

本資料は2000年3月31日付けで登録区分
変更する。

研究調整 Gr 【管理担当箇所名】

R A M A C システムの適用試験

(昭和62年度成果報告)

1988年11月

動力炉・核燃料開発事業団
中部事業所 環境地質課

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)

1988

~~この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱には十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。また今回の配布目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。~~

~~This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.~~

本資料についての問い合わせは下記に願います。

~~〒107 東京都港区赤坂1-9-13~~

~~動力炉・核燃料開発事業所~~

~~技術協力部 技術管理室~~



RAMACシステムの適用試験

目 次

1. はじめに	1
2. RAMACシステム	1
3. 試験試錐孔	1
4. 反射法（シングルホール）調査	2
5. 透過法（クロスホール）調査	4
6. 結論	4

RAMACシステムの適用試験

1. はじめに

レーダー法は波長の短い電磁パルスを岩盤内に発信させ電磁波の速度や減衰の変化に着目して岩盤中の亀裂の幅や方向を調査する方法である。

動燃事業団では昨年の秋、本手法の花こう岩への適用性を調べるため、スウェーデンで開発された孔内用レーダ法システム（RAMAC）を用い、岐阜県の土岐花こう岩と入形峠の奥津花こう岩を対象に適用試験を行なった。

本報告では、反射法と透過法の試験結果概要を報告する。

2. RAMACシステム

RAMACシステムはOECD/NEAの高レベル放射性廃棄物処分に関するストリパプロジェクトのうち機器開発の一環として開発された孔内用レーダー法機器である。

孔内レーダー法による岩盤中の割れ目測定の原理を第1図に示す。またRAMACシステムの詳細な技術的仕様は第1表の通りである。

このシステムの特徴として次の6つが挙げられる。

- (1) シングルホールとクロスホール両用に使用可能である。
- (2) プロブから地表機器へのデータの転送は光ファイバーケーブルを用い、信号の遺漏がなくまたノイズを拾うことがない。
- (3) ダイナミックレンジは150dBであり大きい。
- (4) 電磁波減衰のトモグラフィ処理を可能にするため、A/D変換は16ビット、サンプリング間隔は最高1nsで行うことができる。
- (5) 電磁波の絶対伝播時間を正確に測定できる。
- (6) 生データをリアルタイムで出力することができ、測定現場でデータの品質管理や結果の検討ができる。

今回の試験に使用された周波数は20MHzと60MHzであり、反射法には両方の周波数、透過法には20MHzが用いられた。測定データは5 1/4インチフロッピーディスク（OSはPC-DOS）に入力される。

3. 試験試錐孔

土岐花こう岩

試験試錐孔は土岐花こう岩深部の構造および割れ目の形態と分布を把握する目的で堀削された。隣接する2孔（AN1とAN3）でその間隔は約37mである。これまでにAN1について、詳細な岩芯記載や各種検層が行なわれている。

AN1号孔（深度500 m）

岩相は中-細粒花こう岩で一部粗粒の部分が認められ、深度221.20-224.20 mに断層の存在が予想されている。また、割れ目および変質の形態より下記の3層に分かれる。

上層-上の堆積岩（砂岩が主体）と花こう岩上面との不整合面（深度16.8m）から深度約300 mまでで縦方向の節理系が発達し、緑色の変質が多く、微小割れ目も発達している。割れ目を埋める鉱物は絹雲母や緑泥石が主体である。

中層-深度300 mから420 mまでで割れ目の発達は少なく、変質も受けていない。

下層-深度420 m以深で横方向の割れ目系が卓越している。灰白色-灰桃色を呈し脆く、割れ目を埋める鉱物はモンモリロナイトやイライトが主体である。

奥津花こう岩

NKS 1号孔

採取された岩芯は塊状・硬質な花こう閃緑岩と花こう岩を主とし、これらを一貫する数条の巾2-4mの半花こう岩岩脈からなる。

花こう閃緑岩と花こう岩は岩芯長10cm程度の黒色捕獲岩を一部に含む。また両深成岩の境界は一般にシャープであるが、幅10m程度で漸移する場合もある。

深度別の岩石の分布の特徴はつぎのとうりである。

0.0-35.5m, 表土

35.5-110.3m, 花こう閃緑岩

110.3-157.5m, 花こう閃緑岩体と花こう岩

157.5-200.7m, 花こう閃緑岩

200.7-345.75m, 花こう岩

347.5-505.0m, 花こう閃緑岩体と花こう岩

最も卓越する破碎帯は142.10-144.55m間の断層に付随する128.7m-148.0m間の破碎帯と、366.20-368.20mの間にある幅10cmと25cmの小断層に付随する360.5-368.70m間の破碎帯である。

