

## 九州東部域における爆破地震動の観測 I (庄内-串間測線)

爆破地震動研究グループ

### Explosion Seismic Observations in Eastern Kyushu, Japan, I, Shonai-Kushima Profile.

RESEARCH GROUP FOR EXPLOSION SEISMOLOGY

#### Abstract

A seismic refraction survey was conducted along a profile from Shonai, Oita Prefecture to Kushima, Miyazaki Prefecture in Kyushu on December 8, 1994. The total length of this Shonai-Kushima Profile was about 195 km, and three shots of 500 kg each were detonated at both ends and middle of the profile. A total of 195 temporary observation points equipped with analog or digital recorders were arranged on the profile. Recorded seismic signals suffered from high attenuation, and signals traveling more than 100 km were very poor. Very clear later arrivals, presumably reflected waves from deeper part of the crust, are recognized in the record sections.

**key words** : *explosion seismic observations, Kyushu*

#### 1. はじめに

第7次地震予知計画における“地殻深部構造の総合調査”の一環として、1994年12月に大分県庄内町と宮崎県串間市を結ぶ測線上で人工地震観測が行われた。九州における大規模な人工地震観測としては、1970年代に地質調査所により行われた一連の観測 (Ono *et al.*, 1978) がある。九州におけるより大規模な構造調査は永く望まれていたが、さまざまな条件が整って、爆破地震動研究グループによる調査が今回はじめて可能になったものである。

主として経費の関係で、十分な数の爆破点を設置することができなかったので、当初からもう1度この地域で追加の実験を行うことを前提として計画が立てられた。地殻深部の構造を推定するためには、全長が少なくとも200 km程度の測線を設定する必要がある。地震波の減衰が大きいと予想される九州中央部の火山地帯は避け、東部の海岸に近い地域に南北方向の測線を設定することとした。測線の北部の大部分はいわゆる九州山地に、南部は四万十帯に含まれる。九州の下に沈み込むフィリピン海プレートからの反射波が検出できるかどうかとも興味深い調査対象であるが、この目的にとっても東側すなわち南西諸島海溝寄りに設定された今回の測線は有利である。

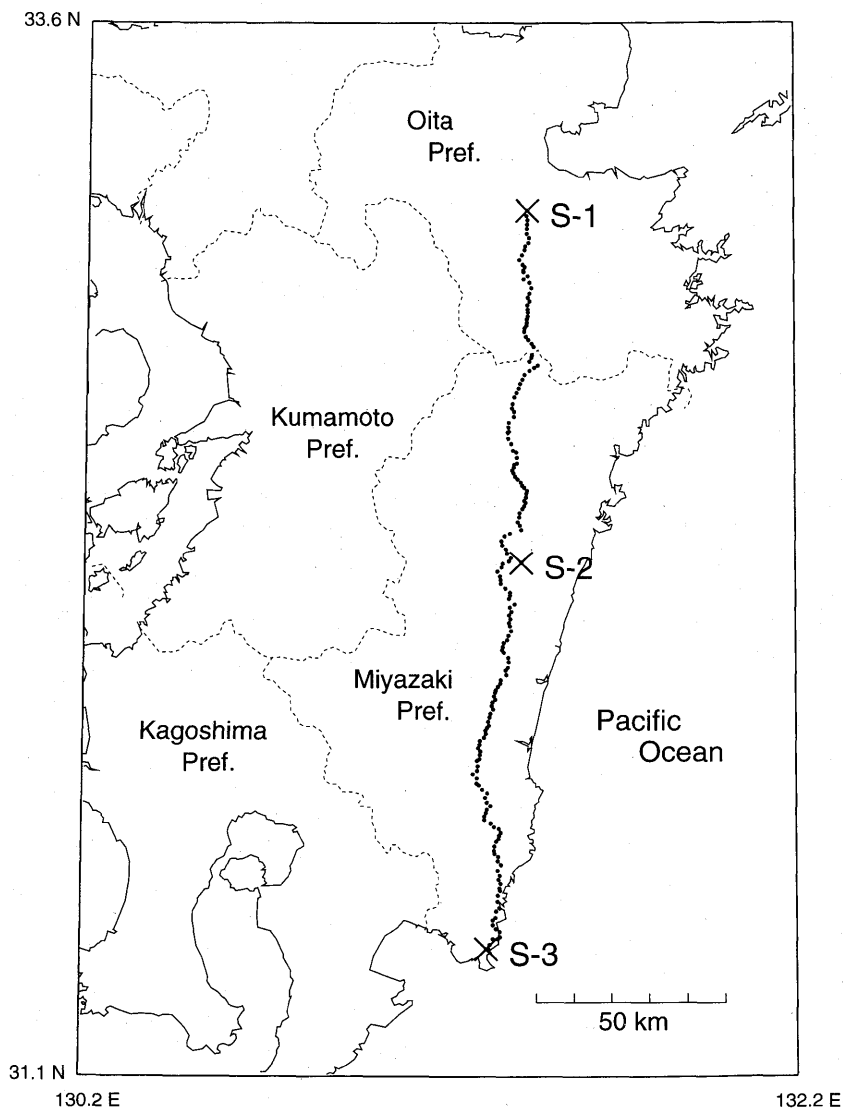


Fig.1. Map showing positions of shots and temporary observation sites of the Shonai-Kushima Profile. Cross marks and small dots indicate shots and observation sites, respectively.

## 2. 実験の概要

今回の実験は、1994年12月8日の未明に、大分県庄内町と宮崎県串間市を結ぶほぼ南北の全長約195kmの測線上で行われた。爆破点は上記の測線両端に宮崎県東郷町を加えた計3箇所である。この3箇所の爆破点に対して、測線上に195点の臨時観測点を設けて、爆破地震動を観測した。すなわち、観測点間隔は平均するとちょうど1kmである。爆破点

## 九州東部域における爆破地震動の観測 I

Table 1. Shot time, location, and charge size of three explosions on the Shonai-Kushima Profile.

Shot	Time Dec.8.1994	Latitude	Longitude	Height	Charge
S-1	01:02:00.73	33-09-29.2	131-26-37.4	312m	500kg
S-2	01:11:59.24	32-19-25.8	131-25-45.9	370m	500kg
S-3	01:22:00.13	31-24-07.9	131-20-02.8	31m	500kg

と観測点の配置を Fig. 1 に、爆破点の爆破時刻、位置、薬量などを Table 1 に示す。観測点の位置、観測者名は Table 2 に示すとおりである。

3 箇所の爆破孔のボーリング、爆破作業などは、応用地質株式会社の請負で行われた。爆破孔の直径は約 13 cm、掘削震度はいずれも 75 m であり、内径 10.5 cm の鋼鉄製パイプにより孔底までケーシングされた。これらの爆破孔にはそれぞれ 500 kg の深海爆破用ダイナマイトが底部に装填され、午前 1 時 2 分から 10 分間隔で爆破された。爆破作業と同時に、爆破点近傍の地表付近の地震波速度を測定するための観測も行われた。この観測では、それぞれの爆破点からほぼ 100 m 間隔に 6 台の地震計が設置された。この観測による走時図を、Fig. 2 に示す。S-1 と S-3 ではみかけの速度が 3-4 km/s 程度であるが、S-2 ではこれよりやや大きく、5 km/s 程度となっている。

195 箇所の臨時観測点では、全点で Mark Products 社製の上下動換振器 L-22D (固有周波数約 2.2 Hz, コイル抵抗約 2.2 k $\Omega$ ) がダンピング定数約 0.7 で用いられた。記録計の 8 割以上は市販のデジタル方式のものであるが、残りは各機関手作りの FM 録音によるアナログ方式のものであった。時刻の較正は大部分の記録計では標準電波時報 (JJY) を受信することで行ったが、一部のデジタル記録計は GPS 時計を利用する方式のものであった。

### 3. 観測結果

アナログ記録計による波形は、ワークステーション (HP-350 CH) に接続された高速デジタルボルトメータにより AD 変換 (16 ビット) された。AD 変換のサンプリング周波数は 100 Hz とし、さまざまなデジタル記録計による記録も、これと同じフォーマットに変換して波形データセットを作った。この波形データセットでは、すべての観測点の波形を初動の数秒前から 40 秒間切り出したので、速度の遅い S 波や深部からの反射波もカバーしている。デジタル記録計のサンプリング周波数が正確であることは言うまでもないが、アナログ記録計についても、テープの送り速度による誤差が 1000 分の 1 程度になるよう、注意深く補正して AD 変換を行った。

こうして得られた波形データセットに基づくレコードセクションを、Fig. 3 に示す。時間軸は 6 km/s でレデュースしてあり、振幅は各記録ごとに最大値で規格化してある。波形には、3-20 Hz のデジタルフィルターをかけてある。地震波は全体として減衰が大きく、とくに両端の S-1 および S-3 では測線全体の半分程度までしか明瞭な初動が認められない。いっぽう、S-2 や S-3 では地下深部からの反射波と思われる明瞭な後続波が認められる。

爆破地震動研究グループ

Table 2. Locations of temporary observation sites and observers.

