

## 近畿地方北部における人工地震探査 (続)

西南日本地殻構造研究グループ

(伊藤 潔・松村 一男・飯尾 能久・梅田 康弘  
大倉 敬宏・小笠原 宏・金尾 政紀・渋谷 拓郎  
竹内 文朗・田崎 幸司・西上 欽也・渡辺 邦彦)

### SEISMIC REFRACTION EXPERIMENTS IN THE NORTHERN KINKI DISTRICT, JAPAN (PART 2)

By the Research Group for Crustal Structure of Southwestern Japan  
(*Kiyoshi ITO, Kazuo MATSUMURA, Yoshihisa IIO, Yasuhiro UMEDA, Takahiro OHKURA,*  
*Hiroshi OGASAWARA, Masaki KANAOKA, Takuo SHIBUTANI, Fumiaki TAKEUCHI,*  
*Koji TASAKI, Kin'ya NISHIGAMI, Kunihiko WATANABE*)

#### Synopsis

Observations of seismic waves from quarry blasts were carried out to reverse the measuring line of 1989 explosions, from Fujiwara-cho, Mie Prefecture to Hikami-cho, Hyogo Prefecture, crossing Lake Biwa. Ten quarry blasts at the Fujiwara Mine were observed at 60 stations along the east-west line of about 120 km in length. The obtained records clearly show that the thickness of the surface layer increases by about 2 km on the west of Lake Biwa, where active faults cross the measuring line. The records also show reflected waves from deep boundaries in the middle and lower crust, which indicate that the lower crust is reflective in the wide area of the northern Kinki district.

#### 1. はじめに

西南日本の内陸地震に関する調査研究の一環として、近畿北部の地殻構造探査を実施した。1989年には爆破地震動研究グループの爆破地震動を観測したのに続いて、1990年には琵琶湖南部を東西に横切る同じ測線で、藤原鉦山の採石発破を観測して、前年度の逆測を実施した。本報告では観測の概要と序報的な結果について述べる。

1989年の人工地震による地震動の観測によって、琵琶湖の西岸から兵庫県にかけては良好な地震波が観測された<sup>1)</sup>、しかし、琵琶湖を横断し、三重県にかけての地域では、爆破からの距離が遠く、人為的なノイズも大きいので、十分な観測波形が得られなかった地域もあった。また、地殻中部および下部からの顕著な反射波が観測されたが、この反射点は爆破点と観測点の midpoint 付近であるので、東西測線では反射点は琵琶湖の西岸に位置することになる。今回の採石発破の観測は、琵琶湖南部を東西に横断する測線を含む近畿北部全域の構造調査のための資料として重要であり、他の研究分野についても多くの情報を与えるものと考えられる。

## 2. 氷上—藤原測線での採石爆破の観測

1990年7月から9月にかけて、三重県員弁郡藤原町の石灰岩の採石のための爆破地震を観測した。藤原鉦山の位置と観測点を Fig. 1 に示す。爆破は石灰岩を採石するためのもので、大規模なものは1～2トンの火薬を用いて、週に2～4回実施される。爆破時刻は正午をはさむ前後5分の間である。採石場は数 km 四方にわたるため、爆破位置と時刻は特別に決める必要がある。これらは名古屋大学理学部地震火山観測地域センターによって実施された。爆破点近傍に3点の観測点を数 100 m 離して設置し、その信号を無線テレメータによって、名古屋大学に送信し、それらのデータの解析によって、爆破時刻と爆破点を決定した。それらのうち、観測された10発の爆破の位置と時刻を Table 1 に示す。Table 1 にはそれぞれの爆破について観測者も示してある。爆破時刻が昼間であるため、深夜に比べるとどうしても人為的ノイズが高く、これによって観測場所が制限される欠点はあるものの、爆破の規模が大きいので 100 km 以上離れた点でも観測することができた。

ほとんどの観測点は1989年の人工地震の観測点と同じである。観測点の位置とそこで観測した爆破の番号を Table 2 に示す。また、これらの観測点は Fig. 1 に示してあるが、測線に近い定常観測網の4観測点を加えて60点である。測線長は約 120 km であり、これらは地殻下部からの反射波を観測するのにも適している。Fig. 1 に示すように、琵琶湖から東は観測点の密度が低いが、これは岩盤などの人為的なノイズの低い場所を選んだためである。

Table 1. Locations and shot times of quarry blasts at the Fujiwara Mine and observers

No.	Date	h	time m s	Latitude (°N)	Longitude (°E)	H (m)	Observers
1990							
1	Jul. 10	11	59 24.426	35 09 12.2	136 28 12.0	770	F. Takeuchi, T. Shibutani, Y. Iio, K. Ito, K. Matsumura, K. Tasaki
2	11	11	59 39.848	35 09 06.8	136 28 10.6	770	Ditto
3	17	11	58 40.454	35 09 13.3	136 28 12.4	770	T. Ohkura, K. Yamauchi, K. Watanabe, Y. Iio, M. Kanao, K. Ito
3'	17	12	02 15.969	25 09 09.0	136 28 10.9	770	Ditto
4	19	11	58 19.715	35 09 14.8	136 28 12.7	770	Ditto
4'	19	11	58 22.024	35 09 14.8	136 28 12.7	770	Ditto
5	23	11	59	35 09 13.3	136 28 12.4	770	K. Ito, I. Saita, K. Watanabe, M. Koizumi, S. Yoshioka, K. Tasaki, T. Ohkura
6	25	11	57 45.005	35 09 06.1	136 28 10.2	770	Ditto
6'	25	11	57 48.542	35 09 05.0	136 28 9.8	770	Ditto
7	30	11	59	35 09 14.8	136 28 12.7	770	M. Koizumi, S. Matsuo, K. Matsumura, K. Nishigami, M. Kanao, S. Yoshioka, T. Ohkura
8	Aug. 01	11	59 17.280	35 09 07.2	136 28 10.6	770	Ditto
9	07	12	00 20.537	35 09 07.2	136 28 10.6	770	T. Shibutani, K. Tasaki, F. Takeuchi, T. Ohkura, K. Ito, M. Kanao, I. Saita
10	Sep. 04	11	59 16.725	35 09 06.1	136 28 10.2	770	H. Ogasawara, T. Tsutsui, E. Suzuki

