

採石爆破による薩摩半島北部の浅部地殻構造

著者	角田 寿喜, 三木 祐次, 山崎 和幸, 石原 和彦
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	22
ページ	127-135
別言語のタイトル	Shallow Crustal Structure Derived from Quarrying Bursts in the North of Satsuma Peninsula, South Kyushu
URL	http://hdl.handle.net/10232/00003929

採石爆破による薩摩半島北部の浅部地殻構造

角田寿喜¹・三木祐次²・山崎和幸³・石原和彦⁴

(1989年9月8日受理)

Shallow Crustal Structure Derived from Quarrying Bursts in the North of Satsuma Peninsula, South Kyushu

Toshiki KAKUTA¹, Yuji MIKI², Kazuyuki YAMAZAKI³ and Kazuhiko ISHIHARA⁴

Abstract

We investigate a seismic structure of the basement in the north of Satsuma Peninsula, South Kyushu, using three quarrying bursts lying from north to south along a profile of about 7km long. The basement of P wave velocity 4.8km/s forms a horst at the topographically elevated zone bordering two administrative districts (Kamo-cho and Koriyama-cho). It is uplifted from 450-460m to a depth shallower than 100m at the horst. Its depth decreases gently by about 100m at the northern end of the profile. At about 2.3km south of the horst, the basement falls abruptly by about 150m and dips southward to 700m or over. The layer of 4.8km/s is widely observed in South Kyushu and most likely correlated with Jurassic to early Tertiary sedimentary rocks (the Shimanto Supergroup).

Only in the northern half of the profile, we detected a layer of 4.2km/s. The layer, which is covered with a surface layer of 2.3km/s, is 100-200m thick and probably overlies a low velocity layer corresponding to a sedimentary layer called the Koriyama formation. In the southern half, P velocity in the Koriyama formation increases as a function of depth, although some rhyolitic or andesitic bodies of high velocities are irregularly involved.

1. はじめに

鹿児島市の北々西に位置する郡山町北東部と蒲生町南西部にまたがって、ほぼ南北方向に並ぶ三ヶ所の砕石場があり、安山岩を採取するための爆破をおこなっている (Fig. 1)。爆破は日中おこなわれ、しかも比較的小規模なため SN 比は上がらず、測線の長さも約 7 km と短い。浅部地殻構造の解析に利用することができる。調査域には、北西-南東および北東-南西方向の断層がいくつも存在し、地形的にも地質的にも構造はきわめて複雑である。すなわち、蒲生町と郡山町の境界付近は 300~400m の地形的高まりを呈し、その西北西への延長は入来峠~八重山 (676m) へ、南東部は花尾山 (540m) へと続く。この高まりの南側では、測線上およびその東側に安山岩類で構成される山体が連なるのに対し、隣接する西側ブロックは落ち込んで入戸火砕流堆積物に覆われる。周辺部では、通商産業省資源エネルギー庁 (1980) による重力探査や電気探査がお

¹ 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, 890 Japan.

² 宮崎県宮崎郡佐土原町大字下田島 13506 Shimotajima, Sadohara-cho, Miyazaki, 880-02 Japan.

³ 東京都豊島区南長崎町 2-24-2 Minami-Nagasaki-cho, Toshima-ku, Tokyo, 171 Japan.

⁴ 気象庁地震課 Seismological Division, Japan Meteorological Agency, Tokyo, 100 Japan.

こなわれている。しかし、測線の大部分は、「北薩・串木野地域」(通商産業省資源エネルギー庁, 1979) 南東部と「南薩地域」(通商産業省資源エネルギー庁, 1985) 北東部の縁部にあたるため、調査対象域から僅かに外れている。

1972年から1977年にかけておこなわれた爆破地震動による九州南部の地殻構造探査では、川内市久見崎と日南市小吹毛井を結び九州南部を東西方向に横断する長さ119kmの測線において、主としてP波速度6 km/s層の構造が解明され、九州地溝帯の陥没構造とともに、鹿児島湾北東部における地震波の減衰域や低速度域の存在が明らかにされた(ONO *et al.*, 1978; KAKUTA, 1982)。この観測では、4.9km/s層が測線全域にわたって広がることも明らかにされたが、爆破点間隔が15km以上、測点間隔が3 km以上あって浅部構造には未確定の要素が多く、しかも薩摩半島を南北方向に縦断する測線では、爆破点が測線の北端のみであったため、水平成層を仮定した構造であった。今回の測線は、薩摩半島における南北測線の北端ちかくに位置しており、従来の解析結果を吟味する意味でも有意義である。

