

# 改良設計のための指向性レーダー適用試験

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2003年2月

株式会社 物理計測コンサルタント

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

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)  
2003

# 改良設計のための指向性レーダー適用試験

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2003年2月

株式会社 物理計測コンサルタント

(

(

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

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)  
2003

2003年2月

## 改良設計のための指向性レーダー適用試験

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

長田和洋\* 梶川和弘\* 水落幸広\*\*

### 要旨

本報告書は、ボーリング孔において指向性レーダー測定と岩芯観察を実施し、指向性レーダーによって検出、解析される岩盤内の割れ目に関する情報の精度について検討したものである。

瑞浪市の正馬様用地に掘削された深度400mのボーリング孔(01MS-06号孔)を使って、指向性ボアホールレーダー反射法測定を行ない、割れ目の深度と傾斜角・方位を決定した。その結果、17個の割れ目を検出し、その中で10個の割れ目の方位を決めることができた。

調査ボーリング孔近傍のボーリング孔(MIU-2号孔)からの反射波は観測されなかつたため、フィールドで検出される反射面の方位の解析誤差を定量的に評価することはできなかった。しかし、室内実験の結果、空气中での反射面方位は±10°の誤差範囲で解析できることから、本調査における反射面方位の解析誤差は、反射面が明瞭に観測されているならば、室内実験と同様に±10°の範囲内であると考えられる。また、レーダーによる反射面分布と岩芯観察結果との比較から、レーダーによる反射面は岩盤内部の割れ目帯と対応していることがわかった。

指向性レーダーを使った岩盤内割れ目調査は、測定誤差を考慮することにより十分適用可能な調査手法であると言える。

---

本報告書は、株式会社物理計測コンサルタントが核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

機構担当課室：東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所 研究グループ

\*：株式会社物理計測コンサルタント

\*\*：住鉱コンサルタント株式会社

February,2003

## Performance test of a directional borehole radar

Kazuhiro Nagata\* Kazuhiro Kajikawa\* Yukihiko Mizuochi\*\*

(Document Prepared by Geophysical Surveying Co.,Ltd.,Based on the Contract)

### Abstract

Directional borehole radar (DBRD) measurements and core description were carried out and the reliability of fracture orientations determined by DBRD was discussed.

DBRD ran into the borehole (01MS-06, depth 400m) drilled at the Syobasama site and 17 fractures were detected. 10 fracture orientations were determined from those fractures.

Reflection waves from another borehole (MIU-2) located about 14m away from 01MS-06 borehole were not detected, so the reliability of orientation could not be evaluated quantitatively. Judging from the result of a laboratory experiment, we conclude that the error of fracture orientations determined by DBRD, in case of clearly observed reflector planes, would be within the range of  $\pm 10^\circ$  in this work. Comparing DBRD reflector plane with fractures obtained by the core logging, it is found that the reflection occurs from fractured zone of rock mass.

DBRD measurements with directional antennas having sufficient resolution are applicable to investigation of fractures in rock mass.

---

This work was presented by Geophysical Surveying Co.,Ltd. under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison: Underground Research Group, Mizunami Underground Research Laboratory, Tono Geoscience Center

\* : Geophysical Surveying Co.,Ltd.

\*\*: Sumiko, Consultants Co.,Ltd.

## 目 次

	頁
1. はじめに -----	1
2. 概要 -----	2
2. 1 調査件名 -----	2
2. 2 調査目的 -----	2
2. 3 調査場所 -----	2
2. 4 作業概要 -----	2
2. 4. 1 指向性レーダー反射法測定 -----	2
2. 4. 2 岩芯観察 -----	4
3. 指向性レーダー測定原理および測定方法 -----	5
3. 1 測定原理 -----	5
3. 2 RAMAC システムについて -----	7
3. 3 測定方法 -----	7
4. 解析方法 -----	7
4. 1 反射面の傾斜角度・方位の解析 -----	7
4. 2 反射面の拡がり計算 -----	12
5. 測定結果 -----	12
5. 1 深度補正 -----	12
5. 1. 1 深度補正方法 -----	13
5. 1. 2 深度補正結果 -----	13
5. 2 測定結果 -----	14
6. 解析結果 -----	15
7. 岩芯観察結果 -----	24
7. 1 岩芯観察によるボーリング孔の地質 -----	24
8. 考察 -----	26
8. 1 割れ目分布について -----	26
8. 2 物理検層と岩芯観察による結果との比較 -----	26
8. 3 ボアホールテレビ解析結果との比較 -----	37
9. 室内実験結果 -----	41
9. 1 アンテナ回転による指向性特性試験 -----	41
9. 2 反射板による指向性特性試験 -----	46
10. MIU-2号孔による反射について -----	51
11. まとめ -----	51
参考文献 -----	51

## 図 目 次

	頁
図2. 1 調査場所位置図	3
図3. 1 反射法概念図	5
図3. 2 測定機器概略図	6
図4. 1 反射面の方位・傾斜解析手順	8
図4. 2 RADINTERによる解析画面	10
図4. 3 異なる電磁波速度の反射パターン	11
図4. 4 反射面の拡がり計算	12
図5. 1 ツールの深度基準点	14
図5. 2 (1) 指向性反射記録(生データ)	16
図5. 2 (2) 指向性反射記録(バンドパスフィルタ)	16
図5. 2 (3) 指向性反射記録(BP+Moving Average)	17
図5. 2 (4) 指向性反射記録(FK フィルタ)	17
図6. 1 反射面の読み取り位置	19
図6. 2 (1) RADINTERによる方位別出力	20
図6. 2 (2) RADINTERによる方位別出力	21
図6. 3 反射面の拡がり計算	22
図6. 4 反射面の傾斜別頻度	23
図6. 5 反射面の走向別頻度	23
図8. 1 検層と岩芯観察との比較(全深度)	27
図8. 2 (1) 岩芯観察とレーダー反射面の比較	28
図8. 2 (9) 岩芯観察とレーダー反射面の比較	36
図8. 3 割れ目プロットの表示方法	37
図8. 4 (1) ボアホールテレビとレーダー反射面の比較	38
図8. 4 (2) ボアホールテレビとレーダー反射面の比較	39
図8. 4 (3) ボアホールテレビとレーダー反射面の比較	40
図9. 1 指向性特性実験の概略図	43
図9. 2 指向性アンテナ構成とアンテナ方位	44
図9. 3 アンテナ回転実験のアンテナ配置	44
図9. 4 測定波形とピーク-ピーク振幅	44
図9. 5 アンテナ回転による振幅の変化	45
図9. 6 反射板実験配置図	47
図9. 7 (1) 反射板実験の方位別出力(最大振幅)	48
図9. 7 (2) 反射板実験の方位別出力(最小振幅)	49
図9. 8 室内実験での電磁波速度	50

## 表 目 次

	頁
表2. 1 指向性レーダー測定作業工程	2
表2. 2 RAMAC ボアホールレーダー機器一覧	4
表2. 3 岩芯観察作業工程	5
表5. 1 深度補正後の測定区間	14
表5. 2 測定パラメーター一覧	14
表6. 1 反射面の読み取り一覧	18
表6. 2 反射面のランク区分	18
表7. 1 岩芯記載内容	24
表9. 1 アンテナ回転実験のパラメーター一覧	41
表9. 2 反射板実験のパラメーター一覧	46
表9. 3 反射板位置ごとの反射波の方位・距離・時刻	46

## 卷 末 資 料

### 目 次

(岩芯記載シート)		頁
シート 1 岩芯記載シート (深度 110 ~ 115m)		1
シート 2 岩芯記載シート (深度 295 ~ 300m)		2
シート 3 岩芯記載シート (深度 300 ~ 305m)		3
シート 4 岩芯記載シート (深度 320 ~ 325m)		4
シート 5 岩芯記載シート (深度 365 ~ 370m)		5

(現場写真集)		頁
写真 1 指向性レーダー測定 1 (全景)		1
写真 2 指向性レーダー測定 2 (ツール降下時)		1
写真 3 指向性レーダー測定 3 (ケーブルワインチ)		1
写真 4 指向性レーダー測定 4 (地上装置)		2
写真 5 岩芯観察記載状況 1		3
写真 6 岩芯観察記載状況 2 (記載作業)		3
写真 7 岩芯観察記載状況 3 (写真撮影)		3

## 1. はじめに

一般に、ボーリング孔を利用して岩盤の割れ目を調査する方法として、①ボアホールテレビによる孔壁の直接観察、②ボアホールレビュアによる超音波での孔壁観察、③電磁波を使うボアホールレーダーなどがあげられる。これらのうち、①,②では孔壁の細かい割れ目状況を把握することができるが、割れ目の岩盤内部への拡がり、破碎部の割れ目交差角度・方位を知ることはできない。

ボアホールレーダーは、割れ目や破碎帯において、岩盤の電気的特性（特に誘電率・導電率）が変化することを利用した電磁波探査手法であり、花崗岩のような比抵抗の高い硬質岩盤は最も適した測定環境であるといえる。使用する波長が数メートルであるため、ボアホールテレビ、ボアホールレビュアと比較して分解能は劣るが、孔壁から奥に拡がる岩盤内の割れ目を観測することができ、指向性反射法では、割れ目の交差角度のほかにその方位を知ることができる。

本調査は、既存孔の近傍に新たに掘削した深度400mのボーリング孔でボアホールレーダー指向性反射法測定と岩芯観察を実施し、割れ目の解析を行なったものである。指向性レーダーによる割れ目の解析結果と、岩芯観察結果、空気中の指向性レーダー実験結果と比較することで指向性レーダーの適用性を検討し、今後新たに指向性レーダーを開発するときの基礎資料とする目的としている。

## 2. 概要

### 2. 1 調査件名

「改良設計のための指向性レーダー適用試験」

### 2. 2 調査目的

パルス方式の指向性ボアホールレーダー（以下 指向性レーダー）を使用した反射法測定から岩盤の割れ目解析を行ない、その結果を検討することにより、レーダー機器改良のための基礎資料を取得することを目的とする。

### 2. 3 調査場所

岐阜県瑞浪市明世町月吉 正馬様用地内 （図 2.1）

ボーリング孔名：01MS-06 号孔

### 2. 4 作業概要

平成 14 年 12 月から平成 15 年 1 月にかけて、岩芯観察と指向性レーダー測定を実施した。それぞれの概要については次のとおりである。

#### 2. 4. 1 指向性レーダー反射法測定

指向性レーダー測定は、平成 15 年 1 月 14 日～1 月 15 日の 2 日間で実施した。孔内状況は良好で、測定作業は順調に行なわれた。作業の内容を表 2.1 に示す。また使用した RAMAC™ボアホールレーダーの機器一覧を表 2.2 に示す。

表 2. 1 指向性レーダー測定作業工程

調査種目	測定深度 (m)	測定年月日	測定時間
指向性反射法	102.66 ～393.66m	H. 15. 1. 14 H. 15. 1. 15	14:30～17:40 09:40～13:40
孔内状況：孔径 (NQ) 75.69mm 深度 399.8m 孔内水：清水 ：ケーシング 127.0mm 深度 106.1m 地質：花崗岩類			

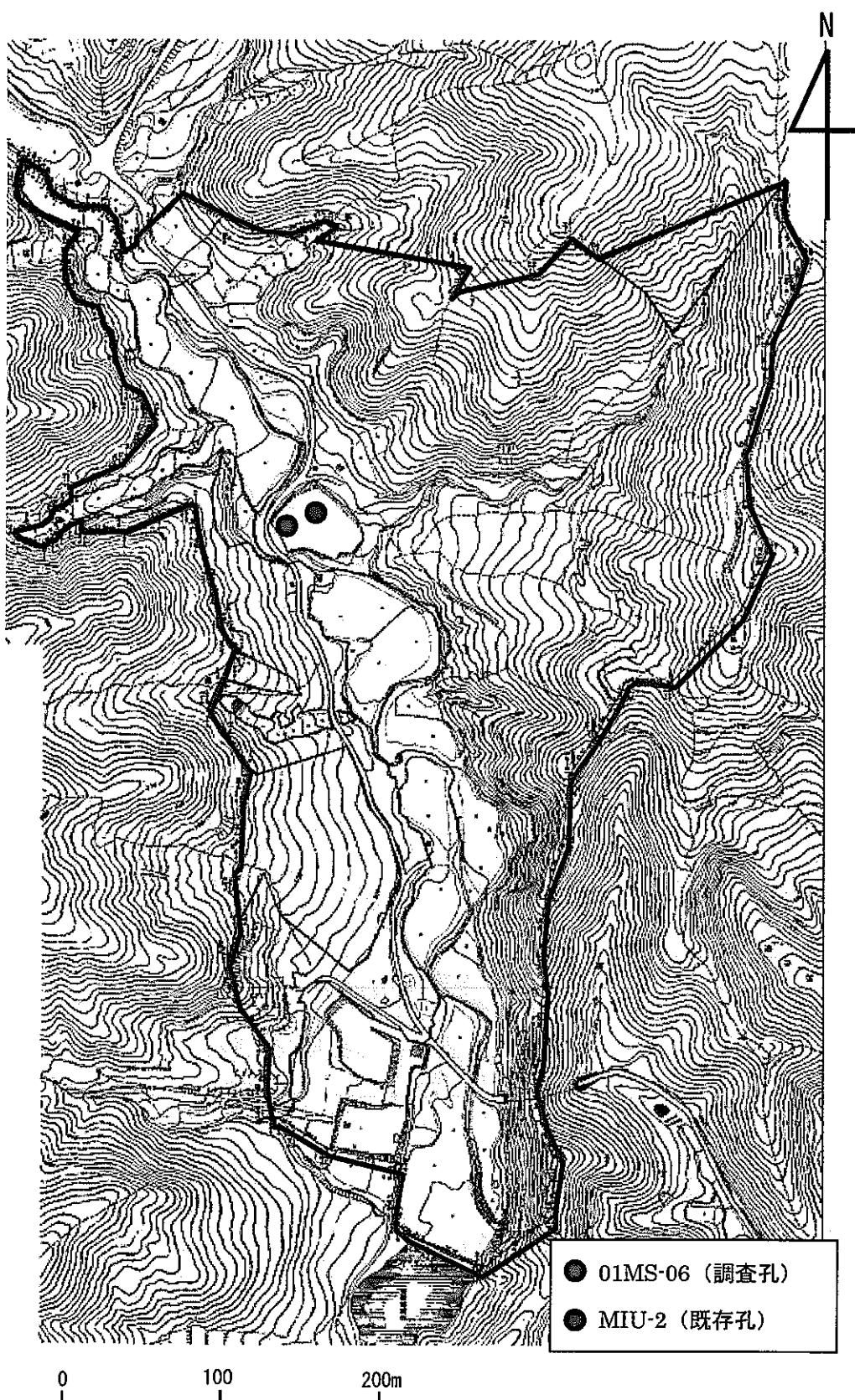


図2. 1 調査場所位置図

表2.2 RAMAC ボアホールレーダー機器一覧

	装 置 名	仕 様		
一 般		耐圧	: 10 MPa (100bar)	
		動作温度	: 0 - 40 °C	
		最小孔径	: 56 mm	
地上装置	コントロールユニット	マイクロプロセッサ	: RCA 1806	
		パルス繰り返し周波数	: 43.1 kHz	
(コンパック 486)		サンプリング周波数	: 30-4000 MHz	
		サンプル数	: 256-4096	
		スタッキング数	: 1-32767	
		タイムウィンドウ	: 0-11 μsec	
コンピュータ	OS	: MS-DOS		
		データ受け渡し	: 1.44Mbyte フロッピーディスク	
孔内装置	送信器 ( 60MHz )	アンテナタイプ	: 抵抗装荷ダイポール	
		中心周波数	: 60MHz	
		ピーク電力	: 500 w	
		外径	: 48 mm	
		長さ	: 1.26m	
		重量	: 6kg	
	受信器 (指向性)	アンテナタイプ	: 4-エレメントループ	
		長さ	: 2.52 m	
		重量	: 8 kg	
		方位・傾斜計	: azimuthal rotation sensor (gravity sensor) flux gate magnetometer plunge sensor	
ケーブル	バッテリパック ( Rx / Tx )	種類	: 充電式 NiCd	
		動作時間	: 4/10 時間	
		重量	: 10 kg	
		長さ	: 2.6 m	
ウインチ		電動 1000m 級ウインチ		
ケーブル	光ファイバケーブル	コア径/グラッド径	: 50/125 μm	
		ケーブル径(4芯 1000m用)	: 9.0 mm	
その他	スペーサロッド	ロッド長種類	: 0.25m, 0.5m, 1m, 2m	

## 2.4.2 岩芯観察

岩芯観察は、本調査孔（01MS-06号孔）に隣接する岩芯倉庫において、平成14年12月と平成15年1月の2回に分けて実施した。岩芯観察作業は、岩芯記載と岩芯の写真撮影を行なった。作業概要を表2.3に示す。

表2. 3 岩芯観察作業工程

調査種目	調査深度	調査年月日
岩芯観察 (岩芯記載)	106.0 ~400.0m	H.14.12.16~12.20 H.15.1.14 ~1.15
岩芯観察 (写真撮影)	106.0 ~400.0m	H.14.12.16~12.20

### 3. 指向性レーダー測定原理および測定方法

#### 3. 1 測定原理

ボアホールレーダー法は、ボーリング孔を利用する電磁波探査法の一つである。岩盤中の電磁波の伝搬は、岩盤の電気的特性、主に比誘電率と導電率により影響を受ける。これらの電気的特性は主に岩盤中の断層（帯）の存在や含水率の変化などの物理的特性に関係していると考えられる。ボアホールレーダー法とは、ボーリング孔内の送信器より岩盤中に短パルス状の電磁波を発射し、岩盤中を透過、反射してきた電磁波信号を受信し、それを解析し岩盤中の物理的特性の変化を調査するものである。

電磁波は誘電率変化の大きい箇所で反射する性質を有することから、岩盤中では含水率の多い割れ目部に相当すると解釈できる。図3.1に反射法測定の測定概念を示す。

反射波の基本パターンは、図3.1に示されたように球面（点）反射と平面反射の2つがある。電磁波の反射測定からは、ボーリング孔と交差する割れ目の角度やボーリング孔からの空洞の距離を知ることができる。

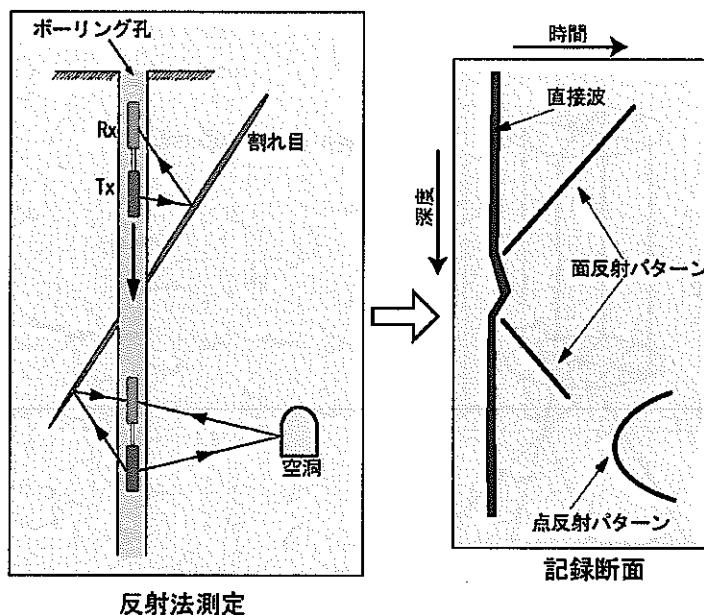


図3. 1 反射法概念図

本調査で実施した指向性反射法では、直交するループアンテナを使用することにより、ダイポール型（無指向性）アンテナでは得られない反射面の方位を知ることができる。プローブ内には3軸フラックスゲート磁界センサがあり、基準方位である磁北に対してのアンテナ回転方向を計測している。図3.2に指向性アンテナの概略を示す。

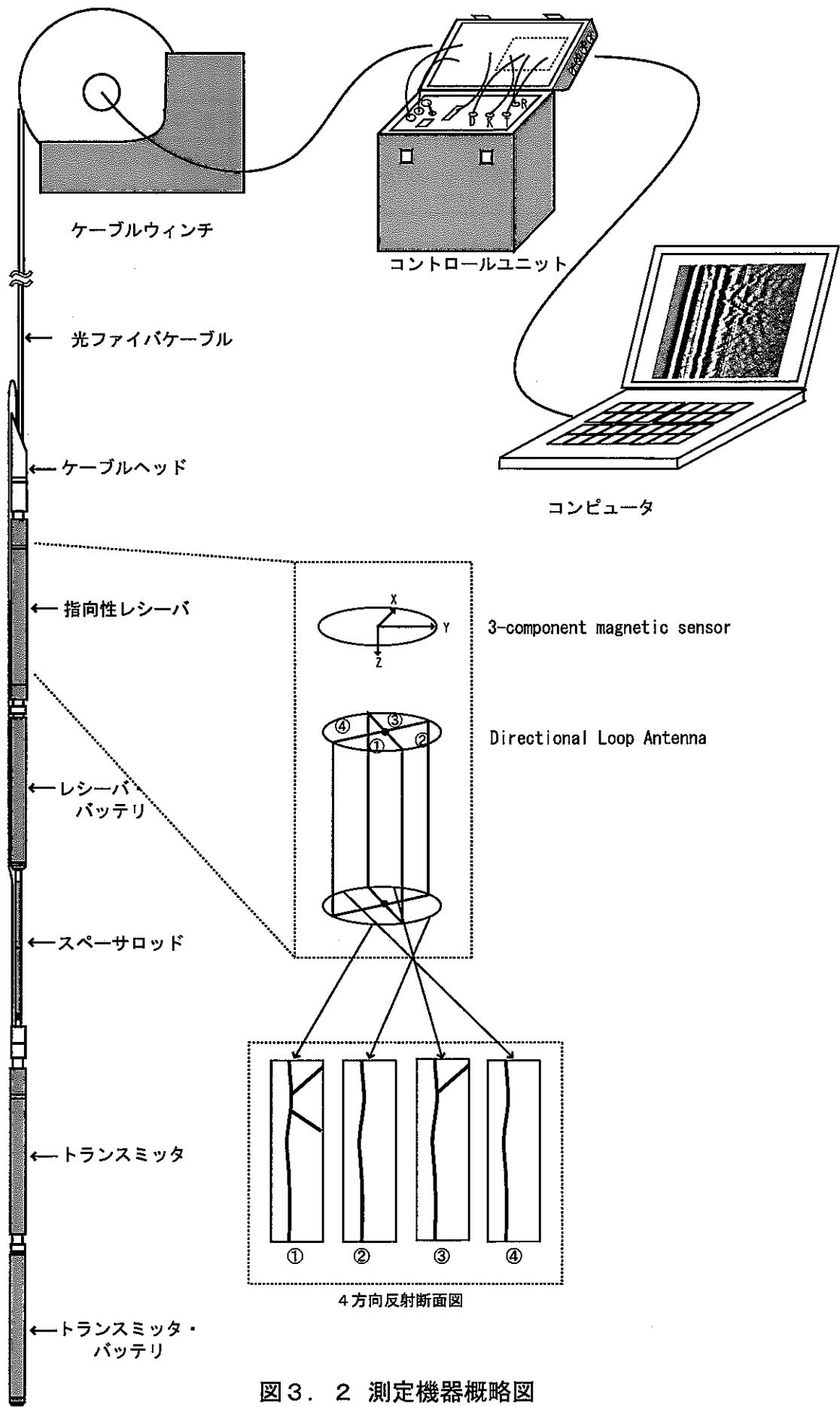


図3. 2 測定機器概略図

### 3. 2 RAMAC<sup>TM</sup>システムについて

使用したボアホールレーダー装置は通称 RAMAC<sup>TM</sup>システムと呼ばれており、このシステムは主に次の3種類で構成されている（図3.2）。

- ・地上装置：コンピュータ、コントロールユニット
- ・孔内機器：アンテナを装着した送・受信器およびそれぞれのバッテリ
- ・データ伝送の光ファイバケーブル

コンピュータは測定の制御とデータの収録を行ない、コントロールユニットは送・受信器のトリガタイミングと波形のスタッキングを行なう。

送信器と受信器は分離しており、それぞれにバッテリを接続して動作させる。測定方法として同一ボーリング孔に入れての反射法（シングルホール法）と、別々のボーリング孔に入れてのクロスホール法がある。クロスホール測定では走時と振幅のトモグラフィ処理が可能である。また反射法測定には反射面方位のわかる指向性反射法がある。指向性アンテナは方位計が装着されており、ループアンテナで得られた4方向の信号を合成し解析することにより反射面の方位を知ることができる。

