

「かいこう」の1997年第56潜航で三陸沖日本海溝海側斜面基部から 採集された玄武岩の産状と地震波速度

服部 陸男*¹ 鶴 哲郎*² 松山 隆*³
河野 文夫*⁴ 川村喜一郎*⁵

1997年11月の無人潜水機「かいこう」と母船「かいてい」による訓練潜航, KR97-09, LEG2において, 三陸沖海側海溝斜面基部, 水深 7360 mから極めて新鮮な, 多孔質アルカリ玄武岩を採集し, 地震波速度等の物性を測定した。同じ試料についての分析結果によると, 生成年代は6-8 Ma, 化学組成はネフェリナイト系のアルカリ玄武岩で, 一般のホットスポットのアルカリ玄武岩に比べて, 低圧場で発生し, 部分熔融度が低いと言う特徴を有し, 海溝海側のアウトースウェルより沖合で, 割れ目噴火により生成したと推定される(平野ほか1999)。玄武岩の2個の試料から, 3個の測定用試料を作成し, 地震波速度測定, 孔隙率等の物性の測定を行った。3個の試料のP波速度は, 塩水飽和状態での測定平均値, 約4.76 km/sec, S波速度は約3.41 km/secを示し, これまでの海洋地殻第2層についての報告と報告と良く一致する。また, 3個の試料の平均乾燥密度は, 2.85 g/cm³, 孔隙率は22.6%, 1000 psi 加圧下での平均孔隙率は, 21.7%, 浸透率は0.794 md であり, 乾燥状態での本コアの剛性率は約18 Gpa, 体積弾性率は約19 Gpa, ヤング率は約42 Gpa である。

キーワード: アルカリ玄武岩, 日本海溝海側斜面, 地震波速度, 三陸沖日本海溝, 割れ目噴火

Feature of occurrence and measurement of seismic wave velocities of alkali basalts collected from the bottom of the outer wall of the Japan Trench off Miyako, Sanriku by ROV "Kaiko", Cruise KR97-09, LEG1, 1997

Mutsuo HATTORI*⁶ Tetsuro TSURU*⁷ Takashi MATSUYAMA*⁸
Fumio KONO*⁹ Ki-ichirou KAWAMURA*¹⁰

Two very fresh, porous alkali basalt were collected from the wall side bottom of the Japan trench, depth 7360 m, during the KR-97-09 cruise of R/V "Kairei" and ROV "Kaiko" in Nov. 1997. Physical properties of 3 samples were measured. The physico-chemical analysis of the same samples show that the characteristics of the rocks is nepheline alkali basalt of low pressure origin with low partial melting and might be occurred at further sea side of outerswell by fissure eruption (Hirano et al, 1999). Seismic wave velocities, porosity and physical properties were measured and calculated for 3 samples from 2

-
- * 1 海洋科学技術センター 深海研究部
 - * 2 海洋科学技術センター 海底下深部構造フロンティア
 - * 3 石油公団石油開発技術センター
 - * 4 大成サービス株式会社
 - * 5 深田地質研究所
 - * 6 Deep Sea Research Department, JAMSTEC
 - * 7 Oceanic Crust Dynamics Research Frontier, JAMSTEC
 - * 8 Technology Research Center, Japan National Oil Corporation
 - * 9 Taisei Service Co.,Ltd
 - * 10 Fukada Geological Institute

collected rocks. The velocities of seismic wave were measured under salt water saturated and pressurised (1000 psi) condition and dry condition. The average velocity of P wave is 4.76 km/sec and that of S wave is 3.41 km/sec, which are typical values for the layer 2 of oceanic crust around the area studied. Mean dry density and dry porosity of samples are 2.85 g/cm³ and 22.6% respectively. Mean porosity, permeability of 1000 psi pressurized samples are 21.7% and 0.794 md respectively. Rigidity, bulk modulus and Young's modulus of dry samples are 18 Gpa, 19 Gpa and 42 Gpa respectively.