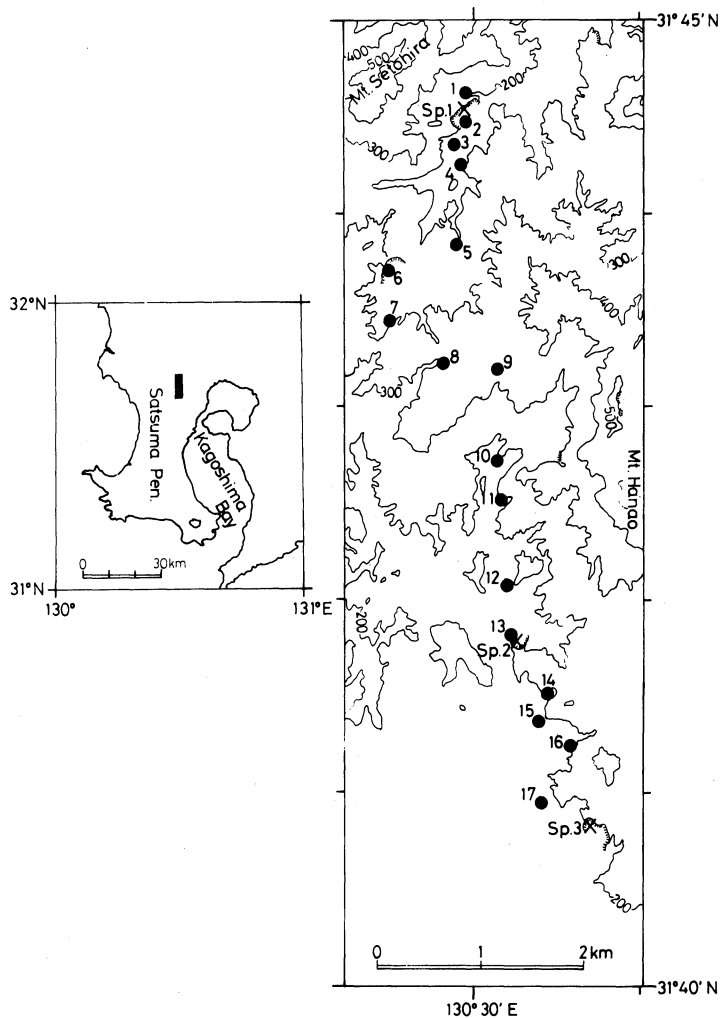


Fig. 1. Shot points (cross) and observation stations (circle) used in the present study. Integer refers to the station number. Location of the investigated area is shown on the left.

この地域で採石の対象となっている安山岩は、通商産業省資源エネルギー庁 (1979, 1985) の調査によると、北薩古期安山岩類と北薩新期安山岩類に区別される。北薩新期安山岩類は、更新世前期に、八重層と呼ばれる堆積層を貫いて噴出した紫蘇輝石普通輝石角閃石安山岩～紫蘇輝石角閃石安山岩であり、一部地域で始良火山噴出物 (入戸火砕流堆積物) に覆われている。北薩古期安山岩類は中新世に対比され、この地域の基盤を構成していると考えられている。また、蒲生町良久 (観測点7) および郡山町大平 (観測点9) 付近の露頭には、鮮新世に噴出したとされる北薩中期安山岩類が見られる。八重層は鮮新世後期から更新世前期にかけて堆積した湖成層で、北薩中期安山岩類を不整合に覆い、一部では最上部に位置する玄武岩と指交関係にある。下部は凝灰質の砂岩・シルト岩・泥岩の互層からなり、上部に向かって珪藻土、泥岩の互層へと漸移する [八重層に対応する堆積層は、この地域では郡山層と呼ばれており、温泉ボーリング試料によると、地層中には流紋岩・安山岩などの火山岩類がシル状にいくつも貫入している (大木, 1988 私信)]。