Table 2. Locations of observation stations. Column 'shots' shows the numbers of quarry blasts in Table 1 observed at the station

No.	Name	Latitude (°N)	Longitude (°E)	H (m)	Shots
1 05	K01 Takabatake-1	35 09 51.1	135 21 10.7	210	6
2 06	K01D Takabatake-2	35 09 49.1	135 22 17.2	230	6
3 07	K02 Nakadai	35 09 35.5	135 23 36.0	195	6
4 08	K02D Shuchi	35 09 15.4	135 25 26.8	200	6
5 09	K03 Kitaueno	35 09 54.9	135 26 20.4	175	5 6 7 8
6 10	K03D Taikoutan-Golf-Jo	35 09 42.2	135 27 38.5	220	5 6
7 11	K04 Higashigumi	35 09 48.8	135 28 51.5	190	5 6
8 12	K04D Shimohonoda-1	35 09 55.2	135 29 29.3	190	4 5
9 13	K05D Shimohonoda-2	35 10 04.8	135 30 03.9	180	4 7 8
10 14	K05 Katano	35 09 51.2	135 30 52.1	170	2 4
11 15	K06 Kamikisumi	35 09 54.4	135 31 48.8	190	3 4 7 8
12 16	K07 Shimotani	35 09 56.4	135 32 38.9	280	3 4
13 17	K07D Nishimakiyama	35 10 01.6	135 33 36.5	390	3 4
14 18	K08 Higashimakiyama	35 09 50.6	135 34 14.7	360	2
15 19	K09 Nishi	35 10 01.5	135 35 30.6	315	2
16 20	K10 Simokumada	35 10 13.8	135 36 30.7	280	2 8
17 21	K10D Gohonmatsu	35 09 58.5	135 37 19.2	310	2
18 22	K11 Shimo	35 09 58.2	135 38 49.6	260	1 2
19 23	K12D Nakae	35 10 01.3	135 40 11.8	270	2 8
20 24	K13 Nogamicho	35 10 36.8	135 41 06.4	810	8
21 25	K14 Sofudani	35 10 36.9	135 42 24.1	410	8
22 26	K141 Ikenootoge	35 10 38.4	135 43 08.9	410	8
23 27	K142 Kohirotanibashi	35 10 22.9	135 44 47.6	485	3
24 28	K15 Seryo	35 09 24.3	135 45 26.0	645	3
25 29	K16 Kyudoware	35 09 18.1	135 46 43.4	700	3
26 30	K17 Hanase. AMEDAS. JMA	35 09 19.9	135 47 30.2	720	6
27 31	K18 Momoitoge	35 08 56.3	135 47 35.0	700	3
28 32	K19 Momoiminami	35 09 01.8	135 48 40.7	430	6
29 33	K20 Kodeshinishi	35 08 48.2	135 49 29.9	340	3
30 34	K21 Kodeshi	35 08 54.9	135 50 06.8	305	3
31 35	K22 Kodeshijinja	35 08 43.9	135 50 57.8	320	1 8
32 36	K23 Tochu	35 09 22.1	135 51 16.8	370	1 8
33 37	K24 Modorogijinja	35 08 21.8	135 52 04.4	340	8
34 90	*	35 10 50.3	135 16 26.5	150	9
35 91	*	35 09 19.7	135 17 32.6	260	9
36 92	*	35 10 08.9	135 18 39.6	205	9
37 93	*	35 09 54.6	135 19 20.7	200	9
38 94	*	35 10 09.6	135 20 28.3	230	9
39 46	K32 Okayama (R5)	35 08 22.7	136 02 43.0	86	10
40 47	K33 Tenmangu (R6)	35 08 42.5	136 04 51.6	88	10
41 48	K35 Gokashomati (R7)	35 08 42.5	136 10 05.7	238	10

Table 2. (continued)

