

跡津川断層系における人工地震による地殻構造調査（続）

上野友岳・伊藤 潔・和田博夫・吉井弘治・松村一男

要 旨

跡津川断層系の構造を調査するために、人工地震による地震波の速度構造および反射面の調査を実施した。2000 年には断層の北東部における爆破地震動を断層に沿う測線で観測した。2001 年には東海・中部地方の構造調査の爆破地震動を逆測になるように観測し、2000 年の結果と併せて解析した。また、比較のために、東海・中部地方の構造探査の一部で跡津川断層系と直交する部分のデータにも同様な解析を行った。これらの結果、P 波速度がいわゆる 6 km/s 層までの深さは 3 km 以浅と見積もることができた。また、これらの表層を考慮すると、深さ 12–14 km に顕著な反射面が存在することがわかった。この深さはこの地域の地震発生層下限の深さにおおよそ一致する。

キーワード：跡津川断層，茂住祐延断層，人工地震探査，地殻構造，反射面，地震発生層

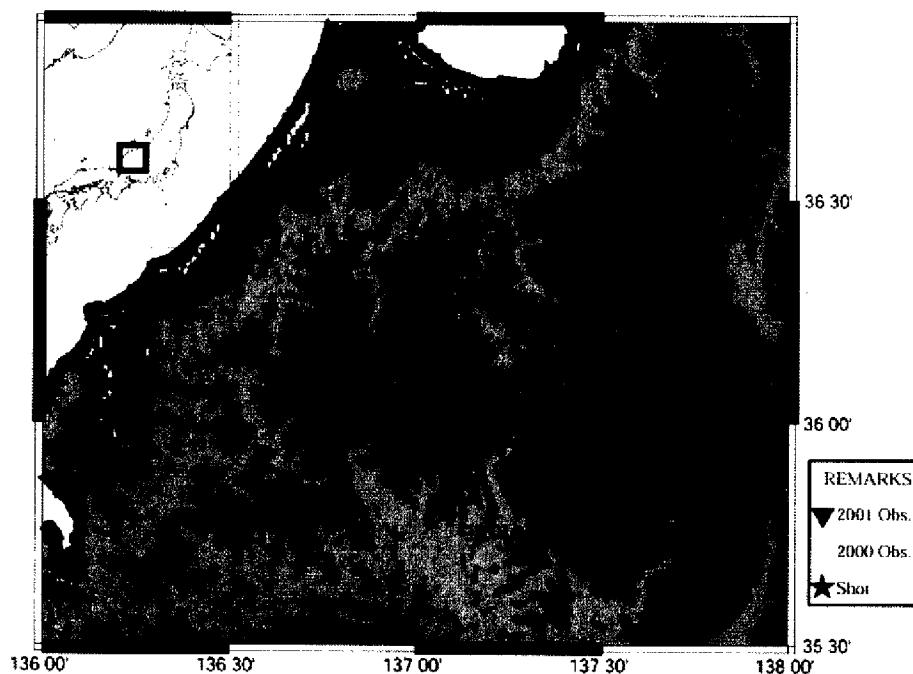


Fig.1 Locations of shots (star) and stations in topographic map. Triangles show stations operated in 2001 and open circles those in 2000.

1. はじめに

跡津川断層系の地震活動について稠密観測による調査が実施されている（伊藤・他，1998）。これらの震源精度の向上，および地震発生と不均質構造の調査のためには，人工地震による構造調査が有効である。2000年には，断層の北東部，茂住祐延断層上における爆破地震動を跡津川断層に沿う測線上で観測した（吉井・他，2000）。

2001年8月25日および26日に，固体地球総合フロンティア，東京大学地震研究所および全国の大学によって，東海・中部地方を対象とした大規模な人工地震による地下構造探査が実施された。この人工地震源の1つは，跡津川断層のほぼ真上であったので，この爆破地震動を利用して2000年の測線の逆測観測を実施した。

2000年の結果から，P波速度が6 km/s程度になる深さは断層の近傍にもかかわらず3 km程度であることが分かっている。また，地殻中部からの反射波が観測され，これらの反射面と地震分布との対応が指摘されている。2000年の測線では4発の人工地震が観測されたが，片測線であったため速度の決定が十分ではない。したがって表層の厚さもこのために変化し，反射面の深さについても誤差を生じる。これらの結果の改善を目的として，2001年の人工地震観測を実施した。また，2001年の調査では東海・中部地方の調査のための測線が跡津川断層の西部を横断している。比較のためにこの測線のデータの一部

を同様な方法で解析した。これら2つのデータを同様に解析することは，跡津川断層系の地下構造を調べるのに大変有効だと考えられる。

本報告では，これらの調査の概要と解析結果について述べる。

2. 観 測

Fig.1には本報告で用いた2000年および2001年の発破点および観測点を示す。Fig.1の○は2000年の観測点（吉井・他，2000）であり，▼が2001年の観測点である。断層に沿う観測点は47点で全長約37 km，直交する観測点は51点で全長約42 kmである。両測線とも観測点間隔は約1 kmである。

Table1に発破の概要を示す。S-1～S-4が2000年，J-1～J-5およびT-6が2001年に実施されたものである。2000年の発破は跡津川断層系の北東部に集中している。今回の解析に用いた発破はS-3，J-2およびJ-3である。S-3の薬量は100 kgであり，茂住祐延・跡津川断層の東端に位置している。J-2の薬量は500 kgであり，断層の西側に位置している。この2つの発破のデータを断層に沿う正逆測線とする。一方，J-3は薬量500 kgであり，J-2の南約65 kmに位置している。J-2およびJ-3を断層に直交する測線として解析した。観測には全観測点とも固有周波数2 Hzの上下動(L22D)地震計を用いた。収録の方法はデータログ(LS8000SH)によるタイマー方式

Table 1. Shot times, locations and charge size of ten explosions.

Shot	Date	Time (h:m:s)	Latitude (° ' " N)	Longitude (° ' " E)	Height (m)	Charge (kg)
S-1	Oct. 24, 2000	22:02:01.163	36 26 57.81	137 19 20.28	1045	12.5
S-2	Oct. 24, 2000	22:22:02.380	36 26 54.17	137 19 27.00	1024	12.5
S-3	Oct. 24, 2000	22:12:01.072	36 27 27.81	137 20 17.70	929	100.0
S-4	Oct. 24, 2000	22:32:00.985	36 27 19.11	137 20 13.23	940	25.0
J-1	Aug. 26, 2001	1:06:10.000	36 50 37.05	136 47 54.32	22.9	500.0
J-2	Aug. 25, 2001	1:11:10.003	36 18 35.00	136 06 26.04	615.2	500.0
J-3	Aug. 25, 2001	2:11:10.602	35 43 00.57	137 16 44.28	670.8	500.0
J-4	Aug. 25, 2001	0:16:10.002	35 12 23.34	137 33 31.33	875.1	500.0
J-5	Aug. 25, 2001	2:11:11.000	34 54 11.63	137 50 17.25	233.3	500.0
T-6	Aug. 25, 2001	0:31:10.001	35 02 50.21	137 43 38.91	266.7	500.0

Tabel2 Location of observation stations.