Station	Latitude(N)	Longitude(E)	H(m)	Observers
1 S-1	33-09-30.4	131-26-38.9	304	E.Hane (OYO)
2 THK-1	33-08-45.6	131-26-29.8	463	A.Yamamoto, S.Ito, Y.Zen (Tohoku U.)
3 THK-2	33-08-08.9	131-26-40.5	330	
4 THK-3	33-07-32.2	131-26-36.5	370	
5 THK-4	33-06-55.0	131-26-34.5	445	
6 THK-5	33-06-14.5	131-26-31.1	435	
7 THK-6	33-05-38.4	131-26-54.9	445	
8 YMG-1	33-04-56.2	131-26-48.3	460	A.Hasemi, C.Ito, T.Igarashi, S.Hori (Yamagata U.)
9 YMG-2	33-04-27.2	131-26-14.9	540	
10 YMG-3	33-03-54.6	131-26-08.5	580	
11 YMG-4	33-03-11.4	131-25-41.7	470	
12 YMG-5	33-02-31.1	131-25-13.8	440	
13 IBR-1	33-01-49.8	131-25-47.0	388	K.Miyashita, *.Shiozawa (Ibaraki U.)
14 IBR-2	33-01-30.2	131-26-09.0	350	
15 IBR-3	33-01-02.5	131-25-59.0	260	
16 ASJ-1	33-00-48.7	131-26-01.9	250	T.Tsutsui, Y.Matsumoto (Kyoto U.)
17 ASJ-2	33-00-14.4	131-26-43.6	250	
18 ASJ-3	32-59-47.7	131-26-02.3	245	
19 ASJ-4	32-59-19.1	131-27-01.2	150	
20 ASJ-5	32-58-34.3	131-27-20.4	210	
21 ASJ-6	32-57-45.7	131-27-01.2	190	
22 ERISW-1	32-57-11.7	131-26-43.9	210	M.Nakamura, N.Seto, T.Iidaka (U.Tokyo)
23 ERISW-2	32-56-40.8	131-27-00.8	230	
24 ERISW-3	32-56-09.0	131-26-38.5	240	
25 ERISW-4	32-55-31.9	131-26-42.2	250	
26 ERISW-5	32-55-08.6	131-26-45.5	250	
27 ERISW-6	32-54-33.8	131-26-42.0	310	K.Sakai, M.Kobayashi (U.Tokyo)
28 ERISW-7	32-54-09.8	131-26-32.0	335	
29 ERISW-8	32-53-40.6	131-26-32.8	300	
30 ERISW-9	32-53-17.0	131-26-30.1	250	
31 ERISW-10	32-52-54.4	131-26-10.3	350	
32 ERISW-11	32-52-25.3	131-26-05.2	370	M.Nakamura, N.Seto, T.Iidaka (U.Tokyo)
33 ERISW-12	32-51-43.2	131-26-25.6	300	
34 ERISW-13	32-51-16.4	131-26-52.5	445	
35 ERISW-14	32-50-44.0	131-27-25.1	700	
36 ERISW-15	32-50-17.0	131-27-46.2	770	
37 KYT-01	32-49-04.9	131-27-28.6	1088	K.Ito, S.Omi, A.Obayashi (Kyoto U.)
38 KYT-02	32-48-46.0	131-27-22.8	1005	
39 KYT-04	32-48-12.2	131-27-02.4	940	
40 KYT-04	32-47-39.6	131-28-26.1	560	
41 KYT-05	32-47-20.7	131-27-49.8	545	
42 KYT-06	32-46-55.2	131-27-03.4	500	
43 KYT-07	32-46-20.3	131-26-12.5	450	
44 KYT-08	32-45-40.0	131-25-49.7	405	
45 KYT-09	32-45-04.1	131-25-26.0	390	
46 KYT-10	32-44-24.6	131-25-11.7	345	
47 KYT-11	32-43-47.2	131-24-50.0	300	
48 KYT-12	32-43-10.9	131-24-27.5	260	
49 KYT-13	32-42-13.3	131-24-14.4	210	
50 KYT-14	32-41-35.5	131-24-08.3	210	

## 九州東部域における爆破地震動の観測 I

Table 2. (Continued)

Station	Latitude(N)	Longitude(E)	H(m)	Observers	
51	KYT-15	32-41-05.7	131-24-29.1	160	
52	KYT-16	32-40-24.5	131-24-26.8	160	
53	KYT-17	32-39-31.1	131-23-35.2	120	
54	KYT-18	32-38-52.1	131-23-30.6	110	
55	KYT-19	32-38-16.7	131-23-35.5	100	
56	JMA-1	32-38-04.9	131-23-24.0	110	M.Abe, M.Honma (JMA)
57	JMA-2	32-37-16.5	131-23-28.6	200	
58	JMA-3	32-36-32.6	131-23-57.5	240	
59	JMA-4	32-35-34.2	131-24-16.0	310	
60	JMA-5	32-35-19.5	131-24-48.1	310	
61	JMA-6	32-34-33.3	131-24-54.9	570	
62	JMA-7	32-33-43.6	131-24-54.8	760	
63	KYU-1	32-33-32.2	131-24-26.7	803	K.Matsushima, T.Takeda, K.Uchida, H.Sadeghi (Kyushu U.)
64	KYU-2	32-33-08.1	131-24-23.6	701	
65	KYU-3	32-32-45.5	131-24-11.7	426	
66	KYU-4	32-32-20.6	131-24-24.5	368	
67	KYU-5	32-31-51.4	131-24-41.2	298	
68	KYU-6	32-31-28.5	131-25-06.6	226	
69	KYU-7	32-31-01.3	131-25-38.2	172	
70	KYU-8	32-30-33.0	131-25-53.3	164	
71	KYU-9	32-30-15.8	131-26-13.5	161	
72	KYU-10	32-29-49.1	131-26-42.0	240	
73	KYU-11	32-29-25.1	131-26-34.9	190	
74	KYU-12	32-28-51.8	131-26-31.8	236	
75	KYU-13	32-28-23.7	131-26-13.7	243	
76	KYU-14	32-28-05.9	131-26-26.9	165	
77	KYU-15	32-27-38.2	131-26-13.1	83	
78	ERI-1	32-27-13.2	131-25-53.5	105	I.Ogino, S.Sakai (U.Tokyo)
79	ERI-2	32-26-38.1	131-25-23.9	125	
80	ERI-3	32-26-01.7	131-25-21.2	130	
81	ERI-4	32-25-20.2	131-25-05.4	150	
82	ERI-5	32-24-50.7	131-25-26.6	150	
83	ERI-6	32-24-12.8	131-25-40.7	140	
84	ERI-7	32-23-41.4	131-23-46.1	390	
85	ERI-8	32-23-17.2	131-22-56.9	270	
86	ERI-9	32-22-35.1	131-22-25.3	255	
87	ERI-10	32-21-58.9	131-22-33.8	230	
88	ERI-11	32-21-25.7	131-23-10.4	238	
89	ERI-12	32-20-50.7	131-23-21.1	210	
90	ERI-13	32-20-09.5	131-24-00.4	210	T.Yoshii, T.Maeda (U.Tokyo), T.Tanada (H.S.R.I., Kanagawa Pref.)
91	ERI-14	32-19-40.5	131-23-39.8	220	
92	S-2	32-19-28.0	131-25-46.4	357	S.Sato(OYO)
93	ERI-15	32-19-16.8	131-22-36.9	230	T.Yoshii, T.Maeda (U.Tokyo), T.Tanada (H.S.R.I., Kanagawa Pref.)
94	ERI-16	32-18-43.7	131-22-26.6	210	
95	ERI-17	32-18-07.8	131-21-43.4	220	
96	ERI-18	32-17-25.9	131-22-09.5	220	
97	ERI-19	32-16-53.7	131-22-15.0	210	
98	ERI-20	32-16-22.0	131-22-17.4	210	
99	ERI-21	32-15-43.8	131-23-03.8	160	Y.Ichinose, T.Yoshihara (U.Tokyo)
100	ERI-22	32-15-08.7	131-23-50.6	150	