No.	Name	Latitude (°N)	Longitude (°E)	H (m)	Shots
42 49	K37 Tennichi-jinja (R8)	35 09 08.0	136 13 56.7	117	10
43 50D	* Hatakawayama	35 09 11.7	136 17 53.1	270	10
44 51	K39 Ichinose	35 10 58.6	136 18 23.2	210	1 2
45 52	K39D Inugamidamukogan	35 09 30.8	136 21 10.0	320	1 2
46 53	K40 Inugamidamuoku	35 09 52.6	136 21 52.6	360	2 2
47 54	K40D Kimigahatairiguchi	35 07 50.4	136 22 56.8	485	1 2
48 55	K41 Kimigahata	35 08 28.9	136 24 12.8	500	1 2
49 56	K41D Komatabashi	35 08 45.0	136 24 46.4	520	1 2
50 A1	Kyoto-B1	35 12 09.4	135 12 01.2	135	9
51 A2	Kyoto-B2	35 11 46.7	135 11 24.8	155	9
52 W1	Wakayama-1	35 12 33.0	131 15 54.4	135	9
53 W2	Wakayama-2	35 12 38.1	135 14 50.3	105	9
54 W3	Wakayama-3	35 12 34.3	135 14 18.4	130	9
55 W4	Wakayaam-4	35 12 18.6	135 13 32.9	140	9
56 W5	Wakayama-5	35 12 32.3	135 12 18.3	115	9
57 KHK	Keihoku	35 10 38.8	135 39 44.3	260	6
58 BHO	Bomura	35 14 41.0	135 52 22.0	380	4
59 OHM	Ohmi-Hachiman	35 10 25.7	136 05 00.6	120	4 6
60 UGK	Ugakei	35 05 48.0	136 28 22.6	290	4

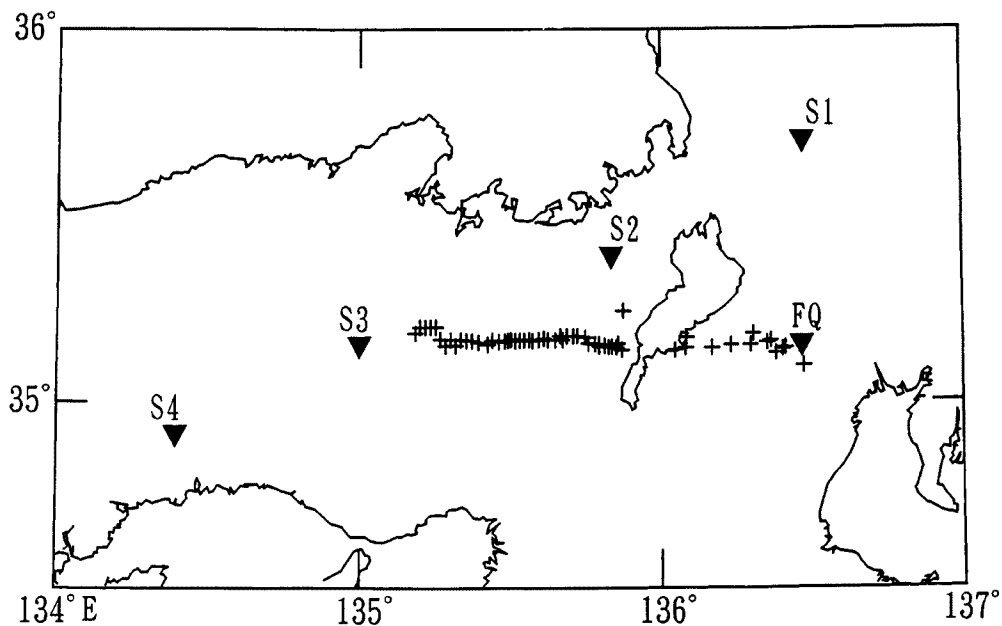


Fig. 1. Locations of the Fujiwara Mine (FQ) and temporary observation stations (plus sign). Triangles show explosions in 1989, S1, S2, S3 and S4.

Fig. 1 に示した臨時観測点にはデジタルレコーダー (EDR-1000) を設置し、タイマー起動によって観測を実施した。全観測点に固有周波数 2 Hz の速度型上下動地震計 (L22D) を用いた。デジタルレコーダーは、サンプルリング周波数 200 Hz で、11時55分から12時05分まで10分間のタイマー起動で3日間作動させた。一度に5～7点の臨時観測を設置し、1～3日間観測した。データを回収したのち、爆破の実施状況および観測された波形を見て次の観測点に移した。場所によっては操作ミスやレコーダーの初期不良および時刻シグナル (JJY) の受信状態の不良などで記録が取れなかった。道路に近いために地震波動が自動車のノイズで確認できなかったものもある。このような点では良好な記録が得られるまで繰り返して観測を実施した。

