

JNC TJ7K00 2005-009

~~PNC ZJ1552 96-001~~

NO. 4

~~社内資料~~

図書室

地震に関する調査研究(XII)

1996年3月

社団法人 資源・素材学会

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005

地震に関する調査研究(XII)

佐 々 宏 一※

要 旨

平成7年度の本委員会の研究業務として、岩手県釜石鉱山大峯地区の坑内外7地点に設置した地震計による地震観測および、坑内L550に設置された水圧、水量、水質観測用の各計測器と、昨年度末に設置されたレーザー干渉式岩盤ひずみ計とを用いた地下水理計測を実施した。

工事としては、地震計の最大観測値が500galであるものを、更に精度を高めるため100galに変更する感度調整工事、電気伝導度計を工業用伝導計とPH計の組み合わせられた新型への取替、および天盤湧水を採取するためのパッカー設置工事の実施である。

本年度は地震計、自動採水器、レーザー岩盤ひずみ計、新設のPH計・電気伝導度計と全ての観測機器に故障が続発し、その点検修理工事をも実施した。

報告書の第1章では12年目に入った本委員会の研究方針と研究活動の概要について記述した。

第2章には、地震計の感度調整工事、PH計・工業用電気伝導度計、および採水用パッカー設置工事の夫々について、節を分けて記述した。また今年度は観測機器の故障が続発したため、これを2・4節として故障の状況とその修理工程について時系列的に記述した。

第3章では、平成7年度に釜石鉱山で観測された27個の地震について、夫々の観測データおよび解析結果について記述した。今年度は、東北地方では大型地震の発生が殆どなく、平成8年2月17日0°23'発生の福島県沖地震(M6.6)が1回のみであった。(この地震の解析結果は7年度報告書作成に間に合わず、次年度報告書に記載することとした。)

またこの章では、地形が地震動に及ぼす影響について昨年度に引続き検討した結果についても記した。

第4章では、地下水理関係の観測データから得られた、地震と地下水の関係について種々検討した結果を記述してある。

第5章では、あとがきとして今年度に得られた研究成果のとりまとめを述べると共に、次年度以降の課題について記した。

本報告書は、(株)資源・素材学会が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：070D0330

事業団担当部課室および担当者：環境技術開発推進本部 地層科学研究グループ 武田精悦

※：(株)資源・素材学会 会長

Survey and Research of Earthquake(XII)

Koich Sasa*

Synopsis

Committee's activities of 1995 fiscal year was not so different to these continually obtained since the previous years, namely an accumulation and an analysis of the observed data on ground motion and underground water behavior caused by earthquake in the Omine area of the Kamaishi Mine in Iwate prefecture.

The rock strain measurement using the laser extensometer which was installed last February has been also commenced. As the site works on the observation systems, the shift of maximum level of seismometer from 500 gal to 100 gal was carried out to improve the accuracy of observation data. Installation works of pH meters, conventionally used electric conductivity meters and water sampling packers for bore-hole were also performed.

In the report, chapter 1 explains the outline of current years research activities of the committee which have continued for 12 years.

Chapter 2 explains improvement works of sensitivity of seismometer and installation works of pH meter, conductivity meter and packers. In this chapter, investigation works to eliminate troubles on all observation instruments and systems are also explained in detail. Because, many troubles were happened this year and valuable data were missed to obtain.

Chapter Three shows the observed data and the results of analysis of the ground motion of 27 earthquakes observed in 1995 fiscal year at the Kamaishi mine. In this Chapter, the results of analysis on the effect of topography to the ground motion is also explained.

Chapter Four explains the results of research on the underground water behavior at the occurrence of the earthquake.

Chapter 5 is the summary of the results which were obtained from the committee's activities of this year. And also, some recommendations and proposals for the future study are conclusively explained.

Work performed by the Mining and Materials Processing Institute of Japan under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract Number: 070D0330

PNC Liaison : Geosciences Research Program

Radioactive Waste Management Project ; Seietsu Takeda

* : The Mining and Materials Processing Institute of Japan ; President

目 次

1. まえがき	1
2. 平成7年度の現地工事	3
2.1 地震計の感度調整工事	3
2.2 pH計, 工業用電気伝導度計の設置	5
2.3 サンプル水採取用パッカーの設置	12
2.4 観測機器の故障とその処置	15
3. 釜石鉱山における地震観測データの収集と解析	18
3.1 まえがき	18
3.2 地震観測の概要	18
3.3 地震観測結果	19
3.3.1 観測結果の概要	19
3.3.2 加速度振幅の増幅特性	19
3.3.3 地山の地質地形が地震動に及ぼす影響の検討 －観測データに基づく検討－	21
3.3.4 地山の地質地形が地震動に及ぼす影響の検討 －数値解析による検討－	22
3.4 まとめと今後の課題	24
4. 釜石鉱山における地下水理観測データ収集と解析	76
4.1 まえがき	76
4.2 地下水理観測の概要	76
4.3 地下水理観測結果	79
4.3.1 今年度観測結果の概要	79
4.3.2 水圧の地震時における変動について	119
4.3.3 岩盤歪みの平常時における微細変動について	130
4.3.4 水質変化の統計的考察	133
4.4 地震が地下水流動に及ぼす影響に関する文献調査	138
4.5 まとめと今後の課題	148
5. あとがき	150
5.1 今年度の研究成果の概要	150
5.2 今後の研究課題	152

1. ま え が き

平成7年度は、地震に関する調査研究のための委員会が発足してから12年目に当たり、釜石鉾山における地震観測等の調査研究も、第2フェーズ5ヶ年計画（平成5年度～9年度）の第3年目となった。釜石鉾山の坑内に於ける種々の観測の中でも、地下水理と地震の関係についてのデーターには、興味ある現象を示すデーターが徐々に増加して来た。特に水質分析に関しては、分析個数を昨年度より大幅に増加して、大型地震時の発生に備えた。また、理想的なサンプル水の採取を目的として、現在湧水している天盤にボーリング孔を作成し、採水用パッカーを設置する工事も計画した。

地震観測については、更に解析精度を上げるため、最大観測値を500galから100galに変更する感度調整工事を実施することとした。地震動の解析については、昨年度より地層モデルを複雑化したものについてシミュレーション解析を行うことにした。

以上のような方針でスタートした平成7年度であったが、第2章の4節で述べてあるように、観測機器の故障が続発し、その対策に忙殺されることとなった。故障修理期間中には、大型地震が発生せず不幸中の幸いと考えていたところ、修理が終わって全計測器について稼働状態となっていた8年2月17日発生の福島県沖地震(M6.6)の際にも、直前の停電による水圧計用データーロガーの停止と、レーザー干渉式岩盤ひずみ計の2月16日～19日間のエラー発生（自然復帰したことから、光路の結露と推定される）により、残念ながらここでも期待していた地震発生に伴う岩盤のひずみと水圧の関係を示すデータが得られなかった。この点については第5章あとがきの中で、今後の課題：(3)観測体制の強化として記述した。

平成7年度の本委員会のメンバーは下記のとおりである。

委員長	山口 梅太郎	東京大学名誉教授
委員	佐々宏一	京都大学工学部資源工学教室
"	川本眺万	愛知工業大学 土木工学科
"	高木章雄	(財)地震予知総合研究振興会
"	小林昭一	京都大学工学部環境地球工学教室
"	石島洋二	北海道大学工学部資源開発工学科
"	小林芳正	京都大学理学部火山研究施設
"	京谷孝史	東北大学工学部土木工学科
"	勝山邦久	資源環境技術総合研究所 安全工学部
"	小出 仁	地質調査所環境地質部
"	楠瀬 勤一郎	地質調査所環境地質部地震物性課
"	駒田 広也	(財)電力中央研究所原燃サイクルプロジェクト部
"	佐々木 俊二	(財)電力中央研究所耐震部
"	横井 浩一	日鉄鉱業株式会社資源開発部
"	武内 俊昭	応用地質株式会社関西事業本部
"	佐藤 孝雄	株式会社明豊エンジニアリング
"	堀田 光	株式会社建設企画コンサルタント土質技術部

最後に、今年度の釜石鉱山における地震と地下水理の観測および計器の点検保守、ならびに岩盤歪計の設置工事に多大の御尽力を戴いた釜石鉱山株式会社と、株式会社明豊エンジニアリングに対し、また地震観測データや地下水理観測データの解析などを担当して戴いた(財)電力中央研究所に対し、深く感謝する次第である。

2. 平成7年度の現地工事

平成7年度の釜石現地工事としては、懸案であった地震計の感度調整工事、PH計の新規購入と設置および電気伝導度計を工業用に取り替えるための購入と設置（PH計との一体型）工事を実施した。また水量と水質を観測するための良質なサンプル水を採集するため、L550mLのK-0地点の天盤湧水亀裂に短いボーリング孔を作成してパッカーを設置する工事を実施した。

さらに、地震観測装置と地下水理観測装置の故障が多く発生し、それらの修理工事も実施した。

2. 1 地震計の感度調整工事

平成7年7月14日から7月31日にかけて釜石鉾山に設置している地震観測装置の感度調整工事を実施した。調整工事の主な内容はK-1（EL 865m）、K-2（EL 550m）、K-3（EL 550m）、K-4（EL 550m）の4地点の地震計の信号を記録している地震観測装置（AJE 8000 Bs）のフルスケールの変更工事を行った。変更内容は以下のとおりである。

- 1) K-1, K-2, K-3, K-4の地点の地震計の記録感度の最大感度の変更
最大感度 $\pm 500 \text{ gal}$ を $\rightarrow \pm 100 \text{ gal}$ に変更した。
- 2) 感度変更に伴い全チャンネルの感度および零調整
- 3) ソフトの変更, $100 \text{ gal} / 5 \text{ V (Full Scale)}$ に対応するためROMを変換。
- 4) クロストータの確認, クロストーク改善。
- 5) 感度変更に伴う関連機器の設定感度
 - i) 水圧計は従来通りで変更無し。
動的水圧データ $5 \text{ V} = 5 \text{ kg} / \text{cm}^2$
静的水圧データ $5 \text{ V} = 50 \text{ kg} / \text{cm}^2$
 - ii) 採取起動装置
 - ・ K-1 地点のN-S成分とK-4 地点U-D成分が 4 gal を越えるとき作動する。
 - ・ 停止信号約 4 V の出力電圧が観測装置の19チャンネルに入力される。外部ランプ点灯
 - iii) レーザー歪計

レーザー歪計出力は動的、静的共に $5 \text{ V} = 0.5 \text{ mm}$ に設定した。

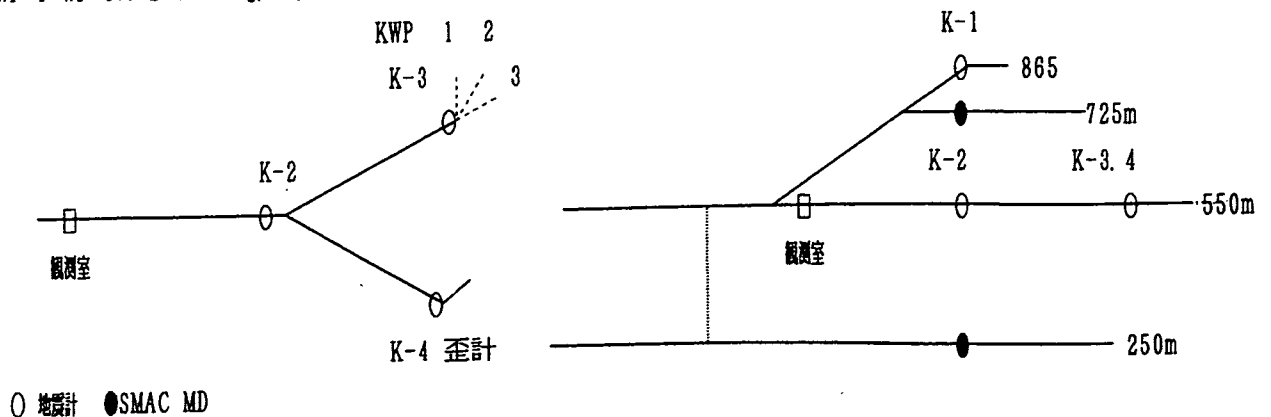
地震観測装置の記録装置を構成するデジタル磁気テープ記録装置、熱ペン記録器についてのチャンネル配分、記録感度、トリガーチャンネルおよびトリガーレベルを表2. 1-1に示す。

表2.1-1 釜石鉱山地震観測装置チャンネル配分表

セット年月日 平成7年7月 31日

名 称	成 分	デジタル	サーボ	トリガー	トリガー	収録	熱ペン		打点	メモ
		MT CH	AMP CH	CH	LEVEL	記録感度	CH	感 度	レコーダ	
K-1 865m坑	E-W	1	1			100GalFS.	1	500mV/Cm・0.625Gal/Cm		
	N-S	2	2	2	.3Gal	100GalFS.	2	500mV/Cm・0.625Gal/Cm		
	U-D	3	3	3	.3Gal	100GalFS.	3	500mV/Cm・0.625Gal/Cm		
K-2 550m坑	E-W	4	4			100GalFS.	4	500mV/Cm・0.625Gal/Cm		
	N-S	5	5			100GalFS.	5	500mV/Cm・0.625Gal/Cm		
	U-D	6	6			100GalFS.	6	500mV/Cm・0.625Gal/Cm		
K-3 550mNW 押坑	E-W	7	7			100GalFS.	7	500mV/Cm・0.625Gal/Cm		
	N-S	8	8			100GalFS.				
	U-D	9	9			100GalFS.				
K-4 550mNE 押坑	E-W	10	10			100GalFS.				
	N-S	11	11			100GalFS.				
	U-D	12	12	1	.3Gal	100GalFS.				
		13				100GalFS.				
		14				100GalFS.				
		15				100GalFS.				
		16				100GalFS.				
		17				±0.5V				
		18				±0.5V				
採水起動	※	19			4Gal	±0.5V		4V出力		
WP-1	AC×1	20				±0.5V			0~5Kgf/Cd	
WP-2	AC×1	21				±0.5V			0~5Kgf/Cd	
WP-3	AC×1	22				±0.5V			0~5Kgf/Cd	
ローチ歪計		23				±0.5V			0~0.5mm	
TIME CODE		24					8	2V/Cm		

※ 採水器起動信号は2Ch, 12ChのANDで4Gal以上で起動。17~23は100Galフルスケールにするため感度は±0.5Vである。
WP-1~WP-3は5Vで5Kg/Cd。ローチ歪計は5Vで0.5mm。



2.2 pH計, 工業用電気伝導度計の設置

釜石鉱山550mレベル坑道内のKO-10地点の湧水のpHと電気伝導度を自動測定する目的で、今年度はpH計と工業用電気伝導度計を設置した。

新たに設置したシステムの概要は以下の通りである。

pH計本体	桜エンドレス (株) 製C P S - 1 2 1 (測定レンジ 0 ~ 14pH)
pH計センサ	桜エンドレス (株) 製C P S - 1
伝導度計本体	桜エンドレス (株) 製C L M - 1 2 1 (測定レンジ 0 ~ 200 μ S/cm)
伝導度計センサ	桜エンドレス (株) 製C L S - 1 1 (現在はC L S - 1 2 Bに交換)
データロガー	白山工業(株) 製 L S - 2 0 0 0

pH計と電気伝導度計の工場出荷時成績表を表2.2-1~2に示す。

システムは一つの配電盤の中に、pH計、電気伝導度計、データロガーが2台設置されている。観測システムの概観と回路図を図2.2-1~2に示す。

現地設置作業は1995年9月5日に桜エンドレス (株) により実施された。

その後1995年12月末に電気伝導度計のセンサが断線したため、1996年1月9日に桜エンドレス (株) により修理が実施され、センサをC L S - 1 2 B型に交換するとともに、センサと本体の間に新たに中継B O Xが接続された (図2.2-3)。

表2.2-1 pH計の検査成績表

TEST REPORT
試験成績表

Customer 御注文主		Our Job No. 弊社工事番号		181 No. 115-668-00			
		Order No. ご注文番号		5617-0024			
pH mater		pH計		2-41671-CH			
Holder specifications ホルダ仕様							
Tag No.	計器符号						
Model	型式	CPS1					
Serial No.	計器番号						
Name of Fluid	測定対象名	水					
Working pressure	使用圧力	大気圧 $\sim 0.1 \text{ kgf/cm}^2$					
Working temp.	使用温度	10°C					
Mounting standard	接続規格						
Converter specifications 変換器仕様							
Tag No.	計器符号						
Model	型式	CPM121					
Serial No.	計器番号	50023					
Power supply	供給電源	AC100V					
Measuring range	測定範囲	0 ~ 14 pH					
Performance test Standard point 作動性能試験							
Standard point 基準点		0%	50%	100%	0%	50%	100%
pH Standard	pH基準値	0	7	14			
pH Indication.	pH表示値	0.00	7.00	14.00			
pH Standard	pH基準値(mA)	4.00	12.00	20.00			
pH Output(mA)	pH出力(mA)	4.01	12.04	20.07			
Output Error	出力誤差(%)	+0.06	70.25	+0.44			
Accuracy 精度	$\pm 0.5\%$ Within 以内	Judge 判定	良		Judge 判定		
Temp. Indication	温度基準値(°C)	0	50	100			
Temp. Output	温度表示値(°C)	0.0	50.0	99.8			
Output Error	温度表示誤差(°C)	0	0	-0.2			
Accuracy 精度	$\pm 1^\circ\text{C}$ Within 以内	Judge 判定	良		Judge 判定		
Contact output1	制御出力 1	Judge 判定			Judge 判定		
Contact output2	制御出力 2	Judge 判定			Judge 判定		
Alarm output	自己診断出力	Judge 判定	良		Judge 判定		
Status output 1	ステータス出力1	Judge 判定			Judge 判定		
Status output 2	ステータス出力2	Judge 判定			Judge 判定		
Status output 3	ステータス出力3	Judge 判定			Judge 判定		
Serial output External cleaning	外部洗浄出力 連動検査	Judge 判定	良		Judge 判定		
Insulation resistance test	絶縁抵抗試験 Tester > 10MΩ	Judge 判定	良		Judge 判定		
Visual & Dimensional test	外観・寸法検査	Judge 判定	良		Judge 判定		
Ambient temp. & hum 室内温度・湿度		26.1 °C		66 %			
Date of test 試験日	1995年 月 日	Customers Inspector 客先検査員		Approved by 責任者		Tested by 試験者	
SAKURA ENDRESS CO., LTD. 桜エンドレス株式会社							

表2.2-2 電気伝導度計の検査成績表

試 験 成 績 表

Customer 明注文主 M/S		Our Job No. 計測下取番号 56K1-0024								
Conductivity meter CLM121/141S		Order No. 明注文番号 Q-41091-CH								
Electrode specification		電極仕様								
Tag No. 計測番号										
Model 型式										
Specification code 仕様コード										
Measuring medium 測定対象物										
Working pressure 使用圧力										
Working temperature 使用温度										
Mounting standard 接続規格										
Visual & dimension inspection 外観・寸法検査										
Remarks 備考										
Converter specification				変換器仕様						
Tag No. 計測番号										
Model 型式										
Specification code 仕様コード										
Serial No. シリアルナンバー										
Power supply 電源										
Measuring range 測定範囲										
Visual & dimension inspection 外観・寸法検査										
Performance test 性能試験				Standard point 基準点	0%	50%	100%	0%	50%	100%
Conduct. Indication 導電率表示値 (μS)				0.0	100.1	199.9				
Conduct. Output 導電率出力 (mA)				4.00	12.00	19.99				
Output Error 出力誤差 (%)	0	0	-0.06							
Temp. Indication 温度表示値 (℃)	0.0	50.0	99.9							
Temp. Output 温度出力 (mA)	3.98	12.03	20.06							
Output Error 出力誤差 (%)	-0.13	+0.19	+0.38							
Contact output 1 制御出力1	良									
Contact output 2 制御出力2	良									
Serial output シリアル出力	良									
Error message output 自己診断出力	良									
Combination test 連動検査	良									
Insulation resistance test 絶縁抵抗試験	良									
Remarks 備考										
Ambient temp. & hum 室内温度・湿度		25.6 °C		58 %						
Date of test 試験日	1995年 月 日		Customer's Inspector 客先検査員	Approved by 責任者	Tested by 試験者					
Sakura Endress Co., LTD. 桜エンドレス株式会社										

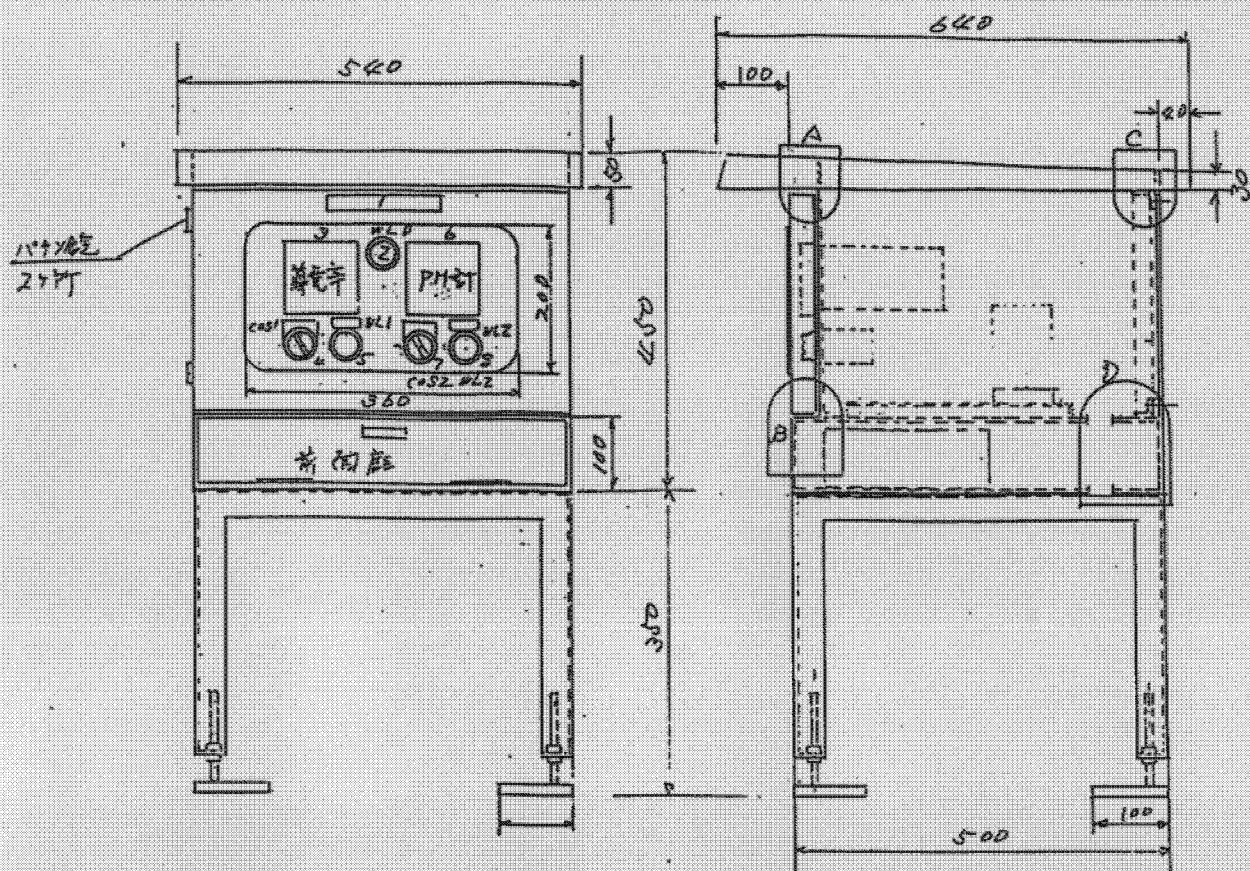


図2.2-1 観測システム概観

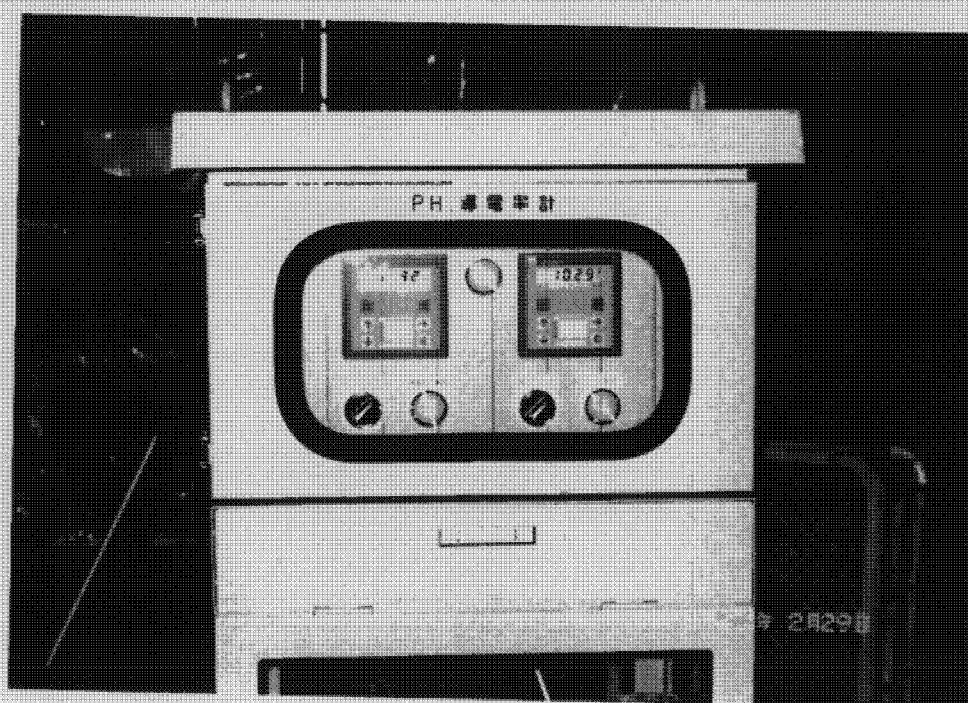


写真2.2.1 観測システム正面

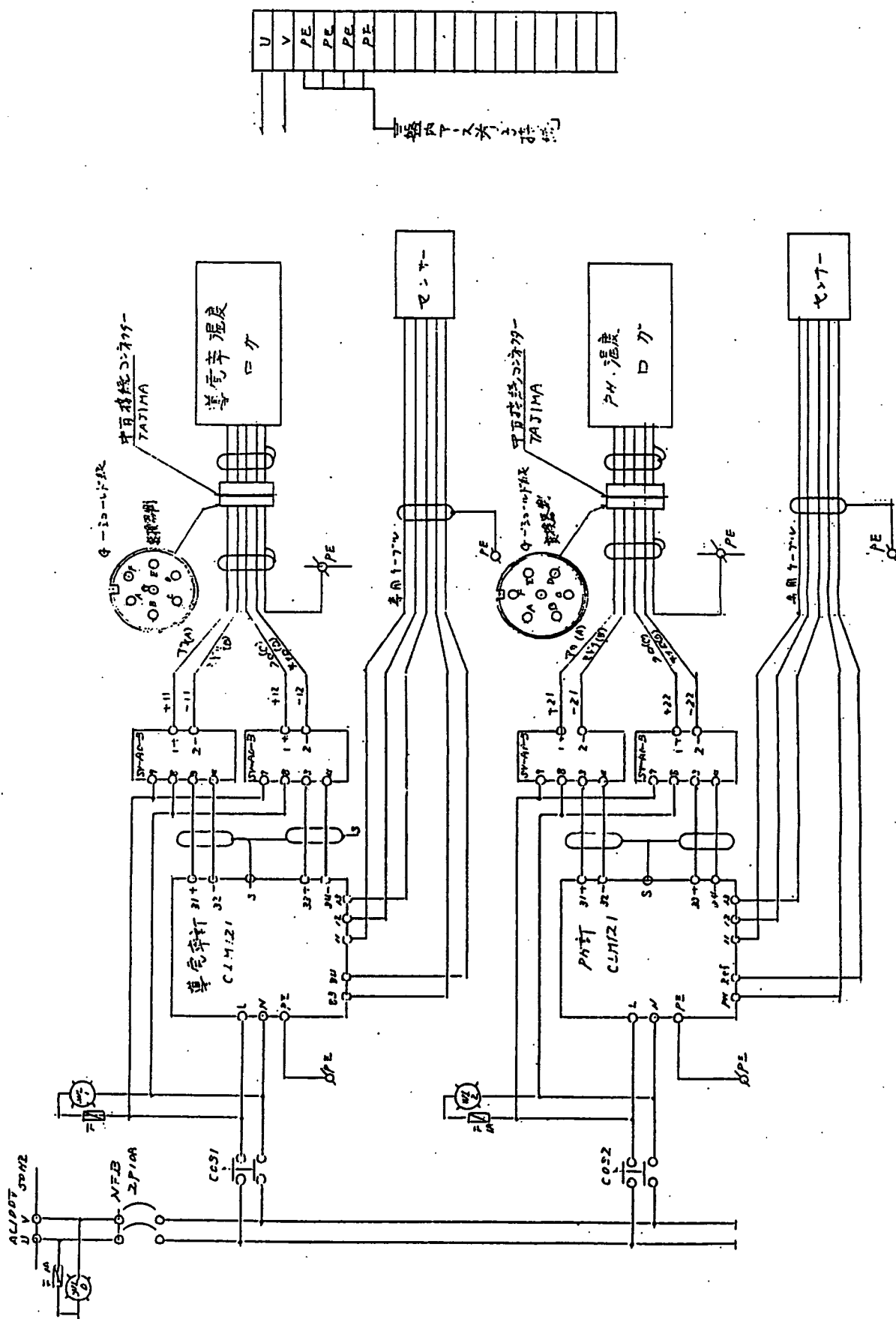


図2.2-2 観測システムの回路図

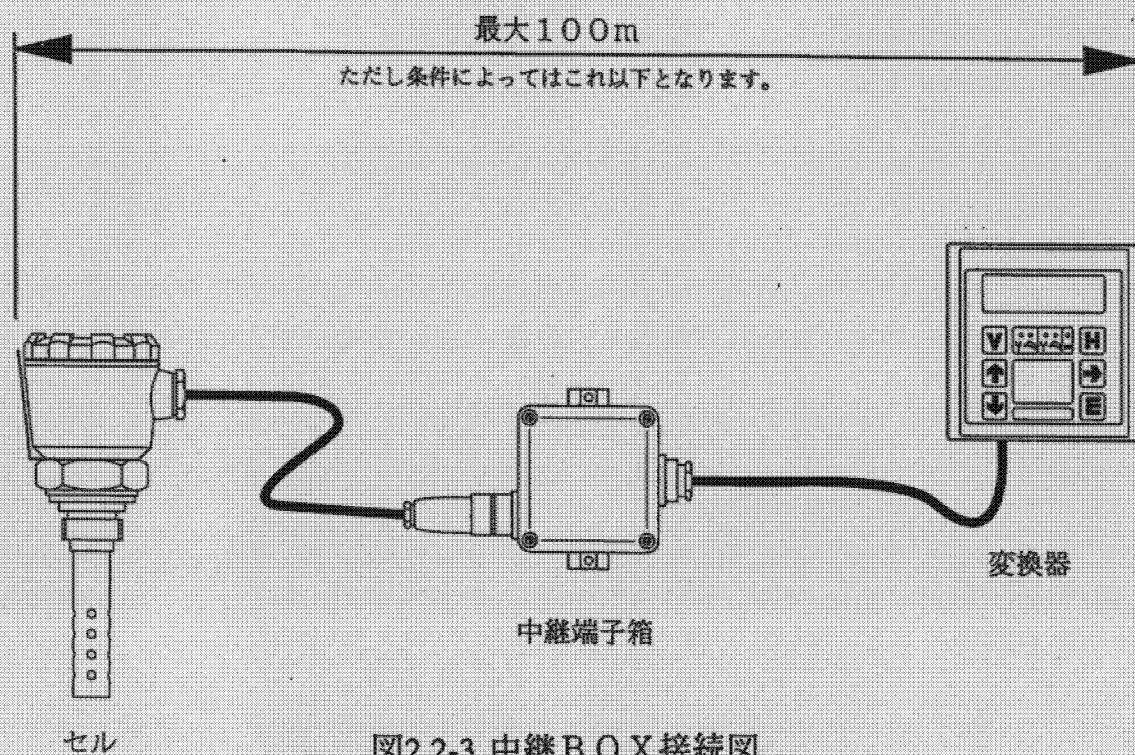


図2.2-3 中継BOX接続図

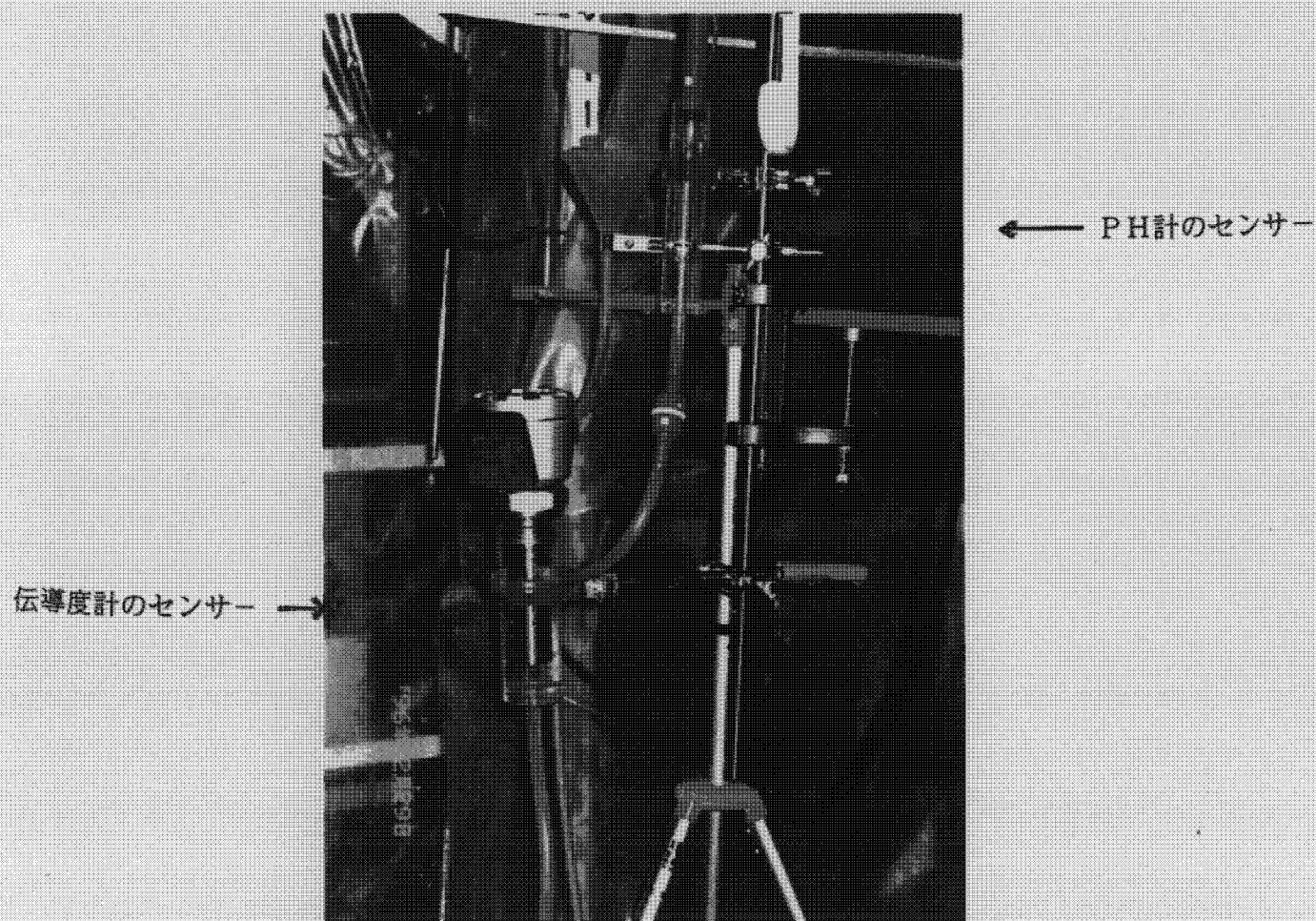


写真2.2.2 PH計と伝導度計のセンサー部

2.3 サンプル水採取用パッカーの設置

釜石鉱山のL550, K-10地点に於ける地下水理観測に用いるサンプル水は、天磐の亀裂から湧出する滴水を、小型の漏斗で受けたものを使用している。しかしながら、水質分析に用いるサンプル水は、空気に触れないものが望ましいと考えられるため、新たにボーリング孔を削孔しこれにパッカーを取り付けて採水することを計画した。

現地に於けるボーリング孔は平成7年8月に3本を削孔完了した。この状況を図2.3.1ボーリング孔の配置に示す。実際の工事では、岩盤の亀裂に沿った削孔は困難で3本の孔で奥まで湧水が認められるのは1本のみで、2本は亀裂から外れた結果となった。

パッカーの製作に日数が掛かるので、その間ゴム栓で代用出来ないかと考えて、先ず柔らかいゴム栓と硬めのゴム栓を用意して孔口に取り付けた。この状況を写真2.3.1～2に示すがこのなかで白、黄、赤色に見えるのがゴム栓である。ゴム栓をセットしても湧水量が少ないため、中央の採水パイプから水が出てくるまでには2～3週間必要であった。平成8年2月にパッカーを取り付けたが水が出てこないため、現在はゴム栓からの湧水をサンプル水として使用している。図2.3.2にパッカーの製作図を示す。

ボーリング孔の配置

孔No	深さCm	孔径 mm	備考	
1	8	79		
②	65	79	新規削孔	湧水は孔口近く
③	77	52	"	奥は乾いている
4	6	76		
⑤	28	52	新規削孔	奥も湿っている

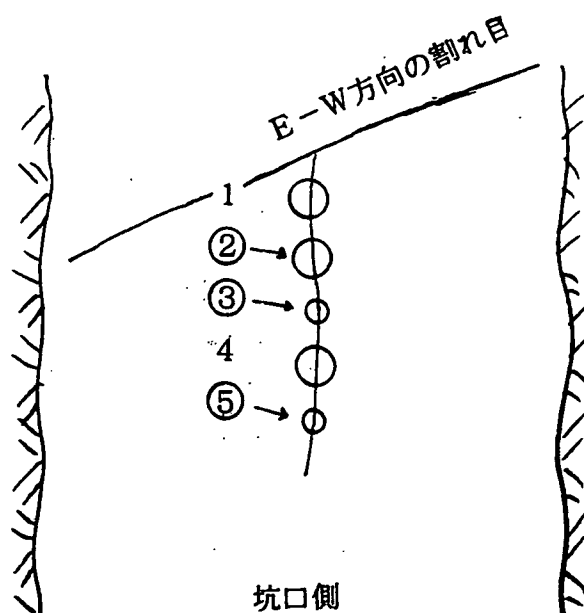


図2.3.1 ボーリング孔の配置

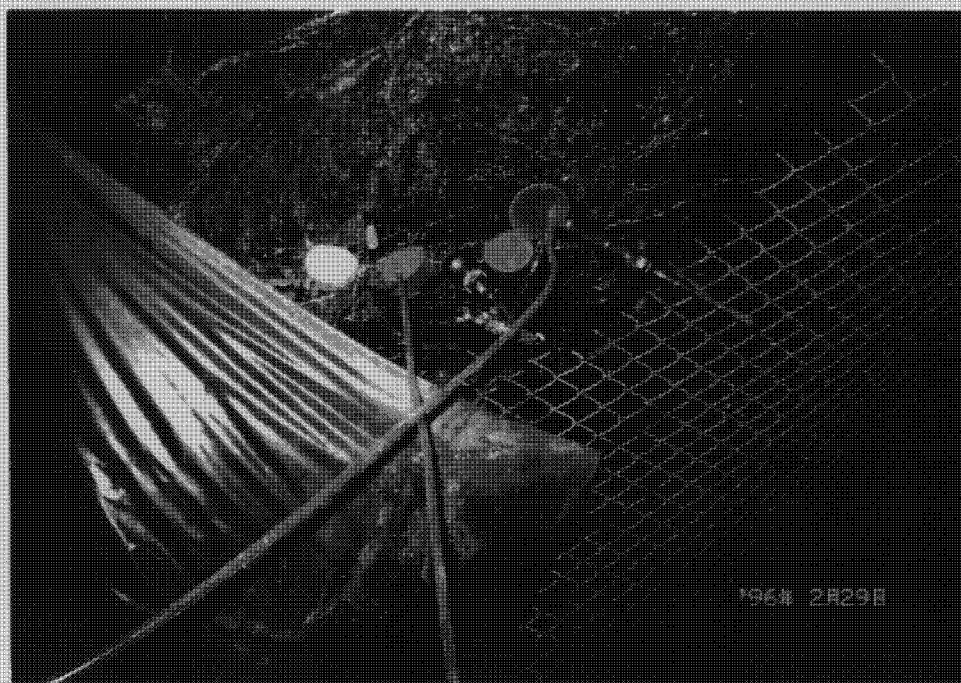


写真2.3.1 天磐の湧水亀裂にセットしたゴム栓とパッカー (1)

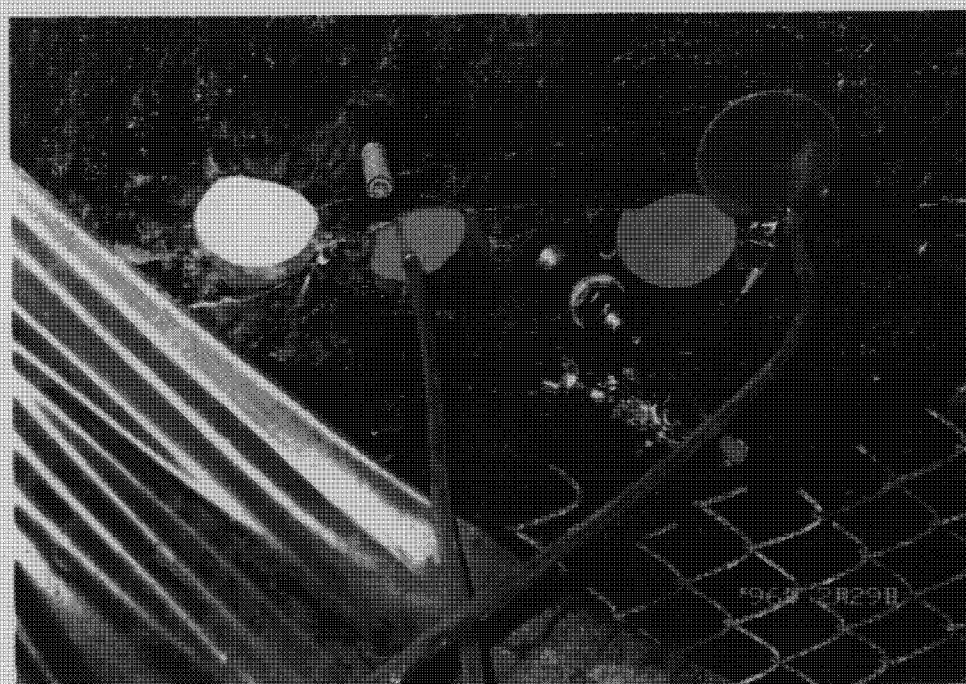
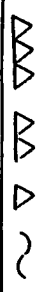


写真2.3.2 天磐の湧水亀裂にセットしたゴム栓とパッカー (2)



	A	B	C
φ52用	φ45	φ50	φ52
φ79用	φ70	φ77	φ79

図2.3.2 パッカーの製作図

[illegible]

類別	年月日	本	已	通	記
	..				△

2.4 観測機器の故障とその処置

平成7年度は、釜石坑内L550mLに設置してある地震および地下水理の観測機器に故障が続発し、その修理に多忙な1年であった。故障全部の修理完了（平成8年1月9日）後の平成8年2月17日早朝に発生した□□地震についても、残念ながら機器のエラー等で必要なデータを観測することが出来ず、再度の点検を要する状態となっている。

2.4.1 地震計の故障修理（磁気テープ記録機の作動停止）

- ① 10月26日 ----- 地震記録の長期欠落に気付く。（最終記録は、8月24日）
- ② 11月14日～16日 -- 現地点検し、機器の取り外しと、アンプの現場修理を実施。
- ③ 11月～12月 ----- 明石製作所で観測装置のコントロール部修理を実施。
- ④ 12月25～日27日 -- 現地再設置、調整工事を実施し観測体勢に戻った。

11月14日の点検により地震観測装置（AJE-8000Bs）のサーボアンプ2台（3ch, 4ch）の故障を発見し、アンプのIC（1456G）を2個交換して修理を完了した次に装置全体の作動テストを実施したところ、以下のような故障が判明した。

- (1) 点検・観測の切り替えスイッチが作動しない。
- (2) 手動で記録装置を作動させた時には、磁気テープ記録機および熱ペン記録機は作動するが、コントロール部を介して作動させると、熱ペン記録機は作動するが磁気テープ記録機は作動しないことが判った。

上記のことから、故障は観測装置のコントロール部と判断して、この部分を本体から取り外し修理のため工場に送った。検査の結果、コントロール部の基盤が3枚不良であることが判ったので、基盤を交換して工場での修理を完了した。

2.4.2 レーザ- 干渉式岩盤ひずみ計の故障

- ① 2月28日, 3月1日-- 設置完了, 真空パイプは-700mmHg にセット（平成6年度工事）
- ② 3月29, ----- データ-ログ-の記録解析により計測不調との報告あり。現地点検日程打合せ。
- ③ 4月18日, 19日---- 東京精密による現地点検, 調整実施。干渉計部の結露による光路障害と真空パイプ内の真空度が不安定な事が判明。 加温により結露解消, 干渉計と反射鏡部をカバーして内部をシリカゲルで除湿することとした。

真空パイプは、常圧で使用する事に変更した。

- ④ 5月25日, ----- 除湿カバーの製作のため業者入坑し寸法を取る。

- ⑤ 6月15日, ----- アクリル製除湿カバーの取り付け完了。
- ⑥ 6月20日 ----- ひずみ計不調, 本体からロガーへデータが出力されない。再度現地点検をすることにして, メーカーへ連絡。
- ⑦ 6月27日, 28日---- 東京精密による現地点検, コンピューターのプログラムの欠陥と判明。現地で修正, ロガーへ連続記録可能となる。
結露による障害の再発は無かったがシリカゲルを除湿カバー内にセットした。
- ⑧ 6月29日～7月12日-- この間は, ひずみ計およびデータの収録とも, ほぼ正常に作動した。この間にひずみ計は 3.5×10^{-6} St. に相当する伸びを記録している。
- ⑨ 10月26日 ----- PH計のセンサー交換時に観測室内の打点記録器への信号が異常を発見、高電圧による入力オーバーと判断された。
- ⑩ 11月14日 ----- 明豊エンジニアリングの点検により、DA 出力 ボードから観測室へ送られた信号電圧が15Vである事が確認された。
この原因はDAボードの作動電圧が直接信号出力端子にショートしたもの。この信号は地震発生時の急激な岩盤変位を記録するものである。
DAボードの低圧出力端子から、データロガーへ送られる通常時の測定値は正常であった。
- ⑪ 11月20日 ----- 東京精密と打ち合せの結果、新しいDAボードを発注し、現地で交換作業を実施することにした。
- ⑫ 12月26～27日--- 26日の現場交換により信号電圧は正常に復帰した。27日連続作動を確認し、また明豊エンジニアリングと観測室内計器との関連作動を確認後、東京精密は引き上げた。

2.4.3 自動採水器の故障と修理

- ① 4月18日, 19日----- 採水器作動せず。明豊エンジニアリングによる現地点検を実施した。
トリガー信号線の絶縁不良と判明, 6芯の中で空いていた2芯を代替使用した。吸水ポンプも故障していた為, 予備の新品と交換して修理完了した。
- ② 5月12日 ----- 釜石より再度故障との報告有り。点検の為メーカー送りに決定し, 釜石鉱山に発送を依頼。
- ③ 5月18日 ----- 釜石発送, 24日大阪アドバンテックに到着。
- ④ 6月29日 ----- 修理完了, 連続試運転に入る。故障状況は, トリガー信号線

より高電圧が侵入し、自動採水器の入力フォトカプラ-及び内部の制御用コンピューターを破壊していた。

- ⑤ 7月 4日 ----- アドバンテックを発送, 10日釜石到着。
- ⑥ 7月14日 ----- 明豊エンジニアリング による現地点検, トリガー信号線の絶縁不良箇所(外傷, 10m 切断)を発見, 代替の線を接続して修理完了。
トリガー信号発信器もメーカーに送って点検することとした。
- ⑦ 9月5日～6日 ----- 現場再設置完了。 運転再開。
- ⑧ 10月18日 ----- 故障再発(作動停止、制御基盤の小故障。原因不明)
- ⑨ 10月26日 ----- トリガー信号線点検。電圧は13Vで正常のため採水器の故障と判定, メーカーへ送り修理することにした。
- ⑩ 11月6日 ----- メーカーへ発送。 16日より12月18日まで修理実施。
- ⑪ 12月26日 ----- 25日釜石着, 現場再々設置するも液有無センサーの故障らしく作動途中で停止する。メーカーと対策について協議する。
液有無センサーの位置が輸送時のショックでずれたらしいと判定, 調整を要する。
- ⑫ 8年1月9日 ----- 工業用電気伝導度計の桜エンドレスに伝導度計の修理のついでにセンサーの位置調整を依頼。センサーと採水ビーカー側面との間隔を5mmから2mmに調整して作動開始した。

2.4.4 PH計・工業用電気伝導度計の設置と故障修理

- ① 9月5日～6日 ----- 現場設置完了し観測体制に入った。
- ② 9月9日 ----- PH値の測定値不調となる。センサー発注、入荷待。
- ③ 10月26日 ----- 桜エンドレスにより センサーの交換実施。測定値は順調となる。
- ④ 10月22日 ----- 工業用電気伝導度計の測定値が低すぎるようなので調整を実施した。(137 から 157 $\mu\text{S}/\text{cm}$ へ引き上げ)
- ⑤ 12月26日 ----- 工業用電気伝導度計 故障 (測定値が突然0となった。)
- ⑥ 8年1月9日 ----- 桜エンドレス入坑しコードの断線を発見した。コードの接続がねじ込み式のため, 信号線がねじ切れていた。今後の保全のため中間継ぎ手の有る別タイプのコードをセットして正常にもどった。

3. 釜石鉱山における地震観測データの収集と解析

3.1 まえがき

この章では、釜石鉱山で行っている地震観測データに基づいて、地下深部における地震動特性に関する観測・解析結果を取りまとめた。

先ず3.2節では、釜石鉱山における地震観測の概要について述べ、次いで、3.3節では地震観測結果についてまとめた。今期は、平成7年1月15日から平成7年12月31日までの約1年間に27個の地震が観測され、これらの観測データに基づいて地震動の地中での増幅特性等についてまとめた。また、FLUSHを用いた2次元応答解析を行い、解析結果と実地震記録との比較により、地質・地形が地震動に及ぼす影響について検討した。

3.2 地震観測の概要

釜石鉱山の高峰地区坑道に設置したK-1からK-6までの地震観測点の位置を図3.2-1に示す。その範囲は平面的には東西及び南北方向でおよそ800m、また鉛直方向では地表(EL.865m)からEL.725m、EL.550m、EL.250mの各坑の3坑道、深度615mにわたっている。地震波の平面アレイ観測網として、EL.550m坑に一辺の長さがそれぞれ760m、790m、860mの三角形を形成するよう測点を配置し、さらにこの平面上の3点と地表部の測点によって三角錐状の観測網を形成している。なお、全観測点を平面的にみると測点K-1、K-2及びK-5はほぼ同位置に設置されている。また、平成5年10月末よりK-7の地震観測点を増設しており、他測点との平面・断面の位置関係を図3.2-2および図3.2-3に示す。各観測点ともNS方向(X)、EW方向(Y)及び鉛直方向(Z)の3成分観測で、地震計は加速度計を使用している。地震データは分解能が良く微小地震動から強地震動まで観測できるデジタル方式(明石製AJE-8000E)で磁気テープに収録している。このシステムのAD変換器は16ビットで、最大振幅を500galとすると0.015galが最小分解能である。サンプリングタイムは0.005secである。なお、K-1～K-4各測点の信号はEL.550mに設けた観測室にケーブルで送り集中記録しているが、K-5、K-6、K-7の各測点の信号を観測室まで信号ケーブルで送ることは困難なため、この3点では独立型のサーボ型加速計を用いたデジタル強震計(SMAC-MD)を設置し、観測データをICカードに収録している。この強震計のAD変換器は16ビット、サンプリングタイムは0.005secでK-1～K-4の集中記録方式と同様である。トリガー方式はK-1～K-4測点については、K-1とK-4の2測点のZ成分ならびにK-1のX

成分の3成分AND回路でトリガーレベルは0.3gal、またK-5、K-6、K-7測点については3成分のOR回路で0.5galと各々設定しており、遅延は全測点ともに5秒である。

3.3 地震観測結果

3.3.1 観測結果の概要

釜石鉱山における地震観測は、平成2年2月に観測を開始して以来、平成7年1月までの約5年間に220個の地震を観測している。その後、平成7年1月15日から平成7年12月31日までの約1年間に27個の地震記録を得ている。観測された27個の地震の諸元と震央分布を表3.3.1-1と図3.3.1-1にそれぞれ示す。なお、これらの地震の諸元は気象庁によった。図3.3.1-1に示す震央分布によれば、観測された地震の多くは、青森県から宮城県にかけての太平洋側、特に三陸沖に集中している。

今年度観測された地震のうちマグニチュードが最大の地震は、3月31日に発生した日本海中部地震(地震番号236)で $M=6.5$ である。また、加速度振幅が最大の地震は、地震番号232の岩手県沖地震($M4.8$)でK-1点で28galである。前年度は7月22日の日本海北部(地震番号178、 $M7.6$)、10月4日北海道東方沖地震(地震番号189、 $M8.1$)および12月28日三陸はるか沖地震(地震番号206、 $M7.5$)など $M7$ 以上の地震が5個観測されたが、今年度は1個も観測されなかった。また、K-1点で10galを越える地震は前年度は8個あったが、今年度は岩手県沖地震(地震番号232)の1個のみであった。この岩手県沖地震のK-1~K-7各点での観測波形を図3.3.1-2に、また、K-1点で観測された加速度波形から求めた速度波形と変位波形およびフーリエスペクトル等の基本解析結果を図3.3.1-3にそれぞれ示す。さらに、これらの地震のK-1~K-6点の各点でのフーリエスペクトルをまとめて図3.3.1-4に示す。なお、K-5、K-6、K-7の3観測点は他の観測点と同期がとれていないこと、また、2.4節で述べたように観測装置の不良による欠測もあり、全観測点で共通に記録できた地震は、今期は27個中3個であった。

3.3.2 加速度振幅の増幅特性

鉛直アレーの最深点であるK-6点を基準とした場合のK-5、K-2およびK-1点での加速度振幅の増幅率を図3.3.2-1(1)に示す。同図には、これまでに全点で同時に観測された44個の地震の内、K-6地点で2gal以上の21個の地震を示してある。また、図3.3.2-1(2)に

は図 3.3.2-1 (1) の平均値と標準偏差を実線と点線で示す。同図によれば、X と Z 成分では K-6 ~ K-5 の各点の地中での増幅率は 1、また、K-1 点ではほぼ 2 程度である。これに対し Y 成分では、深度が浅くなるにつれ増幅率は漸増し、K-5 点で 2、K-1 点で 3 程度の値を示す。