爆破地震動研究グループ

Table 2. (Continued)

Station	Latitude(N)	Longitude(E)	H(m)	Observers	
101	ERI-23	32-14-45.8	131-23-50.1	120	
102	ERI-24	32-14-16.6	131-23-39.5	120	
103	ERI-25	32-13-27.2	131-24-40.7	100	
104	ERI-26	32-13-00.2	131-23-52.3	280	
105	ERI-27	32-12-22.9	131-24-07.9	400	
106	ERI-28	32-11-55.7	131-23-43.9	380	
107	ERI-29	32-11-22.0	131-23-57.6	240	
108	CHB-30	32-10-48.9	131-23-42.7	190	T.Asanuma (Chiba U.)
109	CHB-31	32-10-21.9	131-23-52.9	110	
110	CHB-32	32-09-40.9	131-24-03.8	60	
111	CHB-33	32-09-00.7	131-23-37.2	20	
112	KOB-34	32-08-23.4	131-23-23.9	20	A.Kubo, F.Kikuchi (Kobe U.)
113	KOB-35	32-07-56.8	131-22-50.5	80	
114	KOB-36	32-07-22.1	131-22-40.0	70	
115	KOB-37	32-06-53.5	131-22-32.4	30	
116	UTU-38	32-06-35.9	131-22-48.8	50	M.Suzuki (Utsunomiya U.)
117	KOB-39	32-05-51.9	131-23-34.3	10	M.Kamei, K.Tadokoro, M.Hayama, E.Yamamoto (Kobe U.)
118	KOB-40	32-05-15.4	131-23-39.1	10	
119	KOB-41	32-04-26.0	131-23-30.5	10	
120	KOB-42	32-04-04.1	131-23-12.4	20	
121	KOB-43	32-03-25.1	131-23-20.0	90	
122	KOB-44	32-02-37.3	131-22-21.9	80	
123	KOB-45	32-02-06.5	131-22-17.1	80	
124	KOB-46	32-01-39.7	131-21-53.3	100	
125	NG-01	32-01-12.6	131-21-33.2	95	F.Yamazaki, M.Yamada (Nagoya U.), Y.Sasaki (Gifu U.)
126	NG-02	32-00-51.6	131-21-24.2	80	
127	NG-03	32-00-17.5	131-21-13.2	35	
128	NG-04	31-59-49.6	131-21-26.6	35	
129	NG-05	31-59-25.7	131-20-57.9	25	
130	NG-06	31-58-57.4	131-20-49.8	15	
131	NG-07	31-58-27.1	131-21-03.0	20	
132	NG-08	31-57-49.5	131-20-36.7	25	
133	NG-09	31-57-19.4	131-20-28.1	60	
134	NG-10	31-56-42.1	131-20-13.6	20	
135	NG-11	31-56-08.4	131-20-20.4	13	
136	NG-12	31-55-49.4	131-20-01.8	20	
137	NG-13	31-55-25.6	131-19-45.8	18	
138	NG-14	31-54-57.3	131-19-49.6	30	
139	NG-15	31-54-24.6	131-19-35.3	40	
140	NG-16	31-53-57.6	131-18-55.5	120	
141	NG-17	31-53-24.3	131-18-51.0	115	
142	NG-18	31-52-55.6	131-18-37.3	120	
143	NG-19	31-52-26.0	131-18-59.1	100	
144	NG-20	31-51-56.7	131-18-54.0	120	
145	NG-21	31-51-20.0	131-18-48.6	95	
146	NG-22	31-51-05.2	131-18-24.3	110	
147	HKD-1	31-50-18.8	131-18-31.7	132	H.Miyamachi (Kagoshima U.), *Otsuka (Hokkaido U.)
148	HKD-2	31-49-39.7	131-18-25.6	125	
149	HKD-3	31-49-10.1	131-17-42.0	160	
150	HKD-4	31-48-35.0	131-18-23.0	205	

## 九州東部域における爆破地震動の観測 I

Table 2. (Continued)

Station	Latitude(N)	Longitude(E)	H(m)	Observers
151 HKD-5	31-47-49.6	131-18-19.4	275	
152 HKD-6	31-47-35.2	131-18-42.1	325	
153 HKD-7	31-46-55.9	131-19-14.4	450	
154 HKD-8	31-46-24.4	131-20-07.0	375	
155 HKD-9	31-45-46.7	131-19-44.1	250	
156 HKD-10	31-45-05.4	131-20-05.2	210	
157 HKD-11	31-44-35.9	131-20-42.8	200	
158 HKD-12	31-44-04.9	131-20-06.3	167	
159 HKD-13	31-43-36.2	131-19-57.4	170	
160 HKD-14	31-43-05.2	131-19-41.7	149	
161 HKD-15	31-42-33.5	131-19-40.8	99	
162 HKD-16	31-42-03.8	131-20-44.9	85	
163 HKD-17	31-41-33.7	131-21-18.0	70	
164 HKD-18	31-41-18.6	131-22-06.4	120	T.Moriya, O.Ozel (Hokkaido U.)
165 HKD-19	31-40-47.5	131-22-25.4	60	
166 HKD-20	31-40-19.5	131-22-08.8	40	
167 HKD-21	31-39-50.8	131-22-04.6	30	
168 HKD-22	31-39-26.3	131-21-39.9	180	
169 HKD-23	31-38-46.2	131-21-21.9	28	
170 HKD-24	31-38-08.3	131-21-17.9	30	
171 HKD-25	31-37-41.0	131-21-22.2	20	
172 HKD-26	31-37-15.5	131-21-58.7	25	
173 HKD-27	31-36-37.9	131-21-55.0	30	
174 HKD-28	31-36-08.8	131-22-27.1	30	
175 HKD-29	31-35-15.8	131-21-57.9	30	
176 HKD-30	31-34-36.3	131-22-18.9	57	
177 HKD-31	31-33-58.0	131-22-06.9	12	
178 HKD-32	31-33-27.3	131-22-26.6	15	
179 HKD-33	31-32-46.0	131-22-16.2	30	
180 TOK-01	31-32-26.4	131-22-20.1	20	S.Iizuka, H.Baba, T.Kawai, Y.Uchida, K.Murase, F.Kanto (Tokai U.)
181 TOK-02	31-31-44.2	131-21-58.6	19	
182 TOK-03	31-30-52.0	131-21-55.4	44	
183 TOK-04	31-29-57.3	131-22-14.5	25	
184 TOK-05	31-29-29.0	131-21-40.7	60	
185 TOK-06	31-28-34.4	131-21-34.5	41	
186 TOK-07	31-28-12.2	131-21-06.6	10	
187 TOK-08	31-27-31.7	131-21-06.2	15	
188 TOK-09	31-26-58.3	131-21-36.7	62	
189 TOK-10	31-26-36.5	131-22-15.3	36	
190 TOK-11	31-25-53.4	131-22-22.0	75	
191 TOK-12	31-25-33.5	131-21-57.8	212	
192 TOK-13	31-25-33.9	131-21-10.1	60	
193 TOK-14	31-24-44.0	131-20-38.6	27	
194 TOK-15	31-24-07.6	131-20-25.3	20	
195 S-3	31-24-06.5	131-20-04.0	29	K.Hayashi (OYO)

