、以下の通りである。

1) RCボートを使用した洗掘調査手法

開発案に基づいて、RCボート、およびその搭載機器、データ処理を行うソフトを製作し、土木研究所内施設で、システムの作動確認を実施した。

2) 橋梁点検車を使用した洗掘調査手法

橋梁点検車に搭載して行える調査・計測手法を選定し、土木研究所内施設で完熟訓練を行い、橋梁点検車で作業を行う場合の問題点を検討した。

3. 2. 2 RCボートを使用した洗掘調査手法の実証実験

RCボートを使用した洗掘調査手法については、国道17号新大宮バイパス笹目橋と国道4号利根川橋で実橋梁に対する実証実験を行い、本手法の改良と問題点の抽出を行った。

3. 2. 3 橋梁点検車を使用した洗掘調査手法の適用性試験及び実証実験

橋梁点検車を使用した洗掘調査手法については、国道17号新大宮バイパス笹目橋で橋梁点検車を想定した作業台を制作し、適用性試験を実施した。そして、この結果を基に、国道51号水郷大橋において橋梁点検車を使用した実証実験を行い、本手法の適用性の確認と問題点の抽出を行った。

3. 2. 4 音波探査による河床地盤探査の適用性試験

音波探査による河床地盤探査の適用性を調査するために、1級河川利根川河川内の3地点において、ユニブーム、底質探査装置、そしてサブトムプロファイラーの3種類の音波探査装置を用いて適用性試験を実施した。

表－３・２に洗掘調査手法の適用性試験、実証実験を行った調査地点を示す。

表－３・２ 洗掘調査手法適用性試験、実証実験一覧表

洗掘調査 手法 調査地点	R C ポート	橋梁点検車	音波探査
土研内	作動確認試験	慣熟訓練	――
笹目橋	実証実験	適用性試験	――
利根川橋	実証実験	――	――
水郷大橋	――	実証試験	適用性試験
小舟木町付近	――	――	適用性試験
津の宮付近	――	――	適用性試験

※ 凡 例

実 証 実 験：開発された調査手法が実際の現場において有効性があるかを実証するための実験

作動確認試験：実証実験に使用する装置・システムの作動に問題がないかを確認するための試験

慣 熟 訓 練：実証試験に使用する機材を用いて作業を模擬的に行い、適用性、適用上の問題を把握するための試験

適用性試験：調査手法として適用できるかを検証するための試験

4. 新しい洗掘調査手法の開発

4. 1 開発する洗掘調査手法の概要

橋梁基礎の洗掘調査には、洗掘状況の概略を把握するための調査と、補修・補強の必要性を検討するための詳細調査とがある。前者においては、数多くの橋梁を調査するため機動性が必要であり、後者では、河床堆積物の状況や水中部材の損傷の有無など詳細な計測が必要となる。このため、新しい洗掘調査手法の開発案として、主として概略調査で使用することを目的としたRCボートを使用した手法と、詳細調査で使用することを目的とした橋梁点検車を使用した手法の2案を提案した¹⁾。

4. 1. 1 RCボートを使用した洗掘調査手法

図-4・1に、RCボートを使用した洗掘調査手法のシステム図を示す。

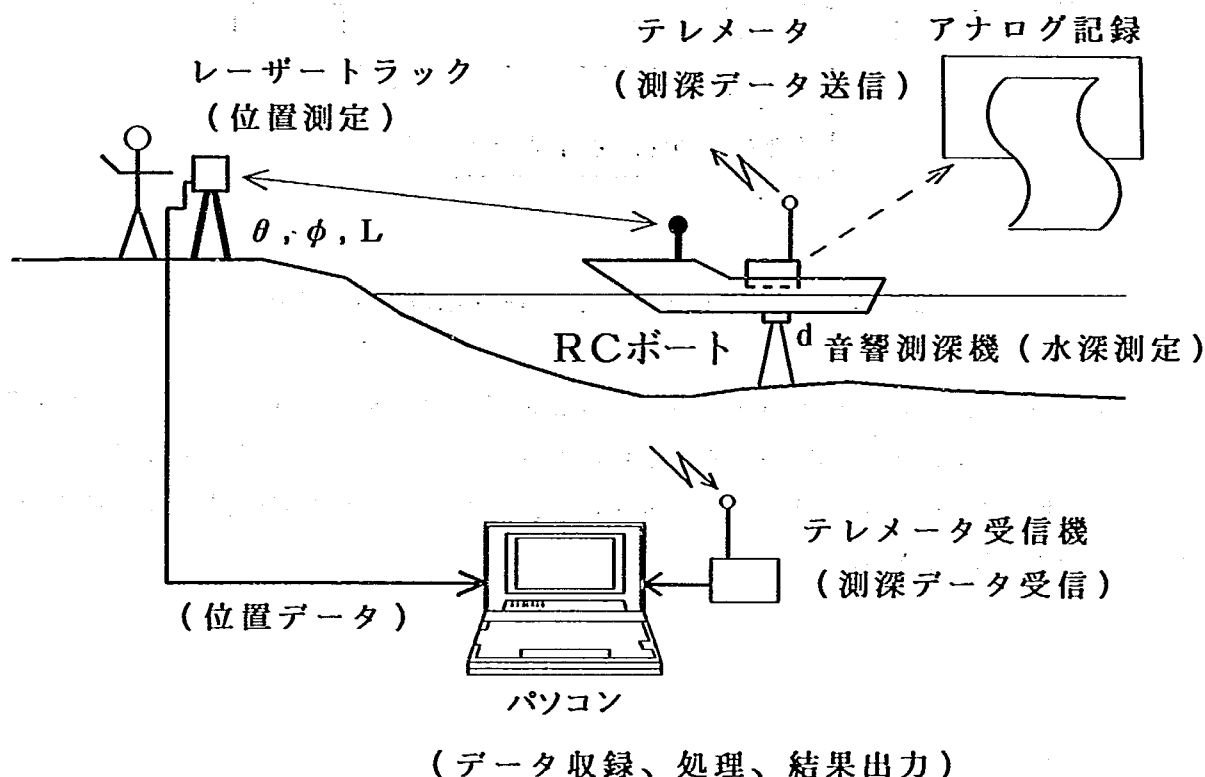


図-4・1 RCボートを使用した洗掘調査手法のシステム図

この手法は、音響測深機を搭載したRCボートを川岸で操縦し、河川内橋脚周辺の河床形状を測定できる。測深データは無線で川岸に転送するようになっており、レーザートラックで測定したボートの位置データと測深データをパソコンに取り込んで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. 2 橋梁点検車を使用した調査手法

図-4・2に、橋梁点検車を使用した洗掘調査手法のイメージ図を示す。

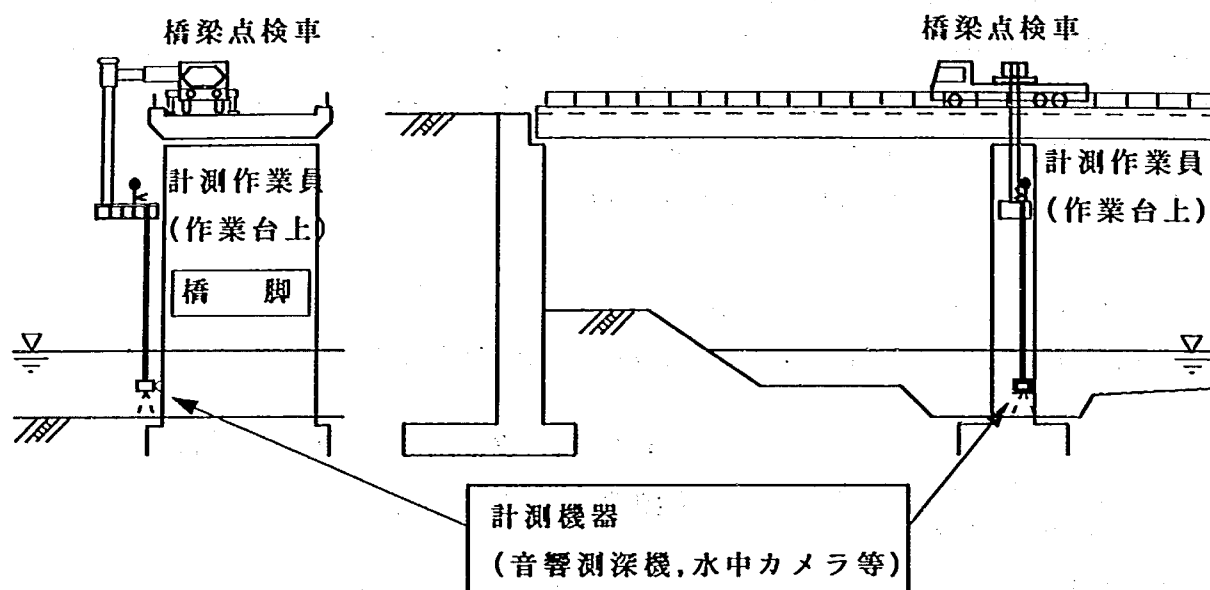


図-4・2 橋梁点検車を使用した洗掘調査手法のイメージ図

この手法は、橋上に停車した橋梁点検車の作業台から音響測深機や水中カメラなどの計測機器を基礎周辺に降ろして、河床形状や水中部の躯体の状況を調査する手法である。橋梁点検車は、主として床版や桁などの上部工に近接して点検するために用いられるものであるが、ここでは、上部工の点検にあわせて下部工や基礎の点検を行おうとするものである。

4. 2 ラジオコントロールボートを使用した洗掘調査手法の開発

図-4・1に示す開発案に沿って、本手法の開発を進めた。音響測深機を搭載するRCボートの製作、使用する調査機器の選定および改造、計測データを処理するソフトウェアの製作、そしてこれらの装置の組立、および作動確認試験を実施した。

4. 2. 1 RCボートシステムに使用した洗掘調査装置の製作

RCボート、搭載するデジタル音響測深機、特定小電力テレメーター（送信部）及び電源部を製作した。音響測深機で計測したデジタル水深値は、テレメーターによって電波に変換され送信される。一方、この信号電波は川岸に設置したテレメーター（受信部）で受信され、再びデジタル信号に戻される。更に、パソコン内部に取り込まれ様々なデータ処理を行い、河床の状況を迅速に図化、処理するシステムである。

1) RCボートの製作

RCボートの諸元を表-4・1に、RCボートの構造を図-4・3に示す。本手法の開発のため、RCボート「いしずえⅠ号」を製作した。艇体はベニヤ製でFRPカバーによる防水処置を施している。艇体の重量配分は搭載する計測装置（後述）を考慮し、ボートの製作後、装置を搭載して調整を行った。

表-4・1 RCボート「いしずえⅠ号」の諸元

項 目	諸 元
寸 法	長さ2.0m、幅1.2m、型深0.75m
重 量	測定器(約18kg)を含め全装備重量で75kg
エンジン・パワー	ワトウ 42cc×2基、18×8 3葉、正逆1対
最大航行速度	最大20km/h

図-4・3 RCボート「いしずえⅠ号」

2) 音響測深機

本装置の諸元を表-4・2に、外観を写真-4・1に示す。音響測深機は、超音波を水中で発信し河床からの反射波を受信して水深を測定するものである。

今回はRCボートへの搭載を考えて、小型のものを選定した。また、測定記録はデータの転送が可能なようデジタル化して出力するようにしている。

表-4・2 音響測深機の諸元

項 目	諸 元
機器構成 寸法及び重量	送受波機部 $\phi 120\text{mm}$ 、1 kg以下 制御部 $160 \times 260 \times 100$ 、2 kg以下 アナログ記録部 $200 \times 200 \times 120$ 、5 kg以下 デジタル信号部 (制御部に含まれる)
使用周波数	200kHz
測定水深	2 m~10m
測定間隔	0.5秒に1回以上
デジタル出力	RS-232C 2,400bps

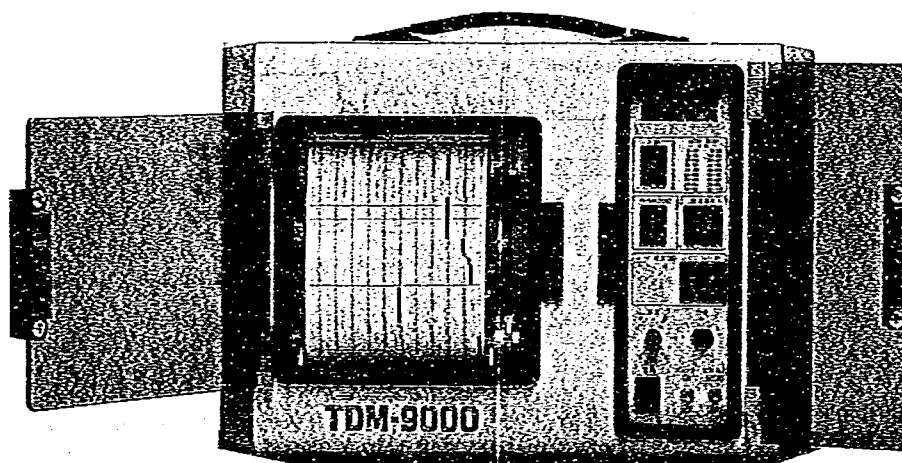


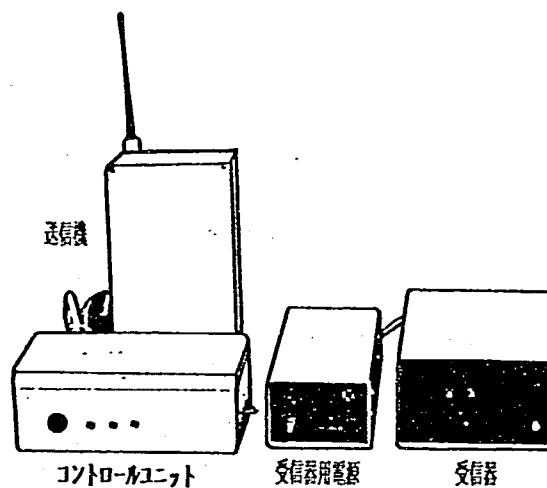
写真-4・1 音響測深機外観

3) 特定小電力テレメータ

本装置の諸元を表－４・３に、外観を写真－４・２に示す。本装置は、音響測深機から出力されるデジタルの水深信号を無線信号化して、ＲＣボートから川岸へ電送するものであり、送信部と受信部から構成されている。送信部はＲＣボートに搭載されるため小型のものを選定した。

表－４・３ 特定小電力テレメータの諸元

項 目	諸 元
通信方式	連続通信方式
周波数帯	400MHz帯
空中線出力	10mW
通信速度	2,400bps
受信部出力	RS-232C 2,400bps



写真－４・２ 特定小電力テレメータ

4) 電源部

本装置の諸元を表－４・４に示す。本装置は、音響測深機、テレメータ（送信部）他ＲＣボートに搭載されている装置類に電源を供給するものである。なお、ＲＣボートの操縦制御信号によって、電源の入切の制御が可能のように製作しており、充電器によって再充電が可能である。

表－４・４ 電源部の諸元

項 目	諸 元
電圧及び電流	11V、7A以上
連続使用時間	2時間以上
充電方法	家庭AC100V電源を使用し8時間以内に充電可能

5) レーザートラックシステム (LDM)

本装置の諸元を表-4・5に、外観図を図-4・4に示す。

レーザートラックシステム (以下、「LDM」という) は、RCボートの位置を測定するための光波測距システムであり、トータルステーションの1種である。赤外線レーザー光を使用することにより測距精度が $\pm 2\text{cm}$ となっており、従来の測距装置に比べて測定感度が向上している。また、望遠鏡の視準操作がしやすいように装置に工夫がなされている。

表-4・5 レーザートラックシステムの諸元

項 目	諸 元
測距精度	$\pm 2\text{cm}$
分 解 能	1 cm
測距範囲	反射鏡なし 約250m、反射鏡あり 3.5~10km
計測時間	1 秒
鉛 直 角	精度 0.01° 、測定範囲 $\pm 40^\circ$
水 平 角	精度 0.01° 、測定範囲 全方位

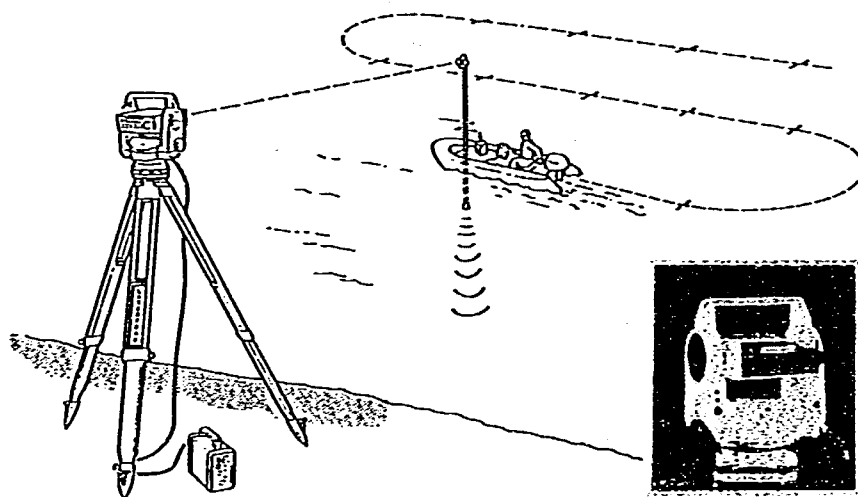


図-4・4 レーザートラックシステム

6) データ収集装置

処理ソフトウェアの諸元を表-4・6に示す。

データ収集装置は、テレメータを通じて電送されてくる水深データ、LDMからの位置データを収録し、データの保存と河床形状の図化を行う機器である。機器は、パソコン（PC-9801シリーズノート型 HDD内蔵）と外部入力端子（RS-232C）が2系統接続可能な拡張ボードから構成される。

処理ソフトウェアは、データの収集部、データの処理部、および、図化処理部から構成されている。

表-4・6 処理ソフトウェアの諸元

項 目	諸 元
データ収集部	2系統のRS-232Cポートを制御、測定時に航跡図と水深図描画可能 測定データ収録個数：最大4,000個／1ファイル
データ処理部	データ編集機能、編集時に航跡図と水深図描画可能 測定データ収録個数 最大4,000個／1ファイル メッシュデータ変換機能 最大64×64メッシュ
図化表示部	平面図：航跡図、2次元コンター図 鳥瞰図：3次元コンター図、3次元メッシュ図 断面図：任意断面図 平面図、断面図はXYプロッターにより任意縮尺で図化可能

これらの作業の流れとして、測定時のデータ収集のフローを図-4・5に、そして不良な測定データを適正に処理するデータ編集作業のフローを図-4・6に示す。

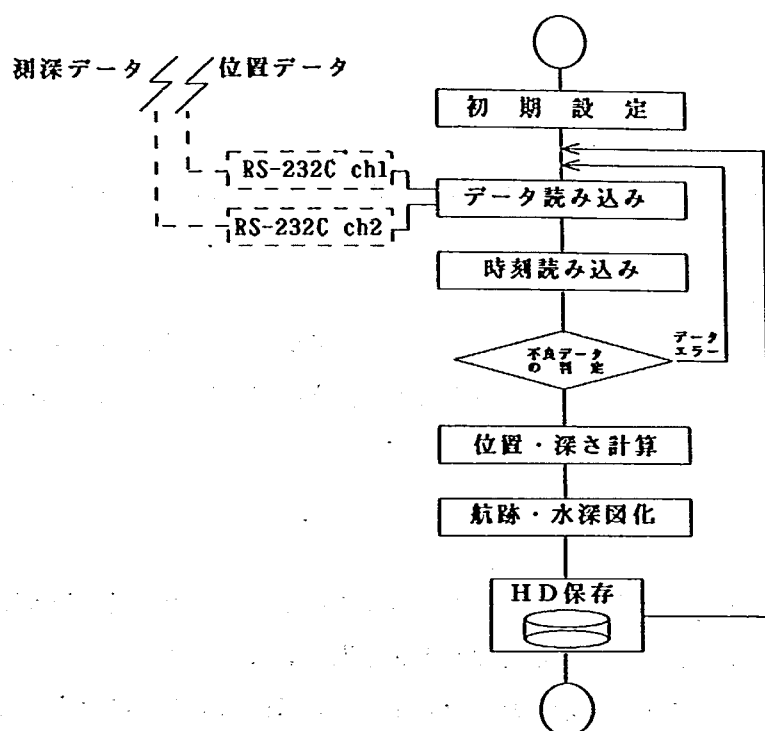


図-4・5 測定時のデータ収集フロー

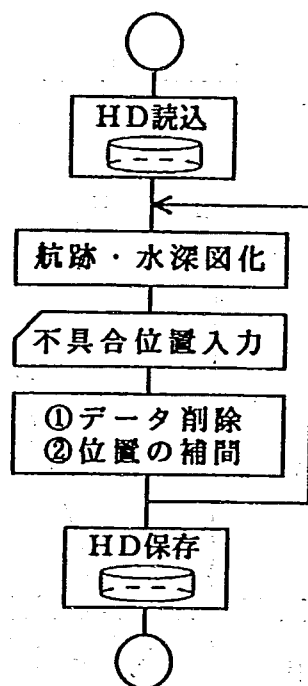


図-4・6 データ編集作業のフロー

- ### ③任意の河床断面図

の各図を出力できる。

これらのメッシュデータは保存することが可能なため後日、再処理や画面表示することが可能である。

4. 2. 2 装置の作動確認試験

RCポートに搭載した各装置類及び、その他付随した装置類がシステムとして正常に作動するか、確認する目的で作動確認試験を実施した。確認試験は、土木研究所内の低水槽(45m×55m 最大水深約2.0m)で実施した。

1) 試験方法

実験に使用した低水槽を図-4・7に示す。水槽の一部を浅くするために土のう(1.0m×1.0m×0.6m)を任意に示す位置に設置した。そして、RCボートがその直上を通過するように誘導し、土のう袋を確実に測定できるか確認を行った。なお、図-4・7に示した測点P1～P3は低水槽の脇に設置した仮基準点であり、LDMからP2を見た方向をY軸とし、それに直角な方向をX軸とした。

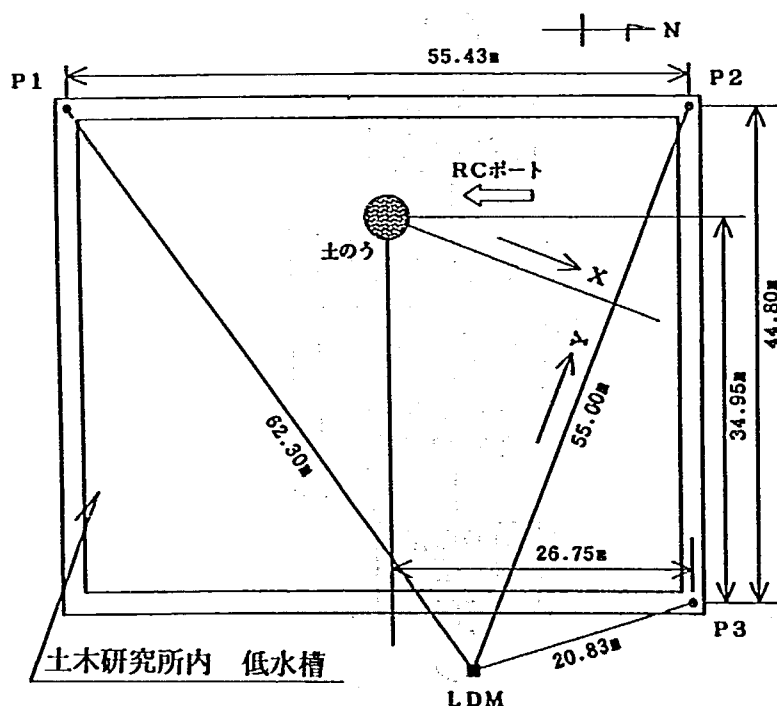


図-4・7 RCポットシステムの作動確認試験低水槽

2) 試験結果

RCボート計測中に得られる航跡図と水深図を図-4・8に示す。本図の左側は、航跡図、右側は土のう袋の設置位置付近の水深図である。なお、航跡図のX軸とY軸の縮尺は画面出力の関係で異なっている。

本図から低水槽の水深は約2.1mであることが確認される。そして、水深データの中に3ヶ所浅い部分が存在するが、これらが土のうを検出した部分である。水深-1.25mは土のうのほぼ真上を通過した時の値で、他の2つのデータはその周辺を通過した時の値である。

土のう袋を沈めた時に測定した位置と、RCボートを航行させた時に測定した位置（2回分）を表-4・7に示す。

表-4・7より、RCボートによる土のう袋の位置測定結果に0.3m~0.7m程度の誤差が生じていることが認められる。これは、LDMによるRCボートの位置データと音響測深機による測深データがパソコンに入力される時に生ずるタイムラグによるもので、同時刻の測深データに対して位置データが1秒遅れて入力される。この誤差を修正するためソフトを改良した。

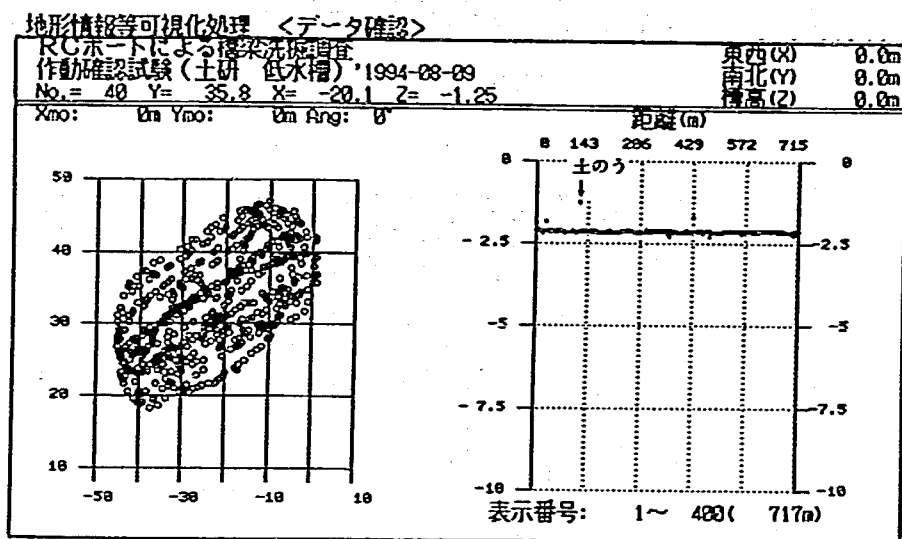


図-4・8 作動確認試験における航跡図と水深図

表-4・7 土のう袋測定結果一覧表
単位: (m)

	水平位置		相対誤差
	X	Y	
設置位置	35.77	-20.78	—
航線(1回)	35.81	-20.09	0.69
航線(2回)	35.84	-20.45	0.33

4. 3 橋梁点検車を使用した洗掘調査手法の開発

橋梁点検車を使用した洗掘調査手法は、既存の橋梁点検車を使用するため、使用する調査機器の選定作業が中心となった。選定に当たっては、作業荷重が小さく、狭い作業台の上で効率の良い作業が行えるものを念頭に置いた。

4. 3. 1 橋梁点検車について

今回の実証実験で使用した橋梁点検車の一般図を図-4・9に示す。

橋梁点検車は、作業足場が設置されていない上部工下側の損傷箇所を調査するために使用される。なお、作業可能荷重は橋梁点検車によって異なるが、今回使用した橋梁点検車は200kgfであった。

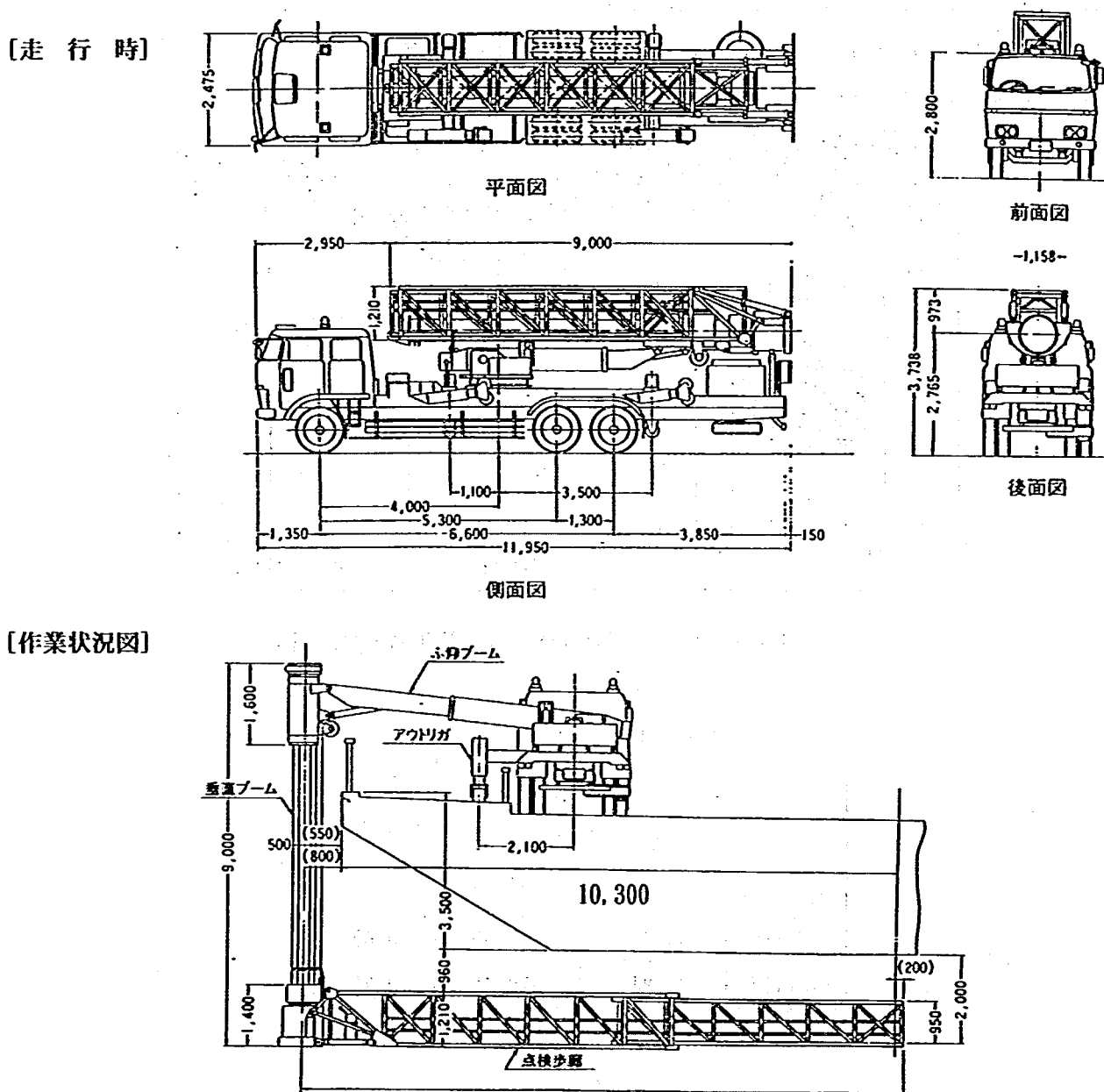


図-4・9 橋梁点検車の一般図

4. 3. 2 計測手法について

橋梁点検車に搭載して計測する手法は、洗掘調査に適用可能なカラーイメージングソナー、水中カメラ、地下レーダー、およびスウェーデン式サウンディングを選定した。

1) カラーイメージングソナー

カラーイメージングソナーの諸元を表-4・8に、装置の外観を写真-4・3に示す。

表-4・8 カラーイメージングソナーの諸元

項 目	諸 元
センサー	675kHz
出 力	疑似カラーCRT、ビデオテープ
重 量	水中部3.6Kg
電 源	115V
型 名	MS900(笹目橋で使用)、MS940(林舞大橋で使用)

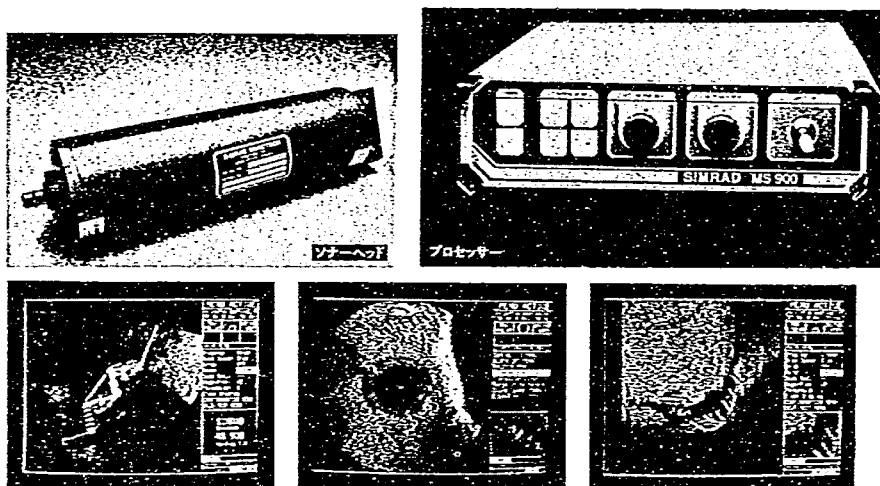
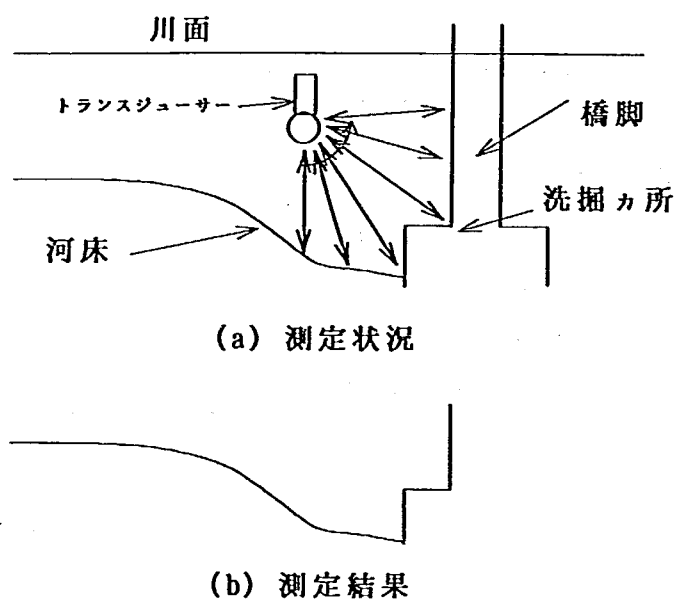


写真-4・3 カラーイメージングソナー (SIMRAD MS900)

測定概念図を図－４・１０に示す。(a)は測定状況を、(b)は測定結果の例を示したものである。カラーイメージングソナーは、数百キロヘルツの超音波ビームを使用しており、送受信機が一体となったトランスジューサーを回転させることによって、水底の地形を断面的に測定するものである。河床形状を迅速に測定できるものとして本装置を選定した。



図－４・１０ カラーイメージングソナーによる洗掘調査概念図

2) 水中カメラ

橋脚の基礎部における洗掘状況、基礎コンクリートの破損、鉄筋露出等の状況を可視記録として得るため、水中カメラを選定した。測定にはロッドの先端にカメラを取り付けた吊り下げ式水中カメラと、水中を自由に移動可能なROV式の2種類を選定した。吊り下げ式水中カメラの諸元を表-4・9、外観を写真-4・4に示す。また、ROV式水中カメラの諸元を表-4・10、そして、外観を写真-4・5に示す。両水中カメラは、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水中の物体を捉え、TVに映像として表示すると共にビデオテープにカラーイメージとして収録できるようになっている。

表-4・9 吊り下げ水中カメラの諸元

項 目	諸 元
センサー	CCDカメラ
出 力	カラーCRT、ビデオテープ
重 量	水中部5.4Kg、地上部0.8Kg
電 源	DC 12V

表-4・10 ROV式水中カメラの諸元

項 目	諸 元
センサー	CCDカメラ
出 力	カラーCRT、ビデオテープ
重 量	水中部 16Kg
電 源	AC 100V

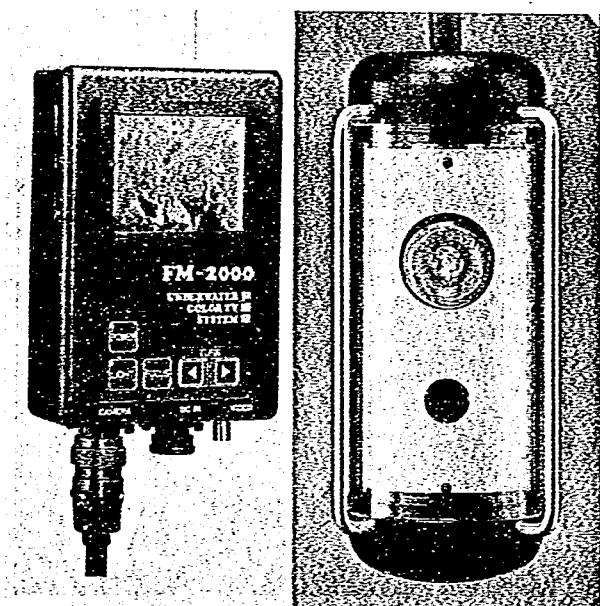


写真-4・4 吊り下げ式水中カメラ

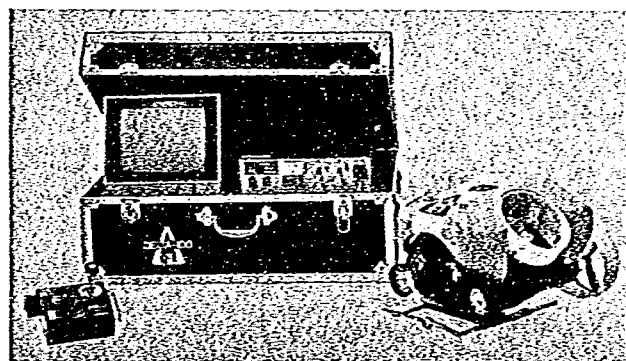


写真-4・5 ROV式水中カメラ

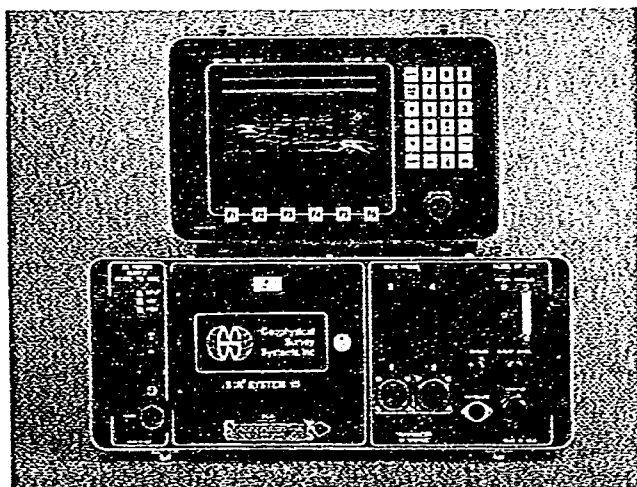
3) 地下レーダー

地下レーダーは地下に電磁波パルスを放射し、この電磁波の反射・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る。一般的には、地下空洞や埋設管、遺跡などの調査に使用されている。本装置を河川で使用するにより、河床に堆積した2次堆積層の探索を行うことができる。しかし、媒介（水）の比抵抗（電気伝導度の逆数）が低い場合、電磁波が減衰して探索ができなくなるという欠点も有する¹⁾。

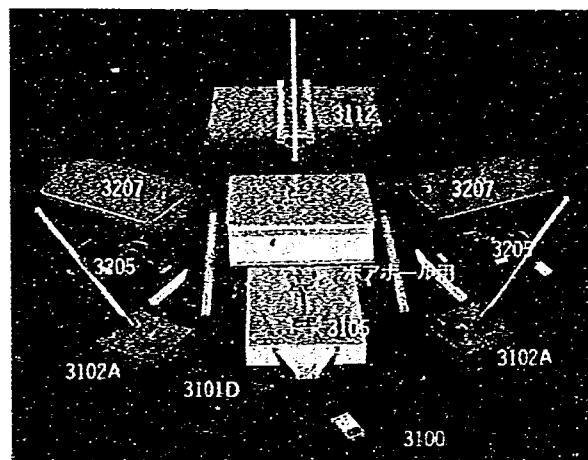
今回使用した地下レーダーシステムの諸元を表-4・11に、外観を写真-4・6に示す。このシステムの特徴は、目的に応じて最適な周波数のアンテナを選択でき、また、データをデジタルで収録するのでコンピューターによる信号処置が容易できるという利点がある。測定記録はカラーディスプレイに表示されるとともに、サーマルプリンターに出力され、さらに8mm磁気テープに収録される。河川での測定は、深度などを考慮して、300MHzポータ型アンテナを使用するものとした。

表-4・11 地下レーダーの諸元

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(コントロールディスプレイ)
測定レンジ	0~10,000nsec
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11.0kg
記録装置	サマール方式：1680ドット/スキャン インターフェイス：8ドットパラレル
型 名	SIR-10



(地下レーダー本体)



(アンテナ)

写真-4・6 地下レーダーの外観

4) スウェーデン式サウンディング

スウェーデン式サウンディング試験装置の外観図を図-4・11に示す。スウェーデン式サウンディング試験は JIS A 1221 に定められた簡易なサウンディング手法の一つである。この試験は、地盤中にスクリーポイントのついたロッドを貫入させ、その際に生じる貫入抵抗を測定することにより、地盤の硬軟もしくは締まり具合を判定する試験方法である。河床地盤、特に2次堆積層の状況を把握する調査手法として選定した。

この試験では、通常100kgfの载荷重を用いて試験を行うことになっているが、橋梁点検車を用いて調査を行う場合、積载荷重に制約がある。通常の試験ではロッド重量は地盤のフリクションを考慮してこれを無視するが、本調査では、気中および水中のロッド重量を考慮し、これを含めた総重量が50kgfになるように行った。

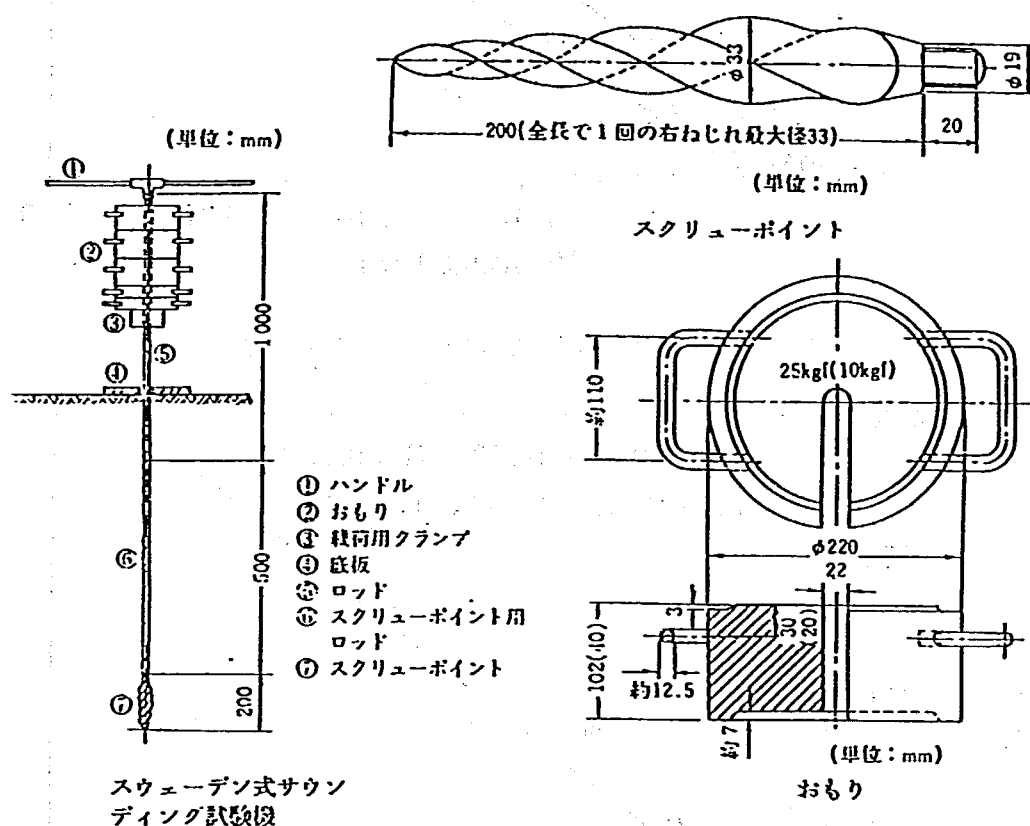


図-4・11 スウェーデン式サウンディング

載荷重が100kgfに満たない場合の判定手法としては、図-4・12と図-4・13に示す換算方法³⁾がある。なお、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25kgf、50kgf、75kgfの貫入抵抗を示す。今回は、この判定手法を準用して調査結果の判定を行うこととした。

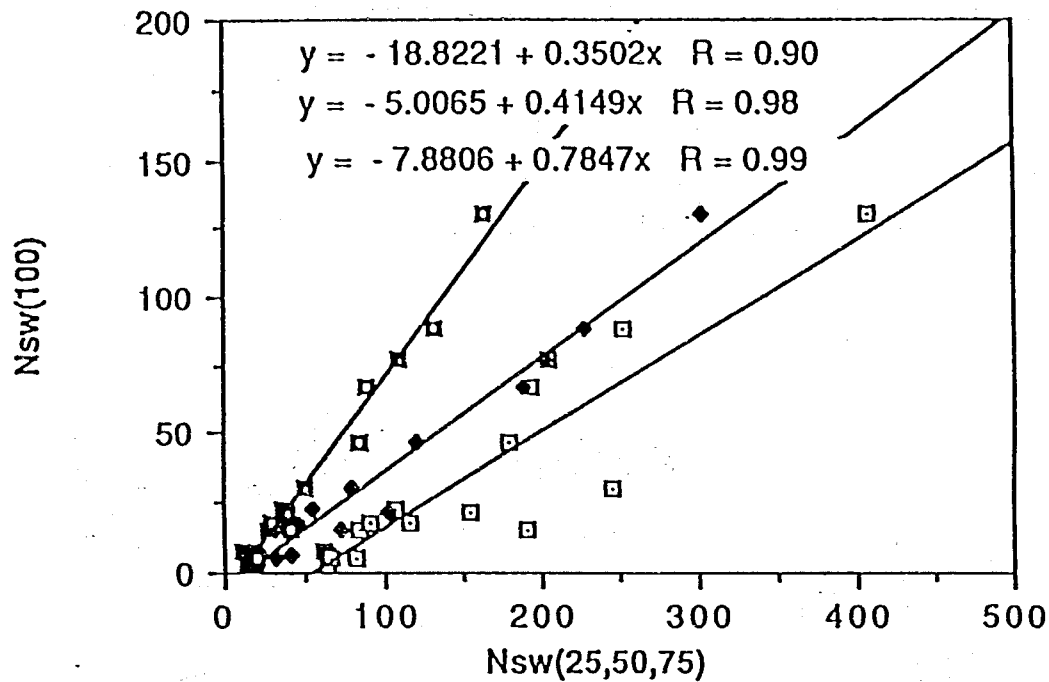


図-4・12 Nsw(25, 50, 75)とNsw(100)の関係

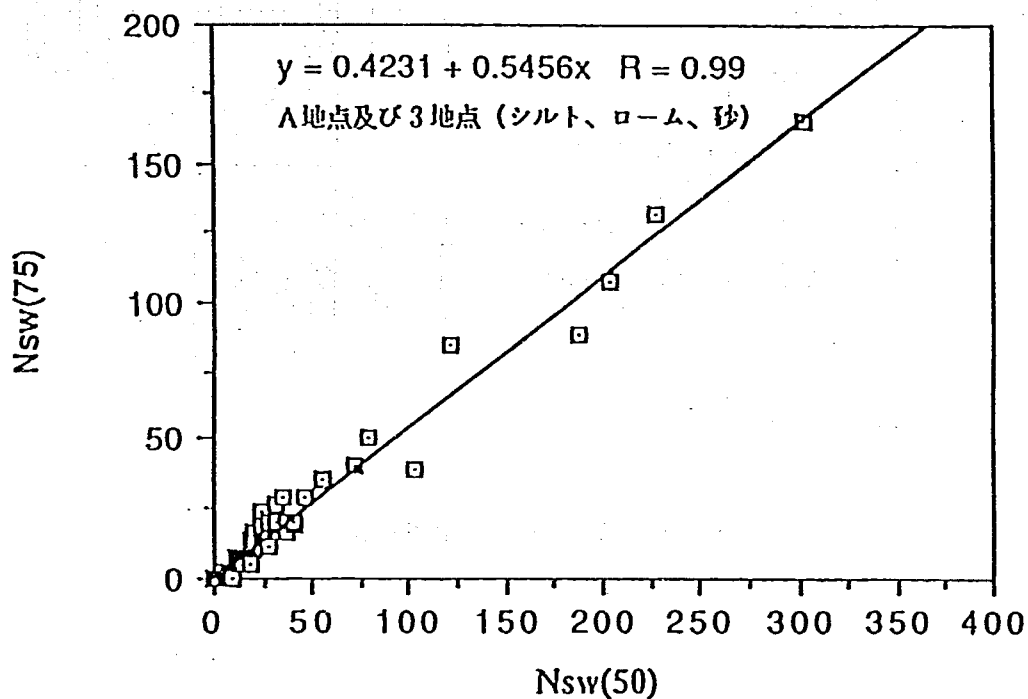


図-4・13 Nsw(50)とNsw(75)の関係

5) 測定用治具

橋上から人力で測定機器を降ろせるように測定用治具を製作した。治具の構造図を図-4. 14に示す。治具は、測定装置を固定し、かつ、高欄上を容易に移動できるようにローラーが装着されている。調査時には、ロッドの先端に地下レーダーのアンテナなどの計測器を取り付けて水面または水中まで降ろし、昇降レバーにて固定し、測定する。

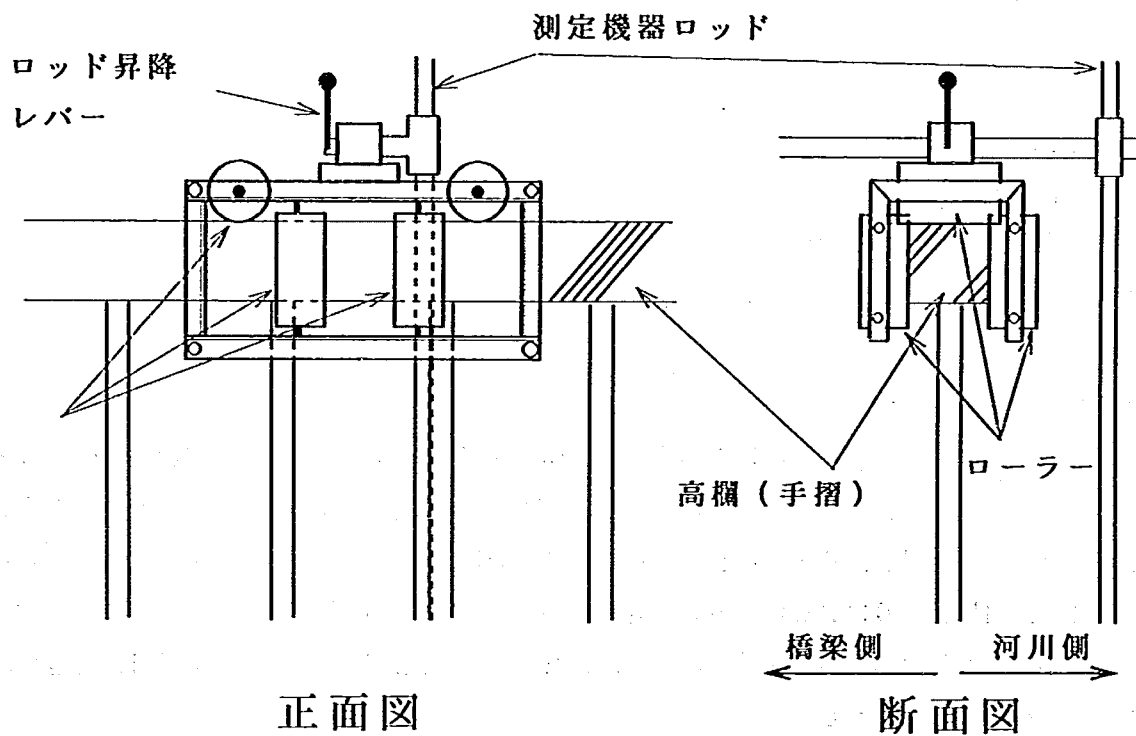


図-4・14 測定用治具

5. ラジオコントロールボートを使用した洗掘調査手法の実証実験

国道17号新大宮バイパス笹目橋、および国道4号利根川橋で実証実験を行った。

5. 1 笹目橋における実証実験

本実験はRCボートによる手法の最初の実証実験であることから、RCボートの計測成果を確認するために、従来手法による深浅測量も実施した。また、実験に先立ち基準点や水準点を設置するための準備測量を実施した。

5. 1. 1 実験の実施

実験は以下の工程で実施した。

- ・準備測量、（基準点測量、水準測量）・・・1日
- ・実証実験・・・・・・・・・・・・・・1日

5. 1. 2 準備測量および確認測量

準備測量として、基準点測量および水準測量を実施した。準備測量において、水準測量路線図を図-5・1(a)に、基準点測量位置図を図-5・1(b)に示す。基準点測量は橋脚の中心点を含む計13点を設置した。この基準点のうち、4点は既設橋脚の中心点を再現するために、2点はRCボートの測定用に、4点は別途行われる確認測量用に、残りはRCボートの誘導用に設置された。RCボートを平行誘導する目印として、兩岸に5m間隔で各々24点の木杭を設置した。また、RCボート測定用基準点水準測量は、付近の水準点からベンチマークを移設し、設定した。

確認測量として、レッドによる深浅測量を実施した。深浅測量の結果を図-5・1(c)に示す。測深位置は、河岸に設置した確認測量用の基準点からトランシットによる2点交会法により求めた。本調査水域は感潮区域で河川水位が変動することから、河川水位の観測も合わせて行い、計測水深を補正して標高を求めた。深浅測量の範囲は、第1橋P7、第2橋P8および第3橋P8を中心として行い、295点の測深データを得た。

基準点測量結果一覧

点 名	X	Y	備 考
T1	-22462.422	-16696.456	金属標
T2	-22542.104	-16521.542	
T3	-22416.638	-16520.155	コンクリート杭
T4	-22450.206	-16435.349	金属標
T5	-22419.304	-16528.927	
T6	-22526.272	-16572.159	
T7	-22506.743	-16617.657	
F1	-22472.943	-16547.959	第1橋 P7
F2	-22393.393	-16520.961	、 P8
F3	-22535.452	-16569.152	、 P6
F4	-22501.648	-16539.607	第2橋 P8
F5	-22507.200	-16523.474	第3橋 P8 1.15m 高
F6	-22573.671	-16546.049	、 P7 1.15m 高

水準測量結果一覧

測 点	標高 (TP, m)	備 考
IT-50	16.335	与点標高
T3	2.725	
T1	2.250	金属鋳
T4	2.471	"
T6	3.769	
T7	0.865	

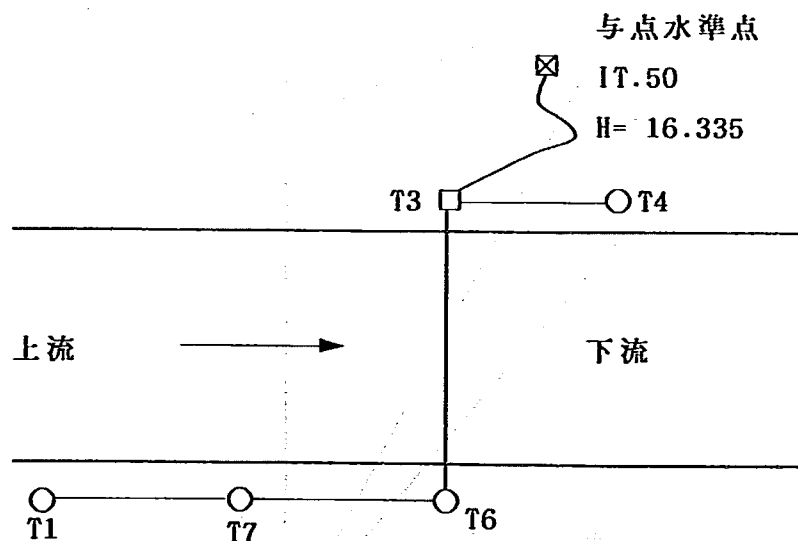


図-5. 1 (a) 水準測量路線図

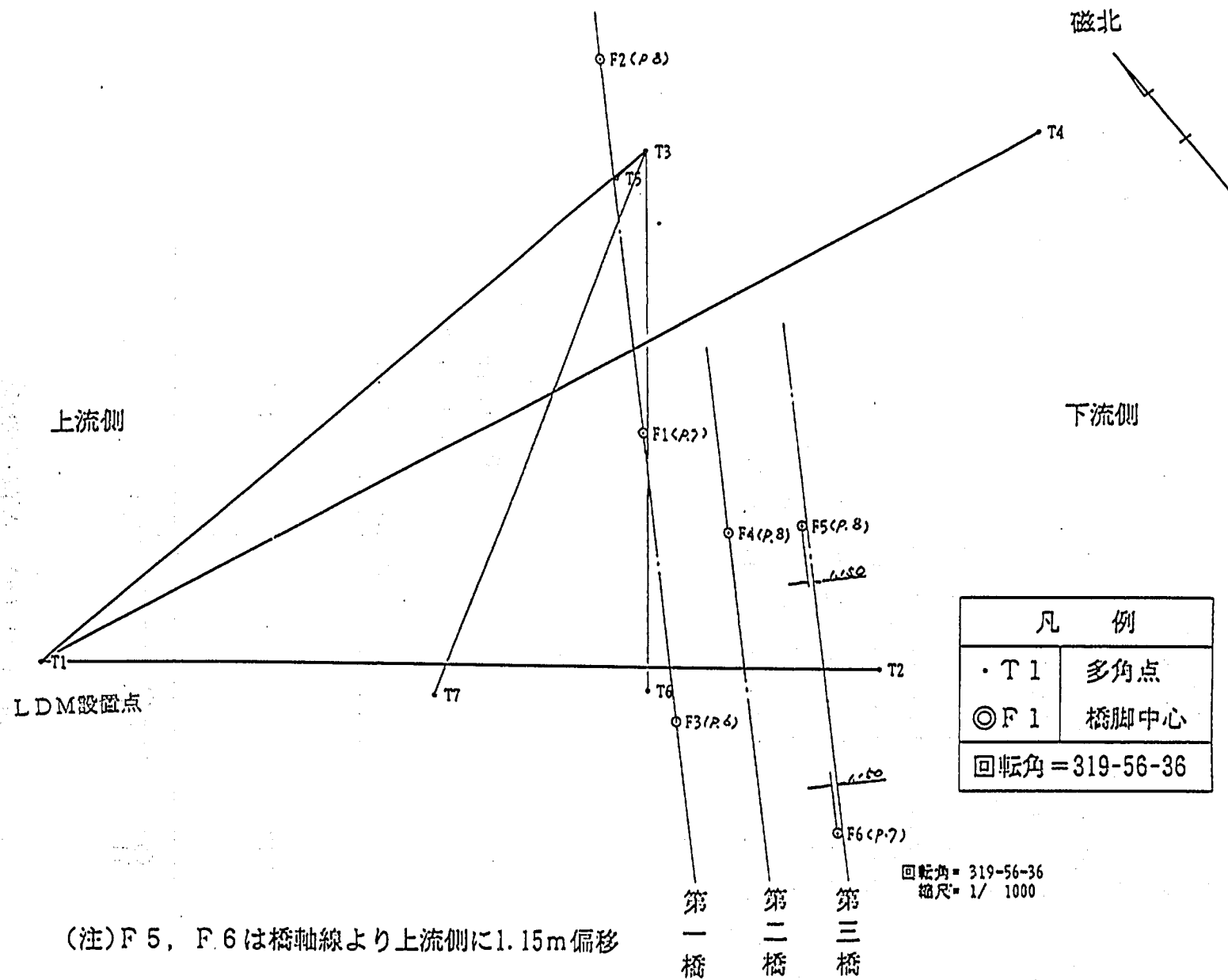


図-5・1 (b) 基準点測量位置図

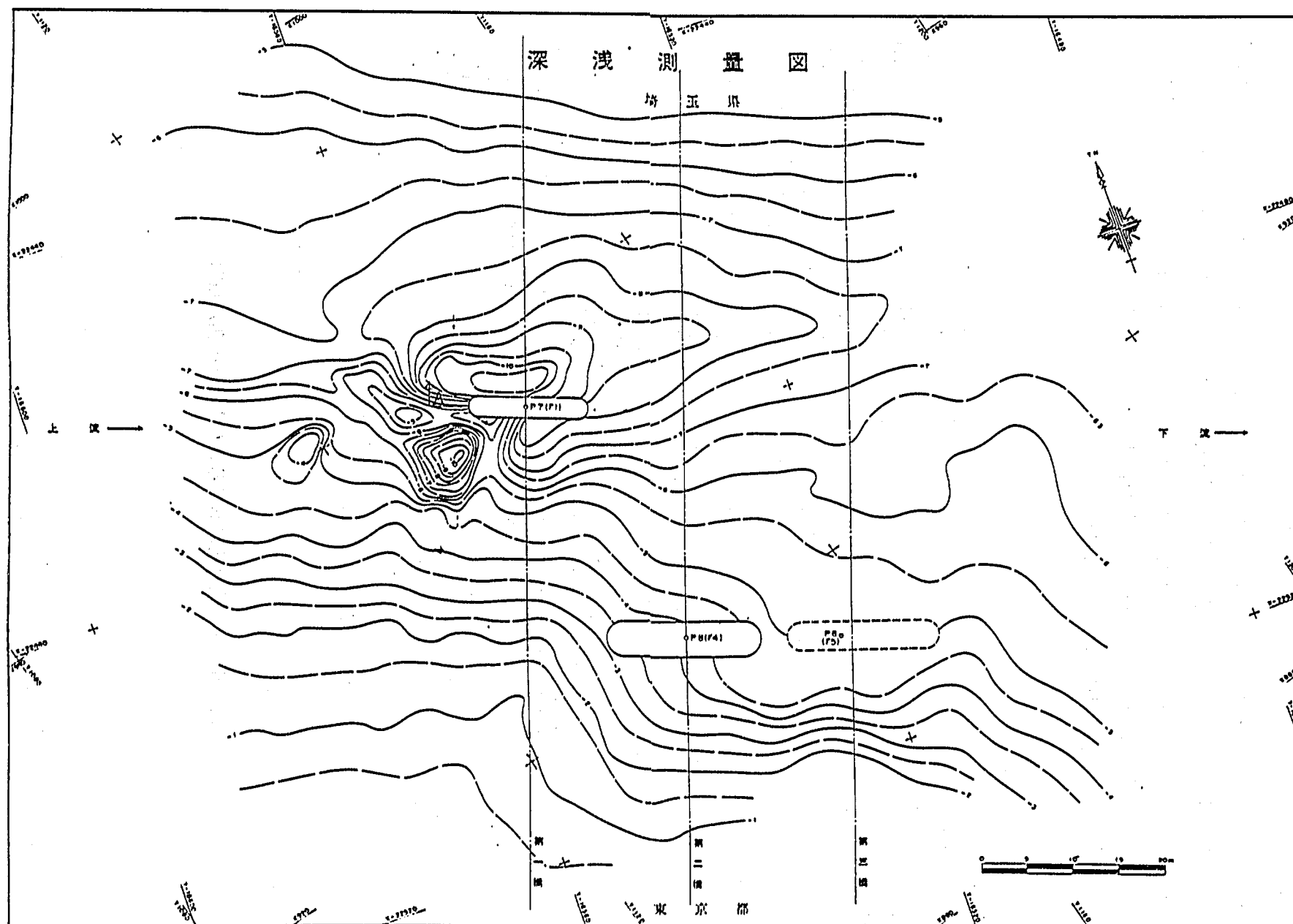


図-5・1(c) 笹目橋周辺の深浅測量の結果

5. 1. 3 実証実験内容

1) 調査範囲

実証実験の調査範囲は、笹目橋の第1橋P 7、第2橋P 8、第3橋P 8を囲むように設定した。測定範囲を図-5・2に示す。通常、河川のみお筋は幅が狭いため、確実にこれを捉えるためにはみお筋を横断する方向、つまり河川横断方向にRCボートを航行させる必要がある。従って、調査範囲内に河川を横断するように、a 測線～x 測線の24測線（長さ80m、測線長の合計は1,920m）を設定した。