Key words : Alkali basalt, Outer wall of the Japan Trench, Seismic wave velocities, The Japan Trench off Sanriku, Fissure eruption

1. はじめに

1997年11月に「かいれい」、「かいこう」による訓練潜航が三陸沖日本海溝(北緯39°23', 東経144°16' 近辺)において行われた。この航海はKR97-09で, LEG1とLEG2に分かれている。ここで報告する玄武岩は, LEG2の56潜航で採集された。56潜航の目的は, 既に行われていたマルチチャンネル地震波調査の断面図, 測線SR101(当時は鶴ほかMS)から推定して, 日本海溝海側斜面の基部付近に露出している可能性のある, 海洋地殻第2層の玄武岩を採集する事であった。

この潜航により, 海溝底の海側斜面基部の水深7360m, 北緯39°23.1173', 東経144°15.6582' の地点から2個の玄武岩の試料を採集した。2個の玄武岩は, 新鮮な外見で発泡度が高く, かんらん石の結晶が多く認められた。想定していた第2層の玄武岩(多分白亜紀)とは大分異なり, 時代的に新しそうな外観を呈していた。これらの玄武岩の顕微鏡的記載, 化学分析, 年代測定等は, 希望した筑波大学の平野直人氏に託した。その結果の中間的な概要は, 第16回「しんかいシンポジウム」で報告されている(平野ほか, 1999)。

KR97-09, LEG2に乗船した研究者は, 服部陸男(JAMSTEC, 主席研究者), 秋元和實(当時: 名古屋自由学院短期大学, 現在: 熊本大学理学部地球科学科), 川村喜一郎(当時: 筑波大学, 現在: 深田地質研究所)である。

2. 「かいこう」による調査

2.1 潜航海域

三陸沖において行われたマルチチャンネル調査, シービーム調査の資料を参考にして潜航海域を決定した。マルチチャンネル調査は, 海洋科学技術センターによるSR101の断面図(図1, 鶴ほか, 1999)を参照し, 第2層の玄武岩の露出が想定できる急崖部を選び, SR101より北方の, 海側斜面基部の傾斜がより急峻な図2に示す海域で潜航を行う計画を立案した。実際に潜航した地点を図3に示す。なお, 使用したシービームマップは, この航海で, 地球物理学的調査及び潜航の事前調査のため作成された。

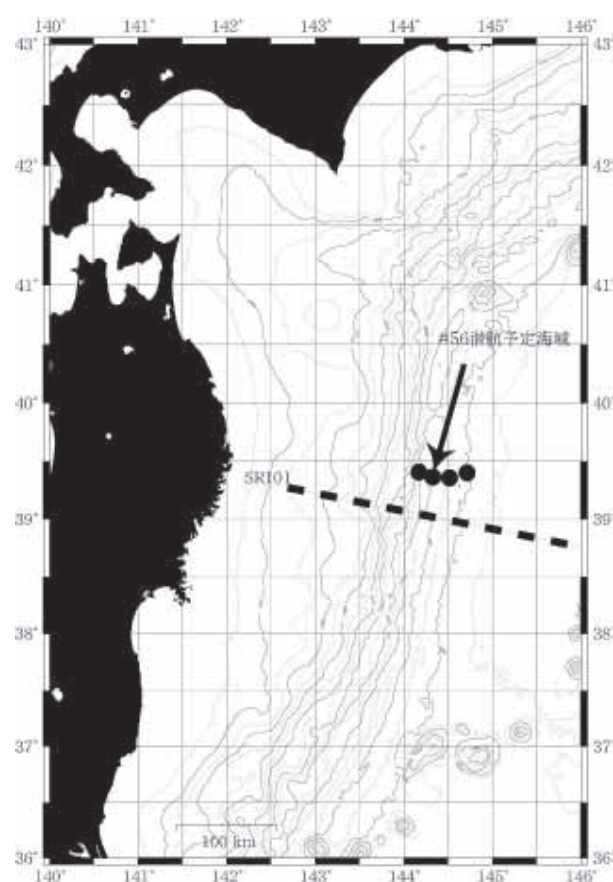


図2 潜航海域とSR101測線の位置

Fig. 2 Index map of "Kaiko" diving points and position of seismic survey line SR101.