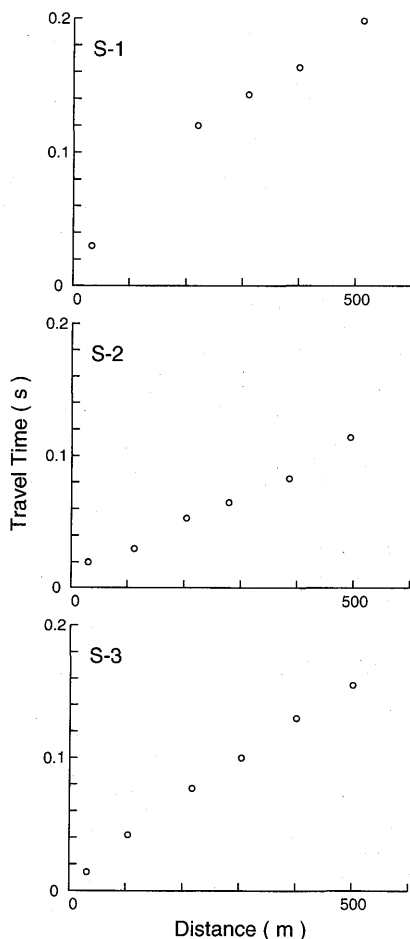


Fig. 2. Travel-time diagrams near the three shot points. The observations were made to determine seismic velocities near the ground surface.

観測記録をもとに読みとった初動の走時を Table 3 に示す。読みとった走時にはノイズレベル、相の明瞭度を考慮して A ( $\pm 0.02$  s 以下), B ( $\pm 0.05$  s 以下) および C ( $\pm 0.05$  s 以上) のランクをつけた。表中の+および-は、読みとった相の地動が上向きおよび下向きであることを示す。爆破震源では初動の地動は一般に上向きになると考えられるが、雑音が多い場合など、地動が下向きの部分で読みとらざるを得ない場合もある。

Fig. 4 は読みとり値をもとに作った初動の走時図である。走時は 6 km/s でレデュースしてある。3 爆破点の走時の特徴により、6 km/s 程度の速度をもつ層が S-1 から S-3 へ南に向かって急激に深くなっているという基本的な構造が推測できる。今回の測線の南半分は九州における四万十帯に属しており、これが走時の特徴に現れていると考えられる。各爆破点とも遠方における初動走時の読みとりは精度が悪く、ばらつきも大きい。



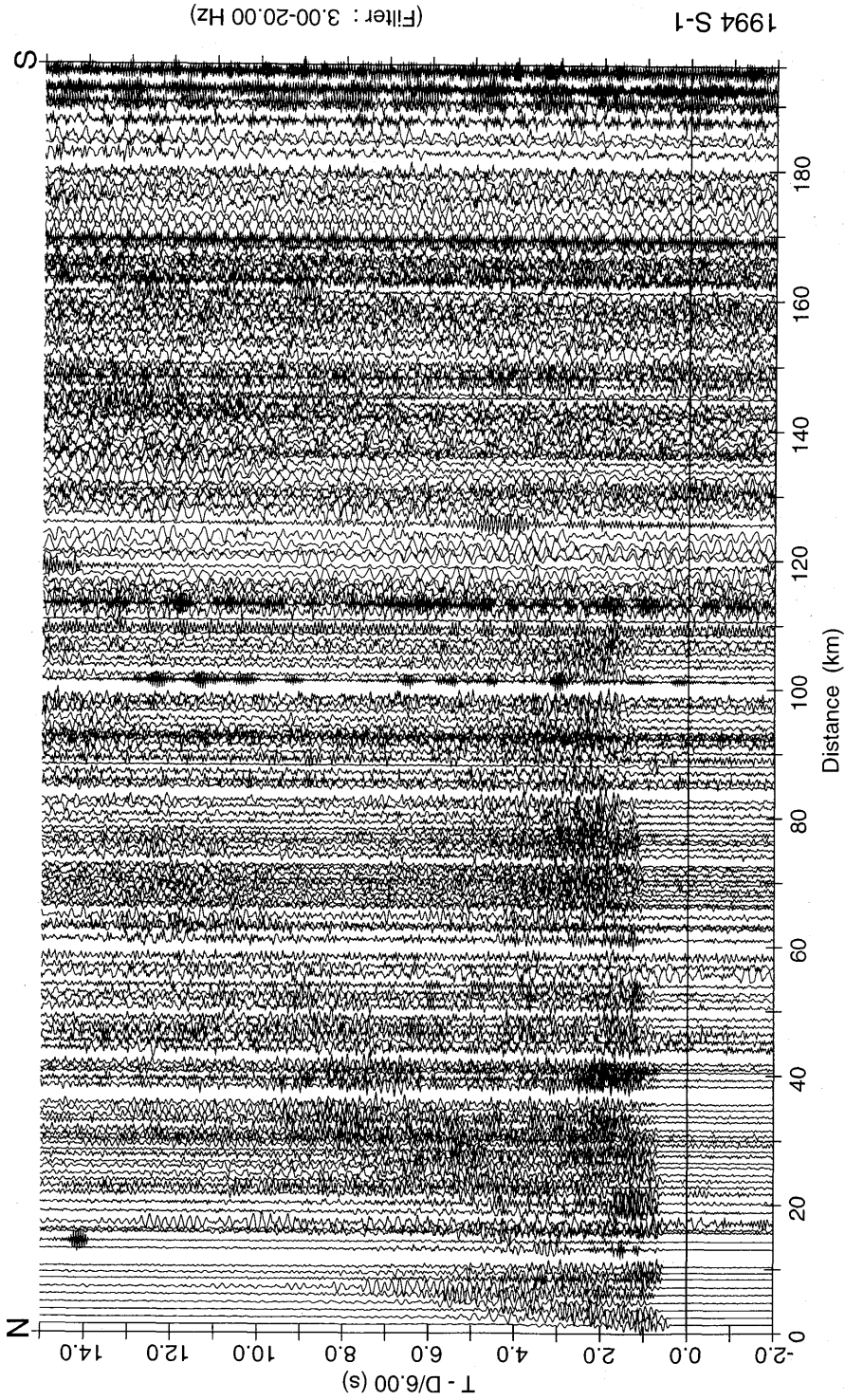


Fig. 3-a. A record section of shot S-1. Time axis is reduced by a velocity of 6.0 km/s.