変質鉱物は褐鉄鉱、白色鉱物（石英、方解石、沸石、粘土鉱物）、桃白色鉱物、緑色鉱物（緑泥石）の4種に分れている。

断層および割れ目の発達複合岩体中に卓越し、変質鉱物も割れ目の密度に比例する。

4. 反射法（シングルホール）調査

(1) 測定方法

反射法調査では、送信プローブと受信プローブを同一孔内に降ろして測定を行なう。送信プローブと受信プローブの間はグラスファイバー棒で接続され、一定距離（7.4m）に保たれる。

測定は、一定間隔ごとにプローブを下降あるいは上昇させて行なうが、測定に必要な時間は1点当たり約30秒である。従って、1日の測定量は800mから1000mで、500m深度の試錐孔ならば1日に2つの周波数をこなすことができる。

土岐花こう岩では反射法的のほか透過法も行なわれたので、得られた情報量が違う。例えば、岩盤内を通過するレーダー波の速度や減衰を正確に知るには透過法の実施は不可欠である。

人形峠の試錐孔は1孔であったので反射法のみが実施されたが、結論として、電磁波伝播に関する物性は土岐と大きな差はないと結論された。これは、反射法の調査可能距離から推定されている。

土岐花こう岩

AN 1号孔

(1) 割れ目の抽出

深度25mから500mの間に割れ目がno1から24まで抽出されている。岩芯の観察から指摘されている、深度221mから224mまでの断層はno7の破碎帯の一部として捕えられ、特にこの深度付近で到着波形の乱れが見える。

AN 1に見られる顕著な割れ目はno10である。第2図にこの割れ目を捕えているAN 1号孔の反射法（60MHz）の結果を示す。

割れ目のno10は、深度254mから277mの範囲で幅23mにも及び破碎帯と呼ぶべき

ものである。

また、この破砕帯の下限（深度約300 m）を境にして、それより上部の割れ目に富むゾーン（低比抵抗帯）とそれより下部の割れ目の少ないゾーン（高比抵抗帯）に分れる。これは、岩芯観察の上層および中層+下層に対比され整合している。

(2) 割れ目の傾斜と延長

割れ目の多くはペアになっているがこれは試錐孔とある角度で交差しているからである。このペアの開きと延長から、割れ目が試錐孔と交差する角度とその延長を求めることができる。

反射法の断面図にナンバリングされた各割れ目の深度と試錐孔に対する傾きと延長は第2表に示されている。割れ目の傾斜は90からこの値を引けばよい。多くの割れ目は25から40度で交差している。すなわち割れ目の傾斜は65度から50度が多い。最も明瞭な破砕帯（No10）は約70度の傾斜で延長は少なくとも128 mあることがわかった。

A N 3号孔

(1) 割れ目の抽出

A N 1と同様に割れ目の抽出が行われ、no1 からno24までであった。顕著な低比抵抗帯は深度130 mから150 mまでと深度230 mから300 mまでに観察される。

(2) 割れ目の傾斜と延長

A N 1と同様に勾配を求めたのが第3表である。多くが30度前後で試錐孔と交差しており、傾斜は60度前後になる。ただしno7（深度152 m）とno24（深度410 m）は7度で交差し、傾斜は83度で際だった違いが見られる。

奥津花こう岩

(1) 割れ目の抽出

深度53mから490 mまで20MHzと60MHzの周波数を用いて反射法が実施された。

割れ目の調査可能範囲は20MHzで25m、60MHzで18mであり、これは土岐と同様の値であった。

これよりno1 からno30の合計30本の割れ目が検出された（第4表）。抽出された割れ目の分布に関して特徴的なことは深度240 mから310 mまでの花こう岩は特に堅牢であると推定されることである。そのほかの深度はほぼ均等（=1本/10m）に割れ目が発達しているものと推定される。