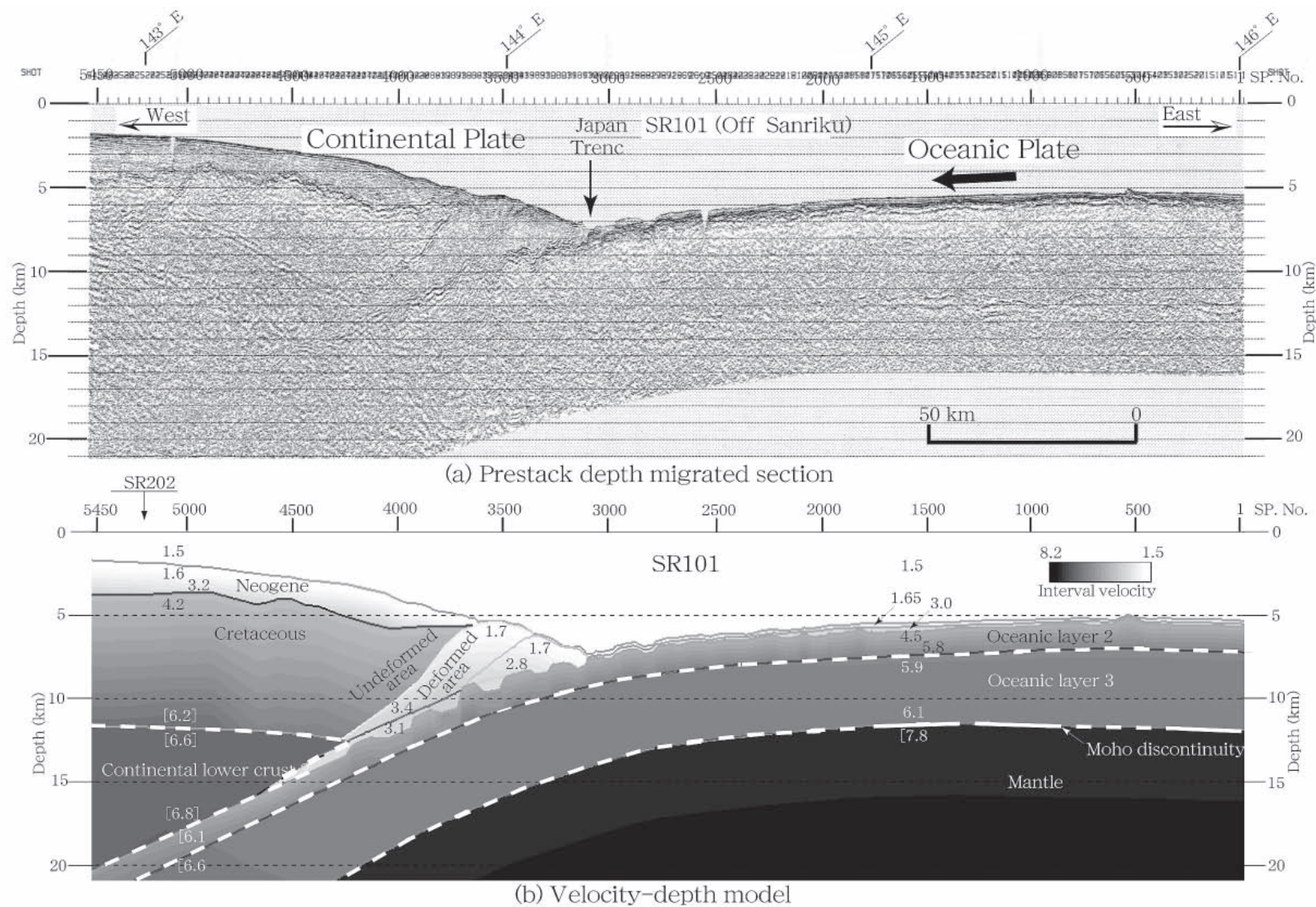


図1 三陸沖マルチチャンネル調査測線SR101の断面(鶴ほか, 1999)
 Fig. 1 Section of mulchichannel seismic survey line SR101 off Sanriku. (Tsuru et al., 1999)