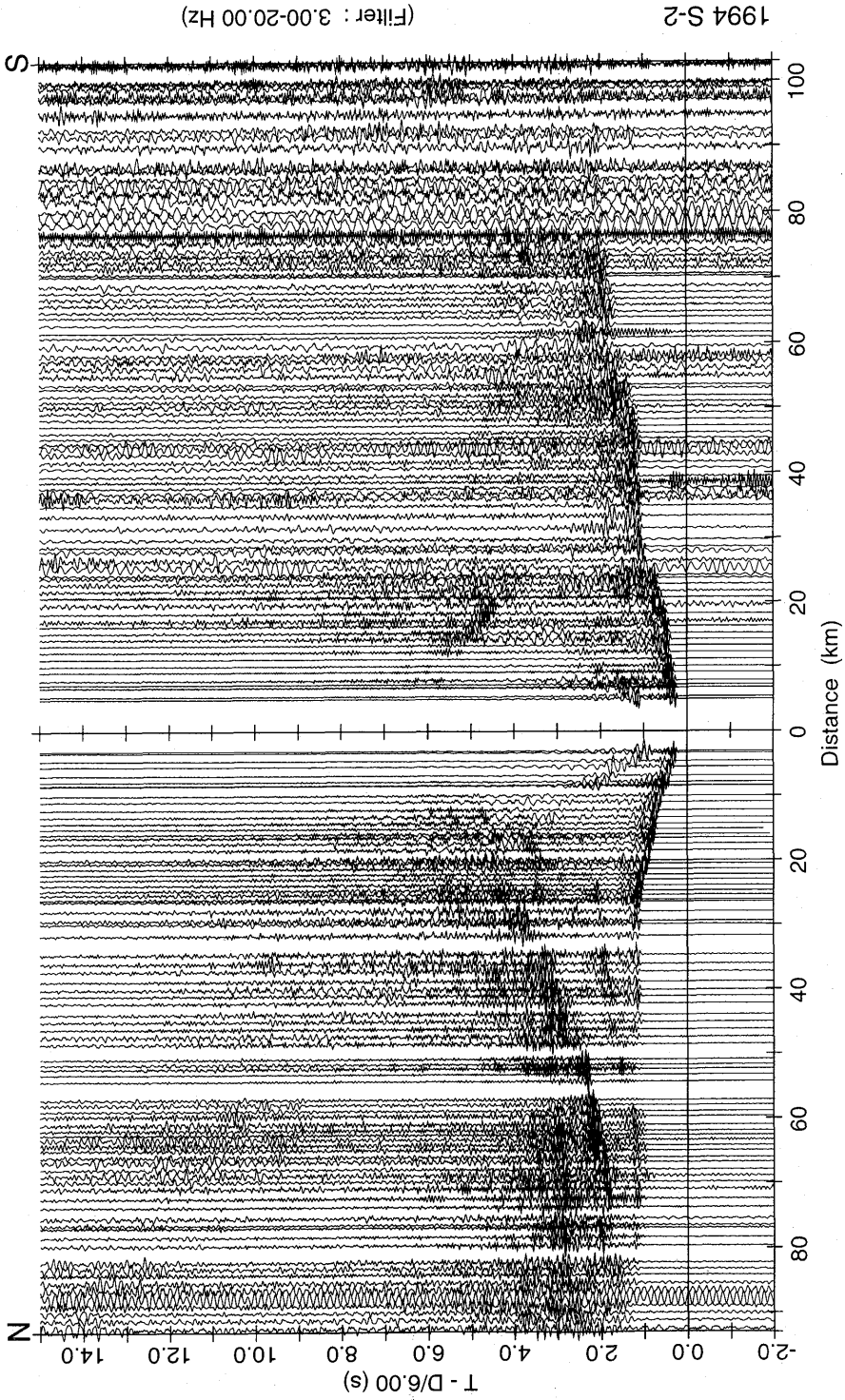


Fig. 3-b. A record section of shot S-2. Time axis is reduced by a velocity of 6.0 km/s.

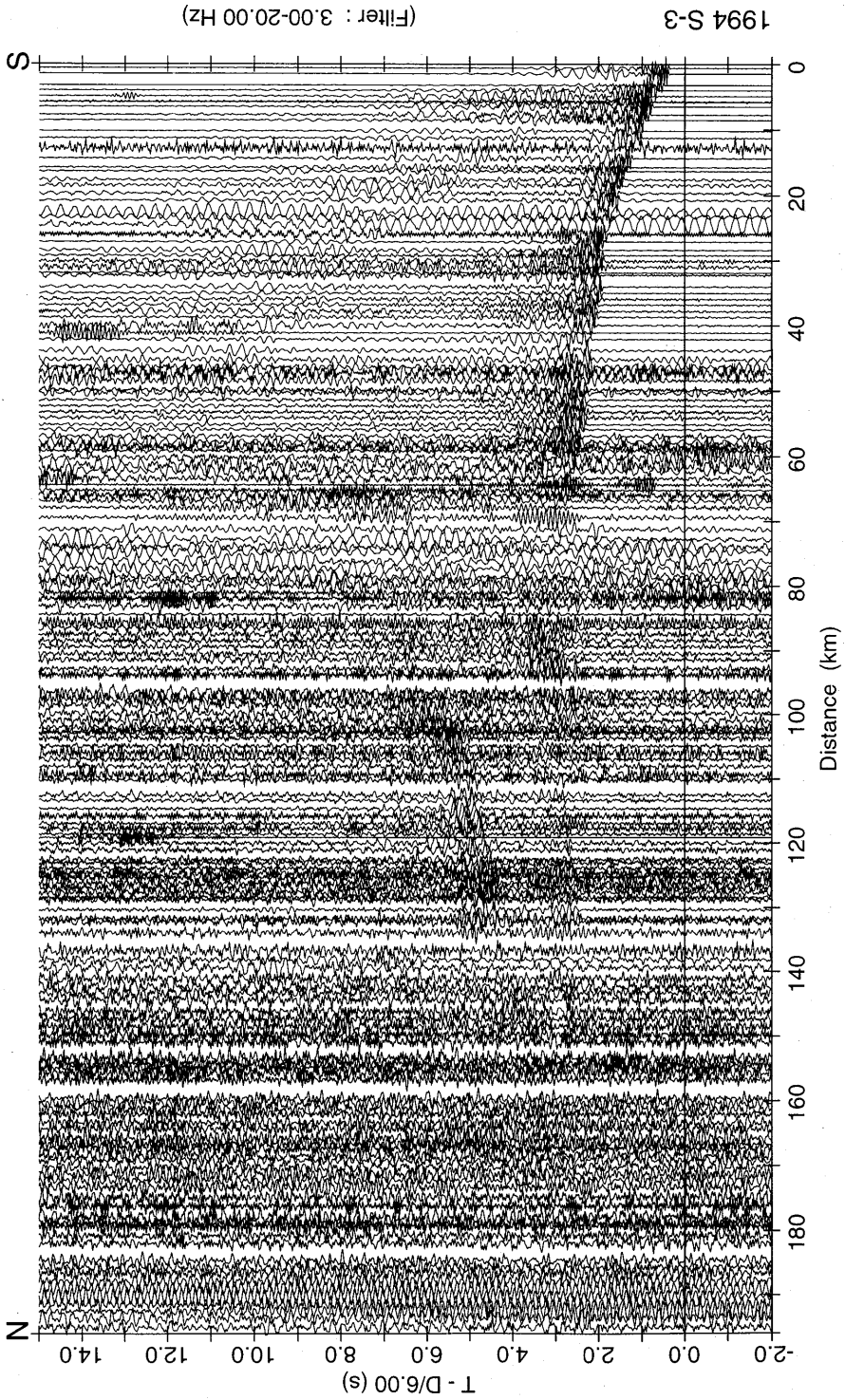


Fig. 3-c. A record section of shot S-3. Time axis is reduced by a velocity of 6.0 km/s.

爆破地震動研究グループ

Table 3. Travel-time data of three shots. 'Dist' indicates shot distance in km and 'Time' indicates travel times of the first arrivals. Ranks A, B, C, and L indicate "very good", "good", "fairly good" and "later arrivals", respectively. A plus or minus mark attached to a rank means that the direction of movement of the first arrival is upward or downward.

