

# 対馬海峡における デジタルマルチチャンネル音波探査

—昭和57年度のデジタルマルチチャンネル音波探査記録の解析結果を中心に—

安間 恵\*

## はじめに

海の物理探査も最近の電子技術の飛躍的發展に伴い精度の良い観測機材が作られるようになった。一方土木技術も進歩して、工事も大型化し、海・陸域での沖積層・洪積層といった軟弱地盤調査だけではすまされない状況となっている。トンネル工事に関しても、土質工学的特徴を求めたりするだけでなく、活断層・活褶曲などの存在を調査することによって、設計上地震防災に必要な地質情報を得るために、精度の高い各種の音波探査機（サイドスキャンソナー、ユニブーム、エア・ガン等）が使われるようになった。

今回お話するデジタルマルチチャンネル音波探査の方法は、もともと石油資源探査用に開発、発展したものである。これらは大規模な設備を要するため、小型化し、分解能を高め浅い海での土木用探査機として実用化することが望まれていた。

川崎地質（株）では、昭和55年度からこの機械開発に積極的にとり組み、DMS-1200、DMS-2400のデジタルマルチチャンネル音波探査機を実用化し、データ処理も、株式会社SPCを設立してシステムの確立と高速度処理を可能にしてきた。

とりわけ国際ハイウェイ建設事業団、日韓トンネル研究会により、技術を高める機会を与えられたことを感謝する。

## 1. デジタルマルチチャンネル音波探査とは

### 概要

デジタルマルチチャンネル音波探査の原理・方法等については、別の機会にゆずるが、簡単な概要を図-1.1、図-1.2に示す。

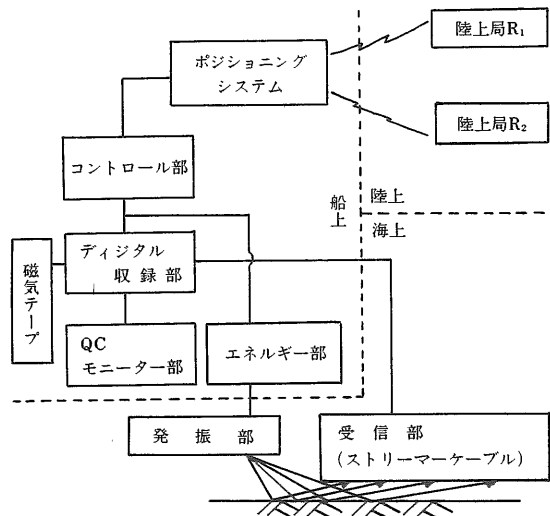
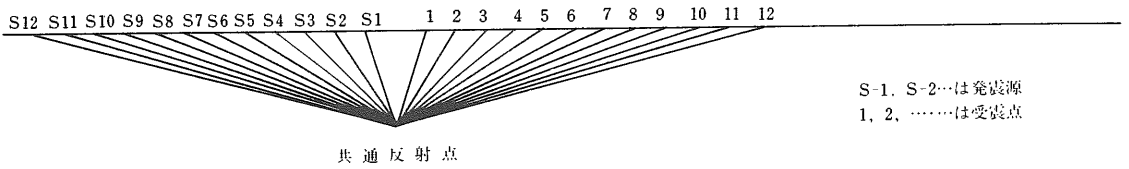
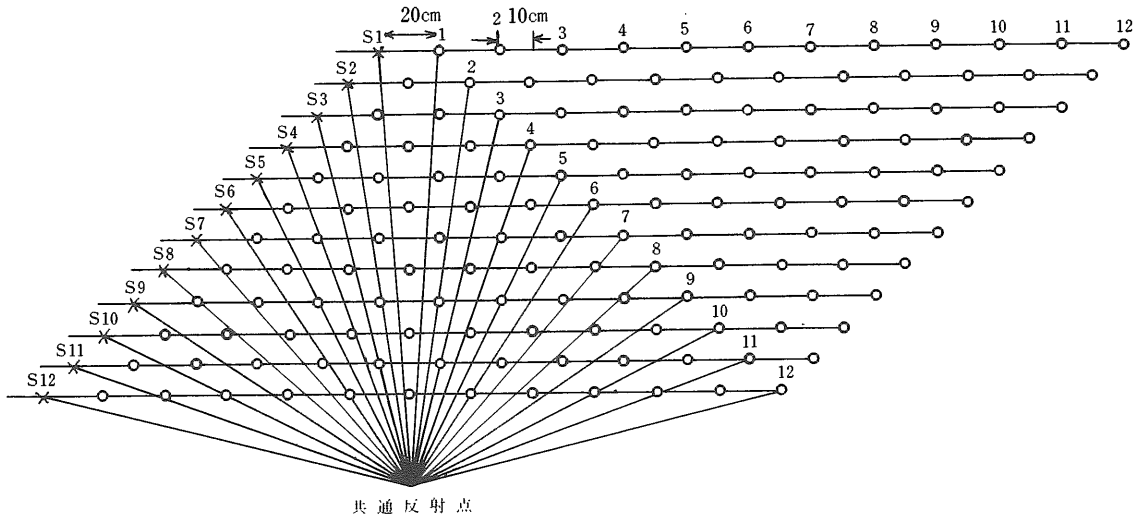


図-1.1 マルチチャンネル反射探査装置の構成

\*川崎地質(株)物理探査部 (文責)



S-1, S-2...は発震源  
1, 2, ...は受震点

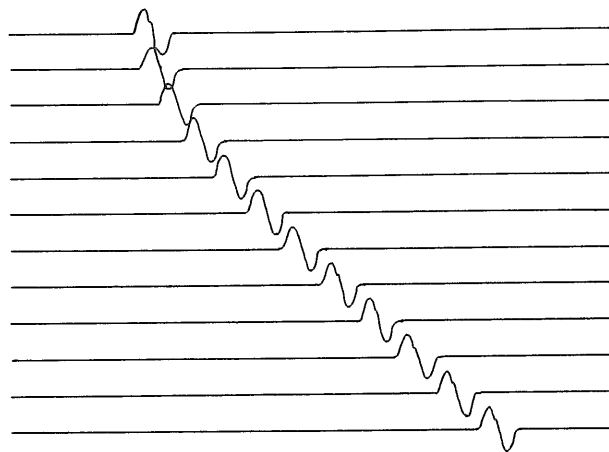


図-1.2 各トレースの反射波を模式的に描く

デジタルマルチチャンネル音波探査は、多数のチャンネルの記録を数値化し、磁気テープに収録することから次のような利点がある。

- ① 12～24チャンネル分の共通反射点（CDP）から返ってくる反射波を重合することにより、信号（S）と雑音（N）との比（S/N比）を向上させることができる。その割合は、共通反射点データ数の平方根倍まであげられるので、チャンネル数が多いほどS/N比がよい。反射面は、地層の密度×速度＝音響インピーダンスの違いとして現われる。
- ② 任意のスケールで断面（縦/横比）を表示できる。
- ③ 解析したい目的の深度の構造についての微弱な信号の強化（AGC）や、周波数の選択（フィルターテスト）等が可能である。
- ④ 多数のチャンネルで収録した共通反射点からの反射波をNMO補正することにより地層間の弾性波速度を求めることができる。
- ⑤ 地層の区間速度が求められることから地層の時間断面（通常のアナログ方式の記録）を深度断面に変換することができるので、実際のボーリング資料などの対比が可能である。
- ⑥ 重複反射除去ができる。これにはCDP（共通反射点）重合のNMO補正によるものとデコンプレッション（単純化波形にする）処理との方法がある。
- ⑦ 回折波除去が可能のため、断層や急崖などの精確な位置、走向・傾斜が求められるし、褶曲軸などの有無を決めることもできる。
- ⑧ もっとも大切なこととして、経済的にもすぐれ、作業期間も短かくてすむことである。

地質情報を得る方法としては、ボーリングによる地質調査が確実であるし、抗井を利用して地層の検層もできるので優れた方法として誰もがみとめる。しかし海底の場合などとくに多額の費用と時間が必要であり、広範囲の調査などにも不向きである。このように考えると、両者が補完しあって、ボーリング資料と合理的な対比ができかつ、経済的にも安くできるもので欠かせないものである。

以上の様な数値化による利点があるけれども、そのためには、10～20 m 間隔の等間隔のショット点が維持されなければならないので、位置の精度をよくするとともに、精確な操船がなされる心

要がある。

いままで述べたようにデジタルマルチチャンネル音波探査が優れたものであることはわかっていたただけだと思うが、但しこれが海の音波探査のすべてをしめるものではない。目的に応じて、サイドスキャンソナーやユニブーム・ナロービーム、地磁気、重力探査といった方法も併用して、ボーリング・採泥などの地質調査と対応させて解析していかなければならないことは言うまでもない。

次に対馬海峡で行った音波探査の結果について述べる。

## 2. 調査概要

### 2.1 数量

対馬海峡でデジタルマルチチャンネル音波探査の行われたものの数量は次の通りである。

・昭和57年度

音源：スーパーカー 4000～8000ジュール  
 壱岐水道（呼子・糸島半島—壱岐島間）

【IK コース】195.3 km

対馬海峡東水道（対馬—壱岐島間）

【IT コース】478.0 km

対馬海峡西水道（対馬西部沖）

【TW コース】108.4 km

総距離 781.7 km

・昭和59年度

音源：ウォーター・ガン400～800 inch<sup>3</sup>

対馬～壱岐島間 【ITG コース】452 km

対馬西部沖 【TWG コース】400 km

付随調査

磁気探査 【IKMG コース】500 km

（但し、未処理分を含む）

本調査は対馬海峡部の海底地質の概要をつかむためにほぼ3～5 km 間隔の格子（メッシュ）で行なわれた。その他にも広範囲にわたってアナログ方式による音波探査が実施されている。

### 2.2 使用船舶

マリンたかさい 230トン（昭和57年度）

第三定安丸 160トン（昭和59年度以後）

### 2.3 船位決定装置

船位決定は、電波測距離（トリスポンダー）とX—Y変換装置（if—800）を用いた。

### 3. 海底地質

#### 3.1 地質概要

対馬海峡周辺の地質については日韓トンネル研究 No.1, No.2 に詳しく述べられている。また海域については井上英二 (1983), INOUE (1982) によくまとめられている。また底質調査は、充分調査されているわけではないが、海峡部の潮流の早いところから、貝殻片などの生物起源や粗粒堆積物のものが多い。いわゆる残存残留堆積物 (大嶋ほか1982) と考えられるものが多い。

#### 3.2 地質解析

この解析は、①現場作業 (図-3.1), ②データ処理 (図-3.2), ③地層区分・速度解析をへて、地質解析となるのであるが、今回は③以後について述べる。

実際の解析は

(1) シングルチャンネル音波探査の記録の読みとりと同様に、記録上に表われる反射面の形状、その強弱、各種の反射パターンの特徴を断面上で追跡しながら、不整合面などの地質学的な現象を考慮して地層区分を行う。