Station		Longitude (° ' " E)			Latitude (° ' " N)			Height (m)
1	ST01	137	19	07.4	36	26	59.8	1045
2	ST02	137	18	43.9	36	26	44.6	860
3	ST03	137	18	06.0	36	26	27.6	605
4	ST04	137	17	29.5	36	26	14.4	550
5	ST05	137	16	55.3	36	26	01.0	495
6	ST06	137	14	57.6	36	27	34.4	250
7	ST07	137	14	35.0	36	27	07.3	250
8	ST08	137	14	13.9	36	26	41.0	235
9	ST09	137	13	30.0	36	26	27.9	250
10	ST10	137	13	13.1	36	26	09.7	240
11	ST11	137	12	48.6	36	25	43.3	270
12	ST12	137	12	02.3	36	25	23.6	320
13	ST13	137	11	49.5	36	24	53.7	320
14	ST14	137	11	36.3	36	24	30.3	320
15	ST15	137	11	19.0	36	24	08.5	320
16	ST16	137	11	00.5	36	23	41.1	310
17	ST17	137	11	02.4	36	23	14.2	340
18	ST18	137	11	02.2	36	22	36.1	330
19	ST19	137	11	07.5	36	22	04.5	320
20	ST20	137	11	29.0	36	21	41.3	380
21	ST21	137	11	34.9	36	21	11.3	380
22	ST22	137	14	27.2	36	21	40.2	1020
23	ST23	137	13	58.9	36	21	25.2	960
24	ST24	137	13	14.2	36	21	12.0	800
25	ST25	137	12	35.3	36	21	01.4	630
26	ST26	137	11	59.4	36	20	53.7	510
27	ST27	137	11	10.4	36	20	29.9	410
28	ST28	137	10	40.8	36	20	15.1	400
29	ST29	137	10	04.9	36	20	04.0	420
30	ST30	137	09	12.7	36	19	52.0	410
31	ST31	137	08	32.7	36	19	46.8	510
32	ST32	137	08	16.2	36	19	21.0	425
33	ST33	137	07	32.1	36	19	03.0	620
34	ST34	137	07	17.2	36	18	55.4	580
35	ST35	137	06	53.2	36	18	27.1	590
36	ST36	137	06	17.6	36	18	18.1	510
37	ST37	137	05	23.9	36	18	13.2	470
38	ST38	137	04	55.1	36	17	58.0	490
39	ST39	137	04	22.1	36	17	33.4	500
40	ST40	137	03	43.5	36	17	24.3	500
41	ST41	137	03	07.8	36	17	06.5	510
42	ST42	137	02	43.4	36	16	41.2	540
43	ST43	137	02	10.3	36	16	16.1	540
44	ST44	137	01	37.3	36	16	11.7	560
45	ST45	137	00	57.0	36	16	01.1	700
46	ST46	137	00	07.1	36	15	50.8	890
47	ST50	137	09	35.4	36	20	00.6	440
1	ATT01	137	19	13.0	36	26	59.1	1065
2	ATT02	137	18	06.0	36	26	27.3	695
3	ATT03	137	16	55.5	36	26	00.6	435
4	ATT04	137	15	09.3	36	25	56.1	580
5	ATT05	137	14	06.0	36	26	31.7	220
6	ATT06	137	12	59.7	36	26	09.6	210
7	ATT07	137	11	48.5	36	24	54.0	330
8	ATT08	137	11	00.1	36	23	41.4	310
9	ATT09	137	11	12.6	36	22	04.3	340
10	ATT10	137	10	57.4	36	20	18.5	395
11	ATT11	137	09	13.4	36	19	52.4	420

to be continued

continued

	Station	Latitude (° ' " N)			Longitude (° ' " E)			Height (m)
1	KYT01	36	17	42.0	137	07	38.3	465
2	KYT02	36	17	10.6	137	07	54.0	495
3	KYT03	36	16	44.8	137	07	59.9	475
4	KYT04	36	16	19.9	137	08	26.6	485
5	KYT05	36	15	54.6	137	08	18.1	478
6	KYT06	36	15	22.4	137	08	19.6	490
7	KYT07	36	15	11.2	137	08	03.6	500
8	KYT08	36	14	42.0	137	07	50.9	517
9	KYT09	36	14	14.0	137	08	11.9	520
10	KYT10	36	14	8.50	137	08	46.1	575
11	KYT11	36	13	43.2	137	09	01.3	625
12	KYT12	36	13	17.2	137	09	14.6	670
13	KYT13	36	12	53.1	137	09	04.8	700
14	KYT14	36	12	21.0	137	09	01.3	750
15	KYT15	36	12	03.5	137	09	28.7	840
16	KYT16	36	11	43.5	137	09	45.8	740
17	KYT17	36	11	16.3	137	10	02.6	710
18	KYT18	36	10	31.4	137	10	19.1	760
19	KYT19	36	10	03.4	137	10	43.7	825
20	KYT20	36	09	34.5	137	10	11.1	915
21	KYT21	36	09	13.0	137	10	25.2	815
22	KYT22	36	08	41.0	137	10	42.2	705
23	KYT23	36	08	18.3	137	11	02.6	720
24	KYT24	36	07	40.1	137	11	50.0	620
25	KYT25	36	07	14.8	137	11	01.4	630
26	KYT26	36	06	43.6	137	10	58.4	630
27	KYT27	36	06	13.4	137	10	56.1	660
28	KYT28	36	05	45.7	137	11	10.5	720
29	KYT29	36	05	21.5	137	11	38.7	755
30	KYT30	36	04	57.5	137	12	20.5	950
31	KYT31	36	04	37.2	137	12	20.7	1010
32	KYT32	36	03	55.3	137	12	52.8	825
33	KYT33	36	03	46.3	137	13	24.4	895
34	KYT34	36	03	21.3	137	13	49.9	935
35	KYT35	36	02	56.2	137	13	59.3	840
36	KYT36	36	02	30.8	137	13	39.4	850
37	KYT37	36	02	06.9	137	13	25.8	925
38	KYT38	36	01	39.6	137	13	16.8	970
39	KYT39	36	01	17.5	137	13	01.3	1025
40	KYT40	36	00	48.7	137	12	53.1	1050
41	KYT41	36	00	25.6	137	12	34.8	1030
42	KYT42	35	59	57.2	137	12	39.9	920
43	KYT43	35	59	26.0	137	12	39.4	740
44	KYT44	35	59	04.1	137	12	29.0	680
45	KYT45	35	58	43.8	137	12	01.0	640
46	KYT46	35	58	18.7	137	11	57.9	620
47	KYT47	35	57	50.7	137	12	00.3	600
48	KYT48	35	57	20.7	137	11	58.3	550
49	KYT49	35	57	01.2	137	11	46.1	560
50	KYT50	35	56	32.0	137	11	40.9	550
51	KYT51	35	55	58.4	137	11	37.9	540

である。2000 年の観測におけるサンプリング周波数は 200 Hz, 2001 年は 100 Hz である。発破点および観測点の位置は国土地理院発行の 25000 分の 1 地形図から求めた。Table2 には今回の解析に用いた観測点の緯度、経度および標高を示してある。ST および ATT が跡津川断層沿いの観測点, KYT が断層に直交する観測点である。

3. 観測結果

Fig.2-1~2-2 に、得られた波形を示す。横軸は発

破点からの距離(km), 縦軸は速度 5.9 km/s で reduce した走時である。一部の観測点を除いて明瞭な波形が取得でき、初動だけでなく反射波と思われる後続波も確認できる。Fig.2-1 は跡津川断層に沿う観測点の波形で、下図は 2000 年の結果であり、上図が 2001 年の記録である。2001 年の観測点の数は少ないが、両方とも 5.9 km/s 程度の初動の走時が観測されている。このことは、表層と表層下層である基盤の傾きは大きくなく、基盤の速度は 5.9 km/s 程度であることを示している。Fig.2-2 は断層に直交する測線の波形であり、J-2 の初動 (Fig.2-2 上図) は 5.9 km/s より遅く、変化が大きいことを示している。し