もっと特徴的な割れ目は、no8 とno22である。no8 は深度 135mから145 mの幅10 mの及ぶ破砕帯である。no22は深度363 から369 m幅6 mの破砕帯である。これらの破砕帯はもちろん岩芯の記載からも報告されているものである。

(2) 割れ目の傾斜

抽出された割れ目の多くが25度から30度で交差している。

従って、これらの傾斜は60度から65度の傾斜であることになる。ただし走向に関するデータがないので割れ目がどの方向に伸びているか不明である。顕著な破砕帯であるno8 とno22の傾斜はそれぞれ56度と62度であった。従ってこれらの破砕帯はこの地域の多くの割れ目の傾斜と違いはないと推定される。

傾斜が大きく異なっている割れ目はno9（82度、深度160 m）とno10（20度、深度189 m）である。このうちno10はほぼ水平で極めてはっきりした反射でありその存在

は疑いがない。

5. 透過法（クロスホール）調査

(1) 測定方法

透過法調査では、送信プローブと受信プローブは別の孔内に入れられる。通常、受信プローブを一定深度に固定し、送信プローブを一定間隔で上昇又は下降させ測定する。プローブ間の距離が大きくなれば、受信信号は弱くなり、ある距離以上になれば中止し、受信プローブを次の測点に移動させる。この操作を繰り返すことによって、測定を完了する。

今回の試験では、AN1に受信器、AN3に送信器を設置した。測点の3次元的位置決めは2.5 m間隔のあな曲がり測定（マルチショット方式）で行なった。

受信機と送信機の移動間隔は2 m又は4 mとした。両方の試錐孔共、地表から深度20mは鉄パイプでケーシングされているので測定できず、クロスホール測定の合計は3289raysであった。

(2) 測定結果

クロスホール調査に先立って、使用周波数を決めるため両方の周波数を用いて透過試験を行なった。その結果浅部の低比抵抗帯では60MHzの電磁波が十分透過しないことが判明し、透過法は20MHzで行なわれることになった。

第3図と第4図に電磁波伝播速度の遅さ（速度の逆数）と減衰率のトモグラフィ－処理結果を示す。遅さと減衰率はすべて、全測定値の平均値からの偏差が示されている。

遅さの平均値は8333 ps/m(=120m/microsec)であり、遅さ残差は-400から2000ps/mの範囲であった。これを、誘電率に換算すると5.7 から9.8 となる。

一方、減衰率のゼロは500dB/Kmに対応し、測定結果は500 から2500dB/km の範囲に入っていた。第3図と第4図から、両試錐孔間にまたがるいくつか（A-Gで示す）の割れ目帯が見られる。これらの割れ目の多くは試錐孔と30度前後で交わっていると予想される。

遅さと減衰率トモグラフィ－結果はほぼ一致している。これらは、独立した測定結果を元に行っているため処理の信頼性は高いといえる。

6. 結論

花こう岩を対象にレーダー法の適用試験として反射法と透過法が行なわれた。その結果、次のような事項が明らかになった。

(1) 反射法の調査可能範囲は25m前後（20MHz）と18m前後（60MHz）である。

しかしながら、調査可能範囲は岩石の割れ目の存否やその状態によって大きく変化する。例えば、土岐花こう岩AN1の上部では15m（20MHz）と10m（60MHz）となる。

ちなみに、これまでRAMC法を実施した地域でもっとも調査範囲が大きいのはグリムゼル（スイス）の75m（20MHz）である。

ストリパ（スウェーデン）やカナダのURL（Under Ground Laboratory, マニトバ州）では50mであり、これらはいずれも花こう岩である。

(2) 反射法および透過法から、土岐花こう岩調査地区の岩体は深度約300 m付近で上部と下部に分れ、上部では割れ目の多い低比抵抗帯であり、下部は堅牢な岩体であることが

わかった。

- (3) AN1とAN3付近の重要な構造は60度から70度の傾斜角度を持っている。
- (4) また土岐花こう岩は反射法と透過法の両方から構造の走向はEWであることがわかった。
- (5) RAMACシステムは本来スウェーデンの結晶質岩を対象に開発された機器である。従って、日本の岩盤にただちに適用することは得策ではなく、若干の改良の余地があると考えられる。これは、特に反射法のデータにリンクが多いこと、調査可能範囲が狭いことなどから明らかである。
従って、これを日本に導入するときは出力を上げることはもちろん、機器（電気回路＋アンテナ）と岩盤間のインピーダンスをマッチングさせることも有効であろう。

第1表 Technical specifications of the
borehole radar system.

