

神戸・阪神間における屈折法地震探査

神戸・阪神間基盤構造研究グループ*

Seismic Refraction Experiment in the Kobe-Hanshin Area

RESEARCH GROUP ON UNDERGROUND STRUCTURE in the KOBE-HANSHIN AREA

Abstract

The Hyogo-ken Nanbu (Kobe) earthquake of January 17, 1995 caused the heaviest damage since the 1923 Great Kanto earthquake to cities in the Kobe-Hanshin area, which extends between the Rokko mountains and Osaka bay. The damage is noted not only by its severity, but also by its belt-like distribution away from the source faults. This specific distribution is attributed to the effects of the underground structure, therefore, we carried out a seismic refraction experiment there on December 12 and 14, 1995. This paper briefly outlines the experiment, and the results of detailed analyses will appear in a separate paper.

Over 150 recorders were deployed along four profiles for observing seismic waves from four explosions fired at two and three o'clock in the morning by the Research Group for Explosion Seismology. Although the Kobe-Hanshin area was still busy then and the three explosions on the hill side radiated only small signals, we could identify their arrivals in the records due to their high-frequency features. Refracted waves travel from the hill side apparently faster than those from the sea side, so a sediment/basement interface is assumed to form a slope. This slope is very steep around the boundary between urban zones and the Rokko mountains as we observed reflected waves from this boundary.

Key words : *refraction experiment, Kobe-Hanshin area, Hyogo-ken Nanbu earthquake.*

1. はじめに

1995年1月17日の兵庫県南部地震は、淡路島側の野島断層などを含み、神戸市の直下を縦断する活断層（六甲断層系）の活動により引き起こされ、神戸市内や阪神間の諸市および淡路島に、関東大震災以来最大の被害をもたらした。この阪神・淡路大震災は単に全体の被害が大きだけでなく、神戸側の被害の著しい場所が活断層から離れた帯状の地域（「震災の帯」（嶋本，1995）と呼ばれている）に集中するなど、その被害分布に従来の震災とは異なる特徴的な現象が起こった。こうした現象は、兵庫県南部地震が大都市直下の

*北大理学部，八戸工大，秋田大鉱山学部，東北大理学部，東大地震研，東大生産研，芝浦工大，都立大工学部，東工大総合理工，神奈川大工学部，関東学院大工学部，京大防災研，京大総合人間学部，京大理学部，京大工学部，京大原子炉実験所，関西大学工学部，大阪工大，神戸大工学部，九大理学部，九大工学部，千葉県水質保全研，大阪土質試験所，東京電力，東電工業，内田建築事務所，大林組技研，鹿島建設技研，鴻池組技研，清水建設技研，大成建設技研，東急建設技研，戸田建設技研，飛鳥建設技研，西松建設技研，間組技研，前田建設技研（順不同）

神戸・阪神間基盤構造研究グループ

大きな地震（気象庁マグニチュード7.2）であったという点以外に、明らかに被災地域の地下構造の影響を受けており、その詳細な構造解明なしに阪神大震災の原因究明は不可能である。

そこで我々は神戸市内および阪神間において、1995年12月12日～15日に行われた爆破地震動研究グループ（1996）の人工地震を利用して、基盤（P波速度5～6km/s）に達する地下構造解明を目的とした屈折法地震探査を実施した。