なお、平行誘導点は準備測量の際に川岸に設置している。

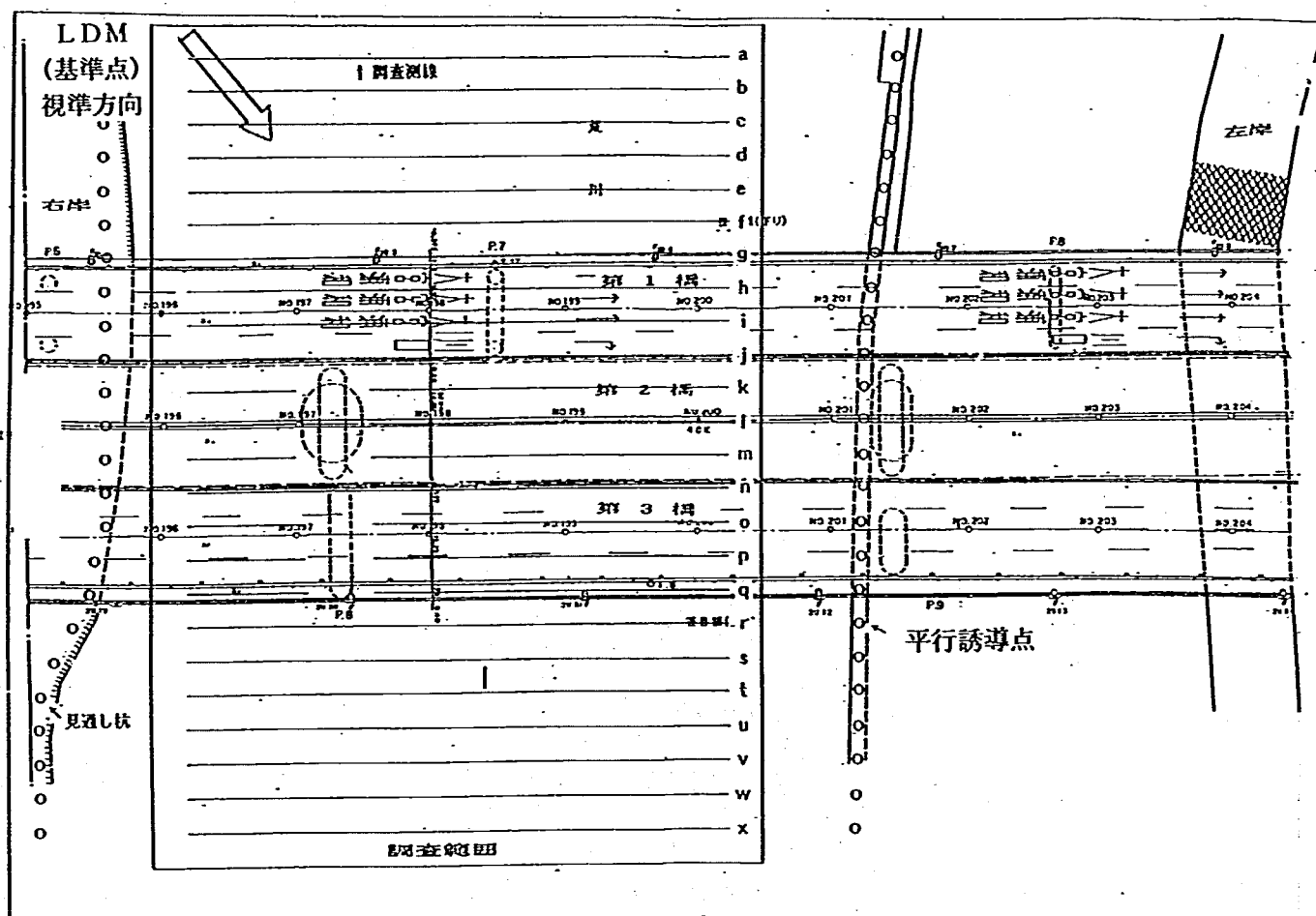


図-5・2 笹目橋におけるRCボートの測定範囲

2) RCボートによる深浅測量

今回の実験における測定方法は以下のとおりである。

- ①右岸上流部に設置した基準点（図-5・1・(b) 参照）にLDMを設置し、操縦者を右岸側に誘導員を左岸に配置した。
- ②上流部のa測線（図-5・2参照）に沿ってRCボートを航行させた。測線の終点を通過後、徐々にボートを回頭させて隣のb測線上に誘導し逆方向に航行させた。この操作を順次繰り返し、x測線まで測定した。
- ③橋脚の陰などでLDMからRCボートが見通せない場合も、そのまま測定を続行した。この場合、橋脚の陰にあたるボートの位置は、測定終了後に前後のデータから補間計算によって求めた。
- ④図-5・2のk測線のように操縦者からRCボートが見えない場合や、橋脚に衝突する場合などは、ボートを測線から外した。測線の残りの部分は、次項の⑤で対応した。
- ⑤操縦者が左岸に移動し、右岸側から見通せなかったり、航行できなかった測線部分の測定を実施した。
- ⑥左岸の測定が終了した後、直ちにデータをファイルに保存し、測定データの編集を実施した。

3) データ編集

今回の実証実験では、RCボートの見通しの関係で2回に分けて測定を実施した。これらの2つのファイルを1つにまとめ、以下に示すような不良測定データの削除、修正可能なデータの適正処理作業を実施した。

- ①ノイズによる測定データの欠落（特にテレメータを使用する水深データ）の削除
- ②RCボートが橋脚や他の船舶の陰に入った場合およびRCボートのトラッキングミス（LDMの視界から外れた）をした場合のRCボート位置の推定（補間）処理
- ③LDMを設置した地点の標高を使用して、水深値の標高値変換処理
（河床の高さは、音響測深機からの水深値として、RCボートの高さはLDMからの比高として検出される）

4) データ処理

測定データを処理した後、

- ①各測線における河床の2次元コンター図（平面図）
- ②河床の3次元コンター図（鳥瞰図）
- ③任意の河床断面図

の各図を作成した。

5. 1. 4 実証実験結果

測定並びに解析等に要した時間は、測定準備に3時間、測定に1時間、解析4時間であった。

写真-5・1に、レーザートラックにてRCポートの位置を測定している状況を、写真-5・2に、RCポートの測定状況を示す。



写真-5・1 LDMおよびパソコン（データ収集装置）

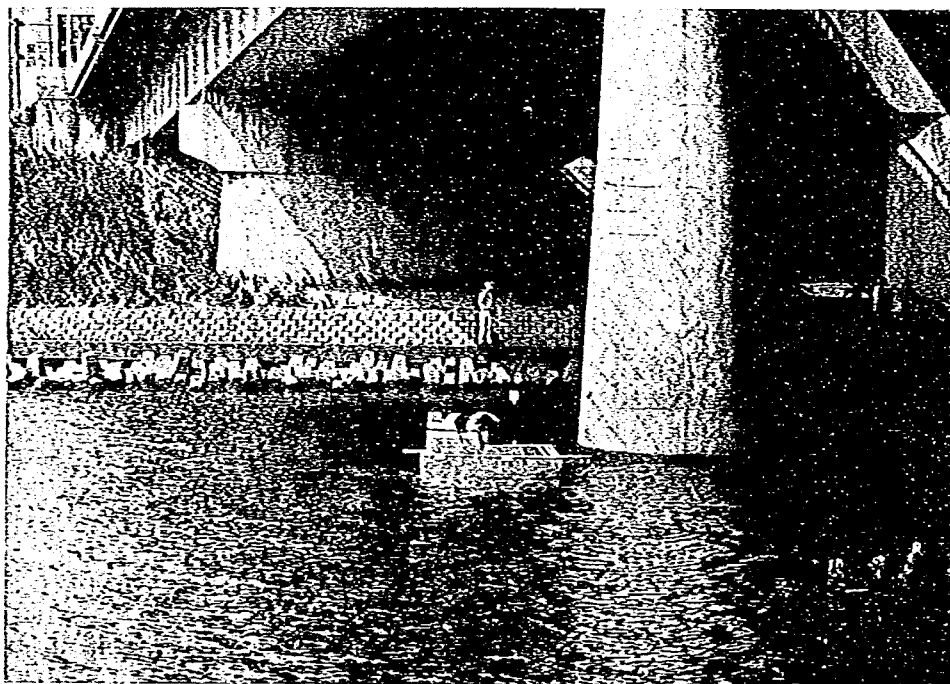


写真-5・2 笹目川における測定状況

1) 測位データについて

データ収集時に得られた航跡図の一部を図-5・3に示す。本図は測定時の航跡図であるが、橋脚に隠れた時のRCポートの位置は正しく捉えられていない。このため、データ編集作業でRCポートの位置の補間処理を実施した。その結果が図-5・4である。本図において、斜めに示した罫線は準備測量で設定された笹目橋の測量系であり、図に対して直交する罫線は、作図面積を最大にするために座標系を回転させた後のものである。以後、RCポートによる洗掘調査において、特に断りがない場合は全て図-5・4のような、橋軸に対する直交座標系（座標回転後）を使用する。

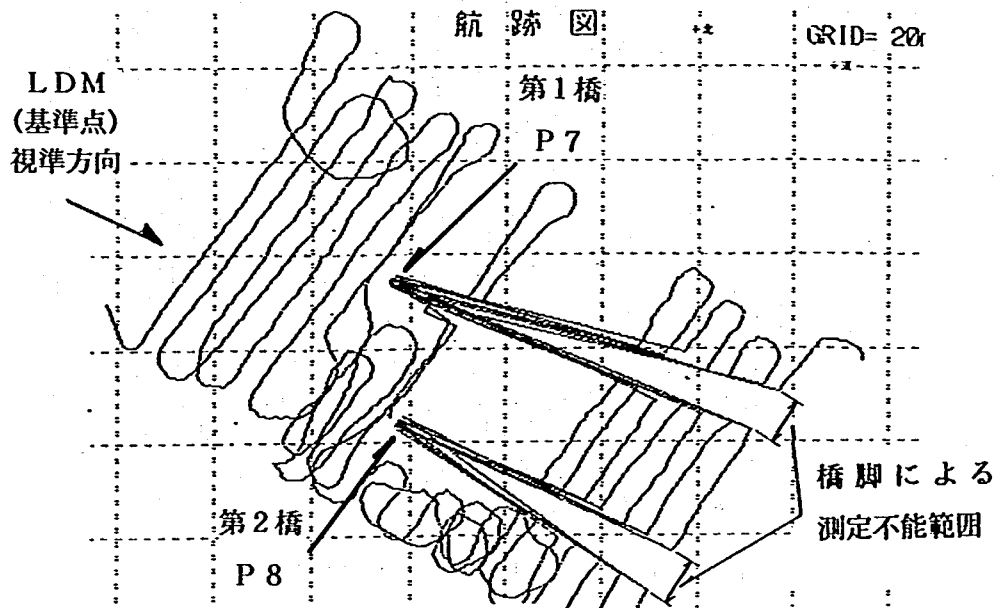


図-5・3 データ収集時に得られた航跡図



図-5・4 編集作業終了後の航跡図

(2) 測深データについて

図-5・5はRCボートに搭載した音響測深機のうち、アナログ式の記録器で得られた水深記録の一部である。一方、図-5・6にテレメータを経由してパソコンに収録されたデジタル水深記録を示す。ただし、両者の時間軸が逆になっていることに注意されたい。両者を比較すると、デジタル記録ではサンプリングの関係（1回/1秒）で、河床凹凸の表現精度が多少悪くなっている。

今回の実験において、RCボートの位置を求めることができた箇所数は2,021点であった。これに対し、テレメータを経由して電送されてきた水深データの数値は1,963点であった。従って、58点（約3%）のデータが欠落したことになるが、その主な理由はデータの転送時に混入したノイズであった。

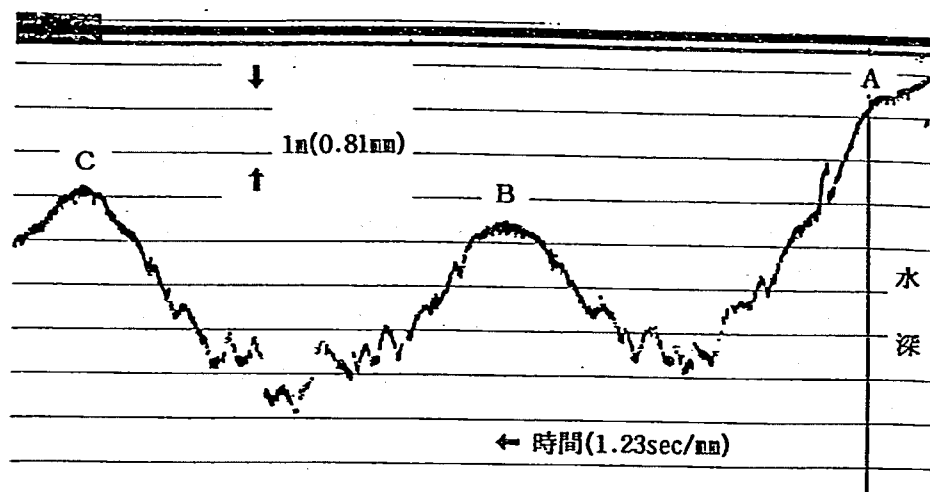


図-5・5 アナログ式水深記録

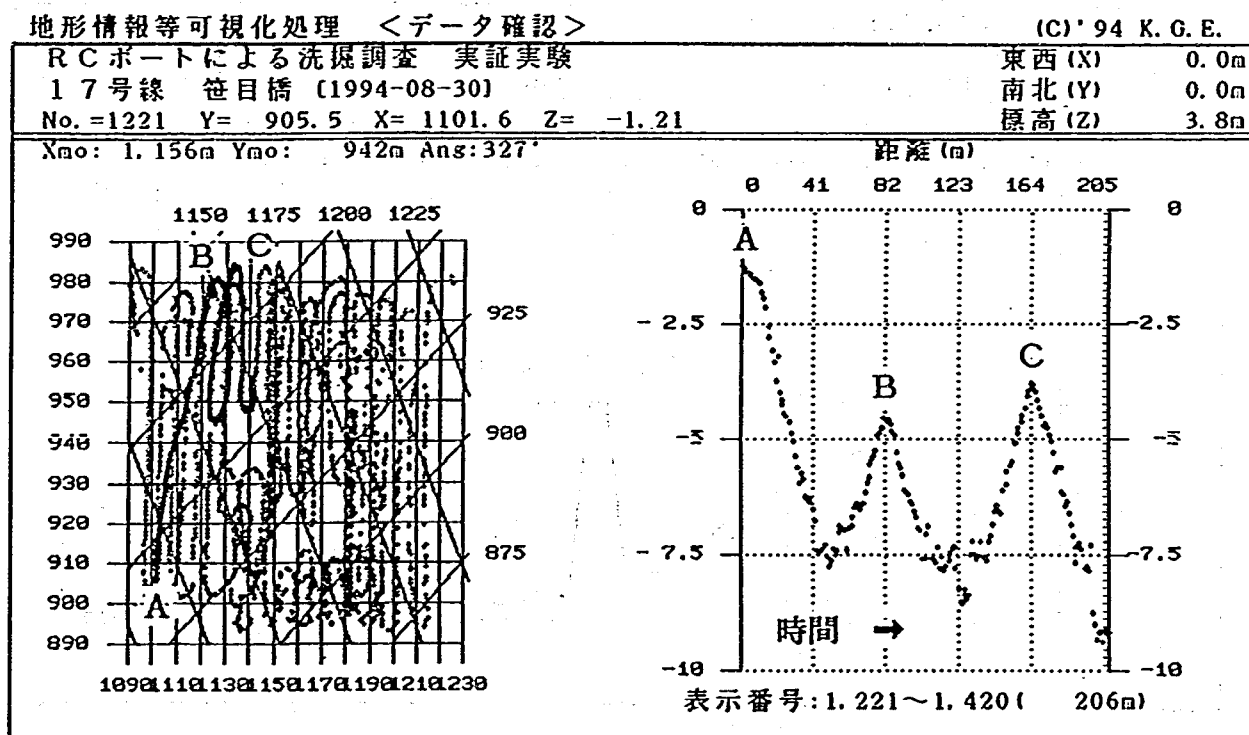


図-5・6 デジタル水深記録

5. 1. 5 測定成果

得られた水深データ（標高値に換算済み）と、位置データを使用して調査範囲の平面図、立体図、断面図を作成した。これらの図はパソコンの出力画面に表示され、ハードコピーを行うことにより図面として得られる。測定成果のうち、河床形状の2次元コンター図（平面図）の一例を図-5・7に、3次元コンター図（鳥瞰図）を図-5・8に、また図-5・2のh測線における河床断面形状を図-5・9に示す。なお、図中に橋脚を明示しているが、事前測定の結果を基に擬似的に加えたものである。

これらの成果をまとめると以下ようになる。

- ①第1橋P7の左岸側には、洗掘による窪んだ地形が検出された。洗掘部分の分布はP7の上流部ではP7の方に回り込んでいるが、P7の真横部～下流部分に移るにつれ橋脚から離れる傾向を示し、下流に離れると川の流線方向にほぼ一致している。洗掘部分で最も深いところの標高はT.P. -9.2mであった。洗掘部分の深さは下流に向かうほど浅くなる傾向を示しているが、下流に75m離れた位置でも影響が残っている。
- ②第1橋P7橋脚の右岸側にも、最深部の標高が約-8.6mである洗掘が見られる。第1橋P7の下流部では急激に浅くなっている。
- ③第2橋及び第3橋のP8の周辺では、洗掘箇所は見られない。これは、河岸に近いと考えられる。ただし、下流側に30m程度離れた位置に、水深の深い場所が検出されているが、調査範囲の端部のため状況は明らかではない。

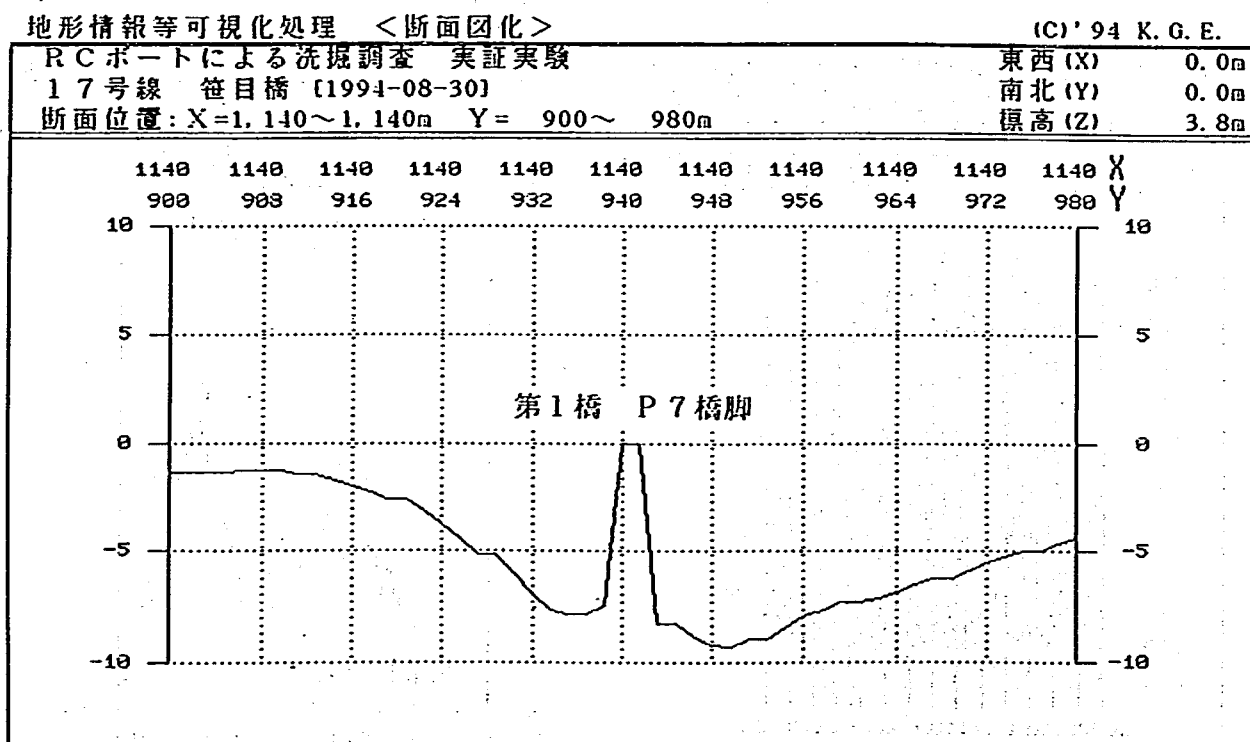


図-5・9 h測線河床断面図

地形情報等可視化処理 <2D図化>

(C)'94 K. G. E.

RCボートによる洗掘調査 実証実験	東西(X)	0.0m
17号線 笹目橋 [1994-08-30]	南北(Y)	0.0m
コンター:-10~ 0(0.50) X:1.100~1.210m Y: 900~ 980m	標高(Z)	3.8m

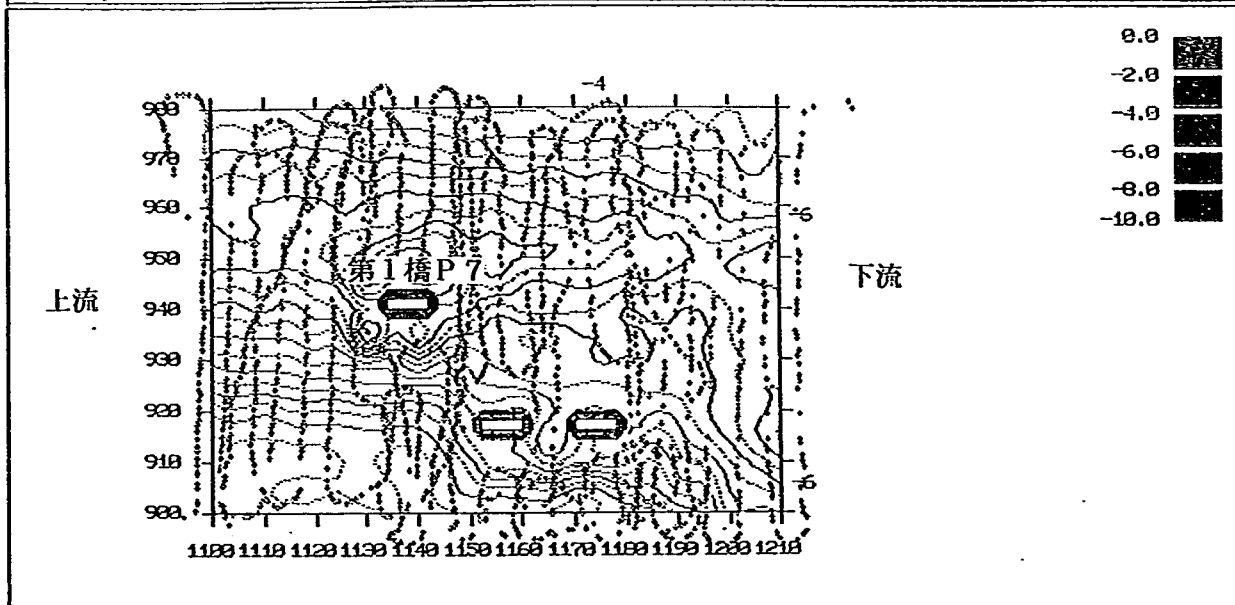


図-5・7 河床の2次元コンター図

地形情報等可視化処理 <3D図化>

(C)'94 K. G. E.

RCボートによる洗掘調査 実証実験	東西(X)	0.0m
17号線 笹目橋 [1994-08-30]	南北(Y)	0.0m
水平角:250° 俯角:20° 中心:-15 拡大:2.0 縦/横比:2.0	標高(Z)	3.8m

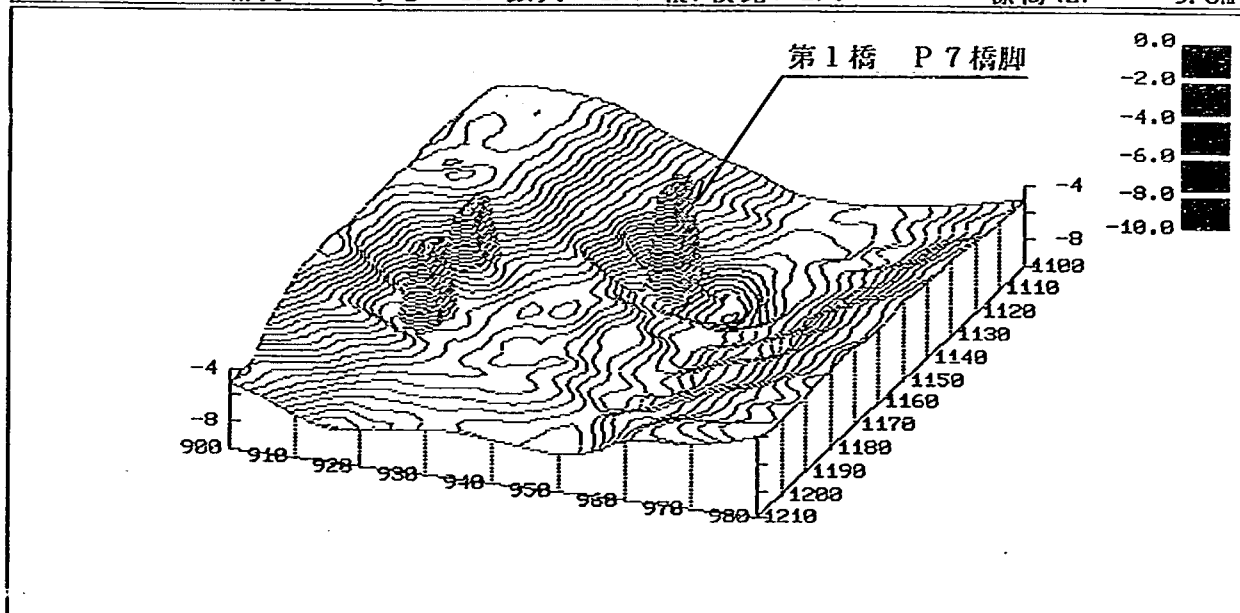


図-5・8 河床の3次元コンター図

5. 1. 6 まとめ

本実験のまとめとして、実験で生じた問題点とその検討事項を以下に示す。

1) RCボートの誘導性

LDMの設置点とRCボートの誘導装置との位置が離れていたため、操縦者がRCボートの正確な位置をリアルタイムで把握できなかった場面があり、とっさの判断が難しかった。したがって、今後はRCボートの操縦者に正確な航跡図をリアルタイムで示す必要がある。

2) RCボート制御電波の信頼性

今回の実験で、RCボートがある特定の位置を航行するとRCボートの制御が困難となる場所があった。この原因として、橋脚や橋桁で電波の反射や干渉が発生した可能性が強いと考えられている。しかし、笹目橋だけの特定現象かどうか判然としないため、他橋梁での実証実験により検証を行う必要があると考える。

3) テレメータによるデータ転送の信頼性

今回の実証実験では、前述のように約3% (58点分) の水深データが欠落した。データ欠落の大半はテレメータ電波に混入したノイズが原因と考えられる。そのため、欠落部分の再測などの対応が必要と考えられる。

4) 事前測量について

今回の実験では、RCボートの測定が初めてなので予め基準点測量を行い、LDMの設置基準点や橋脚の位置などを測定して、結果に反映した。しかし、これらの測量は洗掘調査と別作業であり、作業の省力化を図るためには基準点測量を簡略化する必要がある。

基準点の設定は、既存の橋梁の位置、標高を利用することで、測量作業およびデータ処理作業の簡略化を計ることができると考えられる。

5. 2 利根川橋における実証実験

笹目橋の成果を受け、主として以下の測定方法の検証を行った。

- ・事前簡易測量の実施（基準点測量を省略）
- ・測位器械（LDM）の据え換えによる誤差の確認
- ・RCボートの航行方法についての検証
- ・測深データ及び測位データの欠落状況の確認

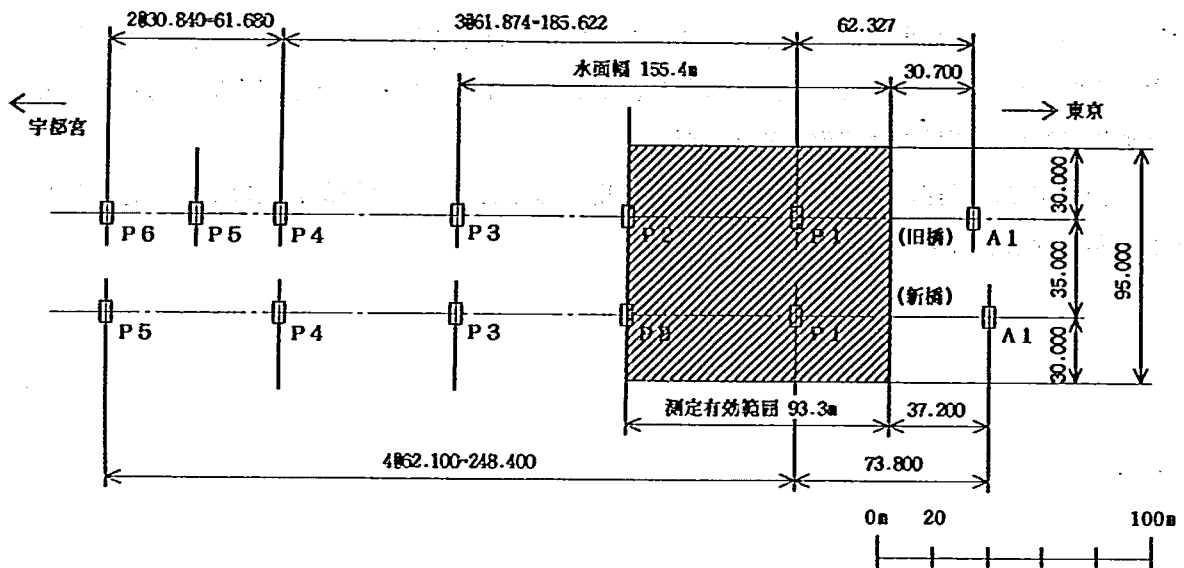
5. 2. 1 実験の実施

実験は以下の工程で実施した。

- ・事前簡易測量、実証実験・・・・・・・・・1日
- ・実証実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1日

5. 2. 2 実験範囲

今回の実証実験は図－5・10に示すように、旧橋のP1とP2、利根川橋新橋P1とP2周辺に河川直角方向に約100m、河川流行方向に約100mの範囲を設定した。



図－5・10 利根川橋の調査範囲

5. 2. 3 実証実験内容

1) 事前簡易測量

今回の実証実験では基準点を設定する事前測量を省略し、簡易な測量で仮基準点を以下のように設定した。

- ・ RCポートの位置：利根川橋新橋の橋脚位置に対する相対表示とする。
- ・ RCポートの標高：利根川橋新橋のP 2 橋脚の天端をT. P. +21. 876m（既存の図面より）とする。

簡易測量の概要を図- 5 ・ 1 1 に示すが、その内容は以下のとおりである。

- ① 利根川橋新橋のP 3 とP 4 の近傍で、歩道側高欄の直下に基準点（バック点）を2ヶ所設置する。2ヶ所のバック点の軸線は利根川橋新橋の橋軸線に平行とする。
- ② P 2 とP 3 の中間部の上流約150mの位置にLDMを設置し測定点（LDM1）とする。
- ③ バック点1 とバック点2 にターゲットを設置しLDM1からそれぞれの座標を測定する。
- ④ 新橋のP 2 の橋脚天端にスタッフを降ろし、その座標を読みとりLDMの器械高を決定する。
- ⑤ ③④の測定結果から、LDM1および2ヶ所のバック点の座標を計算する。
- ⑥ LDM1から新橋と旧橋のP 1 橋脚とP 2 橋脚で、最も上流でかつ水際部分の座標を測定し、橋脚の位置を実測する。
- ⑦ LDMの据え換えによる誤差の確認を行うため、LDM1の近傍にLDM2を設置する。
- ⑧ ①～⑥の測定を繰り返し行い、相対的な誤差を求める。

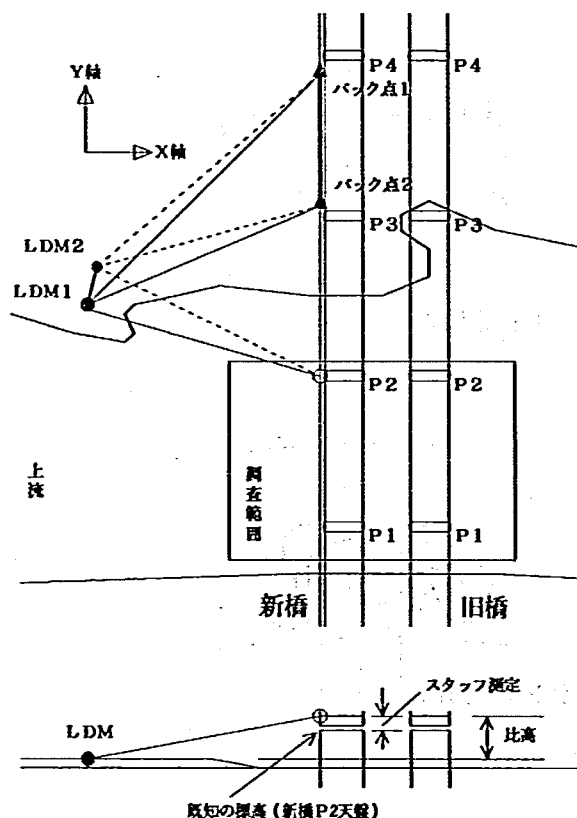


図- 5 ・ 1 1 簡易測量の概要

2) RCボートによる河床地形測量（深淺測量）

(1) ボートの航行方法

今回の実験では、特に測線を設定せず、ボート誘導員とボート操縦者の相互の連絡により調査範囲をカバーするように測定した。ボートの航行方法については、図-5・12に示す、

①河川横断方向

②河川縦断方向

③ランダム方向

の3種類の方法を設定した。

①と②の場合には、測線の間隔を5m程度とした。

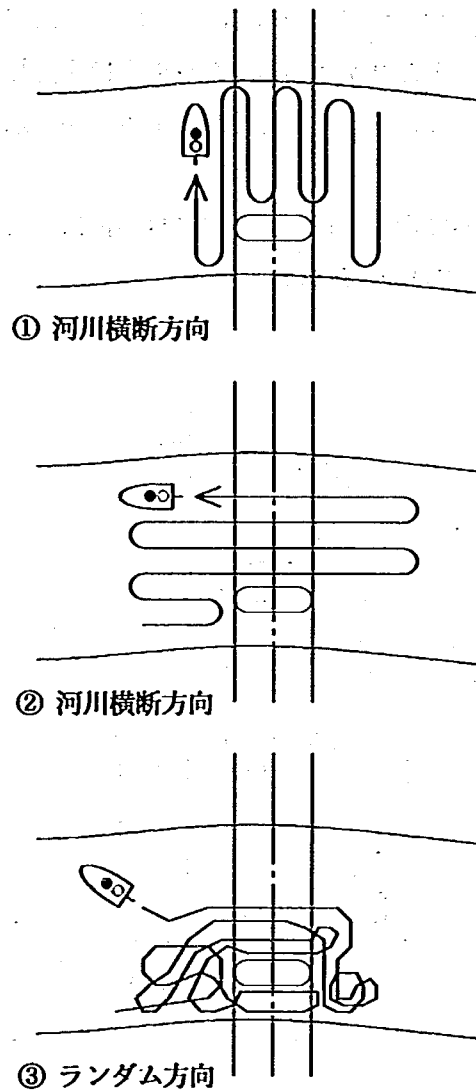


図-5・12 ボートの航行方法

(2) 河床形状の測定方法

5. 1. 3 2)と同様なので詳細な記述は省略する。なお、今回の測定では、LDMからRCボートの視認性を高めるために直径約1mの大きなターゲットを設置した。

(3) データの編集方法

5. 1. 3 3)と同様なので詳細な記述は省略する。

(4) データの処理方法

5. 1. 3 4)と同様なので詳細な記述は省略する。

5. 2. 4 実験結果

写真-5・3は、利根川橋におけるRCボートの測量状況を示す。



写真-5・3 利根川橋におけるRCボート測定状況

1) 簡易測量結果

RCポートをを用いた深淺測量の結果を表-5・1と図-5・13に示す。なお、表-5・1中の測定時は、LDMを使用して簡易測量を実施した時の値、図化時は座標軸を利根川流下方向に回転させた時の値を示す。測量においては、LDMからバック点を視準した方向がX軸（LDMが0m）となり、それに直交する方向がY軸となる（LDMから見て右が+）。しかし、測量時のX、Y軸を使用すると図化処理後のX、Y軸が橋軸の方向と一致せず、出力結果が見づらいという欠点が生ずる。

このため、図化処理ソフトに内蔵されている「座標回転機能」を利用して、利根川の流下方向をX軸（上流を-、下流を+）とし、利根川橋の軸方向をY軸（東京方が-、宇都宮方が+）とするように処理を行った。

測量器械（LDM）の据え換えによる水平誤差は、表-5・1の3、4の測定時より、 $\sqrt{(163.52-163.60)^2 + (0.00-0.10)^2} \approx 0.13 \text{ m}$ であった。

標高の誤差は、表-5・1中の3、4の結果より、 $0.68 - 0.57 = 0.11 \text{ m}$ であった。

LDMの据え替えによる測位誤差を検証したところ、同じ測点で誤差が生じているのが確認された。しかし、その大きさは13cm以下と測量成果をとりまとめる上で問題ないと考えられる。

表-5・1 利根川橋の簡易測量結果

(単位 m)

	測 量 点	X 位 置		Y 位 置		Z 標 高	備 考
		測 定 時	図 化 時	測 定 時	図 化 時		
1	LDM-1	0.00	-21.73	0.00	103.40	10.93	移動前
2	LDM-2	14.00	-19.76	-13.62	122.83	11.11	移動後
3	バック点-1	163.52	103.53	0.00	208.50	(0.68)	LDM-1による
4	バック点-1	163.60	103.66	0.10	208.48	(0.57)	LDM-2による
5	バック点-2	139.31	104.02	29.61	170.26	(0.47)	LDM-1による
6	新橋2P天端	87.13	103.82	91.49	89.32	10.95	基準点
7	旧橋2P上流端	117.19	140.66	112.97	92.18	-	
8	新橋2P上流端	89.45	106.02	92.14	90.31	-	
9	旧橋1P上流端	75.83	140.17	161.50	28.42	-	
10	新橋1P上流端	49.23	106.30	140.52	27.40	-	

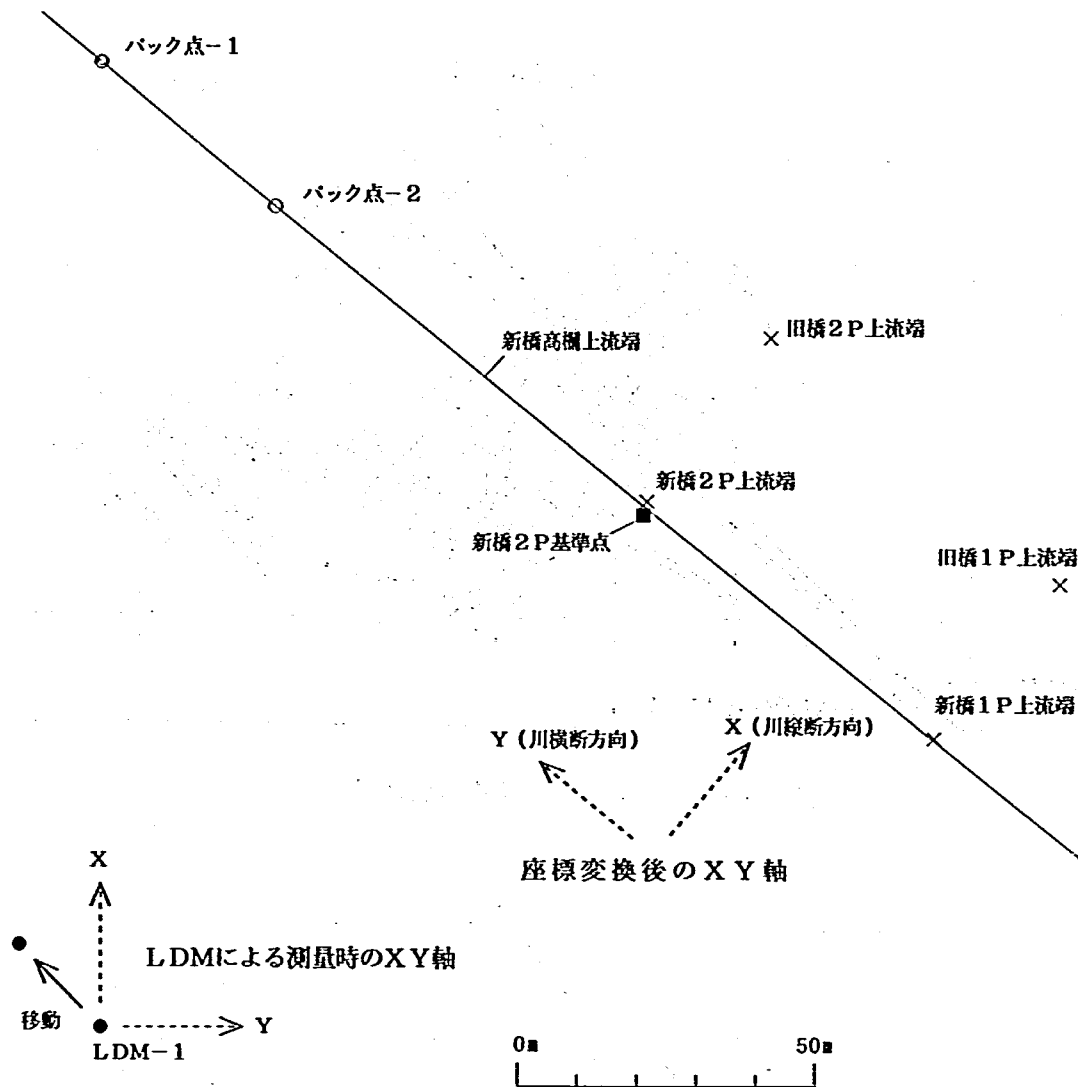


図-5・13 簡易測量の結果

2) 航行方式と測位結果

今回の実験では3種類の航行方式で行った。データの収録ソフト上で表示される航跡について、河川横断方向にRCボート航行させた場合を図-5・14、河川の縦断方向にRCボートを航行させた場合を図-5・15、そしてランダム方向に航行させた場合を図-5・16にそれぞれ示す。なお、今回使用した収録ソフトは1ファイル当たり約2,200個(約36分)までのデータしか収録できないという制約がある。河川横断方向の測定時、約2,500個のデータを取ったためファイルを2つに分けて収録した。図-5・14には、2ファイル目のデータは含まれていない。なお、各図に示した「対岸」は、RCボートの測定に失敗し対岸からの反射光を検出したものを示している。

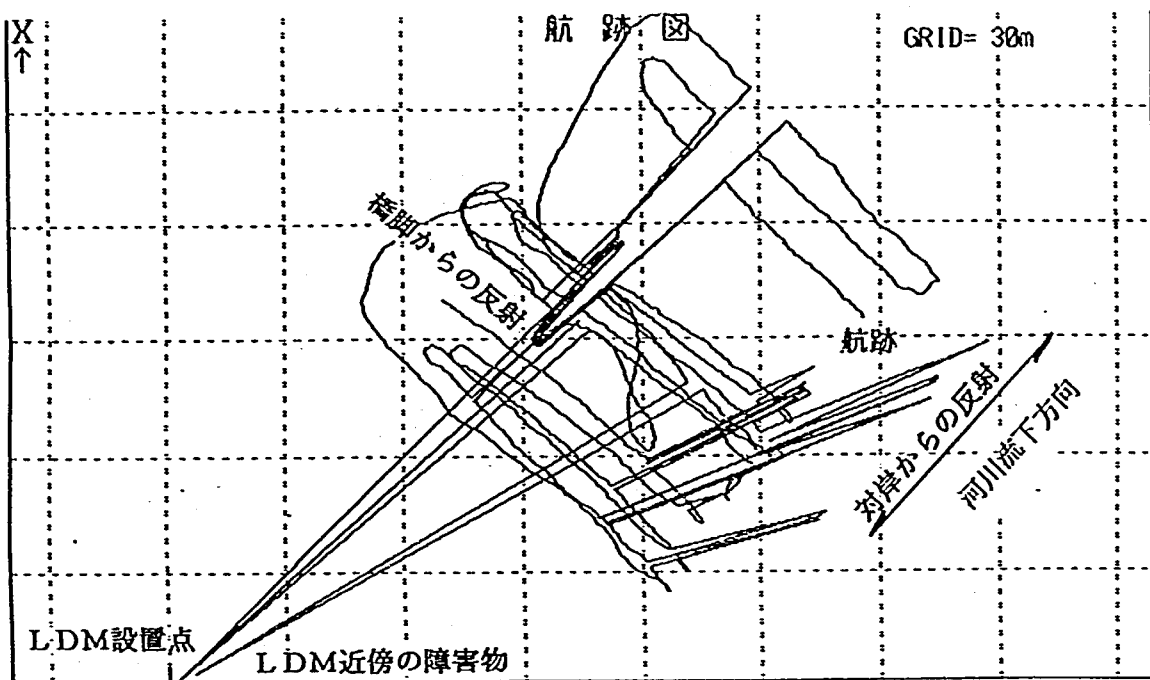


図-5・14 河川横断方向の航跡図

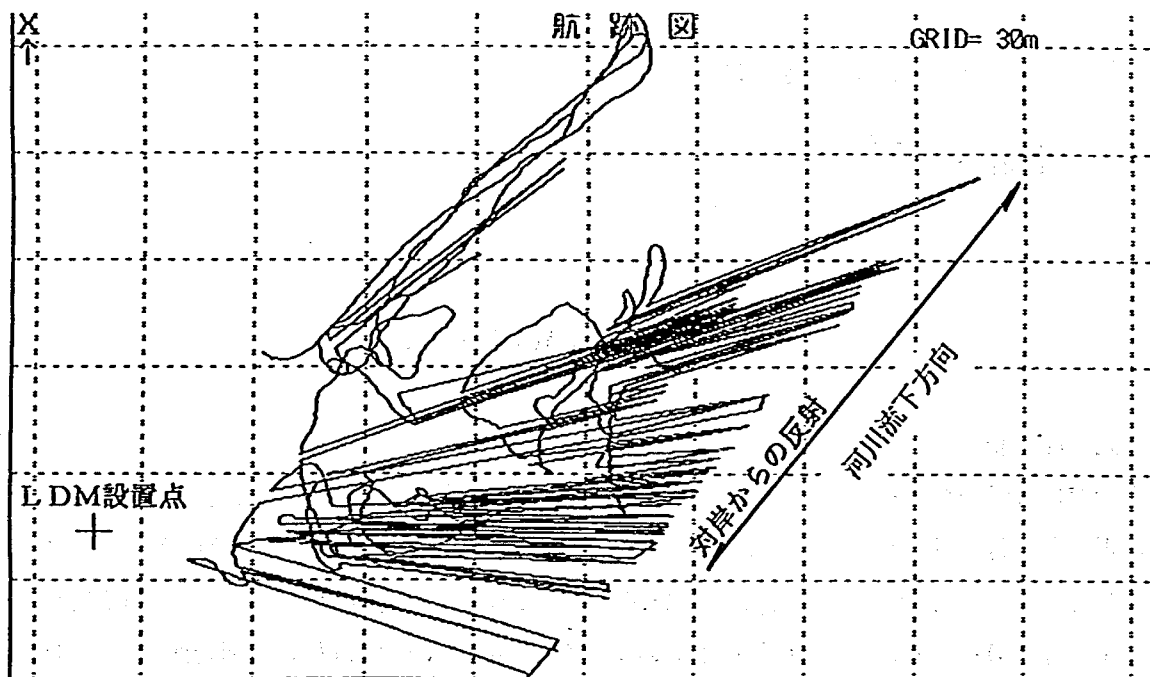


図-5・15 河川縦断方向の航跡図

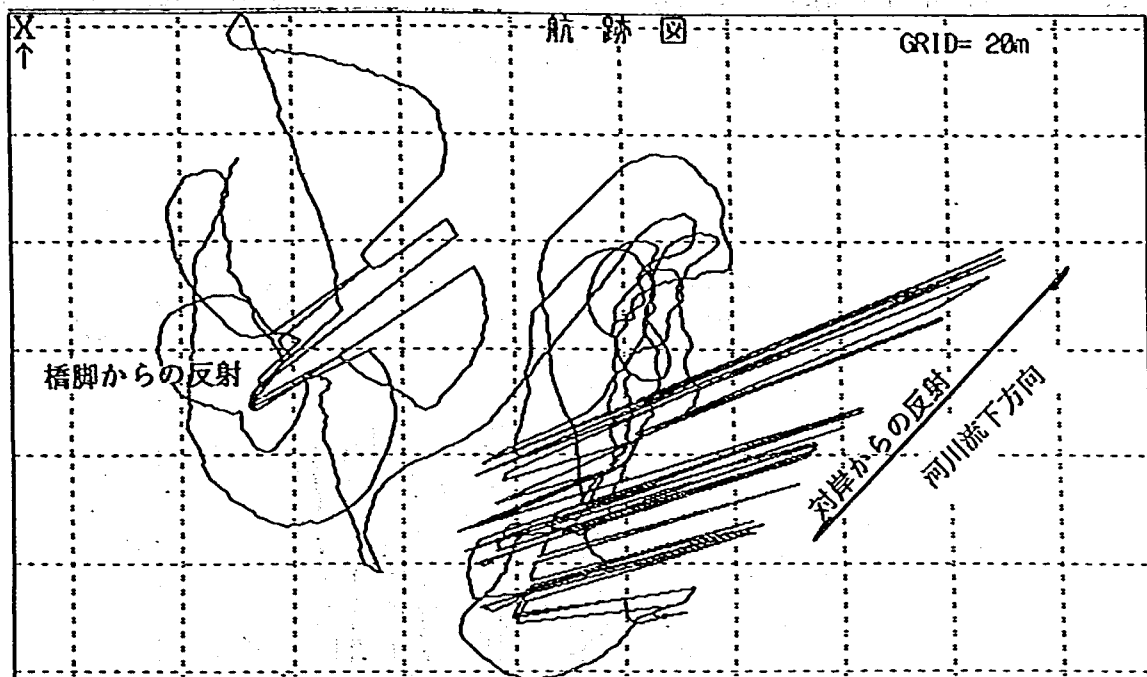


図-5・16 ランダム方向の航跡図

各航行方向別の航跡図を図-5・17～5・19に示す。データ収録ソフトでは航跡図の作図幅が自動的に設定されてしまうため、橋脚の位置がわかりにくい。そこで、図化处理ソフトの座標回転機能により、全ての測定データを橋軸方向と一致するように回転させている。

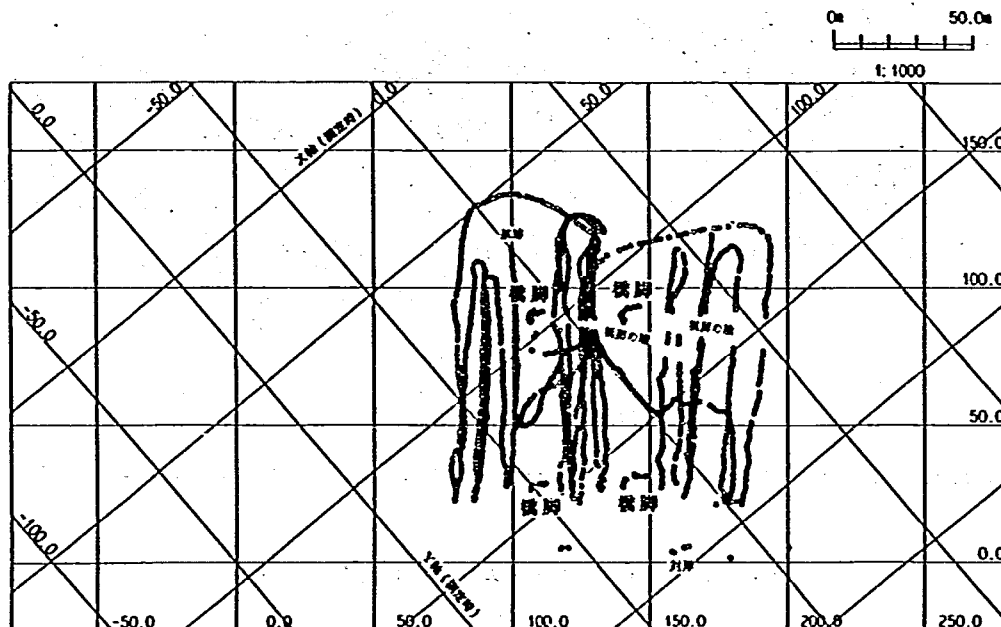


図-5・17 修正した河川横断方向の航跡図

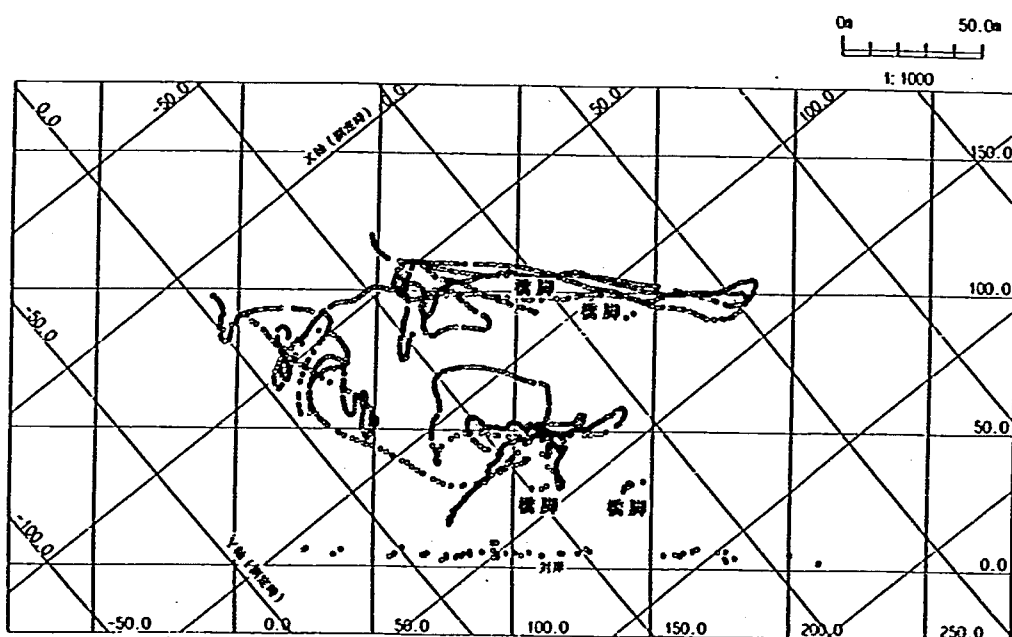


図-5・18 修正した河川縦断方向の航跡図

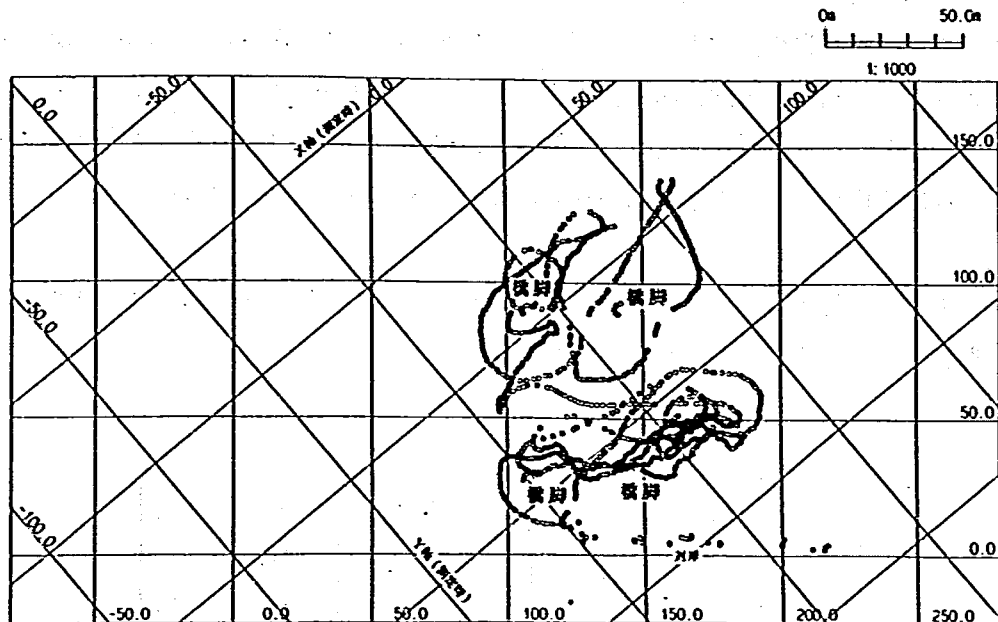


図-5・19 修正したランダム方向の航跡図

3種類の航行方式の中からRCボートの直進性を比較すると、最も精度よく操縦できたのは河川横断方向である。この方式では、ボートの進行が操縦者から見て一直線となり操縦しやすい。しかし、直進性を重視する結果、橋脚の近傍を航行させることは難しい。縦断方向に航行させる場合は、正確に誘導できるのは操縦者のごく近くの部分に限られ、遠くではほとんど不可能である。また、橋脚の近くを航行させることも、操縦者のごく近くの部分に限られる。これらのことから、操縦者がRCボートと調査区域および自分の位置を判断しながらRCボートを操縦するためには、「自分から対岸方向」あるいは「対岸から自分の方向」に操縦する方法が容易に目標点を設定することができ、RCボートを適切に操縦することができると考えられる。

一方、「ランダムな方向」すなわちRCボートを橋脚に向かって速力を落としながら橋脚に接触させる方式では、概ねその目的に添った操縦（誘導）を行うことができたと評価することができる。しかし、この場合はボートの操縦や誘導が難しい。

今回の実験では、RCボートが橋脚周囲に沈設されているコンクリートブロックに漂着している流木にからまり航行不能になった。したがって、他の橋脚の場合でも、橋脚に沿わせて航行させるときには、操縦に細心の注意が必要である。

RCボートの測位（追跡）エラーの状況を表-5・2に示す。橋梁から離れた場所にLDMを設置しRCボートを追跡する場合、LDMの操縦者がRCボートの動き（操縦者の意図）を予測しながら追跡しなければならない。その結果、河川横断方向、河川縦断方向、ランダム方向の順に測位エラーが高くなっているのが判る。RCボートをLDMで追跡する場合、横断方向の航行ではLDMの追跡の動きはほぼ水平方向のみに限定されるが、縦断方向になると水平方向の動きに加え上下方向の動きも加わるため、ボートの追跡が難しくなる。

さらに、ランダム方向で航行するには、追跡の難しさに加えて、RCボートの動き（操縦者の意図）の予測がつかないことも影響していると考えられる。

表-5・2 航行方式と測位エラー

航行方式	測定点	測位エラー		使用可能点数	
		点数	%	点数	%
横断方向	2,440	10	0.4	2,430	99.6
縦断方向	1,571	55	3.5	1,516	96.5
ランダム方向	1,440	100	6.9	1,340	93.1
(合計)	5,451	165	3.0	5,286	97.0

3) 航行方式と伝送エラー

RCボートから転送された水深データの欠落状況を表-5・3にまとめた。表より、約90%の水深のデータが欠落しているのが認められる。この原因は、パソコンおよびデータ収集装置の外部電源として、発動発電機による100Vを使用したために、発電機からのノイズが混入したり電圧が変動するために生じたものと考えられる。笹目橋の実験では約3%の欠落であったが、外部電源として蓄電池の12Vを使用しており、ノイズの混入や電圧の変動が少なかったためと考えられる。

航行方法によるデータの転送率を見ると、河川横断方向と縦断方向のエラー率がほぼ同じであるのに対し、ランダム方向のエラー率が極端に大きくなっている。この理由として、ランダム方式のみが橋脚に接近させる航行を行ったことにより、電波が橋脚の陰に入ったためではないかと考えられる。

なお、欠落の主原因である電源ノイズに対しては、データ収集ソフトを改良することで、対応が可能であり、実験後ソフトの改良を行った。

表-5・3 航行方式と伝送エラー

航行方式	測定点	電送エラー		使用可能点数	
		点数	%	点数	%
横断方向	2,440	2,147	88.0	293	12.0
縦断方向	1,571	1,392	88.6	179	11.4
ランダム方向	1,440	1,359	94.4	81	5.6
(合計)	5,451	4,898	89.9	553	10.1

4) RCボートの制御電波

前回の実験では、RCボートの制御電波の信頼性に問題があった。今回の実験でも同じような状況が発生したので検証を行ったところ、メインとサブで構成されている2台のラジオコントロール装置から発信される電波の相互干渉によるものと判明した。サブの装置を撤去して操縦したところ、制御不能の状態が解消された。

5) 河床形状の計測結果

水深データの転送時、電源ノイズによるエラーが発生したため、使用できたのは 551個であった。しかし、このデータ数で調査範囲をカバーすることができたので図化处理を行った。

河床形状の2次元コンター図(平面図)を図-5・20に、3次元コンター図を図-5・21に、旧橋橋軸線上の河床断面図を図-5・22に示す。図-5・21と5・22は、測定結果をもとに橋脚の位置を擬似的に入れている。これらの成果から利根川橋の河床状況は以下のように考察される。

①新橋のP1とP2橋脚上流部に接する河床に洗掘箇所が検出された。その規模はP2のほうがP1より大きく、窪みも深い傾向にある。これに対して旧橋ではP1に接した河床に比較的小規模な洗掘箇所が検出されたが、P2では検出されなかった。

②P1とP2に挟まれた箇所にはみお筋の窪みは検出されなかった。当該範囲のみお筋は右岸側にあるものと推測されるが、測定データが得られなかったため確認できなかった。

なお、平成5年度に実施したパイロット調査による河床地形の調査結果と今回の実験結果を比較したが、ほぼ同じ結果となった。

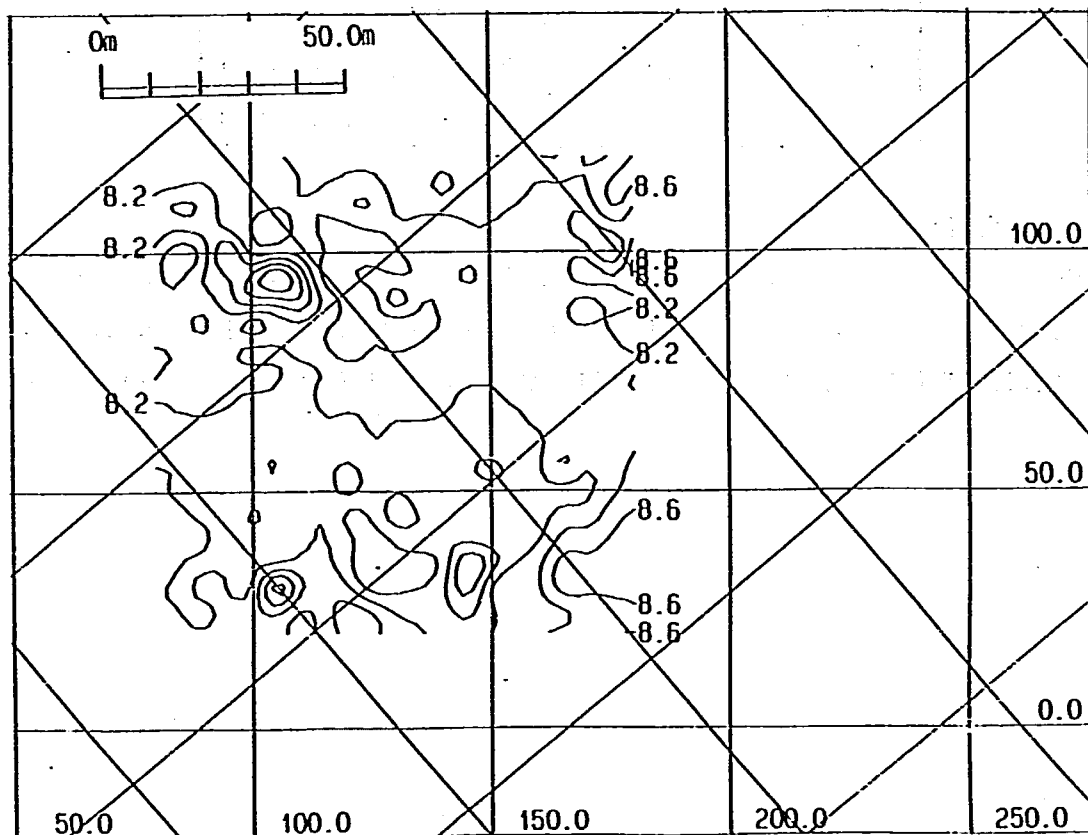


図-5・20 河床形状の2次元コンター図

RCボート・データ処理 <3D図化>

(C)'95 K.G.E.

RCボートによる洗掘調査手法の実証実験

R4号 利根川橋・同新橋(合成記録) [橋脚表示]

水平角: 60° 俯角: 20° 中心: -3 拡大: 2.0 縦/横比: 4.0

東西(X) 0.0m

南北(Y) 0.0m

標高(Z) 10.9m

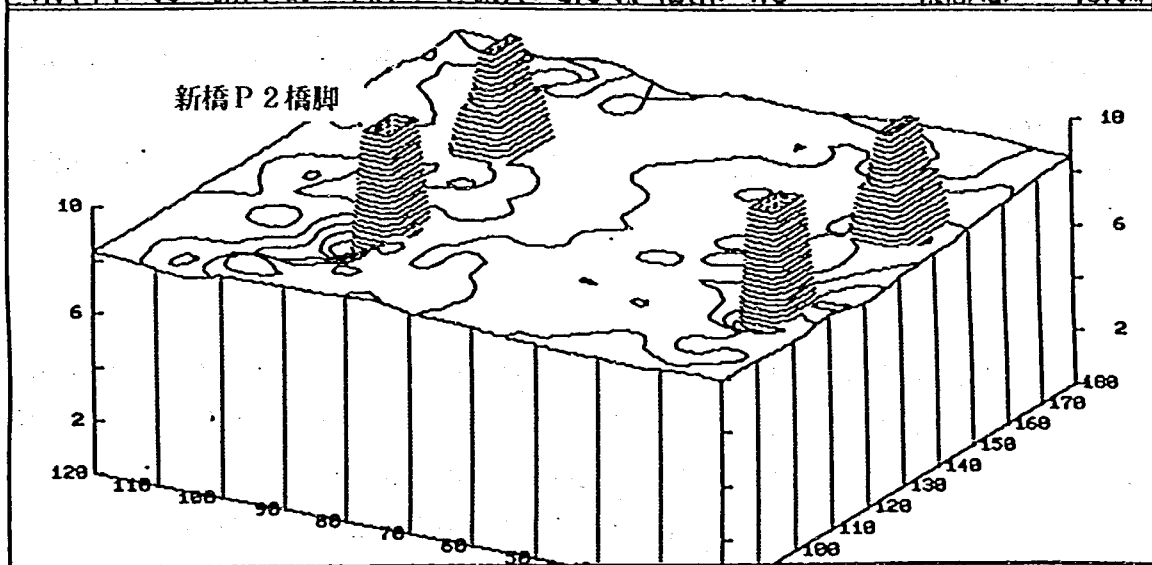


図-5・21 3次元コンター図

RCボート・データ処理 <断面図化>

メッシュ断面

(C)'95 K.G.E.