その区分から

(2) 強い反射面をもつ区間の伝播速度の仮定をしながら NMO 補正し、速度解析の手法を使って区間速度を求める。その式は次の通りである。

ここで

$$V_i = \sqrt{(V_{rms.i}^2 \cdot T_i - V_{rms.i-1}^2 \cdot T_{i-1}) / (T_i - T_{i-1})}$$

$V_i$  : 第  $i$  層の区間速度

$V_{rms.i}^2$  : 第  $i$  層の平均 2 乗速度 (RMS)

$V_{rms.i-1}^2$  : 第  $(i-1)$  層の平均 2 乗速度

$T_i$  : 第  $i$  層の垂直走時

$T_{i-1}$  : 第  $(i-1)$  層の垂直走時

でもとめる。但し、堆積層の薄いところでは、かならずしも、正確に速度が求まらない。

次に各海域について述べるが対馬海峡の全海域の層序を表-3.1に示す。

#### 3.2.1 宍道水道 (宍道島—呼子・糸島半島間) の地質

##### (1) 音響学的層序区分

発震エネルギー 8,000 ジュールのスーパーカーによる、デジタルマルチチャンネル方式の探査記録の結果を解析して、その音響学的層序区分をおこなった。但し、この解析をした宍道—呼子間の海底下の地質は、更新世のアルカリ玄武岩類を主体とした火山噴出物、及び溶岩類が厚く覆っていると思われる (水路部, 1981)。反射インピーダンスの係数が大きいので、スーパーカーの周波数帯ではこの地層を透過させるまでの深度に至らなかったところが多い。

今回得られた音波探査記録に基づいて地層を区

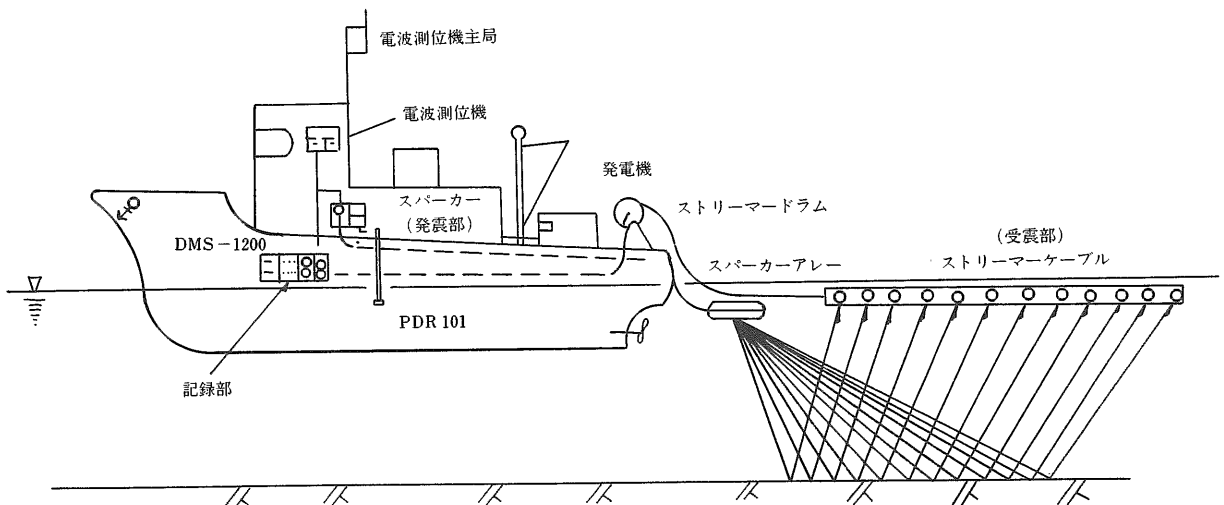


図-3.1 艦装概要図



表-3.1 対馬海峡部音響学的層序と周辺陸域部の地層との対比

		音響学的層序	糸島半島	東松浦半島	壱岐島	対馬	IKコース (1982)		
新 生 代	第 四 紀	完新世	I層	沖積層	砂丘 沖積層	沖積層	沖積層	A層	
		上 更	II層	段丘堆積物		郷ノ浦層群		B層 C層	
			III層	北松玄武岩類	北松玄武岩類	芦 辺 層 群	玄武岩類	D層	
		中 新	IV層	?	東松浦玄武岩類		堆積層	E層	
		V層	能古砂礫層	洪積層	?				
		世下	VI層 (VI'層)	?	玄武岩・安山岩類			F層	
	第 三 紀	中 新	VII'層			壱 岐 層 群	初瀬累層	H層	
			?		物部累層		火成岩類		
		新 世	VII層		佐世保層群	久喜累層	(黒雲母花崗岩類) 粗粒玄武岩類 他		
	古 第 三 紀	漸 新 世		福岡層群	杵島層群	勝 本 層 群	貫入岩類	I層	
				残の島層	?			対州 層群	上部 中部 下部
			VII層	?					G層
	中 生 代	白 垂 紀	IX層	花崗閃緑岩類 (佐賀花崗岩類)	東松浦閃緑岩類				
				?	?				
	古 生 代		(X)	(塩基性貫入岩類)	変輝緑岩類				
(X')			(酸性貫入岩類)	三郡變成岩類					
				?					

分し、その層序表を表-3.2に示した。A~I層の地層区分を昭和58年度よりI~X層と定義しなおしたのでその総合対比表を表-3.1に示してある。

(2) 速度構造

求められた区間速度の平均的な数値は表-3.3の様になる。またそれぞれの区間速度は地層速度

断面図として示してある(図-3.3)。

(3) 地質構造



本調査域の音波探査の記録断面から、トンネルの地質に直接影響しないと思われるA・B層をとり除いた地質平面図を図-3.4に示す。

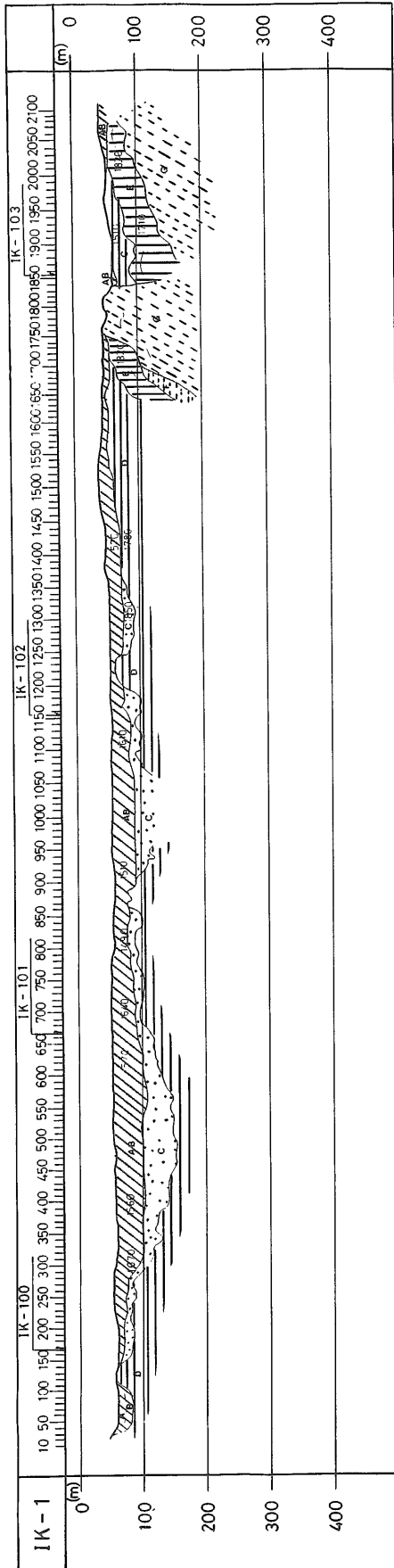
これからわかるようにD層(Ⅲ層)が各島を結ぶ海底下に広く分布していることがわかる。地

表-3.2 峇岐水道海域の音響学的層序区分

地層	音響学的特徴	層厚	推定される岩質層序関係
A層	水平・音響的透明層・サンド・ウェーブ状	2~3m 最大5m	砂・泥 ——平行不整合——
B層	成層・水平・半透明層・部分的に乱反射	25m+	砂 ——部分不整合——
C層	水平・成層、下位層にアバット、上位層と指交する	25m+	砂・細礫? ——不整合——
D層	乱反射・不透過反射面回折波反射 貫入状態を示す部分がある	50m+	火山噴出物・凝灰角レキ岩
E層	成層緩傾斜・北西側に厚くなる	50m+	不整合? 砂岩・泥岩
F層	成層構造・見かけ5~10°北西側に厚くなる	40m+	——整合—— 砂岩・泥岩・部分的に礫
G層	成層・走向N60~70Eで安定 北に10°~15°傾斜する層理面	300m+	斜交不整合 砂岩・泥岩互層
H層	本地域にあらわれず		? 勝本層・対州層群相当層 砂岩・泥岩互層
I層	明瞭な反射面・回折波あり・ドーム状構造		貫入岩類

表-3.3 峇岐水道海域の地層速度

地層	速度	コース場所	平均
A・B層	1.51~1.66km/sec	I K. 1, 2, 2', 3, 3'	1.60km/sec
C層	1.50~1.88km/sec	I K. 100, 101, 102, 103	1.70km/sec
D層	1.85~2.10km/sec	I K. 1, 2, 2', 3, 3' I K. 100, 101, 102, 103, 104	1.85km/sec
E・F層	1.82~2.0 km/sec	I K. 1 I K. 103	1.85km/sec
G層	 km/sec	I K. 1, 2' I K. 103, 104	



図—3.3 IK-1コース地層速度断面図

表にみられる岩相から推定すると玄武岩質溶岩や同質火砕岩類から成っていると思われる。これは、水路部（1981）の「海の基本図」図幅や採泥からも、たしかめられており、その厚さは50~70 mはあると思われるが、基盤の侵食平坦面上に台地地形を形成したと思われる。

最下部の G 層（Ⅶ層）は呼子港周辺の佐世保層群上部層が IK-1~3 コース上で、北に傾斜しながら海底に没する地層として追跡できる。さらにこの地層は、加部島、小川島から杵岐島にむかって北西に10°ほど傾いて厚さを増している。この上位には不整合で接する E・F 層が日本海の対馬海盆地方向の北西にむかって厚くなるようにみえる。後年に行われた糸島半島沖—杵岐島間のシングルチャンネル音波探査結果から、Ⅶ層の佐世保層群相当層が広く加部島—小川島東を通る測線より東側に広く露出することがわかった。