次に、地表に近い K-1 点を基準とした場合の K-5、K-2 および K-6 点での加速度振幅の低減率を図 3.3.2-2 (1) に、また、図 3.3.2-2 (2) には図 3.3.2-2 (1) の低減率の平均値と標準偏差を実線と点線でそれぞれ示す。同図に示すように、地表の K-1 点を基準とした加速度振幅の通減率は、最深点の K-6 点を基準にする増幅率よりもバラツキが大きくなっている。

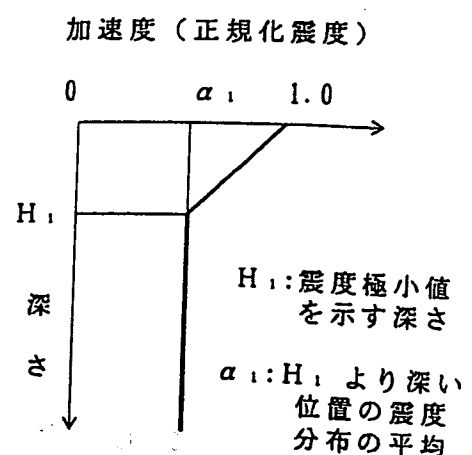
ここで図 3.3.2-1(1)と図 3.3.2-2(1)中の数字は、増幅特性と通減特性の平均から大きくはずれる地震の番号を示したものである。このうち X と Y の水平成分に限定すると、平均値から大きくはずれる地震は 134、151、152、174、177 の 5 つである。これらの地震と釜石鉾山との位置関係を明らかにするため、解析に用いた 21 個の地震のうち震源距離が 200km 以下の 19 個の地震の震央分布を図 3.3.2-3 に、震源距離と深さの関係を図 3.3.2-4 にそれぞれ示す。これらの図によれば、地震番号 134 の地震を除く 151 ~ 177 の 4 個の地震は、いずれも震央距離が 10km、深さが 20km 程度で釜石鉾山の比較的近くで発生した地震であることがわかる。これらの地震が釜石鉾山での平均的な増幅特性や通減特性からはずれない理由としては、他の地震に比べて①特に短周期成分の減衰の影響が少ないこと、②直達 S 波の入射角が 30° ~ 35° 程度と大きいこと、③地山の起伏に直交する方向から入射したことなどが考えられるが、詳細は今後の課題としたい。

ところで電力中央研究所では、成層構造を示す硬質岩盤での地震観測記録に基づき、数値解析によって地中地震動の深さ方向の低減特性を次式のように提案している。

$$H_1 = \frac{1}{4} V_s \cdot T$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{2} \sqrt{1 + (V_s / V_B)^2}$$

ここで、
 V_s : 表層の S 波速度
 V_B : 基盤の S 波速度
 T : 入射波の加速度応答スペクトルの卓越周期



上記の提案式において、釜石鉾山での代表的な地盤物性値である $V_s = 2600 \text{ m/s}$ 、 $V_B =$

3600m/s、 $T=1/6\sim 1/7$ sec を代入すると、 $H=93\sim 108$ m、 $\alpha=0.62$ を得る。これらの値は図 3.3.2-2 (2) に示す観測値と概ね一致している。従って、地下数 100m の深部における地震力の推定には、この提案式を用いることが可能であると思われる。

3.3.3 地山の地質地形が地震動に及ぼす影響の検討—観測データに基づく検討—

地形が地震動に及ぼす影響を検討するため、ここでは地表面付近に設置されている K-1 (EL865m)、K-7 (EL725m) の 2 観測点と、K-7 点と同一の標高ではあるが地中に設置されている K-5 点との最大加速度やスペクトルの比較を行った。

なお、K-7 点は平成 5 年 11 月から地震観測を開始したが、これまでに K-1、K-5 および K-7 点の 3 点で共通に観測された地震の数は 35 個である。

(1) 最大加速度振幅の比較

K-1 点と K-5 点、K-1 点と K-7 点および K-7 点と K-5 点について求めた最大加速度の振幅比を図 3.3.3-1 (1) ～図 3.3.3-1 (3) に示す。これらの図より以下の特徴を指摘出来る。

はじめに、鉛直アレーを構成する K-1 点と K-5 点とを比較すると、K-5 点に比べて K-1 点の方が約 2 倍大きい。地山の起伏により揺れやすい Y 成分とそれに直交する X 成分とを比較すると、両者に顕著な差はみられないようである。次に、共に地表面付近に位置する K-1 点と K-7 点とを比較すると、K-7 点に対する K-1 点での最大加速度は X および Z 成分では約 1～2 倍大きい。また、Y 成分ではばらつきは大きいがおおそ 1.5～3 倍程度大きい傾向にある。一方、標高は等しいが地表面に位置する K-7 点と大峰地区坑道内に位置する K-5 点とを比較すると、X と Y の水平成分では一部 K-7 点の最大加速度の方が K-5 点より小さい例もみられるが、大半は 1～2 倍の範囲にある。Z 成分でも同様に 1～2 倍の範囲にある。

(2) 各観測点間の伝達関数の比較

次に、K-1 点と K-5 点、K-1 点と K-7 点および K-7 点と K-5 点について、フーリエスペクトル比から求めた各観測点間の平均の伝達関数を図 3.3.3.1-2 (1) ～図 3.3.3.1-2 (3) に示す。同図によれば各観測点間の水平成分の伝達関数には以下の特徴がある。

K-1/K-5 の水平成分の場合、4～6、8 および 12～14Hz にピークがあり、増幅率は 4 倍程度である。K-1/K-7 も、6～8、12～13Hz にピークがみられるが K-1/K-5 ほど明瞭でな

い。また、増幅率も3~4と小さくなる。K-7/K-5では顕著なピークは存在せず、また増幅率も2以下である。

3.3.4 地山の地質地形が地震動に及ぼす影響の検討—数値解析による検討—

地形による地震動の影響、地震の震源要素による影響等について検討するため、釜石鉾山で観測された代表的な地震記録を用いて、原位置での地形を考慮したシミュレーションを行なった。解析は地下深部での地質構造が明確なNS方向断面(図3.3.4-(1)参照)をモデル化し、2次元断面で実施した。

(1) 解析内容ならびに方法の概要

解析の内容を表3.3.4-1に示す。これらの解析に用いた動的物性値は、1次元モデル(SHAKE)で検討した地盤モデルを考慮して設定した。次に、解析に用いた観測記録は、震央位置、マグニチュードの大きさ等を考慮し表3.3.4-2に示す4個の地震を選定した。解析のフロー図を図3.3.4-2に示す。

(2) 解析条件ならびに入力物性値

解析に用いたMESH図(節点番号、要素番号)を図3.3.4-3に示した。解析は底部は水平・鉛直とも固定条件、側方はエネルギー伝達境界の境界条件を設けて行った。入力地震動は、K-1地点(EL.865 m)のNS方向(X方向)の地震波形を、1次元波動論によりEL.0 mまでデコンボリューションして求めた波形を用いた。解析周波数は、原則として0~30Hzまでを対象とした。物性値を一覧にして表3.3.4-3に示す。同表に示すように、入力地震の最大加速度が小さいため、非線形性の影響は考慮していない。図3.3.4-4に入力物性の区分図を示す。

(3) 解析結果

a. 重複反射理論の解析結果

2次元NS断面の地盤モデルの基盤(EL.0m)に入力する加速度波形を策定するため、S波重複反射理論の計算プログラム“SHAKE”を用いた解析を実施した。解析条件を表3.3.4-4に示す。なお、地盤物性値は「平成4年度地震に関する調査研究(IX)」の結果を参照にして作成した。

ここで、問題となるのが、どの深度で観測された波形を EL.0m までデコンボリューションするのか、また、その解析周波数域を何 Hz まで設定するかである。このため、以下に示す種々の条件で検討を行なった。

- ① 地表部の K-1(EL.865m)と地下最深部の K-6(EL.250m)の観測記録のどちらを用いてデコンボリューションするか。

各地震ともに地下最深部(K-6:EL.250m)で観測された波形を用いて重複反射理論解析を実施すると、地表面での応答加速度波形が観測値よりも約 2 倍程度大きくなる傾向がある。一方、地表面(K-1:EL.865m)で観測された波形を用いて解析を実施すると、各深度ともに観測値との対応が良い(表 3.3.4-5(1)～3.3.4-5(8)参照)。このため、デコンボリューションは地表面で観測された波形を用いて実施した。

- ② 解析周波数は 20Hz (前回検討時) または 30Hz のどちらで実施するのか。

解析周波数域については、 $f_{\max}$ を 20Hz で実施すると各深度での応答値が観測値よりも大きくなる。一方、 $f_{\max}$ を 30Hz で、かつ①の地表面(K-1:EL.865m)で実施すると、観測値と対応が良いことから、解析周波数域は 30Hz とした。しかし、2次元複素応答解析(FLUSH)では、サンプリングを $\Delta t = 0.02 \text{ sec}$ とすると、最大解析周波数は 25Hz となるため、FLUSH で解析を実施する場合は 25Hz を最大解析周波数とした。

b. 2次元複素応答解析(FLUSH)結果

2次元複素応答解析による代表的なポイントでの入力地震ごとの最大加速度の応答分布を図 3.3.4-5 に示す。また、表 3.3.4-6 に観測値と解析値の比較を一覧にして示す。

これらの図表より、震央距離が 60km 未満の近距離地震(地震番号 163,174)の観測地震波を用いた場合、解析結果と観測値とは良い対応を示す。しかし、震央距離が 100km より遠い地震(地震番号 189,215)の場合では、解析結果は観測値よりも 1.5～2.5 倍程度大きな値となっている。この理由としては、重複反射理論による解析結果で述べたように、デコンボリューションした時点で 2次元複素応答解析における入力基盤面での応答値が大きくなっていること、また、遠地地震の場合、鉛直下方から入射する地震動のほか表面波成分の影響も無視できないこと等が考えられる。

次に、上述の観測値と解析値との対応が良い地震番号 163,174 の観測波を用いて、坑

道掘削の影響を加味した2次元複素応答に関する解析を行った。結果のうち代表的なポイントでの応答を図3.3.4-6に示す。また、観測値とを比較した結果を表3.3.4-6中の()内に示す。この結果によれば、スカルン部位を掘削坑の影響を加味してS波速度を4000m/secから2500m/secと低めに設定したした場合、当初の条件で実施したケースに比べて観測値との対応が良い。

(4) 今後の解析計画

地山の地質地形が地震動に及ぼす影響を明らかにするため、今後以下の点を考慮して実施する。

a. 2次元複素応答解析

- ① 解析境界条件として下端部を粘性境界とし、半無限地盤として行う。
- ② 入力地震として、入射角の値が小さい地震動を抽出して実施する。

b. 3次元動的応答解析

- ① 原位置の地形を考慮した単純な3次元モデルを作成し、上述の2次元複素応答解析と同様にシミュレーションを行う。
- ② 2次元ではNS方向断面のみを取り扱っていたが、EW方向断面における地震動の地形による影響についても解析的検討を実施する。

3.4 まとめと今後の課題

3.4.1 まとめ

- (1) 平成7年1月51日から平成7年12月31日までの約1年間に観測された地震の数は27個である。観測された地震の多くは、青森県から宮城県にかけての太平洋側、特に三陸はるか沖に集中している。
- (2) 今年度観測された地震のうちマグニチュードが最大の地震は、平成7年3月31日に発生した日本海中部地震(地震番号236)で $M=6.5$ である。また、加速度振幅が最大の地震は、地震番号232の岩手県沖地震($M6.5$)でK-1点で29galである。前年度はM7クラスの地震が5個観測されたが、今年度は1個も観測されなかった。また、K-1点で最大加速度が10gal以上の地震は今年度1個のみである。
- (3) 鉛直アレーの最深点であるK-6点(EL.250m)を基準とした場合のK-2(EL.550m)、K-

5(EL.725m)およびK-1(EL.865m)の各点における加速度振幅の増幅率を調べた。その結果、XとZ成分では地中最深のK-6点からK-2までは増幅率が1、K-1点ではほぼ2であるのに対し、Y成分では深度が浅くなるにつれ増幅率は漸増し、K-1点で3程度の値を示す。また、XとYの水平成分に限定すると、増幅率が平均値から大きくはずれる地震は、震央距離が10km、深さが20km程度で釜石鉾山の比較的近くで発生した地震である。

- (4) 地質地形が地震動に及ぼす影響を検討するため、地表面付近に設置されているK-1点(EL.865m)、K-7点(EL.725m)およびK-7点と同一の標高ではあるが地中に設置されているK-5点との最大加速度やスペクトルの比較を行った。鉛直アレーを構成するK-1点とK-5点との最大加速度を比較すると、K-5点に比べてK-1点の方が約2倍大きい。地山の起伏により揺れやすいY成分とそれに直交するX成分とを比較すると、両者に顕著な差はみられないようである。ともに地表面付近に位置するK-1点とK-7点の場合、K-7点に対するK-1点での最大加速度はXおよびZ成分では約1~2倍大きい。一方、Y成分ではばらつきは大きいがおおそ1.5~3倍程度大きい傾向にある。次に、フーリエスペクトル比から求めた各観測点間の平均な伝達関数のうち、最も顕著なピークを示すものはK-1/K-5の水平成分の場合で、4~6、8および12~14Hzにピークがあり、増幅率は4倍程度である。ただし、NSとEW成分とではピーク周波数が一致しない。

3.4.2 今後の課題

釜石鉾山での地震観測は、平成2年2月に観測を開始し、北海道東方沖地震(M8.1)や三陸はるか沖地震(M7.5)などM7以上の地震も含め、これまでに合計247個の地震記録が得られた。このように地下深部における地震動特性を検討するうえで不可欠な貴重なデータが蓄積されつつある。しかし、より精度の高い検討を行うためには今後以下のような地震観測システムの改良や各種の調査・検討が必要である。

(1) 地震観測システムの改良

現在のところ、地震観測データを一箇所で集中記録していないため、K-5点とK-6点ではデータの欠測が多々生じ、また、K-1点~K-4点のデータと時刻が不一致のため解析に支障をきたしている。このため、K-5点、K-6点の地震計の信号をデジタル方式により観測室に送り、K-1点~K-4点の信号とともに集中記録する必要がある。

(2) 地震観測点の増設

地表から 1,000m 程度の地下深部における地震動特性を把握するため、KH-1 孔の孔口 (EL550m) と孔底 (EL50m) に地震計を設置し、実地震データの収集に努める必要がある。

(3) 釜石鉱山における弾性波速度探査 — 垂直アレーに沿った速度構造調査

実地震波形と理論波形との比較から地震動の増幅特性や地下深部における入力レベルを明らかにするためには、観測点周辺の速度構造、特に S 波速度と減衰定数を把握することが不可欠である。しかし、現時点では一部の岩盤の P 波速度が判明しているのみで、解析に不可欠な S 波の速度構造や減衰定数は不明である。このため、主に K-1 点 (EL865m)、K-5 点 (EL725m)、K-2 点 (EL550m) および K-6 点 (EL250m) の 4 点で構成される鉛直アレー観測網に沿った弾性波速度調査を実施し、実地震観測波形のシミュレーション解析に用いる地盤モデルを作成する必要がある。

参考文献

- 1) 佐藤ほか、地中地震動の深さ方向の低減特性とその定式化、電力中央研究所、研究報告 U385043、1986.

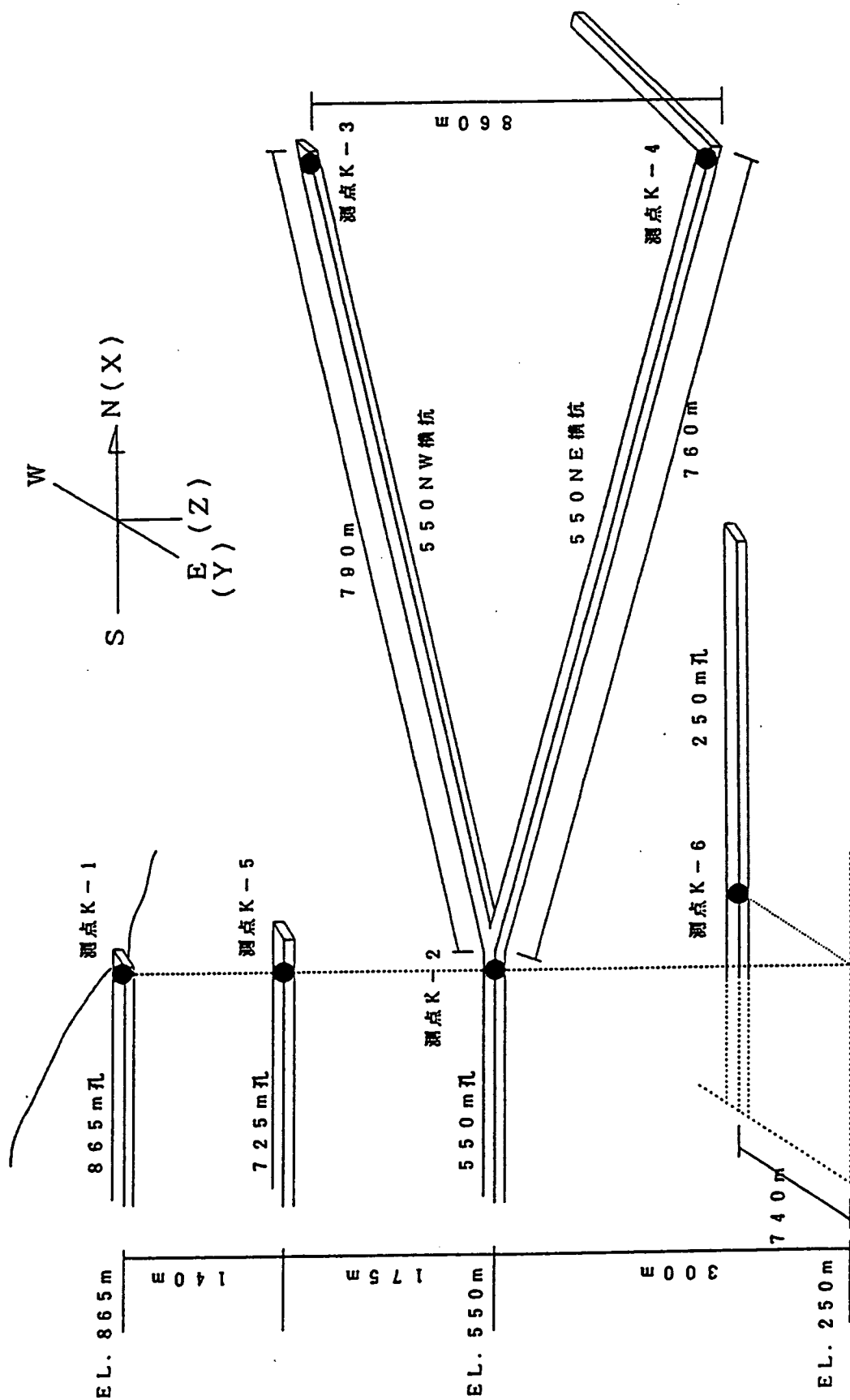


図3.2-1 釜石鉾山における地震計の設置箇所の模式図

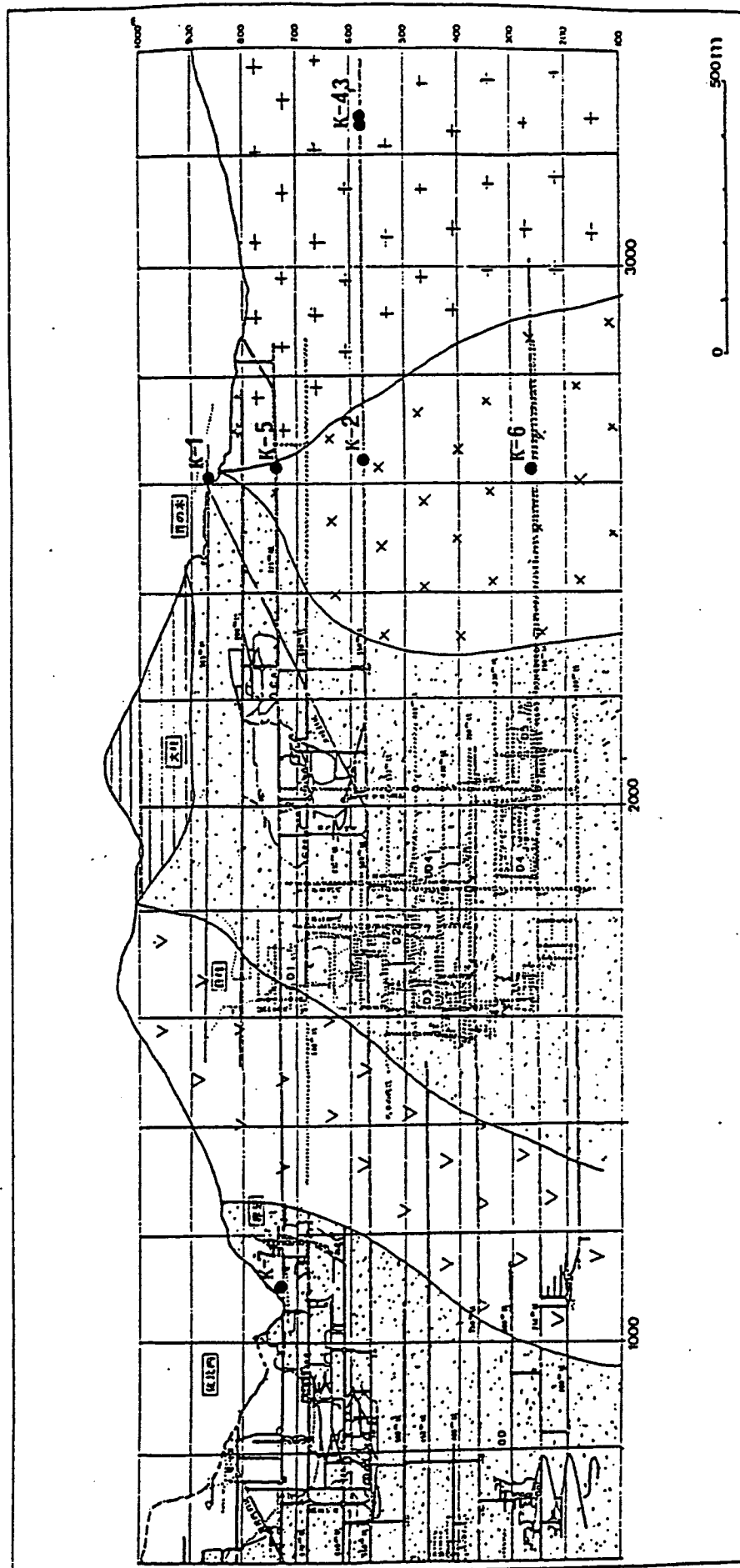


図3.2-3 釜石鉾山における増設地点(K-7点)及び既存観測点の位置図(南北断面)

表3.3.1-1(1) 平成7年1月15日から平成7年12月31日までに観測された地震の一覧表

No.	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235
Earthquake	岩手県沖	根室半島南東	青森県東方沖	岩手県陸部	岩手県沖		三陸はるか沖	岩手県沖	岩手県沖		岩手県沖	岩手県沖	岩手県沖	岩手県沖	岩手県沖
Origin time	1995.01.18 16:08	1995.01.21 17:47	1995.02.06 22:51	1995.02.07 04:34	1995.02.12 04:27	1995.02.14 11:31	1995.02.23 14:01	1995.03.01 20:18	1995.03.04 23:12	1995.03.07 08:37	1995.03.11 00:20	1995.03.11 13:50	1995.03.14 05:53	1995.03.23 01:21	1995.03.23 20:37
Latitude	40° 12' .	43° 11' .	41° 06' .	38° 48' .	40° 24' .		39° 48' .	39° 18' .	39° 54' .	. . .	40° 12' .	39° 18' .	40° 06' .	39° 24' .	40° 06' .
Longitude	142° 30' .	145° 44' .	142° 18' .	141° 24' .	142° 12' .		143° 54' .	142° 00' .	143° 12' .	. . .	142° 24' .	142° 06' .	142° 54' .	142° 12' .	142° 30' .
Depth (km)	40.0	58.0	50.0	110.0	50.0		0.0	50.0	0.0		40.0	60.0	30.0	50.0	40.0
Magnitude	4.6	6.2	5.3	未決定	4.4		6.0	3.9	4.7		4.4	4.8	4.9	3.4	4.7
Epicentral Distance (km)	128.9	610.5	214.2	53.4	53.4		202.1	29.8	151.1		124.4	38.2	143.1	49.6	119.9
Hypocentral Distance (km)	134.7	610.4	219.3	121.9	121.9		202.1	58.1	151.1		130.4	71.0	145.9	70.3	126.1
On the ground	865	X	1.12	1.32	1.51	1.00	1.11	1.68	1.51	1.07	1.38	18.65	1.31	1.07	0.97
		Y	1.76	1.51	1.00	1.11	1.68	1.51	1.07	1.29	1.43	28.00	2.70	1.31	1.24
Under ground	725	Z	0.73	1.00	1.00	1.08	0.84	2.17	0.70	0.89	0.99	12.71	0.96	0.91	0.72
		X	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	10.38	0.69	※1	※1
Under ground	550	Y	※1	※1	※1	※1	0.51	※1	※1	※1	※1	9.82	0.86	※1	※1
		Z	※1	※1	※1	※1	0.59	※1	※1	※1	※1	4.38	0.75	※1	※1
Under ground	550	X	0.47	0.42	0.46	0.66	0.54	1.28	0.38	0.40	0.46	12.87	0.51	0.46	0.37
		Y	0.45	0.48	0.79	0.91	0.64	1.22	0.39	0.51	0.47	12.44	0.66	0.65	0.65
Under ground	550	Z	0.40	0.47	0.52	0.37	0.67	0.87	0.43	0.53	0.72	5.70	0.81	0.40	0.41
		X	0.67	0.57	0.75	0.87	0.48	2.00	0.33	0.63	0.57	12.01	0.60	0.44	0.50
Under ground	550	Y	0.45	0.48	0.69	1.06	0.50	0.86	0.32	0.41	0.53	9.04	0.88	0.40	0.40
		Z	0.44	0.35	0.71	0.35	0.63	0.77	0.37	0.42	0.43	4.68	0.67	0.34	0.37
Under ground	250	X	0.51	0.44	0.58	0.88	0.49	1.19	0.40	0.38	0.40	9.40	0.41	0.47	0.38
		Y	0.35	0.34	0.65	0.64	0.62	0.88	0.32	0.46	0.34	7.48	0.65	0.44	0.35
Under ground	725	Z	0.35	0.35	0.57	0.31	0.67	0.55	0.30	0.34	0.31	3.07	0.44	0.18	0.34
		X	※1	※1	※1	※1	0.48	1.23	※1	※1	※1	11.27	0.40	※1	※1
Under ground	725	Y	※1	※1	※1	※1	0.56	0.92	※1	※1	※1	8.29	0.89	※1	※1
		Z	※1	※1	※1	※1	0.51	0.62	※1	※1	※1	5.63	0.42	※1	※1
On the ground	725	X	※1	0.88	0.86	※1	0.82	※1	0.64	※1	※1	7.21	0.85	※1	※1
		Y	※1	0.60	0.83	※1	0.79	※1	0.51	※1	※1	9.74	0.83	※1	※1
On the ground	725	Z	※1	0.83	0.87	※1	0.70	※1	0.58	※1	※1	7.00	0.93	※1	※1
		X	※1	0.83	0.87	※1	0.70	※1	0.58	※1	※1	7.00	0.93	※1	※1

表3.3.1-1(2) 平成7年1月15日から平成7年12月31日までに観測された地震の一覧表

No.	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	各地震の震源はこゝみでは、気象庁地震資料 (1995.11.15現在)によった ※1 当地点で、トリガーレベル以下の地震
Earthquake	日本海中部		岩手県南部	岩手県北部	岩手県南部		宮城県沖	三陸よるか沖	宮城県沖		青森県沖		
Origin time	1995.03.31 23:01	1995.04.06 22:50	1995.04.18 17:58	1995.04.19 11:32	1995.05.05 05:50	1995.06.04 00:06	1995.06.12 23:39	1995.07.08 14:42	1995.08.02 08:26	1995.08.05 18:20	1995.08.18 05:18	1995.11.06 12:13	
Latitude	38° 54' .	38° 54' .	39° 02' .	40° 05' .	38° 47' .	38° 47' .	38° 48' .	39° 37' .	38° 53' .	38° 53' .	40° 37' .		
Longitude	135° 28' .	140° 57' .	140° 57' .	141° 13' .	141° 27' .	141° 27' .	141° 57' .	143° 47' .	142° 33' .	142° 33' .	142° 06' .		
Depth (m)	394.0	12.0	12.0	10.0	8.0		55.0	0.0	23.0		40.0		
Magnitude	6.5		3.9	3.9	3.3		3.8	5.9	4.2		5.1		
Epicentral Distance (km) Hypocentral Distance (km)	On the ground	865	532.5	102.0	53.3		54.0	234.6	100.5		253.9		
			664.2	102.4	53.9		76.8	234.6	104.5		262.3		
K-1	On the ground	865	X 1.88	2.50	1.17	0.68	1.19	2.56	1.18	1.41	1.58		
			Y 2.03	4.16	1.31	1.38	1.60	2.68	2.19	1.58	2.10		
			Z 1.26	2.48	1.01	0.82	0.82	1.98	1.14	0.77	1.62		
K-5	Under ground	725	X 1.03	※1	※1	※1	※1	1.95	※1	※1	0.78	1.40	
			Y 0.99	※1	※1	※1	※1	1.37	※1	※1	1.00	1.67	
			Z 0.70	※1	※1	※1	※1	1.58	※1	※1	0.78	1.14	
K-2	Under ground	550	X 0.76	1.46	0.66	0.29	0.48	1.19	0.42	0.60	0.87		
			Y 1.04	1.13	0.88	0.53	0.68	1.08	0.60	0.62	0.82		
			Z 0.48	0.95	0.73	0.45	0.53	1.16	0.68	0.32	0.95		
K-3	Under ground	550	X 1.06	1.00	0.65	0.29	0.65	1.18	0.57	1.06	0.82		
			Y 0.86	0.87	0.97	0.34	0.68	1.19	0.47	0.59	1.10		
			Z 0.74	0.97	0.63	0.42	0.44	1.12	0.51	0.38	0.91		
K-4	Under ground	550	X 0.84	1.12	0.62	0.18	0.89	1.48	0.45	0.53	0.66		
			Y 0.76	0.75	0.79	0.27	0.60	1.12	0.38	0.57	0.98		
			Z 0.62	0.80	0.54	0.23	0.39	1.04	0.33	0.33	0.48		
K-6	Under ground	250	X ※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	1.23	
			Y ※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	1.65	
			Z ※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	※1	1.34	
K-7	On the ground	725	X 1.05	1.65	※1	※1	※1	1.54	※1	※1	0.91	1.16	
			Y 1.08	0.89	※1	※1	※1	1.36	※1	※1	1.21	1.56	
			Z 0.96	1.77	※1	※1	※1	1.48	※1	※1	0.90	1.57	

震央分布図

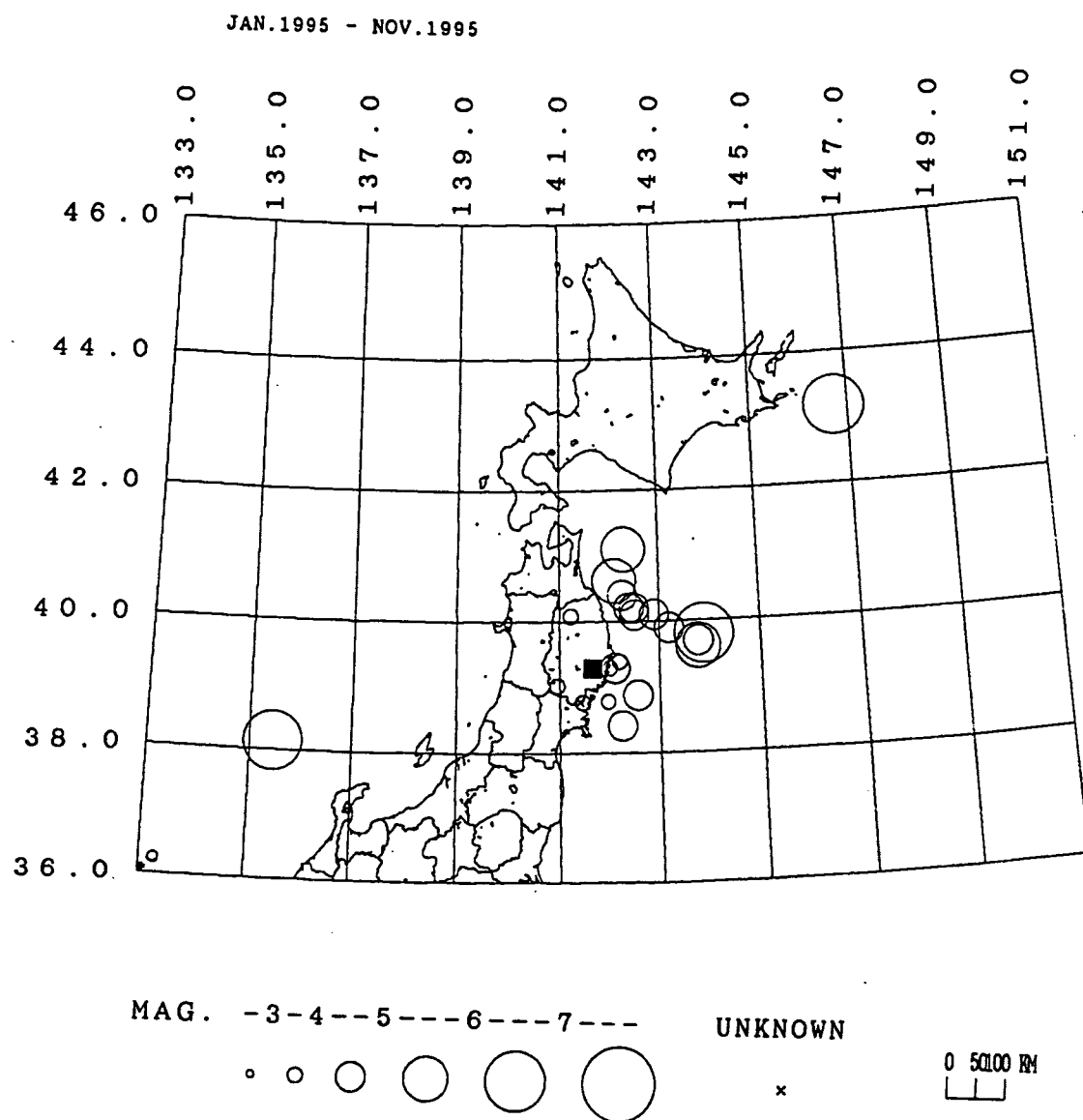


図3.3.1-1(1) 平成7年1月から平成7年12月までに観測された地震の震央分布

震央分布図

JAN.1995 - NOV.1995

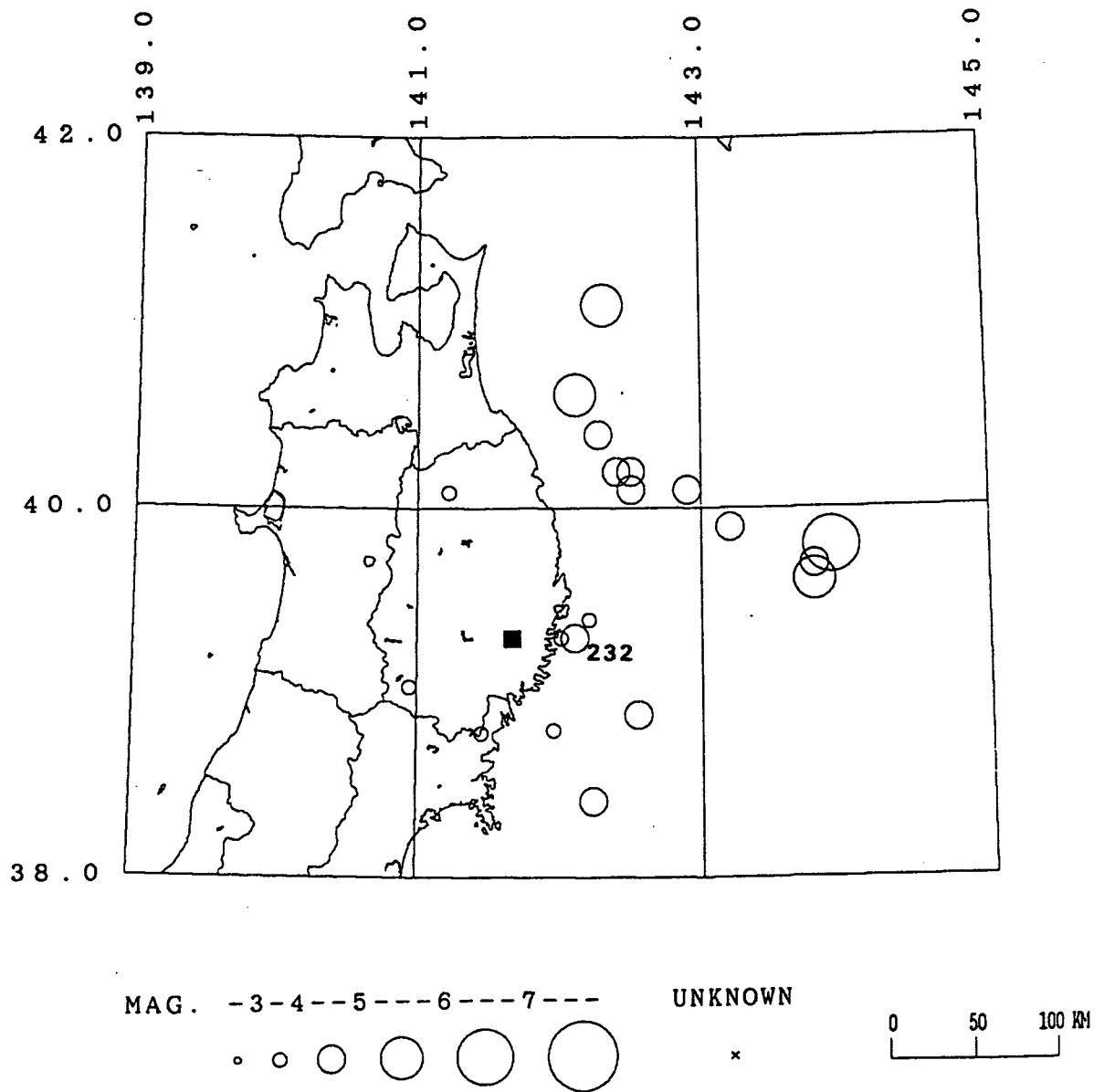


図3.3.1-1(2) 平成7年1月から平成7年12月までに観測された地震の震央分布

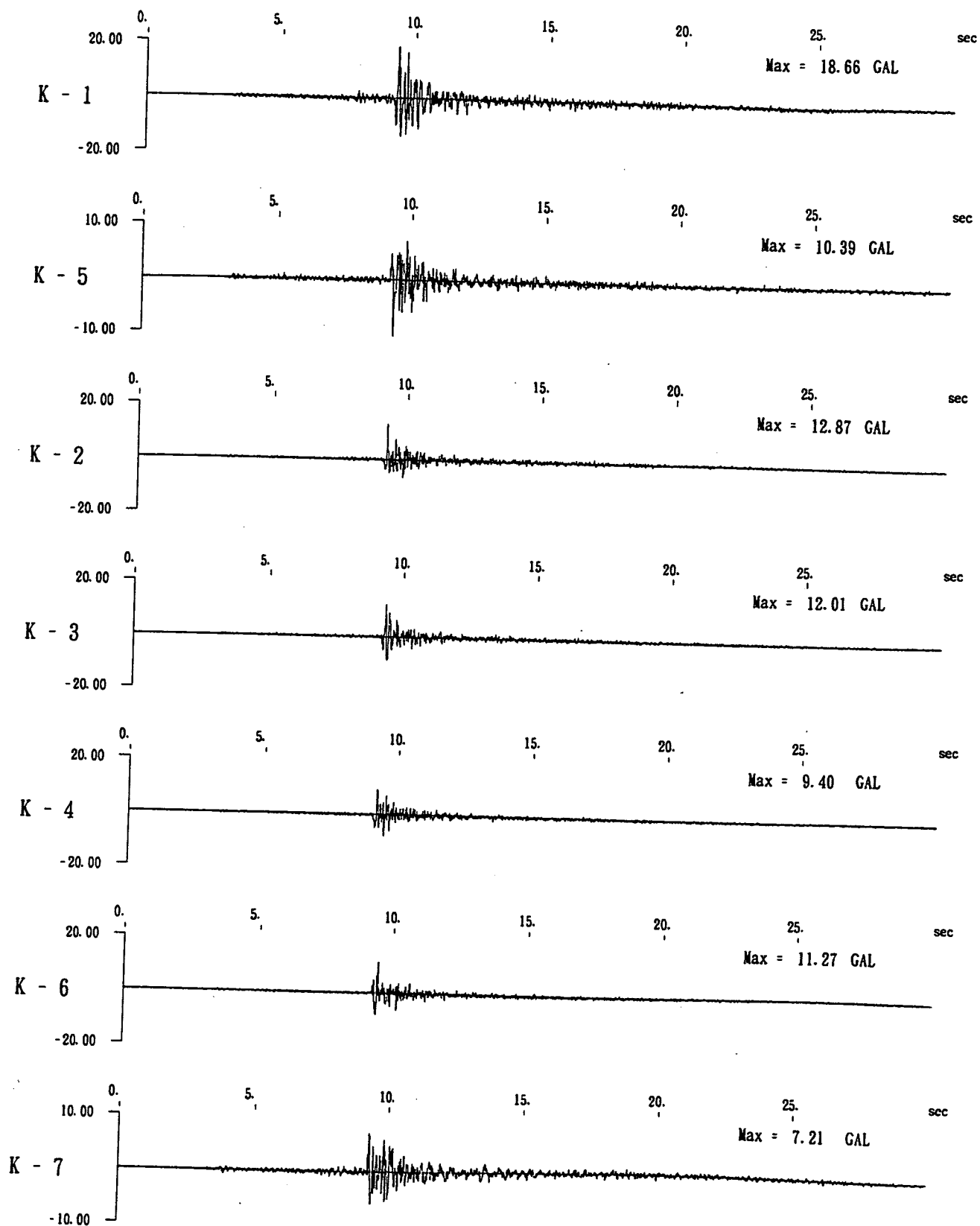


図3.3.1-2(1) 観測された地震波形の例 (EQ. No. 232 1995年3月11日13時50分
岩手県沖で発生した地震 (M4.8) のX成分)

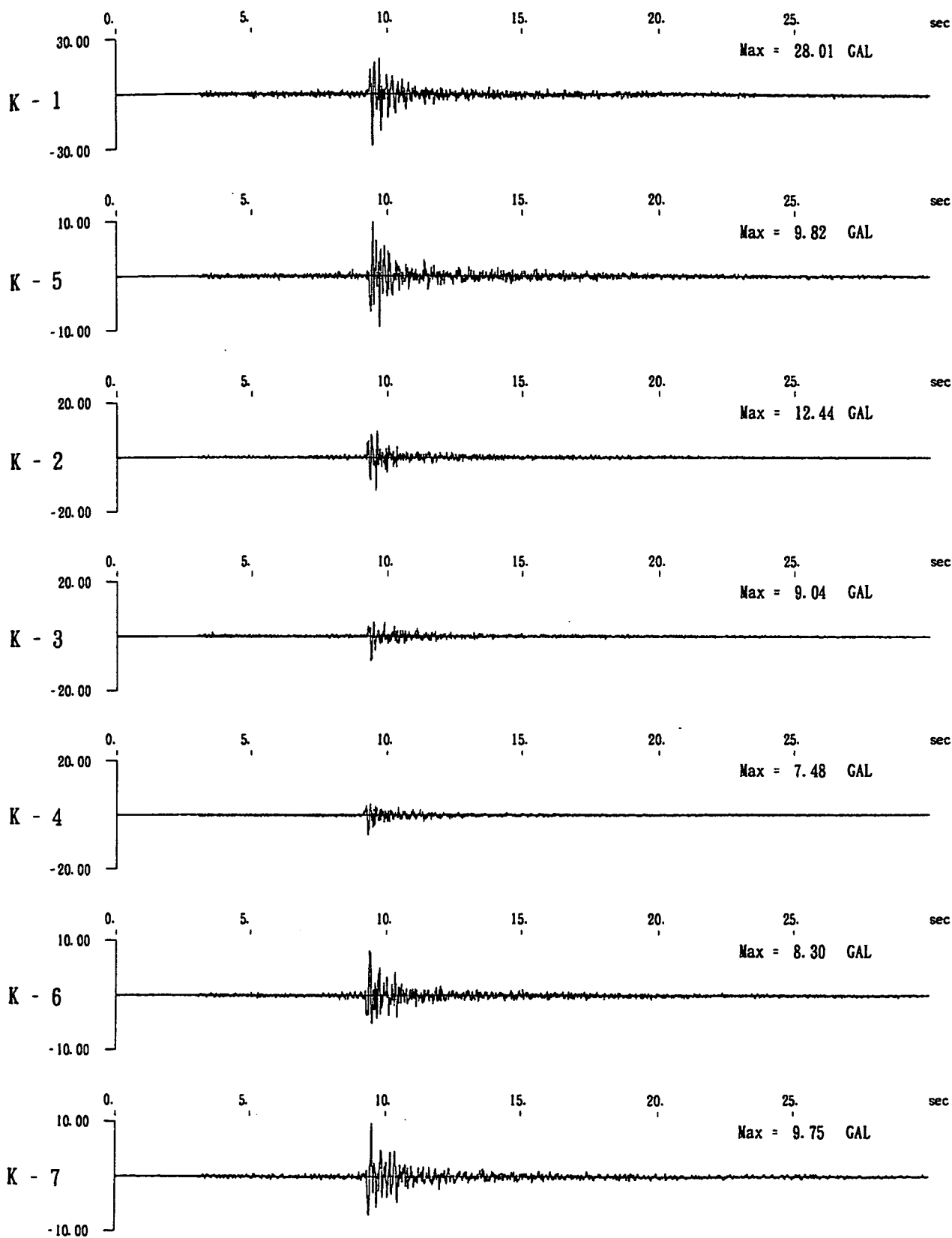
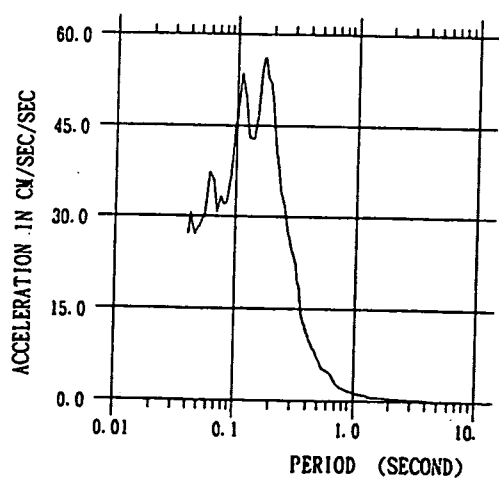
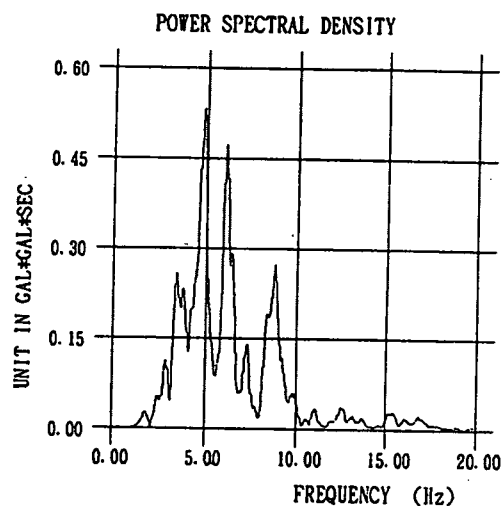
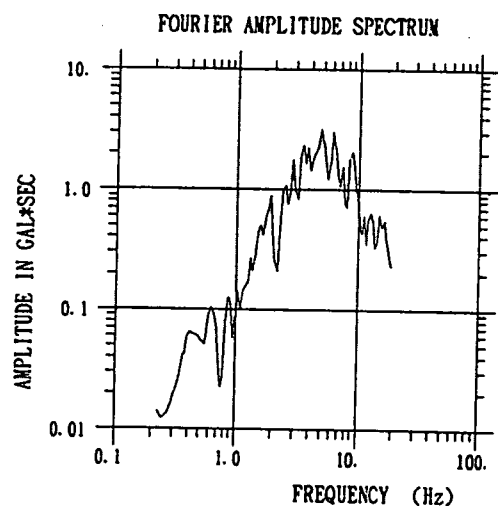
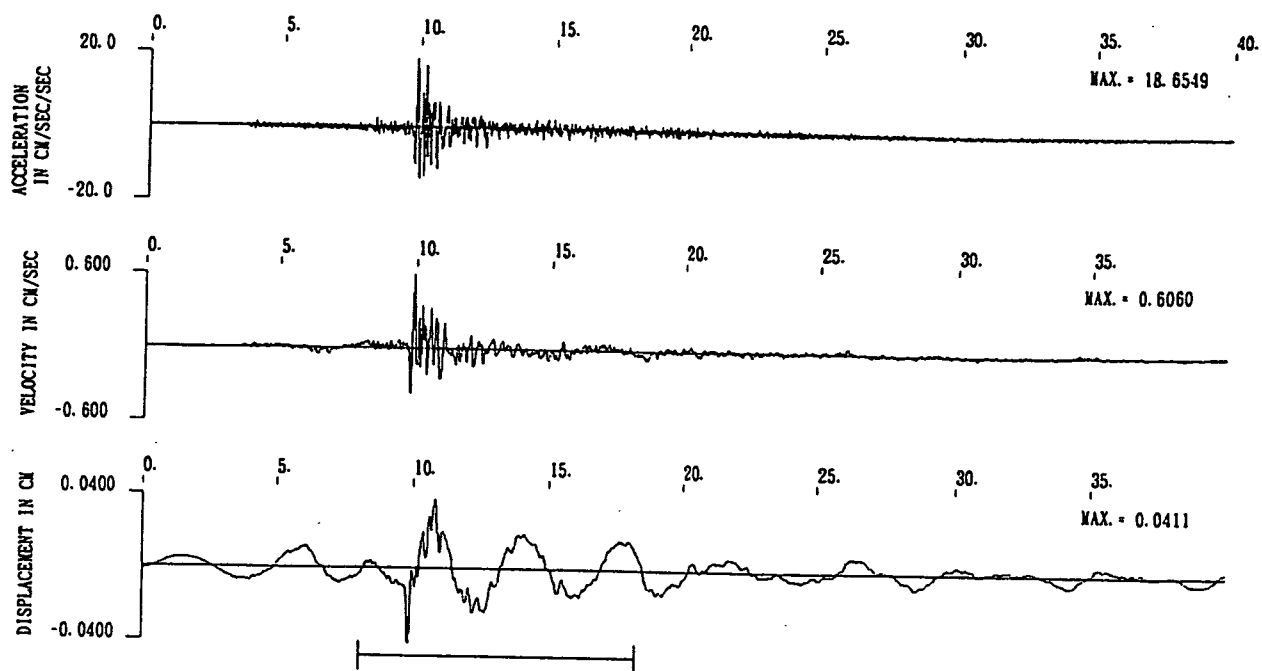
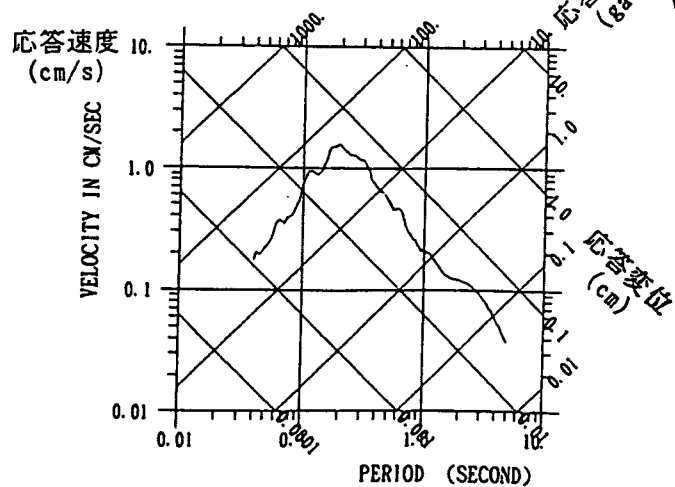


図3.3.1-2(2) 観測された地震波形の例 (EQ. No. 232 1995年3月11日13時50分
岩手県沖で発生した地震 (M4.8) のY成分)