General

Frequency range	20-8°MHz
Total dynamic range	150 dB
Sampling time accuracy	1 ns
Maximum optical fiber length	1000 m
Maximum operating pressure	100 Bar
Outer diameter transmitter/receiver	48 mm
Minimum borehole diameter	56 mm

Transmitter

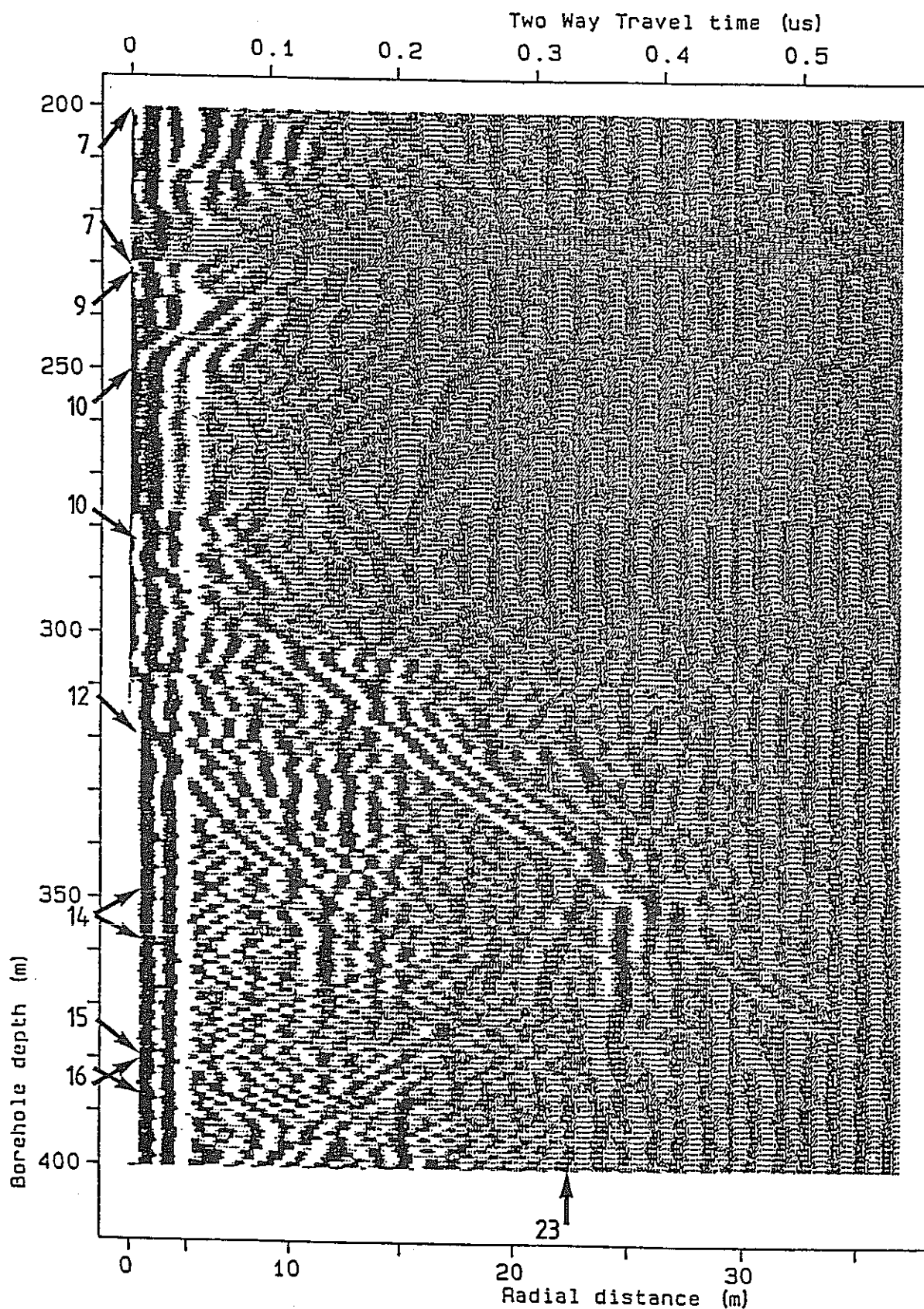
Peak power	500 w
Operating time	10 h
Length	4.8 m
Weight	16 kg