褶曲構造は、IK-1、SP1800前後に断層に伴う隆起構造があり、陸上の地質と対応させると加唐島まで続く断層による背斜構造のつながりとみることができる。

G 層（Ⅶ層）より上位の E, F 層（Ⅶ', Ⅵ層）の堆積物はゆるやかな単傾斜構造となっている。

断層運動も測線間隔が広いので、細部をつめられないが、IK-1、SP 1843前後に南東側落ちの断層がみられる。そのみかけ状の落差は75 mである。この断層は加唐島の北側にみられる断層に続くものと思われ、対馬・杵岐構造線と同じ方向のものである。

貫入岩としては、馬渡島や小川島付近の礁が玄武岩類の貫入岩とみられるものが多くみられる。これについては、後年度に行われている磁気探査の結果を待ちたい。

糸島半島沖では、花崗岩類の分布もみられる。

これらを総合すると地質学的には、トンネルルートとしては、糸島半島から小川島東側を通るルートが安定しているようにみえる。

### 3.2.2 対馬海峡東水道（対馬—杵岐島間）

#### (1) 音響学的層序区分

この海域は、中央部に七里ヶ曾根とよばれる堆が存在し、北と南では堆積層が異なることが特徴的である。この海域の層序区分を表-3.4に示す。



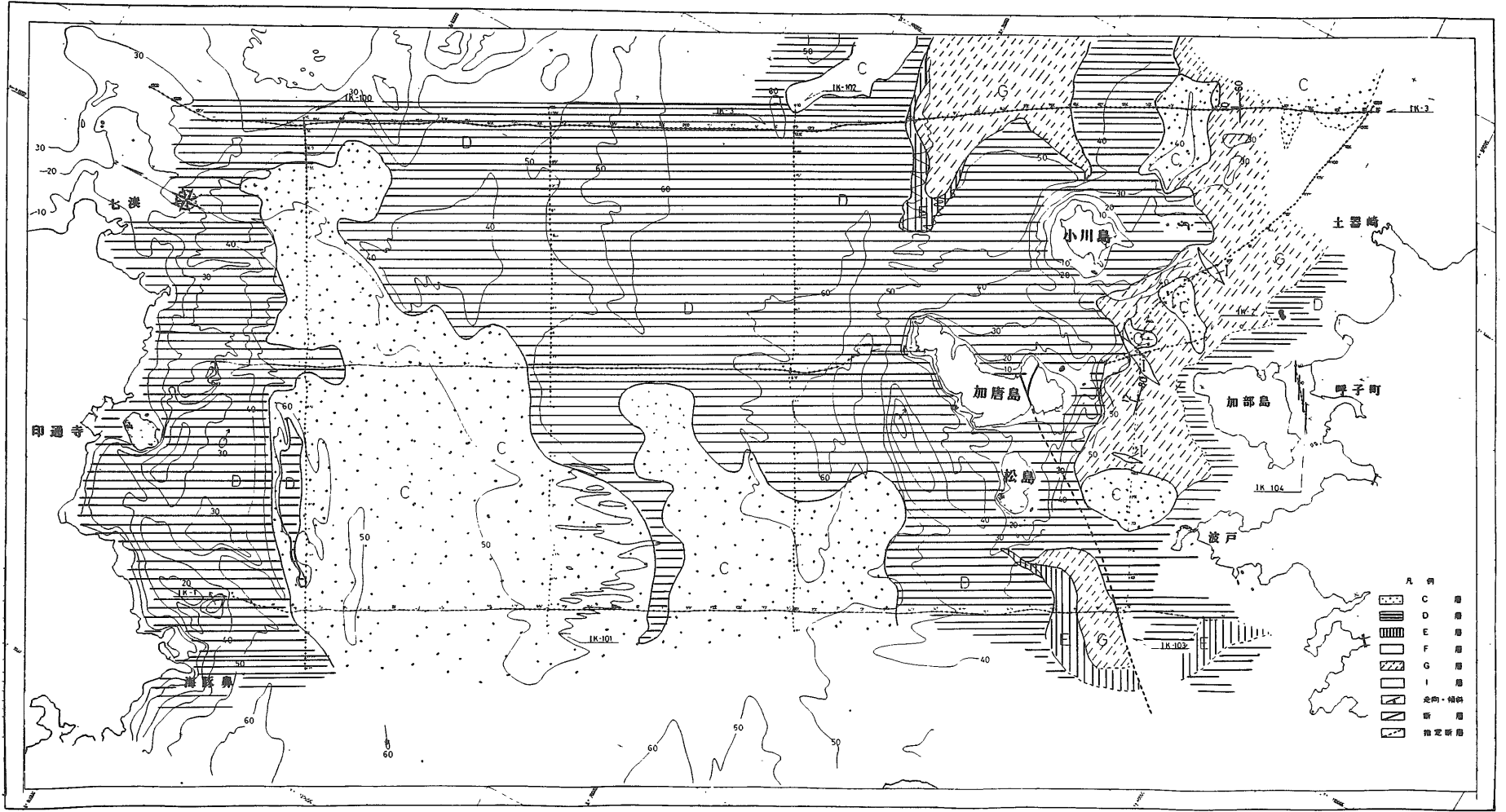


図-3.4 志岐水道海域部の地質平面図

表-3.4 対馬海峡東水道地域の音響学的層序区分

地層区分	反射パターンの特徴及び記事	層位関係構造	層厚・分布
I	本層最上部の音響学的透過層であり、水平層であるが、島の周辺部では基盤に直接のる。高まりの部分は、サンドウエーブを形成する。	水平層で凹凸を埋める。	ほぼ全域で、潮流の早いところを除く。 最大15m
II	下位の埋没盆地を埋めるような水平成層パターンでオーバーラップする。 部分的に散乱。	不整合 海進型 凹地を埋める 成層水平埋積物	尾根部分から南北に厚くなる。 最大ITG 5 で70m
III	不透過層。 凸凹はげしく上面で乱反射。	不整合 層位関係不明 第V層より下位の可能性がある	下限不明 壱岐島ITG 1
IV	第II層とのあいだに強い反射面の不整合面をもつ。 縞状傾斜層の内部構造。盆地の中心部は水平成層層理面明瞭。	不整合 海退型 (前置層型)	ITG 2.5 ITG1.5で最大 80m
V	上位層と強い反射面で接する。下位に水平層でアバットする。内部で変形・偽層がみられる。横方向に反射面パターンが変る。	不整合 下位層にアバット微褶曲 層相変化あり 断層により切られる	全域に分布 100m 鍵層 中心部に向って厚くなる
VI	上位層とは不整合で強い反射面をもつ。内部は強い褶曲変形層理面の反射がみられる。 基盤に従う層理面縞状構造。厚い地層内部は層理面なし。	不整合 単層構造明瞭、断層により切られる。 層相変化大きい	基盤の高まり部分を除いて全域70m以内 ITG5で200mと厚くなる
VI'	内部構造不鮮明、層理面がはっきりしない。 対馬よりの基盤をおおうところにみられる。	部分不整合 平坦化 変形	対馬・壱岐島の沿岸部、40m+
VII	七里ヶ會根隆起部の延長上に分布。 内部構造不鮮明。連続性に乏しい。	部分不整合 壱岐島南部との対比不可能	ITG 4 下限不明
VIII	不透過層・乱反射で強い境界反射面をもつ。部分的に走向・傾斜が基盤内にあり断層もみられる。	不整合 侵食面 ブロック運動による 凸凹	対馬・壱岐島沿岸部
X	基盤不透過層の内側に岩尖状に分布。	不整合 貫入岩	ITG 1