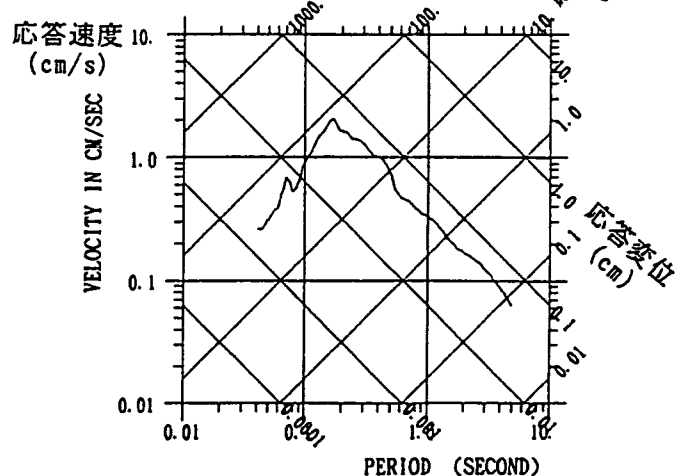
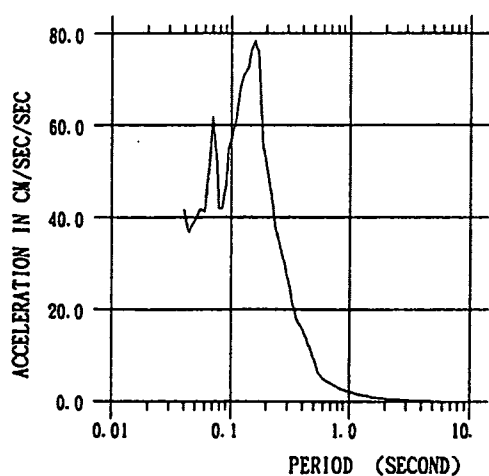
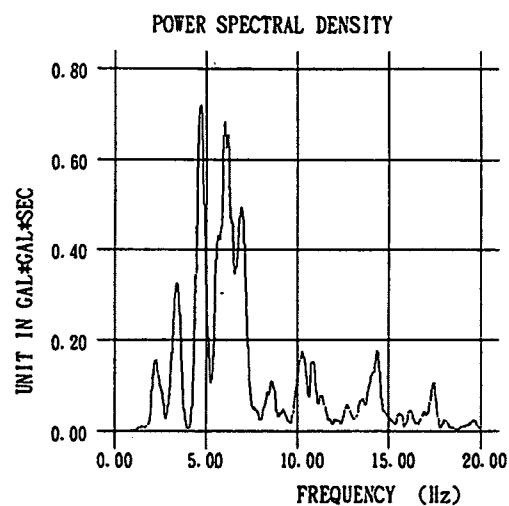
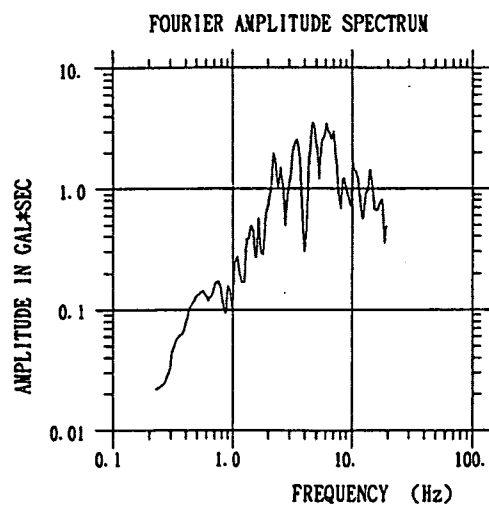
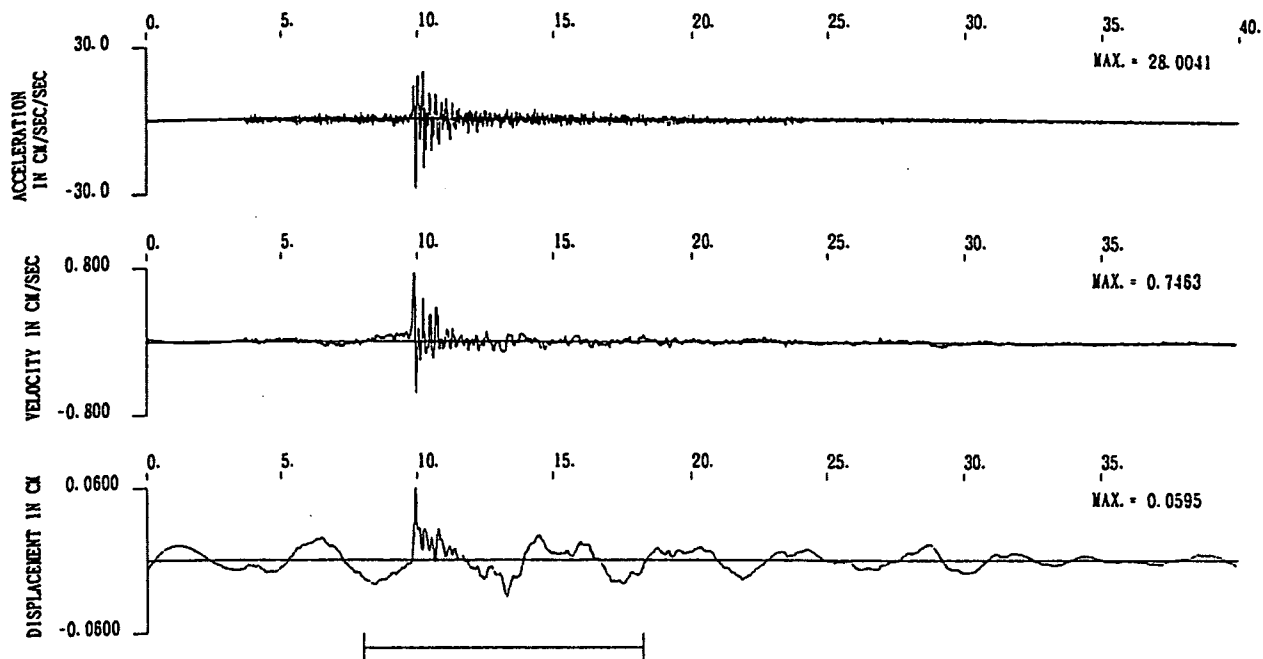


ABSOLUTE ACCELERATION RESPONSE SPECTRA
DAMPING VALUES ARE 5 PERCENT OF CRITICAL



PSEUDO VELOCITY RESPONSE SPECTRA W*SD
DAMPING VALUES ARE 5 PERCENT OF CRITICAL

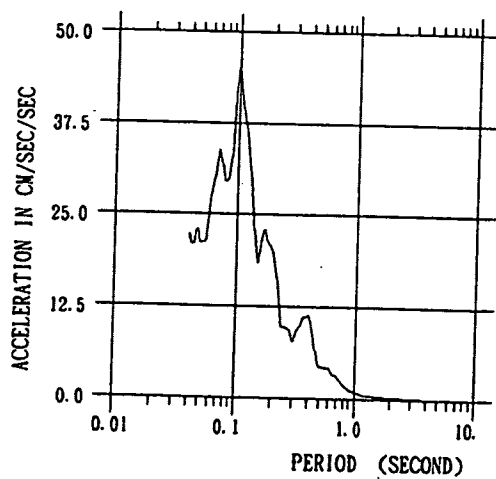
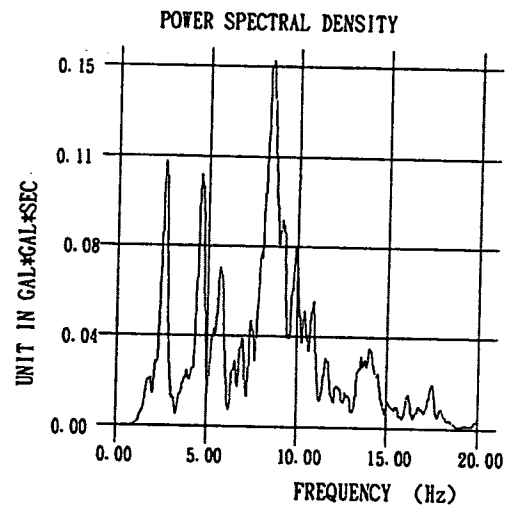
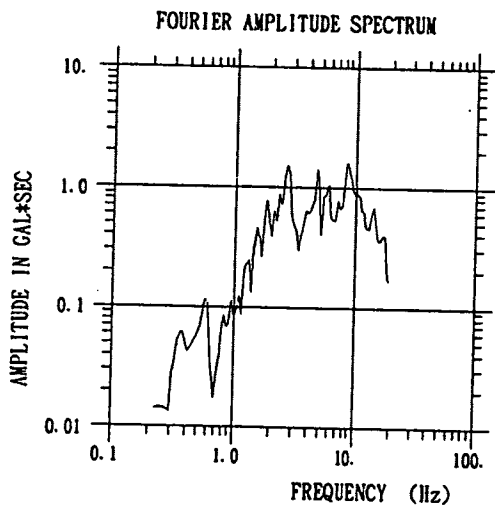
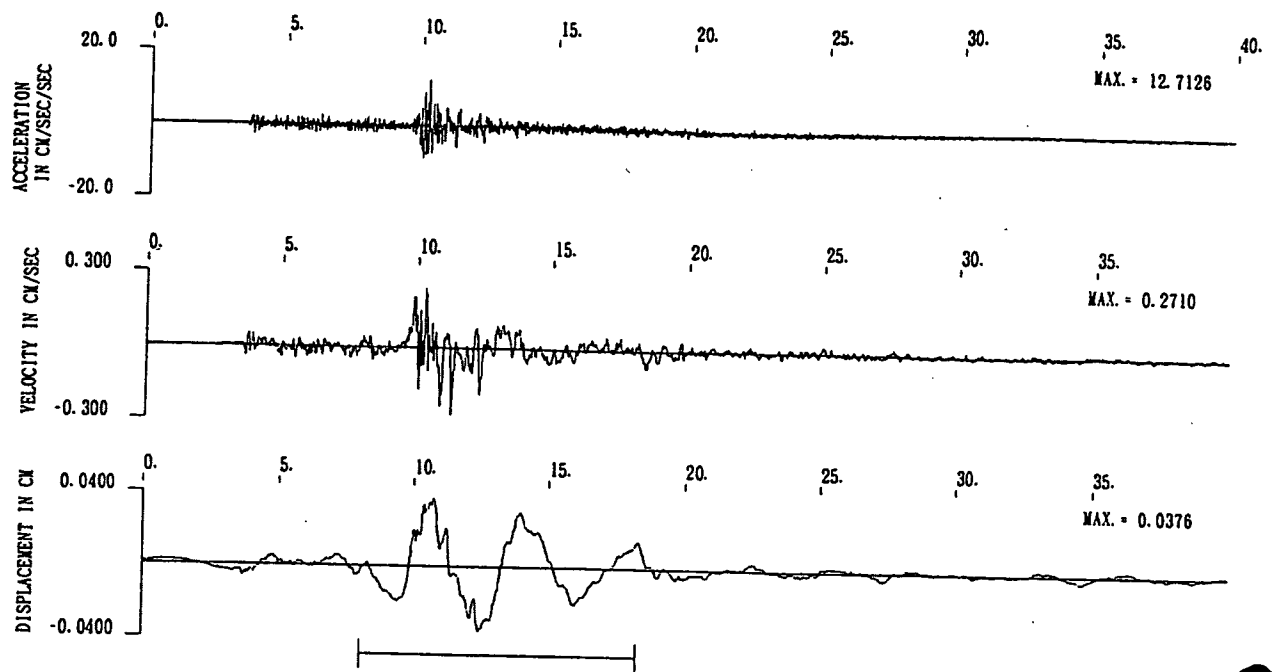
図3.3.1-3(1) K-1点で観測された EQ.No. 232 岩手県沖地震のX成分の加速度、速度および変位波形とスペクトルの基本解析結果



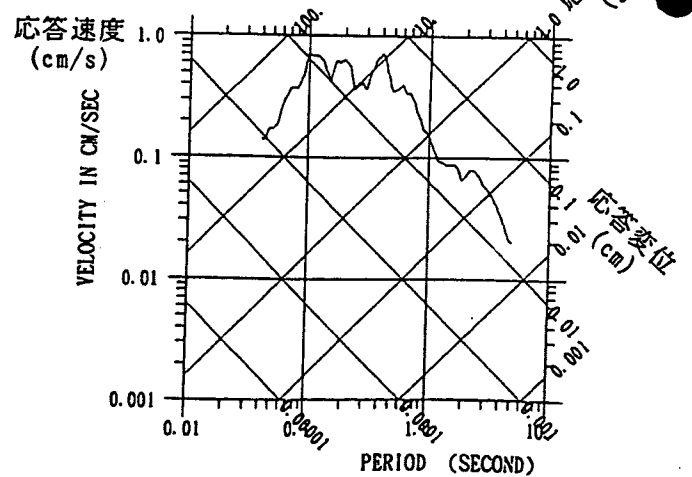
ABSOLUTE ACCELERATION RESPONSE SPECTRA
DAMPING VALUES ARE 5 PERCENT OF CRITICAL

PSEUDO VELOCITY RESPONSE SPECTRA $\eta=5\%$
DAMPING VALUES ARE 5 PERCENT OF CRITICAL

図3.3.1-3(2) K-1点で観測された EQ.No. 232 岩手県沖地震のY成分の加速度、速度および変位波形とスペクトルの基本解析結果



ABSOLUTE ACCELERATION RESPONSE SPECTRA
DAMPING VALUES ARE 5 PERCENT OF CRITICAL



PSEUDO VELOCITY RESPONSE SPECTRA $\eta=SD$
DAMPING VALUES ARE 5 PERCENT OF CRITICAL

図3.3.1-3(3) K-1点で観測された EQ. No. 232 岩手県沖地震のZ成分の加速度、速度および変位波形とスペクトルの基本解析結果

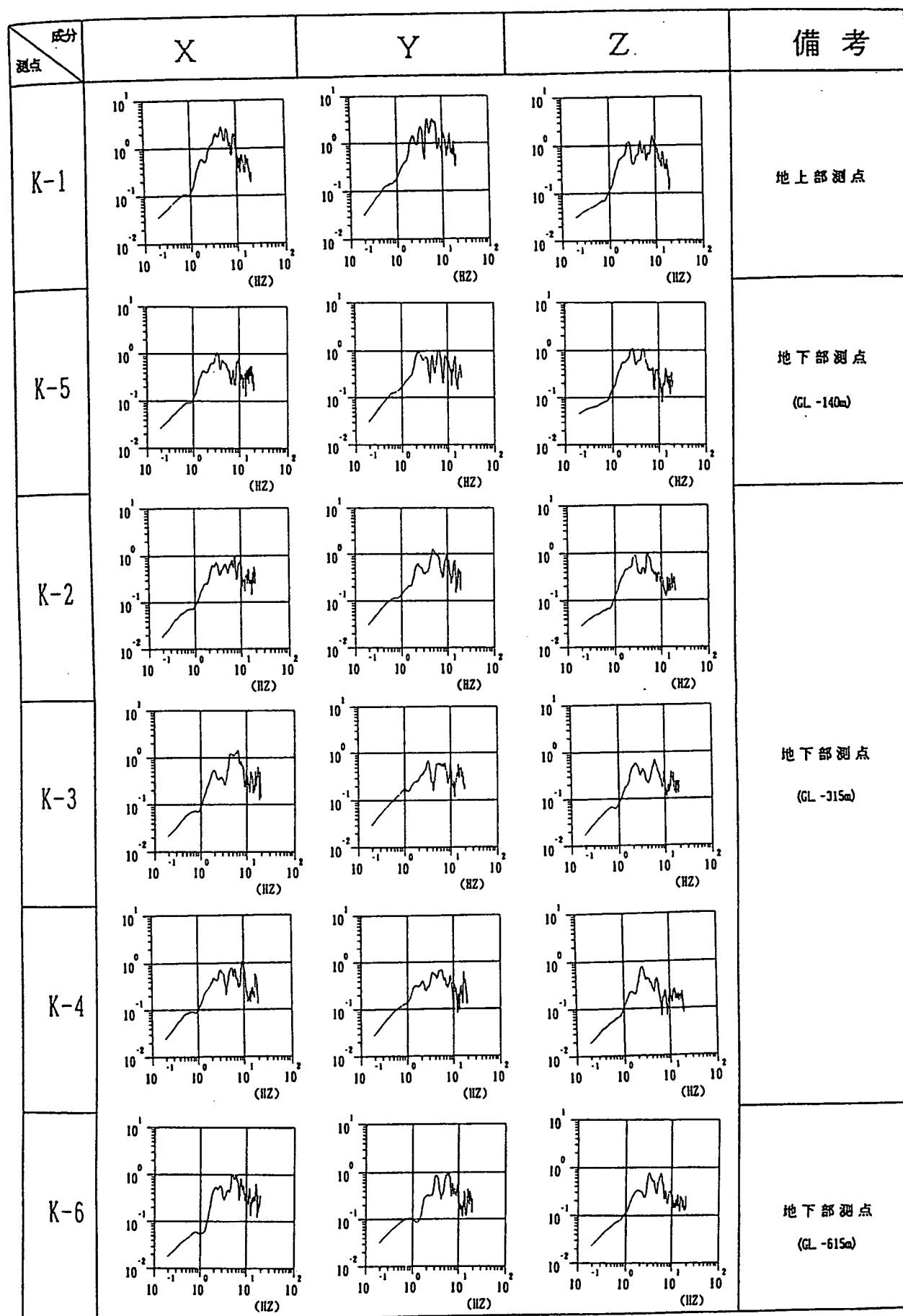


図3.3.1-4 K-1~K-6の各観測点で得られた岩手県沖地震(EQ. No. 232)の
加速度波形のフーリエスペクトル

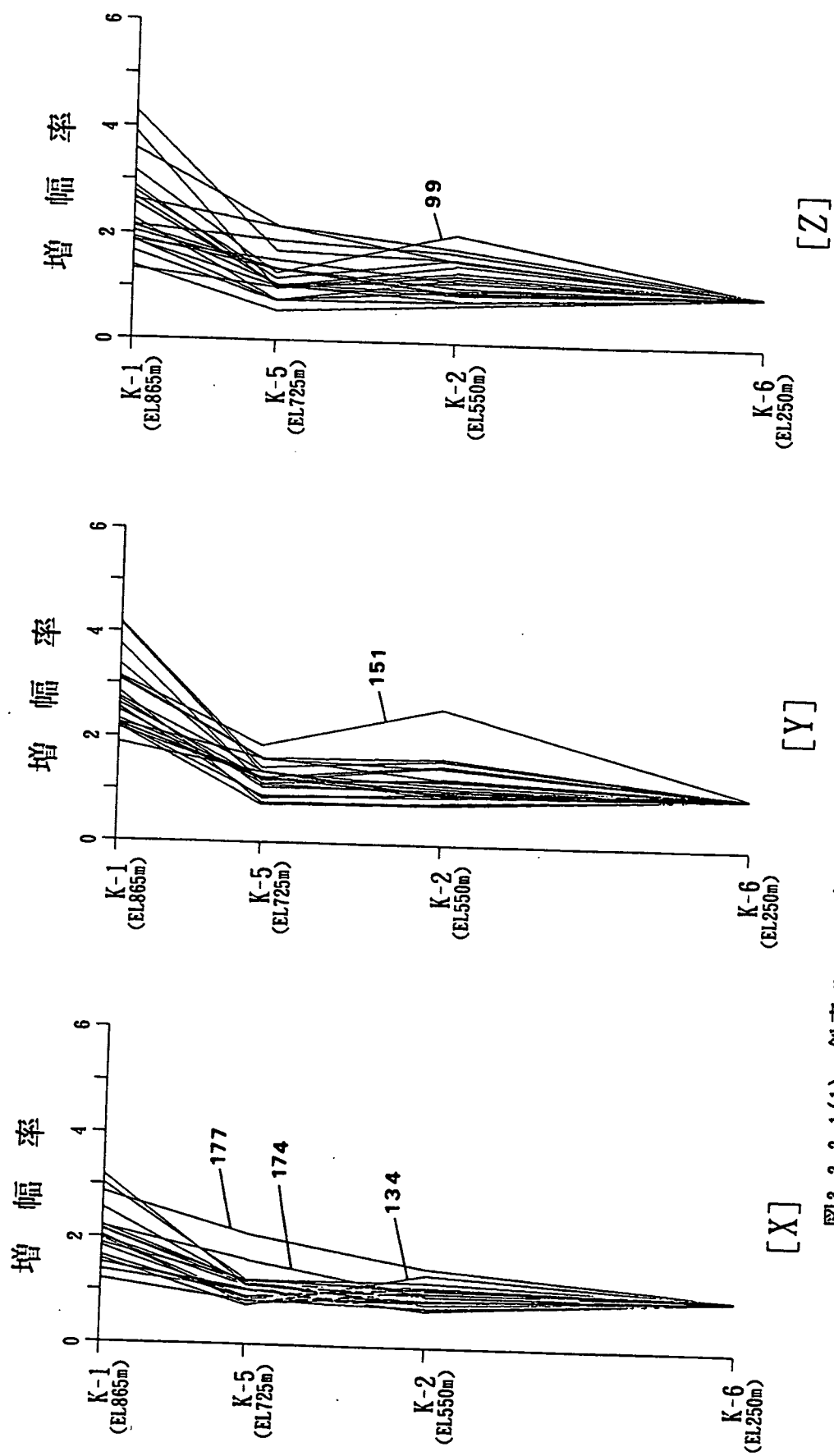


図3.3.2-1(1) 鉛直アレーにおいて地中K-6点を基準とした場合のK-2、K-5およびK-1点での加速度振幅の増幅率。

(K-6点で2gal以上の地震21個の場合)

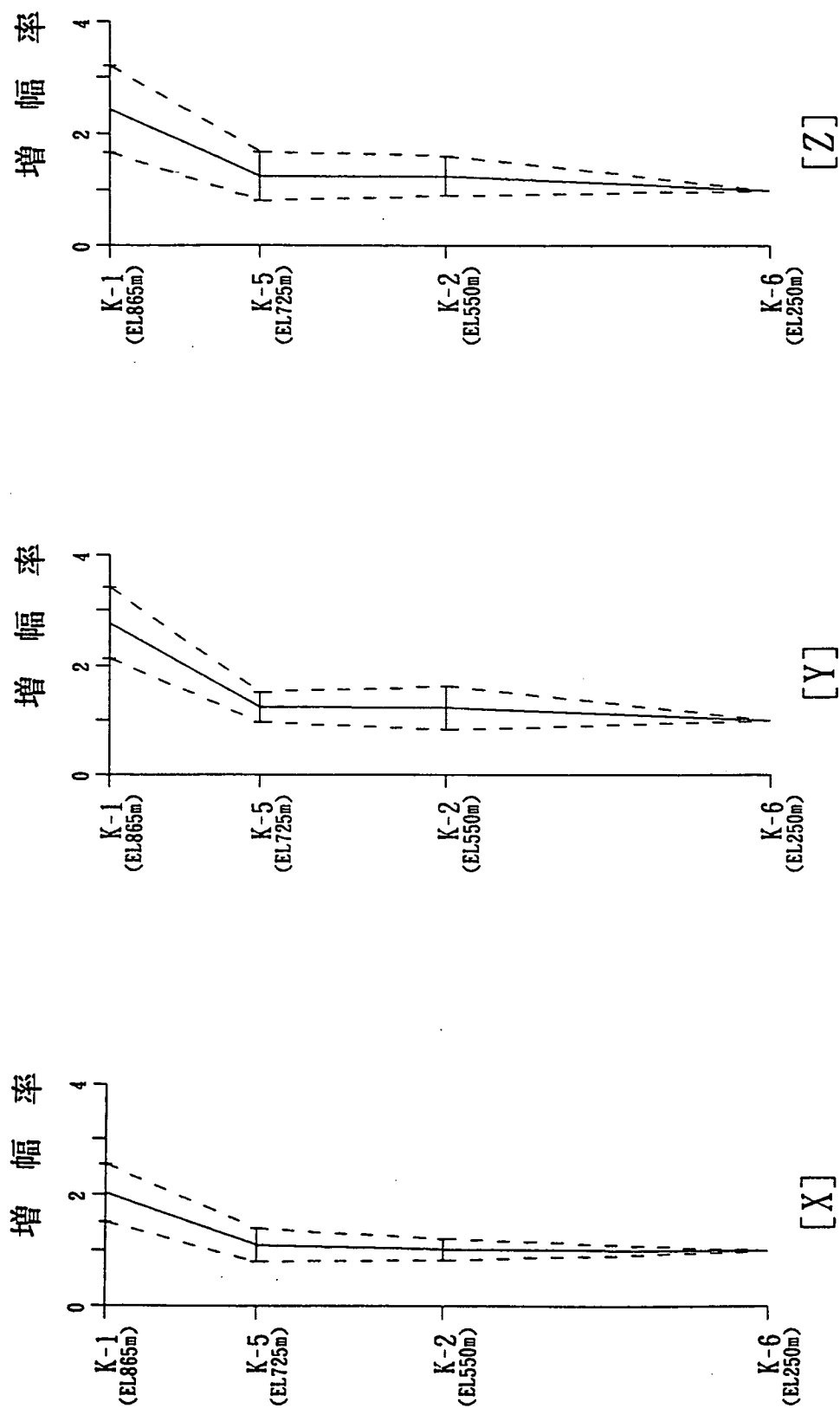


図3.3.2-1(2) 鉛直アレーにおいて地中K-6点を基準とした場合のK-2、K-5および

K-1点での加速度振幅の増幅率の平均値と標準偏差

(K-6点で2gal以上の地震21個の場合)

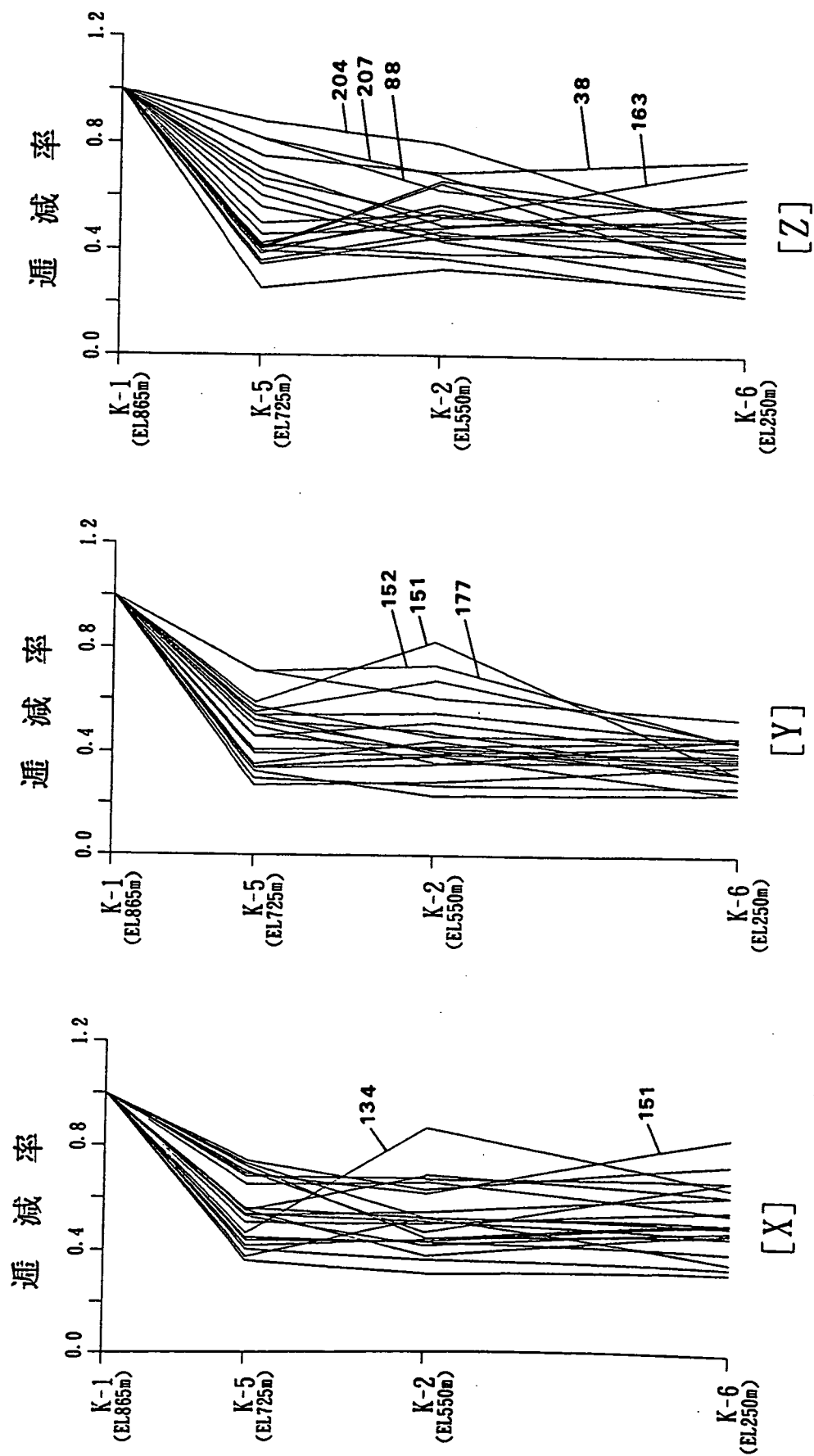


図3.3.2-2(1) 鉛直アレーにおいて地表K-1点を基準とした場合のK-5、K-2および

K-6点での加速度振幅の通減率

(K-6点で2gal以上の地震21個の場合)

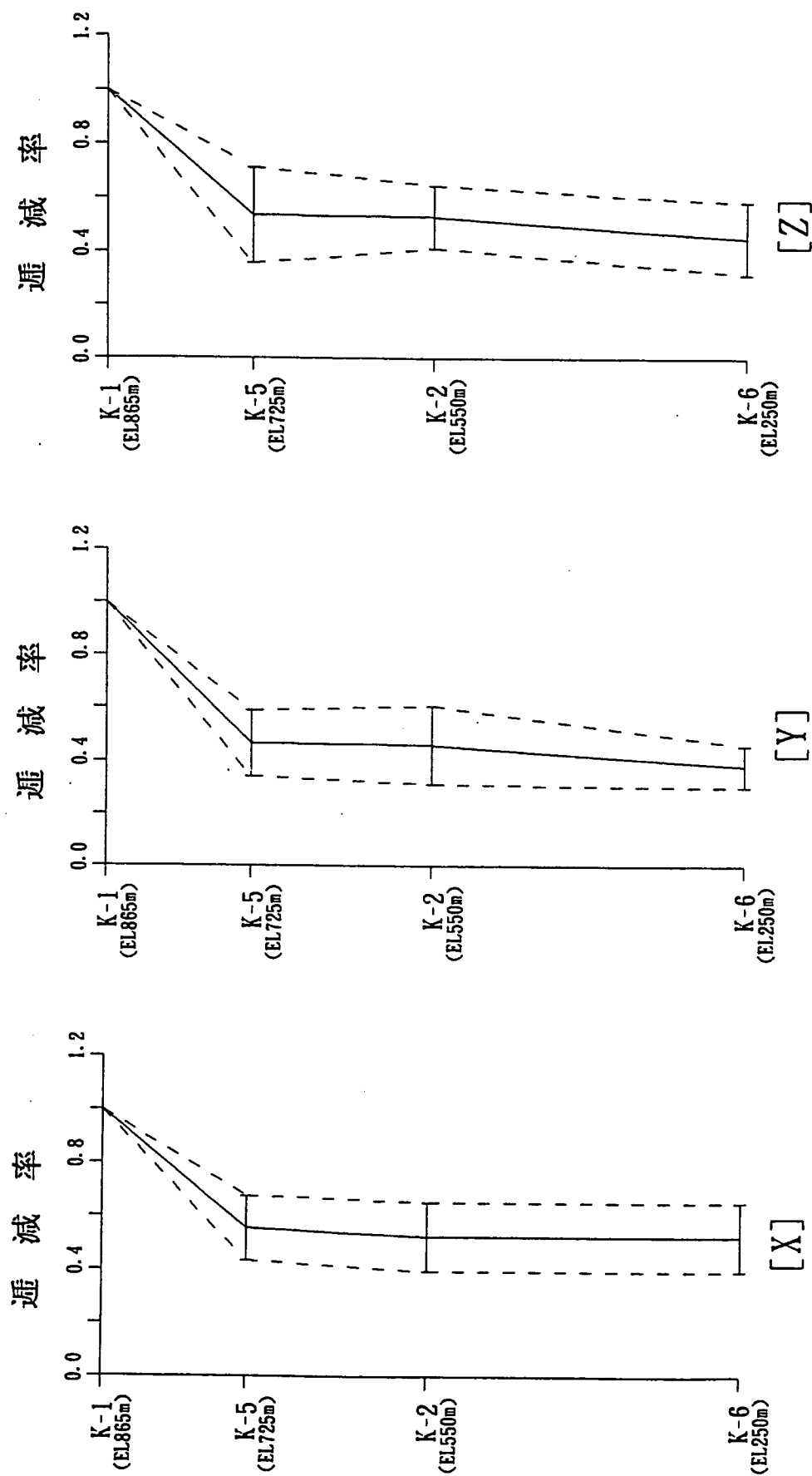


図3.3.2-2(2) 鉛直アレーにおいて地表K-1点を基準とした場合のK-5、K-2および

K-6点での加速度振幅の通減率の平均値と標準偏差

(K-6点で2gal以上の地震21個の場合)

震央分布図

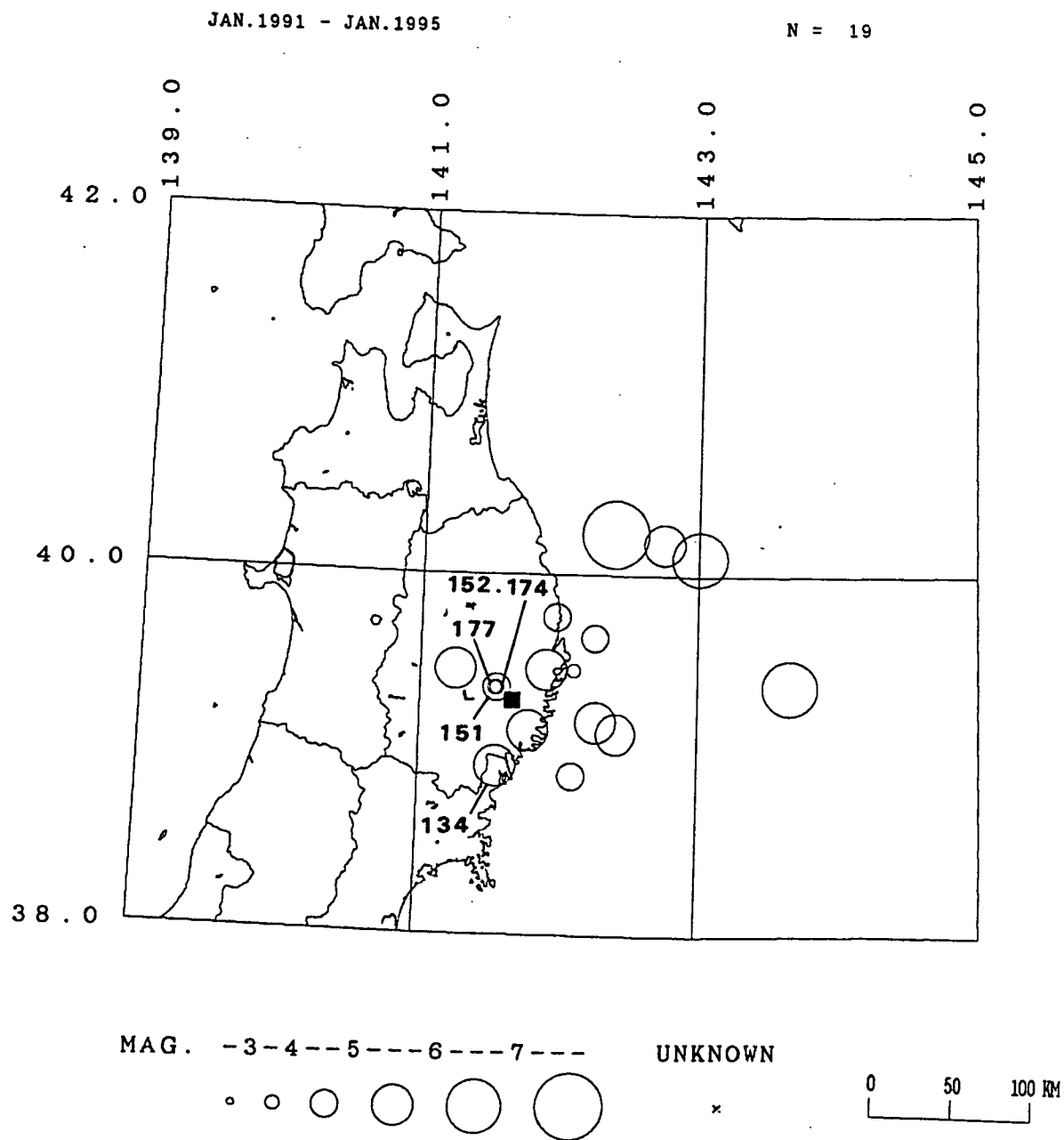


図3.3.2-3 増幅特性の検討に用いた地震(21個)のうち震央距離が200km以下の地震(19個)の震央分布

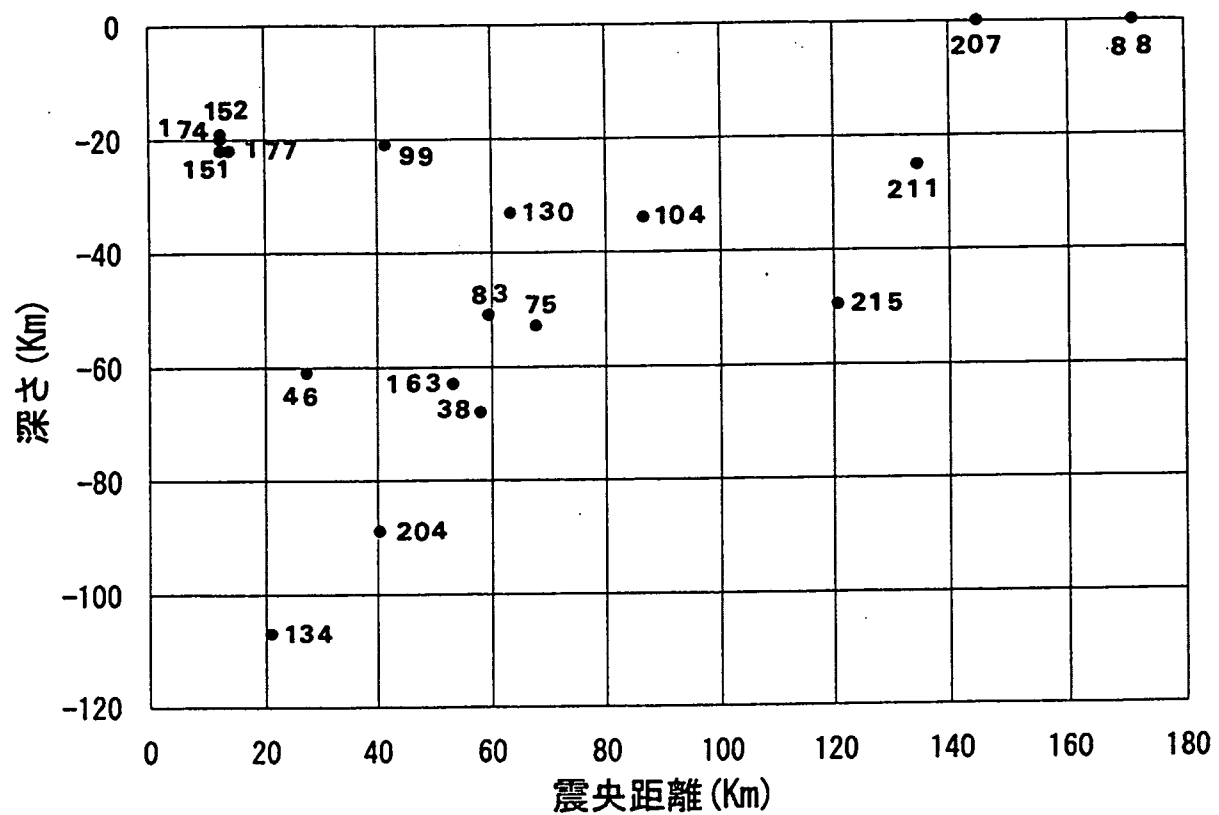
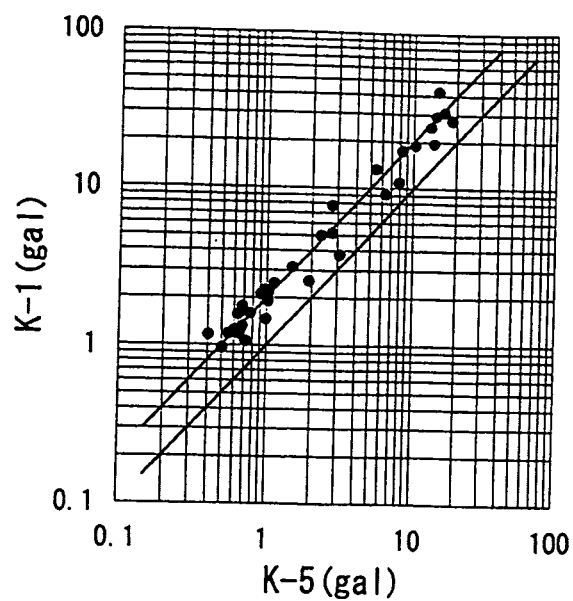
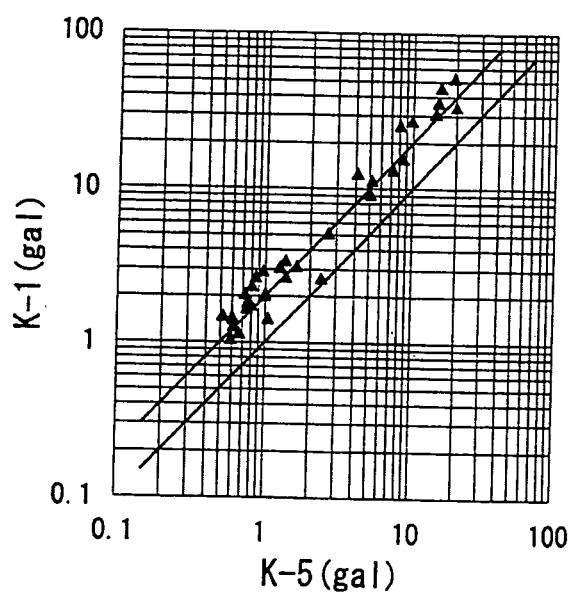


図3.3.2-4 増幅特性の検討に用いた地震(21個)のうち震央距離が200km以下の地震(19個)の震央距離と深さの関係

X



Y



Z

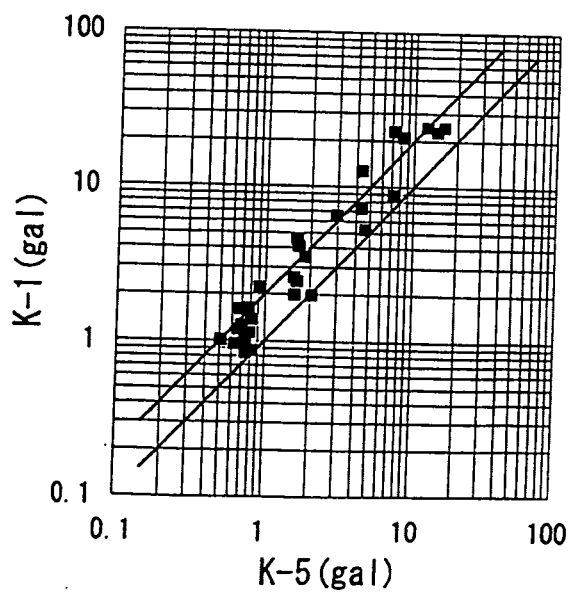
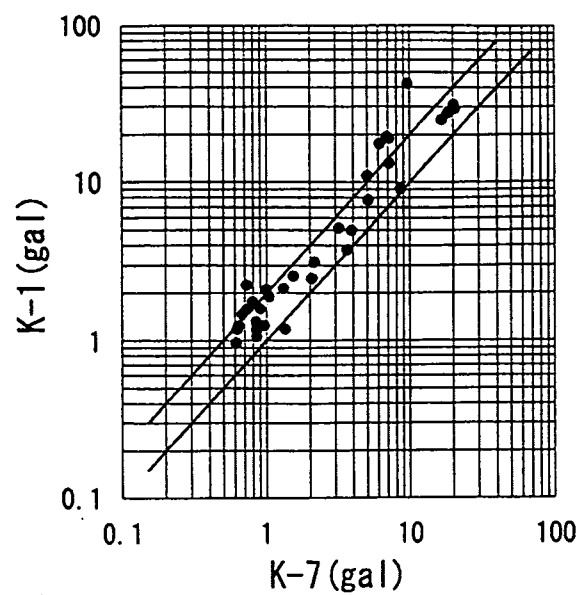
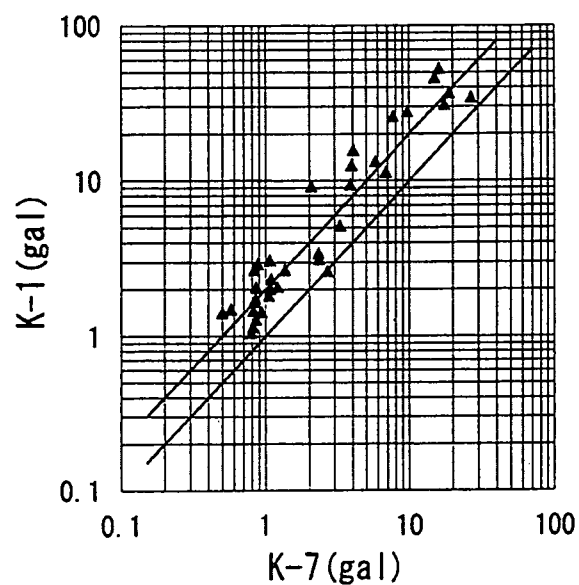


図3.3.3-1(1) K-1点とK-5点での最大加速度振幅の比較
上から順にX成分、Y成分及びZ成分

X



Y



Z

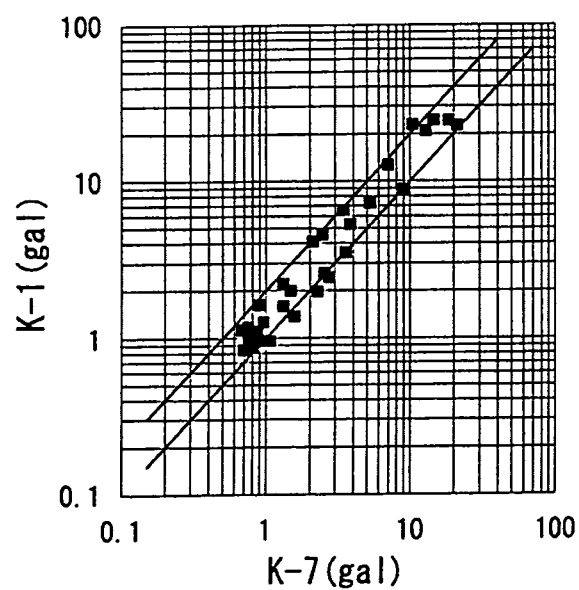


図3.3.3-1(2) K-1点とK-7点での最大加速度振幅の比較

上から順にX成分、Y成分及びZ成分

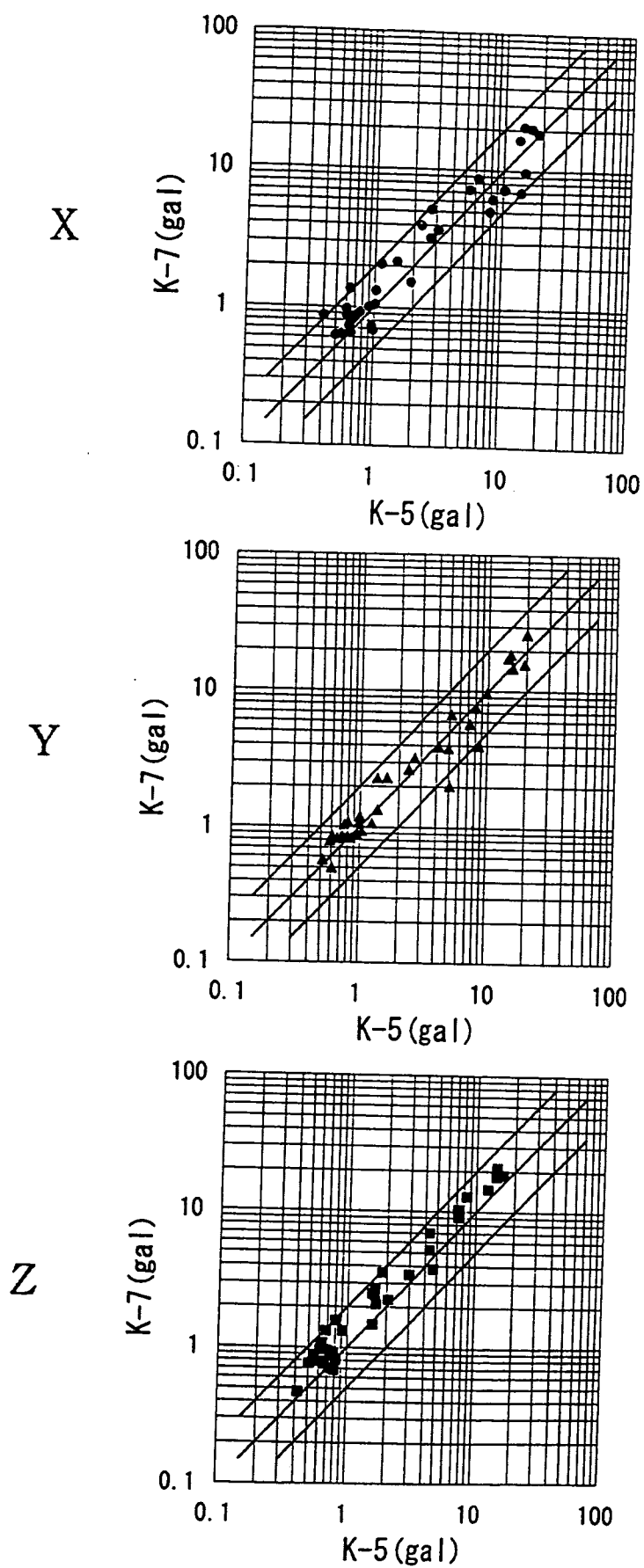


図3.3.3-1(3) K-7点とK-5点での最大加速度振幅の比較
上から順にX成分、Y成分及びZ成分

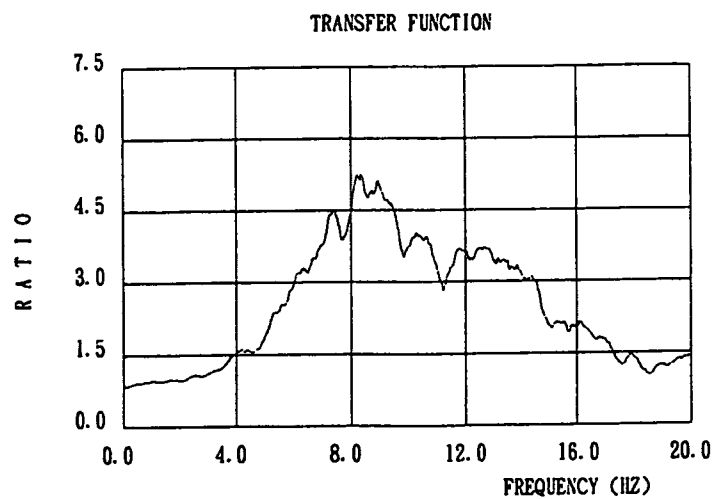
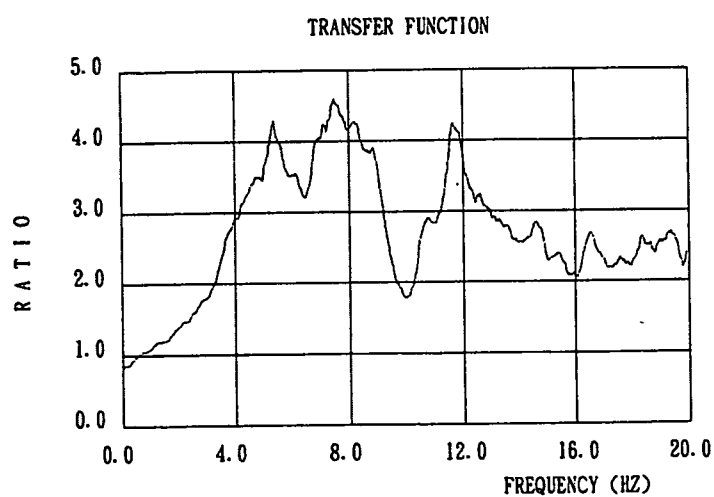
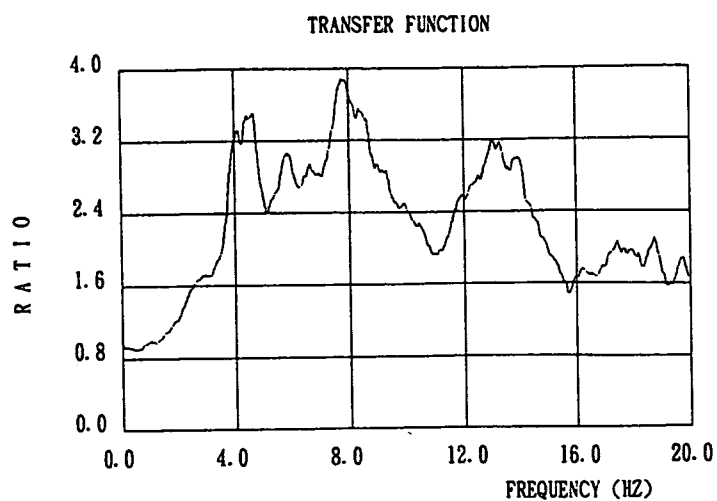


図3.3.3-2(1) K-1点とK-5点でのスペクトル振幅の比
上から順にX成分、Y成分及びZ成分

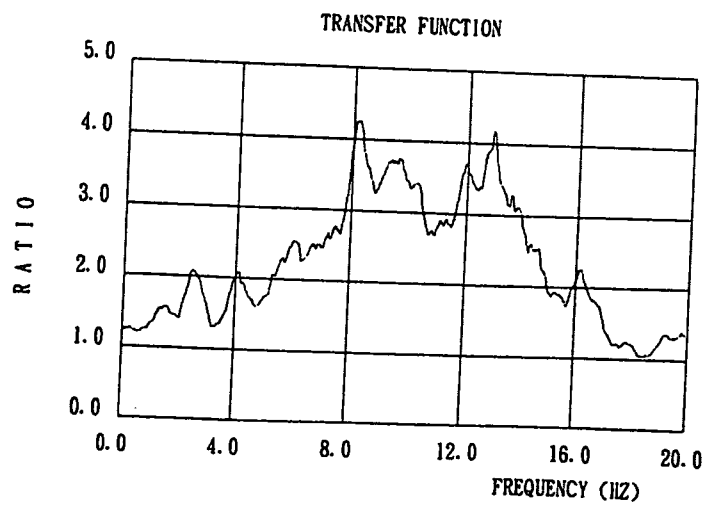
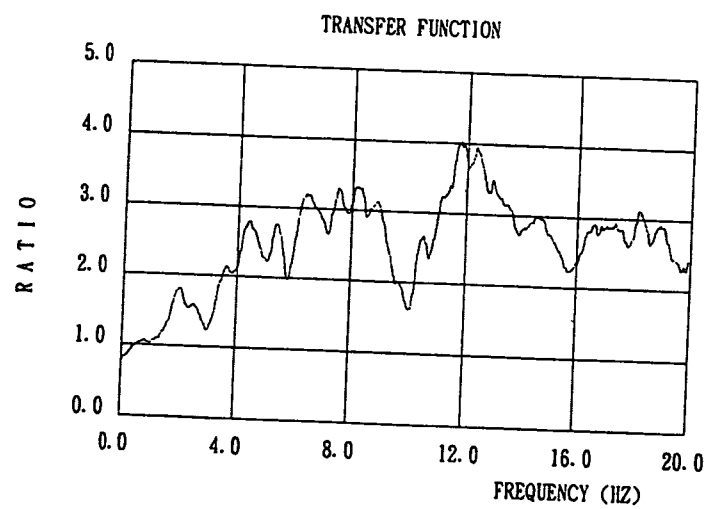
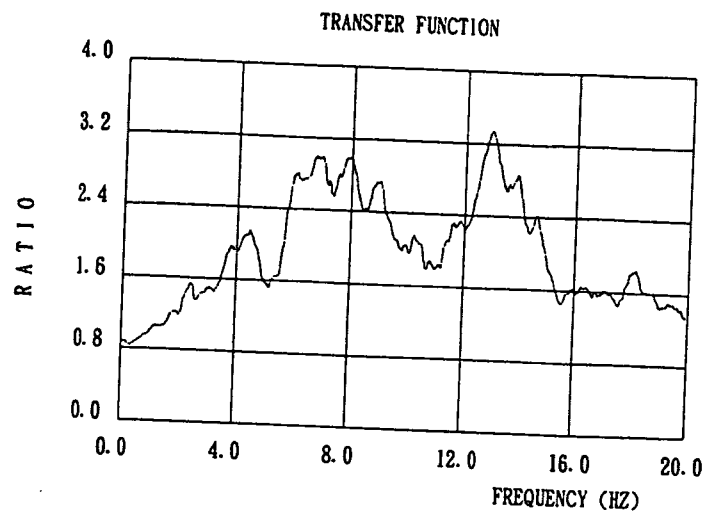


図3.3.3-2(2) K-1点とK-7点でのスペクトル振幅の比
上から順にX成分、Y成分及びZ成分

表3.3.4-4 重複反射理論解析における解析条件

No.	計 算 諸 元	重複反射理論解析
1	地 盤 特 性 の 非 線 形 特 性	考 慮 し な い
2	層区分数 (層数)	20
3	解 析 に 用 い る 最 大 周 波 数 (Hz)	20.0 および 30.0
4	地 震 波 を 入 力 す る 層	地表部 (K-1) および 地下最深部 (K-6)
5	減 衰 特 性 の 周 波 数 依 存	考慮しない (一定値)
6	入 力 地 震 動 時 間 間 隔 (sec)	$\Delta t = 0.005$ (EQ. No.163, No.174) $\Delta t = 0.02$ (EQ. No.189, No.215)
7	入 力 地 震 波 形 デ ィ ジ タ ル 値 個 数 (実波形部分個数)	2048(1200) EQ. 163 2048(1000) EQ. 174 2048(1750) EQ. 189 2048(1250) EQ. 215