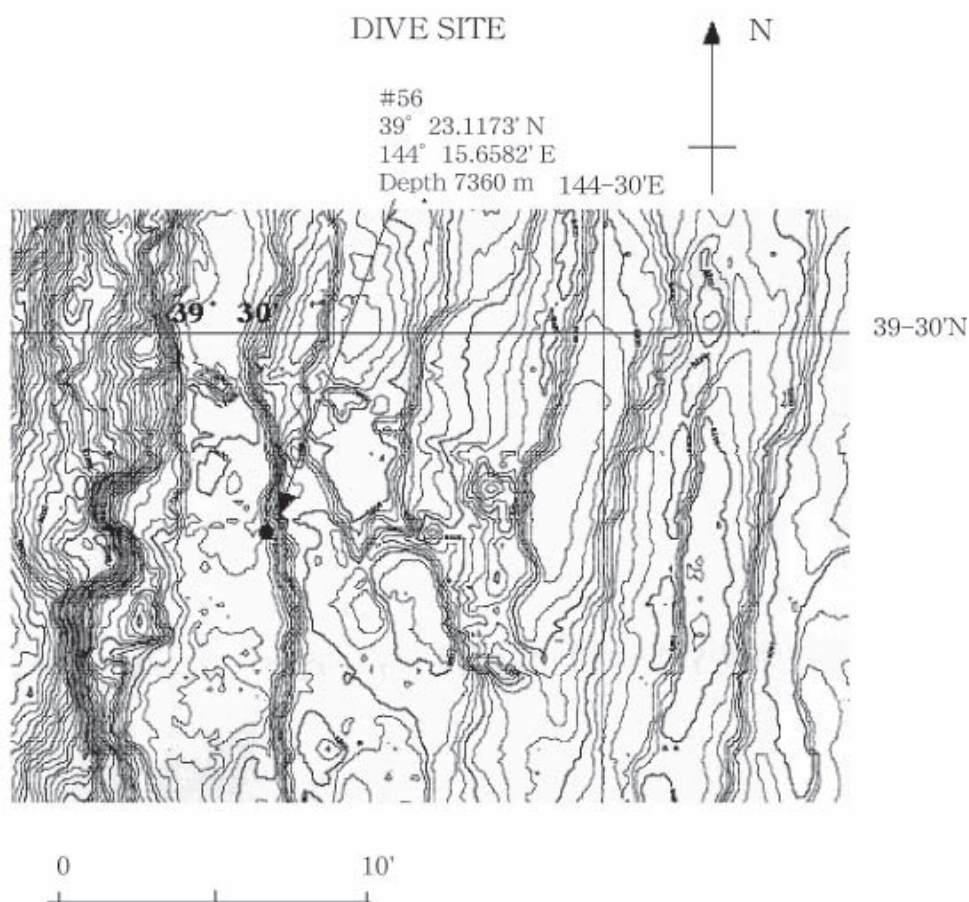


図3 第56潜航, 潜航地点
Fig. 3 Diving point of "Kaiko" Dive 56.

2.2 潜航の概要と採集岩石

56潜航の潜航ルートマップを図4に示す。図5, 6に示すようなかなり大きな岩体から, KR97-#56-R-1とKR97-#56-R-2の2個の玄武岩を採集した。露頭での現場観察ではPillow lava状の外観を呈する場所もあった。また, 岩体の様子から転石ではないと推定した。岩石試料の船上に於けるスケッチを図7, 図8に示す。また図9, 10に採集直後の試料を示す。これらの岩石試料は, 船上において各2分割され, それぞれセンター, 筑波大学用とした。

これらの岩石の船上での記載を以下に示す。記載は川村による。

We collected two blocks of olivine basalt (R-1, R-2) at N-S ridge in oceanward slope.

The color of the surface is Olive gray (5Y 3/2), there are many white shell of Polychate on the surface. We can see a clay that mother rock is denatured. The color is Dusky yellow (5Y 6/4) like a patch. This sample has a transparent gelatinous creature on surface.

The fresh (cutting) surface of this sample can see the

groundmass, the pores and the phenocrysts: The color of the groundmass is Grayish black (N2). The pores have very small to max. 5 mm. The pore has 10 to 20 % in this sample. Sometimes those have the denaturation clay in the pore, the phenocrysts are olivine that is almost automorphic, max. 5mm .

And the writer considers that R-1 can see three layers (minute layer without pore: maybe chilled margin, porous layer: max. of pore size is 5 mm, olivine rich and poor porous layer: max. olivine size is 5 mm.) (KR97-09 CRUISE REPORT, MS., 1997).

上に記したように, 中心部分にかんらん石の多い部分, その外側に多孔質な部分, そして最も外側に孔の無いガラス質の部分(チルドマージンか)の3層構造になっているようである。図11は, 後述する地震波速度測定用の試料をダイヤモンドコアドリルで採集した後であるが, 3層構造はよく観察される。

これら玄武岩の成因については, 平野ほか(1999)により推定されている。それによると, 化学組成はネフェリナ

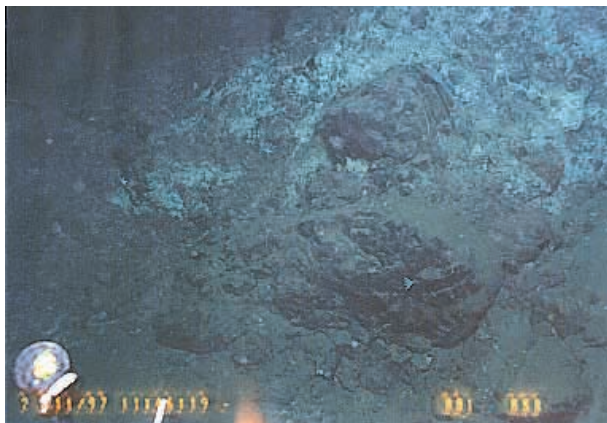


図5 採集した玄武岩の露頭の状況(1)
Fig. 5 Outcrop of basalt studied(1).