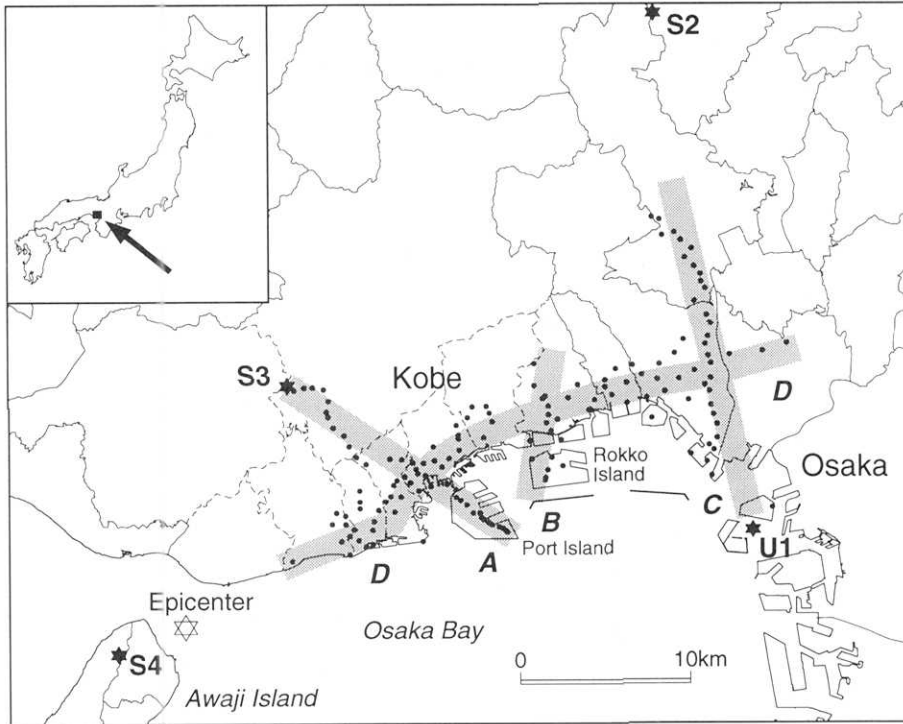


Fig. 1. Deployment of shot points (solid star symbols) and observation profiles (thick gray lines). The actual distribution of recorders is indicated by small dots. The open star symbol is the epicenter of the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe) earthquake.

Table 1. Shot times, locations, and charge sizes of the explosions.

Name	Date	Time	Latitude	Longitude	Height	Charge
S2	Dec. 12, 1995	2:12:00.810	34°55'31.1"	135°20'12.4"	190.4m	400kg
S3	Dec. 12, 1995	2:22:00.439	34°43'45.0"	135°05'55.3"	241.3m	350kg
S4	Dec. 12, 1995	2:41:59.945	34°35'12.5"	134°59'22.5"	302.4m	400kg
U1	Dec. 14, 1995	2:42:10.753	34°39'07.5"	135°23'54.7"	3.2m	350kg

2. 観測方法

夢の島人工地震実験(首都圏基盤構造研究グループ, 1989)の経験から, 市街地では深夜(発破時刻は午前2時から3時)においても1mkine (kine=cm/s)を越えるような雑音が珍しくないとわかっていたため, 人工地震のうち対象地域に近いS2~4とU1に焦点を絞り, Fig. 1に示すような測線を展開した. 各人工地震の諸元はTable 1のとおりである.

C測線は発破点S2とU1を両端とする測線であり, A, B測線も当初予定のU2発破が実施されれば両端発破測線となったが, 諸般の事情で残念ながらS3, S2だけの片測線となった. 一方, D測線は淡路島の発破点S4を見込みながら, 神戸市須磨区より「震災の帯」に沿って神戸・阪神間の市街地を縦断し, 尼崎に達する測線である.

観測機材の主力には, マークプロダクツ製上下動地震計L-22Dと白山工業製データロ

Table 2. Locations of observation sites and observers.

Name	Location	Latitude	Longitude	Height	Observer
A profile					
A01	ポータルライナー車両基地	34.66151	135.22326	0m	山中・瀬尾・ハイレ
A02	ポートアイランド市民広場	34.66339	135.21890	0m	山中・瀬尾・ハイレ
A03	港島小	34.66578	135.21484	0m	山中・瀬尾・ハイレ
A04	生活科学研究所	34.66813	135.21086	0m	山中・瀬尾・ハイレ
A05	ポートアイランド強震観測点	34.66992	135.20812	0m	山中・瀬尾・ハイレ
A06	北公園	34.67286	135.20740	0m	山中・瀬尾・ハイレ
A07	第三突堤南端	34.67686	135.20232	0m	東工大 A
A08	オリエンタルホテル駐車場	34.67599	135.19149	0m	東工大 A
A09	メリケンパーク入口	34.68075	135.18868	0m	東工大 A
A10	本願寺神戸別院	34.68281	135.18319	15m	東工大 A
A11	下山手小跡待機所	34.68501	135.18940	25m	東工大 A
A12	神戸海洋気象台	34.68833	135.17982	40m	東工大 A
A13	祥福寺	34.69010	135.17288	75m	栗田・鈴木(晴)・中丸
A14	妙法寺	34.69041	135.16536	80m	東工大 B
A15	烏原ポンプ場入口	34.68809	135.15009	110m	東工大 B
A16	鶴越墓園 1	34.69138	135.14327	170m	東工大 B
A17	鶴越墓園 2	34.69722	135.13911	250m	東工大 B
A18	鶴越墓園 3	34.70304	135.13608	310m	東工大 B
A19	鶴越墓園 4	34.70697	135.12854	350m	東工大 B
A20	鶴越墓園 5	34.71171	135.12588	310m	東工大 B
A21	田代公園	34.71490	135.12298	310m	栗田・鈴木(晴)・中丸
A22	上畑公園	34.72151	135.12500	320m	栗田・鈴木(晴)・中丸
A23	藍那 1 (浪松地区)	34.72746	135.12242	280m	栗田・鈴木(晴)・中丸
A24	藍那 2 (農道)	34.72838	135.11428	260m	栗田・鈴木(晴)・中丸
A25	藍那 3 (市民農園)	34.72758	135.11026	250m	栗田・鈴木(晴)・中丸
A26	藍那 4	34.72716	135.10382	240m	栗田・鈴木(晴)・中丸
K00	2期工事埋立地 0	34.65111	135.24105	0m	竹中・奥村・村越
K01	2期工事埋立地 1	34.65187	135.24032	0m	竹中・奥村・村越
K02	2期工事埋立地 2	34.65314	135.23814	0m	竹中・奥村・村越