表 3.3.4 -5(1) 重複反射理論解析結果 (BQ. No.163, 地表面(K-1) 観測波入力時)

SOILTYPE	LEVEL (M) (T/M3)	CO (T/M2) (T/M2)	DAMP	MAX ACC (GAL)	MAX KH (SHINDO)	MAX STRAIN (%)	MAX STRESS (T/M2)	REL. DISP. (CM)
///	-855.00	-47742	0.010	0.00	0.000	0.010	0.00	0.00
	-855.00	-47742	0.010	0.00	0.000	0.010	0.00	0.00
	-840.00	118033	0.010	16.17	0.018	0.000	254.27	0.07
	-840.00	118033	0.010	16.17	0.018	0.000	1339.10	0.07
	-825.00	1287636	0.010	14.82	0.014	0.000	1673.95	0.06
	-825.00	1287636	0.010	14.82	0.014	0.000	1943.33	0.05
	-775.00	1287636	0.010	19.49	0.018	0.000	1676.27	0.05
	-775.00	1287636	0.010	17.04	0.019	0.000	1764.57	0.05
	-725.00	1287636	0.010	13.45	0.016	0.000	2243.85	0.05
	-725.00	1287636	0.010	12.70	0.013	0.000	2616.88	0.05
///	-650.00	3197976	0.010	12.40	0.019	0.000	2791.52	0.05
	-650.00	3197976	0.010	12.54	0.013	0.000	2034.19	0.05
	-600.00	3197976	0.010	11.65	0.012	0.000	2420.17	0.04
	-600.00	3197976	0.010	12.55	0.013	0.000	2636.47	0.04
	-550.00	3197976	0.010	11.65	0.013	0.000	2437.69	0.03
	-550.00	3197976	0.010	13.68	0.013	0.000	2345.07	0.03
	-500.00	3197976	0.010	13.04	0.014	0.000	2957.66	0.03
	-500.00	3197976	0.010	9.53	0.012	0.000	2684.55	0.02
	-450.00	4080000	0.010	13.21	0.012	0.000	2771.11	0.02
	-450.00	4080000	0.010	13.09	0.013	0.000	2823.41	0.01
///	-355.00	4245000	0.010	12.99	0.013	0.000	2418.51	0.00
	-355.00	4245000	0.010	11.42	0.012	0.000		

SOILTYPE	ELEV (MUT/H3)	COIT/H2	ELT/H2	DRMP	MAX ACC (GAL)	MAX KHI (SHINDO)	MAX STRAIN (%)	MAX STRESS (T/H2)	REL. DISPL (CM)
///	-855.00	1.30	457742	0.010	0.00	0.000	0.000	0.00	0.13
	-865.00	2.20	118033	0.010	21.25	0.027	0.000	1504.39	0.13
	-875.00	2.40	128763	0.010	33.89	0.026	0.000	2688.07	0.12
	-885.00	2.40	128763	0.010	36.22	0.036	0.000	3257.23	0.12
	-895.00	2.40	128763	0.010	33.15	0.036	0.000	3421.70	0.11
	-905.00	2.40	128763	0.010	28.40	0.030	0.000	4044.76	0.10
	-915.00	2.40	128763	0.010	32.07	0.030	0.000	4619.91	0.09
	-925.00	2.40	128763	0.010	31.31	0.032	0.000	4755.56	0.09
	-935.00	2.40	128763	0.010	22.50	0.027	0.000	5025.28	0.08
	-945.00	2.40	128763	0.010	25.17	0.024	0.000	4974.67	0.07
///	-955.00	2.40	128763	0.010	26.68	0.026	0.000	4591.10	0.07
	-965.00	2.40	128763	0.010	26.10	0.027	0.000	3618.99	0.07
	-975.00	2.40	128763	0.010	29.03	0.028	0.000	5074.65	0.06
	-985.00	2.40	128763	0.010	20.78	0.025	0.000	3529.45	0.06
	-995.00	2.40	128763	0.010	28.45	0.024	0.000	4667.27	0.05
	-1005.00	2.40	128763	0.010	24.67	0.026	0.000	4705.62	0.04
	-1015.00	2.40	128763	0.010	15.50	0.021	0.000	4059.61	0.04
	-1025.00	2.40	128763	0.010	25.05	0.021	0.000	5522.41	0.03
	-1035.00	2.40	128763	0.010	21.52	0.024	0.000	4408.35	0.02
	-1045.00	2.40	128763	0.010	21.52	0.024	0.000	5007.24	0.00

表 3.3.4-5(3) 重複反射理論解析結果 (EQ. No.174, 地表面(K-1) 観測波入力時)

SOIL TYPE	LEVEL (M) (T/M3)	DOIT (T/M2)	DOHP	MAX ACC (GAL)	MAX KH (SHINDO)	MAX STRAIN (%)	MAX STRESS (T/M2)	REL. DISPL (CM)
///	-855.00	-577.52	0.010	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
	-840.00	1180332	0.010	12.75	0.011	0.000	167.04	0.02
	-825.00	1180333	0.010	7.19	0.008	0.000	529.51	0.02
	-810.00	1267635	0.010	9.96	0.008	0.000	787.03	0.07
	-795.00	1267636	0.010	9.91	0.009	0.000	786.50	0.02
	-780.00	1267637	0.010	9.01	0.007	0.000	707.50	0.02
	-765.00	1267638	0.010	5.21	0.007	0.000	708.06	0.02
	-750.00	1267639	0.010	8.40	0.007	0.000	810.13	0.02
	-735.00	3197976	0.010	7.93	0.008	0.000	570.44	0.01
	-720.00	3197977	0.010	6.50	0.007	0.000	732.43	0.01
///	-705.00	3197978	0.010	7.21	0.007	0.000	826.06	0.01
	-690.00	3197979	0.010	8.82	0.008	0.000	887.31	0.01
	-675.00	3197980	0.010	6.89	0.006	0.000	722.10	0.01
	-660.00	3197981	0.010	7.57	0.007	0.000	774.96	0.01
	-645.00	3197982	0.010	7.01	0.007	0.000	676.46	0.01
	-630.00	3197983	0.010	6.63	0.007	0.000	774.47	0.01
	-615.00	3197984	0.010	6.87	0.007	0.000	651.06	0.01
	-600.00	4080000	0.010	6.44	0.007	0.000	682.34	0.01
	-585.00	4080001	0.010	6.72	0.007	0.000	744.17	0.00
	-570.00	4080002	0.010	6.47	0.007	0.000	748.43	0.00
///	-555.00	4245000	0.010	6.97	0.007	0.000	723.19	0.00
	-540.00	4245001	0.010					

REL. DISP1=STANDARD STRAIN THICKNESS

表 3.3.4-5(4) 重複反射理論解析結果 (BQ. No.174. 地下最深部(K-6) 観測波入力時)

SOILTYPE	ELEV (M)	H3	COIT/H2CIT/H2	DRMP	NOX ACC (CAL)	MAX KH (SHIMODI)	MAX STRAIN (%)	MAX STRESS (T/M2)	REL. DISP1 (CM)
///	-855.00	1.30	467242	0.010	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
	-840.00	2.20	1180333	0.010	11.24	0.000	0.000	150.53	0.03
	-825.00	2.20	1180333	0.010	7.13	0.000	0.000	150.53	0.03
	-800.00	2.40	1267634	0.010	13.20	0.000	0.000	795.06	0.03
	-775.00	2.40	1267634	0.010	11.63	0.000	0.000	655.77	0.02
	-750.00	2.40	1267634	0.010	8.77	0.000	0.000	715.99	0.02
	-725.00	2.40	1267634	0.010	11.12	0.000	0.000	646.06	0.02
	-700.00	2.40	1267634	0.010	9.08	0.000	0.000	584.50	0.02
	-675.00	2.40	3197976	0.010	9.34	0.000	0.000	627.87	0.02
	-650.00	2.40	3197976	0.010	9.16	0.000	0.000	947.38	0.02
	-625.00	2.40	3197976	0.010	8.28	0.000	0.000	1025.91	0.02
	-600.00	2.40	3197976	0.010	7.48	0.000	0.000	1052.76	0.02
	-575.00	2.40	3197976	0.010	8.72	0.000	0.000	835.30	0.01
	-550.00	2.40	3197976	0.010	9.40	0.000	0.000	908.73	0.01
	-525.00	2.40	3197976	0.010	7.51	0.000	0.000	1102.03	0.01
	-500.00	2.40	3197976	0.010	8.49	0.000	0.000	947.47	0.01
	-475.00	2.40	4080000	0.010	9.83	0.000	0.000	1204.98	0.01
	-450.00	2.40	4080000	0.010	8.04	0.000	0.000	1164.96	0.01
	-425.00	2.40	4080000	0.010	7.98	0.000	0.000	1159.16	0.00
	-400.00	2.40	4245000	0.010	8.50	0.000	0.000	986.62	0.00
///	-375.00	2.60	4245000	0.010				1046.13	0.00
	-350.00	2.60	4245000	0.010					0.00

REL. DISP1=STANDARD STRAIN THICKNESS

表 3.3.4 -5(5) 重複反射理論解析結果 (EQ. No.189, 地表面(K-1) 観測波入力時)

SOIL TYPE	LEVEL (M) (T/H3)	COIT/M2 (T/H2)	DAMP	MAX ACC (GAL)	MAX KH (SHINDO)	MAX STRAIN (%)	MAX STRESS (T/M2)	REL. DISPL (CM)
///	-655.00	1.50	497742	0.010	0.000	0.010	0.00	0.20
	-655.00	2.20	1180333	0.010	0.000	0.010	385.81	0.15
	-655.00	2.20	1180333	22.82	0.021	0.000	928.61	0.15
	-655.00	2.40	1287636	18.56	0.016	0.000	1656.27	0.15
	-655.00	2.40	1287636	17.29	0.016	0.000	2336.77	0.15
	-655.00	2.40	1287636	14.21	0.016	0.000	3207.92	0.14
	-655.00	2.40	1287636	15.59	0.016	0.000	3207.92	0.14
	-655.00	2.40	1287636	15.50	0.016	0.000	4119.42	0.14
	-655.00	2.40	1287636	14.72	0.016	0.000	4017.34	0.13
	-655.00	2.40	1287636	16.06	0.015	0.000	4785.14	0.12
///	-650.00	2.40	3197976	13.61	0.015	0.000	5367.50	0.12
	-650.00	2.40	3197976	12.22	0.013	0.000	5603.50	0.11
	-650.00	2.40	3197976	14.71	0.014	0.000	5001.89	0.10
	-650.00	2.40	3197976	14.57	0.015	0.000	4916.99	0.03
	-650.00	2.40	3197976	15.71	0.016	0.000	5514.41	0.08
	-650.00	2.40	3197976	14.63	0.015	0.000	6406.34	0.07
	-650.00	2.40	3197976	16.47	0.016	0.000	6222.66	0.07
	-650.00	2.50	4080000	16.31	0.016	0.000	6911.31	0.06
	-650.00	2.50	4080000	16.17	0.017	0.000	7584.52	0.05
	-650.00	2.50	4080000	13.09	0.016	0.000	8014.48	0.03
///	-645.00	2.60	4245000	13.65	0.014	0.000	7727.73	0.00
	-645.00	2.60	4245000					

REL. DISPL - STOR MAX STRAIN THICKNESS

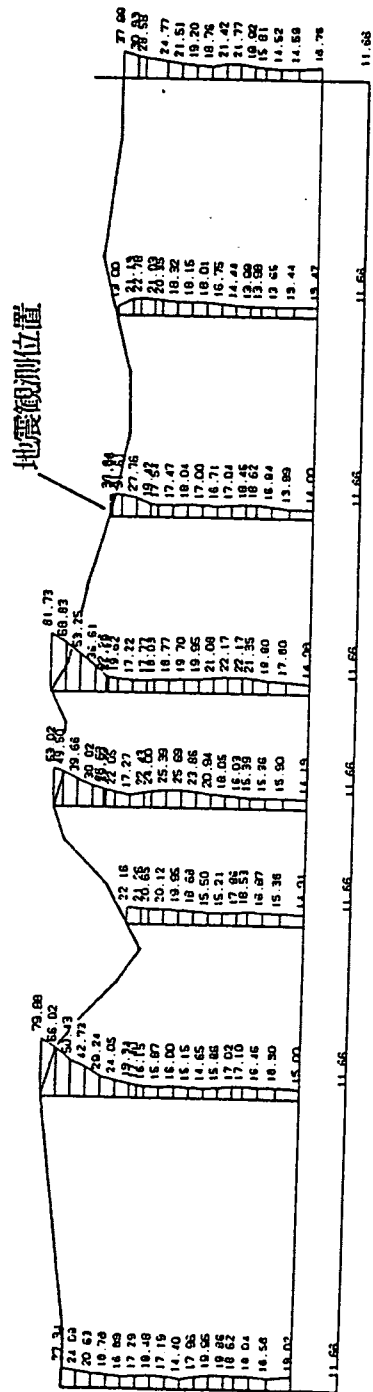
表 3.3.4-5(7) 重複反射理論解析結果 (EQ. No.215, 地表面(K-1) 観測波入力時)

SOIL TYPE	LEVEL (MM)	DEPTH (M)	UNIT WEIGHT (T/M ³)	MODULUS (T/M ²)	DRMP	MAX ACC (GAL)	MAX KH (SHINOD)	MAX STRAIN (%)	MAX STRESS (T/M ²)	REL. DISPL (CM)
///	-855.00	1.90	18033	45712	0.010	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00
	-855.00	2.20	18033	16033	0.010	24.75	0.025	0.000	1031.81	0.19
	-855.00	2.40	18033	18033	0.010	24.91	0.024	0.000	1862.31	0.19
	-850.00	2.40	128736	128736	0.010	20.05	0.022	0.000	2781.83	0.18
	-850.00	2.40	128736	128736	0.010	18.68	0.020	0.000	3751.78	0.18
	-850.00	2.40	128736	128736	0.010	18.72	0.019	0.000	4637.25	0.18
	-850.00	2.40	128736	128736	0.010	17.88	0.019	0.000	5270.98	0.17
	-850.00	2.40	319797	319797	0.010	18.45	0.018	0.000	5606.72	0.16
	-850.00	2.40	319797	319797	0.010	18.09	0.018	0.000	8114.17	0.16
	-850.00	2.40	319797	319797	0.010	16.15	0.017	0.000	6863.02	0.14
///	-850.00	2.40	319797	319797	0.010	13.54	0.015	0.000	7547.05	0.13
	-850.00	2.40	319797	319797	0.010	13.00	0.014	0.000	7686.42	0.12
	-850.00	2.40	319797	319797	0.010	15.03	0.014	0.000	8624.13	0.11
	-850.00	2.40	319797	319797	0.010	17.00	0.015	0.000	9379.34	0.09
	-850.00	2.40	319797	319797	0.010	19.11	0.015	0.000	8603.71	0.08
	-850.00	2.40	319797	319797	0.010	12.94	0.013	0.000	9500.89	0.07
	-810.00	2.50	408000	408000	0.010	14.66	0.014	0.000	8708.70	0.06
	-850.00	2.50	408000	408000	0.010	13.61	0.014	0.000	7540.17	0.04
	-850.00	2.50	408000	408000	0.010	17.28	0.016	0.000	8476.37	0.03
	-850.00	2.50	424500	424500	0.010	17.67	0.019	0.000	7606.61	0.00

表 3.3.4 -5(8) 重複反射理論解析結果 (BQ. No.215, 地下最深部 (K-6) 観測波入力時)

SOILTYPE	LEVEL (M)	DEPTH (M)	DO (T/M2)	DM (T/M2)	DM (T/M2)	MAX ACC (G)	MAX KH (SHINDO)	MAX STRAIN (%)	MAX STRESS (T/M2)	REL. DISP (CM)
///	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	25000.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.20
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
///	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
///	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
///	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00
	-185.00	2.40	4197976	4197976	0.010	50.00	100.0000	0.000	0.00	0.00

E Q. No.163



E Q. No.174

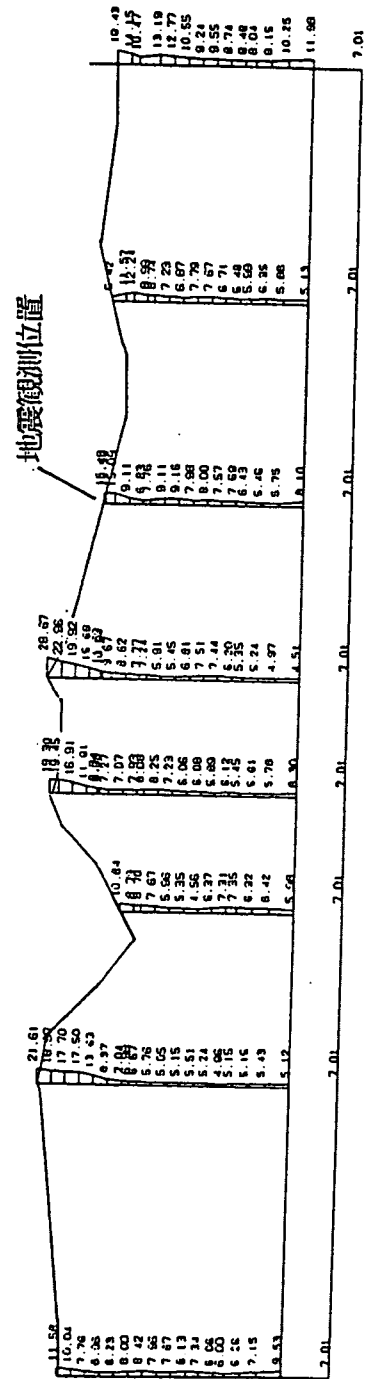


図3.3.4-5(1) 入力地震の2次元複素応答解析結果
(代表的なポイントにおける応答最大加速度分布)

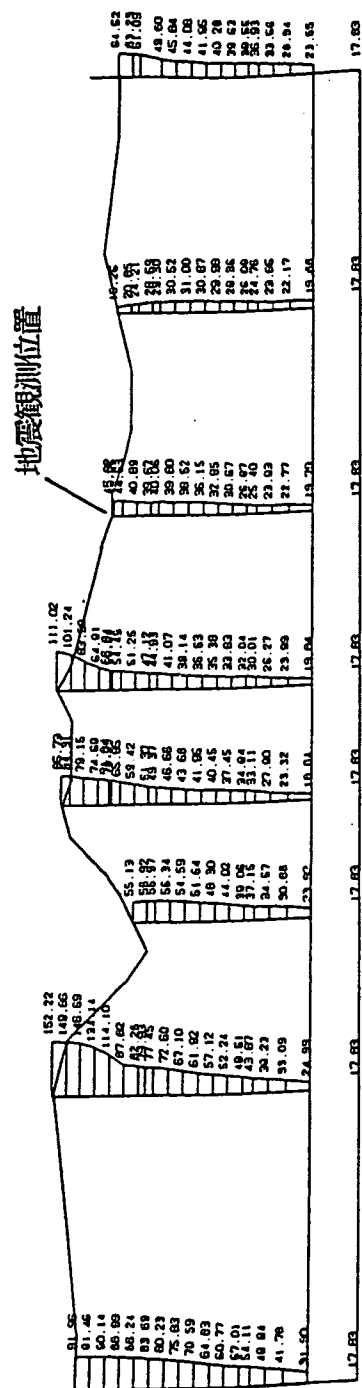
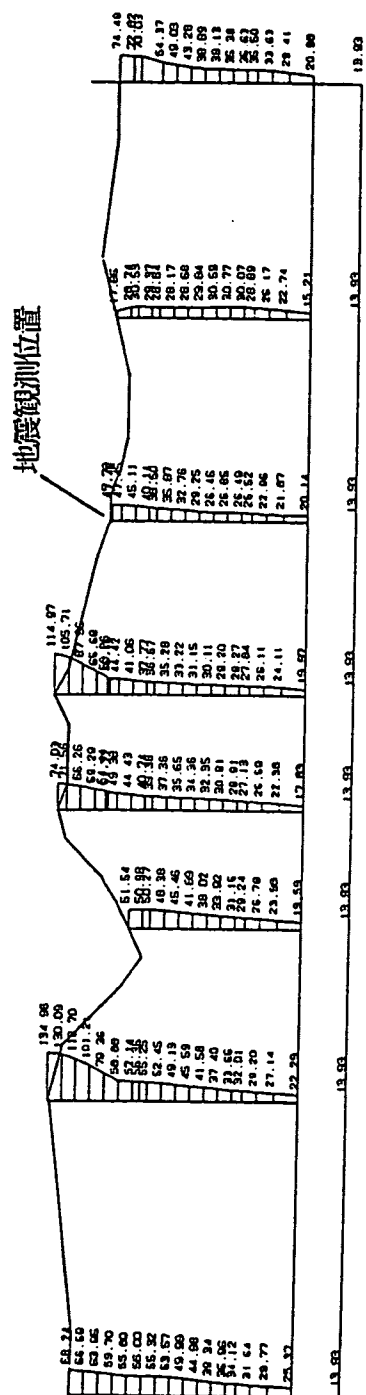


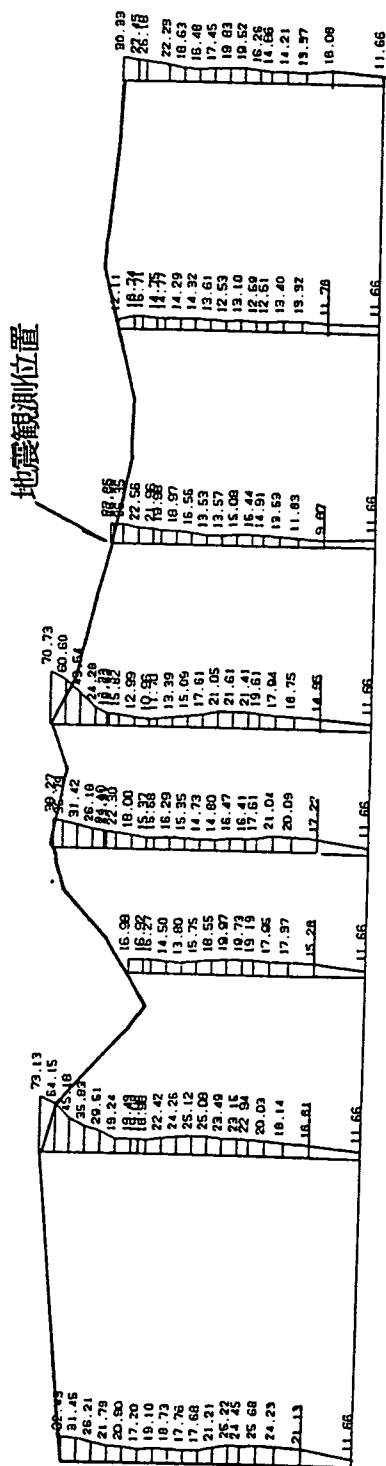
図3.3.4-5(2) 入力地震の2次元複素応答解析結果
(代表的なポイントにおける応答最大加速度分布)

表3.3.4-6 観測値と解析値の比較

観測位置	E. L. (m)	EQ. No.163		EQ. No.174		EQ. No.189		EQ. No.215	
		観測値	解析値	観測値	解析値	観測値	解析値	観測値	解析値
K-1	865	27.26	30.84 (25.07)	19.23	15.48 (17.12)	28.89	47.72	30.94	45.82
K-5	725	18.64	19.42 (17.65)	13.95	6.83 (7.08)	14.50	40.14	16.46	39.67
K-2	550	18.40	17.00 (15.05)	8.63	7.98 (5.28)	14.75	29.25	12.93	36.15
K-3	550	22.51	18.01 (11.45)	11.87	7.79 (7.24)	15.23	29.84	16.93	30.87
K-4		19.68		10.19		12.52		12.73	
K-6	250	17.98	13.99 (10.86)	8.71	5.46 (5.70)	11.15	22.96	14.48	23.93
K-7	725	18.49	21.26 (18.04)	6.91	8.97 (9.94)	20.79	50.98	20.35	56.92

※ ()の値は、スカル部位を掘削杭の影響を加味して V_s を4000m/secから2500m/secとして解析した結果

EQ. No.163



EQ. No.174

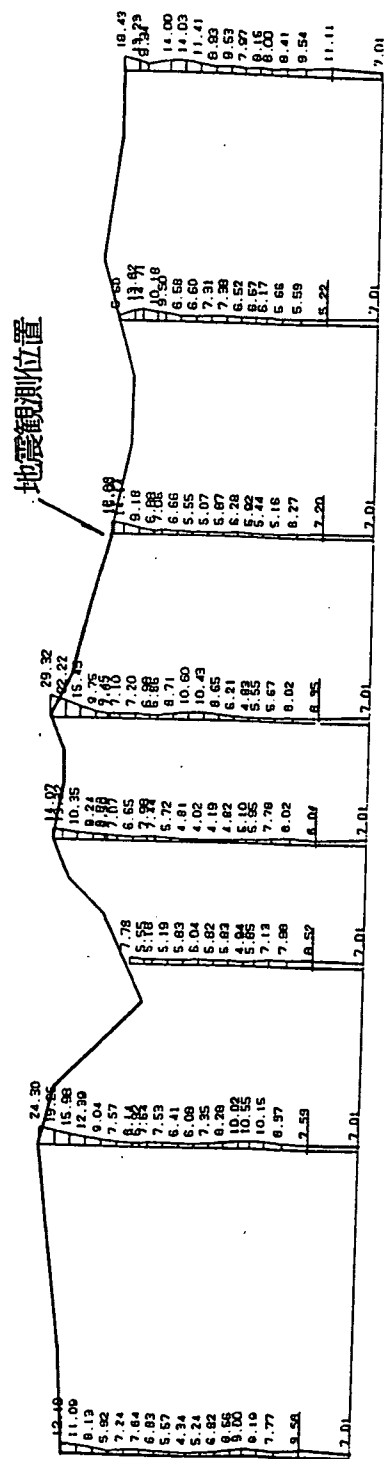


図3.3.4-6 入力地震毎の二次元複素応答解析結果

(スカルン部位のV₀を2500m/secとした時の代表的なポイントにおける応答最大加速度分布)

4. 釜石鉱山における地下水利観測データの収集と解析

4.1 まえがき

この章では、釜石鉱山で行っている地下水利観測データに基づいて、地下深部の地下水の水圧、水量、水質の変動について観測、解析結果をとりまとめた。

まず4.2節では地下水利観測業務の概要について述べた。4.3節においては、地下水利観測の結果について報告している。この中で、4.3.1では今年度の観測結果の概要について報告している。また4.3.2においては水圧の地震時変動についてとりあげ、統計的手法を用いて考察している。また4.3.3においては今年度より観測が開始されたレーザー歪み計のデータの平常時の微細変動について報告している。また4.3.4においては大潮、および大雨後の水質データの変化について統計的な考察を行った。4.4節においては地震が地下水利流動に及ぼす影響に関する文献調査を実施した。

4.2 地下水利観測の概要

釜石鉱山における地下水利観測項目は以下に示す通りである。観測地点位置図を図4.2.1-1に示す。

表4.2.1-1 平成7年度の観測項目

1. ボーリング孔における水圧の測定 (KWP-1孔、KWP-2孔、KWP-3孔)
2. KO-10地点における水量、水質、電気伝導度、岩盤歪みの測定 ・天盤からの湧水量 ・電気伝導度 ・pH ・岩盤歪み ・水質(大潮時、大雨後、平常時) 分析項目(Na, K, Ca, Mg, Cl, SO ₄ , HCO ₃ , SiO ₂ , pH, T-Fe, Al, F)

各項目の測定方法については以下の通り。

- ・ボーリング孔の水圧データについてはボーリング孔口に設置した圧力センサからの出

力（電圧）をTEAC（株）DR-F1型デジタル記録計を用いて10秒間隔で収録し、解析にあたってはそれを128個ずつ平均した値を用いた。

- ・ KO-10地点の電気伝導度については堀場製作所製DS-12型導電率計（1995年6月まで）および桜エンドレス（株）製マイコム-L/CLM121型（1995年10月より）を用いて測定した。
- ・ KO-10地点の湧水量については（財）電力中央研究所が開発したタンク貯留型の高精度流出量計を用いて計測している。
- ・ KO-10地点のpHは桜エンドレス（株）製マイコム-P/CPM121型を用いて今年度11月より計測を行った。
- ・ KO-10地点の岩盤歪みは東京精密（株）製の光ファイバーレーザー干渉測長器DISTAX/L-IM20Bを用いて測定した。
- ・ KO-10地点の採水はメステック（株）製地震連動起動装置に接続されたアドバンテック（東洋）製のFSC-2050型自動連続分注装置を用いて採取しており、K-4（Z方向）とK-1（Y方向）地震計の両方が4gal以上の加速度を感知したときに起動するように設定した。
- ・ KO-10地点の湧水の水質分析は、（株）地球科学研究所が表4.2.1-2に示す方法で分析を実施した結果を用いている。

表4.2.1-2 分析方法一覧

項目	分析方法	分析精度
Na ⁺	「地球科学的試料の化学分析法2」* V-1.23に掲げる方法	±0.1 (mg/l)
K ⁺	「地球科学的試料の化学分析法2」 V-1.24に掲げる方法	±0.01(mg/l)
Ca ²⁺	日本工業規格 K-0101 49.2に定める原子吸光法	±0.1(mg/l)
Mg ²⁺	日本工業規格 K-0101 50.2に定める原子吸光法	±0.001(mg/l)
Cl ⁻	上水試験法 IV-2.3.2に定めるイオンクロマトグラフ法	±0.02(mg/l)
SO ₄ ²⁻	上水試験法 IV-2.6.2に定めるイオンクロマトグラフ法	±0.2(mg/l)
HCO ₃ ⁻	日本工業規格 K-0101 に定める滴定法 (pH4.8)	±0.5(mg/l)
SiO ₂	日本工業規格 44.1.1 に定めるモリブデン黄吸光光度法	±0.1(mg/l)
pH	日本工業規格 K-0101 11に定めるガラス電極法	±0.03(mg/l)
F ⁻	上水試験法 IV-2.2.2に定めるイオンクロマトグラフ法	±0.05(mg/l)
Al ³⁺	規格59.2に定める原子吸光法	±0.01(mg/l)
T-Fe	規格60.2に定める原子吸光法	±0.002(mg/l)

*工業技術院地質調査所（昭和53年）

4.3 地下水理観測結果

4.3.1 今年度観測結果の概要

4.3.1.1 ボーリング孔における水圧の測定結果

ボーリング孔における水圧の1995年1月～1995年12月までの観測結果を図4.3.1-1～図4.3.1-3に示す。図中黒三角は主な地震の発生時を意味している。また1991年度からの青の木地点（観測地点から北北東約2.5km）における月別降水量を図4.3.1-4に示す。

(1) KWP-1孔の観測結果

水圧の長期変動を図4.3.1-5に示す。今年度地下水の水圧は1月～3月末までは一貫して低下傾向にあり、4月1日～15日の期間に0.5kgf/cm²程度上昇した。その後は7月中旬までは低下傾向にあったが、7月20日頃に0.2kgf/cm²程度上昇し、さらに8月7日頃

に 0.5kgf/cm^2 程度の上昇を記録し、その後は再び低下傾向にある。これらはいずれも降水量の変化（図4.3.1-4）に対応した季節的な変動を反映していると推察され、7月の上昇は7月13日～20日の間の総雨量76mmの降雨、8月の上昇は8月4日～7日の161mmの降雨に対応していると考えられる。

なお今年度（1995年1月18日以降）地震に対応したKWP-1孔の水圧の変動は観測されていない。

(2) KWP-2孔の観測結果

水圧の長期変動を図4.3.1-6に示す。KWP-2地点における地下水の水圧は昨年10月の最大値 8.9kgf/cm^2 のピークを記録した後は一貫して低下し、今年度4月中旬には 7.5kgf/cm^2 を下回る最低値を記録した。その後は上昇傾向に転じ、8月下旬に最大値（ 8.4kgf/cm^2 ）を記録し、その後12月までは低下傾向にある。観測の開始された1992年度からの各年度の年間の水圧最低値は明らかに低くなっており、水圧は長期的な排水過程のトレンド上にある事が推察される。また、その水圧の低下速度は $-0.3\sim-0.4\text{kgf/cm}^2/\text{年}$ 程度であると考えられる。なお今年度は7月8日のNo243地震において 0.01kgf/cm^2 程度の圧力低下を記録している。

(3) KWP-3孔の観測結果

水圧の長期変動を図4.3.1-7に示す。1994年8月よりこのボーリング孔の水圧は急激な上下動を示すようになってきている。特に今年度3月中旬～5月迄の間に -0.9kgf/cm^2 程度の大幅な低下を記録し、その後急速に回復するなど、他のボーリング孔と比較して変動は激しい。なお今年度地震に対応したKWP-3孔の水圧の変動は観測されていない。

4.3.1.2 KO-10地点における観測結果

(1) KO-10地点における電気伝導度の測定結果

KO-10地点における電気伝導度の測定結果（1995年1月から1995年12月）を図4.3.1-8に示す。なお2月と7～9月はシステム不調のため欠測となった。図中黒三角は主な地震の発生時を意味している。電気伝導度については、地震に対応していると考えられる変動は観測されていない。

(2) KO-10 地点における湧水量の測定結果

KO-10 地点における湧水量の測定結果（1995年1月から1995年12月）を図4.3.1-9に示す。図中黒三角は主な地震の発生時を意味している。

1995年度の年間の湧水量の変動を図4.3.1-10に示す。湧水量は4月上旬から5月にかけて湧水量は若干上昇傾向にあったが、6、7月はほぼ横ばいである。8月中旬に急激に水量が低下しているのは、この地点において採水のためのボーリング作業を実施した影響と考えられる。その後12月まではゆるやかな低下傾向にある。今年度地震と関係すると考えられる湧水量の変動は観測されていない。

なお湧水量は1991年2月には220cc/min以上流出していたが、現在60～70cc/min程度である。今後も長期的に減少を続けばいずれ枯れる可能性もある。

(3) KO-10 地点におけるpHの測定結果

1995年11月から12月までの測定結果を図4.3.1-11に示す。

pHは10.0付近にあり、値は比較的安定している。実験室において測定されたサンプルのpH値よりも今回の測定結果は高い値を示しているが、これは現地で湧水をビニールチューブで導入して直接計っているため空気中のCO₂成分による中性化の影響がより少ないためと考えられる。

(4) KO-10 地点における岩盤歪みの測定結果

1995年7月から12月までの測定結果を図4.3.1-12に示す。グラフ縦軸は伸び方向を正にとっている。また歪みの値はその月の最初の出力値を基準（ゼロ点）にしている。今年度、7月1日～8月18日の期間に地震に対応する歪みステップは観測されていない（No.243についても変化無し）。なお平常時の微小変動の状況に関しては後述の4.3.3節で検討する。

(5) KO-10 地点における湧水の水質の測定結果

a. 大潮時の分析結果

今年度は7月28日（新月）の正午を中心に前後15時間の採水がなされている。このサンプルは（株）地球科学研究所によって分析されており、その結果を表4.3.1-1に示す。また水質の変動の様子を図4.3.1-13,14に示す。今回は潮汐の周期に対応した変動は水質

の変動に反映されていない結果となった。

b. 大雨後の分析結果

今年度は9月16日に57mmの降雨（青の木地点、図4.3.1-15）を観測し、KO-10地点においてその後約1ヶ月にわたり採水された水を（株）地球科学研究所が分析している（表4.3.1-2）。その結果を図4.3.1-16,17に示す。9月16日から20日までの間にK、F、Al、Mgなどの微量成分の値に変動が見られるものの、その大きさは今のところ降雨との関連について議論できるレベルではない。

なおこのデータを用いた統計的考察を4.3.4節で行っている。

c. 各月毎の分析結果

各月毎に採取されたサンプルの水質分析結果を表4.3.1-3に示す。Na、K、Ca、Cl、 SO_4 、 HCO_3 の各溶存成分について、2月～7月の濃度が高く、8月～12月の濃度が比較的低いという傾向が見られる。

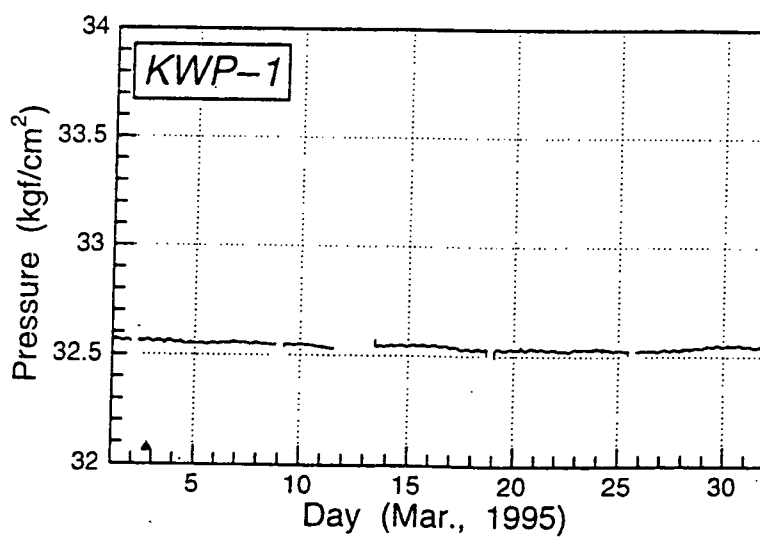
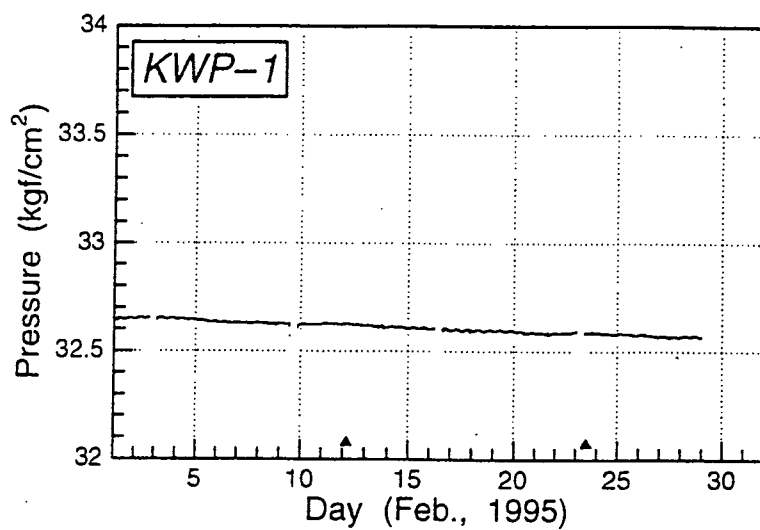
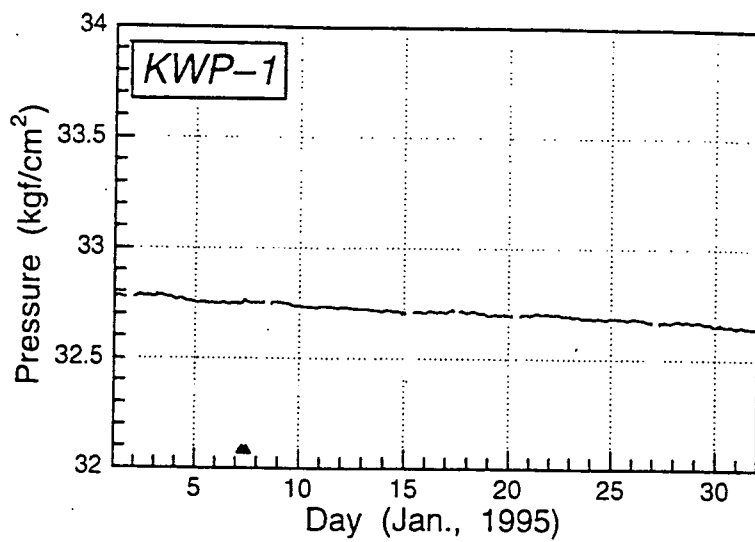


図 4.3.1-1(1) KWP - 1 孔水压変化 (1月~3月)

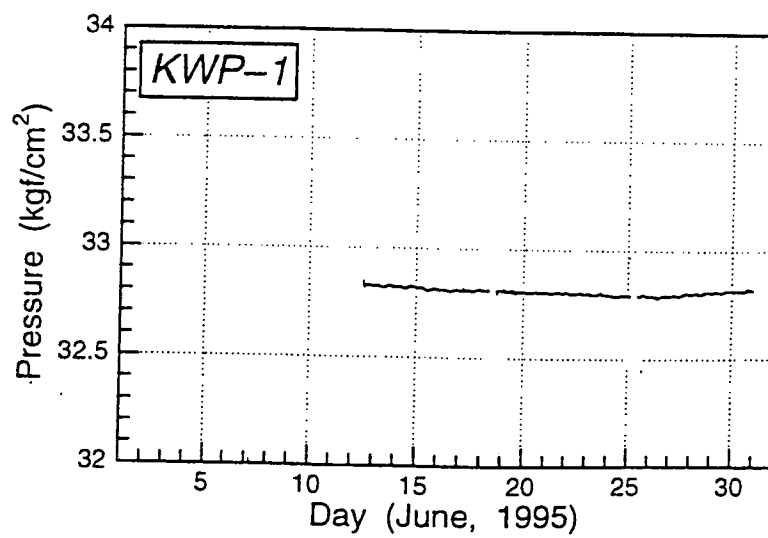
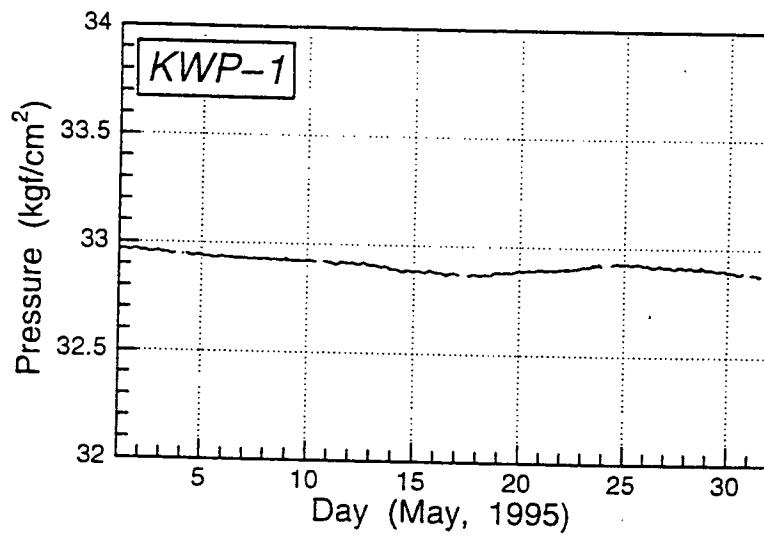
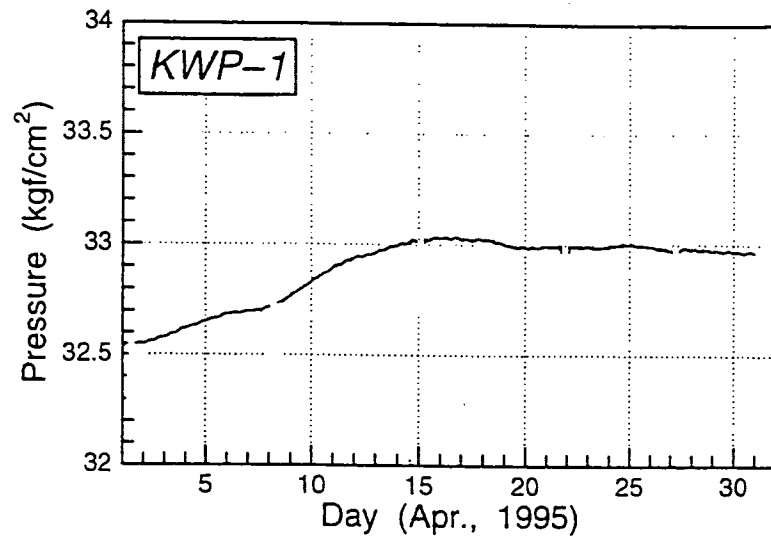


図 4.3.1-1(2) KWP-1 孔水压変化 (4月~6月)

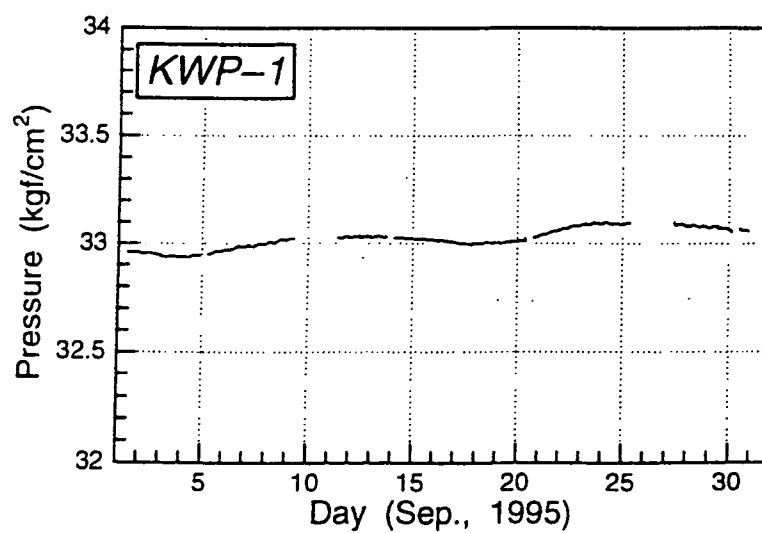
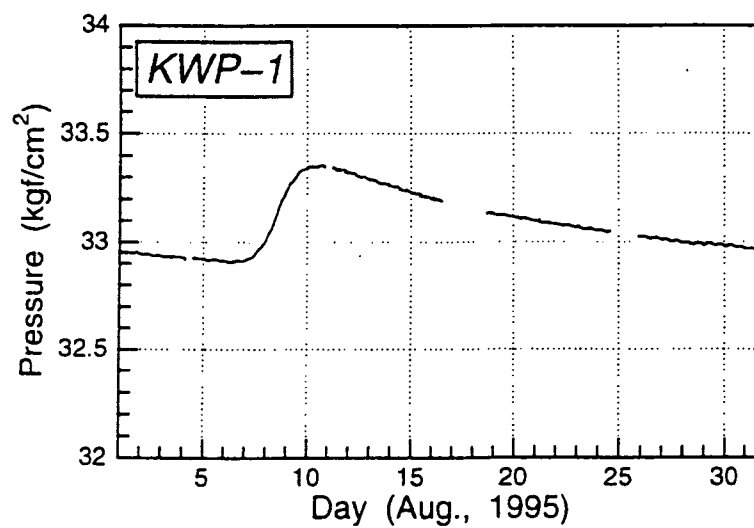
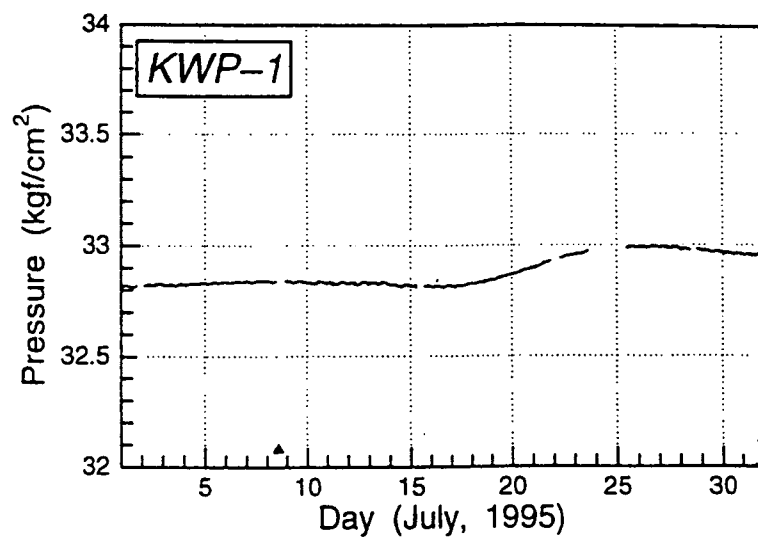


図 4.3.1-1(3) KWP-1 孔水圧変化 (7月~9月)

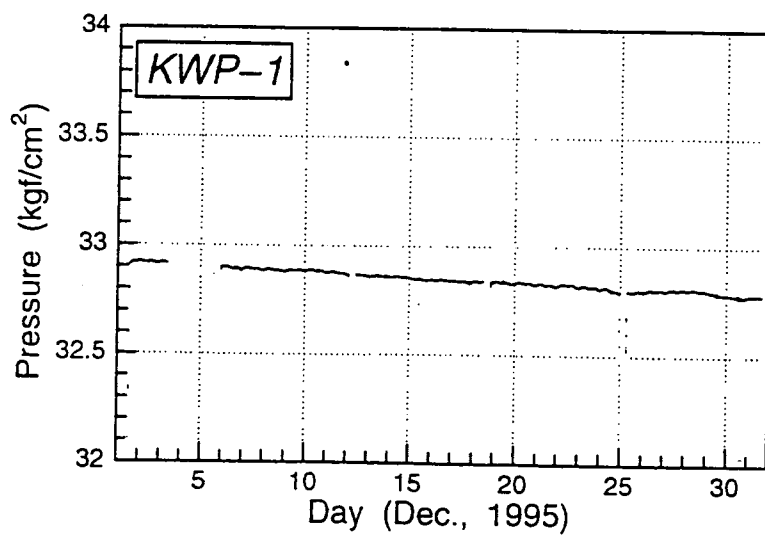
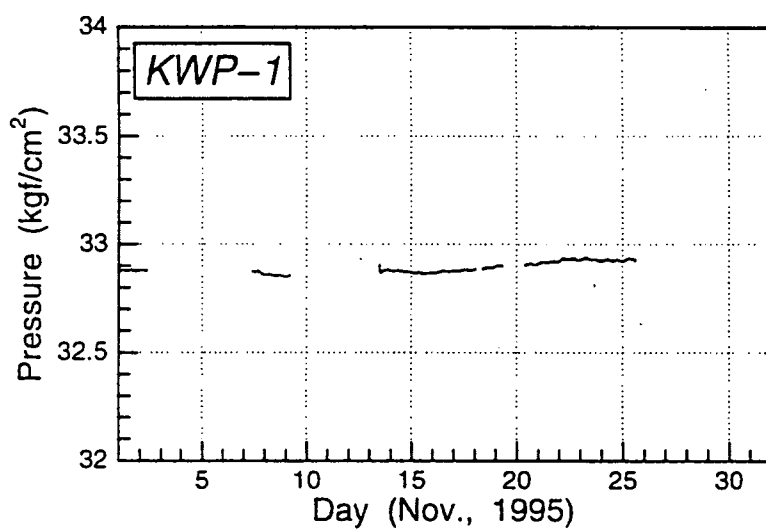
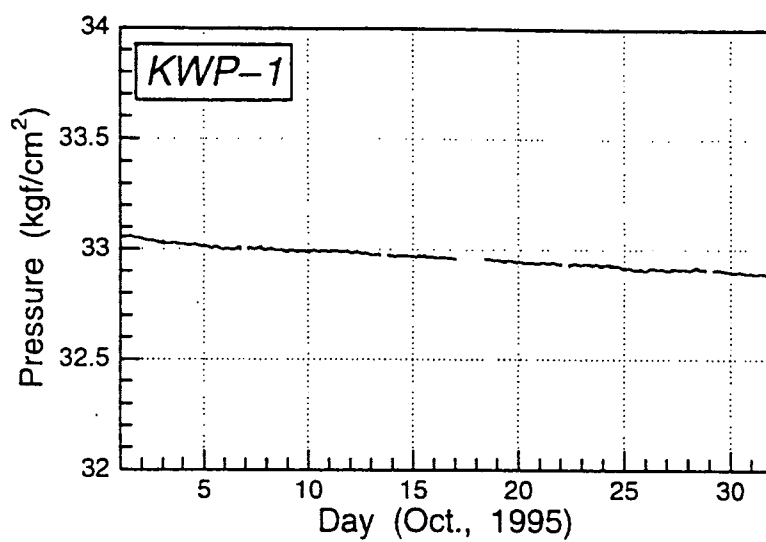


図 4.3.1-1(4) KWP-1 孔水压変化 (10月~12月)

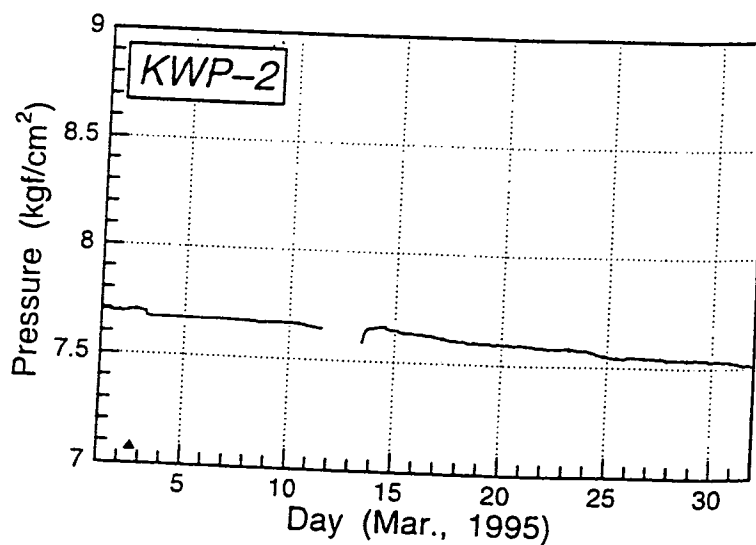
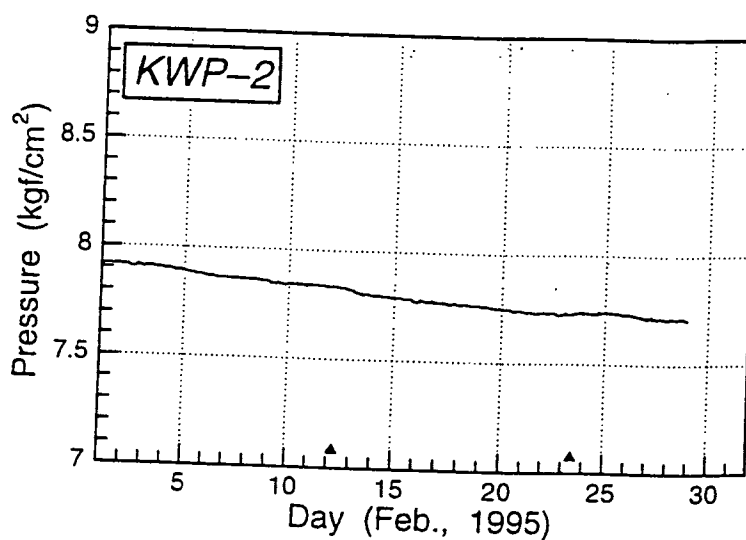
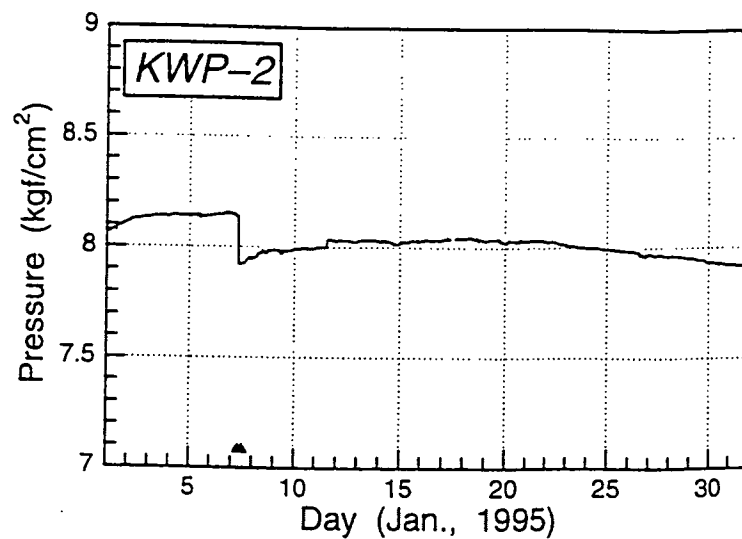