RCボートによる洗掘調査手法の実証実験

R4号 利根川橋・同新橋(合成記録) [橋脚表示]

断面位置: X= 106~ 106m Y= 20~ 120m

東西(X) 0.0m

南北(Y) 0.0m

標高(Z) 10.9m

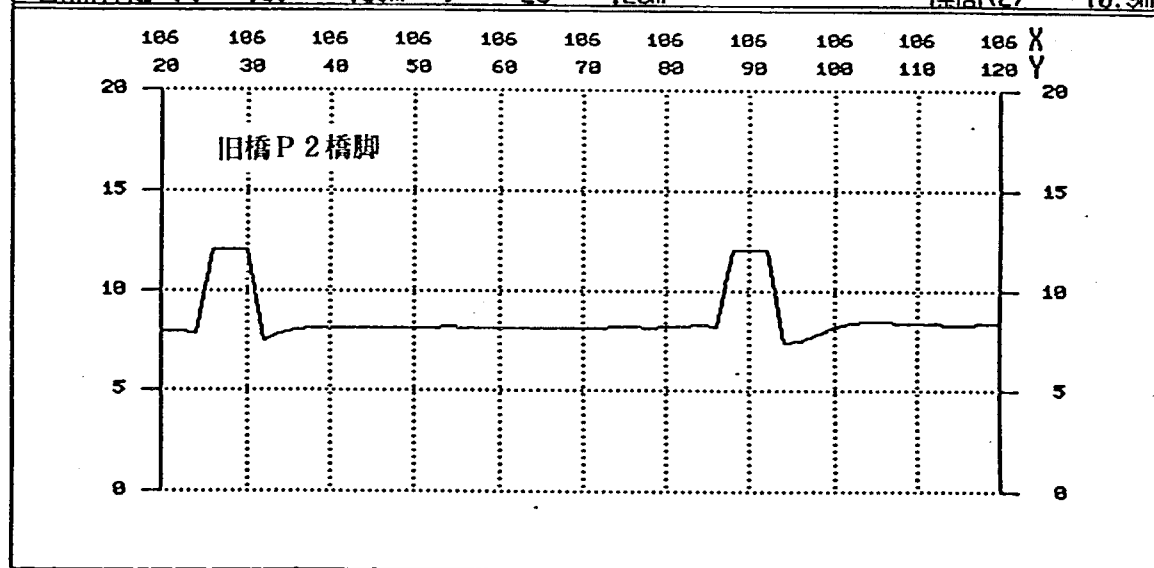


図-5・22 旧橋橋軸線上の河床断面図

5. 2. 5 まとめ

本実験のまとめとして、問題点と、その検討事項を以下にまとめる。

1) 測量結果

今回の実証実験では、天端の標高を基準点として使用する簡易測量システムを採用した。このため、河床標高は橋脚からの相対位置として表示したが、平成5年度の調査結果との比較から実用上、問題はないことが明らかになった。

また、測量成果については実用上問題ない精度が得られるため、RCボートによる洗掘調査手法の有効性は極めて高いといえる。

2) RCボートの航行方法について

RCボートの航行方法による測位エラーについて、LDMの追跡性から、横断方向、縦断方向、ランダム方向の順に追跡エラーが大きくなることが明らかになった。また、水深データの転送エラーは、横断方向と縦断方向ではほぼ同程度、ランダム方向の場合では多くなる傾向にあった。

これらのことから、RCボートの航行方法は河川横断方向に航行させる方法が最適である。一方、洗掘箇所が橋脚の周辺で発生している場合にはRCボートを橋脚に接して航行させる必要があるため、RCボートをランダム方向に航行せざるを得ない。しかし、ランダム方向の場合には追跡エラーと転送エラーの発生率が高くなる傾向があるので、データの質と量に留意する必要がある。

3) RCボートの制御

前回の実験で発生したボートの制御不能状態は、メインとサブで構成されている2台のラジオコントロール装置から発信される電波の相互干渉によるものである。したがって、ラジオコントロールは1台のコントロール装置で行うこととする。

5. 3 まとめ

ラジオコントロールボートを使用した手法の実証実験結果を以下のようにまとめる。

1) 適用性

橋梁周辺の河床の形状を迅速に調査する方法として、適していることが判明した。

特に橋脚と橋脚の間、橋脚と川岸の間にみお筋が発生しているような場合では、河床の形状を調査するのにすぐれた方法である。

2) RCボートの航行方法

作業能率やテレメータ電波のS/N比などから、RCボートを河川横断方向に誘導する方法が最も優れていることが判明した。

ただし、この方式では、後述するように橋脚に接近させづらいため、橋脚に接して航行することができるランダム方向の誘導と組み合わせる必要がある。

3) 事前測量

笹目橋における実証実験では、実験に先立って基準点測量を実施したが、利根川橋における実証実験では、RCボートを追跡するLDMを使用して簡易測量を行った。

両者の計測成果を比較した結果、簡易測量でも河床の標高や橋脚の位置等を精度良く計測できることが明らかになった。従って、今後基準点測量を行う必要はない。

4) RCボート

現状のRCボート（いしずえⅠ号）は、その推進方式から橋脚に接近させることが難しい上に、障害物を回避するための後進運転ができない。

従って、橋脚のそばにみお筋が発生している場合では、その正確な位置や水深を調査することができない恐れがあるため、別な推進方式に変更する必要がある。

5) テレメータ

デジタル水深データを送受信するテレメータで、受信機とパソコンを連結する外部インターフェイスユニットに発電機によるAC-100Vを使用すると、ノイズが混入してS/N比が悪くなることが判明した。

そのため、ソフトの改良を行いノイズ対策を施しているが、より完全を期するためには電源にDC-12Vを使用することが望ましい。

6) RCボートの制御

当初、2台のコントロール装置を使用して誘導を行っていたが、電波干渉が発生して制御不能になることがしばしばあった。

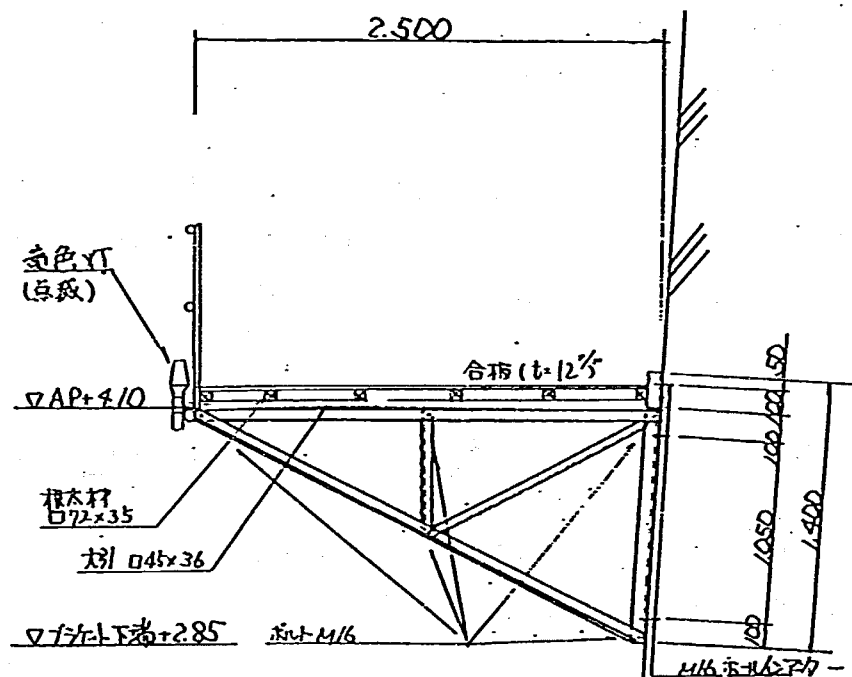
そのため2台使用していたコントロール装置を1台にしてからは、このようなことがなくなったため、今後は1ユニットで制御・誘導することにした。

笹目橋において、カラーイメージングソナー、水中カメラ、地下レーダーそして、スウェーデン式サウンディングの4手法の適用性試験を、水郷大橋で橋梁点検車を使用して、カラーイメージングソナー、水中カメラの実証実験を行った。

橋梁点検車が橋上で駐車することは、交通事情により困難であったため、橋梁点検車を想定した仮設足場を第1橋のP7橋脚の上下流側に設置して、選定した調査装置の適用性試験を実施した。

・足場からの適用性試験・・・・・・・・・・計測2日

足場組立用の吊り足場を橋脚上から設置し、作業船で運搬した資材によりブラケット足場（図－６・１）を上下流側の２箇所を設置した。足場の撤去についても逆の手順で作業を行った。なお、足場には測定用の開口部を合計12箇所設けた。



— 56 —

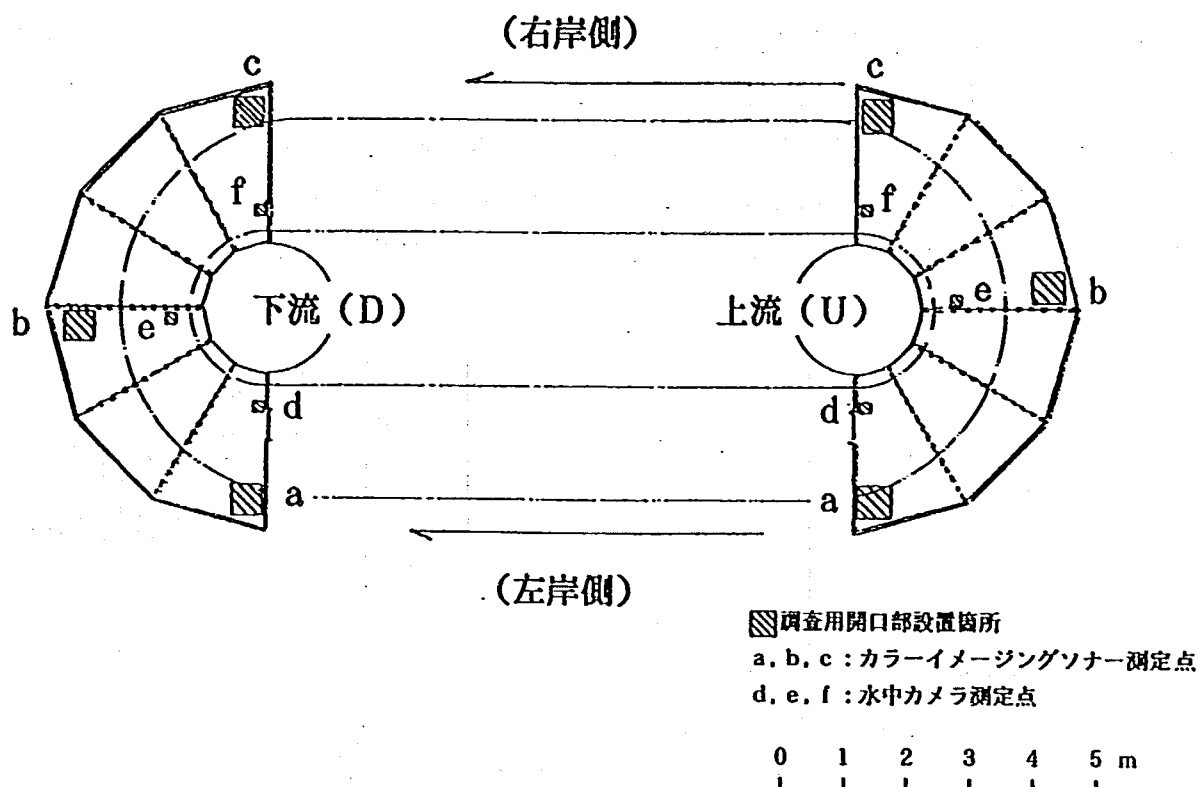


図-6・2 仮設足場の平面図

6. 1. 3 実証実験内容

カラーイメージングソナー、水中カメラ、地下レーダー、およびスウェーデン式サウンディングの4手法について洗掘に対する適用性試験を実施した。基本的には、仮設足場上から計測装置を降ろして実験を行ったが、地下レーダーだけはアンテナの形状寸法の制約上、欄干に固定する治具（4. 3. 2 5)参照)を使用して歩道上から実験を実施した。

1) 仮設足場上の測定点

図-6・2に示すように、橋脚の上流側、下流側の足場上に、a～c及びd～fの位置にセンサーを吊り下げるために開口部を設けた。

測点記号と調査手法の対応は以下のとおりである。

- ・ a, b, c : カラーイメージングソナー、スウェーデン式サウンディング用
- ・ d, e, f : 水中カメラ用

以後の表記で上流側の足場に設けた測点にはUを、下流側の足場に設けた測点にはDを付けるものとする。

2) カラーイメージングソナー

カラーイメージングソナーは、制御装置、出力画面などの装置一式を足場上に上げて、ロッドの先端に取り付けたトランスジューサーを水中に浸けて測定を行った。

カラーイメージングソナーの測定点、および測線配置図を図-6・3に示す。上下流の足場の測点a、b、cにおいて、橋軸方向、即ちa、cの場合は河川横断方向、bの場合は河川縦断方向に測定レンジ10mの測定を行った。(図上実線) その他これと直交する方向にレンジ50m又は100mで測定を行った。

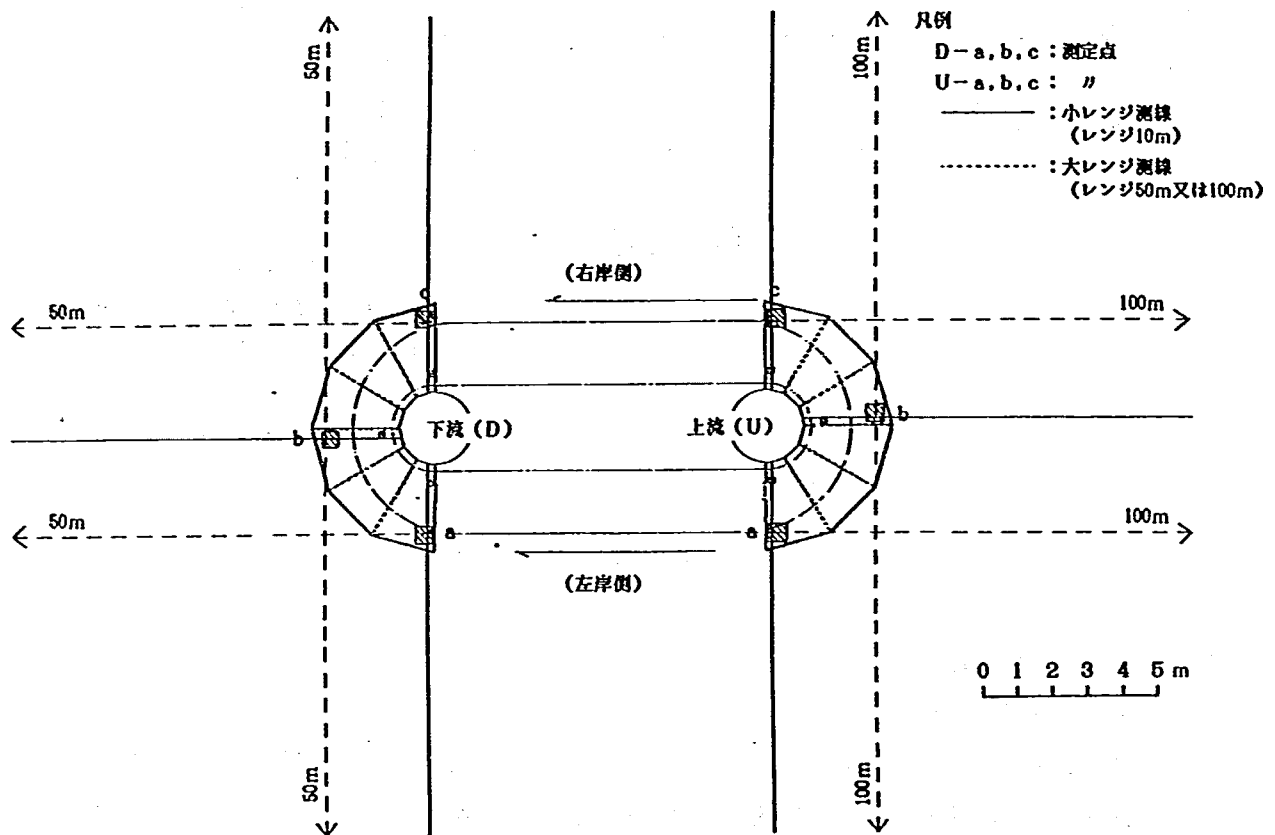


図-6・3 カラーイメージングソナーの測定点および測線配置図

3) 水中カメラ

水中カメラは、吊り下げ式とROV式の2機種（4. 3. 2 2)参照）を用いて調査を行った。両者とも計測装置一式を足場上に上げて調査を行った。吊り下げ式はロッドの先端にカメラを取り付けて、図-6・2のd、e、fの開口部からカメラを降ろして橋脚に近接させながら調査を行った。また、ROV式は、吊り下げ式の測定できない範囲をカバーするため、足場上からカメラ部分を降ろして任意の場所に移動させながら調査を行った。

4) 地下レーダー

本手法は、仮設足場上ではなく、笹目橋第1橋上流側歩道部で、右岸から60mの範囲でアンテナを移動させながら実験を行った。なお、アンテナは治具に固定し、図-6・4に示すようにアンテナを水面上に降ろした。そして、計測装置一式を台車に載せ治具と一緒に移動させながら測定を行った。

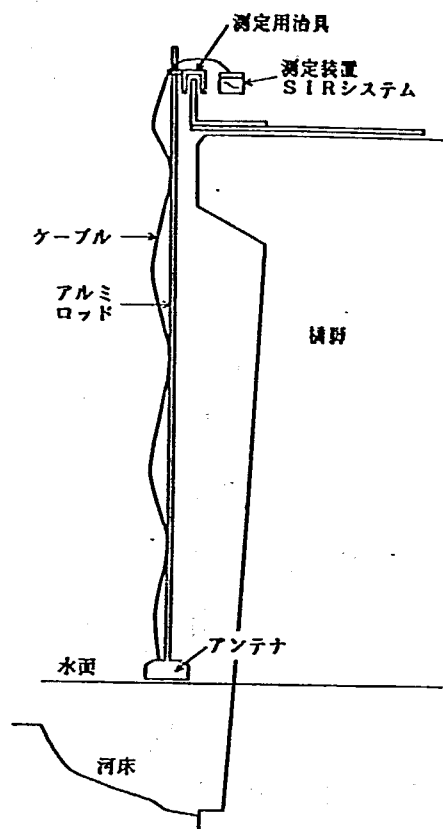


図-6・4 地下レーダーの測定状況

5) スウェーデン式サウンディング

図-6・2に示すa、b、cの6箇所開口部からロッドを降ろし実験を行った。

この試験では、通常100kgfの载荷重を用いて試験を行うことになっているが、ここでは50kgfの载荷重による貫入抵抗で測定した(4.3.2参照)。

スウェーデン式サウンディングの測定概念図を図-6・5に示す。仮設足場から河床までは13m程度の高さがあり、ロッドを継ぎ足しながらスクリーポイントが河床に接触するまで降ろした。その後、回転貫入させた。なお、開口部がロッド径より大きいため、角材を渡してそれを台代わり(図-4・17の④参照)にして実験を行った。

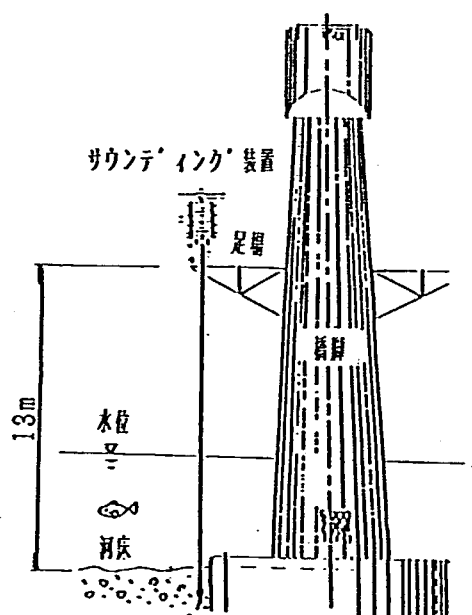


図-6・5 スウェーデン式サウンディングの測定概念図

6. 1. 4 測定結果

1) カラーイメージングソナー

写真-6・1に、カラーイメージングソナーの計測状況を示す。

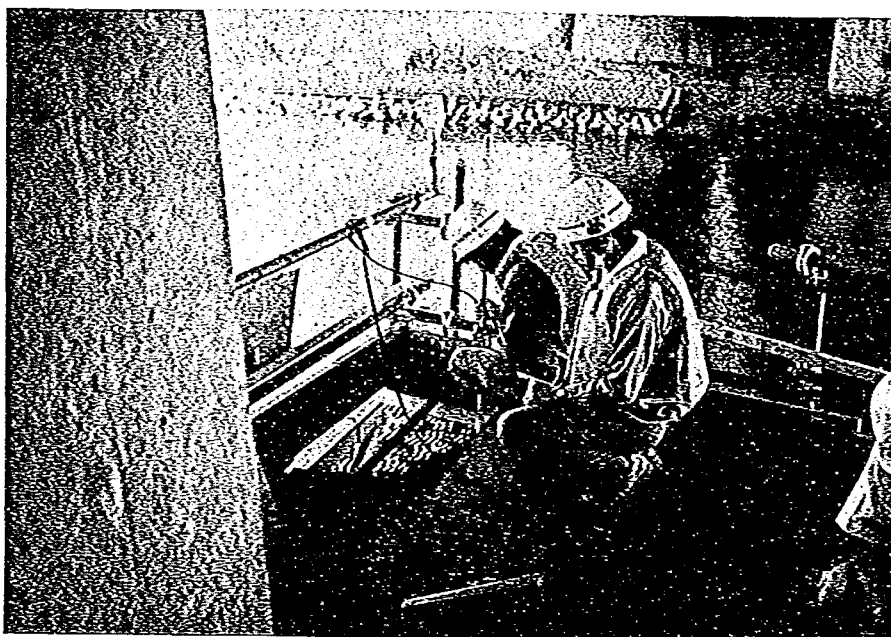


写真-6・1 カラーイメージングソナー計測状況

測定結果の例として、下流右岸側のc測点で橋脚近傍をレンジ10mで収録したものを図-6・6に、同じ場所での河川縦断方向にレンジ50mで収録したものを図-6・7に示す。図-6・6から橋脚近傍の洗掘状況が認められる。また、図-6・7から河床断面の状況がわかる。カラーイメージングソナーの測定結果出力は河床断面図として得られるもので、記録紙上に、トランスジューサーの位置が○印で示される。測定に当たり、トランスジューサーの標高は測定足場を基準に、T.P. -3.1mとなるようにセットしたため、記録左上部に記されるmeter/divの値から河床面の深度を読み取ることができる。

そして、カラーイメージングソナーの10mレンジの記録を集約し、河床のコンター図としたものを図-6・8に示す。同図から上流側橋脚付近が深く洗掘され、洗掘されたみお筋が下流では左岸側に向かっている様子が分かる。同図をRCボートの測定結果である、図-6・8と比較すると、ほぼ同じような結果となっているが、細部は必ずしも一致していない。これは、主として両者の測定点間隔の違いに起因するものである。RCボートは橋脚近傍に近接して、データを多く測定していないためである。そのため、橋脚近傍の洗掘状況については、カラーイメージングソナーにより明確に捉えることができるといえる。

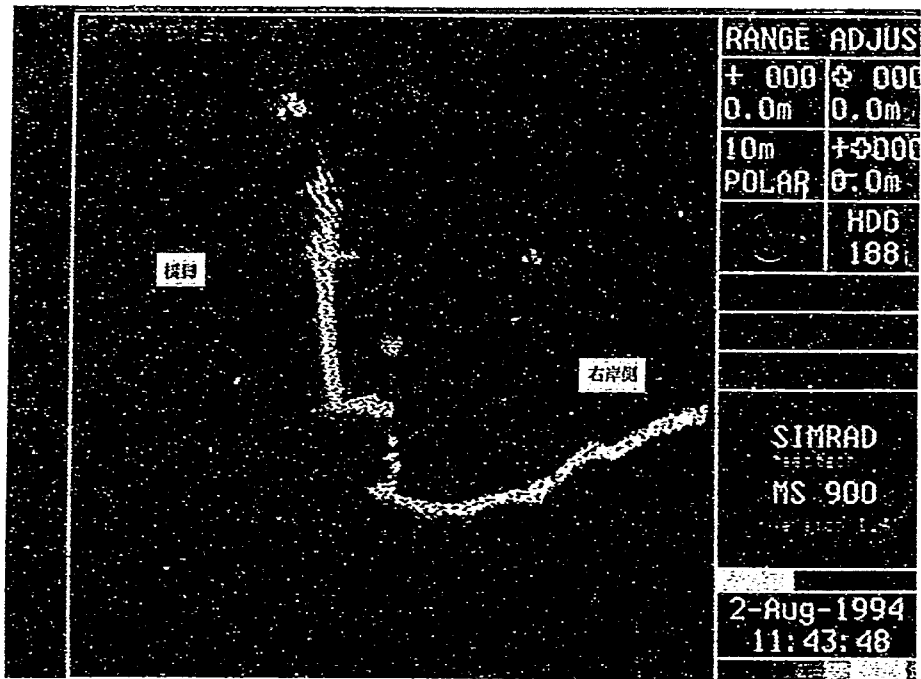


図-6・6 カラーイメージングソナーの測定結果 (10mレンジ)

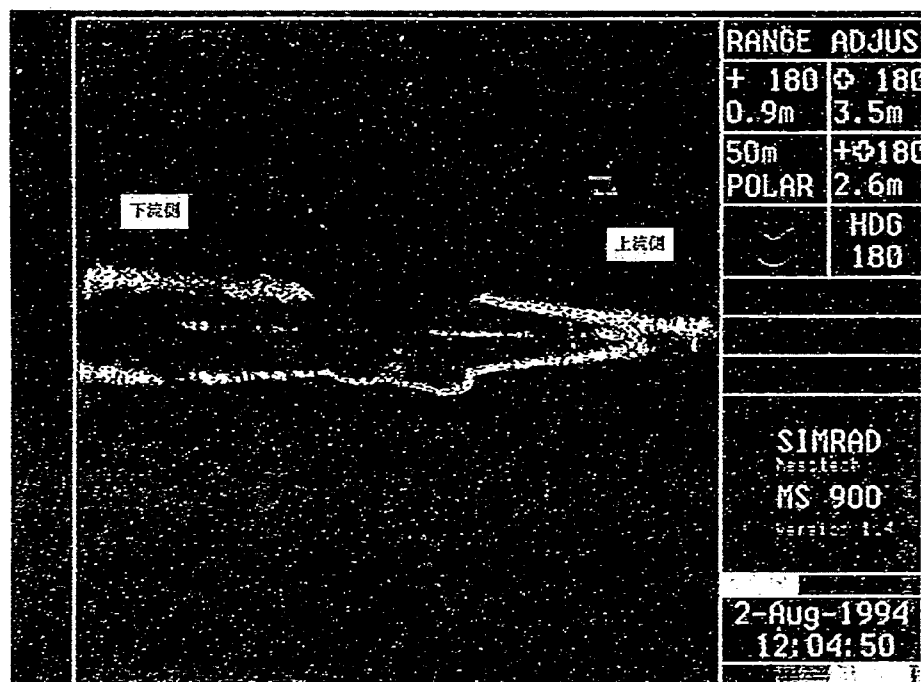


図-6・7 カラーイメージングソナーの測定結果 (50mレンジ)

写真-6・2に、水中カメラの測定状況、図-6・9には、測定記録とその解釈図を示す。

測定結果は、モニターに映し出すと共にVHSビデオテープに収録した。今回の実験で吊り下げ式とROV式の水中カメラを使用した。両者とも河川水の透明度が低いため鮮明な記録は得られなかったが、橋脚表面の状況を確認できた。コンクリート表面に大きな変状は認められず、橋脚は健全であることが確認された。

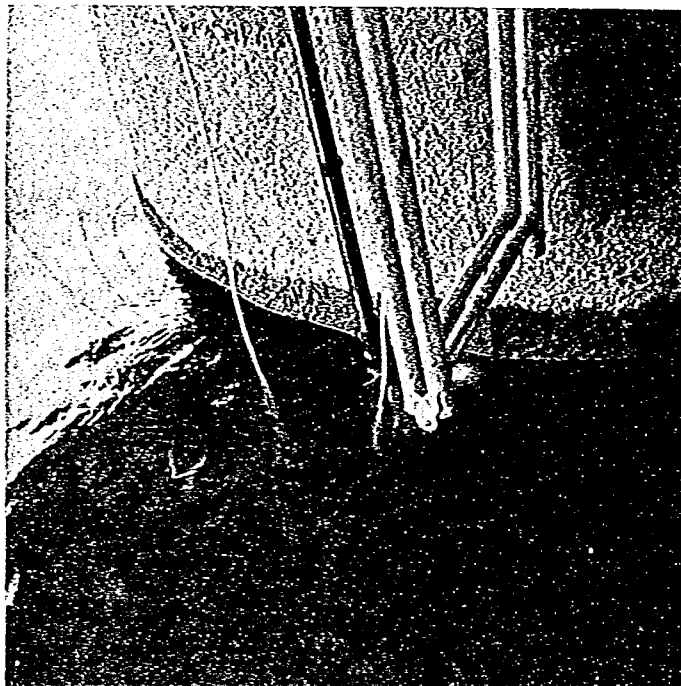
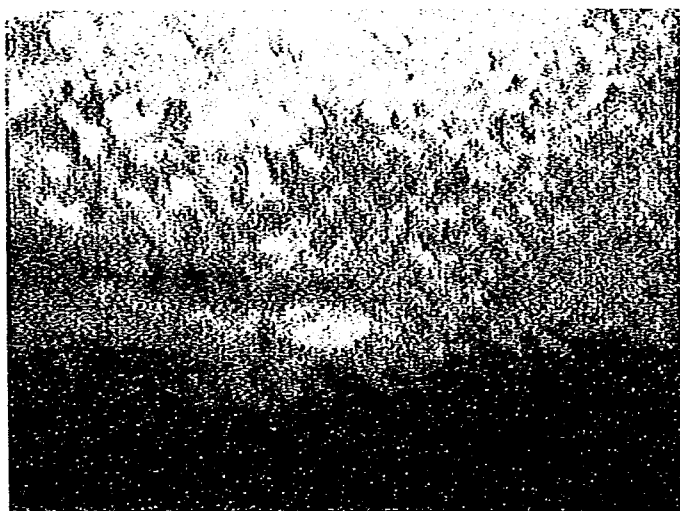


写真-6・2 水中カメラの測定状況



(測定記録)



(解釈図)

図-6・9 水中カメラによる橋脚撮影結果および解釈図

3) 地下レーダー

地下レーダーの測定状況を写真-6・3、得られた記録を図-6・10に示す。図中のaは水面、bは河床面を表す。河床面は水深1.5m付近までは検出されたが、それ以深の結果は検出されなかった。

一般に地下レーダーによる調査において、媒質（この場合は河川水）の比抵抗値（電気伝導度の逆数）が適用上、重要な要素となっており、比抵抗が低いと電磁波が減衰して測定不可能となる。今回、測定地点の比抵抗の測定結果は、 $22.50\Omega\cdot\text{m}$ とかなり低い値であり、今回の測定深度が1.5mまでに限定されたことを裏付けている。

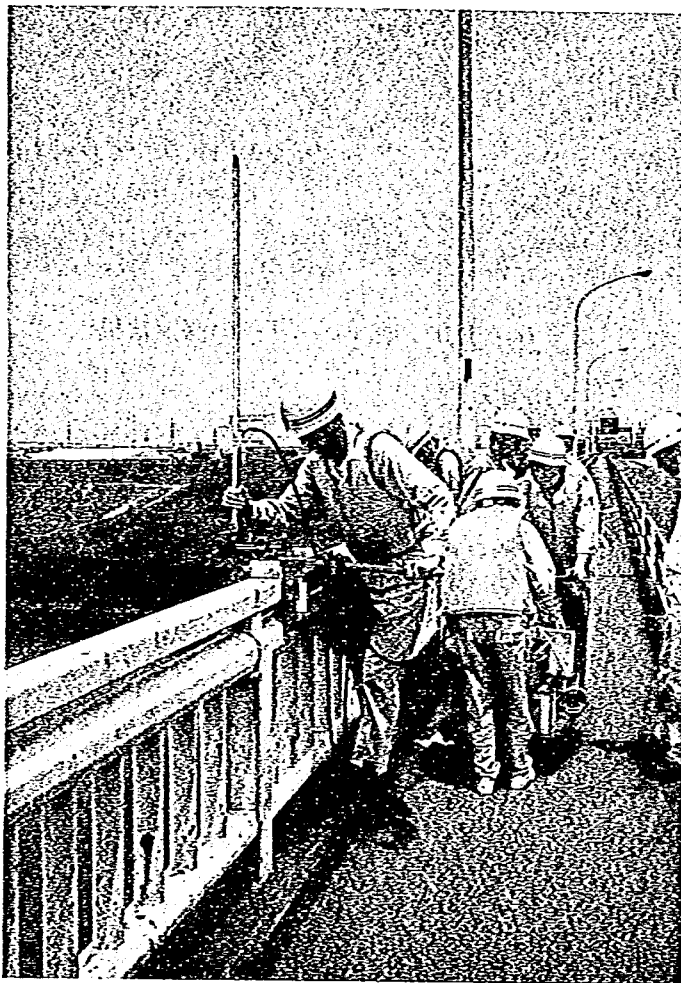


写真-6・3 測定状況

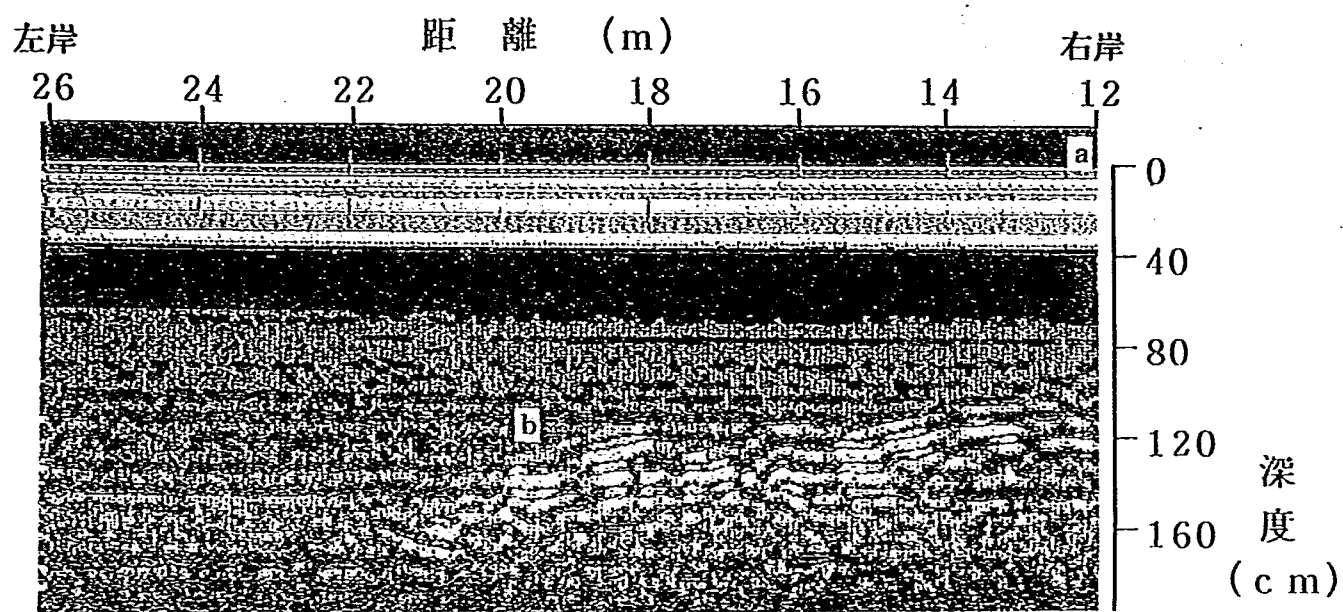


図-6・10 地下レーダーの測定結果

4) スウェーデン式サウンディング

写真-6・4に計測状況、表-6・1に測定結果を示す。調査深度は河床から5mの予定であったが、河川の流れとロッドの剛性が低く座屈を生じ易くなっていることから、河床面より最大30cm程度しか貫入できなかった。底質の判断はスクリーポイントに付着した試料、回転貫入時のハンドルの感触から判断した。

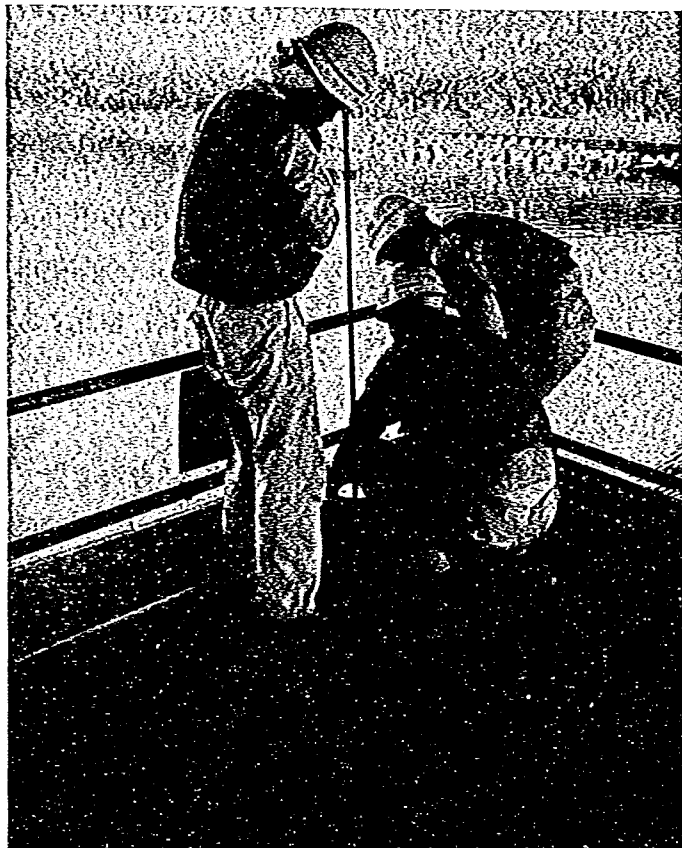


写真-6・4 計測状況

表-6・1 スウェーデン式サウンディング試験結果

測定位置	河床深度（足場より）	備 考
U-a	13.0m	河床より貫入不能 底質シルト
U-b	13.2m	" "
U-c	7.9m	" 底質細砂
D-a	13.5m	" 底質シルト
D-b	13.2m	" "
D-c	12.5m	" "

6. 1. 5 問題点および検討事項

本実験のまとめとして、各調査手法の問題点や検討事項を以下にまとめた。

1) カラーイメージングソナー

カラーイメージングソナーは、測線沿いの河床断面図が比較的容易に、しかも迅速に得られる。今回の実験によって、特に橋脚近傍の河床形状を測定するのに有効であることが確認された。

2) 水中カメラ

橋脚表面の状況を確認することができた。調査は水の濁度や暗さなど、水質によって大きく左右されるので適用について注意する必要がある。また、今回の実験ではROV方式の水中カメラを使用することができたが、水中で自由に移動するためには、装置の推力に大きく左右される。今回使用したROVでは、流速0.5m/s以下の流速かでしか使用できないため、使用に当たっては河川流速に留意する必要がある。

3) 地下レーダー

地下レーダによる洗掘調査において、河川水の比抵抗値が適用上重要な要素である。今回の測定箇所の比抵抗はかなり低く、深度1.5m以下の河床を探索することはできなかった。地下レーダーの適用に当たっては、河川水の比抵抗に特に注意しなければならない。

4) スウェーデン式サウンディング

ロッドの剛性、特にねじ継ぎ手の部分の剛性が低く、ロッド長が7m以上になると河川流水によって流され、ロッドが座屈しやすく回転貫入が困難になる。これに対処するためには、太径のロッドやケーシングの採用など装置の改良を行わなければならない。しかし、橋梁点検車での使用を考えると、歩廊の積載重量に制約があるため、対策案が現実的に可能か検討が必要である。

6. 2 土木研究所内橋梁における慣熟訓練

水郷大橋での橋梁点検車を使用した実証実験を行う前に、橋梁点検車を土木研究所内の橋梁に設置し慣熟訓練を行った。

6. 2. 1 実験の実施

実験は以下の工程で実施した。

・慣熟訓練・・・・・・・・・・・・・1日

6. 2. 2 慣熟訓練の内容

土木研究所内の橋梁に橋梁点検車を設置し、作業歩廊を展開して以下の4手法の慣熟訓練を行い、橋梁点検車上の作業における適用性や、問題点などを抽出した。

- ・カラーイメージングソナー
- ・水中カメラ
- ・地下レーダー
- ・スウェーデン式サウンディング

各種法につき、橋梁点検車を用いた作業を模擬的に行い、適用性、適用上の問題点を把握し、実橋梁における測定に備えた。

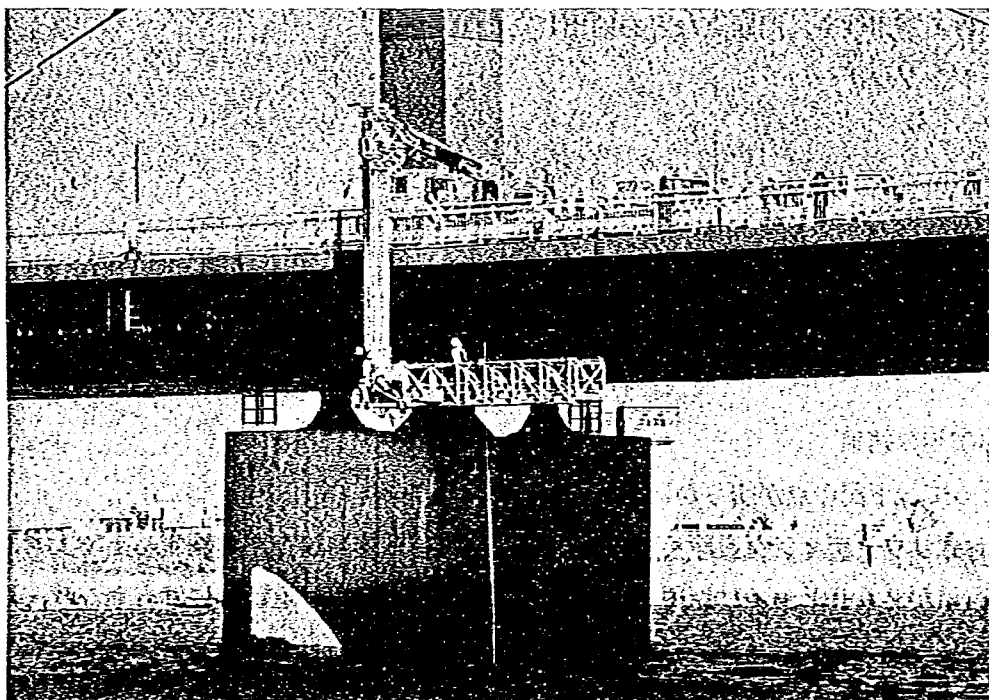
6. 2. 3 慣熟訓練の結果

本慣熟訓練によって、下記の点が明らかになった。

- ① スウェーデン式サウンディングを除く各手法とも、歩廊から洗掘調査を実施する上で大きな障害は無い。
- ② 歩廊の積載荷重が200kgfに制限されているため、測定装置は道路上に置きセンサー類とその操作者のみ歩廊上に置く方法が良い。
- ③ スウェーデン式サウンディングは先に述べたように、歩廊の積載荷重の制限があるため、現状の点検車を使用する限り適用は困難である。

6. 3 水郷大橋における実証実験

写真－6・5に調査状況を示す。笹目橋での適用性試験の結果を基に、橋梁点検車を使用して洗掘調査手法の検証を行った。時間に制約があるため主塔基礎のP 2 橋脚を対象とし、笹目橋の調査で良好な結果を得たカラーイメージングソナーと水中カメラの2手法により実験を行った。



写真－6・5 調査状況

6. 3. 1 実験の実施

実験は以下の工程で実施した。

・実証実験・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1日

6. 3. 2 実証実験内容

1) 橋梁点検車

今回の実証実験では歩廊式の橋梁点検車を使用した。図-6・11に橋梁点検車を示す。なお、本橋梁点検車の積載荷重は200kgfの制限があるため、作業荷重を作業員2名と計測機器とを合わせて、150kgf以下に抑えた。

2) 車線規制

今回の実証実験では、図-6・11に示すように、国道51号線の下り線1車線を規制して調査を実施した。作業方法は以下のとおりである。

- ①点検車の移動範囲で手前の測定点No. 3を基準としてその手前50mに標識車を駐車させ、車線規制を明示する。
- ②標識車から点検車の移動範囲を含めてカラーコーン置き、バリアーを構築する。
- ③テーバーの先端部と橋梁点検車の近傍に各1名のガードマンを配置し、第3者の安全を確保する。

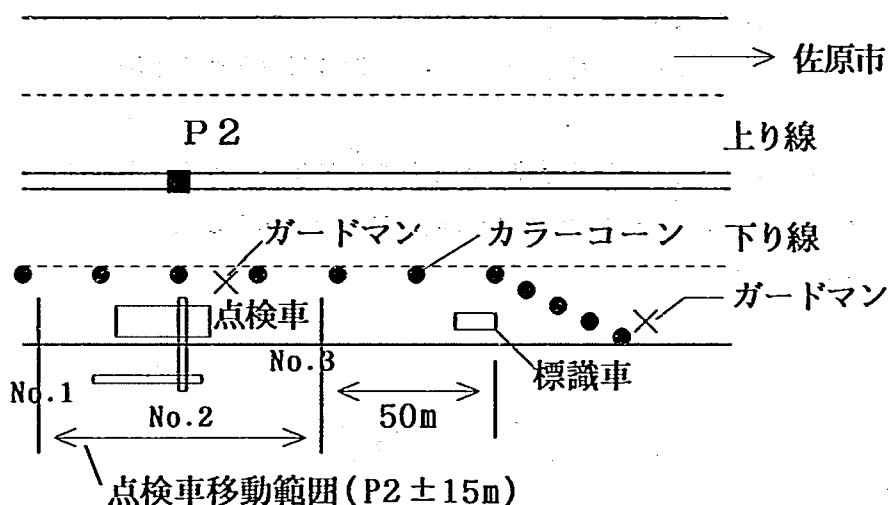


図-6・11 調査測点および車線規制状況

3) 橋梁点検車の展開、撤収

図-6・11に示すように、橋梁点検車を上流側のP2橋脚及びこれを中心に左岸側、右岸側それぞれ15m離れた2測点 (No. 1, No. 2, No. 3) の計3箇所に停車し、作業歩廊を展開した。

橋梁点検車は、左側車線端に停車してアウトリガーで車体を固定した後に、歩廊を高欄の高さまで降ろして作業員および測定機材を乗せて橋梁下に展開して調査を行った。調査終了後は、その逆の手順で撤収し、次の測点に移動した。

4) 作業スケジュール

- ・ 10:00～10:30 橋梁点検車停車、車線規制開始
- ・ 10:30～11:30 No. 1 地点へ移動、 カラーイメージングソナー測定
- ・ 11:30～12:30 No. 2 地点(P 2 橋脚)、水中カメラ測定
- ・ 12:30～13:30 No. 3 地点へ移動、 カラーイメージングソナー測定
- ・ 13:30～ 撤収作業、橋梁点検車出発、規制解除

5) カラーイメージングソナーによる測定

カラーイメージングソナーの測定は、橋脚の陰の影響を少なくするため橋脚から離して測定するのがよい
ため、図-6・11の測点No.1とNo.3に橋梁点検車を停車して測定を行った。測定方法は6.1.3 2)と
基本的には同じであるが、異なる点は以下のとおりである。

- ・ 計測機がMS-940に変わり、パソコン上で機器の操作が行える（笹目橋の時はMS-900を使用）。
- ・ トランスジューサーとその移動作業者2名（内、1名は歩廊操作兼務）を橋梁点検車に載せ、操作機器
や記録器などは橋上の乗用車に載せて測定を行った。
- ・ トランスジューサーはロッドに取り付け、作業歩廊の手摺に取り付けた測定用治具（4.3.2 5)参照）
に固定して水中に降ろした。
- ・ トランスジューサーの標高は、橋脚天端を基準に測定した作業歩廊の標高をもとに管理した。
- ・ 測線は30度毎を基本にし、適宜レンジを変えて橋脚近傍の状況を測定した。

測線の位置図を図-6・12に示す。

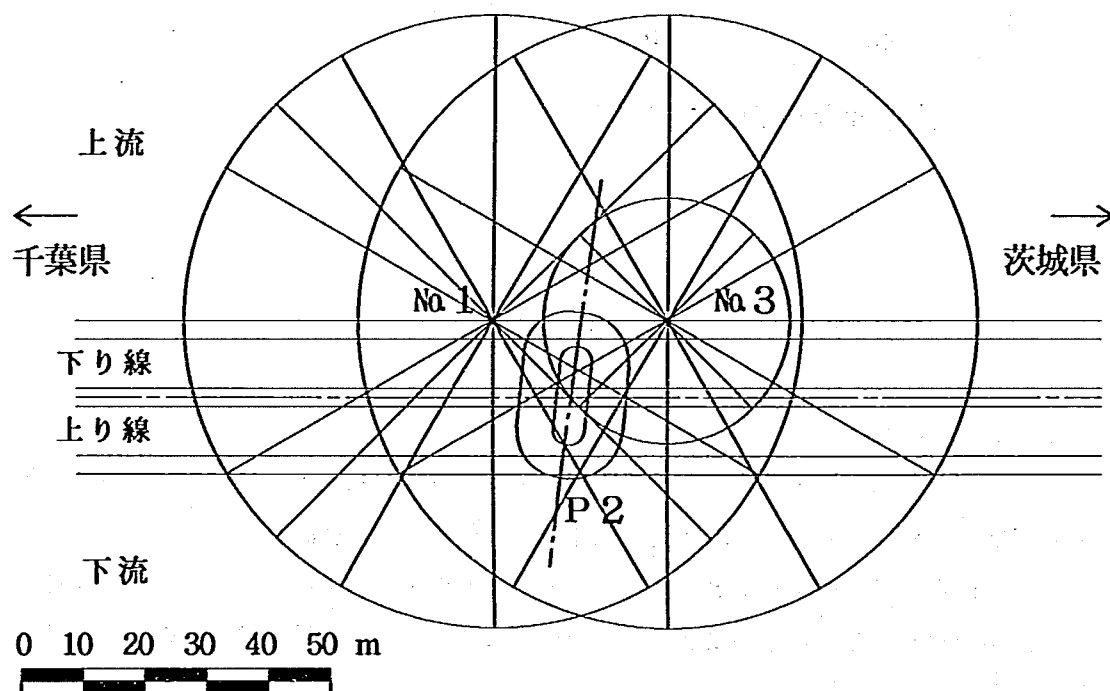


図-6・12 カラーイメージングソナーの測線位置図

6. 3. 3 実験結果

作業は、前述のスケジュールどおりに行われ、計測作業が迅速に行えることが確認された。

1) 橋梁点検車の展開、撤収

橋梁点検車が停車した後、展開に要する時間は作業員の搭乗や機器の積み込みも入れて約15分程度の時間を費やした。また、撤収についても同じ時間であった。

2) カラーイメージングソナー

各測定点におけるカラーイメージングソナーの測定位置、ならびにトランスジューサーの標高 (T. P. 表示) を表-6・2、各測定点における測線、および測定レンジを表-6・3に示す。

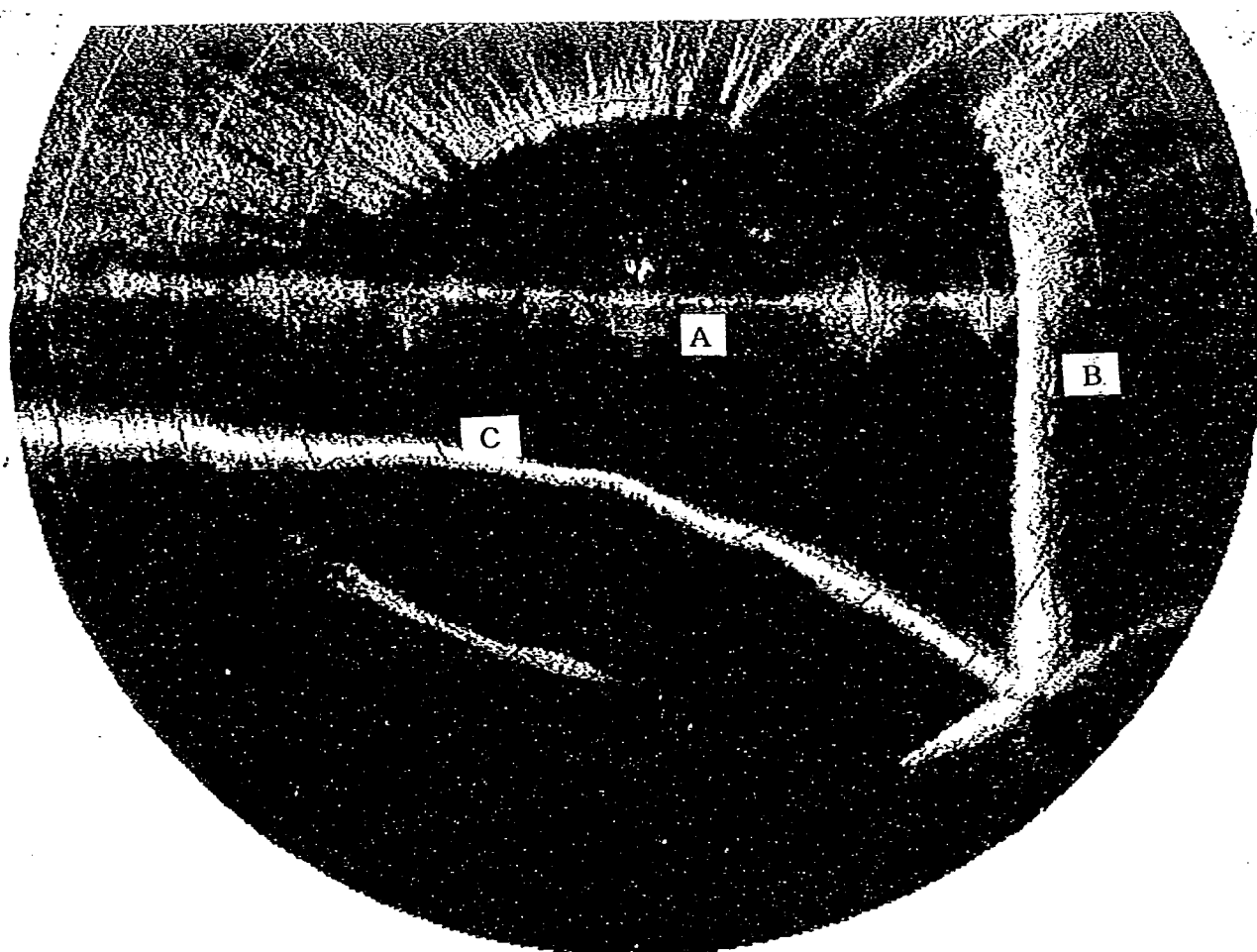
表-6・2 カラーイメージングソナー測定点位置および標高一覧表

測点名	測定点位置	トランスジューサー標高
No. 1	P2中心より左岸側へ 13.3m高欄直下	T. P. -1.01
No. 3	P2中心より右岸側へ 14.2m高欄直下	T. P. -0.97

表-6・3 各測点の測定レンジ一覧表

測線方向 \ 測点名	No. 1	No. 3
	測定レンジ (m)	測定レンジ (m)
左側 0°	30	50
左側 30°	50	50
左側 60°	50	50
左側 120°	50	50
左側 150°	50	50
右側 45°	50	20
右側 90°	50	20
右側 135°	50	20

各測線の測定結果のうち、No.1の右側135°の測定結果を図-6・13に示す。図中のAはトランスデューサーの位置を、Bは水位を、そしてCは河床面を示し測定レンジは外円となる。



←上流(右岸)

(左岸)下流→

地点名: No.1

センサー角度: 右135°

センサー標高: -0.97m
(高欄から -9.5m)

測定レンジ: 50m

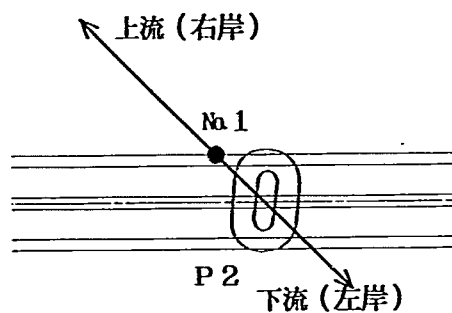


図-6・13 カラーイメージングソナー測定記録例

各測線の測定成果を集約して測深データをメッシュデータに変換し図化を行った、P2橋脚周辺の等高線を図-6・14に、RCボートの処理ソフトを利用して作成した立体図を図-6・15に、そしてP2橋脚の橋軸直角方向の断面図を図-6・16に示す。カラーイメージングソナーの多くの測線の結果を集約すれば橋脚周辺の河床形状を簡易に測定することが出来る。

本図より明らかなように、P2橋脚周辺に洗掘特有の河床形状を示している。つまり、上流側で等高線間隔が密であり、下流側に向かって尾を引くように多少荒くなっている。その範囲は上流側で橋脚壁面から約10m、下流側で約20mである。なお、橋脚前面の一番深い点はT.P. -12.0mであるが、ケーソンの天端はT.P. -13.34で、洗掘はケーソン天端まで達していないことが明らかになった。

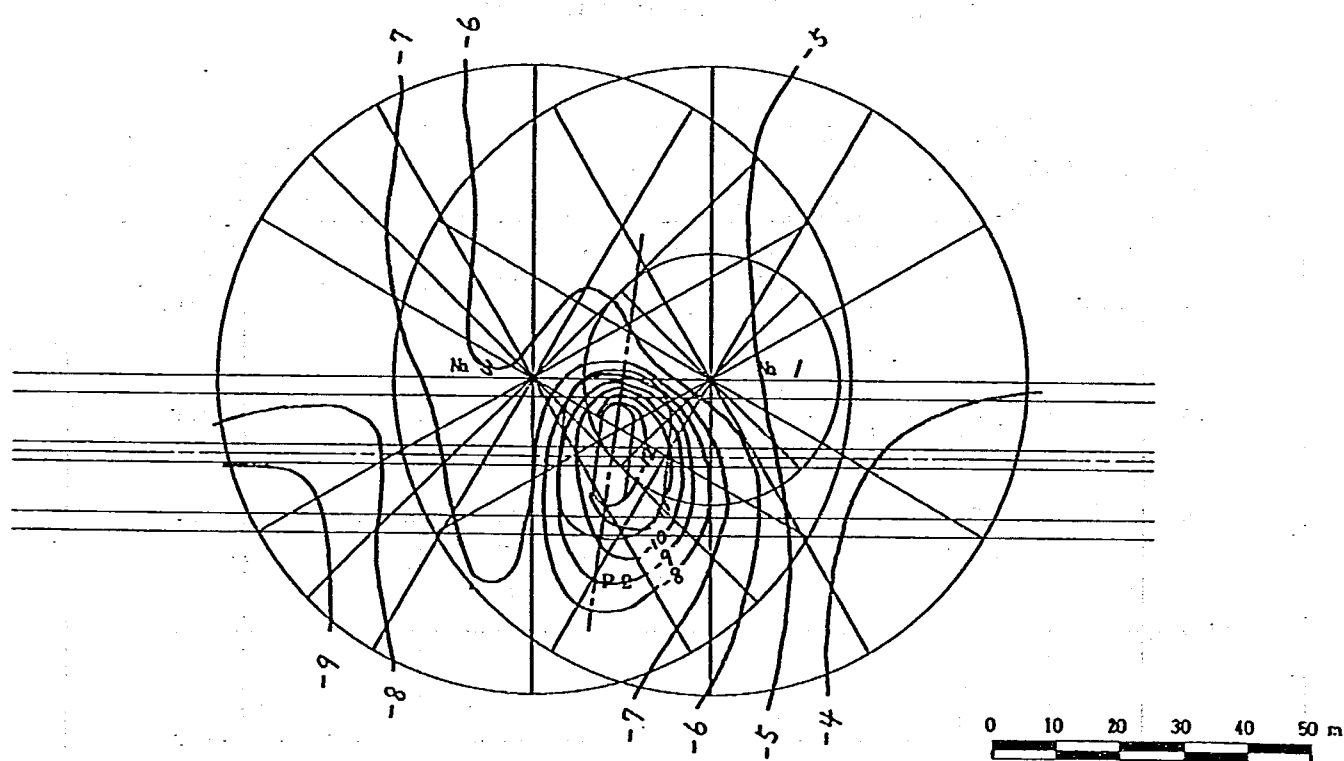


図-6・14 カラーイメージングソナーの測定結果による河床等高線図

RCボート・データ処理 <3D図化>

(C)'95 K. G. E.

橋梁点検車による洗掘調査手法の実証実験

R51号水郷大橋 カラーイメージングソナー

水平角:320° 俯角:25° 中心:-22 拡大:2.0 縦/横比:2.0

東西 (X)	0.0m
南北 (Y)	0.0m
標高 (Z)	0.0m

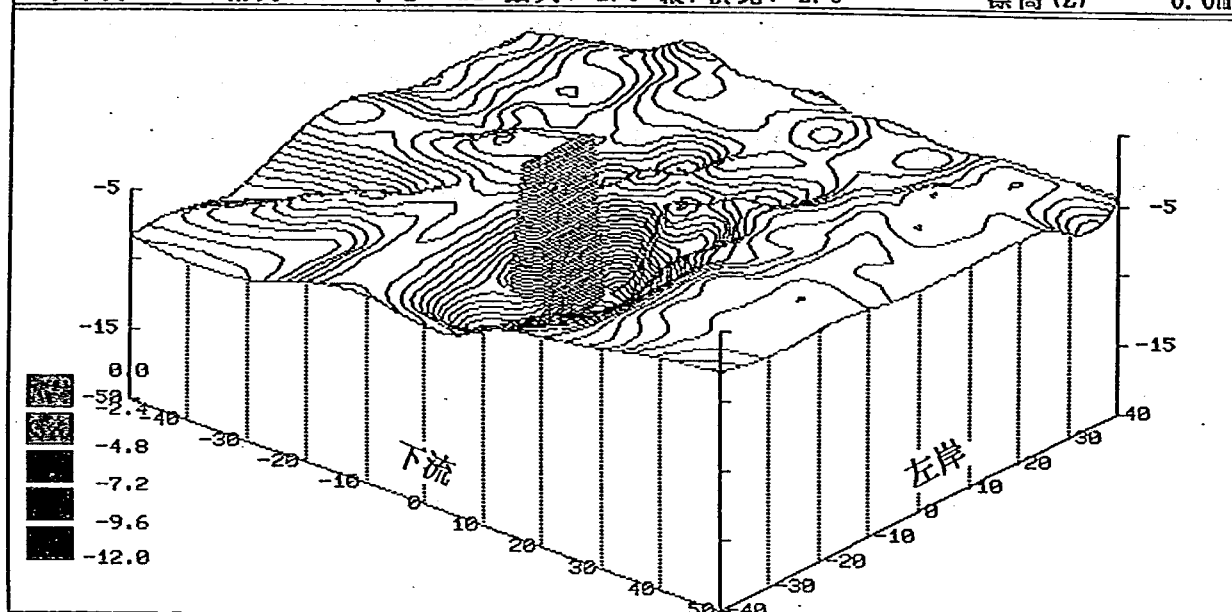


図-6・15 P2橋脚周辺の3次元立体図

RCボート・データ処理 <断面図化>

(C)'95 K. G. E.