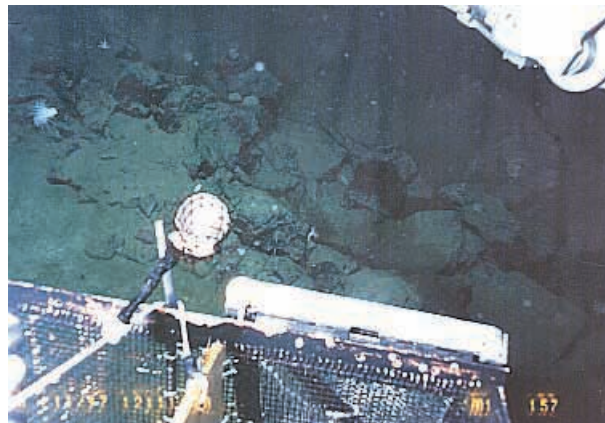


図6 採集した玄武岩の露頭の状況(2)
Fig. 6 Outcrop of basalt studied(2).

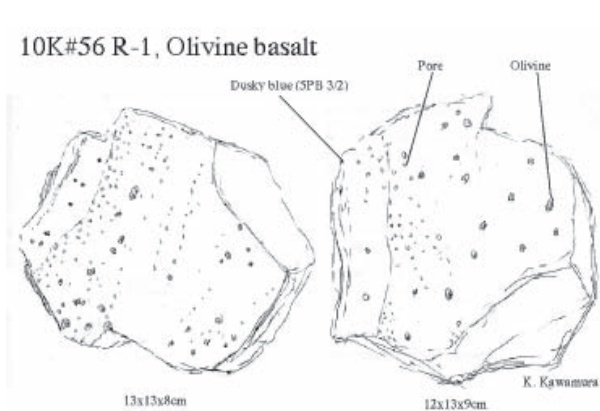


図7 採集した玄武岩のスケッチ (R-1)
Fig. 7 Sketch of sample R-1.

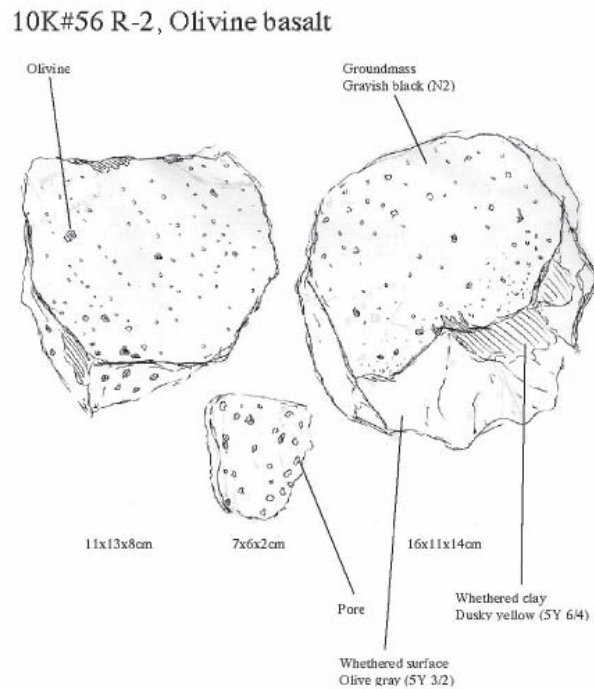


図8 採集した玄武岩のスケッチ (R-2)
Fig. 8 Sketch of sample R-2.



図9 採集した玄武岩の写真(1)
Fig. 9 Photo of basalt(1).



図10 採集した玄武岩の写真(2)
Fig.10 Photo of basalt(2).



図11 ダイヤモンドコアドリルで試験用コアを採集した試料
Fig.11 Basalt sample R-1, after core drill.