光ファイバを使ったデータ伝送は、地表空間のさまざまな電磁波ノイズと、孔内装置への電源供給による電磁波ノイズの影響を無くするために有効で、RAMAC<sup>TM</sup>システムに特徴的なものである。

（注）RAMAC<sup>TM</sup>は MALÅ Geoscience 社の登録商標。

### 3. 3 測定方法

反射法測定は、送信器と受信器を一定間隔に固定した状態でボーリング孔に挿入し、一定深度間隔（通常50cm）ごとにプローブを停止させ、データの収録を行ない、その作業を測定区間下底部まで繰り返す。

指向性反射法の場合、送信アンテナに60MHzダイポール型、受信アンテナに直交する4個のループアンテナを使用し、1箇所で4方向からの反射波形を順次計測する。アンテナ方位は測定点ごとに収録される。

収録波形はコンピュータ画面上で、縦軸に深度、横軸に振幅の時間表示（伝搬波の濃淡表示）として表現される。

## 4. 解析方法

### 4. 1 反射面の傾斜角度・方位の解析

反射面の方位・傾斜角度の解析は RAMAC<sup>TM</sup>解析ソフト（RADINTER<sup>TM</sup> ver2.1）で行なった。その解析手順を図4.1に示す。

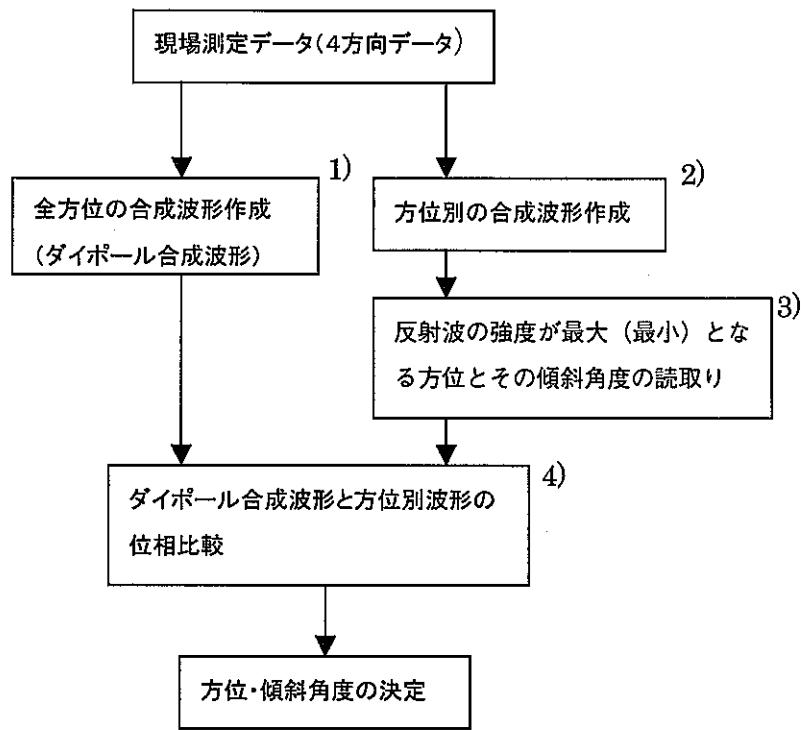


図 4 . 1 反射面の方位・傾斜解析手順

2) の処理は磁北に対して方位  $10^\circ$  ごとの合成波形を作成する。

3) の処理は任意の反射波の並びに注目し、反射波強度が最小と最大となる方位をコンピュータ画面上で読取る。反射波の強度は  $90^\circ$  每に最小→最大→最小→最大となる。 $180^\circ$  異なる 2 つの方位で認められる最大強度を示す反射波は、1) の処理で得られるダイポール合成波形と同位相と逆位相の関係になっており、4) の処理で同位相となる方位を確認した後で反射面方位を決定する。方位合成波形が  $10^\circ$  ごとであるため、反射面方位については土  $10^\circ$  の誤差がある。

反射面の深度・交差角度は、地盤の電磁波速度を仮定し、反射波列にカーブをフィッティングする方法で行なう。

RADINTER™による解析画面を図 4.2 に示す。画面右上でサンプリング周波数、岩盤の電磁波速度などの測定パラメータを入力し、画面右下で処理内容（ダイポール合成、方位別合成）・方位基準（磁北、鉛直）・合成方位（ $0\sim350^\circ$ ）を選択すると、画面左に処理された波形が濃淡表示される。図 4.2（上）はダイポール合成処理した波形で、図中の矢印で示した反射面に着目する。図 4.2（中）と（下）で、この反射面の振幅が解析方位  $190^\circ$  で最大かつダイポール合成波形と同位相となり、解析方位  $280^\circ$ （最大振幅と直交）で最小振幅になることを示している。RADINTER™では、反射波の到来方向は、最大振幅・同位相の方位  $+90^\circ$  で示されることから、着目した反射波は磁北基準・時計回り  $280^\circ$  と解析できる。

反射面とボーリング孔の交差深度と交差角度は図 4.2（中）の処理波形断面の上部に表示されている。解析される交差角度は、岩盤の電磁波速度に依存している。図 4.3 に電磁波速度

を 110 と 120 ( $m/\mu s$ ) にしたときの反射パターンの違いを示す。図は、深度 250m を横切る反射面を交差角度別に、また深度 250m に位置する点反射体をボーリング孔からの距離別に示している。

図 4.3 によると、解析時に設定する電磁波速度を大きくすると、面反射での交差角と点反射での反射点距離はいずれも大きく解析されることになる。面反射のとき、交差角の分解能は交差角が増加するにつれて急激に小さくなる。点反射のとき、電磁波速度が 10 ( $m/\mu s$ ) 異なる場合の解析誤差は、反射体までの距離 10m 以内ならば距離の誤差は 1m 以内である。

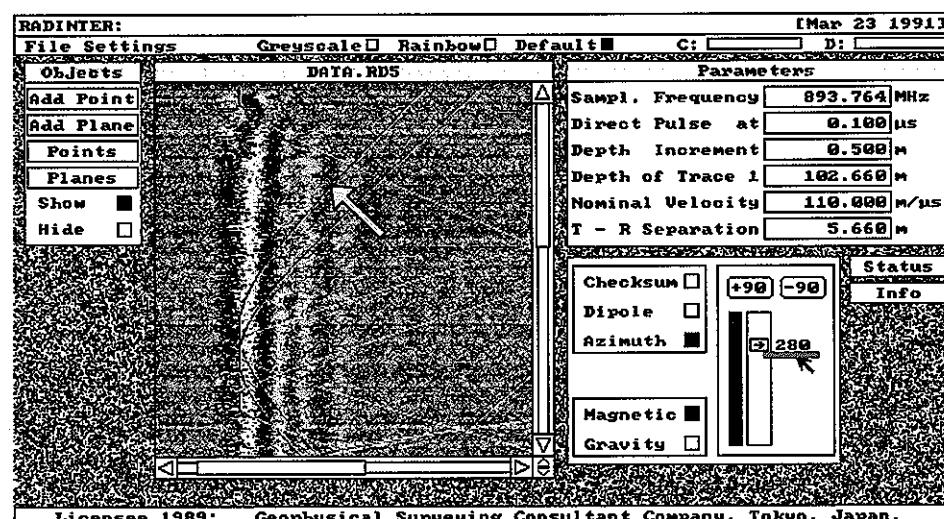
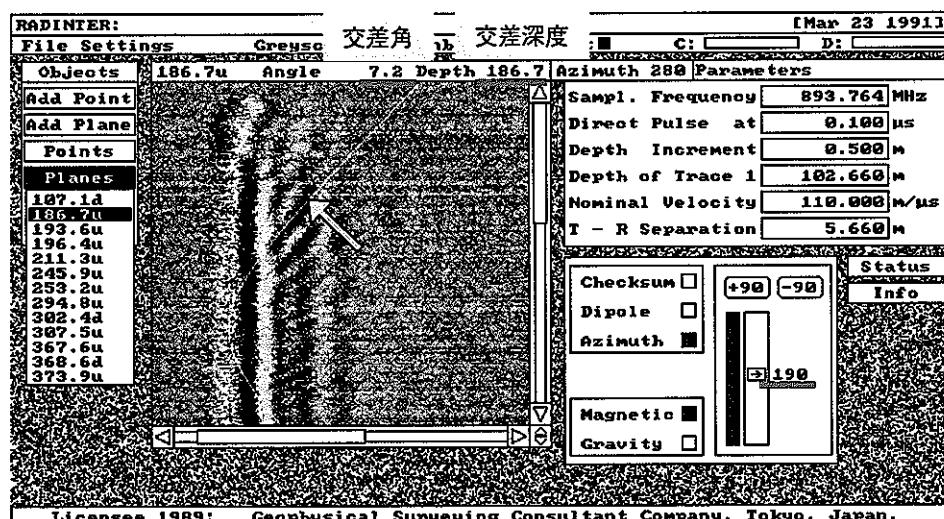
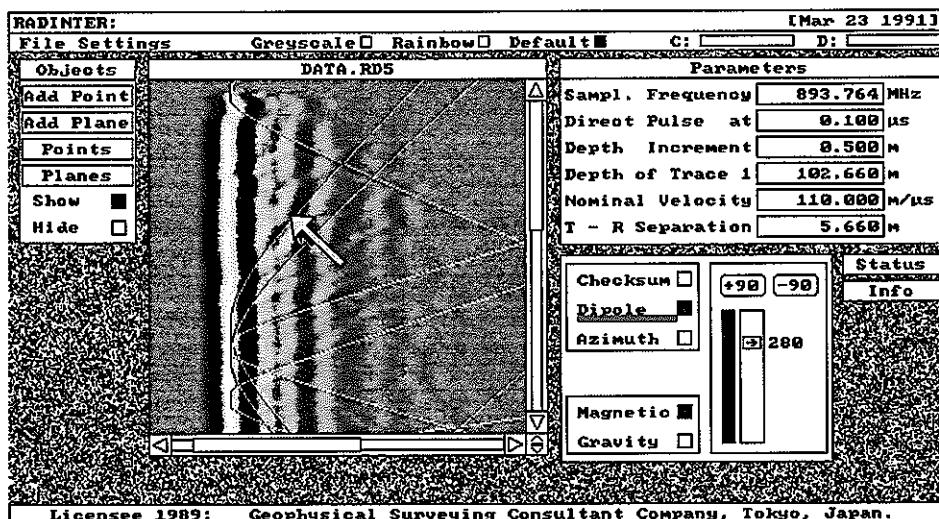


図4.2 RADINTER™による解析画面  
 (上) ダイポール合成 (中) 最大振幅方位 (下) 最小振幅方位

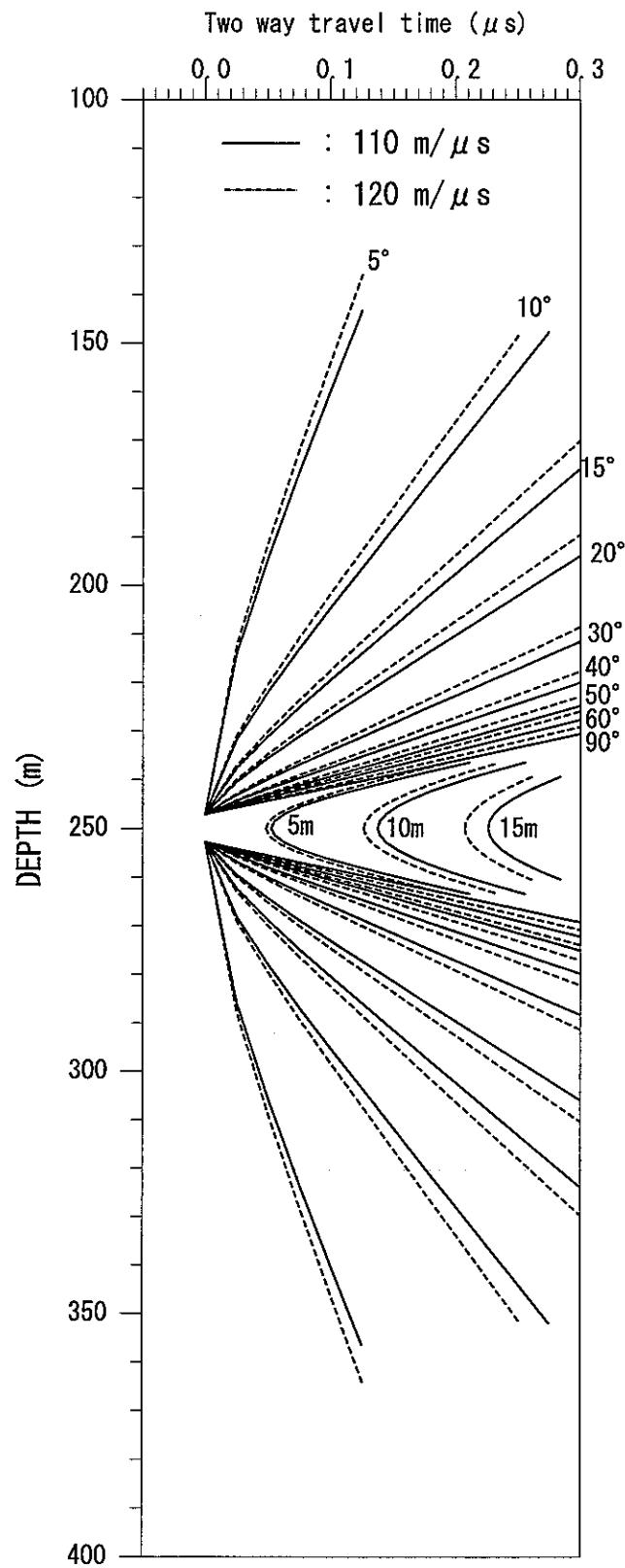


図 4. 3 異なる電磁波速度の反射パターン

## 4. 2 反射面の拡がり計算

図 4.2 の解析画面に示される反射断面図（深度-時間断面）ではマイグレーション処理を行っていないので、実空間上（深度-距離断面）での反射面の拡がりを読み取ることはできない。そこで図 4.4 に示したような関係から、実空間上での反射面の終端位置を計算し、ボーリング孔から岩盤内への拡がりを求める。

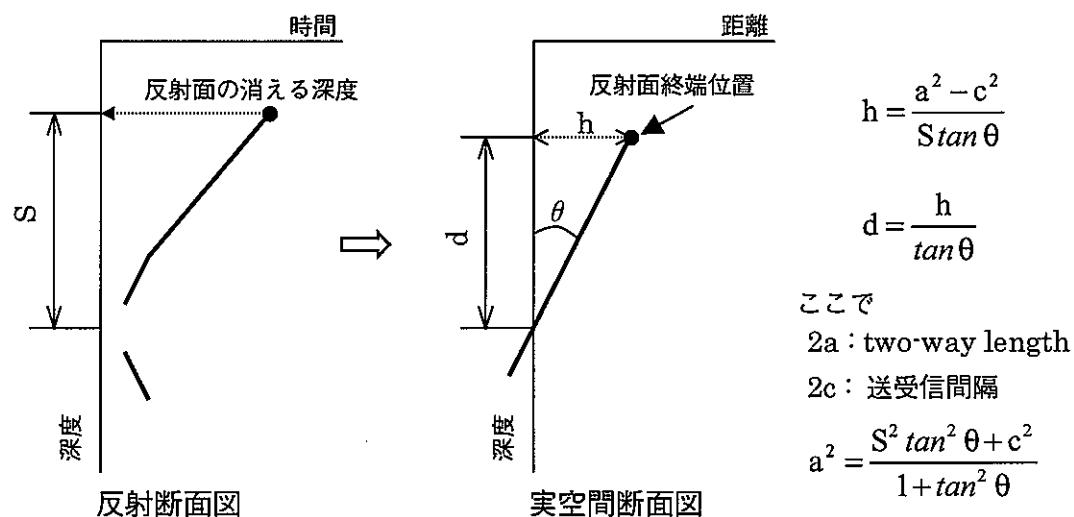


図 4.4 反射面の拡がり計算

図中の記号は、

$S$ ：反射断面図で、反射面の交差深度と反射面の消える深度との深度差。

$d$ ：実空間上で、反射面の交差深度と観測できた反射面終端深度の距離。

$h$ ：実空間上で、ボーリング孔から反射面終端までの岩盤中の奥行き。

$\theta$ ：ボーリング孔と反射面の交差角度。

である。

反射面解析によって、 $S$  と  $\theta$ を求め、図中に示した計算式を使って反射面終端を空間上の実際の距離に変換する。解析で求まる交差角  $\theta$ が、仮定した岩盤の電磁波速度に依存していることから、計算された反射面終端の位置もこの速度に依存したものとなっている。また、反射面終端位置は反射断面図上で観測され拡がりであって、実際には反射面に対応する割れ目帶は計算された距離以上に伸びていると推測される。

## 5. 測定結果

### 5. 1 深度補正

ボアホールレーダー調査では、次のような理由から、岩芯観察やボアホールテレビで認められる割れ目との対比による深度補正は難しい。

- (1) ボアホールレーダーの測定間隔が 0.5m であることとプローブ長が長い（送・受信間隔 5.66m）ことから、岩芯観察やボアホールテレビと比較して割れ目交差深度の解析誤差は大きく、約 1 m である。
- (2) 岩盤中での電磁波の反射が、理想的平面からではなく、幅を持った割れ目帯からであるため、レーダー解析による割れ目交差深度と岩芯または孔壁上に見られる割れ目深度を厳密に対応させることは難しい。
- そこで、指向性レーダー測定時の孔底深度を基準にして深度補正を行なった。

### 5. 1. 1 深度補正方法

次のように深度のパラメータを設定する。

$\text{Depth}(R)$  : レーダー測定時の孔底深度 (m)

$\text{Depth}(D)$  : 掘削時の孔底深度 (m)

深度補正係数  $\epsilon$  を次式のように定義する。

$$\epsilon = \text{Depth}(R) / \text{Depth}(D)$$

そして、この深度補正係数を使って測定深度を補正する。補正後の深度は、

$$\text{補正後の深度} = (\text{レーダー測定時の深度}) / \epsilon$$

とする。

### 5. 1. 2 深度補正結果

掘削後の孔底深度および物理検層（電気検層）時の孔底深度がいずれも 399.8m であることから、

$$\text{Depth}(D) = 399.8\text{m}$$

とする。一方、レーダー測定時の孔底深度  $\text{Depth}(R)$  は、

$$\text{Depth}(R) = 400.4\text{m}$$

で、ツールの降下前、巻き上げ後でのゼロ点深度誤差は 8 cm 以内であるからケーブルのすべりは無視できる。したがって、深度補正係数  $\epsilon$  は、

$$\epsilon = \text{Depth}(R) / \text{Depth}(D) = 1.0015$$

となる。測定開始と終了の深度補正を行ない、さらに測定時の測定間隔も補正した。深度補正前後の測定区間と測定間隔を表 5.1 に示す。

表5. 1 深度補正後の測定区間

	測定深度 (m)	測定間隔 (m)
補正前	103.18 ~ 394.18	0.5
補正後	103.03 ~ 393.59	0.49925

## 5. 2 測定結果

表5.2に示す測定パラメータで指向性反射データを収録した。深度は地表面を0mとしており、レーダーツールの基準点は送信・受信アンテナそれぞれの中心点間の中央位置としている。図5.1にツールの深度基準点を寸法と共に示す。

表5. 2 測定パラメータ一覧

項目	数値
中心周波数	60MHz
測定深度(補正後)	103.03 ~ 393.59m
測定方向	Down
測定間隔(補正後)	0.49925m
送受信間隔	5.66m
サンプリング周波数	893.764MHz
時間ウィンドウ	0.5729 $\mu$ s
サンプル数	512/trace
スタッキング数	32回

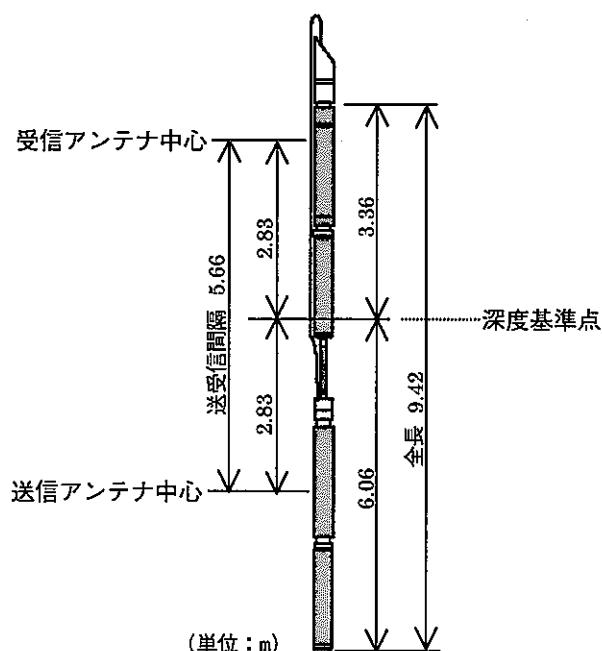


図5. 1 ツールの深度基準点

指向性反射データの Dipole 合成したものを測定全深度について濃淡表示したものを図 5.2(1)～図 5.2(4)に示す。Dipole 合成は、4 方向の波形振幅を加算平均したもので、全方位からの反射を含んだものである。

図は、生データ、Bandpass(BP) フィルタ処理、BP+Moving Average 処理、F-K フィルタ処理の 4 種類で示した。

図中の横軸（上）は時間で、RAMAC™システムでは発信時が不明なために、直接波が観測された時刻をゼロにしている。図中の横軸（下）はボーリング孔と平行する反射体に対してのボーリング孔からの距離を計算して示している。岩盤の電磁波速度は、良質花崗岩を想定し  $110 \text{ (m/}\mu\text{s)}$  とした。これは日本国内の花崗岩中での電磁波トモグラフィによる平均速度が  $110 \text{ (m/}\mu\text{s)}$  付近を中心に分布していることによる<sup>[1][2]</sup>。