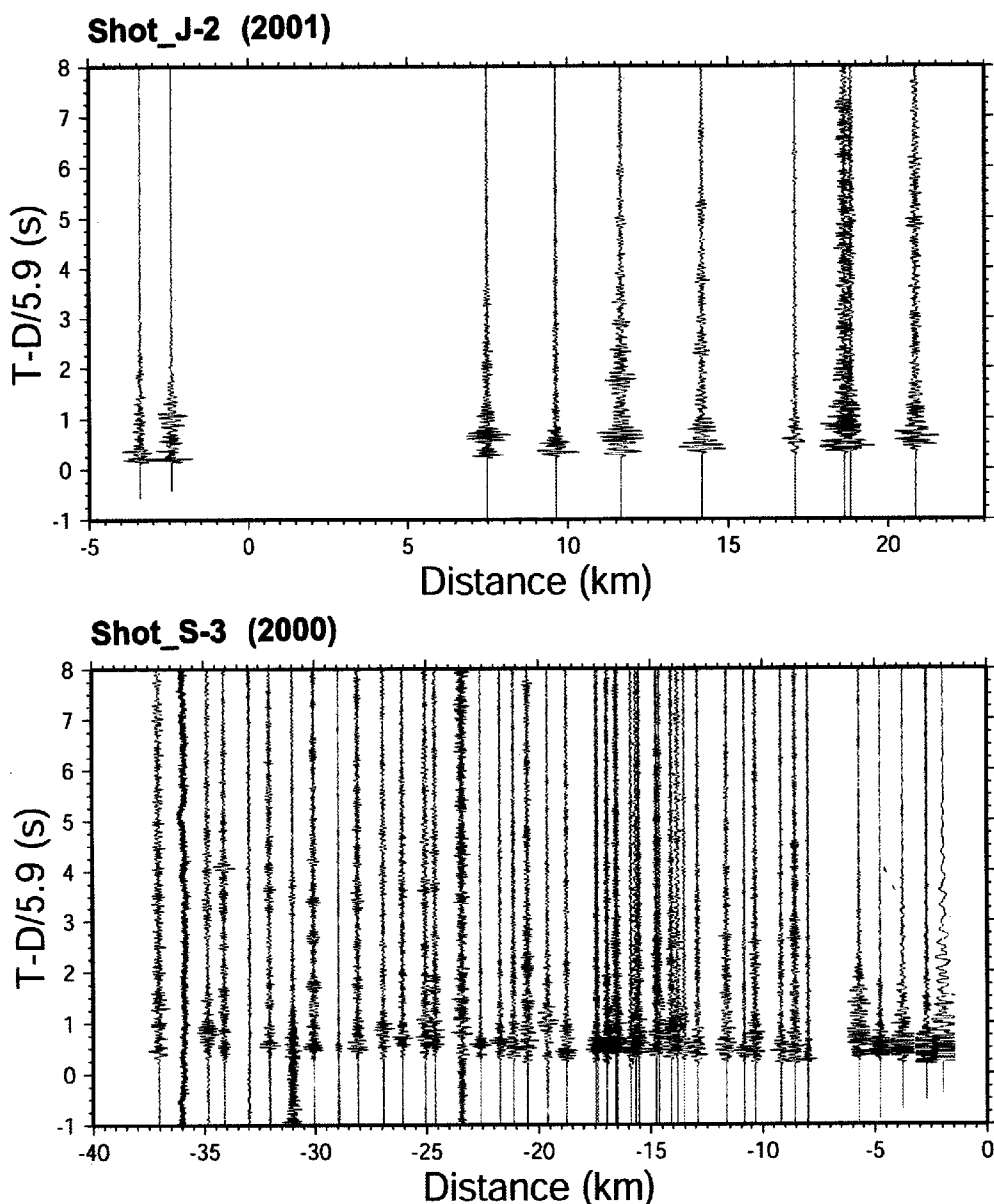


Fig. 2-1. Record sections of the shot J-2 in 2001 (upper figure) and shot S-3 in 2000 (lower figure) along the Atotsugawa fault system. Lower figure is reproduced after Yoshii et al. (2000).

かし、J-3 の走時 (Fig.2-2 下図) は 5.9 km/s よりやや遅いものの、J-2 ほどではないことを示している。J-3 は J-2 に比べて発破点からの距離が遠いので深いほど速度が速くなることを示していると考えられる。

Table3 に初動の読みとりの結果を示す。観測点名が ST で示されているものは、吉井・他、(2000)によって報告されたものである。観測点名が ST および ATT は断層に沿う測線の観測点で、KYT は断層に直交する測線のデータを示している。

4. 初動の解析

得られた初動走時から表層と表層下の基盤層の見かけ速度を見積もり、タイムターム法を用いて表層の厚さを算出した。Fig.3 は各測線下の表層の厚さを示している。両発破点における記録を得られなかったため、基盤の P 波速度を 5.9 km/s と仮定した。この仮定のもとで求められた両測線下の表層の厚さは、断層沿いでは目立たないけれども、断層に直交する測線において発破点から離れるにしたがい深く