※ 湯本一筒城断層で区切られる勝本層と壱岐層群とは、記録からは判定できない。

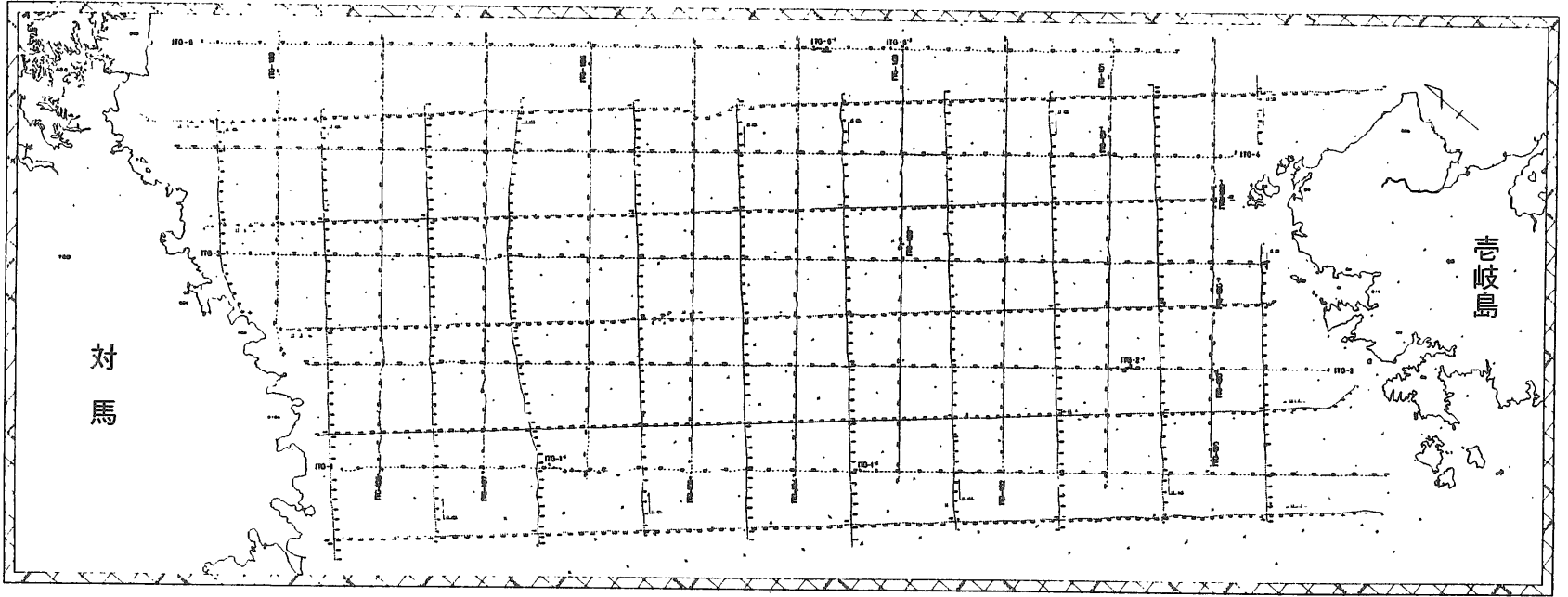


図-3.5 対馬海峡東水道の音波探査航跡図

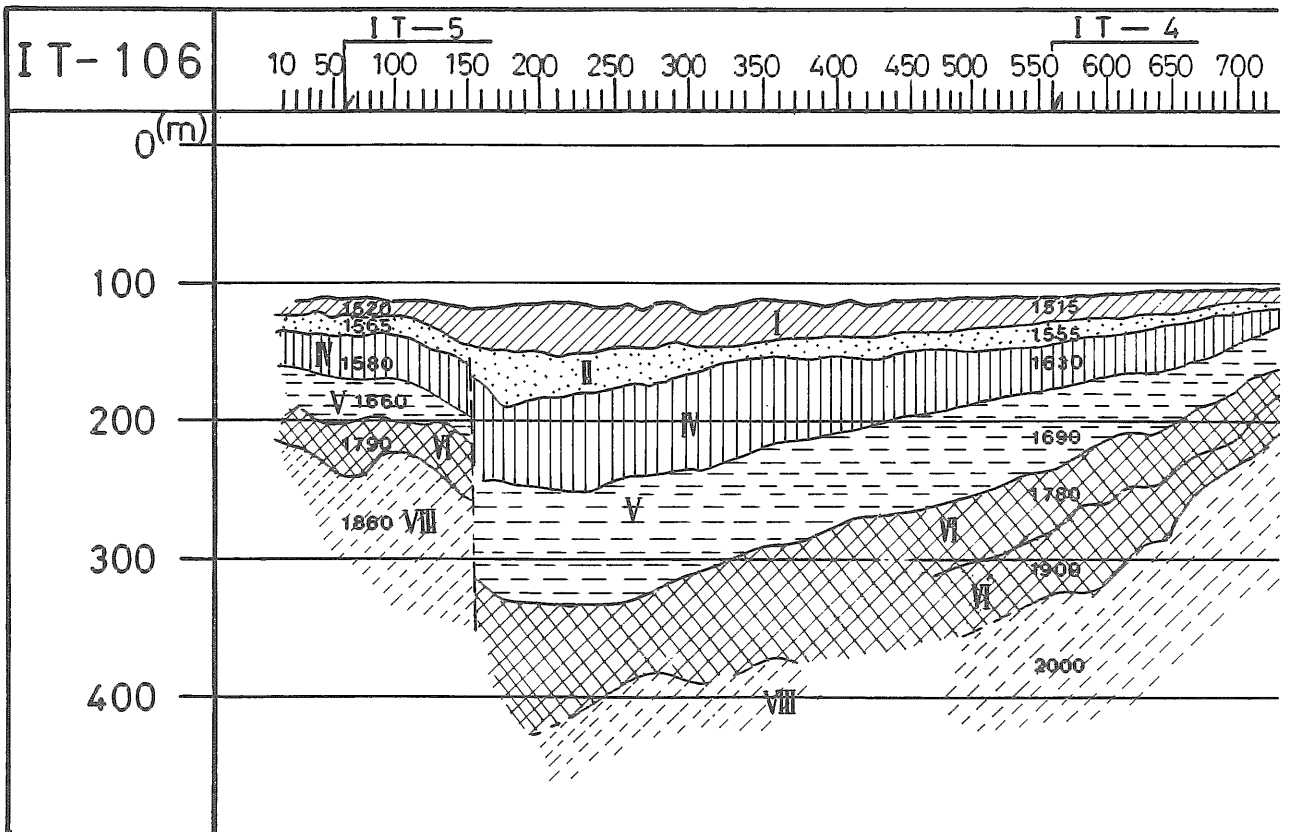
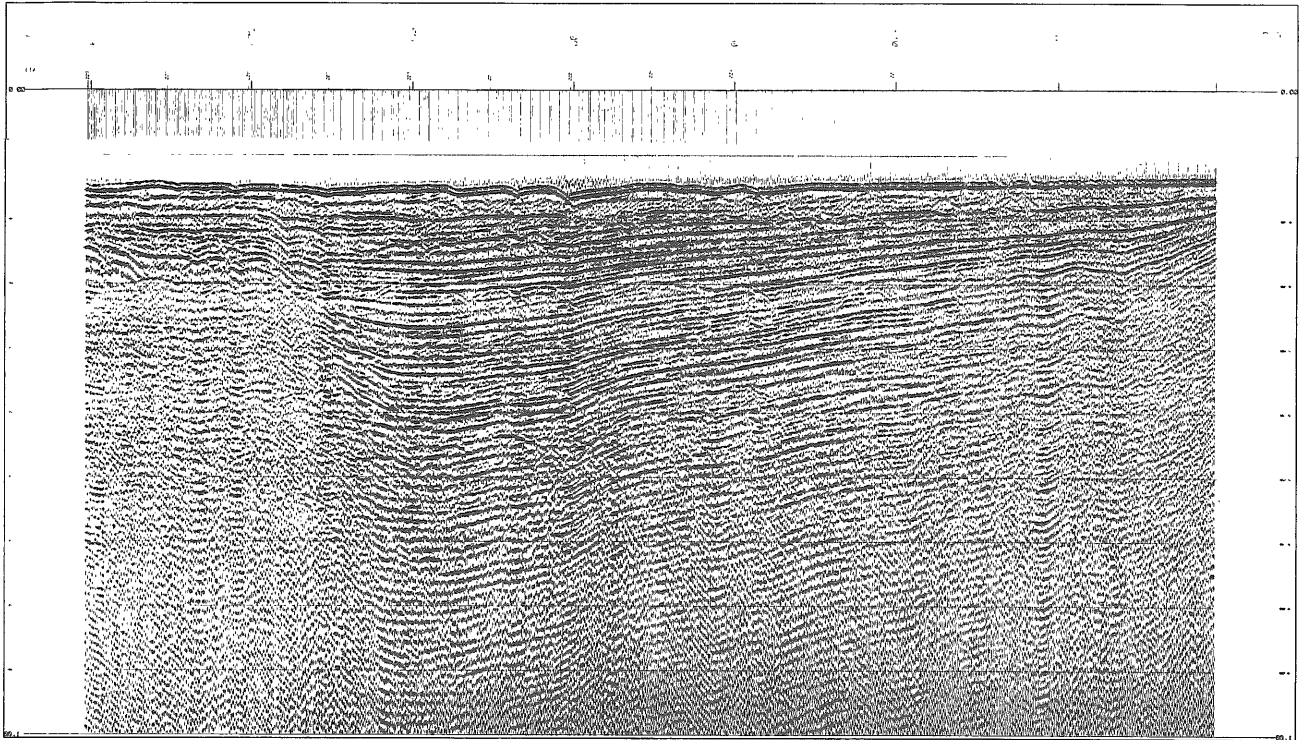


図-3.6 IT106コース音波探査記録および解析図

## (2) 速度構造

本調査域の速度構造は、複雑な地質構造を反映して同一層準でも、反射パターンの相変化のバラツキが多い。速度構造の決定については、前述の速度の解析の手法にしたがった。

トンネル基盤としての、対州層群相当層のⅧ層は、部分的に反射面がみられるのみで、風化層と思われる部分の速度が求められているにすぎない。

スパーカー及びウォーター・ガンによるデジタル・マルチチャンネルの記録からの速度解析したものの各層の区間速度を表-3.5に示す。堆積層の厚いところで、大きく下記のように4層に分けられる。

海水の速度は1,480 m/sec, 1層(I~IV層)が, 1,510~1,650 m/sec, 2層は(V層)1,630~1,740 m/sec, 3層は(VI)1,790~1,920 m/sec, 4層(Ⅷ層風化層), 1,850~1,950 m/secとなる。

表-3.5 対馬海峡東水道域の地層速度

I 層	1500~1530 m. sec
II 層	1550~1575 m. sec
III 層	
IV 層	1580~1650 m. sec
V 層	1630~1740 m. sec
VI 層	1790~1920 m. sec
VII 層(VI')	1900~2050 m. sec
VIII 層	1850~2100 m. sec 〔2400~3500 m. sec〕 重合に使用した速度
X 層	—

## (3) 地質構造

上記のように、海峡部は隆起の部分であるので各層間は、不整合関係が顕著である。これは、堆積構造からみて、海水準の変動に左右される場所と思われる。

I層・II層は海面上昇に伴って累積した堆積物で下位にオーバーラップする地層である。

III層は、不透過層であり、沓岐一呼子間で下位

との関係を不明にする玄武岩層である。本地域には、沓岐島よりのITG-1コースに、乱反射パターンがみられることから、これと対比される。この層準は、もっと古い地層も含むかも知れない。

IV層は、斜交層理をもち、ほとんど変形をうけないままに下位をおおう海退型堆積層を示す。強い反射面をもつIV層、V層が本地域に一番広く分布し、互いに不整合関係である。しかし、IV層とV層は堆積盆の中心で、整合的であるので、時代の大きな違いはないと思われる。すなわちV層以後の堆積物は連続的な海面上昇に伴ってVI層を埋めるよう堆積し、基盤にアバットする。

VI層は、基盤の持ち上った部分では変形しており、地殻変動をうけている。この上位層との不整合を陸上で対比するなら長沼不整合にあたるかも知れない。

VI'層も、VI層と不整合となる部分が多いが実体がかめない。この2層の境界部の反射面は陸域に近いところでは強いし、堆積盆の中心では、明確でなくなる。VII'層の可能性もある。

沓岐島-湯本で推定された湯本-筒城断層は、海域ではその連続性は、確認できないがITG 3, 102, 100, IT110にその延長部と考えてもよい断層はみられる。しかし、同一層内での反射面の違いをみることはできない。すなわち沓岐層群と勝本層群を音響学的に区別できない。

Ⅷ層は、いわゆる対州・勝本層群にあたるもので、ほとんど内部反射はみられないが、対馬寄りでは走向・傾射 N70~85°E/12~13°N の内部の層理面がわずかみられるのみである。

以上の地質についてまとめてみると次のようになる。

① 沓岐島-対馬間の対馬海峡東水道部は、複雑な地史をもっており、日本海南部の対馬・沓岐構造帯と呼ばれる北東-南西方向の断層褶曲帯(仮称 沓岐構造帯)と、これと交叉する東-西性の新しい断層運動(仮称 七里ヶ曾根断層)によりブロック化している。

② 東-西方向の断層は、新しいIVまでの地層を切っており、新旧の運動は明確でないが、V層を切る南北性のものより後まで活動している。しかも、地溝状の谷を形成している。南北性の断層は、七里ヶ曾根より西側にあって、西傾斜の断層となっている。堆積層は、基本的にアバットする。

東偏型の傾動盆地を形成している。(図-3.7)

③ トンネル基盤としてのⅥ層・Ⅷ層基準とした2枚の基準等深線図を作成したがⅧ層が、高まりを作るITG-2コースがもっともルートとして有望である。しかし、ITG104-105コースにみられるように、七里ヶ曾根以西では、Ⅷ層の基盤の深さが350m以深に達し不明であり断層の落差を求めるために再度マルチチャンネル音波探査・屈折法などによる調査が必要である。一方Ⅵ層をトンネル基盤の対象とする地層と考えれば、これを切る断層・貫入岩体の正確な位置を細かく調べる必要がある。