橋梁点検車による洗掘調査手法の実証実験

R51号水郷大橋 カラーイメージングソナー

断面位置: X= 50 ~ -50m Y= -10 ~ -10m

東西 (X)	0.0m
南北 (Y)	0.0m
標高 (Z)	0.0m

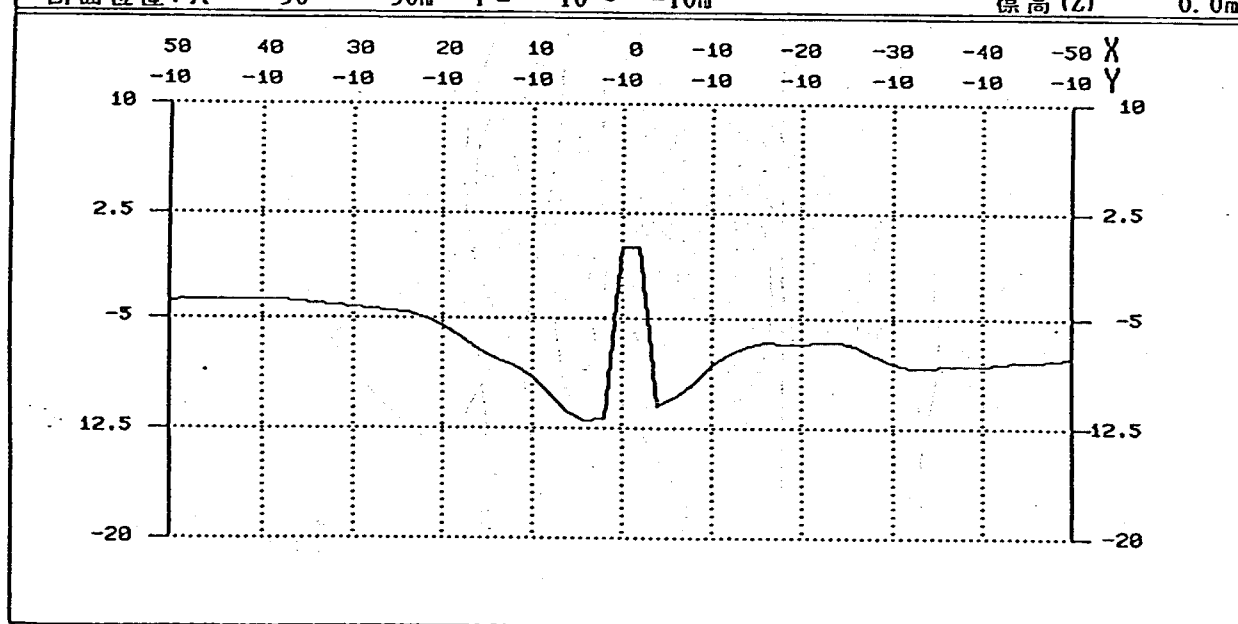


図-6・16 P2橋脚橋軸直角方向の断面図

3) 水中カメラ

水中カメラによる橋脚壁面の調査は、測定前日の降雨の影響により河川水の濁度が上がっており、わずかに水面から1～2m付近までの壁面を捉えることができれば、調査が困難を究めた。測定記録は良い映像が得られなかったもので、記載を省略する。

6. 3. 4 まとめ

本実験のまとめとして、問題点や検討事項を以下にまとめた。

1) 橋梁点検車による調査

計測機器の配置を工夫して作業歩廊上の作業荷重を150kgfに抑えて調査を行った。所定のスケジュール内に各調査手法による洗掘調査を行えることが可能であることが確認された。橋梁点検車の作業歩廊上の荷重制限が150kgf以上であれば、今回の調査手法を用いた洗掘調査は可能である。

2) カラーイメージングソナー

カラーイメージングソナーは、河床断面図が比較的容易に、しかも迅速に得られる。今回の実験によって、特に橋脚近傍の河床地形を計測するのに有効であることが確認された。また、橋梁点検車に限らず、ロッドを固定する治具を歩道の高欄に固定し、今回と同じ方法で測定すれば歩道上から河床形状の測定を行うことも十分可能である。

3) 水中カメラ

今回の実験では、水の濁度により橋脚表面の観察が困難を極めた。しかし、笹目橋の実験結果から水位部の状況を確認する有効な手段であることが明らかになっているので、降雨後の増水時を避け濁度の少ない時に実施することが必要である。

6. 4 まとめ

笹目橋、および水郷大橋における実験の結果、橋梁点検車を使用した洗掘調査が可能であることが明らかになった。以下に各計測装置の適用性、問題点をまとめる。

1) 橋梁点検車について

橋梁点検車に求められる性能は、作業歩廊の積載荷重が150kgf以上、定員が2名以上であること、作業歩廊を橋脚天端付近に寄せられること（水中カメラを使用する場合に限る）、アウトリガーを歩道上に設置できるような構造となっていることである。

2) カラーイメージングソナー

カラーイメージングソナーは、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、任意方向の断面図が得られることが大きな特長である。2橋梁での実験によって、河床断面が比較的容易に得られ、特に橋梁近傍の河床地形を精度よく計測することができる。1つの橋脚に対して、左岸側、右岸側の2ヶ所に測定点を設けることにより、橋脚付近の河床地形図を作成できることが確認できた。

3) 水中カメラ

水中カメラは、河川水の透明度がよいことが適用上の前提条件となる。笹目橋ではロッドを使用してカメラのレンズを壁面に接触させて測定した結果、辛うじて橋脚壁面の映像が得られた。しかし、カメラを壁面から離すとすぐ濁水の影響により見えなくなり、橋脚壁面を大きく捉えるような映像は得られない。水郷大橋では前日上流地が雨だったため、河川水が濁っており、カメラのレンズを壁面に接触させても殆ど壁面の映像を捉えることができなかった。こうした状況から、橋脚基礎平面の点検作業に対する水中カメラの適用については慎重にすべきで、河川水の透明度が良好（透明度1～2m以上）な場面に限られる。

4) 地下レーダ

既往資料によれば、地下レーダは河川水の比抵抗等条件がよければ、水深だけでなく、河床下の地層をも捉える可能性があるが、実験値はいずれも感潮河川であり、河川水の比抵抗が低く、適用不可能であった。こうした結果から、橋梁点検車を用いた洗掘調査への地下レーダ技術の適用については慎重にすべきで、また、地下レーダの場合はカラーイメージングソナーと違って、断面を得るためにはアンテナ自信を移動して測定しなければならない。そのため、橋梁高欄を使って、歩道沿いに測定することが現実的であると考えられる。

5) スウェーデン式サウンディング

橋梁点検車を使用した洗掘調査にスウェーデン式サウンディングを適用する上で、解決困難な課題があることが明らかになった。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。一方剛性の高いロッドに変更すると、点検車の作業歩廊の積載制限を越えてしまう。これを解決するためには、新しく車両を設計し直さなければならない。そのため、橋梁点検車を使用した洗掘調査にスウェーデン式サウンディングを適用させることは不可能である。

7. 音波探査による河床地盤探査の適用性試験

7. 1 実験内容

7. 1. 1 概 要

洗掘調査において地盤探査は重要な項目であり、現状は、ボーリングによる調査が中心となっている。しかし、ボーリング調査は大がかりな仮設が必要であるためその実施は容易ではなく、これに変わる手法が必要である。一方、音波や電磁波などを使用した物理探査的探査手法は、これらの仮設設備を必要とせず比較的容易に地盤の探査が可能とされている。本実験では、物理探査手法の中から音波探査を選定した。

音波探査は、水中で音波(弾性波のP波と同じもの)を発生させ、河床や河床下の地層の境界で反射してきた音波を検出することによって、地層境界を可視画像として表現する手法である。なお、ここでいう地層境界とは地層そのものの境界ではなく、音波が反射されやすい境界のことであり、正確には音響インピーダンス(=密度×音波の伝播速度)の境界のことをいうので注意されたい。

音波探査は水深のある海洋の地盤探査における使用例が多いが、河川における使用例はほとんどない。そこで、河川内の橋梁基礎周辺で地盤探査が可能かどうか検証を行った。調査装置の選定を行う上で、装置が小型軽量で取り扱いやすいこと、地層の深さ方向の分解能が高いこと、の2点を念頭において、以下の3装置を選定した。

①底質探査機 (SH-20型)

②ユニブーム

③サブボトムプロファイラー

7. 1. 2 実験の実施

実験は以下の工程で実施した。

- ・準備測量・・・・・・・・・・・・・・・・・・1日
- ・底質探査機とユニブームによる実験・・・・・・・・・・1日
- サブボトムプロファイラーによる実験・・・・・・・・・・1日

7. 1. 3 計測装置について

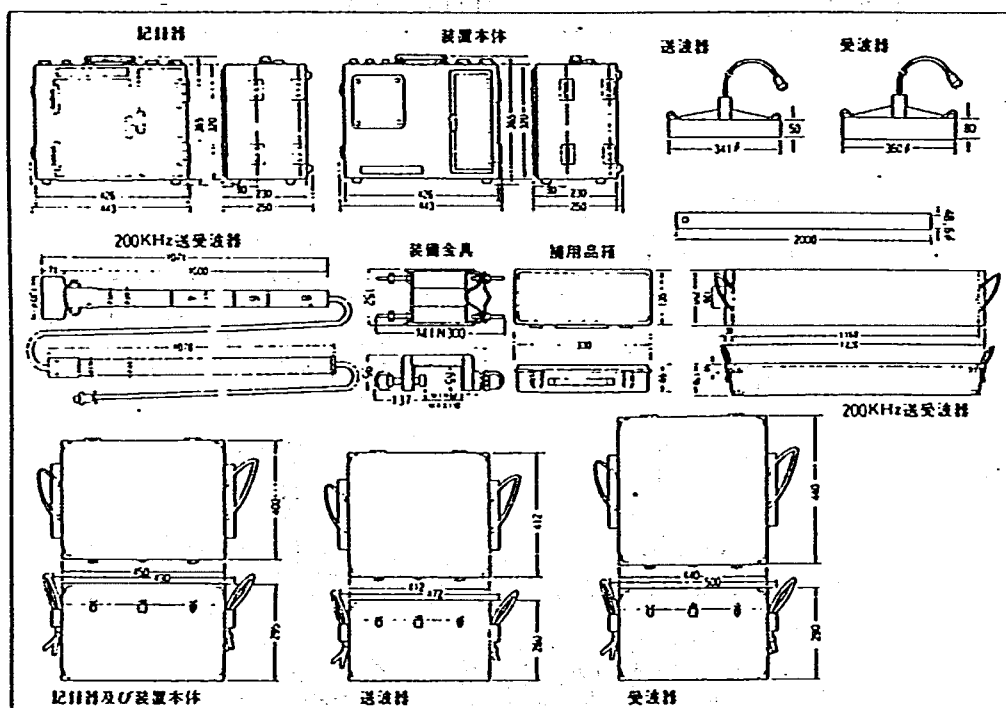
1) 底質探査機

表-7・1に底質探査機の諸元を、図-7・1に装置の外観を示す。

底質探査機は周波数の異なる(200kHzと2~7kHz)音波探査機を2台連動して作動させ、周波数による反射記録の違いから、主として浮泥層を探査する装置である。周波数が低いほど地盤を透過する能力がある。

表-7・1 底質探査機 (SH-20型) の諸元

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 振 回 数	450回/分
低 周 波 部	周 波 数	2~7kHz
	発 振 回 数	60回/分
	発 振 方 式	電磁誘導方式
記 録 器 部	記 録 方 式	放電破壊記録
	記録幅と長さ	15.0cm(幅)×20m(長さ)
使 用 電 源		AC100V, 5A



圖一 7 · 1 底質探查機 (SH-20型)

2) ユニブーム

表-7・2にユニブームの諸元を、図-7・2に外観を示す。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、発振エネルギーが一番大きく地層深くまでの探索が可能であると考えられる。

表-7・2 ユニブームの諸元

項 目		性 能 等		
探 査 方 式		電磁誘導方式		
探査能力, 分解能		約75m(地地質に依存), 15~20cm		
送 波 部	エネルギー	100ジュール	200ジュール	300ジュール
	発振周波数	0.7~15kHz	0.5~10kHz	0.4~8kHz
	送波繰返回数	6回/秒	4回/秒	2回/秒
受 波 部	周波数帯域	0.1~10kHz		
	受 波 器	ハイドロフォン(水中マイク)		
記 録 器 部	記 録 方 式	サーマル記録		
	記録幅と長さ	22.86cm(幅)×48m(長さ)		
寸 法 ・ 重 量	エネルギー・ソース	51.0(W)×56.0(D)×48.0(H), 73kg		
	ブーマー	84.0(W)×158.0(D)×59.0(H), 90kg		
	信号処理器	23.1(W)×31.2(D)×18.2(H), 8kg		
	記録器	44.7(W)×10.5(D)×48.7(H), 18kg		
使 用 電 源		AC115V, 32A		

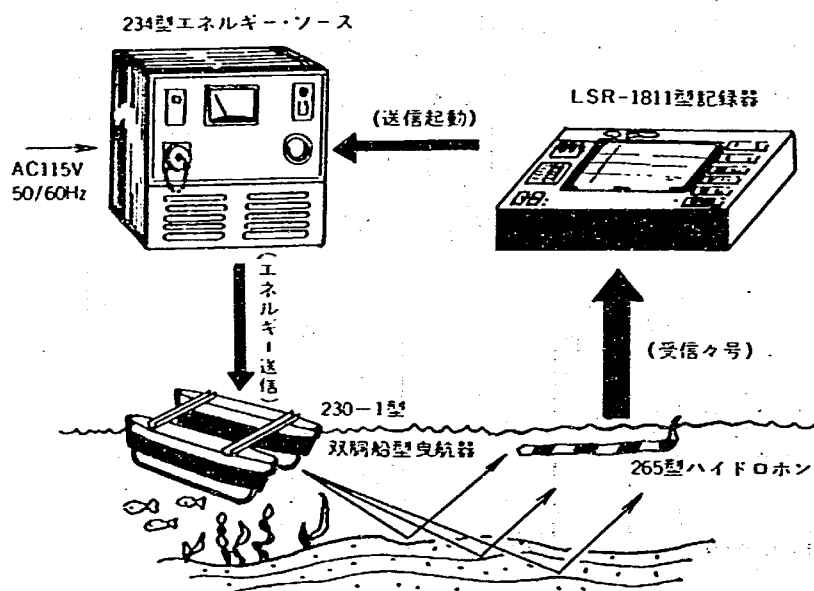


図-7・2 ユニブーム (230-1型)

3) サブボトムプロファイラー

表-7・3にサブボトムプロファイラーの諸元を、図-7・3に外観を示す。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持った音波パルス(周波数3.5kHz)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。今回は、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。本装置は、比較的水深のある海域で使用するように専用の曳航体に計測器のセンサーが取り付けられている。今回の実験ではサイドスキャンソナーは使用していない。

表-7・3 サブボトムプロファイラーの諸元

項 目		性 能 等
発 振 方 式		電磁誘導方式
周 波 数		3.5kHz
ビーム幅、パルス幅		50°, 0.4mSec
分 解 能		約60cm
記 録 器 部	測 定 レ ン ジ	12.5m~750m
	記 録 方 式	感熱記録
	記 録 階 調	16段階
	記 録 幅	41.3cm
	デ-タ-レコ-ダ-	DAT(デ-ジ-タ-ル-デ-イ-タ-)

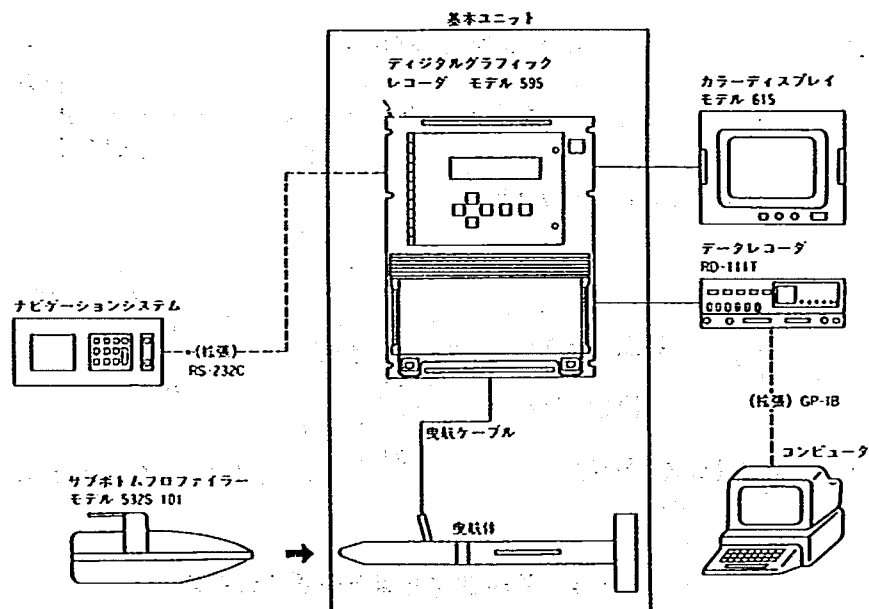


図-7・3 サブボトムプロファイラー (ハイドロスキャン590システム)

7. 1. 4 実験方法

実験は計測装置を調査船で曳航しながら実施した。測定装置は、使用周波数を考慮して、底質探査機とユニブームの組み合わせ、サブボトムプロファイラーとに分けて実験を行った。3カ所の実験対象箇所は、同一の河川内で行き来ができるため、装置を積装したまま回航して順次測定を行った。

1) 調査船について

調査船は河川湖沼用の小型漁船で約1 tのものを使用した。

2) 測量船の誘導および位置測定について

測線の設置方法と調査船の誘導方法を図-7・4に示す。基本的にはトータルステーションで原点の位置出しや調査船の位置測定を行う。

- ① 2ヶ所の公共座標点を基準に、測量原点を設置する。測量原点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。
- ② 測量原点にトータルステーションを設置し、測量船の誘導とカット点の位置出しを行う。
- ③ 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。
- ④ 測線範囲の下流側から調査船を航行させ、適宜その位置を測定しながら探査測線に調査船を誘導する。
- ⑤ 始点マーカを過ぎ探査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、その位置を確認する。測定位置は無線によって調査船に伝達し、調査船の誘導に使用する。
- ⑥ 過去に実施されたボーリング地点を予め計算しておき、この位置を通過するように調査船を誘導する。
- ⑦ 調査船の位置を測定すると同時に無線で連絡を取り、船上の記録紙上にカットマークを入れる。

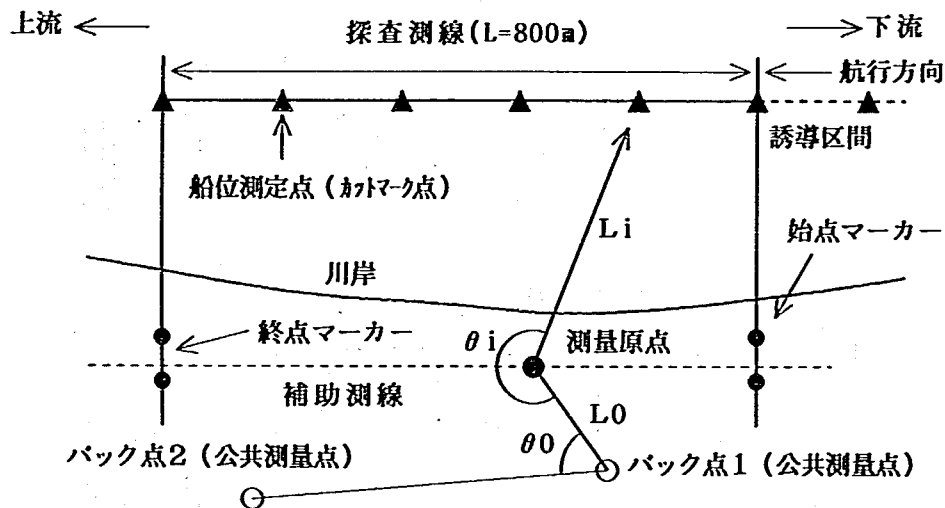


図-7・4 測線設定と調査船誘導の概要

7. 1. 5 底質探査機とユニブームの測定方法

今回の適用性試験における測定要領を図-7・5ならびに下記に示す。

- ①調査船にユニブームのエネルギーソースと信号処理部および記録器を搭載する。また、発振器と受振器はケーブルによってそれぞれ船尾から約15m離して曳航できるように配置・結線する。
- ②調査船に底質探査機の2～7kHzの低周波部と、200kHzの高周波部を搭載する。この場合、低周波の発振器を小型船の片方の舷側に固定し、受振器を他方の舷側に固定する。高周波の送受振器は、小型船の片方の舷側に固定する。
- ③調査船を試験場所まで回航する。この時、曳航するユニブームの発振器と受振器、ならびに舷側に取り付けた底質探査機の送受波器を常に監視し、航行中の安全を確保する。
- ④実験水域に到着後、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り誘導する。
- ⑤測線上を対地速度約3ノットで航行させる。この場合、航体や固定した送受波器などの状況を常に監視して、水上設置物や他の船舶の安全に留意する。
- ⑥河床堆積物の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、記録を常時監視し最良の記録が得られるように発信出力の調整する。
- ⑦測定は基本的に同一測線を1往復する。なお、記録の不具合などで1往復以上行ったケースもある。

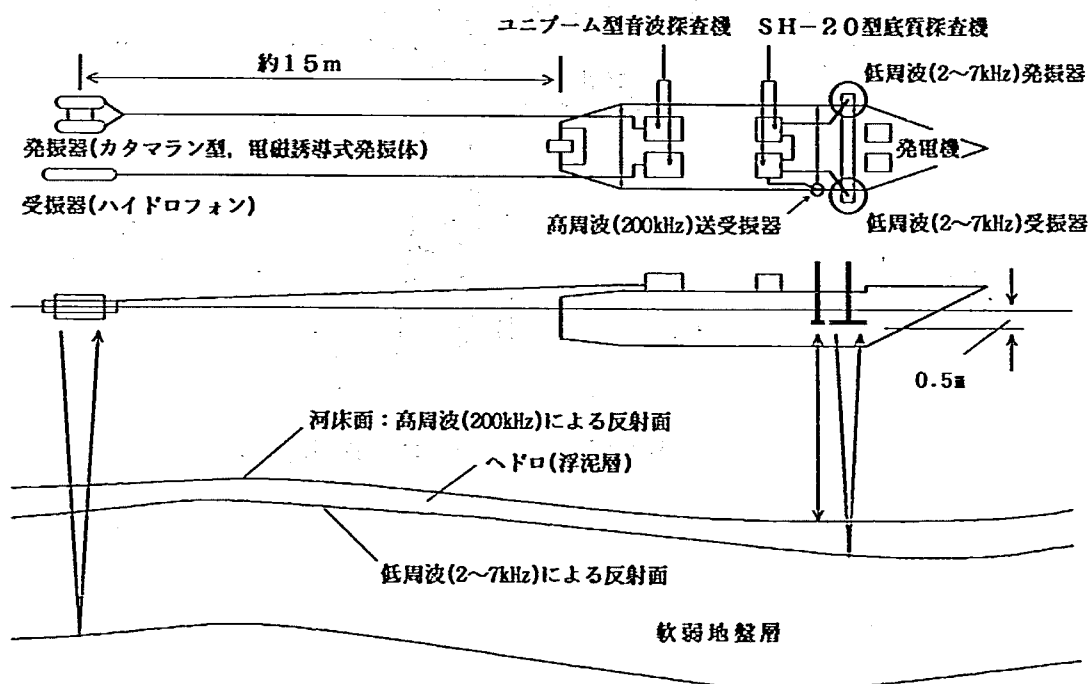


図-7・5 底質探査機およびユニブームによる測定状況

7. 1. 6 サブボトムプロファイラーによる測定方法

今回の実験では水深が10m未満と予想されたため、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して調査船で曳航した。今回の検証実験における測定要領を図-7・6に示し、その内容は以下のとおりである。

- ①調査船にサブボトムプロファイラーの制御器と記録器を搭載する。
- ②送受波器を搭載した筏を、船尾から約15m離して曳航できるように配置する。
- ③調査船を実験場所まで回航する。この時、曳航する筏を常に監視して航行中の安全を確保する。
- ④実験水域に到着後、測線の開始点に到着するよう下流側のマーカーやトータルステーションにより誘導する。
- ⑤測線上を対地速度約3ノットで航行させる。この場合、曳航体の状況を常に監視して、水上設置物や他の船舶の安全に留意する。
- ⑥河床堆積物の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、記録を常時監視し、最良の記録が得られるように発信出力の調整する。
- ⑦測定は同一測線に基本的に1往復する。なお、記録の不具合などで1往復以上行ったケースもある。

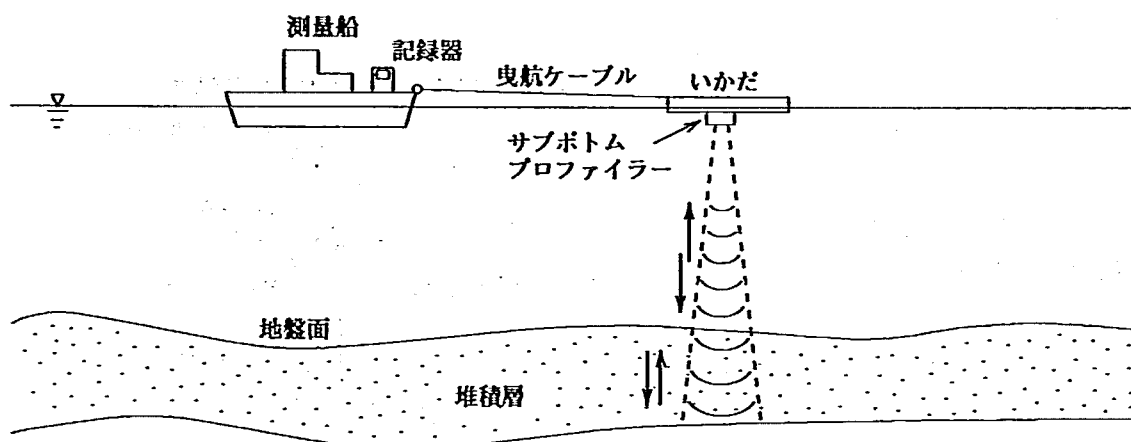


図-7・6 サブボトムプロファイラーによる測定状況

7. 2 底質探査機の適用性試験

7. 2. 1 小舟木町付近

測定位置（航跡）図を図-7・7（a）に示す。測線はR-1-1とR-1-2の2本の測線を設定し、総延長は2,086mであった。測線ごとにまとめた測定記録（時間軸縮小）を図-7・7（b, c）に、測定記録（部分）と既存ボーリングとの対比を図-7・7（d）に示す。図-7・7（e）には解析結果である河床断面図を示す、この図は左側が上流側になるように統一してある。

1) R-1-1測線

図-7・7（e）の解析結果より、測線全長にわたり層厚0.5~1.5mの表層が分布している。しかし、音波散乱層の影響で部分的に欠落している。R-1-1測線に一番近いボーリング点はP4となり、測線から約55m離れている。底質探査の計測記録とボーリング結果との比較を行うと、表層と第2層目の境界は細砂層とシルト混じり細砂層の境界に相当することがわかる。

測定記録の上流端から300m付近までは、第2層目と第3層目の境界が検出されている。しかし、さらに下流部となると音波散乱層の影響で第3層目の境は部分的にしか検出されていない。

2) R-1-2測線

図-7・7（e）の解析結果より、測線全般にわたり層厚0.5~1.5mの表層が分布しているように見受けられる。しかし、R-1-2測線に近いP3のボーリング結果では、河床下2mの範囲はヘドロ層と判定されている。そのため、測定記録をさらに分析すると、河床面の反射記録の濃度が濃いことから、表層はヘドロ系の軟弱な地層ではなく砂質系の地盤であることが推定される。P4のボーリング結果と比較してみると、表層から0.5~1.5m付近には細砂層とシルト混じり細砂層の境界が存在している。このことから、測線位置の河床はP3よりもP4の地盤に類似しているものと考えられる。

計測記録の上流部から80m付近までは、第2層目と第3層目の境界が検出されている。しかしながら下流部になると、音波散乱層の影響でこの第3層目は部分的にしか検出されなていない。

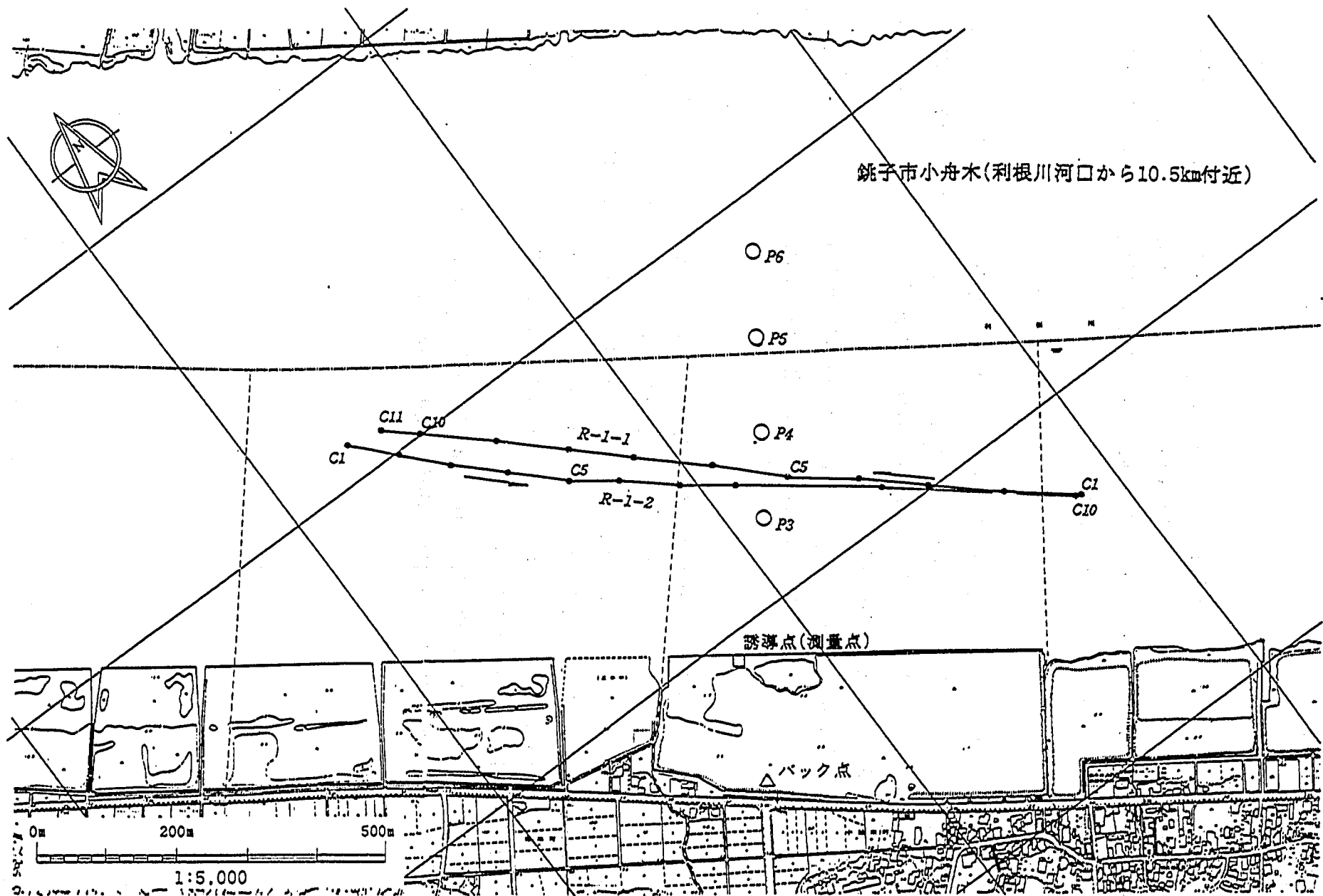


図-7.7(a) 底質探査機・ユニブームの測線位置

R-1-1 (上り): 銚子市小舟木(利根川河口から10.5km付近)

上流側

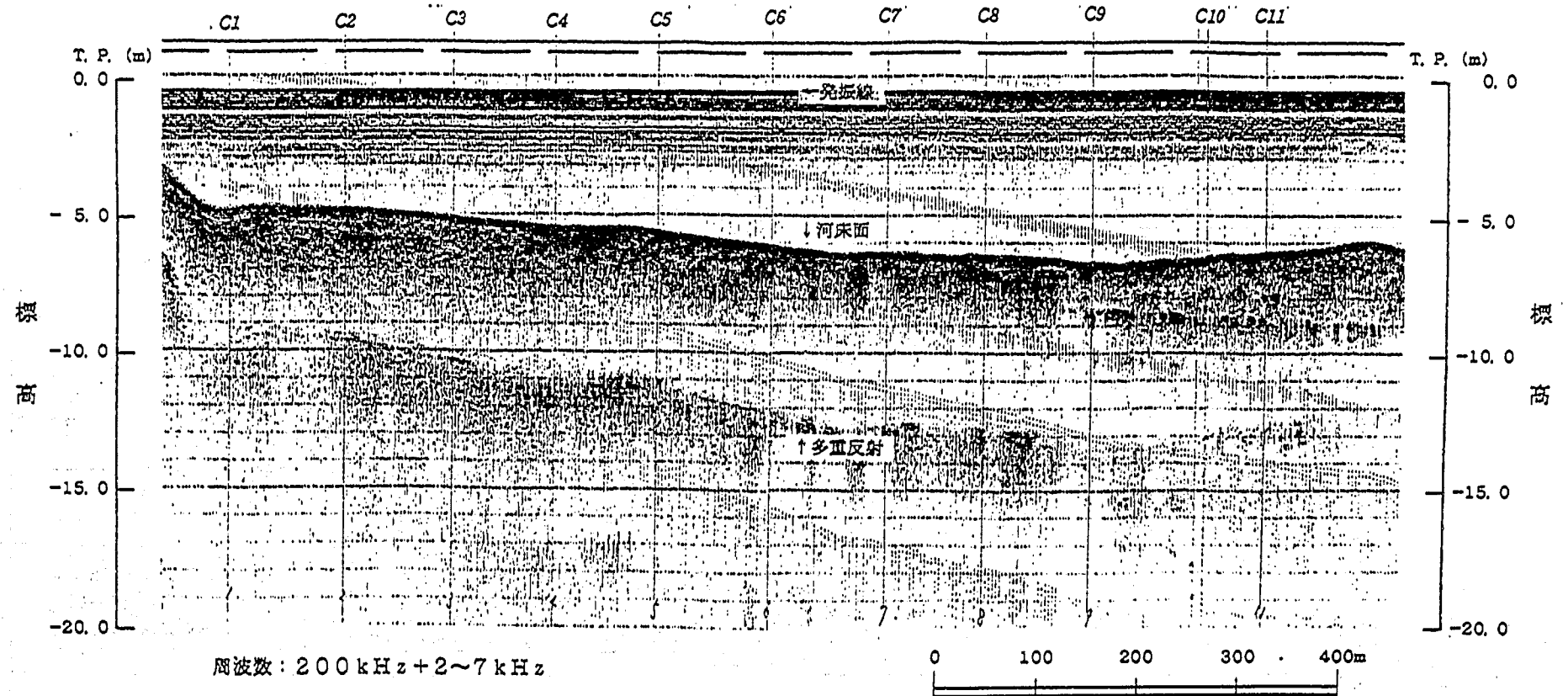


図-7.7 (b) 底質探査機の測定記録

上流側

R-1-2 (下り): 銚子市小舟木(利根川河口から10.5km付近)

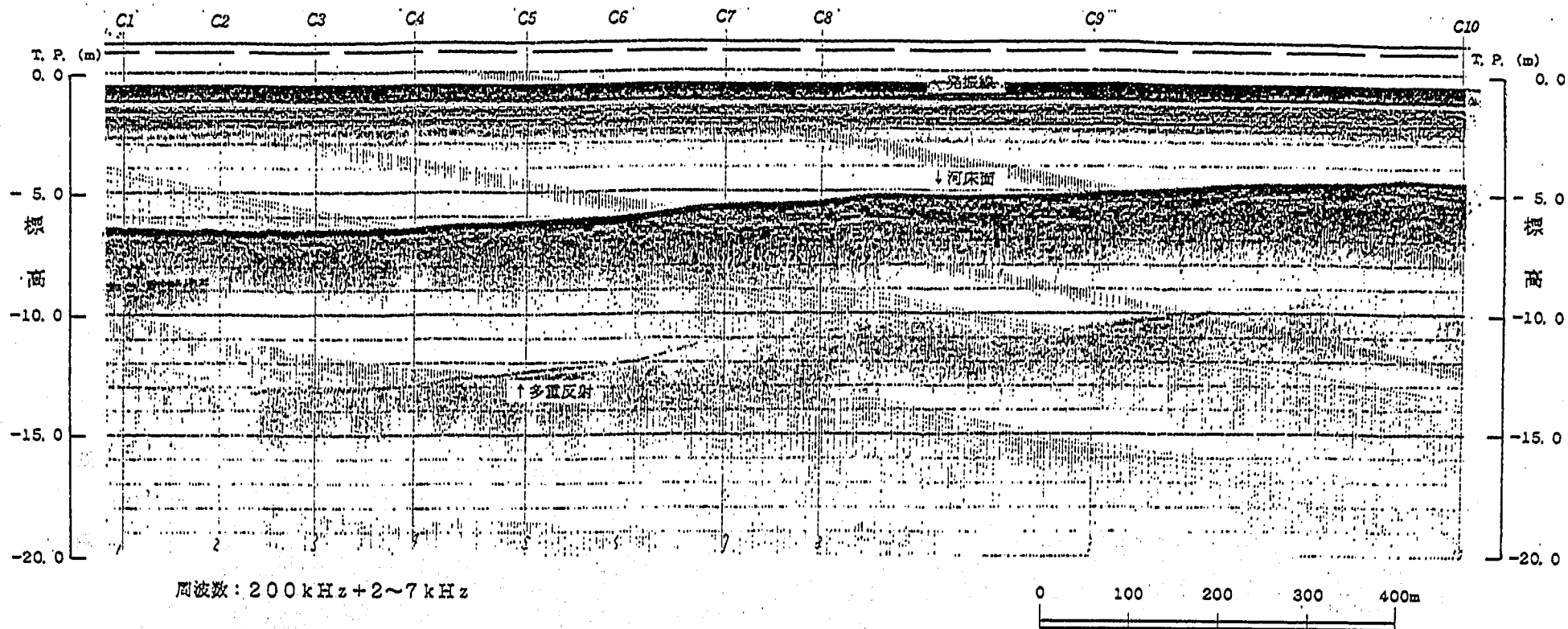
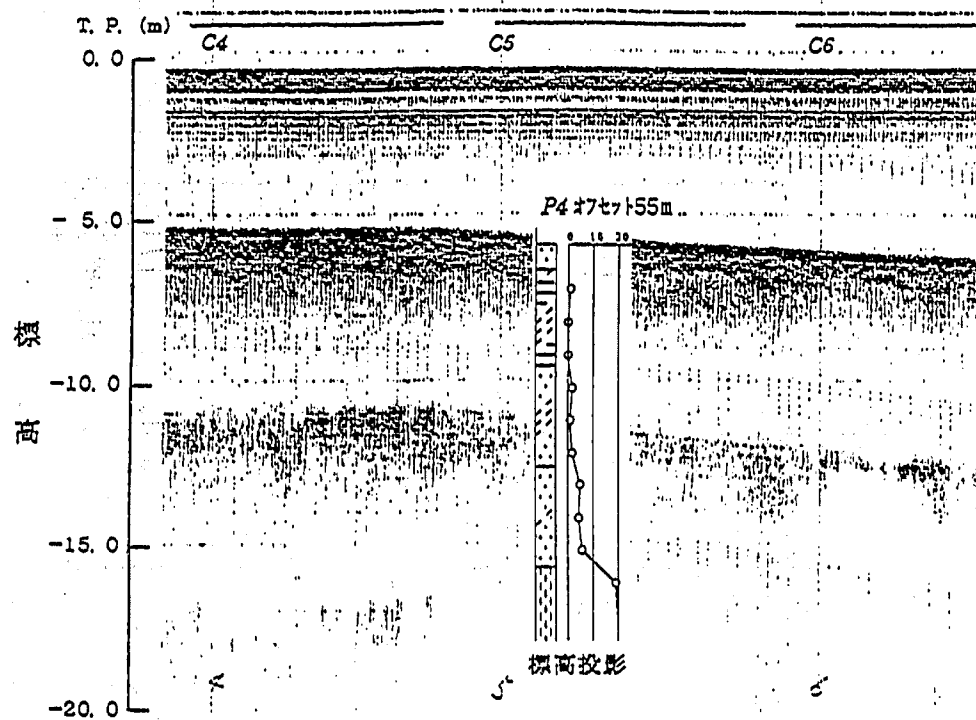


図-7. 7 (c) 底質探査機の測定記録

R-1-1 (上り) : 銚子市子舟木

R-1-1



R-1-2 (下り) : 銚子市子舟木

R-1-2

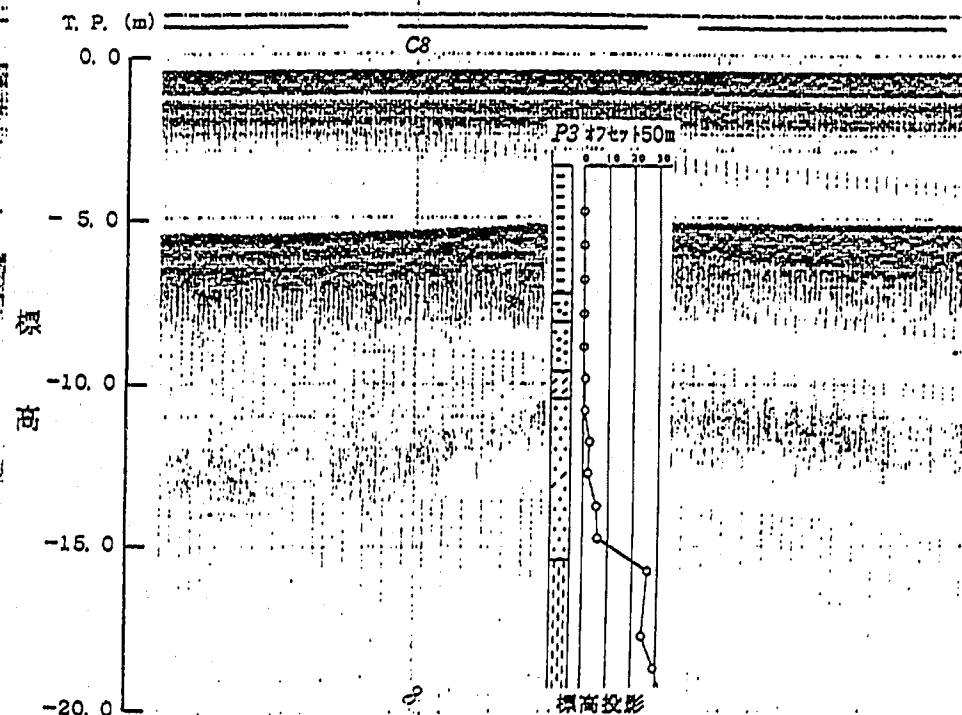


図-7. 7 (d) 底質探査機の測定記録とボーリングの比較

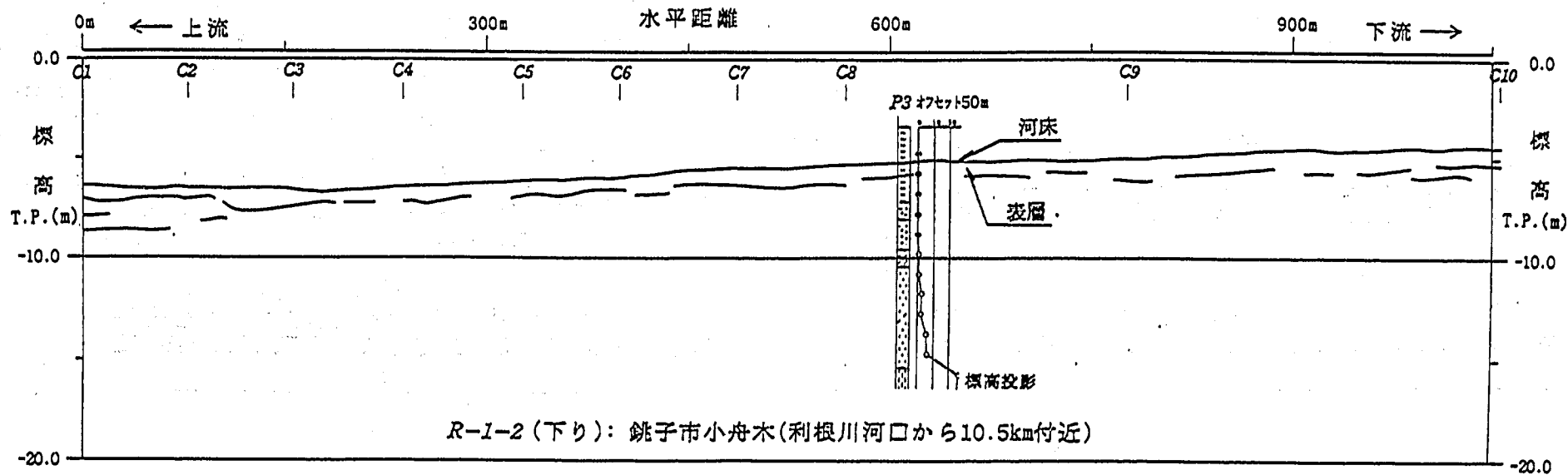
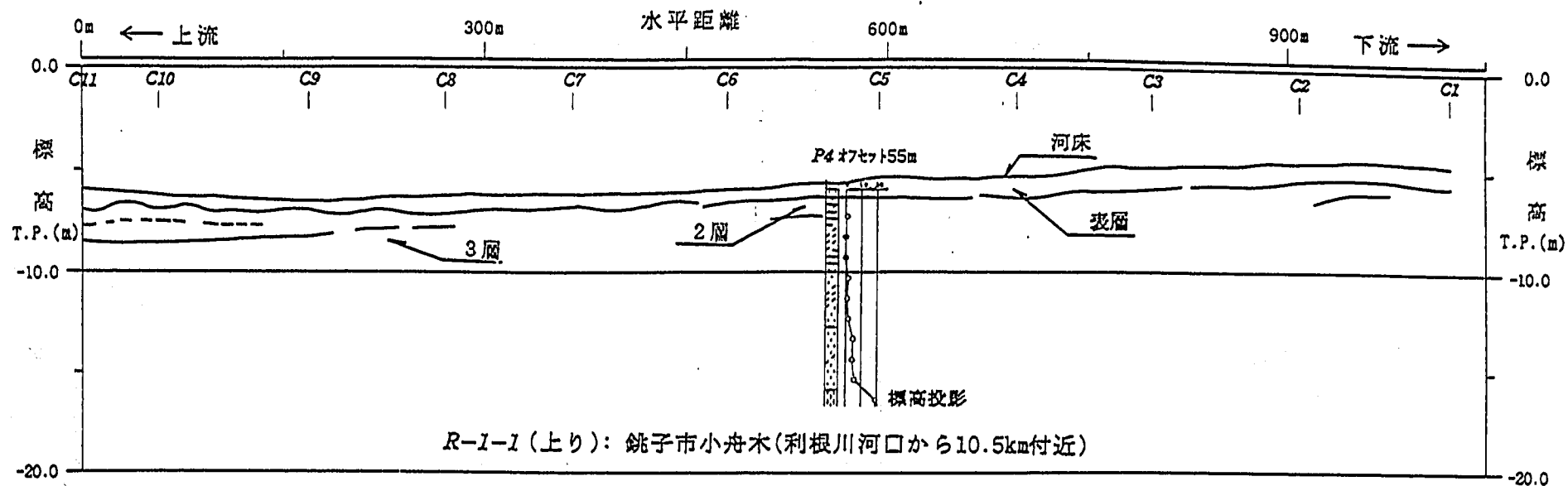


図-7. 7 (e) 底質探査機による測定記録の解析結果

7. 2. 2 津の宮地区付近

測定位置（航跡）図を図-7・8（a）に示す。測線はR-2-1とR-2-2の2本の測線を設定し、総延長は2,061mであった。測線ごとにまとめた測定記録（時間軸縮小）を図-7・8（b, c）に、測定記録（部分）と既存ボーリングとの対比を図-7・8（d）に示す。図-7・8（e）には解析結果である河床断面図を示す、この図は左側が上流側になるように統一してある。

1) R-2-1測線

図-7・8（e）の解析結果より、測線全線にわたり層厚0.5~1.5mの表層が分布しているようであるが、部分的に音波散乱層の影響で欠落している。R-2-1測線のC8地点はB-3ボーリングのほぼ真上で計測していることから。計測データとボーリング結果との比較検討を行った。表層と第2層目の境界と思われる深度付近は、細砂層とシルト質細砂層との境界部と考えられる。

滞筋と思われる箇所が下流側に見受けられる。滞筋を調査したB2ボーリングと、R-2-1測線までの最短距離は10mであった。この地点では他の計測記録箇所と異なり（図-7・8（b）参照）河床面の反射波よりも、さらに下位の地層境界との反射波のほうが強くなっている（記録濃度がより濃く表示されている）。B-2の結果とC10地点とのデータとを比較すると、反射波のより強い地層境界は軟弱層と砂質層の境界部分に該当していると考えられる。したがって、この現象は、河床の軟弱層部分を検出したものである。

計測記録の上流部~300m付近まで、および、滞筋部では、その下位に第2層目と第3層目の境界が検出されている。また、計測記録上流部から240m~460mの間には第3層目と第4層目の境界が検出されている。これはシルト混じり細砂層と細砂層の間に相当すると思われる。他の部分では音波散乱層の影響でほとんどとらえることはできなかった。

2) R-2-2測線

図-7・8（e）の解析結果より、測線全般にわたり層厚0.5~2.0mの表層が分布しているが、部分的に音波散乱層の影響により欠落している。

表層の厚さは上流部~450m付近までは比較的厚く、滞筋の部分では薄くなっている。

また、上流から450m付近までの河床面は起伏の変化が激しくなっている。

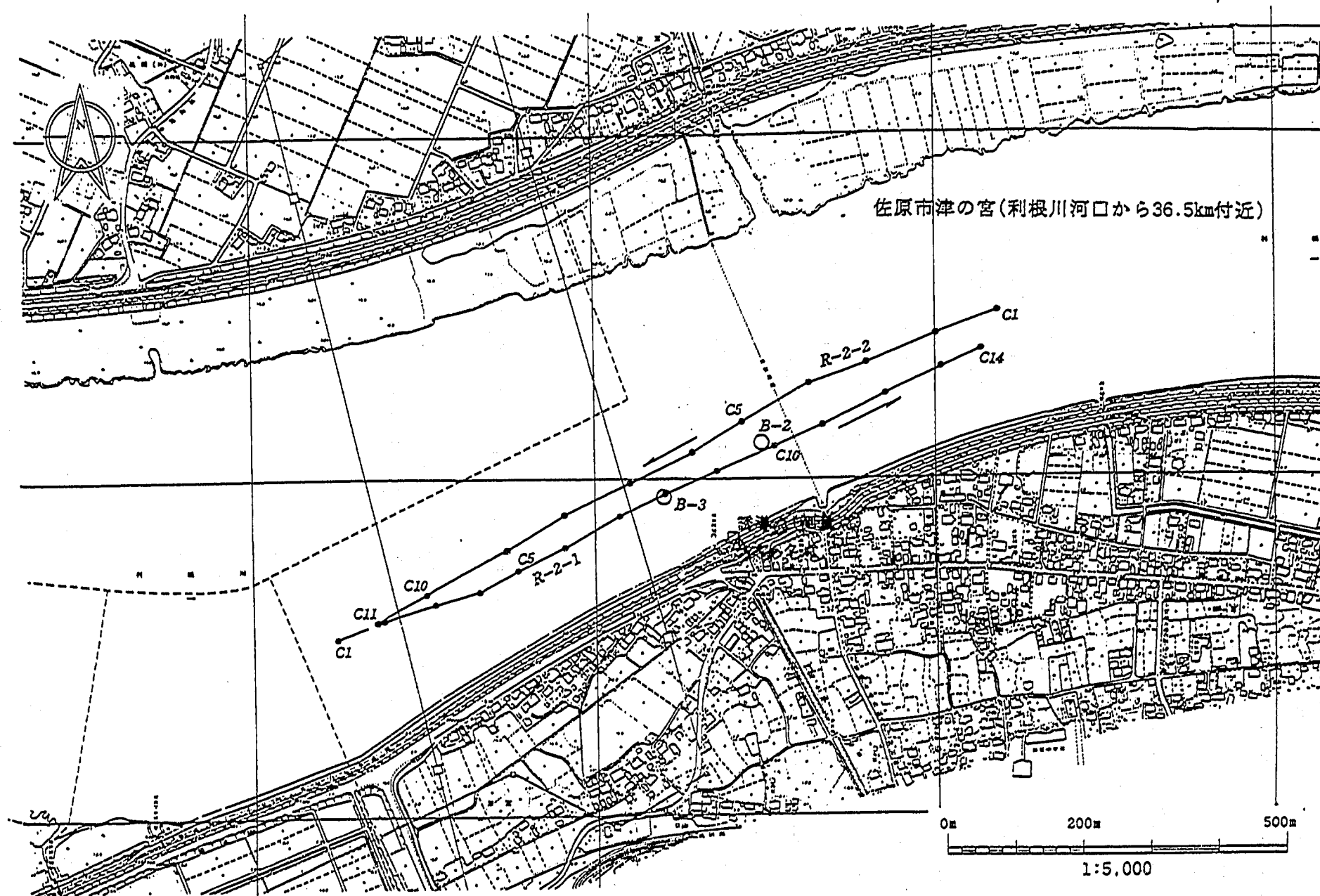


図-7. 8 (a) 底質探査機・ユニブームの測線位置

上流側

R-2-1 (下り): 佐原市津の宮(利根川河口から36.5km付近)

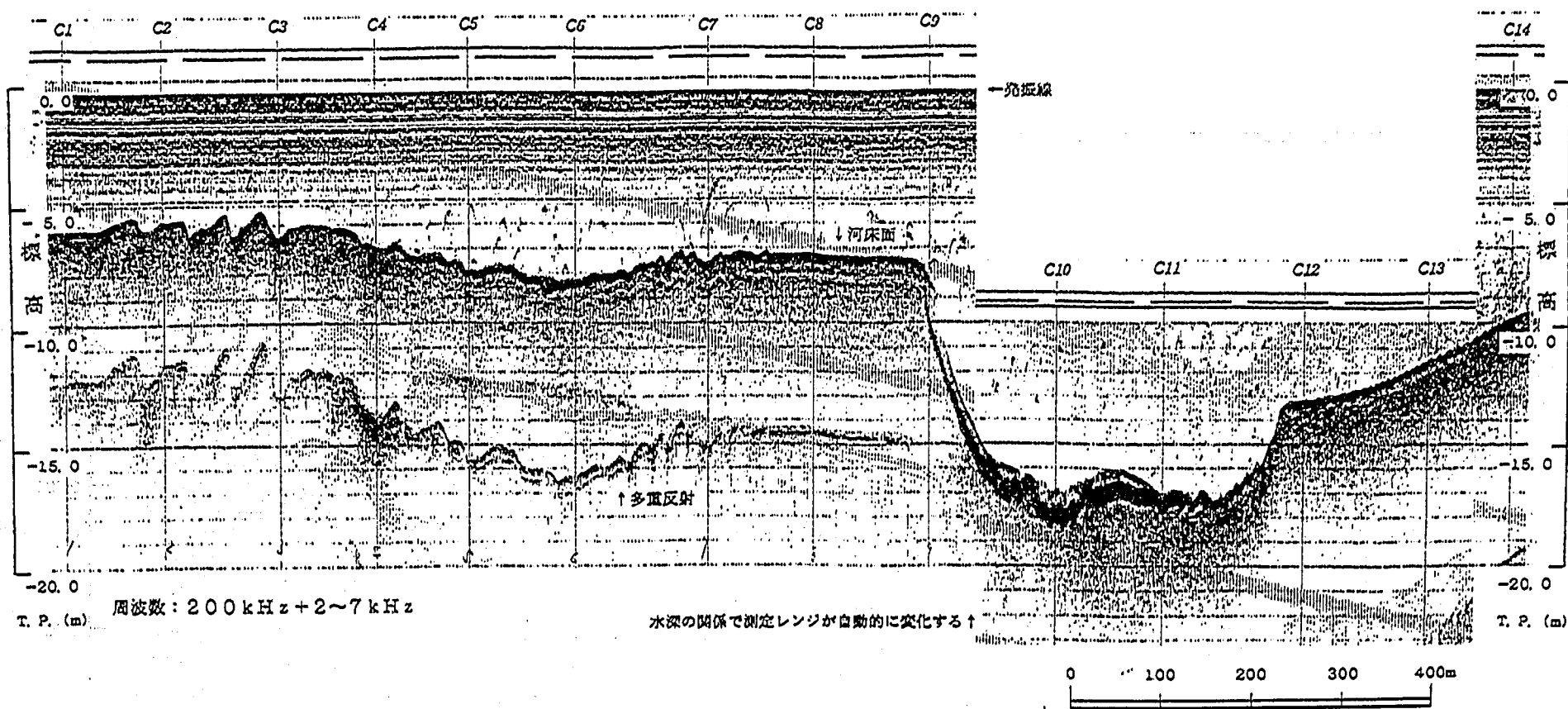


図-7.8 (b) 底質探査機の測定記録

R-2-2 (上り): 佐原市津の宮(利根川河口から36.5km付近)

上流側

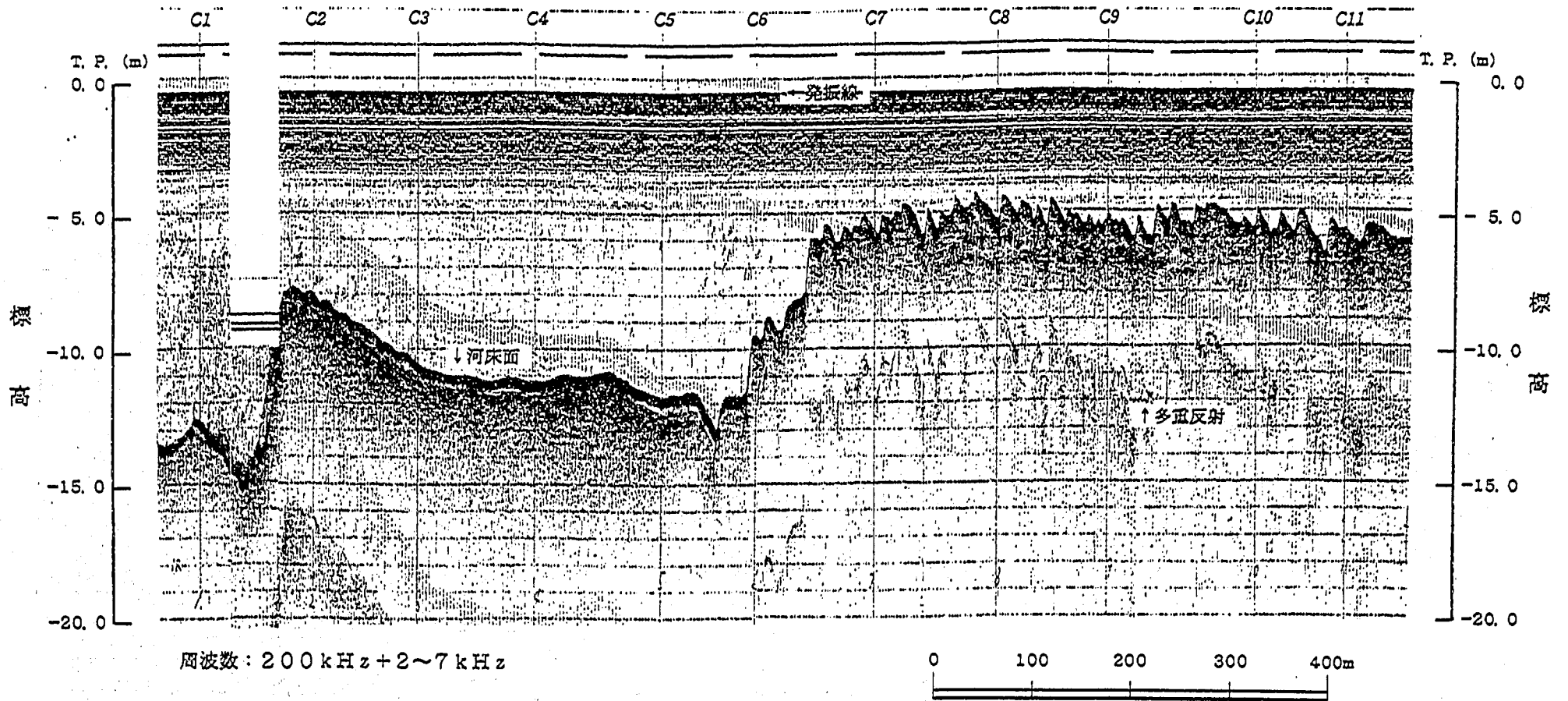


図-7.8(c) 底質探査機の測定記録

R-2-1 (下り) : 佐原市津の宮

R-2-1

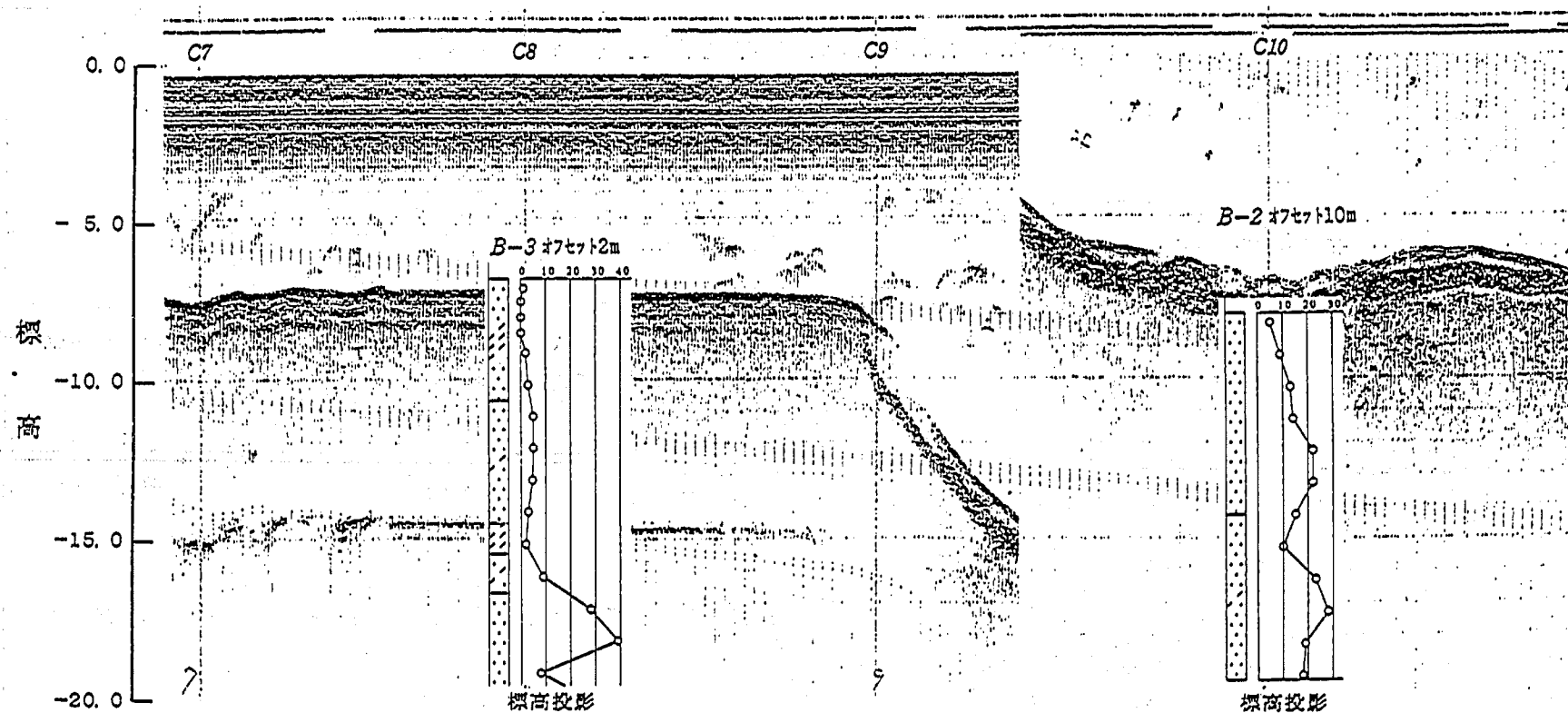


図-7. 8 (d) 底質探査機の測定記録とボーリングの比較

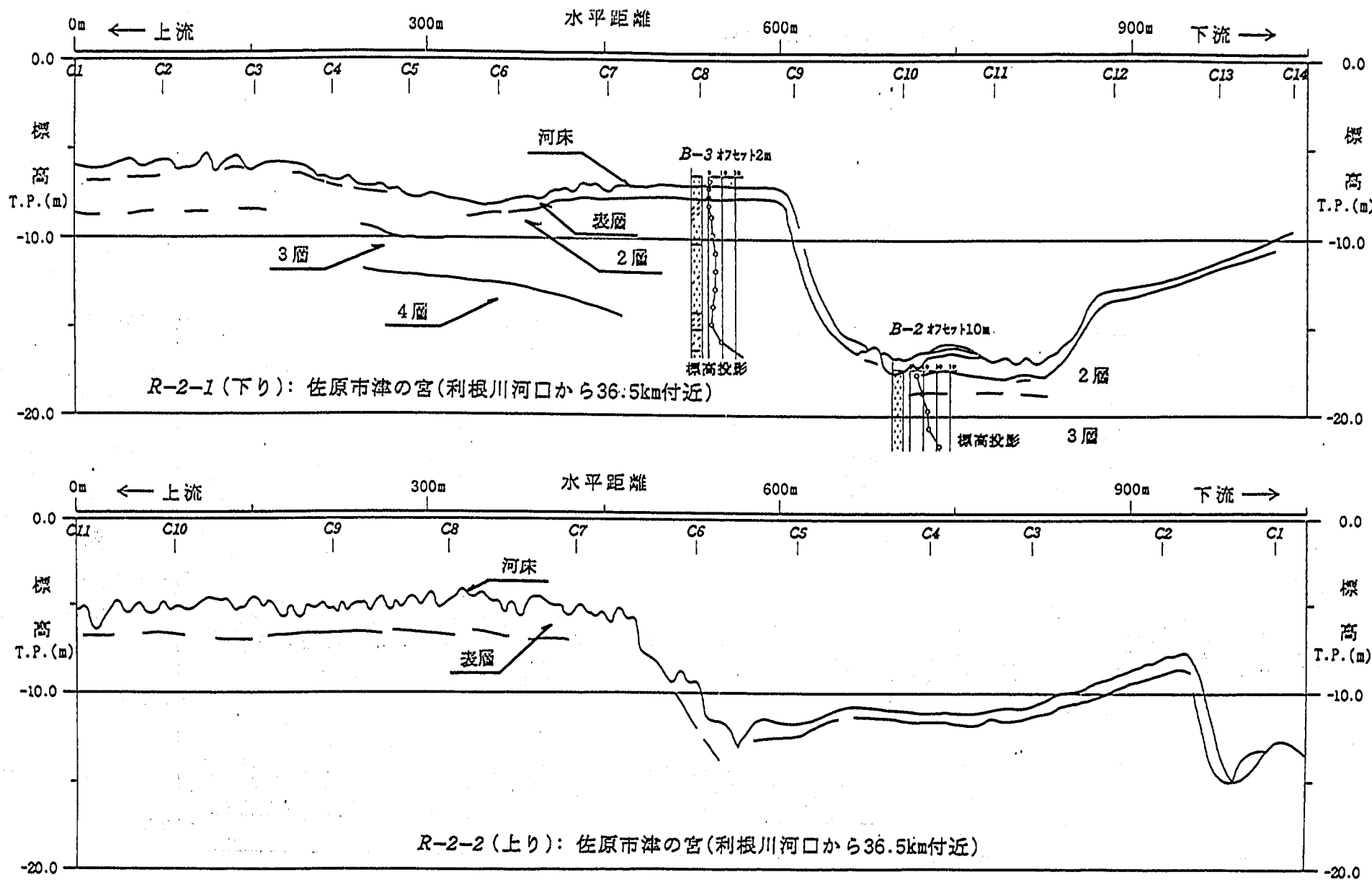


図-7.8 (e) 底質探査機による測定記録の解析結果

7. 2. 3 水郷大橋付近

測定位置（航跡）図を図-7・9（a）に示す。測線はR-3-1とR-3-2およびR-3-3の3本の測線を設定し、総延長は2,726mであった。このうち前2測線について解析を行っている。測線ごとにまとめた測定記録（時間軸縮小）を図-7・9（b, c, d）に、測定記録（部分）と既存ボーリングとの対比を図-7・9（e）に示す。図-7・9（f）には解析結果である河床断面図を示す。この図は左側が上流側になるように統一してある。