Bandpass フィルタは各波形に対して 15-120MHz のフィルタ処理を行なったもので、低周波のゆらぎと高周波ノイズをカットしている。

Moving Average 処理は、Bandpass フィルタ処理した波形から、5trace の平均波形を減じたもので、直接波を消して反射波を強調している。

F-K フィルタは、空間上の低周波をカットしたもので、直接波のように図中で縦に伸びる模様を消して反射波を強調している。

これらの処理は反射波を強調する目的で行なったもので、反射面の抽出と、ボーリング孔との交差深度・交差角を決めるときに使用した。一方、反射面方位の解析は生データを使用して 4.1 に記す解析を行った。

## 6. 解析結果

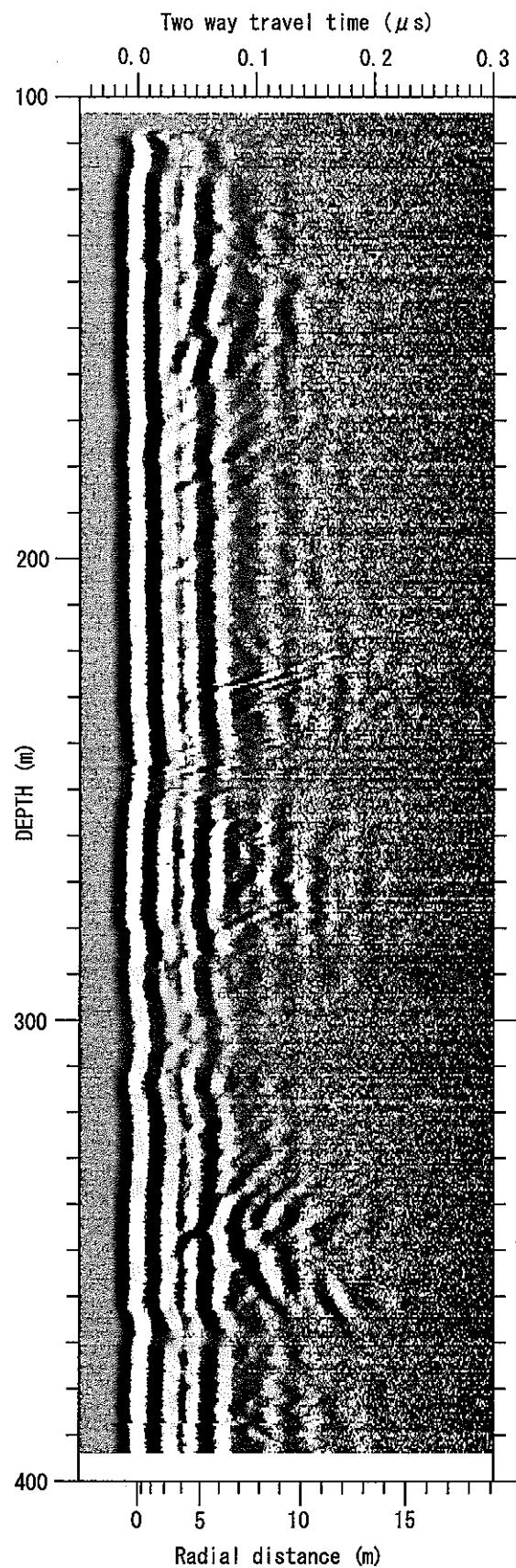
読み取った反射面位置を図 6.1 に、深度・傾斜・走向の一覧を表 6.1 に示す。表中の RANK については、抽出した反射面の明瞭さと、方位の確定有無により A～D の 4 段階に区分したもので、表 6.2 にその区分内容を示してある。

反射面名末尾の u/d はそれぞれ交差深度より上 (up) / 下 (down) の反射パターンで読み取ったことを表しており、ud は上下両方のパターンで読み取ったことを表している。読み取った反射面の数量は、点反射パターン (POINT) 1 個と面反射パターン (PLANE) 17 個の総数 18 個である。方位を確定できたもの (RANK A) 10 個、最大振幅方位での位相の一致が不明瞭で、方位読み取りが  $180^\circ$  逆の可能性があるもの (RANK B) 3 個、方位が不明なもの (RANK C,D) 5 個となった。走向については、磁北の偏角が  $7^\circ \text{ W}$  であることと、反射面方位の読み取り間隔が  $10^\circ$  ごとであることから、磁北基準で読み取った割れ目方位を  $10^\circ$  回転させて真北基準に変換している。傾斜については、ボーリング孔を垂直として算出した。

図 6.2(1), 図 6.2(2) に方位  $20^\circ$  ごとの反射断面図を示す。

図 6.3 に反射面の拡がり計算から求まった反射面の終端深度を南北断面と東西断面にプロットしたものを示す。図 6.4 に反射面の傾斜角度別頻度を示す。17 個の面反射について上下のパターン含む 19 個についてプロットしてある。図 6.5 に走向の方向別頻度をプロットしたものを見た。図は円の中心点について対称になっている。

<Raw Data>



<Bandpass filter>

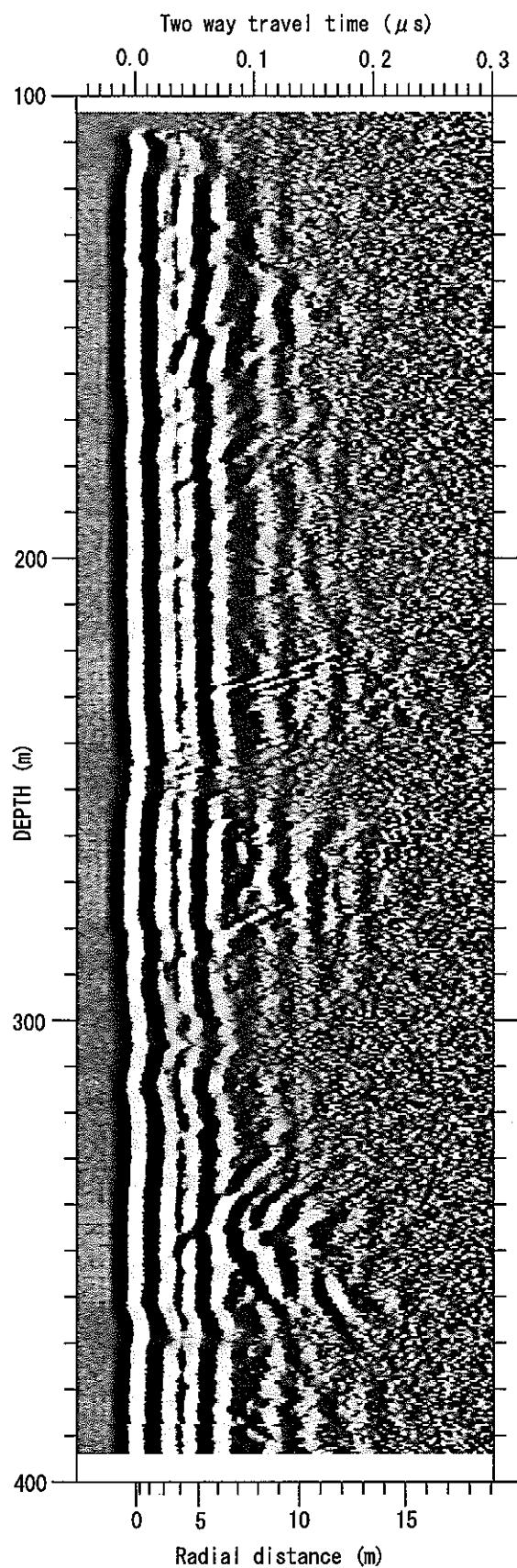


図5. 2 (1) 指向性反射記録  
(生データ)

図5. 2 (2) 指向性反射記録  
(バンドパスフィルタ)

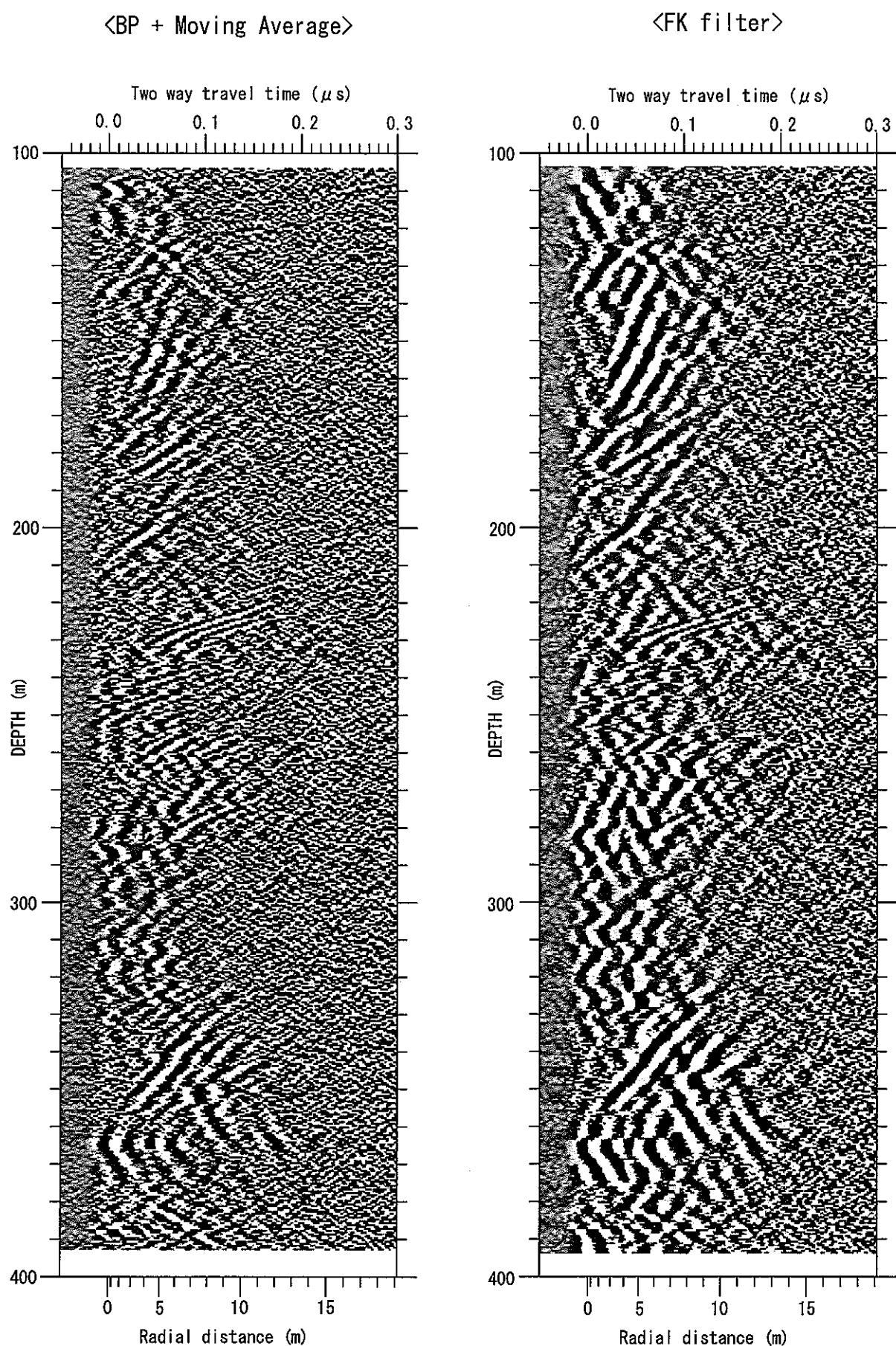


図5. 2 (3) 指向性反射記録  
(BP+Moving Average)

図5. 2 (4) 指向性反射記録  
(FKフィルタ)

表 6. 1 反射面の読み取り一覧

反射タイプ	反射面名	深度 (m)	反射点 距離(m)	傾 斜 (deg)	走 向	RANK
PLANE	107.5d	107.5		73.3		D
PLANE	140.0u	140.0		75.6		C
PLANE	180.3ud	180.3		62.6		D
PLANE	186.9u	186.9		82.8 E	NS	A
PLANE	193.8u	193.8		65 E	NS	A
PLANE	196.6u	196.6		82.1 E	NS	A
PLANE	211.5u	211.5		67.2 SE or NW	N30E	B
PLANE	218.8u	218.8		78.3		C
POINT	232.4pu	232.4	4.6		(N80W)	B
PLANE	246.1u	246.1		27.9 N or S	EW	B
PLANE	253.3u	253.3		41.3 E	NS	A
PLANE	283.1ud	283.1		78.4		D
PLANE	294.9u	294.9		64.2 SE	N80E	A
PLANE	302.5d	302.5		81.5 NE	N50W	A
PLANE	307.6u	307.6		79 SE	N60E	A
PLANE	367.6u	367.6		77.6 SE	N50E	A
PLANE	368.6d	368.6		66.8 NW	N70E	A
PLANE	373.9u	373.9		77.3 SE	N50E	A

表 6. 2 反射面のランク区分

RANK	区 分 内 容
A	反射面が明瞭で、方位も確定できた。
B	反射面は明瞭だが、方位は $180^{\circ}$ 逆の可能性がある(走向のみ確定できた)。
C	反射面は明瞭だが、方位を確定できない。
D	反射面は不明瞭で、方位も確定できない。

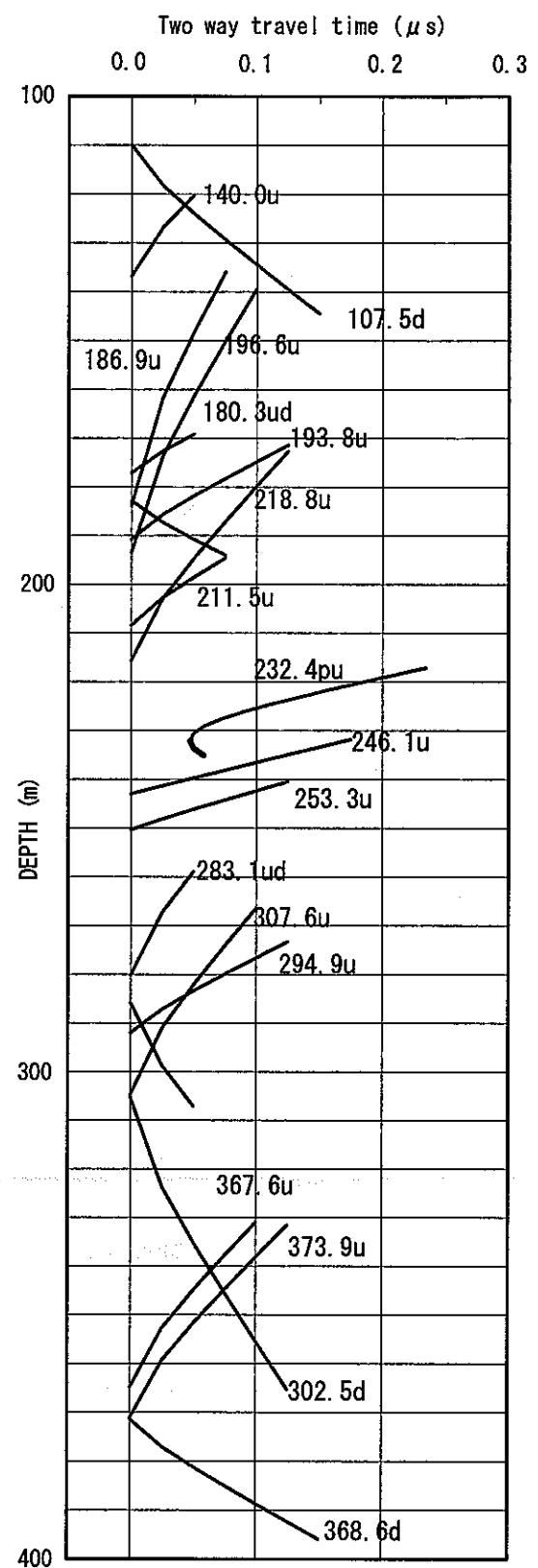
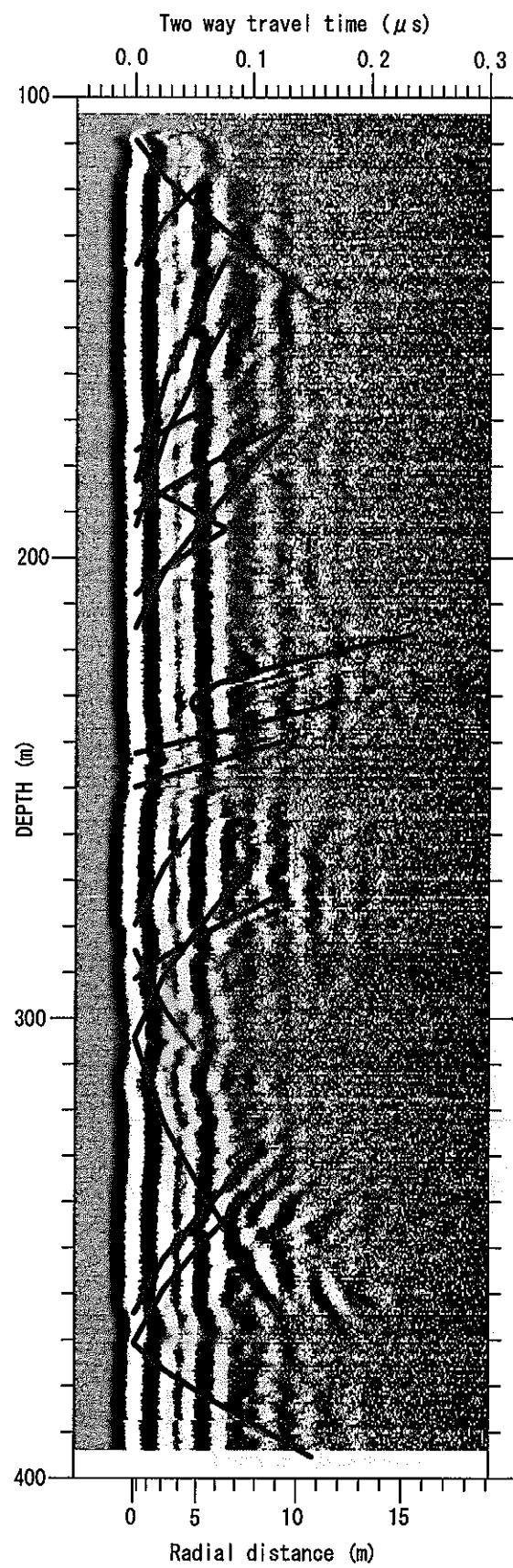