④ 対州層群と勝本層群の層位関係が不明であり、その上位沓岐層群との関係も直接確認できない。

⑤ 貫入岩・併入岩類は、1カ所では確認できていないが、露岩のある七里ヶ曾根付近で、海底ボーリングや採泥による直接的な調査方法も必要である。

⑥ 沓岐層群と勝本層群をわけるとされている湯本一箇域推定断層は、海域でも確認できないが、ITG3, SP102などに一部推定されるものがみられる。しかし、反射パターンから両層の違いを識別することは不可能であった。

#### (4) トンネル基盤構造

トンネル基盤構造として、陸上でみられる対州層群や勝本層群に担当する地層が、連続すれば良いのであるが、沓岐・対馬間においては基盤岩類として対比できるものは、勝本沖から七里ヶ曾根まで追跡できる。その上面の深さ250~300mで連続する。しかし七里ヶ曾根北西側では基盤の深さが350m以深となり、その基盤深度が不明となる。基盤深度の不明な幅は10~15kmある。(図-3.8)

今回は、次善の策として、とりあえずⅥ層をトンネル基盤とした。上位のⅤ層とは不整合であり、鮮新~更新統の地層に相当するものと思われること、区間速度も1,790 m/sec~1,920 m/sec前後のことから、一応トンネルの基盤になりうるか検討する必要がある。

時間-深度変換断面から、Ⅵ層上面等深線図を作成したが(図-3.9)これをみると、ITG105, IT105のコースの間が、堆積物のもっとも厚いところとなっており、その深さは350mを越える。しかし、海峡部を越えて東西両側にいくにした

がって堆積盆が深くなる割には、Ⅵ層上面は深くならず、海水準の低下した時代に浸食された面とみられる。新しい断層がITG4, 104で顕著にみられるようにⅣ層まで変形させている。この断層の時代が、トンネル工事の鍵をにぎっているが、第四紀の断層であることはまちがいのないところである。トンネル工事としては、困難が予想される。

### 3.2.3 対馬海峡西水道(対馬西部沖)

#### (1) 音響学的層序区分

本地域は、厚い堆積物をもつ海峡水道舟状盆地と基盤のたかまりを構成する陸棚地域にわけられる。

Ⅰ層からⅥ層までほとんど成層する堆積層であり、層相の変化は少ない。しかしⅥ層上面には、チャンネル構造を示す不整合面がみられ、Ⅴ層以上の地層との間に構造運動の差がみられる。地質図の褶曲はⅥ層によるものである(図-3.10)

堆積物の形状をみると斜交葉理がみられ、対馬側と韓半島側から交互に供給されたように、互に指交関係を示しながらクサビ形に薄失している。

昨年度、石油井との対比を考えて、ウォーターガンによる深部探査を試みた。その結果を図-3.11に示すが、1.2~1.3秒付近に大きな不整合がみられる。これは南(1979)のD層準に相当する(表-3.6)。

#### (2) 速度構造

音響学的層序区分によってわけられた地層を1,500~2,000 m/secの各々の50~100 m ステップの一定速度(RMS Constant Velocity)で重合をして、信号が一番良く抽出される速度から区間速度を算出したものを下記に示す。

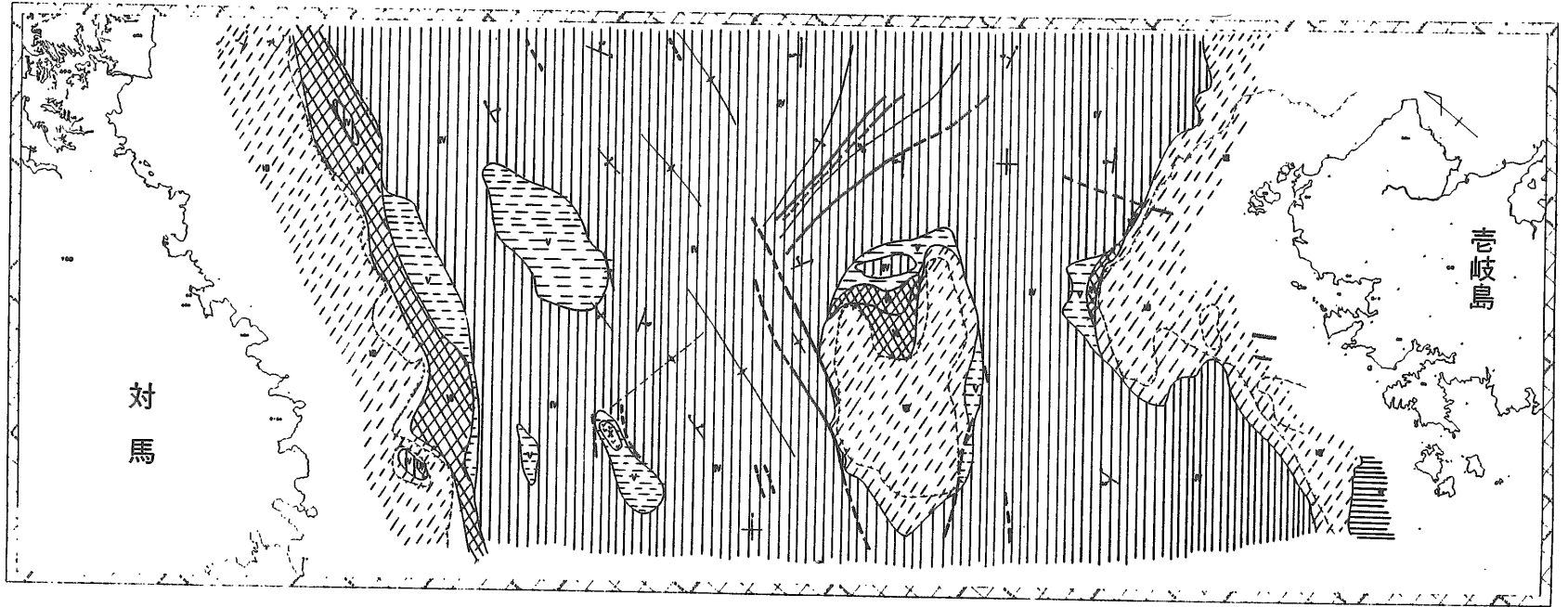
##### 区間速度

Ⅰ層	1,510~1,530 m/sec
Ⅱ層	1,550~1,580 m/sec
Ⅳ層	1,590~1,650 m/sec
Ⅴ層	上部 1,600~1,680 m/sec 下部 1,650~1,720 m/sec
Ⅵ層	1,700~1,900 m/sec
Ⅶ層	2,000~2,150 m/sec 上部(風化層) 2,500~3,200 m/sec

ボーリング孔におけるPS検層データによれば、基盤層(砂岩・頁岩互層)の速度として2.5 km~3.5 km/secの値が得られており、岩石

## 凡 例

I 層	
II 層	
III 層	
IV 層	
V 層	
VI, VI' 層	
VII, VII' 層	
VIII 層	
IX 層	
X, X' 層	

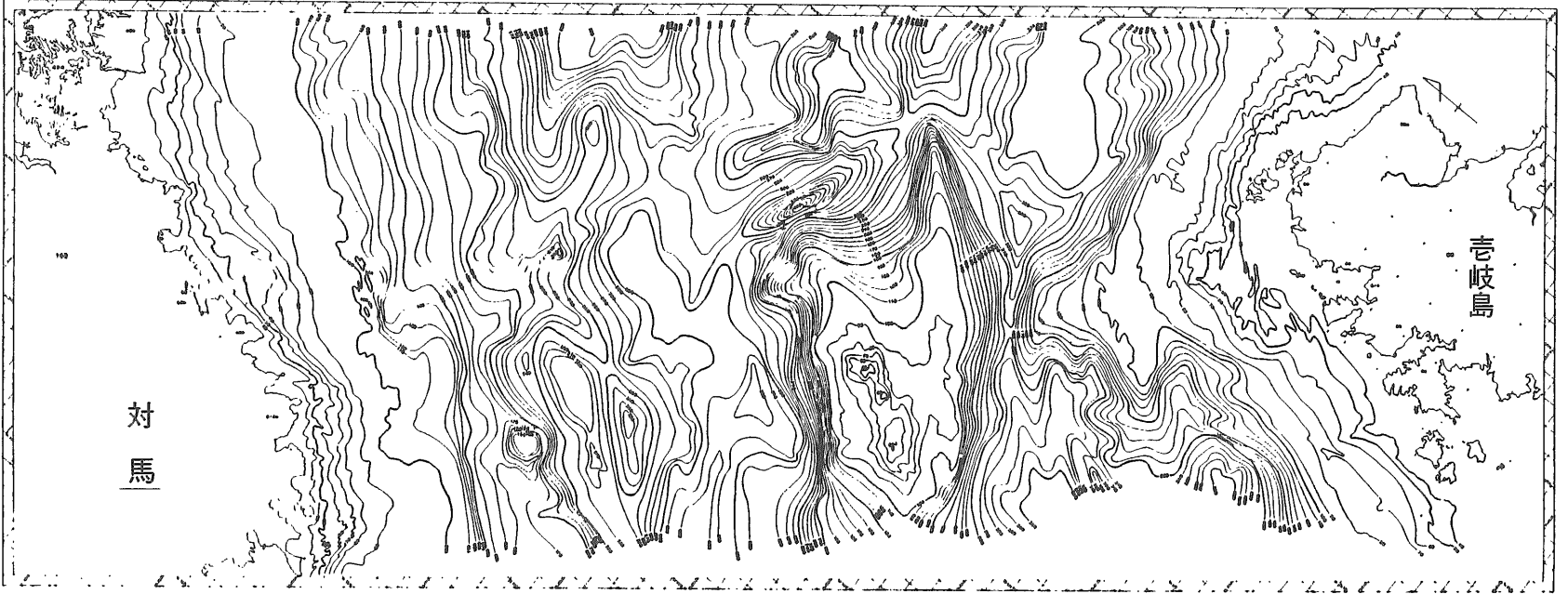


図—3.7 対馬海峡東水道地質平面図



图-3.8 对馬海峡東水道基盤等深線图（Ⅷ層）





図一3.9 対馬海峡東水道基盤等深線図 (VI層)