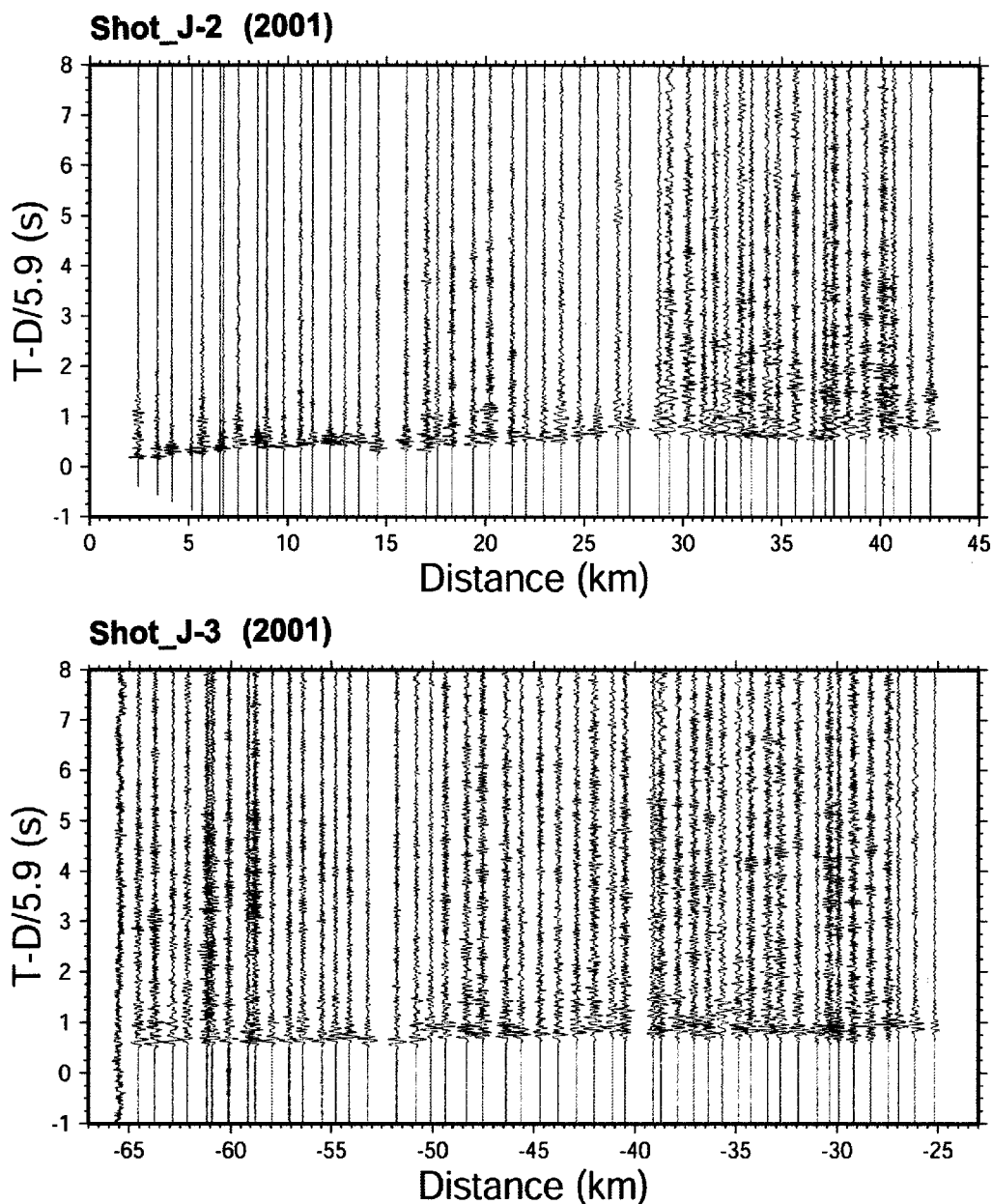


Fig. 2-2. Record sections of the shots J-2 (upper figure) and J3 (lower figure) in 2001 perpendicular to the Atotsugawa fault system.

なる傾向にある。これは、直交する測線での基盤の速度が深さとともに増加することを示していると思われる。しかし、Fig.2-2 の走時から見ても、直交する測線では J-2 からの距離 30 km 付近で表層が厚くなっていることがわかる。また、この深さはもっとも深いところでも 3 km 程度であることもわかる。跡津川断層沿いでは、断層付近にもかかわらず基盤の深さは 3 km 以浅であることがわかる。このことから断層破砕帯に伴う低速度層は、存在したとしても今回の観測点間隔 (1 km) で検出できない程度の幅であると考えられる。

5. 反射波の解析

Fig.2-1 および Fig.2-2 の記録に見られる後続波は地殻中部・下部からの反射波である可能性が高い。しかし、図の波形は各観測点の最大振幅で規格化して示しているので、初動が大振幅だと後続波が見えにくくなる。そのため初動から 1 秒間に対してファーストブレイクミュートを実施した。実際には立ち上がりから 1 秒は $\{\sin(pt - p/2) + 1\}/2$ の半周期分、1 秒後以降が 1 であるような関数をかけて初動の振幅をおさえた。こうすることにより、後続波はより顕著に表現することができる。これ以外の利得補正は行っていない。

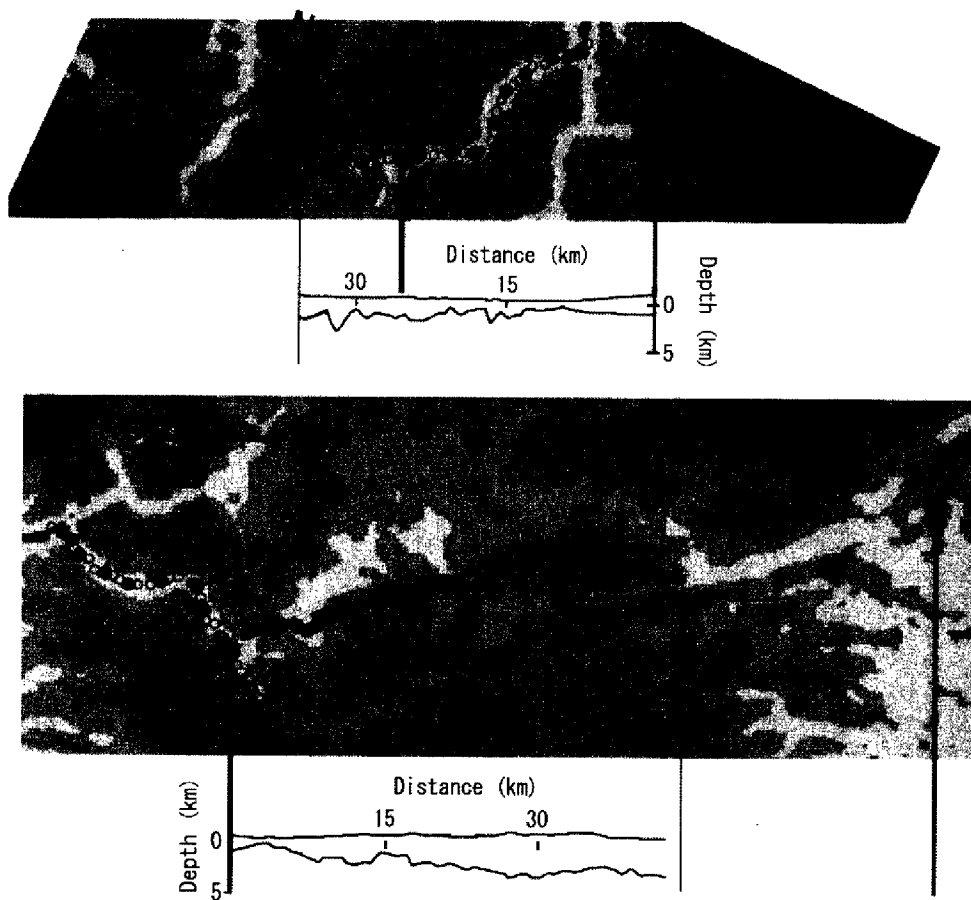


Fig. 3 Locations of shots and stations, and depth of surface layer along (upper figure) and perpendicular to (lower figure) the Atotsugawa fault system. Depths are calculated from the time-terms on the assumption of the velocities of the surface layer and basement to be 4.5 and 5.9 km/s.

これらの後続波を反射波と考えてより詳しく調べるために、観測波形に補正を加えた。まず、前項で述べた表層を用いて静補正を行い、表層が走時に及ぼす影響を取り除き、次に NMO 解析を行いオフセッ

ト距離のある反射波の走時をオフセットゼロの走時に変換し反射面の深さを推定した。NMO の際の Normal 走時は 5.9 km/s としている。

Table 3 List of travel times for shots S-3, J-2 and J-3. RT shows reduced travel time by a reduction velocity of 6.0 km/s.

A, B and C indicate quality of readings as "very good", "good" and "fairly good", respectively.

