18
ISSN 0386－5878
土木研究所資料第2714号

土 木 研 究 所 資 料

強震記録の自動数値化方法に関する検討

平成元年2月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

Copyright © (1989) 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。

土木研究所資料
第2714号1989年2月

強震記録の自動数値化方法に関する検討

元地震防災部長　岩崎敏男*
振動研究室　室長　佐々木康
研究員　田村敬一
研究員　桒原徹郎
相沢興
吉見精太郎

要旨

従来，記録紙上に記録されるアナログ強震記録をディジタル化する方式として，ディジタイザーを用いて，手作業により波形を読みとる方式がとられているが，作業に要する労力と時間はかなりの量となっている。そこで，画像処理装置を用いた強震記録の自動数値化方法に関する検討を行い，精度及び処理速度の両者について，十分適用可能であるとの結論を得た。

本資料は，従来のディジタイザーを用いた数値化結果と画像処理装置を用いた数値化結果との精度比較について，その検討結果をとりまとめたものである。

キーワード：強震記録，ディジタル化，画像処理，自動数値化
＊現土木研究所研究調整官

ま　え　が　き

昭和28年に工学式強震計が開発され，昭和32年に建設省近畿地方建設局猿谷ダムにおいて公共土木施設における強震観測が開始された。以来，建設省所管の橋梁，ダム，河川堤防等土木施設及びその周辺地盤上に強震計が設置され，得られた強震記録は貴重な情報として活用されている。

良好な強震記録を得るためには，十分な保守と記録の処理作業が必要であり，特にアナログ記録の数値化処理作業については，それ自体が研究的要素が強いこともあって，土木研究所振動研究室において，作業を行ってきた。しかし，従来の処理作業は，ディジタイザーを用い，手作業により波形を読み取る方式を取っており，強震記録を利用する上では，十分な精度のディジタル化を行うことができるが，作業に多大な労力と時間を要している。また，観測地点の増加，保守の充実による記録取得機会の増加により，数値化処理を要する強震記録は増加している。さらに，数値化処理を行うディジタイザーは，導入後15年以上経過し，老朽化が著しくなってきた。一方，近年のエレクトロニクスの進歩により，画像処理装置を用いて強震記録のディジタル化作業を自動化できる機会も開発されており，このような状況を踏まえて，ディジタル化作業の省力化及び読み取り精度面からの作業の標準化を目的とした自動ディジタル化方式について検討をすすめることの必要性が大きくなってきた。

このため，市販の画像処理装置の機能について調査し，自動数値化装置としての適用性について検討を行った。さらに，調査結果をもとに実際の画像処理装置を用いて地震波の読み取りテストを行い，ディジタル化精度の検討及びディジタイザーによる処理方式との精度比較を行うこととした。

本資料は，この検討結果をとりまとめたものである。また，付属資料には，ディジタイザーによる数値化処理フロー及び自動数値化装置によるSMAC型強震記録及び気象庁1倍強震計記録の数値化方法(案)を併せて示している。

なお，本検討にあたっては，現在わが国で強震観測および強震記録の処理，活用を行っている代表的な機関である東京大学地震研究所，運輸省港湾技術研究所，建設省建築研究所から工藤一嘉博士，野田節男博士，北川良和博士の3氏，ならびに画像処理技術について精力的な活動をおこなっておられる東京理科大学大林成行教授に御参画頂き，その御指導と御協力を頂いた。これらの方々の協力に対して感謝する次第である。

平成元年2月

元地震防災部長　岩崎敏男*
振動研究室　室長　佐々木　康
〃　研究員　田村敬一
〃　研究員　桒原徹郎
相沢　興
吉見精太郎

---

* 現 土木研究所 研究調整官

目　　次

まえがき
1. 概　要 …… 1
1.1 検討目的 …… 1
1.2 検討方針および検討作業の流れ …… 1
2. 画像処理装置の自動数値化装置としての適用性に関する検討 …… 5
2.1 画像処理装置の概要 …… 6
2.2 自動数値化装置としての適用性 …… 8
2.3 自動数値化装置としての必要機能 …… 33
3. 画像処理装置によるディジタル化精度の検討(1) …… 35
3.1 検討に用いた模擬波形 …… 35
3.2 目視による検討 …… 35
3.3 等時間間隔化の影響検討 …… 38
3.4 時間領域における検討 …… 39
3.5 周波数領域における検討 …… 47
4. 画像処理装置によるディジタル化精度の検討(2) …… 61
4.1 検討に用いた地震記録 …… 61
4.2 比較した各機関の数値化方法 …… 68
4.3 目視による比較 …… 68
4.4 時間領域における比較 …… 69
4.5 加速度応答スペクトルの比較 …… 74
5. まとめ …… 95
謝　辞 …… 97

付属資料－1　SMAC型強震記録の数値化方法 …… 101
付属資料－2　SMAC型強震計記録の自動数値化方法（案） …… 107
付属資料－3　気象庁1倍強震計記録の自動数値化方法（案） …… 113

1. 概　　要

1.1 検討目的

本資料は，現在市販されている画像処理装置の機能調査及び模擬波や実地震記録の読取りテストを行い，強震記録の自動ディジタル化装置としての適用性について検討することを目的とする。

この目的の下に実施する主要な検討内容は次の3点とする。

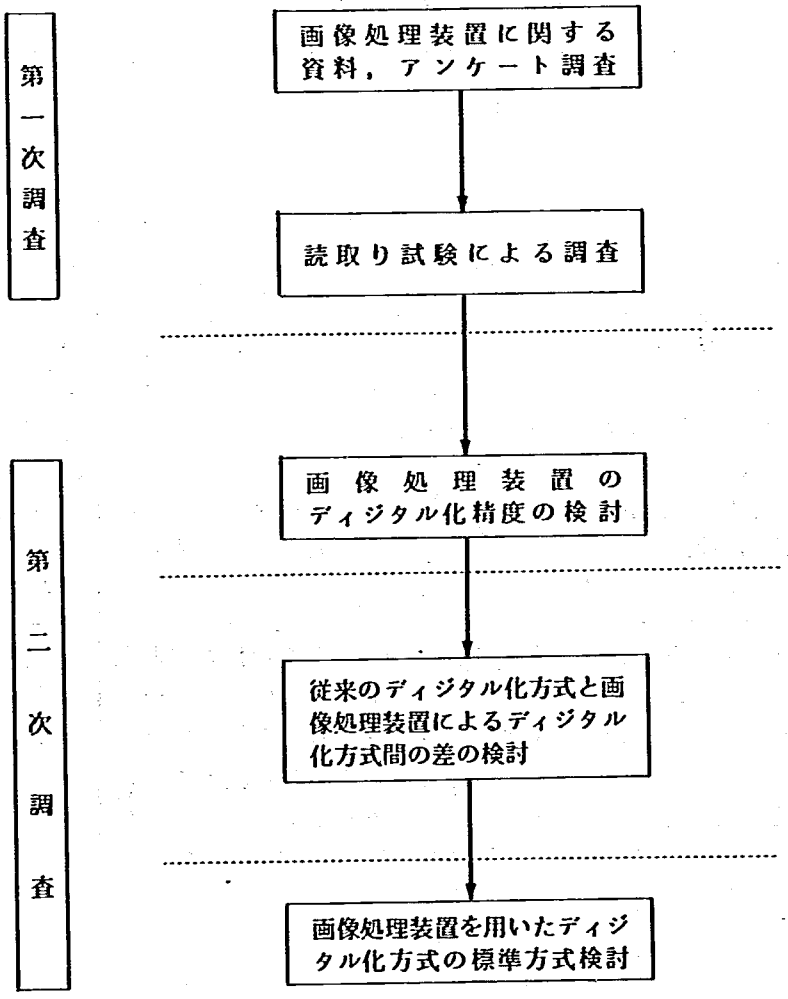
① 画像処理装置のディジタル化精度の検討

② 従来方式と自動ディジタル化方式によるディジタル量の差の比較

③ 自動ディジタル方式による標準的なディジタル処理方式の検討

1.2 検討方針および検討作業の流れ

自動ディジタル化方式に関する調査・検討作業の流れを図－1.1に示す。



図－1.1　調査・検討作業の流れ

また，検討作業は以下の方針で行う。

(1) 対象機種

第1次調査で選定された次の2機種を検討の対象とする。

① 表－2.2のA機

② 表－2.2のI機

(2) 対象波形

対象とする強震記録波形及び，その特徴と検討目的を表－1.1に示す。

模擬波は土木研究所において，従来の方式で数値化した記録をプロッタに出力したものである。プロッタ出力時にはペンの太さが実記録の線の太さの約2倍になることから，実際には実記録の約2倍の拡大率でプロッタに出力した後，写真で½に縮小する工程を通している。これらの工程における誤差の混入は皆無とは言えないが，画像処理装置で数値化したデータの精度検討では，プロッタ出力時のディジタルデータを原データ（真値）とした比較を行う。このように模擬波による精度検討では，上記の誤差を含みつつも画像処理装置そのもののディジタル化精度を検討することになる。

一方，実地震波は各機関において記録されたSMAC記録である。画像処理装置を用いて数値化したデータの精度検討においては，各機関で従来の方式によって数値化されたディジタルデータを原データ（真ではない）とした比較を行う。このように実波形による精度検討では，従来のディジタル化方式と，自動ディジタル化方式間の精度（差）を検討することになる。

表－1.1　検討の対象とする地震記録

種別	対象波形	検討目的	備考
模擬波	1) 開北橋記録のプロッタ出力波形	自動ディジタル化方式における画像処理装置のディジタル化精度検討 （原データは従来の方式で読み取られた数値とする）	短周期が卓越した記録
	2) 伊達橋記録のプロッタ出力波形		短周期と長周期が混在した記録
	3) 新石狩橋記録のプロッタ出力波形		長周期が卓越した記録
	4) 直線のプロッタ出力		直線
実地震波	5) 土研記録　3波	従来のディジタル化方式と画像処理装置を用いた自動ディジタル化方式間の精度検討 （原データは記録紙上のアナログ波形である）	SMAC－B_2 の記録
	6) 港研記録　6波		SMAC－B_2 の記録
	7) 震研記録　6波		SMAC－BとDC－3型の記録

(3) 精度の検討

原データと画像処理装置を用いてディジタル化したデータの精度検討は，①目視による検討，②時間領域における差の検討（図－1.2の④），③周波数領域における差の検討（図－1.2の⑤⑥）を行う。これ

らの検討手順と検討内容を図－1.2に示す。

(4) 自動ディジタル化方式による標準的なディジタル処理方式の検討

以上の結果に基づき画像処理装置による自動ディジタル化方式の作業の標準化を検討する。

標準化の内容としては，

① 画像処理装置の機器構成

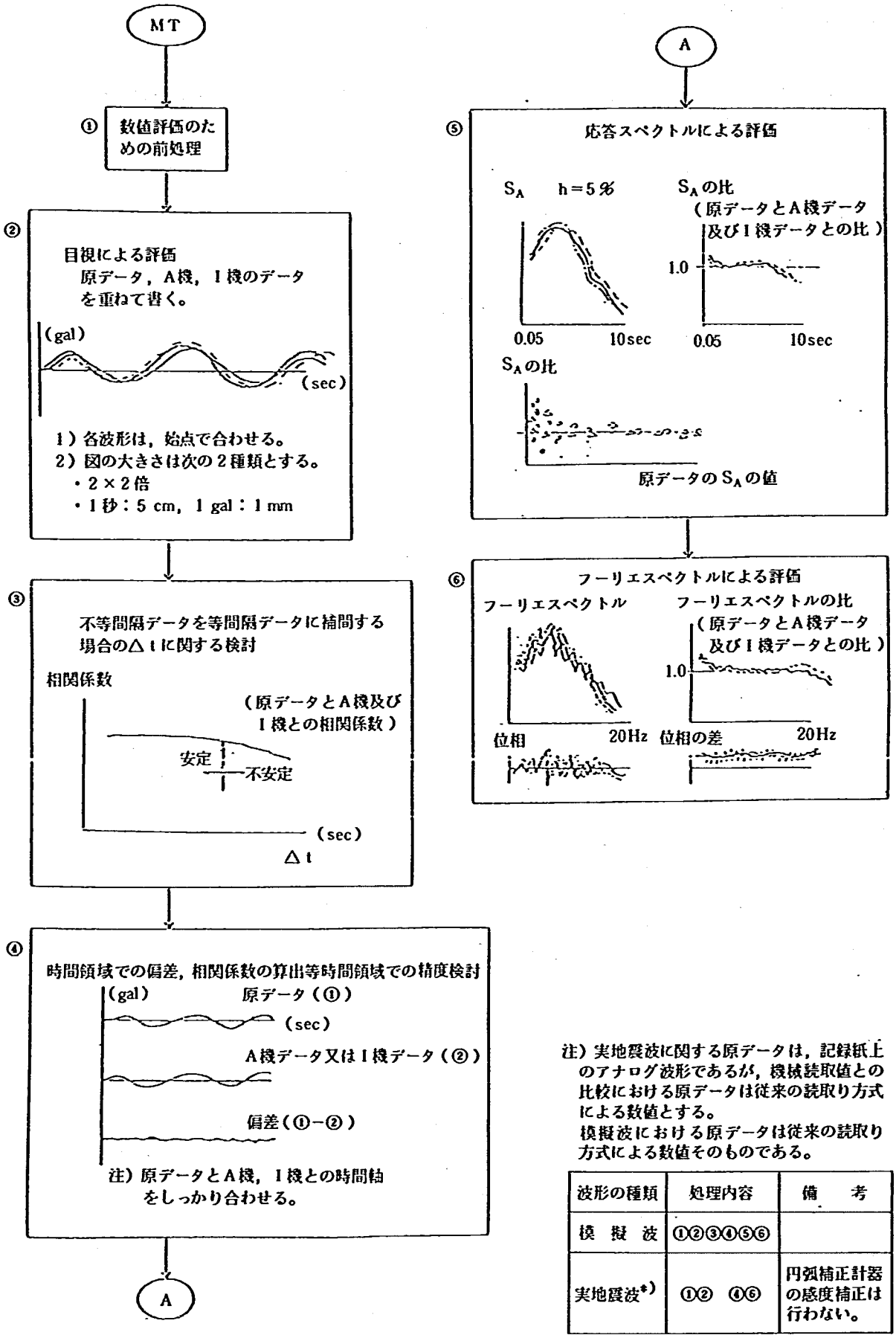
② 数値化するアナログ記録に必要な前処理

③ 数値化方法

④ 数値化したデータの処理（適切な等時間間隔化等）

⑤ 自動ディジタル化方式の有する精度

等を検討する。



注）実地震波に関する原データは，記録紙上のアナログ波形であるが，機械読取値との比較における原データは従来の読取り方式による数値とする。
模擬波における原データは従来の読取り方式による数値そのものである。

波形の種類	処理内容	備　考
模擬波	①②③④⑤⑥	
実地震波*)	①②　④⑥	円弧補正計器の感度補正は行わない。

*）土研，港研，震研のSMAC型記録

図－1.2　数値評価の処理内容

2. 画像処理装置の自動数値化装置としての適用性に関する検討

現在市販されている画像処理装置の構造や機能の調査を実施するとともに，強震記録の読み取りを行い，読み取り手法，読み取り精度について検討した。これより，画像処理装置が自動数値化装置として精度及び処理時間の面から十分自動数値化装置とし適用可能であることが明らかとなった。また，40 dot/㎜以上の分解能を有し，ラスターデータ編集機能，ベクターデータ編集機能，ラスターデータ・ベクターデータの重ね合わせ編集機能が必要であることが明らかとなった。

強震記録の自動数値化システムに関する第1次調査は，①現在市販されている画像処理装置の構造や機能の調査，及び②強震記録の自動数値化装置としての適用性の検討を目的に実施した。

第1次調査で対象とした市販の画像処理装置を表－2.1に示す。

また，自動数値化装置としての適用性については，主として以下の項目に着目した検討を行った。

表－2.1　調査対象とした画像処理装置

種別	開　　発	販　　売	製　品　品
画像処理装置	ANA Tech	テクノダイヤ	図面自動入力システム
	キャディックス	キャディックス	4001，RX 5001
	SCAN-GRAPHICS	エリック	図面自動読取りシステム
	SKANTEK	住友エレクトロニクス	SK 1010
	Scitex	日本サイテックス	レスポンス 280
	東　芝	東　芝	TOSGRAPH
	東洋電機製造	東洋電機製造	drastem 1000
	日立精工	日立精工	HADG C00/C10,M00/M10
	三菱電機	三菱電機	図面管理システム
	ユニバック情報システム	ユニバック情報システム	AI-MUDAMS

注）　これらの機種は，事前調査において当システムの目的に沿ったものとして選定した。

(1) 対象とする強震記録の種類

① SMAC－B_2記録　（スタイラスペーパ密着焼）

② SMAC－Q記録　（8倍伸し焼付）

③ 気象庁1倍強震計記録（密着焼）

④ 電磁式強震計記録　（オシロペーパ）

⑤ SMAC－Q記録　（密着焼）

・上記①～⑤の記録の数値化が可能なこと。

なお，調査ではこれらの記録の代表として，①，②，③の3種類を用いた読取試験を実施した。

(2) 記録の状態

・強震記録には，汚れや不要線，かすれや剥れ等が含まれているが，これらを除いて目的とする波形の数値化が可能なこと。

・波形記録，時間軸，基線の3本を1記録紙当りの標準データとし，これらを同時に数値化できること。

(3) 対話処理

・ラスターレベルでの途中介在やベクトル化後における修正や編集等が高度な技術を必要としない対話処理でできること。

(4) 処理時間

・現状で1波当り約8時間の処理時間を1波当り1時間程度に短縮できること。

また，調査で実施した試験読取りの精度は以下の観点から評価した。

・原記録に対する目視上の再現性

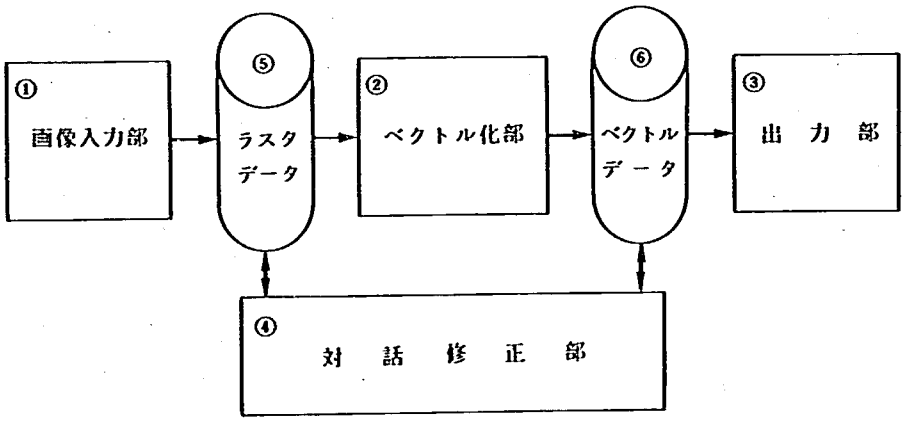
・時間軸 — 加速度値における手読みデータとの偏差

・加速度応答スペクトルにおける手読みデータによる値との偏差

以下にこれらの調査結果を概説する。

2.1 画像処理装置の概要

画像処理装置の機能は，通常図－2.1に示すような機能に大別することができる。



図－2.1 画像処理装置の機能ブロック

図－2.1に示した各部は以下の機能を持つ。

① 画像入力部

図面や強震記録等を計算機で処理できる形式で読み取る部分で，通常CCD（Charge Coupled Device）センサーや撮像管が用いられる。一般的には，スキャナ装置と呼ばれる部分である。データの読込みは，図面を細かいメッシュに分割し，その分割された部分の濃淡情報を1メッシュの値とする。このメッシュデータの集合として入力画像データを表現する。このメッシュの大きさを分解能と呼び1㎜当り何メッシュに分解出来るかを示す。分解能が細かくなると高精度に画像が入力出来るが，データ量

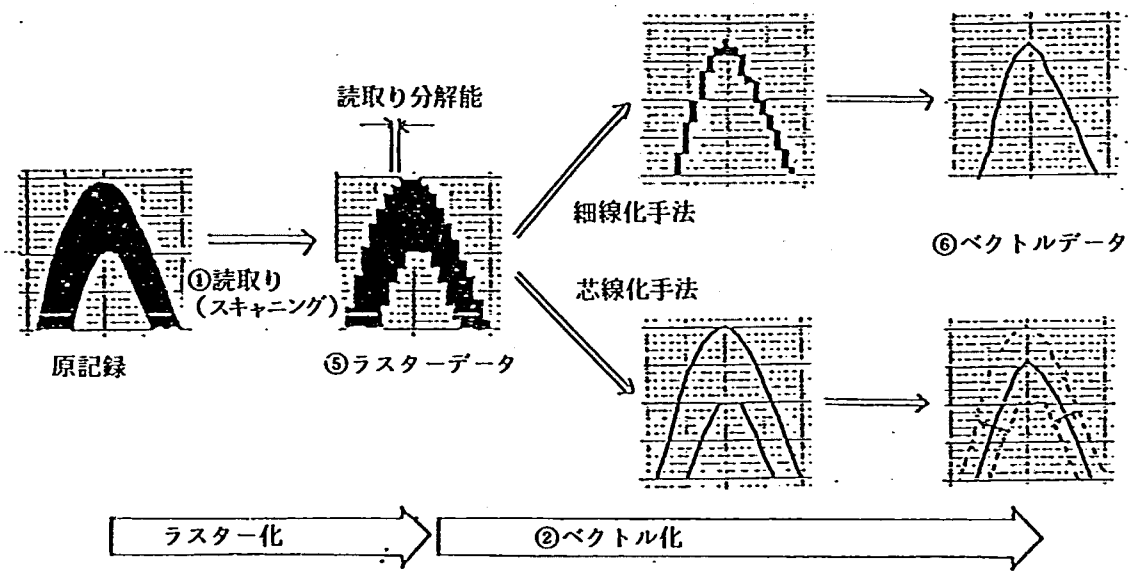
が増大する。

また，1メッシュ当りの情報量により，画像の濃淡情報を表現することもできるが，図面等のデータは，「白」か「黒」のいわゆる2値データであるため，1 bit あれば表現することは出来る。

② ベクトル化部

画像入力されたラスターデータをベクトルデータに変換処理する部分である。

手法としては，大きく分けて，細線化と芯線化がありイメージ的に表現すると次のようになる。



（細線化） 入力されたラスターデータをまわりから順に削ってゆき，中心部を残す手法

（芯線化） 最初に線の両側の部分をベクトル化し，その後で，その中心線を求める方法

③ 出 力 部

ベクトル化されたデータを他のシステムで使用するために，MT等の外部媒体に出力する部分。又プロッター等により，目で見ることのできる形式に出力する部分でもある。

④ 対話修正部

大きく分けて，ベクトル化前のデータを修正する機能（ラスター編集）とベクトル化後のデータを修正する機能（ベクトル編集）とに分けられる。

（ラスター編集） ラスター画像の編集を行うためカスレの処理，ヨゴレの除去に有効である。また，多少の修正ミスは，ベクトル化処理で，吸収できる。

（ベクトル編集） ベクトル化された最終結果に対して修正を行うため，修正した結果が完全に反映される。逆に修正ミスもそのまま出力される。又，ベクトル化データを修正するためには基礎となるデータ（イメージデータ）と重ね合せて行える機能が必要がある。

⑤ ラスタデータ部

入力図面等を細い点の集合として表現したデータ。あるメッシュの一点一点は，点があるかないかの

情報しかなく，いわゆる線分としての認識はされていない。画像イメージデータ，スキャンデータとも呼ばれる。

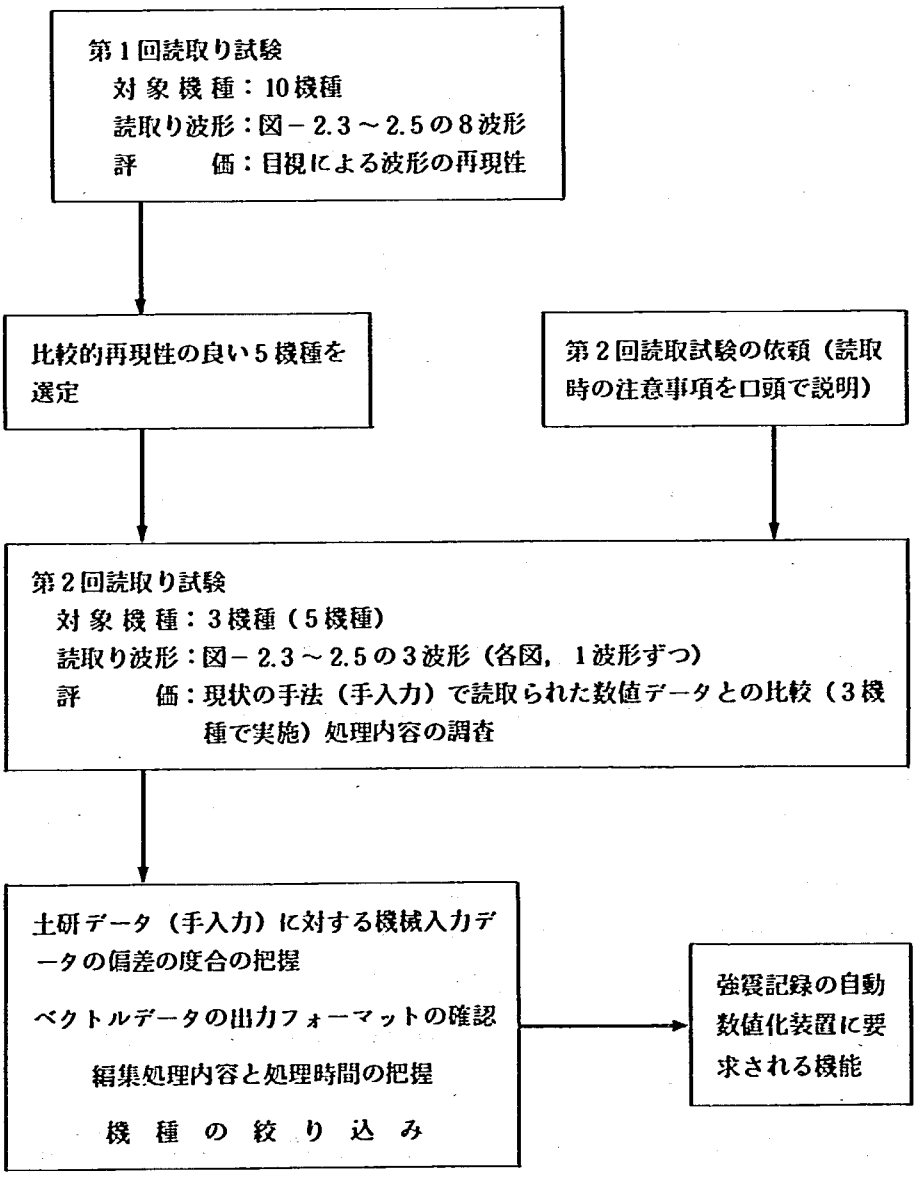
⑥　ベクトルデータ部

線分としての認識がされたデータで，始点と終点の座標値として表現されている。

以上の①～⑥の機能を各社の製品毎に比較したものが表－2.2である。

2.2　自動数値化装置としての適用性

自動数値装置としての適用性を検討するため合計2回の読取試験を通し，図－2.2の流れに従った調査を実施した。



図－2.2　強震記録の自動数値化装置としての適用性検討作業流れ図

表－2.2　画像処理装置機能比較一覧表

機種		A機	B機	C機	D機	E機	F機	G機	H機	I機	J機
①画像入力部	最大分解能（dot/mm）	40	10	20	40	40	10	80	16	40	16
	最大資料サイズ	A0	A0	A1	A0	A0	A0	107×190 cm	A0	A0	A1
	読取情報量（bit/dot）	1	8	1	8	8	1	5	1	8	1
②ベクトル化部	ベクトル化精度（mm）	0.025	0.5	0.125	0.1	0.025	0.1	0.0125	0.1	0.025	0.1
	最小識別ベクトル長(mm)	0.001	0.1	0.125	0.1	0.025	0.2	0.0125	0.1	0.025	0.06
	識別能力 線種	1	1	1	1	3	1	1	1	4	1
	識別能力 色	1	1	1	1	1	1	12	1	1	1
	処理時間*1) 自動処理＋対話処理(分)	12＋24	45＋790	25＋45	17＋30	44＋330	46＋0	42＋100	5＋22	38＋60	—
	ベクトル化手法	細線化 ハード,ソフト	細線化 ハード	細線化 ソフト	芯線化 ハードウェア	芯線化 ソフトウェア	ソフトウェア	細線化	芯線化	芯線化ソフト	細線化
③出力部	記録媒体	MT	MT，FD	FD	MT，FD	MT	MT	MT	MT	MT	MT
	フォーマット	GERBER 他	CALCOMP	IBM	SOF 他	任意	IGES	GERBER 他	GERBER 他	任意	任意
④対話修正部	ラスター編集機能	有	無	無	無	無	無	有	有	無	有
	ベクトル編集機能	有	有	有	有	有	無	有	有	有	有
	ラスター，ベクトルの重ね合せ機能	有	無	有	エッジデータと中心線の重ね	エッジデータと中心線の重ね	無	有	有	エッジデータと中心線の重ね	有
⑥ベクトルデータ部	ベクトルデータ量(点数)*1)	2904	1850	2038	1826	11614	1814	2491	3971	2321	—
その他	費用 導入時	7,700～9,500万	5,000万	4,000～4,500万	5,500万	6,000万	3,460万	13,800万	1,500万	4,200万	5,800万～6,300万
	運用時（年）	380～475万	160万	—	550万		175万～			180万	100万
	設置条件 大きさ（mm）（幅×奥行×高）	3000×750	1900×1300×800	1400×800×1115	1500×750×1050	2000×2000	1520×840×1550	本体 2200×810×1500 コントローラ 600×900×1500	1500×1800×600	（基本構成）4000×3500	730×1000×700
	設置条件 重量（kg）	550	600		380	300	243	本体 1000 コントローラ 270	70	450	170
	設置条件 電源	100 V 20A	100 V 30A	100 V 15A	100 V 20A	100 V	115 V 12A	本体 380 V 3.8 kVA コントローラ 115 V 4 kVA	100 V 10A	100 V 40A	100 V 10A
	納期	5ケ月	7ケ月	5ケ月	3ケ月	3ケ月		3ケ月	1ケ月		6
	納入実績	60	2	15	国内1 海外23	国内1 海外40	国内0 米国50	16	100	—	5
	備考	1983.9 販売	1983 販売	1983 開発 1984 販売	1981 開発 1986.1 販売	1980 開発	1984.7 販売	1984 販売	1984.10 販売	1986 販売	1986.11 販売

*1) 波形1の処理について

読取試験に用いた波形は図－2.3～2.5に示す3種類である。

図－2.3　SMAC－B_2型地震記録

図－2.4　SMAC－Q型地震記録（8倍伸し）

図－2.5　気象庁1倍強震計記録

読取試験では，これらのアナログデータを各社に配布し，各社独自の手法でディジタル化を行った。以下に各読取試験の概要を述べる。

(1) 第1回読取り試験

読取試験は，表－2.2に示した10機種について実施した。

ディジタル化された波形を各社のプロッタによって原寸大に出力したものを回収した。回収したアナログ波形（プロッタ出力）と，配布した原波形を目視で検討することにより，波形の再現性を評価した。目視による検討では特に高サイクル成分が読取られているか，ピークの形状が表現されているか，微少な振幅の成分を直線化していないか，波形が連続しているか，ひげや汚れが完全に除去されているか，等を見所として評価した。評価の基準は現行の数値化作業におけるチェック基準に従った。

評価の結果40 dot/㎜以上の分解能を持った機種では現行の数値化作業の結果と遜色ないことがわかった。40 dot/㎜以上の分解能で数値化した5機種が比較の対象として残った。

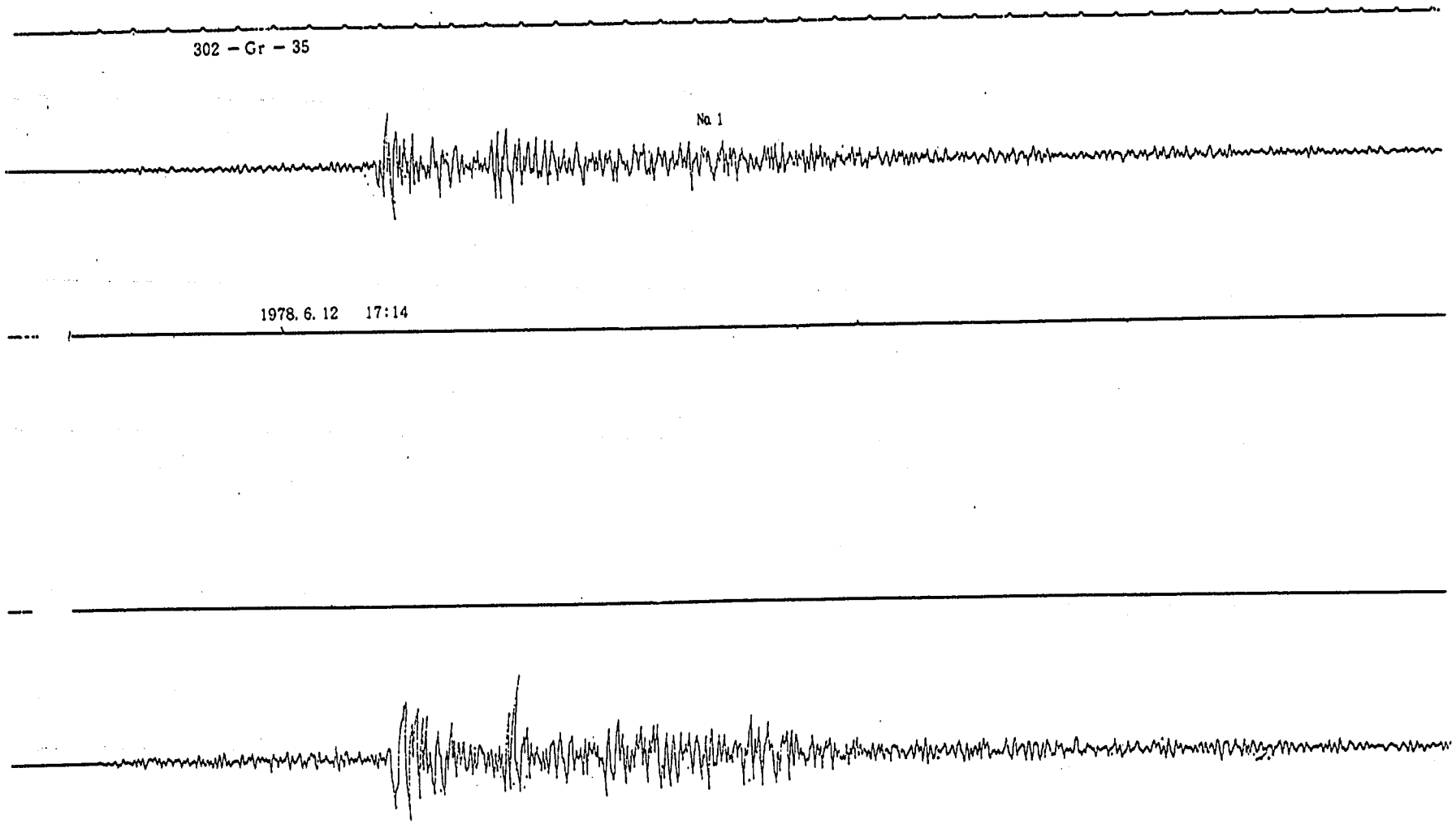
なお分解能の低い機種では下図の様な箇所の再現性が良くなかった。

実　波　形	読取り波形	説　明
		ピークが一本線になる。
		まるみのある波形が角張っる。
		短周期成分が読み取れない。
		小振幅波形が直線化する。

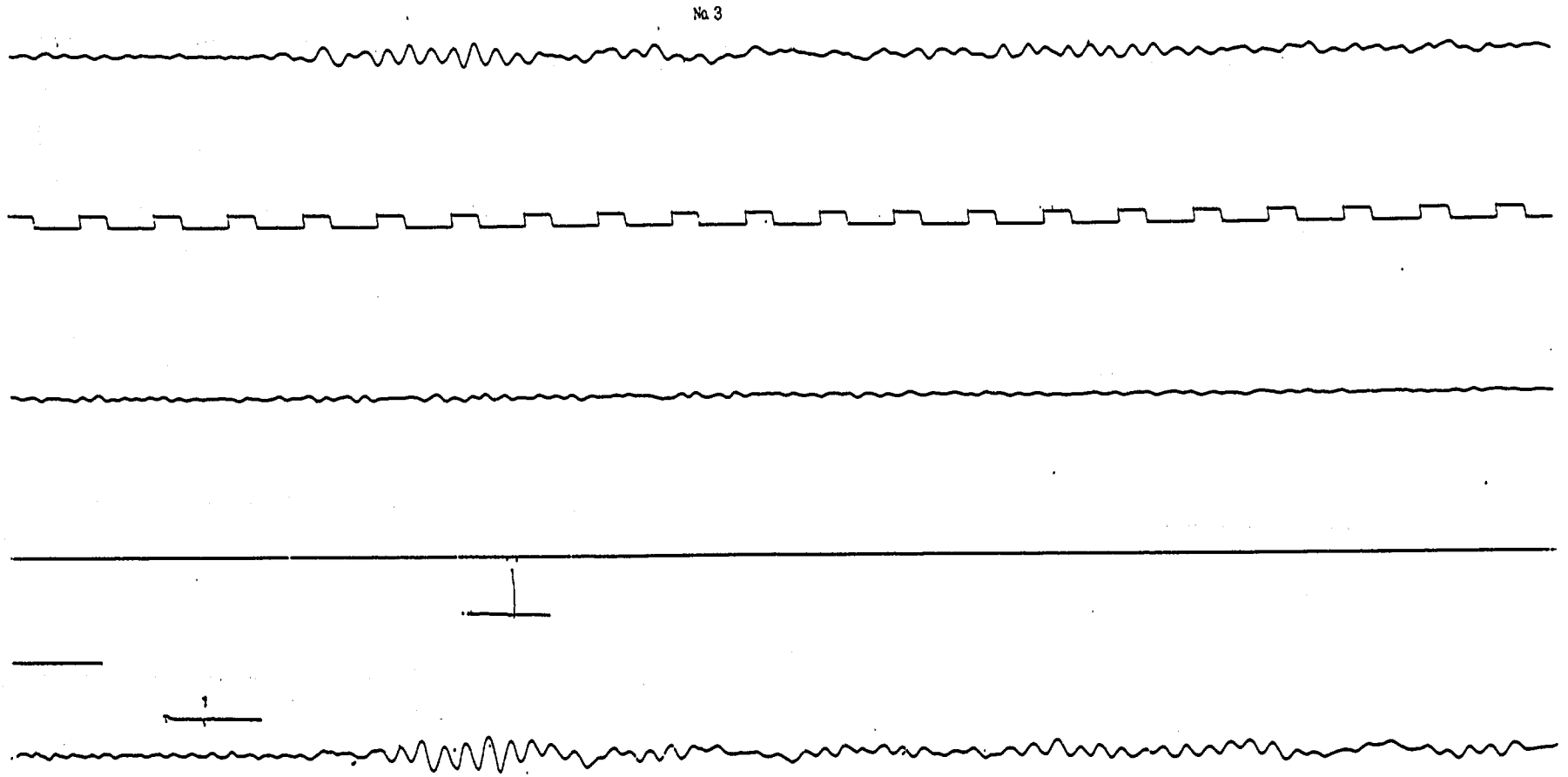
(2) 第2回読取り試験

第1回読取り試験の結果，比較の対象として選考された5機種について再度読取り試験を実施した。

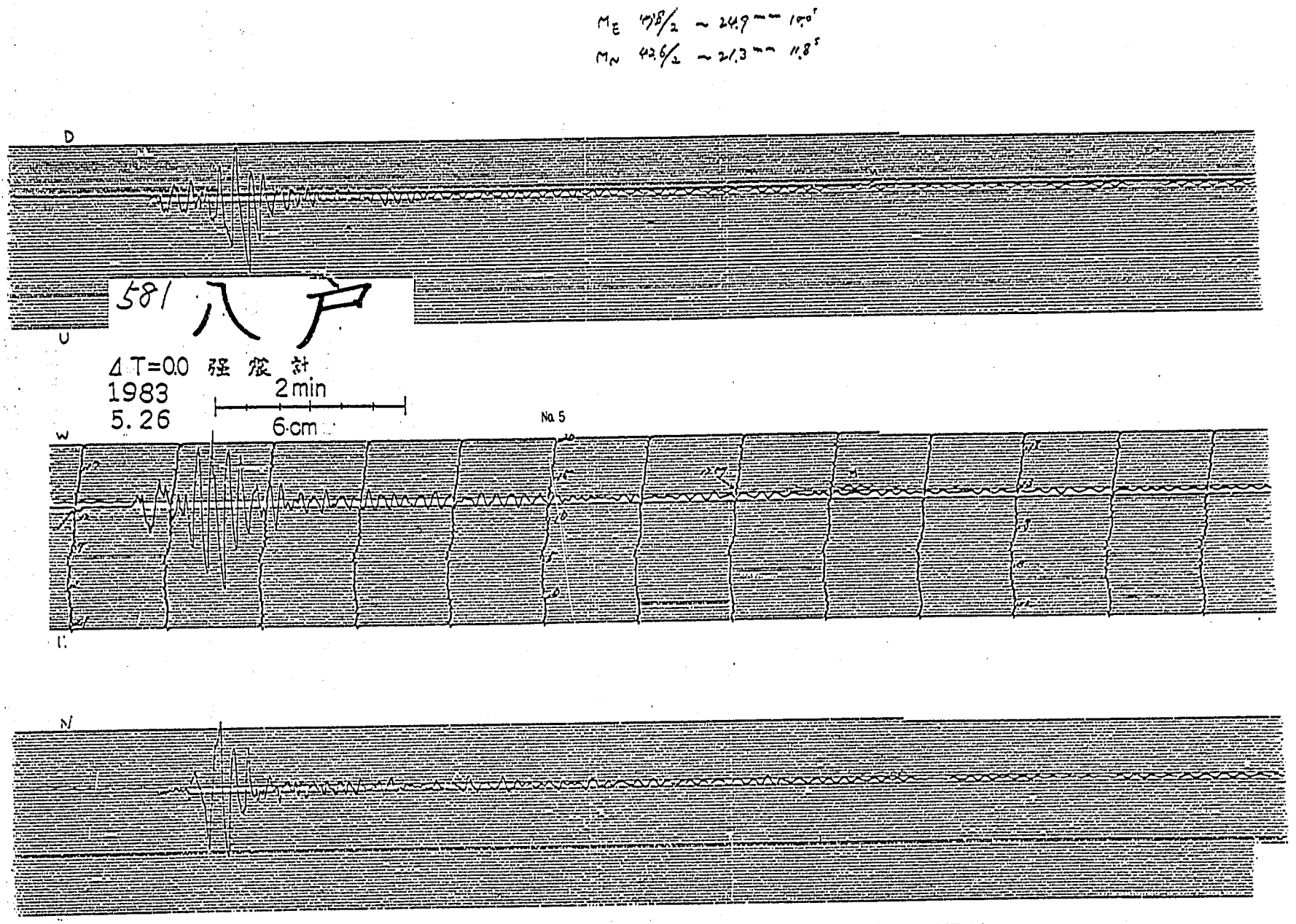
第2回読取り試験では，各機種でディジタル化した数値（以下，機械データと略称する）と従来の方式による数値（以下，従来データと略称する）を相互比較することとした。比較の項目は，時間軸領域にお



図－2.3　ベンチマークテストデータ 波形1（SMAC－B_2型地震記録）



図－2.4　ベンチマークテストデータ 波形3（SMAC－Q型地震記録）



図－2.5　ベンチマークテストデータ 波形5（気象庁1倍強震計地震記録）

ける読取り値と応答スペクトル値の2項目とした。

機械データと従来データは共に記録紙上の波をそれぞれ異なる手法で数値化したものであり，従来データは，機械データの精度を検討する上での真値とはなり得ないため，ここでの比較は従来データを基準とした時の両者が示す相対的な差の傾向を把握するに留める。

なお，各機種で得られた出力データ（MT）を編集する際に，強震記録の自動数値化装置として適用する為には，出力データがソートされていないことにより，ソフトウェアによる編集作業の工程が別途必要となる機種が2機種現れた。また，これらの機種は強震記録の自動数値化装置の機能として，重要と考えられる対話修正におけるラスター，ベクターデータの重ね合せ機能も不十分なものであるため，数値比較は残りの3機種（A機，G機，I機）について実施した。それぞれの機種の読取り分解能は，A機40 dot/㎜，G機60 dot/㎜，I機40 dot/㎜であった。

1) 時間領域での比較

各地震記録における従来データと，機械データの時刻歴波形を比較し，図－2.6から図－2.14に示す。図には，従来データと機械データの差（偏差）の時刻歴も併記している。差の時刻歴は読取り値と同程度の大きさで変動しているが，これは機械データの時間軸補正を行っていないために生じたものと考えられる。