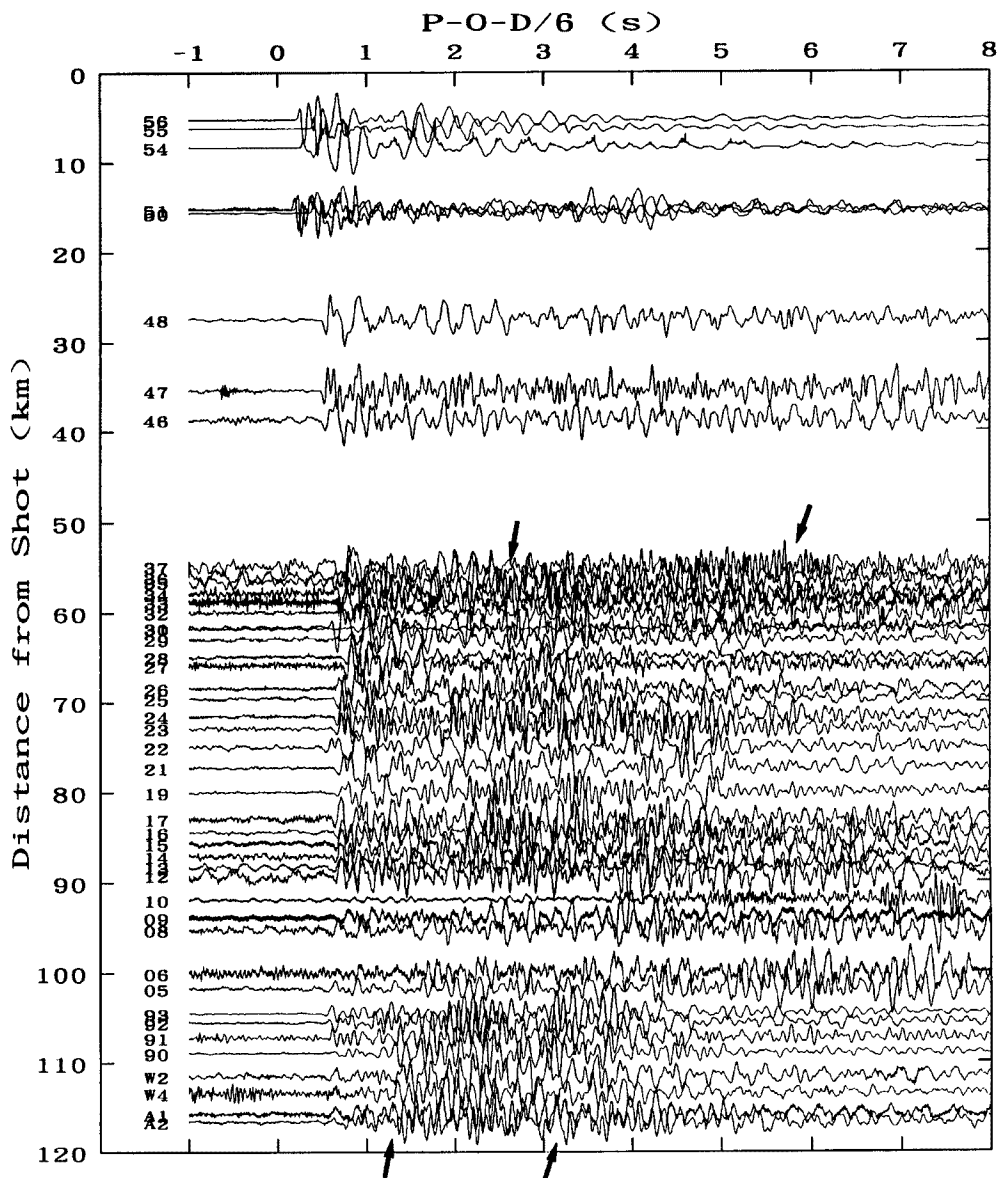


Fig. 2. A composite record section for the quarry blasts at the Fujiwara Mine. The time axis is reduced by a velocity of 6.0 km/s. It is noticed that amplitudes are large between two pairs of arrow heads.

Table 3. Travel-time data of quarry blasts. Dist and Azim indicate a distance from the shot and an azimuth from the shot to the station, respectively. T-O and RT indicate travel times and their reduced ones by a velocity of 6 km/s, respectively. A, B and C indicate accuracy of readings as "very good", "good" and "fairly good", respectively. D indicates that a signal which may not be a first arrival, can be recognized at least at the time. Plus and minus indicate upward and downward motions of the picked phases, respectively

	Station	Dist	Azim	T-O	RT
PS 1	1990-07-10 11:59:24.426				
22	K11 Shimo	74.98	271.1	—	—
35	K22 Kodeshijinja	56.55	269.1	—	—
36	K23 Tochu	56.06	270.3	—	—
51	K39 Ichinose	15.26	282.4	2.72+A	0.18
52	K39D Inugamidamukogan	10.70	273.1	—	—
54	K40D Kimigahatairiguchi	8.37	252.5	1.65+A	0.26
55	K41 Kimigahata	6.20	257.6	1.40+A	0.37
56	K41D Komatabashi	5.27	260.8	1.10+A	0.22
FS 2	1990-07-11 11:59:39.848				
14	K05 Katano	87.02	270.9	—	—
19	K09 Nishi	79.98	271.2	13.97-B	0.64
20	K10 Simokumada	78.47	271.5	—	—
21	K10D Gohonmatsu	77.23	271.2	13.49-B	0.62
22	K11 Shimo	74.95	271.2	12.90+B	0.41
23	K12D Nakae	72.87	271.3	—	—
51	K39 Ichinose	15.26	283.0	2.69+A	0.15
52	K39D Inugamidamukogan	10.67	274.0	—	—
54	K40D Kimigahatairiguchi	8.28	253.5	1.63+A	0.25
55	K41 Kimigahata	6.13	259.0	1.23+A	0.21
56	K41D Komatabashi	5.21	262.6	1.07+A	0.20
FS 3	1990-07-17 11:58:40.454				
15	K06 Kamikisumi	85.63	270.8	14.91 C	0.64
16	K07 Shimotani	84.37	270.9	14.51-B	0.45
17	K07D Nishimakiyama	82.91	271.0	14.37-B	0.55
27	K142 Kohirotanibashi	65.95	271.9	11.70+C	0.71
28	K15 Seryo	64.95	270.3	11.53+A	0.71
29	K16 Kyudowakare	62.99	270.1	11.24+A	0.74
31	K18 Momoitoge	61.69	269.5	10.86+A	0.58
33	K20 Kodeshinishi	58.78	269.2	10.40+C	0.60
34	K21 Kodeshi	57.85	269.4	10.23+B	0.59
FS 4	1990-07-19 11:58:19.715				
12	K04D Shimohonoda-1	89.17	270.8	15.43-C	0.57
14	K05 Katano	87.07	270.7	15.04 C	0.53
15	K06 Kamikisumi	85.64	270.8	14.80+B	0.53
16	K07 Shimotani	84.37	270.9	14.73-B	0.67
17	K07D Nishimakiyama	82.92	271.0	14.44-B	0.62