2. 観測方法

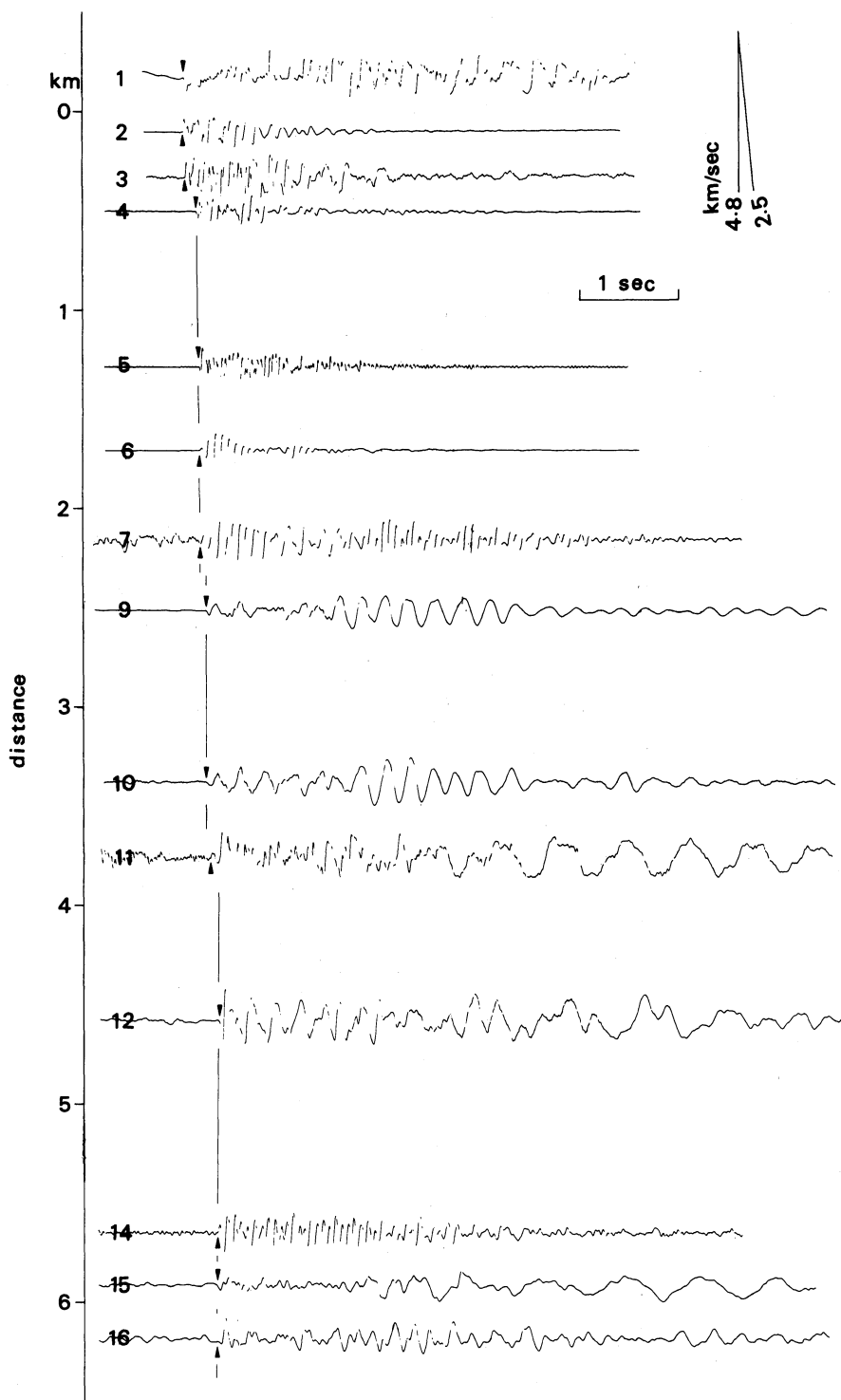
測線全長は7.1kmあり、北端に近い爆破点 (SP. 1, 蒲生碎石) から中間爆破点 (SP. 2, 花尾碎石) および南端の爆破点 (SP. 3, 片平碎石) までは、直線距離でそれぞれ5.12km, 6.97kmである。観測点はおよそ500mの間隔で設定され、爆破点を含む観測点総数は20点となっている (Fig. 1)。保有する計器の制約上、1回の爆破に対する観測点の数は5～6であり、測線形成には移動方式をとった。用いた換振器は1Hzの上下動である。また、発破時刻の観測には、発火器への電流を分流してアナログデータレコーダに記録すると同時に、爆破点のごく近傍で地震記録をとった。観測は1982～1984年にわたっておこなわれ、合計10回の爆破を記録した。

Fig. 2は、SP. 1とSP. 2に対するレコードセクションであり、それぞれ4回の爆破記録で構成されている。ほとんどの記録が明瞭な立ち上がりを示し、読み取り誤差は数 msec 程度におさまっている。これらの碎石場では、近くにある集落への影響を配慮して、一定の時間間隔で発火させる段発方式をとっており、Fig. 2(b) に示したSP. 2の近傍観測点13の記録には、3段にわけて発火した様子が明瞭に表われている。SP. 3については、準備が整い次第発破するため観測の予定が立てにくく、観測成功は1回だけに終わった。