図 4.3.1-2(I) KWP - 2 孔水压変化 (1月~3月)

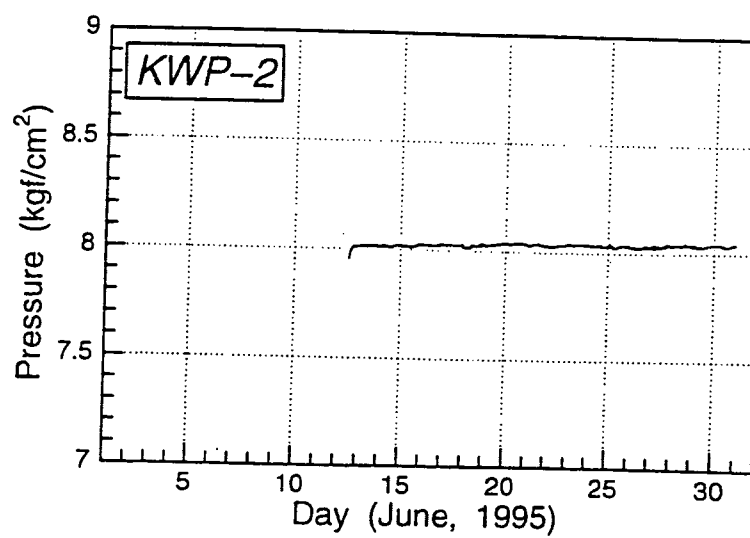
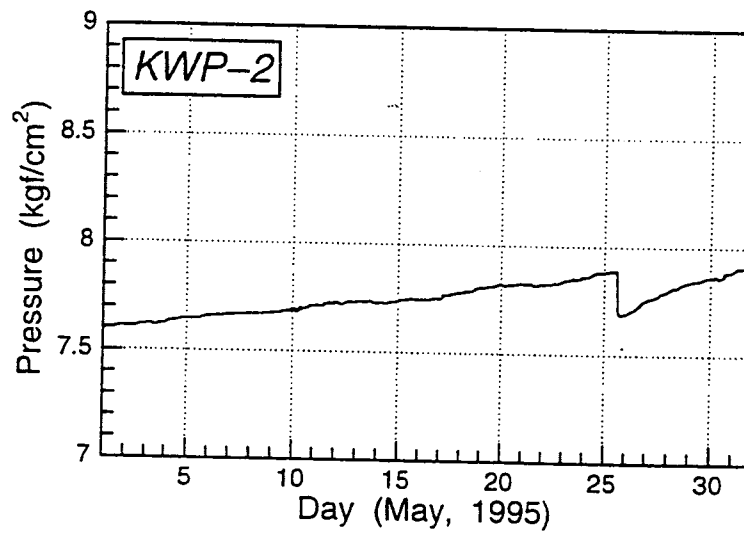
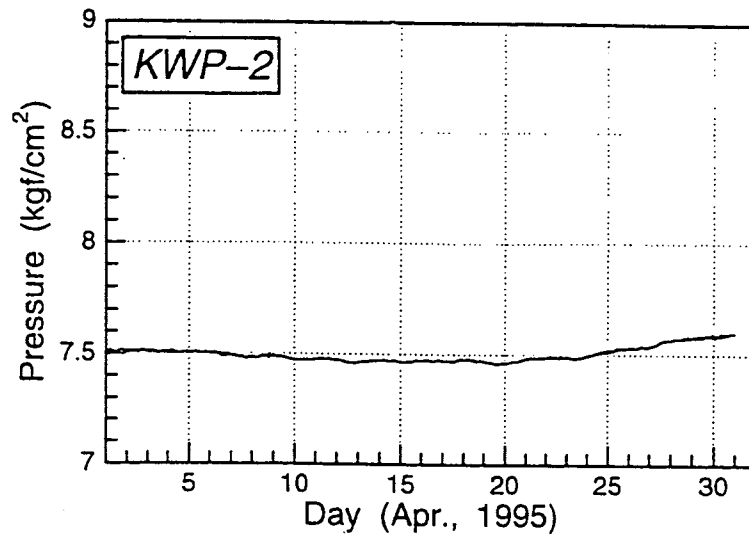


図 4.3.1-2(2) KWP - 2 孔水压变化 (4月~6月)

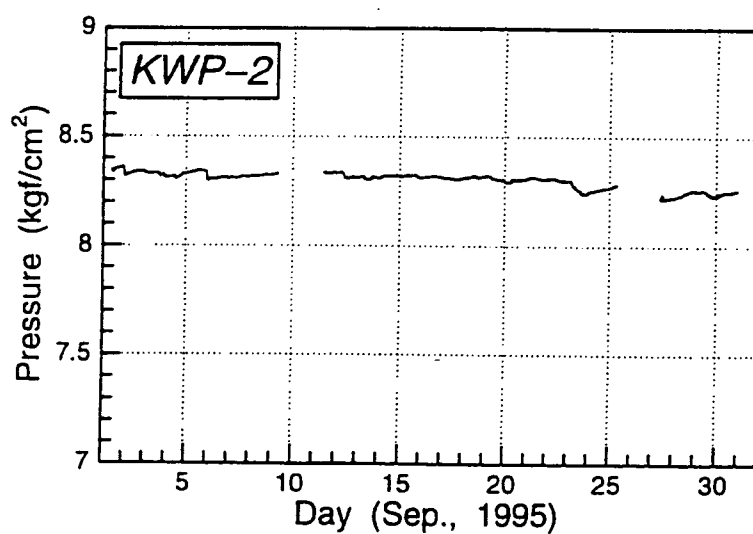
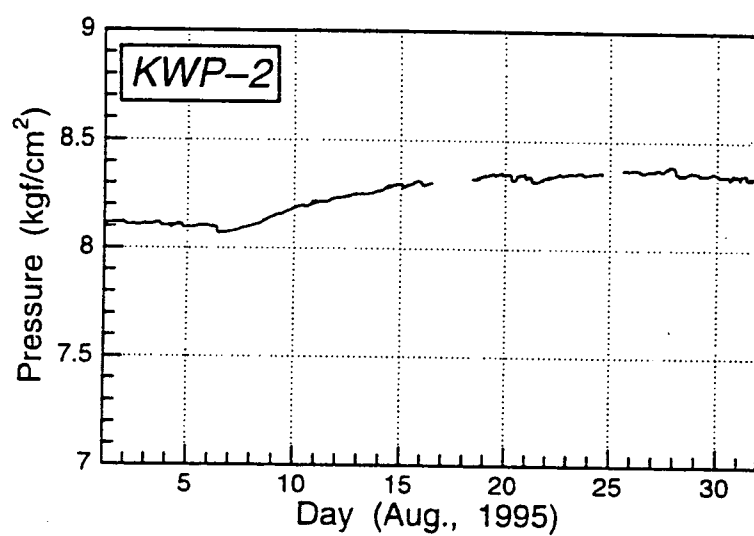
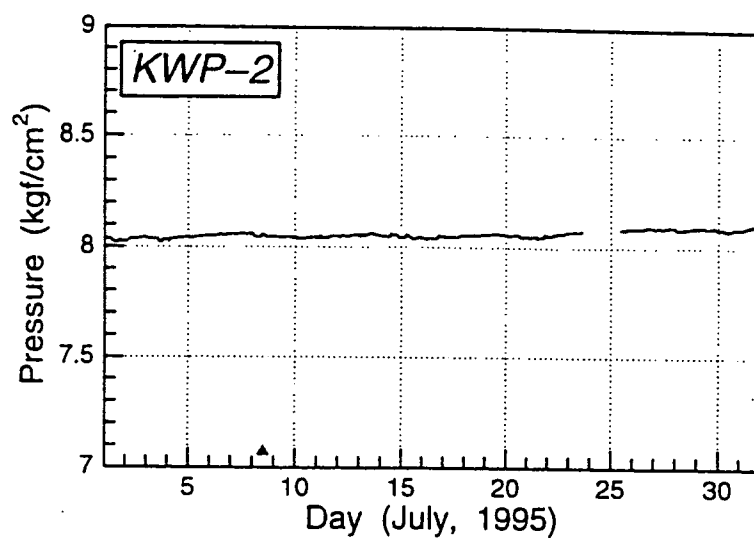


図 4.3.1-2(3) KWP-2 孔水圧変化 (7月~9月)

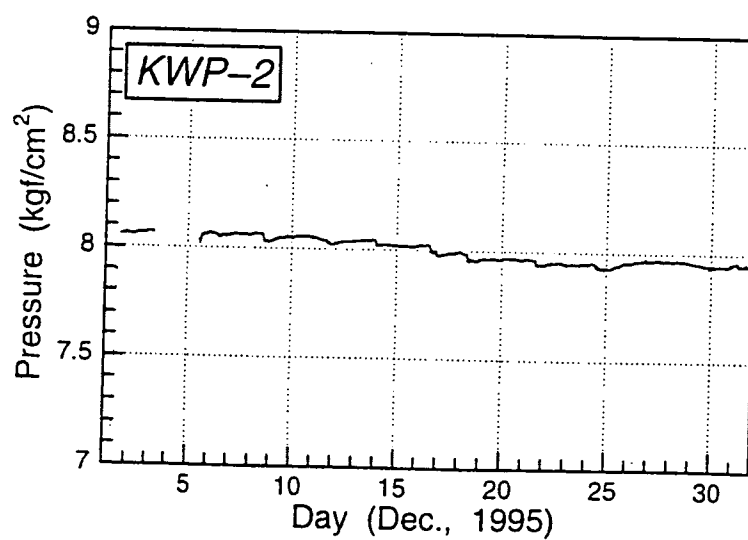
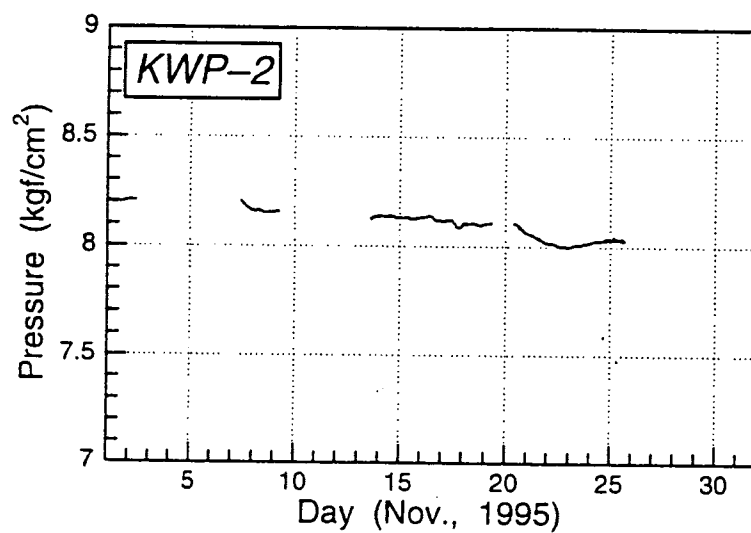
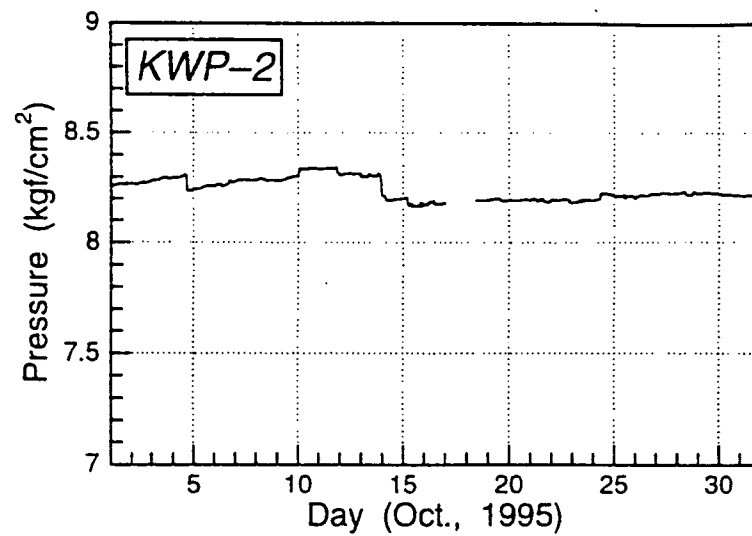


図 4.3.1-2(4) KWP-2 孔水压変化 (10月~12月)

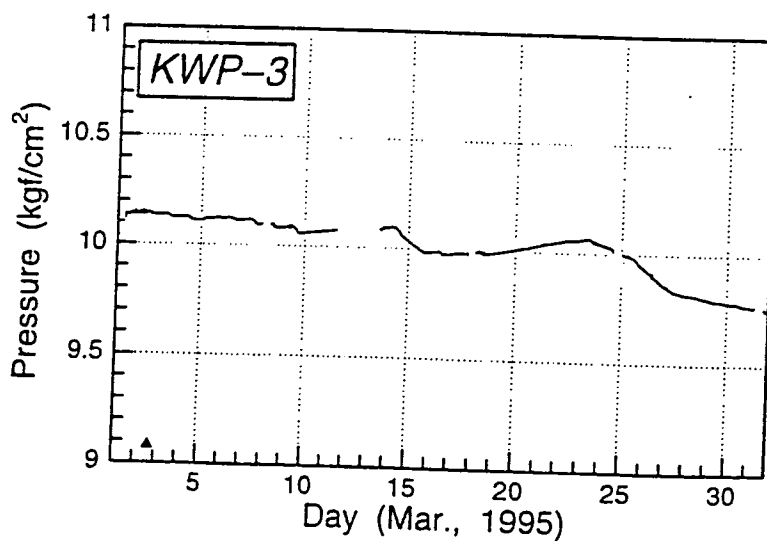
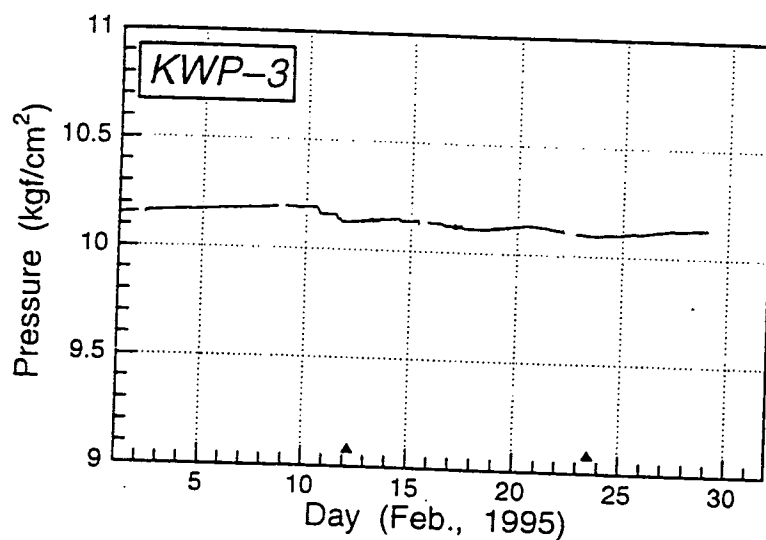
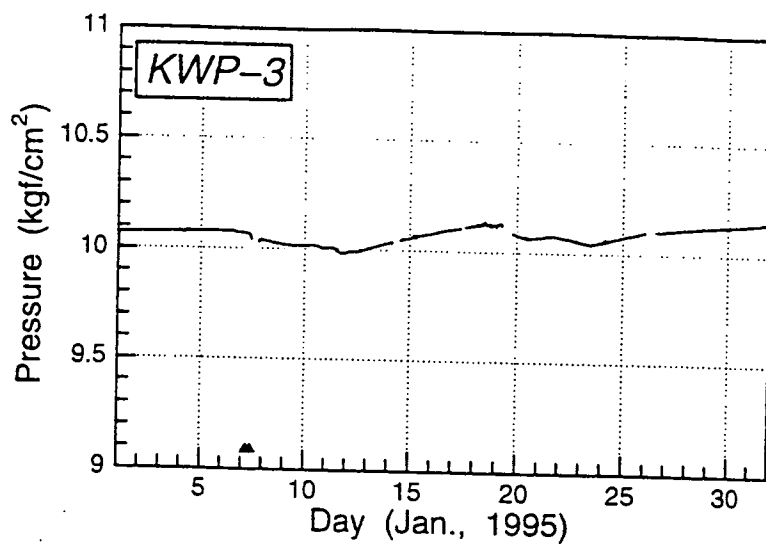


図 4.3.1-3(1) KWP-3 孔水压変化 (1月~3月)

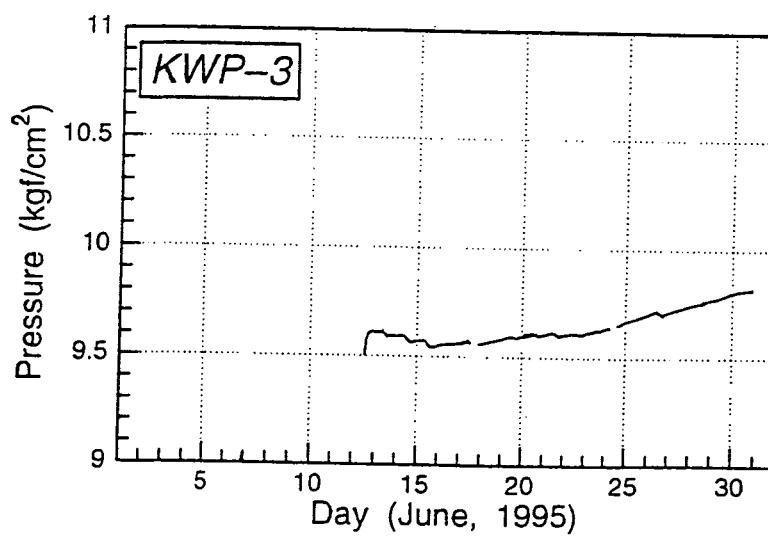
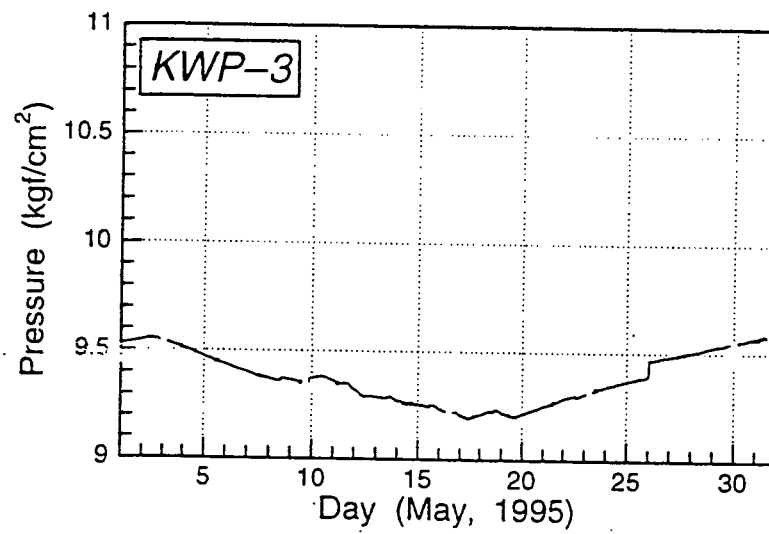
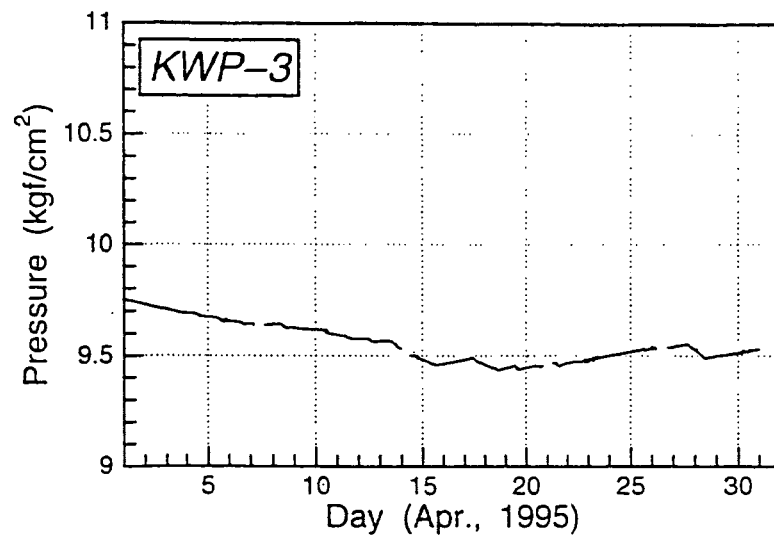


図 4.3.1-3(2) KWP - 3 孔水压変化 (4月~6月)

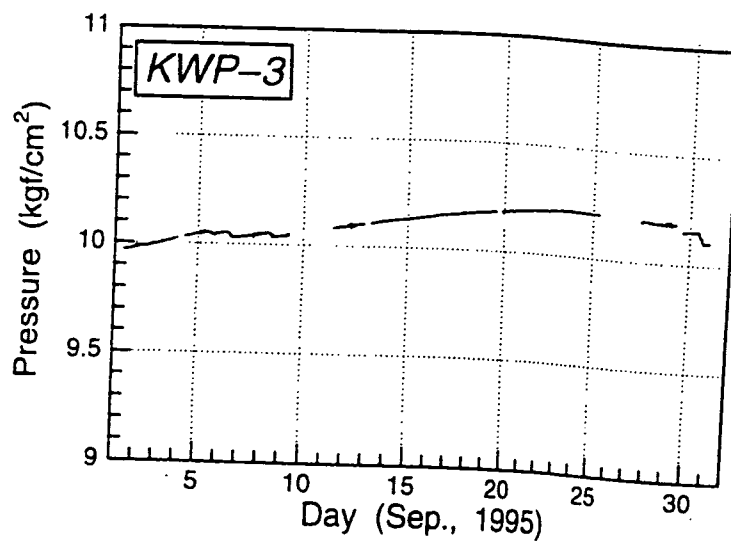
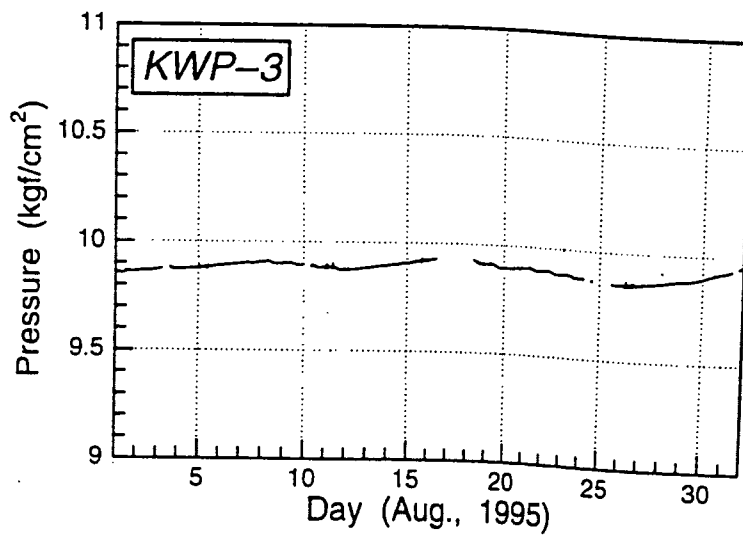
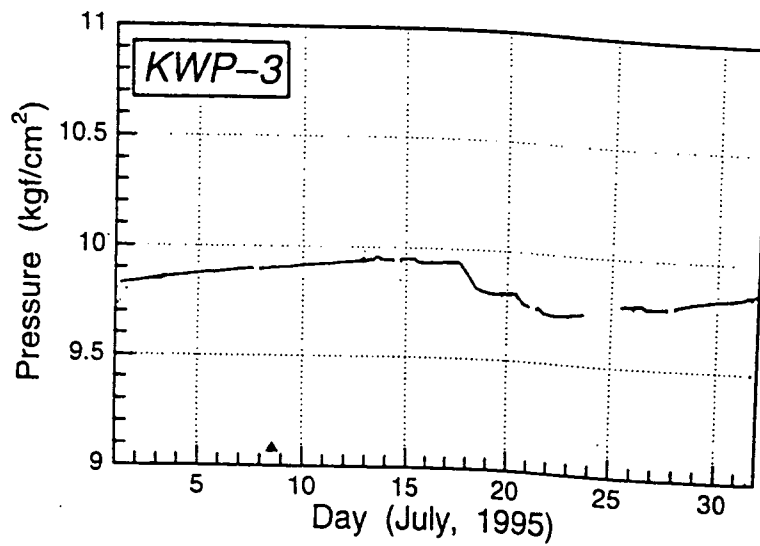


図 4.3.1-3(3) KWP - 3 孔水压変化 (7月~9月)

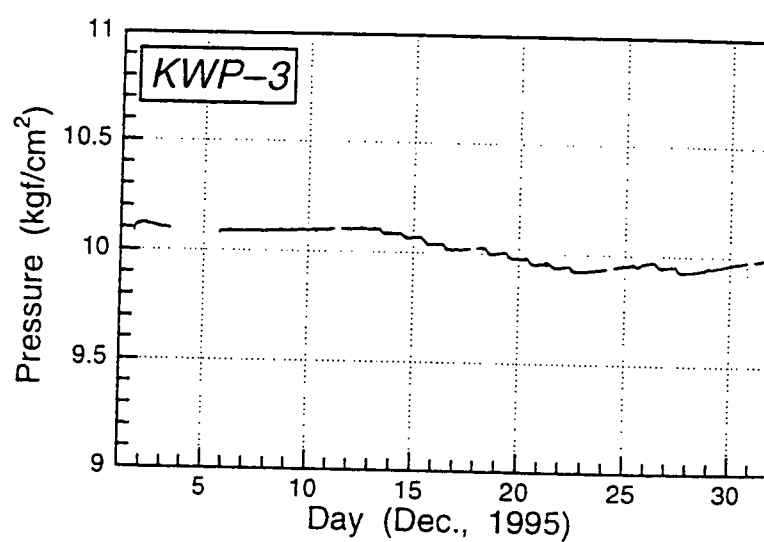
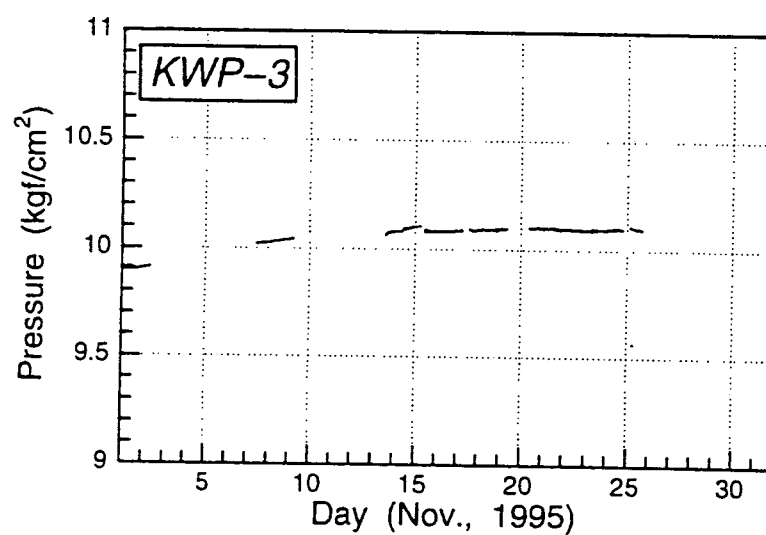
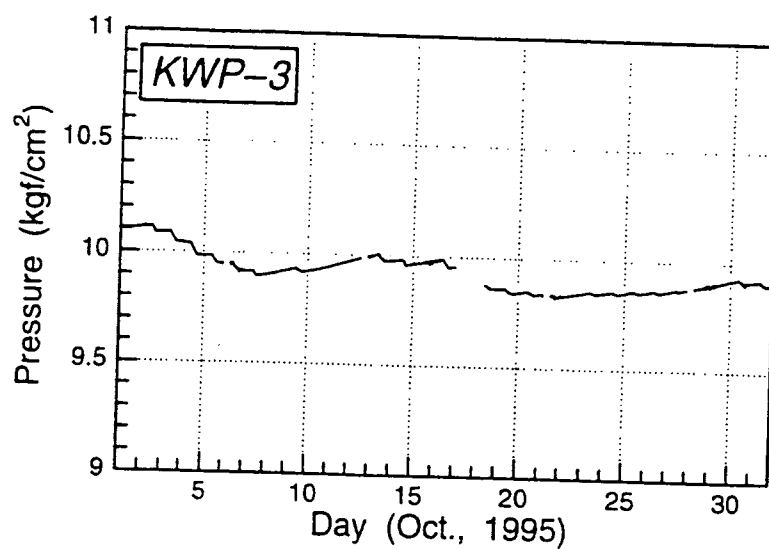


図 4.3.1-3(4) KWP-3 孔水压変化 (10月~12月)

青の木地点雨量

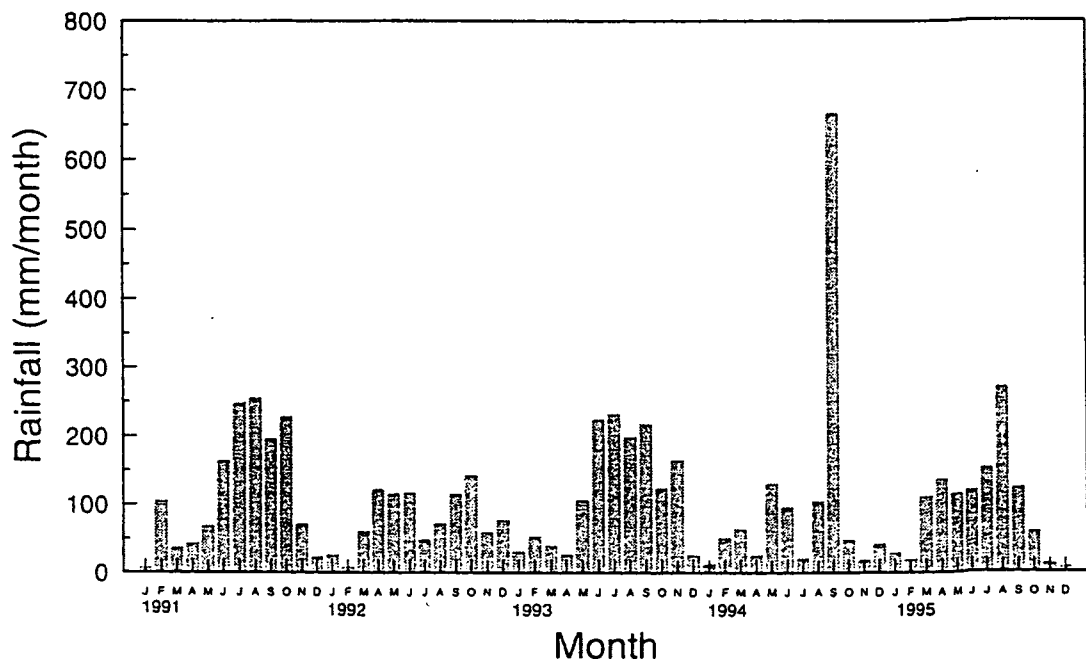


図 4.3.1-4 青の木地点降水量

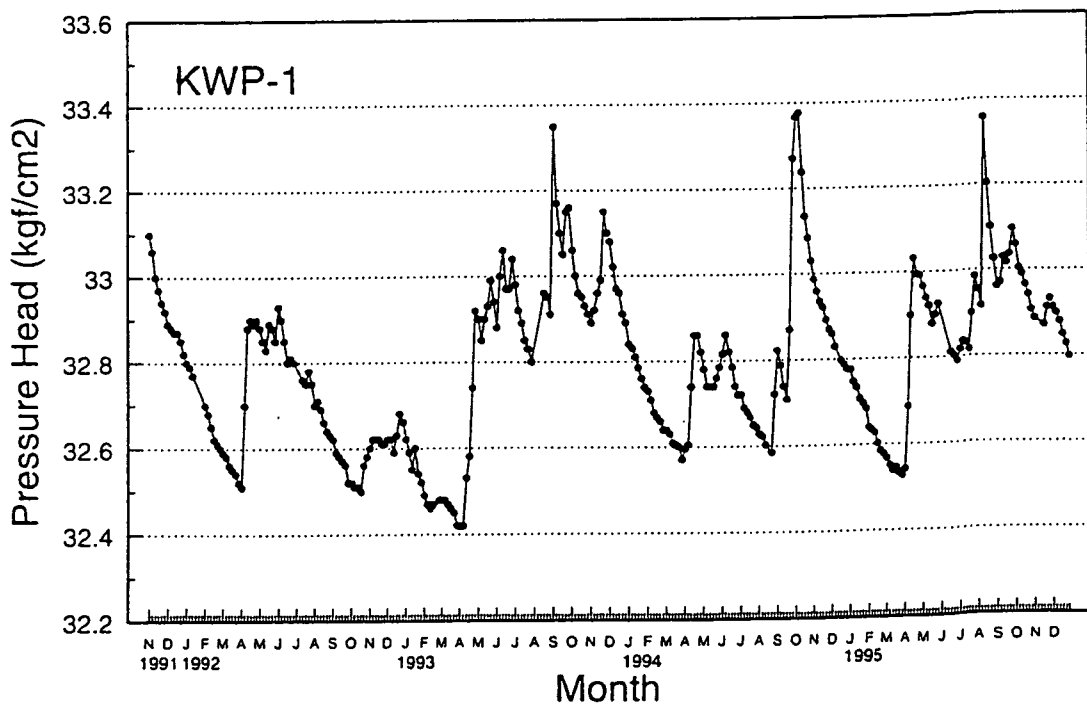


図 4.3.1-5 KWP - 1 孔長期水圧変化

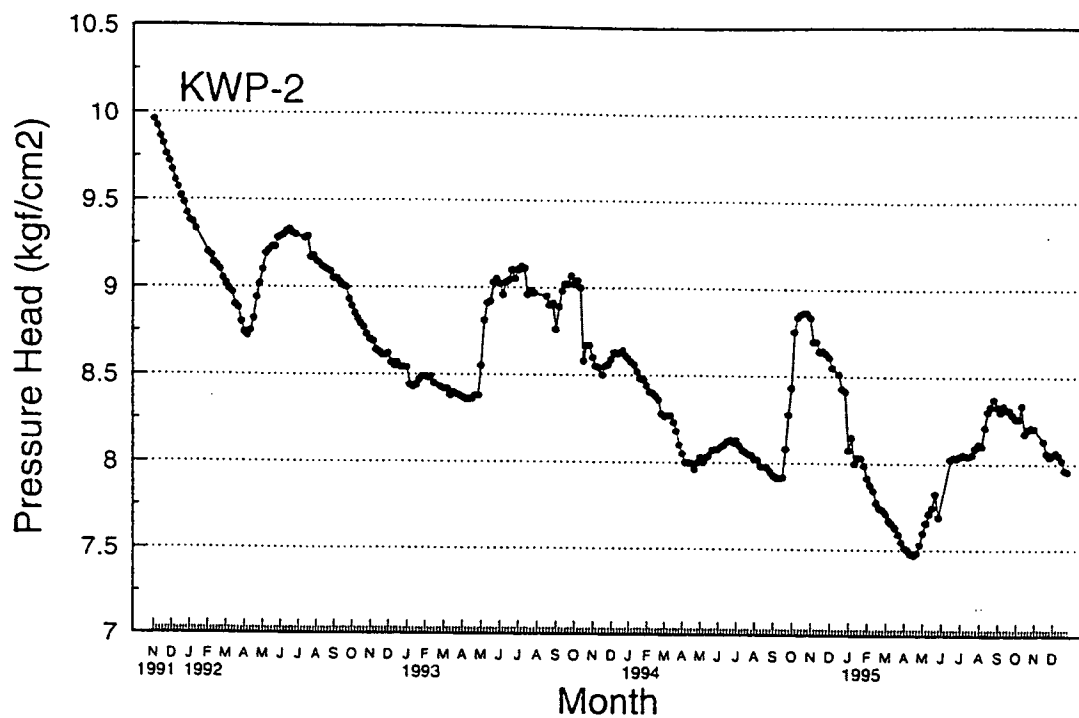


図 4.3.1-6 KWP - 2 孔長期水圧変化

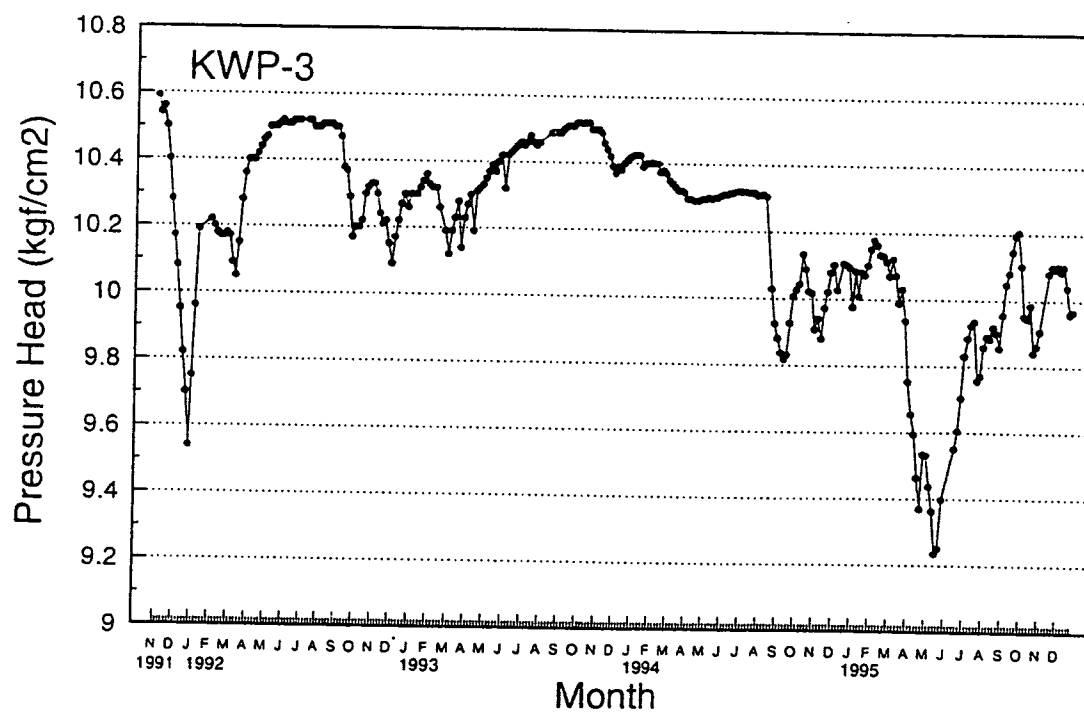


図 4.3.1-7 KWP - 3 孔長期水圧変化

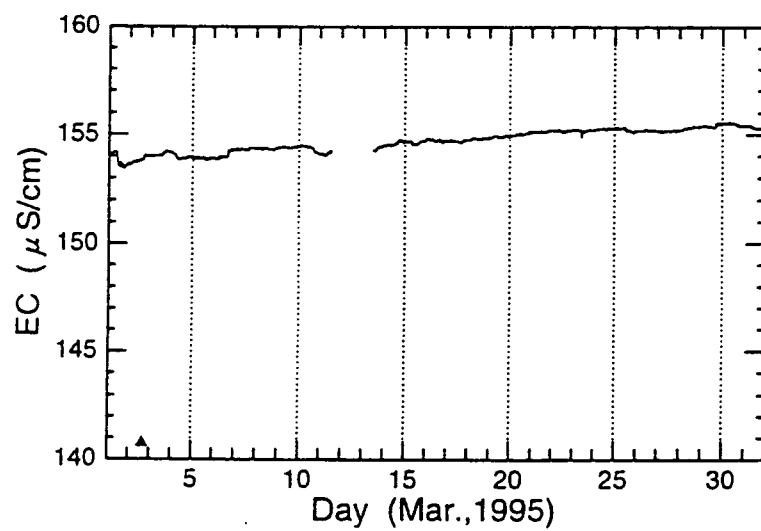
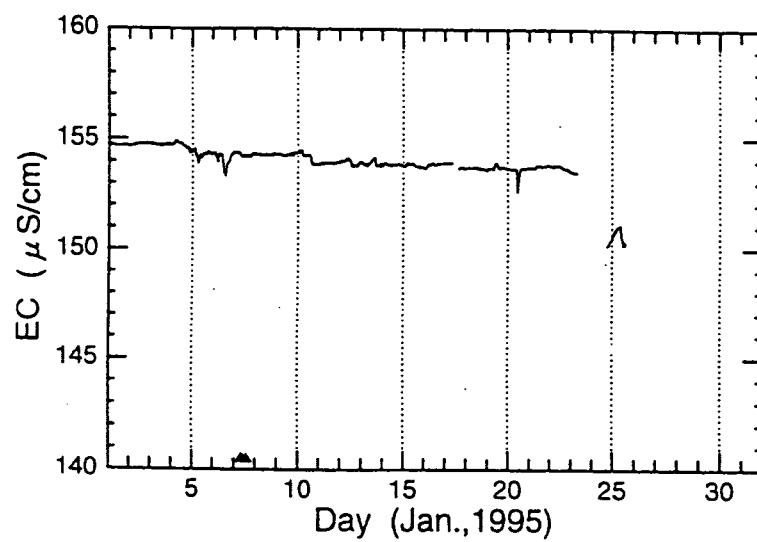


図 4.3.1-8(1) KO-10 地点電気伝導度変化 (1月、3月)

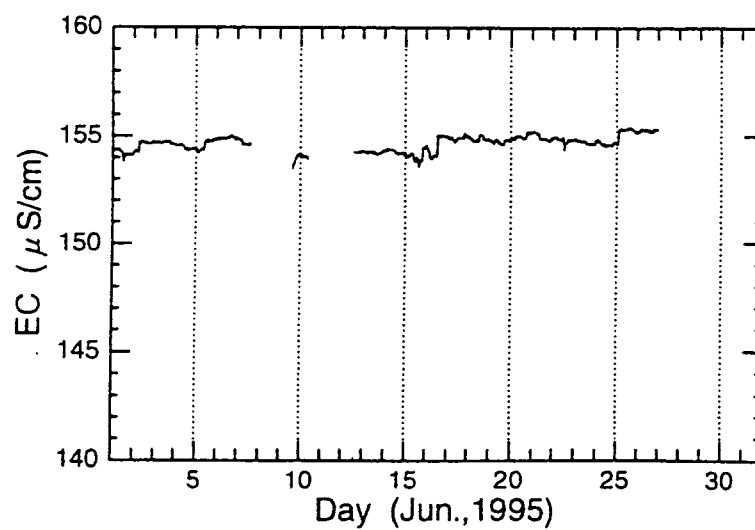
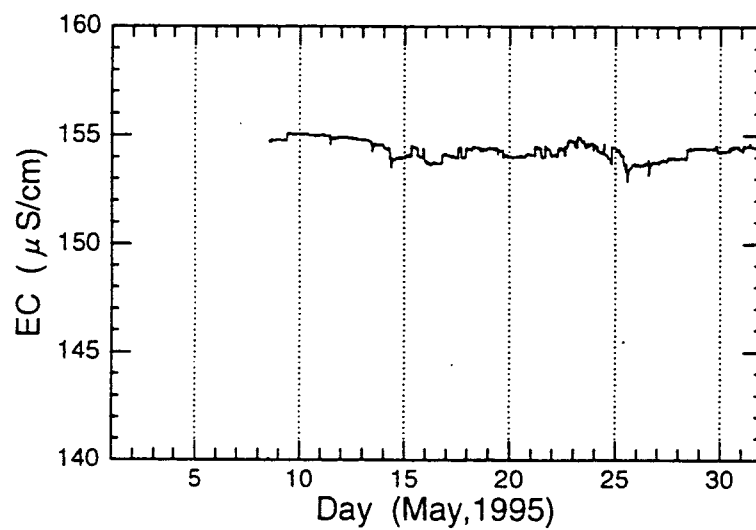
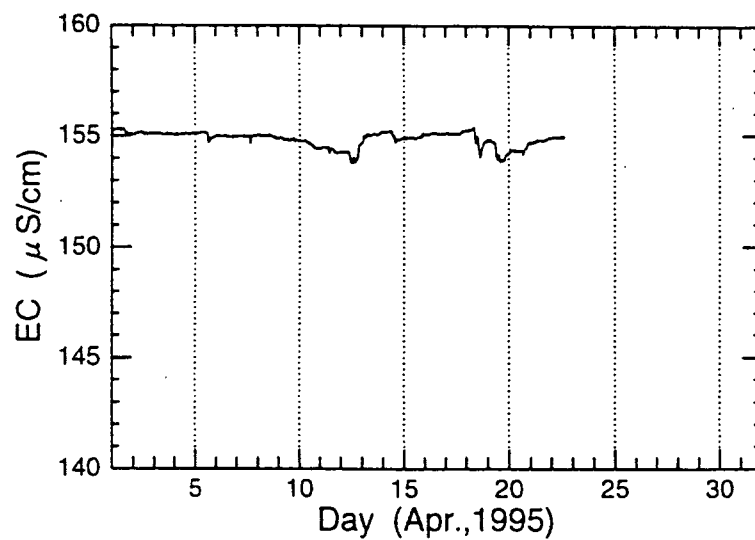


図 4.3.1-8(2) KO-10 地点電気伝導度変化 (4月~6月)

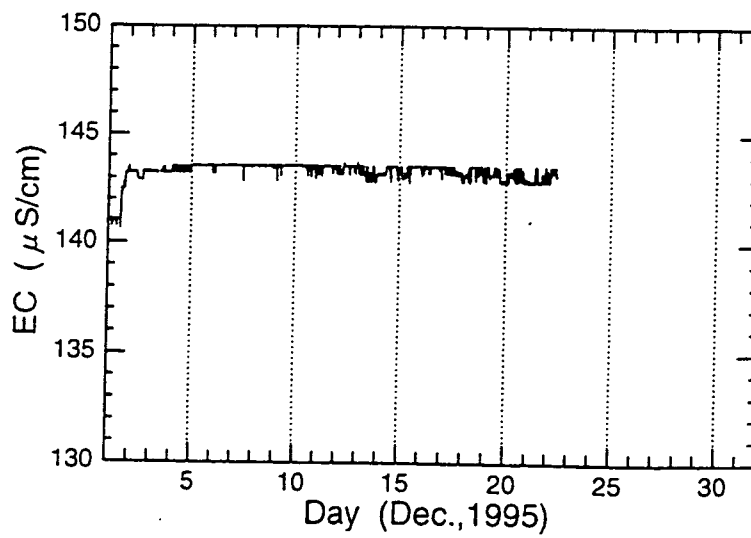
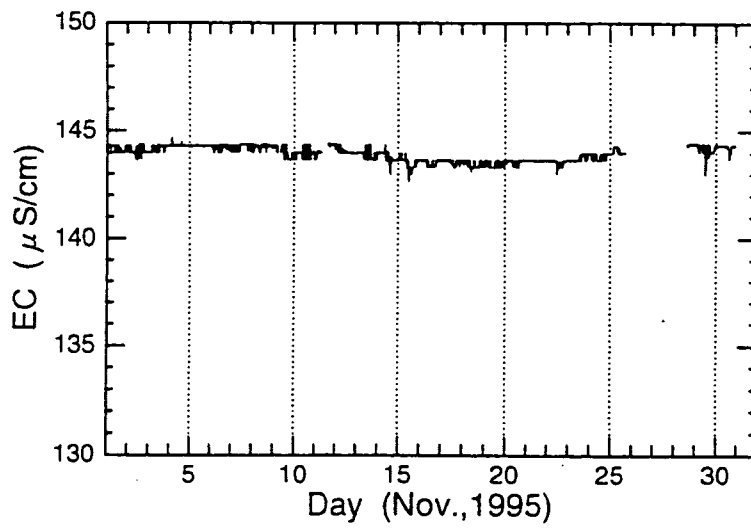
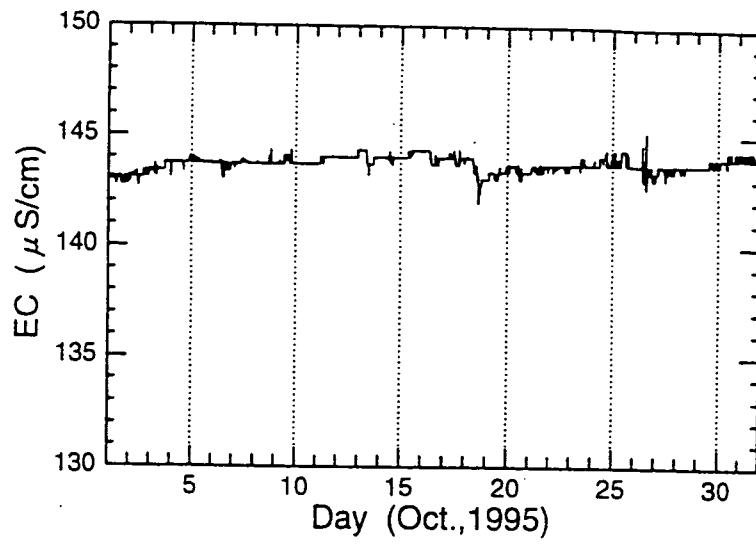


図 4.3.1-8(3) KO-10 地点電気伝導度変化 (10月~12月)

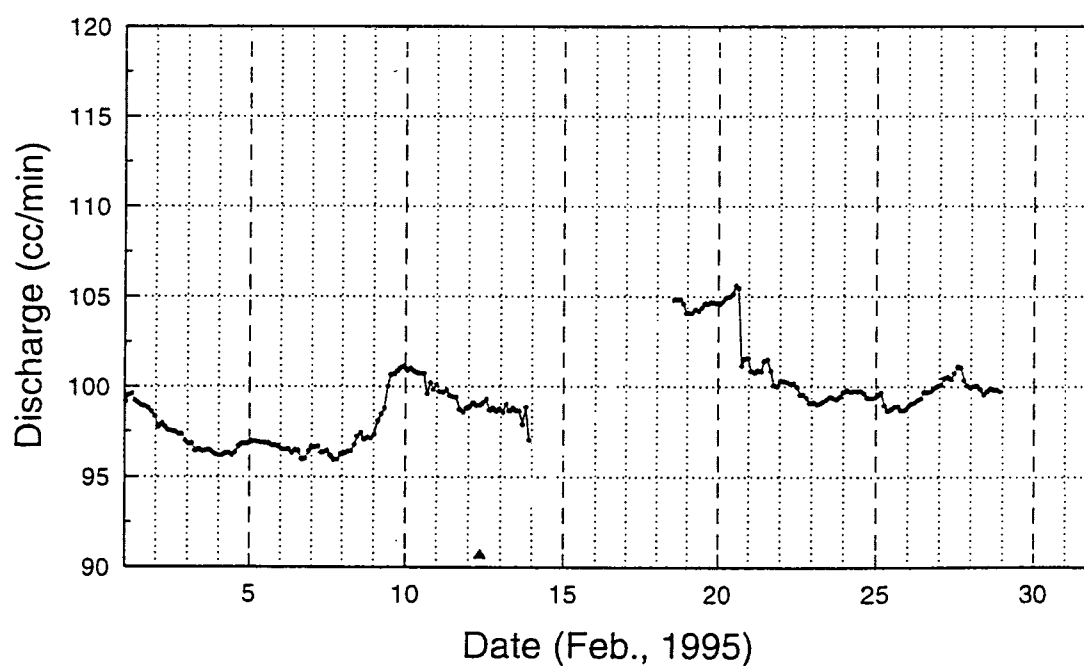
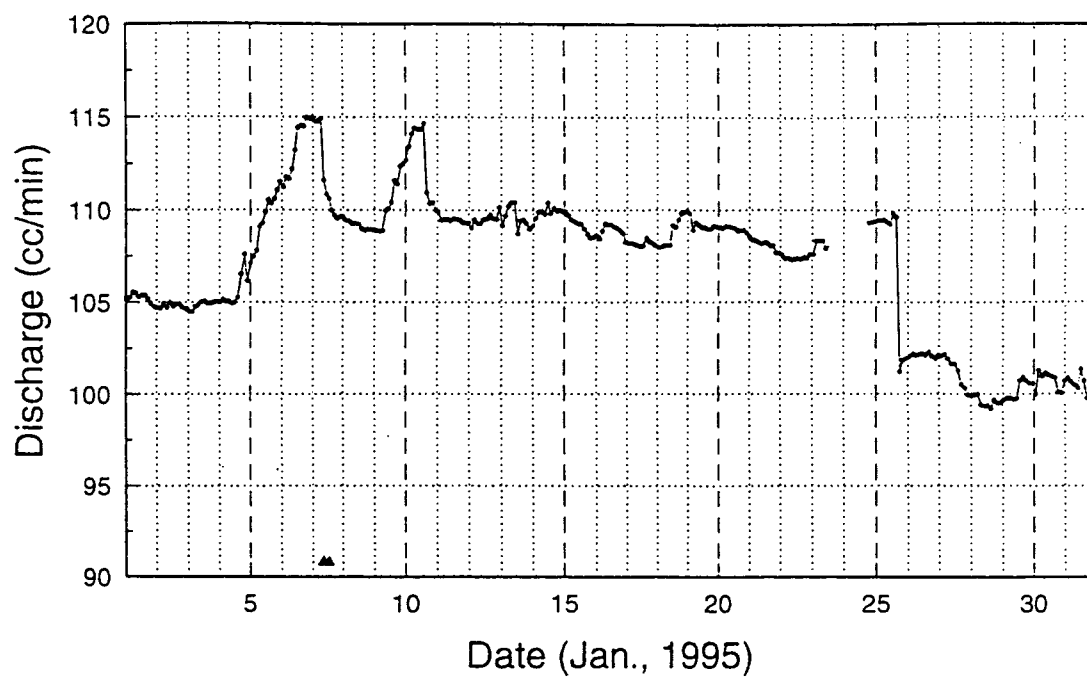


図 4.3.1-9(1) KO-10 地点湧水量変化 (1月~2月)