1) R-3-1測線

図-7・9（f）の解析結果より、上流部から概ね600mの間は層厚0.3~1.5mの表層が分布しているようであるが、当該区間においても音波散乱層の影響で部分的に欠落している。

上記区間以外は、音波散乱層により第2層目の検出はできなかった。また、他の調査区域（小舟木町付近、津の宮地区付近）では、さらに下位地層との境界面についても部分的に検出できたが、R-3-1測線では検出することは全く不可能であった。

2) R-3-2測線

図-7・9（f）の解析結果より、測線全線にわたり層厚1.0~2.0mの表層が分布しているが、音波散乱層の影響により部分的に欠落している箇所がある。

R-3-2測線では表層以下の地層を検出することはできなかった。

7. 2. 4 実験結果のまとめ

底質探査機を河川にて使用する場合、表層から2m程度まではかろうじて検出できることが確認された。地質の条件が良ければ河床下5m程度までの地層境界を検出できる可能性がある。

底質探査機は、周波数の異なる（200KHzと2~7KHz）の探査機を使用し、2台の計測結果を合成して表示している。そのため計測記録に干渉縞が入るなどの欠点がある。本調査装置は河床から1.0~1.5mの範囲の表層部分を詳細表示する能力は持ち合わせていないことが判明した。

なお、津の宮地区の滞筋部では、本調査目的の軟弱層を検出することができた。

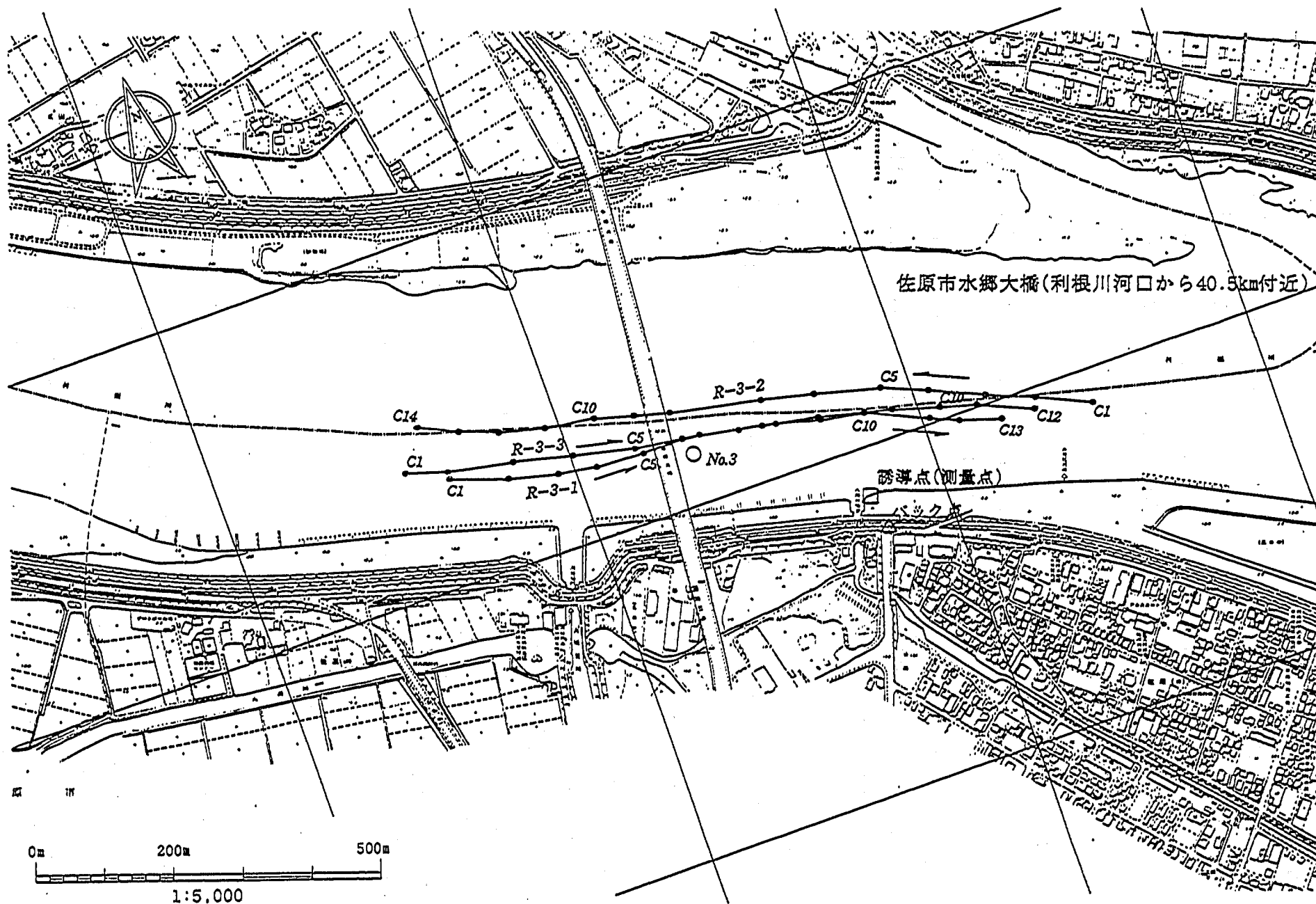


図-7.9(a) 底質探査機・ユニブームの測線位置

上流側

R-3-1 (下り): 佐原市水郷大橋(利根川河口から40.5km付近)

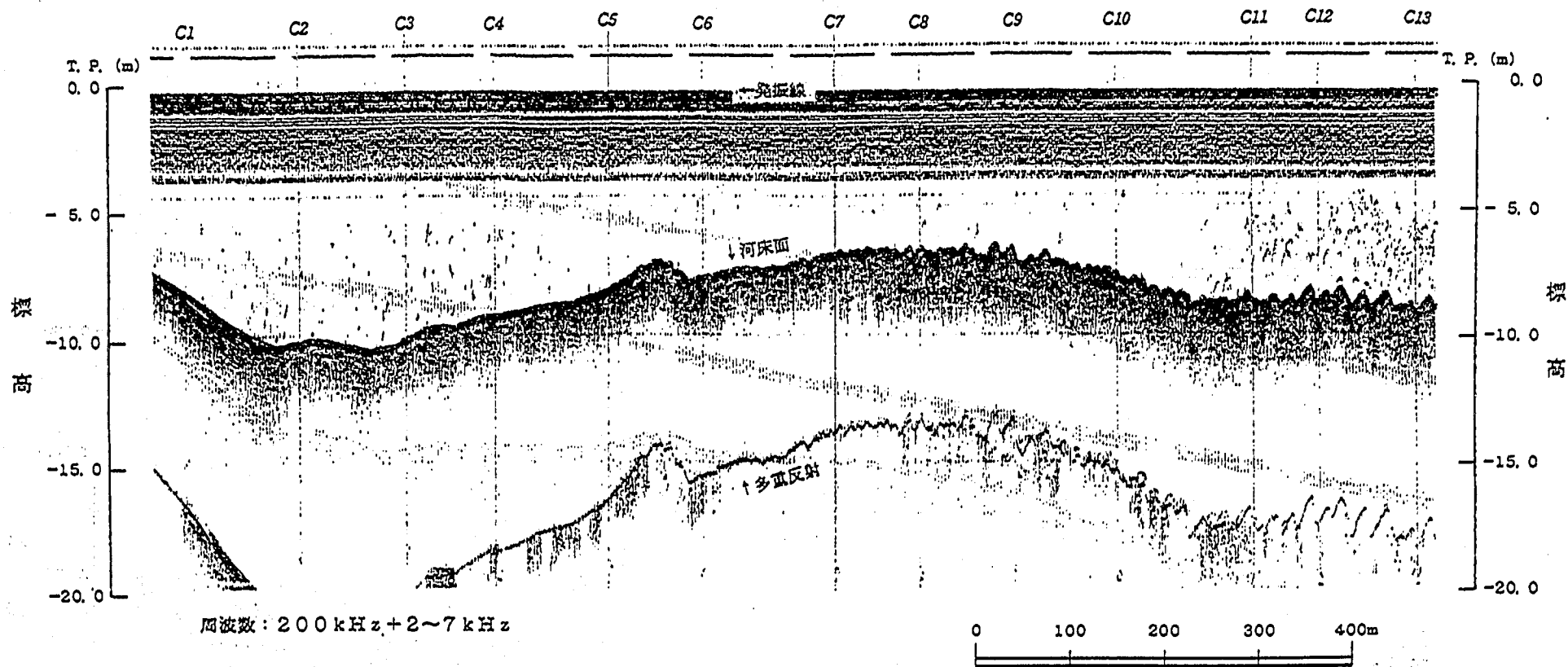


図-7. 9 (b) 底質探査機の測定記録

R-3-2 (上り): 佐原市水郷大橋(利根川河口から40.5km付近)

上流側

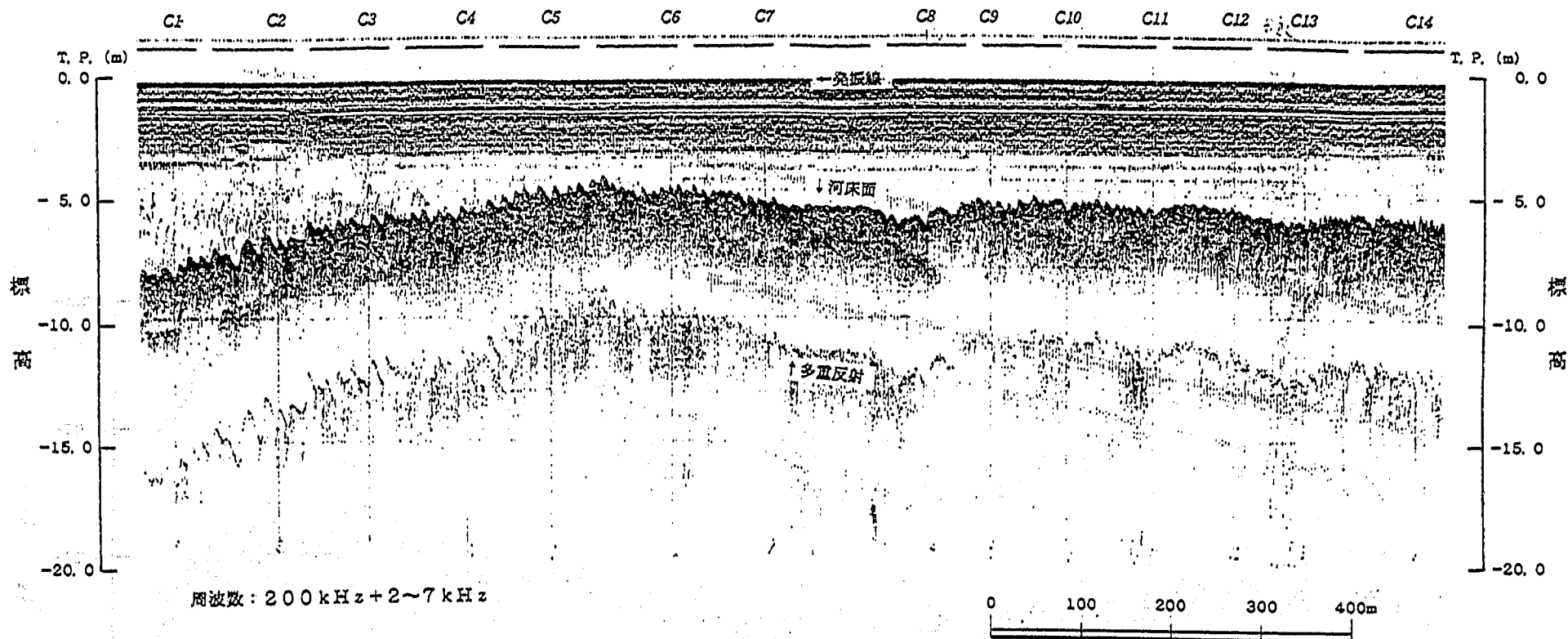


図-7.9(c) 底質探査機の測定記録

上流側

R-3-3 (下り): 佐原市水郷大橋(利根川河口から40.5km付近)

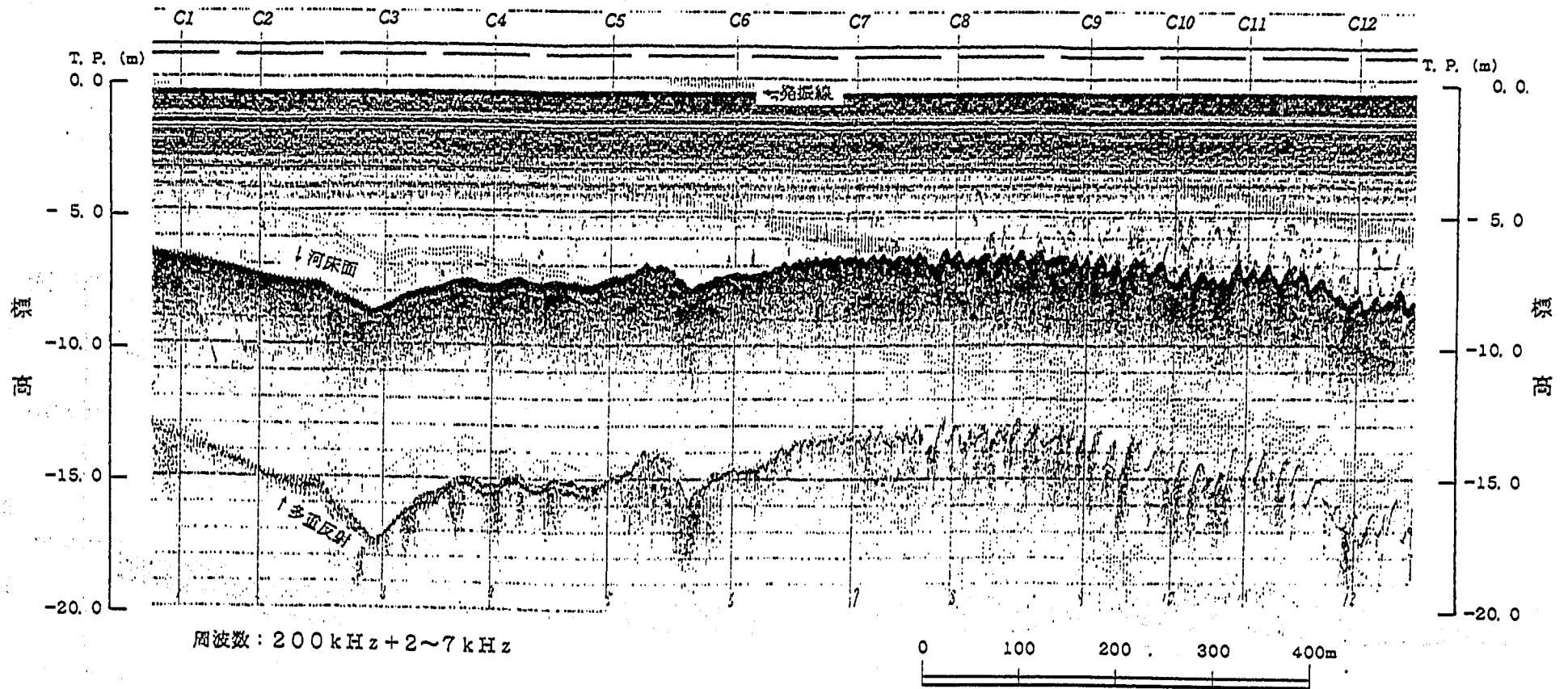


図-7. 9 (d) 底質探査機の測定記録

R-3-1 (下り) : 佐原市水郷大橋

R-3-1

R-3-3 (下り) : 佐原市水郷大橋

R-3-3

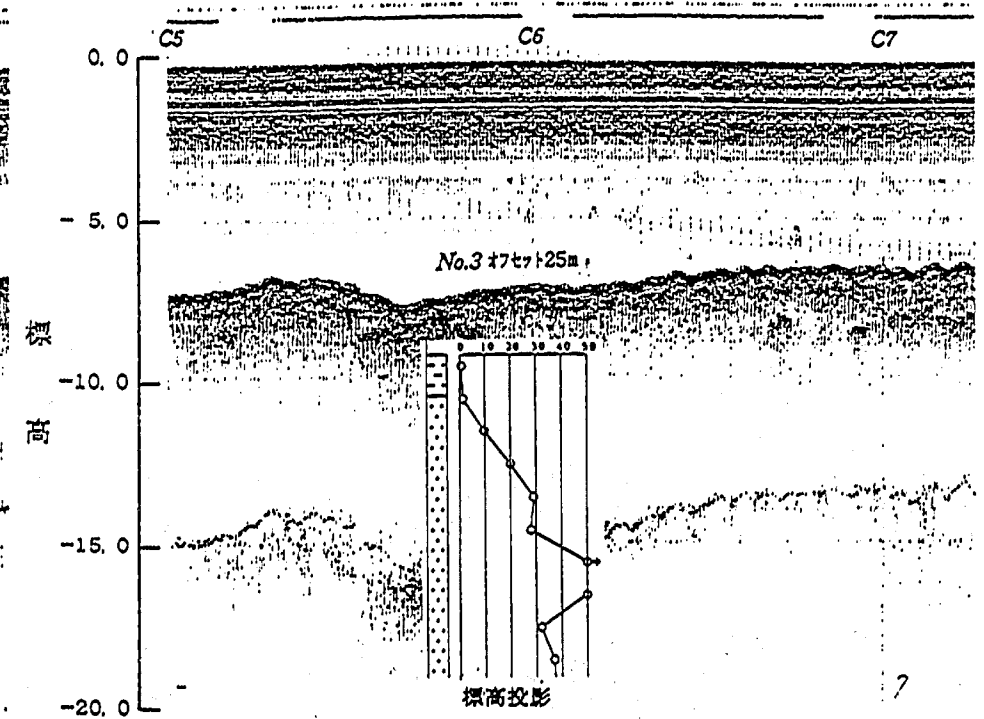
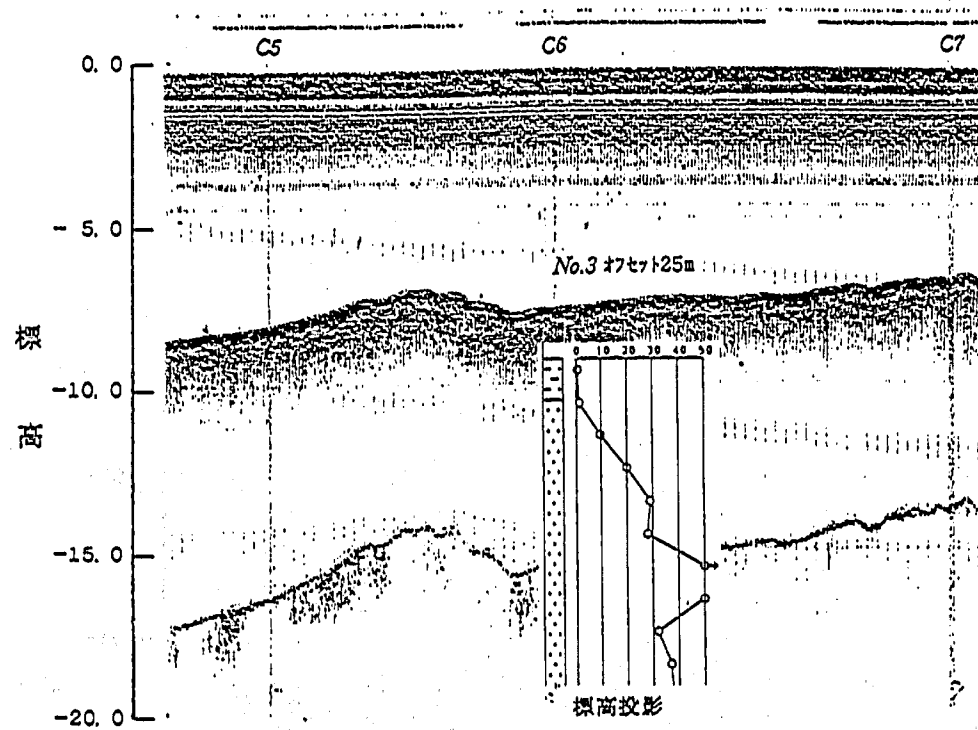


図-7.9 (e) 底質探査機の測定記録とボーリングの比較

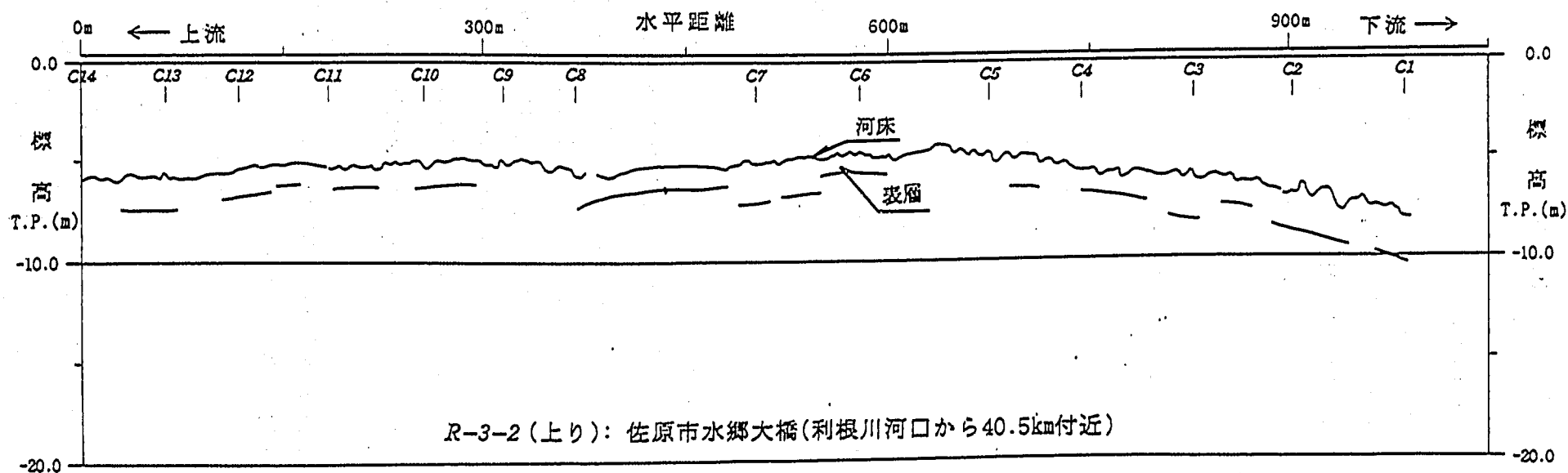
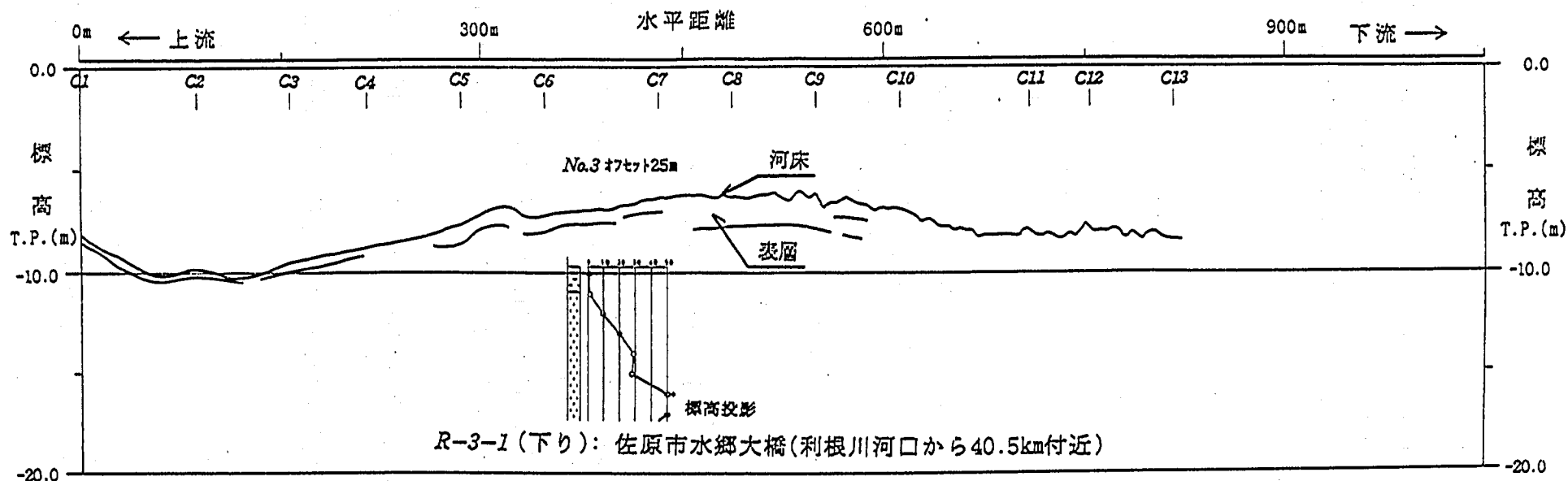


図-7.9(f) 底質探査機による測定記録の解析結果

7. 3 ユニブームの適用性試験

7. 3. 1 小舟木町付近

測定位置（航跡）図を図-7・7（a）に示す。測線はR-1-1とR-1-2の2本の測線を設定し、総延長は2,086mであった。測線ごとにまとめた測定記録（時間軸縮小）を図-7・10（a, b）に、測定記録（部分）と既存ボーリングとの対比を図-7・10（c）に示す。図-7・10（d）には解析結果である河床断面図を示す、この図は左側が上流側になるように統一してある。

1) R-1-1測線

図-7・10（d）の解析結果より、測定記録の100～700m付近までは層厚3m前後の表層が分布している。R-1-1測線に一番近いボーリング点はP4となり、測線から約55m離れている。計測記録とボーリング結果とを比較すると、表層と第2層目の境界はシルト質粘土層とシルト質細砂層の境界に相当するのではないかと考えられる。本調査地においても上記以外の区間は、音波散乱層の影響で反射波をとらえることはできなかった。

上流から150m付近と、400m～600mにかけて第2層目と第3層目の境界が検出されている。P4のボーリング結果と対比するとシルト質細砂層とシルト混じり細砂層の境界に相当する可能性が高い。また、150m～700mにかけては、第3層目と第4層目の境界が検出されている。これは、シルト混じり細砂層と固結シルト層の境界と考えられている。この境界は下流に向かいなだらかに傾斜（1/30）しているようである。

2) R-1-2測線

図-7・10（d）の解析結果より、測定記録の上流端～600m付近まで層厚3～4mの表層が分布している。この測線もR-1-1測線と同様に音波散乱層の影響を受けている。

R-1-2測線に近いP3のボーリング結果と比較すると、表層と第2層目との境界はヘドロ層と砂質シルト層の境界、あるいはP4の砂質シルト質とシルト質細砂層の境界に相当するものと思われる。

上流より400m付近から測線の最終端にかけて、第2層目のすぐ下に第3層目との境界らしきものが検出されている。この境界がどの地質の境界に相当するか明確ではないが、P3のボーリング結果と対比すると砂質シルト層とシルト質細砂層の境界である可能性が大きい。

以上の計測結果より、測線の上流側はP4に類似した地層構造を、中央部付近はP3に類似した地層構造である可能性が考えられる。

R1-1-1測線に比較的明瞭に検出されているシルト混じり細砂層と固結シルト層の境界は、上流から600mの範囲で部分的に検出されている。

R-1-1 (上り): 銚子市小舟木(利根川河口から10.5km付近)

上流側

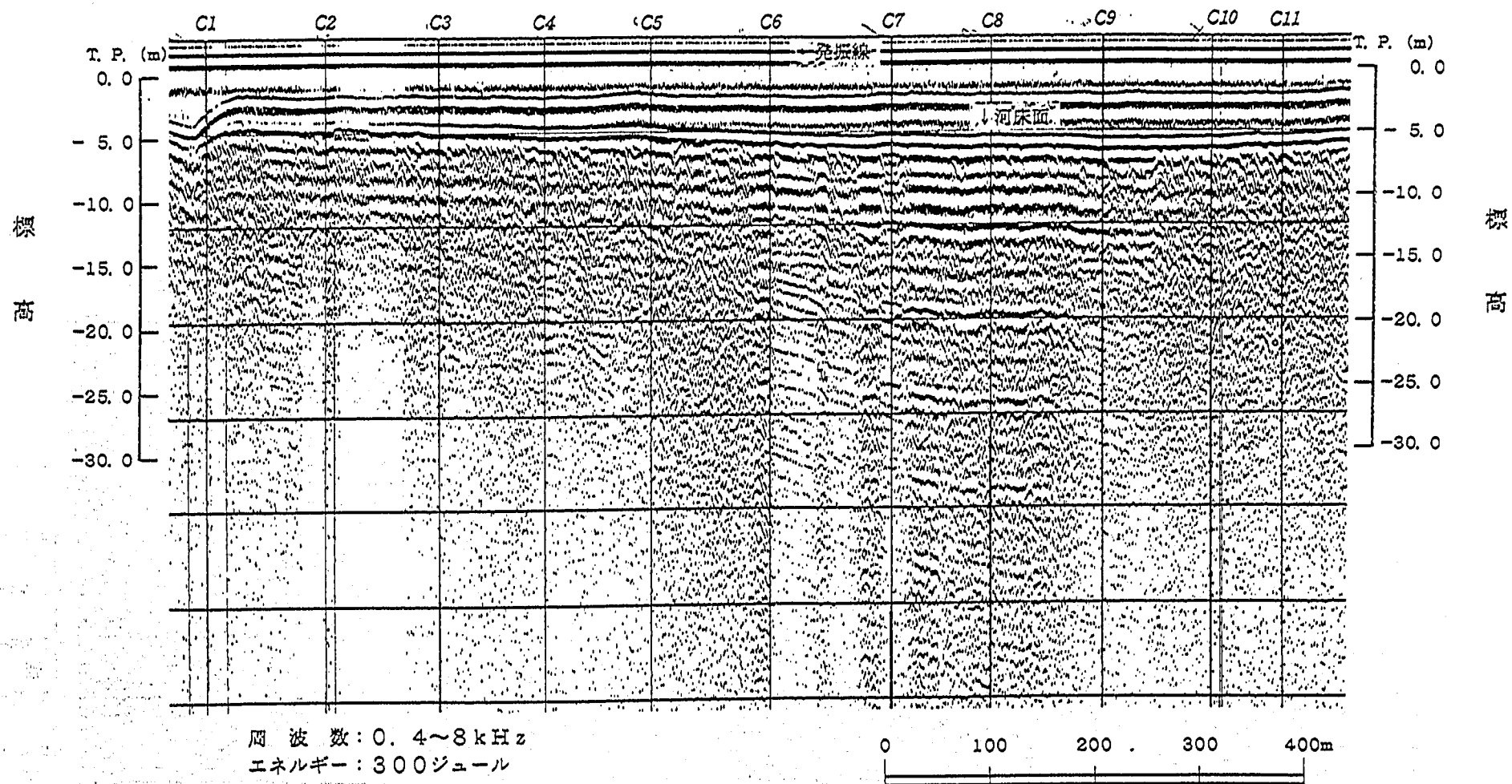


図-7.10 (a) ユニブームの測定記録

上流側

R-1-2 (下り): 銚子市小舟木(利根川河口から10.5km付近)

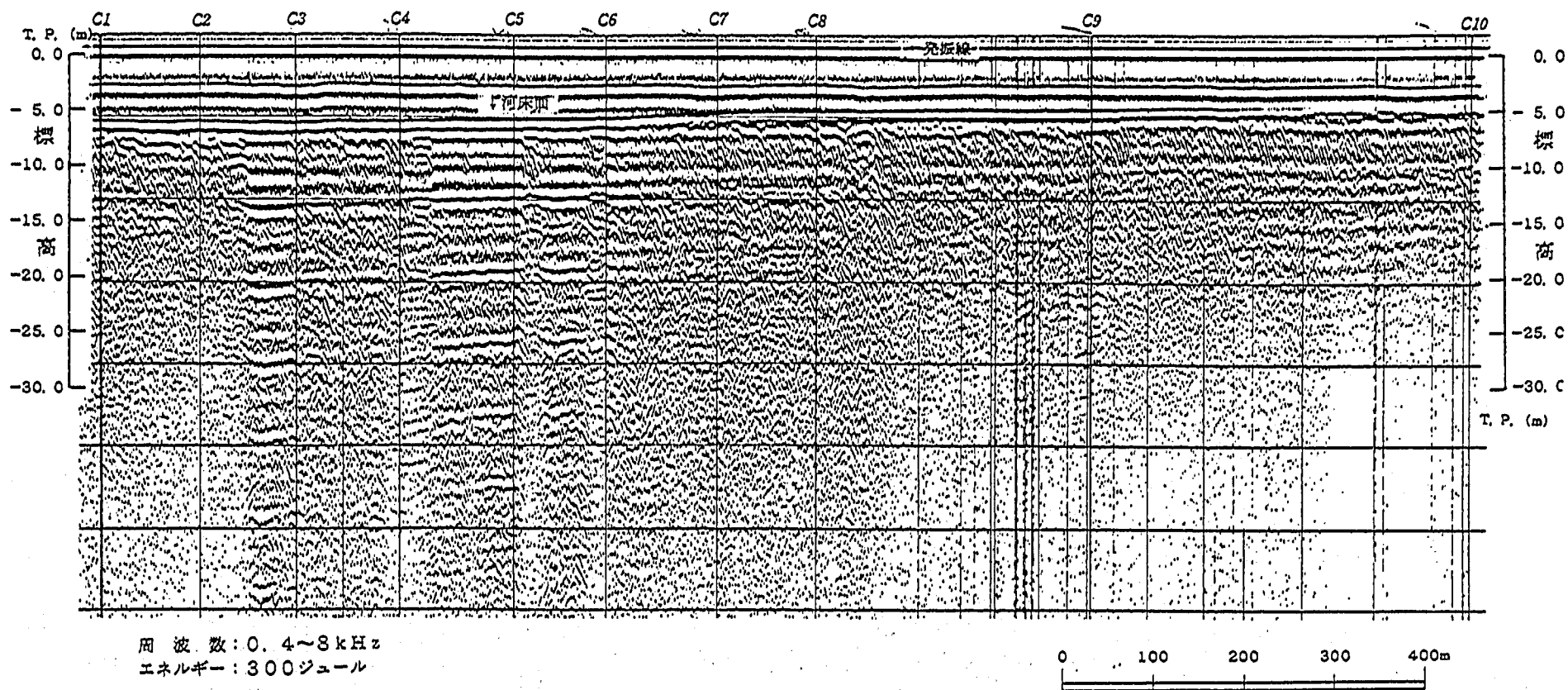
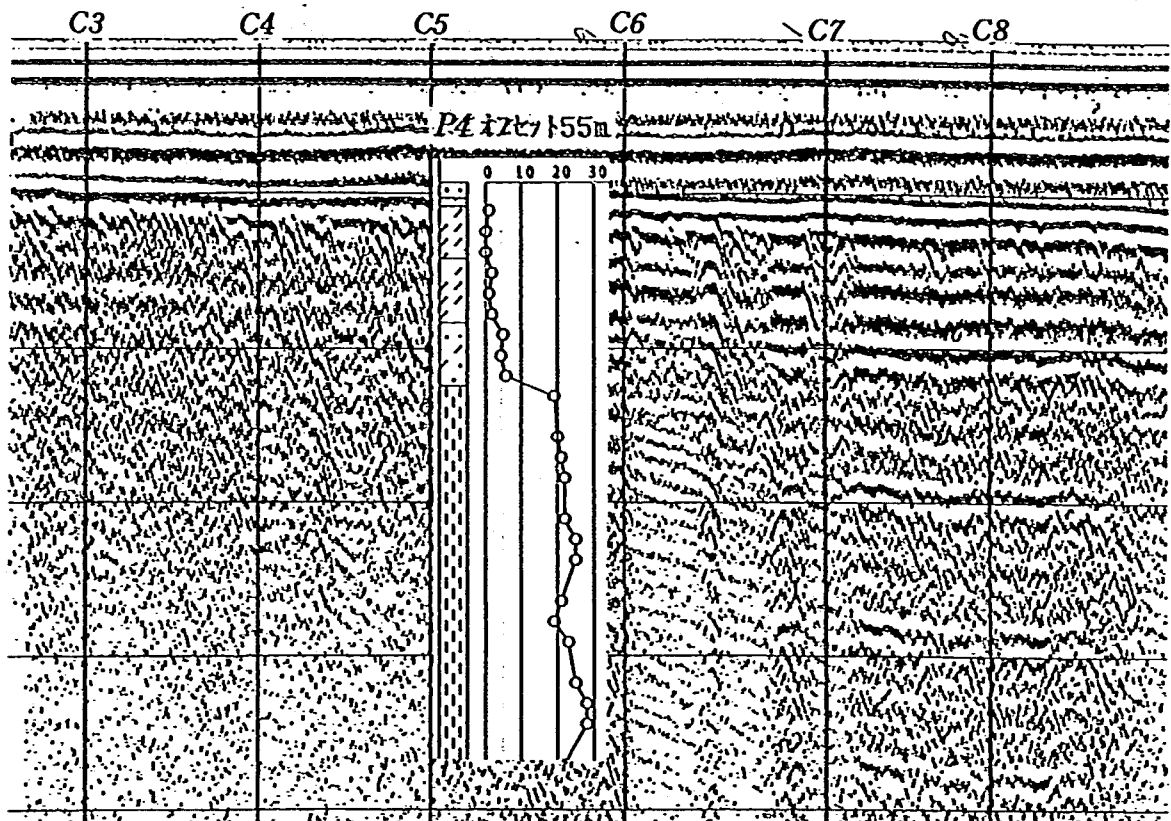


図-7.10 (b) ユニブームの測定記録

R-1-1 (上り) : 銚子市子舟木

R-1-1



R-1-2 (下り) : 銚子市子舟木

R-1-2

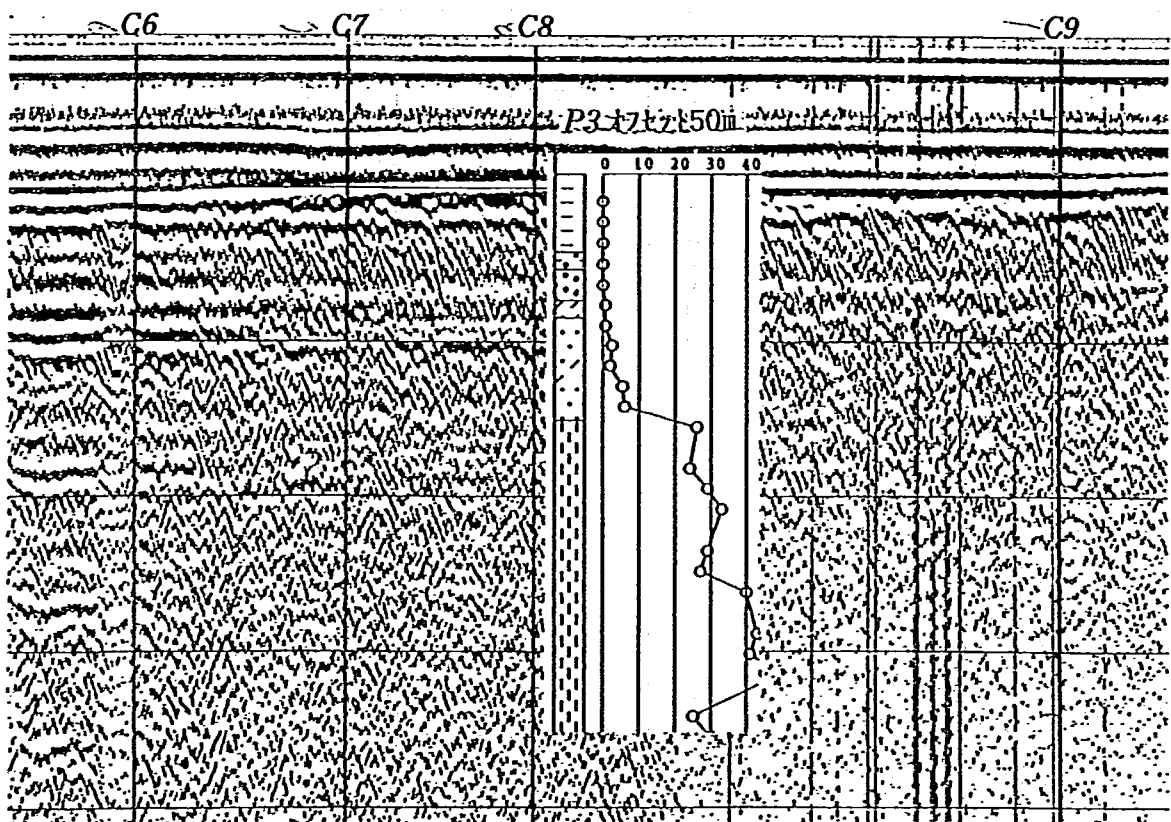


図-7. 10 (c) ユニブームの測定記録とボーリングの比較

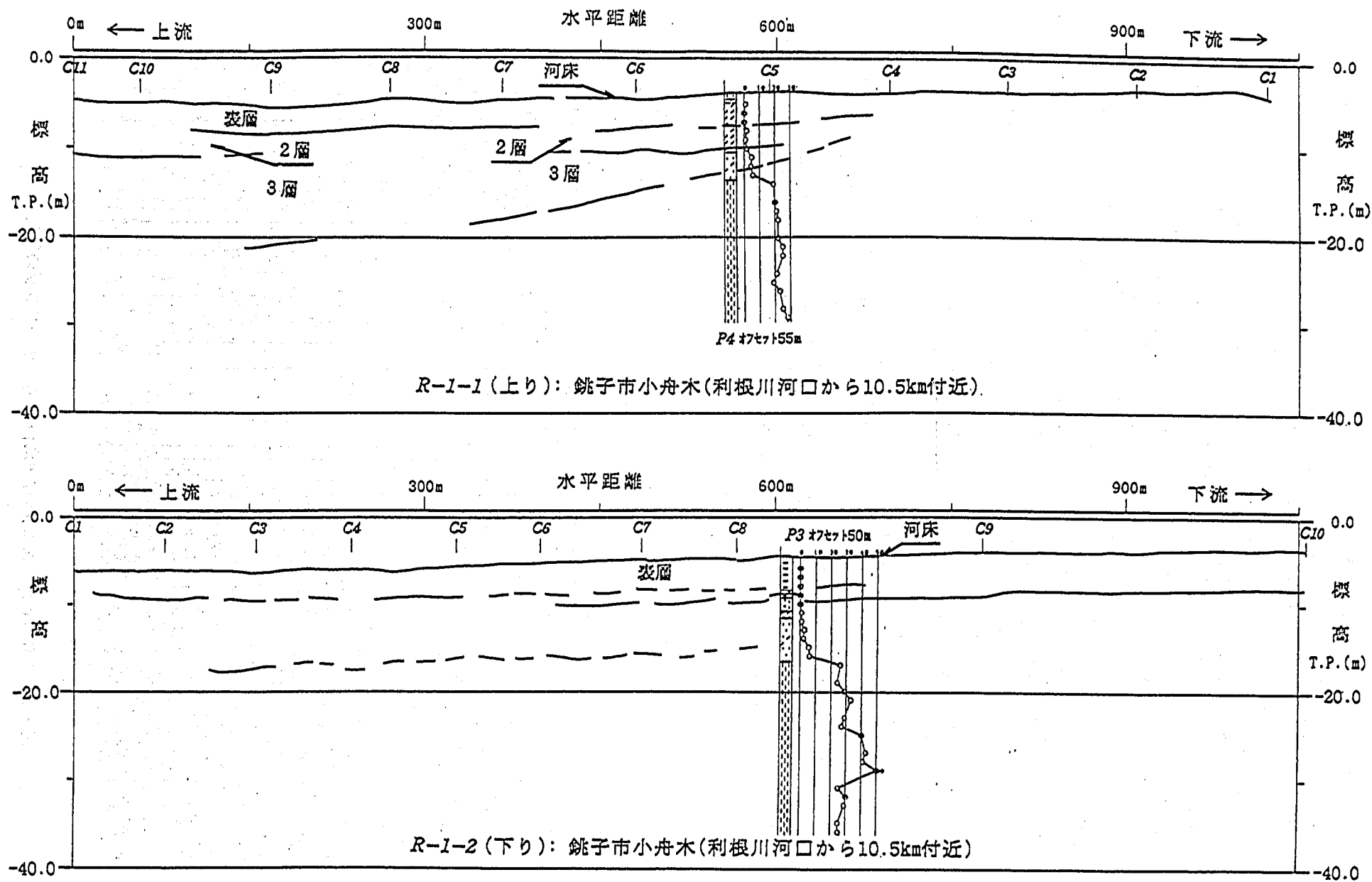


図-7. 10 (d) ユニブーム記録の解析結果

7. 3. 2 津の宮地区付近

測定位置（航跡）図を図-7・8（a）に示す。測線はR-2-1とR-2-2の2本の測線を設定し、総延長は2,061mであった。測線ごとにまとめた測定記録（時間軸縮小）を図-7・11（a, b）に、測定記録（部分）と既存ボーリングとの対比を図-7・11（c）に示す。図-7・11（d）には解析結果である河床断面図をしめす、この図は左側が上流側になるように統一してある。

1) R-2-1測線

図-7・11（d）の解析結果より、測定記録の上流端から200～700m付近まで層厚3m前後の表層が分布しているが、部分的に音波散乱層の影響により欠落している。R-2-1測線のC8地点はB-3ボーリングのほぼ真上で計測している。計測データとボーリング結果との比較検討を行うと、表層と第2層目の境界と思われるあたりには、シルト質細砂とシルト混じり細砂層の境界部にあたると考えられる。

なお、ユニブーム探査機では、滞筋部分の軟弱地盤は検出することはできなかった。

滞筋を調査したB2ボーリングと、R-2-1測線までの最短距離は10mであった。C-10地点の地質境界は、細砂層内の内部境界（N値の違い）によるものと思われる。

計測記録の上流部300m付近～650m付近にかけて、第2層目と第3層目の境界が検出されて、これはシルト混じり細砂層と細砂層の境界に相当するものと考えられる。この地層界は底質探査機の調査結果で、第3層目と第4層目の境界として検出されている。

2) R-2-2測線

図-7・11（d）の解析結果より、音波散乱層の影響で部分的にしか計測されていないが、層厚1.0～2.0mの表層が分布していることがわかる。本調査装置ではR-1-1測線と同様、滞筋部の軟弱地盤層は検出できなかった。また、この表層の厚さは底質探査機で得られた表層と同じ境界であると思われる。

計測記録の上流端～500m付近までは、第2層目と第3層目の境界を確認することができ、C7付近には第4層目との境界が部分的に検出されている。

R-2-1 (下り): 佐原市津の宮(利根川河口から36.5km付近)

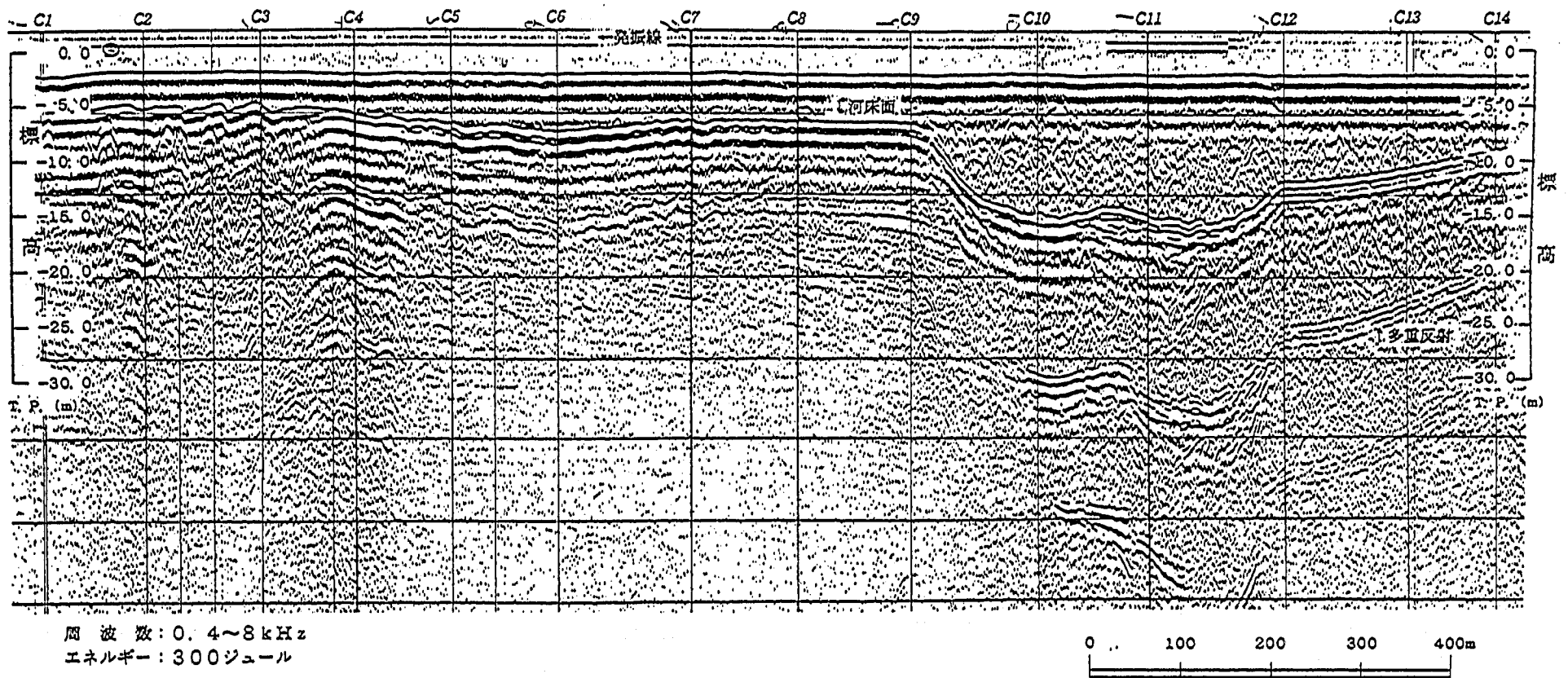


図-7. 11 (a) ユニブームの測定記録

R-2-2 (上り): 佐原市津の宮(利根川河口から36.5km付近)

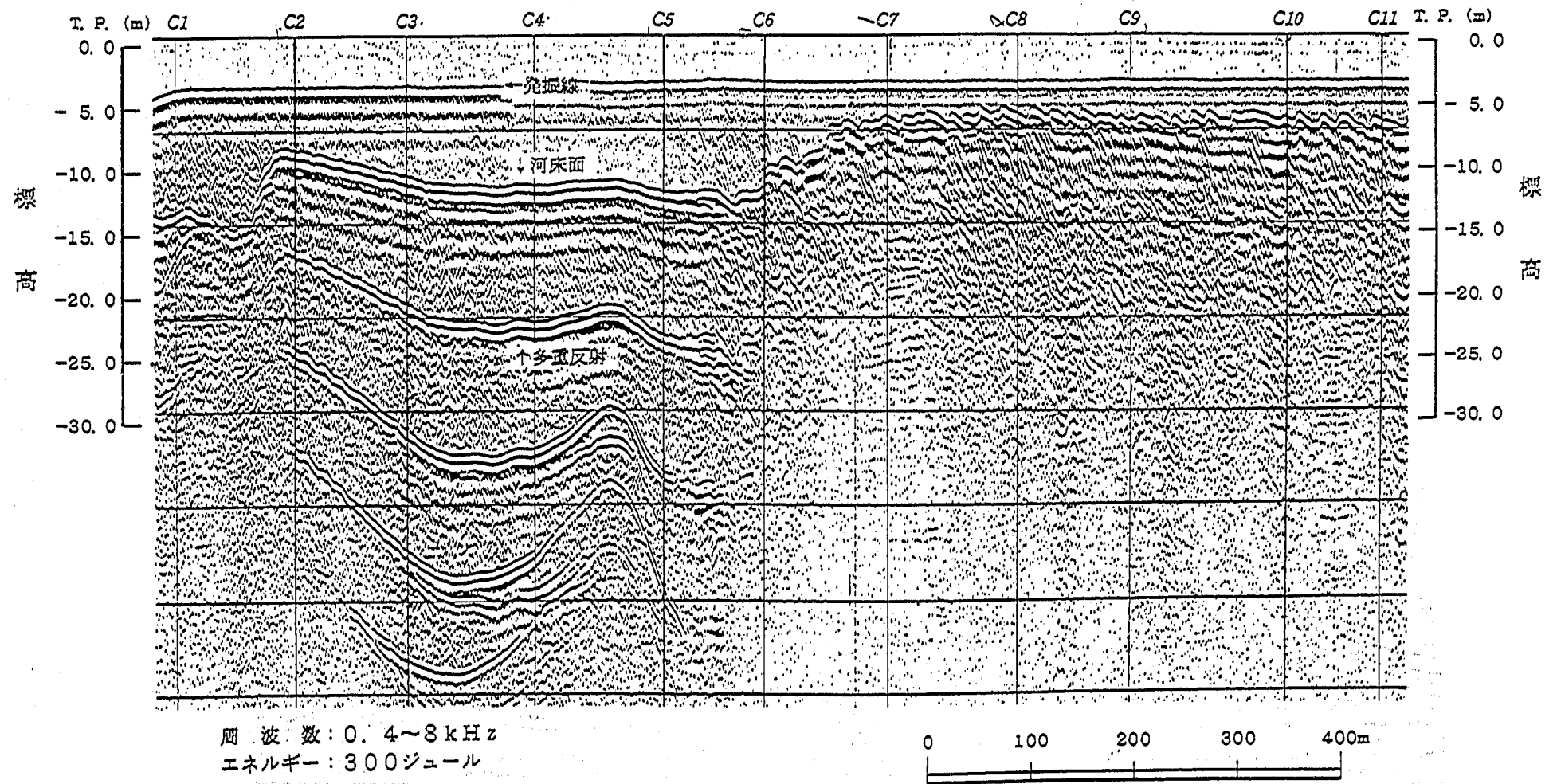


図-7. 11 (b) ユニブームの測定記録

R-2-1 (下り) : 佐原市津の宮

R-2-1

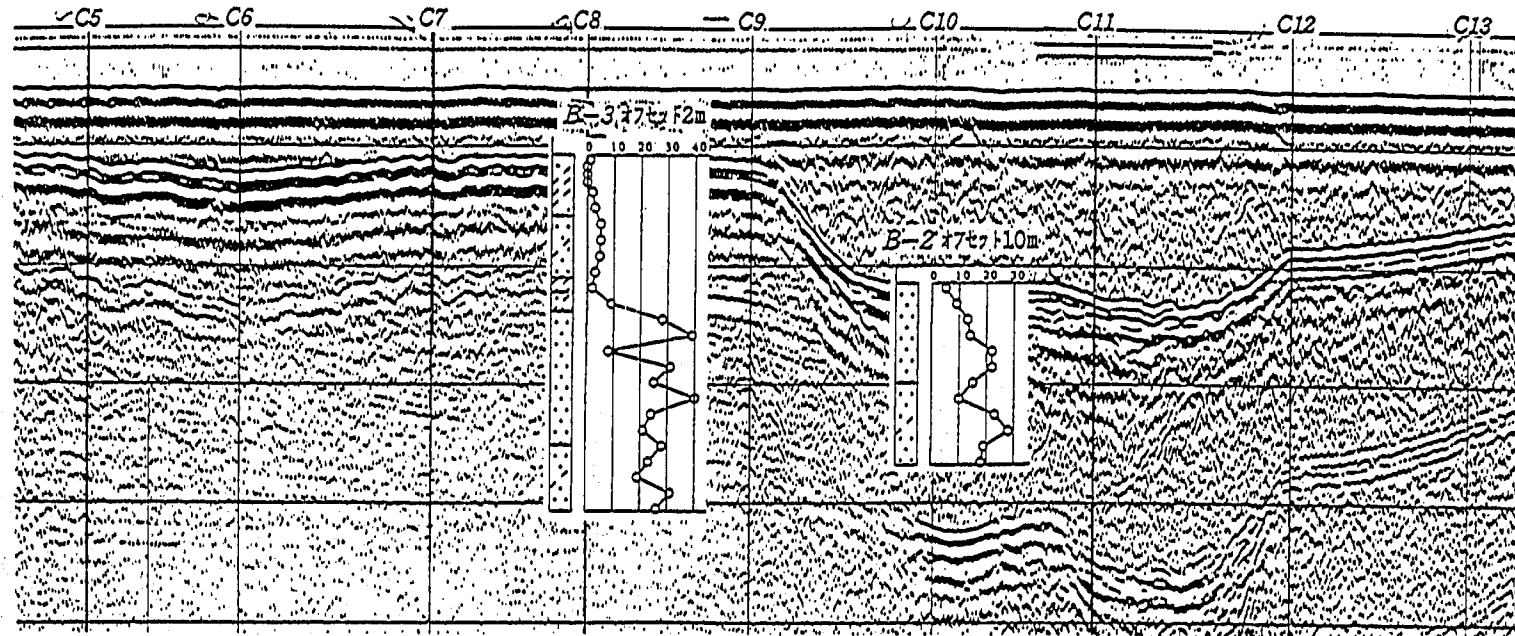


図-7. 11 (c) ユニブームの測定記録とボーリングの比較

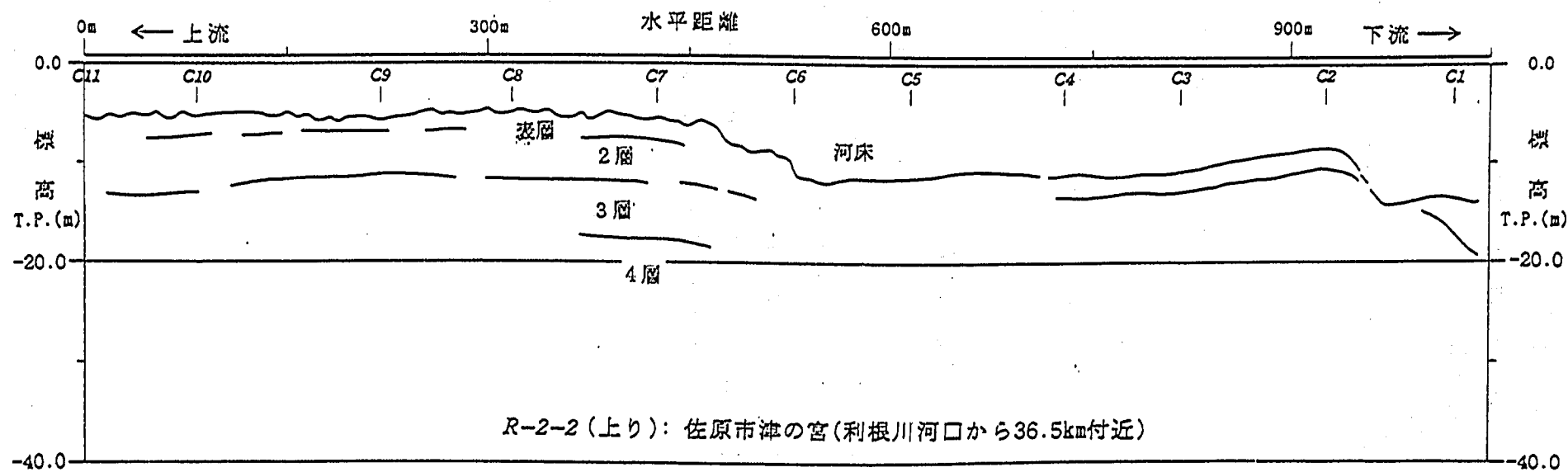
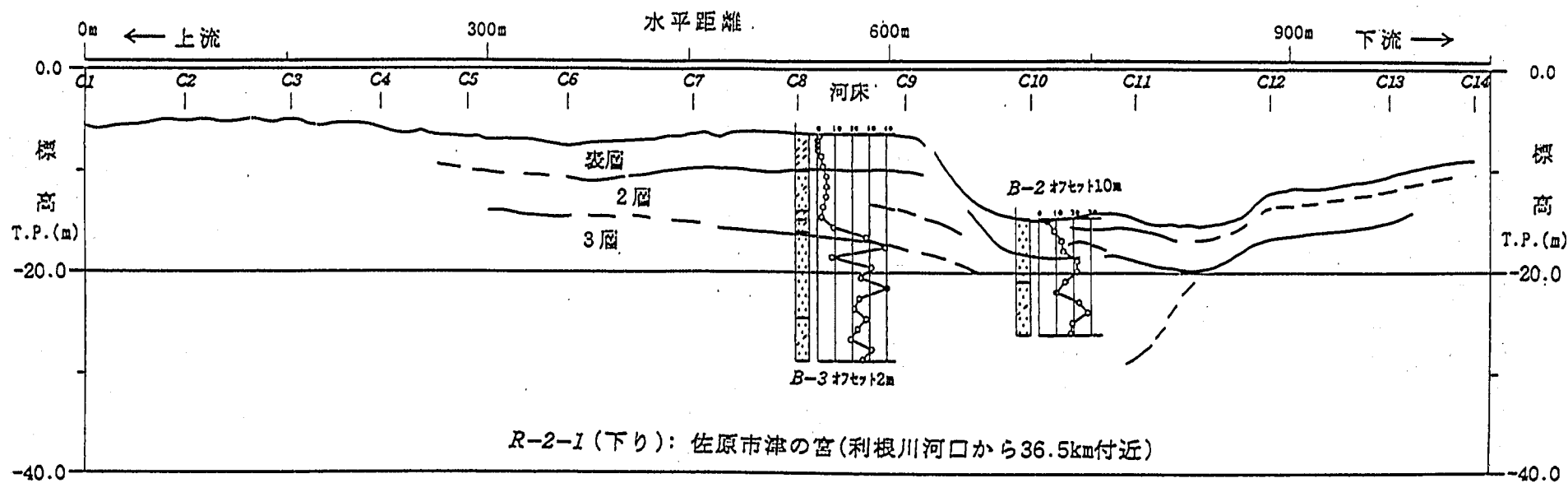


図-7.11(d) ユニブーム記録の解析結果

7. 3. 3 水郷大橋付近

測定位置（航跡）図を図-7・9（a）に示す。測線はR-3-1とR-3-2およびR-3-3の3本の測線を設定し、総延長は2,726mであった。このうち前2測線について解析を行っている。測線ごとにまとめた測定記録（時間軸縮小）を図-7・12（a, b, c）に、測定記録（部分）と既存ボーリングとの対比を図-7・12（d）に示す。図-7・12（e）には解析結果である河床断面図をしめす、この図は左側が上流側になるように統一してある。