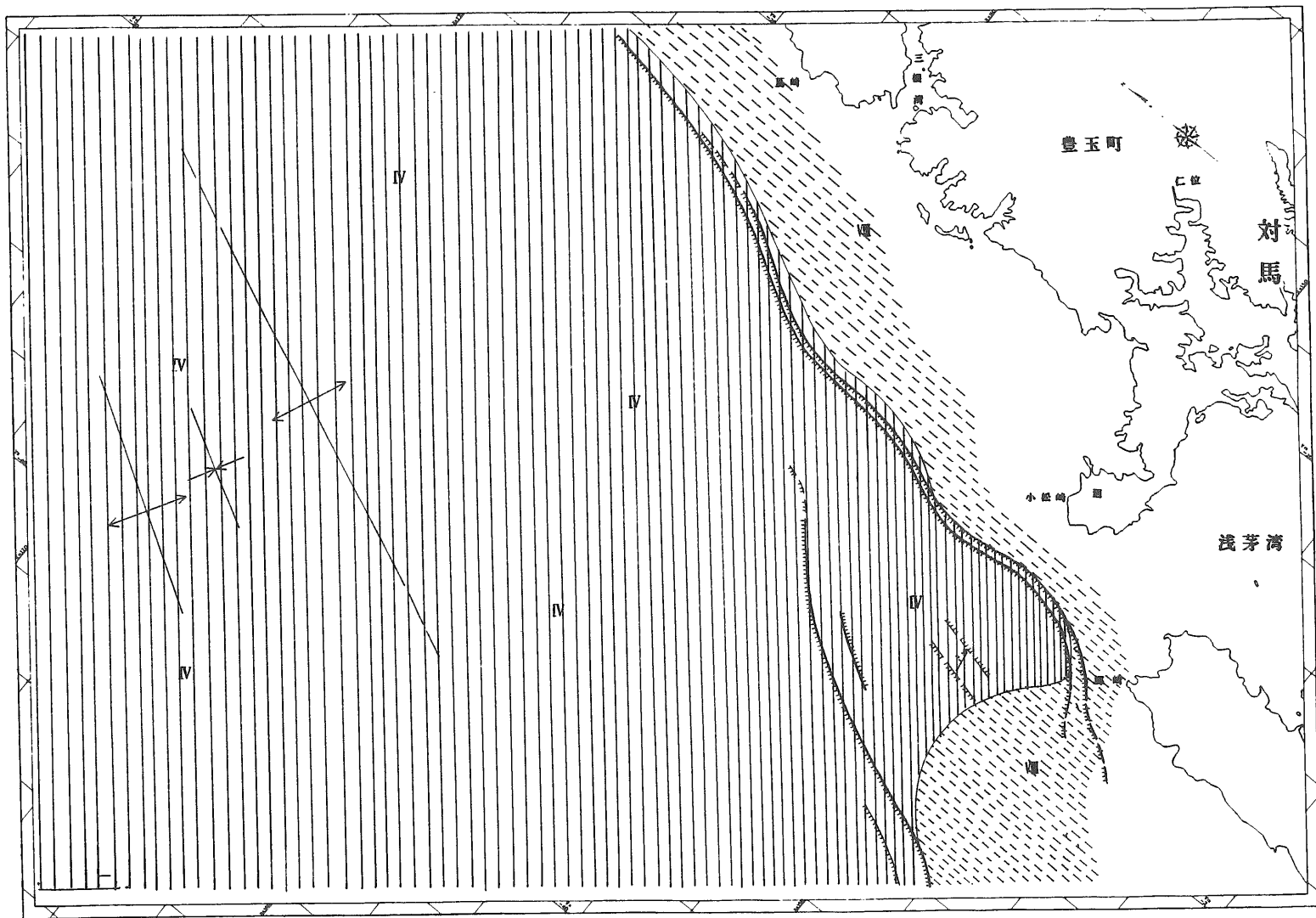


图-3.10 对馬海峡西水道地質平面图

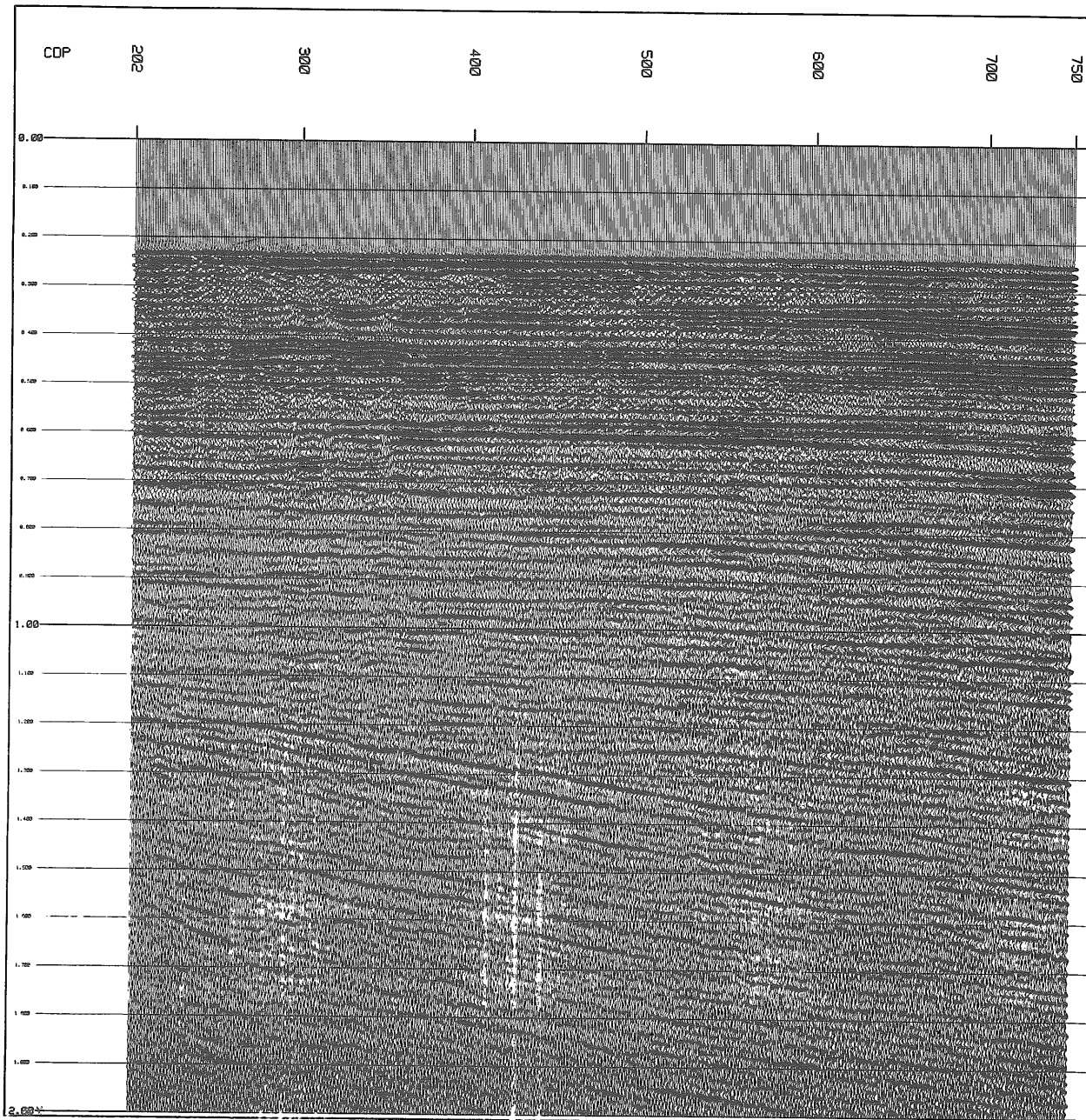


図-3.11 対馬海峡西水道北部の音波探査記録、(単位;秒)1.2~1.4秒に不整合面がみられる

試験では2.0~5.0 km/sec, 平均 2.5 km/sec であり, 応力場から解放されたもとでは, 軟化する傾向がみられる。

村内 (1972) の屈折法によれば図-3.12のような速度構造になるが, 未固結の堆積物が厚いことを示している。

この速度構造からみると村内 (1972) が求めた第一層の 1.8 km/sec の速度断面は今回の結果として出された I~VI までのすべての地層がこの中に含まれる。

(3) 地質構造

本調査域の地質構造をみると, 対馬断層群により大きく2つの地質区に分けられる。

一つは, 厚さ 700 m 以上の堆積盆をもつ水道部の舟状盆地区と, 基盤の露出する陸棚に分けられる。

この2地質区をわける断層は, NNE-SSW 方向の雁行状断層である (図-3. 10)。

この断層は, 大きな垂直~西落ちの高角断層であり, しかも左ズレ断層の傾向がみられる。落差は不明。五島-対馬構造帯の東端をなすもので, VI層を切っている上にII層も変形させているので継続的に進行していたと考えられる。堆積物の厚さは700~800 m 以上あると思われる。

TW 2 の SP. 2150 付近にやはり V 層まで変形

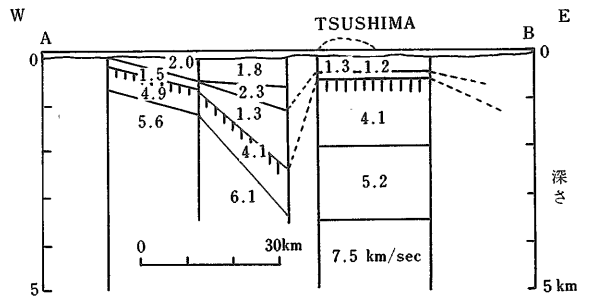


図-3.12 Structure of crust across Tsushima (Murauchi,1972)

表-3.6 対馬海峡とその周辺の海底地質層序対比表 (井上, 1982年に加筆)

発表者	Kimura et al (1975) 木村ほか(1975a)	富田ほか(1975)	桂・永野(1976) 永野ほか(1976)	Honza et al(1978)Tamaki et al (1978)	南(1978)	海上保安庁水路部(1978a)	海上保安庁水路部(1981a・b)
	五島周辺	対馬・五島北部間	対馬海峡西部	対馬海峡全般	対馬海峡帯・北部	宍岐北部	対馬東岸北・南部
完新世	A層 泥・砂・礫 貝殻 0-100m	A層 層厚一定	A層 透明層	上部層(A)-(B) ゆるやかに褶曲 厚さ最大 1700m弾性波 速度 1.7km/sec	D層群上部 全体として 浅海性 約400m	I層 水平層	I t層 <25m水平層
更新世	B層 半固結・斜交 層理 ±170m	B層 透明層 斜交層理	B層 デルタ前蓋層 北へ薄化			II層 透明層	II t層 15~30m
鮮新世	C層 傾動・固結砂 岩泥岩	C層 ゆるやか褶曲	C層 比較的透明 反射面			III層 傾斜	III t層 +100m
中世	後期 D層 褶曲・断層 (勝本層)		D層 成層・海峡 東部で尖滅	下部層(C)? 褶曲 弾性波速度 2.2-2.3km/sec	D層群 D層群下部 約400m	V層 (宍岐層群)	V t層 音響基盤 (対州層群)
	中期 E層 音響基盤 (五島層群)	音響基盤 (対州層群)	E層 音響基盤 (五島層群)	音響基盤(D) 弾性波速度 3.8-5.2km/sec	G層群 K層群 400~1400m H層群 N層群 深海成相 +2000m	IV層 (勝本層)	
漸新世					X層群 陸成-浅海成相		
元第三系					音響基盤		

させる断層がみられる (図-3.13).