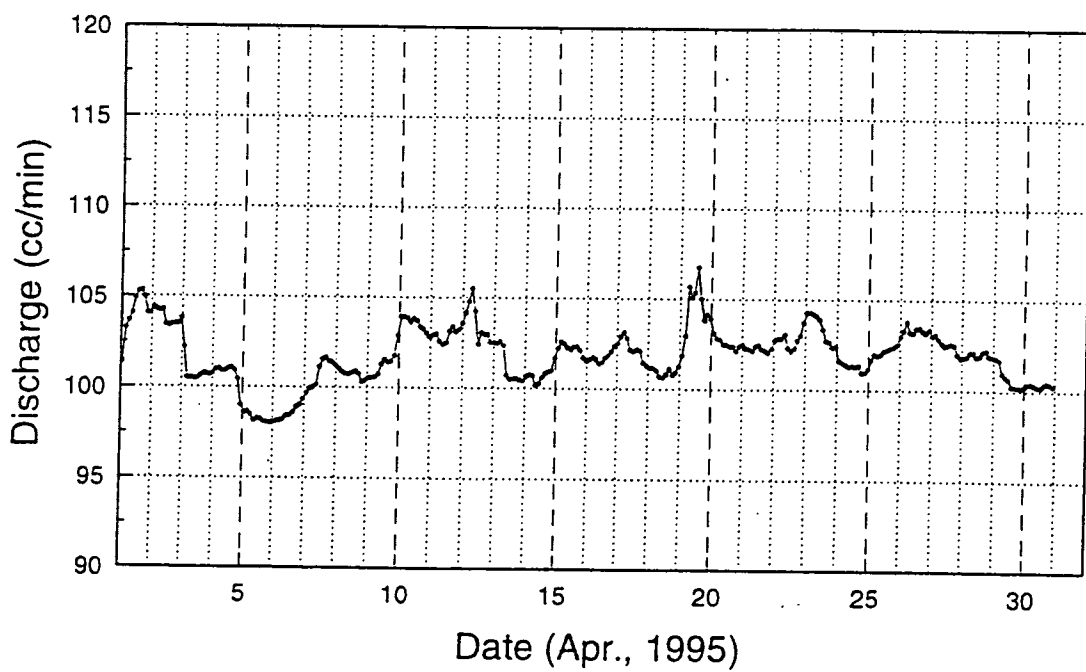
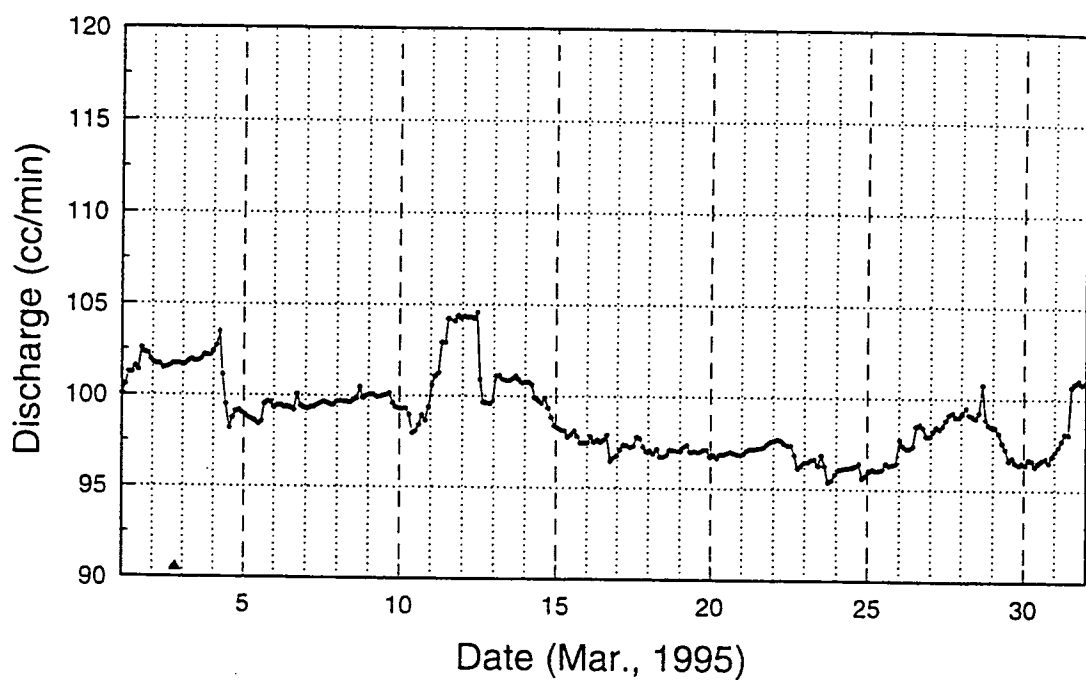


図 4.3.1-9(2) KO-10 地点湧水量変化 (3月~4月)

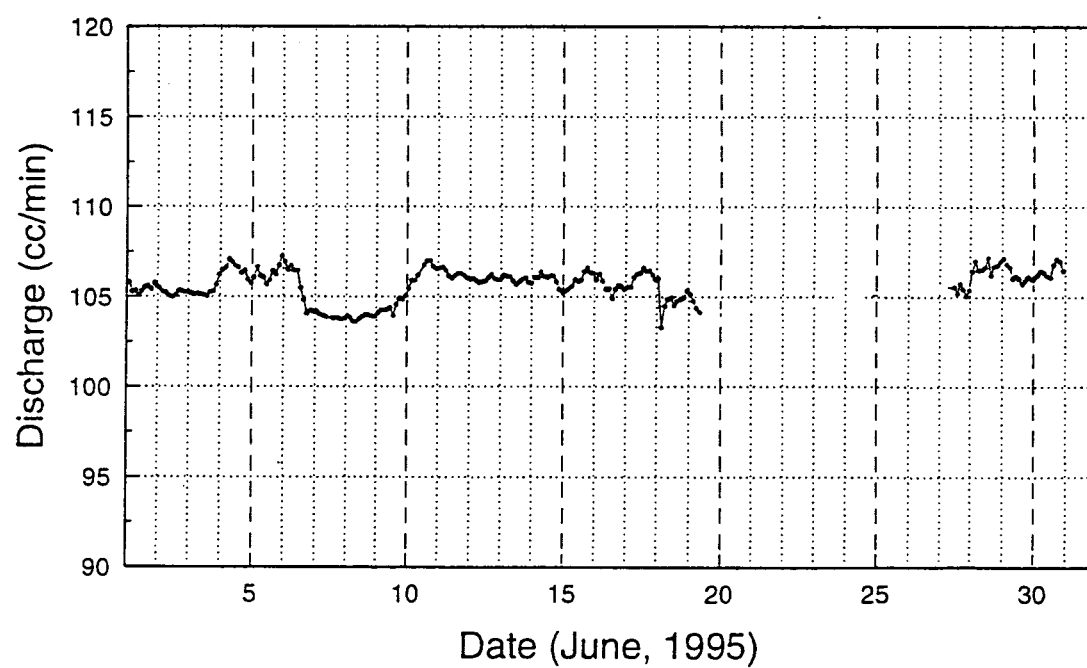
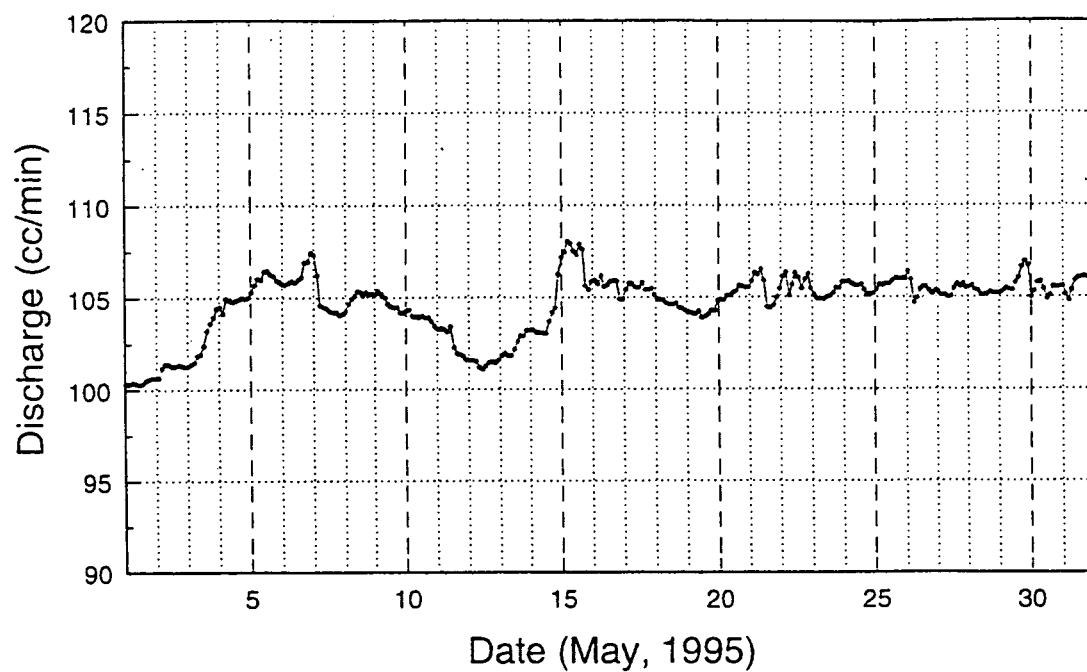
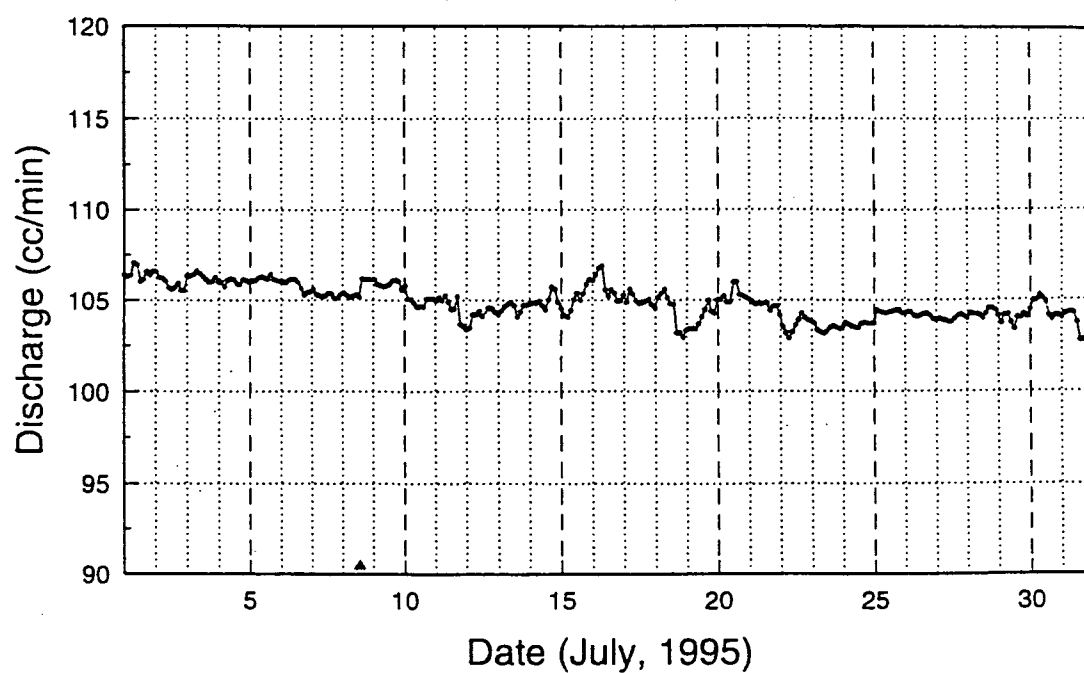


图 4.3.1-9(3) KO-10 地点湧水量变化 (5月~6月)

釜石鉾山KO-10地点湧水量



釜石鉾山KO-10地点湧水量

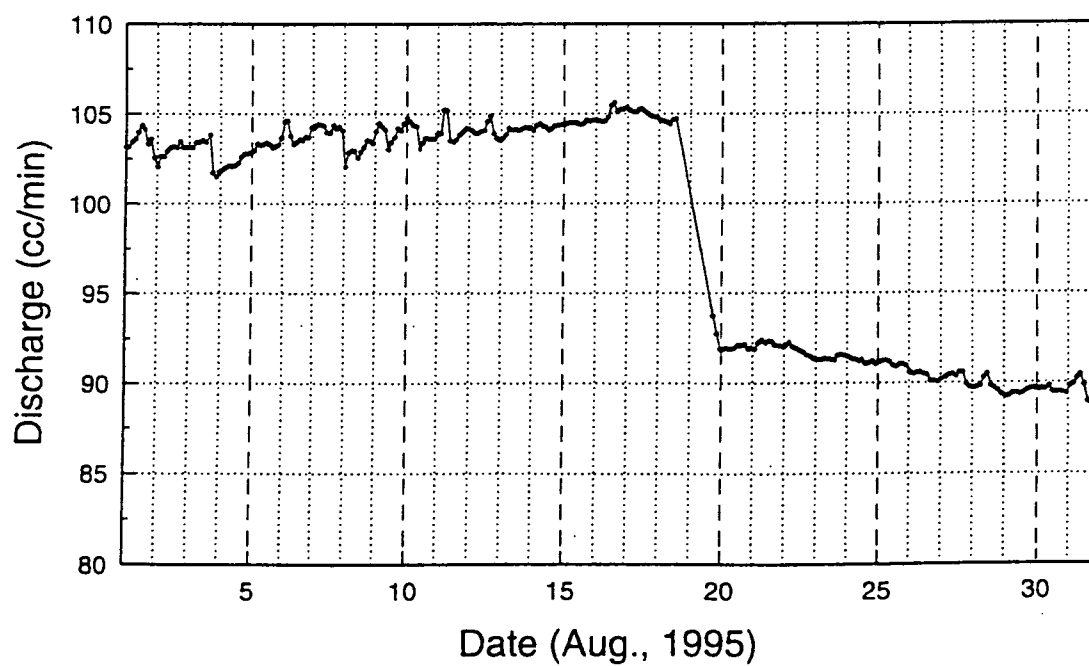


図 4.3.1-9(4) KO-10 地点湧水量変化 (7月~8月)

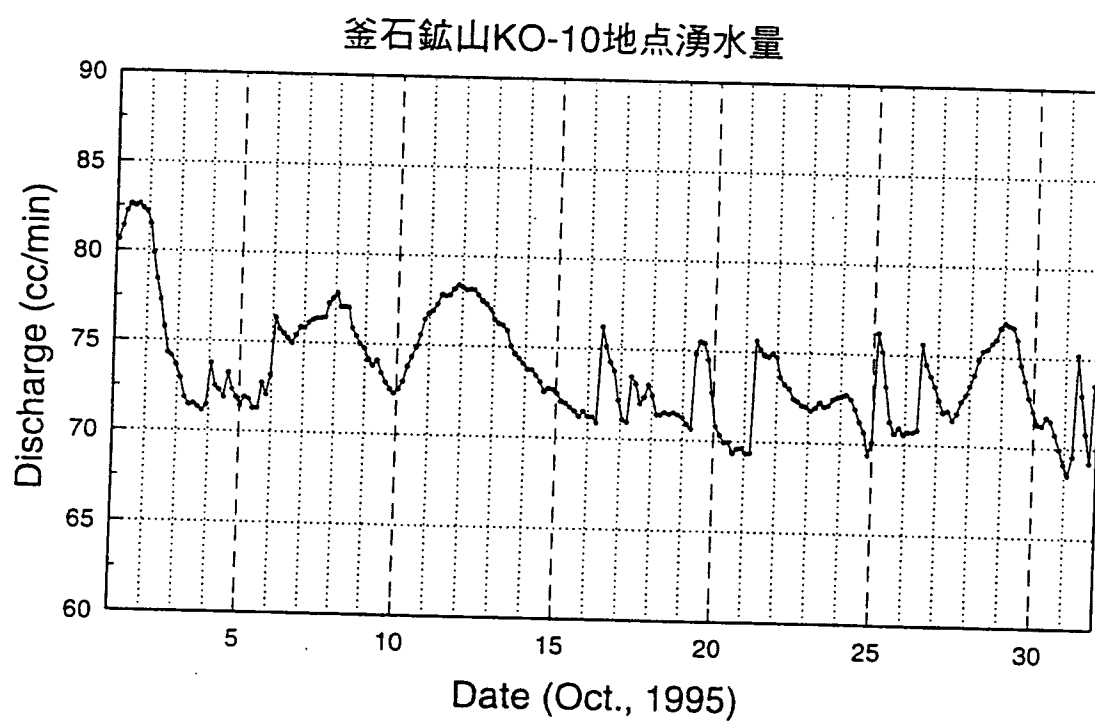
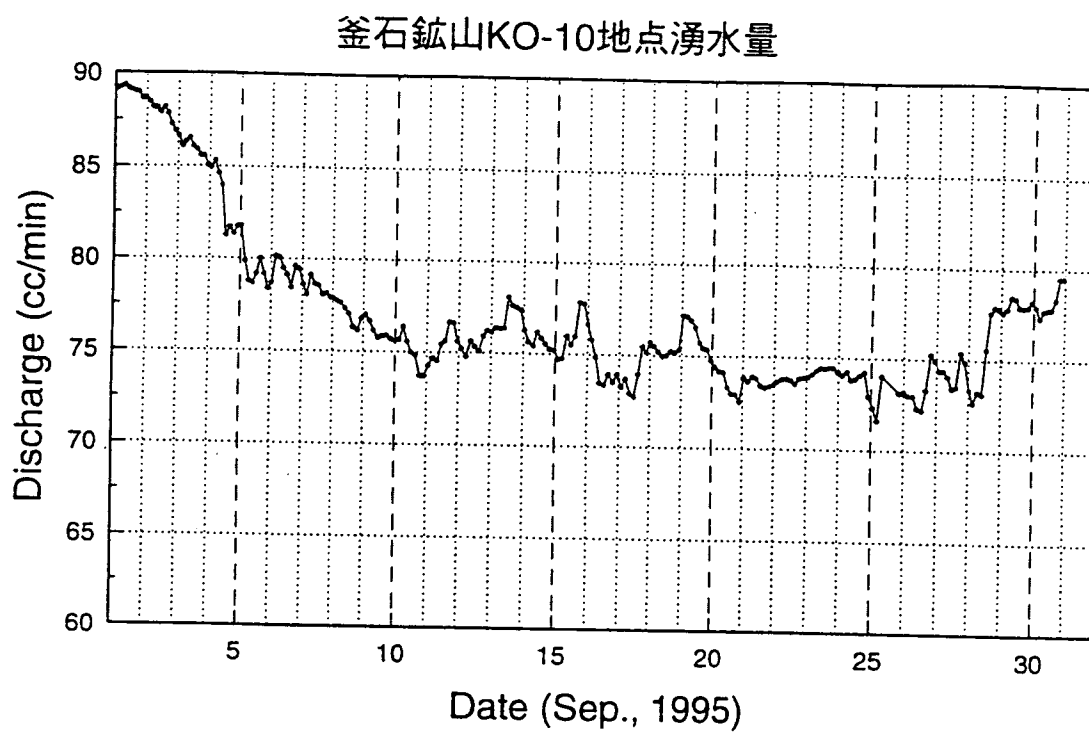


図 4.3.1-9(5) KO-10 地点湧水量変化 (9月~10月)

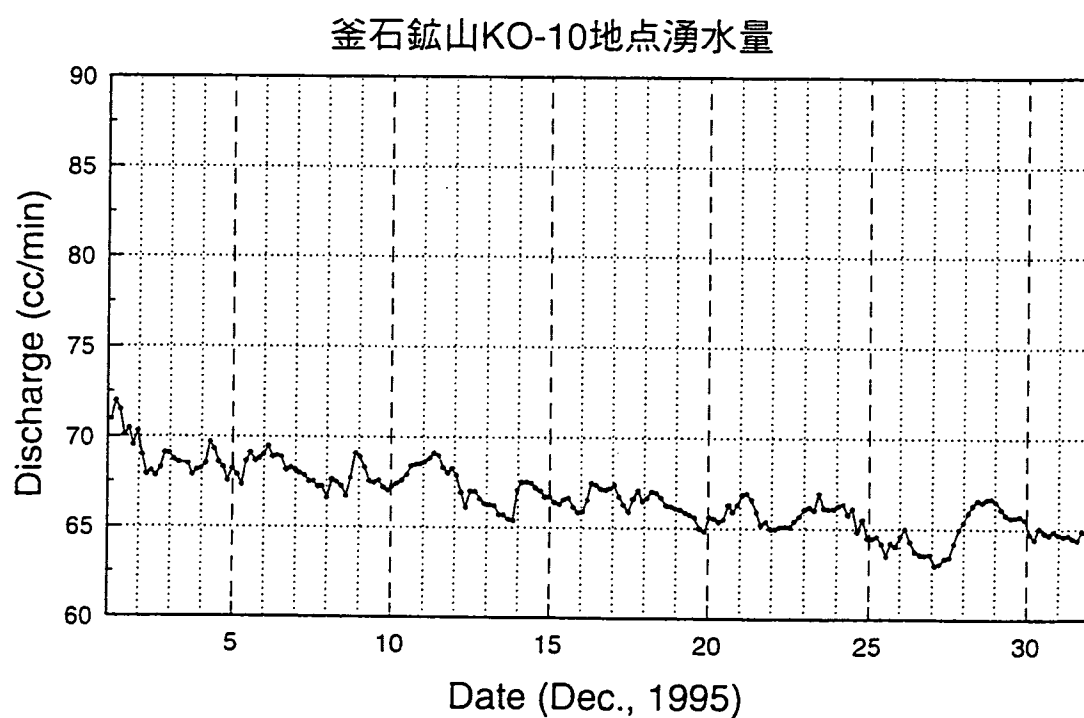
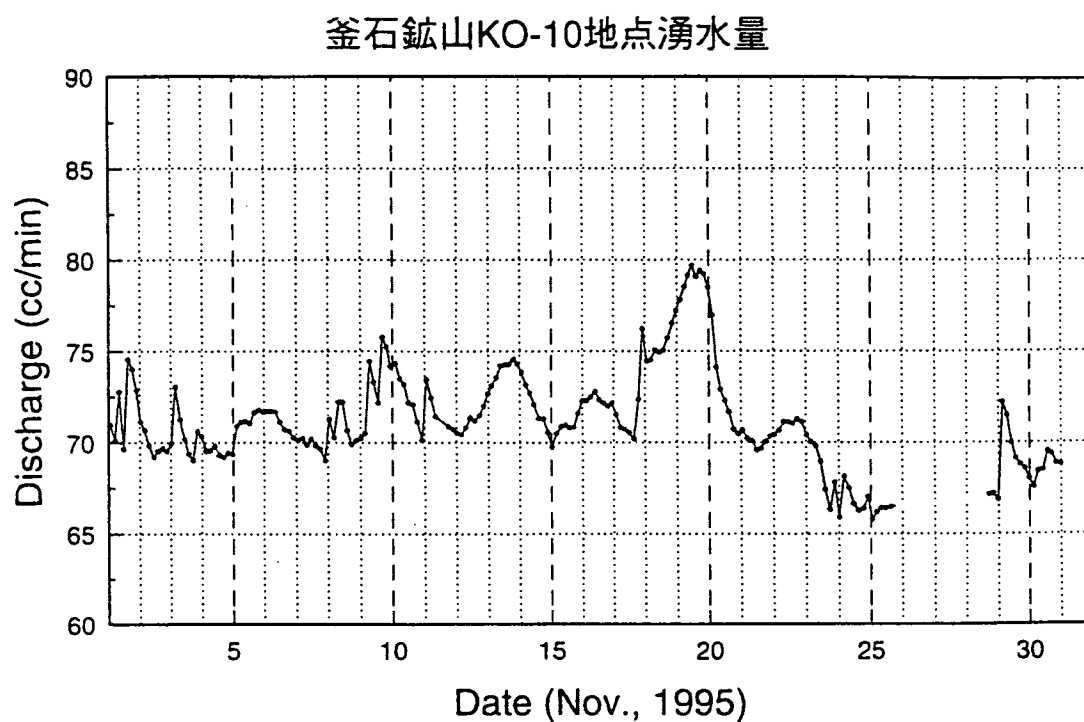


図 4.3.1-9(6) KO-10 地点湧水量変化 (11月~12月)

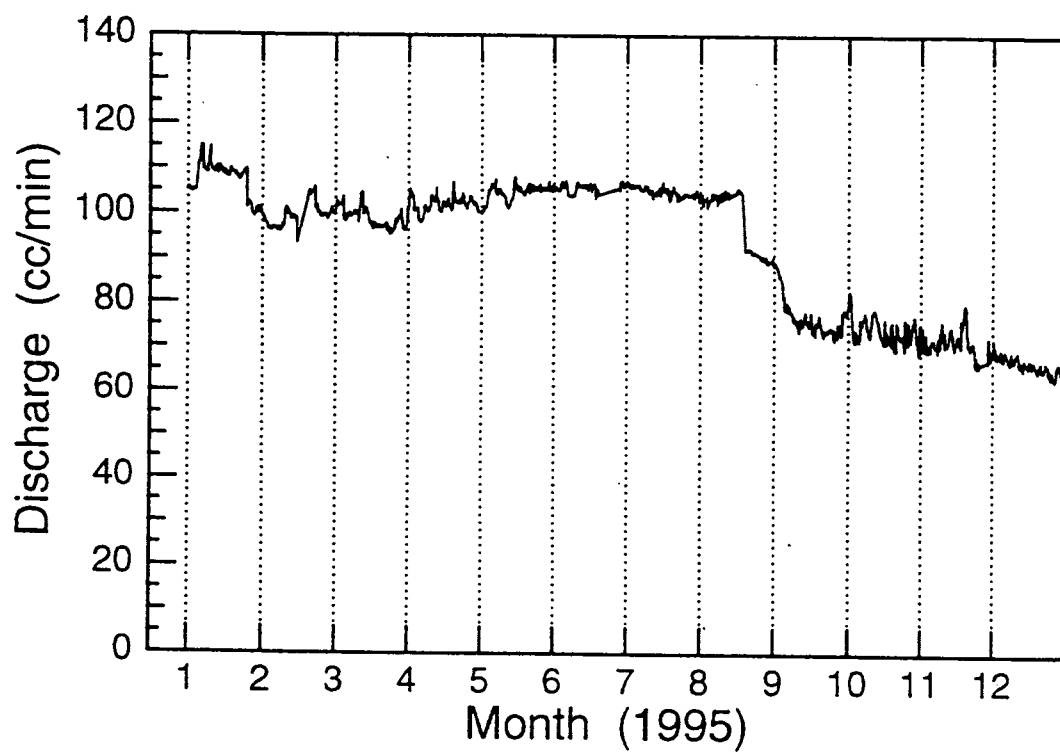


图 4.3.1-10 KO-10 地点湧水量变化 (1995年度)

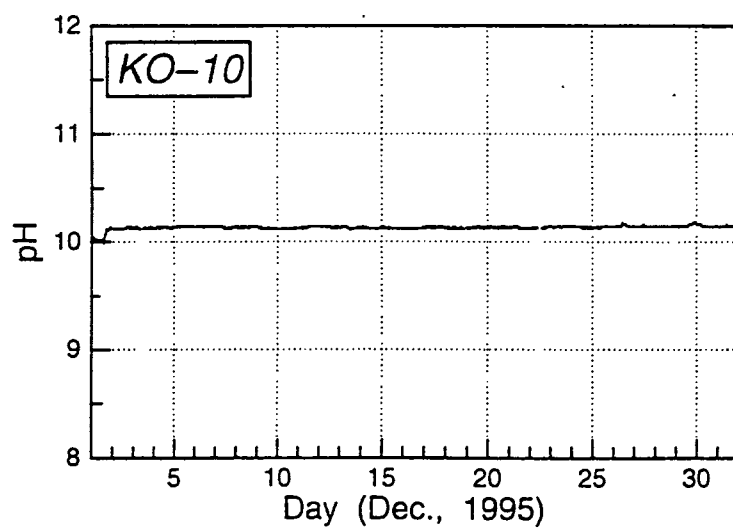
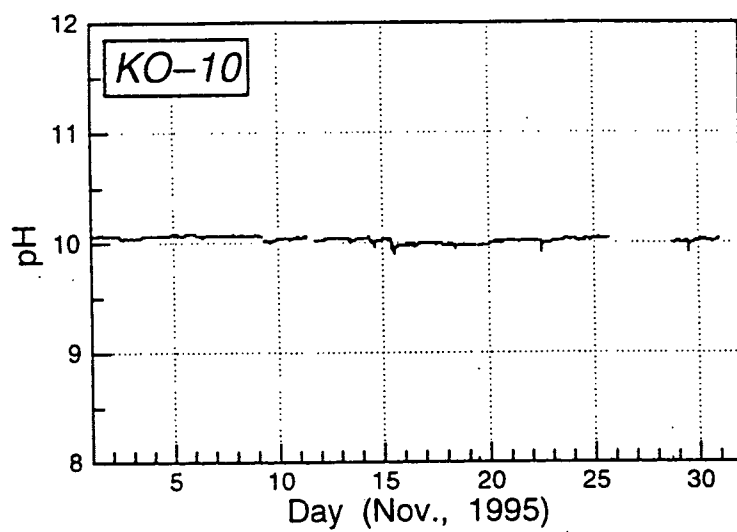


図 4.3.1-11 KO-10 地点 pH 変化 (11月~12月)

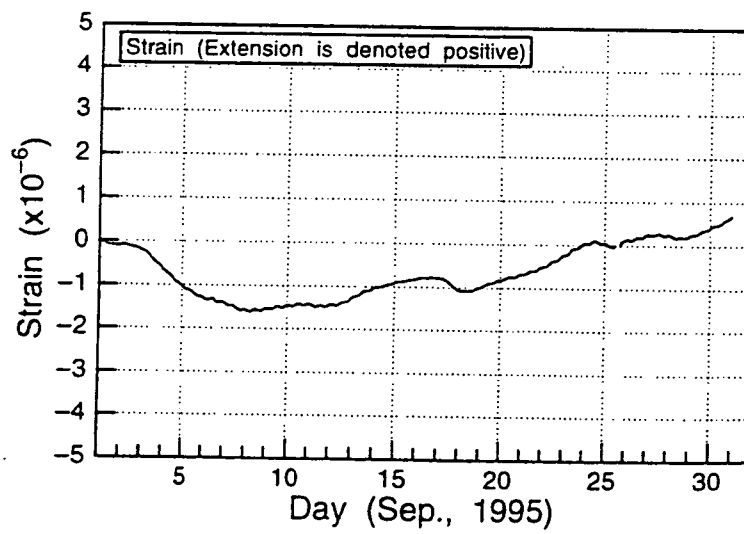
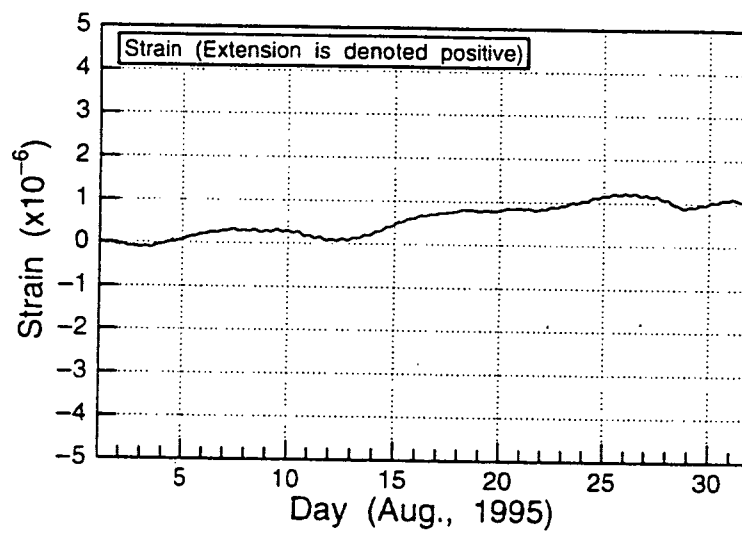
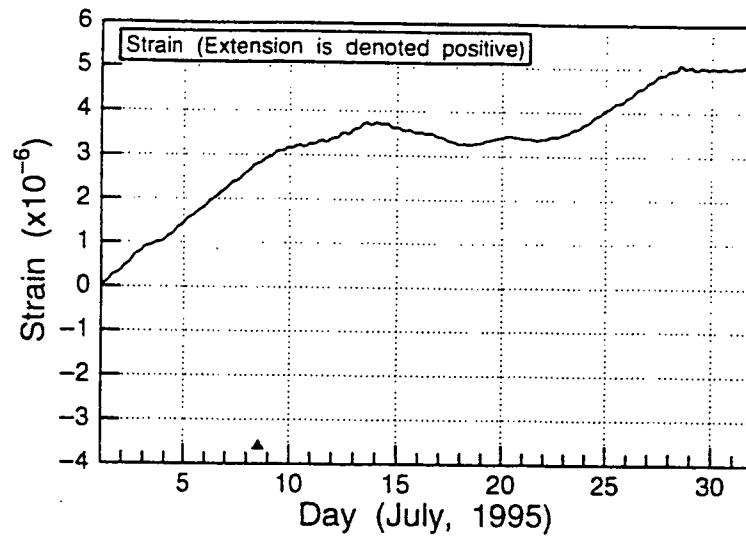


図 4.3.1-12(1) KO-10 地点岩盤歪み変化 (7月~9月)

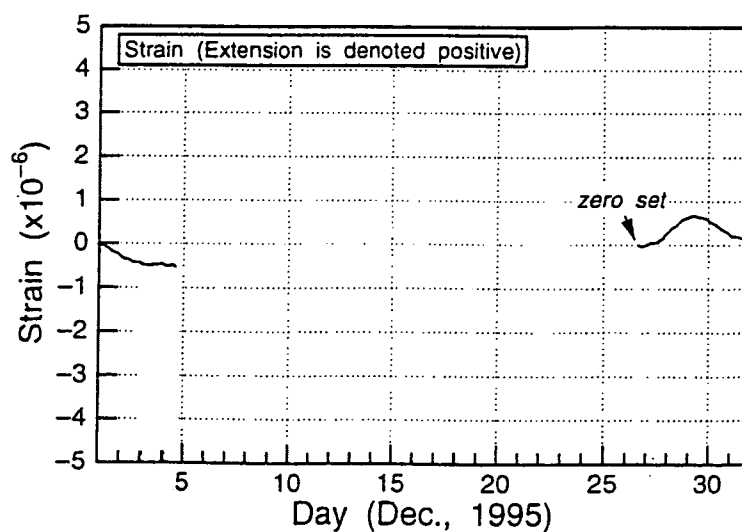
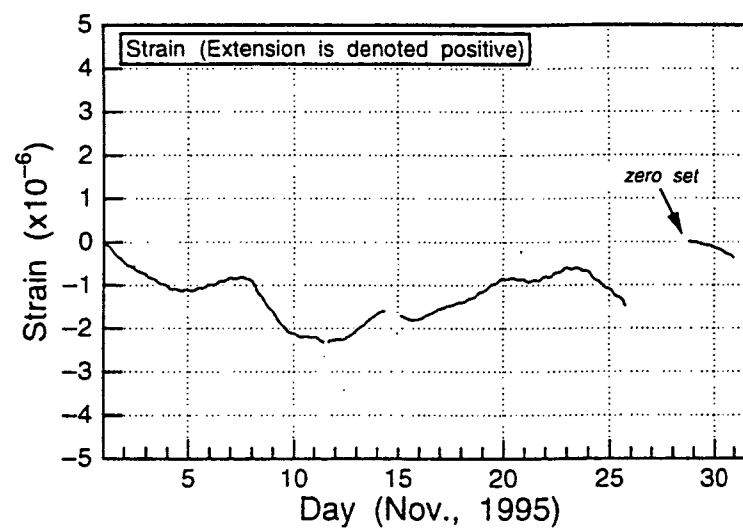
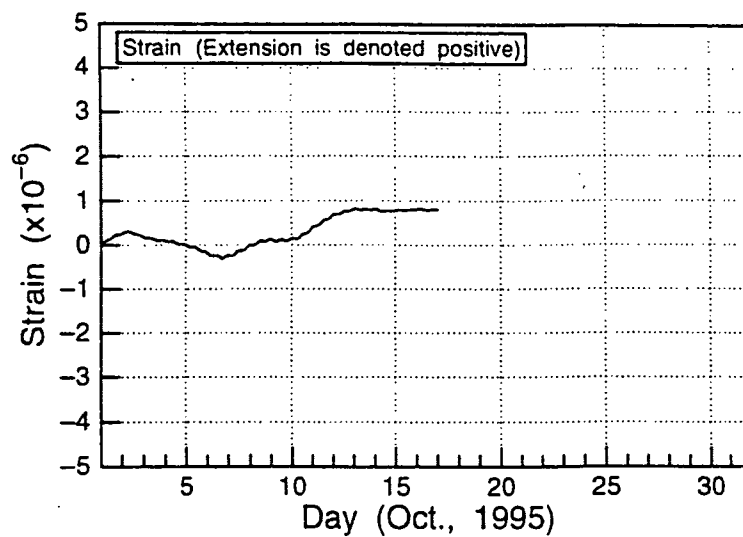


图 4.3.1-12(2) KO-10 地点岩盤歪み変化 (10月~12月)

表 4.3.1-1 大潮時の湧水の溶存化学成分の分析結果
(株)地球科学研究所による分析結果)

No. 1

サンプル No	採取日時	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁼⁼ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	pH	F ⁻ (mg/L)	Al ⁺⁺ (mg/L)	T-Fe (mg/L)
No. 1	7/27 21:00	19.7	0.25	15.0	0.01	2.4	43.4	23.9	17.7	9.0 ₁ (9.4, 8.6)	0.1 ₁	0.02 ₁	0.01 ₁
No. 2	7/27 21:30	18.6	-	16.0	-	-	43.3	23.9	17.7	9.4 ₇ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 3	7/27 22:00	18.9	-	15.6	-	-	43.3	23.9	17.8	9.5 ₁ (9.4, 1.0)	-	-	-
No. 4	7/27 22:30	18.9	-	15.5	-	-	43.3	23.9	17.7	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 5	7/27 23:00	18.9	-	15.3	-	-	43.1	23.9	17.7	9.4 ₉ (9.4, 1.0)	-	-	-
No. 6	7/27 23:30	18.9	-	15.3	-	-	43.1	23.9	17.7	9.5 ₁ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 7	7/28 00:00	18.6	0.21 ₁	14.5	0.01 ₁	2.3 ₁	43.4	23.9	17.7	9.1 ₁ (9.4, 8.0)	0.1 ₁	0.03 ₁	0.00 ₁
No. 8	7/28 00:30	18.9	-	14.7	-	-	43.1	23.9	17.8	9.4 ₁ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 9	7/28 01:00	18.7	-	14.7	-	-	42.8	23.9	17.7	9.5 ₄ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 10	7/28 01:30	18.9	-	14.8	-	-	43.1	23.9	17.7	9.5 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 11	7/28 02:00	18.9	-	15.0	-	-	43.1	23.9	18.0	9.5 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 12	7/28 02:30	19.2	-	15.3	-	-	43.1	23.9	17.9	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 13	7/28 03:00	19.0	-	14.4	-	-	43.1	23.9	18.1	9.5 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 14	7/28 03:30	18.8	-	14.8	-	-	43.1	23.9	17.9	9.5 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 15	7/28 04:00	18.8	0.21 ₁	14.5	0.01 ₁	2.3 ₄	43.4	23.9	17.9	9.2 ₉ (9.4, 1.0)	0.1 ₁	0.02 ₁	0.00 ₁
No. 16	7/28 04:30	18.9	-	14.4	-	-	43.5	23.9	17.7	9.5 ₉ (9.4, 1.0)	-	-	-
No. 17	7/28 05:00	18.8	-	13.9	-	-	43.5	23.9	17.9	9.4 ₉ (9.4, 1.0)	-	-	-
No. 18	7/28 05:30	18.8	-	14.3	-	-	43.4	23.9	17.7	9.5 ₄ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 19	7/28 06:00	18.8	-	14.2	-	-	43.5	23.9	17.9	9.5 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 20	7/28 06:30	18.8	-	14.5	-	-	43.1	23.9	18.0	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 21	7/28 07:00	18.2	-	14.5	-	-	43.1	23.9	17.9	9.5 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 22	7/28 07:30	18.4	-	14.7	-	-	43.1	23.9	17.8	9.5 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 23	7/28 08:00	18.2	0.21 ₉	13.8	0.01 ₉	2.3 ₄	43.2	23.9	17.9	9.1 ₄ (9.4, 9.0)	0.1 ₁	0.04 ₉	0.00 ₉
No. 24	7/28 08:30	18.3	-	14.8	-	-	43.1	23.9	17.8	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 25	7/28 09:00	18.3	-	15.2	-	-	43.1	23.9	18.0	9.3 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 26	7/28 09:30	18.7	-	14.3	-	-	42.9	23.9	17.8	9.5 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 27	7/28 10:00	18.7	-	15.2	-	-	43.1	23.9	17.9	9.4 ₇ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 28	7/28 10:30	18.6	-	15.6	-	-	43.1	23.9	17.9	9.4 ₉ (9.4, 1.0)	-	-	-
No. 29	7/28 11:00	18.7	-	15.6	-	-	43.4	23.9	18.2	9.4 ₉ (9.4, 1.0)	-	-	-
No. 30	7/28 11:30	18.7	-	15.6	-	-	43.4	23.9	17.9	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 31	7/28 12:00	18.5	0.21 ₉	14.3	0.01 ₉	2.3 ₉	43.4	23.9	17.6	9.1 ₁ (9.4, 9.0)	0.1 ₁	0.03 ₉	0.00 ₉
No. 32	7/28 12:30	18.6	-	14.3	-	-	43.3	23.9	17.7	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 33	7/28 13:00	18.6	-	14.9	-	-	43.4	23.9	17.6	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 34	7/28 13:30	18.6	-	15.1	-	-	43.4	23.9	17.7	9.4 ₉ (9.4, 1.0)	-	-	-
No. 35	7/28 14:00	18.6	-	15.1	-	-	43.4	23.9	17.7	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 36	7/28 14:30	18.6	-	15.1	-	-	43.2	23.9	17.6	9.4 ₁ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 37	7/28 15:00	18.7	-	14.8	-	-	43.5	23.9	17.6	9.3 ₇ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 38	7/28 15:30	18.5	-	15.3	-	-	43.2	23.9	17.5	9.3 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 39	7/28 16:00	18.5	0.20 ₁	14.5	0.01 ₁	2.3 ₉	43.5	23.9	17.5	9.1 ₉ (9.4, 9.0)	0.1 ₁	0.02 ₁	0.01 ₁
No. 40	7/28 16:30	18.6	-	15.6	-	-	43.5	23.9	17.6	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 41	7/28 17:00	18.6	-	15.3	-	-	43.2	23.9	17.5	9.4 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-
No. 42	7/28 17:30	18.9	-	15.6	-	-	43.2	23.9	17.6	9.3 ₉ (9.4, 1.0)	-	-	-
No. 43	7/28 18:00	18.7	-	15.5	-	-	43.4	23.9	17.5	9.3 ₉ (9.4, 9.0)	-	-	-

注) pH欄 () 内は測定時水温を示す。測定値右端小文字は参考値。以下同じ

表 4.3.1-1 大潮時の湧水の溶存化学成分の分析結果 (つづき)
((株) 地球科学研究所による分析結果)

No. 2

サンプル No	採水日時	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	pH	F ⁻ (mg/L)	Al ³⁺ (mg/L)	T-Fe (mg/L)
No. 44	7/28 18:30	18.9	-	15.6	-	-	43.2	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 45	7/28 19:00	18.6	-	15.3	-	-	43.4	23.9	17.5	9.3 (24.0℃)	-	-	-
No. 46	7/28 19:30	18.7	-	15.3	-	-	43.5	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 47	7/28 20:00	18.6	0.21	15.1	0.01	2.3	43.4	23.9	17.5	9.0 (24.0℃)	0.1	0.02	0.01
No. 48	7/28 20:30	18.6	-	15.5	-	-	43.4	23.9	17.6	9.3 (24.0℃)	-	-	-
No. 49	7/28 21:00	18.6	-	15.5	-	-	43.4	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 50	7/28 21:30	18.4	-	15.1	-	-	43.4	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 51	7/28 22:00	18.6	-	15.5	-	-	43.4	23.9	17.6	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 52	7/28 22:30	18.6	-	15.9	-	-	43.4	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 53	7/28 23:00	18.5	-	15.6	-	-	43.4	23.9	17.6	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 54	7/28 23:30	18.5	-	16.0	-	-	43.4	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 55	7/29 00:00	18.4	0.21	15.3	0.01	2.3	43.5	23.9	17.5	9.2 (24.0℃)	0.1	0.02	0.01
No. 56	7/29 00:30	18.5	-	15.0	-	-	43.4	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 57	7/29 01:00	18.5	-	15.6	-	-	43.4	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 58	7/29 01:30	18.5	-	15.4	-	-	43.4	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 59	7/29 02:00	18.7	-	15.0	-	-	43.4	23.9	17.5	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 60	7/29 02:30	18.7	-	15.2	-	-	43.7	23.9	17.4	9.4 (24.0℃)	-	-	-
No. 61	7/29 03:00	18.7	0.22	14.8	0.01	2.3	43.4	23.9	17.5	9.1 (24.0℃)	0.1	0.03	0.00

大潮時採水

(1995年7月27日21時～29日3時)

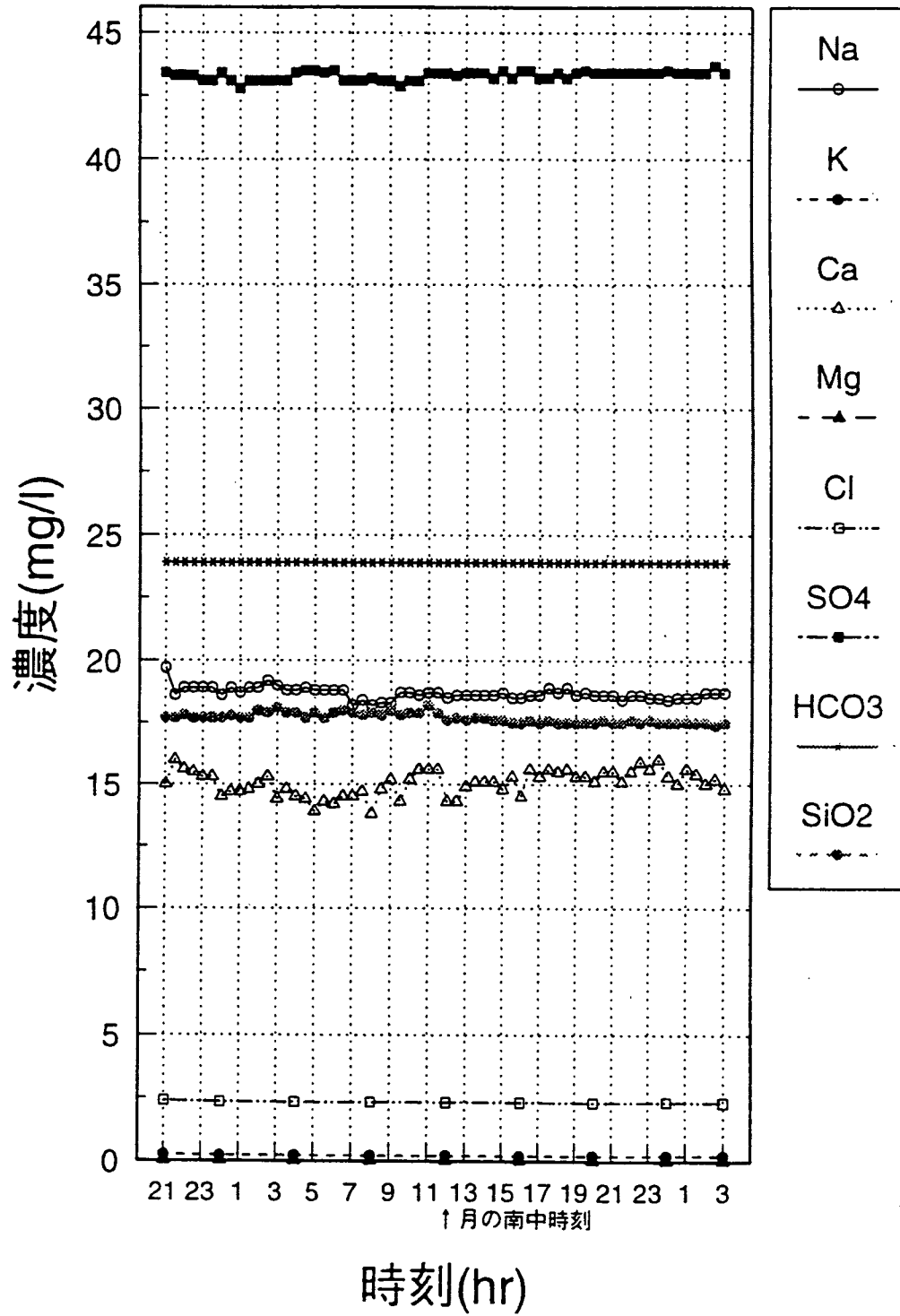


図 4.3.1-13 大潮時の湧水の溶存化学成分の変化 (主要成分)

大潮時採水

(1995年7月27日21時～29日3時)

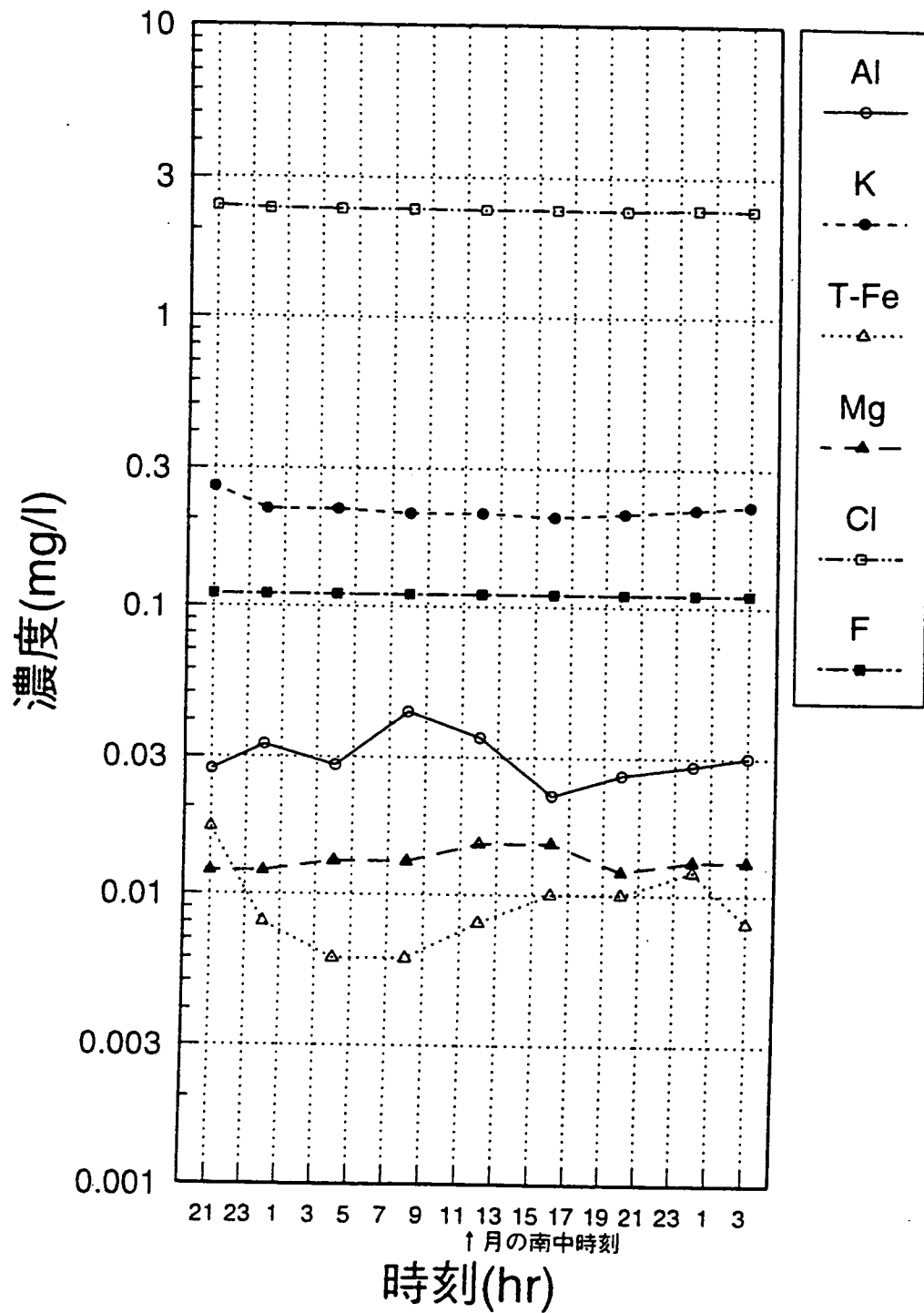


図 4.3.1-14 大潮時の湧水の溶存化学成分の変化 (微量成分)

表 4.3.1-2 降雨後の湧水の溶存化学成分の分析結果

(株) 地球科学研究所による分析結果)

井戸 No 採水日時	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	pH	F ⁻ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	T-Fe (mg/l)
平成7年 9月16日	18.2	0.31	12.1	0.01	2.2	42.4	23.6	17.5	7.6 (20.5℃)	0.1	0.03	0.01
9月17日	18.2	0.25	12.3	0.01	2.2	42.3	23.6	18.4	7.6 (20.5℃)	0.1	0.04	0.00
9月18日	18.1	0.31	12.1	0.01	2.2	42.4	23.6	17.2	7.6 (21.0℃)	0.1	0.04	0.01
9月19日	17.9	0.23	12.1	0.01	2.2	42.4	23.6	17.4	7.6 (20.5℃)	0.1	0.04	0.01
9月20日	18.1	0.23	12.1	0.01	2.2	42.4	23.6	17.2	7.6 (21.0℃)	0.1	0.04	0.01
9月21日	18.1	0.24	12.3	0.01	2.2	42.4	23.6	17.2	7.6 (21.5℃)	0.1	0.04	0.00
9月22日	18.0	0.24	12.4	0.01	2.2	42.4	23.6	17.2	7.6 (21.1℃)	0.1	0.04	0.01
9月23日	18.0	0.24	12.3	0.01	2.2	42.4	23.6	17.2	7.6 (21.4℃)	0.1	0.04	0.01
9月27日	18.0	0.23	12.5	0.01	2.2	42.5	23.6	17.2	7.6 (20.9℃)	0.1	0.03	0.01
9月29日	18.1	0.23	12.4	0.01	2.2	42.3	23.6	17.2	7.6 (20.5℃)	0.1	0.03	0.00
10月 1日	18.1	0.24	12.5	0.01	2.2	42.3	23.6	17.2	7.6 (21.0℃)	0.1	0.04	0.00
10月 3日	18.1	0.23	12.1	0.01	2.2	42.4	23.6	17.2	7.6 (20.1℃)	0.1	0.03	0.00
10月 5日	18.1	0.23	12.6	0.01	2.2	42.4	23.6	17.5	7.7 (20.4℃)	0.1	0.04	0.01
10月 9日	18.1	0.24	12.1	0.01	2.2	42.4	23.6	17.2	7.6 (20.4℃)	0.1	0.04	0.00
10月11日	18.1	0.24	12.1	0.01	2.2	42.4	23.6	17.2	7.5 (20.4℃)	0.1	0.04	0.01
10月13日	18.2	0.24	12.2	0.01	2.2	42.4	23.6	17.2	7.6 (20.5℃)	0.1	0.04	0.00