1) R-3-1測線

測線全線にわたり、音波散乱層のために地層境界を検出することはできなかった。

2) R-3-2測線

測線全線にわたり、音波散乱層のために地層境界を検出することはできなかった。

7. 3. 4 実験結果のまとめ

以上の結果より、ユニブーム型音波探査機を河川において使用する場合は、河床の条件が良くても河床下10m程度の探査能力しか持ちあわせていないことが判明した。

探査に使用している周波数が適用性試験に用いている装置の中で一番低いことから、地層の厚さに対する分解能力は4~5m程度と低かった。

音波散乱層の影響を強く受けており、小舟木地区と津の宮地区では70%近く影響を受けた測線もあった。また、水郷大橋では全測線で影響を受け計測記録が得られなかった。

R-3-1 (下り): 佐原市水郷大橋(利根川河口から40.5km付近)

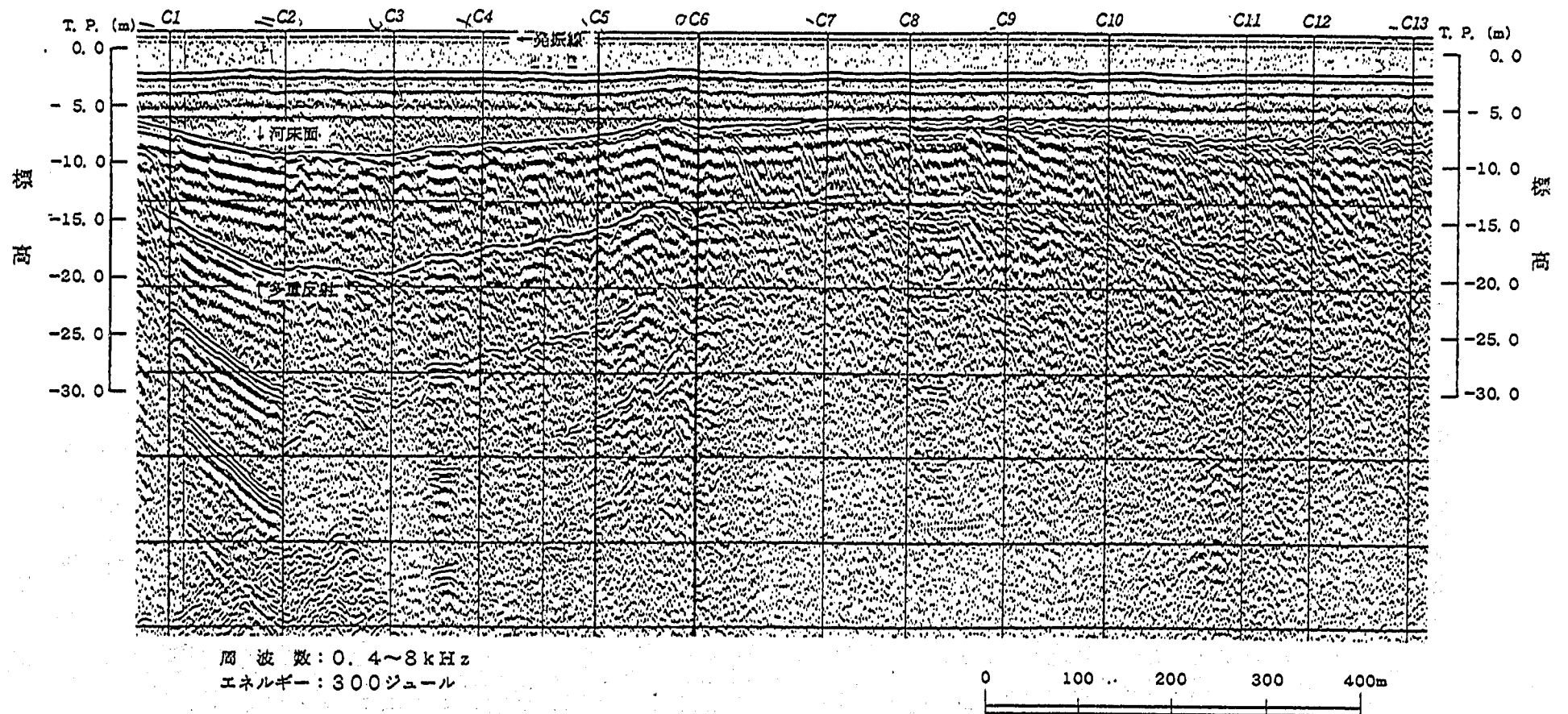


図-7.12 (a) ユニブームの測定記録

R-3-2 (上り): 佐原市水郷大橋(利根川河口から40.5km付近)

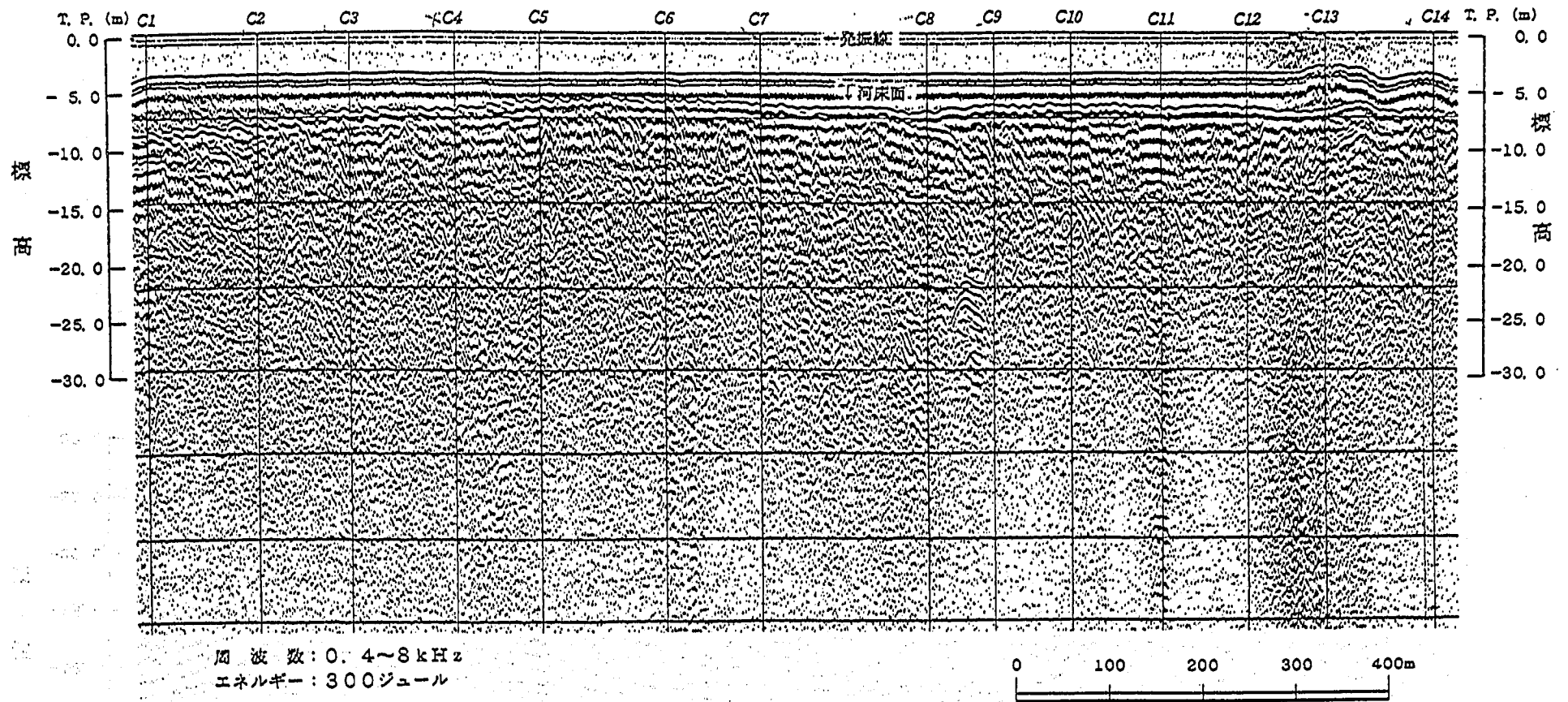


図-7.12 (b) ユニブームの測定記録

R-3-3 (下り): 佐原市水郷大橋(利根川河口から40.5km付近)

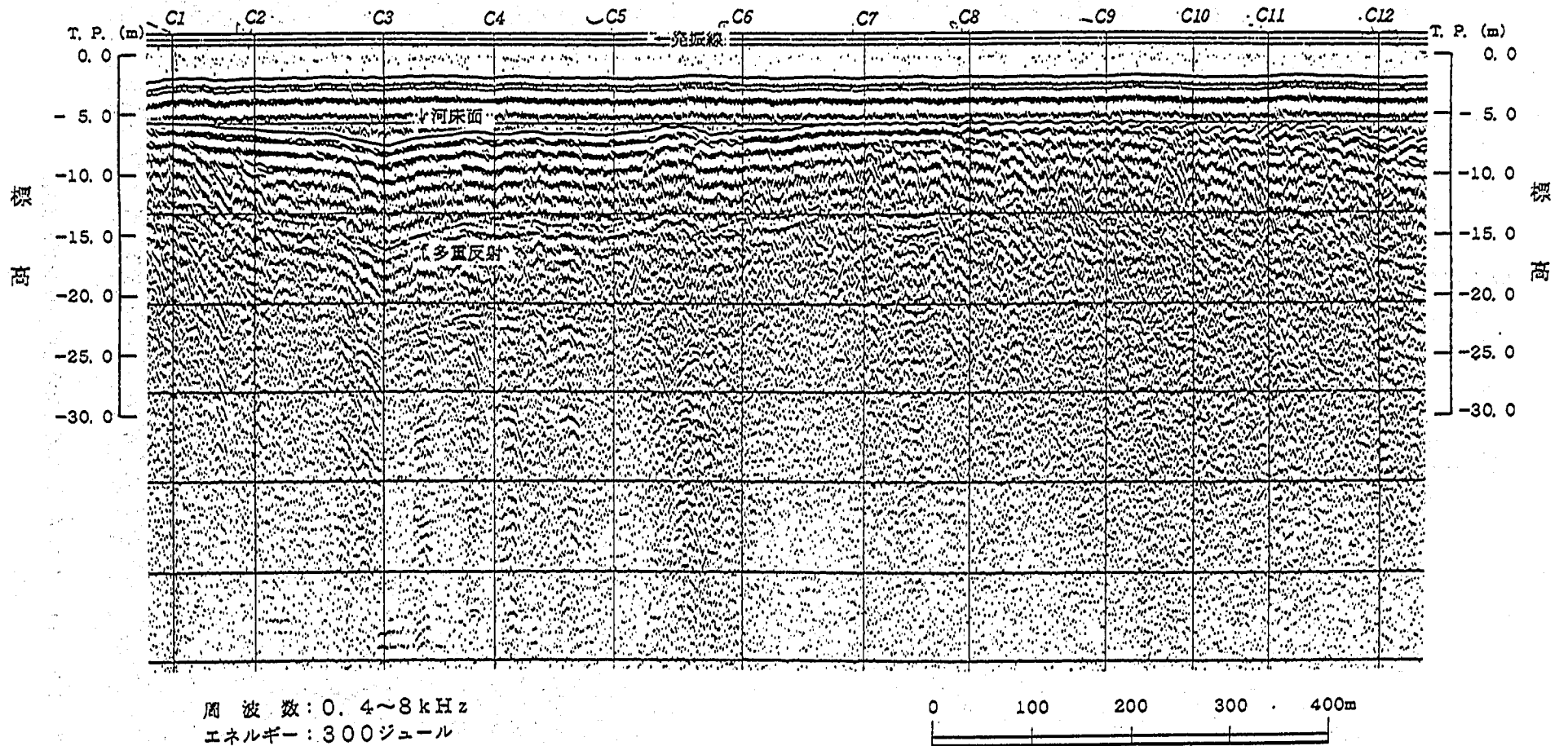
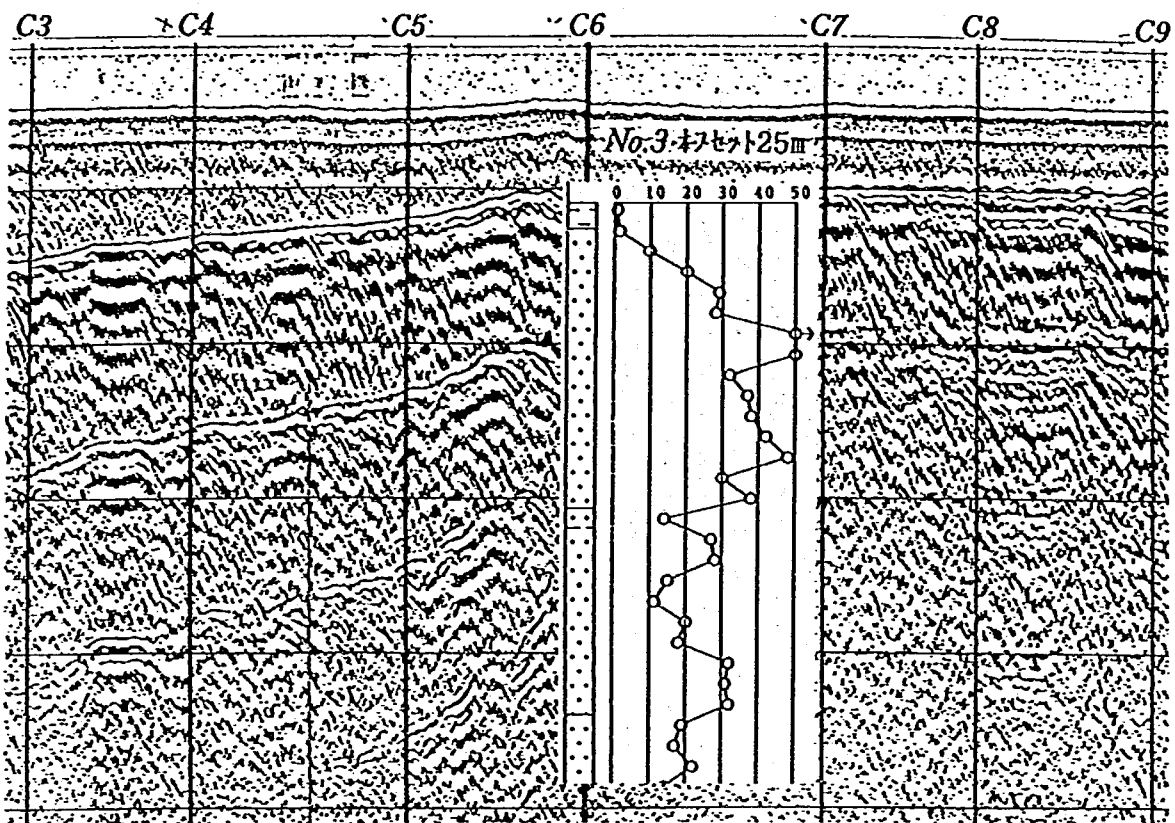


図-7.12 (c) ユニブームの測定記録

R-3-1 (下り) : 佐原市水郷大橋

R-3-1



R-3-3 (下り) : 佐原市水郷大橋

R-3-3

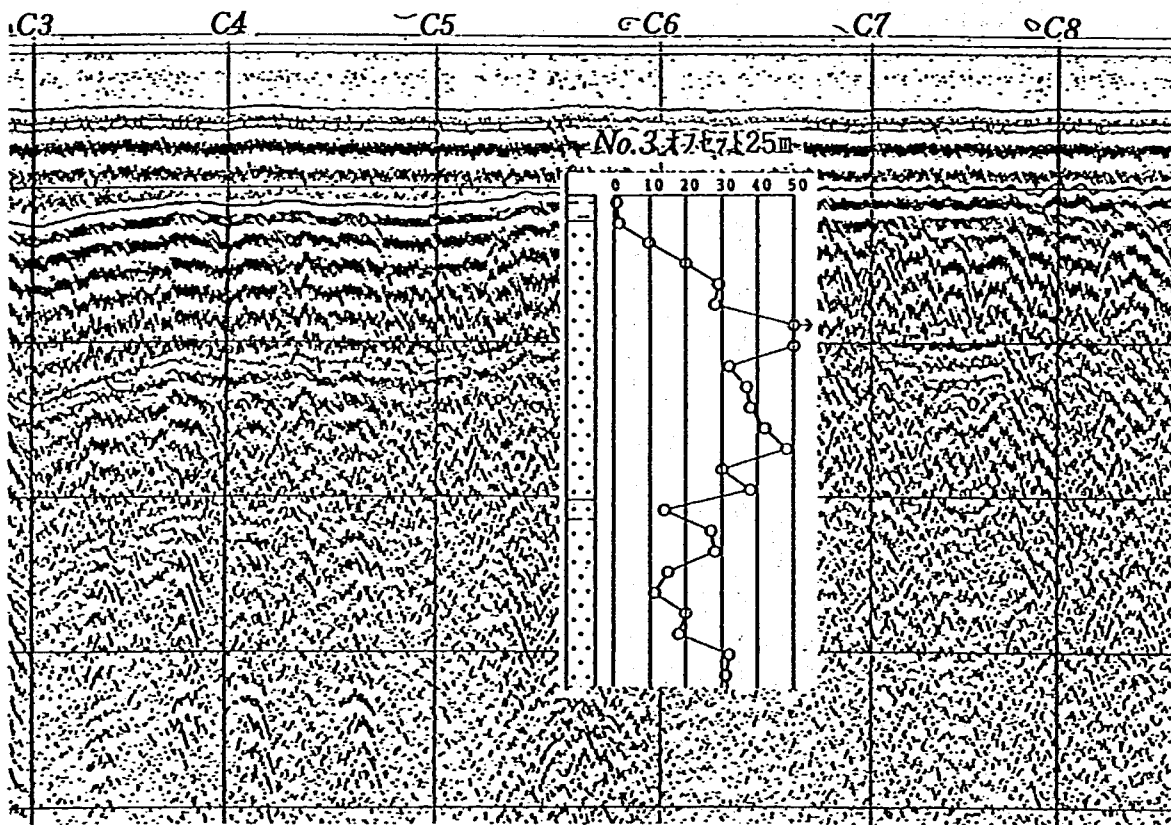


図-7. 12 (d) ユニブームの測定記録とボーリングの比較

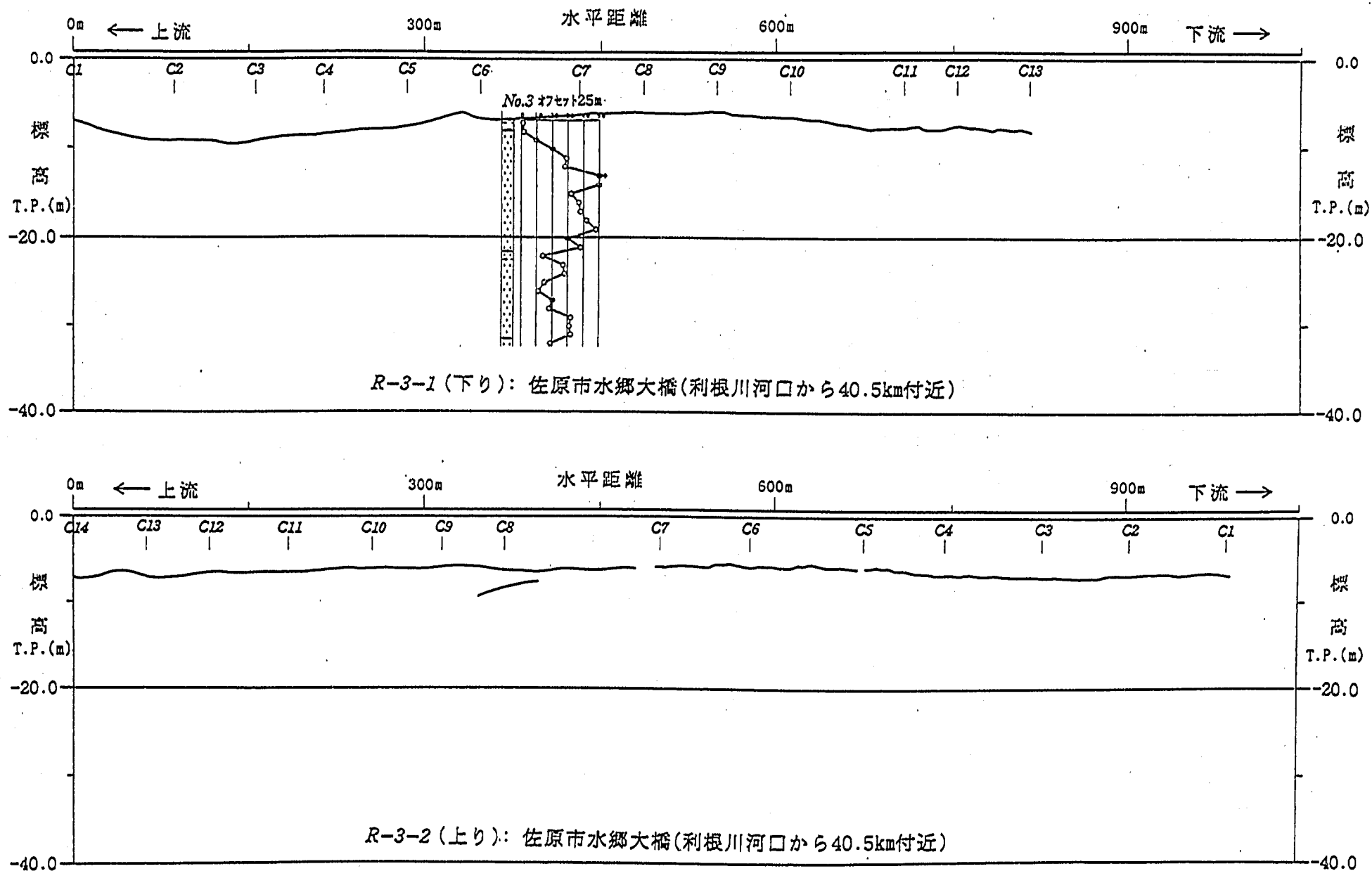


図-7.12 (e) ユニブームによる測定記録の解析結果

7. 4 サブボトムプロファイラーの適用性試験

7. 4. 1 小舟木町付近

測定位置(航跡)図を図-7・13(a)に示す。測線はR-1-1とR-1-2の2本の測線を設定し、総延長は1,916mであった。測線ごとにまとめた測定記録(時間軸縮小)を図-7・13(b, c)に、測定記録(部分)と既存ボーリングとの対比を図-7・13(d)に示す。図-7・13(e)には解析結果である河床断面図をしめす、この図は左側が上流側になるように統一してある。

1) R-1-1測線

図-7・13(e)の解析結果より、測定記録の上流端~350m付近まで平均層厚0.6mの表層が検出された。350m付近から測線の最終端にかけて大まかに3層の構造が検出された。

R-1-1測線に一番近いボーリング点はP4となり、測線から約60m離れている。計測記録とボーリング結果との比較を行うと、深度0.75mの音波境界は細砂とシルト混じり細砂層の境界に。深度1.2mの音波境界は、シルト混じり細砂層とシルト質粘土の境界に相当するものと考えられる。

2) R-1-2測線

図-7・13(e)の解析結果より、測定記録の上流端~300m付近まで平均層厚0.5mの表層が検出された。

P4ボーリングと測線との最短距離は約60mとなっており、計測記録とボーリング結果との比較を行うと、深度0.75mの音波境界は細砂層とシルト混じり細砂層の境界に、深度1.15mの音波境界はシルト混じり細砂層とシルト質粘土の境界に相当するものと考えられる。

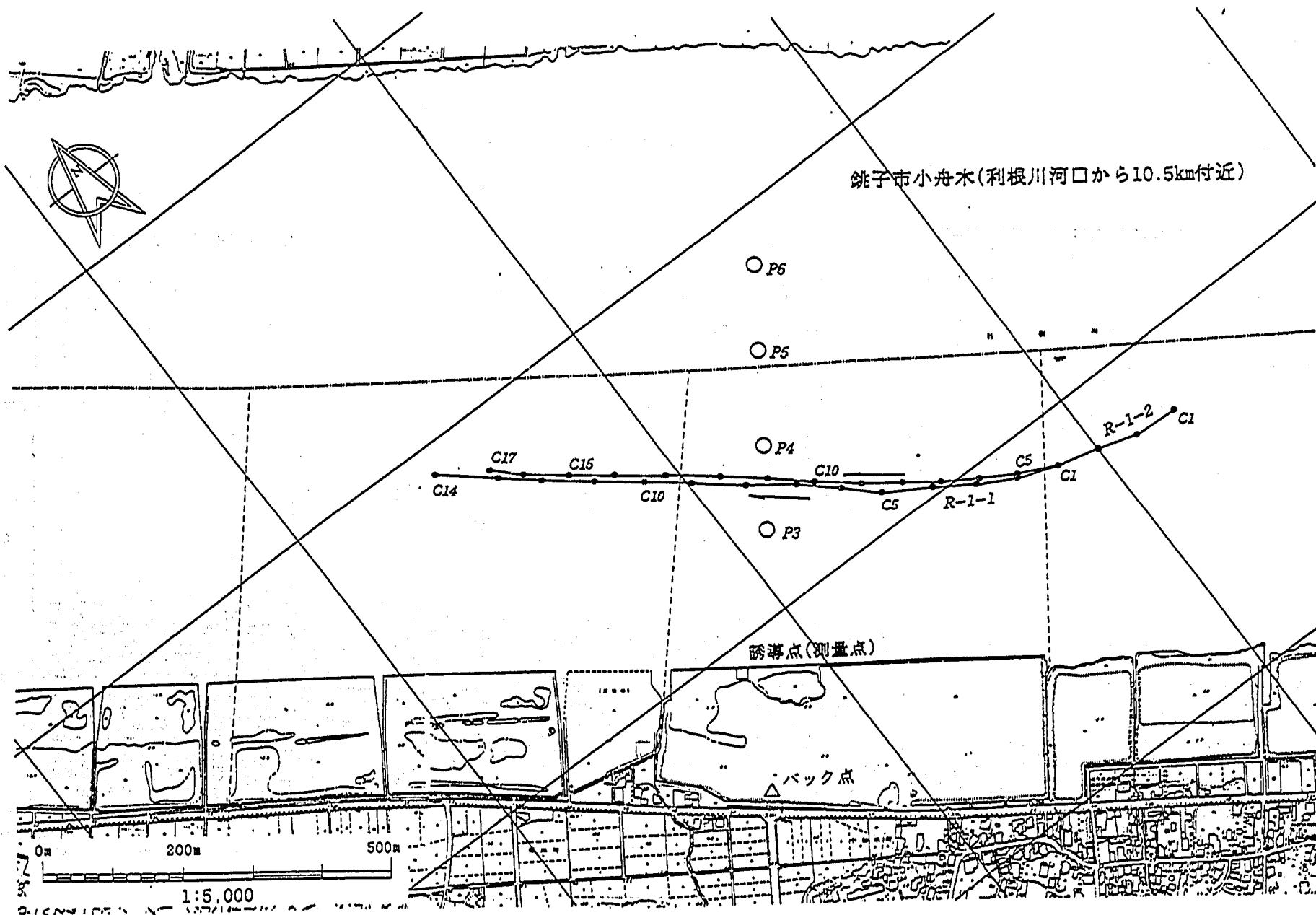


図-7. 13 (a) サブボトムプロファイラーの測線位置

R-1-1 (上り): 銚子市小舟木(利根川河口から10.5km付近)

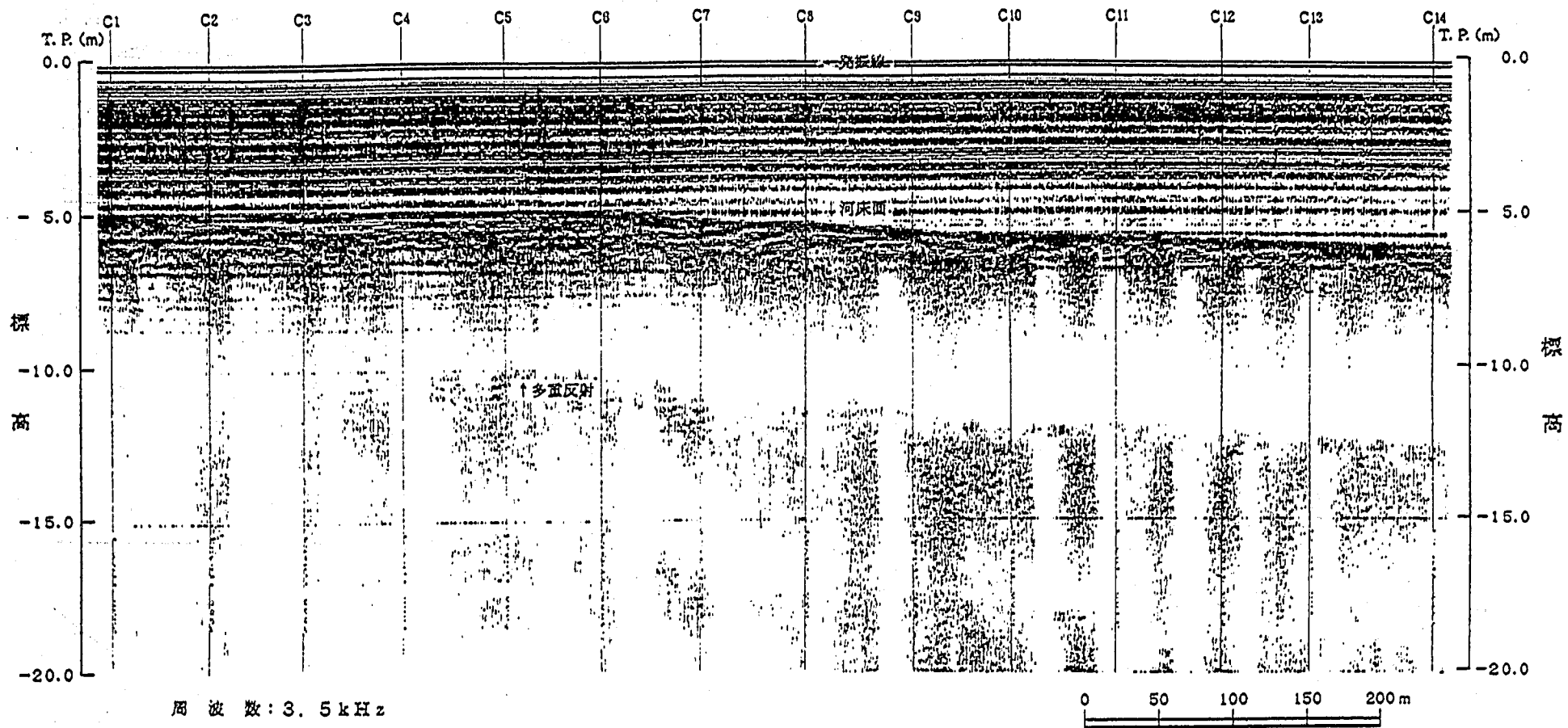


図-7.13 (b) サブボトムプロファイラーの測定記録

R-1-2 (上り): 銚子市小舟木(利根川河口から10.5km付近)

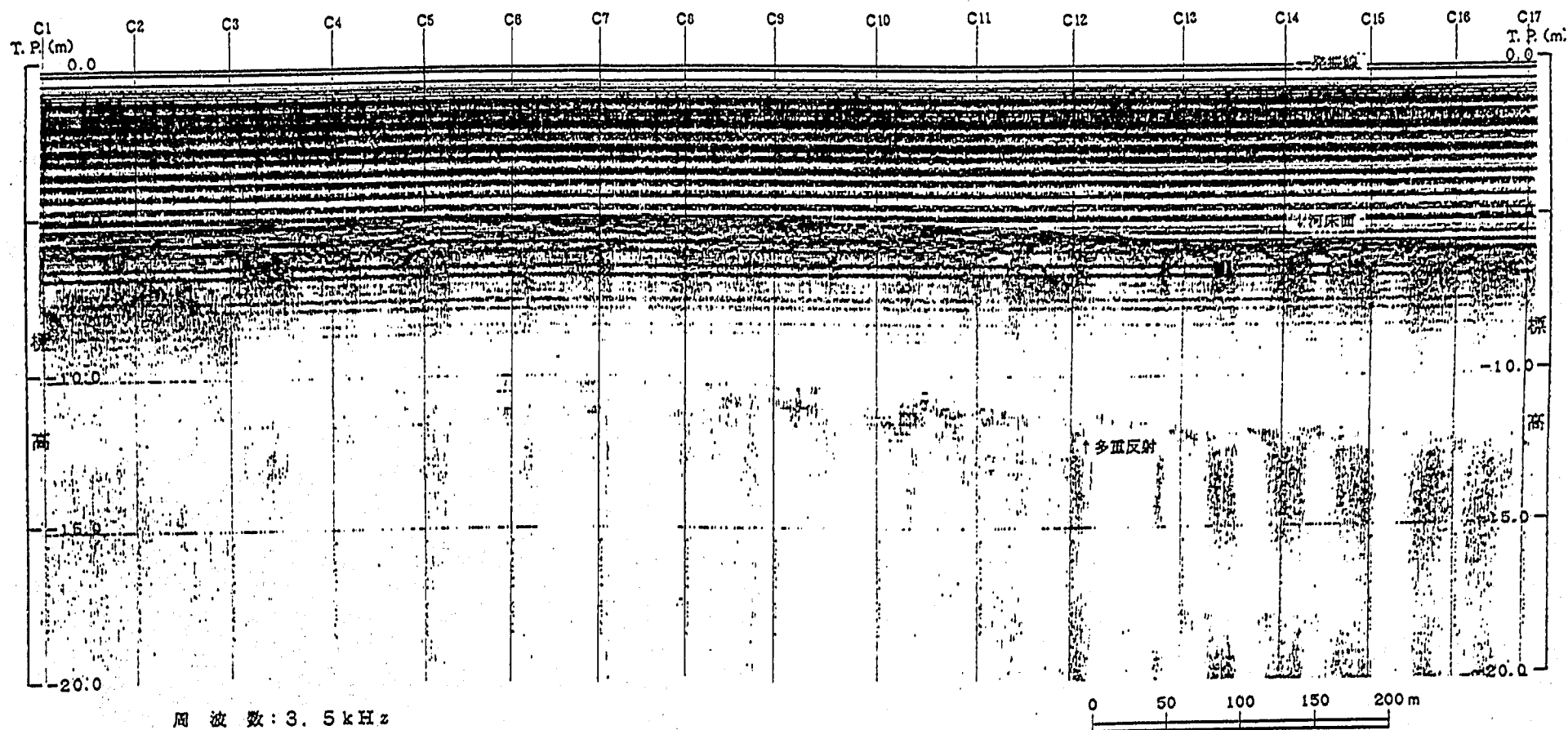


図-7.13(c) サブボトムプロファイラーの測定記録

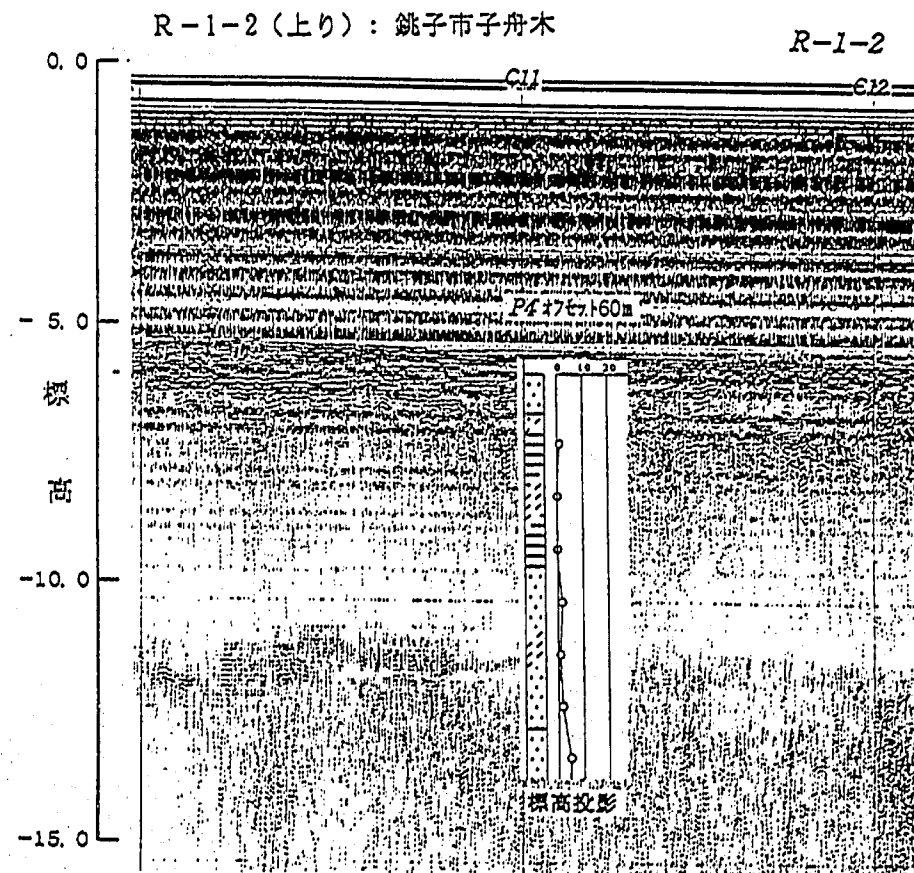
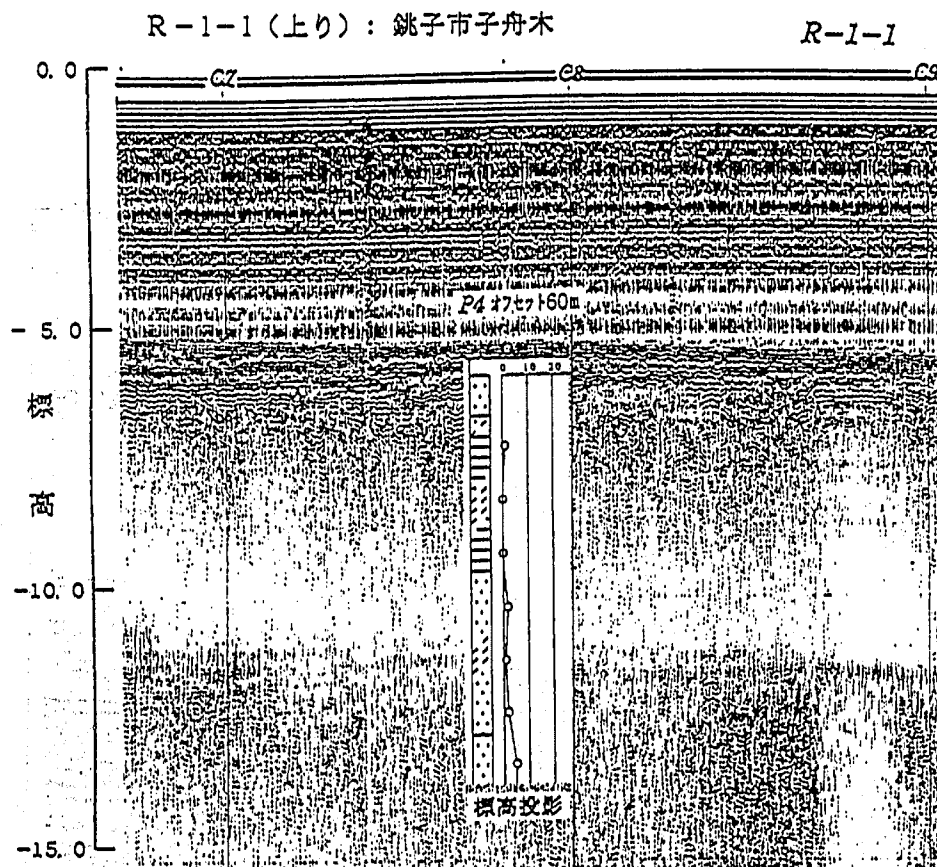


図-7. 13 (d) サブボトムプロファイラーの測定記録とボーリングの比較

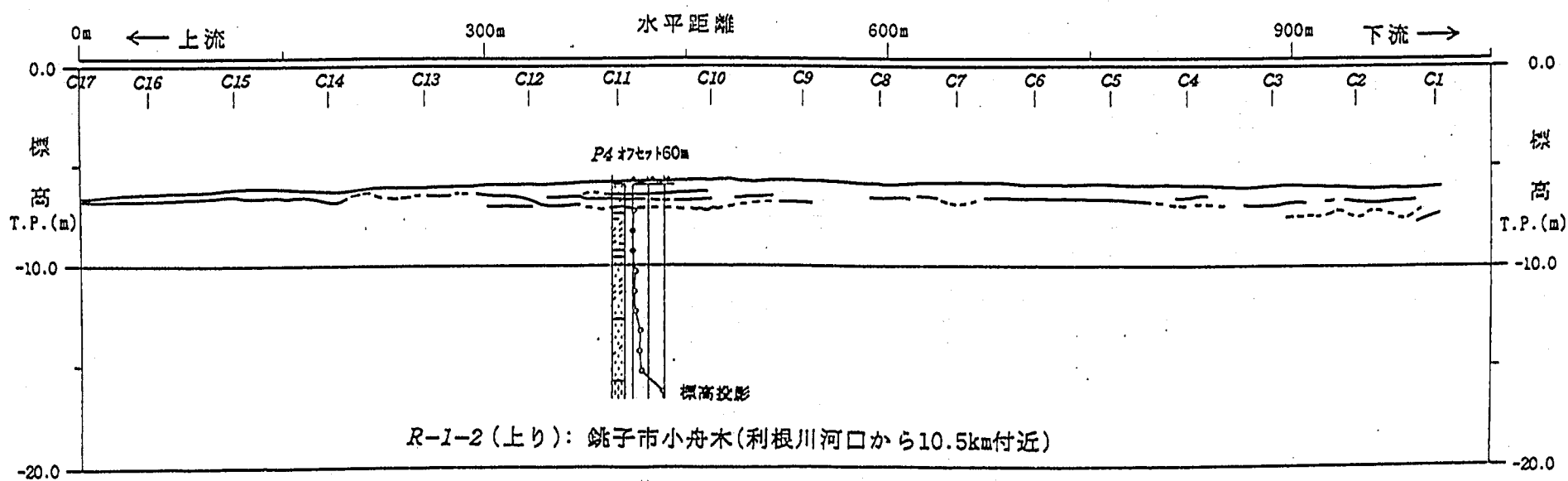
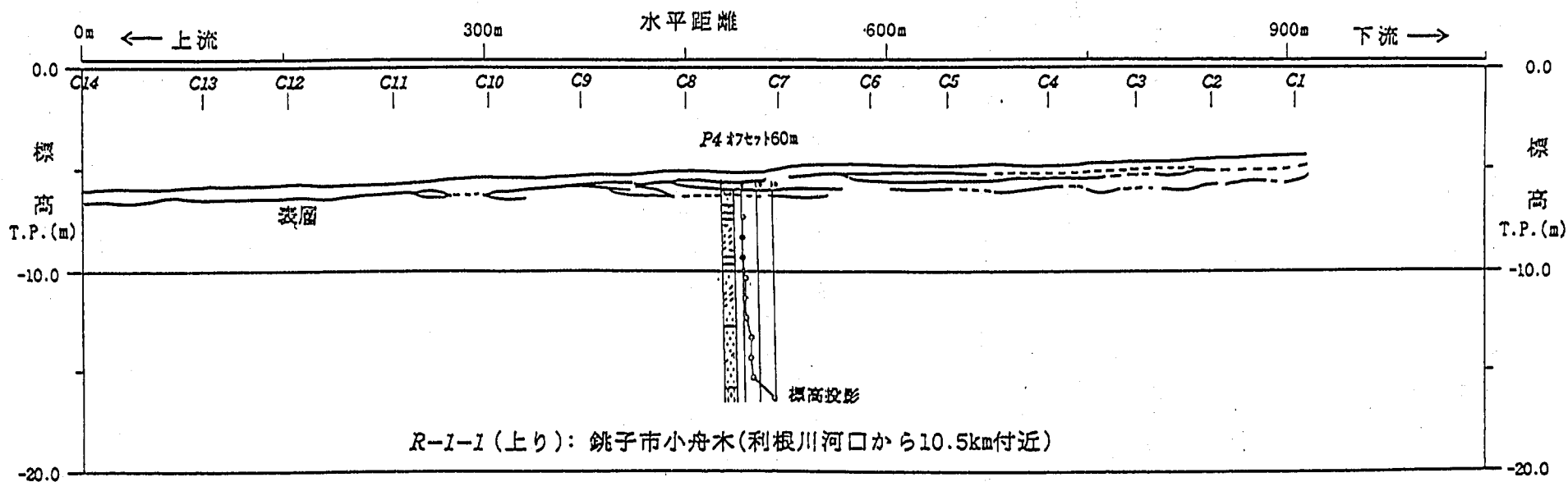


図-7. 13 (e) サブボトムプロファイラーによる測定記録の解析結果

7. 4. 2 小舟木町付近

測定位置（航跡）図を図-7・14（a）に示す。測線はR-2-1とR-2-2の2本の測線を設定し、総延長は1,933mであった。測線ごとにまとめた測定記録（時間軸縮小）を図-7・14（b, c）に、測定記録（部分）と既存ボーリングとの対比を図-7・14（d, e）に示す。図-7・14（f）には解析結果である河床断面図を示す、この図は左側が上流側になるように統一してある。

1) R-2-1測線

図-7・14（f）の解析結果より、計測記録の上流端～400m付近にかけて層厚0.4mの表層が検出された。

上流端より520m～650mにかけては、平均層厚0.4mの第2層目が、さらにその下位には0.3mの第3層目が検出されている。しかし、650～750mにかけては、音波散乱層の影響により記録が不鮮明となっている。

B-3ボーリングからR-2-1測線までの最短距離は5mであり、また、B-2ボーリングから測線までの距離は22mとなっていた。しかし、音波が河床下1.0から2.0m付近までしか到達していないため両者を比較することはできなかった。このことより、1層目、2層目と考えられた地層境界は、シルト質細砂層内の内部境界が表示されたものと思われる

2) R-2-2測線

図-7・14（f）の解析結果より、上流端から200～400mにかけては、平均層厚0.5mの第1層目、さらに下には厚さ0.35m程度の第2層目が検出された。また450～600mにかけても層厚0.5mの第1層目、層厚0.35m程度の第2層目が検出された。さらにその下位に最大層厚3mの第3層目が検出されている。

図-7・14（c）の測定記録の上流端より800m付近に見られる色の薄い層はヘドロ状（軟弱地盤）の軟らかい堆積物と考えられる。

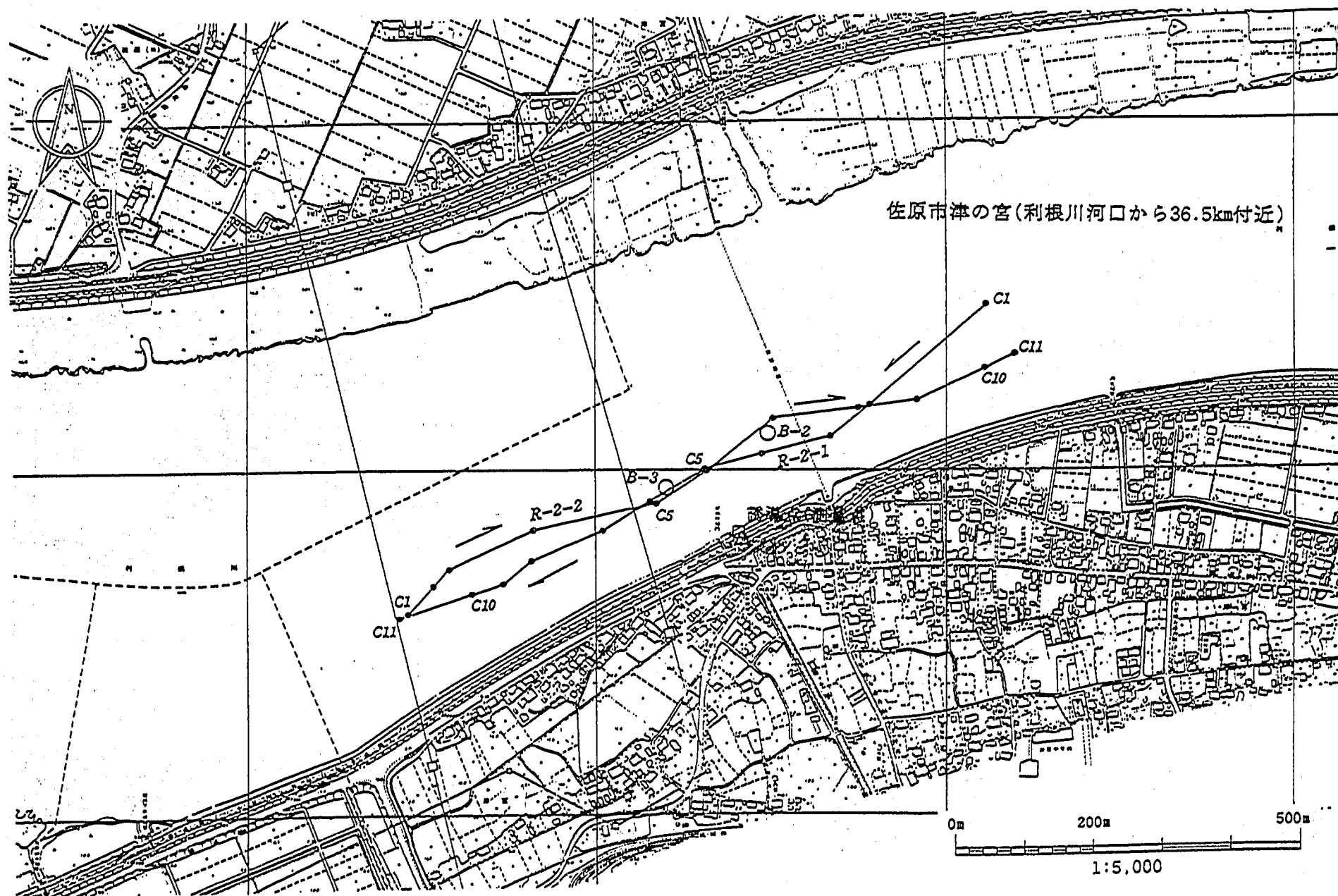


図-7. 14 (a) サブボトムプロファイラーの測線位置

R-2-1 (上り): 佐原市津の宮(利根川河口から36.5km付近)

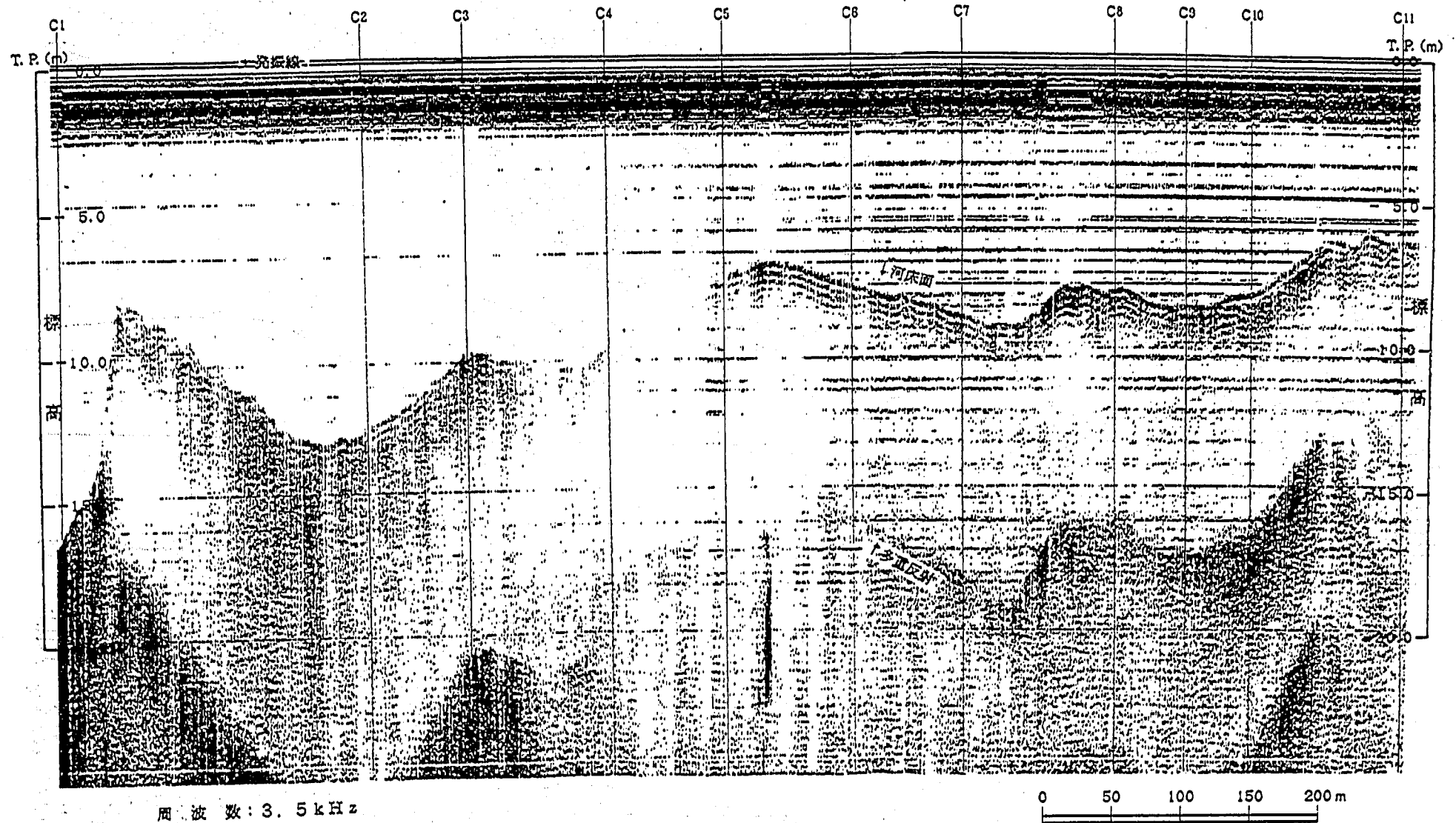


図-7. 14 (b) サブボトムプロファイラーの測定記録

R-2-2 (下り): 佐原市津の宮(利根川河口から36.5km付近)

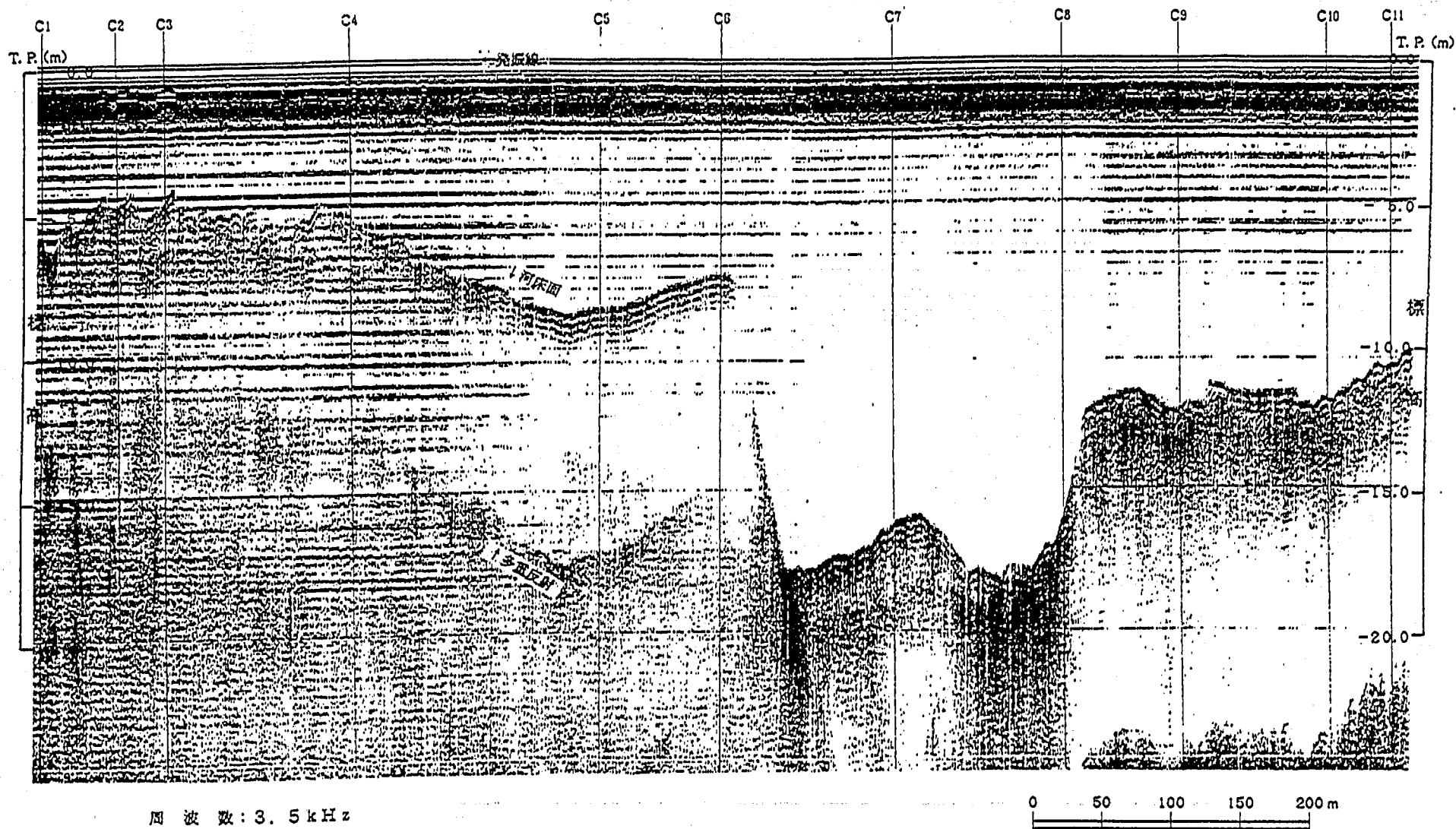


図-7.14 (c) サブボトムプロファイラーの測定記録

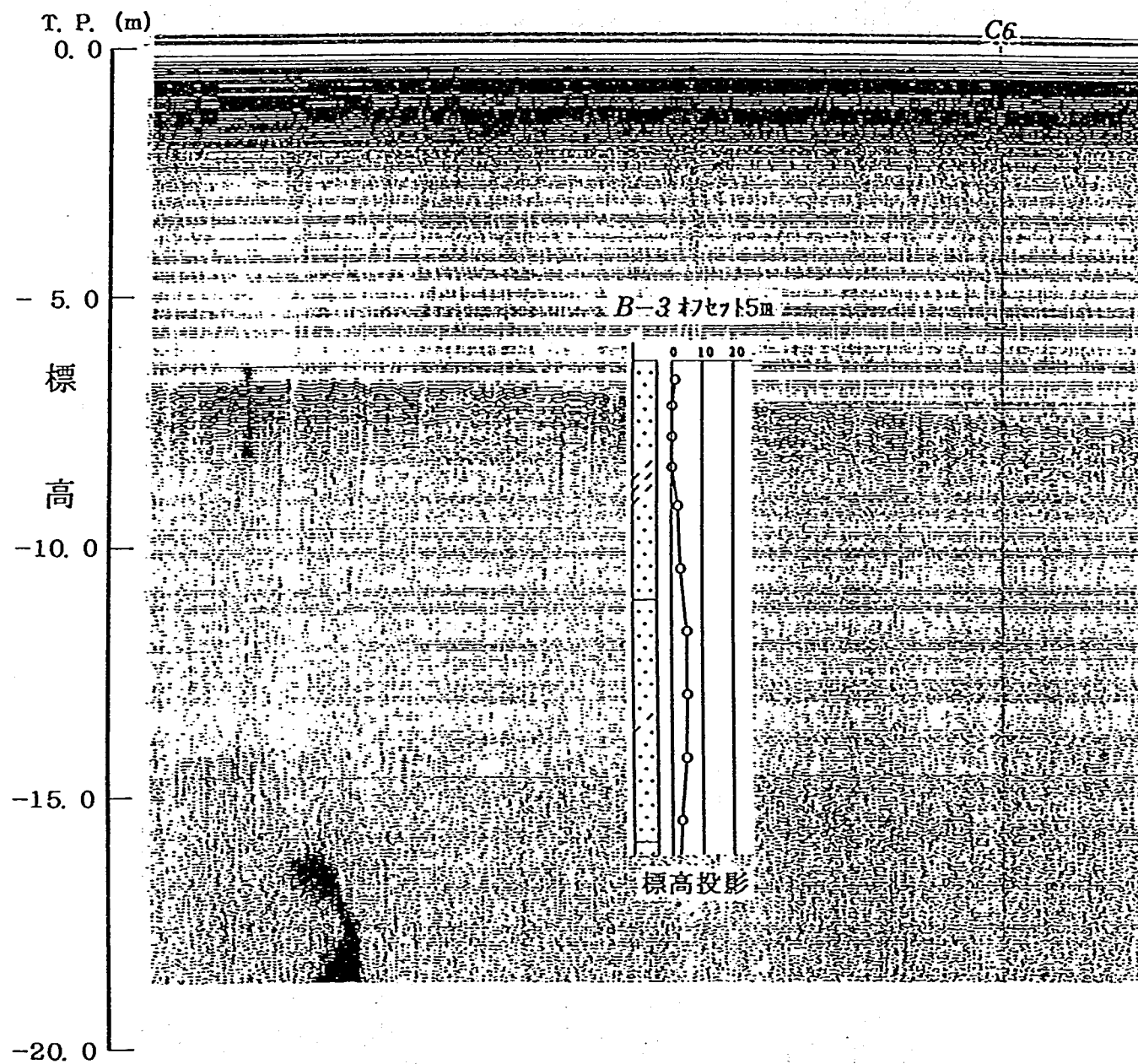


図-7. 14 (d) サブボトムプロファイラーの測定記録とボーリングの比較

同左

R-2-2

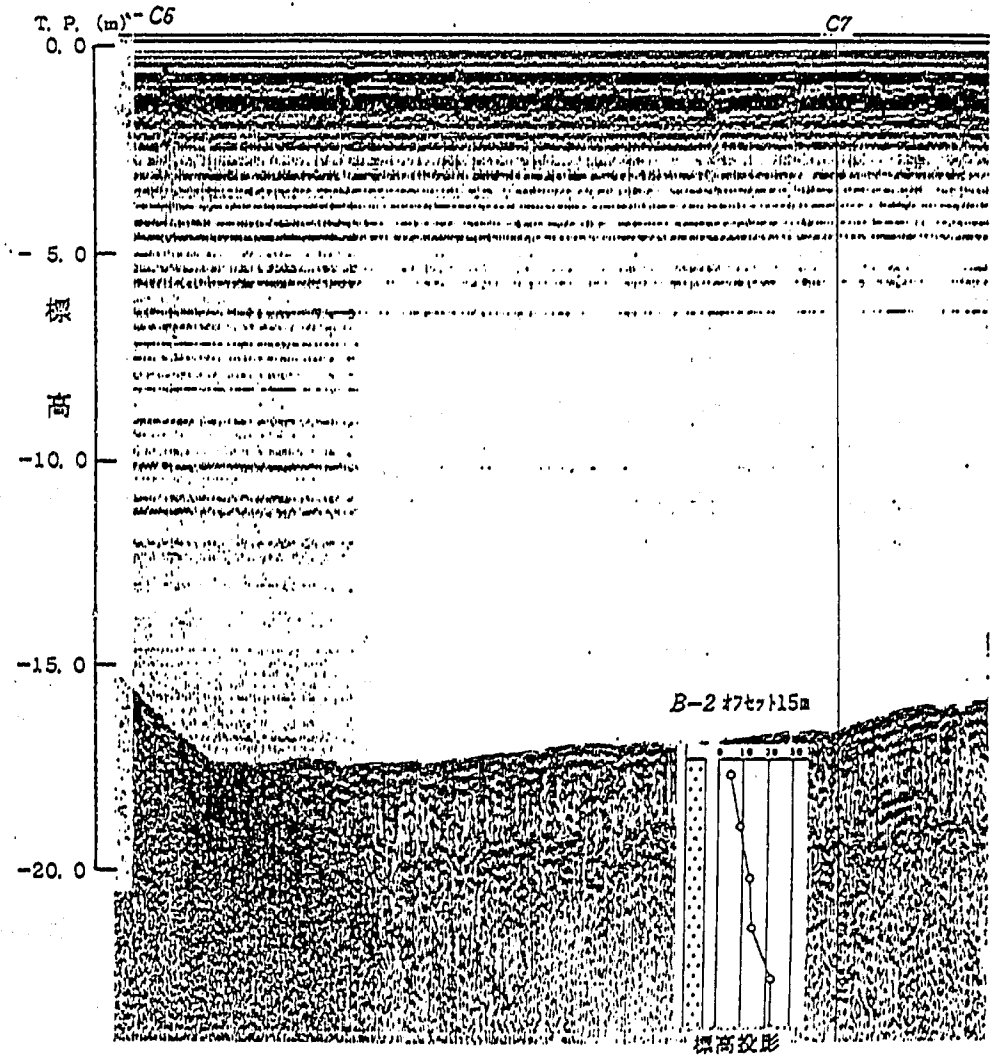
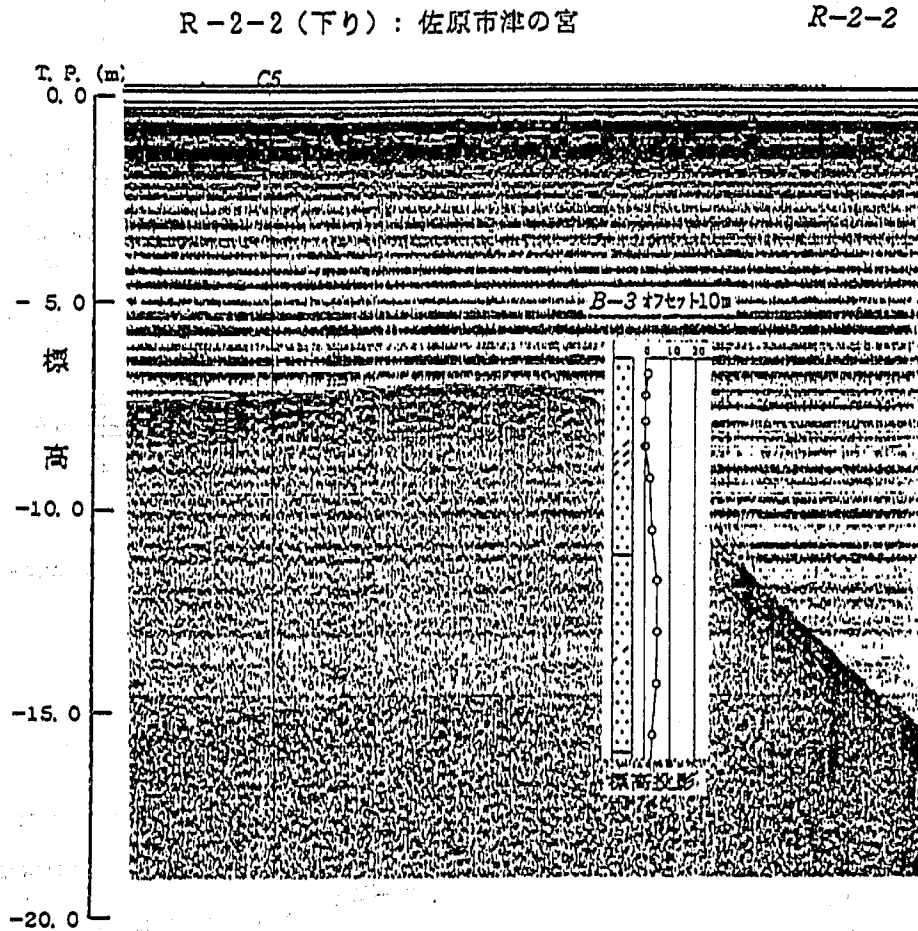