Station	S-1		S-2		S-3	
	Dist	Time	Dist	Time	Dist	Time
1 S-1	0.05		92.56	16.42 C+	195.01	
2 THK-1	1.36	0.46 A+	91.18	16.26 B+	193.62	
3 THK-2	2.47	0.72 A+	90.05	16.03 B+	192.50	
4 THK-3	3.60	1.04 A+	88.92	15.98 B+	191.37	
5 THK-4	4.75	1.38 A+	87.77		190.22	
6 THK-5	6.00	1.63 A+	86.52	16.36 C+	188.97	
7 THK-6	7.12	1.68 B+	85.42	15.27 C+	187.90	
8 YMG-1	8.41	1.87 A+	84.12	14.98 B+	186.59	
9 YMG-2	9.32	2.03 A+	83.21	14.76 B-	185.65	
10 YMG-3	10.33	2.19 A+	82.21	14.54 C+	184.64	
11 YMG-4	11.73		80.87		183.27	
12 YMG-5	13.06	2.63 A+	79.64	14.14 A+	182.00	
13 IBR-1	14.21	2.83 B+	78.36	13.98 B+	180.77	
14 IBR-2	14.77		77.76		180.20	
15 IBR-3	15.64	3.04 B+	76.90	13.68 B+	179.33	
16 ASJ-1	16.06	3.07 B+	76.48	13.61 C+	178.91	
17 ASJ-2	17.09	3.39 L	75.44	13.65 B+	177.92	
18 ASJ-3	17.94		74.60		177.03	
19 ASJ-4	18.80	3.61 B+	73.74	13.19 C+	176.24	
20 ASJ-5	20.20	3.92 B+	72.38	12.90 C+	174.90	
21 ASJ-6	21.68	4.13 C+	70.87	12.76 B+	173.37	
22 ERISW-1	22.72		69.81	12.50 A+	172.30	
23 ERISW-2	23.68	4.33 C+	68.87	12.25 C+	171.38	
24 ERISW-3	24.65	4.68 B+	67.88	12.13 A+	170.36	
25 ERISW-4	25.79	4.82 B+	66.74	11.96 A+	169.23	
26 ERISW-5	26.51	4.97 B+	66.02	11.83 A+	168.52	
27 ERISW-6	27.58	5.11 C+	64.95	11.66 A+	167.44	
28 ERISW-7	28.32	5.25 A+	64.20	11.53 A+	166.69	
29 ERISW-8	29.22	5.43 C+	63.30	11.60 C+	165.79	
30 ERISW-9	29.95	5.55 B+	62.57	11.30 A+	165.06	
31 ERISW-10	30.65	5.63 C+	61.87	11.14 A+	164.34	
32 ERISW-11	31.55	5.75 C+	60.97	11.01 A+	163.43	
33 ERISW-12	32.84	6.06 C+	59.68	10.79 A+	162.17	
34 ERISW-13	33.66	6.12 C+	58.88	10.69 A+	161.39	
35 ERISW-14	34.68	6.50 C+	57.91	10.73 B+	160.46	
36 ERISW-15	35.54	6.46 B+	57.11	10.40 B+	159.67	
37 KYT-01	37.74		54.86		157.42	
38 KYT-02	38.31	7.05 C+	54.28	9.95 A+	156.83	
39 KYT-04	39.34	7.19 C+	53.21	9.80 A+	155.75	
40 KYT-04	40.44	7.25 B+	52.34	9.70 A+	154.92	
41 KYT-05	40.97	7.45 C+	51.69	9.53 A+	154.26	
42 KYT-06	41.71	7.62 C+	50.84	9.42 A+	153.39	
43 KYT-07	42.79		49.73		152.22	
44 KYT-08	44.04	8.07 C+	48.49	8.99 B+	150.95	
45 KYT-09	45.17		47.38	8.87 B-	149.81	
46 KYT-10	46.40	8.50 C+	46.17	8.74 A+	148.57	
47 KYT-11	47.58	8.68 C+	45.04	8.43 A+	147.39	
48 KYT-12	48.73	8.90 C+	43.94	8.26 A+	146.24	
49 KYT-13	50.53	9.15 C+	42.19	8.03 A+	144.46	
50 KYT-14	51.70	9.33 C+	41.04	7.81 A+	143.29	

## 九州東部域における爆破地震動の観測 I

Table 3. (Continued)

Station	S-1		S-2		S-3	
	Dist	Time	Dist	Time	Dist	Time
51 KYT-15	52.58	9.70 C+	40.09	7.67 A+	142.39	
52 KYT-16	53.85	9.63 C-	38.82	7.49 A+	141.12	
53 KYT-17	55.59		37.28	7.22 A+	139.42	
54 KYT-18	56.80	10.22 C+	36.10	6.96 B+	138.22	
55 KYT-19	57.87		35.00		137.13	
56 JMA-1	58.26		34.67	6.78 A+	136.76	
57 JMA-2	59.73		33.17		135.27	
58 JMA-3	61.03	11.12 C+	31.75	6.28 A+	133.95	24.58 C+
59 JMA-4	62.79	11.16 C+	29.92	5.95 A+	132.18	24.35 C+
60 JMA-5	63.20	11.57 C+	29.41	5.86 A+	131.77	24.30 B-
61 JMA-6	64.61	11.71 C+	27.98	5.64 A+	130.36	24.01 B+
62 JMA-7	66.14	11.95 C+	26.45	5.38 A+	128.83	23.87 C+
63 KYU-1	66.53	11.92 C+	26.15	5.38 A+	128.44	23.80 C+
64 KYU-2	67.27	12.20 C+	25.42	5.24 A+	127.70	23.62 C+
65 KYU-3	67.99	12.28 C+	24.75	5.06 A+	126.98	23.45 C+
66 KYU-4	68.73	12.42 C+	23.96	4.92 A+	126.24	
67 KYU-5	69.61	12.56 C+	23.03	4.76 A+	125.36	
68 KYU-6	70.29	12.75 C+	22.28	4.59 A+	124.70	23.24 C-
69 KYU-7	71.11	12.78 C+	21.42	4.42 A+	123.92	23.18 C+
70 KYU-8	71.97	12.95 C-	20.55	4.24 A+	123.08	23.05 C+
71 KYU-9	72.49	13.00 B+	20.03	4.12 A+	122.59	22.90 C-
72 KYU-10	73.31		19.25		121.83	
73 KYU-11	74.05	13.29 B+	18.50	3.83 A+	121.08	22.65 C-
74 KYU-12	75.08	13.43 C+	17.47	3.63 A+	120.05	22.56 C+
75 KYU-13	75.95	13.58 C+	16.58	3.48 A+	119.15	
76 KYU-14	76.49	13.70 C+	16.06	3.34 A+	118.63	22.32 C+
77 KYU-15	77.35	13.90 C+	15.18	3.16 A+	117.75	22.22 C+
78 ERI-1	78.12	14.03 B+	14.40	3.04 A+	116.94	
79 ERI-2	79.22	14.24 C+	13.33	2.83 A+	115.81	
80 ERI-3	80.34	14.40 C+	12.21	2.62 A+	114.68	21.49 C+
81 ERI-4	81.63	14.68 C-	10.97	2.35 A+	113.38	
82 ERI-5	82.53	14.86 C-	10.02	2.15 A+	112.51	21.48 L
83 ERI-6	83.68		8.84		111.38	
84 ERI-7	84.76	15.28 C+	8.47	1.83 A+	110.21	20.99 C+
85 ERI-8	85.58		8.39	1.81 A+	109.41	
86 ERI-9	86.93	15.62 C+	7.84	1.66 A+	108.08	20.82 C+
87 ERI-10	88.02		6.89	1.45 A+	106.97	20.52 C-
88 ERI-11	88.98		5.49	1.18 A+	105.99	
89 ERI-12	90.04	16.05 C+	4.60	0.97 A+	104.93	19.62 C+
90 ERI-13	91.26	16.27 C-	3.07	0.68 A+	103.72	19.53 C-
91 ERI-14	92.17	16.78 C-	3.33	0.71 A+	102.80	19.10 C-
92 S-2	92.45	16.45 C-	0.07		102.65	
93 ERI-15	93.00	16.99 L	4.95	0.98 A+	101.99	19.40 C-
94 ERI-16	94.04	16.65 C-	5.37	1.05 A+	100.96	
95 ERI-17	95.22	16.98 C+	6.78	1.32 A+	99.82	18.49 C+
96 ERI-18	96.46	17.30 C+	6.76	1.28 A+	98.55	18.49 C+
97 ERI-19	97.44	17.48 C+	7.24	1.40 A+	97.56	18.66 C+
98 ERI-20	98.41	17.82 C+	7.86	1.50 A+	96.59	18.31 C+
99 ERI-21	99.50		8.05		95.47	
100 ERI-22	100.52		8.47		94.46	

爆破地震動研究グループ

Table 3. (Continued)