機械データと従来データの偏差の傾向を見るため，両者の最大加速度及び両者の偏差の2乗平均値，実効値を求め，表－2.4に示す。

表－2.4より以下の傾向がうかがえる。

① 最大値はSMAC－Q型（波形3）を除けば，機種にかかわらず，従来データと機械データとの間で大差ない。

② 機械データの最大値は波形にかかわらず，機種間で互いに近い値を示している。

③ 全時刻を通した偏差の強さを示すと考えられる偏差の2乗平均値に着目すれば，機種間の大小関係は次のようになる。

SMAC－B_2型記録（波形1）	G機＜A機＜I機
SMAC－Q型記録（波形3）	G機＜I機＜A機
気象庁1倍記録（波形5）	A機＜G機＜I機

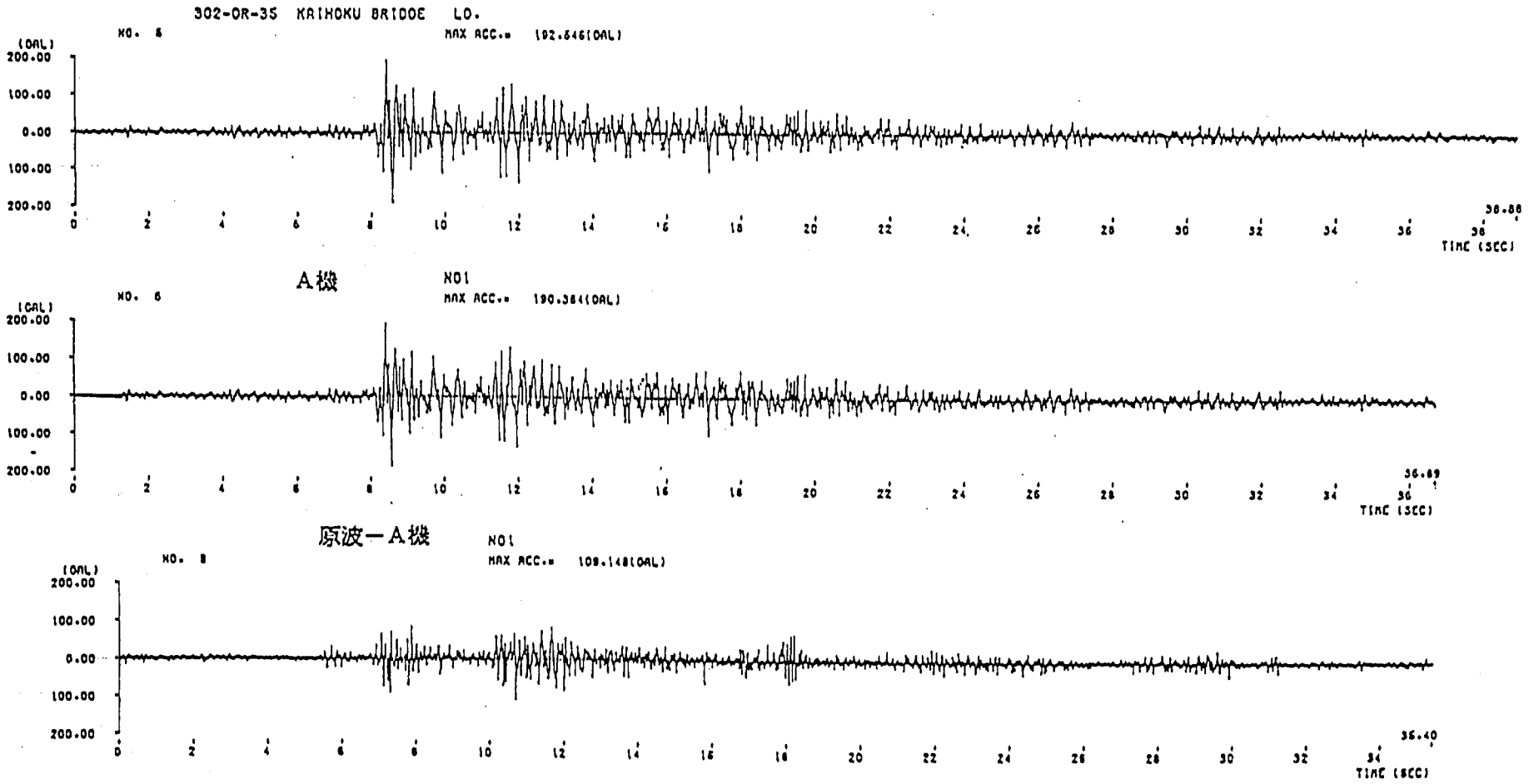
2) 応答スペクトルによる比較

従来データと機械データを用い，加速度応答スペクトル（減衰定数5％）を算出し，図－2.15～図－2.21に示す。応答スペクトルの比較は，スペクトル図の重ね書き，スペクトルの値の大きさと，偏差の率の関係，及び固有周期毎の偏差率について行っている。

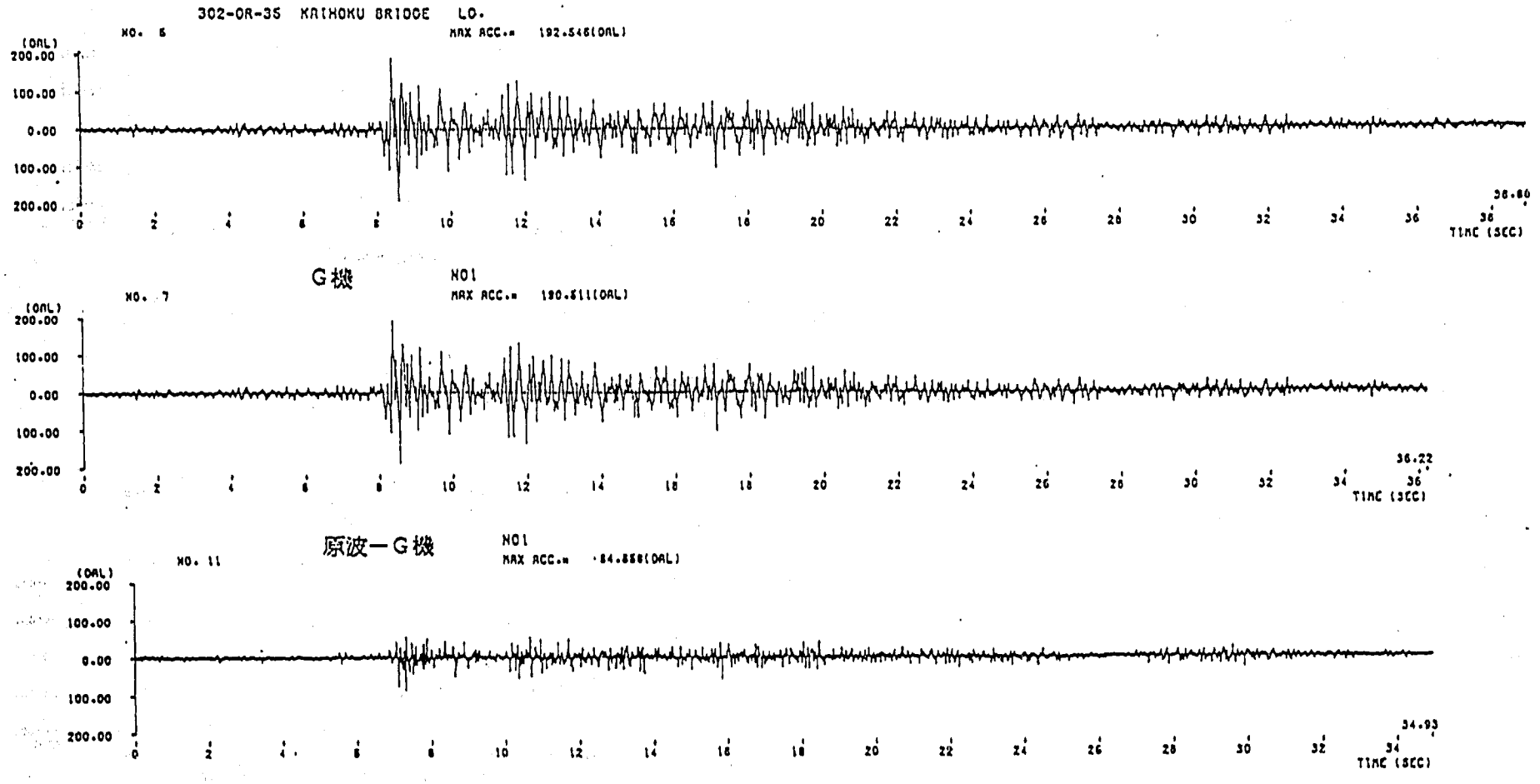
偏差の率は（$SA_1(T)-SA_2(T)$）/$SA_1(T)$とし，｜偏差率｜はこの絶対値を示している。

$SA_1(T)$：従来データ　　$SA_2(T)$：機械データ

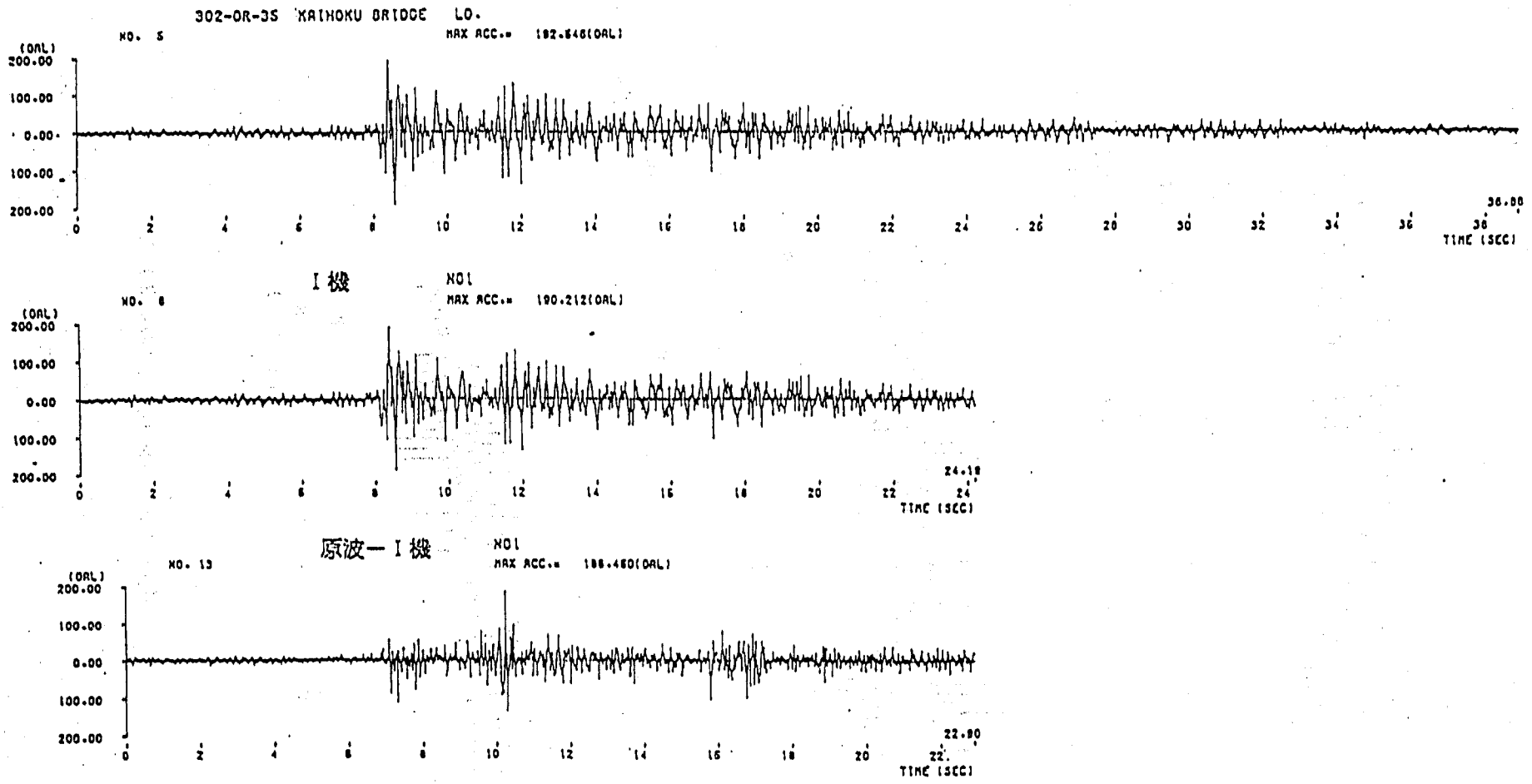
なお，従来データ，機械データは共に $\Delta t = 1/100$ 秒のサンプリング間隔の波形でスペクトルを算出しているため，固有周期の最小値は0.05秒とした。また，最大周期は波形の継続時間を考える時，波形1で約5秒，波形3で2.5秒程度までの表示が限度であると考えられるが，ここでは10秒まで表示してい



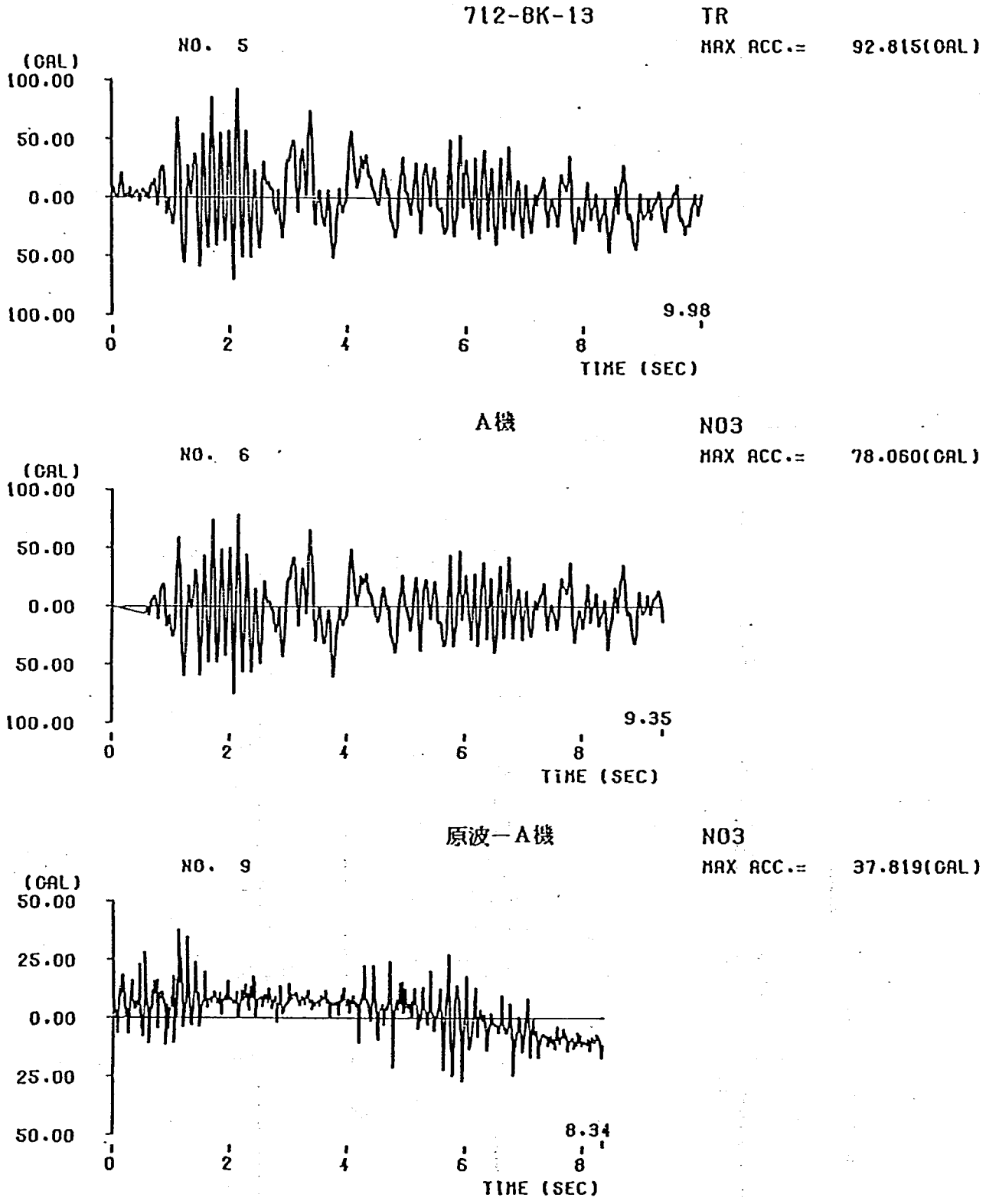
図－2.6　数値の評価（波形１）Ａ機



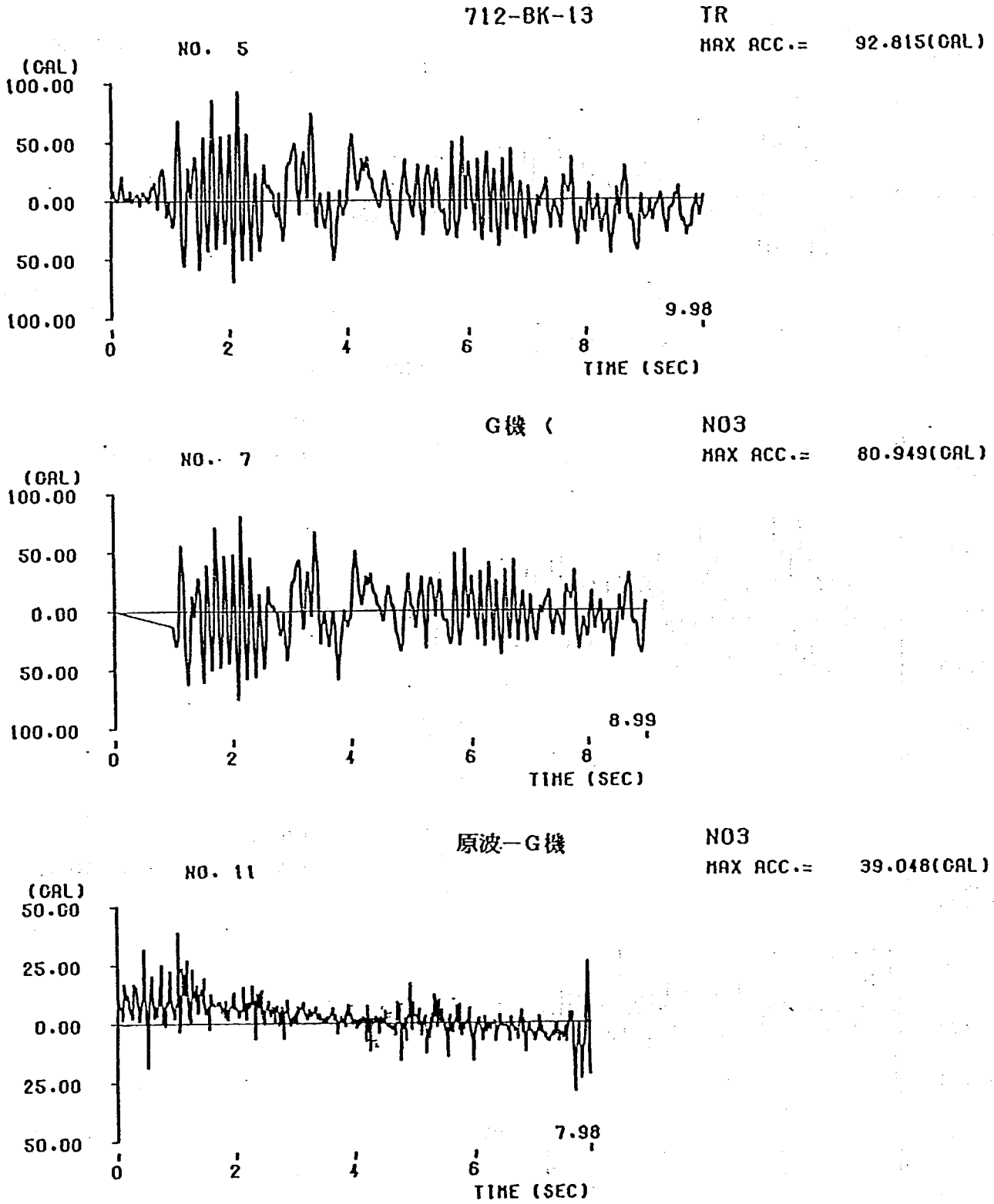
図－2.7　数値の評価（波形１）　Ｇ機



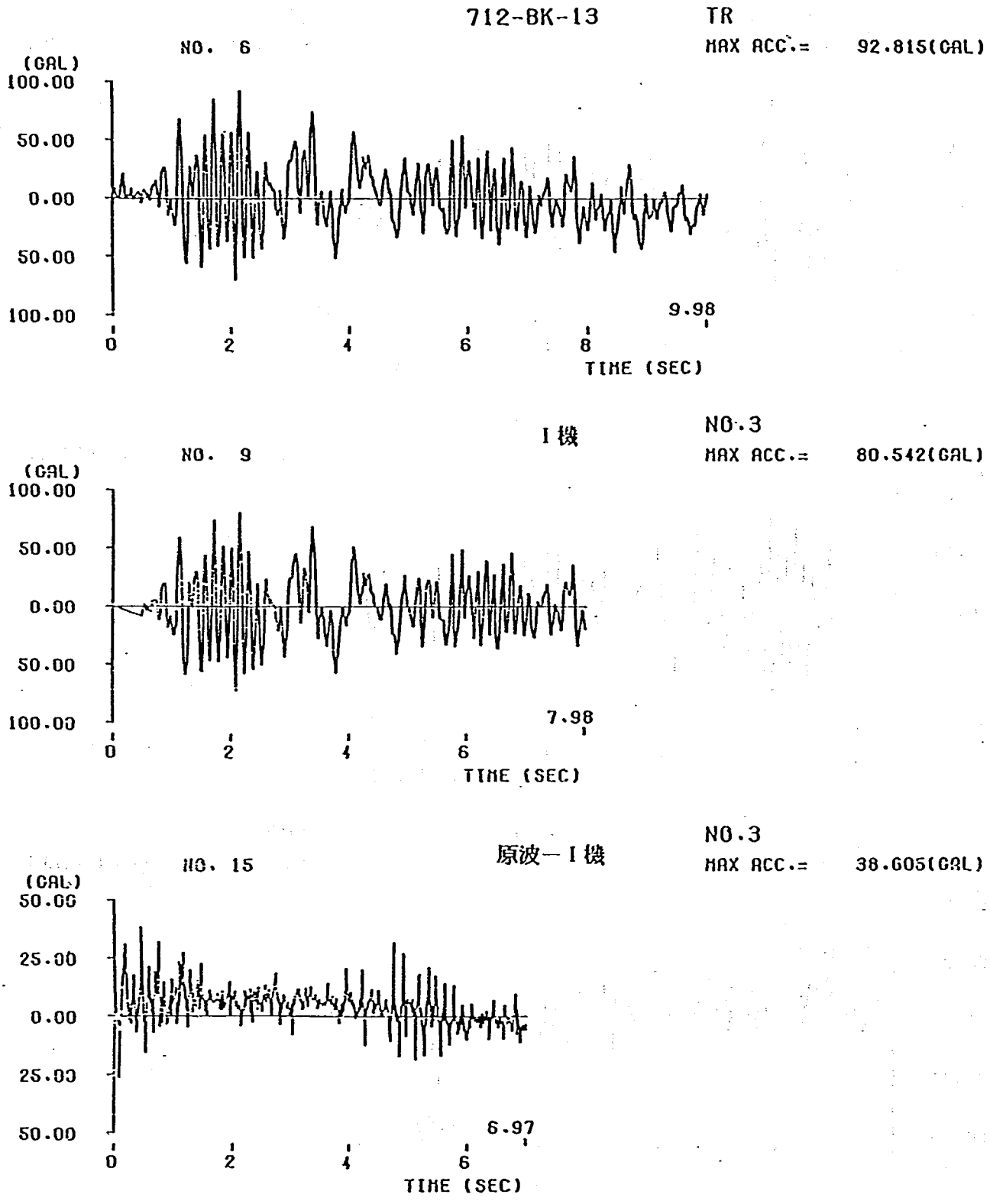
図－2.8　数値の評価（波形１）　Ｉ機



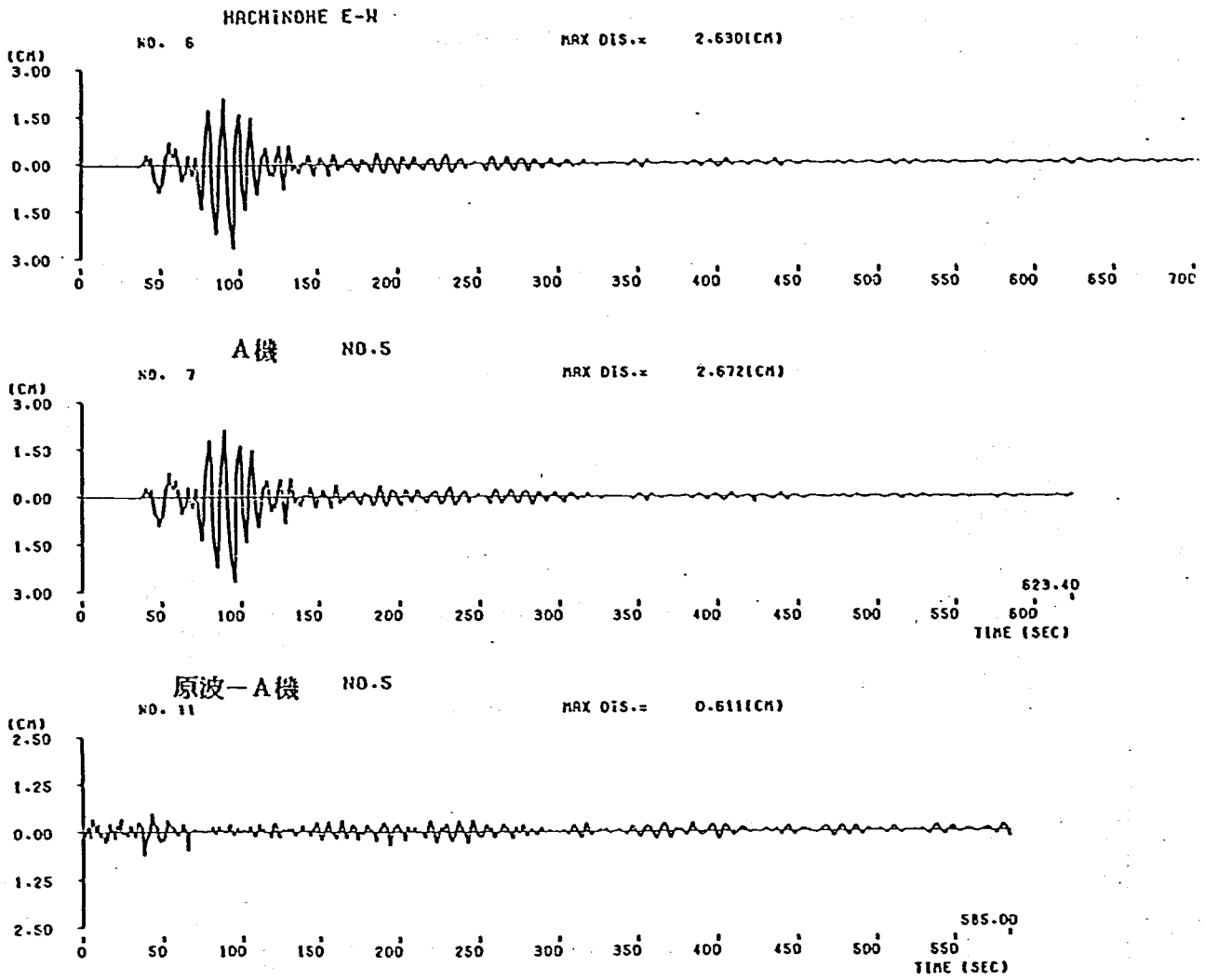
図－2.9　数値の評価（波形３）A機



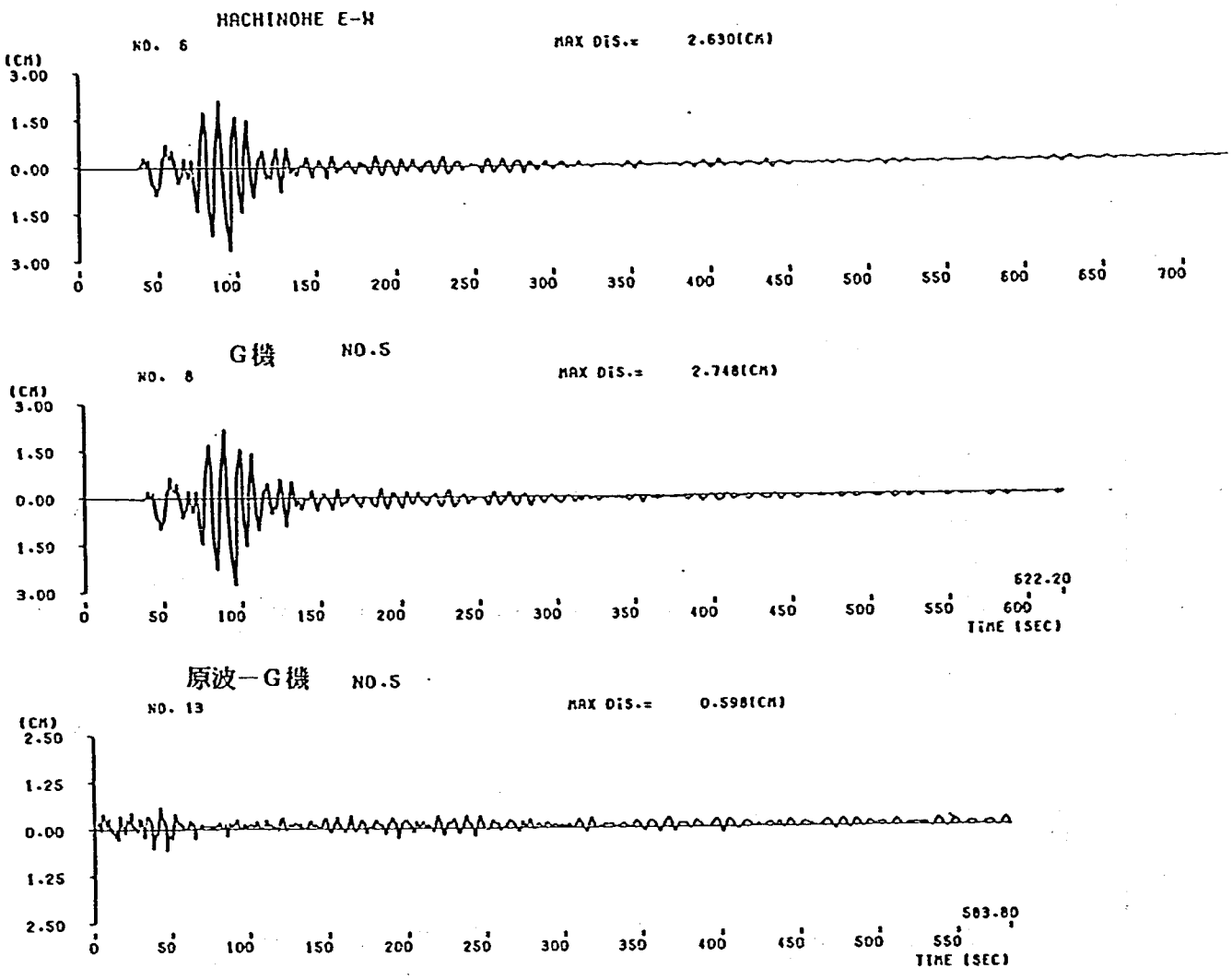
図－2.10　数値の評価（波形3）G機



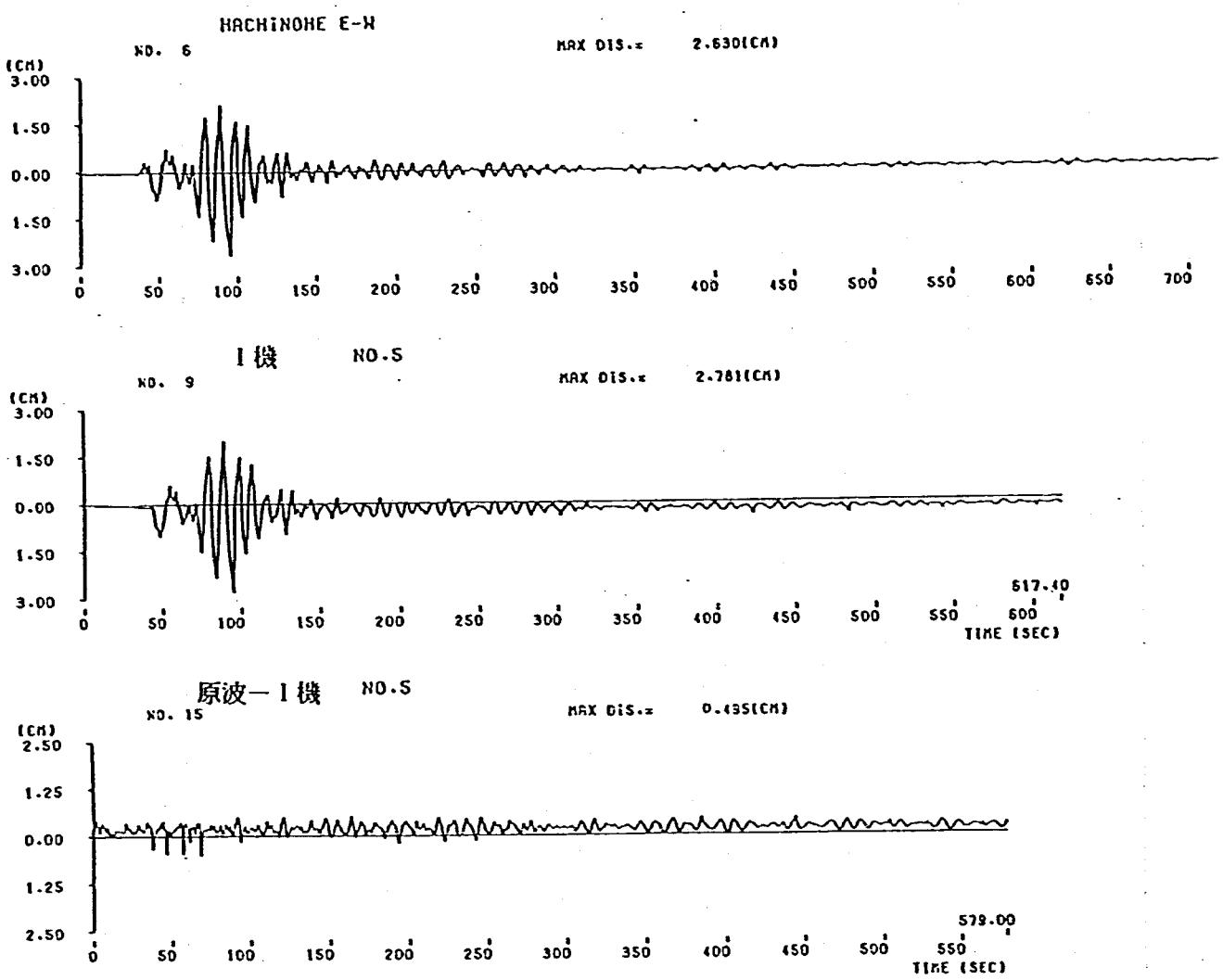
図－2.11　数値の評価（波形3）I 機



図－2.12　数値の評価（波形5）A機

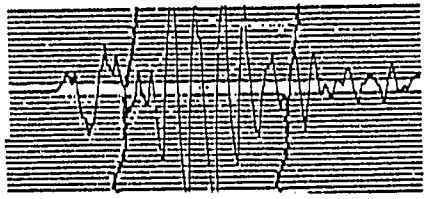


図－2.13 数値の評価（波形5）G機



図－2.14　数値の評価（波形５）I 機

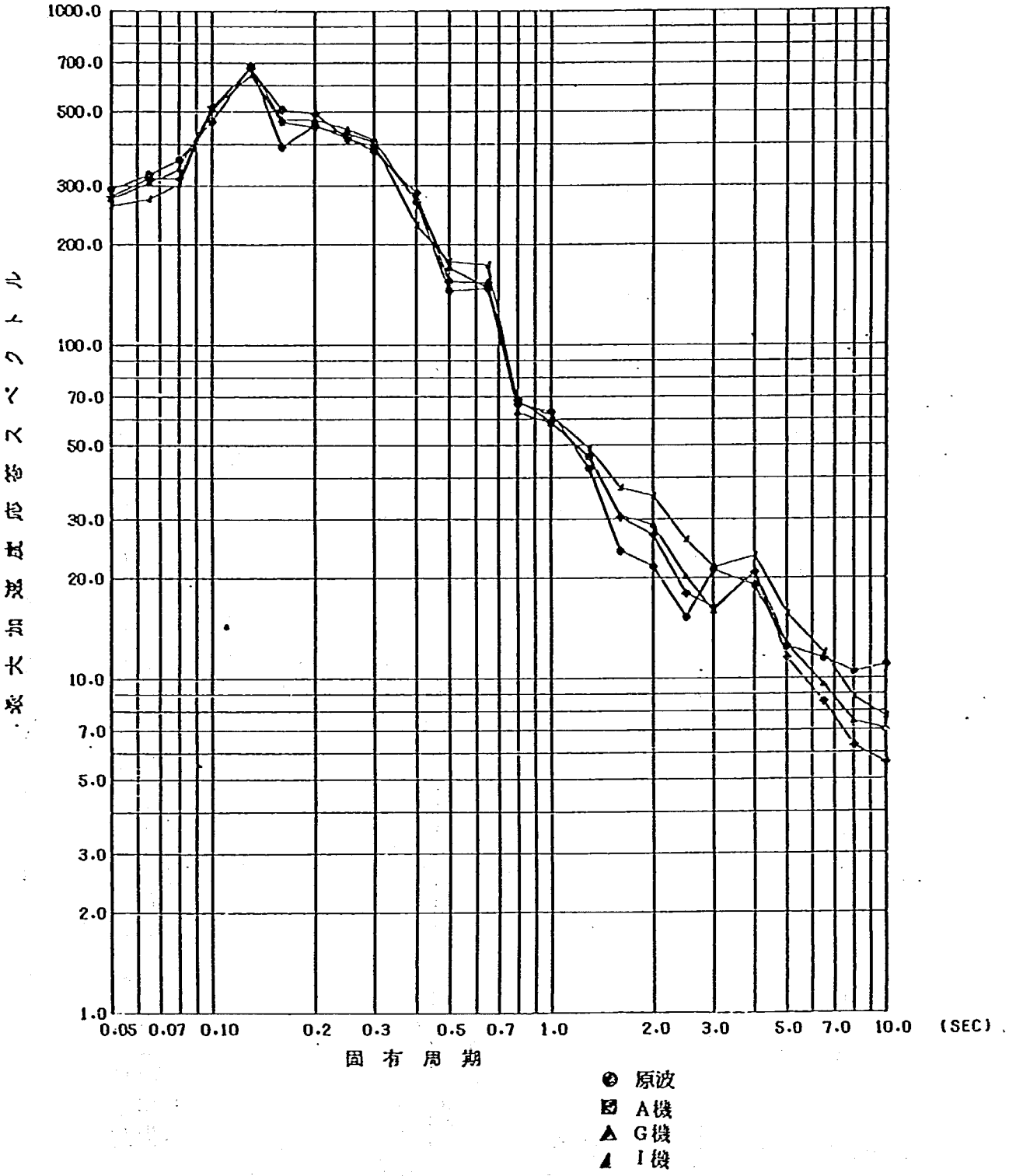
表－2.4　時間領域での比較

原　　波　　形	比　較　項　目	A	G	I
波形1：SMAC－B_2型強震計の記録 短周期成分が卓越した変化の激しい波形 	読取り分解能	32 dot/mm	60	40
	従来データの最大加速度	192.6 gal	192.6	192.6
	最大加速度	190.4 gal	190.5	190.2
	偏差の2乗平均値	239.9	117.1	481.8
	偏差の実効値	15.5	10.8	22.0
波形3：SMAC－Q型強震計の記録 振幅が小さく，変化がゆるやかな波形 	読取り分解能	32 dot/mm	60	40
	従来データの最大加速度	92.8 gal	92.8	92.8
	最大加速度	78.1 gal	81.0	80.5
	偏差の2乗平均値	89.0	58.3	74.1
	偏差の実効値	9.4	7.6	8.6
波形5：気象庁一倍強震計の記録（変位） 波形と背線が混在した波形 	読取り分解能	32 dot/mm	60	40
	従来データの最大変位	2.63 cm	2.63	2.63
	最大変位	2.67 cm	2.75	2.78
	偏差の2乗平均値	1.2	1.7	5.4
	偏差の実効値	1.1	1.3	2.3

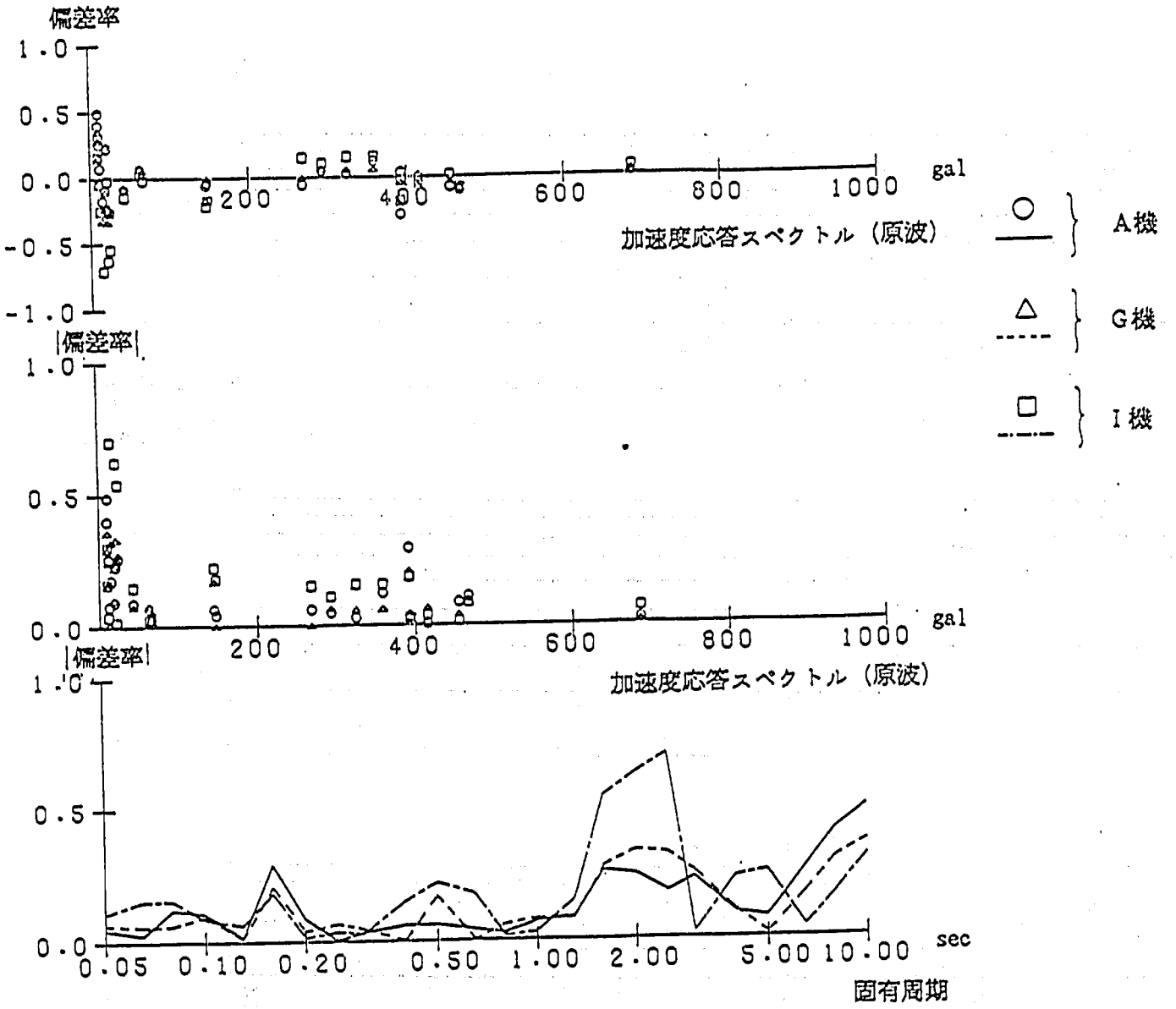
$$\text{偏差の2乗平均値} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(W1(i)-W2(i)\right)^2$$