Station	Distance (km)	Azimuth (°)	T-O (s)	rank	RT (s)	Station	Distance (km)	Azimuth (°)	T-O (s)	rank	RT (s)
Shot S-3						ST32	23.417	230.2	4.308	C	0.405
ST01	1.951	243.8	0.538	A	0.213	ST33	24.617	230.8	4.500	A	0.397
ST02	2.688	240.3	0.621	A	0.173	ST34	25.054	230.9	4.513	A	0.337
ST03	3.767	240.5	0.831	A	0.203	ST35	26.070	230.3	4.734	B	0.389
ST04	4.759	241.6	1.006	A	0.213	ST36	26.932	231.0	4.831	B	0.342
ST05	5.706	242.0	1.196	A	0.245	ST37	28.078	232.5	4.994	B	0.314
ST06	7.971	271.5	1.554	A	0.226	ST38	28.932	232.6	5.215	C	0.393
ST07	8.555	265.8	1.626	A	0.200	ST39	30.047	232.4	5.286	B	0.278
ST08	9.172	261.0	1.713	A	0.184	ST40	30.983	233.1	5.572	D	0.408
ST09	10.318	259.7	1.927	B	0.207	ST41	32.025	233.3	5.919	C	0.582
ST10	10.843	257.2	2.018	A	0.211	ST42	32.980	232.8			
ST11	11.638	253.9	2.176	A	0.236	ST43	34.106	232.6	5.987	B	0.303
ST12	12.917	252.8	2.374	A	0.221	ST44	34.845	233.3	6.204	C	0.397
ST13	13.517	249.4	2.542	A	0.289	ST45	35.847	233.8			
ST14	14.090	247.2	2.656	A	0.308	ST46	37.042	234.6	6.563	B	0.389
ST15	14.756	245.4	2.795	B	0.336	ST50	21.121	229.3	3.816	B	0.296
ST16	15.537	243.3	2.858	B	0.269						
ST17	15.887	240.5	2.956	A	0.308	Shot J-2					
ST18	16.501	237.0	3.173	C	0.423	ATT01	24.632	50.9			
ST19	16.945	234.0	3.080	A	0.256	ATT02	22.721	50.2			
ST20	16.956	231.0	3.060	B	0.234	ATT03	20.851	48.8	3.862	B	0.387
ST21	17.444	228.3	3.134	A	0.227	ATT04	18.84	43.8	3.531	B	0.391
ST22	13.821	219.2	2.579	B	0.276	ATT05	18.636	38.0	3.436	B	0.330
ST23	14.627	220.2	2.695	B	0.257	ATT06	17.105	35.0	3.160	B	0.309
ST24	15.668	222.3	2.903	A	0.292	ATT07	14.18	34.5	2.682	B	0.319
ST25	16.569	224.0	3.070	B	0.309	ATT08	11.656	35.9	2.189	B	0.246
ST26	17.368	225.6	3.164	A	0.269	ATT09	9.627	47.9	1.845	B	0.241
ST27	18.757	226.6	3.393	A	0.267	ATT10	7.483	64.8	1.473	B	0.226
ST28	19.607	227.1	3.582	C	0.314	ATT11	4.808	60.3			
ST29	20.499	228.1	3.646	B	0.230	KYT01	2.768	132.2	0.553	A	0.092
ST30	21.724	229.7	3.928	A	0.307	KYT02	3.467	139.8	0.710	A	0.132
ST31	22.593	231.0	4.134	B	0.369						

to be continued

continued

Station	Shot J-2					Shot J-3				
	Distance (km)	Azimuth (°)	T-O (s)	rank	RT (s)	Distance (km)	Azimuth (°)	T-O (s)	rank	RT (s)
1 KYT01	2.433	132.2	0.553	A	0.141	65.575	348.0			
2 KYT02	3.404	139.8	0.707	A	0.130	64.547	348.1	11.435	B	0.495
3 KYT03	4.126	145.4	0.885	A	0.186	63.738	348.1	11.300	A	0.497
4 KYT04	5.137	144.1	1.055	A	0.184	62.852	348.6	11.148	A	0.495
5 KYT05	5.680	150.5	1.184	A	0.221	62.131	348.2	11.058	B	0.527
6 KYT06	6.578	154.5	1.373	A	0.258	61.152	348.1	10.901	B	0.536
7 KYT07	6.737	158.8	1.409	A	0.267	60.899	347.6	10.867	A	0.545
8 KYT08	7.487	163.6	1.599	A	0.330	60.090	347.2	10.756	B	0.571
9 KYT09	8.467	161.8	1.805	A	0.370	59.133	347.5	10.570	A	0.547
10 KYT10	8.927	156.9	1.827	A	0.314	58.787	348.2	10.485	B	0.521
11 KYT11	9.793	156.7	1.968	B	0.308	57.947	348.5	10.341	A	0.519
12 KTY12	10.660	156.8	2.128	A	0.321	57.095	348.6	10.253	A	0.576
13 KYT13	11.258	159.4	2.294	B	0.386	56.417	348.2	10.106	B	0.544
14 KYT14	12.161	161.4	2.456	A	0.395	55.467	347.9	9.949	C	0.548
15 KYT15	12.899	159.3	2.566	A	0.380	54.799	348.5	9.843	A	0.555
16 KYT16	13.628	158.5	2.688	A	0.378	54.111	348.8	9.741	A	0.570
17 KYT17	14.562	158.2	2.714	A	0.246	53.207	349.1	9.501	B	0.483
18 KYT18	16.000	158.7	2.994	B	0.282	51.771	349.3	9.264	B	0.489
19 KYT19	17.030	157.8	3.153	A	0.267	50.810	349.8	9.087	B	0.475
20 KYT20	17.581	161.4	3.380	A	0.400	50.088	348.7	9.086	A	0.597
21 KYT21	18.322	161.0	3.497	A	0.392	49.369	348.9	8.943	C	0.575
22 KYT22	19.393	160.7	3.665	A	0.378	48.320	349.2	8.790	B	0.600
23 KYT23	20.223	160.0	3.837	A	0.409	47.539	349.6	8.658	B	0.601
24 KYT24	21.353	161.0	4.008	B	0.389	46.370	349.4	8.465	C	0.606
25 KYT25	22.063	161.8	4.159	A	0.420	45.621	349.1	8.327	C	0.595
26 KYT26	22.956	162.8	4.350	A	0.459	44.691	348.8	8.183	B	0.608
27 KYT27	23.831	163.6	4.477	B	0.438	43.790	348.5	7.994	C	0.572
28 KYT28	24.752	163.3	4.651	A	0.456	42.882	348.7	7.881	C	0.613
29 KYT29	25.673	162.3	4.844	A	0.493	42.016	349.5	7.754	A	0.633
30 KYT30	26.706	160.6	5.048	B	0.522	41.108	350.7	7.594	C	0.627
31 KYT31	27.299	161.1	5.195	A	0.568	40.490	350.6	7.475	C	0.612
32 KYT32	28.783	160.4	5.400	B	0.522	39.089	351.5	7.266	A	0.641
33 KYT33	29.316	159.1	5.529	A	0.560	38.704	352.6	7.187	B	0.627
34 KYT34	30.265	158.5	5.685	A	0.555	37.861	353.4	7.007	C	0.590
35 KYT35	31.071	158.6	5.772	A	0.506	37.065	353.6	6.861	B	0.579
36 KYT36	31.628	160.0	5.874	B	0.513	36.348	352.7	6.773	A	0.612
37 KYT37	32.209	161.0	5.942	B	0.483	35.664	352.0	6.672	B	0.627
38 KYT38	32.935	161.8	6.055	B	0.473	34.864	351.4	6.538	B	0.629
39 KYT39	33.466	162.8	6.165	B	0.493	34.252	350.6	6.428	B	0.623
40 KYT40	34.257	163.6	6.274	C	0.468	33.412	350.0	6.228	C	0.565
41 KYT41	34.817	164.6	6.352	B	0.451	32.795	349.0	6.155	A	0.597
42 KYT42	35.695	164.8	6.481	B	0.431	31.912	348.9	5.985	C	0.576
43 KYT43	36.621	165.2	6.629	B	0.422	30.971	348.6	5.813	A	0.564
44 KYT44	37.210	165.9	6.752	B	0.445	30.364	347.8	5.706	A	0.560
45 KYT45	37.655	167.2	6.842	B	0.460	29.912	346.3	5.610	B	0.540
46 KYT46	38.393	167.5	7.007	C	0.500	29.180	345.7	5.506	A	0.560
47 KYT47	39.249	167.7	7.103	B	0.451	28.330	345.4	5.378	B	0.576
48 KYT48	40.142	168.1	7.338	C	0.534	27.449	344.8	5.240	C	0.588
49 KYT49	40.669	168.7	7.409	C	0.516	26.953	343.9	5.172	C	0.604
50 KYT50	41.527	169.1	7.558	B	0.520	26.127	343.1	5.049	C	0.621
51 KYT51	42.531	169.4	7.758	B	0.549	25.162	342.2	4.893	B	0.628