Station	S-1		S-2		S-3	
	Dist	Time	Dist	Time	Dist	Time
101 ERI-23	101.23		9.14	1.74 A+	93.75	17.84 C+
102 ERI-24	102.14	18.27 C+	10.08	1.88 A+	92.84	17.70 C+
103 ERI-25	103.60	18.20 C+	11.18	2.16 A+	91.43	17.85 C+
104 ERI-26	104.48	18.48 C+	12.24	2.34 A+	90.51	17.85 C+
105 ERI-27	105.61	18.74 C+	13.28	2.59 A+	89.39	17.40 C+
106 ERI-28	106.47	19.12 C+	14.23	2.65 A+	88.51	17.30 C+
107 ERI-29	107.49	19.17 C+	15.17	2.84 A+	87.50	16.83 C+
108 CHB-30	108.53	19.11 C+	16.24	3.03 A+	86.46	16.65 C+
109 CHB-31	109.35		17.01	3.18 A+	85.65	
110 CHB-32	110.60		18.21	3.43 A+	84.41	16.81 C-
111 CHB-33	111.86		19.55	3.69 B+	83.12	15.96 C+
112 KOB-34	113.03		20.74	3.96 B+	81.95	
113 KOB-35	113.89		21.71	4.16 A+	81.08	
114 KOB-36	114.97		22.81	4.38 A+	80.00	
115 KOB-37	115.86		23.72	4.52 A+	79.11	
116 UTU-38	116.38		24.16	4.67 A+	78.59	
117 KOB-39	117.68		25.30	4.96 C+	77.32	
118 KOB-40	118.79		26.40	5.29 L	76.21	
119 KOB-41	120.32		27.94	5.53 B+	74.67	
120 KOB-42	121.02		28.67	5.64 A+	73.97	
121 KOB-43	122.21		29.83	5.93 A+	72.78	
122 KOB-44	123.75		31.52	6.17 B+	71.22	
123 KOB-45	124.71		32.47		70.26	
124 KOB-46	125.57		33.40	6.50 B+	69.41	
125 NG-01	126.43		34.31		68.56	
126 NG-02	127.09		34.99	6.77 B+	67.90	
127 NG-03	128.16		36.08	6.98 C+	66.84	
128 NG-04	128.99		36.86	7.06 C+	66.00	
129 NG-05	129.78		37.72	7.25 B+	65.24	
130 NG-06	130.66		38.62	7.40 C+	64.36	
131 NG-07	131.57		39.47	7.58 A+	63.44	
132 NG-08	132.77		40.74	7.86 A+	62.27	
133 NG-09	133.71		41.69	7.95 B+	61.34	
134 NG-10	134.88		42.89	8.08 C+	60.18	12.43 C+
135 NG-11	135.91		43.88	8.22 C+	59.15	12.19 C+
136 NG-12	136.53		44.55	8.37 B+	58.56	12.05 C-
137 NG-13	137.29		45.35	8.52 B+	57.83	11.80 B+
138 NG-14	138.15		46.18	8.69 A+	56.96	11.70 B+
139 NG-15	139.18		47.25	8.89 B+	55.95	11.50 B+
140 NG-16	140.10		48.28	9.05 A+	55.15	11.37 A+
141 NG-17	141.13		49.31	9.22 B+	54.12	11.16 B+
142 NG-18	142.04		50.25	9.41 B+	53.26	11.01 B+
143 NG-19	142.90		51.02	9.61 A+	52.32	10.86 B+
144 NG-20	143.81		51.93	9.75 A+	51.43	10.64 A+
145 NG-21	144.95		53.06	9.97 B+	50.30	10.40 B+
146 NG-22	145.46		53.64	10.13 A+	49.88	10.36 B+
147 HKD-1	146.87		55.00	10.66 C+	48.44	
148 HKD-2	148.08		56.21	10.79 C+	47.24	
149 HKD-3	149.09		57.34	10.86 C+	46.41	9.68 B+
150 HKD-4	150.07		58.17		45.26	9.60 B+

## 九州東部域における爆破地震動の観測 I

Table 3. (Continued)

Station	S-1		S-2		S-3	
	Dist	Time	Dist	Time	Dist	Time
151 HKD-5	151.47		59.56	11.39 C+	43.87	9.33 B+
152 HKD-6	151.86		59.89		43.39	
153 HKD-7	153.00		60.93	11.60 B-	42.15	8.99 A+
154 HKD-8	153.87		61.67		41.16	8.84 B-
155 HKD-9	155.07		62.91	11.90 B-	40.00	8.61 B-
156 HKD-10	156.31		64.08	12.12 C-	38.73	8.35 B-
157 HKD-11	157.15		64.86	12.27 B-	37.83	8.20 B-
158 HKD-12	158.16		65.93	12.47 B-	36.86	8.01 B-
159 HKD-13	159.06		66.83	12.66 C-	35.98	7.83 B-
160 HKD-14	160.04		67.84	12.82 B-	35.03	7.66 B-
161 HKD-15	161.02		68.81	12.96 C-	34.05	7.48 B-
162 HKD-16	161.82		69.50		33.15	
163 HKD-17	162.70		70.33	13.43 B+	32.27	7.25 B-
164 HKD-18	163.11		70.68	13.42 C+	31.91	7.13 A+
165 HKD-19	164.04		71.59	13.70 C-	31.01	
166 HKD-20	164.92		72.49	13.76 C-	30.11	6.79 A+
167 HKD-21	165.81		73.38	13.90 C+	29.22	6.66 A+
168 HKD-22	166.59		74.18	14.14 C+	28.40	6.58 A+
169 HKD-23	167.85		75.46	14.40 C+	27.13	6.26 A+
170 HKD-24	169.02		76.63		25.96	6.01 B+
171 HKD-25	169.86		77.45		25.13	
172 HKD-26	170.60		78.16		24.45	
173 HKD-27	171.76		79.32	14.96 C+	23.29	5.47 B+
174 HKD-28	172.62		80.15		22.53	5.36 C+
175 HKD-29	174.28		81.84	15.58 C-	20.79	4.91 A+
176 HKD-30	175.47		83.01		19.68	4.72 A+
177 HKD-31	176.67		84.21		18.47	4.45 B+
178 HKD-32	177.59		85.12		17.64	4.26 B+
179 HKD-33	178.87		86.40	16.36 C-	16.34	4.00 A+
180 TOK-01	179.47		87.00		15.77	3.85 A+
181 TOK-02	180.79		88.33		14.38	3.53 A+
182 TOK-03	182.40		89.94	16.90 C+	12.79	
183 TOK-04	184.06		91.59		11.31	2.80 A+
184 TOK-05	184.97		92.52	17.34 C+	10.22	2.58 A+
185 TOK-06	186.66		94.21		8.56	2.28 A+
186 TOK-07	187.37		94.95		7.71	2.00 A+
187 TOK-08	188.62		96.19		6.50	1.72 A+
188 TOK-09	189.61		97.16	18.29 C-	5.80	1.65 A+
189 TOK-10	190.24		97.77		5.76	1.72 A+
190 TOK-11	191.56		99.08		4.91	1.50 A+
191 TOK-12	192.20		99.73		4.02	1.22 A+
192 TOK-13	192.24		99.80		3.19	0.94 A+
193 TOK-14	193.81		101.40		1.46	0.54 A+
194 TOK-15	194.95		102.54		0.59	0.39 A+
195 S-3	195.01		102.62		0.05	