発火器のスイッチを投入した時間を基準としたP波初動の走時曲線がFig. 3に示されている。直線に付した数字はみかけ速度である。レコードセクション (Fig. 2) に見るように、初動の立ち上がりが明瞭であるにもかかわらず、走時曲線には、構造の複雑さを反映して走時の“とび”が何ヶ所かに現われており、低速度層あるいは dip slip 型断層の存在を想定させる。また、爆破点近傍におけるみかけ速度からは、発火器のスイッチ投入から爆破までに一定の時間を要することが明瞭である。この時間差を発火器補正と呼ぶことにする。解析にあたっては、碎石場における爆破位置の違いおよび発火器補正のばらつきを無視し、一定とした。これらの仮定によって生じる誤差は最大10 msec 程度と見積もられる。

3. 速度構造

表層を構成する安山岩類のP波速度 V_{p1} は、発火器補正 T_b を一定とし、爆破点近傍のみかけ速度からもとめられる。SP. 2とSP. 3の観測データにもとづいて、経路の一部に堆積層が含まれることを考慮に入れると、 $V_{p1}=3.7\text{km/s}$ $T_b=0.018\text{s}$ が推定される。また、SP. 1の近傍では $V_{p1}=4.2\text{km/s}$ となる。速度3.7km/s および4.2km/s の安山岩の地理的分布は、それぞれ、通商産業



(a)

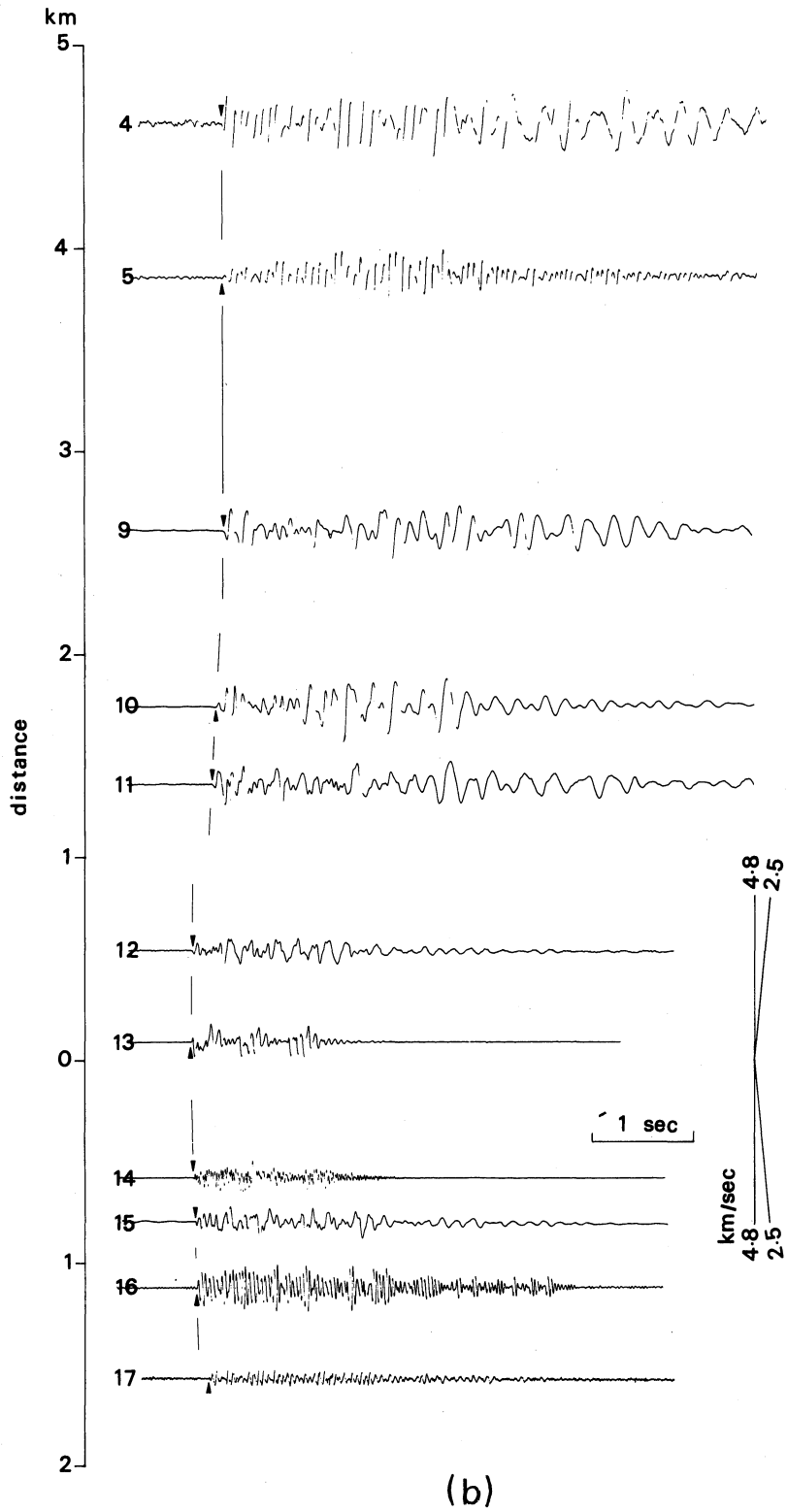


Fig. 2. Seismic record sections for SP.1 (a) and SP.2 (b) . Arrowhead shows the first arrival and integer stands for the station number.