OHM	Ohmi-Hachiman		35.29	273.5	6.39	C	0.51
BHO	Bomura		55.32	280.5	1.38	C	-7.84
UGK	Ugakei		6.38	177.7	1.00	C	-0.06
FS 6	1990-07-25	11:57:45.005					
05	K01	Takabatake-1	101.73	270.8	17.28	+C	0.33
06	K01D	Takabatake-2	100.04	270.8	17.41	D	0.74
08	K02D	Shuchi	95.24	270.2	16.32	D	0.45
09	K03	Kitaueno	93.89	270.9	16.10	D	0.45
10	K03D	Taikoutan-Golf-Jo	91.91	270.7	16.07	D	0.75
30	K17	Hanase. AMEDAS. JMA	61.75	270.4	10.98	+B	0.69
32	K19	Momoiminami	59.97	269.9	10.62	+B	0.63
OHM	Ohmi-Hachiman		35.25	274.0	6.39	C	0.52
KHK	Keihoku		73.59	272.2	12.89	C	0.63
FS 8	1990-08-01	11:59:17.280					
09	K03	Kitaueno	93.90	270.9	16.19	+B	0.54
13	K05D	Shimohonoda-2	88.25	271.2	15.34	-C	0.63
15	K06	Kamikisumi	85.59	271.0	14.78	+B	0.51
20	K10	Simokumada	78.47	271.5	—	—	—
23	K12D	Nakae	72.87	271.3	12.69	C	0.55
24	K13	Nogamicho	71.52	272.2	12.49	-C	0.57
25	K14	Sofudani	69.55	272.3	12.20	-B	0.61
26	K141	Ikenootoge	68.42	272.4	12.02	+A	0.62
35	K22	Kodeshijinja	56.51	269.3	9.67	D	0.25
36	K23	Tochu	56.03	270.5	9.97	D	0.63
37	K24	Modorogijnja	54.84	268.5	9.55	+C	0.41
FS 9	1990-08-07	12:00:20.537					
90	*		108.95	271.7	18.73	+B	0.57
91	*		107.25	270.2	18.43	+C	0.55
92	*		105.56	271.0	18.13	+A	0.54
93	*		104.52	270.8	17.87	+B	0.45
94	*		102.81	271.1	17.56	D	0.42
A1	*Kyoto-B1		115.74	272.8	19.85	+C	0.56
A2	*Kyoto-B2		116.63	272.4	19.77	+C	0.33
W1	*Wakayama-1		109.88	273.3	—	—	—
W2	*Wakayama-2		111.51	273.3	18.99	C	0.40
W4	*Wakayama-4		113.44	273.0	19.74	D	0.83
W5	*Wakayama-5		115.34	273.1	—	—	—
FS10	1990-09-04	11:59:16.725					
46	K32	Okayama (R5)	38.68	268.0	6.90	+B	0.45
47	K33	Tenmangu (R6)	35.41	268.8	6.38	+A	0.48
48	K35	Gokashomati (R7)	27.46	268.5	5.08	+A	0.50
50D	*K38D	Hatakawayama 1	15.62	270.6	2.98	+A	0.38

### 3. 観測結果

すべてのデータはMS-DOS形式の1分間ごとのファイルとして、フロッピーディスクに記録された。爆破時間に相当するファイルのみをパーソナルコンピュータで処理し、ディスプレイ上に波形を表示し、初動の読み取り、時刻補正などを行った。Fig. 2 にレコードセクションを示す。各観測点で良好な記録を選