図 6. 1 反射面の読み取り位置

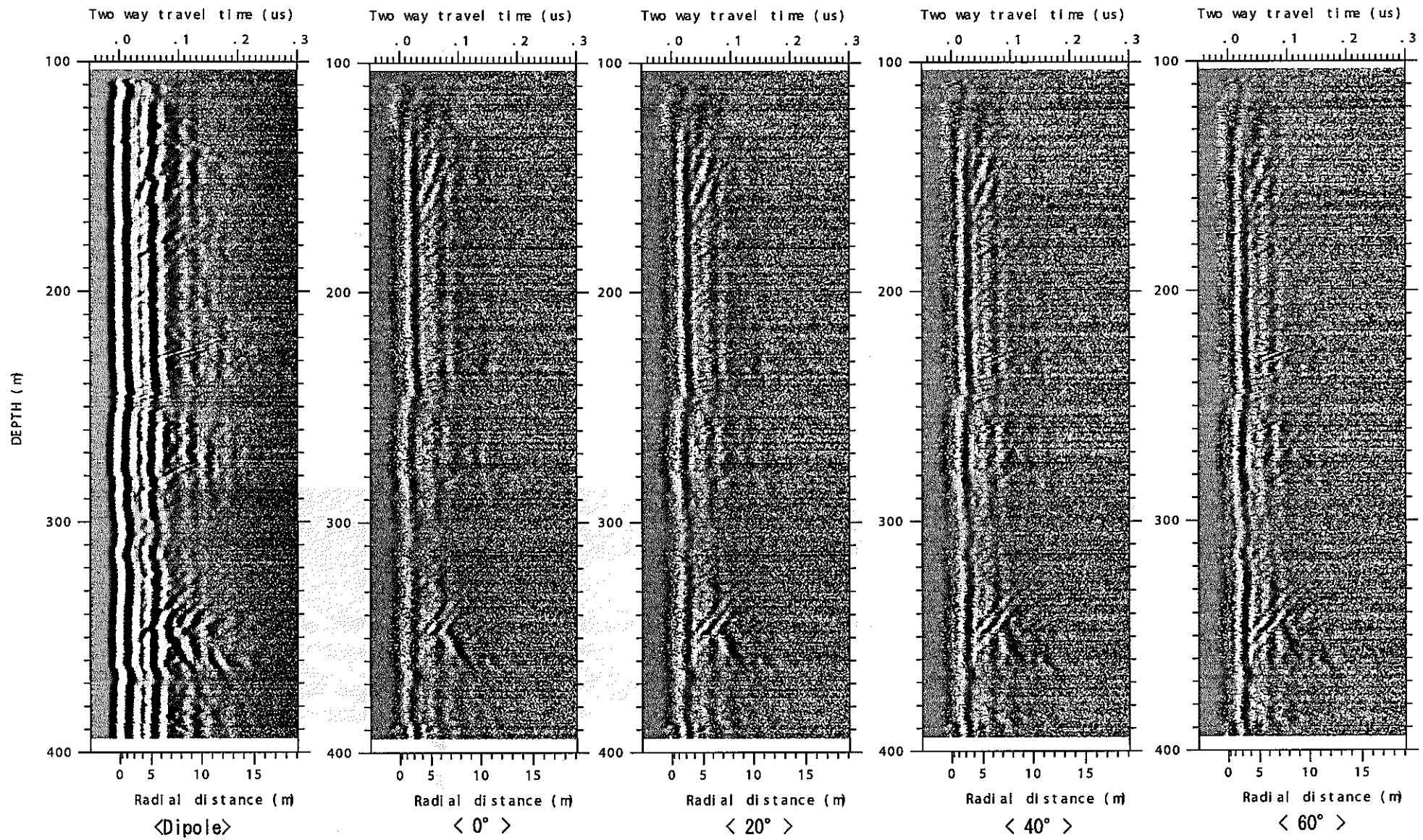


図6. 2 (1) RADINTERによる方位別出力

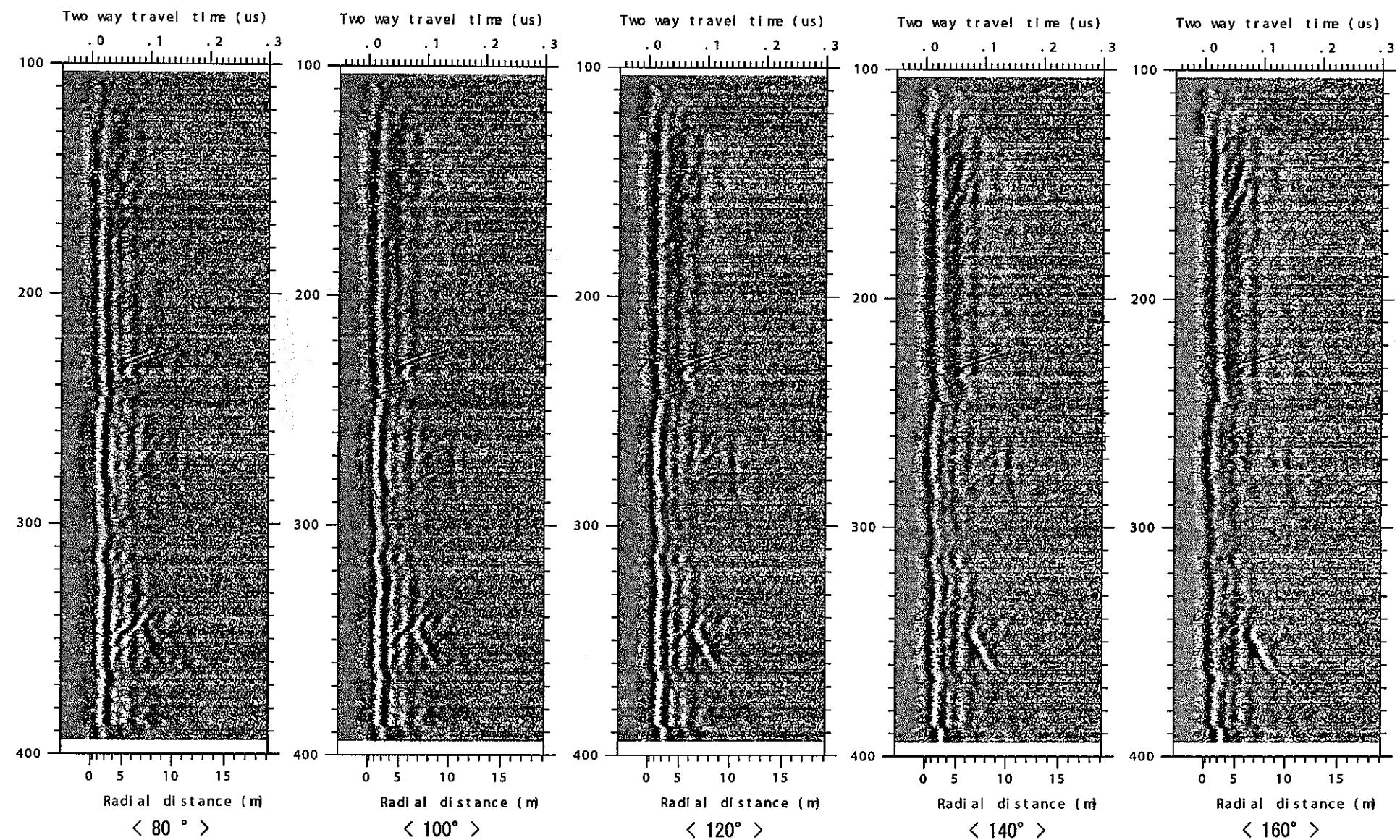


図 6. 2 (2) RADINTERによる方位別出力

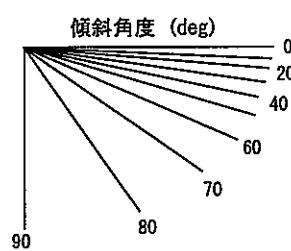
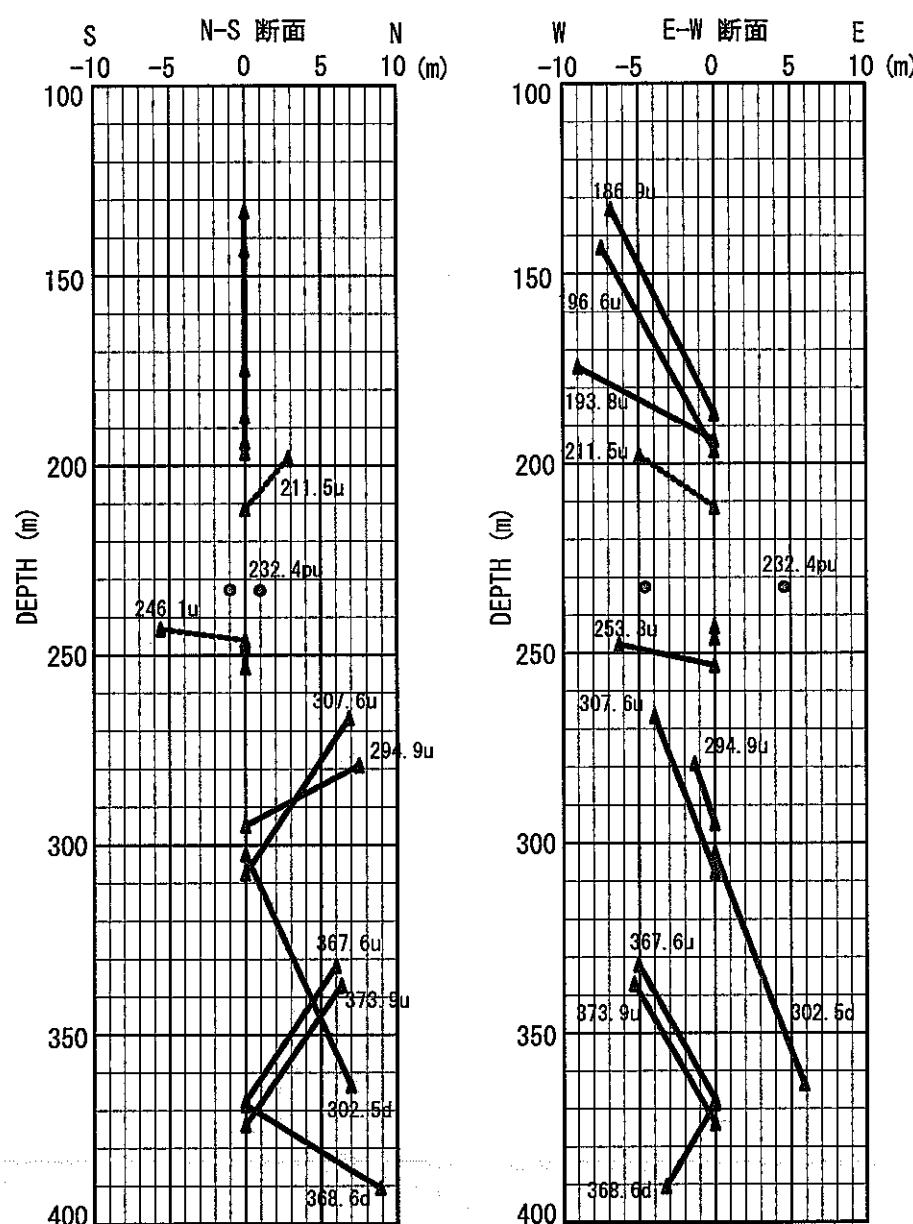
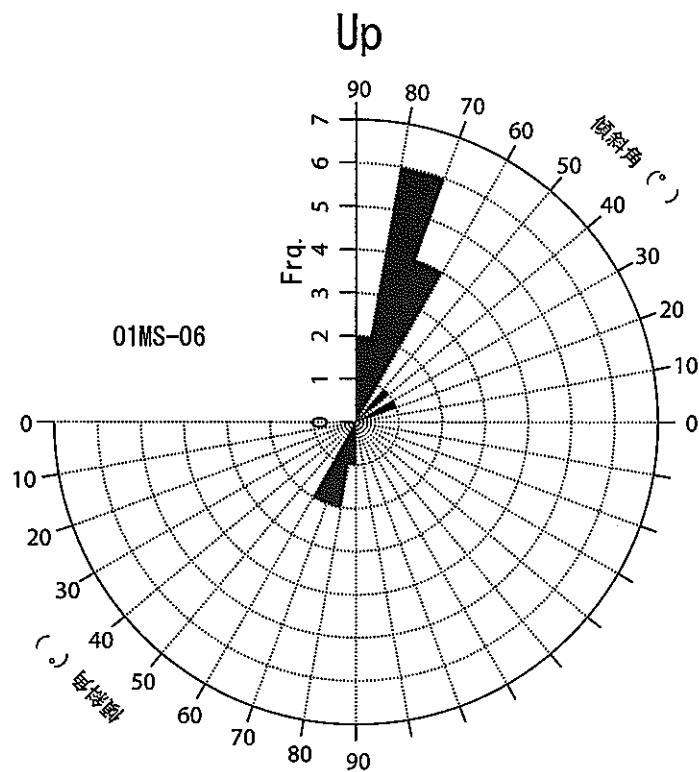


図 6. 3 反射面の拡がり計算



Down

図 6. 4 反射面の傾斜別頻度

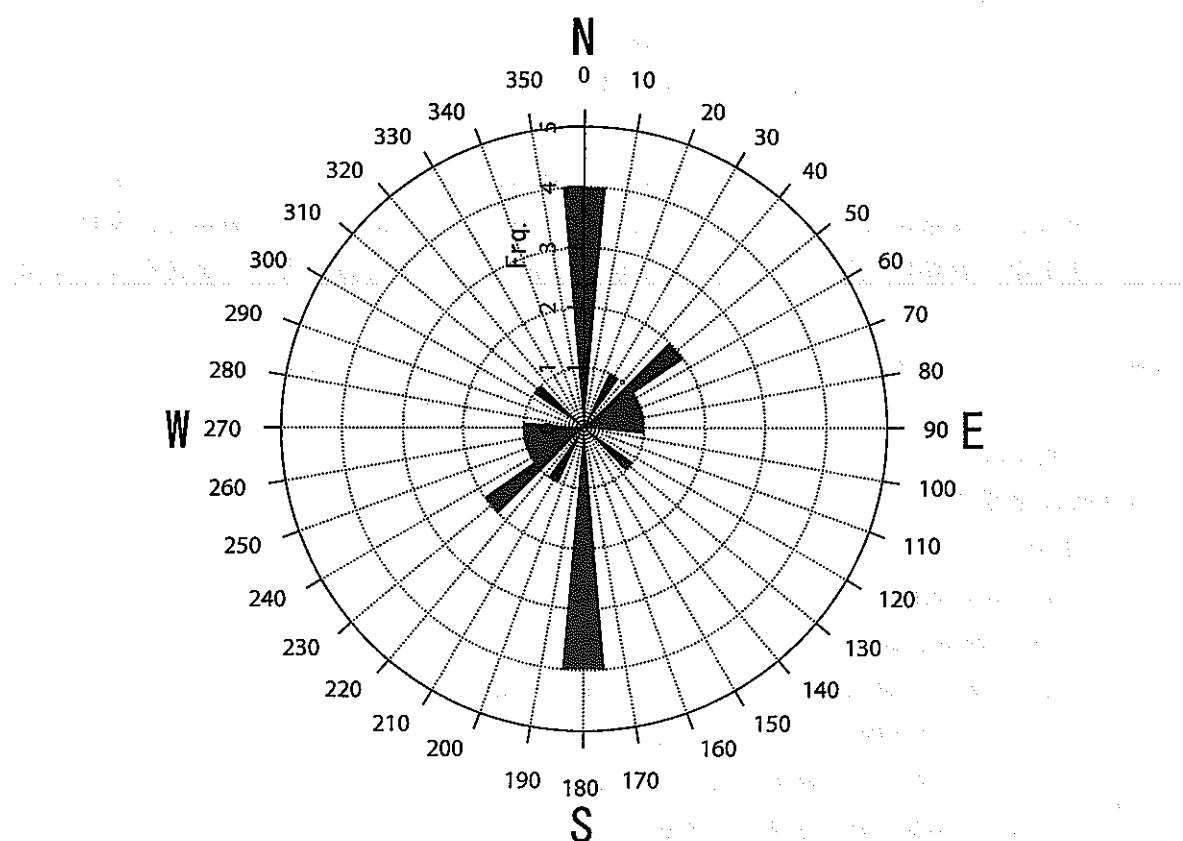


図 6. 5 反射面の走向別頻度

## 7. 岩芯観察結果

核燃料サイクル開発機構の「岩芯観察記載要領」に従って岩芯記載を行ない、 $6 \times 7$  判カメラを使用して岩芯の写真撮影を行なった。岩芯記載結果と岩芯写真はデジタル化され、指定された書式の岩芯記載シートにまとめた。記載内容を表 7.1 に示す。

表 7. 1 岩芯記載内容

No.	記載内容	No.	記載内容
1	Depth	13	Depth of fracture
2	Lithofacies	14	Dip of fracture
3	Rock Name	15	Type of fracture
4	Texture	16	Striation on fracture
5	Mineralogy	17	Cause for occurrence of fracture
6	Color	18	Fault rock classification
7	Weathering	19	Thickness range of the fault
8	Rock mass classification	20	Width of altered zone along fracture
9	RQD and Core recovery	21	Alteration along fracture
10	Fracture density	22	Width of filling materials in fracture
11	Fracture number	23	Fracture filling materials
12	Location of fracture	24	Remarks

### 7. 1 岩芯観察によるボーリング孔の地質

調査深度区間における岩質はすべて花崗岩類で、土岐花崗岩に属する中粒黒雲母花崗岩であった。

全般的に岩相変化に乏しいが、深度 152m まで角閃石を含まないか含んでも極微量で、それ以深で角閃石を少量含む黒雲母花崗岩であった。深度 302.5m で岩相が漸移的に変化し、角閃石を含まない岩相に変化している。深度 315m 以深で全般的に角閃石を含むようになる。

組織としては、カリ長石が粗粒化する部分では等粒状から斑状に変化する傾向がある。また、カラーインデックスは 5%～10% の範囲で変化している。

全般的に風化は弱く、割れ目に沿っての変色や Fe 酸化物も非常に少なかった。

岩盤等級は深度 120m 以浅では CM 級が主体であったが、それ以深では CH 級が卓越し、部分的に B 級クラスに分類できた。

割れ目頻度の高い区間は、深度 108～116m, 165～172m, 186～189m, 191～195m, 215～229m, 235～250m, 283～285m, 290～307m, (307～309m 区間コア流出), 315～334m (316～318m 区間コア流出), 364～375m, 388～392m, 395～400m であった。これらの区間では 1m 当たりの分離した割れ目本数は 7～18 本であった。

割れ目頻度の高い区間には、幅 1～3mm の断層ガウジもしくはカタクレーサイト\*が分布することがあり、割れ目頻度の低い区間では断層ガウジもしくはカタクレーサイトの幅は約 0.5mm

程度であった。深度 112~113m には 6 本/m のカタクレーサイトがあり、母岩は緑泥石と縁れん石からなり、コア長で約 2m 幅の変質ゾーンを形成している。深度 298~303m 区間には断層ガウジを伴うせん断帶があり、割れ目から幅 2cm 程度で赤色化の変質がみられた。深度 320~324m には幅 5mm 以下の断層ガウジが 6 本分布し、その上下は礫状のコア形状となっている。深度 366~368m には断層ガウジとカタクレーサイトが 9 本発達し、周辺の母岩は約 1m 区間でマフィック鉱物の緑泥石化が著しかった。これら断層ガウジやカタクレーサイトが特徴的に認められる区間について、岩芯記載シートを巻末に添付する。

\* : カタクレーサイト 再結晶をほとんど伴わない固結した断層岩。

## 8. 考察

### 8. 1 割れ目分布について

図 6.4 に示されたように、この深度区間では高角の割れ目が卓越しており、17 個の割れ目のうち 15 個が傾斜  $60^\circ$  以上である。走向については、図 6.5 に示されたように、全体では南北が卓越しているが、これらはすべて深度 250m より浅い部分に集中しており、これらを除くと特に卓越する走向は見られない。

割れ目ではないが、深度 232. 2m にシャープな点反射パターンがある。ダイポール合成波形との位相関係が不明確で方位を確定するにはいたらなかったが、空洞のような反射体が存在するものと思われる。

### 8. 2 物理検層と岩芯観察による結果との比較

図 8.1 に物理検層の電気検層曲線、岩芯観察における RQD, fracture 頻度をレーダー図面と合わせてプロットしている。

レーダー (BHRD) ではダイポール合成した直接波のピーク・ピーク振幅および直接波の到達時刻 (サンプル数) を画像とともにプロットしている。またレーダー解析で読み取った割れ目位置を RQD 欄に RANK 別に記入している。

レーダーで読み取った割れ目深度での岩芯は破碎されていることが多く、RQD の減少、割れ目頻度の増加に対応している。また電気検層においては低比抵抗部または低比抵抗部への遷移区間に相当している。深度 300m 付近、370m 付近では複数の割れ目がボーリング孔と交差しており、大きい破碎区間となっている。

逆に、低比抵抗部と岩芯破碎部が反射面として観測されていないものも多く、この原因として、次のようなことがあげられる。

- ① 破碎が孔壁周辺に限られた狭い範囲のものである。
- ② 指向性レーダーの感度が低い。
- ③ 深度方向の変化が大きくてレーダーの波長では分解能がない。

図 8.2(1)～図 8.2(9) にレーダーで読み取った割れ目深度に対応する岩芯観察結果を示す。図はレーダーによる割れ目深度をほぼ中央とする 3m 区間を示し、岩芯写真・割れ目記載の右にレーダーによる割れ目との比較を書いている。岩芯観察では割れ目の方位が不明なため、割れ目の傾斜角度に着目して比較を行ない、対応関係があると推定される割れ目については図中の傾斜角 (Dip Angle) 欄に赤丸を付けている。レーダーによる割れ目深度近傍には割れ目の集合した割れ目帯が存在することが多く、レーダー波の反射は、1 本の割れ目からではなく、割れ目の集合した割れ目帯から起きていると推定できる。