省資源エネルギー庁 (1979, 1985) の北薩新期安山岩類と北薩古期安山岩類に対応する。

走時の“とび”が示すように、調査地域には一部で地表に露出する“低速度層”が存在する。観測点近傍の地質から、これは調査地域全体に広く分布する沖積層および郡山層に対比され、走時の“とび”の大きさから判断すると、かなりの厚さがある。採石対象となっている安山岩類は、これに較べると測線上では薄く、特に、下層からの屈折波をあつかう場合には無視できると考えられる (一部の地域では、下部の堆積層が地表に現われている)。SP. 1 と観測点 4 の間は、谷地形となっていて前郷川の支流が流れ、川底には堆積岩が露出している。この観測点の走時、および SP. 2 爆破の観測点 11 と 12 におけるみかけ速度 (Fig. 3) から、この低速度媒質の P 波速度は 2.3~2.9 km/s と推定される。ONO *et al.* (1978) は、南北測線における震央距離 1.5 km の地点 1 ケ所のみ観測から、表層の P 波速度を 2.5 km/s としているが、これは今回の結果に矛盾しない。

みかけ速度 4.2~6.1 km/s は堆積層の下にある安山岩類や基盤岩類に対応すると考えられる。観測された走時曲線がきわめて複雑であり、通常の“はぎとり法” (萩原, 1938; 田治米, 1977, p. 66) の適用が困難であるため、これらの速度は一義的には定まらない。例えば、SP. 1 と SP. 2 に対する観測点 6, 9 および 10 の T' 曲線から、4.2~4.4 km/s を得る。この層が測線上の全域に広がっているとすれば、SP. 2 を発してこの層を通り観測点 5 に到達する屈折波は、観測より約 50 msec 早く現われるはずである。これは誤差の範囲を大きく越えている。したがって、みかけ速度を考えれば、この層は SP. 1 から観測点 10 までの区間に存在しても、それより南側では存在しないか、あったとしても観測にかからないほど深くて薄くなければならない。基盤についても、測線長が短いため、対応する逆測線の走時データは得られない。ここでは試行錯誤による検討の結果、堆積層下の安山岩類の P 波速度として 4.2 km/s 基盤岩類では 4.8 km/s を採用する。このような基盤岩類は KAKUTA (1982) の 4.9 km/s 層に相当するもので、南九州の広い範囲にわたり基盤を構成する四万十層群に対応すると考えられる。

走時曲線 (Fig. 3) から推測すると、観測点 10 付近に大きな dip slip 型の断層があり、観測点 11 から 15 の区間では基盤の深さがほぼ一定である。これらを考慮に入れ、観測点 9 および 10 の走時を用いると、基盤 4.8 km/s 層のディレイタイムがもとまる [Fig. 4(b)]。4.2 km/s 層に関しては、表層の安山岩類を無視し、SP. 1 から観測点 5 までの区間でディレイタイムに不連続を生じないと仮定した (観測点 4 からは、最小限界が定まる)。ディレイタイムのギャップは観測点 6~7, および 15~16 付近にも見られるが、これらを除けば、ディレイタイムの不規則変化は小さい。

これらのディレイタイムを用いて、 $V_p=2.3, 4.2, 4.8$ km/s の 3 層からなる構造をまず検討しよう。測線中央部の大きな dip slip 型断層の位置を SP. 1 から 3.28 km の位置 (観測点 10 の北方 0.1 km) とし、4.2 km/s 層の厚さを観測点 9 近傍でゼロとすると、断層南側における基盤の深さの最小限度 360 m が得られ、この層の厚さを増すと最大限度 560 m がもとまる。しかし、このような速度コントラストの小さな構造においては、基盤の深さが、観測点 6 付近では 550 m となるのに対し、爆破点 SP. 1 から観測点 5 の間では 800~1000 m にもおよぶ必要がある。SP. 2 を発し、観測点 5 および 6 へ到達する屈折波の経路がほぼ重なるとすれば、これらの点での走時を同時に説明することはできない。蒲生町と郡山町の境界をなす地形的高まり部分では基盤も上昇していると考えられるが、通商産業省資源エネルギー庁 (1980) の調査では、蒲生町側と郡山町側で重力異常に大きな違いは見られず、北薩古期安山岩類を含む基盤岩類の深さはともに 500 m 以浅である。蒲生町側でも基盤の深さは 500 m ほどとすれば、4.2 km/s 層の厚さはせいぜい数百 m 程度で、この層の下には速度コントラストの大きな低速度媒質が存在しなければならない。安山岩類と低速度媒質とは互層をなす可能性も強いが、ここでは簡単のために、それぞれ単一の層を成すと考える。