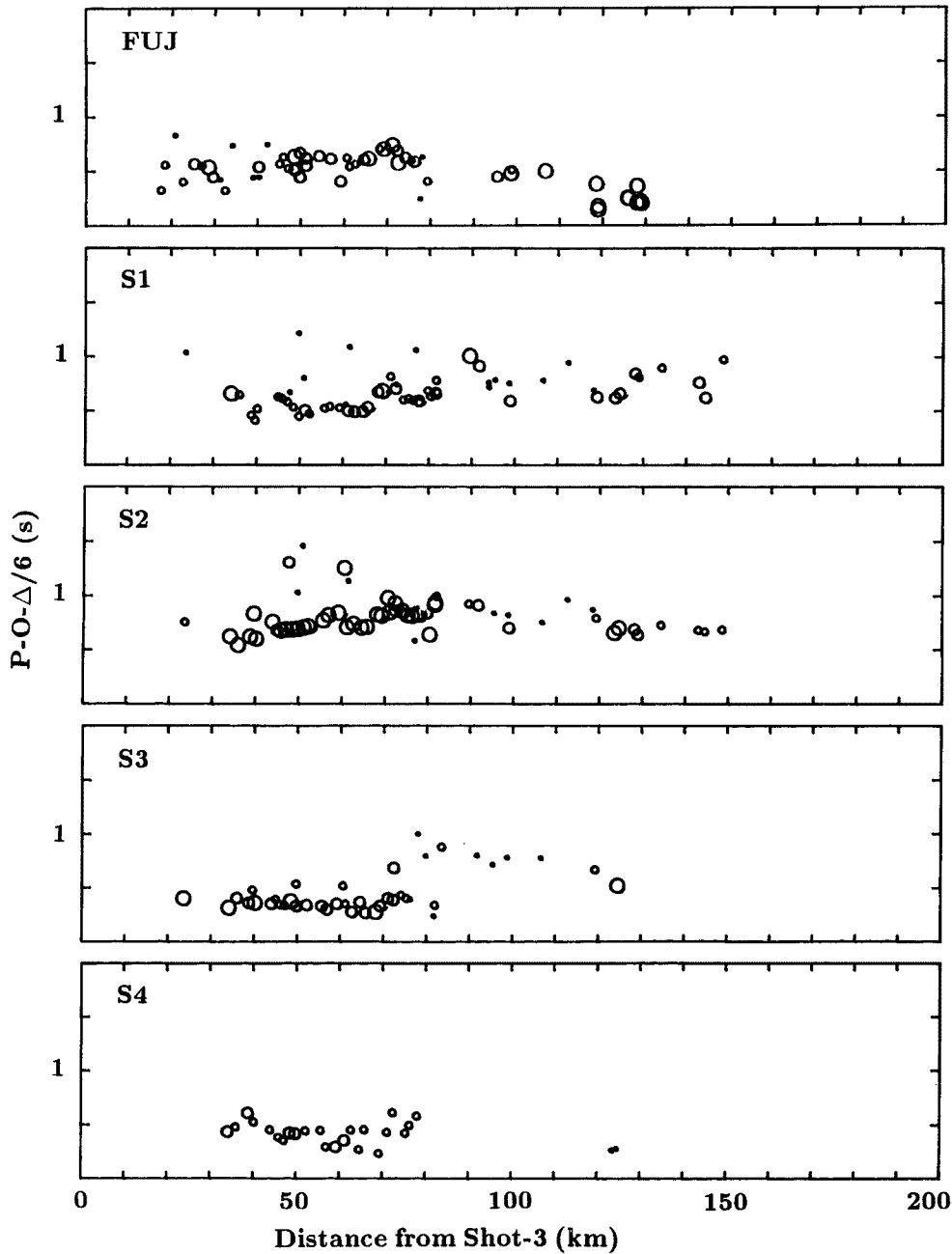


Fig. 3. Travel-times of quarry blasts (top figure) and explosions (lower four figures) plotted against the distance from S3. Time axes are reduced by a velocity of 6.0 km/s. Accuracy of readings is indicated by the size of a circle; A( $\pm 0.01$  s), large circle, B( $\pm 0.03$  s), a middle-sized circle and C and D, small circles.



び、時刻を補正し、6 km/s の速度で時間軸を変更したものである。振幅は最大振幅で規格化している。図に見られるように、初動は約 120 km 離れた場所でも明瞭である。

**Table 3** に爆破ごとの初動の読み取り結果を示す。ノイズレベル、刻時精度および相の明瞭度を考慮して、 $\pm 0.01$ 秒、 $\pm 0.03$ 秒の精度を目安に A, B のランクをつけた。これより悪いものはランク C とし、そのほかに初動が不明瞭だが、その時刻に波動が到達していることが確実なものを D とした。また、+- は波動の方向を示し、+ は上方、- は下方に地面が動いたことを示す。**Fig. 3** に初動の走時図を示す。この図には 1989 年に実施した人工地震観測の結果も併せて示してある。図の横軸は 1989 年の S3 (**Fig. 1**) からの距離であり、縦軸は速度 6 km/s の reduced travel time である。S3 の走時と今回の走時は逆測の関係にある。

走時図およびレコードセクションに見られる特徴は次の通りである。全体的に約 6 km/s の上部地殻が存在し、その上の表層は地域によって異なる。琵琶湖付近で走時、波形が変化する。これは **Fig. 3** の S3 に顕著なように、距離 80~120 km 付近の走時がやや遅れている地域に相当する。

**Fig. 2** には 50 km 以遠の観測点で初動から 1~1.5 秒後に大きな振幅の波が現われる。この波は **Fig. 2** の 2 対の矢印の間で顕著である。同様な波は 1989 年の S1 と S3 にも見られ<sup>1)</sup>、地殻の中部で反射された波だと思われる。これらを反射波だと考えると、**Fig. 2** の始めの矢印の組が下部地殻の最上部に相当し、およそ 25 km 位である。次の矢印はモホ面からの反射波だとすると、その間に振幅の大きな波が卓越し、下部地殻が reflective であるということになる。