$$\text{偏差の実効値} = \sqrt{\text{偏差の2乗平均値}}$$

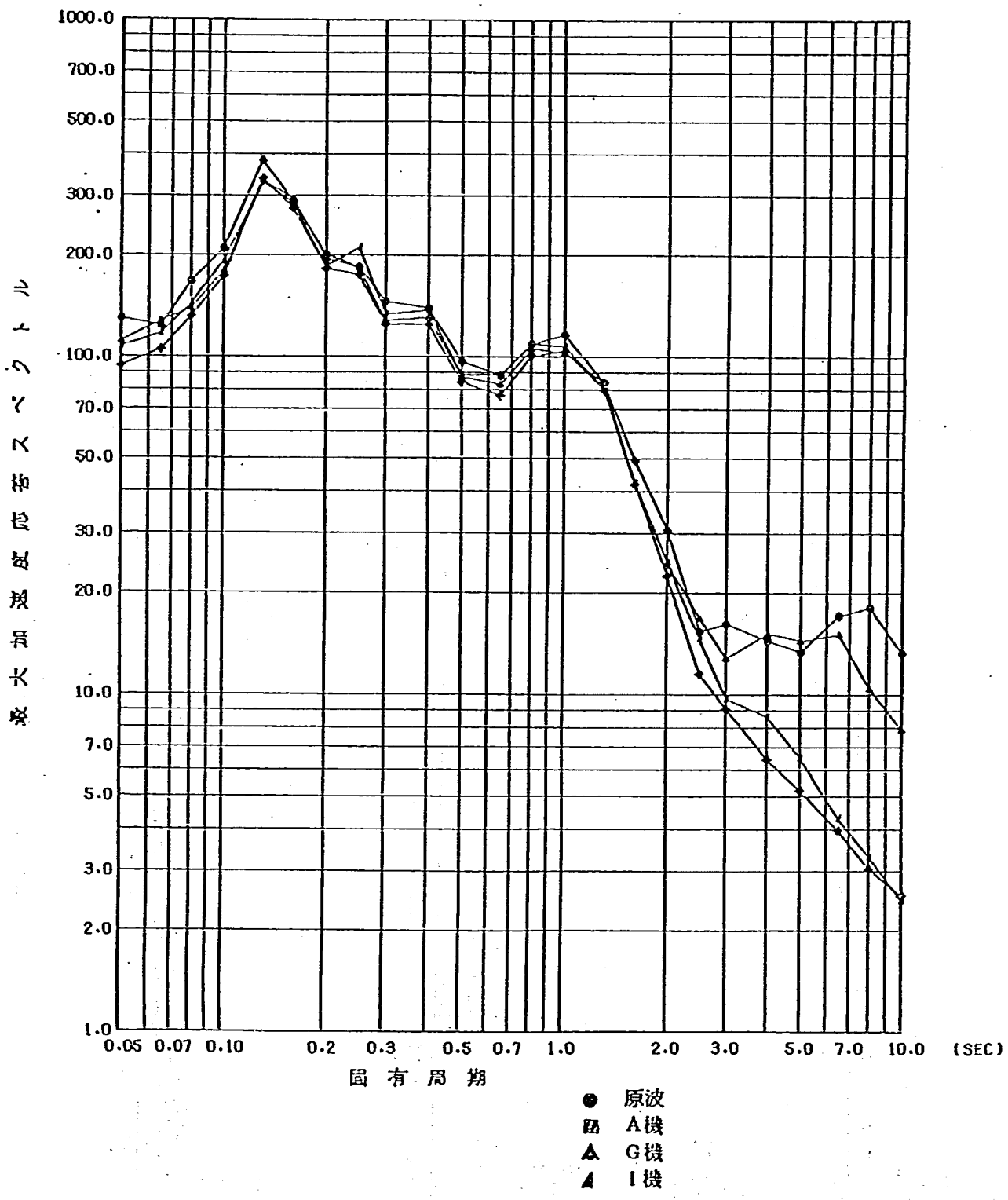
W1(i)：従来のデータ
W2(i)：機械データ
N：データ個数



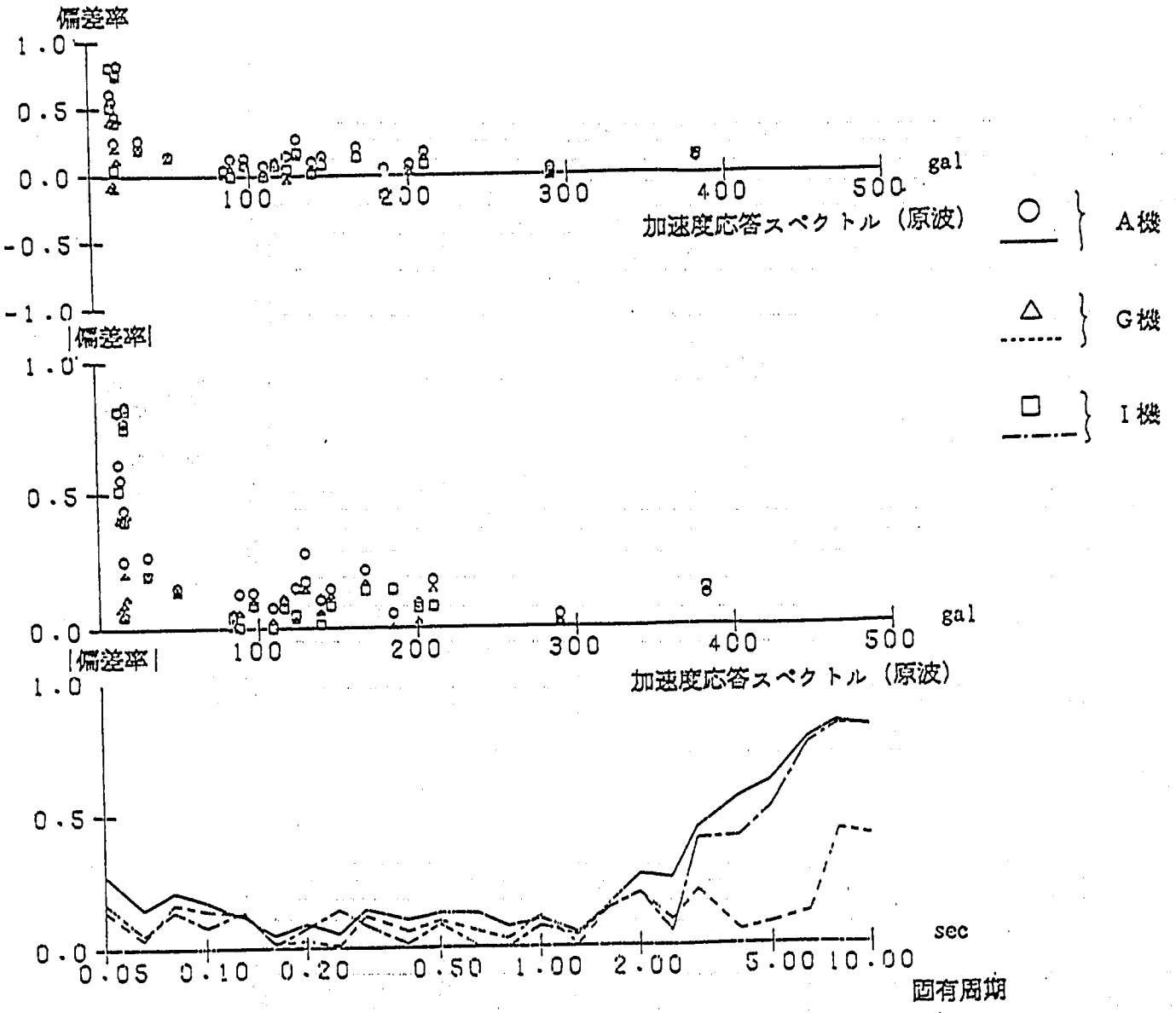
図－2.15　加速度応答スペクトル（波形１）



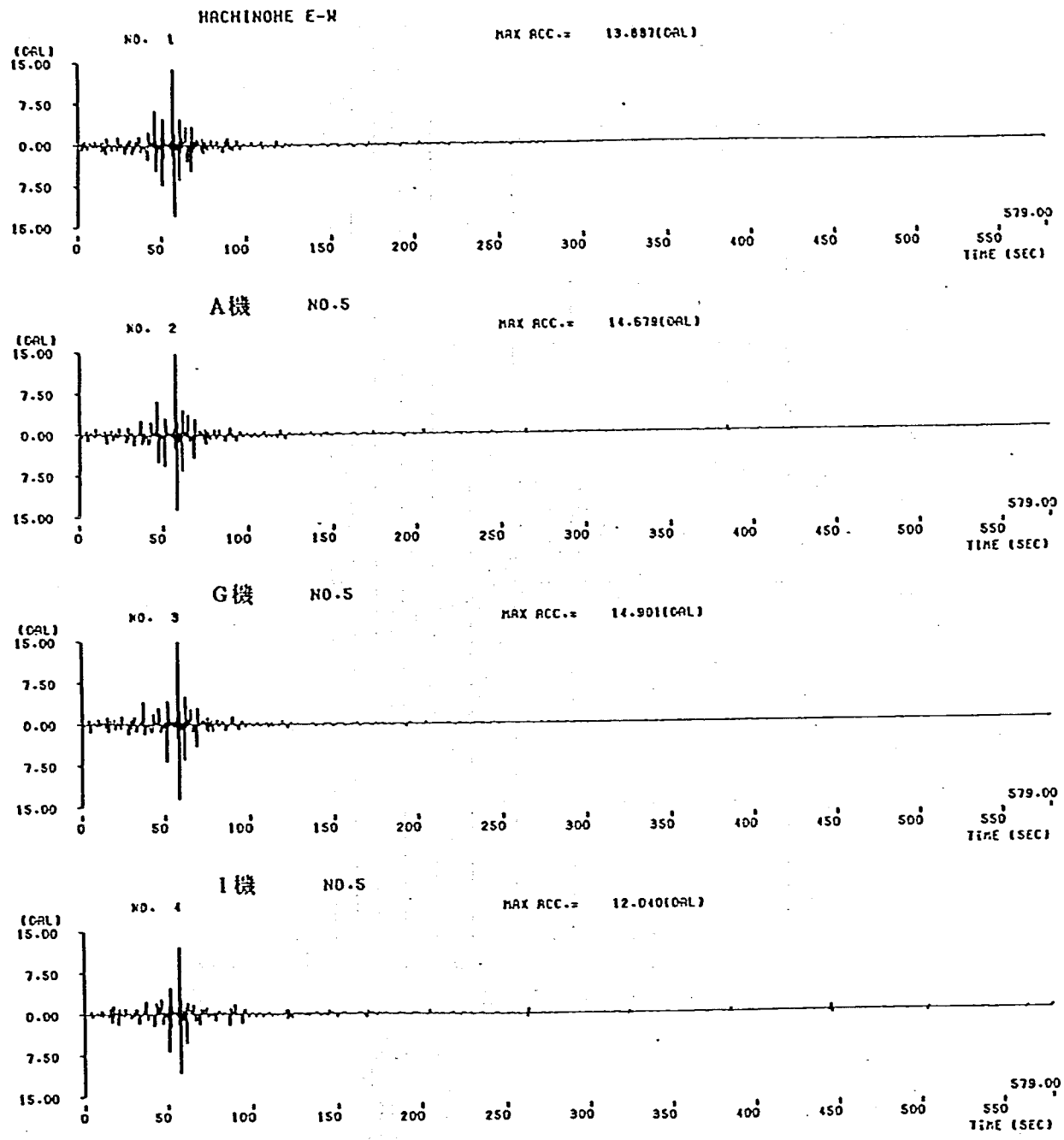
図－2.16　数値の評価（波形１）



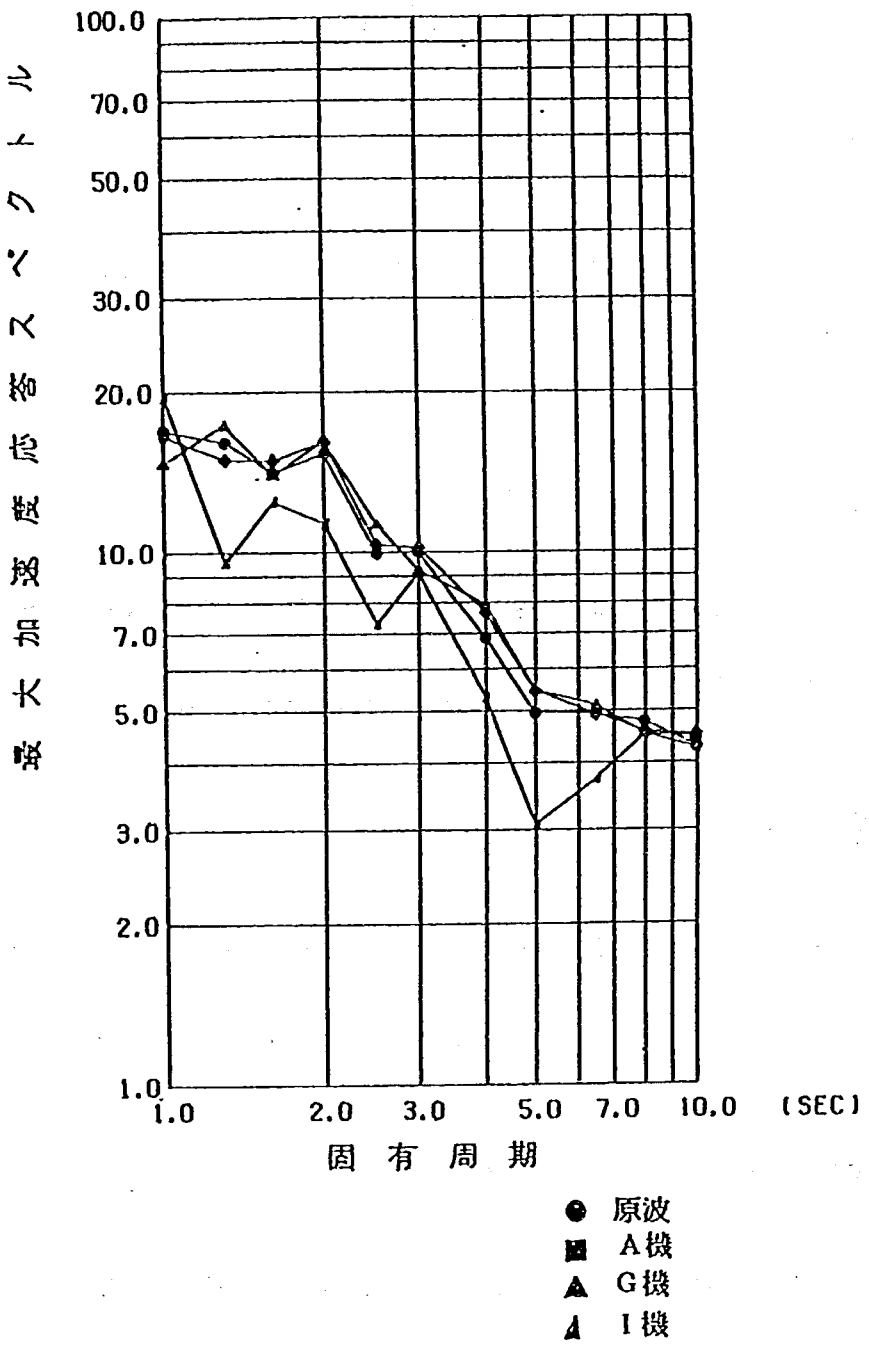
図－2.17　加速度応答スペクトル（波形3）



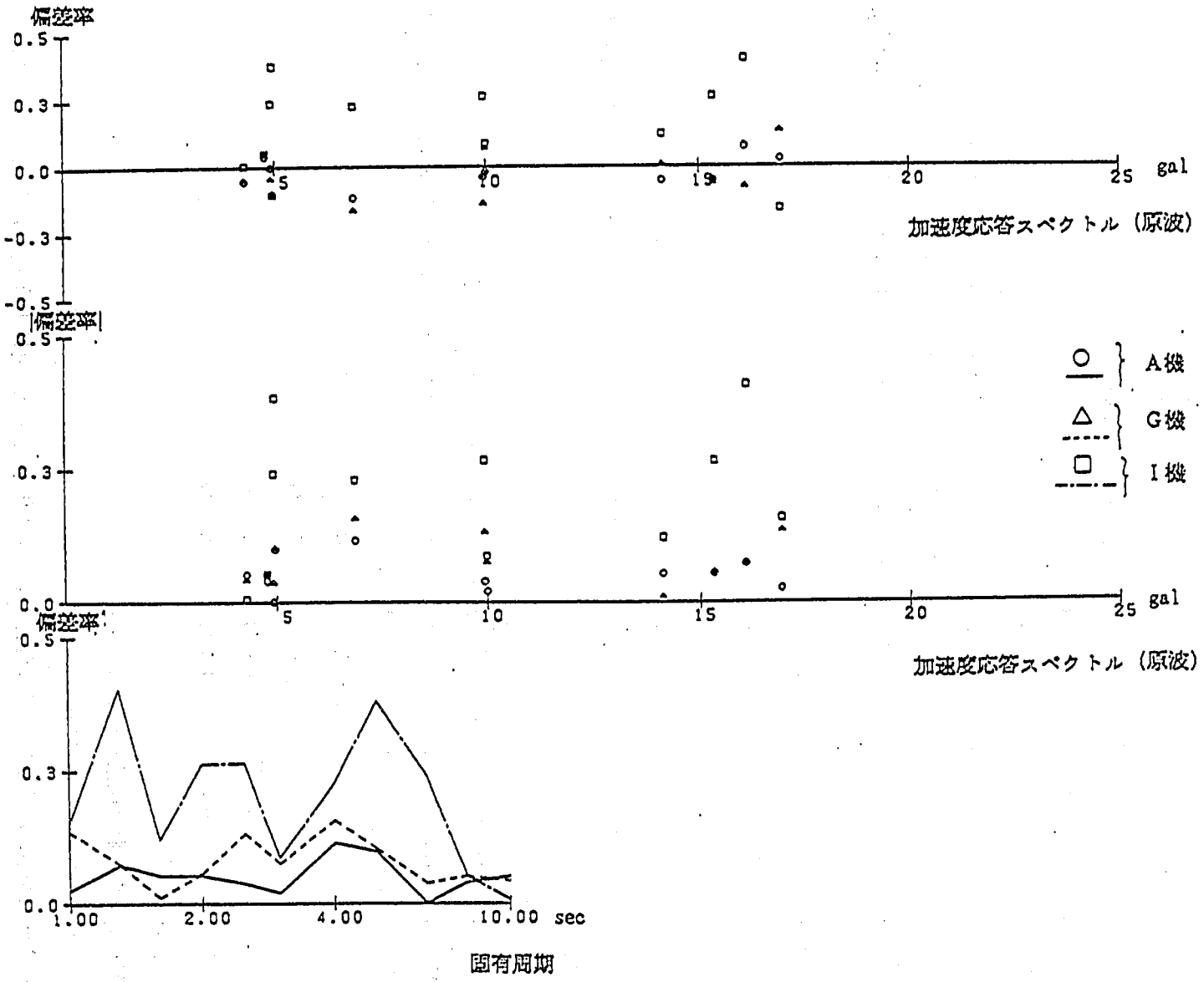
図－2.18　数値の評価（波形３）



図－2.19　気象庁1倍強震計記録（変位）から算出した加速度記録



図－2.20　加速度応答スペクトル（波形5）



図－2.21　数値の評価（波形５）

る。

固有周期毎の偏差率を見ると，それぞれの波形で以下の傾向がうかがえる。

① ＳＭＡＣ－B_2記録（波形１）図－2.16参照

- 応答スペクトルが大きい（約50 gal 以上）値を示す0.2秒～1.0秒の間では，各機とも最大20%～30%の偏差率に留まる。
- 各機とも1.6秒より長周期では偏差率が大きくなる傾向を示す。
- Ａ機の示す偏差率は0.2秒～1.0秒の間で比較的安定している。
- 全周期に亘って，１機の示す偏差率は他機に比べて大きい。

② ＳＭＡＣ－Ｑ記録（波形３）図－2.18参照

- 0.2秒～2.0秒の範囲では各機とも比較的安定した偏差率を示し，最大でも20%程度に留まる。
- ２秒以上では，Ａ機とＩ機の偏差率が急激に大きくなるが，波形３つの継続時間を考えれば，２～３秒程度までが表示の限界であるためと考えられる。しかしながら，Ｇ機は５秒程度までかなり安定した偏差率を示す。
- 全周期に亘ってＡ機の偏差率が大きい。

③ 気象庁１倍強震記録（波形５）図－2.21参照

- 各機とも偏差率の変化が激しい。
- 全周期に亘って，Ｉ機の偏差率が大きい。

なお，気象庁１倍強震記録は変位記録であり，加速度スペクトルの算出に当っては，これを２回微分して用いている。

3) 数値化作業時間

各機種での数値化作業に要した作業時間（各社との報告）は，以下の如くであった。

なお，作業時間には，前準備，スキャニング，ラスターデータの編集・修正，ベクトル化，ベクトルデータの編集・修正，波形の出力の作業が含まれている。

	波形１	波形３	波形５
Ａ機	３６分	１９分	５８分
Ｇ機	１４１分	７０分	不　明
Ｉ機	９８分	４１分	５０分

(3) 第一次調査のまとめ

以上の調査から得られた結論を以下に示す。

1) 自動ディジタル化方式への適用性

以下に示す理由から，画像処理装置の自動ディジタル化方式への適用は十分可能性があると考えられる。

① 前節1)で比較した最大加速度の値が各機種間で良く一致していること。

② 前節2)で比較した応答スペクトルの偏差が，主要な固有周期の範囲で概ね安定していること。

③ 図－2.3～図－2.5に示した鋭いピークを持つ記録，不要線や汚れの多い記録も，１時間内外の作業時間で数値化することができたこと。

2) 機種間での比較

① 時間領域比較においても，応答スペクトル比較においても，各機種の示す偏差には，顕著な差異は現れていないが，傾向としてはG機，A機，I機の順に従来データとの差が少ない。

② 最大 80 dot/㎜ の分解能を持つG機（試験は 60 dot/㎜ で実施）の導入費用は，他の2機種に比べて2～3倍かかる。数値比較の結果と経済性を比べる時，A機，I機の方がG機よりも費用対効果が大きいと考えられる。

③ 上記①，②の理由から自動ディジタル化方式への適用性に関するより詳細な検討には，A機，I機を比較の対象として選ぶ。

今回実施した読取り数値の比較では，基準とした従来データも記録紙上の波形を従来の方式によって数値化したものであるため，数値化比較で示した偏差そのものが，各機種の読取り精度を示すものではない。このため，今後の調査として，機械の持つ読取り精度をより直接的に評価する必要がある。

また，自動ディジタル化方式が可能になった場合，現状でのディジタル化作業の省力化・及び読取り精度の均質化等，多くの効果を期待することができる。このため，従来の方式によりディジタル化した数値との差や差の現れ方等について，さらに詳しい検討を進め，費用対効果を含めた上で自動ディジタル化方式としての手法や精度，適用範囲等を明確にし，この手法がより広く一般的に利用できるような標準化の作業が必要である。

2.3 自動数値化装置としての必要機能

各社から収集した資料等による機能比較及び第1，第2次ベンチマークテストから既存の画像処理装置の現状が把握できた。この結果を踏まえて，自動数値化装置に要求される機能をまとめると，表－2.5に示すようになる。

表－2.5　自動数値化装置に要求される機能

入力分解能 30 dot/㎜ 以上	16 dot/㎜ 程度では，短周期成分が読取れない。
入力サイズ B_1 以上	読取り範囲は　300 × 1000 ㎜ （1000 ㎜ 以上は複数回に分割して入力する。）
読取位置精度 1/20 ㎜ 以上	周期 0.05 秒までの成分の波形を10点の読取り値から同定すると考える。
細い線，カスレ線が入力できること	
ヨゴレが除去できること	自動的に処理できることが望ましいが，対応しきれない部分については，対話編集機能で対処する。対話編集機能としては，ラスタ編集とベクトル編集が考えられる。ベクトル編集では，ラスタデータと重ね合せて処理する機能が必要である。
ピーク時の重なり部分の処理ができること	
ソフトウェアの追加が可能であること	例） ・タイムコードの必要な点のみの数値化 ・気象庁 1 倍記録の不要線処理 ・ピーク部分の処理
操作が簡単であること	素人でもすぐに使えることが必要である。
一波形当りの処理時間は 1 時間以内を目標とする	スキャニング，対話編集，ベクトル化等全ての処理を通常の波形 1 波当り 1 時間以内で完了すること。
後処理システム（数値処理）と整合がとれること	・ディジタルデータの出力フォーマットは簡単であることが望ましい。 ・ディジタルデータの出力順序は，時間軸でソートされていること。 ・円弧補正，波形接続，スペクトル解析プログラム等とリンクがとれることが望ましい。
メンテナンス体制がしっかりしていること	ソフトウェア，ハードウェア共に 1 両日中に対応できる体制が必要である。
価格が適正であること	手入力時の費用に較べて高くならないことが望まれる。

3. 画像処理装置によるディジタル化精度の検討（その１）

ディジタルデータを有する３強震記録及び直線データをプロッター出力した模擬波を画像処理装置により読み取り，時間領域及び振動数領域において，ディジタル化精度の検討を行った。原データと読み取りデータの最大加速度比は 0.99 から 1.01 の範囲であり，相互相関係数は３強震記録とも 0.98 以上となった。また，応答スペクトルについては，0.15 秒～ 1.5 秒の周期域において原データと読み取りデータの比が最大でも 1.06 程度となっている。

3.1　検討に用いた模擬波

検討に用いた模擬波は，図－ 3.1 に示す３波の地震波と直線である。

これら４本の波形は，１組として（１枚の用紙に）原寸の２倍の拡大率でプロッタ出力した後，写真で約½に縮小する工程を通して，読み取り原図としている。読み取り原図の大きさは A_2 サイズである。

なお，模擬波のうち地震波３波は，従来の方式により不等間隔に読み取られた値を図化したものであり，それぞれの波について表－ 3.4 に示した点数の折れ線で描かれている。また，直線は始点と終点の２点間を直接直線で結んだものである。

3.2　読取られたデータのサイズ

(1) 読み取られたデータのサイズ

データのサイズとして模擬波のプロット長，最大・最小値，プロット点数と機械が読取ったデータの読取り長，最大・最小値，読取り点数の一覧表を表－ 3.1 ～表 3.4 に示す。

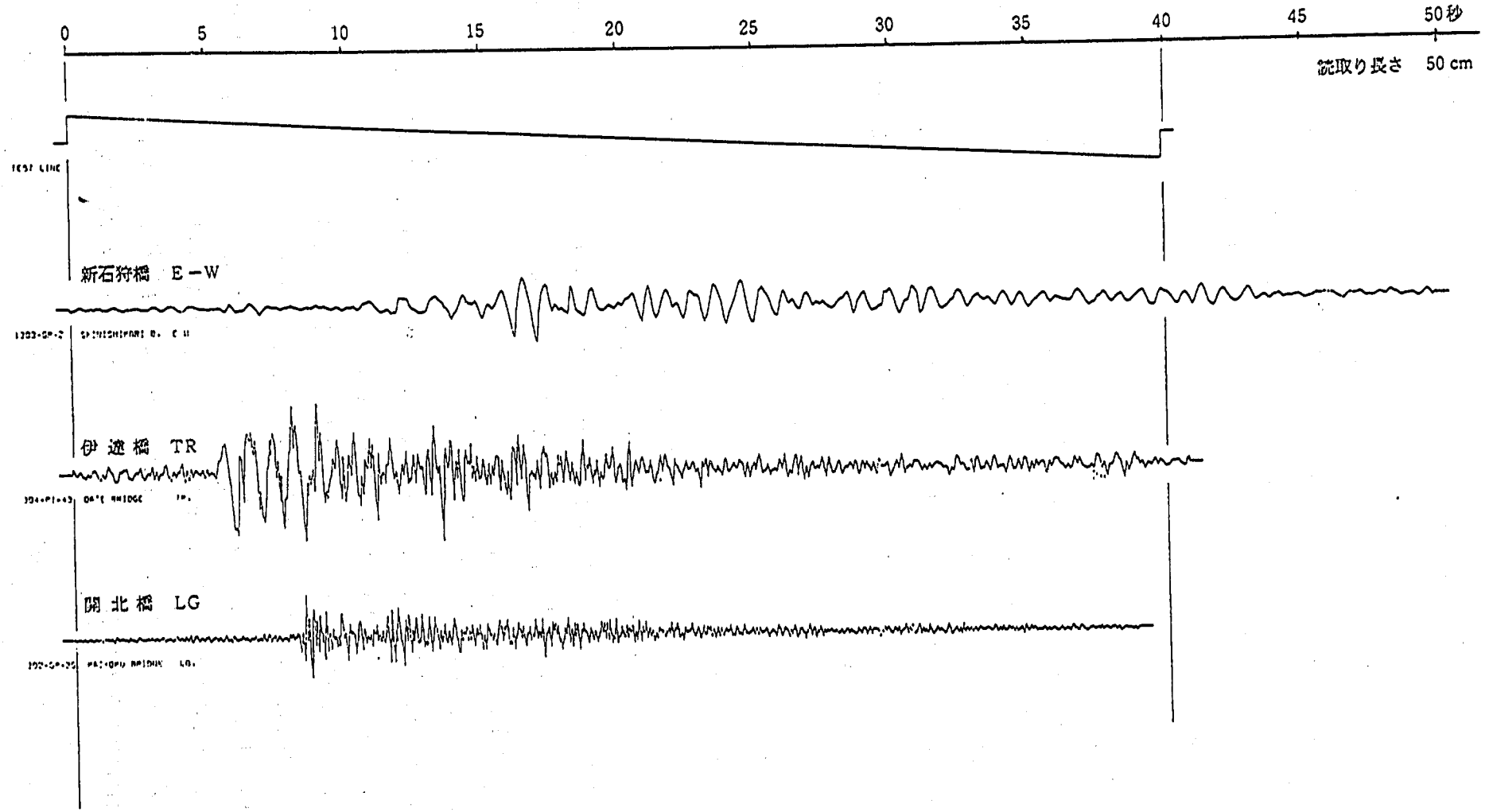
模擬波の作成に当っては記録線幅を実記録とほぼ同じの 0.1 ㎜にするため，２倍の大きさで 0.2 ㎜のペンを使ってプロットしたものを写真縮小により半分にした。そのため，写真縮小による誤差が生じるが，表中の数値は，その誤差も含んだものである。

(2) 原データとの重ね合わせによる比較

読取りデータの照合方法として，まず従来の手法である読取りデータの原寸プロット図を原データに重ねて目視する方法で行った。結果としてはほぼ満足いくものであった。

次にもう少し詳しく，評価するためにデータを拡大し，重ね書きをして比較した。プロットは１秒を５㎝，１gal を１㎜で行った。拡大率はＸ方向５倍，Ｙ方向 12.5 倍となる。

重ね書きによる主な相違部分を図－ 3.2 に示した。相違の傾向としては，①短時間に小さく振動する部分，②ほぼ直線に近い部分で小さく変化する部分，③ピーク部分の３つが上げられる。いずれの場合も記録紙上で約 0.2 ㎜以下の相違が生じている。これは，模擬波形の線幅が約 0.1 ㎜で小さく変化する部分，及びピーク部分にはにじみが生じ線幅が太くなっていることによるものと思われる。



図－3.1 模 擬 波

表－3.1　読取長さの比較

(mm)

波　形　名	開　北　橋	伊　達　橋	新石狩大橋	直　　線
原　　波 (プロット長)	398.9	419.1	510.05	410.0
A　　機	399.458 (1.0014)	419.383 (1.0007)	510.003 (1.0001)	410.056 (1.0001)
I　　機	399.664 (1.0019)	419.664 (1.0013)	509.865 (0.9996)	410.262 (1.0006)

(　) 内の数値はメーカ値 / 原波

表－3.2　最大値・最小値の比較

(mm)

波　形　名	開　北　橋	伊　達　橋	新石狩大橋	直　　線
原　　波	15.404 －15.256	24.863 －25.627	9.930 －13.670	10.000 －10.000
A　　機	15.286 －15.113	24.824 －25.546	10.031 －13.482	10.006 －9.973
I　　機	15.203 －15.166	24.585 －25.180	10.046 －13.396	10.012 －9.912

表－3.3　最大値・最小値の比較

(メーカ値 / 原波)

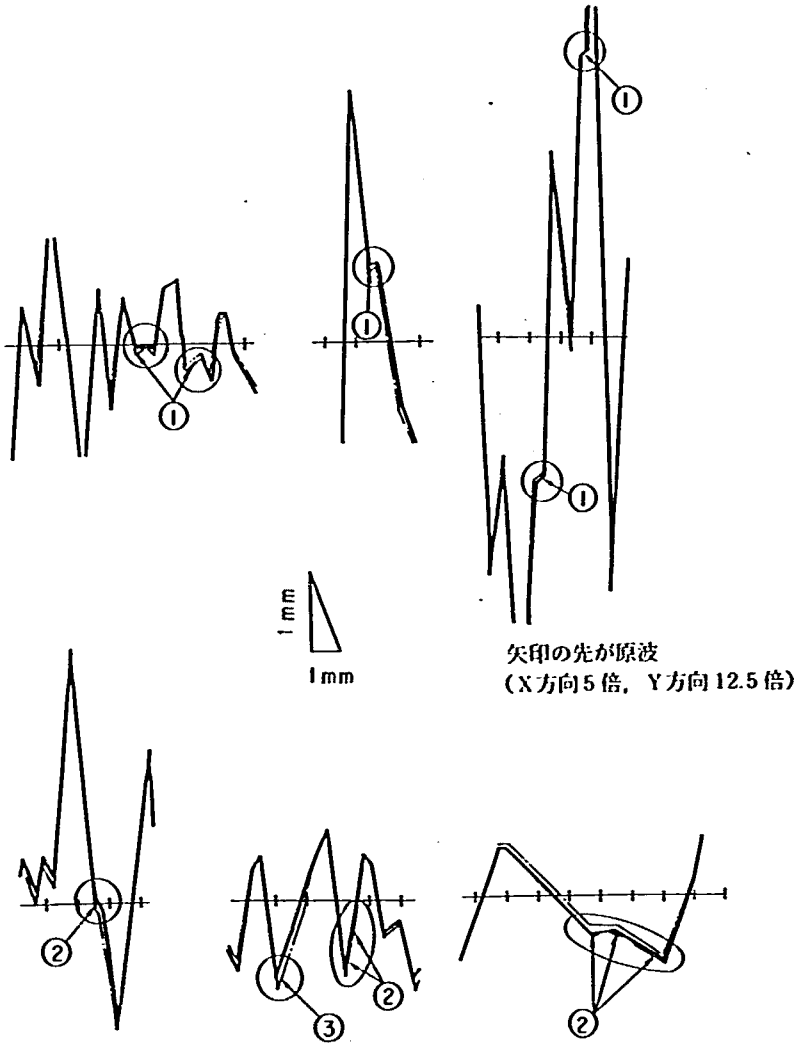
波　形　名	開　北　橋	伊　達　橋	新石狩大橋	直　　線
A　　機	0.992 0.991	0.998 0.997	1.010 0.986	1.000 0.997
I　　機	0.987 0.994	0.989 0.983	1.012 0.980	1.001 0.991

上段：最大値　下段：最小値

表－3.4　データ点数の比較

(点数)

波　形　名	開　北　橋	伊　達　橋	新石狩大橋	直　　線
原　　波 (プロット点数)	1054	925	644	2
A　　機	1007	851	585	91
I　　機	1526	1517	750	17



図－3.2　拡大プロットによる比較

3.3　時間間隔 Δt の検討

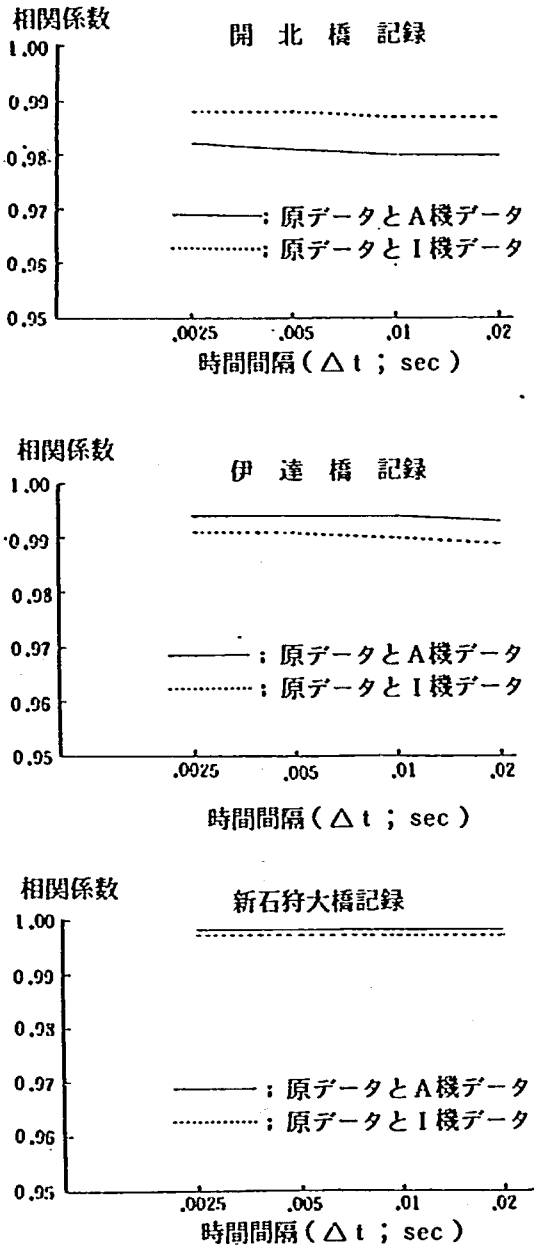
機械で読み取った波形を等間隔データにサンプリングする際，一度アナログデータとして，紙上に図化した原データとの間に誤差を生ずることになる。

このため，時間領域での評価及び周波数領域での評価に先立ち，サンプリング間隔 Δt が原データとの差に与える影響を検討した。結果を表－3.5 に示す。また，これらを図示したものが図－3.3 である。

図－3.3 では，機械で読み取った波形のサンプリング間隔を $\Delta t=1/400$，1/200，1/100，1/50 の4種類とした。各場合において，原データと同時刻の値を直線補間で求め，全継続時間を通して，原波形との相関係数を算出した。

対象波形別に見ると，相関係数は開北橋記録，伊達橋記録，新石狩大橋記録の順に高くなる傾向を示す。これは，開北，伊達，新石狩記録の順番に短周期成分が減少する傾向と一致する。最も相関係数の低い開北橋記録においても，0.98 以上の値を示している。

サンプリング間隔 $\Delta t=1/400 \sim \Delta t=1/50$ 秒で比較的安定した変化を示している。



図－3.3　時間間隔と相関係数の関係

表－3.5　時間間隔と相関係数の関係

模擬波形 ＼ 時間間隔 sec		1/50 (0.02)	1/100 (0.01)	1/200 (0.005)	1/400 (0.0025)
開北橋	原データと A機データ	0.980	0.980	0.981	0.982
	原データと I機データ	0.987	0.987	0.988	0.988
伊達橋	原データと A機データ	0.993	0.994	0.994	0.994
	原データと I機データ	0.989	0.990	0.991	0.991
新石狩大橋	原データと A機データ	0.998	0.998	0.998	0.998
	原データと I機データ	0.997	0.997	0.997	0.997

ちなみに，機種別の比較を行うと，開北橋記録ではI機，伊達橋記録ではA機の相関係数が高く，新石狩大橋記録では，両機ほぼ同等の値を示す。

以上の結果から，機械で読み取った波形のサンプリング間隔は，$\Delta t = 1/100$ 秒として以降の検討を行うこととする。

3.4　時間領域における評価

図－3.4～図－3.9に原データと各機種による読み取り値，及び両者の差の時間領域における変動を示す。

これらの波形は，原データ，機械での読取り値，共に $\Delta t = 1/100$ 秒で等間隔化したものである。

時間領域における評価は次の項目に着目して行う。

① 原データと機械読取り値の最大比較

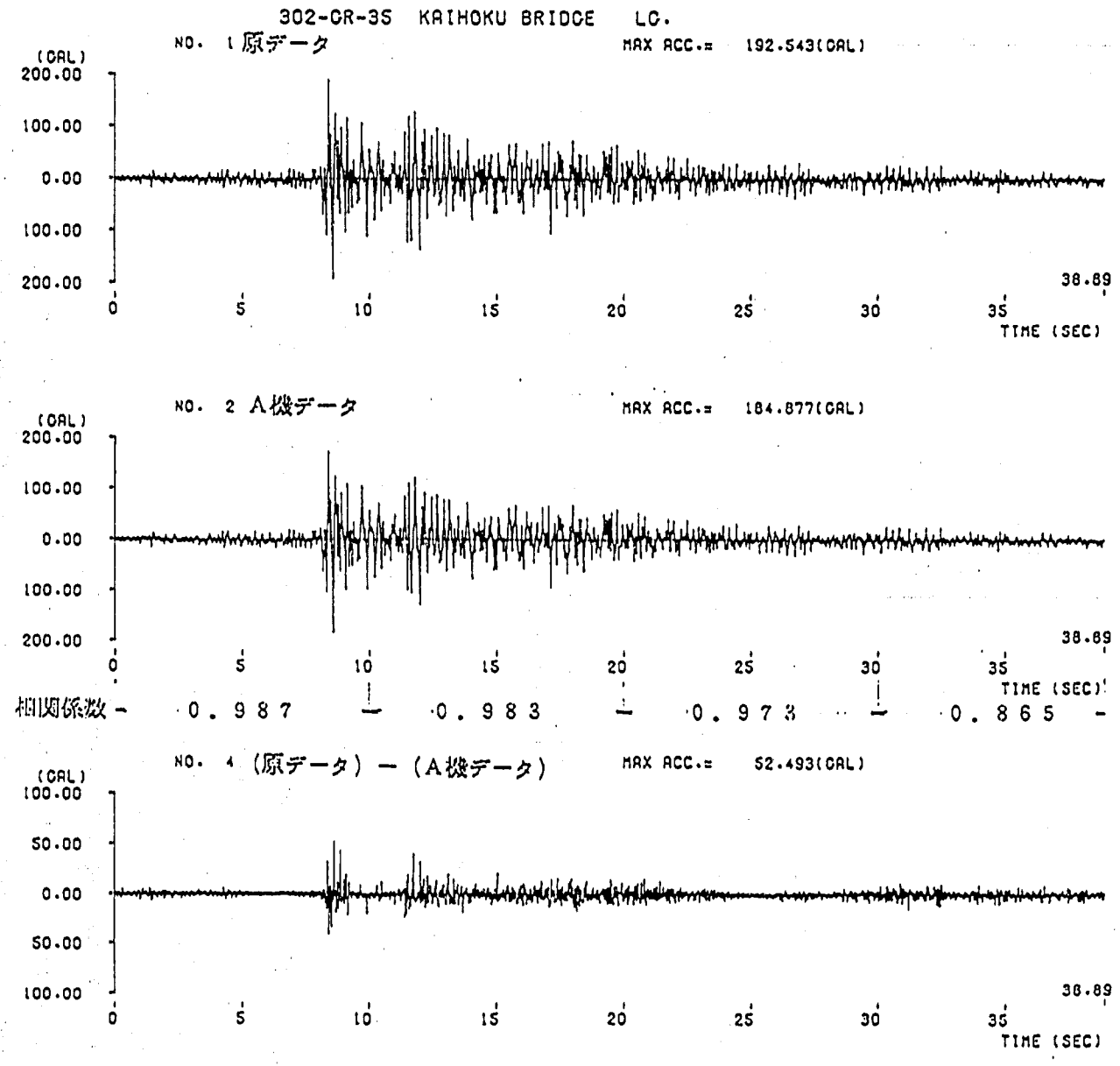
② 原データと機械読取り値の相関係数

③ 原データと機械読取り値の実効値

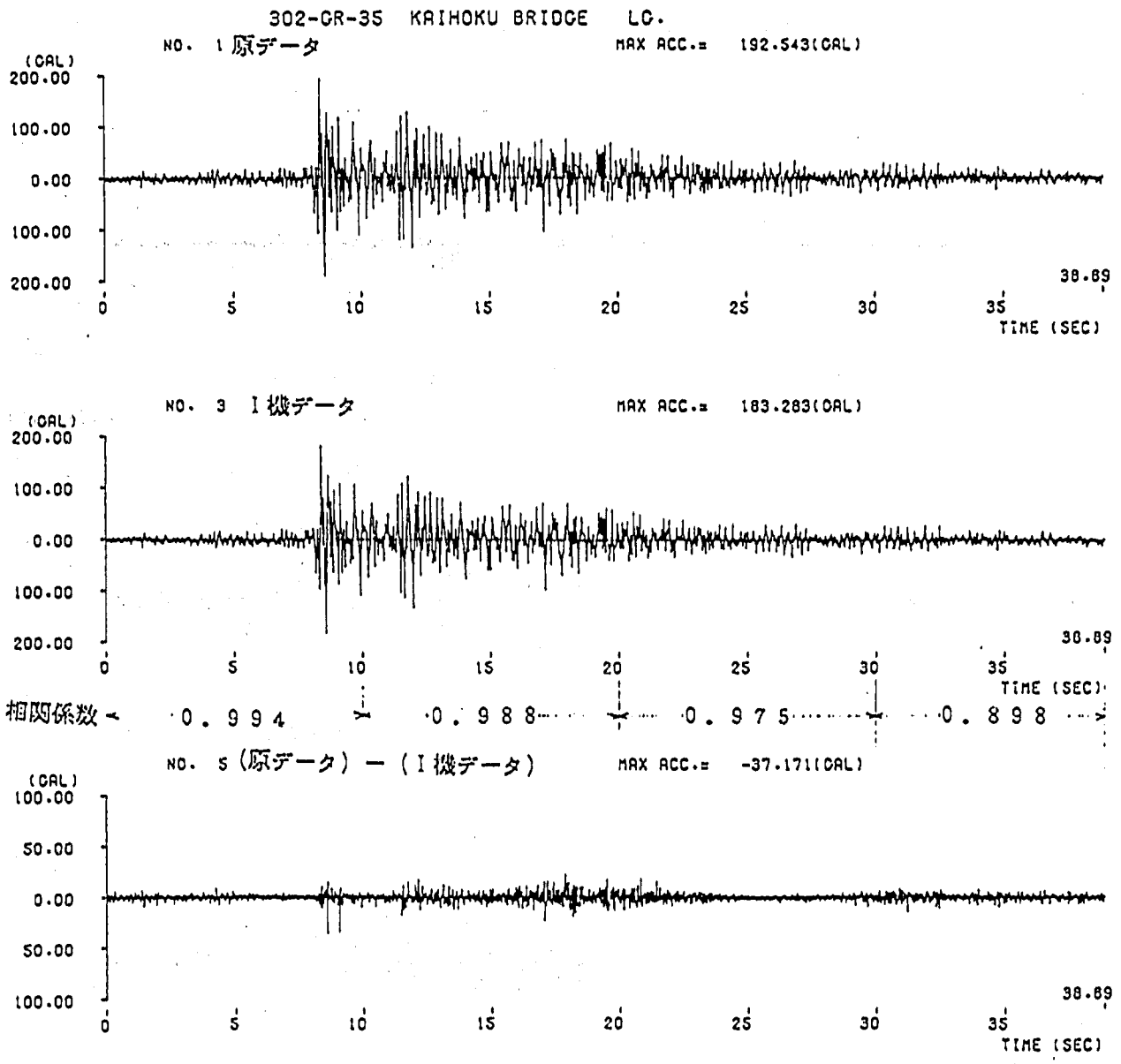
最大値について原データとの比（機械読値／原データ）に着目すれば表－3.6となる。

不等間隔データではほぼ99％，また等間隔化したデータにおいても95％以上の近似を示している。

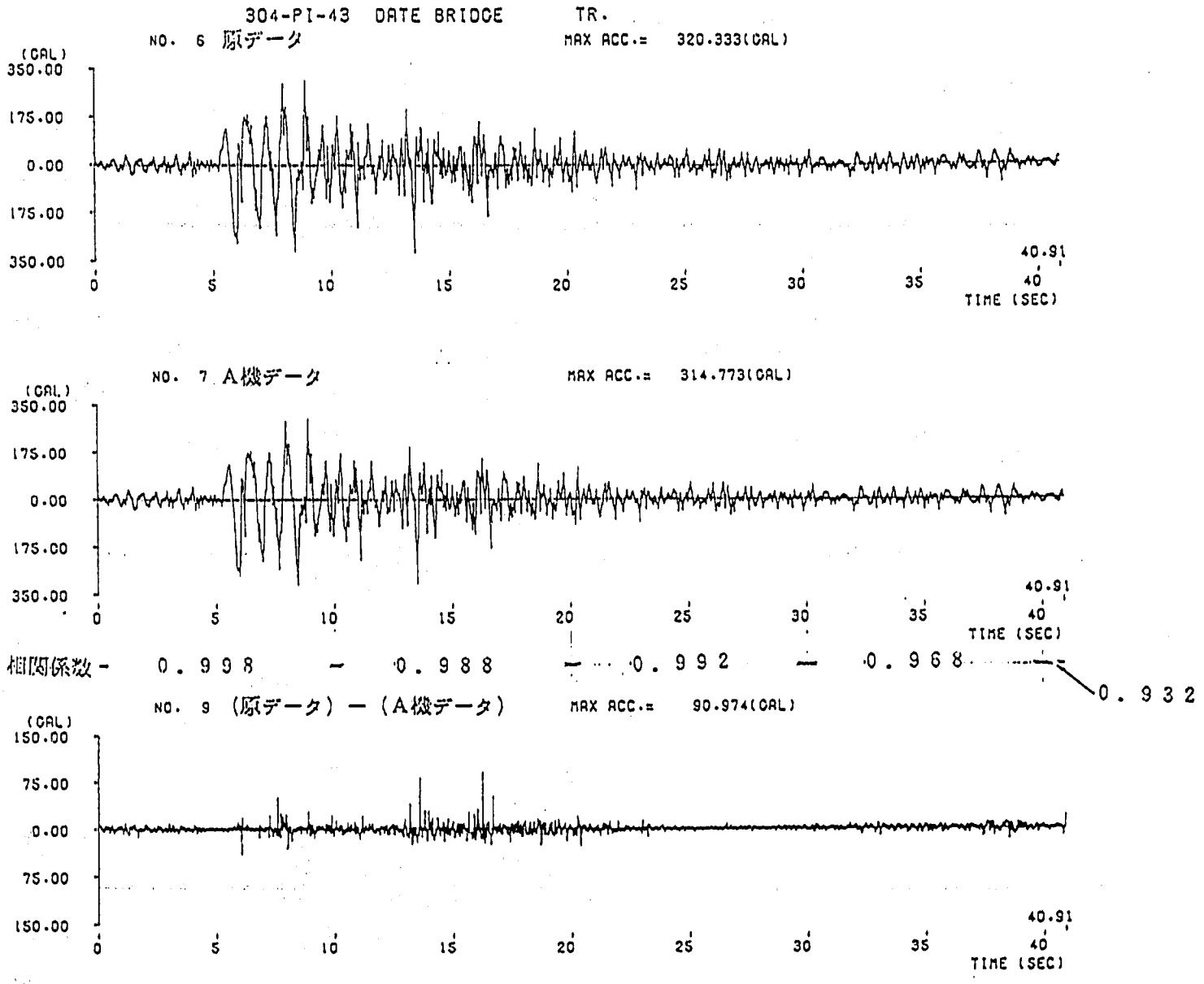
表－3.7は継続時間10秒区間毎に原データと機械読み取りデータの相関係数を算出したものである。これらの値は，時間軸の区間毎に図－3.4～図－3.9にも併記している。原波形の振幅が大きい区間では，