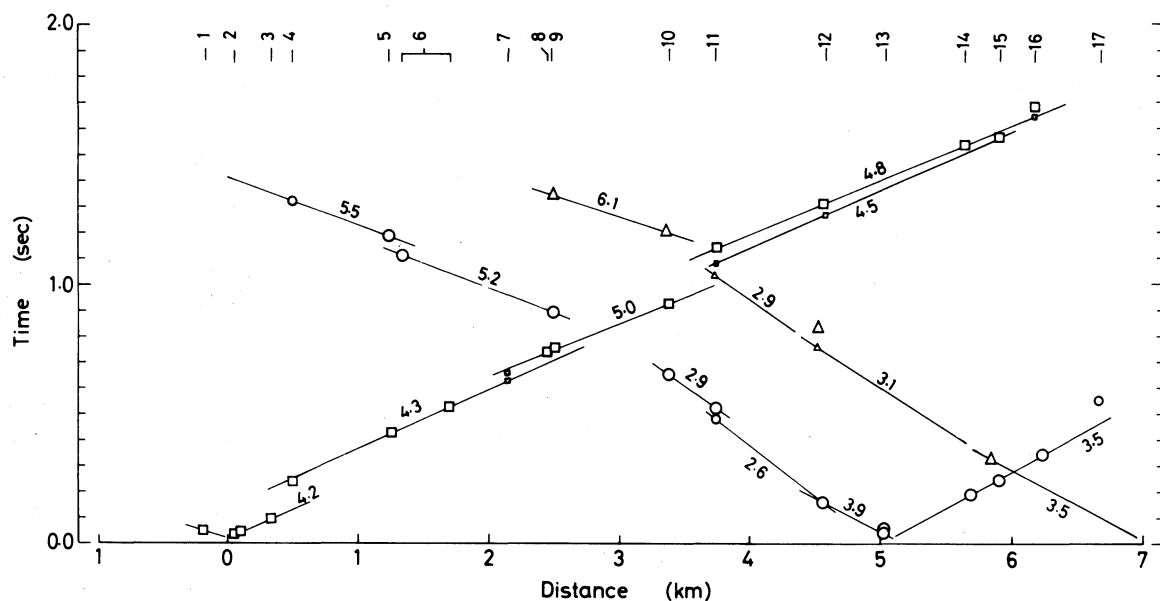


Fig. 3. Travel time curves for SP. 1 (square), SP. 2 (circle) and SP. 3 (triangle). Mark size corresponds to the accuracy of the onset detection and apparent velocity is shown along the curve. Integer on the uppermost stands for the station number.

低速度媒質は郡山町側に存在する郡山層と考えて地質学的な矛盾はない (大木, 1988私信)。

主たる経路が堆積層中にあると考えられる走時を重ね合わせると、深部になるほど速度が増加するミラー層の特徴 (田治米, 1977, p. 55) が表われているように見える。ここでは、速度分布を $V(z) = V_0 + k(z + h_0)$ で表わし [z は深さ, h_0 は爆破点の高さ], SP. 2 に対する観測点10と11の走時を満足するような $V_0 = 2.7 \text{ km/s}$, $k = 0.5 \text{ s}^{-1}$ を採用する。この場合, SP. 3 に関しては、観測点11ではミラー層を伝搬した直達波が、観測点10では下層を屈折した波が初動となる。いくつかの点では、直達波が理論値より数十 msec 早く到達するが、速度の速い流紋岩などの火山岩類が郡山層の中にシル状に入っている構造 (大木, 1988私信) を考えれば説明できよう。速度係数は、 $V_0 = 2.5 \text{ km/s}$, $k = 2.6 \text{ s}^{-1}$ まで変化させても走時データは満足されるが、 k が 1.0 s^{-1} を越えると、SP. 3 を出て観測点11に到達する波線の最深点が基盤の深さを越え、速度にも不都合が生じる。