#### 4. 考 察

東西の測線で得られた初動を用いて、タイム・ターム法によって、予備的な解析を行った。**Fig. 4** はその結果である。解析には近傍の走時を除き 4 発の人工地震と藤原鉱山の採石発破の全観測点における走時を用いた。**Fig. 4** の下図はおよその構造を知るために、タイムタームを機械的に深さに換算した図であり、標高を基準にして、6 km/s 層までの深さを示してある。この際、表層の速度は 5.0 km/s と仮定してある。タイム・タームの標準誤差は  $\pm 0.1$  秒くらいであり、これは深さにして  $\pm 1$  km 程度に相当するので、この程度の変化は議論できない。**Fig. 4** によって、まず基盤の速度は 6.0 km/s でその速度になるまでの深さは約 2 km であることがわかる。さらに、その深さは、全体として琵琶湖の西岸では西から東に深くなる。一番深く求められている点は琵琶湖の西岸の観測点で、この付近は岩盤ではなく土の上で観測している。この地域は花折、堅田断層を測線が横切っているところであり、東落ちの断層運動を反映した構造になっている。さらにそこから東にかけて系統的にタイムタームが小さくなっていくが、これは基盤の形状の変化に対応していると考えられる。Tsutsui and Kobayashi<sup>2)</sup> および筒井・他<sup>3)</sup> は琵琶湖の東岸のこの測線上で地震探査および微動の観測を行っている。それによると、この地域で表層 (P 波の速度 1.9~2.2 km/s 以下の層) が 500 m 程度は存在している場所がある。速度 2 km/s の層が 500 m 存在すれば、0.2 秒程度の走時の遅れが出る。したがって、琵琶湖付近の表層の深さ変化は **Fig. 4** より小さくなる。それを考慮しても、その付近では、表層の深さは 2 km 程度は深くなっているようである。この地域は琵琶湖岸の断層が通っているところであり、さらに詳しく調査する必要があると思われる。その東側の琵琶湖の東岸の近江平野の基盤は 2~3 km で西岸の丹波山地よりやや深めである。

**Fig. 2** に見られる顕著な波は前述のように下部地殻からの反射波であると思われる。この波は琵琶湖の西岸の観測点で顕著にみられる。これは **Fig. 1** でわかるように、反射点が琵琶湖の西岸から東側であることを示している。S3 の爆破により、同様の波が観測され、これは琵琶湖の西岸から S3 付近にかけて反射点が存在することを示している<sup>1)</sup>。同様に S1 からの反射波は琵琶湖北部に反射点があることを示している。名古屋大学理学部では 1989 年の人工地震を S1 から南に延びる測線で観測したが、この記録にも反射波が見られた。これらを併せて考えると、近畿地方北部では広範囲に地殻中・下部の反射面が存在することが

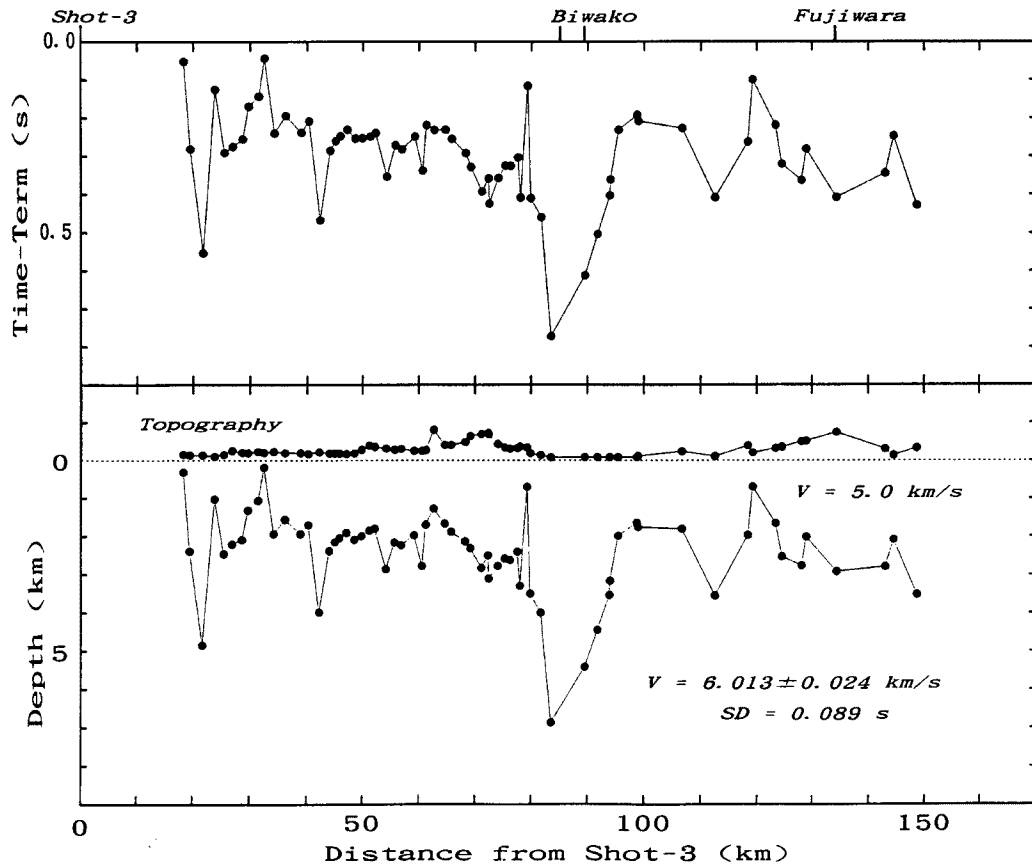


Fig. 4. Time terms along the measuring line derived from the four explosions and the quarry blasts at the Fujiwara Mine (top figure). Altitude and depth of the surface layer calculated from the time-terms assuming the velocity of the surface layer to be 5.0 km/s (lower figure).