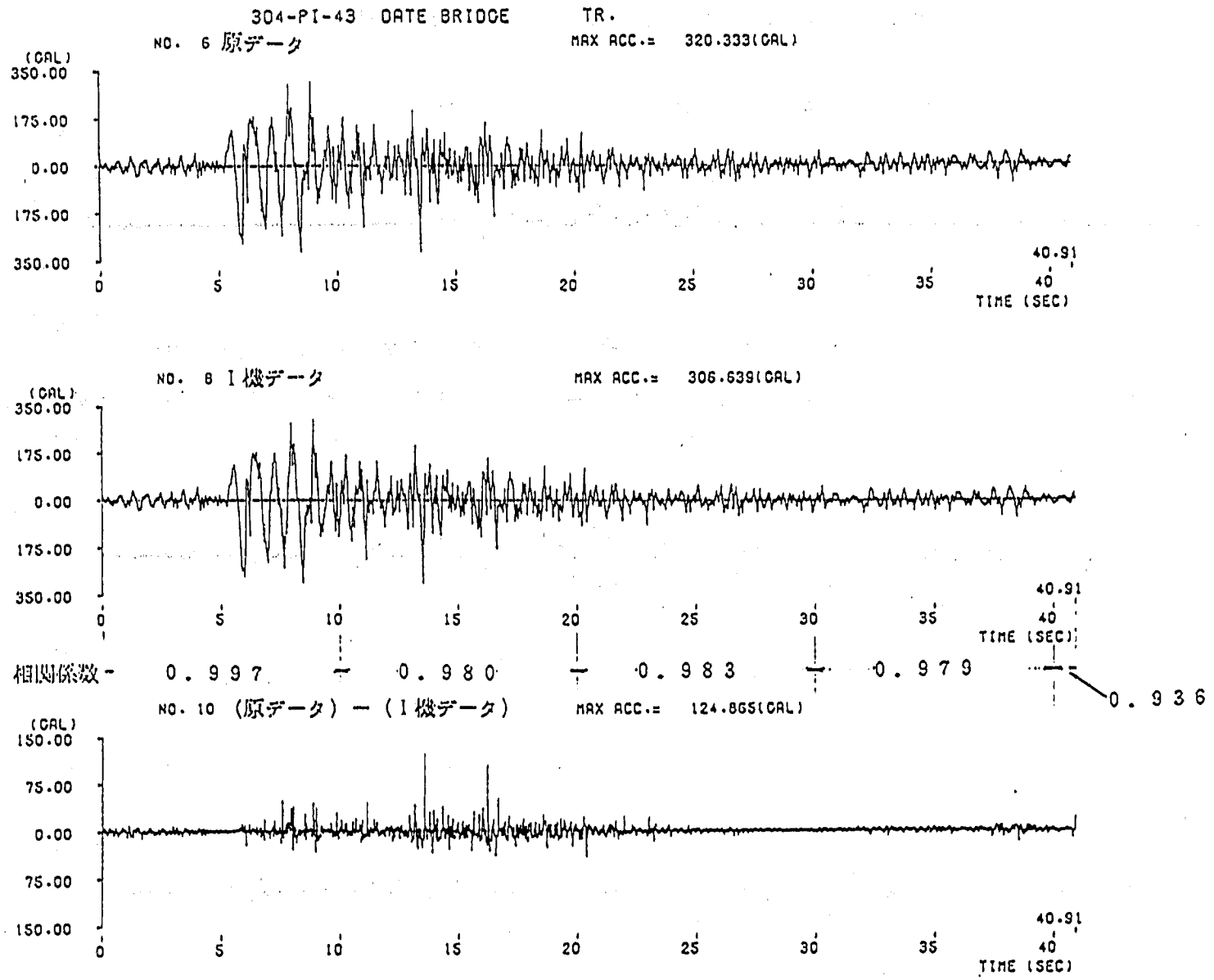
図−3.4 原データとA機データの偏差：開北橋記録



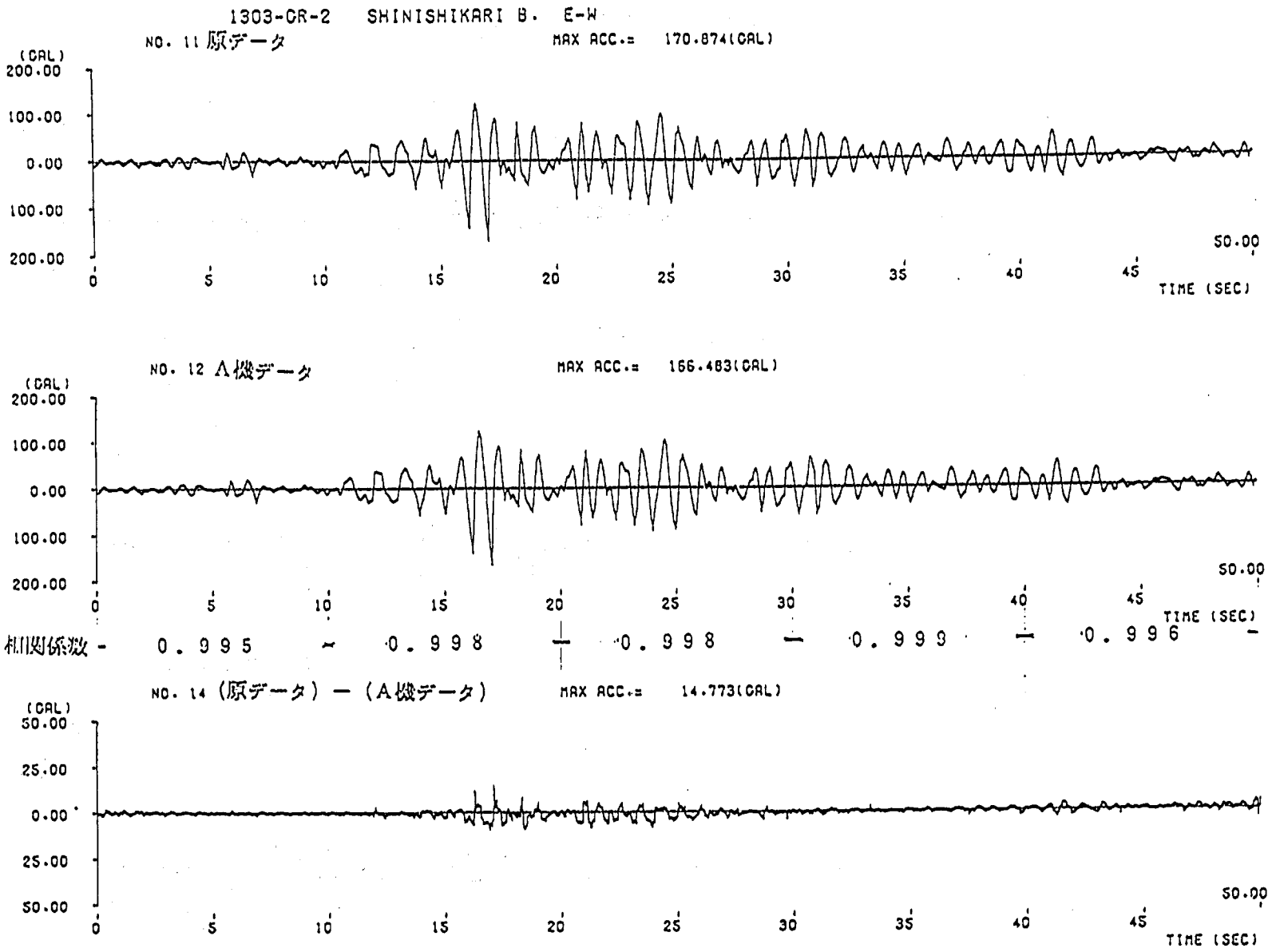
図－3.5　原データとI機データの偏差：開北橋記録



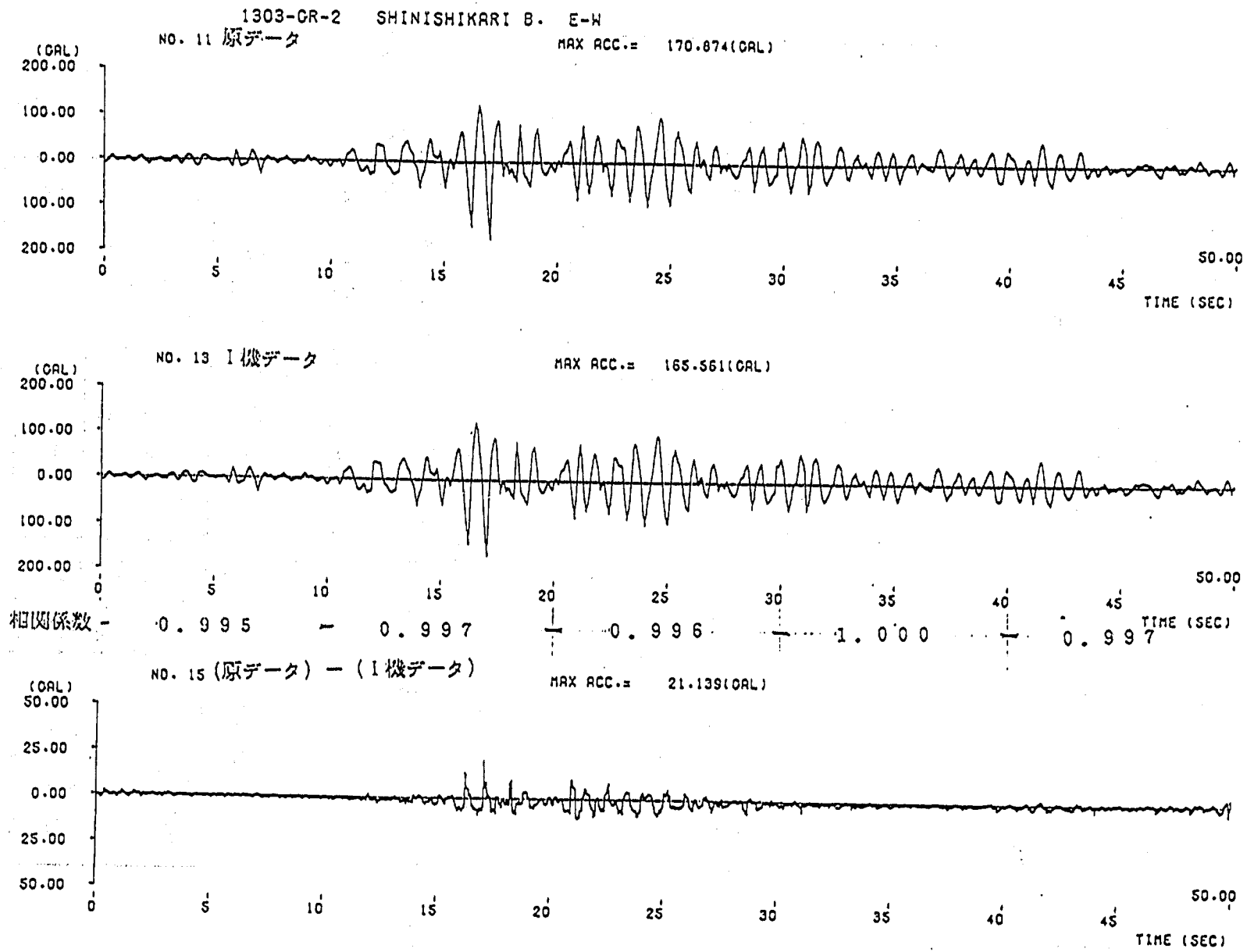
図－3.6 原データとA機データの偏差：伊達橋記録



図－3.7 原データとI機データの偏差：伊逸橋記録



図－3.8 原データとA機データの偏差：新石狩大橋記録



図－3.9　原データとI機データの偏差：新石狩大橋記録

表－3.6　原データと機械読取り値の最大値の比較（機械読値／原データ）

模擬波	機種	不等間隔データでの比	等間隔サンプリング後の比（Δt=1/100秒）
開北橋記録	A機	0.992	0.960
	I機	0.987	0.952
伊達橋記録	A機	0.998	0.983
	I機	0.989	0.957
新石狩大橋記録	A機	1.010	0.974
	I機	1.012	0.969

表－3.7　相関係数

模擬波形 ＼ 時間(sec)		0.0～10.0	10.0～20.0	20.0～30.0	30.0～40.0	40.0～50.0	全継続時間
開北橋	原データとA機データ	0.987	0.983	0.973	0.865 (38.89)	—	0.980
	原データとI機データ	0.994	0.988	0.975	0.898 (38.89)	—	0.987
伊達橋	原データとA機データ	0.998	0.988	0.992	0.968	0.932 (40.91)	0.994
	原データとI機データ	0.997	0.980	0.983	0.979	0.936 (40.91)	0.990
新大石狩橋	原データとA機データ	0.995	0.998	0.998	0.999	0.996 (50.00)	0.998
	原データとI機データ	0.995	0.997	0.996	1.000	0.997 (50.00)	0.997

（　）：波形の継続時間

開北橋，伊達橋記録で0.98以上，新石狩大橋記録で0.99以上の相関を示す。

表－3.8は，図－3.4～図－3.9の最下段に示した原データと機械読取りデータの差の実効値を示したものである。これらの値は縦軸，時間軸両方の誤差を含んだものであるが，全継続時間を通した実効値として，開北橋で4～5 gal，伊達橋で7～8 gal，新石狩大橋で2～3 gal程度となった。

表－3.8　原データと機械データの偏差に関する統計量

模擬波形 ＼ 統計量		2乗平均値	実効値
開北橋	原データとA機データ	23.88	4.89
	原データとI機データ	16.56	4.07
伊達橋	原データとA機データ	42.98	6.56
	原データとI機データ	67.29	8.20
新大石狩橋	原データとA機データ	4.47	2.11
	原データとI機データ	7.01	2.65

3.5 周波数領域における評価

(1) 加速度応答スペクトル

$\Delta t = 1/100$ 秒で等間隔化した原データ及び機械読取りデータの加速度応答スペクトル（h＝0.05）を算出し，以下の項目に着目した評価を行う。

① 原データと機械読取りデータの応答スペクトル比較

② 機械読取原図に含まれる誤差のレベルの把握

③ 従来方式で読まれた波形の応答スペクトルにおける精度との比較

1) 原データと機械読取りデータの応答スペクトル比較

原データ及び機械読データで算出した応答スペクトルを図－3.10～図－3.12に示す。同図には各機によるデータと原データのスペクトル比（機械データ／原データ）を固有周期毎にプロットした図，及び原データの応答スペクトル値に対応させてスペクトル比をプロットした図も併記している。また，これらの詳細数値を表－3.9～表－3.11に示す。

応答スペクトルを対象波形別に見ると，原データと機械データの差は開北橋記録において最も顕著に現れている。しかしながら最も顕著な開北橋記録においても，0.15秒～1.5秒の周期域では，両機ともかなり良好な値を示し，原データとの比率は最大でもA機で1.060（0.5秒），I機で1.053（1.3秒）となる。1.5秒よりも長周期域では両機共に原データとの比が大きくなり，A機の場合1.275（8秒），I機の最大1.175（8秒）となる。また，A機は0.15秒以下の短周期域においても0.827（0.05秒）の離れを示している。他の記録においても，原データと機械データの比は概ね3つの周期域に分かれて異なる傾向で現れるが，機械データと原データのずれは開北橋ほど大きくない。

2) 機械読取原図に含まれる誤差のレベル

模擬波の読取りと同時に，図－3.1に示した長さ40㎝勾配1/20の直線を読取っている。この直線は，読取り時の原図や機械の誤差等，不確定な誤差をなるべく表現し得るよう配慮して1/20の勾配を付けたものである。

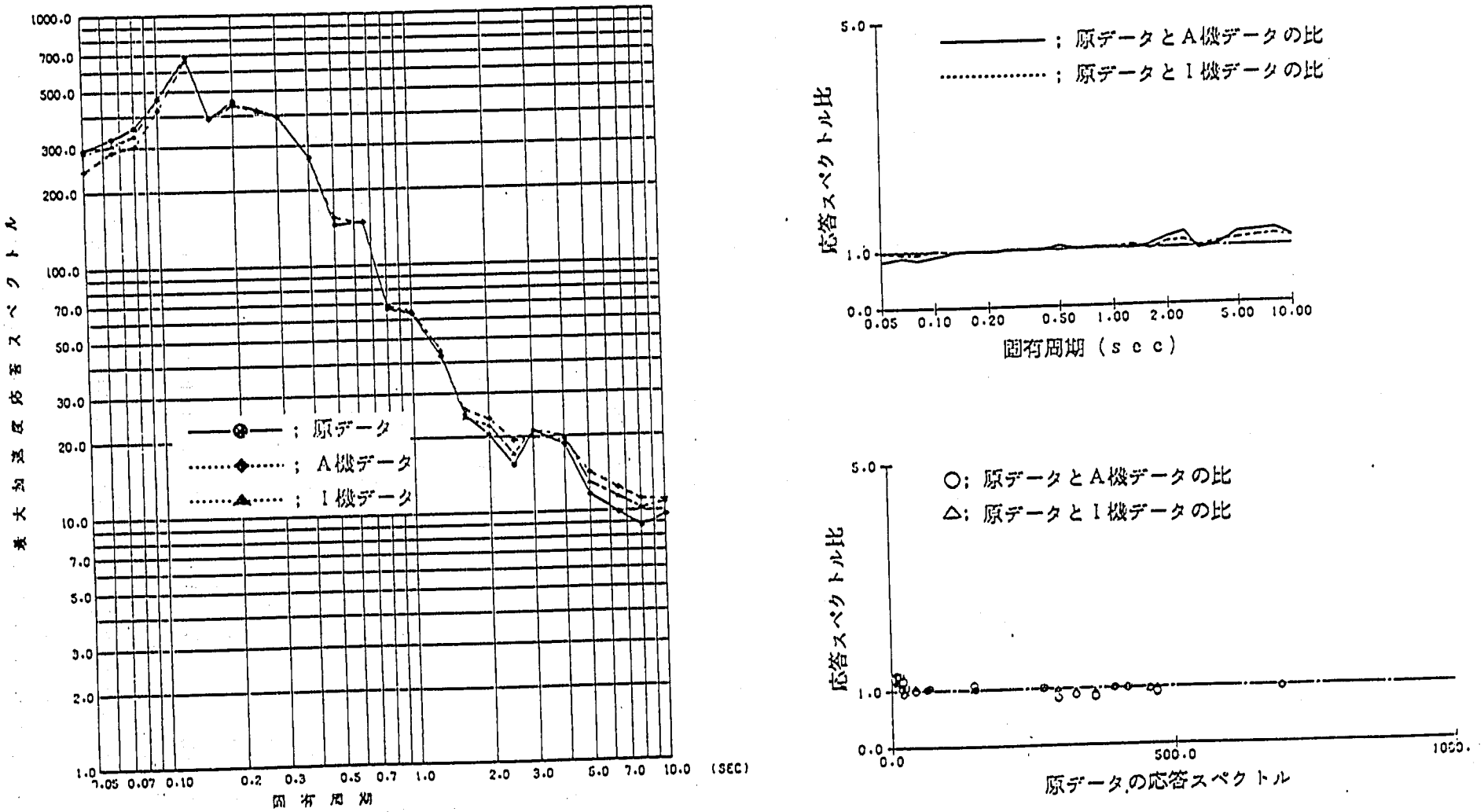
各機で読取った値（直線波の値）を最小二乗法で直線化し，この始点値を軸に勾配補正を行って水平化したものが図－3.13である。

なお，A機はこの直線を91点でベクトル化し，I機は17点でベクトル化している。両機共にこの点数はベクトル化時のパラメータを設定することによって変化させ得るものである。ちなみにA機では当初"直線"との判断から，これを2点で読取ったが，調査の目的を説明し再度読取を依頼した為，逆にI機の約5倍の点数でベクトル化する結果となった。この経緯を考慮するとき，図－3.13から直接両機の精度を比較するのは適当とは言えない。

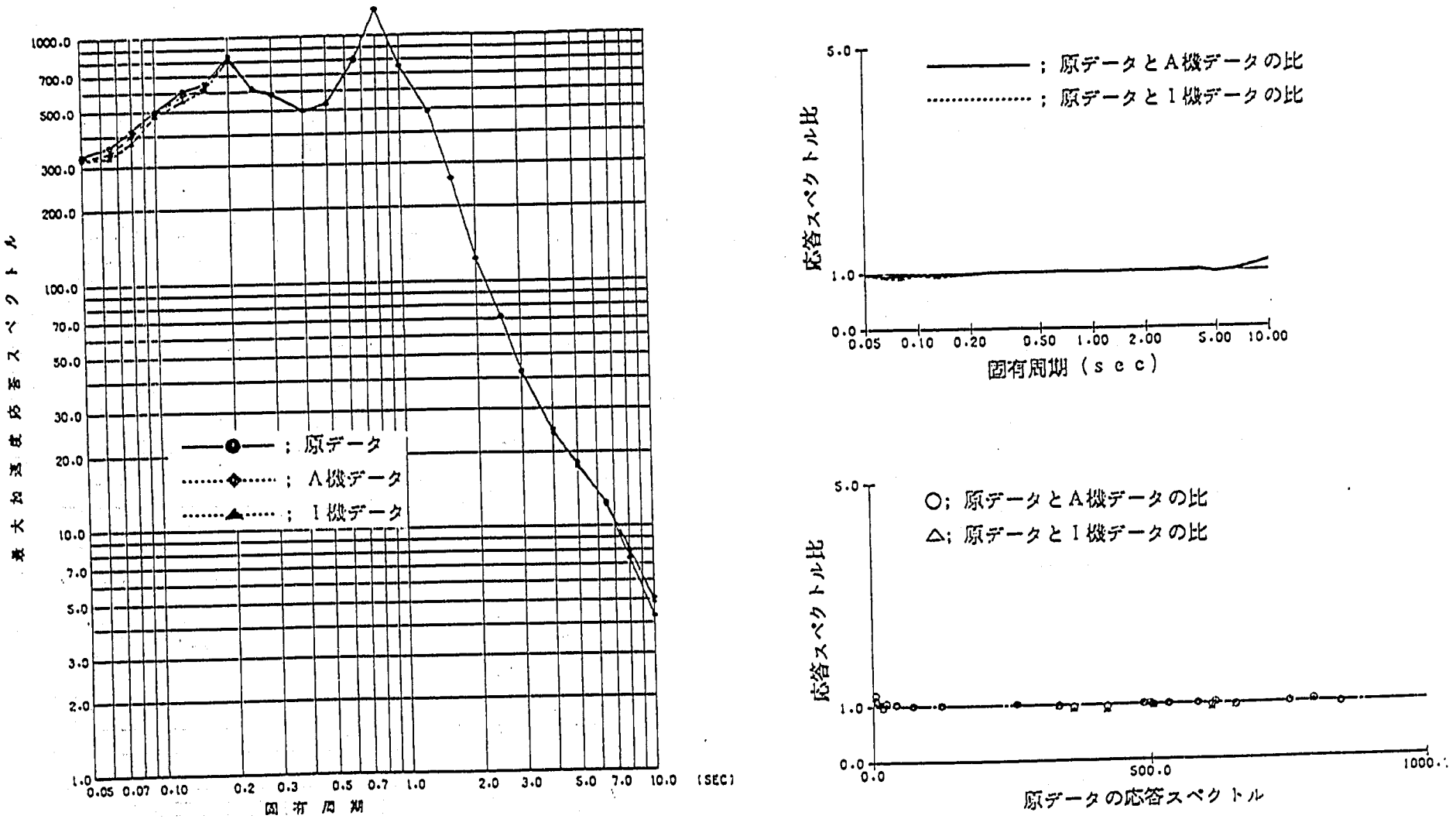
これらの経緯を踏まえて，図－3.13を考慮すると以下のようになる。

・両機の読取り値とも直線区間（400㎜）の中央付近で凸形を示す。
　起終点と中央付近での振幅の差は約0.15㎜程度であり，読取り原図の直線の太さ（約0.1㎜）よりも大きい。

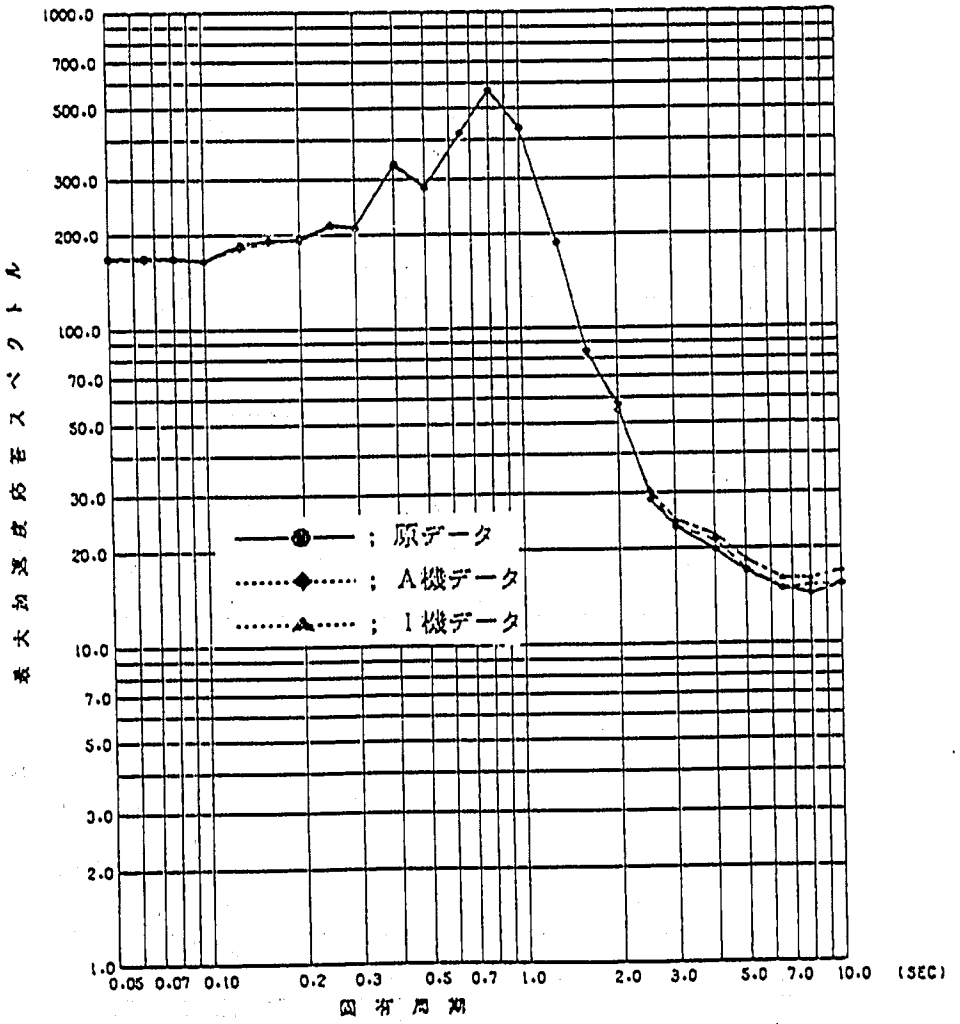
・両機の振幅の差は時間軸の各位置において0.1㎜以下であり，原図の直線太さより小さい。すなわち，

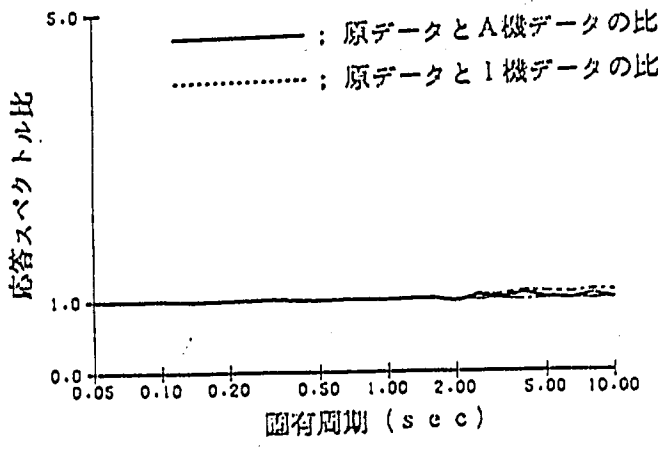


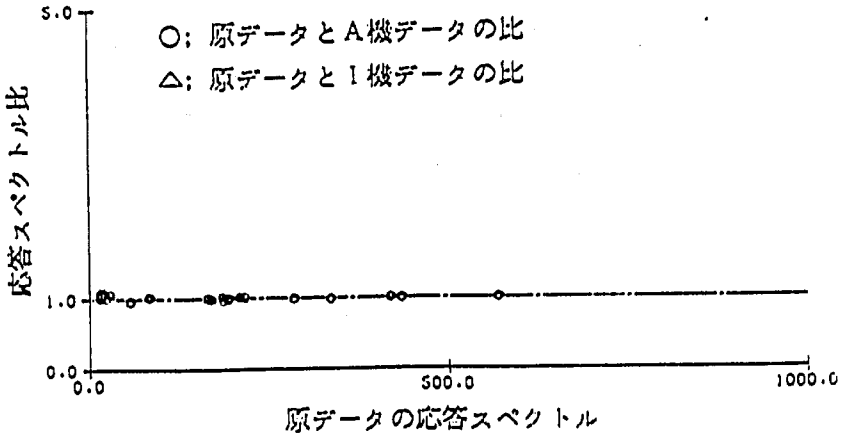
図－3.10　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：開北橋記録



図－3.11　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：伊邇橋記録







図－3.12　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：新石狩大橋記録

表－3.9　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：開北橋記録

固有周期 (sec)	原データ SA (gal)	A機データ SA (gal)	I機データ SA (gal)	A機データ/原データ	I機データ/原データ
0.050	223.019	242.293	226.479	0.327	0.973
0.065	324.567	233.271	305.323	0.383	0.943
0.080	353.740	301.917	334.944	0.342	0.934
0.100	467.340	421.612	455.451	0.902	1.002
0.130	535.592	561.537	557.527	0.953	0.972
0.150	392.584	323.454	339.032	0.990	0.991
0.200	455.555	430.503	435.736	0.955	0.959
0.250	415.896	411.255	422.415	0.989	1.016
0.300	393.543	392.614	396.113	0.993	1.007
0.400	263.675	263.936	266.422	1.001	0.992
0.500	145.559	154.452	144.219	1.060	0.990
0.650	147.304	146.950	149.475	0.994	1.011
0.800	65.505	68.461	68.633	1.029	1.032
1.000	63.153	63.439	64.854	1.005	1.027
1.300	42.523	42.146	44.750	0.991	1.053
1.600	24.573	25.737	23.851	1.047	0.971
2.000	20.354	23.718	22.216	1.165	1.092
2.500	15.449	19.305	17.052	1.250	1.104
3.000	21.031	19.835	21.103	0.943	1.004
4.000	18.550	19.369	20.050	1.044	1.081
5.000	11.674	14.263	13.000	1.222	1.114
6.500	9.336	12.354	11.404	1.249	1.153
8.000	8.710	11.106	10.233	1.275	1.175
10.000	9.526	11.027	10.792	1.146	1.121

表－3.10　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：伊達橋記録

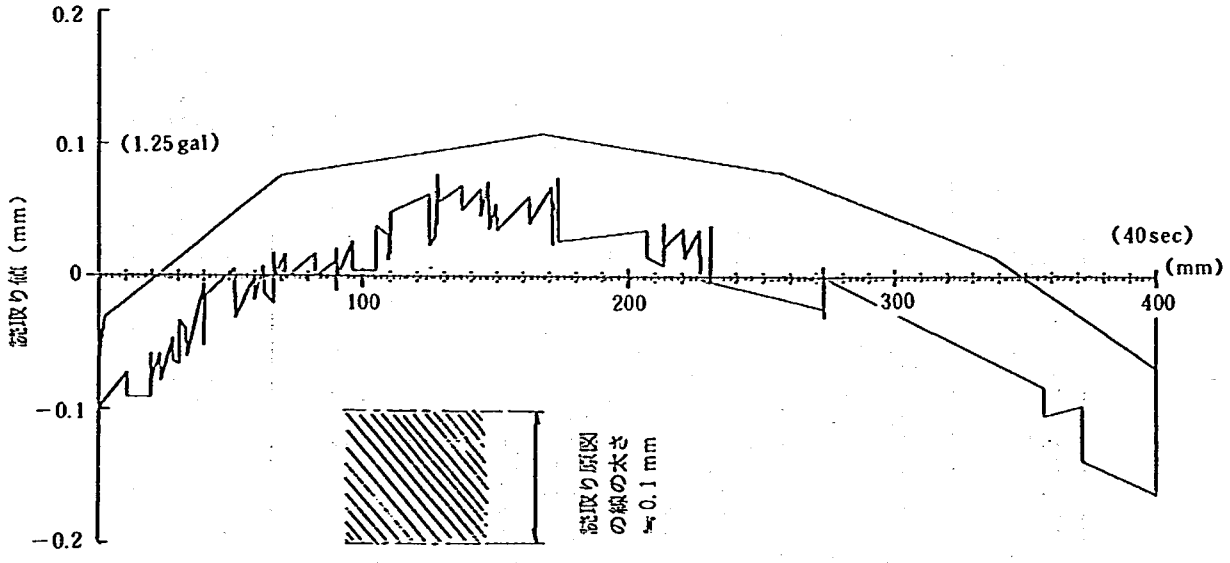
固有周期 (sec)	原データ SA (gal)	A機データ SA (gal)	I機データ SA (gal)	A機データ/原データ	I機データ/原データ
0.050	334.357	326.052	320.621	0.975	0.959
0.065	360.765	339.655	327.026	0.942	0.906
0.080	421.160	399.910	374.960	0.950	0.890
0.100	503.344	490.266	479.459	0.974	0.953
0.130	603.194	582.264	554.826	0.957	0.912
0.150	649.973	623.835	612.231	0.960	0.942
0.200	841.935	812.771	812.477	0.965	0.965
0.250	614.272	616.480	610.341	1.004	0.994
0.300	582.950	579.276	584.213	0.994	1.002
0.400	498.981	499.683	498.201	1.001	0.998
0.500	531.200	527.466	529.164	0.993	0.996
0.650	791.972	807.228	794.362	1.019	1.003
0.800	1273.504	1276.657	1271.564	1.002	0.998
1.000	748.523	746.290	745.854	0.997	0.996
1.300	486.774	485.893	483.811	0.998	0.994
1.600	258.764	260.981	260.870	1.009	1.008
2.000	123.281	123.107	123.570	0.999	1.002
2.500	71.721	71.375	71.681	0.994	0.999
3.000	41.832	42.745	42.925	1.022	1.026
4.000	23.755	24.652	24.258	1.038	1.021
5.000	18.106	17.609	17.421	0.973	0.962
6.500	12.161	12.442	12.441	1.023	1.023
8.000	7.360	7.877	8.087	1.070	1.099
10.000	4.283	5.068	4.920	1.133	1.149

両機は凸形に歪んだ原図の直線の太さ内を忠実にベクトル化したものと考えられる。

- 原図の歪みは写真縮小時に生じたものと推定され，各波形の原図配置を考えるとき，（図－3.1参照）開北橋記録も直線と同程度の歪を生じている可能性がある。しかしながら，開北橋記録の主要動振幅は20㎜～30㎜であり，これに対する上記の誤差は 10^{-3} のオーダーとなる。
- 図－3.13に含まれる周期40秒の波，及びベクトル化時のパラメータ設定による直線太さ内での読取

表－3.11　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：新石狩大橋記録

固有周期 (sec)	原データ SA (gal)	A機データ SA (gal)	I機データ SA (gal)	A機データ / 原データ	I機データ / 原データ
0.050	168.390	166.830	165.136	0.991	0.981
0.065	169.203	165.723	165.761	0.979	0.980
0.080	168.396	167.201	166.255	0.993	0.937
0.100	165.064	164.953	164.318	0.999	0.995
0.130	186.682	180.439	186.006	0.967	0.996
0.160	192.425	183.555	191.871	0.980	0.997
0.200	194.293	193.361	191.021	0.995	0.983
0.250	214.554	215.302	211.543	1.003	0.937
0.300	209.439	210.844	212.376	1.007	1.014
0.400	336.294	329.501	335.656	0.980	0.993
0.500	234.532	250.554	221.225	0.955	0.937
0.650	419.495	415.153	422.115	0.997	1.006
0.800	555.942	567.412	570.258	0.997	1.002
1.000	434.925	430.727	433.044	0.990	0.995
1.300	185.725	183.060	189.316	1.015	1.019
1.600	83.230	84.303	84.743	1.012	1.018
2.000	57.029	54.741	54.432	0.960	0.955
2.500	22.536	30.145	30.635	1.055	1.072
3.000	23.257	23.520	24.546	1.011	1.055
4.000	19.737	21.205	22.065	1.072	1.115
5.000	16.953	17.214	18.334	1.021	1.090
6.500	14.397	14.918	15.035	1.001	1.076
8.000	14.337	15.226	16.025	1.062	1.118
10.000	15.375	15.434	16.959	1.004	1.103

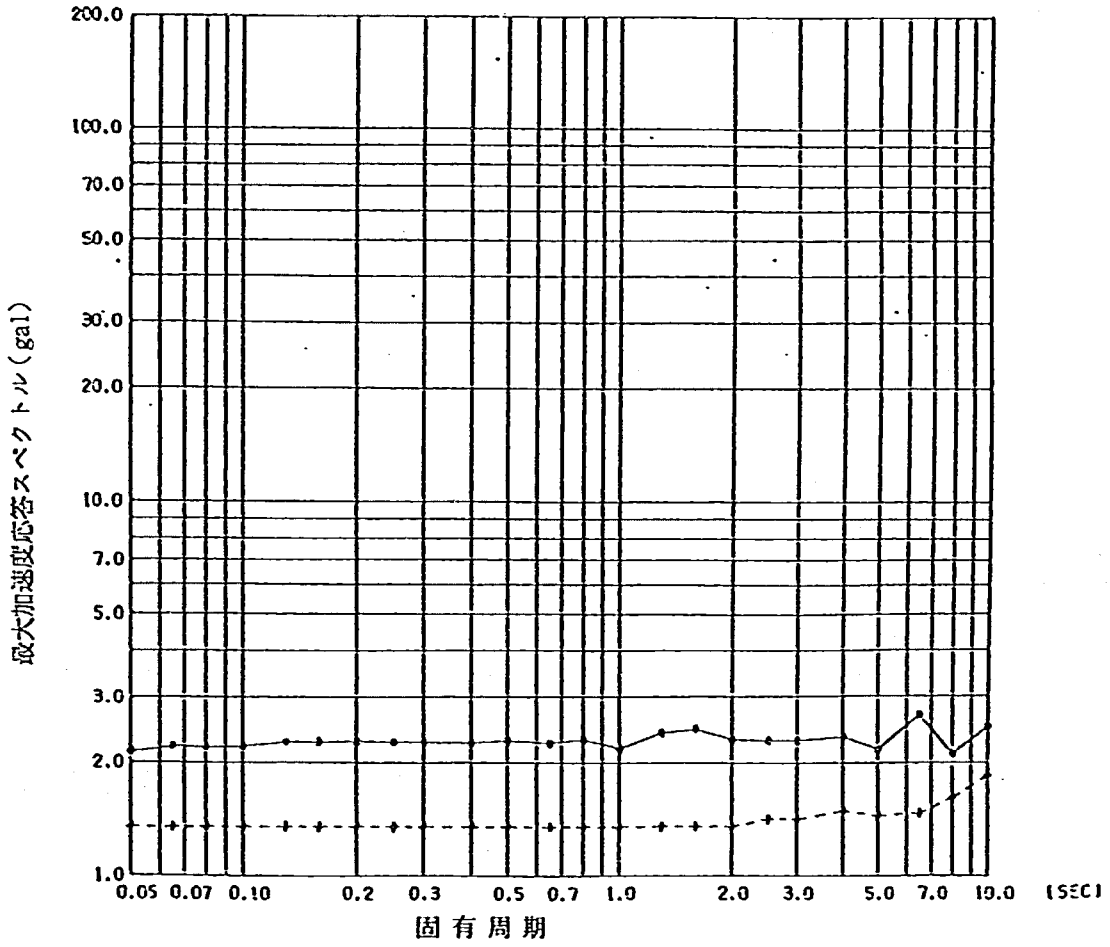


図－3.13　直線の読取り結果

り振幅の変化が応答スペクトルに与える影響を検討する必要がある。

図－3.13に示した微小振幅の読取り値に対し，他の模擬波と同様に縦軸1㎜＝12.5 gal，横軸＝10㎜＝1秒として加速度応答スペクトルを算出すると，図－3.14のようになる。（応答スペクトルの算出には，$\Delta t = 1/100$秒，$h = 0.05$，継続時間40秒としている。）

図－3.14より次の事項が指摘される。



図－3.14　直線読取り結果の応答スペクトル

- 直線を17点で読取った波形のスペクトルは 1.5 gal ～ 2 gal 程度のスペクトルを示し，固有周期域で 7 秒以下ではほぼ安定している。
- 直線を 91 点で読取った波形のスペクトルは 2 gal ～ 3 gal 程度のスペクトルを示し，やはり固有周期 7 秒以下ではほぼ安定している。
- 他の模擬地震波を読取った時のデータ点数は，両機とも従来方式による読取り点数と大差がないため，（表－3.4 参照）上記の結果が直接各機の誤差を表現するものではない。しかしながら，各機で読取られた模擬波には図－3.13 に示すように誤差が暗振動的に含まれていると考えられ，応答スペクトルには，各固有周期を通して 2 gal 程度の影響を与えているものと考えられる。

3) 従来方式で読まれた波形の応答スペクトルにおける精度との比較

土木研究所において従来方式で読まれた波形の応答スペクトルの精度が検討されている。（資料－1：川島，高木，相沢：ディジタイザーによるＳＭＡＣ型強震計記録の数値化精度，土木学会論文報告集，第323号，pp. 67－75，1982年7月.）

この検討では今回模擬波として用いたものと同じ地震記録をディジタイザーを用いて，それぞれ5回づつ読取り，これらの応答スペクトルと原データの応答スペクトルの比を求め，この変動係数で応答スペクトルの精度を検討している。

すなわち，応答スペクトル比：$R_i = SA_i / SA$（原データ）　$i = 1 \sim 5$

応答スペクトル比の平均値：$\overline{R}$

応答スペクトル比の標準偏差：σ_R

応答スペクトル比の変動係数を $\lambda_R = \sigma_R / \overline{R}$ で定義している。

今回の検討では，各機1回の読取りであり，$\overline{R}$ や σ_R を算出することは出来ない。

ここでは応答スペクトルの偏差率を次のように定義する。

応答スペクトル比：$R = SA$（機械）$/ SA$（原データ）

応答スペクトル偏差率：

$$\delta = |SA（機械）- SA（原データ）| / SA（原データ）= |R - 1|$$

資料－1の λ_R は上記の様に確率要素を含む値であり，今回の検討で定義する δ を λ_R と 1：1 で比較するには問題が残るが，とりあえず両者を比較することにする。

なお，従来方式で読取る際に用いたディジタイザーの最小分解能は公称 2.5/100 ㎜であり，今回の画像処理装置の読取り分解能 40 dot/㎜ と同程度の分解能を持つものである。また，λ_R を算出した際の応答スペクトル計算における数値条件は今回と同じ条件（h = 0.05，Δt=1/100 秒）を用いたものである。

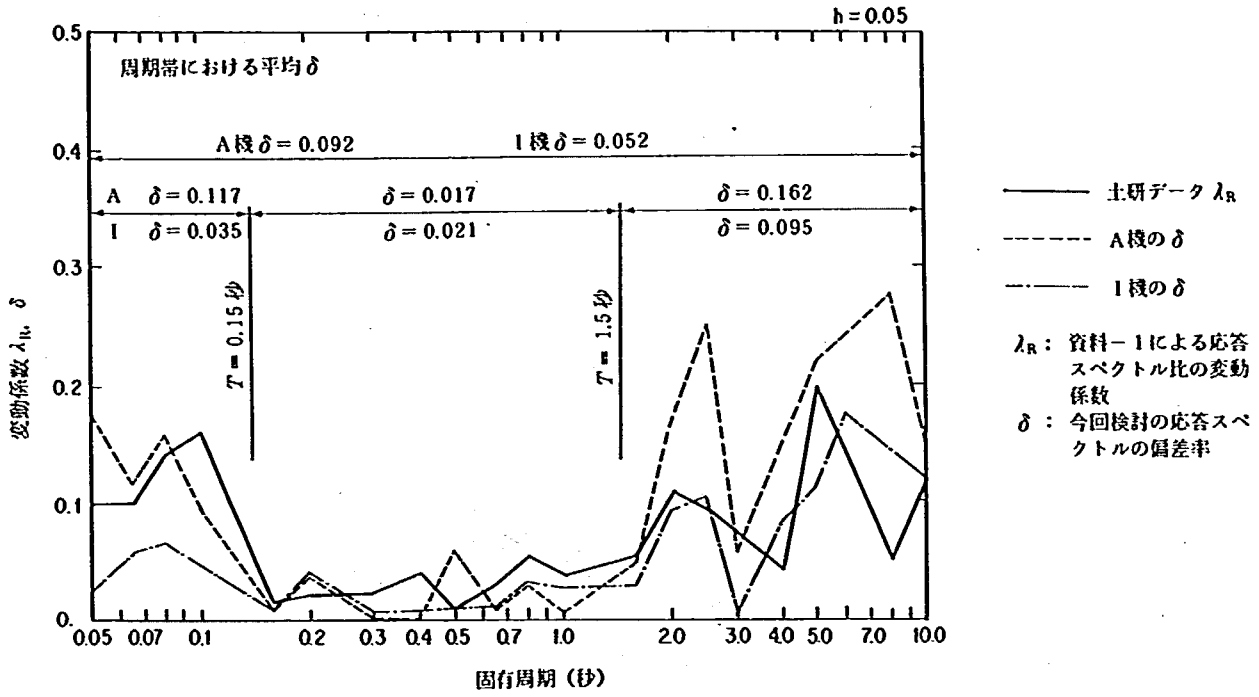
各模擬波について，上記の λ_R と δ を重ねてプロットし，図－3.15～図－3.17 に示す。また，同図には全周期帯での平均 δ 及び δ の変動傾向が異なる周期帯内での平均 δ を合せて記入した。