Receiver

Bandwidth	10-200 MHz
A/Dconverter	16 bit
Least significant bit at antenna terminals	1 μ V
Data transmission rate	1.2 MB
Operating time	10 h
Length	5.4 m
Weight	18 kg

Control unit

Microprocessor	RCA 1806
Clock frequency	5 MHz
Pulse repetition frequency	43.1 KHz
Sampling frequency	30-1000 MHz
No of samples	256-4096
No of stacks	1-32767
Tinm window	0-11 μ s

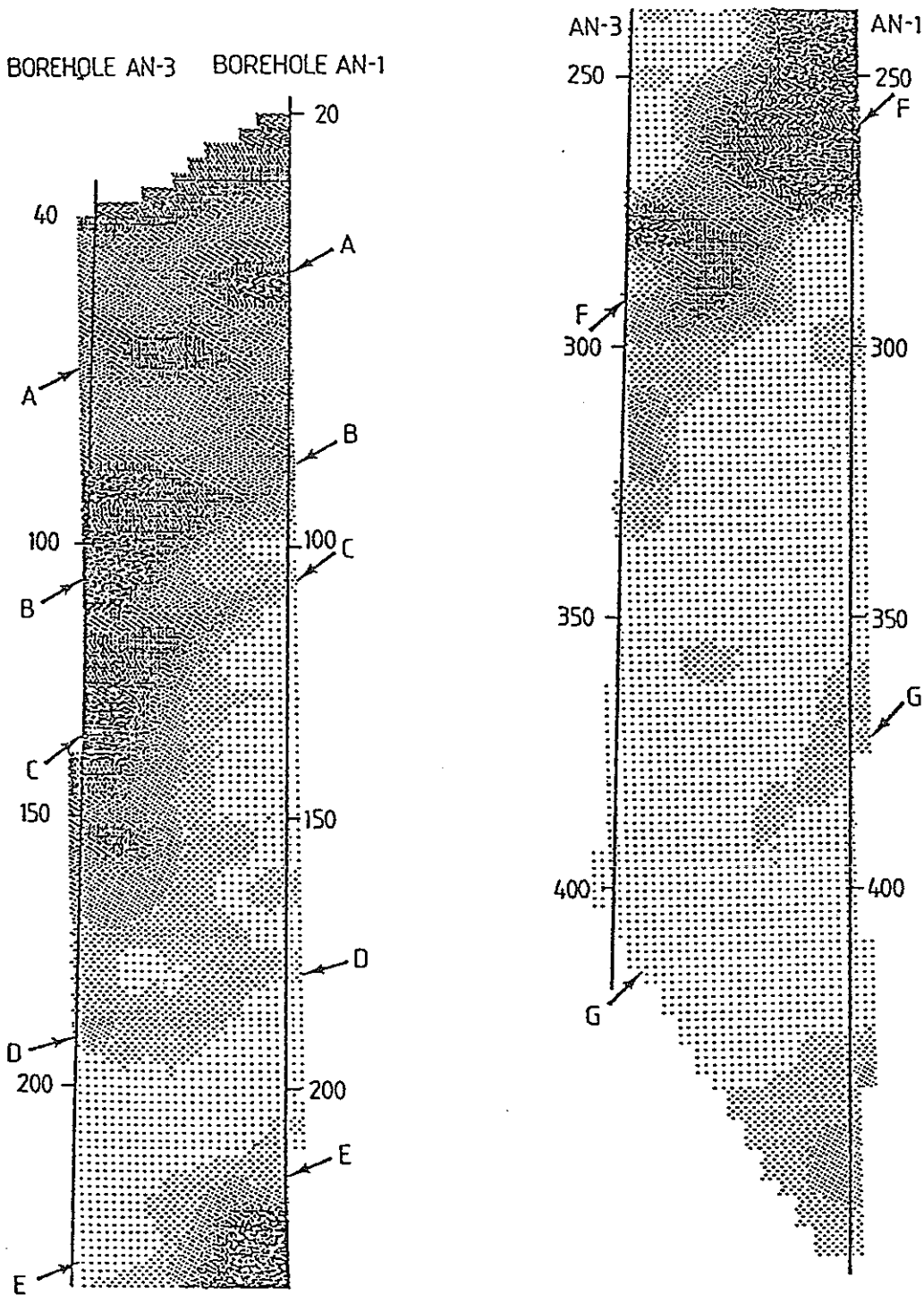


第2图

Radar reflection map from single hole survey in AN-1. 60 MHz antenna, deconvolution filtered data.

RESIDUAL SLOWNESS (ps/m)