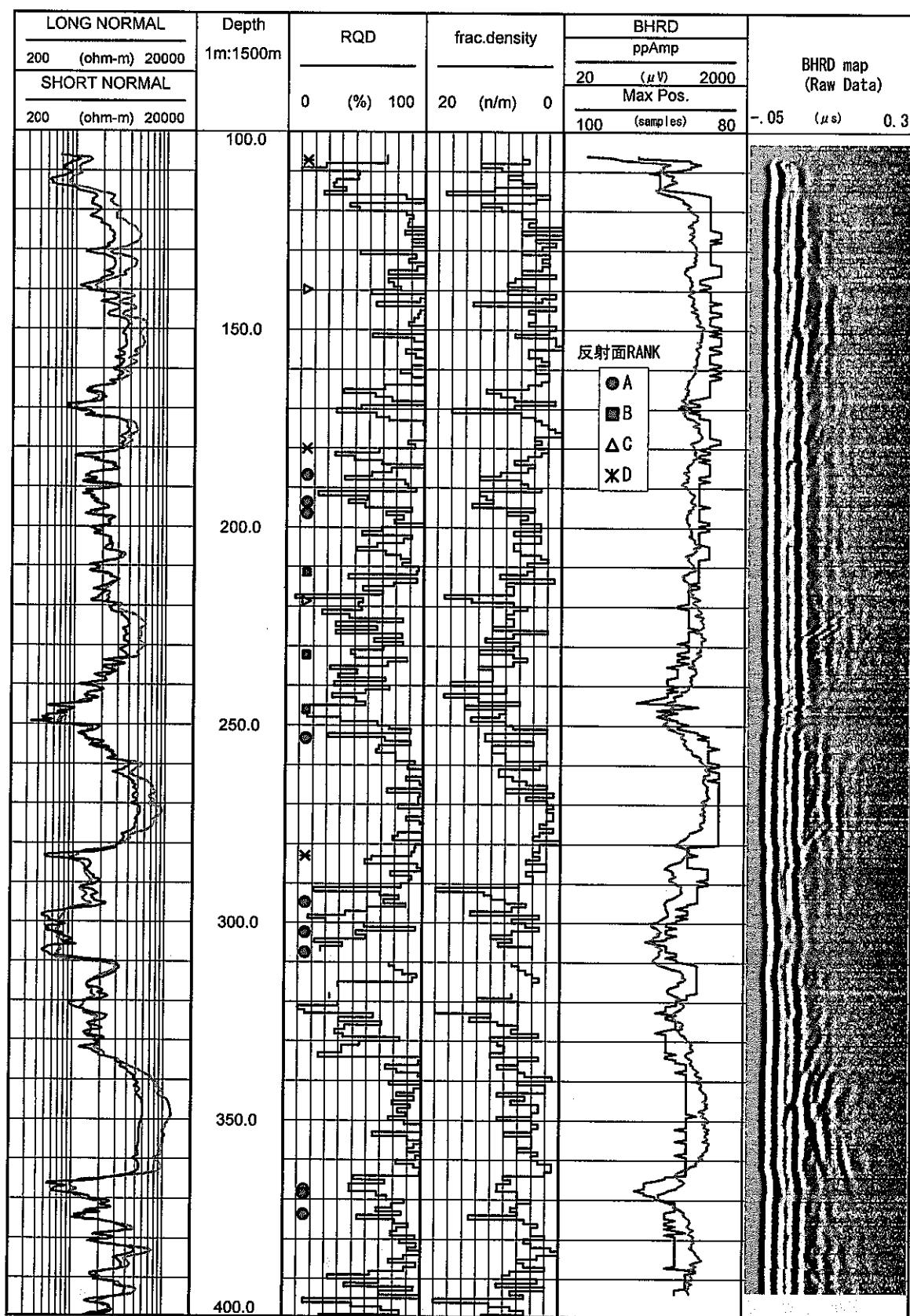


図 8. 1 検層と岩芯観察との比較（全深度）

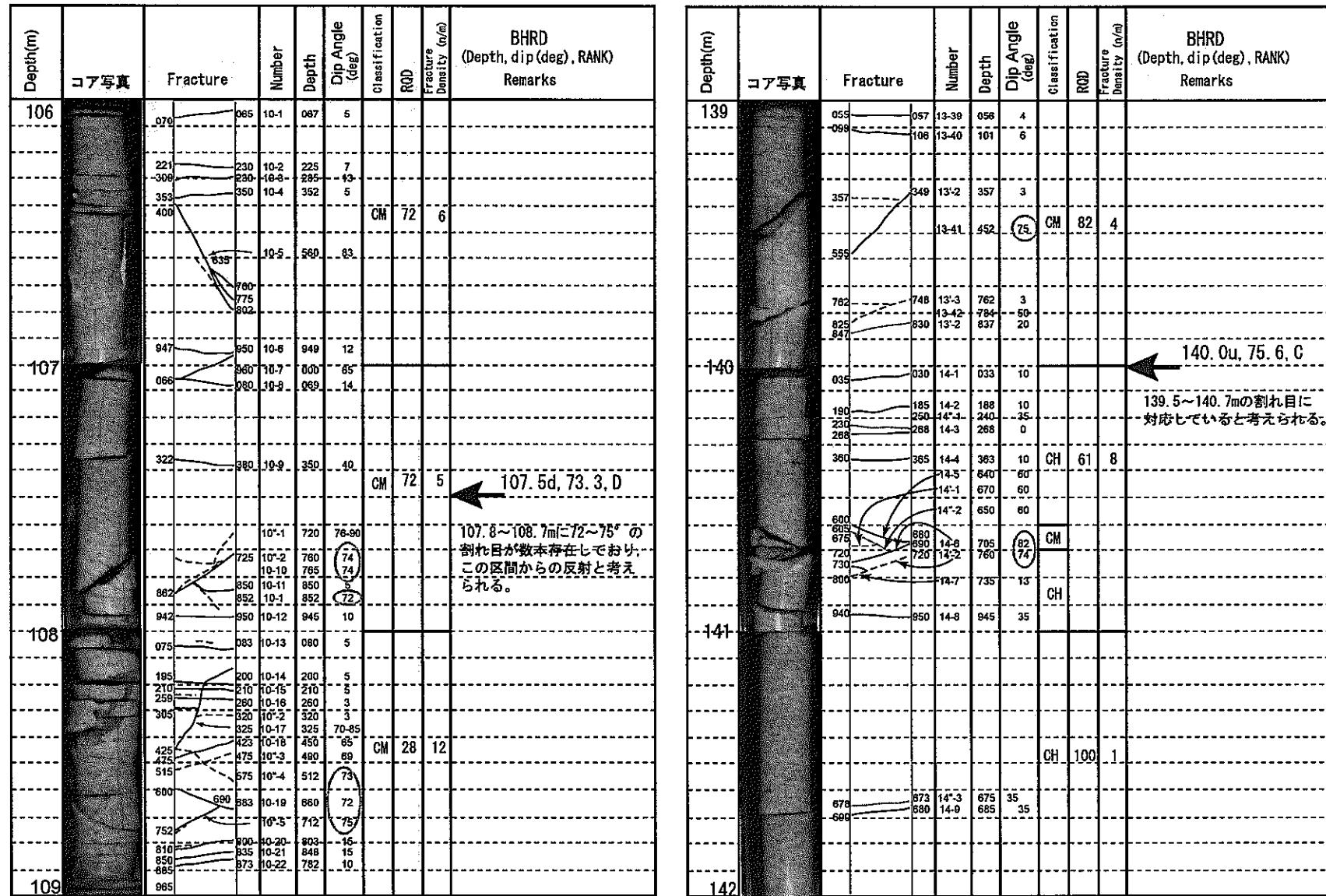


図8. 2 (1) 岩芯観察とレーダー反射面の比較

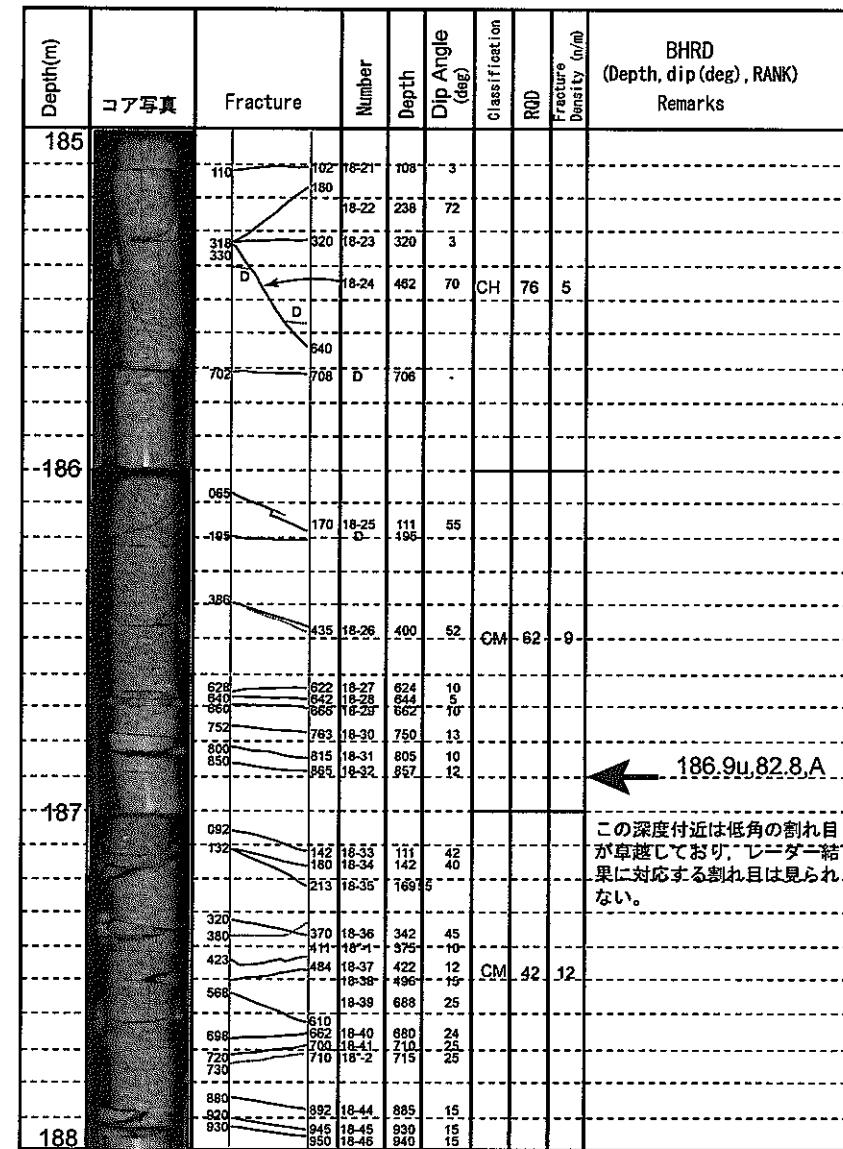
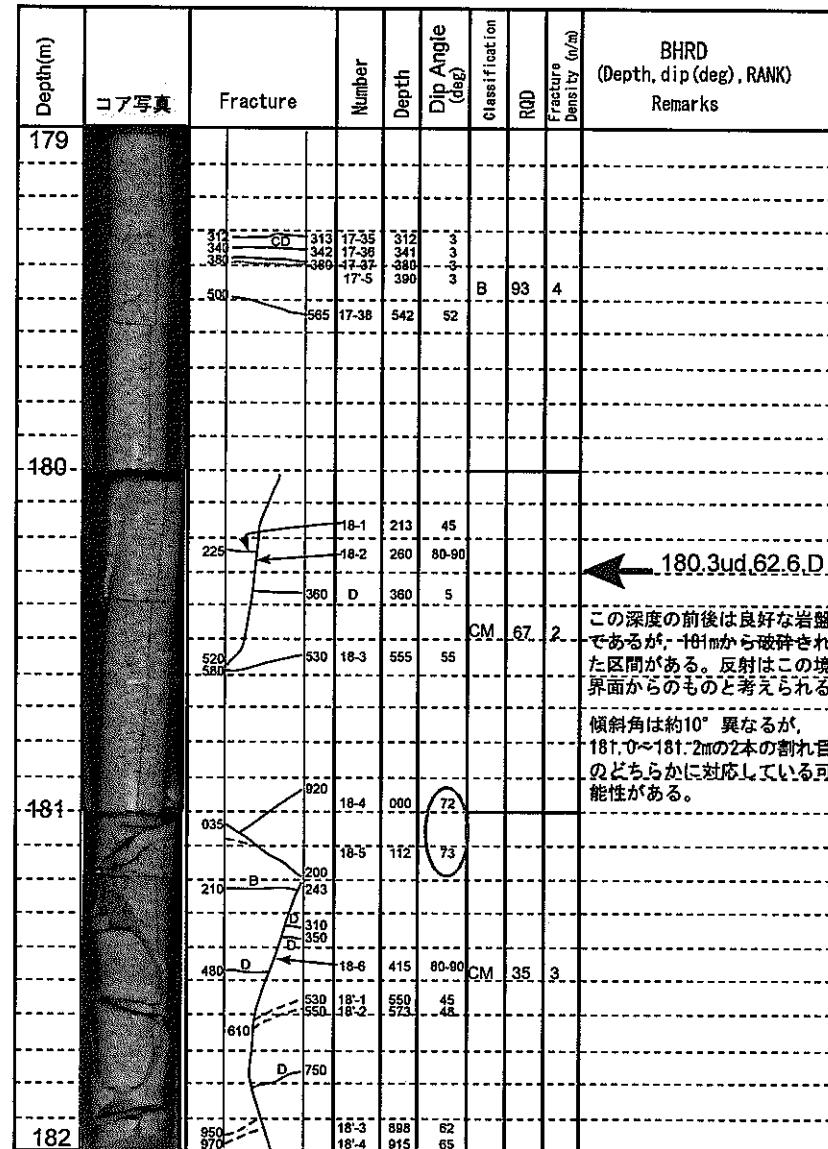


図8. 2 (2) 岩芯観察とレーダー反射面の比較

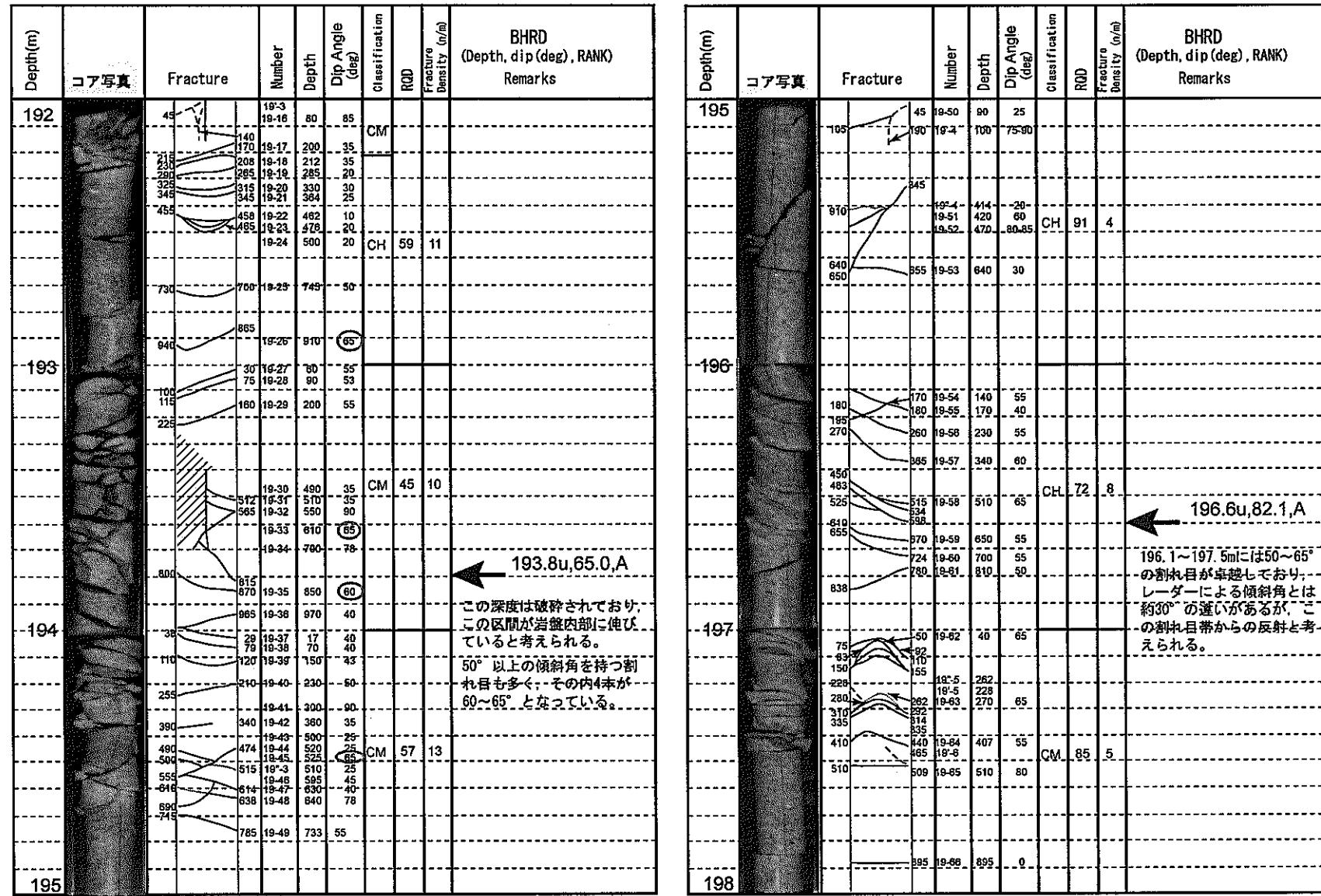


図8. 2 (3) 岩芯観察とレーダー反射面の比較

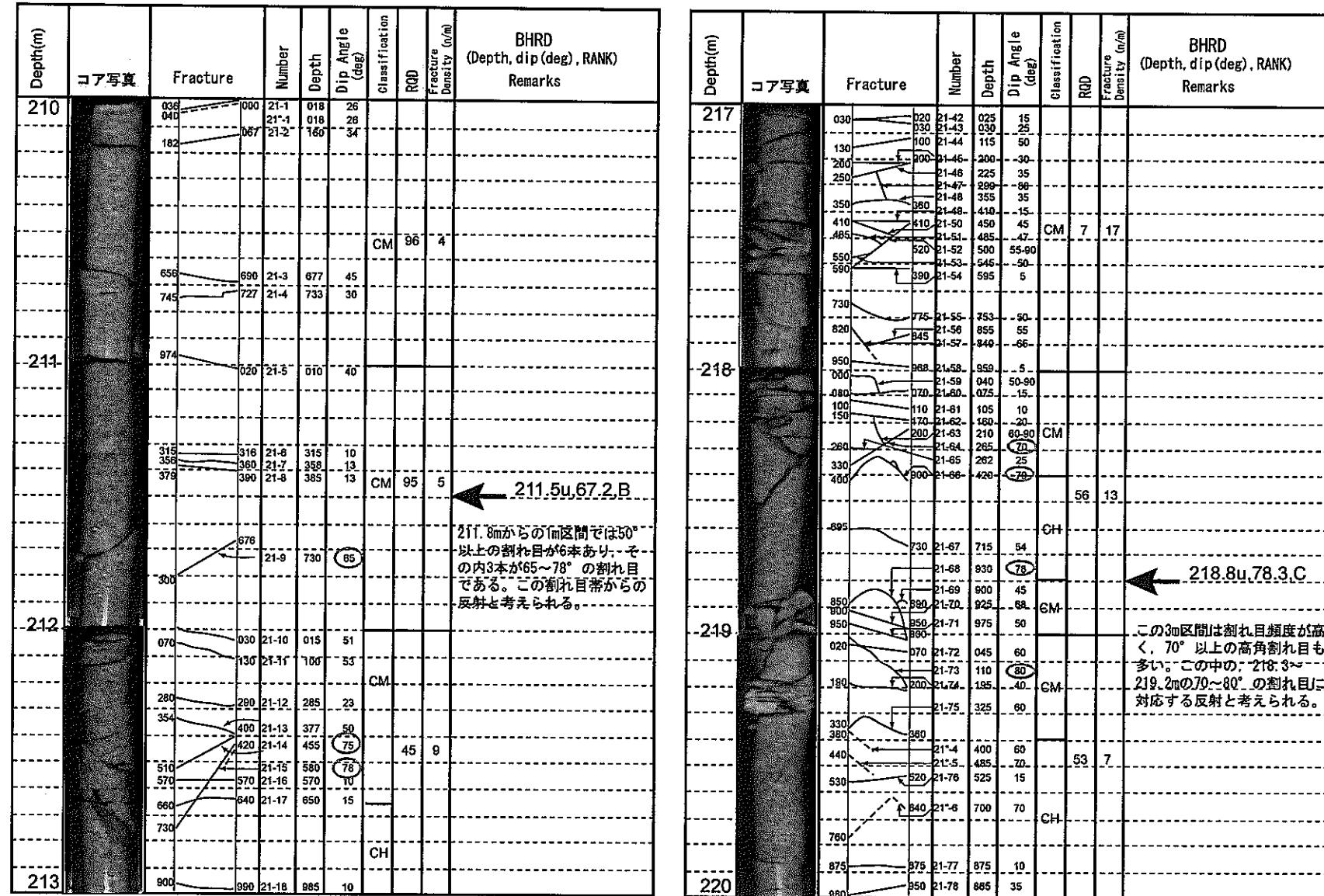
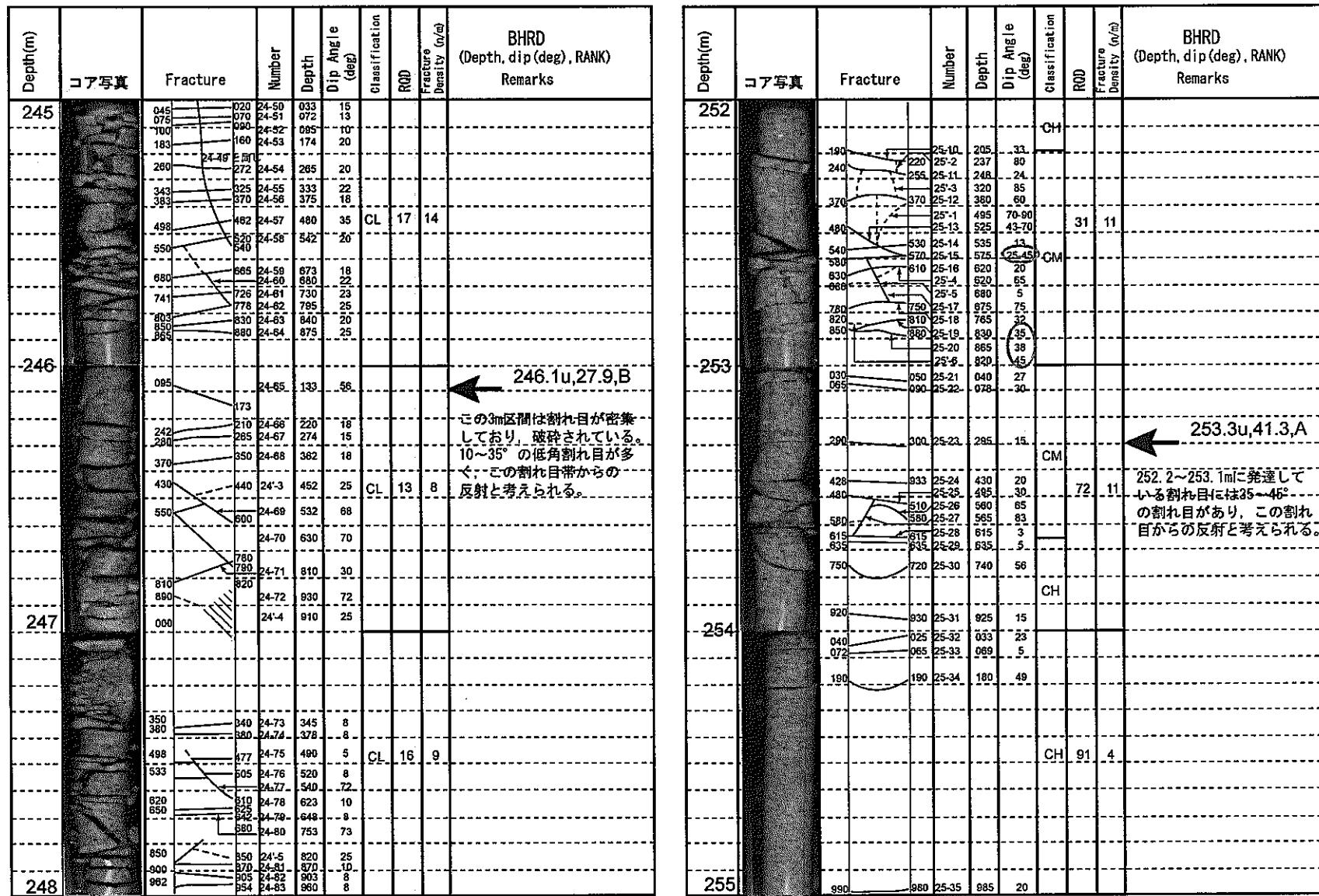


図8. 2 (4) 岩芯観察とレーダー反射面の比較



Depth(m)	コア写真	Fracture	Number	Depth	Dip Angle (deg)	Classification	RQD	Fracture Density (fr/m)	BHRD (Depth, dip(deg), RANK) Remarks
282									
		270	284	28-7	285	10			
									CM 92 4
		613	603	28-8	608	11			
-283		681							
		884	947	28-9	935	69			
			894	28-10.	955	19			
		192							283.1ud, 78.4,D
		304	28-11	243	67				
		391							283.4~283.9mのGL級の岩盤が 高角度で伸びており、この岩 盤境界での反射と考えられる。
		392	431	28-12	413	43	CL	63	3
				28-13	547	79			
		885							
-284		905							
			28-14	652	79				
		107	28-1	105	84				
		133	28-5	157	66				
		259	28-6	232	76				
		285	28-7	265	54				
		309	28-15	289	78				
			28-2	312	29				
		412	28-6	404	-84				
		432							
		479	28-16	505	46				
		507	28-3	512	33				
		530	28-17	529	40				
		550	28-4	612	28				
		638	28-18	659	76				
		706	28-10.	634	1				
285			965						