図－3.15 より以下の傾向がうかがえる。

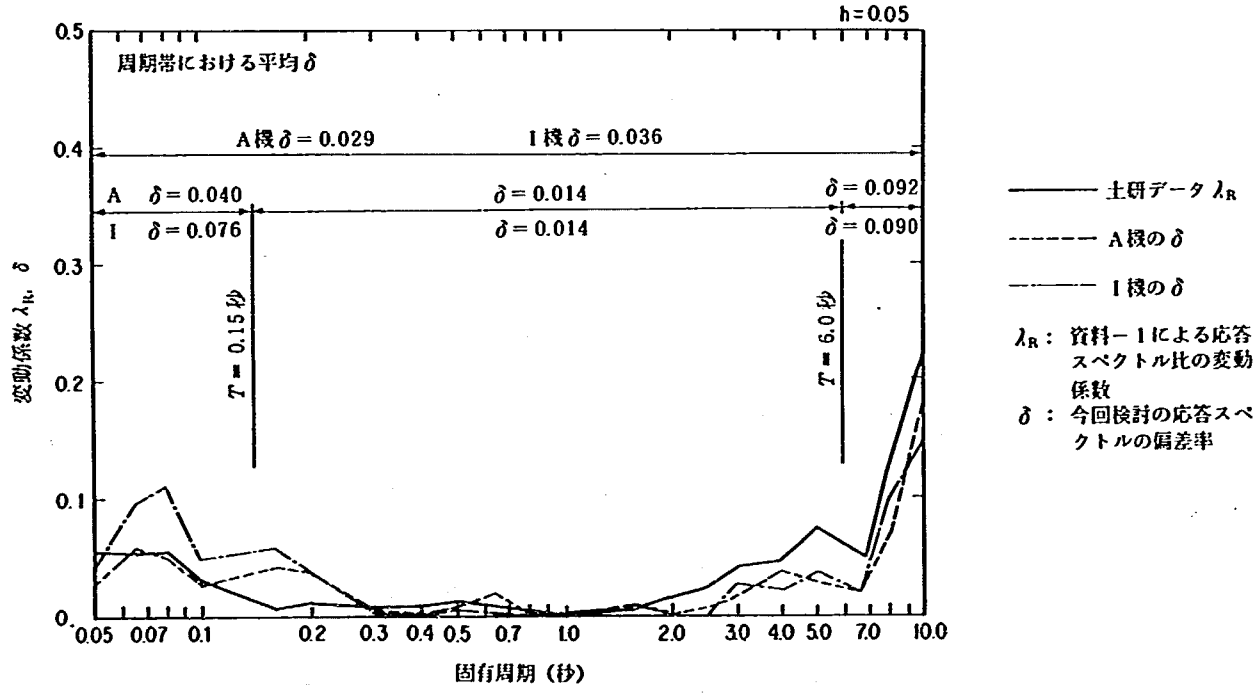
- 各模擬波毎に 0.05 秒～10 秒間での λ_R の変動と δ の変動はかなり類似している。
- 固有周期毎に見ると λ_R と δ の差が顕著に現れる周期もあるが，両者の定義の違いを考えるとき，この程度の差は許容し得るものと考える。
- 上記の傾向より，機械で読取ったデータの応答スペクトルは，従来方式による応答スペクトルの精度と比べて遜色ないと判断し得る。
- 機種に着目すると，開北橋記録の 1.5 秒以上と 0.15秒以下でA機の δ が増大すること，及び，伊達橋記録の 0.15秒以下と新石狩大橋の 2.0 秒以上でI機の δ が増大する以外は両機に顕著な差は見られない。
- 全周期帯での δ の平均値は，開北橋記録でA機＞I機，伊達橋記録でI機＞A機，新石狩大橋記録でI機＞A機となり，3波全体を見た場合，A機の偏差率の方が小さくなるが，逆にI機では模擬波に係わらず安定した δ を示すのに比べて，A機では模擬波によって，δ の値が変動する傾向にある。

(2) フーリエスペクトル

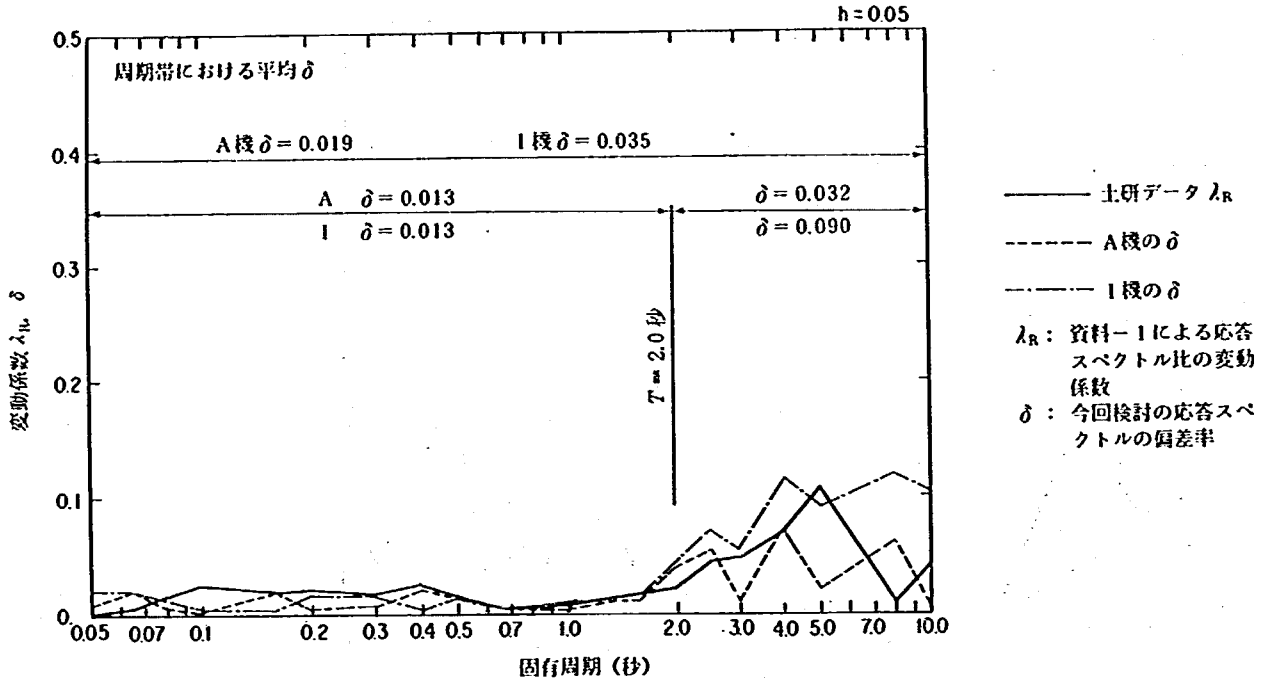
原データ，機械データのフーリエスペクトル，及び両者の比を図－3.18～図－3.20 に示す。フーリエスペクトルの比では両機とも類似した傾向を示し，スペクトル比はほぼ 1.0，また位相差は 0.0 radのまわりを変動する。位相の変動はかなり顕著であるが，両機とも最大でも $\frac{\pi}{2}$ rad 程度のずれである。



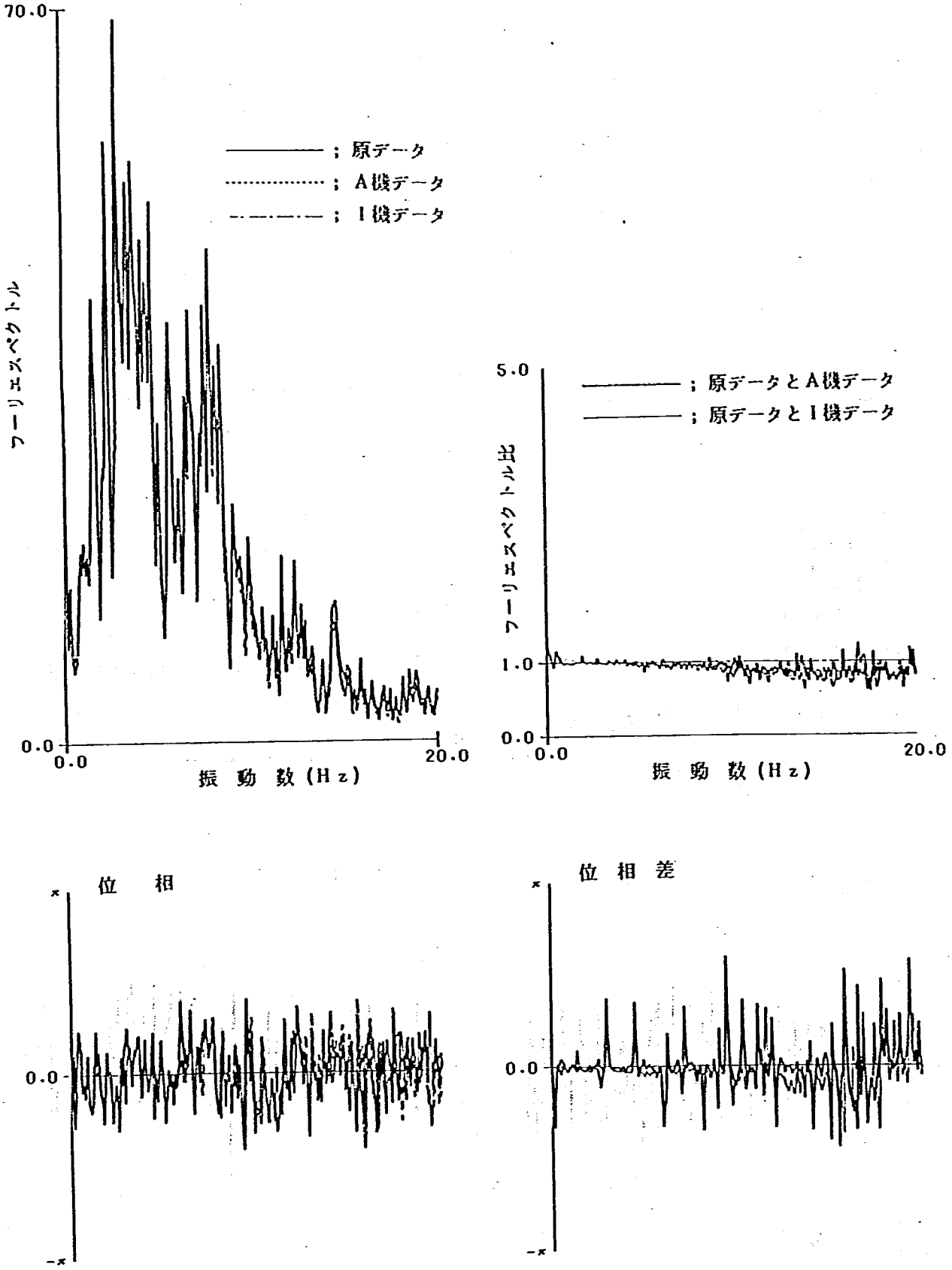
図－3.15　開北橋記録における λ_R と δ の比較



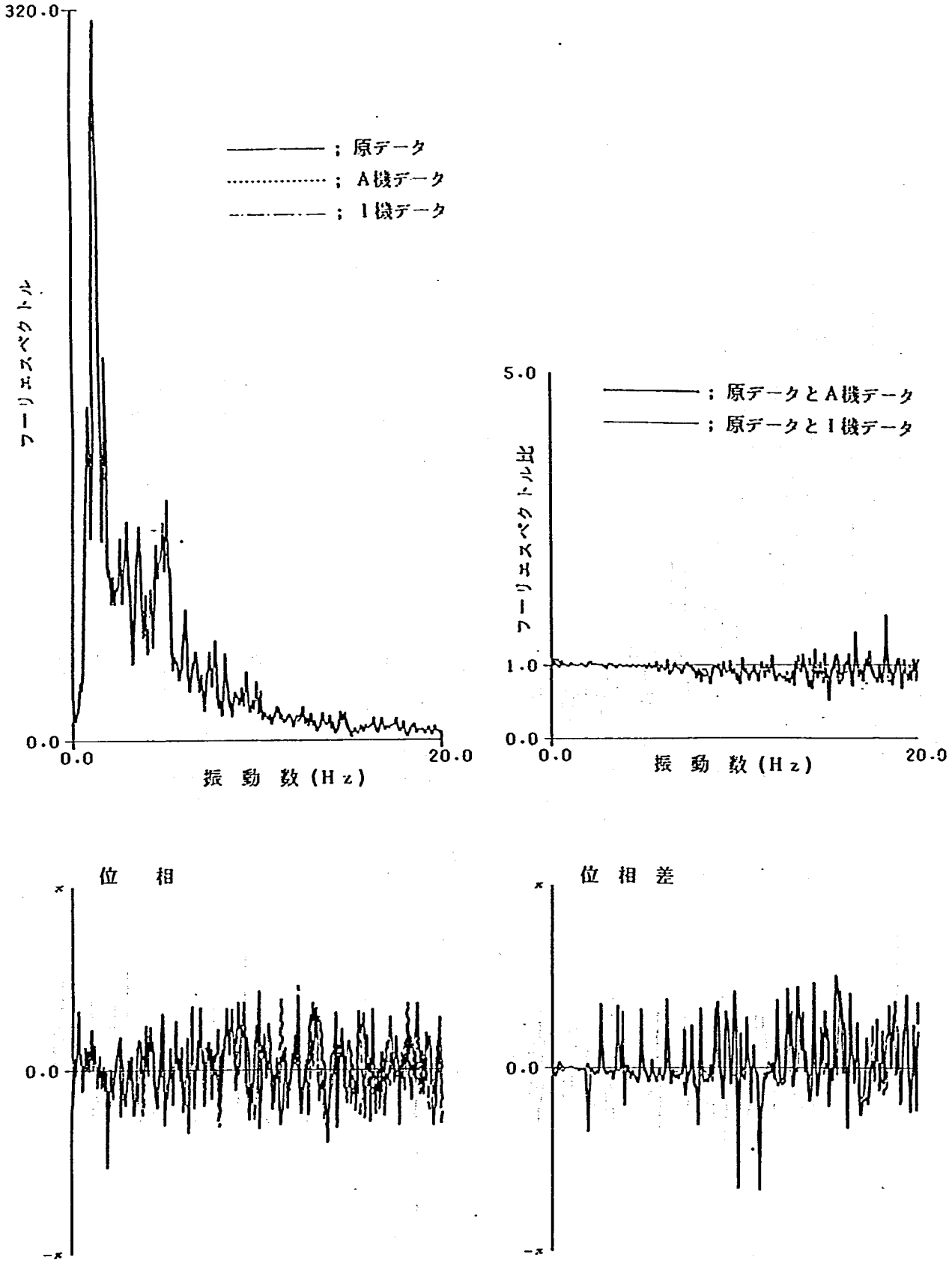
図－3.16　伊達橋記録における λ_R と δ の比較



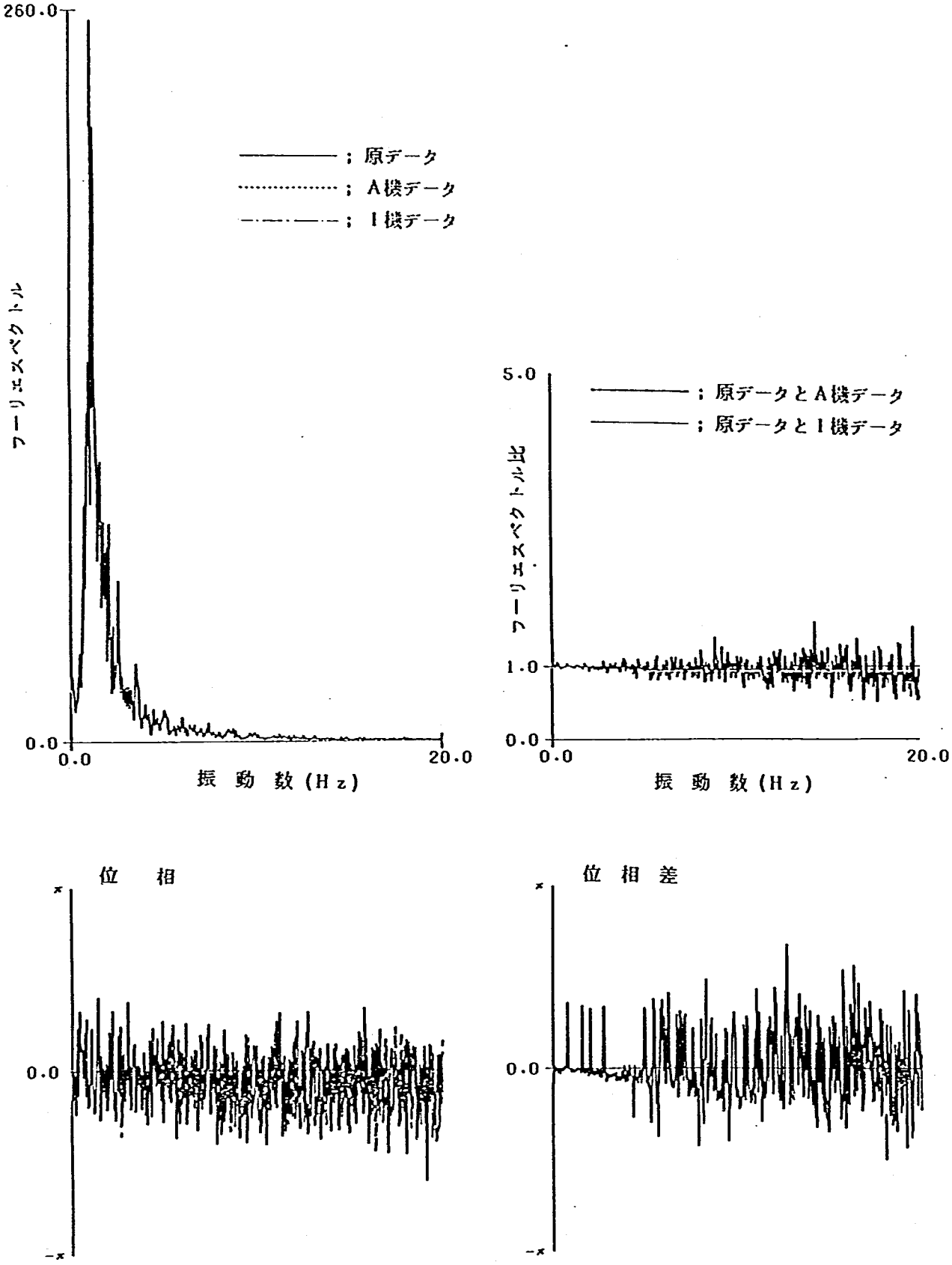
図－3.17　新石狩大橋記録における λ_R と δ の比較



図－3.18　フーリエスペクトルとフーリエスペクトルの比：開北橋記録



図－3.19　フーリエスペクトルとフーリエスペクトルの比：伊達橋記録



図－3.20　フーリエスペクトルとフーリエスペクトルの比：新石狩大橋記録

4. 画像処理装置によるディジタル化精度の検討（その２）

土木研究所，運輸省港湾技術研究所及び東京大学地震研究所の15記録について，画像処理装置によるディジタル化を行い，従来のディジタイザーを用いた数値データとの比較により既往処理方式との精度比較を行った。

従来方式との読み取りデータの比は，各機関のデータとも 0.94 ～ 1.02 の範囲であり，相互相関係数は２記録を除いて 0.94 以上であった。また，応答スペクトルについては，20Hz から１秒～ 1.5 秒の周期域において，原データと読み取りデータの比が最大でも 1.08 程度となっている。

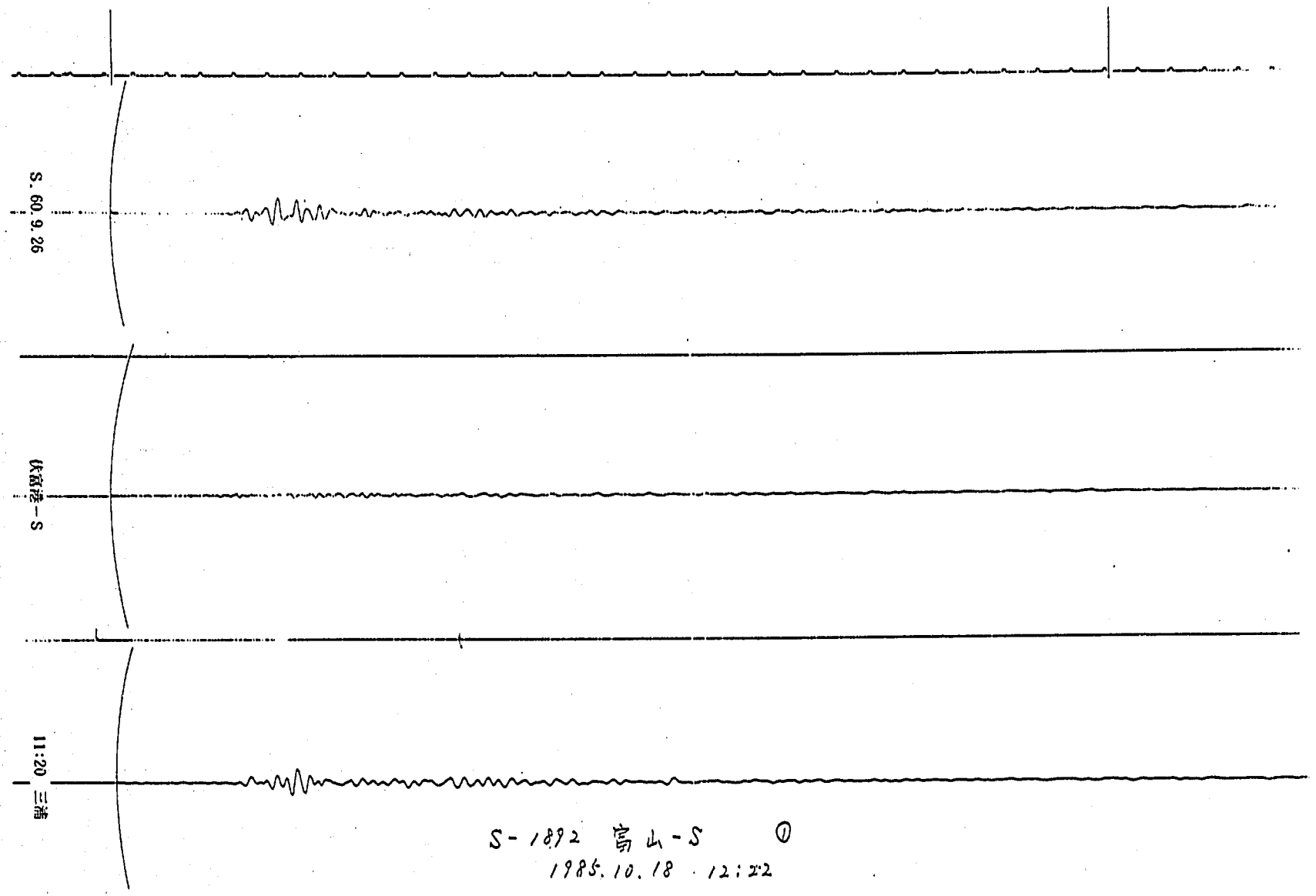
4.1　検討に用いた実地震波

検討に用いた実地震波の諸元を表－ 4.1 に，また数値化処理を行った記録を図－ 4.1 ～図－ 4.8 に示す。

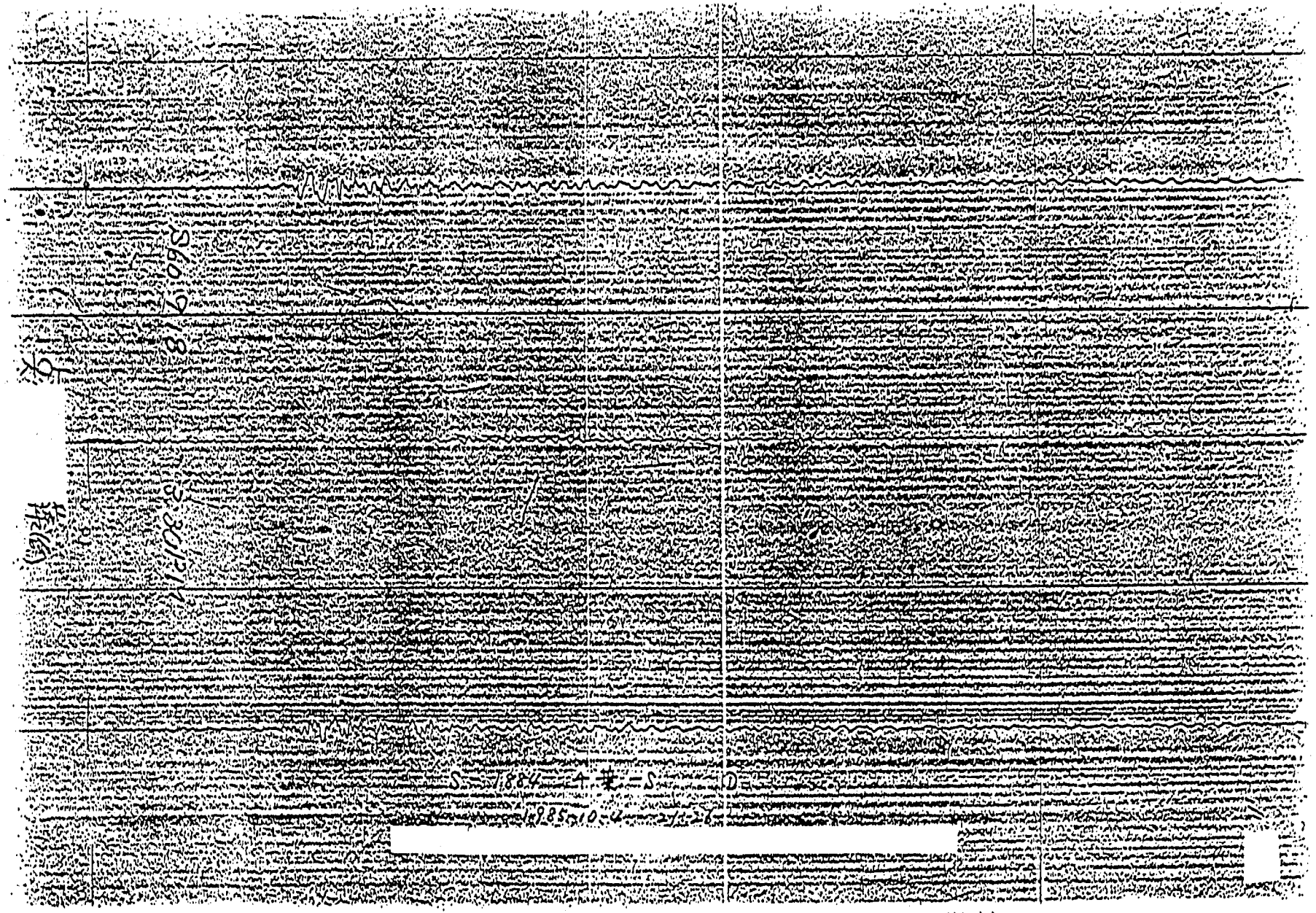
表－ 4.1　検討に用いた実地震波

波形名			各機関読取りデータ 有無	各機関読取りデータ データ内容	機械読取りデータ 有無	機械読取りデータ データ内容	今回の数値処理 有無	今回の数値処理 処理内容
港湾研記録	富山	N－S	○	0.1 ㎜ピッチのＹ座標値（㎜） 0.1 ㎜＝ 0.009938 秒	○	Ｘ軸，Ｙ軸共に不等間隔の座標値（㎜） 時間軸補正のため，タイムコードも同一座標系でディジタル化した	○	時間軸方向はタイムコード間隔を１秒として処理，Ｙ軸方向は１㎜＝ 12.5 gal として処理
		U－D	○		○		○	
		E－W	○		○		○	
	千葉	E－W	○	0.1 ㎜ピッチのＹ座標値（㎜） 0.1 ㎜＝ 0.0101619 秒	○		○	
		U－D	○		○		○	
		N－S	○		○		○	
地震研記録	墨東病院	N－S	○	0.02 秒ピッチの加速度値（gal）	○		○	時間軸方向はタイムコードを１秒で処理，Ｙ軸方向は　１㎜＝ 25 gal として処理
		U－D						
		E－W	○		○		○	
	油壺	N－S	○		○		○	
		U－D						
		E－W	○		○		○	
	習志野日大	E－W	○		○		○	時間軸方向はタイムコードを１秒で処理，Ｙ軸方向は１㎜＝ 12.5 gal として処理
		U－D						
		N－S	○		○		○	
土研記録	琵琶湖大橋		○	Ｘ軸，Ｙ軸共に不等間隔の座標値（㎜） タイムコードも同一座標系で立ち上がり部分を読取り	○		○	時間軸方向はタイムコードを１秒で処理，Ｙ軸方向は１㎜＝ 12.5 gal として処理。
	草加高架橋		○		○		○	
	観音崎		○		○		○	

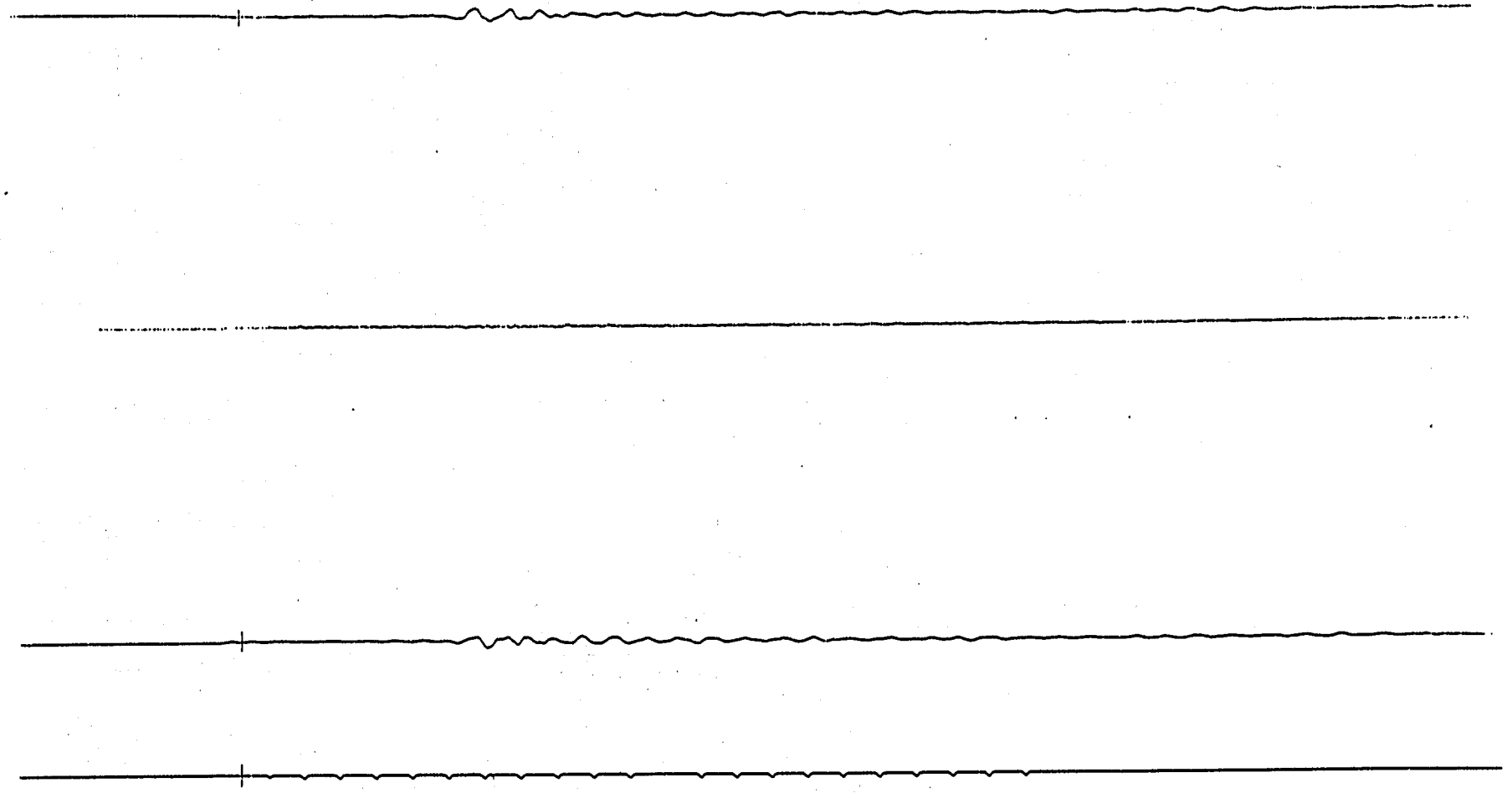
各機関読取りのデータと機械読取りのデータは，最大加速度発生時刻を同一時刻と仮定して時刻合わせを行った。また，円弧補正は実施せず読取り値のままで数値処理を行った。



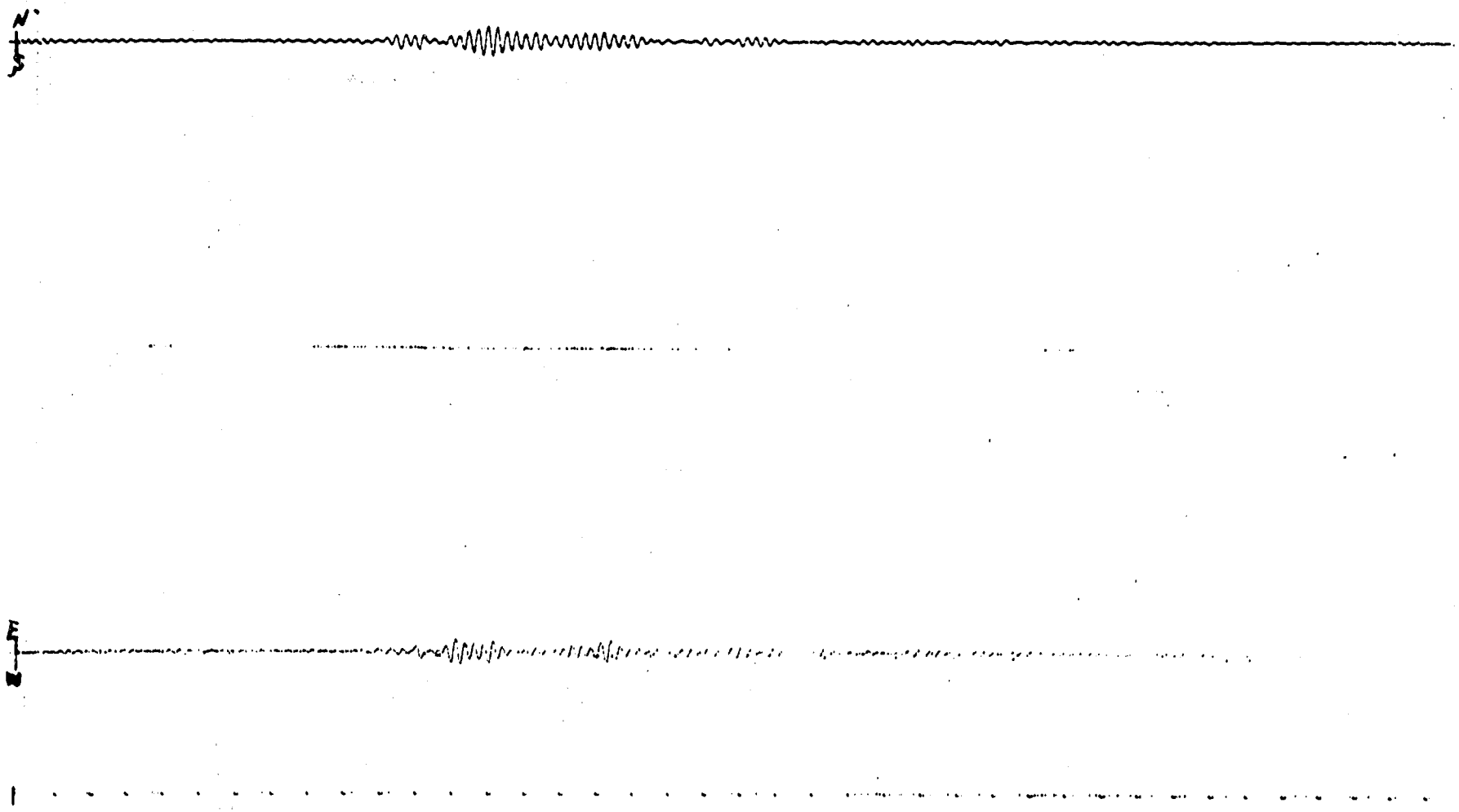
図－4.1 港湾研 富山記録（上からN－S，U－D，E－W：70％縮小）



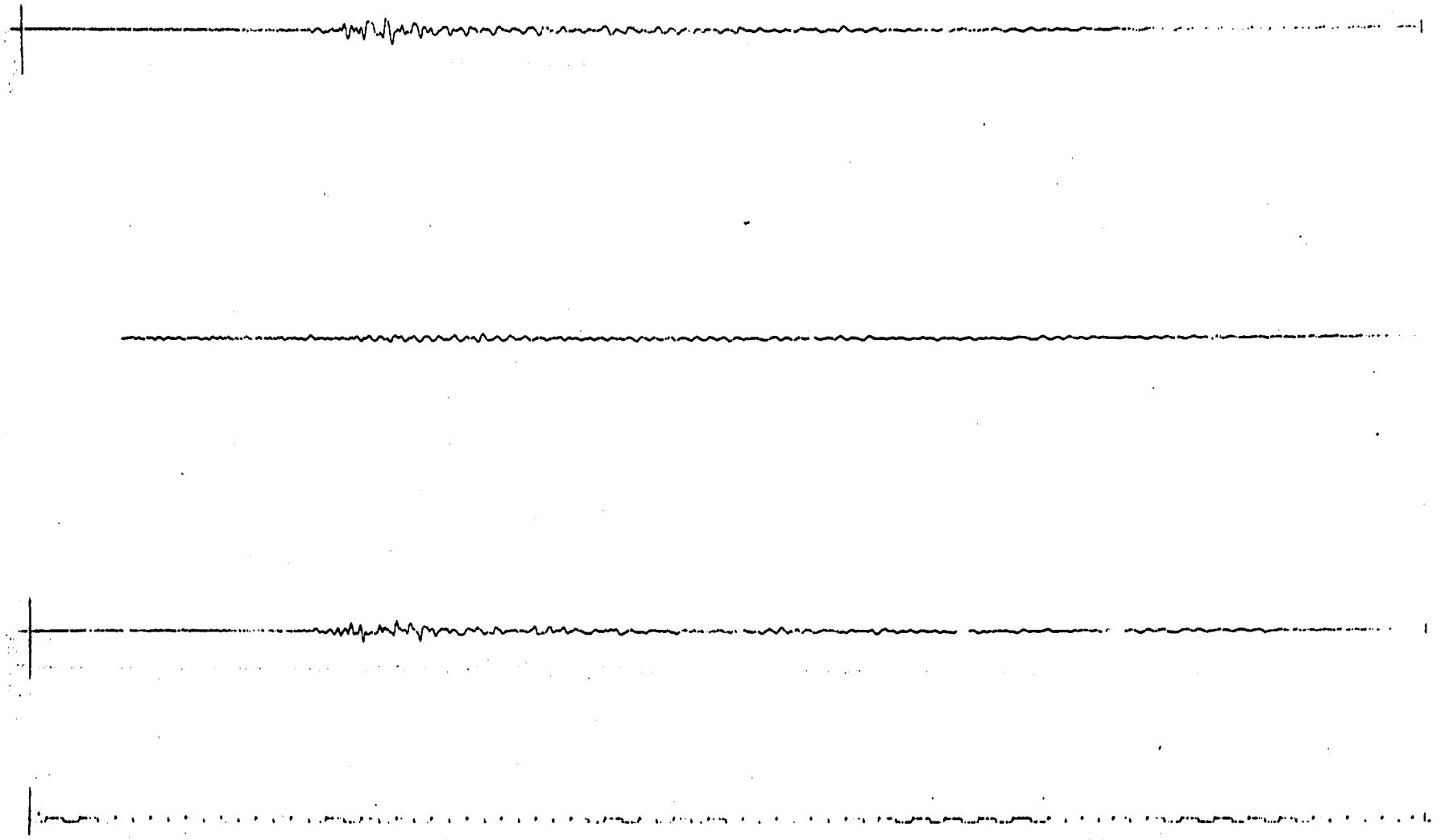
図－4.2　港湾研 千葉記録（上からE－W，U－D，N－S：70％縮小）



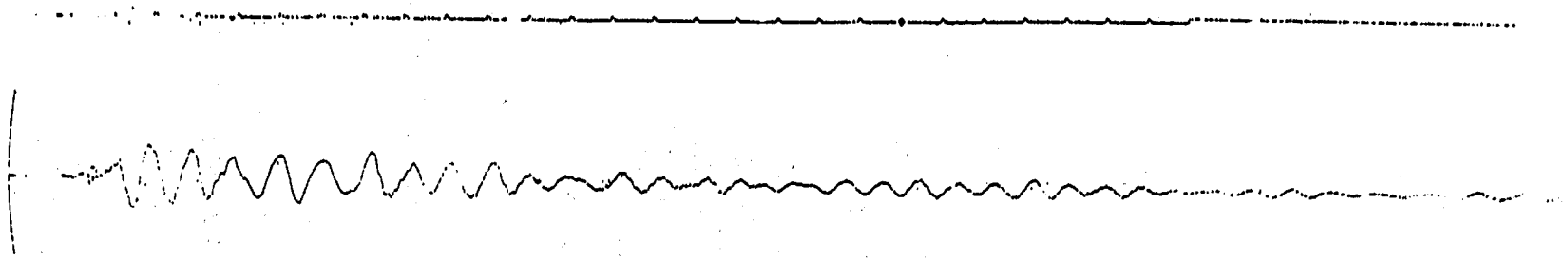
図－4.3　地震研 墨東病院記録（上からN－S，U－D，E－W：70％縮小）



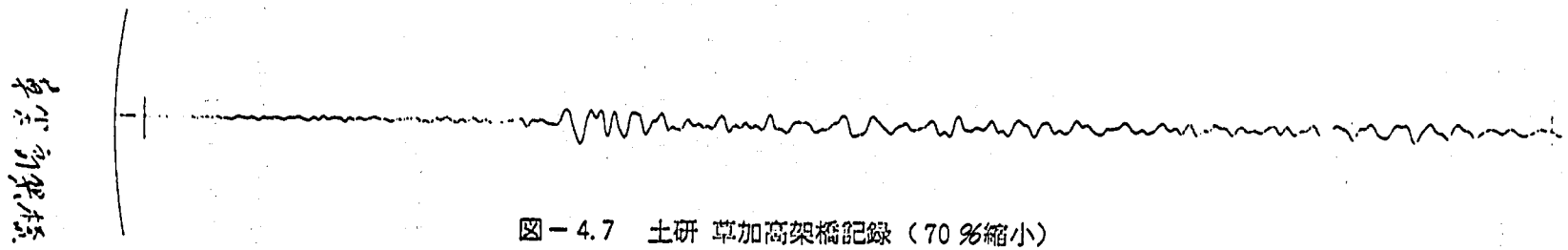
図－4.4　地震研 油壺記録（上からN－S，U－D，E－W：70％縮小）



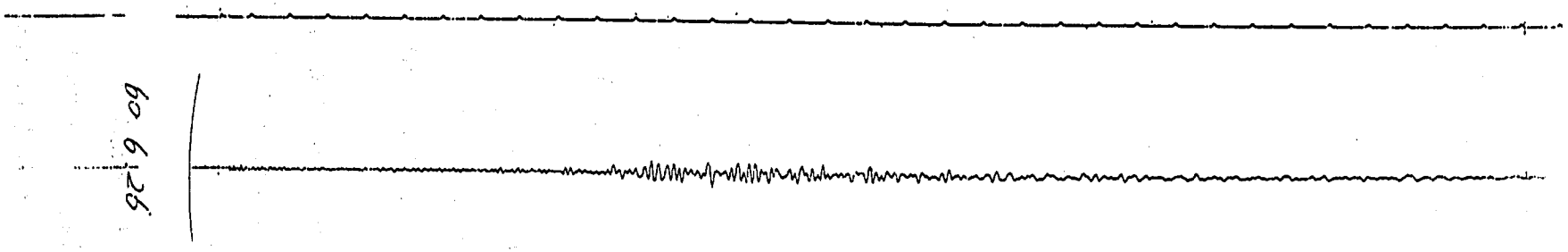
図－4.5　地震研 習志野記録（上からE－W，U－D，N－S：70％縮小）



図－4.6　土研 琵琶湖大橋記録（70 %縮小）



図－4.7　土研 草加高架橋記録（70 %縮小）



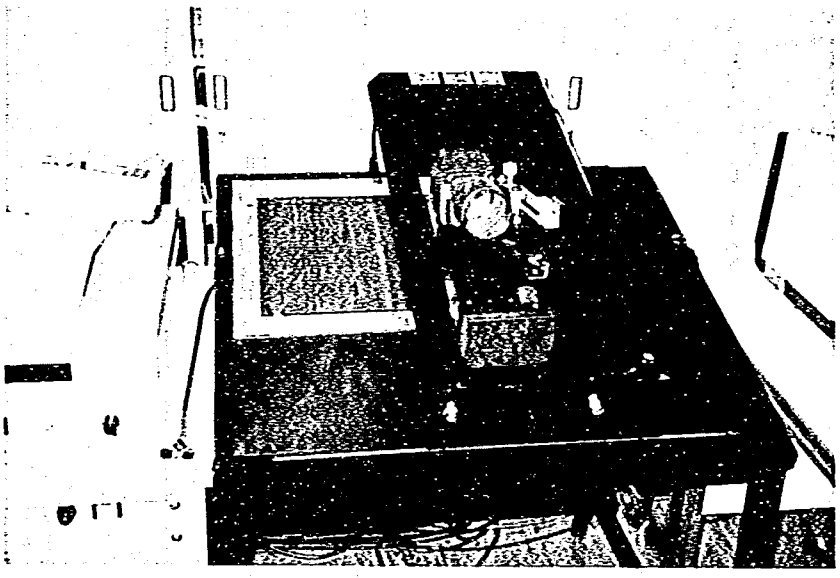
図－4.8　土研 観音崎記録（70 %縮小）

4.2　比較した各機関の数値化方法

(1) 運輸省港湾技術研究所

運輸省港湾技術研究所で実施しているSMAC−B_2型強震計記録の数値化は，専用のスマックリーダーと呼ばれる数値化装置を用いて行なわれる。写真−4.1にスマックリーダーを示す。