図-7. 14 (e) サブボトムプロファイラーの測定記録とボーリングの比較

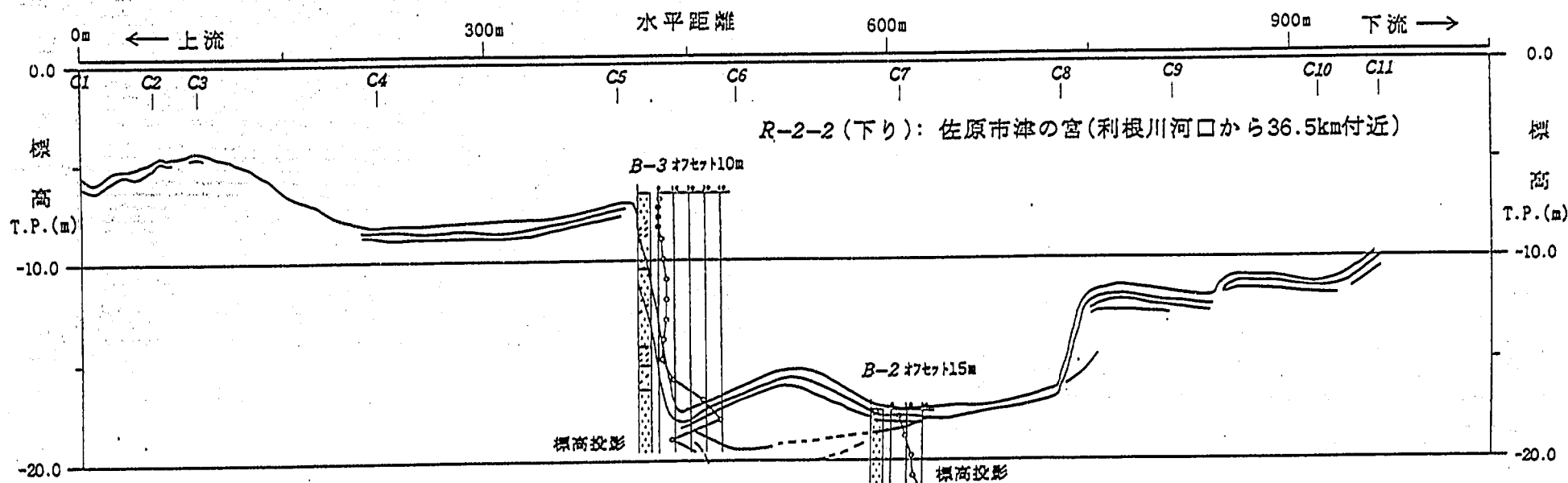
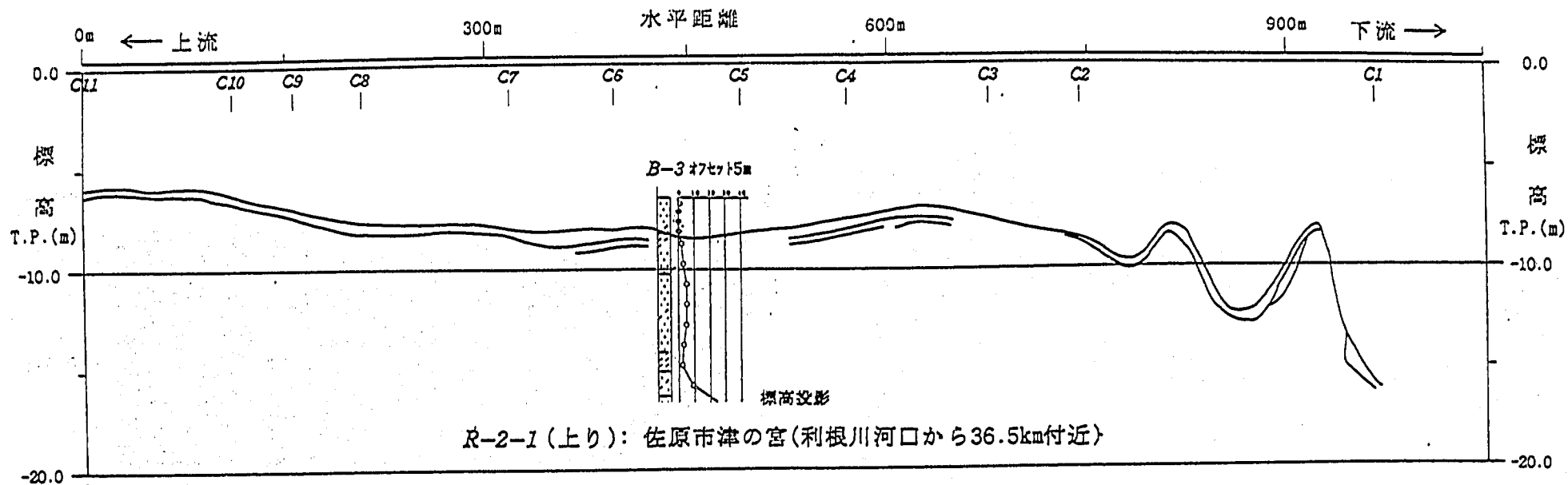


図-7. 14 (f) サブボトムプロファイラーによる測定記録の解析結果

7. 4. 3 水郷大橋付近

測定位置（航跡）図を図-7・15（a）に示す。測線はR-3-1とR-3-2の2本の測線を設定し、総延長は1,933mであった。測線ごとにまとめた測定記録（時間軸縮小）を図-7・15（b, c）に、測定記録（部分）と既存ボーリングとの対比を図-7・15（d）に示す。図-7・15（e）には解析結果である河床断面図をしめす、この図は左側が上流側になるように統一してある。

1) R-3-1測線

図-7・15（e）の解析結果より、計測記録の測線全長にわたり平均層厚0.5m程度の表層が検出されているが音波散乱層の影響により部分的に欠落している箇所がある。

R-3-1測線はN0.3のボーリング地点より18mしか離れていないが、音波が河床下1.0~2.0m程度しか到達していないため比較検討を行うことはできなかった。先に検出されたとされる表層は、内部境界によるものと思われる。

2) R-3-2測線

図-7・15（e）の解析結果より、計測記録の上流から50~650m付近にかけて平均層厚0.4mの反射面が検出された。

N0.3のボーリング結果と対比すると、河床下0.6mに音波の境界面があり、砂質シルトと細砂の境界に相当するものと考えられる。

7. 4. 4 測定結果のまとめ

以上の結果より、サブボトムプロファイラーがた音波探査機を河川にて使用する場合は表層下1.0~2.0m程度までの探査能力しかないことが判明した、しかし、表層部の微細な底質の違いに対応した境界面をとらえることができることも判明した。

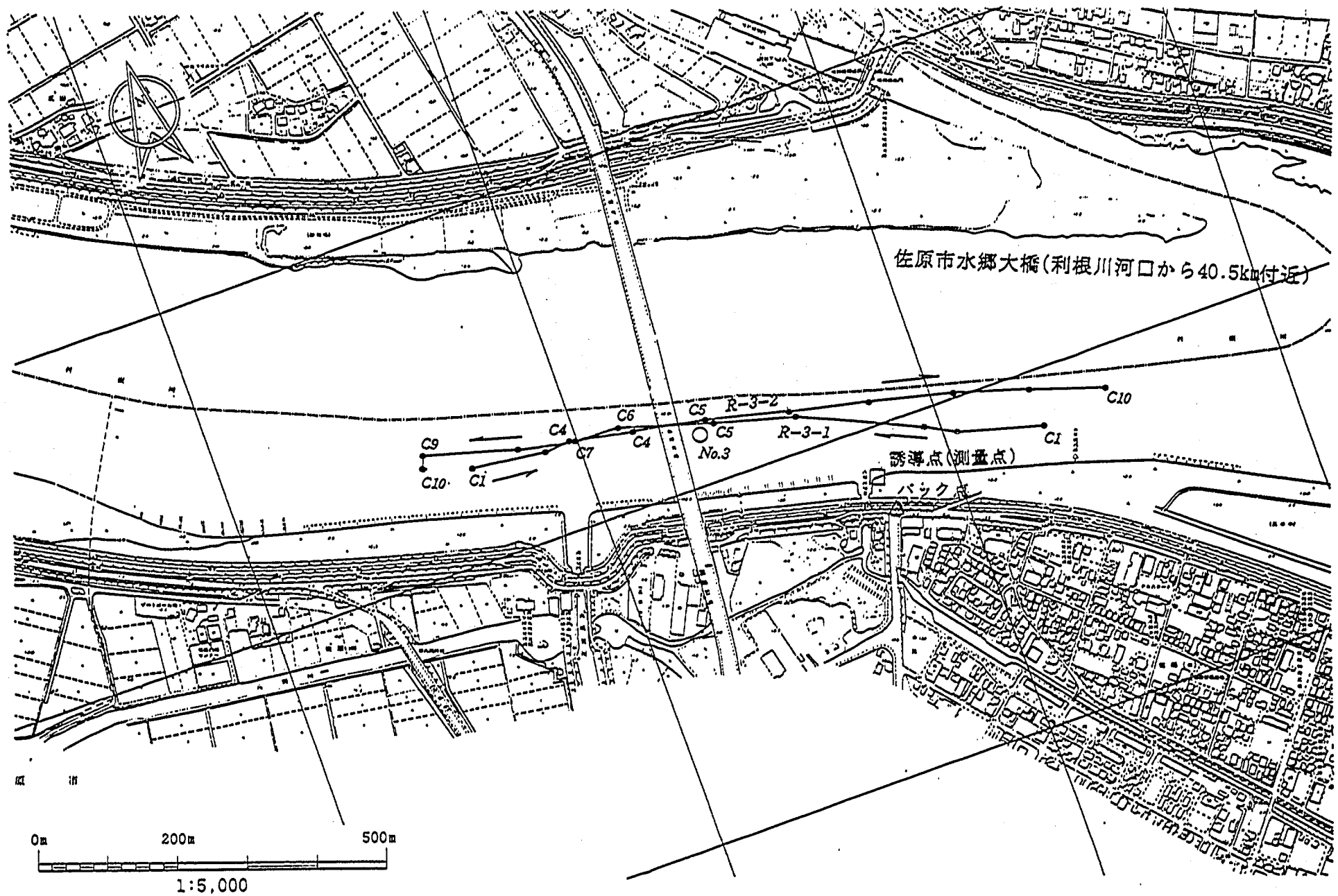


図-7. 15 (a) サブボトムプロファイラーの測線位置

R-3-1 (上り): 佐原市水郷大橋(利根川河口から40.5km付近)

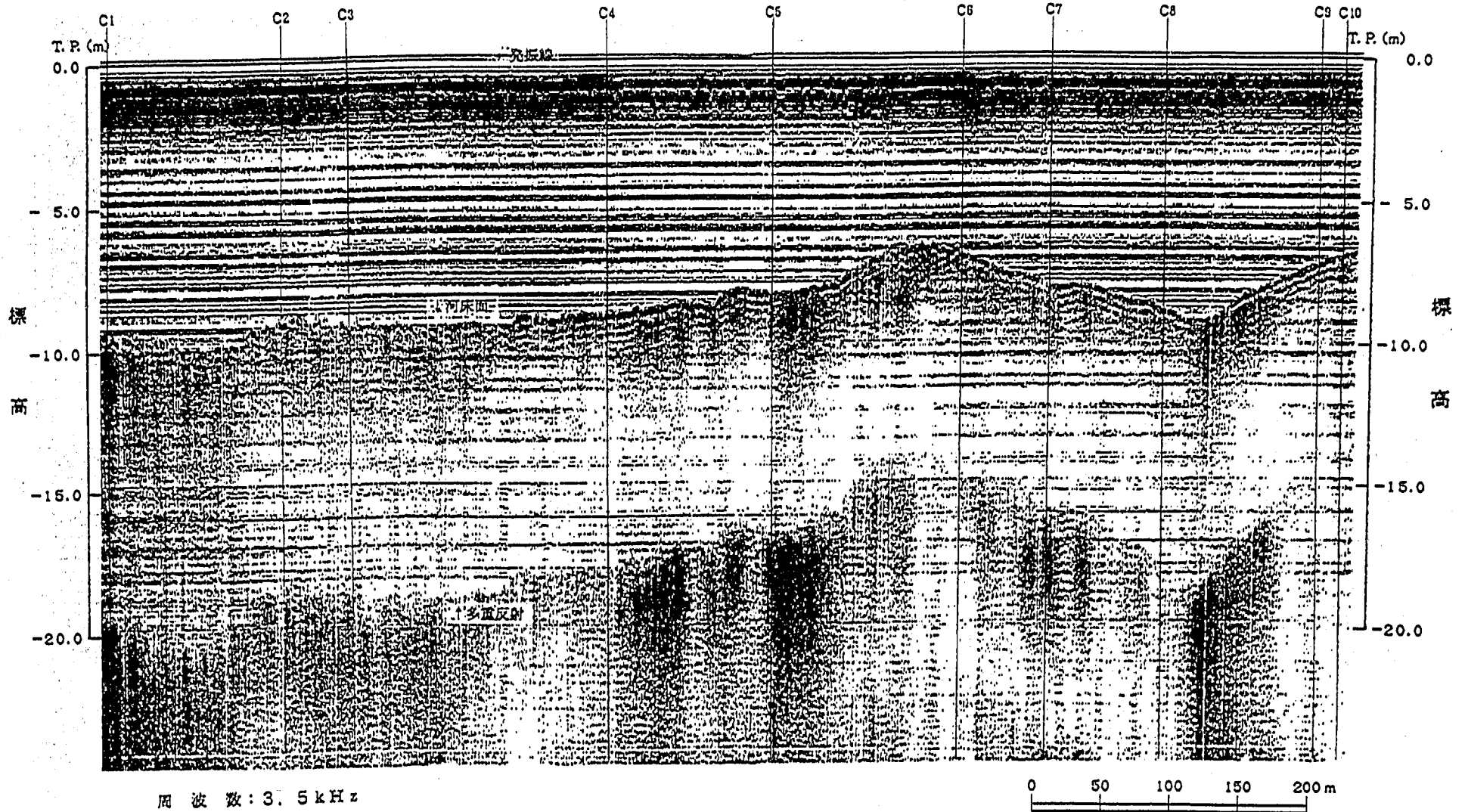


図-7.15 (b) サブボトムプロファイラーの測定記録

R-3-2 (下り): 佐原市水郷大橋(利根川河口から40.5km付近)

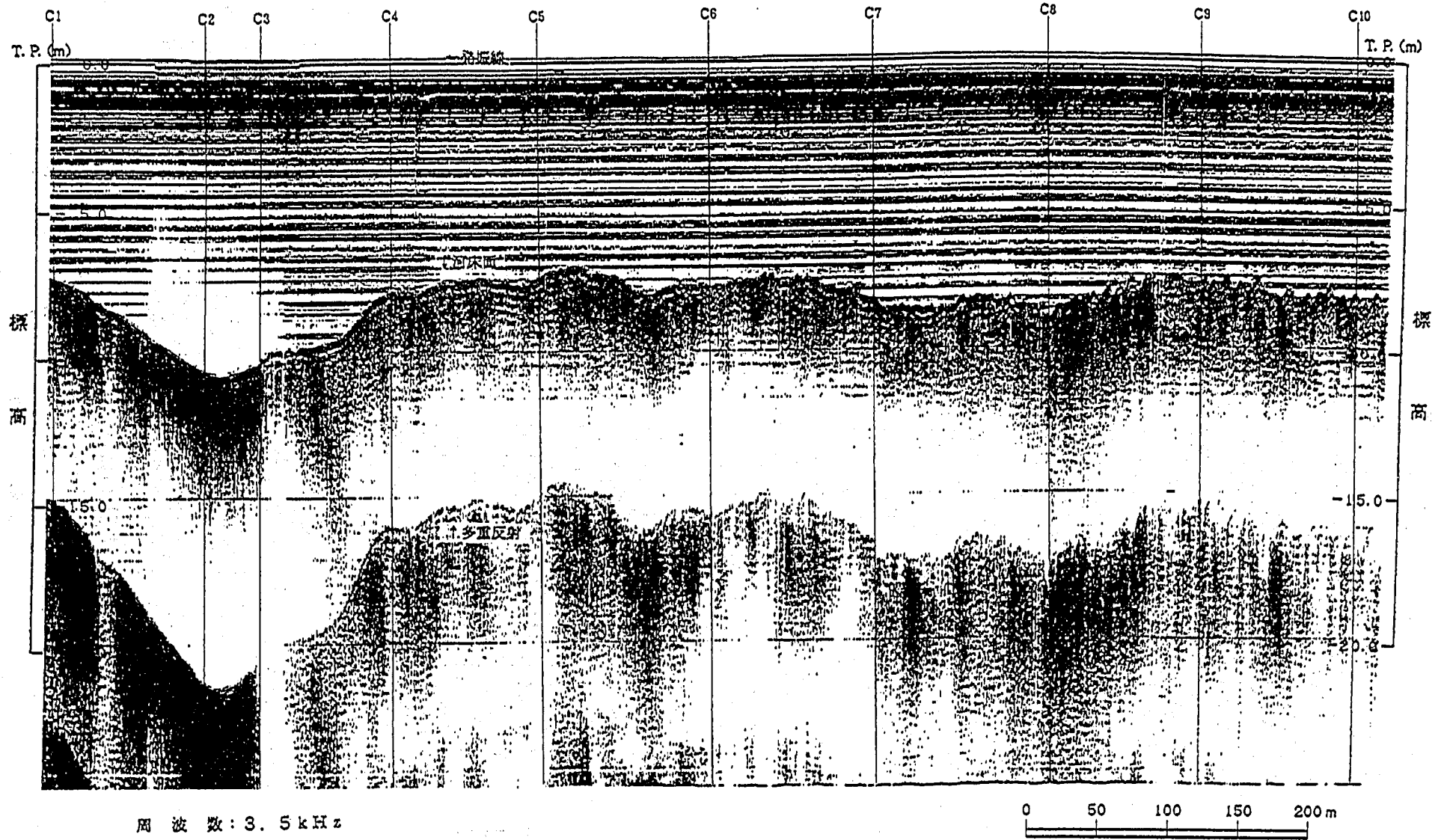


図-7. 15 (c) サブボトムプロファイラーの測定記録

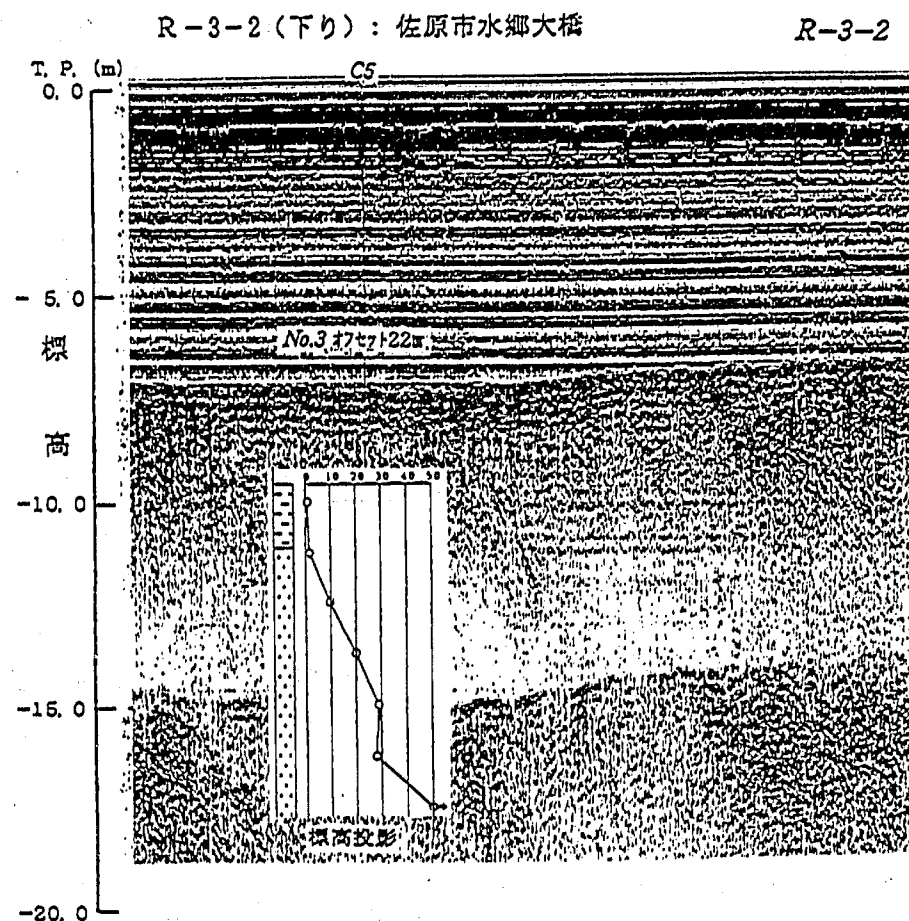
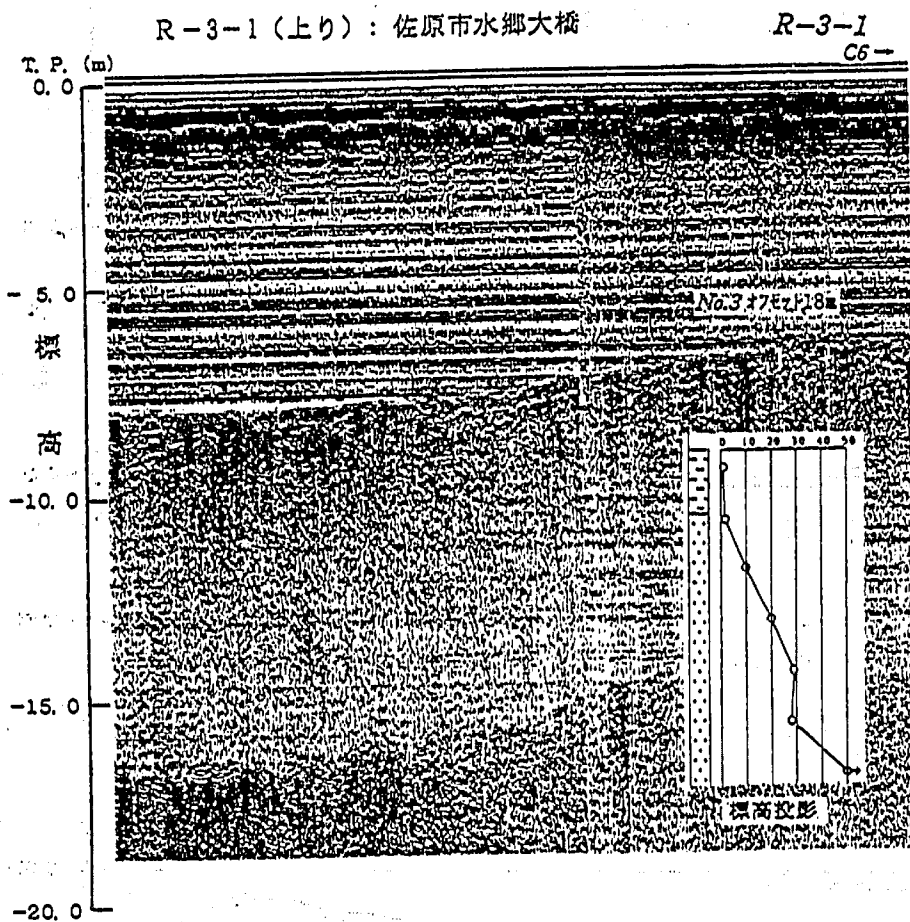


図-7.15 (d) サブボトムプロファイラーの測定記録とボーリングの比較

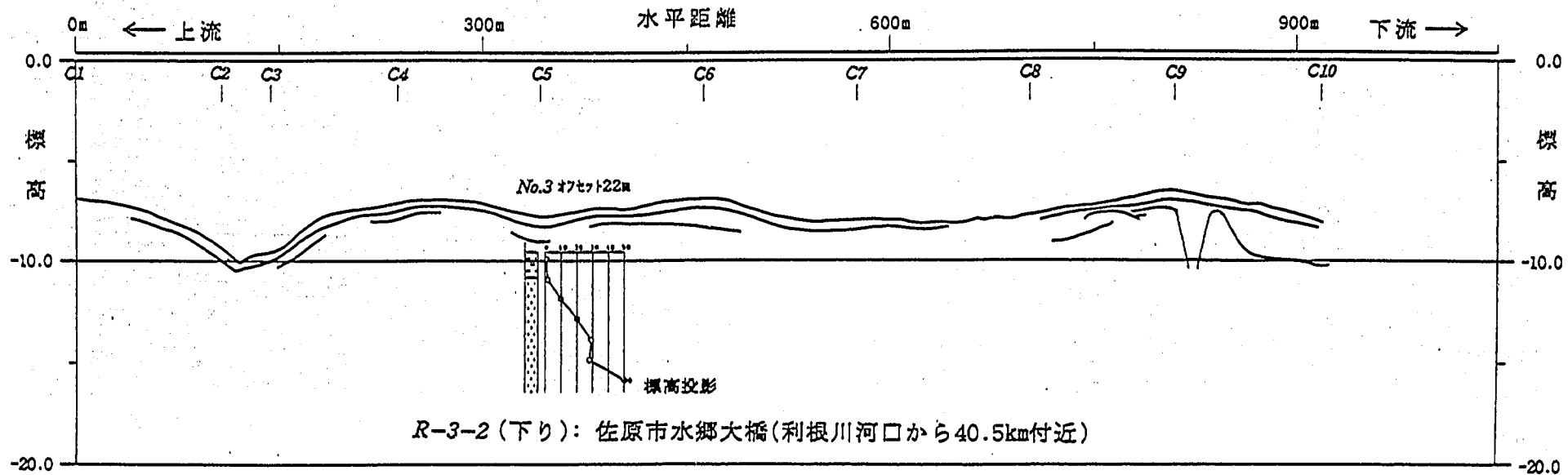
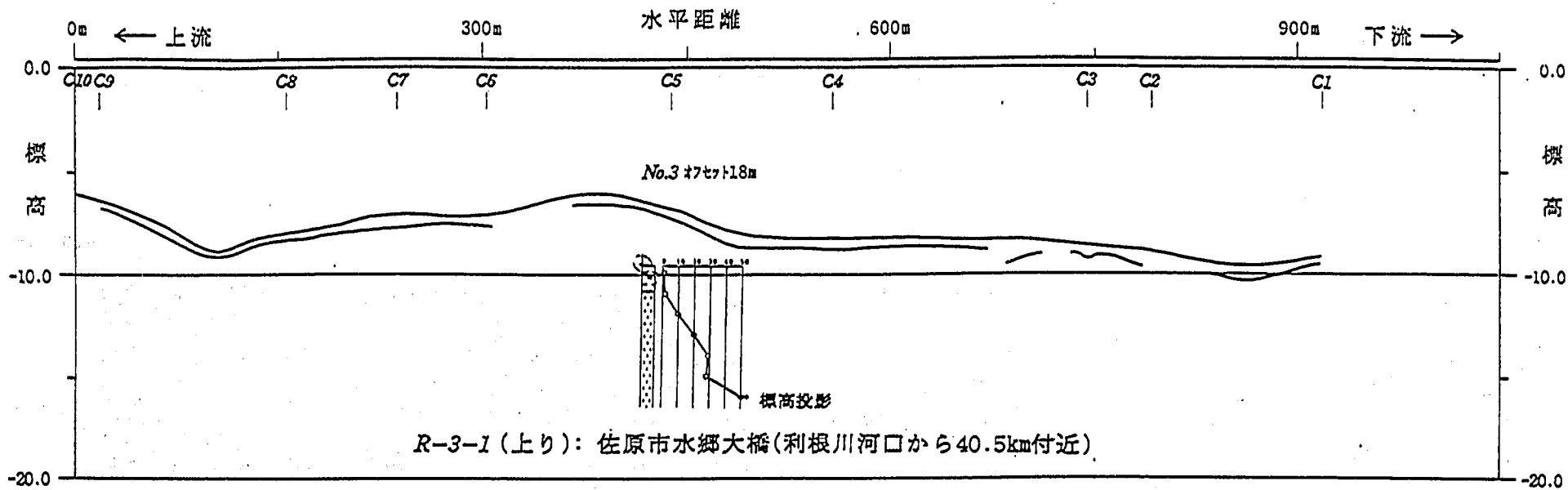


図-7. 15 (e) サブボトムプロファイラーによる測定記録の解析結果

7. 5 まとめ

音波探査の検証実験のまとめると以下のようになる。

1) 地盤に対する透過(検出)能力

- ・ガブトムプロファイ-型音波探査機：1m～2m程度
- ・SH-20型底質探査機：概ね2m程度。条件が良ければ5m程度まで
- ・ユニブーム型音波探査機：概ね10m程度

2) 音波境界層に対する検出能力

- ・ガブトムプロファイ-型音波探査機：概ね0.5m程度
- ・SH-20型底質探査機：概ね1m程度
- ・ユニブーム型音波探査機：条件が良くて2m程度

3) 音波散乱層の影響について

- ・ガブトムプロファイ-型音波探査機：表層はほぼ全域検出できた
- ・SH-20型底質探査機：表層は80%程度検出できた
- ・ユニブーム型音波探査機：表層は40%程度検出できた

注：各探査機による表層の深度や分解能力は(1)(2)のように異なっている

8. 笹目橋における公開実験のアンケート調査結果

実証実験と合わせて、各地方建設局の道路維持管理関係者を対象に公開実験を行い、参加者全員（39人）に対してアンケート調査を実施した。

アンケート結果を総括的にみると、大多数の回答者が洗掘調査手法の開発の必要性を認めており、また、多くの回答者が、実証実験を行ったシステムにより橋脚周辺の河床を簡単に調査できることを理解し、詳細調査に使用したい旨、回答している。

以下に、アンケート結果の詳細について示した。

①アンケート回答者の所属と担当

図－8・1にアンケート回答者の所属と担当を示したが、回答者の83%が本局、工事事務所、技術事務所の職員であり、調査、設計、管理、研究分野に従事している。

②洗掘調査手法の技術は確立されてるか

回答者のうちの大多数（88.4%）の人が、洗掘調査手法の開発が必要であると回答している（図－8・2）。

③RCポートシステムに関する回答（複数回答）

図－8・3にRCポートシステムについてのアンケート結果を示した。

同図によると、本システムの利点としては簡便性を挙げる回答が多い一方で、問題点として調査が面倒、解析が困難、とした回答があった。また、管理・運営部署については、技術事務所や外郭団体などが適切であるとの回答が多く、RCポートシステムを詳細調査や防災点検に使用したいとの回答が多かった。

④橋梁点検車システムに関する回答（複数回答）

全般的には、利点として調査の簡便性を挙げる回答者が多く、使用に関しては詳細点検を挙げる回答者が多かった。反面、問題点に関する質問に対しては回答しなかった人もかなりいた。

図－8・4にカラーイメージングソナーについての回答結果、図－8・5に水中カメラについての回答結果、図－8・6にスウェーデン式サウンディングについての回答結果、図－8・7に地下レーダについての回答結果を示した。

カラーイメージングソナーと水中カメラについては、調査・解析が容易であるとの回答が多く、詳細調査や防災点検に使用したいとの回答が多かった。

スウェーデン式サウンディングについては、比較的馴染みのある調査であるためか、調査が簡便とした回答が圧倒的に多く、詳細調査で使いたいとの回答が多かった。反面、使いたいと思わないとする回答も比較的多かった。

地下レーダについては、調査が簡便である、詳細調査や防災点検に使いたいとする回答が多かった。

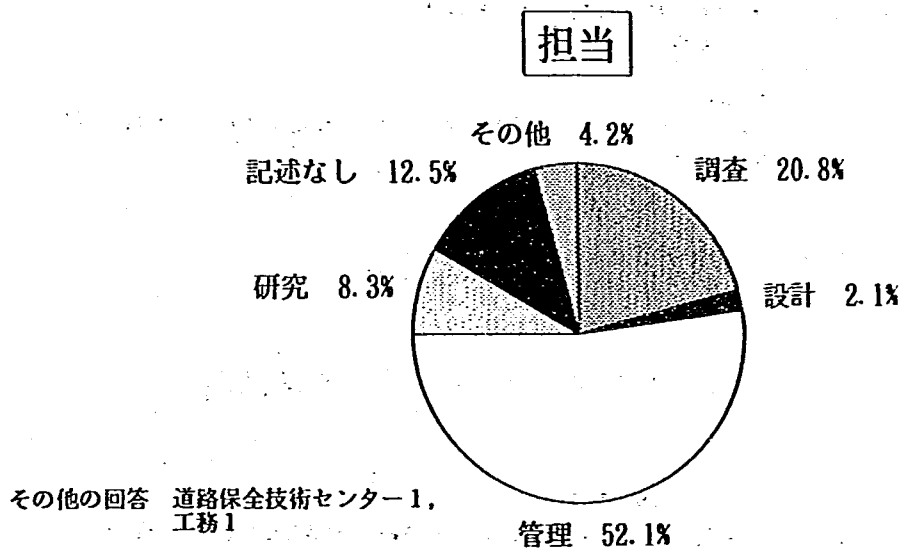
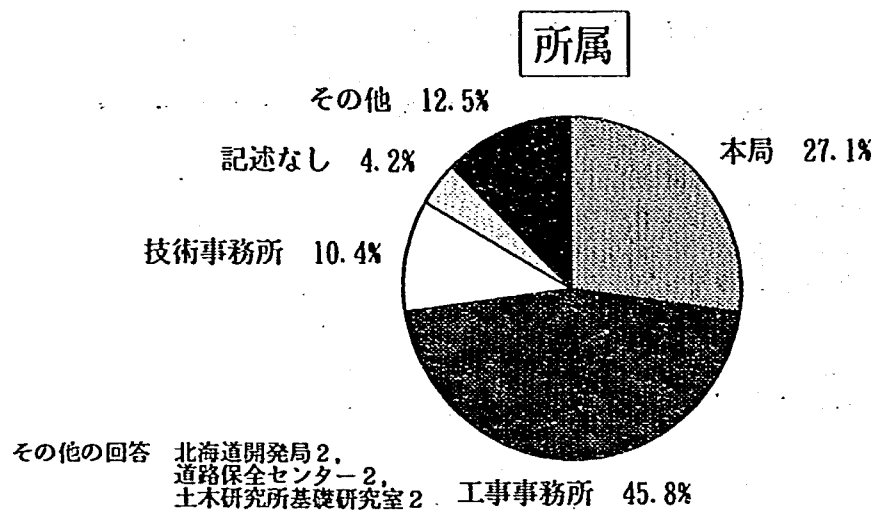


図-8・1 アンケート回答者の所属と担当

洗掘調査手法の技術は確立されているか

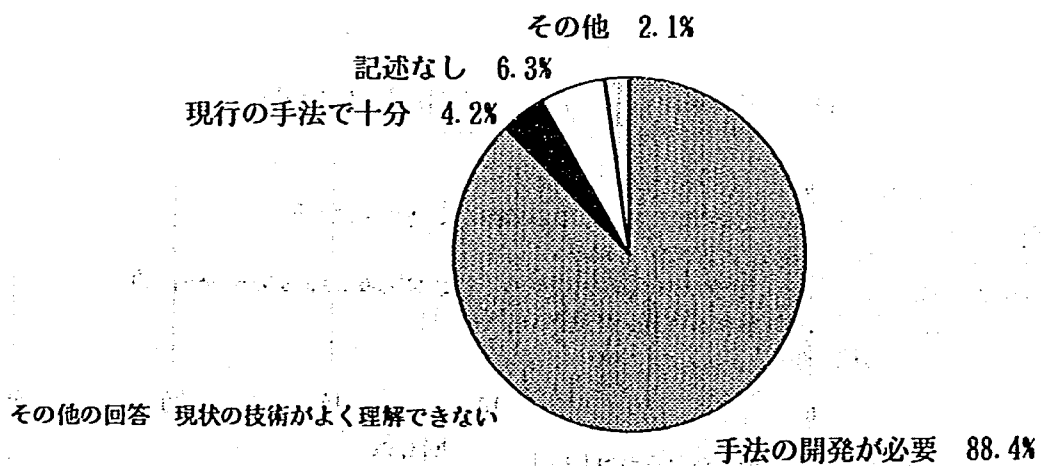
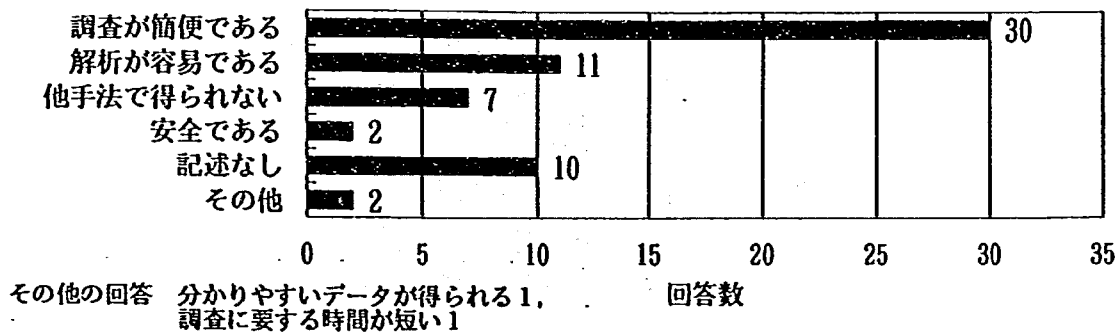
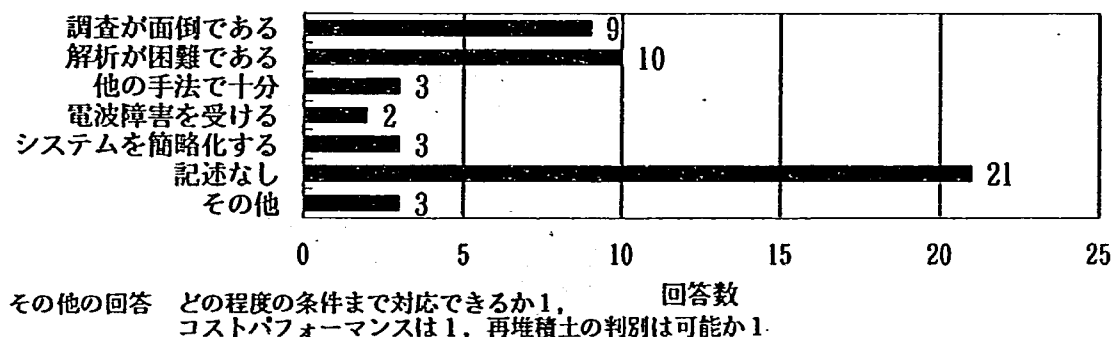


図-8・2 洗掘調査手法の技術は確立されているか

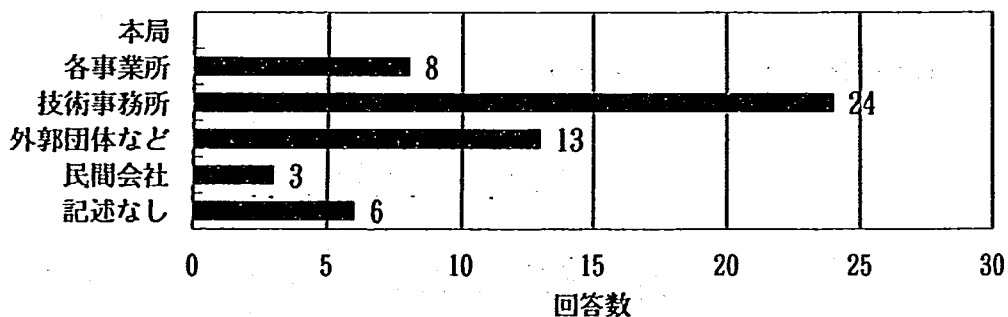
RCボートシステムの利点



RCボートシステムの問題点



RCボートシステムの管理・運営部署



RCボートシステムを使用したいか

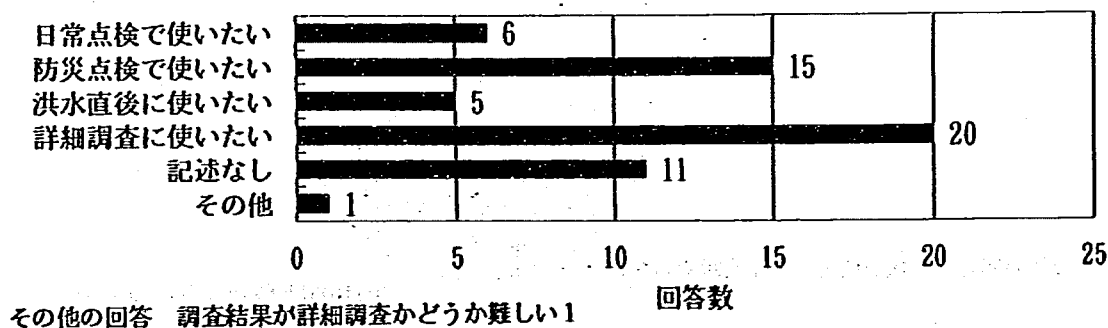
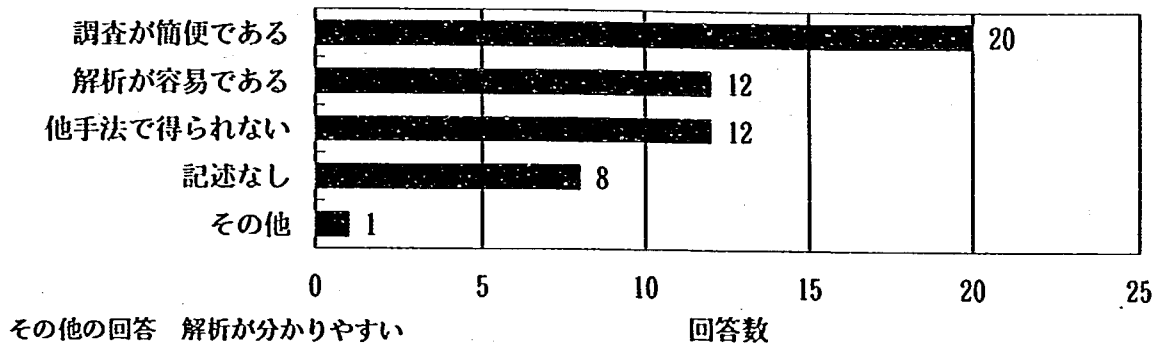
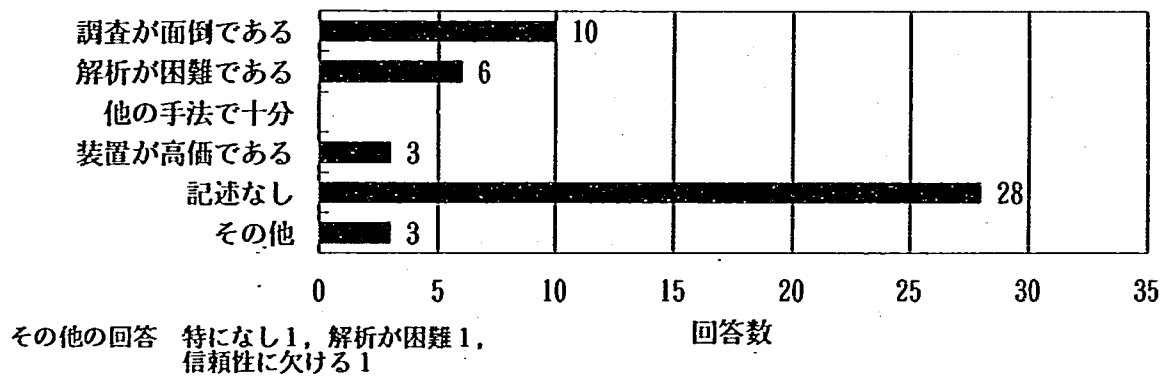


図-8・3 RCボートシステムに関する回答

カラーイメージングソナーの利点



カラーイメージングソナーの問題点



カラーイメージングソナーを使用したいか

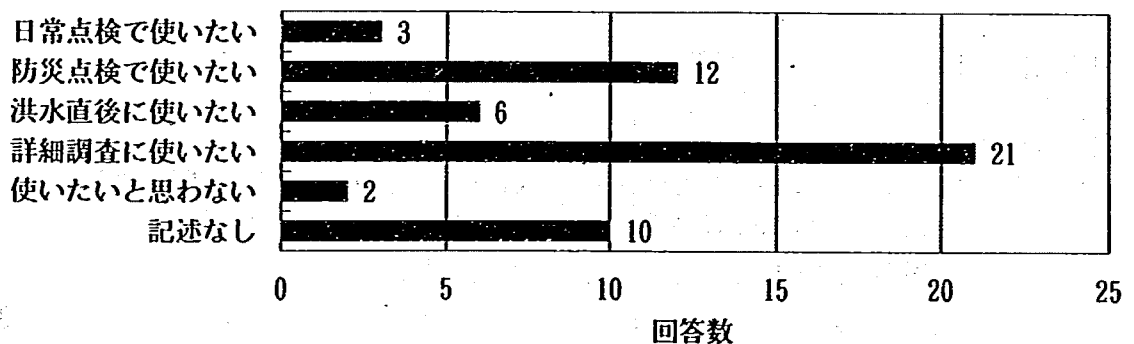
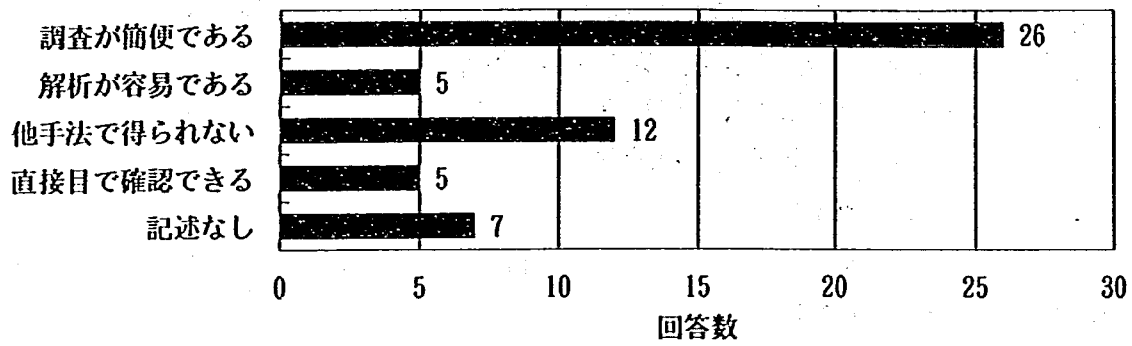
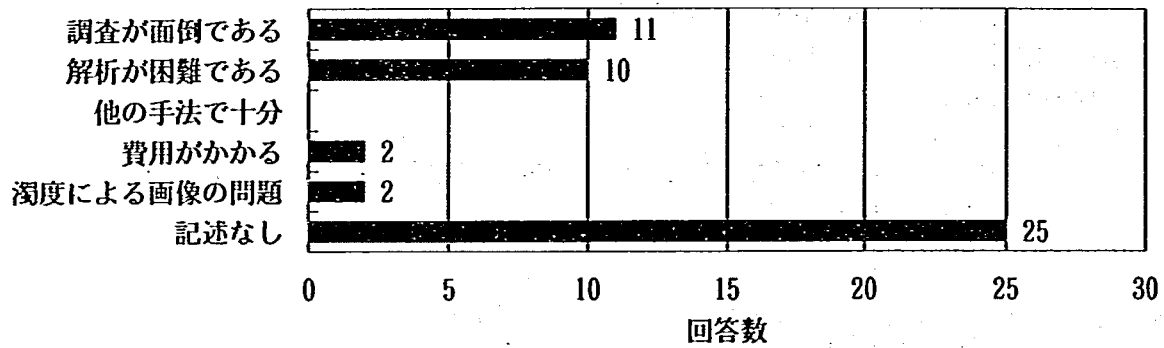


図-8・4 カラーイメージングソナーに関する回答

水中カメラの利点



水中カメラの問題点



水中カメラを使用したいか

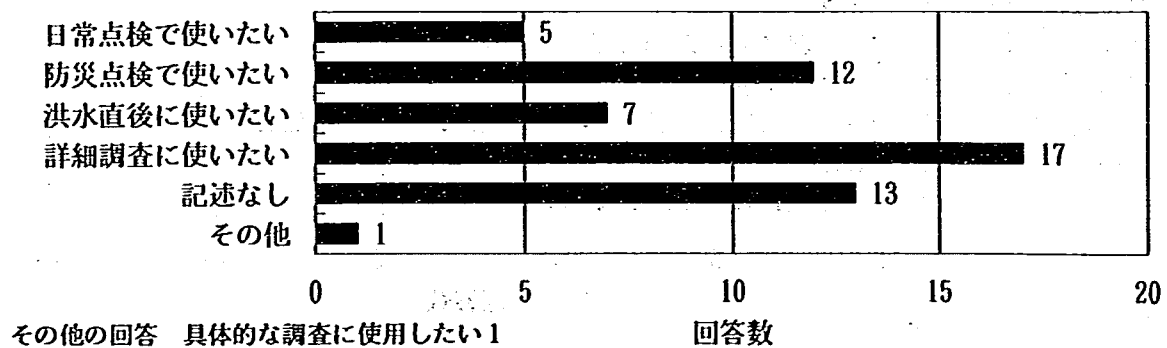
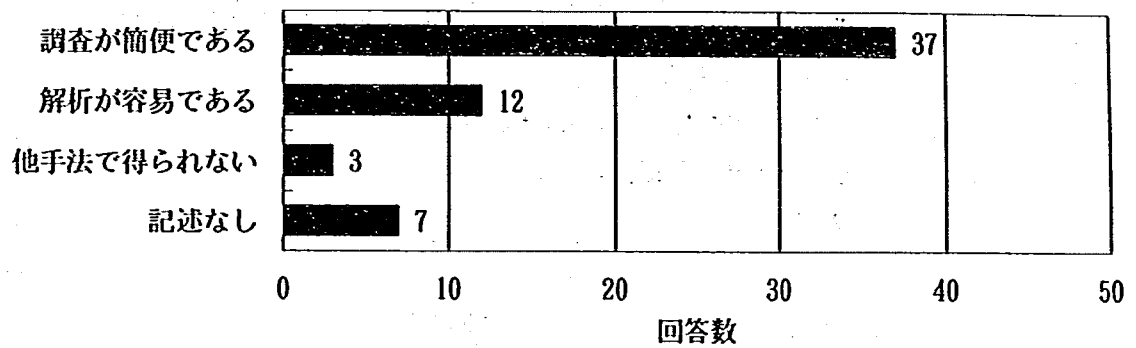
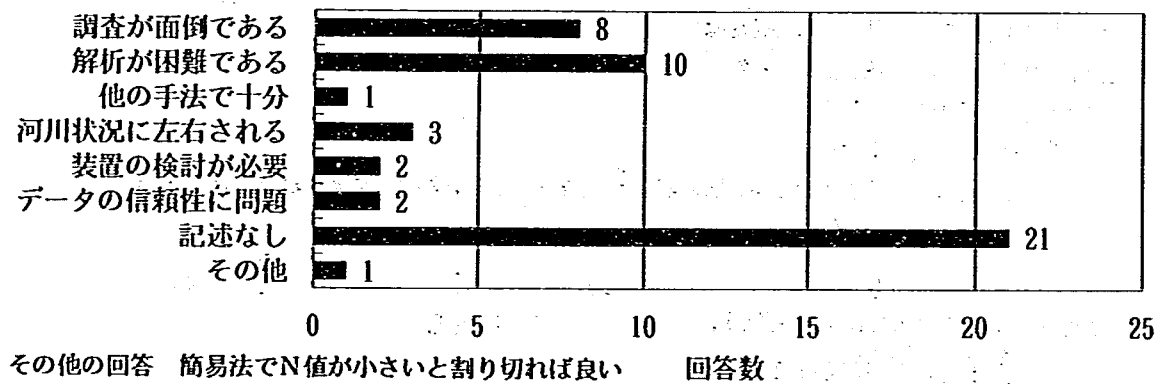


図-8・5 水中カメラに関する回答

スウェーデン式サウンディングの利点



スウェーデン式サウンディングの問題点



スウェーデン式サウンディングを使用したいか

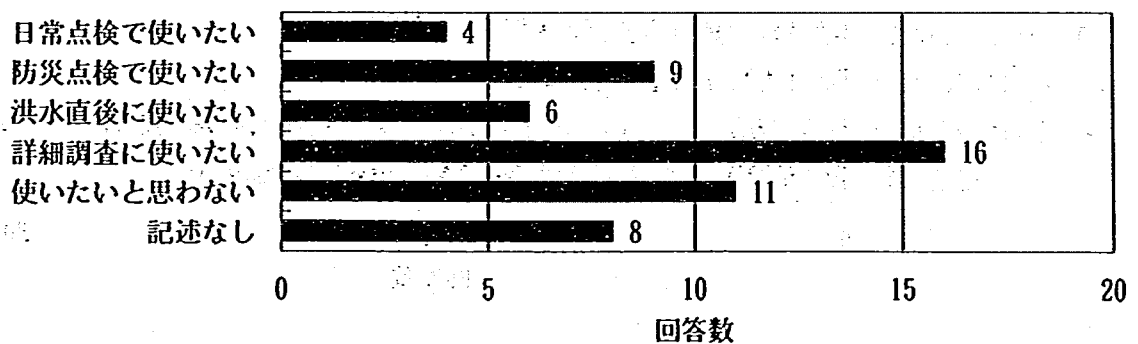
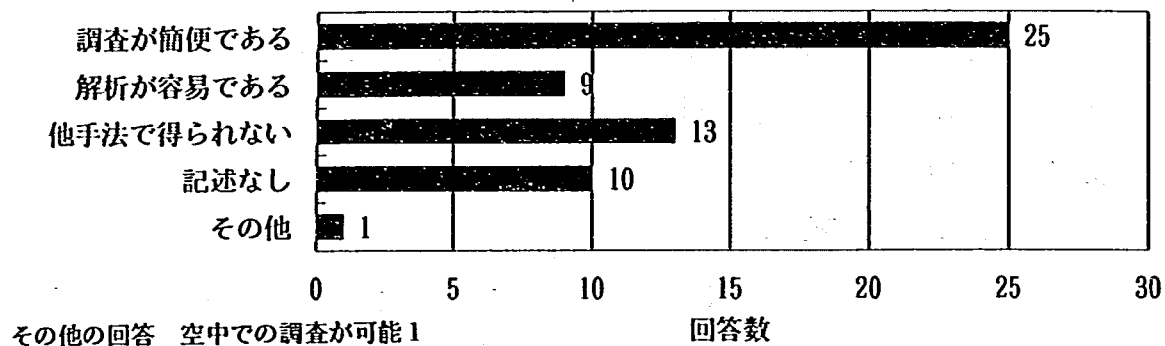
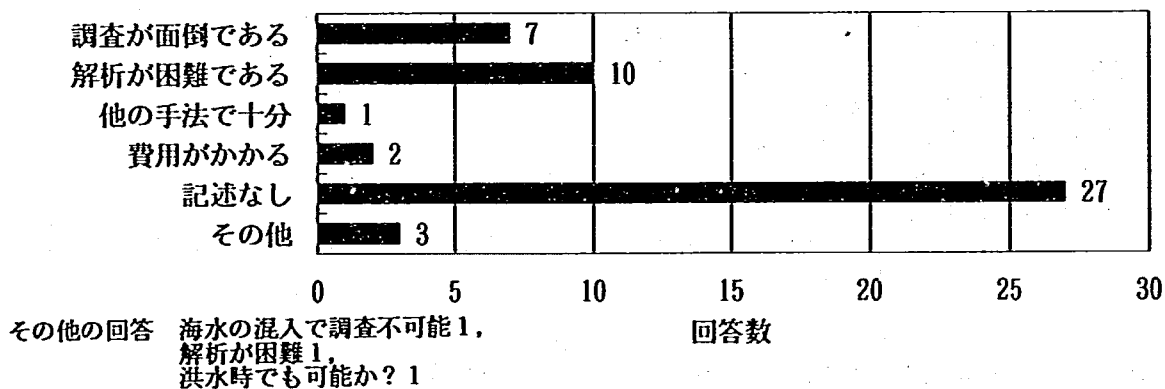


図-8・6 スウェーデン式サウンディングに関する回答

地下レーダの利点



地下レーダの問題点



地下レーダを使用したいか

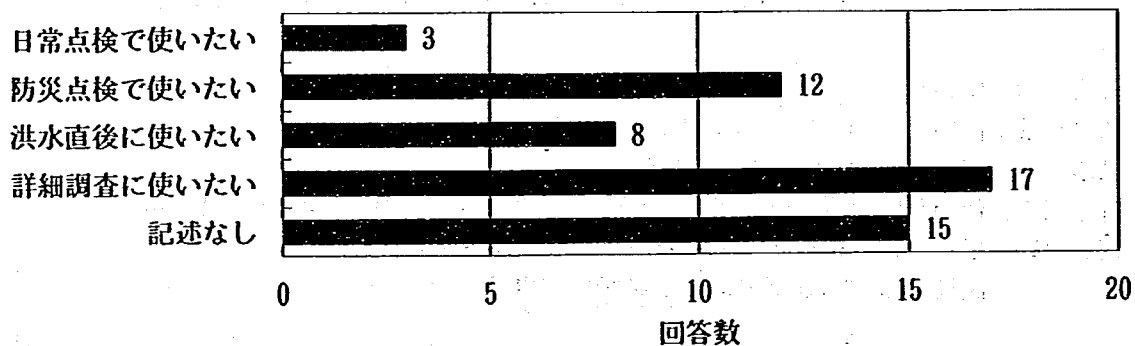


図-8・7 地下レーダに関する回答

9. まとめ

平成6年度は、平成5年度までの成果を基に新しい洗掘調査装置の具体化と適用性試験、実証試験等を行い、合わせて音波探査の適用性試験も実施した。表-9・1に実証実験等から得られた各調査手法の適用条件、特長等の比較を示す。適用性、長所、短所を以下に記す。

① ラジオコントロールボートを使用した洗掘調査手法

長 所：橋梁周辺の河床形状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、橋脚と川岸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有効な方法の1つである。

適用性：河床全体の形状を把握するための概査として有効な手法である。

短 所：橋脚に接近しづらいため、橋脚の根元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 橋梁点検車を使用した洗掘調査手法

②-1 カラーイメージングソナー

長 所：橋脚近傍の河床形状を詳しく調査する手法であって、特に橋脚の根元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。

適用性：実験結果から、橋脚を中心として数十mの範囲の河床形状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、より正確な河床形状を作製することができる。

短 所：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、面的な調査はどちらかといえば不得手である。

その他：トランスジューサーを支持するロッドの固定用冶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ができる可能性がある。

②-2 水中カメラ

長 所：水中部分の橋脚表面を観察するのに適している。

短 所：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。

②-3 音波探査による河床地盤探査

長 所：比較的短時間に河床下の地層（地盤）を調査することができる。

SH-20型底質探査機は舷側に固定する方式（他は曳航式）であ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。

適用性：各探査機的能力は以下の通り。

- ・サブボトムプロファイラー型音波探査機：河床下1m～2m程度。
- ・SH-20型底質探査機：河床下2m～（5m）程度。
- ・ユニブーム型音波探査機：河床下10m程度。

短 所：音波散乱層の影響は以下の通り。

- ・サブボトムプロファイラー型音波探査機：あまり影響を受けない。
- ・SH-20型底質探査機：測線全体の20%程度で影響あり。
- ・ユニブーム型音波探査機：測線全体の60%程度で影響あり。

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。

今後は、RCボートおよび橋梁点検車の2調査手法の普及を目指した作業を行う必要がある。RCボートシステムについては、ボートや計測機器の量産試作型の作成とその検証実験が必要と考えられる。また、橋梁点検車を用いた手法については、さらに計測手法の使用手法の検討が必要であると考えられる。そして、これらの手法について、再度の実証実験を行い実績を積み重ねると共に、調査手法のマニュアルを整備し、新しい洗掘調査手法の普及に向けた作業が必要であると考えられる。

表-9・1 洗掘調査に関する各調査方法の比較

洗掘調査手法		適用範囲／目的			適用条件	現場実証実験等から得られた知見			所見
		河床地形	河床地盤	構造物		特徴	測定時間と人員数	課題	
従来法による深浅測量		○	×	×	・平常時	・従来法で、実績もあり、確実性も高い。	・約8時間／295点 (準備測量・深浅測量含む) ・人員数：4名(他に船頭1)	・測定に時間がかかる。 ・測定用ボートが必要である。	・従来法で実績もあるが、測定に時間がかかり過ぎる。
RCボートを使用した洗掘調査	RCボートの操作性誘導性	—	—	—	・平常時	・RCボートを地上から容易にコントロール可能。	・準備時間：約2～3時間 (テスト運転、計器搭載) ・短縮可能 ・人員数：4～5名	・制振電波の反射、干渉などによる制御不能等の解消。	・橋梁点検車のように道路を占有する必要がなく、許認可手続きが簡単。 ・従来の深浅測量に比べて迅速かつ大量のデータ取得可能。
	RCボートの位置測定(LDM)	—	—	—	・平常時	・自動計測が可能。		・RCボートが橋脚に隠れ、自動追跡できない場合の対策。	
	超音波深探による河床形状調査	○	×	×	・平常時	・テレメータシステムとの組合わせで、自動計測、データ電送が可能。 ・従来の深浅測量に比べ、迅速且つ、測点数増大。	・測定時間：約1時間 (24測線、計1920m、2021点) ・解析時間：約4時間 ・人員数：4～5名 (RCボート・操作、LDM含)	・欠損データの削減と処理法 ・現地でのデータ品質管理。 ・現場でのコンテナー図作成の信頼性の向上。	
橋梁点検車を使用した洗掘調査	カラーイメージングソナー	○	×	○ (概略形状)	・平常時	・センサ自体が回転することにより、1測定点で1測線(10～100m)の河床形状調査が可能。 ・リアルタイムで断面形状を確認可能。	・測定時間：10～15分／1断面 ・人員数：1～2名	・現状の装置で充分対応可能。 ・測定点数、測定方向等を検討し、マニュアル化。	・橋梁点検車の使用に当たり、道路占有許可必要。 ・河床形状調査には簡易に精度良く計測できる点からカラーイメージングソナーが有効。 ・水中カメラは水中部躯体や河床面の目視調査に有効。 ・スウェーデン式サウンディングはロッドが座屈したり流水で流されるため測定水深が限定される。 ・地下レーダは河川水の比抵抗が低い場合は適用不可。
	水中カメラ	△	×	○	・平常時 ・河川水の透明度が大きければ、適用範囲拡大(河床状況)	・水中の下部工構造物の劣化状況をその場で確認可能。	・測定時間：10～15分／1箇所 ・人員数：1～2名	・水中カメラを橋脚側壁面に近付ける工夫が必要。	
	スウェーデン式サウンディング	△	△	×	・平常時 ・作業床から河床までの距離が小さいこと(7m以下)。 ・調査機具の重量を考慮すると、橋梁点検車への搭載は無理。	・回転貫入が可能な場合には、河床地盤の調査が可能。	・測定時間：20～30分／1箇所 ・人員数：2～3名	・回転貫入が可能な作業条件(水深、流速、高さ)が限定。 ・ロッドの剛性を高め、軽量化する必要有り。 点検車搭載は根本的に再検討	
	地下レーダ	○	△	×	・平常時 ・河川水の比抵抗が高いこと。(100Ωm以上が望ましい) ・二次堆積物への適用性について検討必要。	・リアルタイムに河床形状などが判断可能。 ・測定条件が整えば、二次堆積物の有無などを判断できる可能性あり。	・測定時間：約1時間／1橋脚 ・人員数：2～3名	・探査能力が河川水の比抵抗、河床堆積物の性状に依存。 ・適用条件の検討が必要。	

10. 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、「橋梁下部構造の計測・診断技術の開発」を実施している。本研究により、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、および健全度判定手法の確立を目指している。

平成6年度は、平成5年度までの成果を基に、新しい洗掘調査装置の具体化と適用性試験、実証実験等を行い、合わせて音波探査の適用性試験も実施した。

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、試験フィールド選定など実施にあたってご助力いただいた上條課長補佐を始めとする関東地方建設局道路管理課、試験フィールドを提供していただいた大宮国道工事事務所管理第二課、宇都宮国道工事事務所管理課、千葉国道工事事務所管理第二課、そして利根川下流工事事務所調査課、橋梁点検車を提供していただいた関東技術事務所機械課および工務課、RCポートによる調査手法についてご教示いただいた木下良作氏、および北海道開発局開発土木研究所河川研究室の各位をはじめとして、実証実験に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。

〈参考文献〉

- 1)建設省土木研究所：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
- 2)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
- 3)片山, 佐藤, 二木ほか：スウェーデン式サウンディングの応用技術に関する基礎実験, 第24回土質工学研究発表会 平成元年度講演集, pp. 211~212, 1991.