図8. 2 (6) 岩芯観察とレーダー反射面の比較

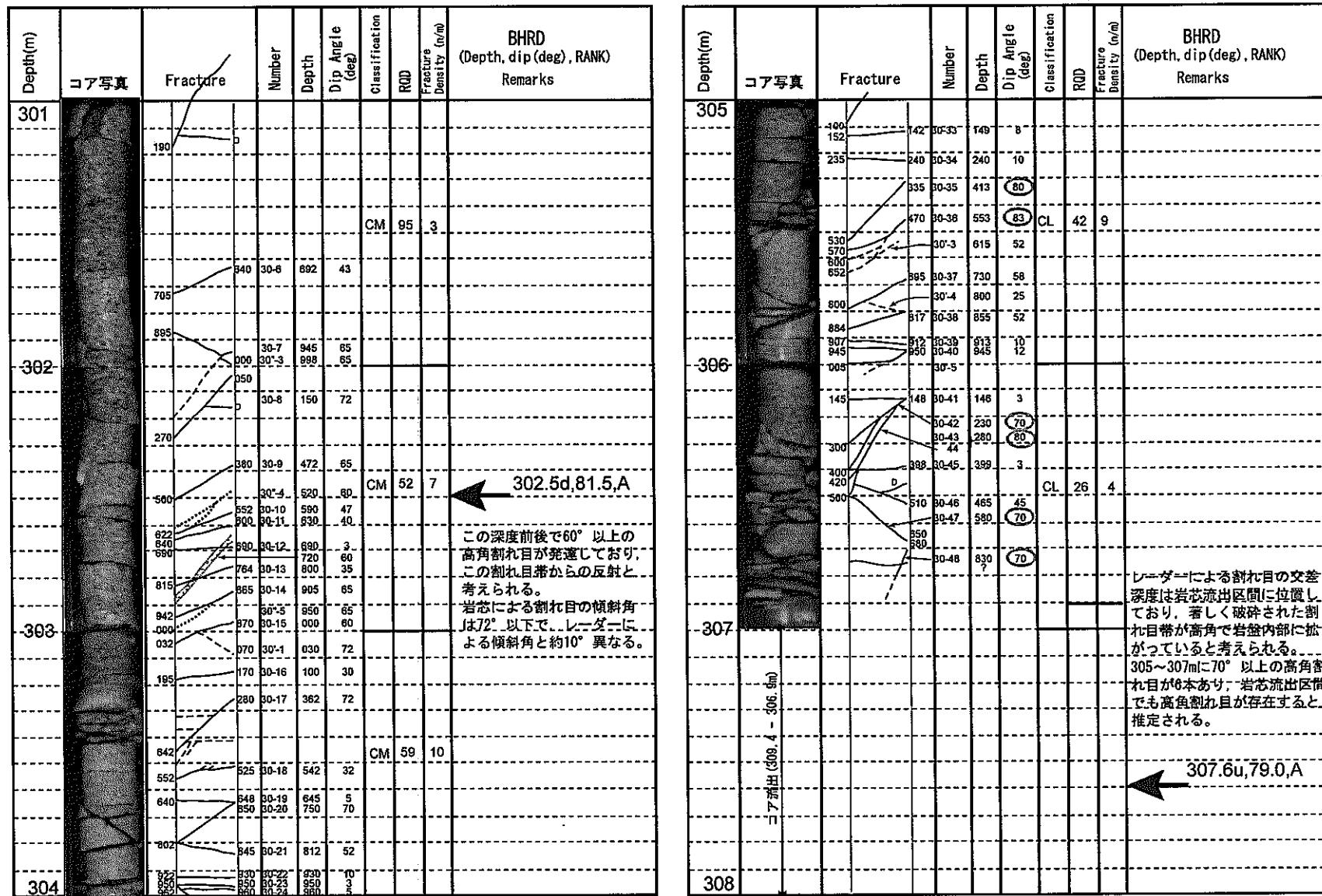


図8. 2 (7) 岩芯観察とレーダー反射面の比較

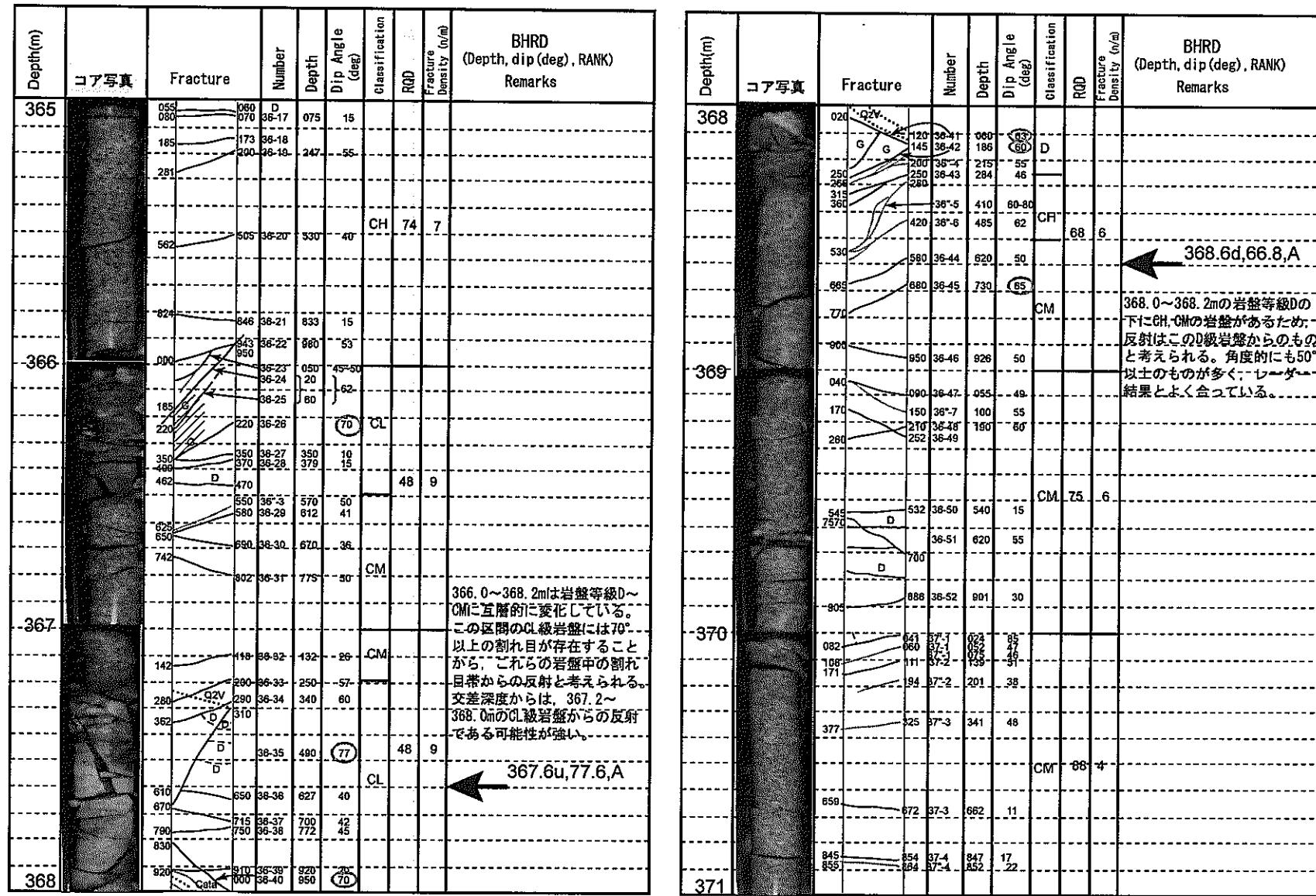


図8.2(8) 岩芯観察とレーダー反射面の比較

Depth(m)	コア写真	Fracture	Number	Depth	Dip Angle (deg)	Classification	BHRD (Depth, dip(deg), RANK) Remarks		
							RQD	Fracture Density (n/m)	
372			036, 046, 238, 365	37-5, 37-11, 37-12, 37-13	049, 056, 232, 341	29, 21, 31, 51			
			200	37-12	232	31			
			308	37-13	341	51			
							CHL	68	7
			715, 725, 758, 787, 813	37-5, 37-14, 37-15, 37-16, 37-18	737, 746, 774, 844	69, 38, 36, 50			
			864, 041, 154, 176	37-17, 37-18, 37-19, 37-20	865, 051, 182, 191	1, 36, 34, 46			
			184	37-19	182	34			
			218	37-20	191	46			
			454	37-21	486	53	CM	86	6
			515, 527	37-6	532	51, 55			
			558	37-6	532	51			
			601	37-22	632	55			
			715	37-23	812	77			
			901						
373									
			217, 222, 246, 366	37-7, 37-8, 37-9, 37-10	187, 187, 143, 276	28, 23, 55, 50			
			295	37-28	219	23			
			388	37-28	276	50			
			432	37-10	409	56			
			493	37-28	503	31	CM	54	13
			518	37-30	509	42			
			687	37-31	663	14			
			768	37-32	794	16			
			794	37-33	799	47			
			810	37-34	809	17			
			859	37-35	853	31			
			895						
374									
			493, 521	37-30	509	42			
			656	37-31	663	14			
			789	37-32	794	16			
			803	37-33	799	47			
			819	37-34	809	17			
			844	37-35	853	31			
			895						
375									
			946	37-36	914	42			

図8. 2 (9) 岩芯観察とレーダー反射面の比較

### 8. 3 ボアホールテレビ解析結果との比較

指向性レーダーによる割れ目解析の結果を、本ボーリング孔で実施されたボアホールテレビ（BTV）による割れ目と比較した。BTVでは割れ目の方位が解析されていることから、比較は割れ目の方位を主眼において行なった。BTVによる割れ目を Tadpole（オタマジャクシ）プロット、Rose プロット、Polar プロットで表示し、Tadpole プロットと Polar プロットにはレーダーによる割れ目を重ねて表示した。各プロットの表示方法を図 8.3 に示す。各プロットの方位については走向ではなく、割れ目の傾斜方向の方位で示されている。

図 8.4(1)～図 8.4(3)に、レーダー解析での割れ目深度を中心とした 5 m 区間についての比較を示してある。レーダー反射面名 246.1u と 253.3u は傾斜角がそれぞれ  $27.9^\circ$  と  $41.3^\circ$  だったので、 $10^\circ \sim 60^\circ$  の傾斜角に制限し、それ以外のレーダー反射面については傾斜角が  $62.6^\circ$  以上なので  $50^\circ \sim 90^\circ$  の傾斜角に制限してプロットした。Rose プロットと Polar プロットは、BTV 割れ目のうち“明瞭割れ目”と“開口割れ目”に区分されたもののみプロットしている。

深度 290m 以浅の割れ目については、レーダー結果と BTV 結果はほとんど対応がつかないが、それ以深の割れ目については 368.6d を除き、 $15^\circ \sim 25^\circ$  の方位差の範囲で両者の対応がつく傾向にある。方位差のずれ方向については特徴的な傾向は見られなかった。

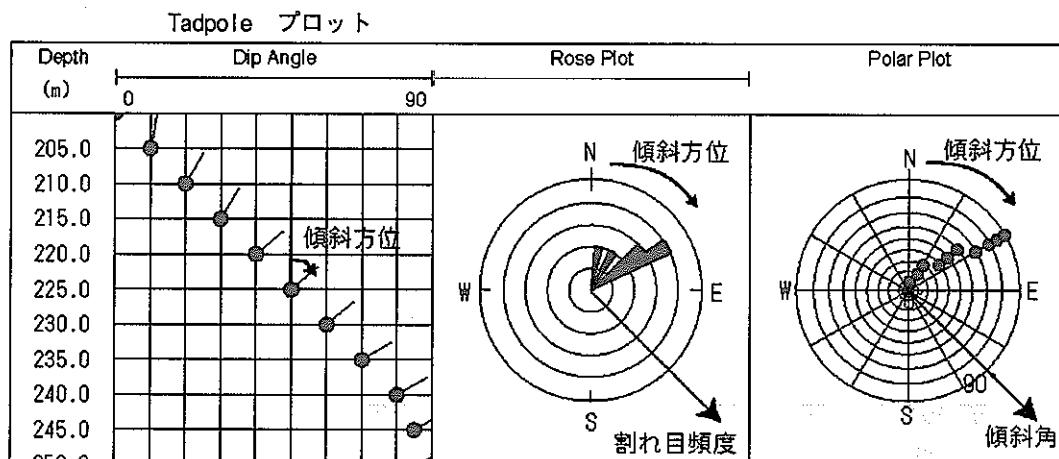
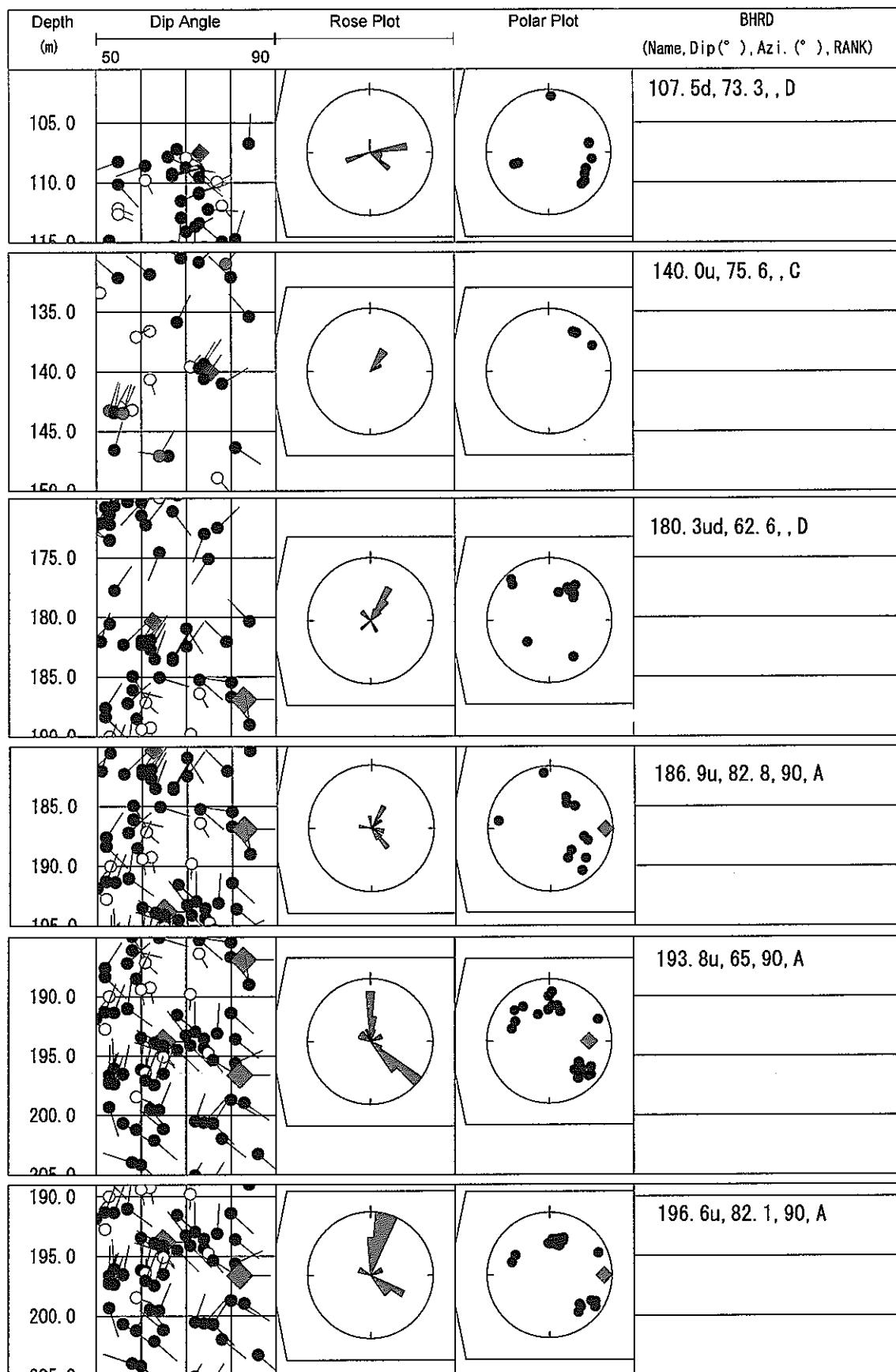


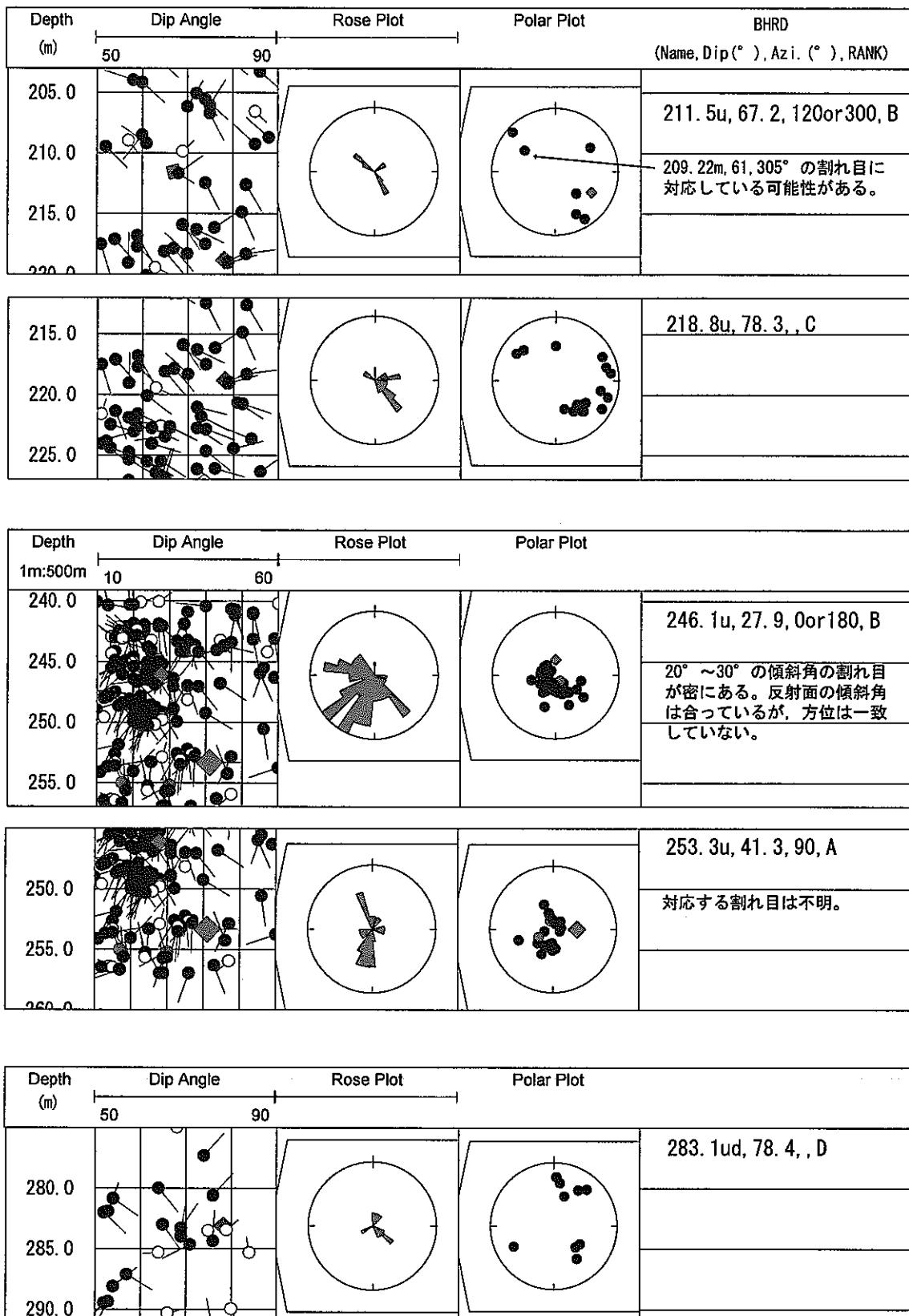
図 8.3 割れ目プロットの表示方法



#### 記号区分

BTV解析 :	明瞭割れ目	開口割れ目	破碎帶上盤・下盤	ヘーカラック, 鉱物脈 流理構造, 層理面, 境界面
ボアホールレーダー解析 :				

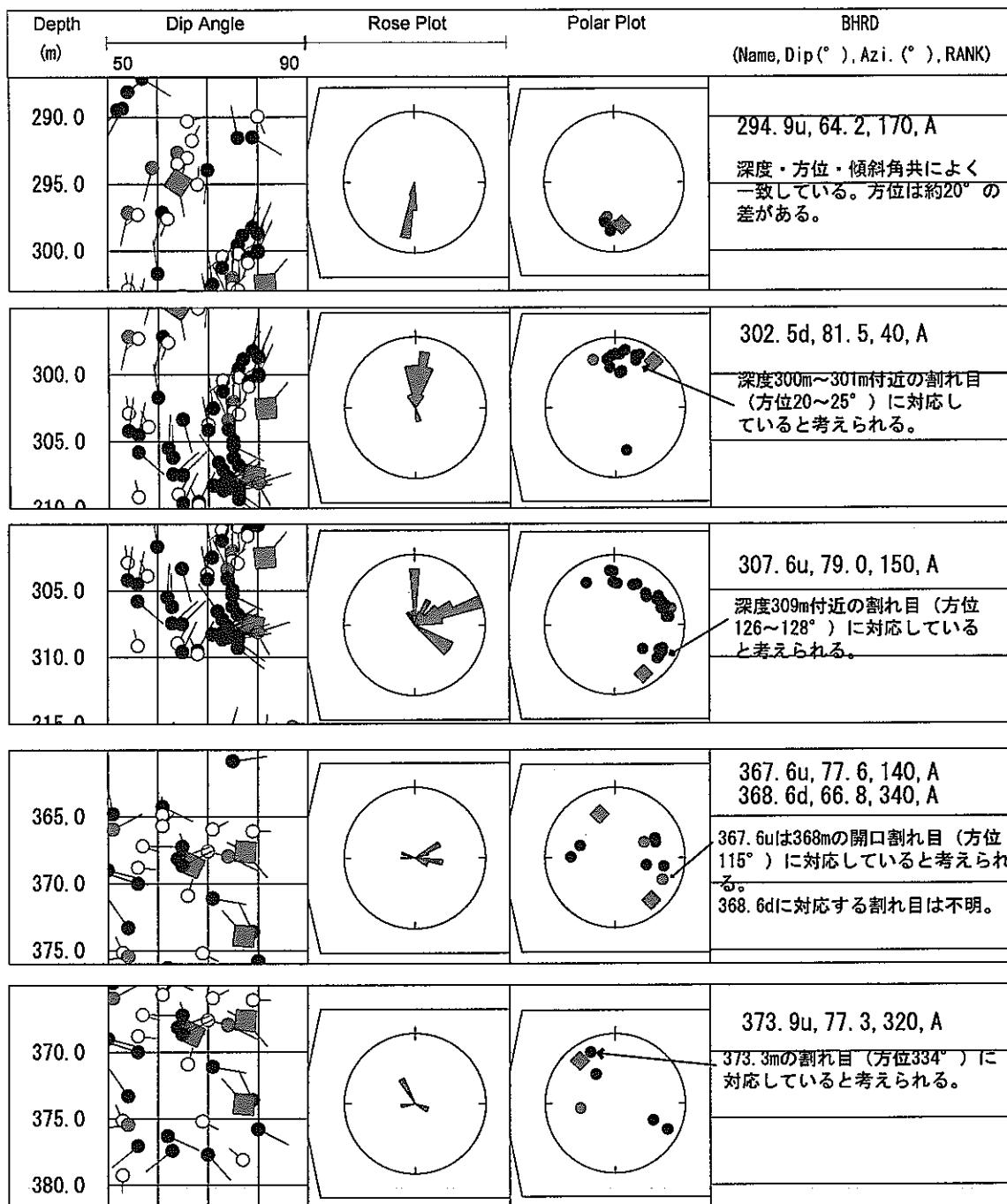
図8. 4 (1) ボアホールテレビとレーダー反射面の比較



#### 記号区分

BTV解析 :	● 明瞭割れ目	● 開口割れ目	○ 破碎帶上盤・下盤	○ ヘアクラック, 鉱物脈 流理構造, 層理面, 境界面
ボアホールレーダー解析 :				

図8.4(2) ボアホールテレビとレーダー反射面の比較



#### 記号区分

BTW解析 :	明瞭割れ目	開口割れ目	破碎帶上盤・下盤	ヘーアクラック, 鉱物脈 流理構造, 層理面, 境界面
ボアホールレーダー解析 :	RANK A	RANK B	RANK C,D	

図8. 4 (3) ボアホールテレビとレーダー反射面の比較

## 9. 室内実験結果

RAMAC™指向性ボアホールレーダーの指向性特性を評価するために電波暗室内で実験を行なった。使用した電波暗室は、壁面と天井に電波吸収体を取り付けられ、床面は大地と同等の電波反射特性をもつように構成されている。

電波暗室内に送・受信機とそれぞれのバッテリ、データ収録用のコンピュータとコントロールユニット、アルミニウム反射板を持ち込み測定を行なった。図 9.1 に電波暗室とその内部に持ち込んだ測定器の概略を示す。指向性受信器と送信器は床面から垂直に立てた状態で測定した。測定者は電波暗室内にとどまり測定の制御、アンテナ回転作業などを行なった。

指向性受信器のアンテナは図 9.2 に示すように、#1～#4 の 4 本の直交するループアンテナで構成されており、アンテナの方位は、基準方位に対する#1 アンテナの回転角（時計回り）で示される。

### 9. 1 アンテナ回転による指向性特性試験

送信器 (Tx) と指向性受信器 (Rx) を図 9.3 のように 10m の距離に固定し、Rx を  $0^\circ \sim 360^\circ$  に  $15^\circ$  ごとに回転させながら波形収録を行なった。測定は波源 (Tx) の方向と直接波の振幅の関係を調べることを目的としている。基準方位は Tx 方向とした。表 9.1 に実験のパラメータを示す。

表 9. 1 アンテナ回転実験のパラメーター一覧

項目	内容
受信アンテナ	4-エレメントループアンテナ
送信アンテナ	60MHz ダイポールアンテナ
サンプリング周波数	893.764MHz
スタック数	32 回
アンテナ間距離	10.0m
アンテナ方位基準 ( $0^\circ$ )	送信器方向
回転間隔／回転方向	$15^\circ$ / 時計回り
1 方向あたりの収録波形数	2 trace