-400 -200 0 200 400 600 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000



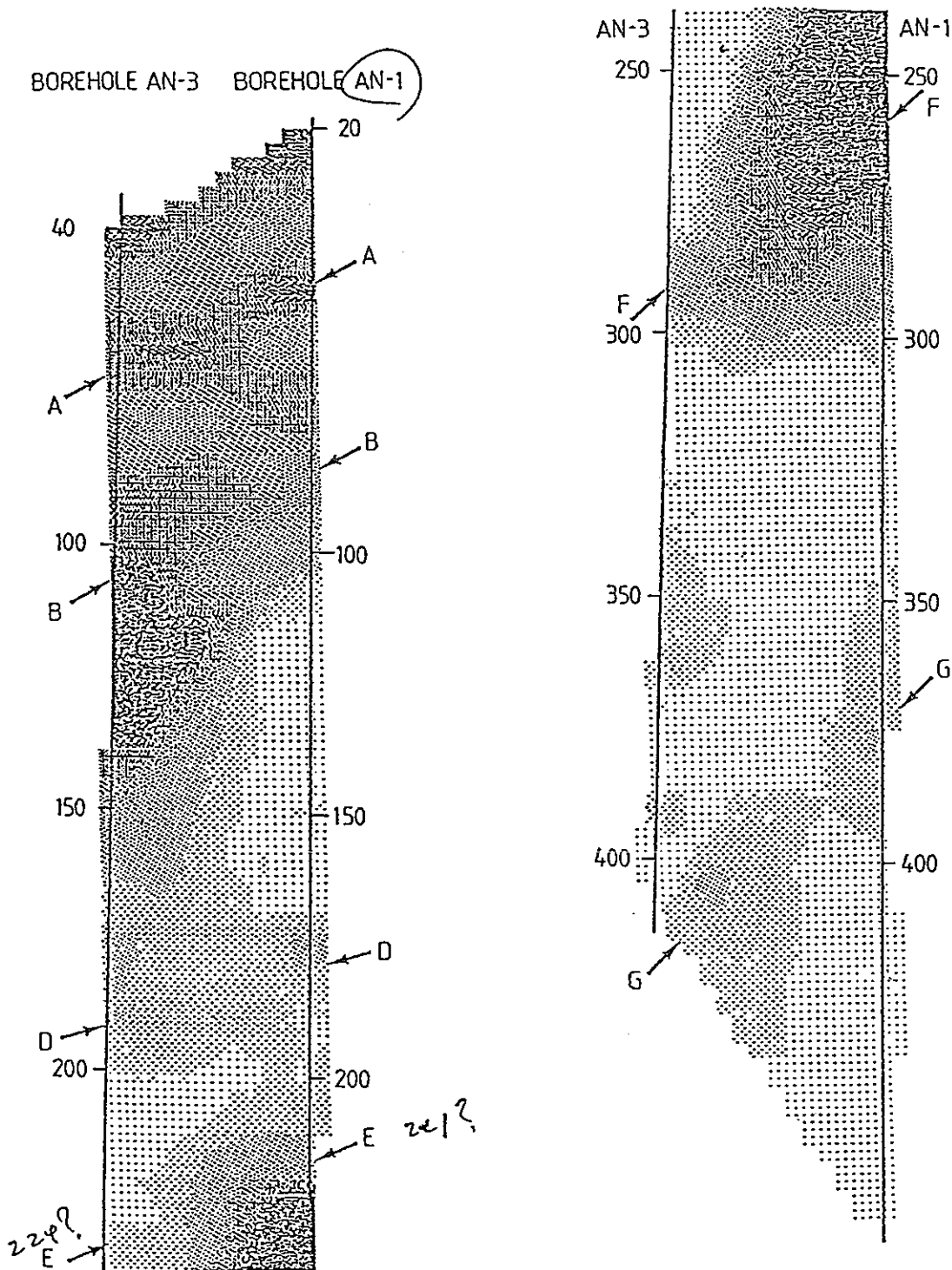
第4图

Residual slowness tomogram for the section between boreholes AN-1 and AN-3. The residual slowness value of zero corresponds to an actual slowness of 8333 ps/m or velocity of 120 m/ μ s:

圖中目分

RESIDUAL ATTENUATION (dB/km)

1 168 334 501 667 834 1000 1167 1334 1500 1667 1833 2000



第3图 Residual attenuation tomogram for the section between boreholes AN-1 and AN-3. The residual attenuation value of zero corresponds to an actual attenuation of 500 dB/km.

第2表. 4 Reflectors identified from single hole radar reflection measurements in AN-1.

Reflector no	Borehole intersection	Intersection angle				Minimum length detected by 60 MHz (m)	
		upper		lower		upper	Lower
		20	60 MHz	20	60 MHz		
1	52-57	45	40	35	25	9	
2	79-86		35		30		23
3	100			45			
4	140		35	25	35		
5	153	40		40			
6	162-165		25		25	25	
7	206-225		14		13	39	107
8	220	35					
9	238		25			32	
10	254-277		24	20	20	34	94
11	238		30				
12	312			17	16		69
13	342		25				
14	353	35	30		30	26	35
15	370			30	29		26
16	385	30	38	30	30	25	26
17	396				40		
18	418-420		25		35	32	28
19	430	35		35	32		31
20	437		25				
21	479	30	30			26	
22	510	35	42			16	
23	300-450	Parallel distance 26m					