上記のような試行錯誤的検討の結果、測線中央部の断層より北側では、 $V_p = 2.3 \text{ km/s}$ の表層の下に 4.2 km/s 層があって、低速度媒質を挟んで $V_p = 4.8 \text{ km/s}$ の基盤があり、断層より南側では、基盤までの間をミラー層 ($V_0 = 2.7 \text{ km/s}$, $k = 0.5 \text{ s}^{-1}$) が埋めているモデルが採用された [Fig. 4(a)]。このとき、ディレイタイムから推定される基盤の深さは上記断層の南で 460 m となる。ただし、ここでは表層の安山岩類を無視し、また、北側に分布する低速度媒質の速度については、ミラー層の平均をとって $V_p = 2.9 \text{ km/s}$ とする。

4. 基盤の深さについての検討

ONO *et al.* (1978) は、片測線のみ解析結果であるが、薩摩半島を南北に縦断する測線において、厚さ約 0.8 km の 2.5 km/s の表層の下に、 2 km の厚さの 5.3 km/s 層をもとめている。また、KAKUTA (1982) は、南九州地震探査の東西測線において、この南北測線の北端部近くで、厚さ 500 m

の2.7km/s層と300mの3.9km/s層の下に、約3kmの厚さの4.9km/s層があるとしている。これらの観測は、爆破点および観測点間の間隔が大きかったための制約もあって、浅部構造の分解能は低く、基盤の深さはやや深めにもとまっている。

調査地域においては、通商産業省資源エネルギー庁(1979)による模式層序断面では、基盤を構成する北薩古期安山岩類が高度200mにあるとされ、また、重力異常の解析から、通商産業省資源エネルギー庁(1980)が与えた3層モデル(密度1.80 g/cm³の沖積層・火砕流堆積物、2.40 g/cm³の北薩新期・中期安山岩類、および2.60 g/cm³の北薩古期安山岩類・基盤岩類で構成)では、約300mの深さに基盤がある。しばしば引用される Nafe and Drake の速度と密度の関係 [DOBIN and SAVIT (1988, p. 52) 参照] を用いると、密度2.40 g/cm³に対応するP波速度は約4 km/sである。表層の沖積層。火砕流堆積物はきわめて薄いとされているから、このようなモデルでは、爆破点近傍の走時を除けば、100 msec 以上も理論走時が小さすぎて、大部分の走時データを説明できない。

ボーリング試料によれば、今回調査を行った測線の南々東約2kmにある河頭では、基盤である四万十層群が100mの深さで観察されるのに、郡山では600mの深さでもそれが見られない(大木, 1984私信)。このような基盤構造の複雑さは、観測された走時曲線にも反映されている(Fig. 3)。分布する媒質の速度に関しては、みかけ速度を用いてかなりの程度まで限定できたが、走時曲線にはいくつもの“とび”があって一義的な構造は求められなかった。したがって、構造モデルの推定にあたっては、いくつかの仮定の導入と構造の単純化が必要であった。採石対象となっている安山岩類は、走時の“とび”や地質から判断して薄く、構造モデルでは無視された。測線の北部では、30~70mの深さに、郡山層と考えられる低速度媒質が想定された。