(to be continued)

神戸・阪神間基盤構造研究グループ

Name	Location	Latitude	Longitude	Height	Observer
K03	2期工事埋立地3	34.65391	135.23586	0m	竹中・奥村・村越
K04	2期工事埋立地4	34.65505	135.23111	0m	竹中・奥村・村越
K05	2期工事埋立地5	34.65613	135.22883	0m	竹中・奥村・村越
K06	KCAT前公園	34.65783	135.22583	0m	竹中・奥村・村越
K07	ポートアイランド仮設住宅	34.65883	135.22425	0m	竹中・奥村・村越
B profile					
B01	住吉霊園	34.7410	135.2587	290m	畑山・アギーレ・ピタルカ
B02	神戸大住吉寮	34.7312	135.2569	180m	畑山・アギーレ・ピタルカ
B03	神戸薬科大	34.7297	135.2863	85m	畑山・アギーレ・ピタルカ
B04	野寄いこいの家	34.7231	135.2667	50m	畑山・アギーレ・ピタルカ
B05	住吉小	34.7133	135.2670	20m	片岡・半澤
B06	福池小	34.7177	135.2822	6m	片岡・半澤
B07	神戸商船大	34.7156	135.2930	2m	片岡・畑山
B08	神戸製鋼灘浜グラウンド	34.7018	135.2628	3m	片岡・半澤
B09	商船港運	34.6896	135.2561	4m	片岡・半澤
B10	向洋小	34.6850	135.2681	4m	片岡・半澤
A27	本山浄水場	34.7266	135.2637	90m	松岡・栗田・山中
A28	甲南小	34.7185	135.2674	30m	松岡・栗田・山中
A29	魚崎小	34.7114	135.2733	10m	松岡・栗田・翠川
A30	遊喜幼稚園	34.7095	135.2662	5m	松岡・栗田・翠川
A31	菊正宗酒造工場	34.7054	135.2692	0m	松岡・栗田・翠川
A32	関電東灘発電所	34.7005	135.2757	0m	栗田・松岡・山中
A33	小磯記念美術館	34.6912	135.2697	0m	栗田・松岡・山中
A34	向洋中	34.6867	135.2767	0m	栗田・松岡・翠川
A35	六甲島検車場	34.6794	135.2653	0m	栗田・松岡・山中
C profile					
C01	大阪砕石工場	34.81785	135.33497	80m	沢田・盛川
C02	惣川浄水場付近露岩	34.81658	135.33989	100m	沢田・盛川
C03	皇太神社	34.80971	135.34949	60m	沢田・盛川
C04	JR宝塚駅	34.80817	135.34156	40m	沢田・盛川
C05	川面神社	34.80564	135.35353	35m	赤松・古野・佐藤(賢)
C06	美座小	34.80123	135.36042	30m	赤松・古野・佐藤(賢)
C07	伊和志津神社	34.79648	135.35614	30m	赤松・古野・佐藤(賢)
C08	福井公園	34.79195	135.36200	30m	尾上・楠田・香川(淳)
C09	末成小	34.78765	135.36603	24m	尾上・楠田・香川(淳)
C10	高司第一公園	34.78375	135.36652	22m	尾上・楠田・香川(淳)
C11	高司第四公園	34.78024	135.36911	19m	西村
C12	JRA	34.77370	135.36211	20m	西村
C13	段上西小	34.76614	135.37001	16m	西村
C14	上大市公園	34.76190	135.37196	12m	西村
C15	樋之口小	34.75506	135.36997	10m	岩田
C16	瓦木中	34.75089	135.36822	8m	岩田
C17	大森公園	34.74458	135.37019	6m	岩田
C18	甲子園学院	34.74072	135.37183	5m	岩田
C19	上甲子園小	34.73288	135.37183	3m	斎藤・慈道
C20	瓦林公園	34.72929	135.36801	3m	斎藤・慈道