上下方向の移動は，ノブの回転により行なわれ，オペレータが拡大鏡のクロスマークを波形に合わせ，押しボタンを押すことにより記録される。また，同時に拡大鏡は右方向に0.1㎜送られる。この操作を繰り返すことにより，波形のトレースが行なわれる。また，各データの時間間隔がいくらであるかは，タイムデータの読み取り値の平均値として与えられる。



写真−4.1　運輸省港湾技術研究所のスマックリーダー

(2) 東京大学地震研究所

東京大学地震研究所で実施しているSMAC型強震計記録の数値化は，港湾技術研究所と同じくスマックリーダーを用いて行なわれている。

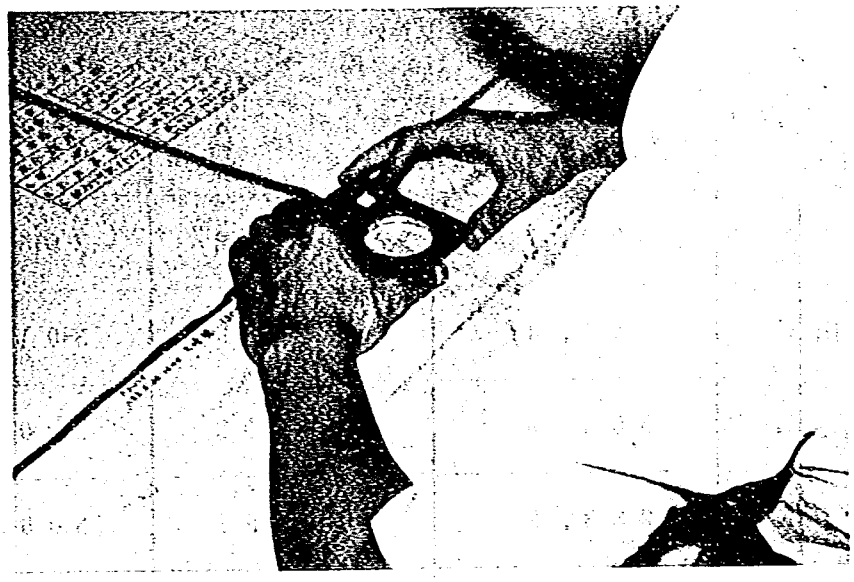
(3) 建設省土木研究所

建設省土木研究所で実施しているSMAC型強震計記録の数値化は，ディジタイザーを用いて波形及びタイムコードのX，Y座標を読み取ることにより行なっている。写真−4.2にディジタイザーによる読み取りを示す。

4.3　目視による比較

(1) 読取られたデータのサイズ

データのサイズとして，機械が読取ったデータの読取り長，最大・最小値，読取り点数を従来方式による値と比較して，表−4.2〜表−4.4に示す。



写真－4.2　建設省土木研究所のディジタイザーによる数値化

読取り長さにおいて，地震研の原データ（従来方式によるデータ）が機械による値に比べて約½となっているのは，原データが振巾の小さい重要でない部分を除いて数値化されているためである。また，データの読取り点数で港湾研の原データが機械による点数の2～3倍となっているのは，港湾研での数値化方式が1/100秒間隔で数値化されているためである。

(2) 原データとの重ね合せによる比較

原寸大での重ね合せでは差異が現れないため1秒5㎝，1gal 1㎜の拡大率で重ね書きを行った。波形の近似度は両機共にかなり良い結果を示しているがI機はA機に比べて多少なめらかさに欠ける傾向を示している。これは表－4.4に示した読取り点数からわかるようにI機はこれらの波形をA機の2～3倍の粗さで読取った為であり，I機は表－3.4に示す模擬地震波読取時に比べてベクトル化のパラメータを緩めて読めると判断したものと考えられる。

4.4　時間領域における比較

(1) 最大値の比較

表－4.3より各波形を画像処理装置で読取った場合の最大値はA機，I機共に各機関の従来方式による読取り値の94％～100％の範囲で読取られており，十分許容される精度であると考えられよう。

(2) 従来データとの相関係数

各波形に対して，全継続時間及び10秒の時間帯毎に各機関のデータと機械データの相関係数を求め表－4.5に示す。全継続時間での相関係数は，ほぼ95％以上の相関を示すが，富山E－W記録のA機87％及び油壷記録のI機79％が他に比してかなり低い相関係数を示している。

表－4.2　読取り長さの比較

(mm)

波形名＼読取り			機関	A機	I機
港湾研	富山	N－S	300.7	300.52	299.85
		U－D	301.4	301.58	301.26
		E－W	300.5	300.92	300.25
	千葉	E－W	288.9	300.91	300.60
		U－D	289.1	301.17	300.60
		N－S	289.5	301.73	301.15
地震研	墨東	N－S	204.6	471.38	471.60
		E－W	204.6	471.65	472.00
	油壺	N－S	204.6	494.29	495.40
		E－W	204.6	493.64	494.65
	習志野	E－W	204.6	401.20	401.90
		N－S	204.6	399.91	400.45
土研	琵琶湖大橋		916.5	320.7	339.6
	草加高架橋		908.2	358.5	360.5
	観音崎		724.8	351.1	358.4

表－4.3　最大値・最小値の比較

(mm)

波形名＼読取り			機関	A機	I機
港湾研	富山	N－S	4.51 8.05 －3.54	4.48 8.02 －3.54 [0.996]	4.51 8.09 －3.58 [1.005]
		U－D	0.63 1.56 －0.93	0.62 1.47 －0.85 [0.942]	0.63 1.48 －0.85 [0.949]
		E－W	3.87 7.83 －3.96	4.02 7.80 －3.78 [0.996]	3.99 7.79 －3.80 [0.995]
	千葉	E－W	4.67 9.48 －4.81	4.56 9.39 －4.83 [0.991]	4.64 9.37 －4.73 [0.988]
		U－D	1.04 2.16 －1.12	1.01 2.15 －1.14 [0.995]	1.11 2.15 －1.04 [0.995]
		N－S	4.09 8.29 －4.20	4.00 8.30 －4.30 [1.001]	3.99 8.28 －4.29 [0.999]
地震研	墨東	N－S	(46.35) 3.29 (－35.79)	1.95 3.40 －1.45 [1.033]	1.91 3.34 －1.43 [1.015]
		E－W	(30.29) 3.17 (－48.92)	1.26 3.12 －1.86 [0.984]	1.29 3.14 －1.85 [0.991]
	油壺	N－S	(101.67) 8.27 (－105.17)	4.02 8.23 －4.21 [0.995]	4.08 8.30 －4.22 [1.004]
		E－W	(87.37) 6.96 (－86.57)	3.44 6.93 －3.49 [0.996]	3.48 6.86 －3.38 [0.986]
	習志野	E－W	(55.16) 8.39 (－49.67)	4.40 8.39 －3.99 [1.000]	4.38 8.40 －4.02 [1.001]
		N－S	(36.80) 6.30 (－41.92)	2.91 6.19 －3.28 [0.983]	2.92 6.20 －3.28 [0.984]
土研	琵琶湖大橋		7.89 15.70 －7.81	7.69 15.56 －7.87 [0.991]	7.82 15.62 －7.80 [0.995]
	草加高架橋		3.25 8.31 －5.06	3.27 8.19 －4.92 [0.986]	3.35 8.24 －4.89 [0.992]
	観音崎		3.19 6.80 －3.61	2.95 6.60 －3.65 [0.971]	3.15 6.64 －3.49 [0.976]

最大値
最大値－最小値
最小値

地震研の（　）内はgal
墨東，油壺　25gal=1mm
習志野　12.5gal=1mm

[　]内は機械データ／機関データ

表－4.4　読取り点数の比較

(点)

波形名＼読取り			機関	A・機	I 機
港湾研	富山	N－S	3008	1100	480
		U－D	3015	926	367
		E－W	3006	933	407
	千葉	E－W	2890	1443	798
		U－D	2892	1197	630
		N－S	2896	1572	867
地震研	墨東	N－S	1024	1422	425
		E－W	1024	929	383
	油壺	N－S	1024	1873	1189
		E－W	1024	1688	1343
	習志野	E－W	1024	1460	937
		N－S	1024	1291	884
土研	琵琶湖大橋		2491	1957	1172
	草加高架橋		2742	1691	931
	観音崎		2039	2371	1640

注）機関とメーカーの読取り長さは異なる。

表－4.5　時間帯毎の相関係数

波形名			比較 ＼ 時間帯(秒)	0～10	10～20	20～30	30～40	全時間	対象時間
港湾研	富山	N－S	A機－機関	0.998	0.993	0.963		0.996	29.97
			I機－機関	0.988	0.985	0.968		0.987	
		U－D	A機－機関	0.975	0.973	0.882		0.963	30.00
			I機－機関	0.982	0.984	0.920		0.973	
		E－W	A機－機関	0.892	0.809	0.743		0.866	30.00
			I機－機関	0.954	0.930	0.913		0.945	
	千葉	E－W	A機－機関	0.994	0.993	0.982		0.993	28.87
			I機－機関	0.996	0.995	0.978		0.995	
		U－D	A機－機関	0.924	0.977	0.948		0.956	28.88
			I機－機関	0.933	0.971	0.918		0.947	
		N－S	A機－機関	0.992	0.995	0.992		0.993	28.91
			I機－機関	0.993	0.993	0.988		0.992	
地震研	墨東	N－S	A機－機関	0.968	0.983	0.994		0.969	20.45
			I機－機関	0.998	0.990	0.989		0.993	
		E－W	A機－機関	0.975	0.933	0.882		0.966	20.45
			I機－機関	0.997	0.992	0.970		0.996	
	油壺	N－S	A機－機関	0.963	0.978	0.993		0.965	20.45
			I機－機関	0.782	0.830	0.952		0.789	
		E－W	A機－機関	0.997	0.993	0.995		0.996	20.45
			I機－機関	0.996	0.996	0.996		0.996	
	習志野	E－W	A機－機関	0.960	0.959	0.924		0.960	20.45
			I機－機関	0.950	0.983	0.969		0.955	
		N－S	A機－機関	0.886	0.977	0.943		0.903	20.45
			I機－機関	0.992	0.988	0.977		0.989	
土研	琵琶湖大橋		A機－機関	0.998	0.969	0.919	0.854	0.990	31.92
			I機－機関	0.999	0.998	0.996	0.979	0.999	
	草加高架橋		A機－機関	0.972	0.991	0.968	0.966	0.975	34.10
			I機－機関	0.963	0.997	0.986	0.987	0.984	
	観音崎		A機－機関	0.939	0.993	0.992	0.994	0.989	33.62
			I機－機関	0.822	0.977	0.992	0.992	0.968	

4.5　加速度応答スペクトルの比較

各機関での従来方式によるデータと機械で読取った波形の応答スペクトルを算出した。これらの結果を各機関毎に以下の図に示す。

港湾研　　図－4. 9～図－4. 14

地震研　　図－4. 15～図－4. 20

土　研　　図－4. 21～図－4. 23

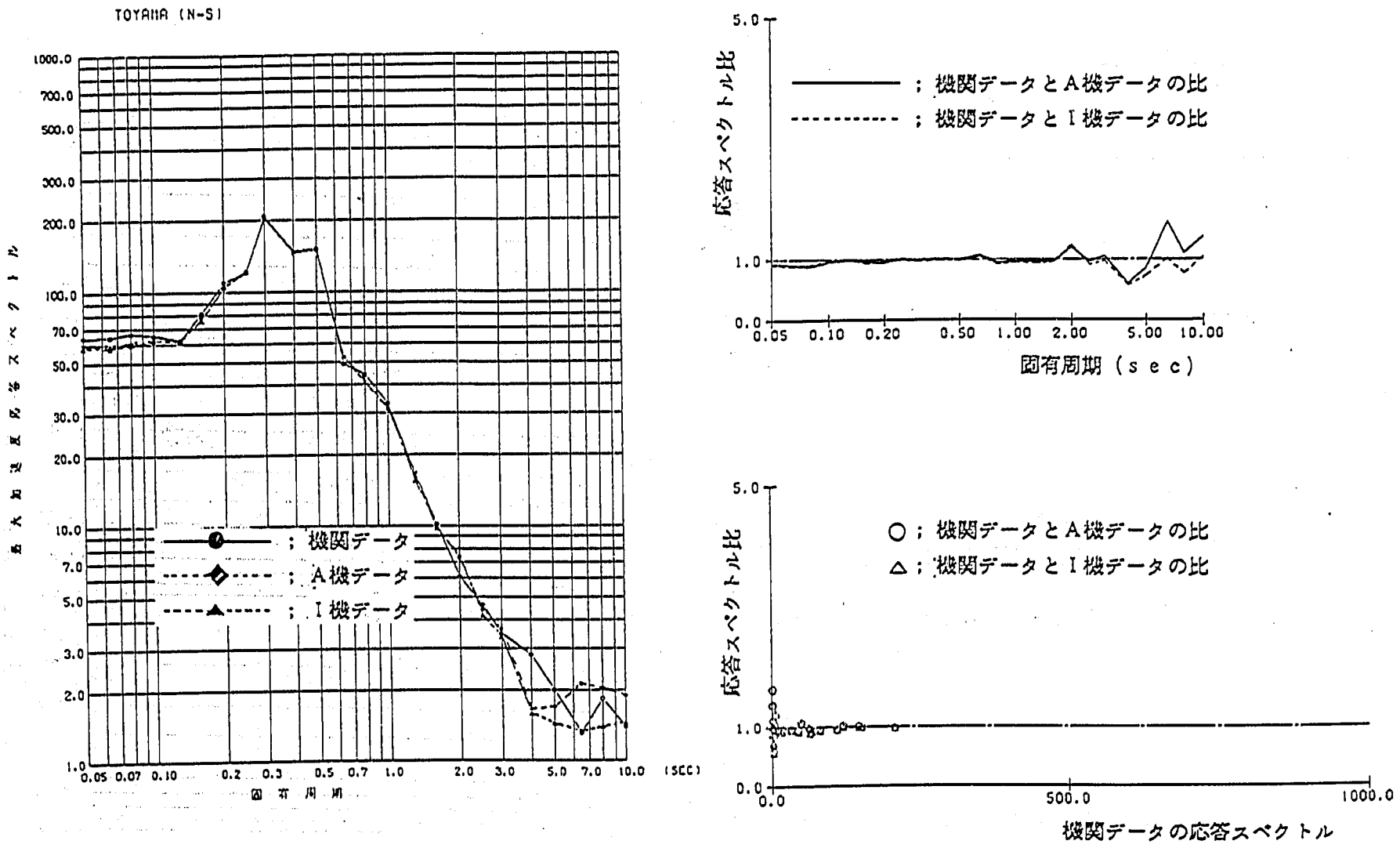
これらの図には，従来方式によるデータと各機関によるデータの応答スペクトル比も併記した。

また従来方式と機械による応答スペクトルの偏差率を算出し，各機関毎にまとめて図－4.24～図－4.26に示す。これらの偏差率は，3－5，3)に示した模擬波の場合と同様の定義である。

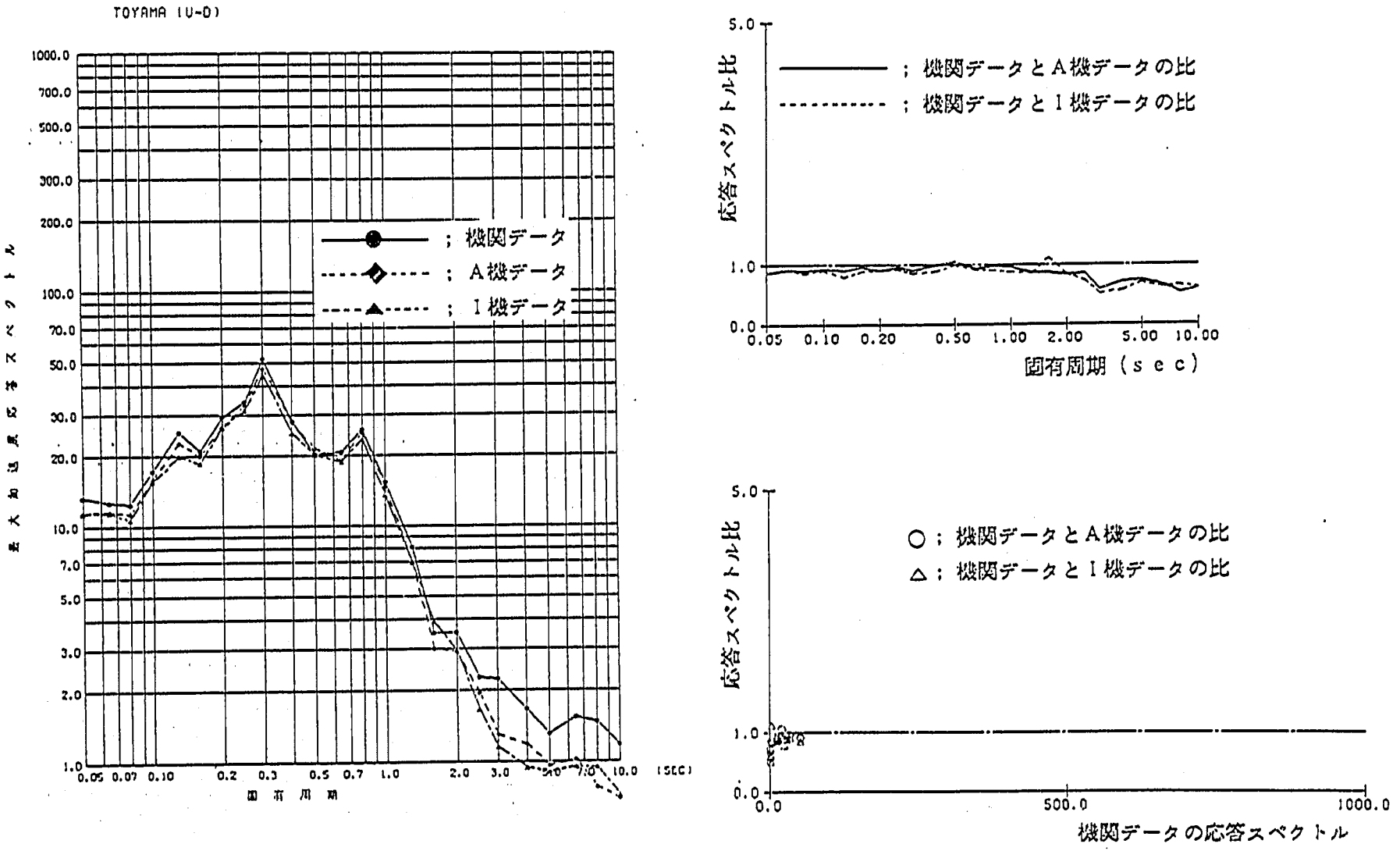
この偏差率を機関毎に対象とした全波形で平均した値が表－4.6でありこれらを図示したものが図－4.27である。

図－4.27より，各機関毎に次の特徴がある。

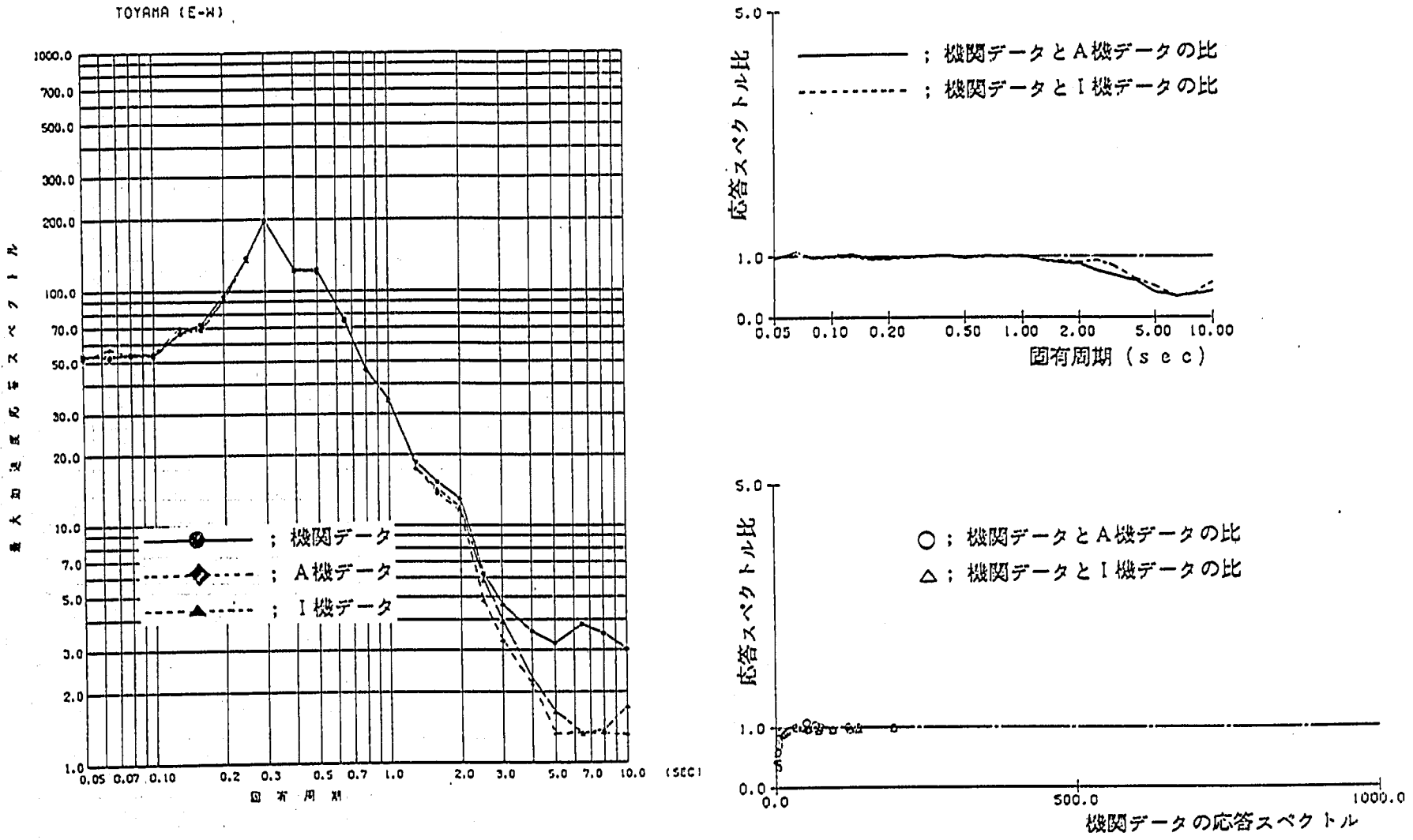
- 港湾研では，1.0秒以下の周期域が両機ともに良好な偏差率を示すが1.0秒以上では両機共に偏差が大きい。
- 地震研では，1.3秒以下の周期域において両機とも非常に良い偏差率を示す。1.3秒より長周期域では両機ともに急激に偏差を増す傾向にあるがA機の方がより顕著にこの傾向を示す。
- 土研では，1.3秒以下の周期域が両機ともに良好な偏差率を示すが1.3秒以上では両機共に偏差が大きい。



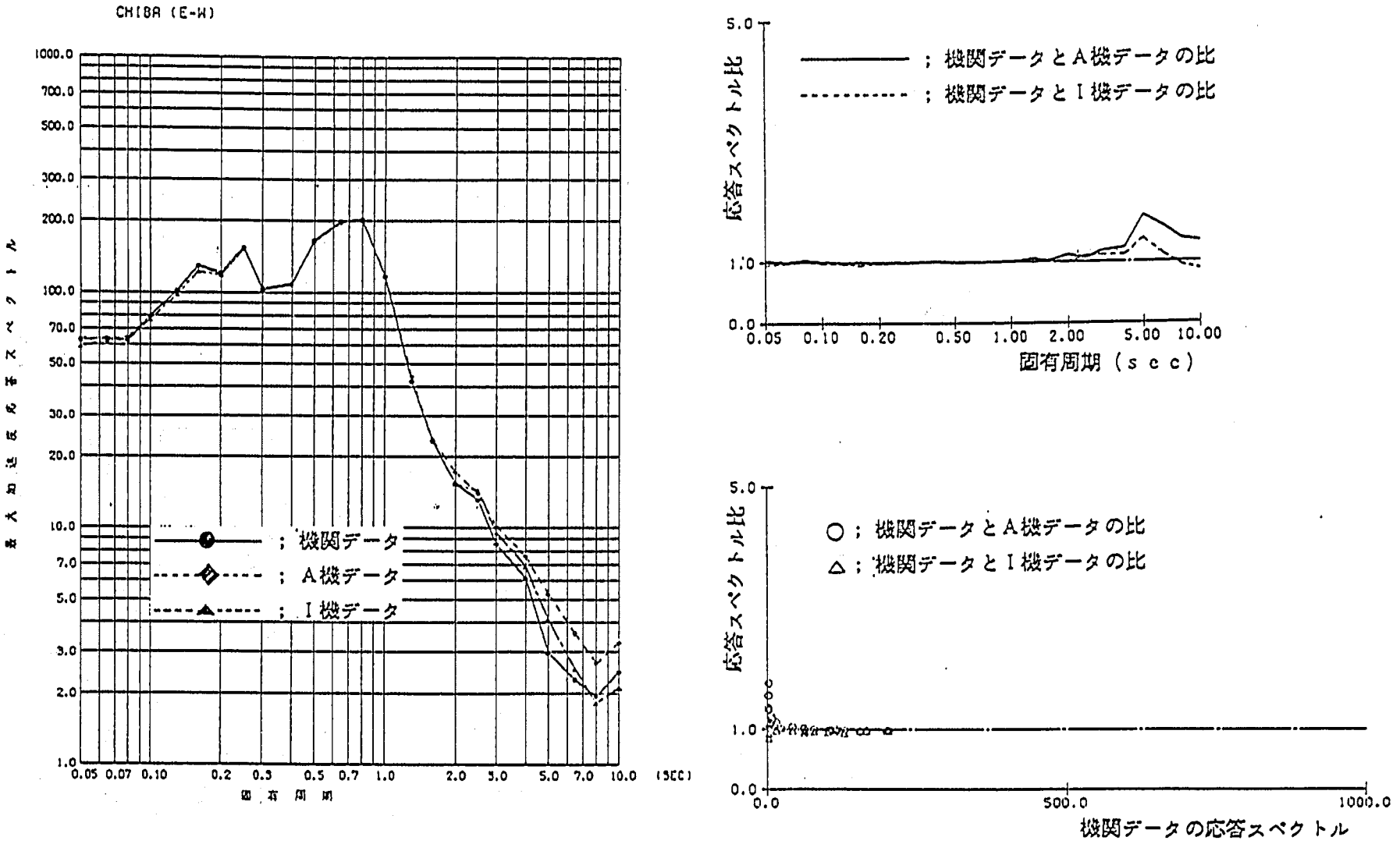
図－4.9　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：港湾研　富山N－S記録



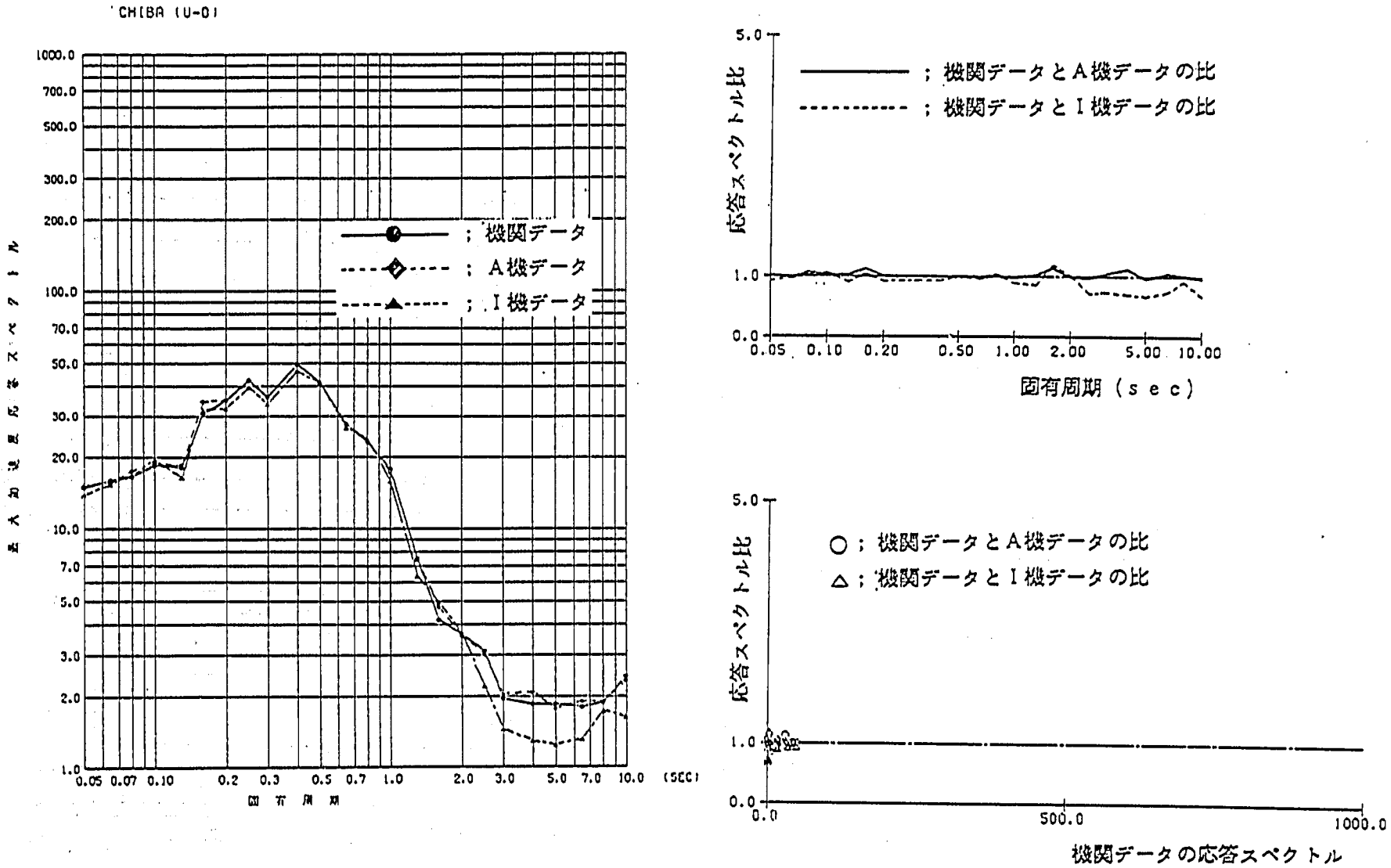
図－4.10　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：港湾研　富山U－D記録



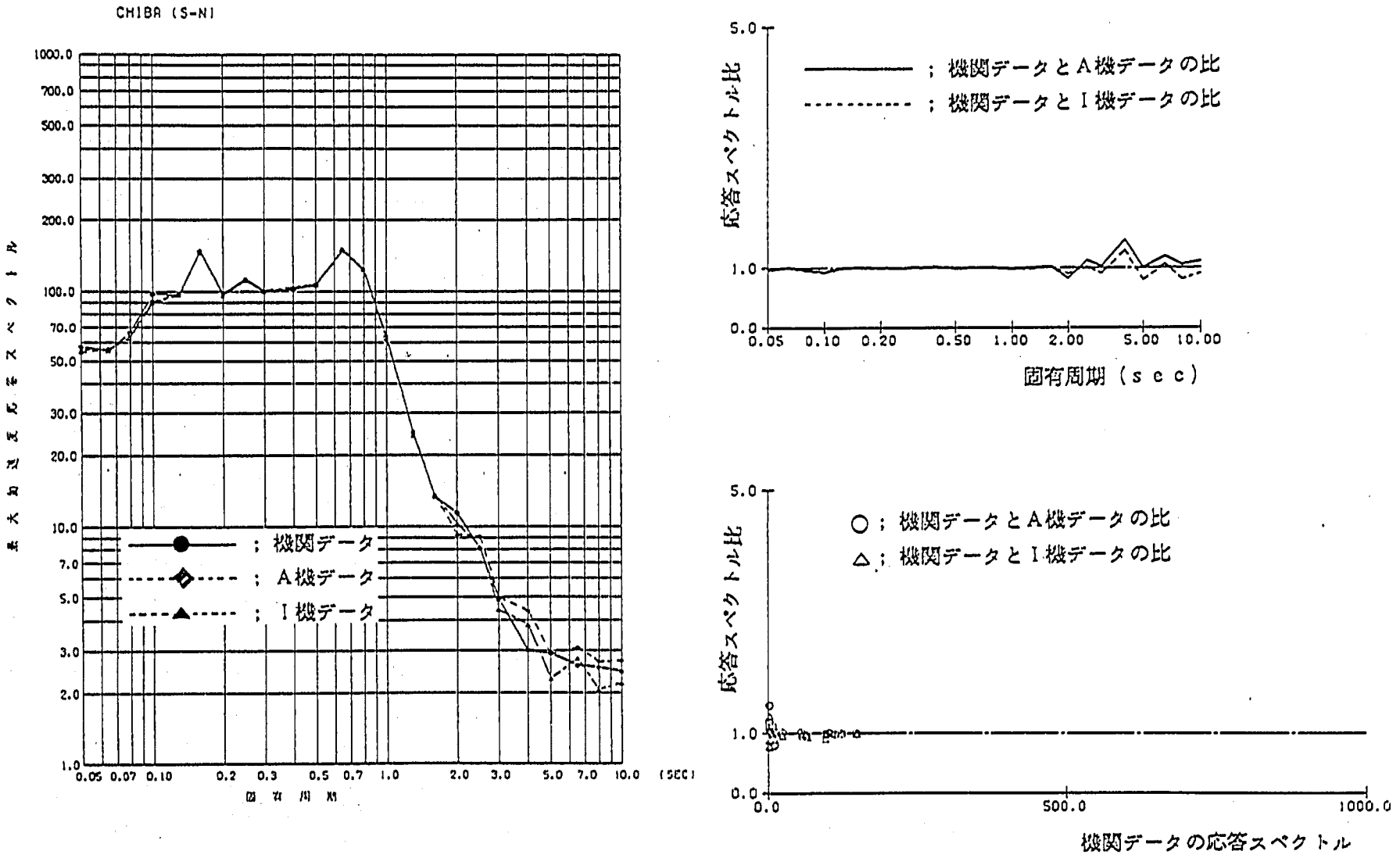
図－4.11　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：港湾研　富山E－W記録



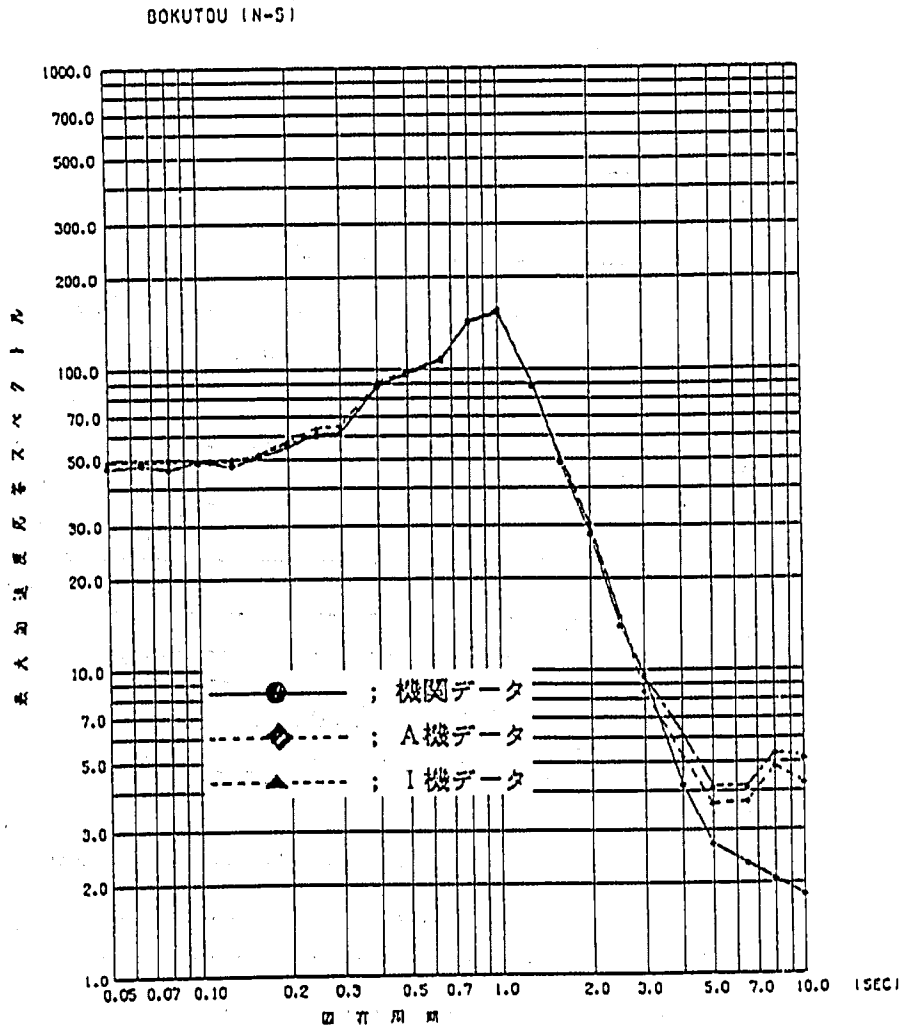
図－4.12　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：港湾研　千葉E－W記録

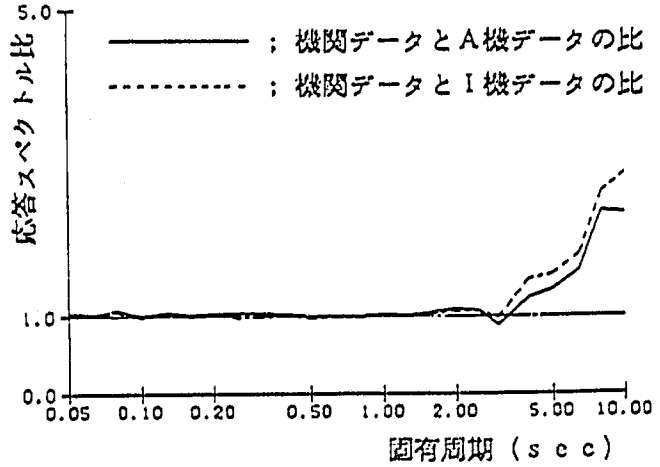


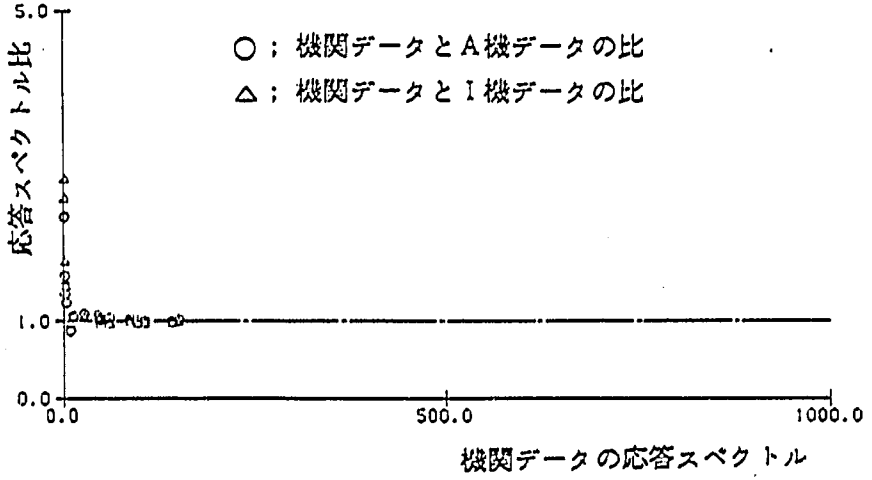
図－4.13　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：港湾研　千葉U－D記録



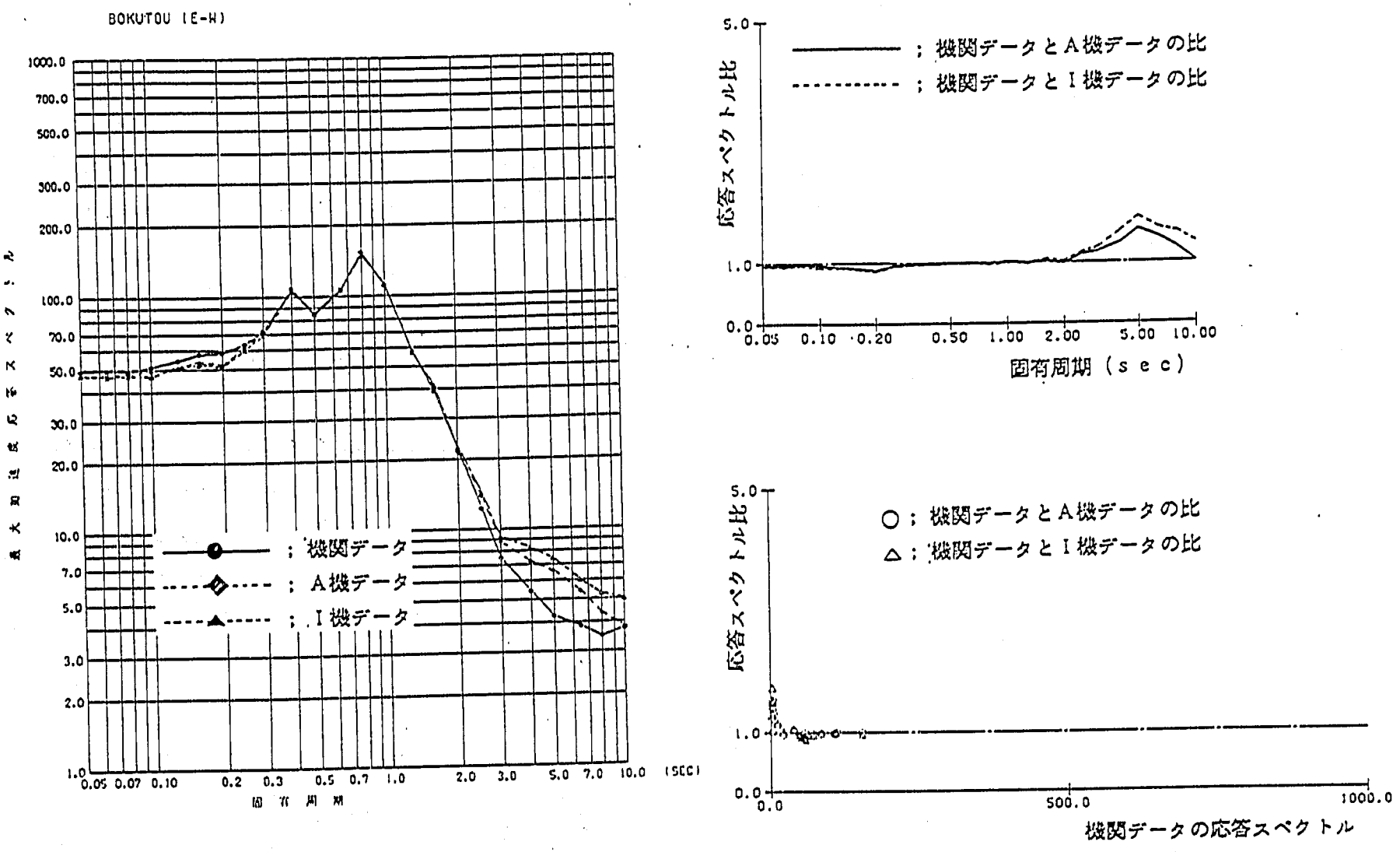
図－4.14　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：港湾研　千葉N－S記録