Fig.4-1 および Fig.4-2 には静補正を行わないで NMO 解析をした図（上図）と、静補正を加えて NMO 解析をした図（下図）である。静補正を加えてない NMO 解析と加えた NMO 解析では、遠い観測点ほど違いがよく見て取れる。これはより遠い距離の観測点に到達する反射波は、より広角度になるため地表付近の極端に遅い P 波速度層の影響を受けやすくなる

ためだと考えられる。この補正を加えることにより、より遠い観測点で観測された反射波の深さが浅くなっていることがわかる。

これらの処理を断層に沿う測線 (ST) (Fig.4-1), および直交する測線 (KYT) (Fig.4-2) に対して同様に行った。さらに S 波と思われる周期の長い波や、高周波のノイズを除くために ST 測線には 20 Hz のロ

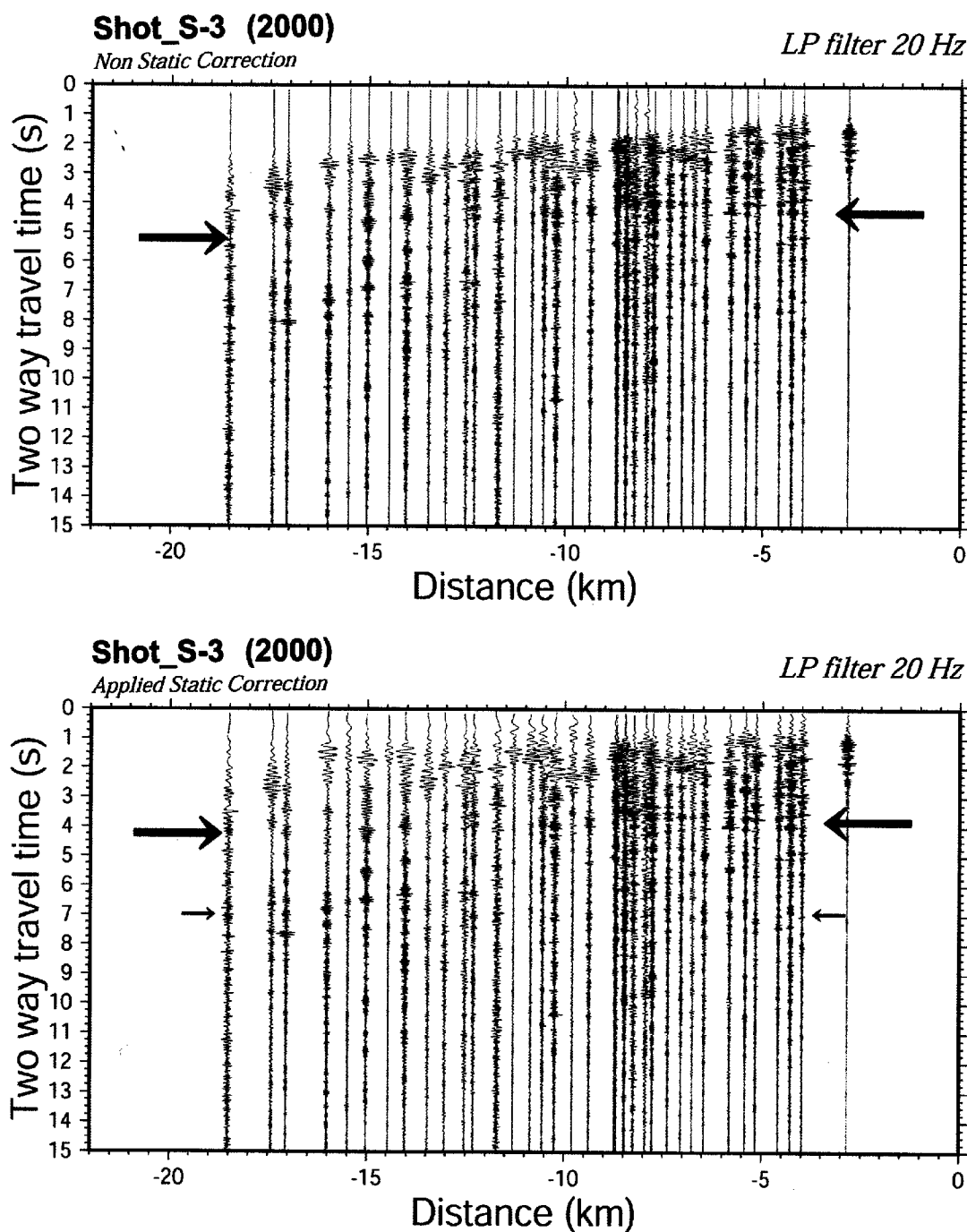


Fig. 4-1. NMO (normal-move-out) corrected record sections for S-3 without (upper figure) and with (lower figure) static correction. Low-pass filter (20 Hz) is applied.

ーパスフィルターを、KYT 測線には 15 Hz~20 Hz のバンドパスフィルターをかけた。これらの結果、ST 測線では往復走時 4 秒（深さ約 12 km）および 7~8 秒（深さ約 21-24 km）に、KYT 測線では、5 秒（深さ約 15 km）および 7~8 秒（深さ約 21-24 km）に系統的な反射波が見られた。

これらをより見やすくするためにスタッキングの処理も施した (Fig.5)。実際には上記の NMO 各波形について 0.05 s 間隔のデータの総和をとり、全ト

レースについてスタックした。この結果から上記の深さ 12-15 km および 20-21 km 付近の顕著な反射面が全域に存在していることがわかる。

さらに、得られた反射面を両測線付近の震源の深さ分布 (Fig.6) に重ねると、浅い方の反射面が地震発生の下限とおおむね一致している。このことは、地震が発生する過程と下限の深さを議論するのに、反射面が有力な情報になりうることを意味している。