卷 末 資 料

1. 実証実験実施場所

実証実験の対象橋梁の概要を示す。表－1・1は、洗掘調査手法適用性試験、実証実験一覧表を示す。

表－1・1 洗掘調査手法適用性試験、実証実験一覧表

調査地点 \ 調査手法	R Cボート	橋梁点検車	音波探査
土研内	作動確認試験	慣熟訓練	――
笹目橋	実証実験	適用性試験	――
利根川橋	実証実験	――	――
水郷大橋	――	実証試験	適用性試験
小舟木町付近	――	――	適用性試験
津の宮付近	――	――	適用性試験

※ 凡 例

実 証 実 験：開発された調査手法が実際の現場において有効性があるかを実証するための実験

作動確認試験：実証実験に使用する装置・システムの作動に問題がないかを確認するための試験

慣 熟 訓 練：実証試験に使用する機材を用いて作業を模擬的に行い、適用性、適用上の問題を把握するための試験

適用性試験：調査手法に適用できるかを検証するための試験

1. 1. 国道17号新大宮バイパス笹目橋

本橋梁において、RCボートの実証実験と橋梁点検車の適用性試験を行った。

1. 1. 1 橋梁の概要

写真－1・1に笹目橋の全景を示す。

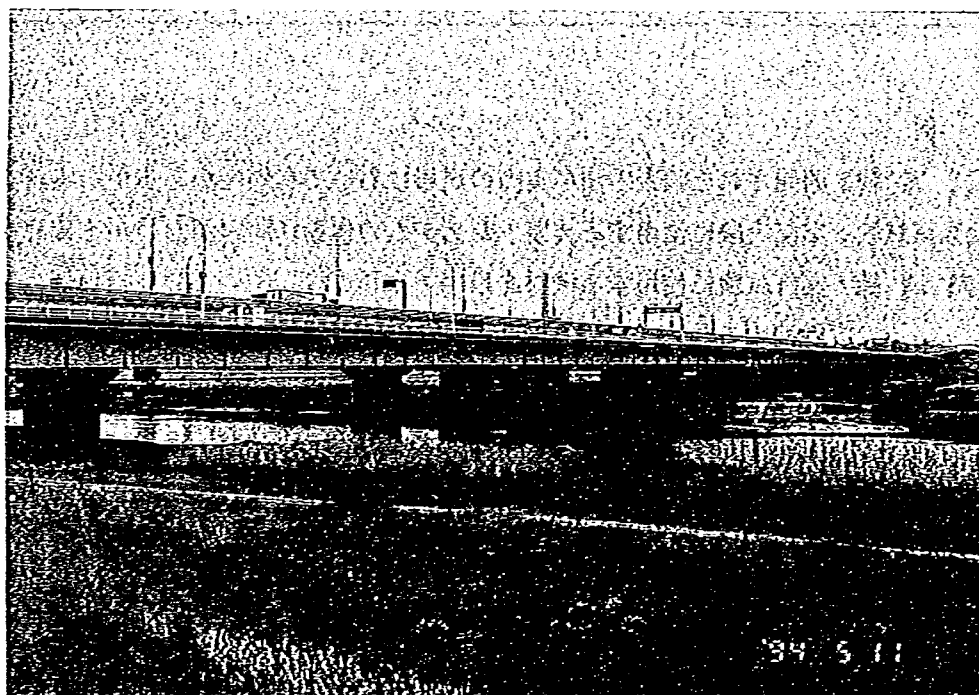
笹目橋は、東京都板橋区と埼玉県戸田市を結び、1級河川荒川に架設されている。本橋は3列並列橋（上流側より第1橋、第2橋、第3橋）である。各橋の完成年度と橋梁の構造を表－1・2に示す。

本橋周辺の河道は幅100m～200mで、河床勾配はほぼ0.01～0.02％である。本橋付近の水域は、感潮区域で河川水位は潮位変動の影響を受ける。笹目橋の河川内橋脚（第1橋P7、第2橋・第3橋P8）の洗掘が平成2年防災点検において報告されているが、詳細は不明である。今回は、第1橋P7橋脚と第2橋・第3橋のP8橋脚周辺についてRCボートを用いた実証実験を、第1橋P7橋脚について橋梁点検車の作業台に見たてた仮設足場からの適用性試験を行った。

橋梁位置図を図－1・1に、橋梁平面図を図－1・2に、第1橋の側面図を図－1・3に、第2橋と第3橋の側面図を図－1・4に、そして洗掘調査の中心となった第1橋P7橋脚の構造図を図－1・5に示す。

表－1・2 笹目橋構造一覧

	完成年度	橋長(m)	幅員(m)	上部構造	下部構造	道路管理者
第1橋	昭和39年	636	15.3	連続箱桁	鋼管杭 ケーソン	建設省
第2橋	昭和52年	621	17.0	連続・単純箱桁 鈑桁	場所打杭 ケーソン	首都高速 道路公団
第3橋	昭和62年	621	17.0	連続・単純箱桁 鈑桁	場所打杭 ケーソン	建設省



写真－1・1 笹目橋

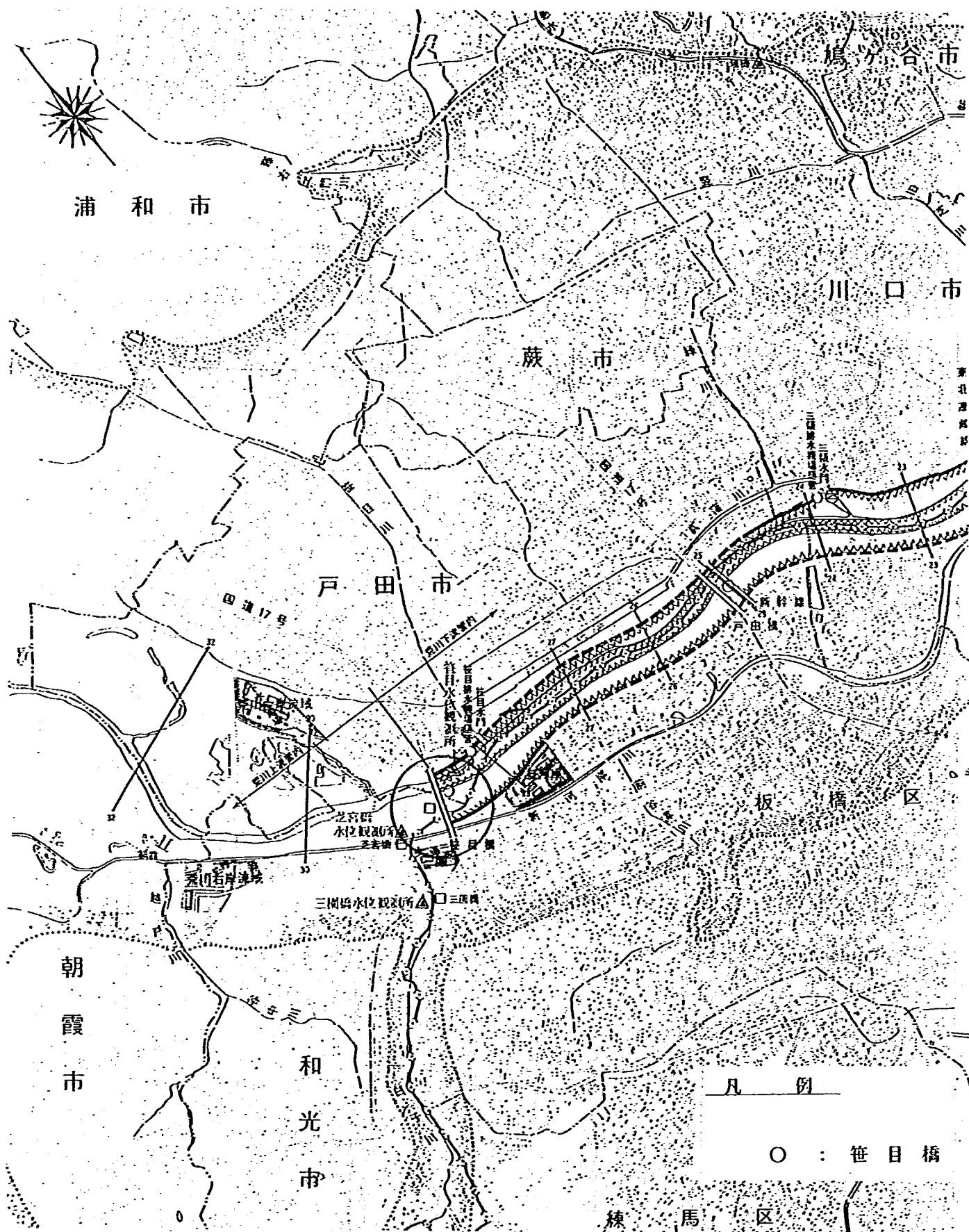


図-1・1 笹目橋の橋梁位置図

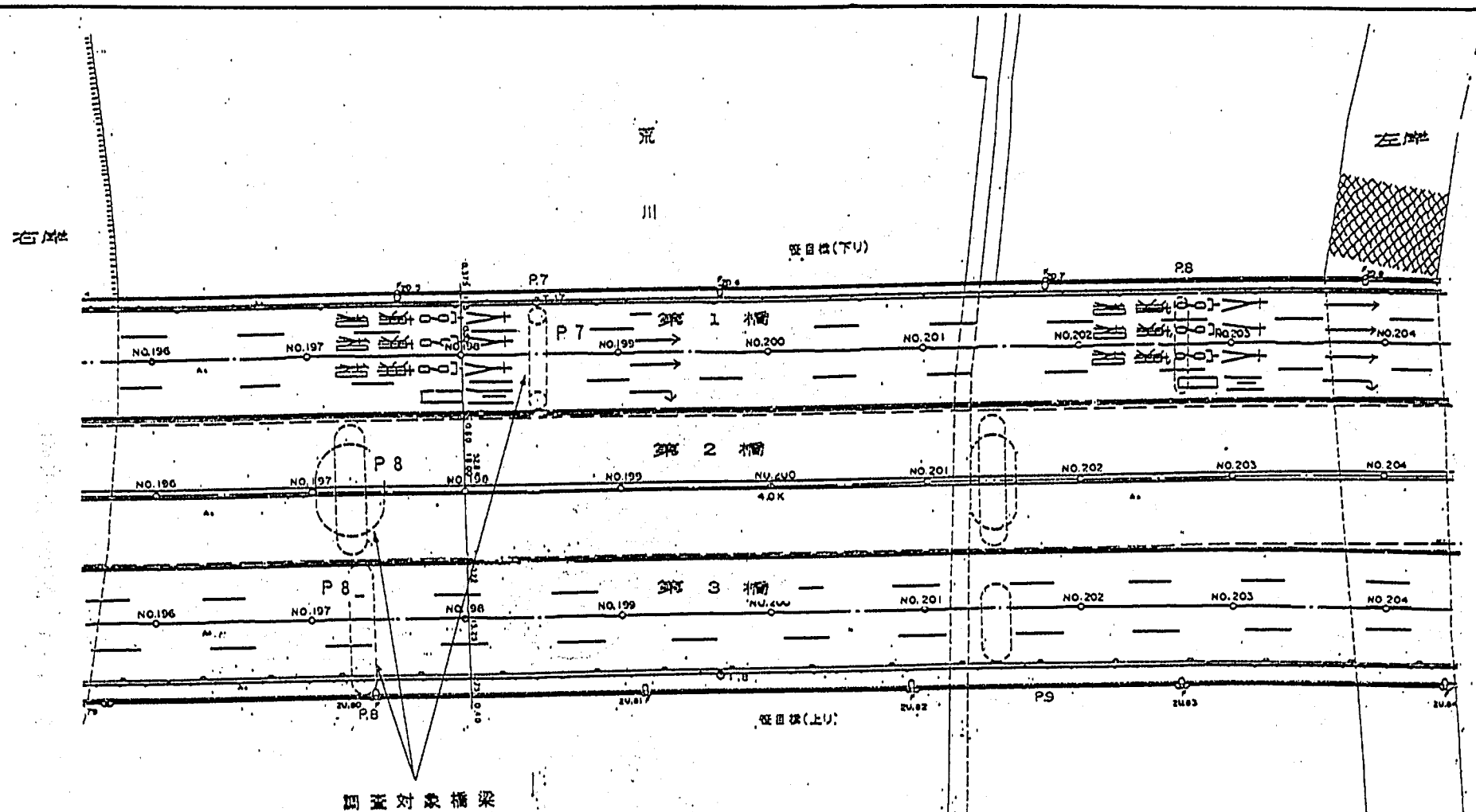


図-1・2 笹目橋の橋梁平面図

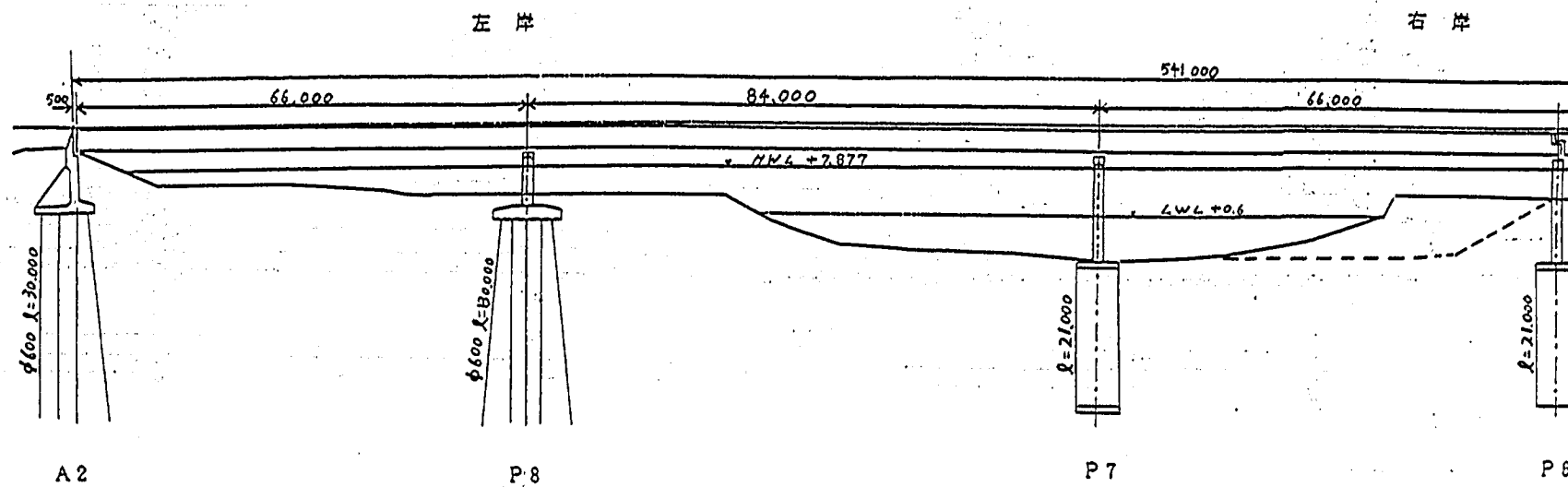


図-1・3 笹目橋第1橋の側面図

正面図

側面図

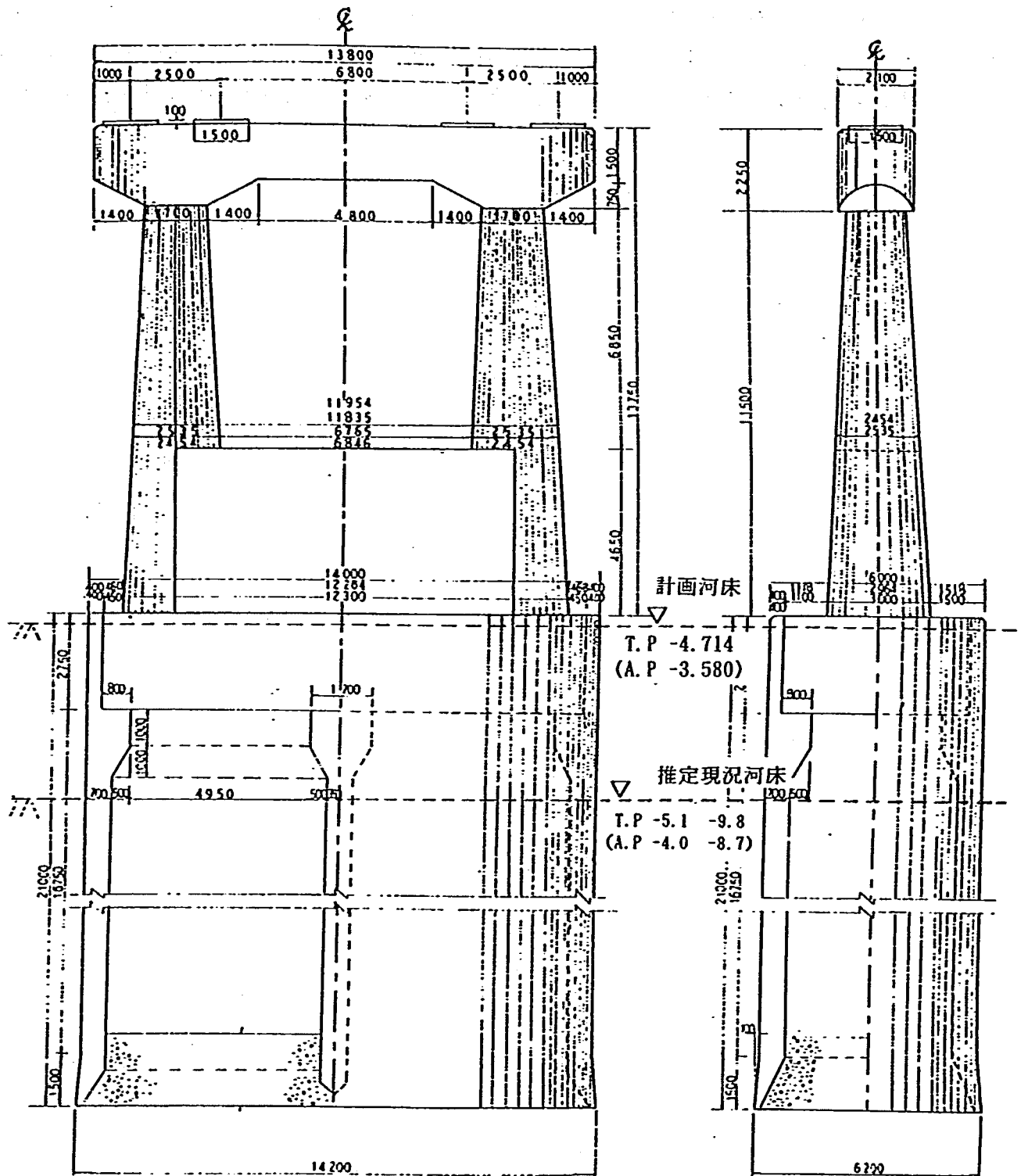


図-1・5 笹目橋第1橋のP7橋脚構造図

1. 1. 2 橋梁周辺の土質状況

調査地周辺は、荒川の下刻作用による粗粒の堆積物で覆われ、その下位に沖積世海進期に堆積した粘性土（有楽町層）がGL-14.8m付近まで分布している。さらにその下位は洪積層で、所々に細砂層や粘土層（東京層と推定）を挟んで砂礫層（東京礫層）が堆積している。地盤のN値は、沖積砂層でN値2～9、粘性土で0～3、洪積砂礫層で30～50以上のところが多く、洪積砂礫層に挟まれている洪積粘性土層は9～22である。

1. 2 国道4号利根川橋および利根川橋新橋

本橋梁において、RCボートの実証実験を行った。

1. 2. 1 橋梁の概要

写真-1・2に利根川橋及び新橋の全景を示す。

利根川橋および利根川橋新橋は、埼玉県栗橋町と茨城県古河市を結び、1級河川利根川に架設された2列並列橋（上流側より新橋、旧橋）である。図-1・6に橋梁位置図、図-1・7に旧橋の一般図、新橋の一般図を図-1・8に、そして表-1・3に各橋の完成年度と橋梁の構造を示す。

本橋周辺の河道は幅100m～200mの河川で、河道が左に大きく湾曲し、流心が右側に寄っている。橋梁の河床勾配はほぼ0.01～0.02%である。貨物船などの航行船舶はなく、水深は最大で2m程度となっている。

本橋の河川内右岸側の橋脚（旧橋のP2とP3、新橋のP2とP3）の洗掘が平成2年防災点検において報告されており、平成5年度に実施したパイロット調査の対象橋梁である。今回は河川流水部にある旧橋のP1とP2、新橋のP1とP2を対象として実験を実施した。

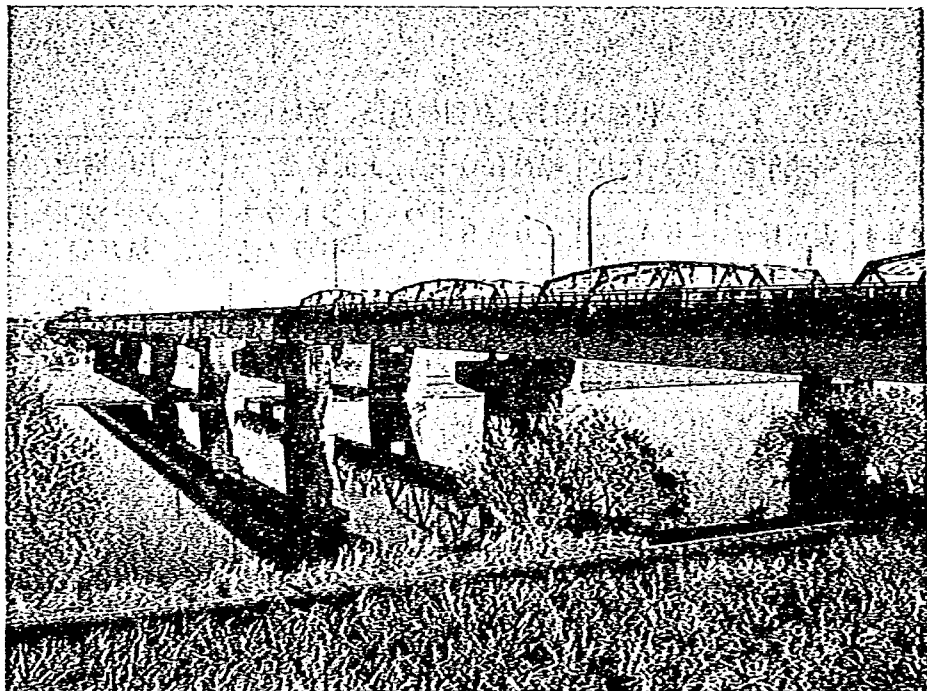
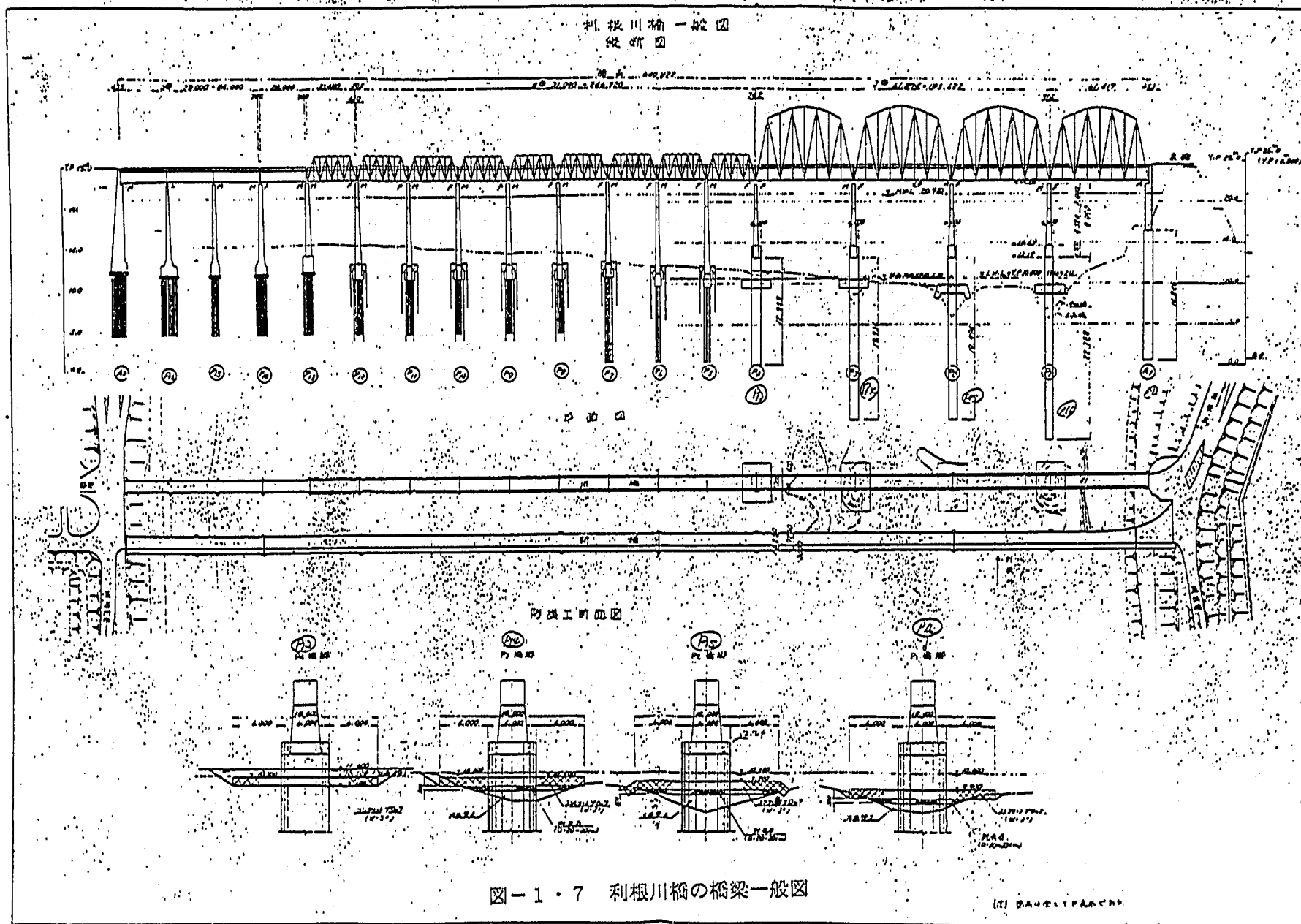


写真-1・2 利根川橋および新橋（手前）



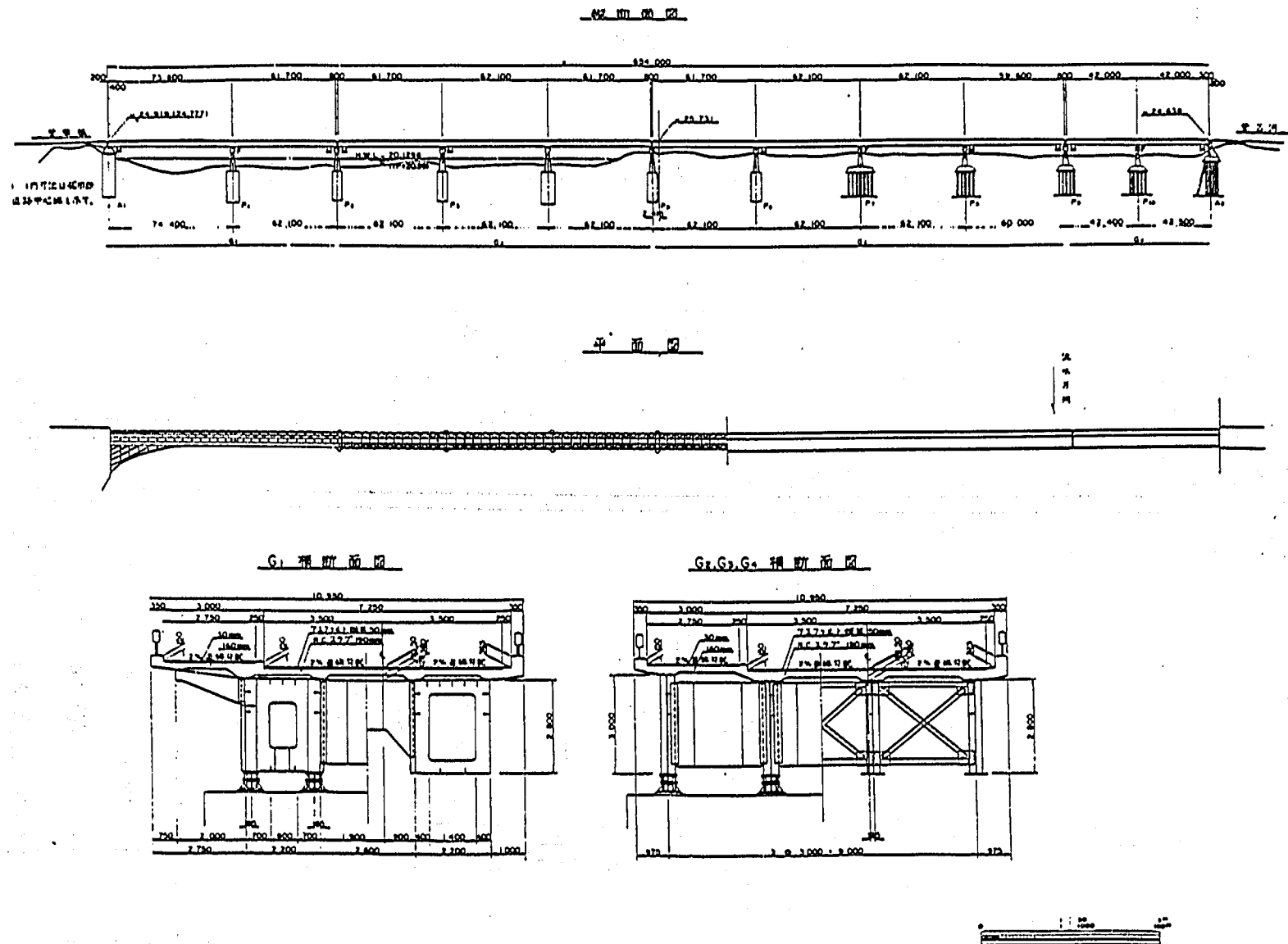


図-1・8 利根川橋新橋の橋梁一般図

1. 2. 2 現在までの補修履歴

建設後、利根川橋は約70年、新橋においても約30年が経過しているため、両橋には幾つかの補修がなされており、特に旧橋では、洗掘対策のための根固めブロックの敷設がなされている。表－1・4に補修履歴を示す。

表－1・4 利根川橋および新橋の補修履歴

利根川橋		利根川橋新橋	
年月日	内 容	年月日	内 容
S28. 5	左岸側桁(120m分)架設	S56. 3	上部工補修・補強
S56. 3	3m嵩上げ 洗掘補修工事		

1. 3 土木研究所内橋梁

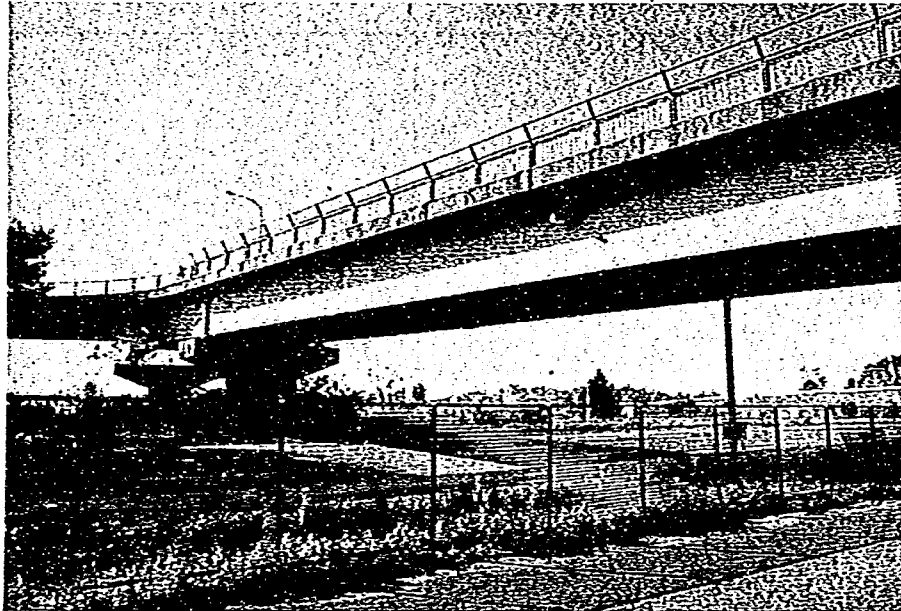
本橋梁において、橋梁点検車の慣熟訓練を実施した。

1. 3. 1 橋梁の概要

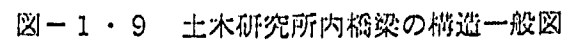
写真－1・3に橋梁の写真を、図－1・9に橋梁の一般図を示す。

本橋は土木研究所構内にある橋梁で、外周道路と舗装走行実験場とを結ぶ橋梁で1973年に建造された。

今回の実験は、3号橋のP2橋脚を中心に橋梁点検車を駐車して実施した。



写真－1・3 土木研究所内橋梁



1. 4 国道51号水郷大橋

本橋梁において、橋梁点検車による実証実験と音波探査の適用性試験を行った。

1. 4. 1 橋梁の概要

水郷大橋は、千葉県佐原市と茨城県稲敷郡東村を結び、一級河川利根川に架設されている。上部工は2径間連続鋼床版斜張橋と3径間連続鋼床版箱桁の長さ533m、幅員20.5mの橋梁となっている。基礎形式は、橋台が鋼管杭基礎、橋脚はケーソン基礎となっている。本橋は昭和48年から着工され、昭和52年3月に下り2車線が、そして上り線は昭和62年に供用を開始した。橋軸線は河川流心に対し約 84° の角度をなしている。

図-1・10に橋梁位置図を、図-1・11に橋梁の一般図を、そして、橋梁の写真を写真-1・4に示す。

橋梁位置の河川幅は200m近いが、流心は右岸側に寄っている。本橋の位置は河口部から約40kmの距離にあり、潮位の影響を受ける感潮区間となっている。

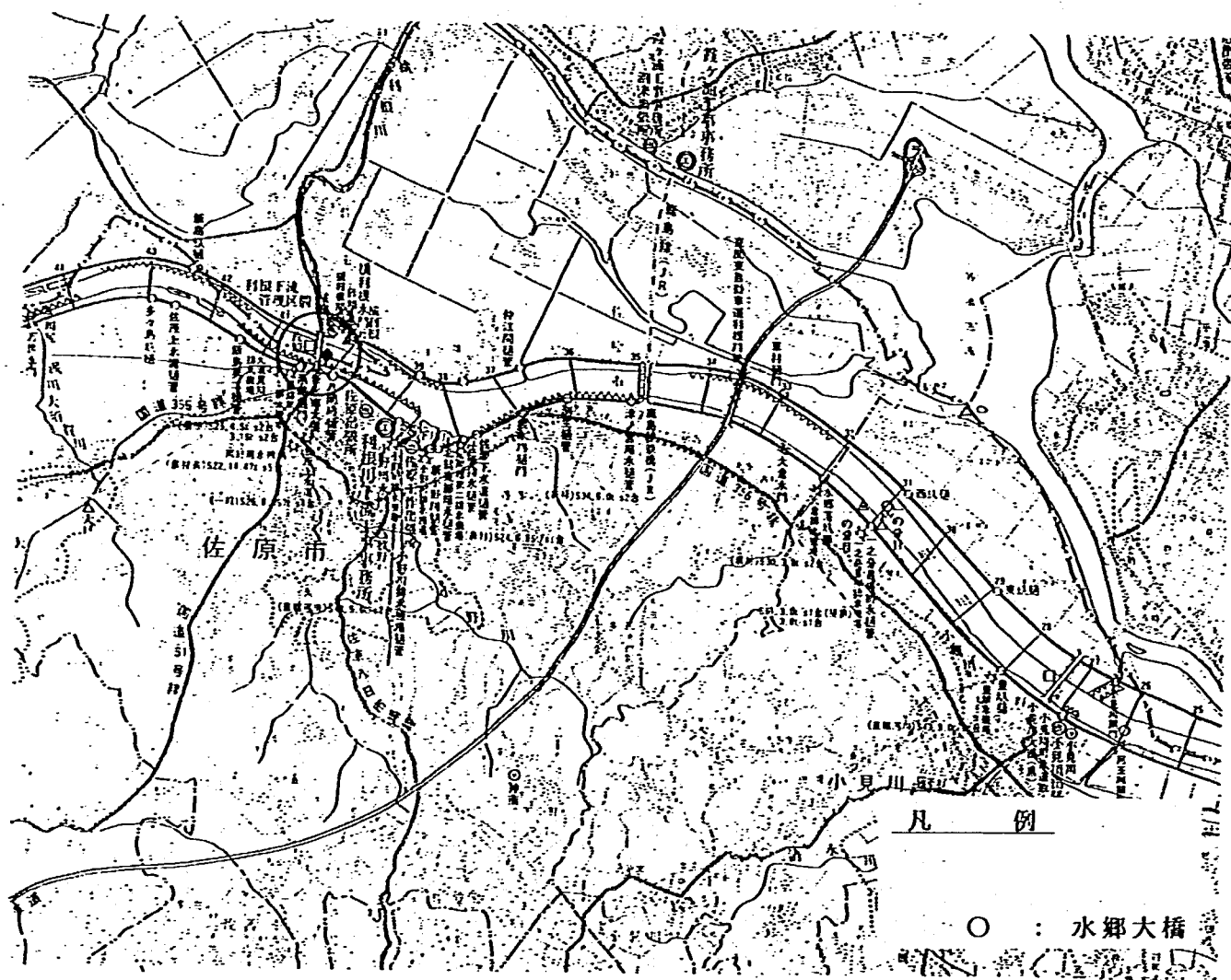
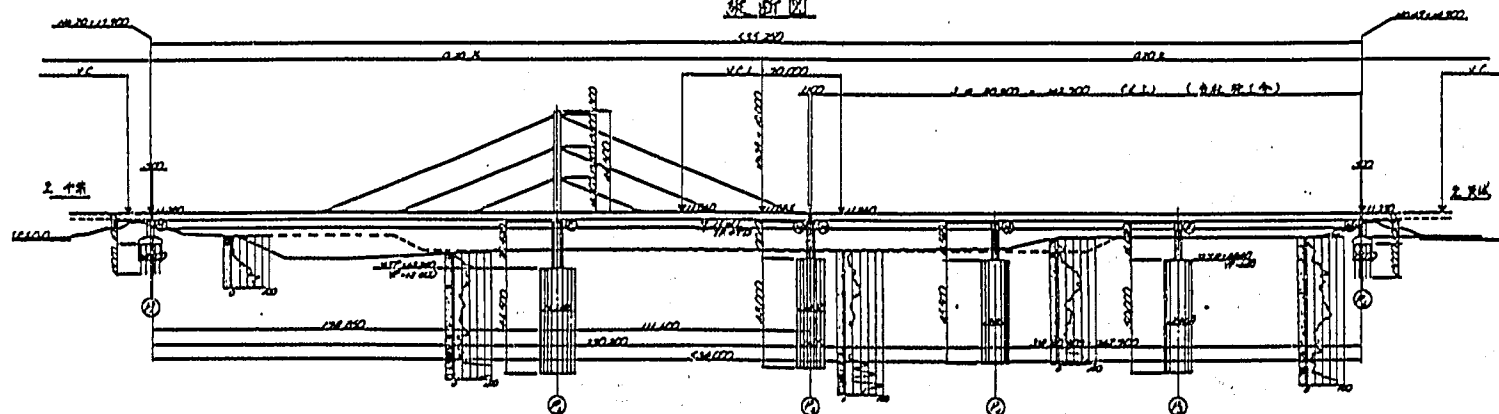


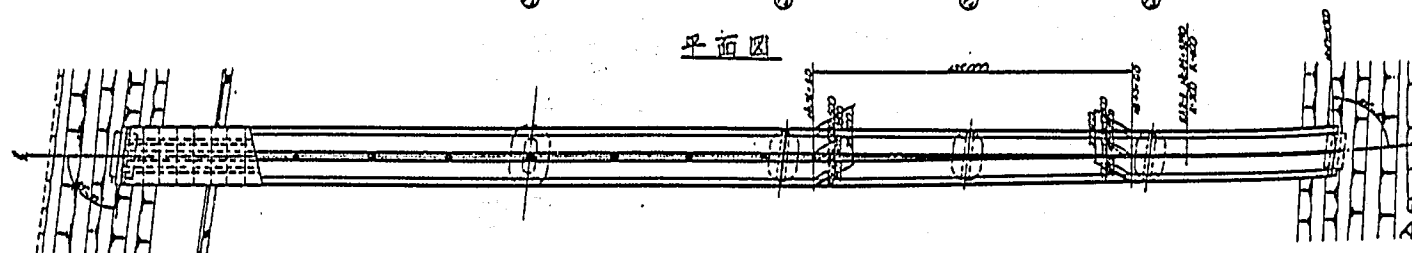
図-1・10 水郷大橋橋梁位置図

一般図

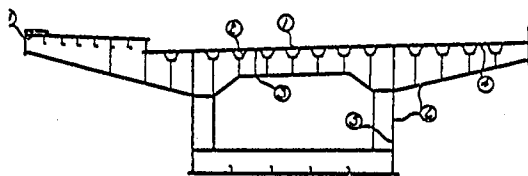
縦断面図



平面図



工場定尺仕様



標準横断面図

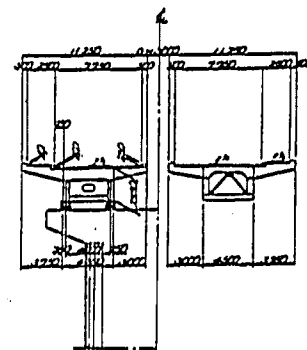


図-1・11 水郷大橋の橋梁一般図

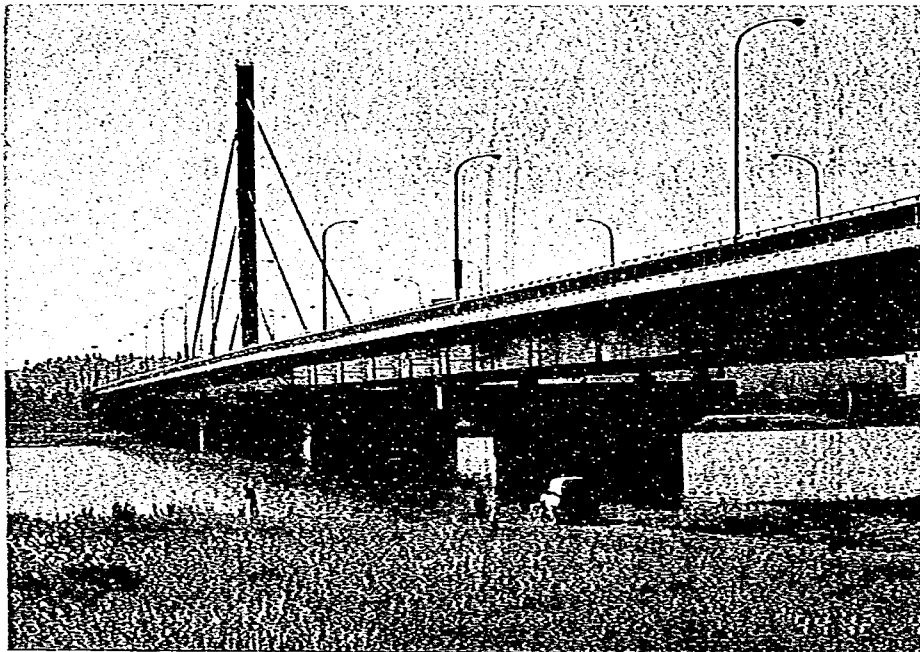


写真-1・4 水郷大橋

1. 4. 2 橋梁付近の地質状況

河床面から、砂層、粘性土層が分布している。砂層は-20mまではN値10以下の緩い砂層が、-40mまでにN値10~35の比較的締まった層が、そして-50mまでにN値7~40の比較的緩い層が分布する。-40~50mには粘性土層と砂層が互層状に分布し、粘性土部では過圧密状態を示している。-50~63mには砂礫もしくは砂が分布し、N値50以上を示す最も堅固な地盤となっている。なお、ボーリング柱状図を図-1・12に示す。

1. 5 利根川（銚子市小舟木町）

本箇所は新銚子大橋の建設予定地であり、音波探査による適用性試験を行った。

1. 5. 1 現場の状況

本場所は、利根川の河口から10kmの地点にあたる。川はほぼ直線に流れており、川幅も1km近くあり広い。調査位置図、および測線を図-1・13に、現地の状況を写真-1・5に示す。

1. 5. 2 土質状況

本調査場所は河床地盤は砂質シルト、細砂、シルトおよび粘性土、シルト質細砂、固結シルトの各層に分類できる。

砂質シルト（浮泥）はシルトを主体とし細砂を多く混入する。N値は零を示し非常に軟弱で含水量は非常に高い。層厚は薄く、G.L. -3mまで分布している。また、細砂は、部分的にシルト分を混入し、N値は0～19の範囲で変化が大きく、層厚は薄くG.L. -7mまで分布する。そして、シルトおよび粘性土は、均質なシルトおよび粘性土を主体として、全体に含水量が混在する。N値は1以下と非常に軟弱であるが粘性が強く、G.L. -11mまで分布する。シルト質細砂は、全体にシルト分を混入し、G.L. -14mまで分布する。N値は3以下で非常に緩い。細砂は、均一な暗灰色の細砂を主体とするが、上部ではシルト分を混入し、N値は2～34の範囲で変化が大きく、層厚はG.L. -23mまで分布する。貝殻混り細砂は、細砂を主体として比較的均一であるが貝殻片を大量に混入する。N値は3～50を示し、G.L. -26mまで分布している。

固結シルトは、緑青灰色～緑灰色の固結シルトを主体し、N値は14～50以上でG.L. -50mまで分布している。

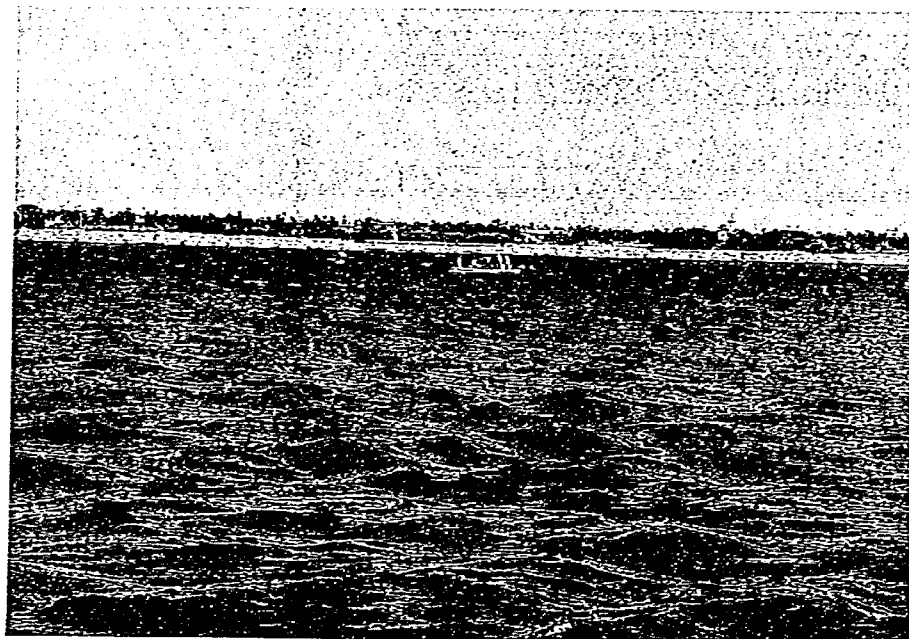


写真-1・5 利根川（銚子市小舟木町）

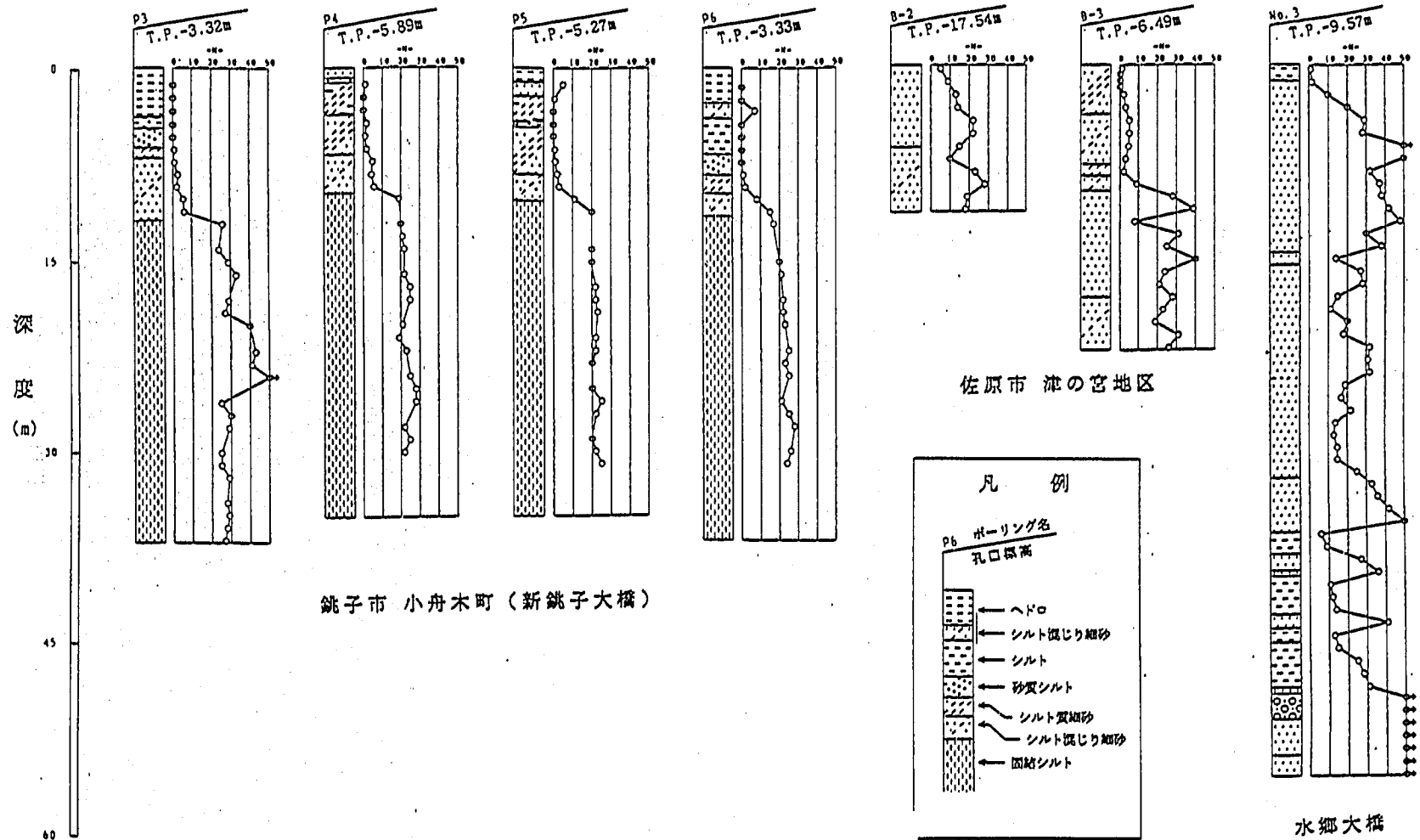


図-1・12 銚子市小舟木町、佐原市津の宮地区、水郷大橋のボーリング柱状図

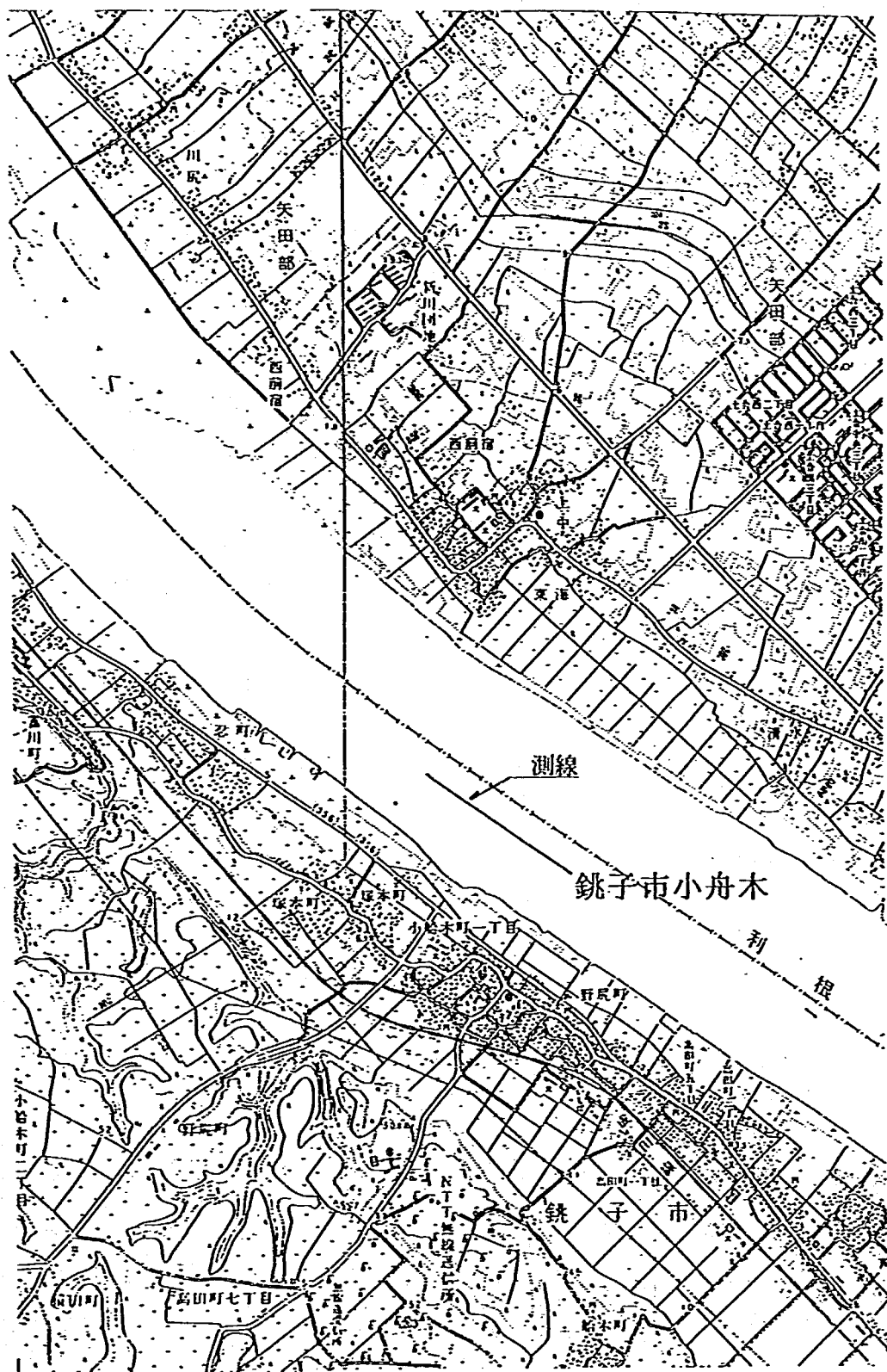


図-1・13 利根川（銚子市小舟木町）の調査位置図と測線配置図

1. 6 利根川（佐原市津の宮地区）

本箇所は過去に河床の調査が行われており、音波探査による適用性試験を行った。

1. 6. 1 現場の状況

本調査場所は利根川の河口から37kmの地点にあたり、川幅は600mで川の湾曲部となっている。したがって、河床の局所洗掘がかねてより報告されている。水郷大橋と合わせて調査位置図、および測線を図-1・14に、現地の状況を写真-1・6に示す。

1. 6. 2 土質状況

河床の地層は砂質土と粘土層の互層、粘性土層、砂質土層、洪積層の固結シルトの4層に区分され、河川流に洗掘されずに残っている箇所の上部は細粒土の混入量が多い。洗掘されている箇所は、洪積層の砂質土層が露出していると推定される。

砂質土と粘土層の互層はシルト質細砂・砂混りシルトとを主体として、腐植物などを混入する。

G. L. -10mまで分布し、N値は0~3で非常に緩く軟らかい。また、粘性土層は砂質シルト・シルトを主体として腐植物・貝殻片・小礫を混入しG. L. -13mまで比較的薄く分布している。N値は2~12と非常に軟らかい。そして、砂質土層はシルト混じり細砂・シルト質細砂・礫混じりシルトを主体とし、貝殻片・腐植物礫を混入し細粒土混入量は少なく、G. L. -16mまで分布しており薄く、N値は0~3と緩い。

洪積層の固結シルトは、基盤の成田層と推定され、G. L. -16m~G. L. -28mまで分布している。中砂などを主体として砂混じり固結シルトなどを挟んでいる。河床上部は締まり具合が緩いが下部は密になっており、N値は5~50と範囲が広い。

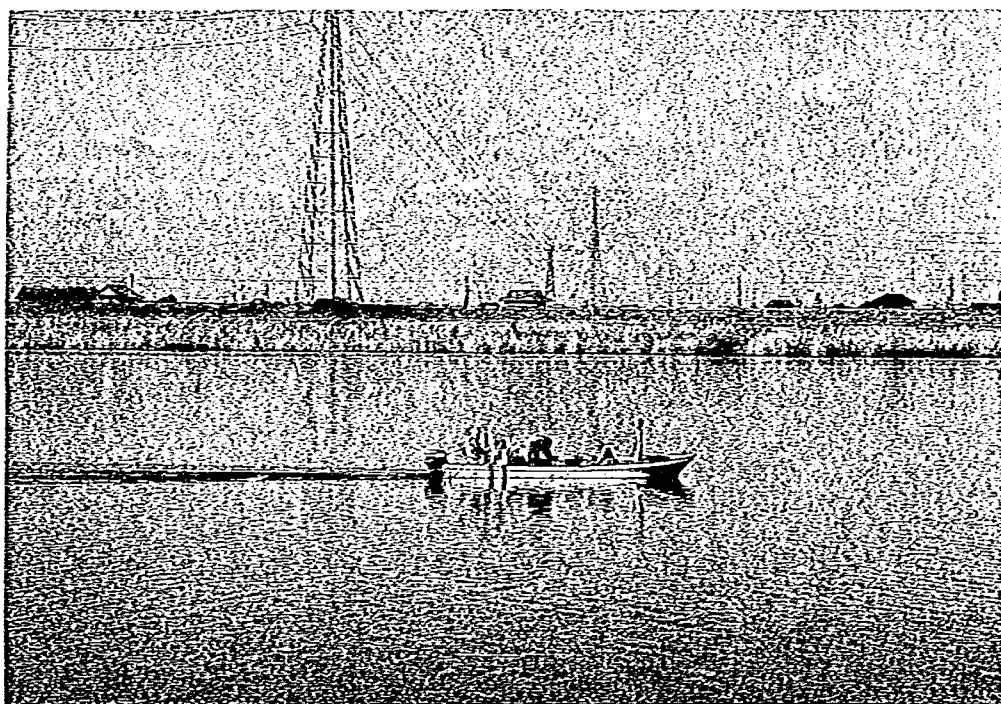
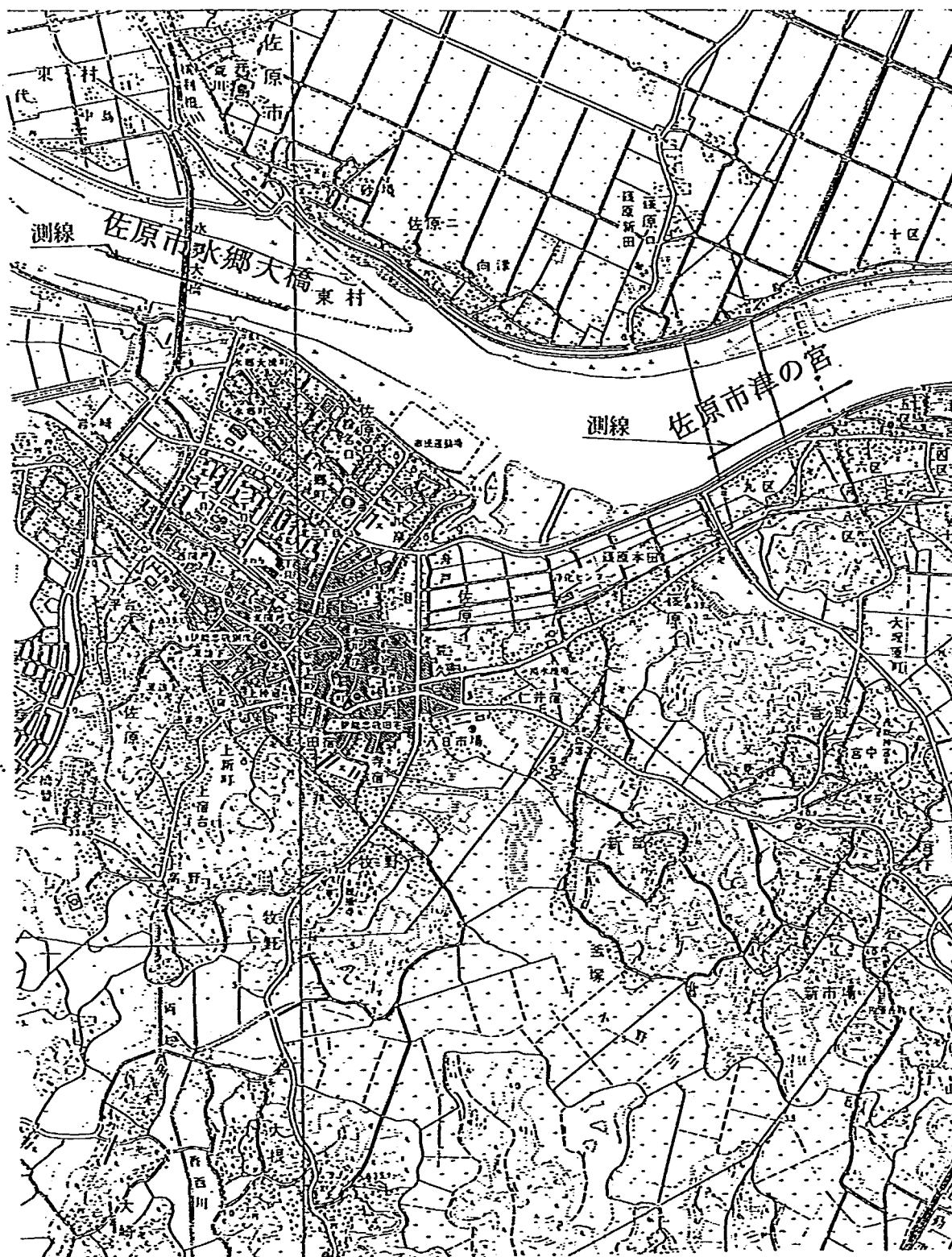


写真-1・6 利根川（佐原市津の宮地区）



図一１・１４ 利根川（佐原市津の宮地区および水郷大橋）の調査位置図と測線配置図

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）

土木研究所共同研究報告書第136号
平成7年12月（1995）

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6年度の成果をとりまとめたものである。昨年までに実施した調査や試験結果を基に、新しい洗掘調査手法として、ラジオコントロールボートを使用した手法及び橋梁点検車を使用した手法を開発し、実橋梁に対する適用性試験を行った。また、音波による河床地盤探査の適用性試験を実施した。

キーワード：橋梁下部，維持管理，調査手法，洗掘，適用性試験，装置開発，地盤探査

郵便はがき

五十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

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
行

No. 03

No. 03

配布先氏名

配布先住所



土木研究所共同研究報告書第136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136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2）