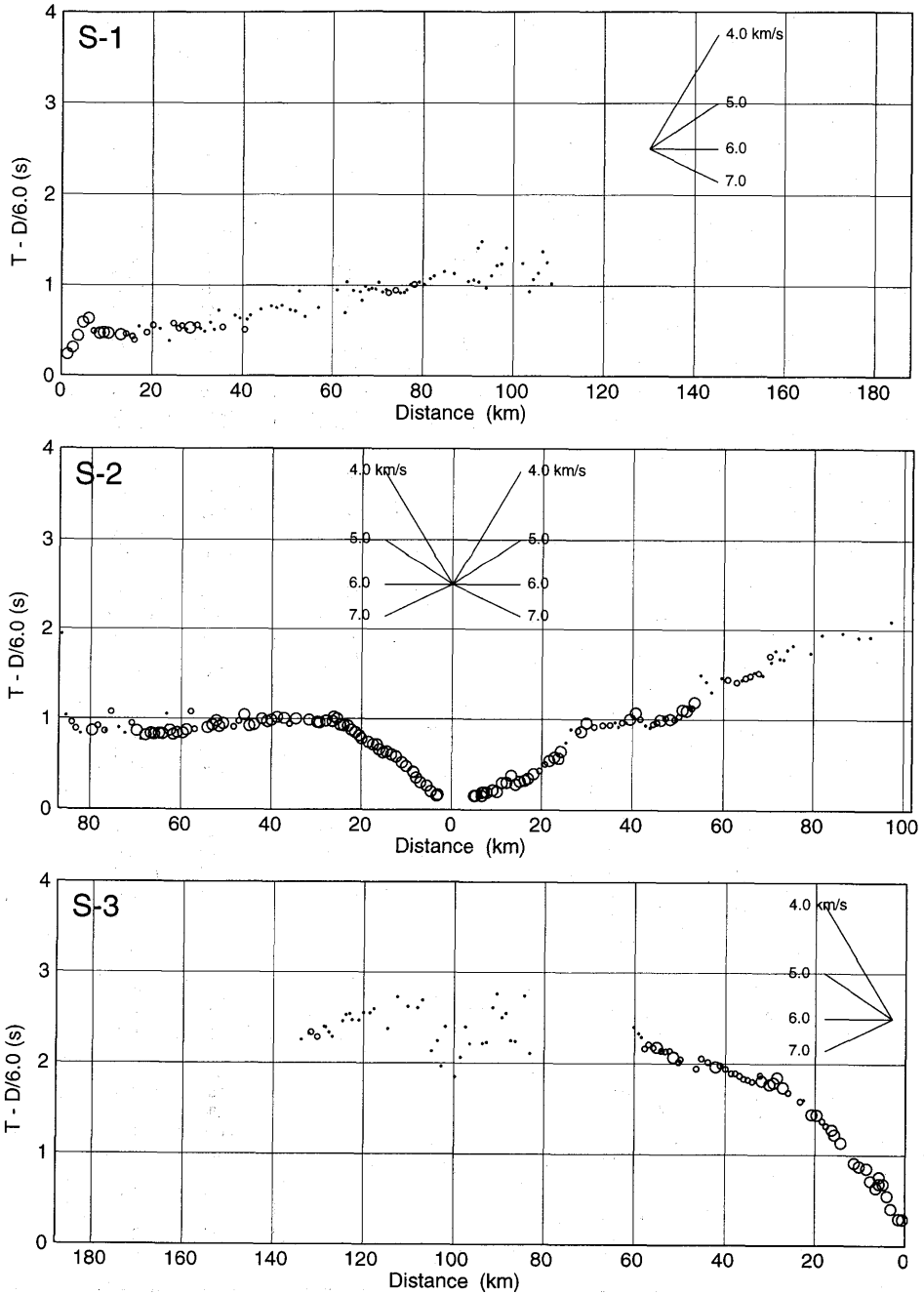


Fig. 4. Travel-time diagrams of the first arrivals for three shots. Time axis is reduced by a velocity of 6.0 km/s. Accuracy of the travel-time reading is indicated by the size of the circle, namely, ranks A, B, and C are indicated by large, medium-size and small circles respectively.



#### 4. おわりに

爆破地震動研究グループによる最初の九州における観測であったが、地震波の減衰がきわめて大きく、遠方では精度の良い記録をとることが難しかった。しかしながら、初動の走時からは測線に沿って急変するこの地域の地殻浅部の構造が、さらに、きわめて優勢な反射波と思われる後続波からは地殻のより深部の構造が推定できるものと思われる。

今回の観測では、主として経費の関係で爆破点が3箇所しか設けられなかった。当初よりこの地域での観測は2年度にわたって行う予定であったので、各観測班では次の観測に備えて臨時観測点の詳しい位置や地震計設置状況の写真などの記録を残した。この2回目の観測は1995年の実施される予定であったが、この年に発生した兵庫県南部地震の震源域での観測に急遽予定が変更されたので、結局、1年後の1996年に行われた(爆破地震動研究グループ, 1999)。この2回の観測により得られたデータの解析により推定された地下構造などの結果は、別に報告される予定である。

#### 謝辞および実験参加者

この実験に際し、下記の機関や個人のご協力をいただいた。ここに記して、深く感謝いたします。

大分県大分郡庄内町、宮崎県東臼杵郡東郷町、宮崎県串間市、小川勝房、土肥 茂。

本実験は、東京大学地震研究所の地震予知計画経費により行われた。また、本実験には、財団法人東京海上各務記念財団より地震予知研究助成金(研究課題「九州東部における人工地震による地下構造の調査」)を受けた。深く感謝いたします。

今回の実験の参加者は、以下のとおりである。所属機関は観測当時とし、請負分は省略した。

実験総責任者：岩崎貴哉(東京大学地震研究所)

爆破点予備調査・交渉：岩崎貴哉(東京大学地震研究所)、鈴木貞臣(九州大学理学部)、宮町弘樹(鹿児島大学理学部)

記録整理・解析：森谷武男(北海道大学理学部)、飯高 隆、岩崎貴哉、酒井慎一、吉井敏尅(以上、東京大学地震研究所)、久保篤規(神戸大学理学部)、鈴木貞臣(九州大学理学部)、宮町弘樹(鹿児島大学理学部)

本報告執筆：吉井敏尅(東京大学地震研究所)

観測：大塚 健、オウズ・オゼル、森谷武男(以上、北海道大学理学部)、伊藤 忍、曾健、堀修一郎、山本 明(以上、東北大学理学部)、伊五沢敬、伊藤千秋、長谷見晶子(以上、山形大学理学部)、塩澤英之、宮下 芳(以上、茨城大学理学部)、鈴木將之(宇都宮大学教育学部)、M.H. Moustafa(建設省建築研究所)、浅沼俊夫、鈴木雅也(以上、千葉大学理学部)、飯高 隆、一ノ瀬洋一郎、荻野 泉、小林 勝、坂 守、酒井 要、酒井慎一、瀬戸憲彦、中村正夫、朴 成実、前田卓哉、吉井敏尅、吉原俊博(以上、東京大学地震研究所)、阿部正雄、本間直樹(以上、気象庁地震観測所)、棚田俊收(神奈川県温泉地学研究所)、飯塚 進、内田康人、神藤史明、小岩利郎、馬場久紀、村瀬 圭(以上、東海大学海洋学部)、山崎文人、山田 守(以上、名古屋大学理学部)、佐々木嘉三(岐阜大学教育学部)、筒井智樹、松本良浩、赤松純平、慈 道充、斉藤秀雄、木下友貴子、西村敬一(以上、京都大学理学部)、伊藤 潔、大見士朗、大東明子、松村一男、中尾節郎、藤原善

爆破地震動研究グループ

明, 古川信雄, 山崎 朗 (以上, 京都大学防災研究所), 亀井祐聡, 菊池文孝, 久保篤規, 田所敬一, 端山雅樹, 山本英治 (以上, 神戸大学理学部), 内田和也, 鈴木貞臣, 武田哲也, ホセイ・サデキ, 松島 健 (以上, 九州大学理学部), 宮町弘樹 (鹿児島大学理学部).

参考文献

爆破地震動研究グループ, 1999, 九州東部域における爆破地震動の観測 II (安心院-田野測線), 地震研究所彙報, **74**, 143-162.

ONO, K., K. ITO, I. HASEGAWA, K. ICHIKAWA, S. IZUKA, T. KAKUTA and H. SUZUKI, 1978, *J. Phys. Earth*, **26 Suppl.**, S309-S319.

(Received June 11, 1999)

(Accepted August 23, 1999)