イト系のアルカリ玄武岩で、一般のホットスポットのアルカリ玄武岩に比べて、低圧場で発生し、部分熔融度が低いと言う特徴を有する。この特徴から、生成した場所は海洋プレートの屈曲が見られるアウトースウェルより海側の特殊な「裂け目」ではないかと推定されている。岩石の放射性同位元素年代は、中間的な値であるが約6-8Maである。この海域でもアウトースウェル近辺から海溝の約150 km沖合まで(例えばSR101の断面図、図1 参照)、地溝・地塁構造がよく観察される。仮に太平洋プレートの移動速度を10 cm/yとすると、最大に見積もって約6-8百万年で600-800 km移動したことになり、この値

は、地溝・地塁構造が、海溝の約150 km沖合まで観察されることから、海溝での沈み込みによる海洋地殻の屈曲に伴う地溝・地塁構造が形成されるより沖合で生成したことを暗示する。

いずれにしろ、これら玄武岩の存在は、現在の知見ではこれまでに報告の例のない、ホットスポットと海溝の間の大洋底での「割れ目噴火」の様な火山活動の存在を示すものである。

3. 地震波速度測定

日本海溝海側斜面では、1977年DSDPによってsite 436が掘削された(位置39°55.96'N, 145°33.47'E, 水深5240 m, 掘削長397.5 m)が、海洋性地殻まで達していない(Shipboard Scientific Party, Site 436, 1980)。

過去に実施された海底地震計を使った屈折法地震探査およびマルチチャンネル反射法によって、本海域の海洋性地殻の厚さは7~8km(例えば、Nishizawa and Suyehiro, 1986)で、海洋性地殻第2層のP波速度は3.1~6.5 km/sと大きな速度勾配を有する(Suyehiro and Nishizawa, 1994)。なお、海洋性地殻第2層頂部付近のP波速度については、Murauchi and Ludwig, 1980によれば、3.9~4.9 km/sとされている。SR101測線においても、海洋性地殻の厚さは約7 km, 海洋性地殻第2層のP波速度は4.5~5.8 km/sである。

今回、採集した玄武岩の岩石コアの地震波速度、密度、間隙率および浸透率を計測したので報告する。測定の目的は、これら岩石試料の地震波速度等を前述した海洋性地殻第2層に関するこれまでの推定値と比較することである。

3.1 測定機器

地震波速度の測定には、石油公団石油開発技術センターの三軸圧縮試験装置が使用された。この装置による測定仕様の概要を以下に述べる。この装置は、地震探査データから得られる地震波速度情報(P波速度、S波速度)から炭化水素貯留層の物性値(孔隙率、岩相、飽和流体の種類など)を推定する技術を確立することを目的として導入された試験装置である。まず、地下から採集されてきた岩石コアをダイヤモンドコアドリルでプラグ抜きをする。三軸試験装置で行なえる試験の最大寸法は、直径が50 mmで高さが100 mmであるが、最近では直径1.5インチ(38.1mm)の試料が使用されている。

岩石試料の端部を成形した後、温度40℃の乾燥器内に入れ、質量が一定になった時点で、測定媒体にヘリウムを用いた空気孔隙率と空気浸透率を封圧下で測定する。孔隙率と浸透率の測定が終わった後、地震波速度測定用のセラミック振動子P波用とS波用をコアの抜かれてきた深度方向に張り付ける。また、それと直交する方向に体積ひずみ測定用にひずみゲージをクロスで2点張り付ける。作成した試料を図12に示す。

地震波速度測定試験(図13)は、同一試料で乾燥試験と塩水で100%飽和した飽和試験とを実施しており、全ての試験を終了するのに、一試料で約3週間程度かかる。

圧力制御に関しては、三軸圧力容器内にセットされた岩石試料に対し载荷ロットを介してアクチュエータにより軸力が加えられ、また、容器内を満たした油を介して側圧用プースタにより油圧で側圧が加えられる。間隙水圧は、間隙水圧用プースタにより間隙水圧用ペDESTALから岩石試料に加えられる。なお、岩石試料は油の侵入

を防ぐためシリコンラバーで被覆してある。これらの軸力、側圧、間隙水圧は全てサーボコントロールされており、手動あるいはコンピューターによる自動制御により静的に加えられるようになっている。

温度制御については、内部ヒータと外側にバンドヒータを取付けることにより油を介して岩石試料を加熱することができる。ヒータには温度制御盤より電流が供給されるが、温度の制御は一定に保つことを主とするため手動設定としている。

測定時の圧力は、軸力と側圧が等しく(等方圧)になるよう制御されており、封圧の最大値は200 Mpa、間隙水圧の最大値は80 Mpaである。最大温度は、200 °Cである。これらの最大値は地下の深度条件にあてはめると、地表から約6000 mから7000 mの深度の圧力と温度を再現できる様になっている。