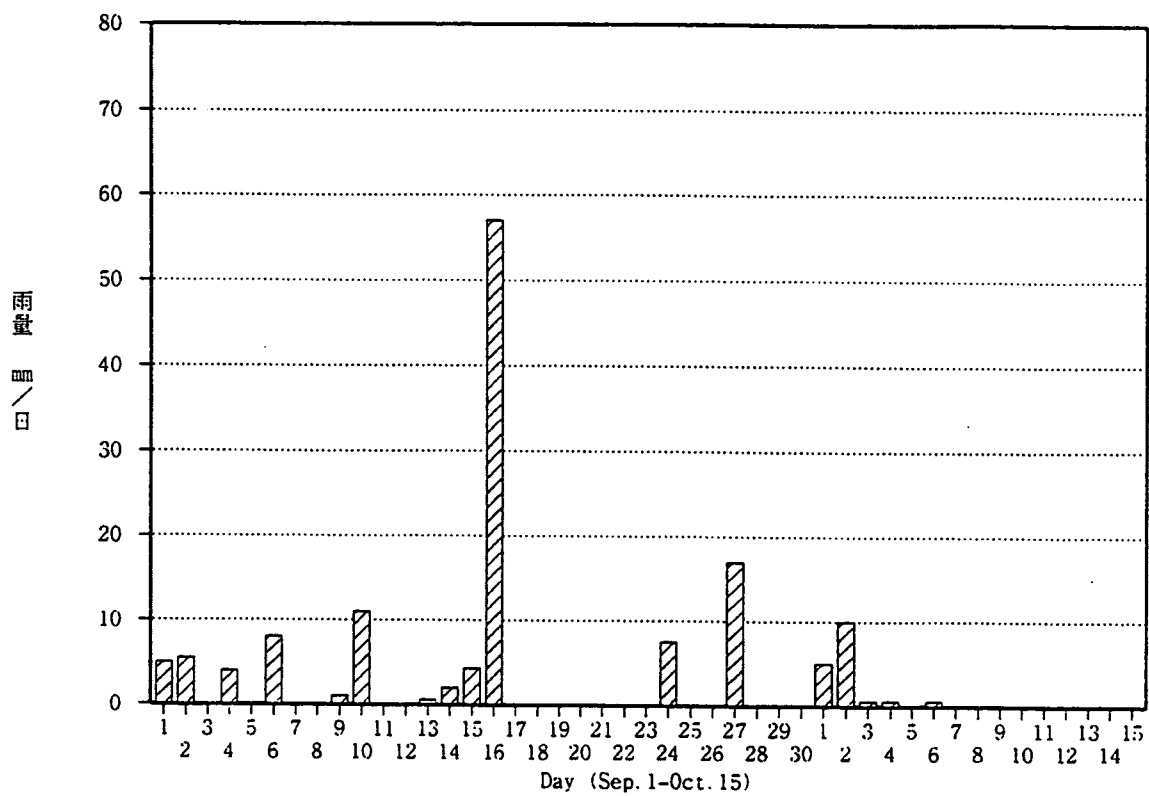


図 4.3.1-15 青の木地点における日雨量 (9月1日～10月15日)

降雨後採水

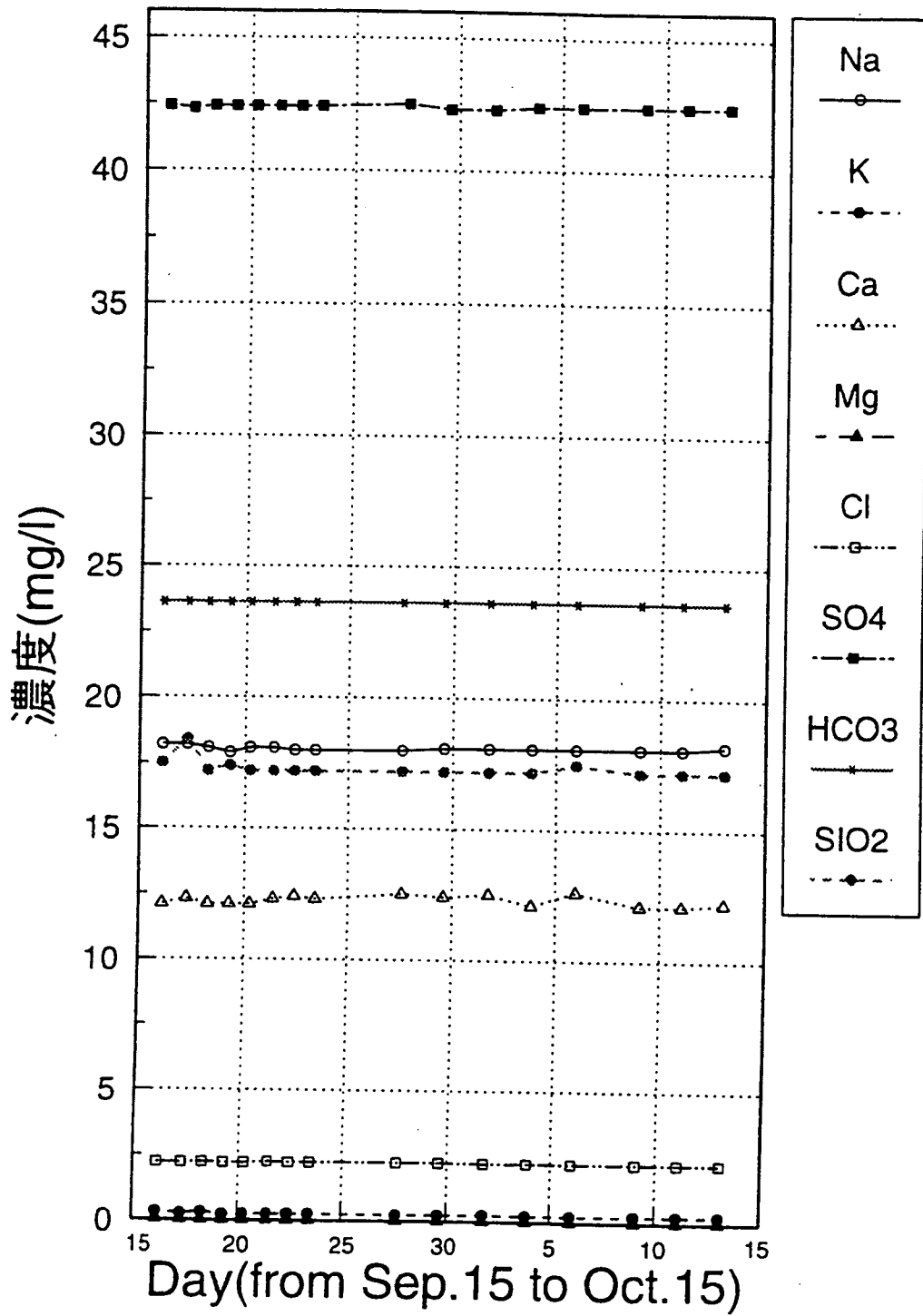


図 4.3.1-16 降雨後の湧水の溶存化学成分の変化（主要成分）

降雨後採水

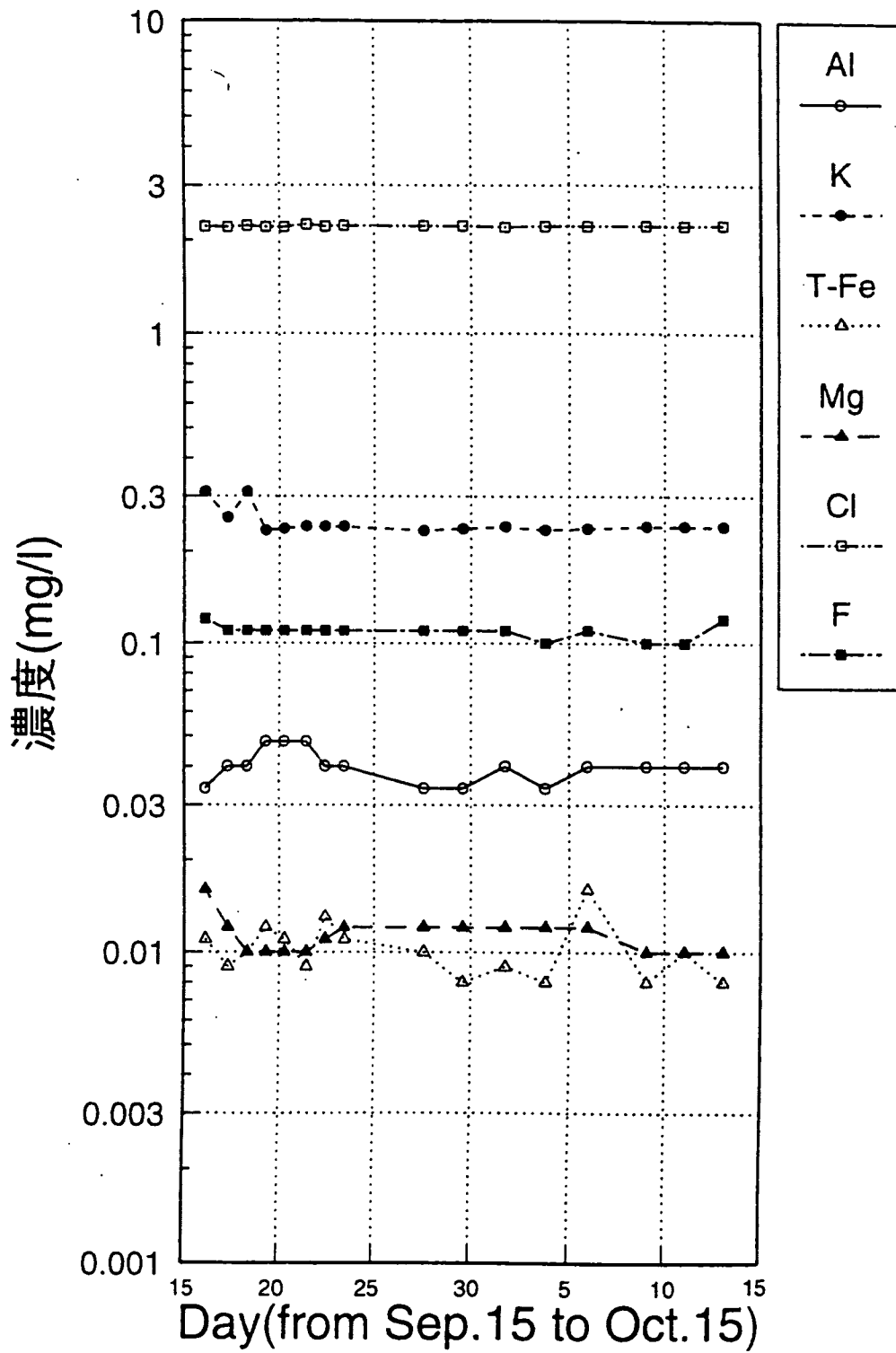


図 4.3.1-17 降雨後の湧水の溶存化学成分の変化 (微量成分)

表 4.3.1-3 月毎の湧水の溶存化学成分の分析結果
((株) 地球科学研究所による分析結果)

採水日時 (H7)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	pH	F ⁻ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	T-Fe (mg/l)
2月17日	18.6	0.21 ₇	14.6	0.01 ₃	2.3 ₅	44.1	23.9	17.3	7.8 ₄	0.1 ₁	0.03 ₁	0.01 ₇
3月23日	19.1	0.22 ₃	13.8	0.01 ₅	2.3 ₅	44.3	23.9	17.3	7.7 ₅	0.1 ₀	0.03 ₅	0.01 ₂
5月11日	18.9	0.21 ₀	14.9	0.01 ₃	2.3 ₅	43.9	23.9	17.3	7.7 ₉	0.1 ₁	0.02 ₅	0.01 ₀
6月15日	18.7	0.22 ₃	15.0	0.01 ₅	2.3 ₂	43.5	23.9	17.3	9.0 ₀	0.1 ₁	0.02 ₇	0.01 ₁
7月13日	18.6	0.21 ₀	15.6	0.01 ₅	2.3 ₂	43.6	23.9	17.3	9.2 ₅	0.1 ₁	0.03 ₃	0.01 ₆
8月9日	18.1	0.20 ₆	12.3	0.01 ₀	2.2 ₀	42.8	23.6	17.4	8.9 ₁	0.1 ₂	0.04 ₀	0.00 ₈
9月13日	18.2	0.21 ₄	12.2	0.01 ₀	2.2 ₁	42.6	23.6	17.5	8.8 ₇	0.1 ₁	0.03 ₄	0.00 ₉
10月16日	18.1	0.20 ₂	11.9	0.01 ₀	2.1 ₈	42.4	23.6	17.6	9.5 ₈	0.1 ₂	0.03 ₄	0.00 ₉
11月15日	17.7	0.21 ₀	12.5	0.01 ₂	2.0 ₉	42.4	23.4	17.6	9.6 ₅	0.1 ₂	0.03 ₄	0.00 ₇
12月13日	17.8	0.20 ₆	12.5	0.01 ₂	2.0 ₅	42.4	23.4	16.8	9.6 ₃	0.1 ₂	0.03 ₄	0.00 ₉

注) 測定値右端小文字は参考値

4.3.2 水圧の地震時における変動について

4.3.2.1 地震時の水圧の変化の詳細について

過去4年2ヶ月の観測データから、水圧に関しては地震が発生するとステップ状の変動が現れる場合があることが報告されている。しかしながらこれまではソフトウェア上の制限から、TEAC製データ記録装置により収録された10秒毎の水圧のデータは128個毎の平均値として出力されていたため、地震前後の短い時定数の変動を詳細に検討することができなかった。今年度は新しく開発された専用のソフトを使用したため、特定の時間帯のオリジナルデータの出力が可能になった。

上記の専用ソフトを用いて、今まで発生した地震のうちNo189(94.10.14)、No206(94.12.28)、No215(95.01.07)、No243(95.07.08)の4例について地震発生時の1時間前～地震後4時間までを出力した結果が図4.3.2-1,2,3,4である。これらの例を見ると水圧は地震発生後数分間でその値は大きく変動し、その後遅くとも1時間以内に安定しているような変化の状況にあることがうかがえる。

4.3.2.2 地震時の水圧変化の発生条件

過去4年分の地震による水圧の変動幅を図4.3.2-5に示す。今年度は新たにNo243地震(95.07.08)においてKWP-2孔の水圧が 0.01kgf/cm^2 程度の圧力低下が記録されている。

次に地震による水圧の変化の有無とマグニチュード、距離との関係について図4.3.2-6に整理した。この図ではマグニチュードと震央距離から理論的な歪みを求める方法として昨年の報告と同様にDobrovolsky et. al (1979)による方法を用いている。この図には今年度観測された地震に関するデータが新たに付け加わっているが、水圧の変化する地震の分布傾向は昨年度の報告と基本的に変わらない。図4.3.2-6によれば、距離とマグニチュードから求められた歪みの理論値が図中の 10^{-8} 乗より大きい領域に水圧の変化を伴う地震の点が多く分布する傾向がある。

次に最大加速度と水圧の変化との関係について図4.3.2-7に示す。最大加速度の大きい地震の方が水圧の変動する事例が多くなる傾向があるが、一方20galを超えていても水圧が変動しないケースがあるなど、例外もある。最大加速度の情報が水圧の変動という事象の生起に関してどの程度の重要度があるかという問題については4.3.2.3節においても触れているが、結果としてマグニチュード、震央距離ほどの重要性は無いと考えられる。

さらに理論的な歪みと水圧の変動の大きさの関係について図4.3.2-8に示す。水圧におい

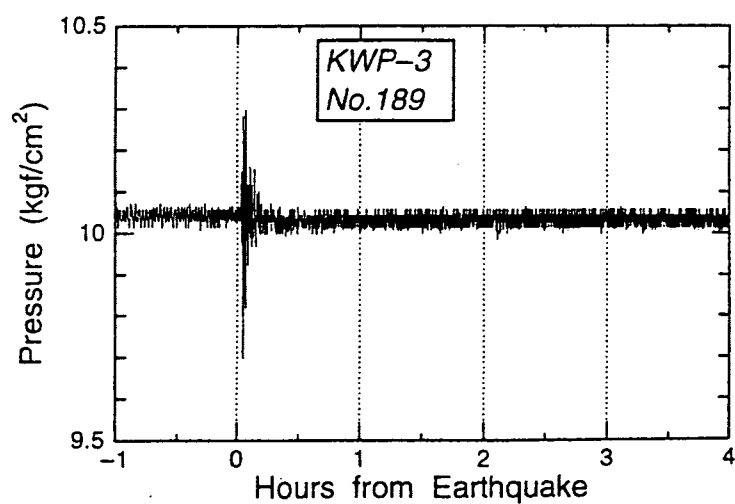
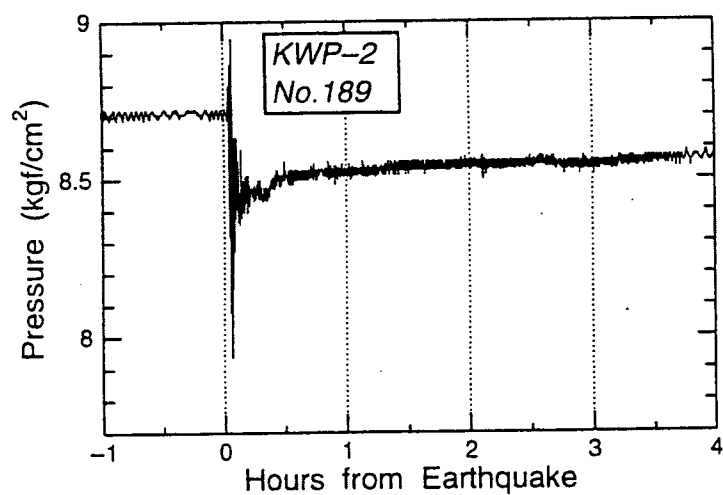
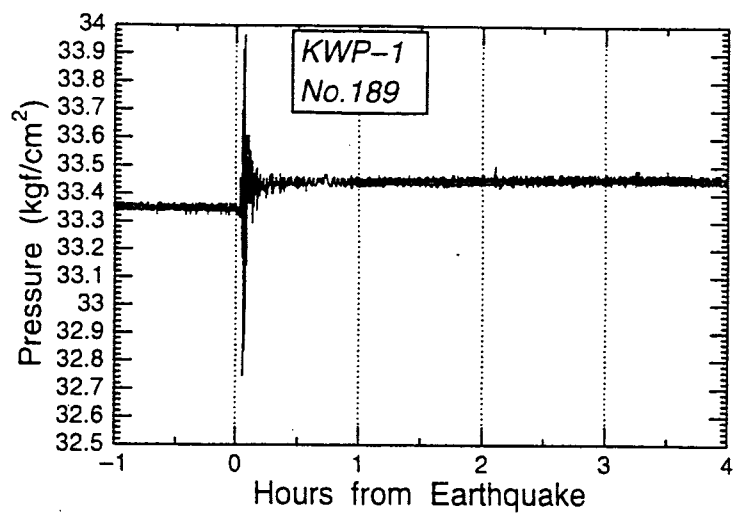


図 4.3.2-1 No.189地震前後の水圧の変化

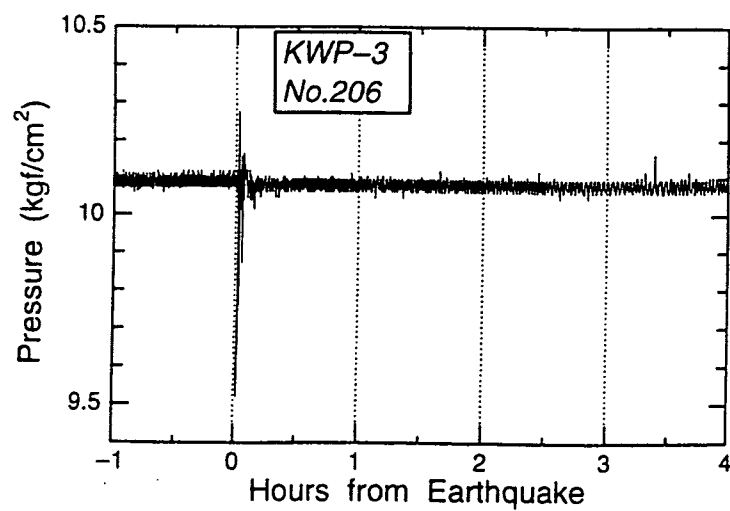
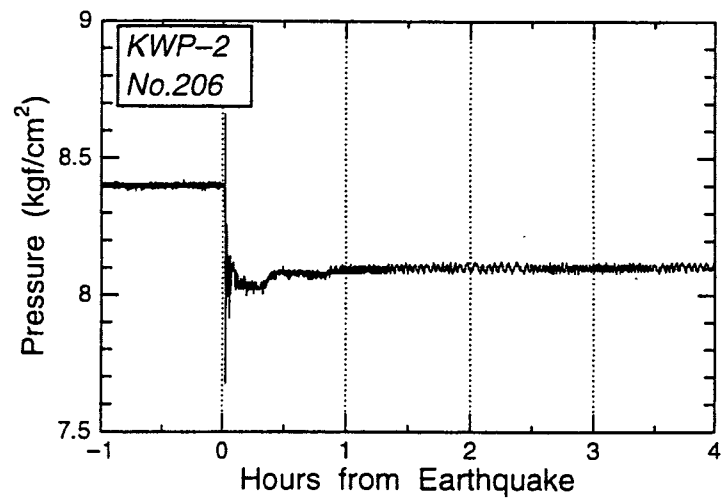
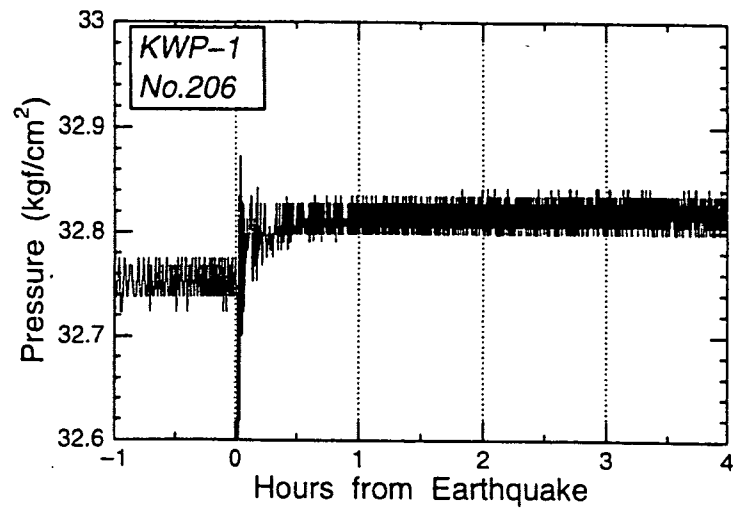


図 4.3.2-2 No.206地震前後の水圧の変化

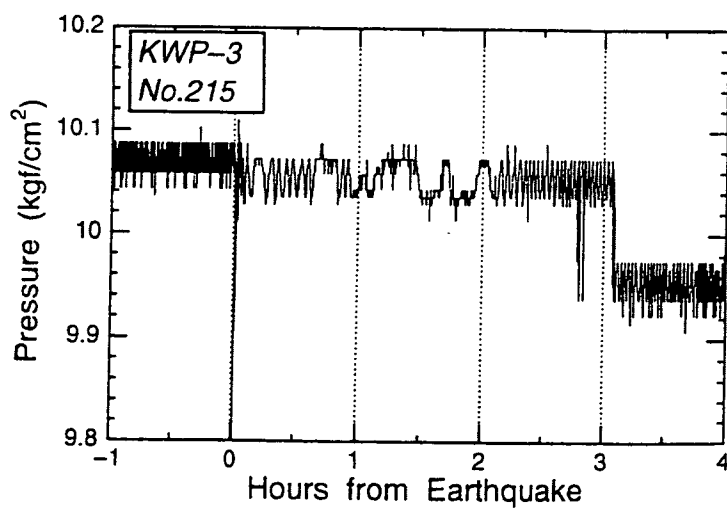
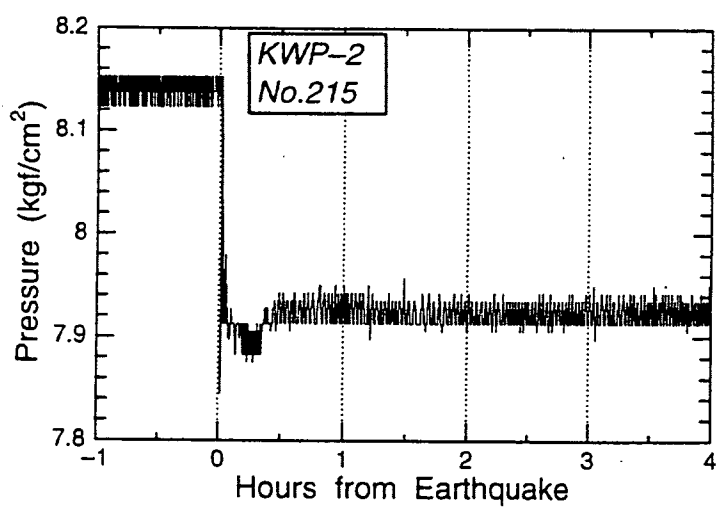
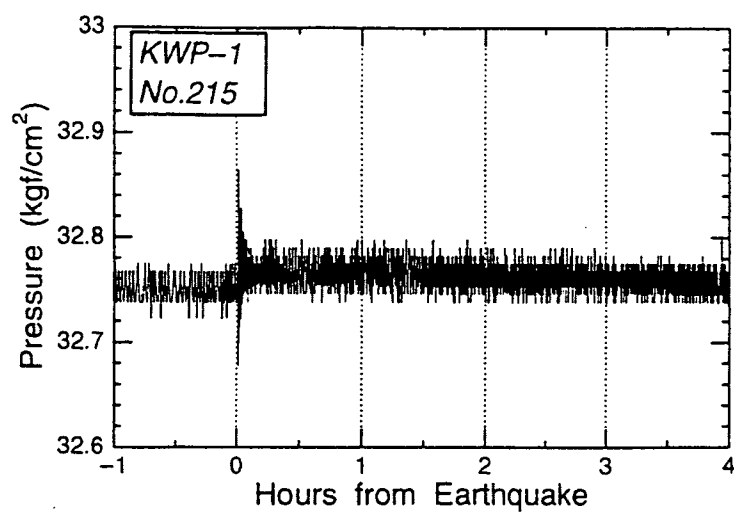


図 4.3.2-3 No.215地震前後の水圧の変化

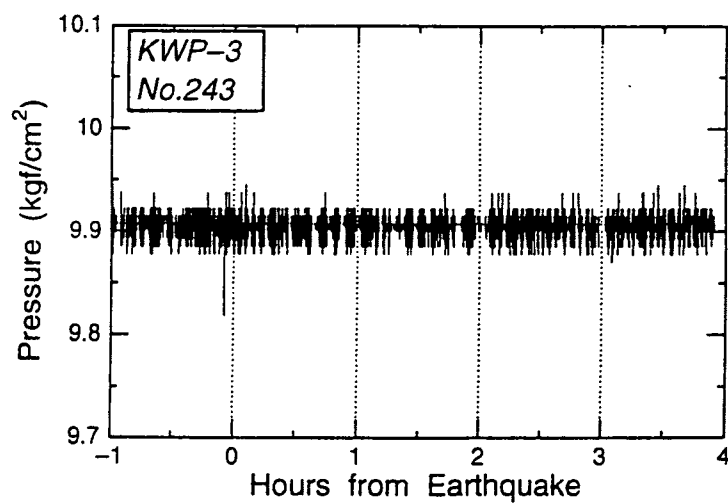
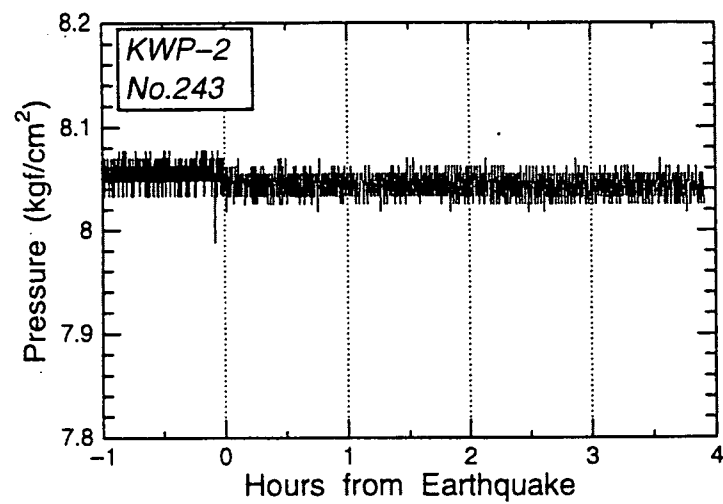


図 4.3.2-4 Na243地震前後の水圧の変化

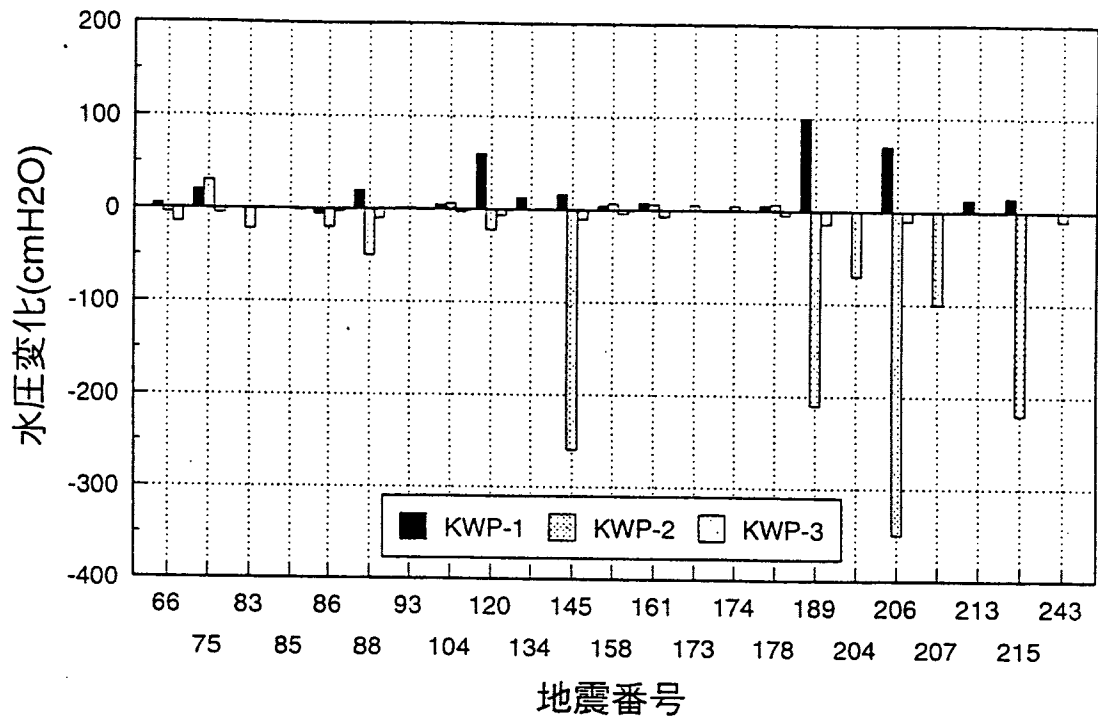


図 4.3.2-5 地震による水圧の変動の大きさ

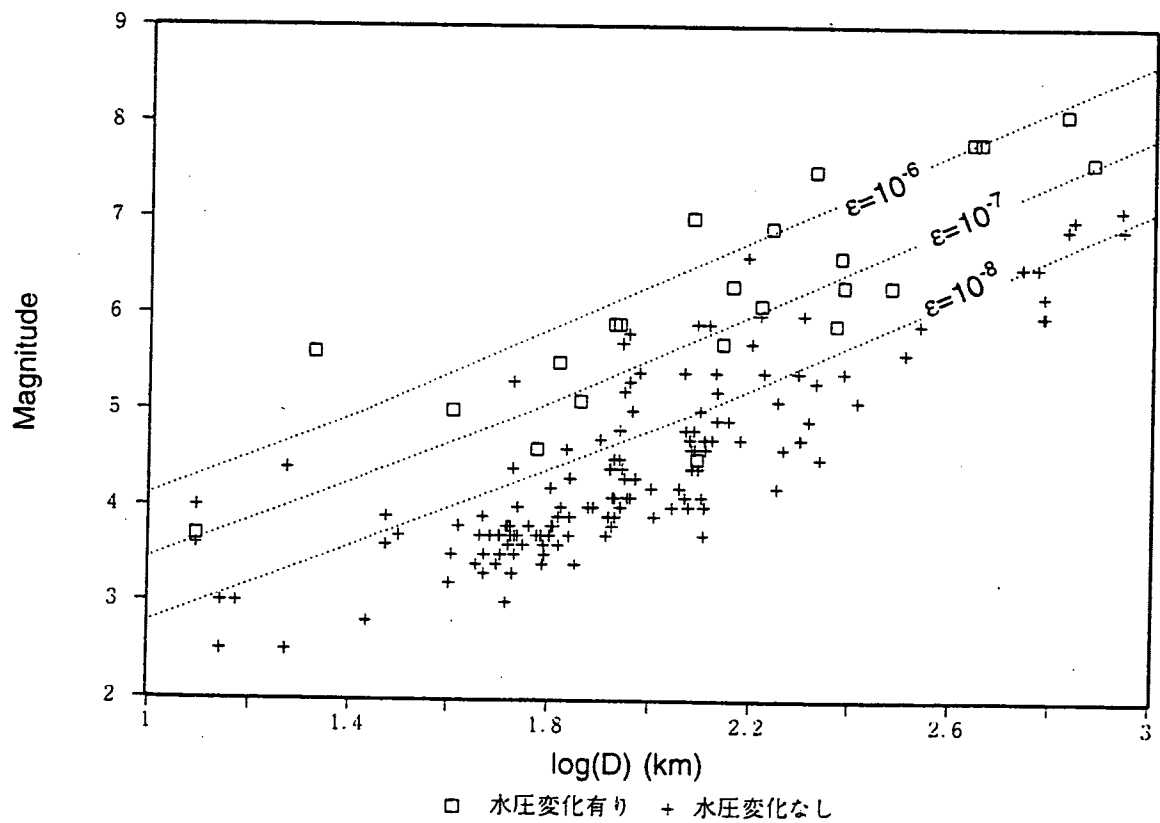


図 4.3.2-6 水圧変化の有無と地震のマグニチュード、震央距離との関係

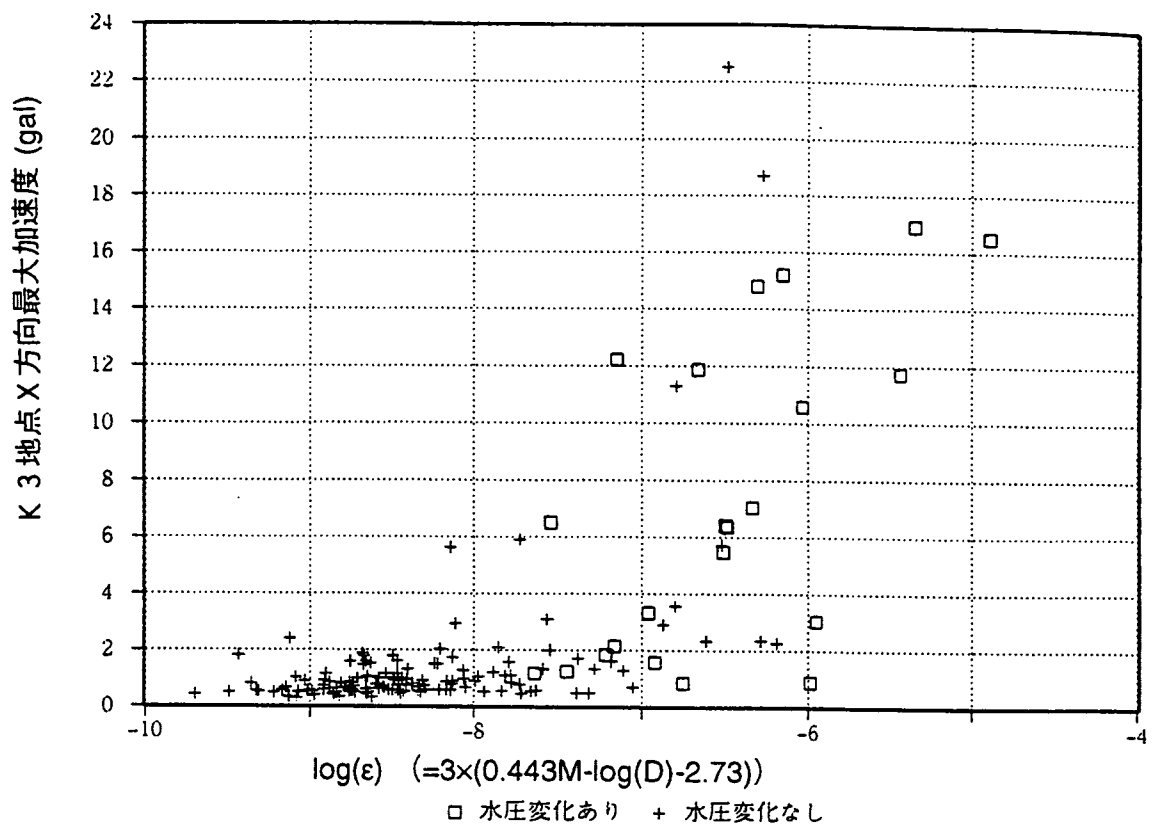


図 4.3.2-7 水圧変化の有無と最大加速度との関係

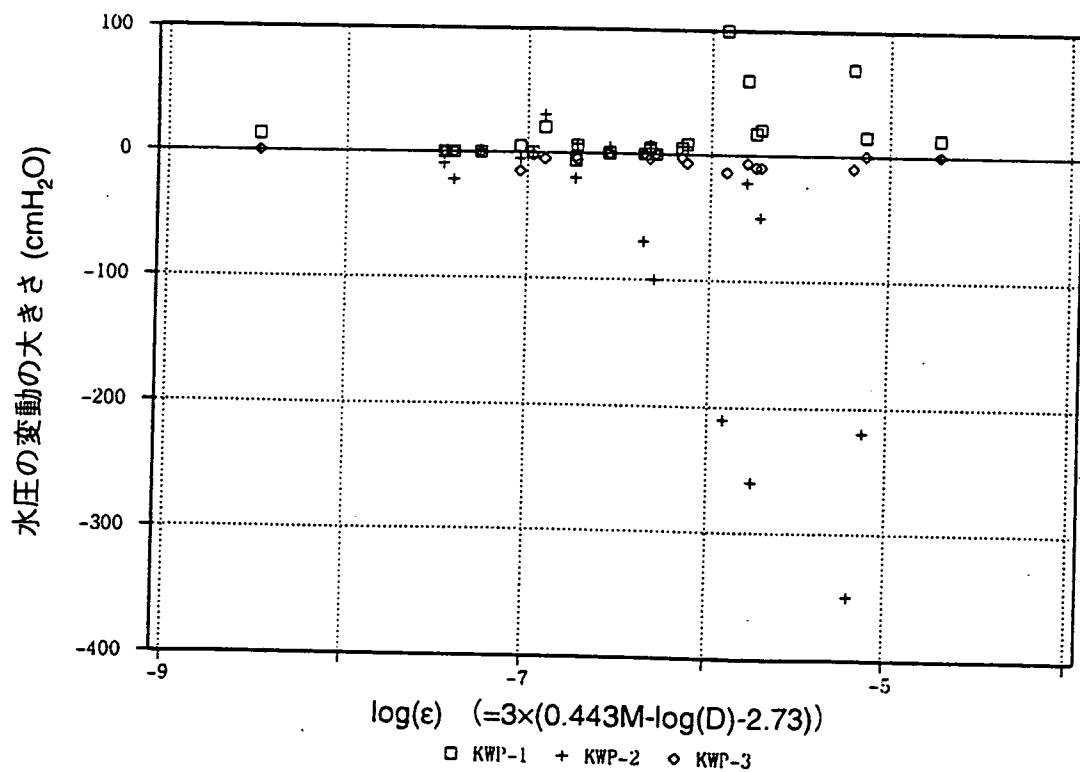


図 4.3.2-8 歪みの理論値と水圧の変動の大きさとの関係

て大きな変動を示す点は図中右側の領域に偏って分布しており、理論的な歪みと水圧変動の大きさは無関係ではないことがわかる。しかしながら、各点は非常にばらついており、表4.3.2-1に示すように理論歪みと水圧変動の大きさとの相関は低い。しかしながらKWP-2孔の点の分布の状況から、今後観測データが蓄積されれば、水圧の変動の上限値を理論的な歪みから予測できる可能性もあるように考えられる。

表4.3.2-1 歪みの理論値と水圧の変動の大きさとの関係

ボーリング孔	KWP-1	KWP-2	KWP-3
回帰式	$H=12.8\log\epsilon+97.2$	$H=-64.4\log\epsilon-468$	$H=-1.54\log\epsilon-14.0$
相関係数	0.17	0.28	0.074

H : 水圧変動幅(cmH₂O)

ϵ : Dobrovolsky et. al (1979)による歪みの理論値

4.3.2.3 水圧変動発生に関する重判別分析

地震後の水圧のステップ状の変動が観測される地震について、昨年度の報告書では地震のマグニチュードと震央距離の2つの要素が大きく関係することが指摘されている。今年度は地震のマグニチュード、震央距離、最大加速度、震源深さなどの具体的な情報から、その地震が水圧を変動させる可能性の有無について考察できるように、既存のデータを用いて重判別分析を実施した。重判別分析とは、複数のグループに分類される対象の分布に対してマハラノビス変換を施し、正準座標上の分布を把握し、そして未知のサンプルの正準座標上の位置と各グループの中心からの距離関係から、そのサンプルがどのグループに帰属する可能性が強いかを判定する統計的手法である（詳細は奥野ほか,1971を参照のこと）。

今回の解析で用いたマハラノビス変換とは複数のパラメータを有する要素を含むグループ間の距離（近似度）を考察するために行われる操作であり、具体的には以下の手法により求められる。

まず各グループに含まれるサンプルの値をそのサンプルの属するグループの平均値と残差で表現する。すなわち以下の式のようになる。

$$x_{ij} = \bar{x}_{ij} + r_{ij}$$

ここで x_{ij} : i番のサンプルのj番目のパラメータ

$\bar{x}_{ij}$: i番のサンプルの属するグループのj番目のパラメータに関する平均

r_{ij} : i番のサンプルのj番目のパラメータに関する平均からの残差

次に r_{ij} を元に各サンプルの j 番 k 番のパラメータの積の全サンプルに関しての総和を自由度 $(n-g)$ で割ったもの (a_{jk}) を得る。ここで n はサンプル数、 g はグループ数である。すなわち

$$a_{jk} = \frac{\sum_i r_{ij} r_{ik}}{(n-g)}$$

この a_{jk} からなる行列はいわゆる分散共分散行列に相当する。

次にこの行列が対角成分を除いて 0 になるように、座標軸を回転する作業を行う。これは主成分分析において行われる操作と同等である。

回転後の座標 y は以下の式で表現される。

$$y_{ik} = \sum_j u_{kj} x_{ij}$$

次にこの回転後の固有値の平方根を用いて回転後の座標を割る。

$$z_{ik} = \sum_j \left(\frac{u_{kj}}{\sqrt{\lambda_k}} \right) x_{ij}$$

以上の手順を経て得られた座標 z_{ik} がマハラノビス変換後の座標となる。一般に新たなサンプルが得られた場合に各グループのマハラノビス変換後の中心点からの距離を比較する

ことにより、この未知のサンプルがどのグループに属するかを判定する事ができる。

さらに各サンプルのマハラノビス変換後の座標を、所属するグループの平均値で置き換え、再度主成分分析を施した結果得られる座標がいわゆる正準座標である。

今回は、まず、観測された地震（159個）のデータを水圧変動が観測されたグループと、観測されなかったグループの2つに分類した。また地震の性質を表す指標としてK-3地点最大加速度（X方向,単位gal）、マグニチュード、震央距離の対数値(km)、震源深さ(km)を用いた。

まずこれらのデータにマハラノビス変換を行い、正準座標を得た。なお今回はグループ数は2つであるため、正準座標は当然マハラノビス変換後の2つのグループの中心点座標を結んだラインに相当し、1次元になる。

まず今回の正準座標値は以下の式で表現される。

$$p=0.11A+1.35M-2.20\log D+(2.55\times 10^{-5})d-2.18$$

ここで p : 正準座標値

A : 最大加速度(gal)

M : マグニチュード

D : 震央距離(km)

d : 震源深さ(km)

今回水圧変化の観測された地震の正準座標値 p の平均は2.18、一方水圧変化の観測されなかった地震の正準座標値は-0.37であった。

また地震の諸条件の感度を比較するため、全てのデータに関する標準偏差1 σ 当たりの正準座標上の移動量を比較したのが、図4.3.2-9である。この図から、地震のマグニチュードが最も水圧の変動と関連が深く、次に震央距離が情報として重要であることがわかる。これら2つの条件と比較して最大加速度はやや影響度が小さく、また震源深さはほとんど水圧の変動とは関係しないことがわかる。

そして正準座標軸上の地震の度数分布を図4.3.2-10に示す。分布のピークは水圧変化の無い地震は-1.5～0.75の範囲にあり、一方水圧変化のある地震については1.5～2.25の範囲

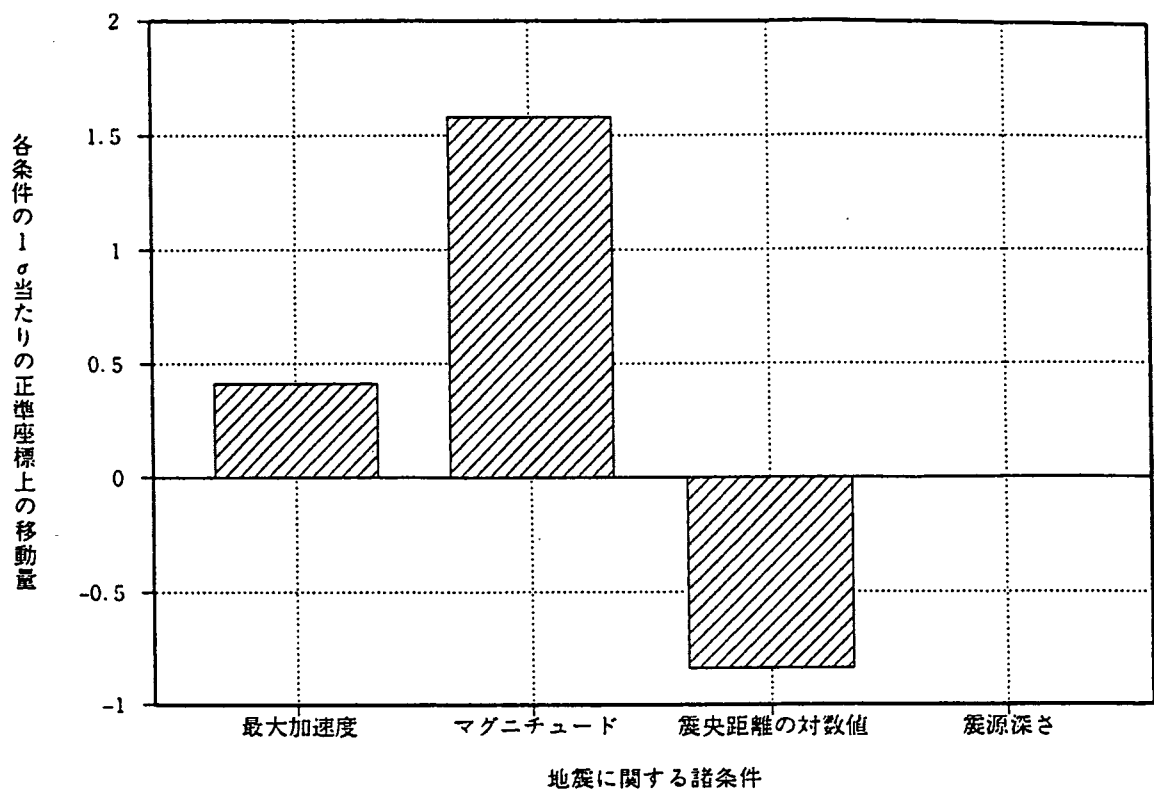


図 4.3.2-9 地震に関する諸条件の標準偏差1 σ あたりの正準座標軸上の移動量

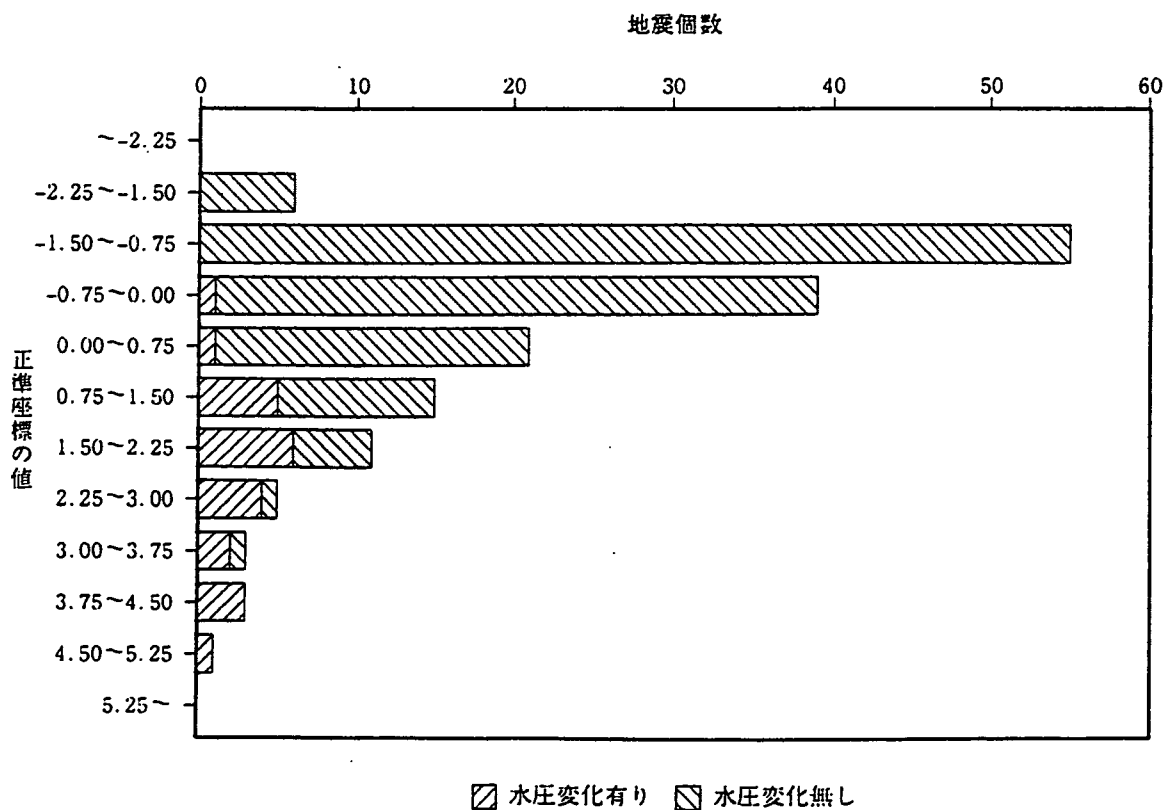


図 4.3.2-10 正準座標軸上の地震の度数分布

にあることがわかる。この図を元に、度数分布の階級毎に階級内の地震の総数から水圧の変動する地震の割合を計算した結果が図4.3.2-11である。正準座標値が大きい地震に関しては事例数そのものが少ないためかなりばらつきがでているが、このグラフの傾向から、正準座標値が2程度あれば、50%程度の確率で水圧の変動が観測されることが予想される。またサンプル数が十分ではないが、現状では正準座標値が4程度あればほぼ全ての事例について水圧の変動が観測されるのではないかと予想される。

また正準座標値と水圧の変動の大きさとの関係を前節と同様に図4.3.2-12に示す。水圧の変動の大きさが大きい点が比較的図中右側の範囲に分布していることがわかる。表4.3.2-2に示すように前節の理論歪みにおける結果（表4.3.2-1）と比較して正準座標値の水圧の変動幅に対する相関係数は若干改善されている、特にKWP-1孔の変動値の大きい点の分布に関しては水圧との対応は顕著に良くなっている。

しかしながら相関係数自体は0.4を下回っており、この結果を見る限り、地震の諸条件に関する情報から水圧の変動を正確に予測する事は、対象を特定のボーリング孔だけに限定したとしても困難である。前節の結果と同様に水圧の変動の最大値を確率的に予測できる可能性は残されているが、さらなるデータの蓄積が必要である。

表4.3.2-2 正準座標値と水圧の変動幅の関係

ボーリング孔	KWP-1	KWP-2	KWP-3
回帰式	$H=12.2p-11.4$	$H=-44.1p+41.4$	$H=-1.25p-1.4$
相関係数	0.38	0.32	0.12

H :水圧変動幅(cmH_2O)

p :正準座標値

4.3.3 岩盤歪みの平常時における微細変動について

歪み計については、明らかに地球潮汐に起因すると考えられる周期的変動が観測されている。図4.3.3-1には歪みと地球潮汐の M_2 分潮のピーク（月の南中時とその180度反対側に月が位置する時刻、縦の短い線で表示）との対応を示している。図中実線が無補正のデータ、図中の薄い線はパスバンドフィルターで比較的周期の短い成分だけを取り出した結果である。この図から歪みの短周期成分は地球潮汐の周期とかなり良く一致していることがわかる。