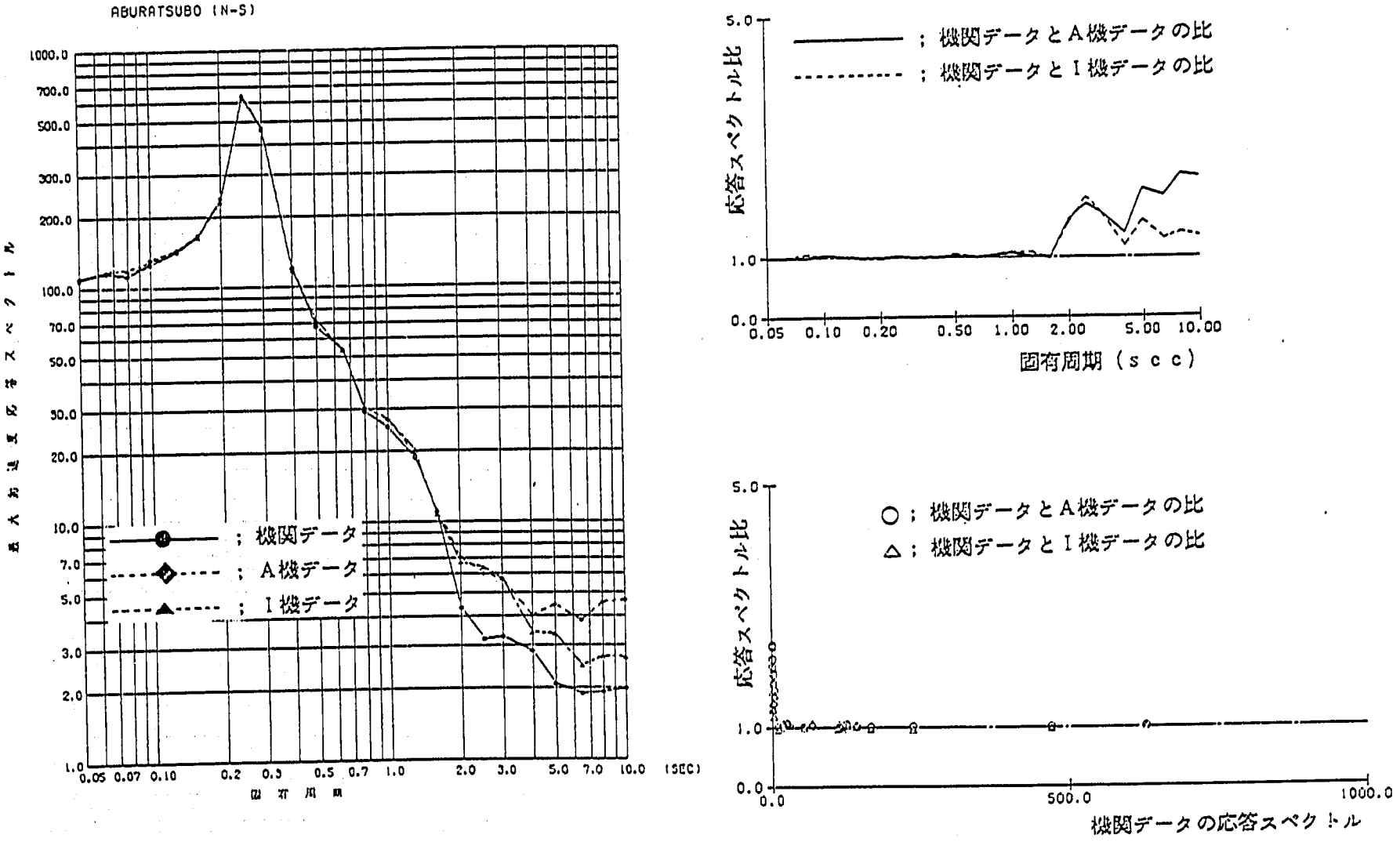




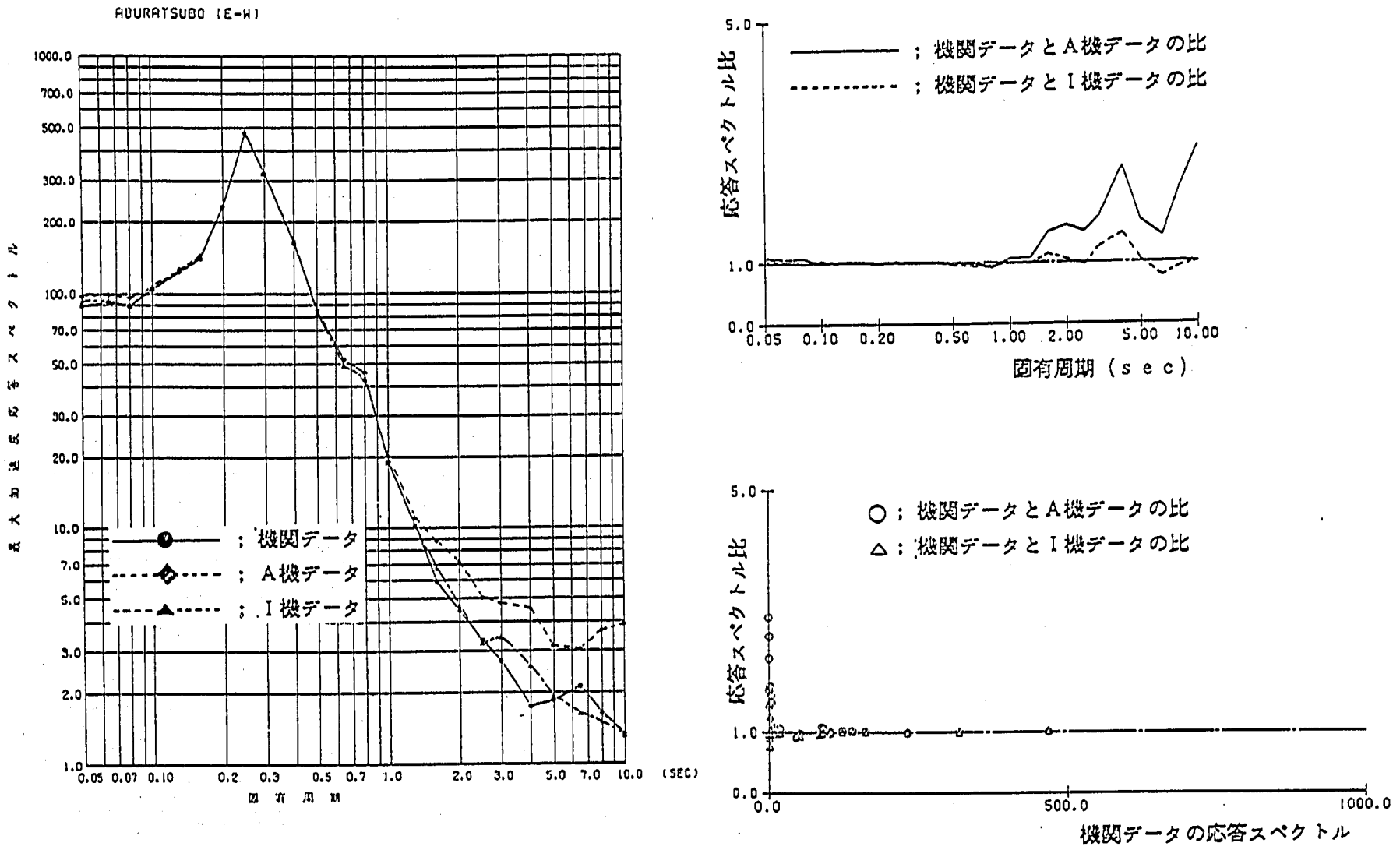
図－4.15　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：地震研　墨東病院N－S記録



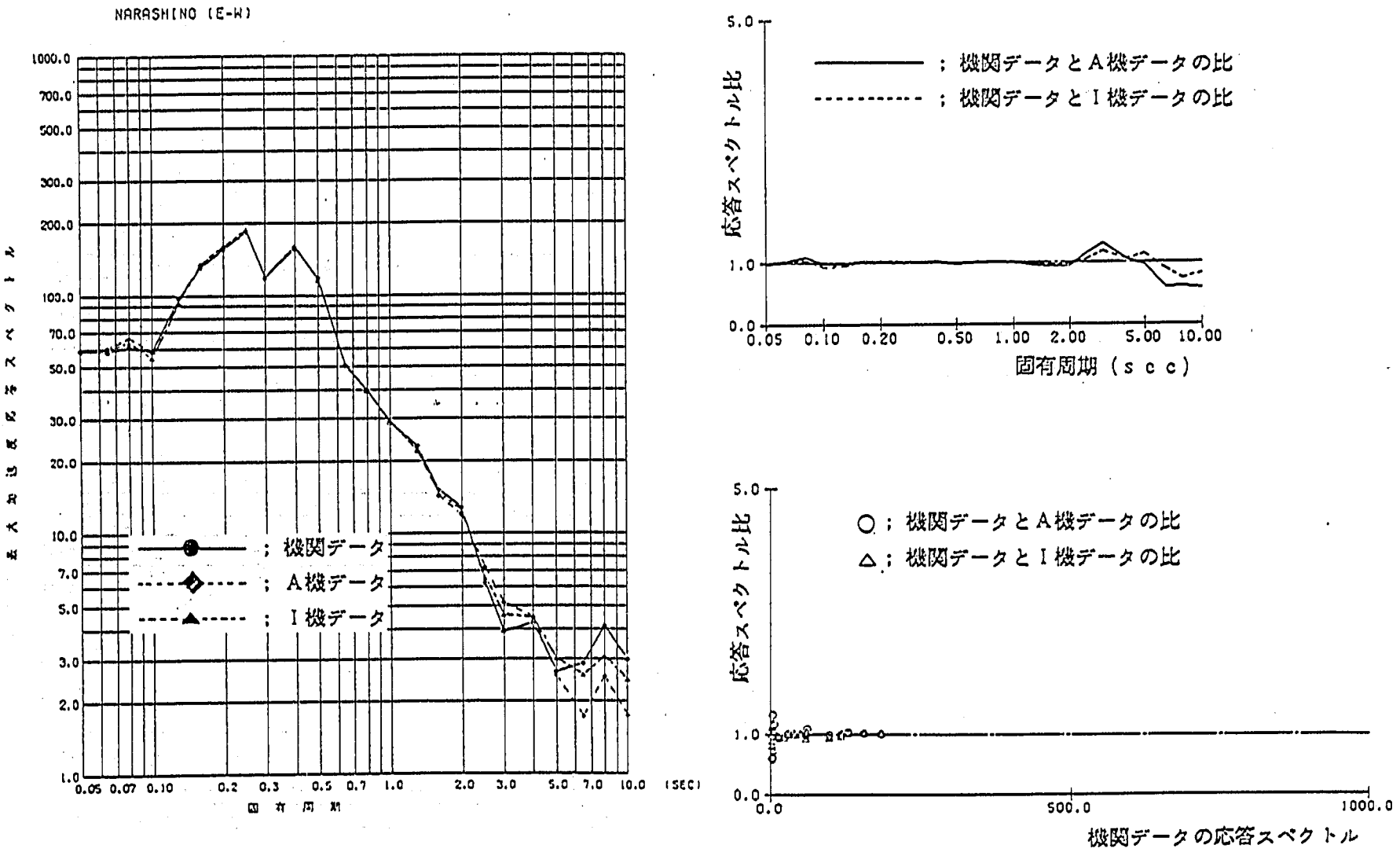
図－4.16　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：地震研　墨東病院E－W記録



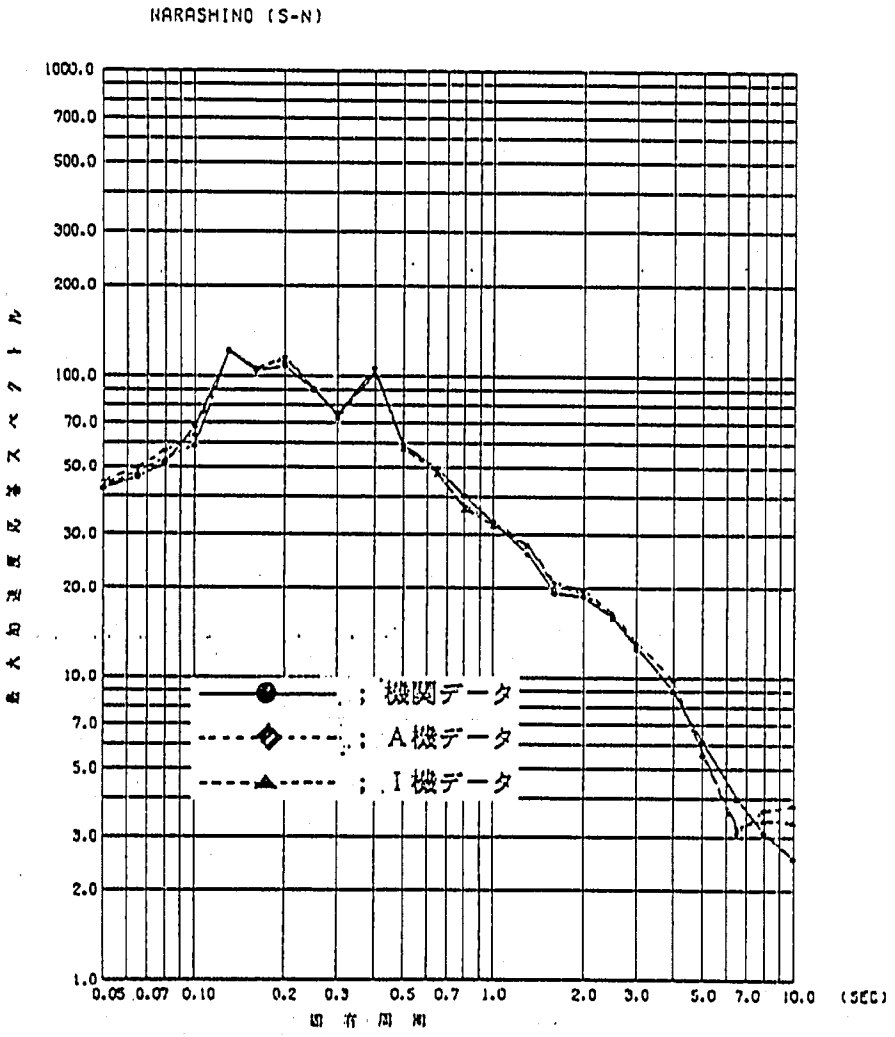
図－4.17　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：地震研　油壺N－S記録

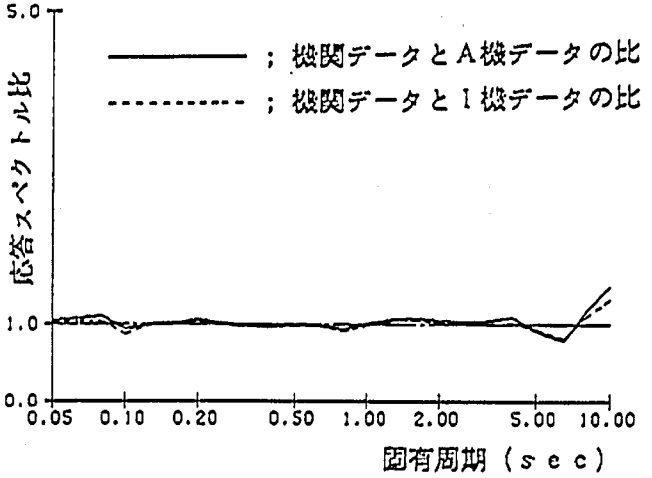


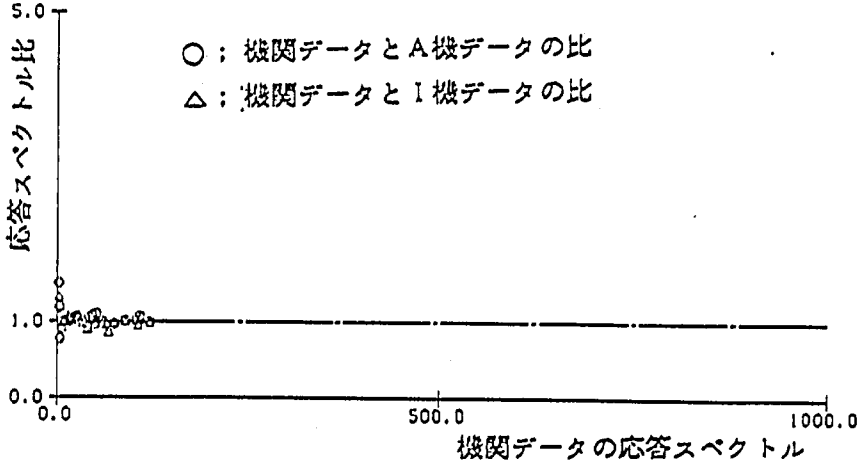
図－4.18　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：地震研　油壺E－W記録



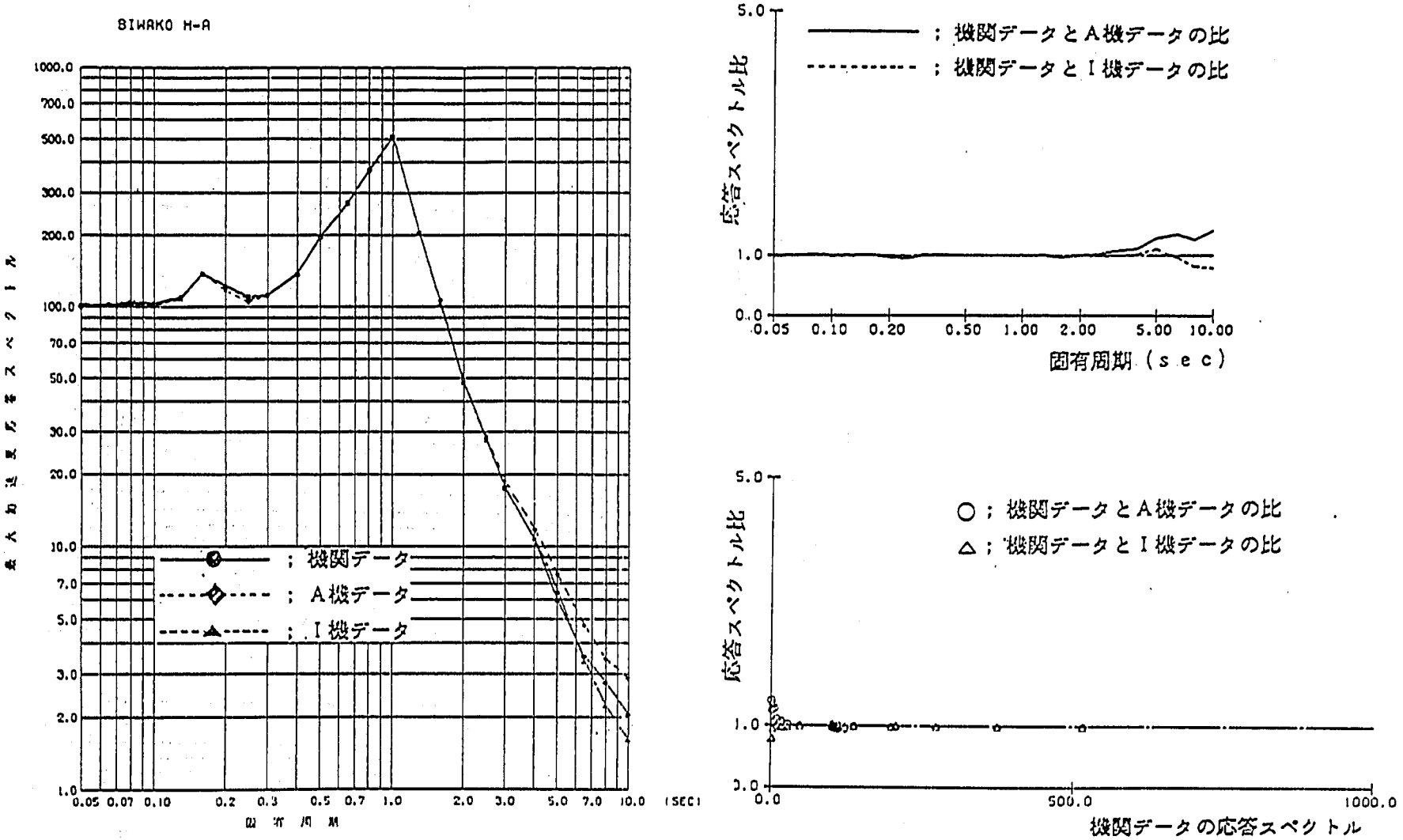
図－4.19　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：地震研　習志野E－W記録



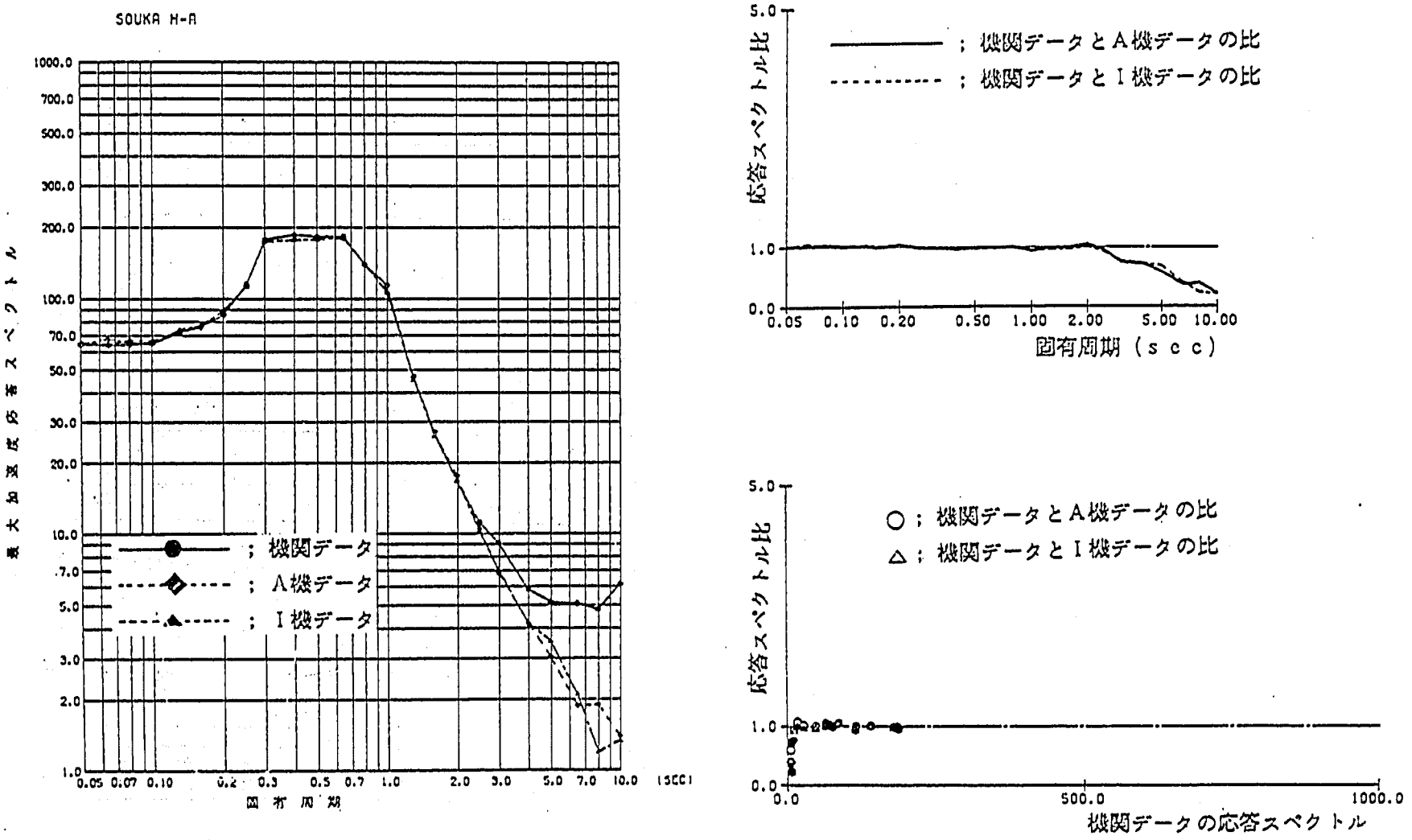




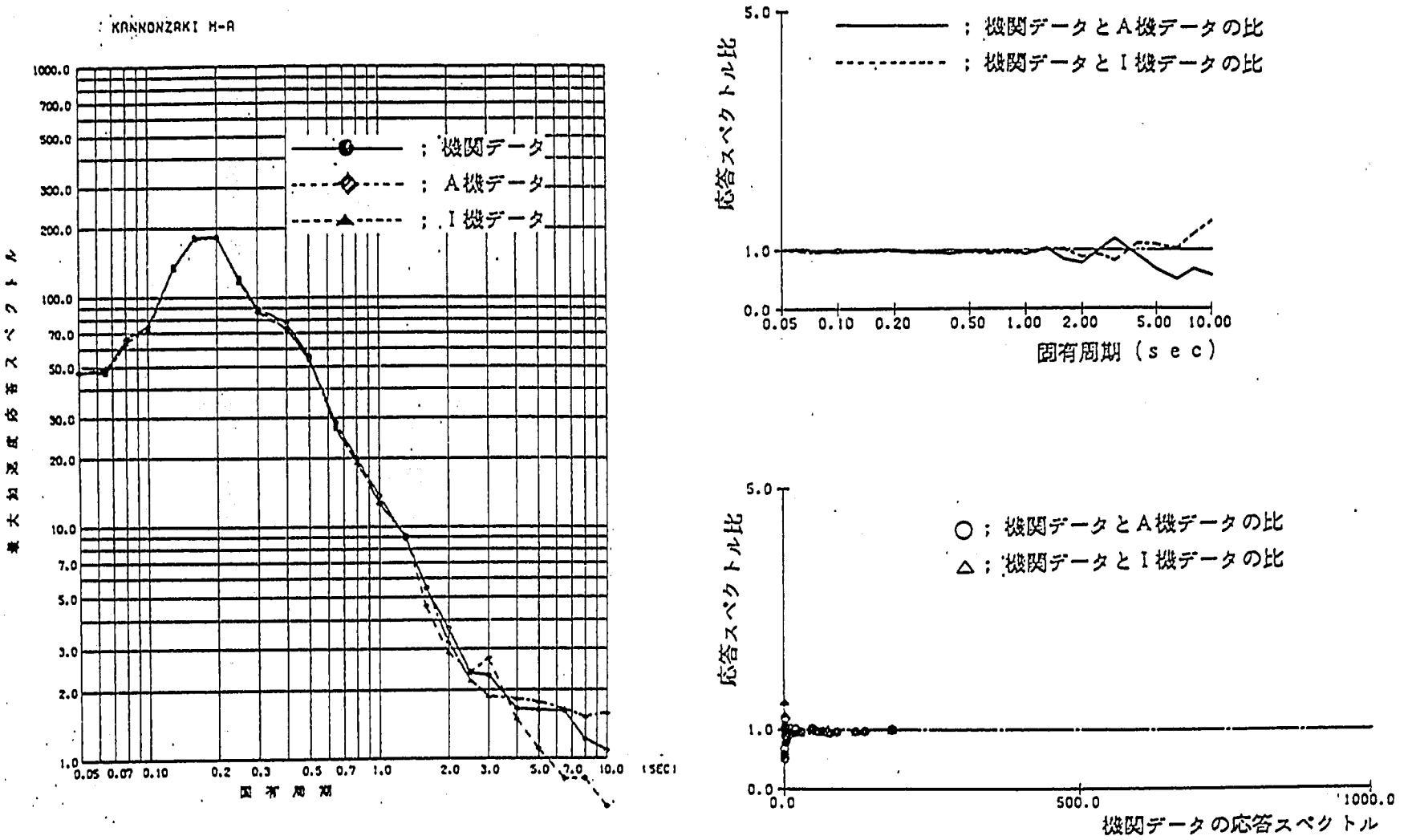
図－4.20　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：地震研　習志野N－S記録



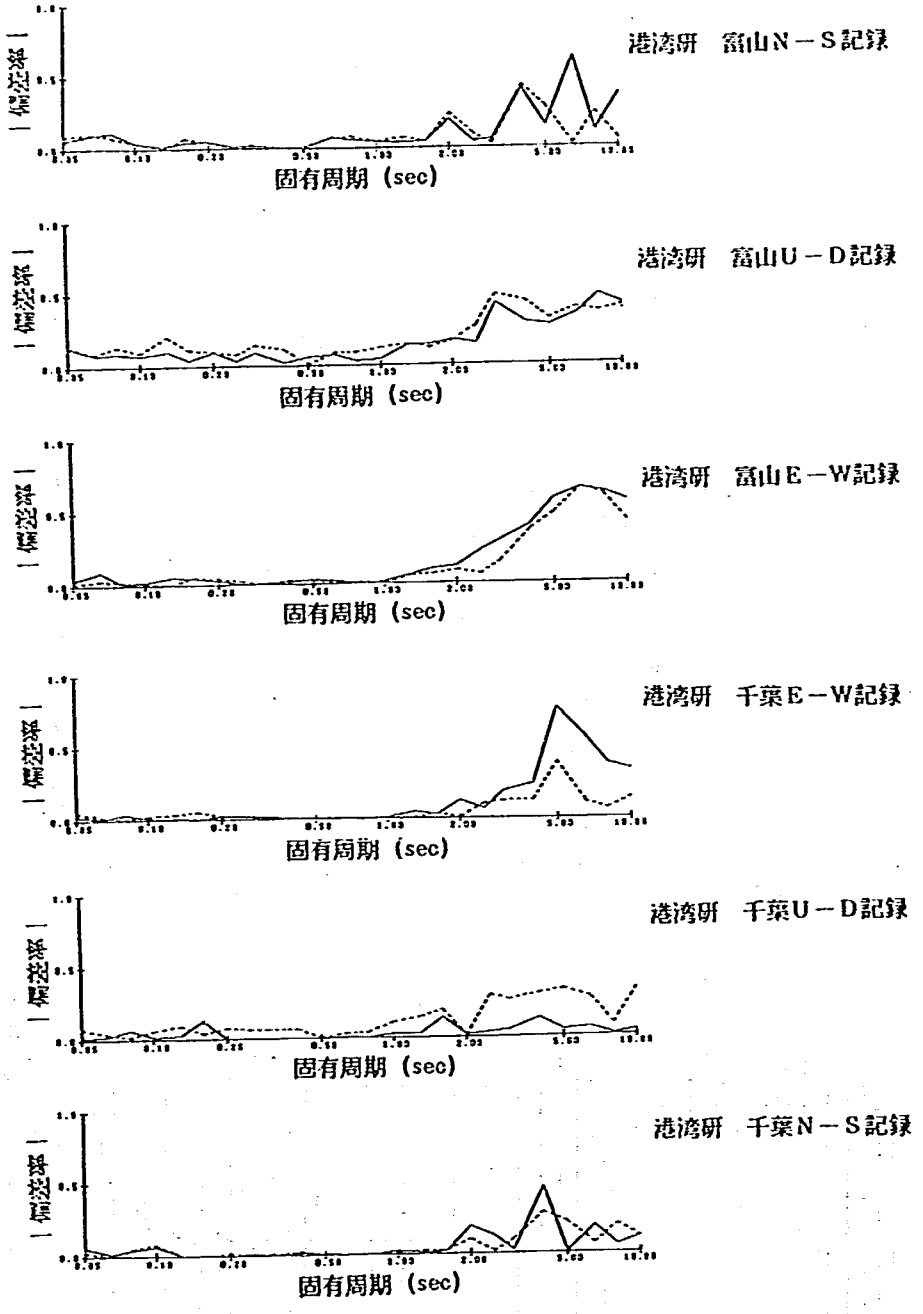
図－4.21　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：土研　琵琶湖大橋記録



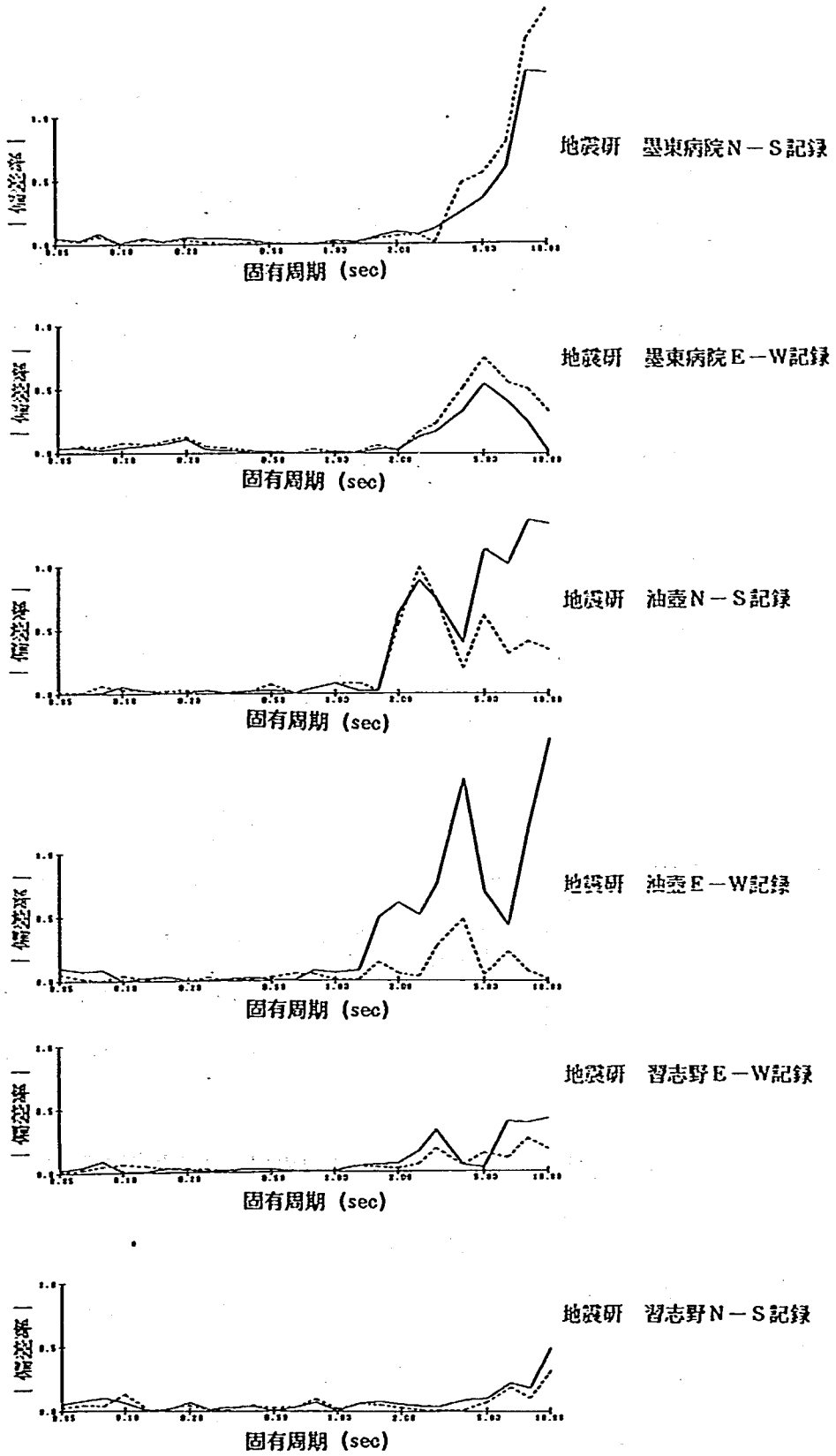
図－4.22　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：土研　草加高架橋記録



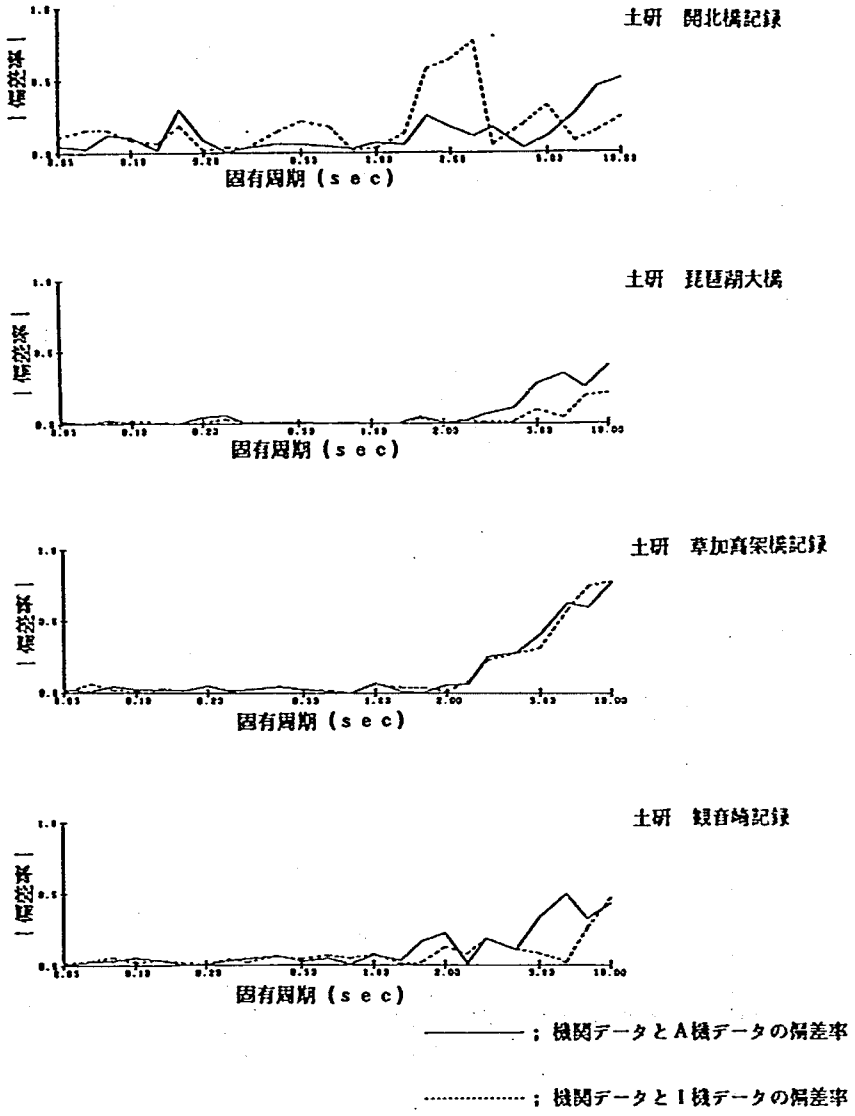
図－4.23　加速度応答スペクトルと応答スペクトルの比：土研　観音崎記録



図－4.24　従来方式と機械読取りの偏差率（港湾技術研究所）



図－4.25　従来方式と機械読取りの偏差率（地震研究所）



図－4.26　従来方式と機械読取りの偏差率（土木研究所）

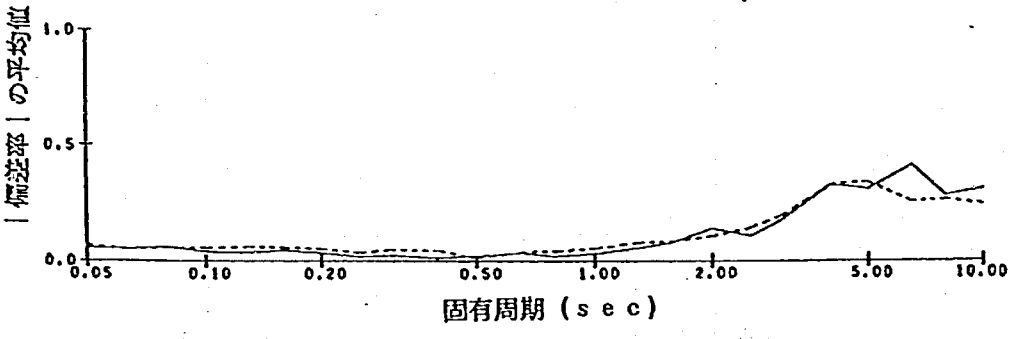
表－4.6　各機関における偏差率の平均値

機関 / 周期	港湾研究所		地震研究所		土木研究所	
	A 機	I 機	A 機	I 機	A 機	I 機
0.050	0.054	0.064	0.043	0.030	0.020	0.034
0.065	0.051	0.047	0.045	0.028	0.015	0.062
0.080	0.059	0.052	0.064	0.042	0.054	0.059
0.100	0.036	0.052	0.029	0.058	0.044	0.031
0.130	0.033	0.057	0.028	0.032	0.016	0.034
0.160	0.043	0.054	0.030	0.035	0.079	0.054
0.200	0.032	0.048	0.043	0.045	0.043	0.018
0.250	0.015	0.031	0.023	0.025	0.024	0.031
0.300	0.021	0.044	0.021	0.015	0.024	0.019
0.400	0.011	0.041	0.025	0.022	0.043	0.063
0.500	0.018	0.008	0.014	0.027	0.029	0.072
0.650	0.031	0.033	0.011	0.019	0.025	0.064
0.800	0.016	0.038	0.035	0.039	0.010	0.017
1.000	0.026	0.048	0.032	0.022	0.050	0.040
1.300	0.052	0.073	0.038	0.036	0.023	0.045
1.600	0.076	0.078	0.124	0.059	0.114	0.164
2.000	0.134	0.099	0.247	0.124	0.113	0.193
2.500	0.104	0.136	0.301	0.222	0.049	0.236
3.000	0.169	0.186	0.359	0.242	0.166	0.118
4.000	0.320	0.321	0.452	0.289	0.129	0.147
5.000	0.302	0.332	0.477	0.361	0.281	0.201
6.500	0.404	0.248	0.513	0.365	0.433	0.179
8.000	0.274	0.256	0.796	0.495	0.406	0.335
10.000	0.303	0.238	0.919	0.507	0.529	0.425

・港湾研究所は富山，千葉の各３成分（計６成分）の平均値
・地震研究所は墨東病院，油壺，習志野の各２成分（計６成分）の平均値
・土木研究所は琵琶湖大橋，草加高架橋，観音崎，開北橋（第１次調査の結果）の各１成分（計４成分）の平均値

T＝1.0秒　　港湾研究所

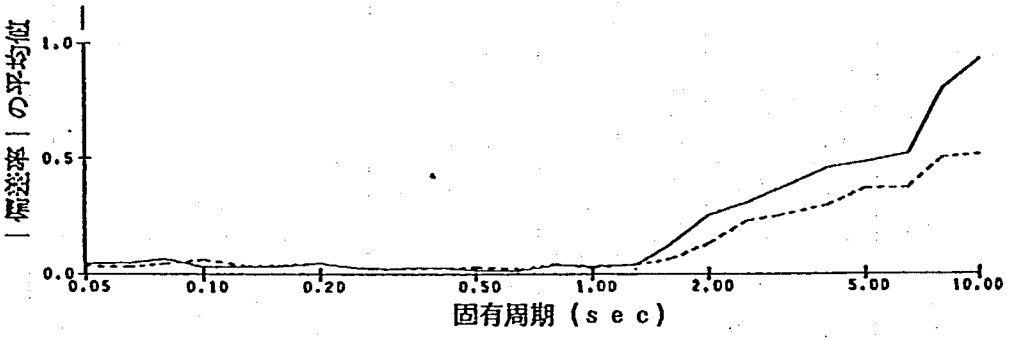
A機	最大0．059　平均0．017	最大0．404　平均0．214
I機	最大0．064　平均0．044	最大0．332　平均0．197



・港湾研究所は富山，千葉の各3成分（計6成分）の平均値

T＝1.3秒　　地震研究所

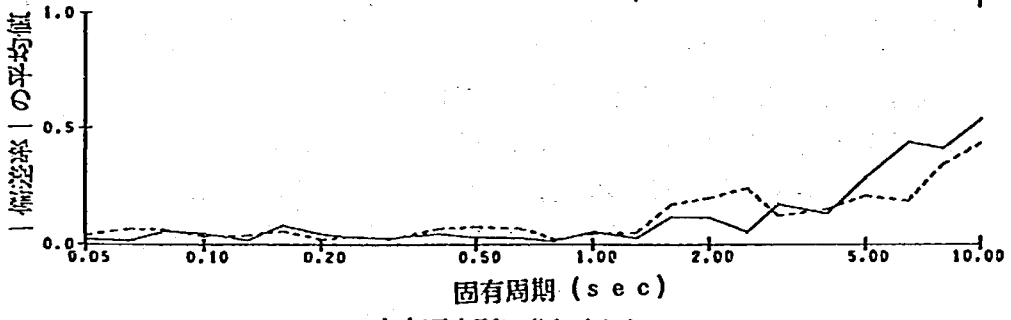
A機	最大0．064　平均0．032	最大0．919　平均0．465
I機	最大0．058　平均0．032	最大0．507　平均0．296



・地震研究所は墨東病院，油壺，習志野の各2成分（計6成分）の平均値

T＝1.3秒　　土木研究所

A機	最大0．079　平均0．033	A機　最大0．529　平均0．247
I機	最大0．072　平均0．043	I機　最大0．425　平均0．222



・土木研究所は草加高架橋，観音崎，開北橋（第1次調査の結果）の各1成分（計4成分）の平均値

————；機関データとA機データの偏差率の平均値

……；機関データとI機データの偏差率の平均値

図－4.27　従来方式と機械読取りの偏差率の平均値（各機関）

5. ま と め

前章までに述べてきたように画像処理装置は，自動ディジタル方式に十分適用出来ることがわかった。しかしながら，前章で述べたようにいくつかの解決しなくてはならない検討課題が残された。

(1) 長尺記録の扱い

長尺記録の扱いには2通りの解決策がある。一つはリニアタイプスキャナにより一度に入力する方法。いま一つは記録を分割して，後で接合する方法である。解決策としては，前者の方法が好ましいが，現状のリニアタイプスキャナでは精度が20 dot/㎜程度であり，目的としている40 dot/㎜におよばない。よって現段階においては分割入力して接合する手法をとらざるをえない。そこで接合手法及びそれに伴う最適な重複区間長を検討する必要がある。また，リニアタイプスキャナで高精度の装置も検討する必要がある。

(2) 読取り分解能の検討

短周期成分は，調査結果からわかったように40 dot/㎜以上の分解能が必要であった。しかしながら分解能を小さくすることによりデータ量も増大し処理時間も多く必要となる。そこで，波形の傾向によって読取り分解能を変更してもよいかどうかを数値化装置導入後検討を行ってみる必要がある。

(3) ピーク部分のベクトル化アルゴリズムの検討

調査結果からピーク部分は一本線になりやすくA機，I機共に対話で修正した部分が多かった。これらをなるべく自動的に処理するようにピーク部分のベクトル化アルゴリズムを検討して数値化装置に組込む必要がある。

(4) 一倍強震計記録の処理

現状の数値化装置では，自動的に処理することは困難であり，読取りを行ったA機，I機共に対話により処理を行っている。すぐに自動化は困難にしても，横線を簡単に除去する操作を検討しておく必要がある。さらに自動処理するためのアルゴリズムの検討も進める必要がある。また，波形にタイムコードが乗っているため，これを分離するアルゴリズムも併せて検討する必要がある。

(5) 歪補正の検討

直線を読取った結果からも分かるとおり，極くわずかでも記録紙に歪があると長周期成分として読取られてしまう可能性がある。従来は，タイムコードを，時間軸の補正のみに用いていたが，これを軸の歪の補正にも用いる方向で検討しておく必要がある。

(6) 数値化したデータの後処理

前章でも述べたように数値化された記録を解析・処理に用いるためには，①軸の回転の補正，②波の接合，③円弧補正，④時間軸の補正，⑤記録計の感度補正，⑥解析・処理結果に対する数値化システム特有の補正，等を行う必要がある。

これらの処理のうち，①～⑤については②，④のように検討すべき課題が残された処理もあるが，とりあえず従来手法を利用することができる。これらの処理を，数値化システムに取り込む方向で検討してお

く必要がある。また，⑥については，数値化システム導入後さらに多くの波形を処理し，数値化システムによりベクトル化されたデータを解析・処理に用いた結果の傾向を把握するとともに，それらに対する補正方法を検討する必要がある。

謝　　辞

本検討に際しては，画像処理装置の販売会社であるテクノダイア，キャディックス，エリック，住友エレクトロニクス，日本サイテックス，東芝，東洋電機製造，日立精工，三菱電機，ユニバック情報システムの各社には資料提供，アンケートの回答等の面で多大の協力を頂いた。また試験的な読取り作業やそのデータ処理に関して（財）土木研究センターならびに（株）長大の協力を得た。