この傾向は、南 (1979) の図-3.14の断面にみられる基盤内の断層系と一致し、対馬断層帯を形成していると思われる。

これらのうち、上島の西岸沖4~5 kmを南北に走る断層を対馬第1断層、下県沖6~7 kmを走る断層を対馬第2断層と呼んでいる (富田ほか1975)。両者の間隔は浅茅湾口沖で約10 kmあり、断層線は北にプランジする。

第1断層は、高角のやや西傾斜の断層で、IV層まで切り、かつII層を变形させている。この断層は、同時に基盤内の断層として、下県北西部海岸にまで連続している。

第2断層は、小松崎沖より南側に顕著にあらわれ、対馬南方まで連続するものと思われる。また、落ちの違う副断層もみられ、基盤のブロック化が進んでいる。

その上にIV層以後の堆積物が被っている (図-3.13)

一方、対馬海峡西水道の舟状盆の堆積構造は、傾動地塊に規制された東偏非対称盆地となっている。朝鮮半島側から東に傾斜し、対馬が地塁状に隆起したようになっている。(図-3.13)。

この海峡部の東端にあたる場所がもっとも堆積物が厚い。全般にI~V層まで西に向って浅くなる堆積面を示すことが多い。

I~VI層では斜交葉理が発達している。対馬断層付近では、新しい堆積物がひきずり上げられるように变形しているのが、基本的にはアバット不整合となっている。

V層以前の地層については、変動による

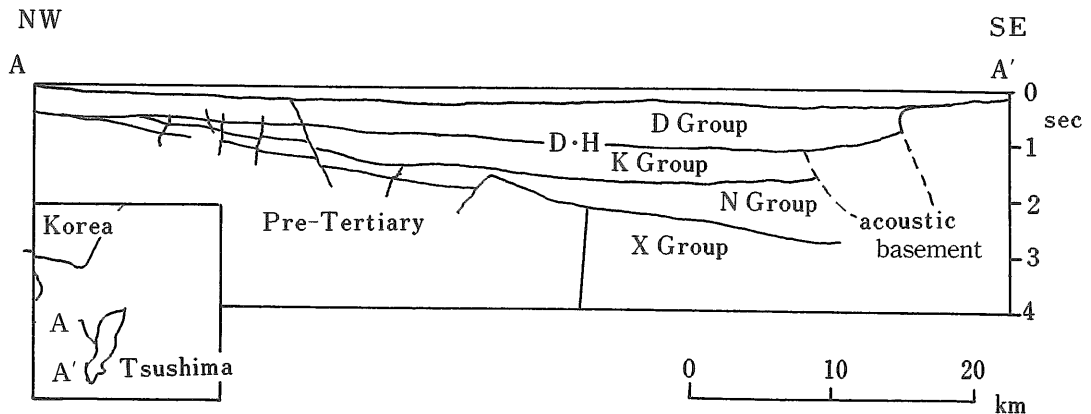


図-3.14 Interpretation of a seismic reflection profile from the western coast of Tsushima towards Korea. D.H. is the D horizon

NE-SW 方向の背斜・向斜がみられる。

(4) トンネルとしての基盤

対馬海峡西水道の対馬舟状盆は、図-3.13に示すように第四紀と思われる堆積物が800~1,000 m (往復走時約1.2~1.3秒)あり、不整合面をはさんで下位に新第三紀中新統堆積物がさらに500~1,300 mあるとされている。対馬を構成する対州層群をトンネル基盤とすれば、対馬断層以西では、その上限の深さは海面下2,000 m~2,500 m (2.5~3.0秒)に達することになる。その岩石の弾性波速度は3.3 km~4.1 km/秒となっており、しっかりしたものであるが、深すぎて掘削の対象とはならない。基盤岩内の断層、褶曲も複雑ではあるが、形成時期は、地溝形成と同じくするもので、かなり古い。その後の変動は、あまり大きくないと思われる (図-3.15)。

本調査の探査深度は1秒が最大であり、海面下300~400 mまでである。しかし、昨年度のウォーターガンによる記録からは、図-3.11のように1,000~1,500 m (1.2秒~1.5秒)の深さの記録までとれている。この断面でみられる1.2~1.3秒の不整合面は、石油井などの資料に照らしあわせてみると、中新世最上部で汎世界的にみられる鮮新世/中新世の境界面であろう。しかも、この上位層は速度構造からみても未固結~半固結と考えられ、VI層~VI'層で1,800~2,000 m/secである。

土木工学的にVI層 (1,700~1,900 m/sec)が、トンネル支持基盤となり得るか検討する必要があるが、地質年代的にはVI層上面が大きな不整合を形成し、鮮新~更新統下部の地層と考えられる。そこでVI層上面の基盤等深図を図-3.16に示す

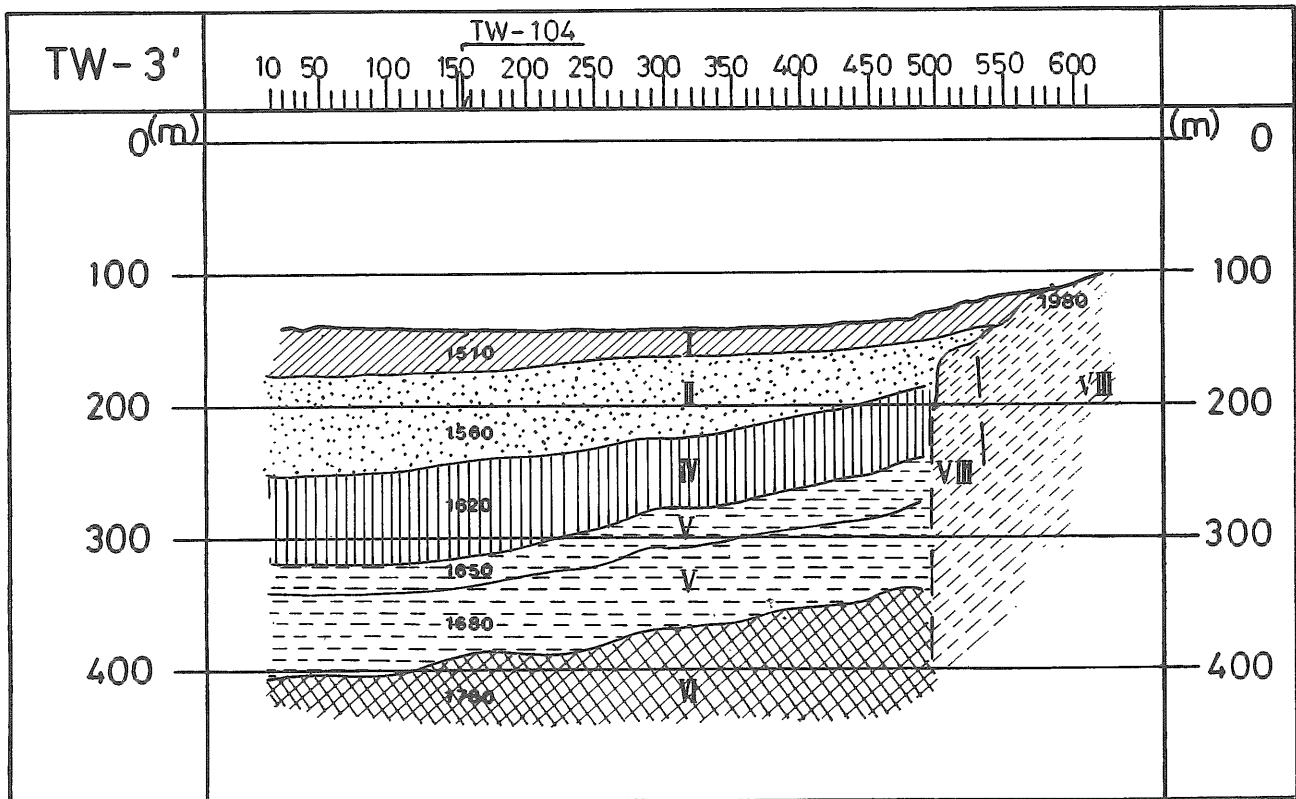
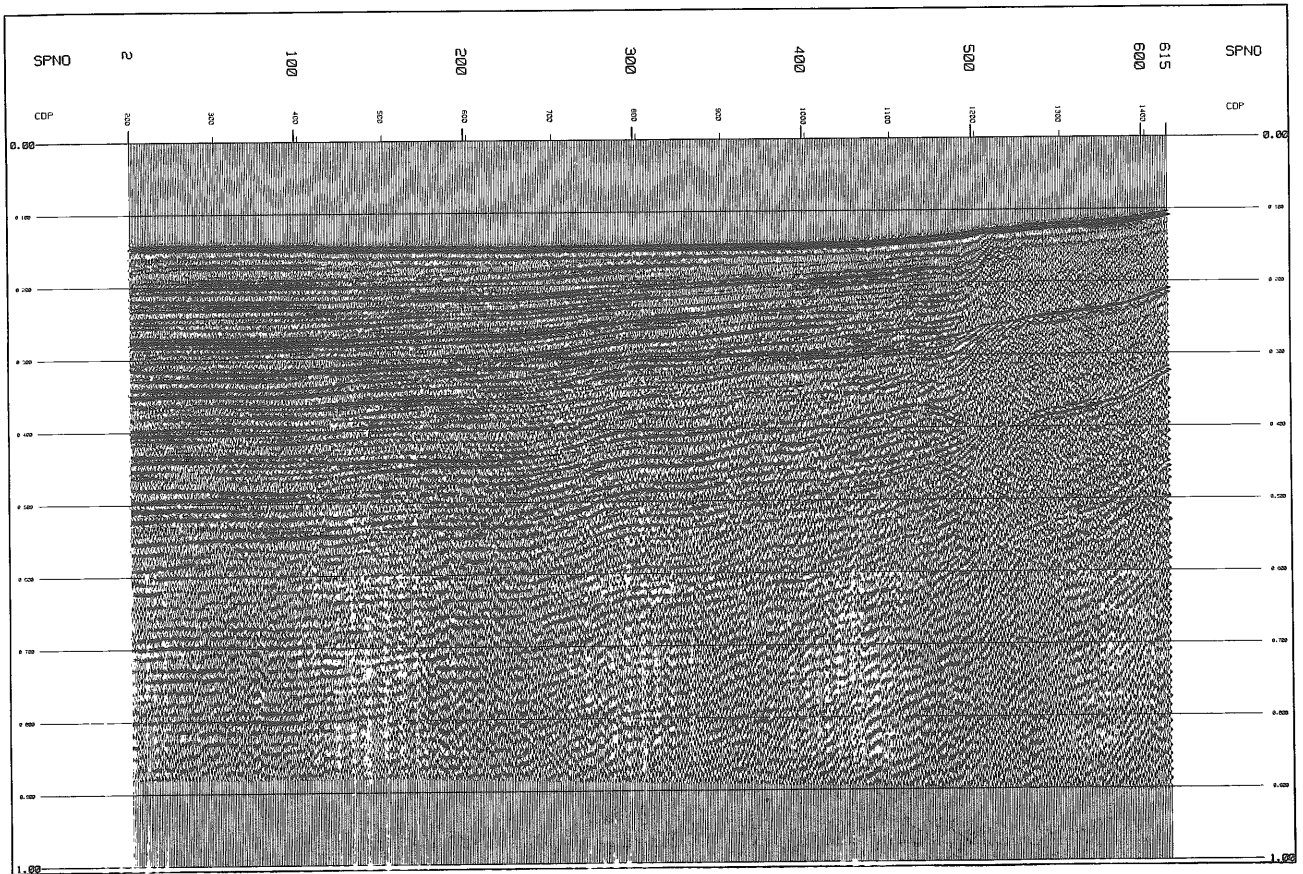