収録した波形の第 1 と第 2 ピークの振幅値からピーク-ピーク振幅 (ppAmp.) を図 9.4 に示すように求め、回転角度についてプロットしたものを図 9.5 に示す。

この実験でわかるなどを次に列挙する。

- (1) 受信信号はアンテナ回転角に依存しないダイポール成分と指向性成分が混合されたもので、相対的に大きいダイポール成分に小さな指向性成分が重畠している。
- (2) 指向性成分は回転角度に対して正弦波的に変化し、ループ面が波源方向に対して平行になる 2 方向で最も感度が強く、振幅が最大あるいは最小となる。これは RAMAC™ の指向性アンテナが電界と直交する磁界変化を観測していることによる。
- (3) 指向性成分は理想的な正弦波関数ではなく、4 つのループアンテナそれぞれに異なる特

性を有する。

- (4) ダイポール成分の振幅値は4つのアンテナにより異なる。回転角度ごとの振幅の平均値をそのアンテナのダイポール成分とすると、最大値（アンテナ番号1）と最小値（アンテナ番号3）の比は1.16倍になっている。

(

(

(

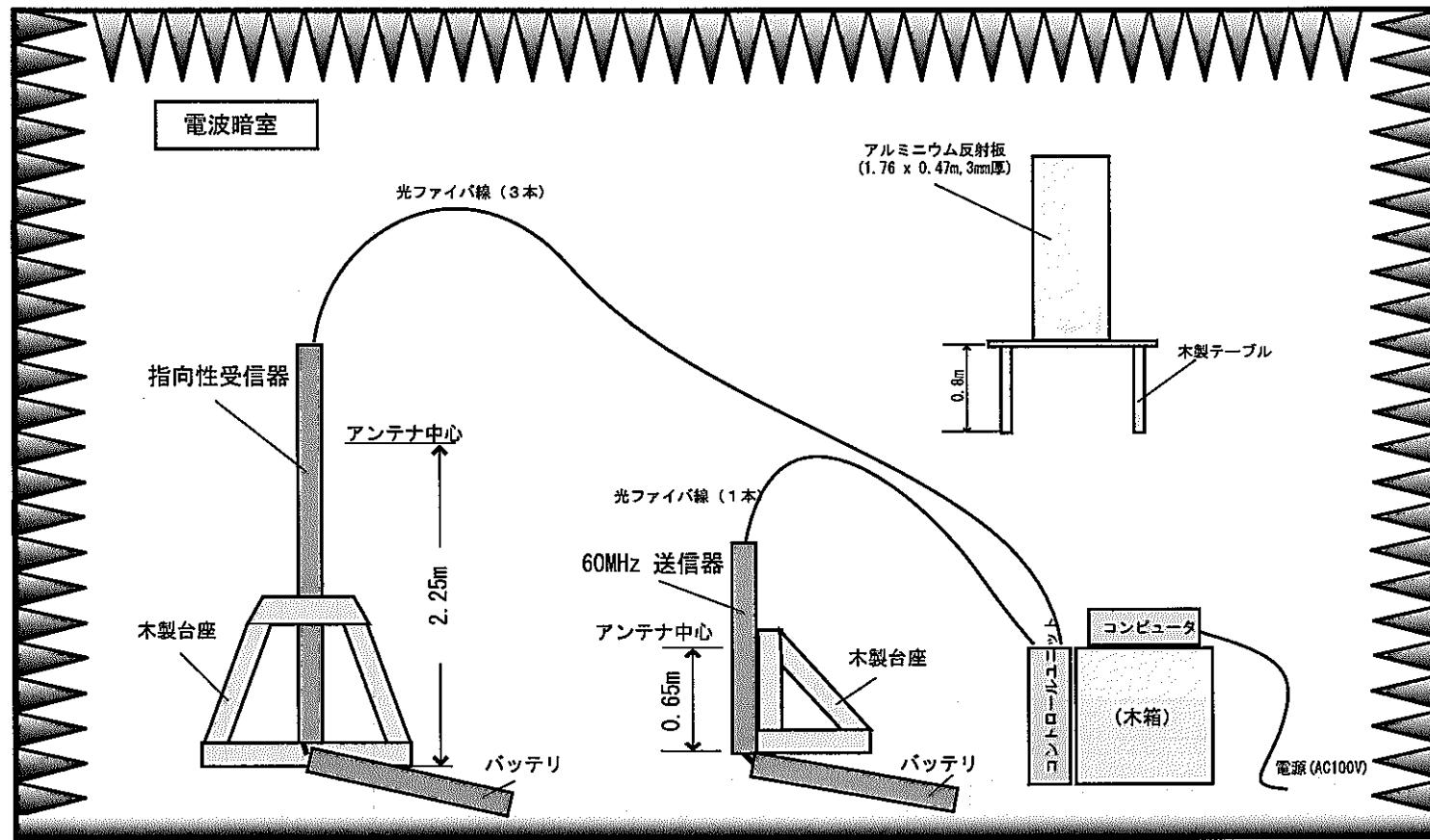


図9.1 指向性特性実験の概略図

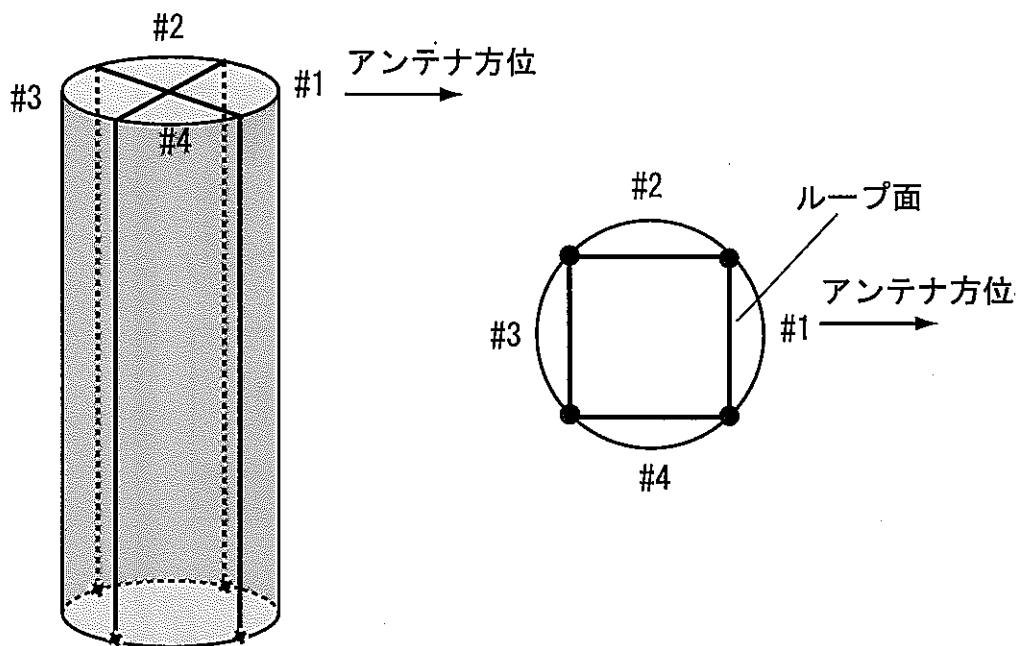


図9. 2 指向性アンテナ構成とアンテナ方位



図9. 3 アンテナ回転実験のアンテナ配置

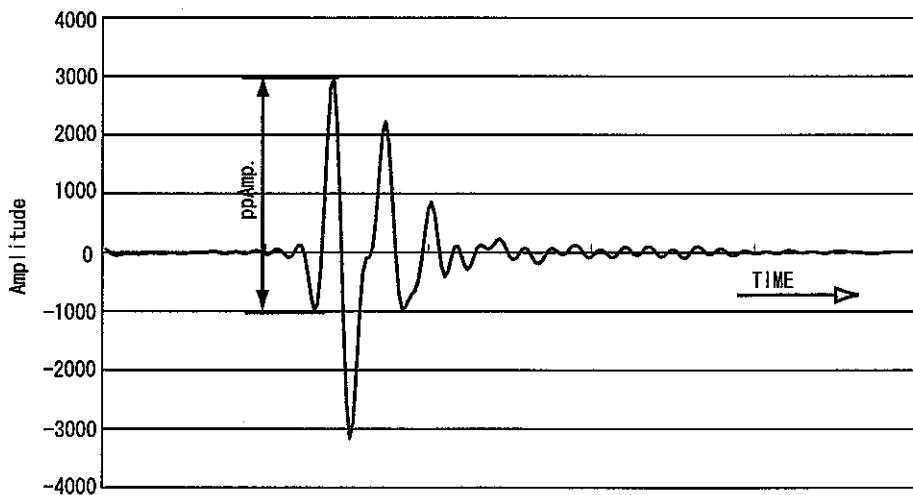


図9. 4 測定波形とピーク-ピーク振幅 (ppAmp.)

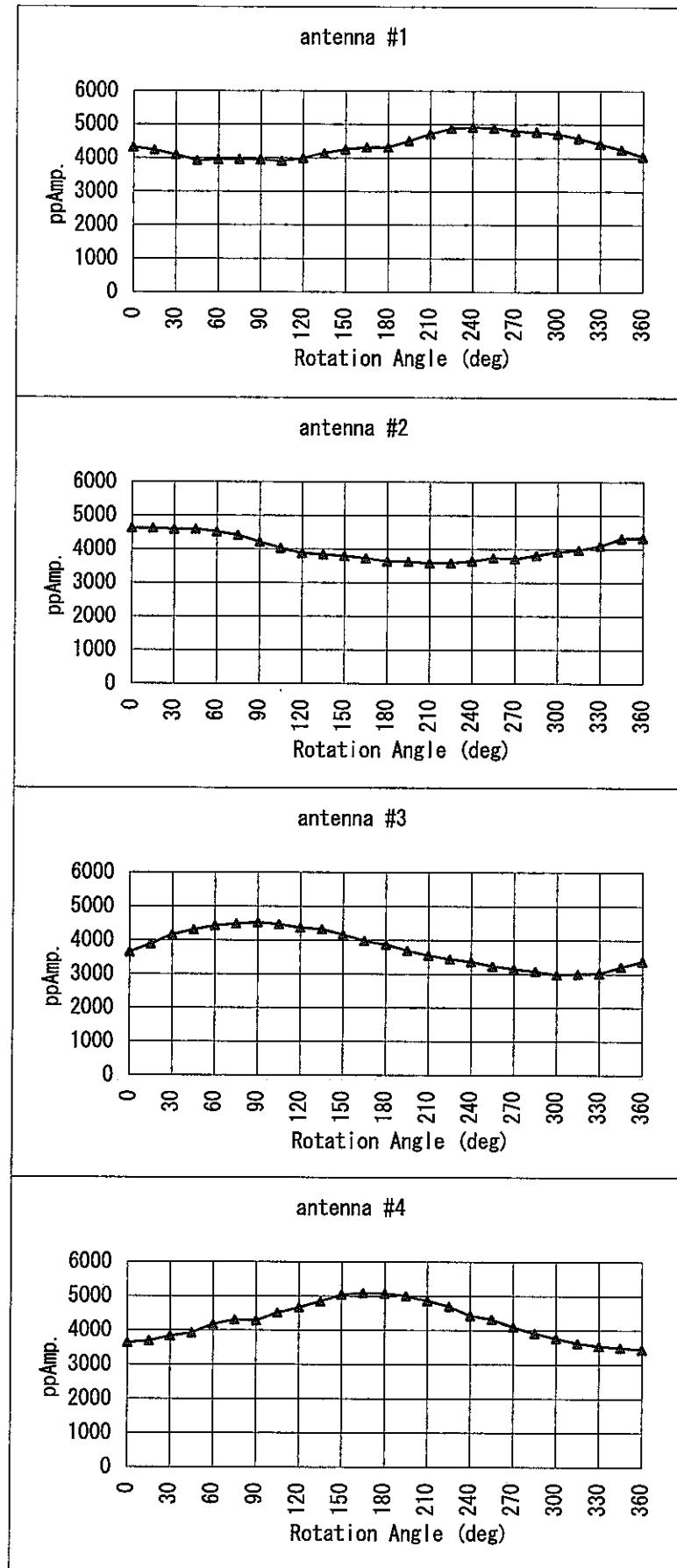


図9. 5 アンテナ回転による振幅の変化

## 9. 2 反射板による指向性特性試験

反射方位の方位分解能を検討するために反射板を使った実験を行なった。実験は図 9.6 に示す配置で、反射板の位置を送受信器の中間点から 13.0~5.0m の距離で 1m ごとに移動させながら反射波の観測を行なった。表 9.2 に実験のパラメータを示す。反射板位置ごとの反射波の方位・走行距離の計算値と、観測された到達時刻を表 9.3 に示す。反射波の到達時刻については、RAMAC™システムでは送信時刻が不明なため、数値は相対的で、時間差のみ有効である。

表9. 2 反射板実験のパラメーター一覧

項目	内 容
受信アンテナ	4-エレメントループアンテナ
送信アンテナ	60MHz ダイポールアンテナ
サンプリング周波数	893.764MHz
スタック数	32 回
アンテナ間距離	6.0m
方位基準 (0°)	送信器方向
アンテナ方位	送信器方向 (固定)
反射板距離	13.0m~5.0m (1m ごとに測定)
1 方向あたりの収録波形数	5trace
反射板材質	アルミニウム
反射板寸法 (縦×横×厚さ)	1.76m×0.47m×3.0mm

表9. 3 反射板位置ごとの反射波の方位・距離・到達時刻

反射板位置 (m)	反射波方位 (°)	反射波の走行距離 (m)	反射波の到達時刻 (μs)
13	77.0	26.68	0.1410
12	76.0	24.74	0.1354
11	74.7	22.80	0.1287
10	73.3	20.88	0.1242
9	71.6	18.97	0.1152
8	69.4	17.09	0.1096
7	66.8	15.23	0.1018
6	63.4	13.42	0.0996
5	59.0	11.66	0.0929

方位別の合成波形の最大振幅出力を図 9.7(1)に、最小振幅出力を図 9.7(2)に濃淡表示する。図 9.7(1)では合成方位  $310^{\circ} \sim 5^{\circ}$  の範囲で、図 9.7(2)ではそれと直交する合成方位  $40^{\circ} \sim 95^{\circ}$  の範囲でそれぞれ  $5^{\circ}$  間隔で示す。方位別図の左側の数字が合成方位で、反射板位置がそれぞれ  $13, 12, 11m, \dots, 5m$  のときの観測波形を上から並べた記録である。この記録上で認められる反射板からの反射波に着目して反射板方位の解析を試みた。

図 9.7(1)の最大振幅表示では、方位の変化に対する反射振幅の変化は小さく、最大振幅方位を特定しにくい。しかしながら、図 9.7(2)の最小振幅表示では、反射板位置  $13 \sim 10m$  (方位  $77.0 \sim 73.3^{\circ}$ ) の反射波に着目すると、方位  $75 \sim 80^{\circ}$  で最小振幅となっていることがわかる。これは反射波の波源方位が  $75 \sim 80^{\circ}$  にあることを示しており、RADINTER™による  $10^{\circ}$  ごとの解析では反射面方位  $70 \sim 80^{\circ}$  に解析されることになる。すなわち、RADINTER™による指向性レーダーの方位解析は  $\pm 10^{\circ}$  の誤差範囲内で解析されていることを示している。

この反射板実験の反射波到達時刻と距離の関係をプロットしたものを図 9.8 に示す。最小二乗法から計算された電磁波速度は  $306.7$  ( $m/\mu s$ ) で、空気中の電磁波速度  $300.0$  ( $m/\mu s$ ) と比較して約 2% の誤差であり、測定システムの時間精度は十分であるといえる。

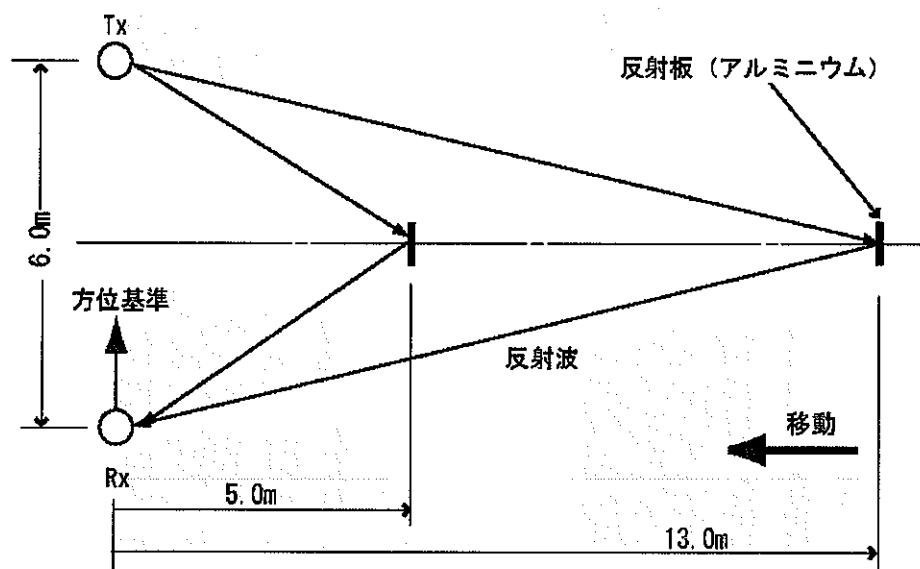


図 9.6 反射板実験配置図

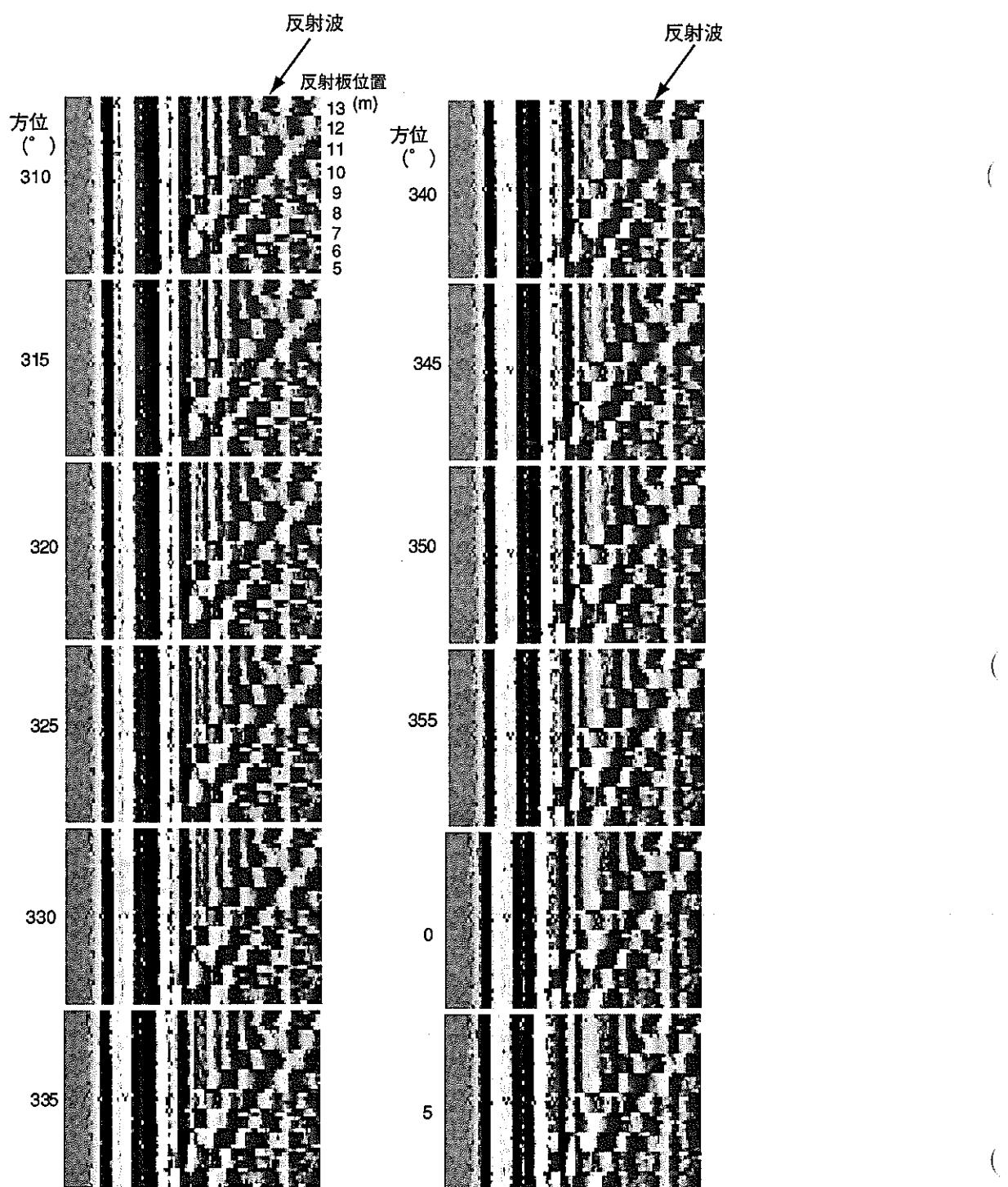


図9.7(1) 反射板実験の方位別出力（最大振幅）

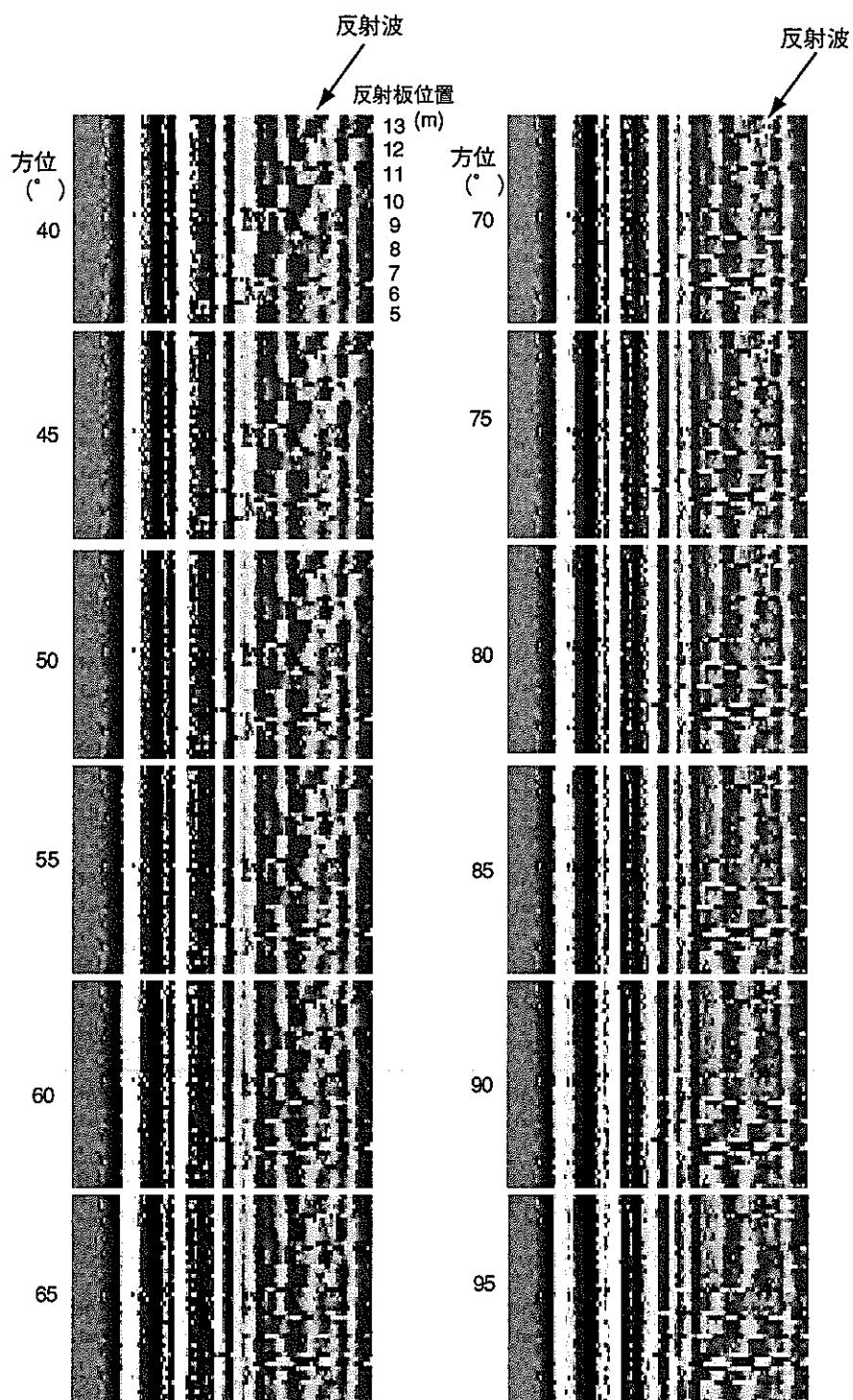


図9.7(2) 反射板実験による方位別出力（最小振幅）

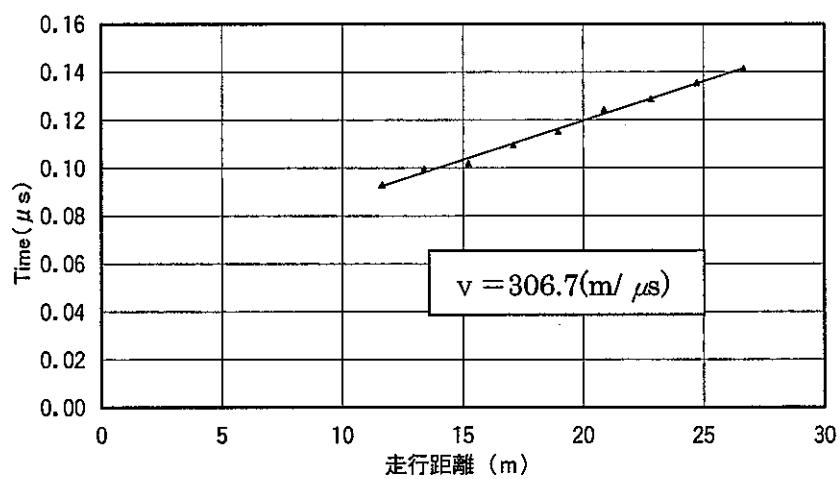


図9.8 室内実験での電磁波速度

## 10. MIU-2号孔による反射について

9章に記した室内実験結果を踏まえ、01MS-06号孔における測定結果からMIU-2号孔からの反射波を解析することにより、フィールドデータを対象として、解析される反射面方位の精度について確認されることが期待された。