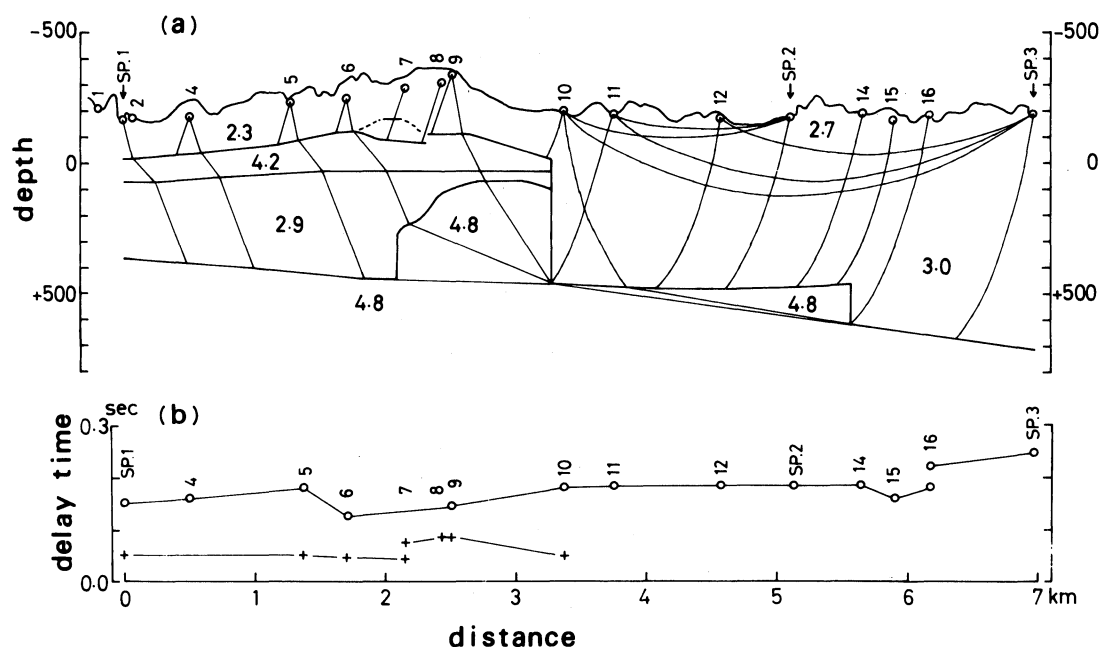


Fig. 4. Crustal structure and ray paths along the profile of about 7km long (a) and delay times for layers of 4.2 and 4.8km/s (b). Numerals in (a) refer to P wave velocities. Station numbers and shot points are shown on the uppermost of each figure.

推定されたモデル [Fig. 4(a)] では、蒲生町と郡山町の境界にあたる測線中央部の地形的高まり部分で、基盤は周囲より約400m上がって、100m以下にまで浅くなる。観測点7付近には約200m北落ちの段差があり、基盤の深さは、450mから北へ向って約100mほど減少する。中央部の断層より南側、約2kmの区間における基盤の深さはほぼ一定で460~480mである。観測点14~16近傍では、約150mの段差で南側が落ちる。基盤は南に向って深さを増し、測線南端部での深さは700mを越すが、これは、郡山町において600mの深さでも四万十層群が見られなかったというボーリング試料の結果（大木，1984私信）を満足する。

通商産業省資源エネルギー庁（1980）の報告では、始良火山噴出物と八重層（郡山層）の密度を1.8g/cm³としているが、我々の構造モデルにもとづいて速度-密度の関係を考慮すると、その密度は2.2g/cm³程度と見積もられる。したがって、重力異常の解析から推定される基盤の深さも、彼らの解析結果よりかなり増し、我々のモデルとの違いも小さくなることが予想される。

5. むすび

約7kmの区間に分布する3つの砕石爆破を利用し、薩摩半島北部の浅部地殻構造を求めた。P波速度4.8km/sの基盤の深さは、測線の北部で350m程度、南部では700mを越す。測線上にはいくつかの dip slip 型の段差があり、中央部では地塁状に基盤が隆起して100m以浅になる。測線の北部には、速度2.3km/sの表層の下に4.2km/sの安山岩類がある。基盤の深さを考慮すると、これが基盤までの間を埋めているとは考えられず、その厚さはせいぜい100~200mであって、30~70mより深い部分では低速度媒質の存在が必要である。地質学的に考えて、これは郡山層に対比される。測線の南部では、地層として検出できるような顕著な安山岩類は認められなかった。

謝辞：大木公彦博士（鹿大理学部）には、調査地域の地質に関し、多くを御教示いただいた。爆破観測にあたっては、蒲生砕石・花尾砕石・片平砕石の各社の御協力があった。また、観測には、以下の諸君が参加した。西郷博志・赤星博・植村（現姓：井上）みよ・斉藤（現姓：尾辻）雅子・松元謙吾・高津禎・豊留浩人・水田久仁子・山下陸美・山本琢也・上村速門・大神孝明・中村利己。あわせて感謝する。

参 考 文 献

- DOBIN, M.B. and C.H. SAVIT, 1988, Introduction to geophysical prospecting, 4th ed., McGraw-Hill.
 萩原尊禮, 1938, 基盤面の傾斜が一樣でない場合の走時曲線解析法, 地震, 10, 463-468.
 KAKUTA, T., 1982, Upper crustal structure in South Kyushu, *J. Phys. Earth.* 30, 113-129.
 ONO, K., K. ITO, I. HASEGAWA, K. ICHIKAWA, S. IIZUKA, T. KAKUTA and H. SUZUKI, 1978, Explosion seismic studies in South Kyushu especially around the Sakurajima Volcano, *J. Phys. Earth.* 26 Suppl., 309-319.
 田治米鏡二, 1977, 土木技術者のための弾性波による地盤調査法, 槇書店
 通商産業省資源エネルギー庁, 1979, 北薩・串木野地域, 昭和53年度広域調査報告書
 通商産業省資源エネルギー庁, 1980, 北薩・串木野地域, 昭和54年度広域調査報告書
 通商産業省資源エネルギー庁, 1985, 南薩地域, 昭和59年度広域調査報告書