3.2 測定結果

3.2.1 地震波速度測定

作成したコア3個について、常温常圧下でのP波速度とS波速度の測定を実施した。結果は表1及び図14に示すとおり、平均4530 m/sec のP波速度(乾燥状態)および平均2940 m/sec のS波速度(乾燥状態)が得られた。孔隙を塩水で100%飽和した状態では、各々、4760 m/sec および3410 m/sec である。なお、速度測定に際し、コアに貼り付けたセンサーのカップリング向上のために、10 Mpa の有効圧力が掛けられた。この場合、孔隙圧を掛けていないので、封圧に等しい。また、表中の孔隙率は、常温常圧下での測定値である。



図12 セラミックス振動子を張り付けたコア試料
Fig.12 Core sample with oscillators for seismic wave velocity test.



図13 地震波速度測定装置
Fig.13 Seismic wave velocity measurement apparatus.

表1 地震波速度試験結果と孔隙率
Table 1 Value of seismic wave velocity and porosity.

試料名	間隙流体	Vp m/sec	Vs m/sec	Vp/Vs ratio	Porosity %
S-01	乾燥	4540	2940	1.55	25.1
	塩水飽和	4720	3300	1.43	
S-02	乾燥	4370	2910	1.50	25.0
	塩水飽和	4800	3510	1.37	
S-03	乾燥	4690	2980	1.57	22.6
	塩水飽和	-	-	-	
平均	乾燥	4530	2940	1.54	24.2
	塩水飽和	4760	3410	1.40	

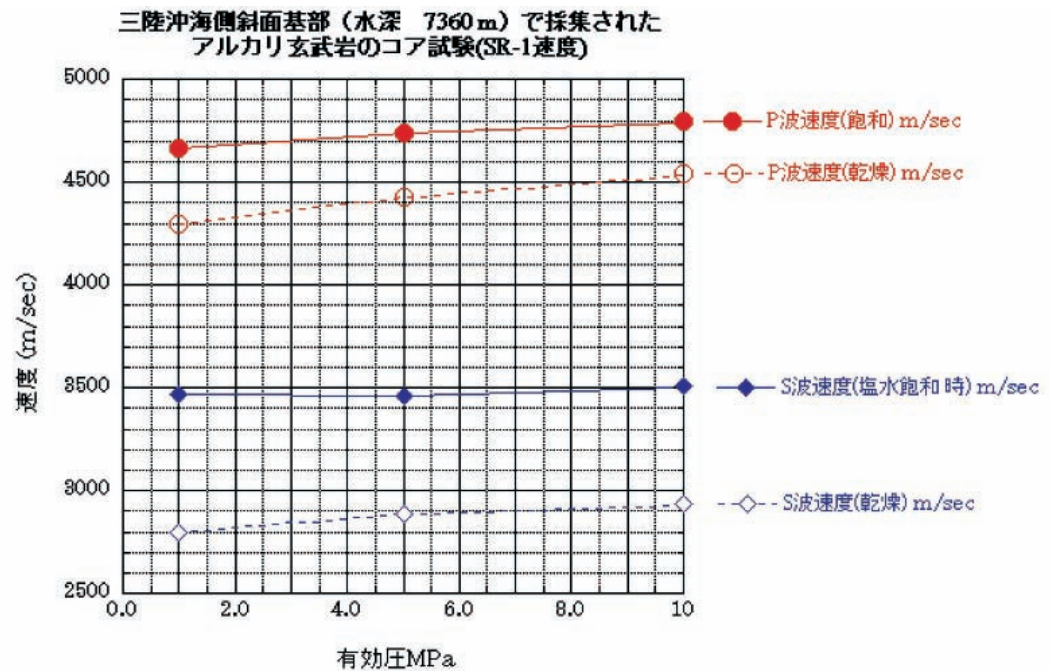


図14 地震波速度試験結果，表1をグラフにした
Fig.14 Result of seismic wave velocity measurement, a graph of Table1.

表2 試料の寸法、重量、密度、孔隙率、浸透率

Table 2 Dimensions, weight, density, porosity and permeability of test pieces.

試料名	直径 mm	長さ mm	体積 cm ³	乾燥重量 g	乾燥密度 g/cm ³	孔隙率 ¹ %	CMS-300(1000psi)		
							孔隙率 ² %	浸透率 md	孔隙体積 cc
S-01	38.2	28.3	32.4	69.3	2.86	25.1	21.8	1.56	7.07
S-02	38.2	31.9	36.5	77.9	2.85	25.1	22.5	0.604	8.21
S-03	38.2	28.2	32.3	71.3	2.85	22.6	20.7	0.218	6.70

表3 試料の剛性率、体積弾性率、ヤング率

Table 3 Rigidity, bulk modulus and Young's modulus of test pieces.