MIU-2号孔は、本調査孔からみて北から時計回り $69^{\circ}$ の方向、距離14mに位置している垂直ボーリング孔（孔径98mm）である。図6.2に示した角度別分割断面の $160^{\circ}$ 方向に最大振幅となって出現するはずであるが、それに対応する反射パターンは見られない。

水平方向全周に対してMIU-2号孔の孔径が小さいことと、指向性レーダーの感度が低いことが原因だと考えられる。

## 11. まとめ

ボーリング孔を使って、指向性レーダー反射法測定と岩芯観察を行なった。レーダーの割れ目解析からは17個の面反射と1個の点反射が解析され、そのうち10個の反射面方位を確定できた。また、岩芯観察では、花崗岩中の割れ目記載を岩芯写真と共に記載シートにまとめることができた。

解析された反射面と岩芯観察結果を比較すると、レーダーの反射面は割れ目の集合した割れ目帯に対応していることがわかった。また、レーダー反射面とボアホールテレビとの割れ目方位の比較では、深度290m以深で対応する割れ目が存在する結果が得られた。

本調査孔に隣接するボーリング孔（MIU-2号孔）からのレーダー反射を観測することはできず、フィールドにおいて反射方位の精度を評価することはできなかったが、室内実験では土 $10^{\circ}$ の精度で反射方位を決定できていることから、本調査においても、反射面が明瞭に観測されているならば、反射面（割れ目）方位を土 $10^{\circ}$ の精度で決定できていると考えられる。

### （参考文献）

- [1] Chiba,A. et.al.; "Application of Borehole Radar to Characterize Fracture Developing Rock Mass", Proceeding of 6th International Conference on Ground Penetrating Radar,(1996)
- [2] 加藤倅史,他; "数十MHz帯域電磁波トモグラフィデータの特性解析とそのインバージョン", 物理探査 Vol. 46 No. 1, (1993)

岩 芯 記 載 シ ー ト

Hole Name	01MS-06	Depth	110m ~ 115m		Logged by	水落		Reviewed by		Begun	02/12/16	Finished	02/12/17	Scale	1/20														
Depth (mab)	Lithofacies	Rock name	Texture	Phenocyst: classification and size	Color index	Weathering	Rock mass classification	RQD(Core recovery)	Fracture Density (n/m)	Fracture column	Number	Depth	Dip angle (degree)	Type	Striation (angle)	Cause for occurrence	Fault rock	Classification	Thickness range	Width (mm)	Wallrock alteration	Chloritization	Hematitization	Argilization	Fe-oxyhydroxide/hydroxide	Leaching	Fracture fillings	Materials (volume %)	Remarks
110	medium grained biotite granite	equigranular	Qz:1-4mm(3mm), Pl:2-6mm(5mm), Kfs:2-5mm(3mm), bt:0.5-2mm(1mm)	7%																									
111																													
112																													
113																													
114																													
115																													

Hole Name	01MS-06	Depth	295m ~ 300m	Logged by	荒木(295-298), 水落(298-300)	Reviewed by		Begun	02/12/19	Finished	02/12/19	Scale	1/20													
Depth (mab)	Lithofacies	Rock name	Texture	Fracture description												Remarks										
				Phenocryst classification and size	Color index	Weathering	Rock mass classification	RQD/core recovery	Fracture Density (n/m)	Fracture column	Number	Depth	Dip angle (degree)	Type	Striation (angle)	Cause for occurrence	Fault rock	Wallrock alteration			Fracture fillings					
295	medium grained granite	equigranular	Qz:2-8mm(3mm), Pl:1-10mm(2mm), Kfs:2-30mm(3mm), bt:0.5-3mm(1mm)	5-10%	CH	88 (100)	5 (7)	500	29-58	500	0	Wr	-	T	-	T	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
296									050	070	29-59	060	12	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-
297					CH	60 (100)	7 (8)	420	410	29-60	415	5	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
298					CM	44 (100)	13 (15)	550	700	29-61	685	48	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
299					CL	17 (100)	3 (6)	430	740	29-62	745	5	Sr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
300					CL	30 (100)	7 (9)	630	840	29-63	845	5	Sf	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								910	940	29-64	940	40	Wr	-	SorT	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								970	970	29-65	945	45	Sf	-	SorT	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								100	100	29-66	980	5	Wr	-	SorT	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								110	110	29-67	100	50	Wr	-	SorT	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								120	120	29-68	110	50	Wr	-	SorT	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								130	130	29-69	148	15	Wr	-	SorT	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								140	140	29-70	158	25	Wr	-	SorT	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								150	150	29-71	170	60	Wr	-	SorT	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								200	300	29-71	275	50	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								380	380	29-72	370	12	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								29-73	590	78	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-			
								590	590	29-74	592	10	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								625	625	29-75	625	8	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								880	880	29-76	880	12	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								900	900	29-76	880	12	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								980	980	29-78	970	35	Wr	-	T	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	-	
								132	135	29-79	134	5	Wr	-	S	-	<10	1	1	1	2(Pi)	1	1	0	Chl(1)	
								29-7	222	85	Wr	-	S	-	fault gouge	2	<1	2	2	1	2	1	2	Chl(3), Cly(3)		
								29-8	300	85	Wr	-	S	-	fault gouge	3	25	3	3	1	3	1	2	Chl(4), Cly(3)		
								430	430	29-80	600	78	Wr	-	S	-	fault gouge	1	10	3	3	1	3	1	2	Chl(4), Cly(3)
								640	780	29-80	600	78	Wr	-	S	-	fault gouge	3	5	3	3	1	3	1	2	Chl(4), Cly(3)
								690	690	29-81	715	72	Wr	-	S	-	fault gouge	5	2	2	1	2	1	2	1	Chl(4), Cly(3)
								950	950	29-9	905	65-80	Wr	-	S	-	fault gouge	1	10	3	3	1	3	1	2	Chl(2)
								120	120	29-10	130	80	Wr	-	S	-	fault gouge	1	10	3	3	1	3	1	2	Chl(3), Cly(2)
								200	221	29-82	250	35	Sf	-	S	-	fault gouge	0	1	1	1	1	1	2	0	-
								380	380	29-83	480	72	Wr	SL(0)	S	gouge	2	<1	2	2	1	2	1	2	Chl(4), Cly(3)	
								540	555	29-84	630	70	Wr	-	S	-	gouge	<1	2	2	1	2	1	2	0	-
								666	666	29-85	675	48	Sf	-	S	-	gouge	<1	2	2	1	2	1	2	1	Chl(3), Cly(3)
								700	700	29-86	721	53	Sf	-	S	-	gouge	<1	2	2	1	2	1	2	1	-
								760	760	29-87	768	55	Wr	-	S	-	gouge	<1	2	2	1	2	1	2	1	-
								835	835	29-88	863	60	Wr	-	S	-	gouge	<1	2	2	1	2	1	2	1	-
								895	895																	

Hole Name:	01MS-06	Depth	300m ~ 305m	Logged by	水落	Reviewed by	Begun	02/12/19	Finished	02/12/19	Scale	1/20													
Depth (mab)	Lithofacies	Rock name	Texture	Fracture description														Remarks							
				Phenocyst/st. classification and size		Color index		Weathering		Rock mass classification		RQD(Core recovery)		Fracture Density (n/m)		Fracture column		Striation (angle)		Cause for occurrence		Fault rock	Wallrock alteration		
300	medium grained homblende biotite granite	porphyritic	imatic concentration	030	30-1	065	45	Sr	Wt	?	T	C	2~4	20~30	3	2	1	3	1	2	Vein	0	Chl(4),Cly?	周辺ピンク変質、Qtz vein後のShear C:Cataclasite.	
301	medium fine grained biotite granite	equigranular	漸多?	034	30-2	285	75	Wf	St	?	S	C	<1	>30	3	2	1	3	1	2	Vein	0	Qtz + Chl + Ep 8-10mmφ Chl(4)	周辺ピンク変質 Chl(4)周辺 Ep	
302	medium fine grained biotite granite	porphyritic	7%	035	30-3	345	75	Wf	St	?	S	C	<1	>30	3	2	1	3	1	2	Vein	0	Qtz + Chl + Ep 8-10mmφ Chl(4)	298.20~300.80 断層沿いのピンク変色 —Qtz Veinと関連	
303	medium fine grained biotite granite	equigranular	7-10%	036	30-4	942	70-80	St	-	-	-	-	-	-	0	2	1~2	1	3	1	1	1	0	-	-
304	medium fine grained biotite granite	porphyritic	7-10%	037	30-5	905	25	Wf	-	-	-	-	-	-	0	1	1	1	1	1	1	0	-	-	
305	medium fine grained biotite granite	equigranular	7-10%	038	30-6	692	43	Wt	ST(90)	S	-	-	-	-	0	2	1	1	2	1	1	0	-	-	
				039	30-7	945	65	Sr	Wf	-	S	-	-	<1	2	1	1	1	2	1	1	0	-	Cly?	
				040	30-8	150	72	Wt	-	S	fault gouge	2	<1	2	3	1	1	2	1	1	1	2	Chl(3)		
				041	30-9	472	65	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	2	1	1	1	2	Chl(3),Cly(3)		
				042	30-10	520	60	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	2	1	1	1	1	Chl(3),Cly(3)		
				043	30-11	590	47	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	2	1	1	1	1	Chl(3),Cly(3)		
				044	30-12	690	3	Wf	-	S	Vein	10	>30	3	2	1	1	1	1	1	1	0	Qtz + Ep 10mm		
				045	30-13	800	35	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	2	1	1	1	1	>30mm ピンク変質、Chl化 Ep(中心)		
				046	30-14	905	65	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	0		
				047	30-15	950	65	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	0		
				048	30-16	100	30	Wf	-	T	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	2	1	1	1	0		
				049	30-17	362	72	Wt	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	2	1	1	1	Chl(4),Cal(2),Cly(2)		
				050	30-18	542	32	Sr	-	S	fault gouge	4	<1	2	3	1	1	2	1	1	1	<0.5	Cly(2)		
				051	30-19	645	5	Wf	St	T	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	2	1	1	1	<0.5		
				052	30-20	750	70	St	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	2	1	1	1	Cly(1)		
				053	30-21	812	52	Wt	-	T	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	0		
				054	30-22	930	10	Wt	-	T	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	0		
				055	30-23	930	5	Wt	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	0		
				056	30-24	930	5	Wt	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	0		
				057	30-25	050	72	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	<0.5		
				058	30-26	122	70	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	<0.5		
				059	30-27	344	15	Wf	-	T	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	0		
				060	30-28	410	22	Sr	-	T	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	0		
				061	30-29	526	62	Wf	-	T	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	<0.5		
				062	30-30	580	10	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	Cly(2),Chi?		
				063	30-31	650	65-80	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	<0.5		
				064	30-32	944	40	Wf	-	S	fault gouge	1	<1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	0		

Hole Name:	01MS-06	Depth:	320m ~ 325m	Logged by:	二ノ宮	Reviewed by:		Begun:	02/12/19	Finished:	02/12/19	Scale:	1/20																
Depth (mab)	Lithofacies	Rock name	Texture	Phenocryst: classification and size	Fracture description										Remarks														
					Color index	Weathering	Rock mass classification	RQD(Core recovery)	Number	Depth	Dip angle (degree)	Type	Striation (angle)	Fault rock	Wallrock alteration	Fracture fillings													
320	medium grained(normblende) biotite granite	equigranular	Qz:1-4mm(2mm), Pl:1-7mm(4mm), Kfs:1-3mm(2mm), bt:1-4mm(2mm)	7%	$\beta$	CL	39 (95)	6 (13)	071	198	191	32-1	195	6	Wf	-	T S S	fault gouge	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	全体に変質している
									382	32-2	384	1	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
									32-1	205	199	88	Wf	SL(26R)	T	S	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	Caf(2),Chl(2),Cly(1)
									378	32-2	384	1	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
									32-2	417	1	Wt	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-		
									32-3	492	13	Wt	SL(26R)	T	S	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
									32-4	544	79	Wt	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-		
									588	32-3	586	7	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
									677	586	586	7	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
									719	32-4	718	2	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
									724	32-5	759	58	Wf	-	S	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
									802	32-6	792	1	Wf	-	S	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
									842	32-6	857	2	Wf	-	S	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
321									32-6	319	88	Wf	SL(15L)	S	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-		
									32-7	479	474	3	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	3(P1)	1	1	2	0	-	
									32-13	256	1	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-		
									32-14	346	2	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-		
									375	32-14	388	8	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									405	32-15	406	5	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									433	32-16	432	11	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									456	32-17	455	4	Wf	SL(4L)	T	S	fault gouge	<3	<10	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									502	32-18	502	76	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									557	32-19	557	3	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									632	32-20	632	1	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									662	32-21	754	77	Wf	-	S	fault gouge	-	<2	<10	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									789	32-22	789	2	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									809	32-23	809	5	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
323									937	32-24	910	78	Wf	-	S	fault gouge	-	<2	<10	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									942	32-25	945	21	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									041	32-26	041	3	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									244	32-27	207	84	Wf	SL(3L)	S	fault gouge	-	<3	<10	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									239	32-28	241	8	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									291	32-29	295	19	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									314	32-29	315	2	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									323	32-30	322	1	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									410	32-30	411	1	Wf	-	S	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									439	32-31	442	5	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									504	32-32	501	12	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0	-	
									776	32-33	777	1	Wf	-	T	-	-	-	<5	1	1	1	2(P1)	1	1	2	0</td		



# 現 場 写 真 集



写真1 指向性レーダー測定1  
(全景)

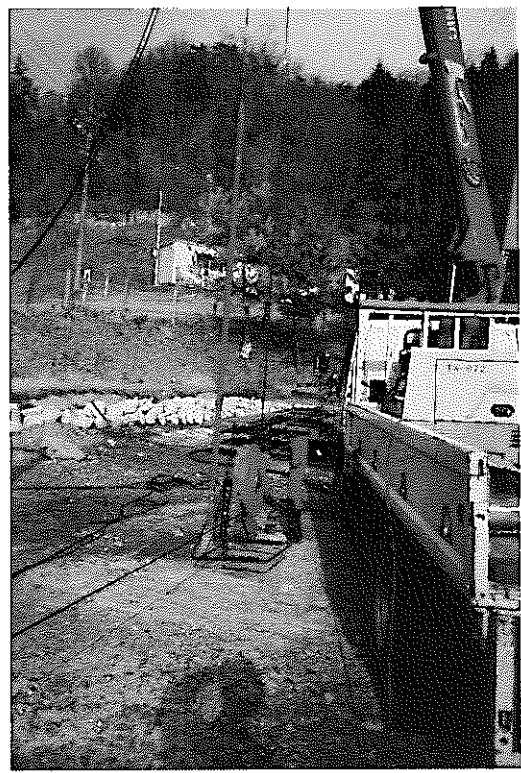


写真2 指向性レーダー測定2  
(ツール降下時)

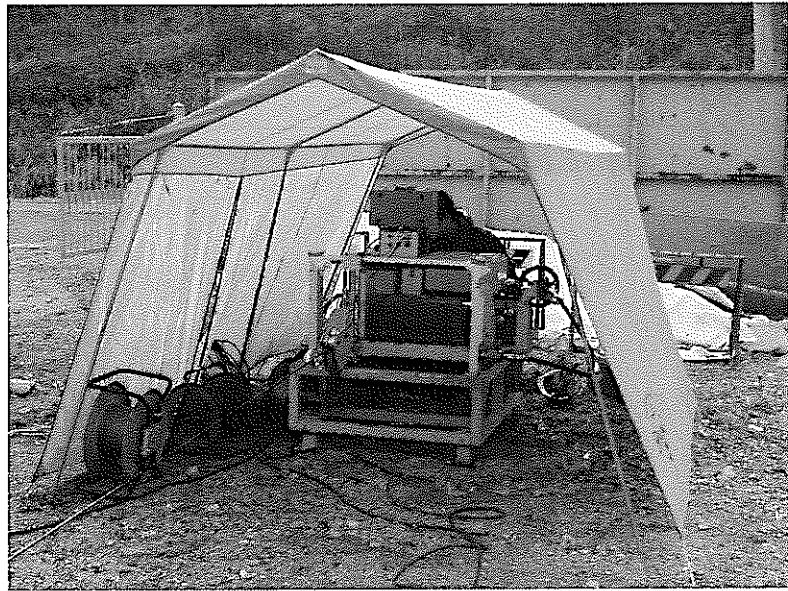


写真3 指向性レーダー測定3  
(ケーブルウィンチ)



写真4 指向性レーダー測定4  
(地上装置)

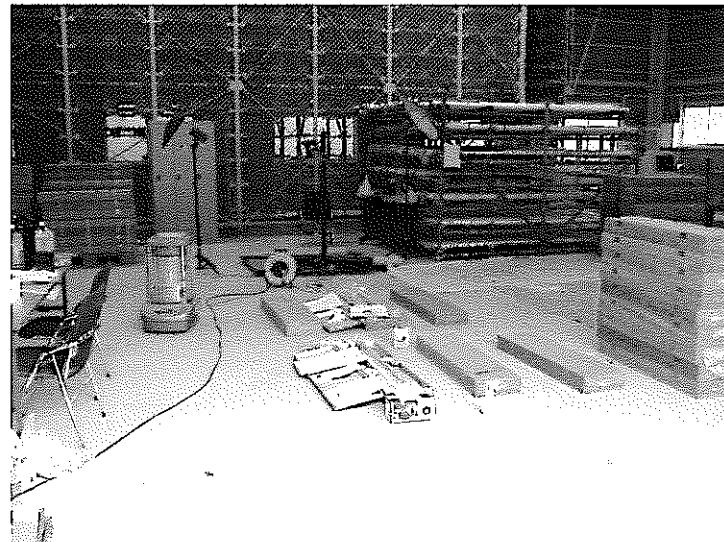


写真 5 岩芯観察記載状況 1

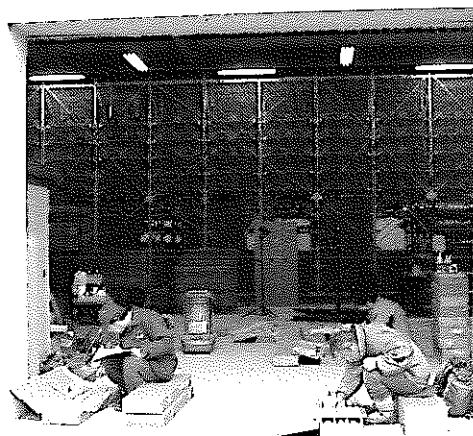


写真 6 岩芯観察記載状況 2 (記載作業)

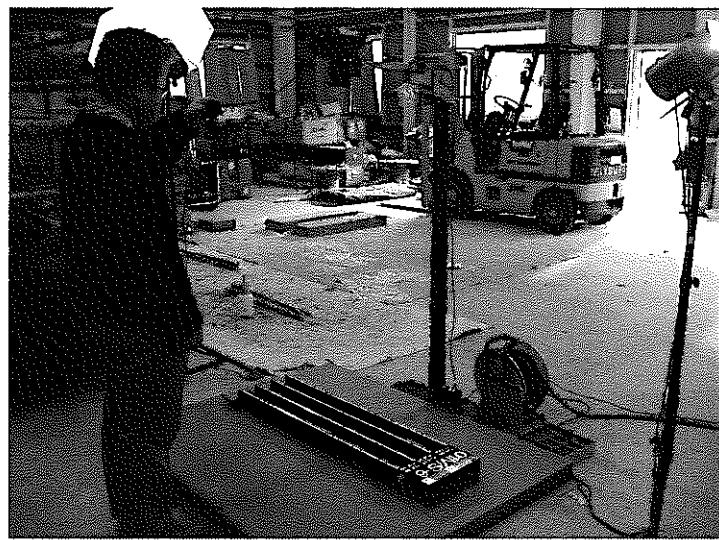


写真 7 岩芯観察記載状況 3 (写真撮影)