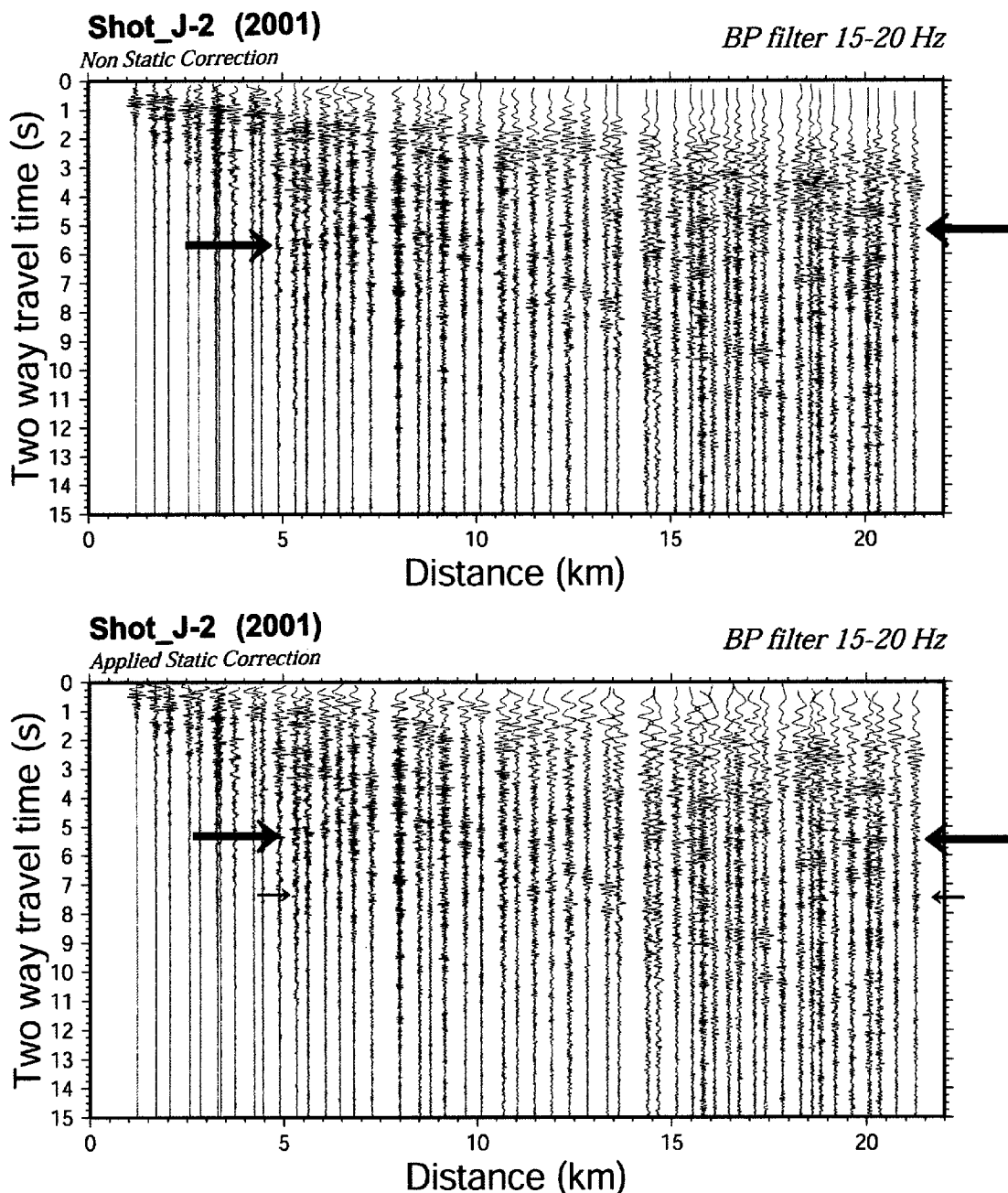


Fig. 4-2. NMO (normal-move-out) corrected record sections for J-2 without (upper figure) and with (lower figure) static correction. Band-pass filter (15-20 Hz) is applied.

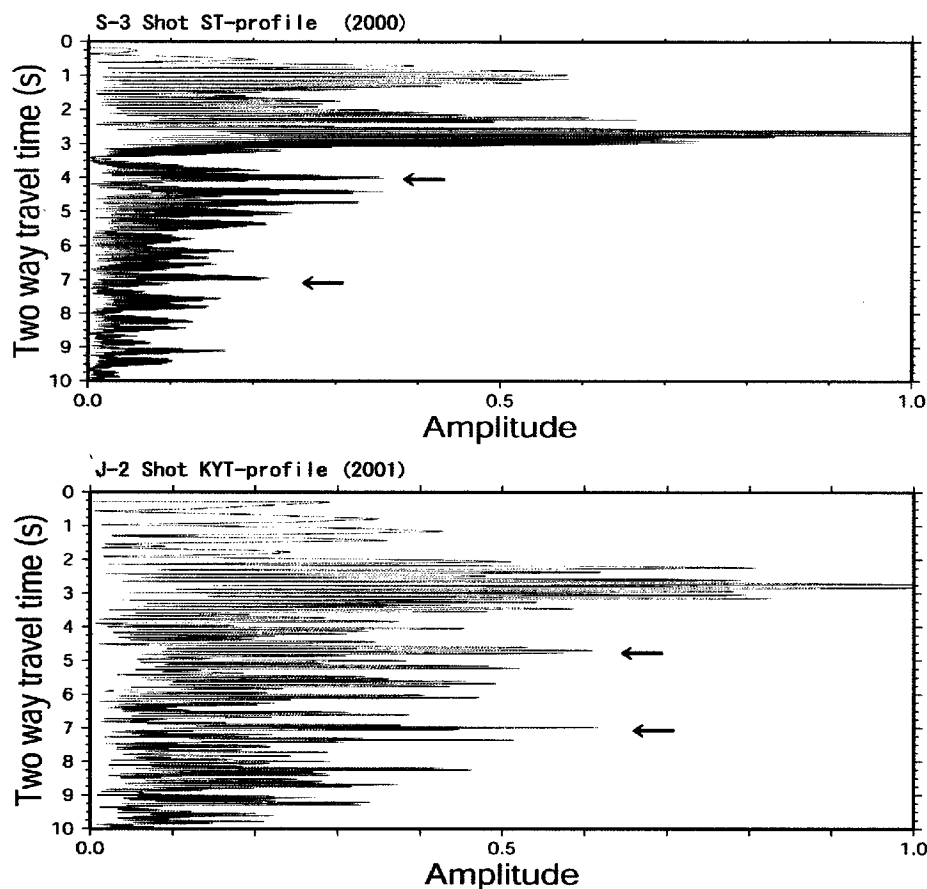


Fig. 5 Stacked record for NMO corrected records with static correction of S-3 (upper figure) and J-2 (lower figure). Arrows show the depths of reflectors.

6. 考 察

今回の観測は、2000年に実施されに人工地震による調査によって得られた解析結果（吉井・他、2000）に補充することを目的として実施された。今回はこれに加えて、この地域で爆破地震動研究グループによって過去に行われた結果も参考にして解析した。実際には、金沢一吾妻測線の人工地震による構造調査の解析結果（酒井・他、1996）で求められた表層下層のP波速度も参考にして基盤の速度を決めた。また、静補正に用いる表層の厚さは、酒井・他（1996）とほぼ同じである。さらに伊藤・他（1993）では、跡津川断層を横切る測線での初動走時に極端な乱れはないとしているが、今回の解析にも同様な結果を得ることができた。これらの結果と、本研究の初動解析の結果をあわせると、跡津川断層には少なくとも観測点間隔1kmで検出できるような幅を持つP波速度が異常な断層破砕帯はないと考えられる。また、表層の厚さは3kmより浅い。

反射面の解析に用いた速度構造は、5.9 km/sの単一速度構造であるため、実際には浅い反射面で ± 0.3 s（深さにして ± 1 km）、深い反射面で ± 1.0 s（深

さにして ± 3 km）の誤差が見積もられる（吉井・他、2000）。この反射面も誤差範囲内の深さの差はあるが、跡津川断層に沿う測線と直交する測線の両方に見られる。ただし、反射面の強弱には違いが見られ、反射面の地域差の解析が可能であることを示している。また、反射面の深さは基盤の速度構造にも依存するので、正確に深さを決めるには、速度構造の精密決定が必要である。特に、地域的な変化の議論のためには屈折法による地殻の速度構造の地域的相違を決定する必要がある。

Fig.6に見られるように、これらの反射面は地震発生の下限付近にあるようである。しかし、上記のように種々の要素を考慮すると、反射面の深さには数kmの誤差がある。一方、震源の深さ自体にも、速度構造の誤差などを考慮すると数kmの誤差がある。今後はレイトレーシング解析を行い、より正確なP波速度構造を求め、反射面の深さを正確にとらえ、正確な震源分布と比較していきたい。そして、内陸型の地震が発生する過程を知るためにも、地震発生層と反射面の関連性をより明らかにすることが必要である。また、反射波の振幅から反射面の性質を考察することも可能であろう。さらに、定常観測点の