試料名	剛性率 Gpa	体積弾性率 Gpa	ヤング率 Gpa
S-01	18.1 (22.9)	19.2 (16.4)	41.3 (46.8)
S-02	17.7 (28.9)	16.4 (15.3)	39.1 (53.3)
S-03	19.3	21.9	44.7
平均	18.4 (25.9)	19.2 (15.9)	41.7 (50.1)

3.2.2 孔隙率等の物性値

地震波速度の他に、密度、孔隙率および浸透率の測定も行った。孔隙率については、常圧下でヘリウムポロシメータを使用した測定と、1000 psi(水深約700 mに相当)程度の封圧を掛けた状態でのCMS-300を用いた測定とが実施された。浸透率は、CMS-300によって測定された。これらの測定結果を表2に示す。

表3は、P波、S波速度、密度および孔隙率から計算された剛性率と体積弾性率、さらに、それらから計算したヤング率を示したものである。今回の測定により、乾燥状態での本コアの剛性率は約18 Gpa、体積弾性率は約19 Gpa、ヤング率は約42 Gpaという結果を得た。

4. まとめ

三陸沖海側斜面基部から採集した玄武岩は、海洋地殻第2層のこれまでの報告、Murauchi and Ludwig (1980) 及びマルチチャンネル測線SR101の値(鶴ほか, 1999)と非常に良く整合するP波(約4.76 km/sec)、S波(約3.41 km/sec)速度を示した。従って、速度的に第2層の玄武岩と区別できない玄武岩の岩帯が存在することが判った。地震波速度、孔隙率等の物性の測定は、海洋地殻を構成する物質の物性に対し新しい情報を与えるものである。

この玄武岩は、付近の海域の、海洋地殻第2層の年代(白亜紀と推定されている)より遙かに新しい6-8Maのアルカリ玄武岩であり、アウトースウェル付近から海溝底にかけて発達する地溝・地塁構造に伴い露出したものであろう。しかし、その生成の場所は海溝底よりかなり沖合にあったと推定され、これまでに報告の例のない、ホットスポットと海溝の間の(アウトースウェルから

もっと沖合までの広い範囲)大洋底での、「割れ目噴火」の様な火山活動の存在を示差するものである。現在、平野ほかによって行われているより詳細な年代測定の検討結果により、生成した海域はより正確に特定されよう。

5. おわりに

筆者等は、乗船研究者の熊本大学理学部秋元和實 博士、LEG1の乗船研究者で、クルーズレポートの作成に尽力された、海洋科学技術センター平野 聡博士、「かいこう」運用チーム(無人探査機操縦班)、「かいいい」船長をはじめ乗組員、地球物理的データの取得を御願した日本海洋事業(株)の高橋 正始、小柳津 昌久、小寺 透、山内 憲保の各氏に対し謝意を表します。

参考文献

- 1) 平野直人・川村喜一郎・服部陸男・斉藤和男・石井輝秋・佐藤 暢・小川勇二郎, "日本海溝北部海側斜面基部から約6~8 Maのアルカリ玄武岩の「かいこう」による発見", 第16回しんかいシンポジウム予稿集, 123-124(1999).
- 2) Murauchi, S and W. J. Ludwig, "Crustal structure of the Japan Trench: The effect of subduction of oceanic crust", Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj., 56/57, 463-470 (1980).
- 3) Nishizawa, A. and K. Suyehiro, "Crustal structure across the Kuril trench off southeastern Hokkaido by airgun-OBS profiling", Geophys. J. R. Astron. Soc., 86, 371-397 (1986).
- 4) Shipboard Scientific Party, Site 436, "Japan Trench outer rise, Leg56", Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj., 56/57, 399-446 (1980).
- 5) Suyehiro, K. and A. Nishizawa, "Crustal structure and seismicity beneath the forearc off northeastern Japan", J. Geophys. Res., 99, 22331-22347 (1994).
- 6) 鶴 哲郎・朴 進午・高橋成実・小平秀一・木戸ゆかり・平野聡・金田義行・河野芳輝, "マルチチャンネル反射法地震探査データから見た三陸沖日本海溝の構造形態", 1999年地球惑星科学関連学会合同大会講演予稿集, Sk-P022 (1999).

(原稿受理: 1999年12月28日)