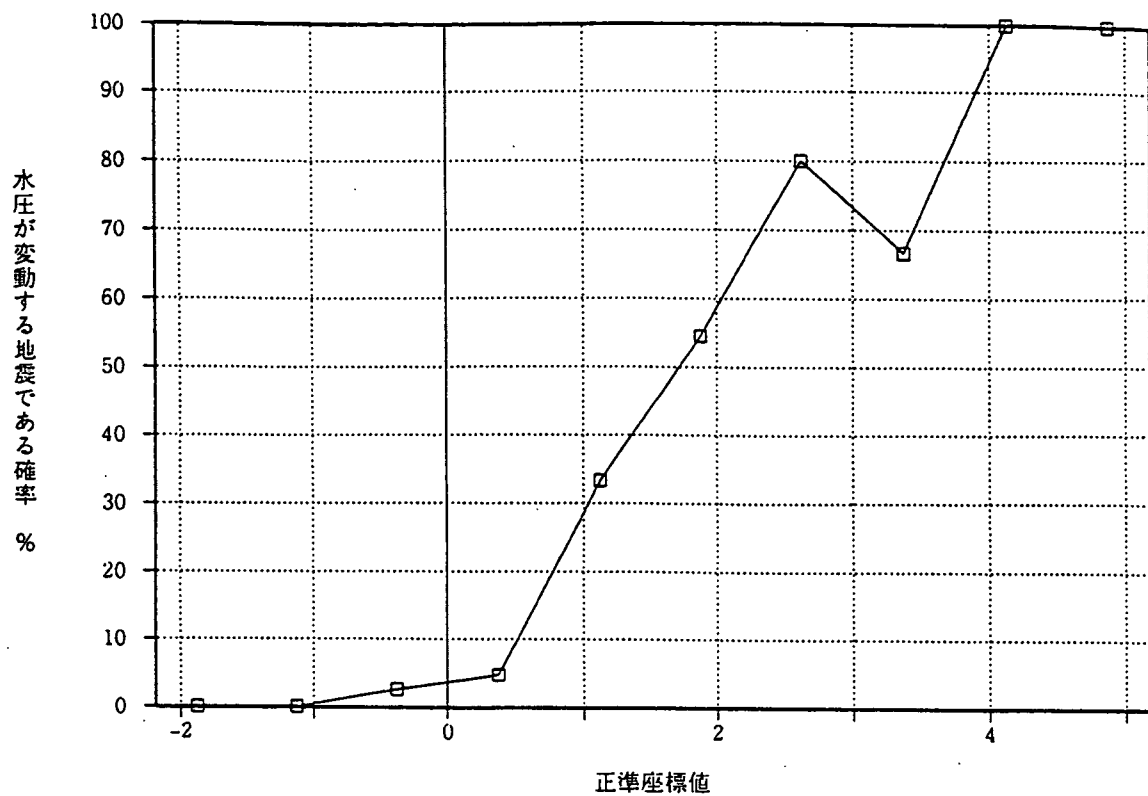


図 4.3.2-11 水圧が変動する地震である確率

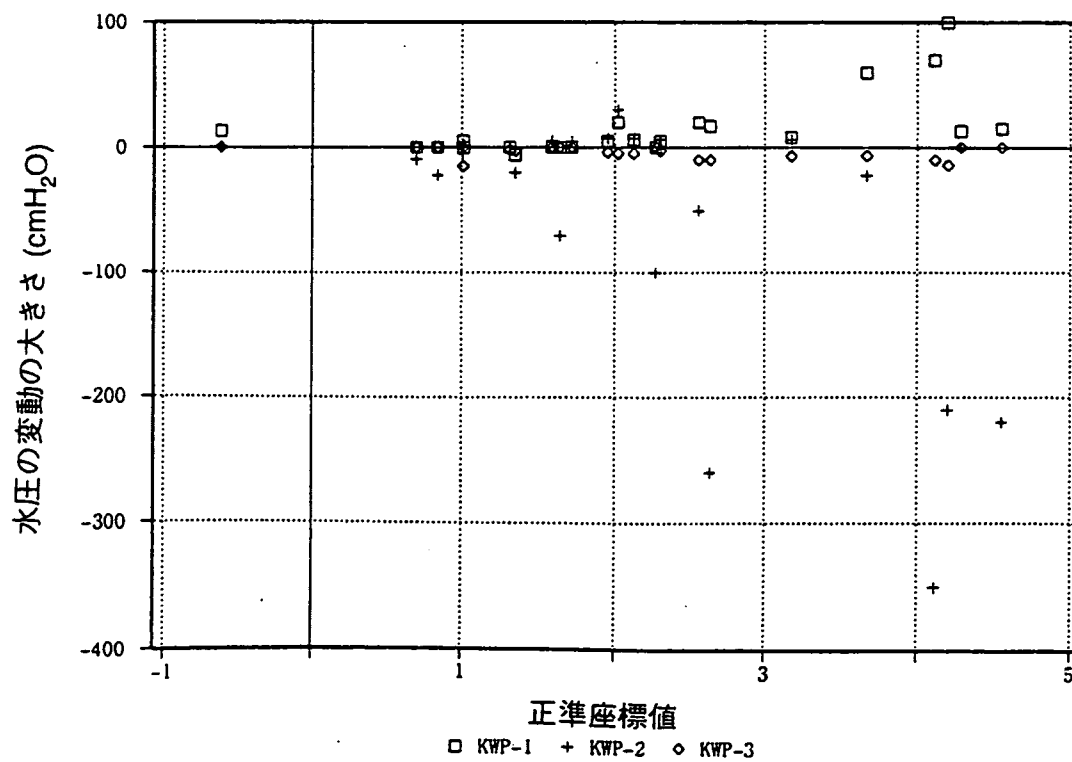


図 4.3.2-12 正準座標値と水圧の変動の大きさとの関係

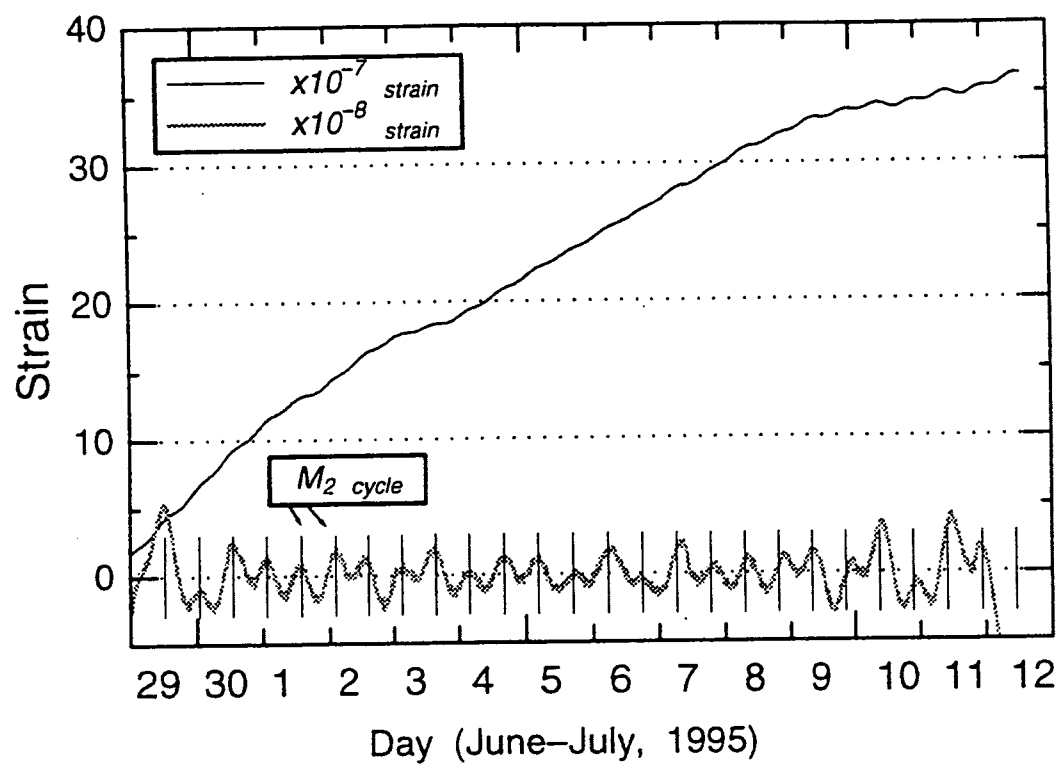


図 4.3.3-1 岩盤歪みの変動と地球潮汐の周期との対応

図4.3.3-2には歪み変化とKWP-1孔の水圧の変化を比較した。このグラフから明らかに水圧と歪みは対応しており、岩盤が圧縮されると水圧が上昇する関係にあることがわかる。次に両者の変動にフィルターをかけ、比較的短い周期の成分だけを比較した結果が図4.3.3-3である。この図から、岩盤歪みの M_2 の振幅は 2×10^{-8} strain程度であることがわかる。同様の地球潮汐の観測例としては佐藤ほか(1980)による北上山系の古期花崗閃緑岩体の地質を対象に石英伸縮計を用いて観測した例がある。その結果によれば、 M_2 分潮に対する振幅の大きさは 1.22×10^{-8} strain (NS方向)、 0.39×10^{-8} strain (EW方向)である。釜石における値はこれらの値よりも若干大きい、測定範囲内に割れ目の多い部分を含んでいることを考慮すれば、ほぼ妥当な値ではないかと判断される。

そして図中の水圧の変動パターンとの比較から、両者の位相差はほとんど無く、振幅の単純な比較からは、 1×10^{-8} strainが $1.6 \text{ cm H}_2\text{O}$ の水圧の変化に対応するという結果となった。川辺(1991)は地下浅所の地震は地殻岩石が $10^{-5} \sim 10^{-4}$ strain程度の歪みに達した後に発生すると述べており、今回の歪みに対する水圧の感度を仮にそのまま適用すれば、近傍に地震が発生した場合、少なくとも $1 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の水圧上昇は発生する可能性があることになる。

4.3.4 水質変化の統計的考察

今年度は大潮時、降雨後と地震という平常時の観測を実施しているが、これらのデータから平常時の変動の一般的傾向を把握するため、水質項目間の濃度相関マトリックスを計算した。

その結果を表4.3.4-1,2,3に示す。このうち大潮時のデータは一部水質項目についてのみ61検体の測定値があることから、9検体における相関と61検体における相関の両方について計算している。この2つの表の比較から検体数が増えると相関が小さくなることがわかる。これはデータ自体の水質変動が分析誤差に対して十分に大きくないことが原因として考えられる。

これらの相関の様子を視覚的に把握するために、さらに濃度相関マトリックスに対して因子分析を行った。結果を図4.3.4-1,2に示す。因子分析とは異なる2項目間の相関を図面状の位置ベクトルの内積の値にほぼ等しくなるように最適な位置関係を求める手法である。両図を比較してもNaとK、CaとT-Feの間の相関がやや高い他は2つの事例においてあまり共通点は見出せない。よってこれらの水質データから水質の微小な変化を混合モデル等を用

いて統一的に説明する事は困難である。

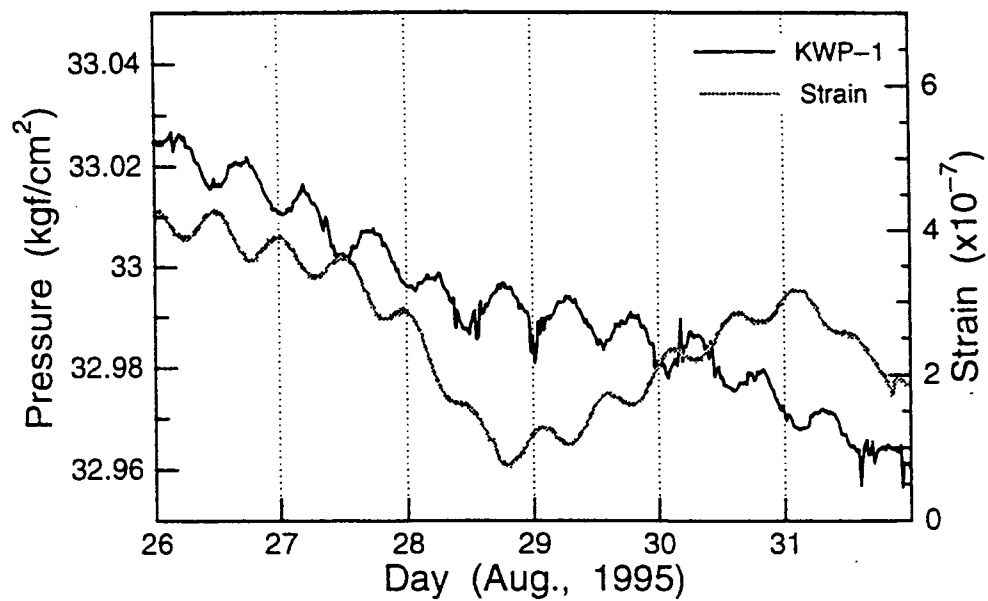


図 4.3.3-2 岩盤歪みの変化と KWP - 1 孔の水圧の変動との比較

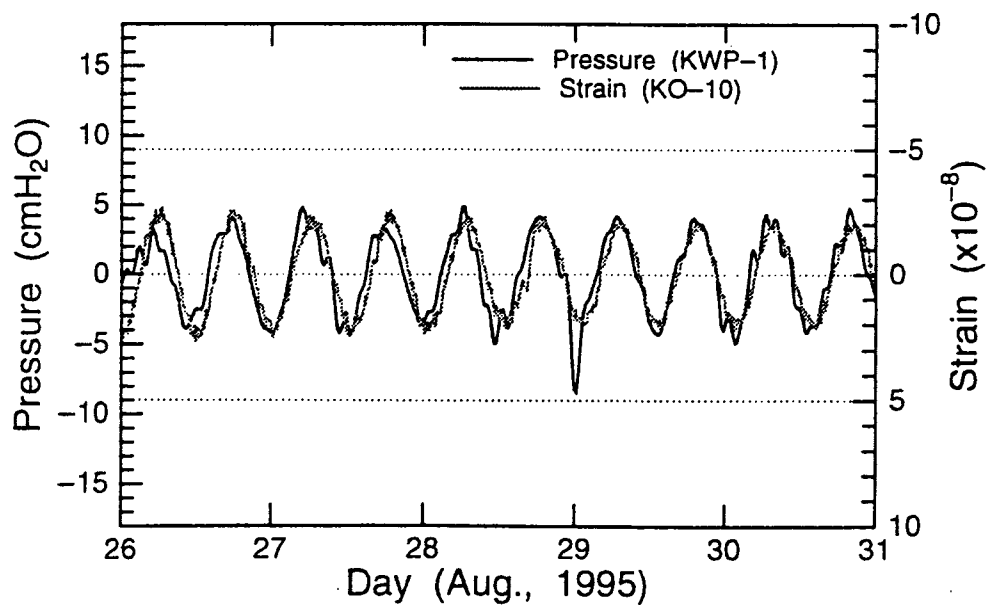


図 4.3.3-3 岩盤歪みの変化と KWP - 1 孔の水圧の変動との比較
(短周期成分のみ)

表 4.3.4-1 大潮時採取サンプルの濃度相関マトリックス (9サンプル)

	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	Al	T-Fe
Na	1.00	0.92	0.41	-0.40	0.83	0.17	-0.40	0.72
K	0.92	1.00	0.39	-0.51	0.91	0.01	-0.15	0.74
Ca	0.41	0.39	1.00	-0.38	0.16	0.69	-0.71	0.67
Mg	-0.40	-0.51	-0.38	1.00	-0.42	0.25	-0.04	-0.26
Cl	0.83	0.91	0.16	-0.42	1.00	-0.06	-0.04	0.70
SO4	0.17	0.01	0.69	0.25	-0.06	1.00	-0.85	0.42
Al	-0.40	-0.15	-0.71	-0.04	-0.04	-0.85	1.00	-0.50
T-Fe	0.72	0.74	0.67	-0.26	0.70	0.42	-0.50	1.00

表 4.3.4-2 大潮時採取サンプルの濃度相関マトリックス (61サンプル)

	Na	Ca	SO4	SiO2
Na	1.00	0.01	-0.07	0.19
Ca	0.01	1.00	0.13	-0.35
SO4	-0.07	0.13	1.00	-0.47
SiO2	0.19	-0.35	-0.47	1.00

表 4.3.4-3 降雨後の採取サンプルの濃度相関マトリックス (16サンプル)

	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	SiO2	F	Al	T-Fe
Na	1.00	0.41	-0.13	0.29	0.13	-0.37	0.36	0.27	-0.28	-0.37
K	0.41	1.00	-0.35	0.42	0.00	-0.02	0.19	0.39	-0.23	0.01
Ca	-0.13	-0.35	1.00	0.21	-0.01	-0.13	0.08	0.17	-0.21	0.35
Mg	0.29	0.42	0.21	1.00	-0.26	-0.12	0.30	0.39	-0.64	0.14
Cl	0.13	0.00	-0.01	-0.26	1.00	0.33	-0.43	0.04	-0.05	-0.33
SO4	-0.37	-0.02	-0.13	-0.12	0.33	1.00	-0.41	-0.03	0.00	0.27
SiO2	0.36	0.19	0.08	0.30	-0.43	-0.41	1.00	0.16	-0.01	0.09
F	0.27	0.39	0.17	0.39	0.04	-0.03	0.16	1.00	0.00	0.17
Al	-0.28	-0.23	-0.21	-0.64	-0.05	0.00	-0.01	0.00	1.00	0.22
T-Fe	-0.37	0.01	0.35	0.14	-0.33	0.27	0.09	0.17	0.22	1.00

大潮時のデータ

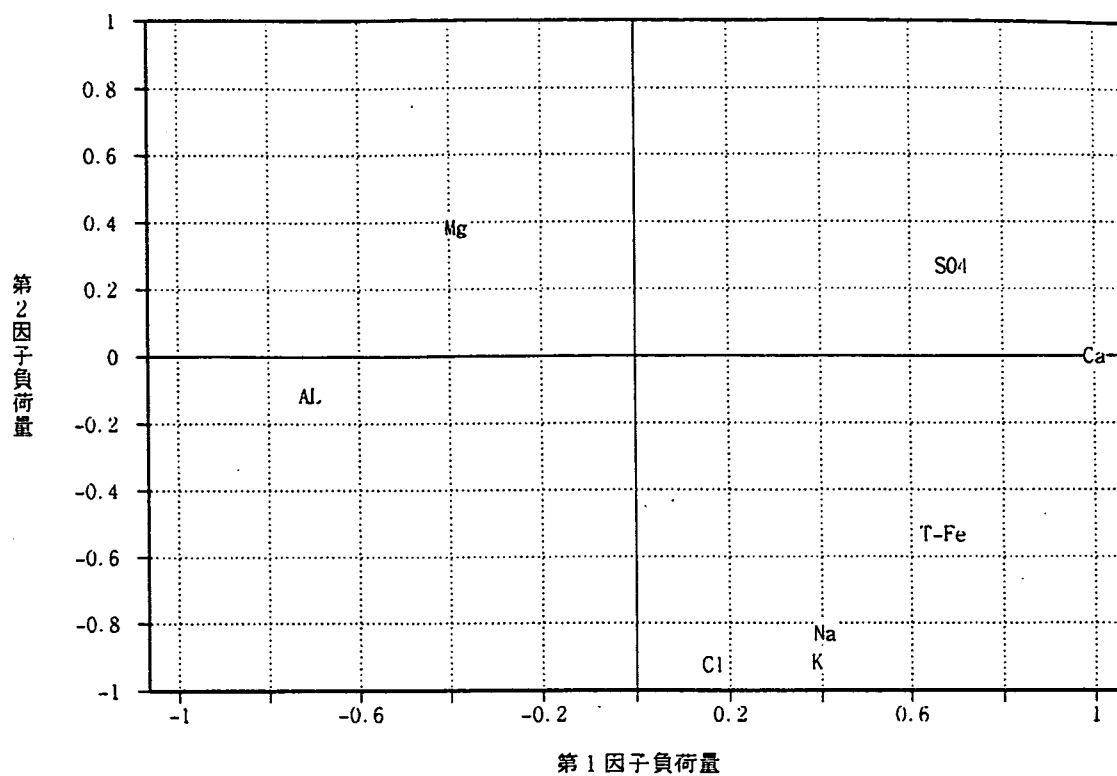


図 4.3.4-1 大潮時の湧水の溶存化学成分の濃度相関の因子分析結果

大雨後のデータ

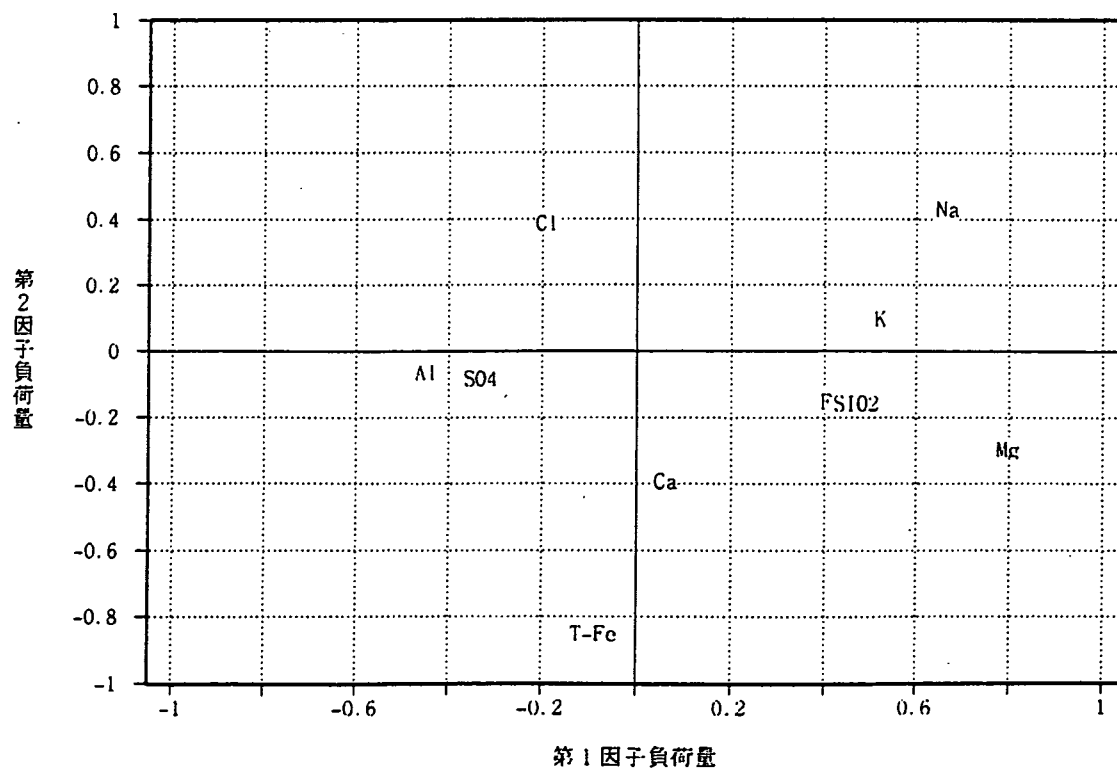


図 4.3.4-2 降雨後の湧水の溶存化学成分の濃度相関の因子分析結果

4.4 地震が地下水流動に及ぼす影響に関する文献調査

4.4.1 まえがき

地震に伴う地下水流動の変化予測に関する研究開発の第一段階として、平成6年度は次のような項目に関して文献調査を行った。

- ・地震によって地下水流動が変化する現象は実際に存在するのか
- ・変化するとすれば、そのメカニズムはどのようなものか
- ・地下水流動の変化予測のための数値シミュレーション手法にはどのようなものがあるか

調査の結果、マグニチュードがある値より大きくて震央がある程度近い場合は、地震に伴い地下水流動が変化することがあることがわかった。しかしながら、変化のメカニズムや変化予測のための数値解析手法に関する研究は数少なかった。そこで、地下水流動はサイトの地質・地盤条件に依存することより、今年度は主に岩盤ひずみと地下水流動の変化に着目して文献調査を実施した。

4.4.2 文献調査

昨年度は日本科学技術センター(JICST)のJOIS(Jicst On-line Information System)で検索を行ったが、今年度はおもに下記の海外のデータベースを利用した。

1) GEOB (GEOBASE)

分 野：地理学、地質学、生態学およびこれらの関連学科

期 間：1980年～現在

文献数：1991年6月時点で440,000件以上

2) GEOR (Geological Reference)

分 野：地質学の関連学科

期 間：1959年～現在

文献数：1991年8月時点で1,500,000件以上

3) GMA (GeoMechanics Abstracts)

分 野：岩盤力学、土質力学、地質工学の関連学科

期 間：1977年～現在

文献数：1988年1月時点で20,000件以上

「地震」,「地下水」,「ひずみ」,「解析」,「観測」,「実験」のキーワードを組み合わせ
て検索した結果、以下のような文献が抽出された。

- (1) Permeability enhancement in the shallow crust as a cause of earthquake-induced hydrological changes : NATURE, Vol.373, JANUARY 19, 1995, pp.237 ~ 239
- (2) The stress field near the sites of the Meckering(1968) and Calingiri(1970) Earthquakes, Western Australia : Tectonophysics, Vol.67, 1980, pp.283 ~ 317
- (3) Hydrologic Response of the San Lorenzo Drainage Basin to the Loma Prieta Earthquake : Eos, Transactions, American Geophysical Union, APRIL 24, 1990, p.555
- (4) Hydrologic changes associated with the earthquake in the San Lorenzo and Pescadero drainage basins : The Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989 - Hydrologic Disturbances, U.S Geological Survey Professional Paper, U.S Geological Survey, 1994, pp.E51 ~ E64
- (5) On the estimation of the amplitude of shear strain from measurements in situ : Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 14 (1995), pp.1 ~ 3
- (6) Strain effects near Palmdale associated with the San Fernando earthquake (1971) : Journal of Geophysical Research, Vol.94, No.B5, May 10, 1989, pp.5651 ~ 5658
- (7) Continuous Borehole Strain in the San Andreas Fault Zone Before, During and After the 28 June 1992, Mw 7.3 Landers, California, Earthquake : Bulletin of the Seismological Society of American, Vol.84, No.3, June 1994, pp.799 ~ 805
- (8) Transient stresses at Parkfield, California, produced by the M 7.4 Landers earthquake of June 28, 1992: Observations from the UPSAR dense seismograph array : Journal of Geophysical Research, Vol.100, No.B1, January 10, 1995, pp.675 ~ 690
- (9) Potential for water-table excursion induced by seismic events at Yucca Mountain, Nevada : Geology, Vol.19, December 1991, pp.1157 ~ 1160
- (10) Numerical Relationship Between Surface Deformation and A Change of Groundwater Table Before and After An Earthquake : Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol.353, October 23 - 27, 1994, pp.485 ~ 492

これらについて内容を調査した結果、地下水変動と地震との関連について定量的に研究しているものは少なかったが、その中で(10)の文献が、地震前後の地表変形と地下水位変化について定量的なアプローチを行っているものであった。

ここでは文献(10)についてのみ、その概要を紹介する。

論文タイトル：Numerical Relationship Between Surface Deformation and A Change of
Groundwater Table Before and After An Earthquake
(地震前後の地表変形と地下水位変化の定量的関係)

著者：Y. Akao

出典：Materials Research Society Symposium Proceedings, Vol.353, October 23 - 27, 1994,

要旨

この研究の目的は高レベル放射性廃棄物の処分場周辺の地下水流動に及ぼす地震の影響を評価することである。地震あるいは火山爆発の前後の地下水流動の変化を評価することは、処分場の長期にわたる安全性の評価に係わる課題の一つである。しかしながら、地震あるいは爆発と地下水流動変化の因果関係に関する系統だった研究は今までにほとんどなされていないし、評価公式も公表されていない。我々は地震と地下水流動変化の初歩的な関係(primitive relationship)を得ることができた。

この研究は3段階から成っている。まず、地震または爆発によって引き起こされた地下水異常に関する観測結果をまとめた文献を調査した。そして、この研究に必要なデータをこれらの文献から読み取り、系統的に整理した。つぎに、対応する地震の震源機構(source mechanisms)を調査し、観測井戸の位置での静的変位(static displacement)を地震学におけるくい違い理論(dislocation theory)で計算した。最後に、地震と地下水異常の定量的関係を見出すために、両者を関連づけるパラメータ間のパラメータスタディーを行った。それから、井戸での地下水位変化とその井戸のある地点での静的変位の間の基礎的な関係を得た。

地下水位の一時的な変化は変位ベクトルのノルム(norm)に依存すると言えそうである。この関係を用いると、地下水位変化の最大値は変位の約100倍になる。

はじめに

地下処分場からの地表面への地下水の流れを評価することは、放射性廃棄物の地層処分
の安全性評価においては重要な問題である。とくに、地震や火山爆発のような自然災害
に対して十分注意する必要がある。

この論文では地震に関連する地下水異常と地盤(かなり深い所まで含む)変形(tectonic
deformation)の関係を研究する。地震の断層パラメータ(earthquake mechanical parameters)

の1つと地下水位変化の相関に関するいくつかの検討を行い、井戸の水位変化とその点での静的変位の間の基礎的な関係を見だした。この関係は地震の場合と同様に、火山爆発に対しても利用できると考えている。

文献でのデータ調査

日本付近で起きた地震と火山爆発によって引き起こされた地下水位異常を記録した文献を数編集めた。Table I は地下水流動に影響を与えたこれらのイベントの一覧表である。ほとんどのイベントに対する震源機構は地震学的データか地球物理学的データのいずれかによる異なった2つの方法で決められている。Table II には地下水位変化と泉の流出量変化(fountain rate change)の検出された2種類の異常が、対応するイベントとともに示されている。地下水位変化と泉の流出量変化は長期にわたる地下水流れを評価するのに有効と考えられる。

泉の流出量変化は水位変化より地下水流動に直接結びつくかもしれないが、これはその扱いが困難である。ダルシーの法則によると、それは井戸の直径と帯水層の厚さに比例する。これらのフィールドでの定数に関する情報はほとんどない。泉の流出量異常に関する情報がどのように使えるかは今後の課題である。一方、水位変化のフィールドでのデータは修正なしで利用できる。そこで、この研究では地殻変形と水位変化を比較することにする。

解析手法

この研究では、地下水流動におよぼす地震の影響を評価する手法として Fig.1 に示すようなものを考えた。工学的な目的のためには、いくつかの力学的なパラメータから地震の影響を直接評価する関係式を作るのが最もよい方法である。それは最大地動の評価と同じやり方で、conventional approach と呼ぶ。この方法では地震規模の変数(varianceではなく variable の間違い)と震源距離に関する少なくとも2つの係数を決めなくてはならない。しかし利用可能なデータが不十分であるから、これは不可能と思われる。

もし、独立変数(independent variables)の数を減らすことができれば、少ないデータセットから地震の影響を評価する関係を見いだすことは容易であろう。力学定数の数を静的変形に関する1つに減らすことを考えた。これを single parameter approach と呼ぶ。この方法では、くい違いモデルから井戸の位置での静的変形を計算する。

地下水異常とイベントとの関係

Fig.2 は唐山地震前の前震異常(preseismic anomalies)を示しており、地震前の地下水異常は4象限パターンのように分布している。震源機構の圧縮領域に対応する相対する2つの象限は、水位レベルあるいは噴出量は異常に増加している。一方、引っ張り領域に対応する他の2象限は減少となっている。

Fig.3 は伊豆半島沖地震の際の地震に伴う異常を示している。この図からは、地下水異常に関しては全く逆の傾向が読み取れる。しかし、この結果も震源機構とは整合している。圧縮ゾーンの地殻応力は地震の震源移動(focal movement)で解放されるので、水位は低下する。一方、引っ張りゾーンの地殻応力は増加するので、水位は上昇する。これらの結果は地下水の動きが地殻応力と結びついていることを意味している。しかしながら、完全に逆の現象は Horinger 地震の際にも観測されている。そこで、関係を吟味する以外に、このパターンが真実か否かを確認する必要がある。

静的解析とパラメータスタディー

静的解析を実行する前に、地下水異常とイベント効果の関係を表すパラメータを選定しなければならない。

地下水位変化と鉛直変位の極性の関係(Porality relation)を Fig.4 で吟味した。鉛直変位は地震に伴う地殻の圧力と同じような傾向を示していると思われる。なぜなら圧縮象限では地表面は通常上昇し、引っ張り象限では低下すると予想されるからである。それゆえ、地下水位変化と鉛直変位の反比例の関係は同図の実線で示すようなものが期待される。実際問題としては、まだこのような関係は見いだされていない。この結果より、地下水位変化の極性さえも予測するのは困難なように見える。

極性 特性は科学においては非常に重要であるが、水位変化の絶対値は工学的目的のためにはもっと重要である。つぎに、我々は水位変化の絶対値を指定するのに適当なパラメータを見いだすために感度解析を行った。水位変化と静的変位の両方の絶対値間の2種類の感度解析を行った。水位変化と鉛直変位の関係が Fig.5 に、水位変化と変位ベクトルのノルムの関係が Fig.6 に示されている。2つの図の比較から、3次元変位ベクトルのノルムは鉛直変位よりも水位変化にもっと調和的であることが分かる。Fig.6 の実線は最大期待値の近似を表している。

おわりに

水位と静的変位の基本的な関係を検討し、基礎的關係式を見いだした。ところで、文献に報告されている異常値は、通常、小さな異常は文献には現われないので、常時分布の大部分であると考えられる。ここで見いだされた関係は上限の近似値を表していると考えられる。

文献調査と数値解析から、つぎのような結論をえた。

① 地下水位の変化の絶対値は3次元変位の絶対値に比例すると思われる。

② 概略、水位変化の上限(H)は3次元変位のノルム(D)の100倍になる。(H ~ 100D)

上記の関係は地震のみでなく、もし震源機構が分かれば原理的には火山爆発にも適用できるものである。

Table I. Events of earthquakes and eruptions and their references.

event number/name	estimation of source mechanism	
	seismological model	geodetical model
1. Off-Izu-Peninsula eq. 1974/5/9, M=6.9	Abe(1978), JPE	Tada(1976), Zisin
2. Near-Izu-Ohashima eq. 1978/1/14, M=7.0	Shimazaki & Somerville (1978), BERI	Inouchi & Sato (1979), BGSJ
3. West Nagano pref. eq. 1984/9/14, M=6.8	Mikumo et al.(1985), specially issued report	Yamashina & Tada (1985), BERI
4. Eastern Chiba pref. eq. 1987/12/17, M=6.7	Okada & Kasahara (1988), Proc. of SSJ	Yamada(1988), Proc. of SSJ
other principal earthquakes		
5. Eastern Izu-Peninsula eq. 1980/6/29, M=6.7	Inikura(1983), BDPRI	under inspection
6. 1986/6/24, M=6.5	under inspection	under inspection
7. 1990/8/5, M=5.0	under inspection	under inspection
volcanic eruptions		
8. Izu-Ohashima erup. 1986/11/22(M=6.0)	under inspection	under inspection
9. Off-Itoh erup. 1989/7/13(M=5.5)	under inspection	under inspection

Table II. Examples of observational results as to groundwater anomaly.

observation point	well depth	event No.*	epicentral distance	coseismic change		reliability
				self-sprout (l/min)	water head (m)	
KMK, Kamakura	GL-100m	4.	87km		+0.040	A
	GL-500m	6.			-0.025	A
		4.	87km		-0.038	A
I-6, Kamisiroiwa	GL-500m	2.	33km		-0.79	B
I-11, Himeoyu	GL-30m	2.	30km	-12		B
Akazawa 6th	GL-600m	2.		+several hundred		C
		5.		+350		C
EDY, Itoh	GL-87m	9.			+2.0	B
		7.			+0.6	B
		2.			+0.4	B
Haibara		3.	128km		-0.141	A
Hamaoka		3.	143km		-0.021	A
I-2, Isatori		2.	19km		-33.0	C
I-3, Isatori		2.	ditto		-8.6	C
I-6, Isatori		2.	ditto		-41.3	C
I-7, Isatori		2.	ditto		-37.2	C
I-8, Isatori		2.	ditto		-45.3	C
I-24, Isatori		2.	ditto		-31.1	C
A-1, Atagawa		2.	17km		-10.	C
A-2, Atagawa		2.	ditto		-40.	C
A-3, Atagawa		2.	ditto		-20.	C
A-4, Atagawa		2.	ditto		-16.	C
K-1, Katase		2.	17km		-14.	C
K-2, Katase		2.	ditto		-12.	C
Shirata		2.	18km		-12.	C
Shimokamo		2.	38km		+7.	C
Yaizu	GL-150m	1.	50km		+0.10	A
Shimizu	GL-138m	1.	56km		-0.05	A
Funabashi	GL-250m	1.	160km		-0.12	A

* Event no. corresponds to the number in Table I.

** Datum reliability is classified as follows.

A; exclusive observation well and datum is corrected environmental factors.

B; ordinary well, C; pumped-up spa well.

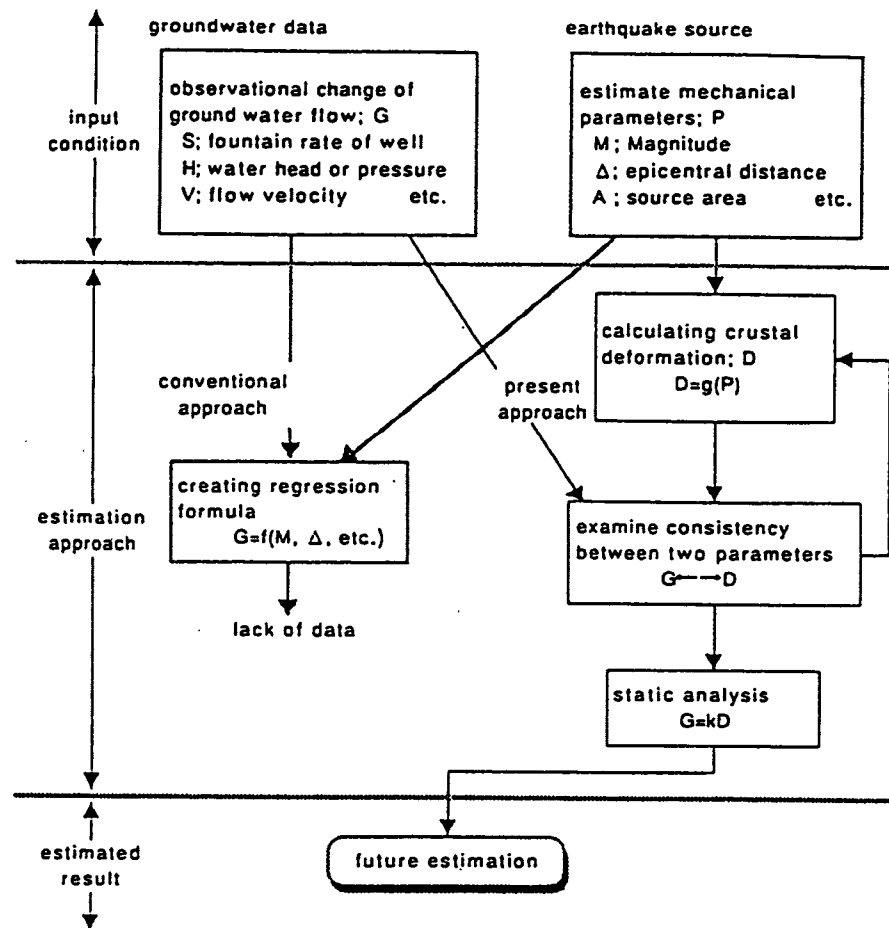


Figure 1. Schematic flow to develop an analyzing tool which estimate future influence of earthquakes. Two kinds of approaches, i.e. conventional and present approaches, are described.

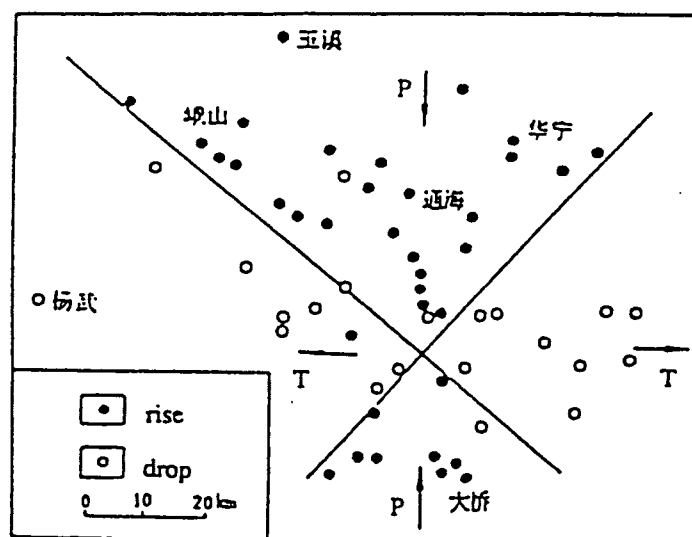


Fig. 2. Distribution of preseismic groundwater anomalies prior to the Tonghai earthquake. (modified Feng's 1982) Closed circles indicate wells accompanying water table rise or flow increase. Open circles indicate water table drop or flow decrease.

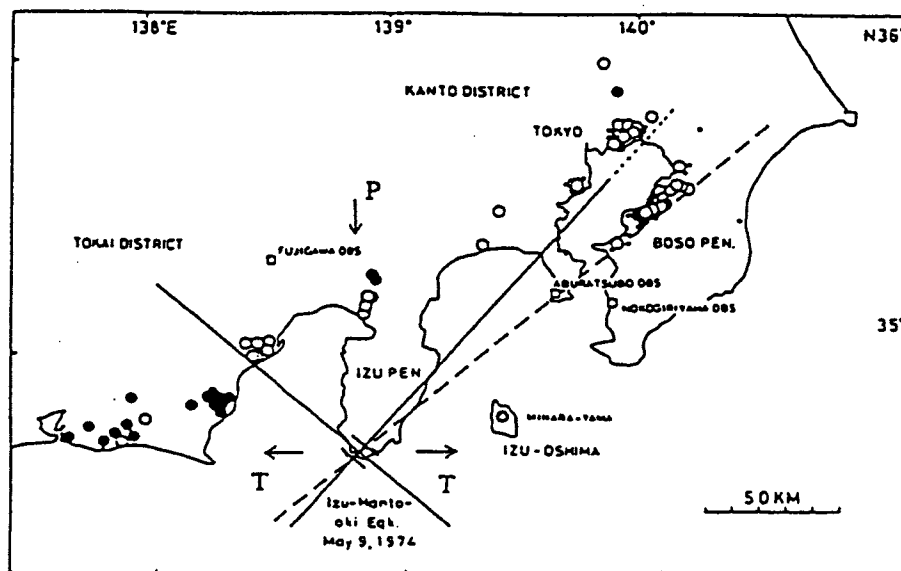


Fig. 3. Distribution of coseismic groundwater anomalies during the 1974 Izu-Hanto-oki earthquake. (modified Wakita's 1975)
Closed circles and open circles indicate the same meaning in Fig.2, but four-quadrant pattern shows opposite tendency.

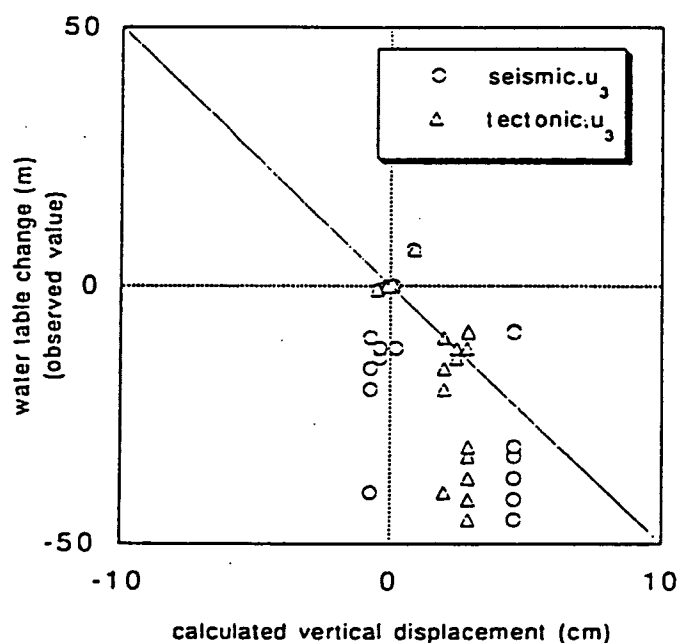


Fig. 4. Relation of coseismic anomaly of water table and vertical displacement at a well location.
The solid line specifies an expected tendency.

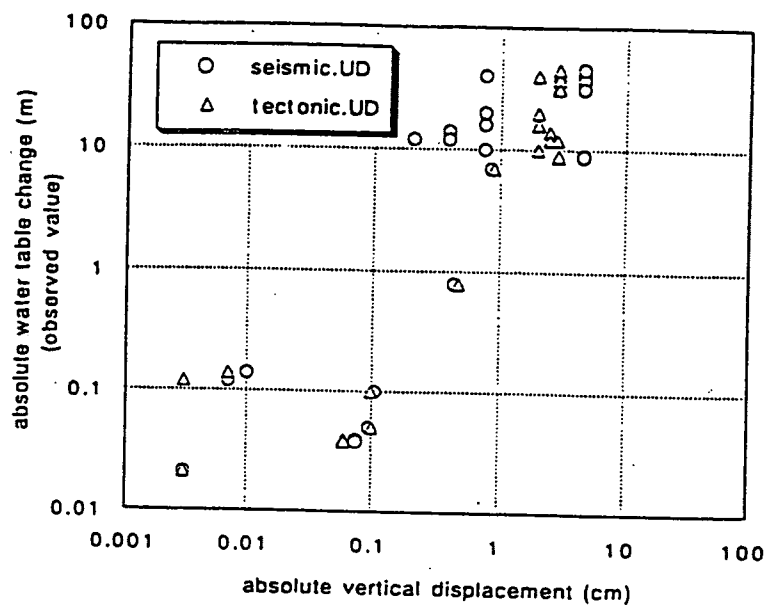


Fig. 5. Relation of absolute values of water table anomaly and vertical displacement. Vertical displacement is calculated from the dislocation theory.

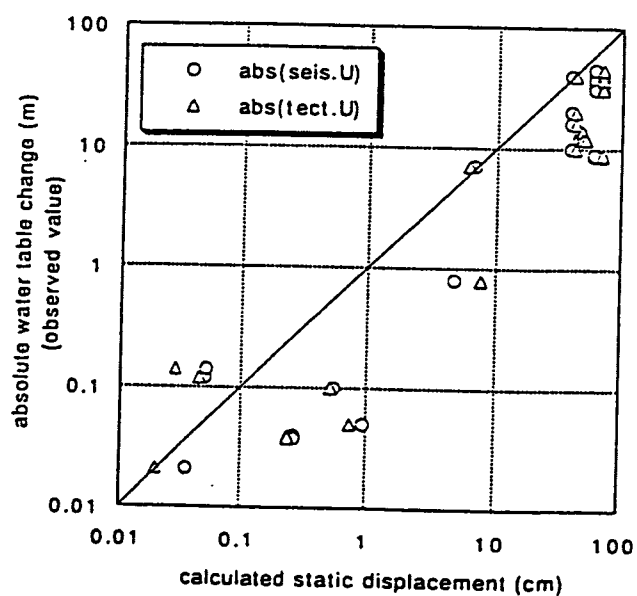


Fig. 6. Relation of water table anomaly and static displacement. Static displacement denotes the norm of 3-D displacement.

4.5 まとめと今後の課題

4.5.1 まとめ

- (1) 釜石鉱山E.L.550mレベル坑道で、水圧3ヶ所、湧水量、電気伝導度をそれぞれ1ヶ所、および自動採水装置による水質変化の調査を前年度から継続して実施した。また今年度より岩盤歪みおよび湧水のpHの調査を新たに実施した。
- (2) 地震後の水圧の上昇の大きさと、マグニチュード、震央距離から計算される歪みの大きさとの関係を検討したところ、両者は無関係ではないが、それぞれのボーリング孔のデータについて相関係数は0.3以下とかなり低い値を示している。このような状況から、今後データが新たに蓄積されたとしても水圧の上昇幅をマグニチュード等の地震に関する諸情報を活用して正確に予測することはかなりの困難が伴うことが予想される。
- (3) 地震後の水圧変動発生という事象の有無に関して、重判別分析を実施した。地震の性質を表すパラメータとしては最大加速度、マグニチュード、震央距離（対数値）、震源深さを入力した。その結果、水圧変動にはマグニチュードの大きさが最も大きい要因であり、ついで震源距離、最大加速度の順に影響が大きいという結果となった。一方震源深さは水圧変動の発生にはほとんど無関係であった。また正準座標値において2程度の地震が発生した場合に水圧が変動する確率は約50%程度であるという結果を得た。
- (4) KO-10地点における岩盤歪みデータには地球潮汐成分が観測され、その位相はKWP-1孔の水圧変化とほぼ一致する。両者の対応は岩盤が伸びると地下水の圧力が低下する関係にある。振幅を比較した結果、 1×10^{-8} strainが1.6cmH₂O相当の圧力変化に対応している結果となった。
- (5) 大潮時、大降雨後に湧水の分析結果からは、それぞれの変動要因に対応した水質の変動は検出されていない。また各化学成分の濃度相関マトリックスを因子分析を用いて検討したが、統計的に有為な傾向は見られない。
- (6) 文献調査の結果からは、地震に伴って地下水流動が変化することもあること、その変化の要因として透水係数の変化や過剰間隙水圧の発生が考えられることなどがわかった。

また地下水変動のシミュレーションを行った研究も数例確認された。本報告書内で紹介した文献においては水位観測点における地震時変異に着目し、観測サイトでの最大変位量と水位変動量を線形の関係式で関連づけている点が特に参考になった。

4.5.2 今後の課題

- (1) 水圧の観測システムにおいては信号にノイズが多く混入しており、また分解能が十分ではない。地震前後の水圧変動量を正確に把握するためには、伝送経路のノイズを低減するか、あるいはボーリング孔口で圧力を観測するようにシステムを改良する必要がある。
- (2) 雨量データについては現在外部機関からの提供を受けているが、データを取得している場所が、地下水理観測点から2.5km程度離れているため、雨量に若干の差が生じる可能性がある。観測点付近の雨量データを取得することが必要である。

参考文献

- 1)奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉澤 正：多変量解析法，159-258，日科技連，1971.
- 2)川辺岩夫：地震に伴う地下水・地球化学現象，地震，44，341-364，1991.
- 3)佐藤忠弘・大江昌嗣・佐藤範雄：江刺地球観測施設における潮汐歪みの観測，測地学会誌，35-49，1980.
- 4)Akao, Y.: Numerical relationship between surface deformation and a change of groundwater table before and after an earthquake, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 353, 485-492, 1995.
- 5)Dobrovolsky, I. P., Zubkov, S. I., and Miachkin, V. I.: Estimation of the size of earthquake preparation zones, Pageoph, 117, pp.1025-1044, 1979.

5. あとがき

5.1 今年度の研究成果の概要

今年度に得られた主な成果は次の通りである。

(1) 釜石鉾山における地震観測

- 1) 平成7年1月51日から平成7年12月31日までの約1年間に観測された地震の数は27個である。観測された地震の多くは、青森県から宮城県にかけての太平洋側、特に三陸はるか沖に集中している。
- 2) 今年度観測された地震のうちマグニチュードが最大の地震は、平成7年3月31日に発生した日本海中部地震(地震番号236)で $M=6.5$ である。また、加速度振幅が最大の地震は、地震番号232の岩手県沖地震($M6.5$)でK-1点で29galである。前年度はM7クラスの地震が5個観測されたが、今年度は1個も観測されなかった。また、K-1点で最大加速度が10gal以上の地震は今年度1個のみである。
- 3) 鉛直アレーの最深点であるK-6点(EL.250m)を基準とした場合のK-2(EL.550m)、K-5(EL.725m)およびK-1(EL.865m)の各点における加速度振幅の増幅率を調べた。その結果、XとZ成分では地中最深のK-6点からK-2までは増幅率が1、K-1点ではほぼ2であるのに対し、Y成分では深度が浅くなるにつれ増幅率は漸増し、K-1点で3程度の値を示す。また、XとYの水平成分に限定すると、増幅率が平均値から大きくはずれる地震は、震央距離が10km、深さが20km程度で釜石鉾山の比較的近くで発生した地震である。
- 4) 地質地形が地震動に及ぼす影響を検討するため、地表面付近に設置されているK-1点(EL.865m)、K-7点(EL.725m)およびK-7点と同一の標高ではあるが地中に設置されているK-5点との最大加速度やスペクトルの比較を行った。鉛直アレーを構成するK-1点とK-5点との最大加速度を比較すると、K-5点に比べてK-1点の方が約2倍大きい。地山の起伏により揺れやすいY成分とそれに直交するX成分とを比較すると、両者に顕著な差はみられないようである。ともに地表面付近に位置するK-1点とK-7点との場合、K-7点に対するK-1点での最大加速度はXおよびZ成分では約1~2倍大きい。一方、Y成分ではばらつきは大きい、おそ1.5~3倍程度大きい傾向にある。次に、フーリエスペクトル比から求めた各観測点間の平均な伝達関数のうち、最も顕著な

ピークを示すものはK-1/K-5の水平成分の場合で、4～6、8および12～14Hzにピークがあり、増幅率は4倍程度である。ただし、NSとEW成分とではピーク周波数が一致しない。

(2) 釜石鉾山における地下水理観測

- 1) 釜石鉾山におけるE.L.550mレベル坑道で、水圧3ヶ所、湧水量、電気伝導度をそれぞれ1ヶ所、および自動採水装置による水質変化の調査を前年度から継続して実施した。また今年度より岩盤歪みおよび湧水のpHの調査を新たに実施した。
- 2) 地震後の水圧の上昇の大きさと、マグニチュード、震央距離から計算される歪みの大きさととの関係を検討したところ、両者は無関係ではないが、それぞれのボーリング孔のデータについて相関係数は0.3以下とかなり低い値を示している。このような状況から、今後データが新たに蓄積されたとしても水圧の上昇幅をマグニチュード等の地震に関する諸情報を活用して正確に予測することはかなりの困難が伴うことが予想される。
- 3) 地震後の水圧変動発生という事象の有無に関して、重判別分析を実施した。地震の性質を表すパラメータとしては最大加速度、マグニチュード、震央距離（対数値）、震源深さを入力した。その結果、水圧変動にはマグニチュードの大きさが最も大きい要因であり、ついで震源距離、最大加速度の順に影響が大きいという結果となった。一方震源深さは水圧変動の発生にはほとんど無関係であった。また正準座標値において2程度の地震が発生した場合に水圧が変動する確率は約50%程度であるという結果を得た。
- 4) KO-10地点における岩盤歪みデータには地球潮汐成分が観測され、その位相はKWP-1孔の水圧変化とほぼ一致する。両者の対応は岩盤が伸びると地下水の圧力が低下する関係にある。振幅を比較した結果、 1×10^8 strainが1.6cmH₂O相当の圧力変化に対応している結果となった。
- 5) 大潮時、大降雨後に湧水の分析結果からは、それぞれの変動要因に対応した水質の変動は検出されていない。また各化学成分の濃度相関マトリックスを因子分析を用いて検討したが、統計的に有為な傾向は見られない。
- 6) 文献調査の結果からは、地震に伴って地下水流動が変化することもあること、その変化の要因として透水係数の変化や過剰間隙水圧の発生が考えられることなどがわ

かった。また地下水変動のシミュレーションを行った研究も数例確認された。本報告書内で紹介した文献においては水位観測点における地震時変異に着目し、観測サイトでの最大変位量と水位変動量を線形の関係式で関連づけている点が特に参考になった。

5.2 今後の課題

(1) 釜石鉱山における地震観測

釜石鉱山での地震観測は、平成2年2月に観測を開始し、北海道東方沖地震（M8.1）や三陸はるか沖地震（M7.5）などM7以上の地震も含め、これまでに合計247個の地震記録が得られた。このように地下深部における地震動特性を検討するうえで不可欠な貴重なデータが蓄積されつつある。しかし、より精度の高い検討を行うためには今後以下のような地震観測システムの改良や各種の調査・検討が必要である。

1) 地震観測システムの改良

現在のところ、地震観測データを一箇所で集中記録していないため、K-5点とK-6点ではデータの欠測が多々生じ、また、K-1点～K-4点のデータと時刻が不一致のため解析に支障をきたしている。このため、K-5点、K-6点の地震計の信号をデジタル方式により観測室に送り、K-1点～K-4点の信号とともに集中記録する必要がある。

2) 地震観測点の増設

地表から1,000m程度の地下深部における地震動特性を把握するため、KH-1孔の孔口（EL550m）と孔底（EL50m）に地震計を設置し、実地震データの収集に努める必要がある。

3) 釜石鉱山における弾性波速度探査 — 垂直アレーに沿った速度構造調査

実地震波形と理論波形との比較から地震動の増幅特性や地下深部における入力レベルを明らかにするためには、観測点周辺の速度構造、特にS波速度と減衰定数を把握することが不可欠である。しかし、現時点では一部の岩盤のP波速度が判明しているのみで、解析に不可欠なS波の速度構造や減衰定数は不明である。このため、主にK-1点（EL865m）、K-5点（EL725m）、K-2点（EL550m）およびK-6点（EL250m）の4点で構成される鉛直アレー観測網に沿った弾性波速度調査を実施し、実地震観測波形のシミュレーション解析に用いる地盤モデルを作成する必要がある。

(2) 釜石鉱山における地下水利観測

- 1) 水圧の観測システムにおいては信号にノイズが多く混入しており、また分解能が十分ではない。地震前後の水圧変動量を正確に把握するためには、伝送経路のノイズを低減するか、あるいはボーリング孔口で圧力を観測するようにシステムを改良する必要がある。
- 2) 雨量データについては現在外部機関からの提供を受けているが、観測点から2.5km離れているためかなりの誤差が予想される。観測点付近の雨量データを取得することが必要である。

(3) 観測体制の強化

本年度は、2.4節で報告したように、各種計器の故障が続発した。このため観測データの収集に支障をきたすこととなった。（幸い今年度は、大型地震の発生が平成8年2月11日の1回のみであった。）

今後はこのような点を改善し、より点検体制を強化することが必要である。具体的な対策として、観測機器に対する技術的な知識を有し、かつ観測地点の近隣に在住する技術員により定期的な点検を行い、異常状態の早期発見と故障内容の推定による迅速な修理を可能とする体制を来年度から実施する計画である。