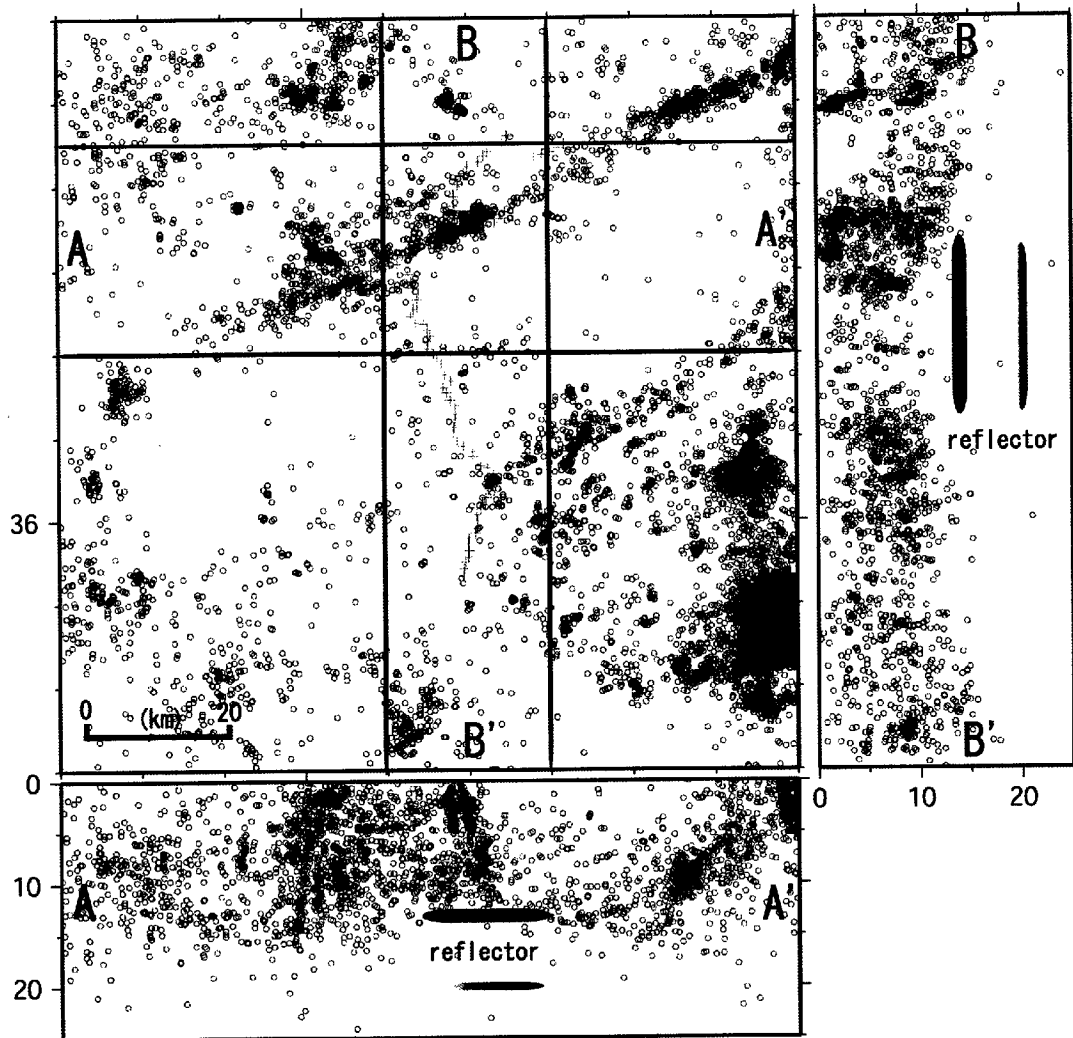


Fig. 6 Distributions of epicenters and focal depths around the studied area. Depths of the reflectors derived from the analyses of seismic records are plotted in the focal depth sections.

データ利用、自然地震の利用、S波の反射面の解析を行うことで、これらの反射面の3次元的な解析が可能であると考えられる。

7. おわりに

2回にわたり跡津川断層付近で実施された人工地震による地下構造調査および断層に直交する測線のデータを解析し、過去の調査結果を加えて考察することにより以下のことが分かった。

- ・表層下の基盤の速度は5.9 km/sであり、跡津川断層系に沿う表層の厚さは3 km以下である。

- ・断層に直交する方向では基盤の速度が深さとともに増加する傾向にあり、基盤の速度は跡津川断層付近と異なっている。しかし、表層はやはり3 km以下である。

- ・NMO解析の結果、断層に沿う観測点では深さ12 km付近に、直交する観測点では深さ14 km付近に反射面が存在する。断層の有無に依らず反射面は存在するが、性質に相違があるようである。

- ・両測線とも反射面の深さは地震発生層の下限付近にあることから、反射面と地震発生過程には、関連があると考えられる。

東海・中部人工地震探査グループには、人工地震源の位置と発破時刻のデータおよび観測データをいただいた。また、整理委員会で解析中の同測線のデータの利用を認めていただいた東京大学地震研究所の岩崎貴哉氏をはじめ整理委員会の方に感謝します。なお、本実験は下記の担当で実施された。観測参加者の片尾 浩・中尾節郎・藤田安良・加納靖之・行竹洋平・平田美佐子の各氏に感謝します。

企 画：伊藤 潔・和田博夫・松村一男・吉井弘治
観測点予備調査：和田博夫・伊藤 潔
観測参加者：松村一男・和田博夫・片尾 浩・中尾節郎・藤田安良・加納靖之・吉井弘治・上野友岳・行竹洋平・平田美佐子
記録整理・解析：上野友岳・伊藤 潔
本 報 告 執 筆：上野友岳・伊藤 潔

伊藤 潔・川崎一郎・古本宗充・磯部英雄・和田博夫・西 祐司・永井直昭 (1993)：人工地震による中部日本北部の地殻構造調査 (富山ー上宝測線), 京都大学防災研究所年報, 第 36 号, B-1, pp325-338.
伊藤 潔・和田博夫・和田一成 (1998)：地震活動で断層の動きを追う, 月刊地球, Vol. 20, No. 3, pp. 136-141.
酒井真一・岩崎貴哉・飯高 隆・吉井敏尅・山崎文人・桑山辰夫 (1996)：爆破地震動による中部日本地域の地殻構造, 月刊地球, Vol. 18, No. 2, pp. 104-109.
吉井弘治・伊藤 潔・松村一男・和田博夫・角野由夫・藤澤洋輔 (2000) 跡津川断層系における人工地震による地殻構造調査, 京大防災研究所年報, 第 44 号, B-1, pp237-250.

Seismic survey along the Atotsugawa fault system in Central Japan (Part 2)

Tomotake UENO, Kiyoshi ITO, Hiroo WADA, Koji YOSHII, and Kazuo MATSUMURA

Synopsis

Explosion seismic experiments were conducted along the Atotsugawa fault system to reveal the heterogeneous structure of the fault system. Explosions were detonated at the northeast part of the fault system in 2000 and at southwest part in 2001. Seismic explosion data on the line perpendicular to the fault system crossing at southwest part are also analyzed for comparison. As a result, the followings are revealed: P-wave velocity of the basement layer is about 5.9 km/s and the surface layer is thin as less than 3 km along Atotsugawa fault and also along the line perpendicular to the fault system. The reflective layers are found at about 12 km deep along the fault, and about 14 km in depth below the line perpendicular to the fault system after static correction of the surface layer. The depth of the reflective layer roughly coincides with the cutoff of the seismogenic zone in both areas. This suggests that the reflective layers seem to be related to the occurrence of earthquakes.

Keywords: Atotsugawa fault, Mozumi-Sukenobu fault, seismic survey, crustal structure, reflective layer, seismogenic zone