わかる。このことは大陸地殻に多くみられるのと同様な reflective な下部地殻<sup>4)</sup>が、鳥弧の内陸部にも存在していることを示している。

今後、これらのデータの解析によって、反射面の最上部の深さの地域的な変化を決定するとともに、他の観測量との対比を進めることが必要である。火山付近など各地の自然地震の波形に見い出されている反射面<sup>5,6,7,8,9)</sup>は溶融体によると考えられているが、それとの相違を明らかにすることも必要である。また、鳥取地方で見い出されている反射波<sup>10)</sup>など自然地震に見られる地殻中部からの反射波を利用して解析することは、面的に解析範囲を広げることに役立つと考えられる。さらに、自然地震を用いたS波の解析は、速度構造だけでなく、P波とS波の反射率の相違などを調査することによって、地殻物性の解明への手がかりになる。

地殻内の地震は上部地殻に限られている。その下限と上記の反射面の対応、さらに熱構造、比抵抗構造との関係の解明は地殻の性質の解明に重要である。それらは地殻の応力に対する反応を理解するための鍵になると考えられ、内陸大地震の発生機構の解明につながる。このためには、下部地殻だけでなく、さらに上部マントルを含めた地殻の性質の調査が必要であろう。

## 5. おわりに

琵琶湖の南部を横切る測線での人工地震探査が実施され、その地域の走時が得られた。特に、琵琶湖南部を東西に横切る測線での逆測を含むデータが得られた。その結果、良好な初動とともに、地殻中・下部からの顕著な反射波が観測された。測線上の琵琶湖の付近では表層が2 km程度深くなり、断層に対応している。さらに、近畿地方北部全域で地殻中・下部に反射面が存在し、下部地殻は *reflective* であることが分かった。これらのデータ解析をさらに進め、構造をより精密に求めるとともに、地震の深さ分布、比抵抗構造など他の観測値との比較が今後の課題として重要である。

構造の解析結果については別に報告する予定である。

## 謝 辞

採石爆破の観測にあたっては、株式会社石崎組の藤原鉱山（三重県員弁郡藤原町）に多大なるご協力を賜りました。石井恒二、梅津邦夫両氏をはじめ関係者の方々に厚く御礼申し上げます。爆破点の観測は名古屋大学理学部の大井田徹氏、山崎文人氏、山田守氏らによって実施されました。データを提供して下さったこれらの方々に感謝致します。また、この実験は下記のとおり、多くの方々の参加で実施されました。関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

この実験には地震予知特別事業費、「西南日本における主要活断層の調査」の費用の一部が使用された。

なお、この実験の参加者および主な任務分担は、次の通りである。所属は観測実施当時のものである。

企 画：伊藤 潔・田崎幸司・松村一男

爆 破 点：大井田徹・山崎文人・山田 守（名古屋大学理学部）

伊藤 潔・田崎幸司・松村一男（京大防災研）

観測参加者：飯尾能久・伊藤 潔・大倉敬宏・加藤 譲・金尾政紀・小泉 誠・斉田市三・渋谷拓郎・田崎幸司・竹内文朗・西上欽也・松尾成光・松村一男・山内賢一郎・吉岡祥一・渡辺邦彦（防災研）、筒井智樹（理学部地球物理）、小笠原宏・鈴木愛美（立命館大）、大井田徹・山崎文人・山田 守（名古屋大学理学部）

記 録 整 理：伊藤 潔・田崎幸司

解 析：伊藤 潔・梅田康弘・小笠原宏・金尾政紀・田崎幸司・松村一男

本報告書執筆：伊藤 潔

## 参 考 文 献

- 1) 西南日本地殻構造研究グループ：近畿地方北部における人工地震探査，京大防災研年報，第34号 B-1, 1991, pp. 263-277.
- 2) Tsutsui, T. and Y. Kobayashi: Discontinuity of basement rock depth in eastern coast of Lake Biwa, discovered by observations of microseisms, *J. Phys. Earth*, Vol. 37, 1989, pp. 133-146.
- 3) 筒井智樹・小林芳正・芝 良昭・須田佳之・村井芳夫・岩田知孝・藤原広之・松井一郎：反射法地震探査による琵琶湖東岸，日野川河口の地下構造の推定，地震Ⅱ，第42巻，1989, pp. 405-418.
- 4) Mooney, W., and T. M. Brochier: Coincident seismic reflection/refraction studies of the continental lithosphere: A global review, *Rev. Geophys.*, Vol. 25, 1987, pp. 723-742.
- 5) 堀修一郎・長谷川昭：微小地震反射波から推定される秋田県吉森山直下の地殻深部溶融体，地震2，第44巻，1991, pp. 39-48.
- 6) 溝上 恵：微小地震反射波の観測と溶融体をともなう地殻深部不連続面の検出，東京大学地震研究所

- 彙報, 第49巻, 1971, pp. 88-92.
- 7) 溝上 恵: 微小地震反射波の観測と溶融体をともなう地殻深部不連続面の検出, 東大震研彙報, 第55巻, 1980, pp. 705-735.
  - 8) Mizoue, M., I. Nakamura and T. Yokoto: Mapping of an unusual crustal discontinuity by microearthquake reflections in the earthquake swarm area near Ashio, northern part of Tochigi Prefecture, central Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Vol. 57, 1982, pp. 653-686.
  - 9) 溝上 恵・石桁征夫: 微小地震反射波による長野県西部, 御嶽山南東麓における地殻深部溶融体の検出, 月刊地球, 第10巻, 1988, pp. 700-705.
  - 10) Tsukuda, T.: Microearthquake waveforms recorded at Tottori Microearthquake Observatory and their relation to hypocentral distributions and the upper-crustal structure, *Bull. Disat. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, Vol. 26, 1976, pp. 17-55.