24	485-505	Parallel distance 15m					

第3表. 2 Reflectors identified from single hole radar reflection measurements in AN-3.

Reflector no	Borehole inter-section	Intersection angle				Minimum levtrth detected by 60 MHz (m)	
		upper 20	60 MHz	lower 20	60 MHz	upper	Lower
1	43				30		17
2	53			35	35		14
3	84-90	30	30		27	13	49
4	93				20		27
5	110			30	30		26
6	115	50					
7	152				7		81
8	163	40	40	30	40	18	12
9	174	30					
10	180		30			26	
11	196			30	30		22
12	218	40					
13	228		35			19	
14	237	20	25				
15	244		40			18	
16	250	65					
17	263				18		30
18	270	40					
19	288		28		20		41
20	297			25	25		64
21	337		30				
22	355	35	20			40	
23	375	25	30				
24	410	8	8			70	

第 4 表. Reflectors identified from single hole radar reflection measurements in NKS-1.

Reflector no	Borehole inter-section	Intersection angle			
		upper		lower	
		20	60 MHz	20	60 MHz
1	38			15	13
2	49			55	50
3	57				20
4	69		40		25
5	85			40	42
6	100		15		
7	111		25		
8	135-145	34	34	34	34
9	160		8		8
10	189	70	70	70	70
11	205		35		35
12	212		40		
13	231			25	22
14	243	40			
15	258				35
16	265	25			
17	278		25		25
18	284		32		
19	318	30	32		30
20	324				18
21	356		25		28
22	363-369	28	28	28	28
23	389		25		25
24	424	28	25	(50)	(80)
25	436		25		
26	443		25		(80)
27	455	25	25		15
28	473		23		
29	480	40			
30	495	35			