関連各位に厚く感謝の意を表する次第である。

付属資料-1　SMAC型強震計記録の数値化方法
付属資料-2　SMAC型強震計記録の自動数値化方法(案)
付属資料-3　気象庁１倍強震計記録の自動数値化方法(案)

付属資料－1　SMAC型強震計記録の数値化方法

現在，土木研究所で実施中の強震観測に用いている機器の種類，出力記録の種類は次のようである。

一般強震観測

SMAC－Q：スクラッチフィルム・ 35㎜×5㎜/sec

SMAC－B_2：スタイラスペーパー・280㎜×10㎜/sec

高密度強震観測

普及型　SAMTAC－17　ディジタル，カセットMT

キネメトリックSMD－1　ディジタル，カセットMT

この他，強震動の解析には気象庁が観測した1倍強震計による記録も用いている。

これらの記録のうち，SMAC型強震計，電磁式強震計，気象庁1倍強震計から得られる記録はフィルム又は紙に書かれたアナログ記録である。従って計器補正を施したり，記録を基に応答スペクトルを計算するなどの処理を実行するためには，これらの記録を十分な精度を有する手法によって数値化しなければならない。

現在，振動研究室で実施している数値化の手法は以下のようなものである。

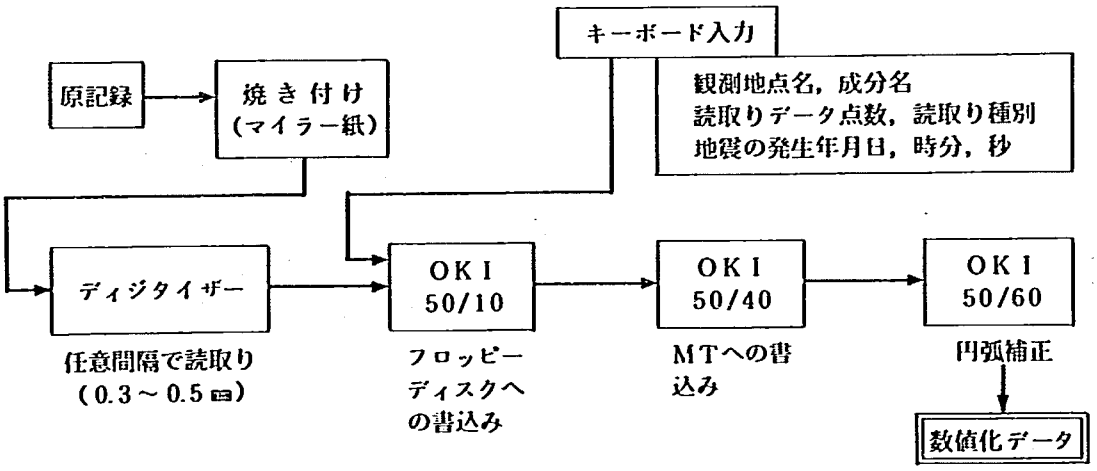
昭和39～47年（44年の記録まで）……1/10 sec間隔，スケール読取り

昭和48～　　（45年以降の記録）……ディジタイザーによる数値化

ディジタイザー；ヴェンディックス社製

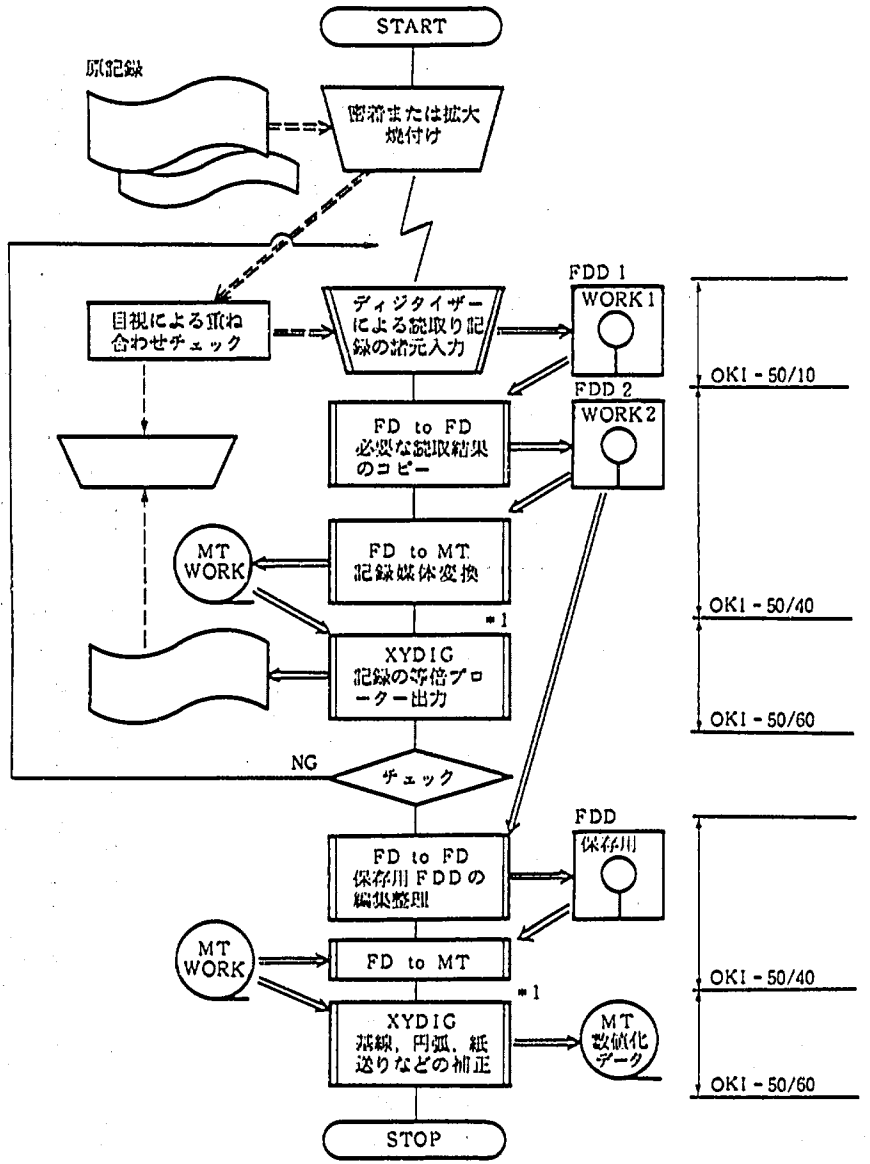
読取り分解能　；2.5/100㎜（公称）

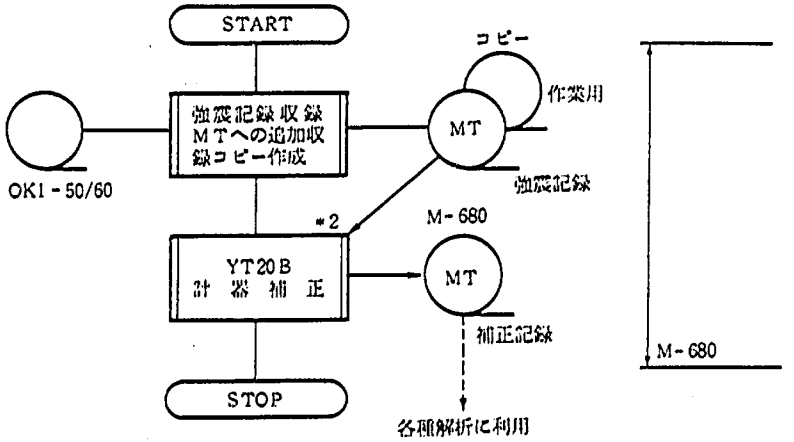
数値化フロー　；



付図－1.1から付図－1.3にSMAC型強震記録の数値化処理フローを示す。

ディジタイザーを用いたSMAC－B_2型による地震動記録の数値化にともなう誤差については川島・高木・相沢が論じている（土木学会論文集No.323.pp67－75，1982－7）。

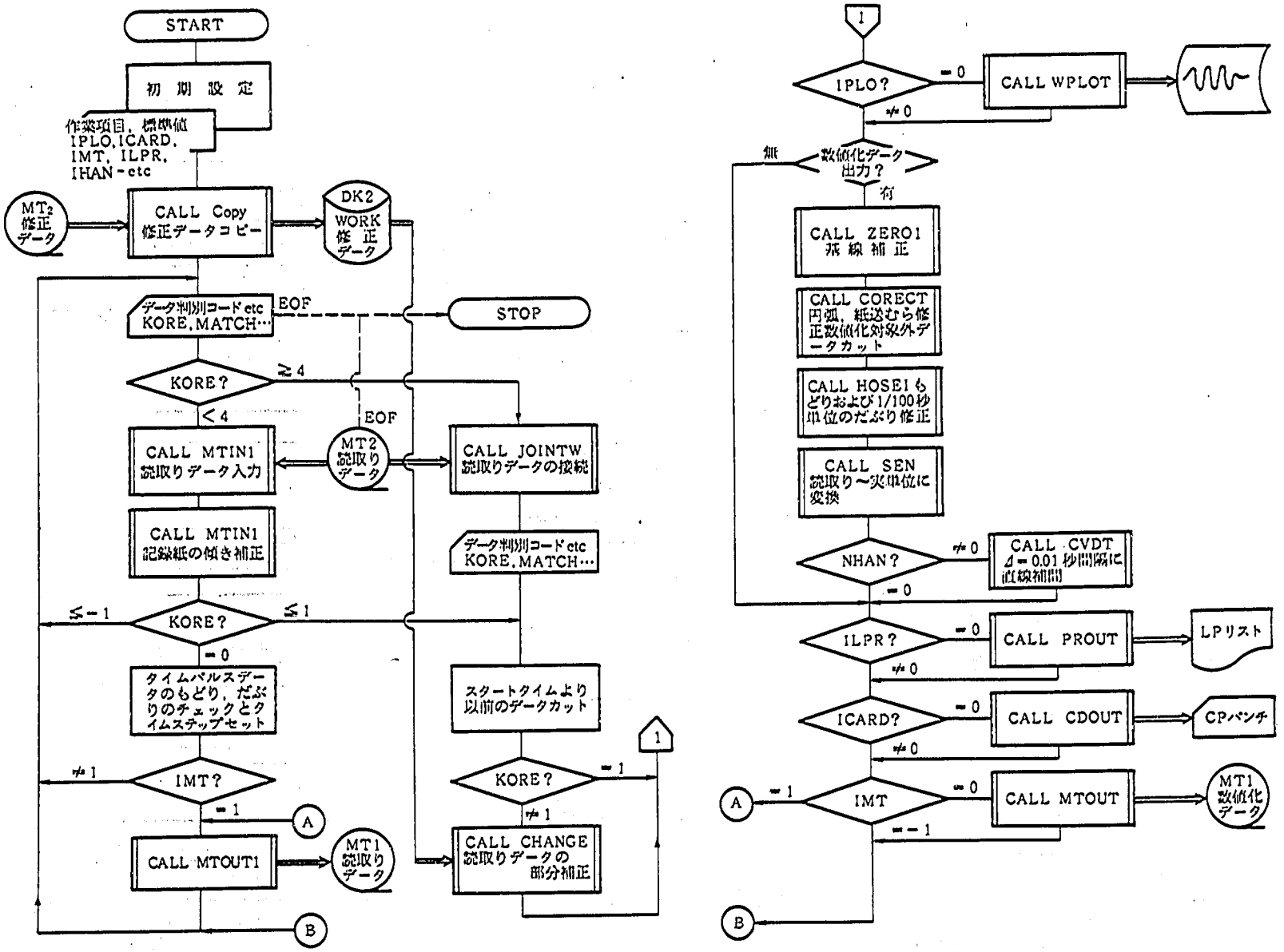




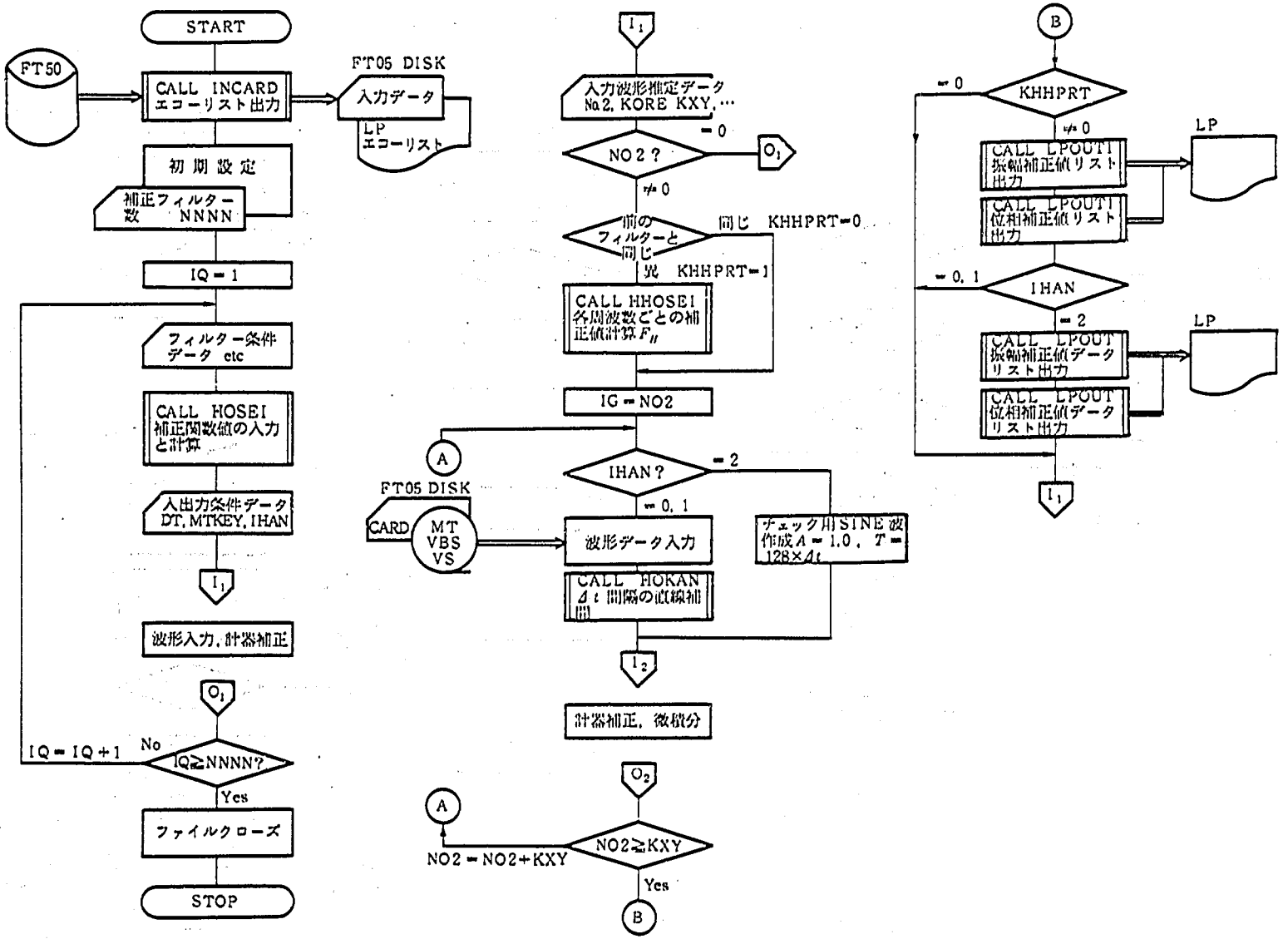
計器補正の処理フロー

*1，*2の処理フローの詳細は別図に示す

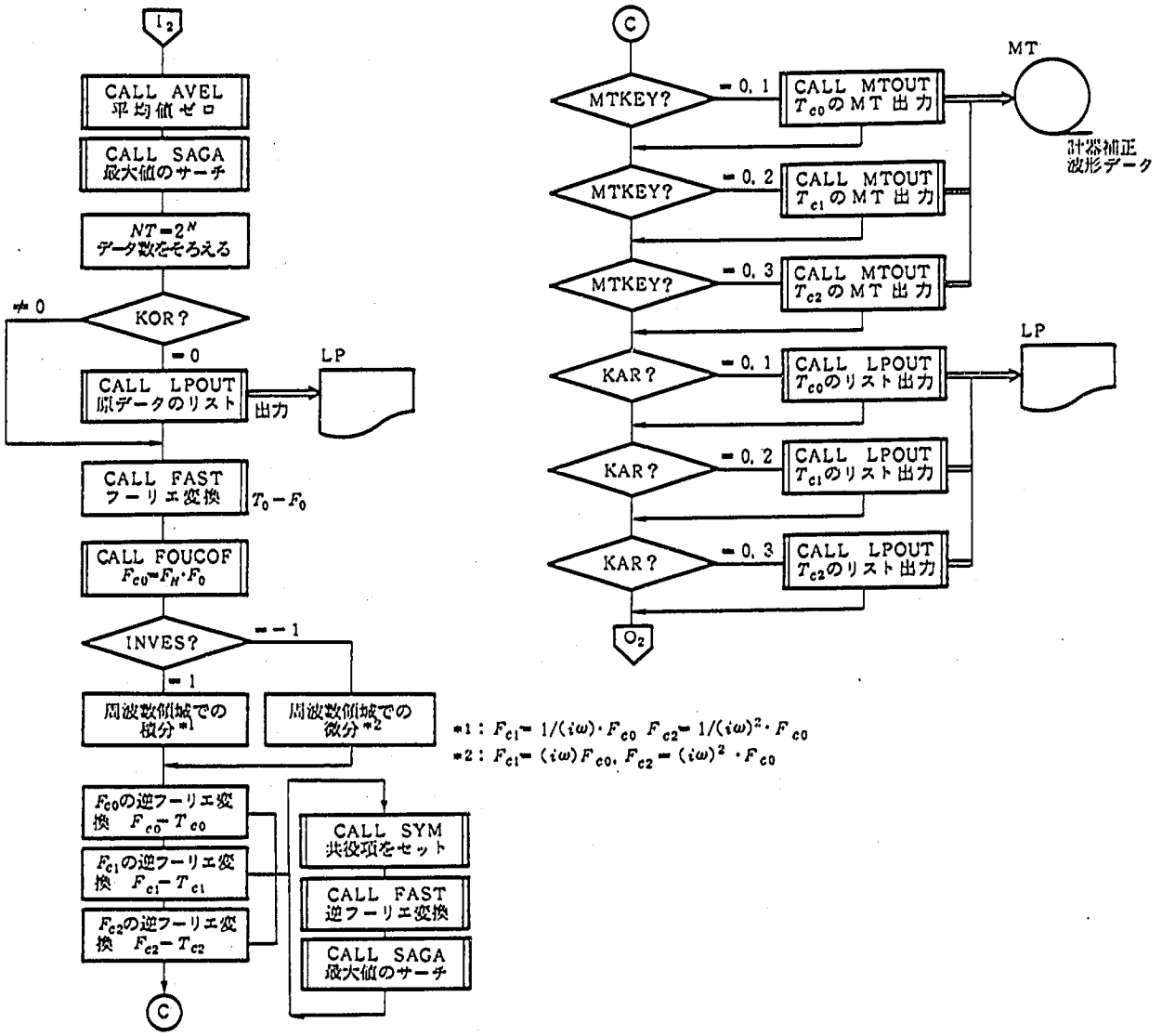
付図－1.1　SMAC型強震記録の数値化処理フロー



付図－1.2　数値化記録の基線補正，円孤補正処理フロー



付図－1.3(1) 数値化記録の計器補正処理フロー(1)



付図－1.3(2) 数値化記録の計器補正処理フロー(2)

これによれば最大加速度の読取り誤差は0.5％以下であったとされている。

ここで読取り誤差の検討に用いた最大加速度は50，150，300 gal であり，記録紙上の振幅は12.5 gal/㎜であるから，読取り誤差を長さの単位に直すと，

$$(50 \sim 300\ \mathrm{gal}) \times 0.005 \times 1/12.5\ \mathrm{mm/gal} = 0.02 \sim 0.12\ \mathrm{mm}$$

ということになる。

現状では24㎜程度の振幅を分解能0.025㎜の装置で読み取って0.12㎜程度の誤差（0.5％）で納まっているわけである。

一方，ＳＭＡＣ型強震計で得られた記録を多く処理している港湾技術研究所，鉄道技術研究所，東大地震研究所で行っている数値化の実態について調べた結果は次のようである。

港　　研；スマックリーダー（江藤電気製），ディジタイザー　｝の２機種を利用

スマックリーダーは時間軸方向の送りを機械的に自動化，振幅方向は光電装置により自動的に読取り，ディジタイザーも時間軸送りだけは自動的に行える。

鉄道技研；スマックリーダー（江藤電気製）

- 2048素子の（ＣＣＤ＋レンズ系）を用いてＰ－Ｐ20㎜（可測範囲は13 μm×2048＝26.62㎜）程度の範囲を計測
- ＣＣＤ素子間隔から得られる分解能は1.3/100㎜
- 読取り結果を沖ＩＦ800モデル30で処理

地震研；スマックリーダー（江藤電気製）

- 時間軸送りは自動送り（0.1㎜ピッチ）
- 振幅は標尺を手動で移動さする方式（鉄道技研タイプに比べて古い型式）
- 読取りは30㎝／日（3000データ）

なお，米国ＵＳＧＳでは民間の読取り専門会社に外注して数値化しているとのことであるが，会社で用いている装置の詳細は不明。

ただし，分解能は数ミクロンのオーダーでよごれ等の不要情報の除去はディスプレイ上でマンマシンシステムにより実施している模様。

付属資料－2　SMAC型強震記録の自動数値化方法（案）

1. 機器構成・仕様

SMAC型強震計記録の読み取りに用いる機器の構成は次のとおりである。

(1) ドラムスキャナー

(2) データ処理装置

(3) ワークステーション

(4) データ出力装置

以下に各機器の仕様を示す。

(1) ドラムスキャナー

読み取り方式	ドラム式走査
原稿寸法	810 ㎜× 1,080 ㎜
読み取り寸法	730 ㎜× 1,040 ㎜
解像度	40 dot/㎜
解像度切替え	5～40 dot/㎜　7段階
識別色数	8　色
読み取り階調	256階調

(2) データ処理装置

スーパーイメージアロセッサー	パイプライン方式
CPU	16 bit マルチプロセッサー
ラスターメモリー	56 M byte
記憶装置	300 M byte

(3) ワークステーション

CPU	32 bit VLSIプロセッサー
仮想空間	64 M byte/プロセス
メモリー	4 M byte
ディスク	160 M byte
ディスプレイ	20インチカラーディスプレイ

(4) データ出力装置

記録密度	800/1600 BPI
テープ速度	45 IPS
記録方式	NRZI/PE
データ転送速度	36 K Byte/sec（NRZI），72 K Byte/sec（PE）
テープ長	300～2,400 feet

2. 読み取り対象記録

読み取り対象記録は，SMAC－B_2型強震計及びSMAC－D，E_2，Q型強震計により得られた記録である。SMAC－B_2型強震計は，幅280㎜のスタイラスペーパー上に3成分のアナログ記録及びタイムマークを40㎜/500 gal及び10㎜/secで記録する強震計であり，1回の起動により3分間（180㎝）の記録が得られる。この記録の数値化範囲を幅296㎜×長さ420㎜の印画紙に密着焼付けし，テープを用いて接合することにより読み取り原図を作成する。また，SMAC－D, E_2，Q型強震計は，幅35㎜のスクラッチフィルム上に3成分のアナログ記録及びタイムマークを5㎜/500 gal（D，E_2型）又は5㎜/1000 gal（Q型）及び5㎜/secで記録する強震計であり，1回の起動により90秒間（45㎝)の記録が得られる。この記録を8倍拡大し，幅280㎜のトレーシングペーパーに連続的に焼付けることにより読み取り原図を作成する。付図－2.1及び付図－2.2にSMAC－B_2型及びSMAC－Q型強震計記録を示す。読み取り長さが900㎜以上の記録については，読み取り原図を複数枚作成し，接合部分を重複して読み込み，プログラムにより波形接合を行っている。

3. 自動数値化方法

読み取り原図のドラムスキャナーへの貼り付けにはドラフティングテープを用い，強震記録の時間軸方向とドラムスキャナの回転方向に合わせる。ドラムスキャナーのパラメータを以下のように設定する。

読み取り階調	30（256階調切替え可能）
解　像　度	40 dot/㎜
読み取りスピード	4回転/sec
読み取りサイズ	読み取りサイズは，波形の振幅の大きさに応じて設定する

この設定値により読み取られたラスターデータは，グラフィックディスプレイ上で大きなヨゴレの除去とカスレ箇所の接合を行った後に，ベクトル変換される。時刻歴波形のベクトル変換は，ラスターデータを細線化することにより行なうが，ベクトルデータの確認・修正を行なうため輪郭線ベクトルデータも作成している。

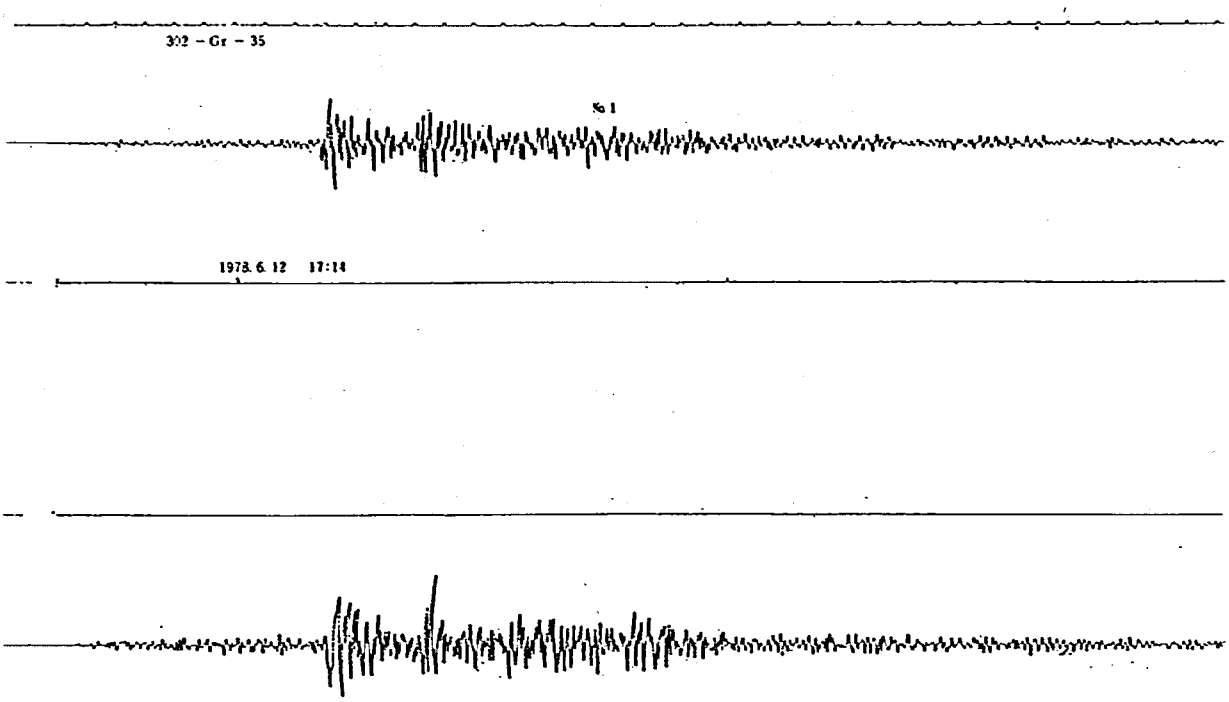
細線化ベクトルデータ作成時の自動処理パラメータを以下に示す。

ベクトル化ファクター	1
ノイズ除去サイズ	1.2㎜
波形接合サイズ	1.0㎜
境界データ	NO

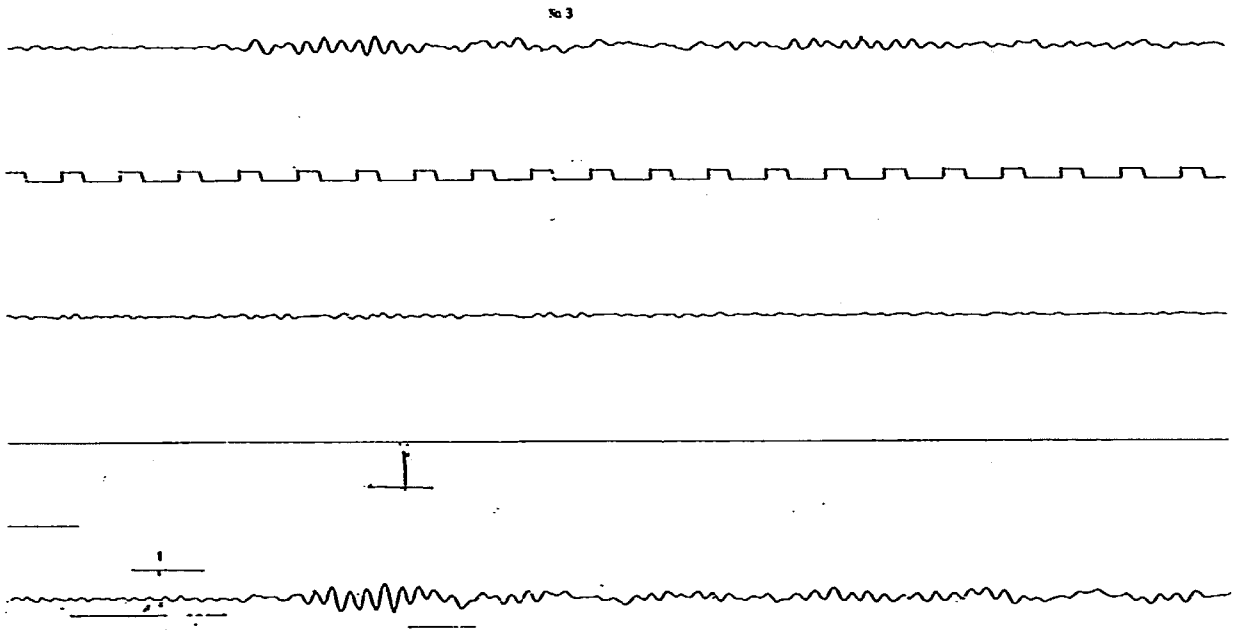
また，輪郭線ベクトルデータ作成時の自動処理パラメータを以下に示す。

ベクトル化ファクター	2
ノイズ除去サイズ	1.2㎜
波形接合サイズ	1.0㎜
境界データ	YES

以上の処理により，作成されたベクトルデータはワークステーション上にて輪郭線ベクトルデータと細



付図－2.1　SMAC－B_2 型強震計記録



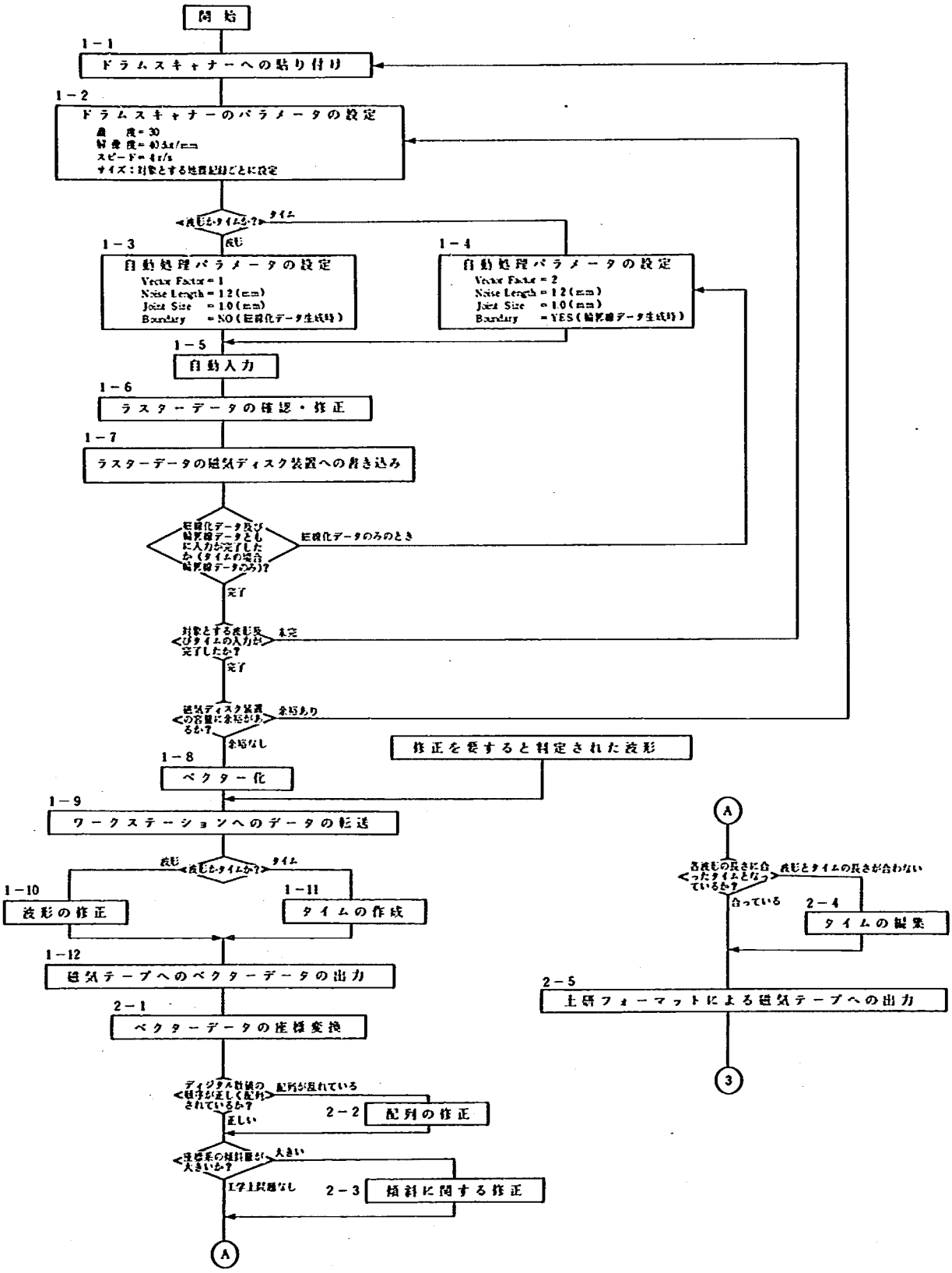
付図－2.2　SMAC－Q型強震計記録

細化ベクトルデータが重ね合わせられ，細線化ベクトルデータの確認および修正を行う。読み取りが複数回にわたる時刻歴波形は，この時点で接合がなされる。またタイムマークのベクトル化は輪郭線ベクトルデータを作成し，ワークステーション上でベクトルデータをマニュアル操作により作成している。

作成された時刻歴波形及びタイムコードのベクトルデータは，磁気テープ上に土木研究所フォーマットで出力され後処理が行なわれる。付図－2.3に自動数値化装置による数値化処理フローを示す。

4. 記録の後処理

磁気テープに出力された時刻歴波形は，タイムコードを用いて記録送り速度の補正を行うとともに，円弧補正，中心軸補正を施した後に物理量に変換され，さらに強震計機種毎に定まる計器特性の補正がなされ，数値化精度を考慮して1/3～12Hzのバンドパスフィルターを施し1/100秒間隔の加速度データとしている。



付図－2.3　自動数値化装置による数値化処理フロー

付属資料－3　気象庁1倍強震記録の自動数値化方法（案）

1. 機器構成・仕様

気象庁1倍強震計記録の読み取りに用いる機器の構成は，ＳＭＡＣ型強震計記録の読み取りに用いる機器の構成と同様である。

2. 読み取り対象記録

読み取り対象記録は，付図－3.1に示す気象庁1倍強震計により得られた記録である。気象庁1倍強震計は，水平成分60㎜/㎜，鉛直成分50㎜/㎜で地動変位を等倍で記録する強震計であり，送り速度は3㎝/minとなっている。

強震計は常に観測状態となっているため，読み取り記録には背細が書き込まれた状態である。気象庁1倍強震計記録は，自動数値化装置で読み取る場合，以下の特徴を有している。

(1) 波形と背線が重ねて記録されている部分が多く，データとしてこれらを分離する必要がある。

(2) 波形記録が重なり，潰れている部分があり，潰れた部分から波形を再現する必要がある。

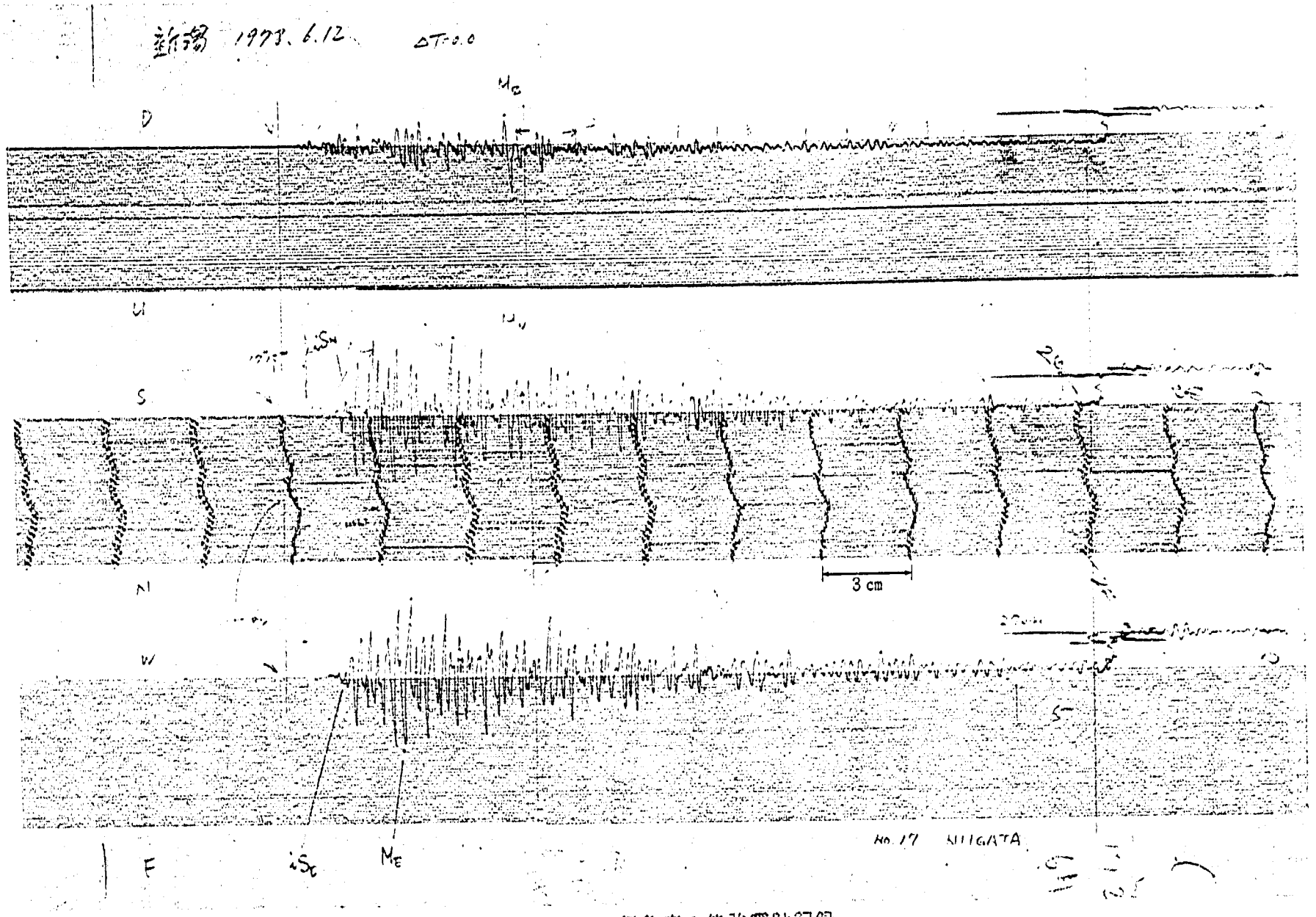
(3) 時刻は記録針の凹凸で表現されているが，これより時刻ポイントを抽出する必要がある。

(4) 細かな波形を忠実に読み取るために，高解像度で読み取る必要がある。

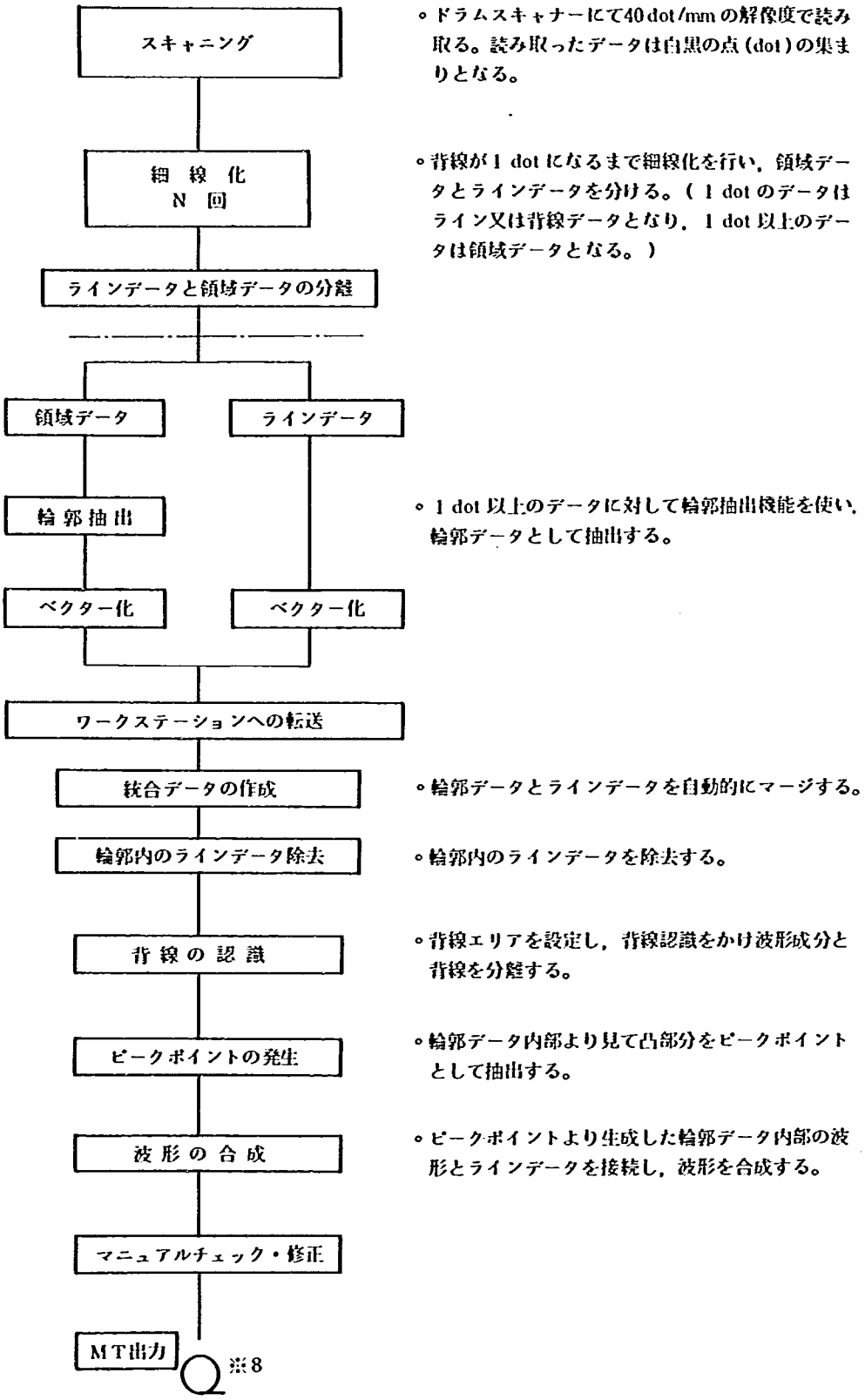
3. 自動数値化方法

気象庁1倍強震計記録の自動数値化方法は，2章に示したような特徴を有しているため，付属資料－2に示したＳＭＡＣ型強震計記録の自動数値化方法と異なる処理フローにより数値化することとした。付図－3.2に波形自動数値化処理フローを示す。

ドラムスキャナーにより読み取られたラスターデータは，背線が1 dotになるまで細線化が行なわれる。これより背線が1 dotのデータはラインデータとして認識し，2 dot以上のデータは領域データとして認識する。領域データは，ラインデータから分離され輪郭線ベクトルデータとしてワークステーションへ転送される。この輪郭線ベクトルデータは，ラインデータより発生させたベクトルデータとの重ね合わせを行い，輪郭線ベクトルデータ内のラインデータが除去される。以上により得られたベクトルデータは設定された背線除去エリア内の平行線を背線として認識することにより，背線除去が行なわれる。さらに，輪郭データ内部より見て凸部分をピークポイントとして抽出し，ラインデータとの接合を行なうことにより波形が合成される。作成されたベクトルデータは，マニュアル操作によりラスターデータとの重ね合わせで修正が行なわれる。タイムコードデータは，ラスターデータより細線化処理により作成されたベクトルデータよりタイムコード抽出プログラムにより作成される。以上のようにして作成された時刻歴波形及びタイムコードのベクトルデータは，磁気テープ上に土木研究所フォーマットで出力され後処理が行なわれる。



付図－3.1　気象庁1倍強震計記録



付図－3.2　気象庁1倍強震計記録波形自動数値化処理フロー

4. 記録の後処理

磁気テープに出力された時刻歴波形は，タイムコードを用いて記録送り速度の補正を行うとともに，円弧補正，中心軸補正を施した後に物理量に変換される。

強震記録の自動数値化方法に関する検討

ISSN 0386－5878
土木研究所資料 第2714号
平成元年2月（1989年）

岩崎敏男　佐々木　康　田村敬一
桒原徹郎　相沢　興　吉見精太郎

要　旨

従来、記録紙上に記録されるアナログ強震記録をディジタル化する方式として、ディジタイザーを用いて、手作業により波形を読みとる方式がとられているが、作業に要する労力と時間はかなりの量となっている。そこで、画像処理装置を用いた強震記録の自動数値化装置に関する検討を行い、精度及び処理速度の両者について、十分適用可能であるとの結論を得た。

本資料は、従来のディジタイザーを用いた数値化結果と画像処理装置を用いた数値化結果との精度比較について、その結果をとりまとめたものである。

キーワード：強震記録，ディジタル化，画像処理，自動数値化

郵便はがき

40円切手をはって下さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

振動研究室　御中

No.　18

No.　18

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第２７１４号　　部

上記のとおり受領しました。

所　　属(住所)

氏　名　　印

土木研究所資料第2714号