図-3.15 TW-3' コース音波探査記録および解析図

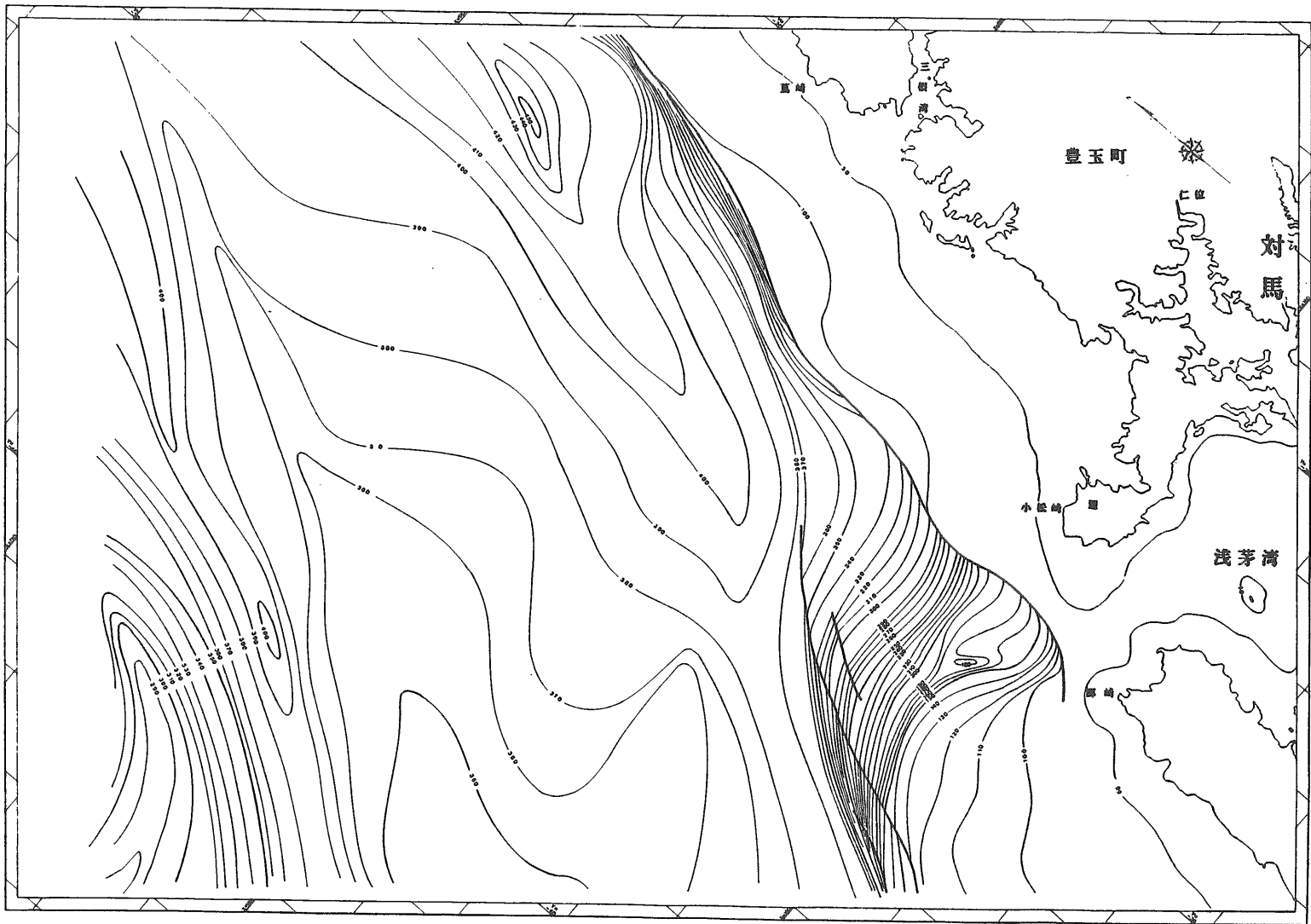


図-3.16 対馬海峡西水道基盤等深線図 (VI層)

が、その最深部は約360 mである。

対馬断層をはさむ対馬一五島構造帯は、断層帯をもち、舟状盆地は、軟弱層が厚いためトンネル施行上もっとも困難な地質条件となっている。沈埋トンネルの可能性も検討されなければならない。また対馬断層の影響をさけるために浅茅湾々口の2本の雁行断層(第1, 2対馬断層, 本座他, 1979)の間を通るルートを選びコースを設計する必要がある(図-3. 11)。

対馬海峡西水道は韓国側に向って基盤が浅くなっており、調査、設計も韓国側からも順次進められるべきだろう。

### 参考文献

- 1) 本座栄一・玉木賢策・湯浅真一・村上文敏(1979); 日本海南部および対馬海峡周辺広域海底地質図。海洋地質図, 13。地質調査所
- 2) 杵岐団体研究会(1973); 杵岐島の地質。一とくに中新統老岐層群について—地質学論集, 9, 69—81。
- 3) 杵岐島地質研究グループ(1973); 杵岐島の地質と化石。一第三系層序, 象化石, 魚類化石について—金沢大学日本海域研究所報告, 5, 89—114
- 4) 井上英二(1981); 対馬海峡をめぐる白亜系・第三系の地質学的問題。—その1—陸域部の地質比較。地質ニュース, 328, 23—36
- 5) 井上英二(1982); 対馬海峡をめぐる白亜系・第三系の地質学的問題。—その2—海域の地質と総括。地質ニュース, 340, 46—61
- 6) 井上英二(1983); 九州地方及び西方海域の新生代構造発達史。日本地質学会西日本支部第100回例会記念シンポジウム論文集, 首藤他編89—100。
- 7) INOUE, E. (1982); Geological Problems on Cretaceous and Tertiary Rocks in and around TSU SHIMA—KOREA Straits. United Nations ESCAP, CCOP Technical Bulletin, Vol.15, 85—121。
- 8) 磯見 博・松井和典・片田正人・河田清雄・長浜春夫・服部仁・鎌田泰彦(1971); 対馬・五島海域の地質。日本地質学会等5学会連合学術大会シンポジウム資料, 27—37。
- 9) 海上保安庁水路部(1978 a); 沿岸の海の基本図(5万分の1)。「杵岐北部」海図第6345—4。
- 10) 海上保安庁水路部(1978 b); 沿岸の海の基本図(5万分の1)。「豆殿」海図第6354—8。
- 11) 海上保安庁水路部(1981 a); 沿岸の海の基本図(5万分の1)。「対馬東岸北部」海図第6354—2。
- 12) 海上保安庁水路部(1981 b); 沿岸の海の基本図(5万分の1)。「対馬東岸北部」海図第6345—3。
- 13) 海底地質調査技術グループ(1974); 五島・対馬周辺海域の海底地質調査研究の概要。地質ニュース, 233, 1—18。
- 14) 桂 忠彦・永野真男(1976); 九州北西海域の海底地形と地質構造運動。Journal of the Oceanographical Society of Japan. —32, 3, 130—150。
- 15) 国際ハイウェイ建設事業団(1983); 日韓トンネル海域部地質調査(概査)報告書, 1—73。
- 16) 茂木昭夫(1981); 対馬海峡大陸棚の地形発達。—対馬陸橋に関連して—, 第四紀研究, 20, 3, 243—256。
- 17) 松本達郎・野田光雄・宮久三千年(1961); 九州地方・日本地方地質誌, 1—423。朝倉書店
- 18) 南明(1979); 山陰・対馬沖の堆積盆地の分布と性格, 石油技術協会誌, 44, 5, 89—96。
- 19) 永野真男・桜井 操・桂 忠彦・中村啓美・北原祥二・小野寺健英(1976); 九州西岸沖の海底地質。Report of Hydrographic Researches, 11, 1—38。
- 20) 岡田博有(1971); 対州層群(対馬)の堆積環境に関するノート。日本地質学会等5学会連合技術大会シンポジウム資料, 39—46。
- 21) 大嶋和雄・井上英二・小野寺公児・湯沢真人・黒田 敬(1982); 対馬一五島周辺海域の堆積物。地質調査所月報第33巻
- 22) 桜井 操・永野真男(1976); 九州西方の海底地形・地質構造, 地質雑誌, 85, 6, 329—341。
- 23) 高橋 清(1969); 対州層群の研究, 長崎大学教養部紀要, [自然科学], 10, 67—82。
- 24) 高橋 清・松橋秀朗(1970); 対州鉱山付近の対州層群にみられる流痕について, 長崎大学教育紀要, 41—52。
- 25) 立岩 巖(1976); 朝鮮—日本列島地質構造論考, 東京大学出版会, 1—654。
- 26) 富田宰臣・山下明夫・石橋 澄・三木 孝・高橋 良平・首藤次男・蒲田英夫・橋本 勇・本座栄一・五十嵐千秋(1975); 対馬西方海域の海底地質。九州大学理研報地質, 12, 2, 77—90。
- 27) 通商産業省(1972, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977); 広域調査報告書。「対馬上界地域」通商産業省資源エネルギー庁。

## — 会員募集 —

本会は国際ハイウェイ構想の一環である。日韓トンネル計画の研究を内外各分野の専門家の協力を得て、情報・資料の収集、講演会、シンポジウムの開催、更には国際交流や刊行書「日韓トンネル時報(年4回)、日韓トンネル研究(年2回)」の出版を通して行って居ります。

本会を具体的に推進するために幅広く、会員の募集を致しております。

申込みおよびお問い合わせは、下記研究会事務局へお願いいたします。

### 会 費

正 会 員	年 額	5,000円
賛助会員	年 額	個人 一口10,000円
		法人 一口50,000円
		一口以上

国際ハイウェイプロジェクト  
日韓トンネル研究会  
〒150 東京都渋谷区道玄坂 2-10-12  
新大宗ビル 3号館 930号室  
TEL 03(496)9211