(to be continued)

神戸・阪神間における屈折法地震探査

Name	Location	Latitude	Longitude	Height	Observer
C21	北郷公園	34.72613	135.37103	3m	斎藤・慈道
C22	八幡神社	34.71869	135.37172	1m	大倉
C23	西光幼稚園	34.71367	135.37347	1m	大倉
C24	鳴尾東小学校	34.70850	135.37567	1m	香川(敬)
C25	高須東小学校	34.70117	135.37567	0m	鶴来
C26	高須南小学校	34.69747	135.37064	2m	赤澤
C27	甲子園自動車教習所付近	34.69489	135.37369	3m	釜江・中川
C28	甲子園高速フェリー駐車場	34.68872	135.36919	3m	釜江・中川
C29	武庫川ファミリーパーク	34.68136	135.37225	6m	大倉
K02	鳴尾浜	34.69270	135.35890	2m	鶴来
K04	西宮浜	34.71190	135.33400	2m	赤澤
H01	北港舞州	34.66380	135.41110	1m	香川(敬)
D profile					
D00	兵庫国際センター	34.63583	135.10181	64m	森田・佐藤(峰)
D01	須磨ノ浦女子高	34.64189	135.11728	9m	神野・鈴木(清)
D02	長楽小	34.64644	135.14417	4m	南雲・笹谷
D03	千歳小	34.65278	135.14144	10m	南雲・笹谷
D04	大黒小	34.65511	135.13644	16m	南雲・笹谷
D05	板宿小	34.65969	135.13611	20m	南雲・笹谷
D06	須磨女子高	34.66022	135.13089	90m	南雲・笹谷
D07	西部下水処理場	34.64361	135.15722	1m	坂上・関根
D08	真陽小	34.65231	135.15383	2m	坂上・関根
D09	伊吹工務店	34.65872	135.14911	7m	坂上・関根
D10	常盤女子高	34.66369	135.14564	40m	坂上・関根
D11	長田高	34.66728	135.14564	44m	坂上・関根
D12	神戸学院女子短大	34.67350	135.14550	70m	坂上・関根
D13	御蔵小	34.66247	135.15767	7m	纈纈・下山
D14	水木小	34.66756	135.16225	12m	纈纈・下山
D15	会下山小	34.67017	135.16567	12m	纈纈・下山
D16	湊川中	34.67631	135.16728	16m	纈纈・下山
D17	荒田公園	34.67911	135.16911	16m	纈纈・下山
D18	楠中	34.68033	135.17486	20m	纈纈・下山
D19	志里池小	34.65653	135.15486	7m	纈纈・下山
D20	明親小	34.66183	135.16817	2m	高橋・梅村
D21	兵庫中	34.67025	135.17228	4m	高橋・梅村
D22	湊小	34.67344	135.18375	1m	高橋・梅村
D23	湊川神社	34.67783	135.17800	7m	高橋・梅村
D24	春日野墓地(成徳学園)	34.70906	135.20811	92m	高橋・関根・下山
D25	春日野小付近	34.70289	135.20867	28m	高橋・関根・下山
D26	葺合強震観測点(大阪ガス)	34.69481	135.21069	8m	高橋
D27	岩屋公園	34.69472	135.22611	26m	坂尻
D28	和田岬アレイ	34.64606	135.01806	1m	地震研
D31	飛松中	34.6556	135.1278	42m	大西
D32	J R 鷹取工場	34.6503	135.1344	11m	今岡
D33	須磨フェリー乗場	34.6389	135.1369	1m	上野
D34	鷹取強震観測点	34.649	135.139	—	堀家

(to be continued)

神戸・阪神間基盤構造研究グループ

Name	Location	Latitude	Longitude	Height	Observer
D35	神戸税関出張所	34.64347	135.14958	—	堀家
D36	兵庫県庁付近	34.6881	135.1889	61m	斉藤
D37	神戸市役所付近	34.68570	135.19853	4m	若松・野畑
D38	生田神社	34.6914	135.1933	—	境・井上
D39	北野町付近	34.6969	135.1931	—	藤堂・渡壁
D51	大成神戸支店	34.69095	135.20391	3m	ハオ・日比野
D52	神戸港強震観測点	34.6878	135.2090	—	東電 A
D53	第八突堤強震観測点	34.6892	135.2163	—	東電 B
D54	王子公園	34.71227	135.21532	70m	山田・伊藤
D55	護国神社	34.7183	135.2275	—	野澤
D56	篠原公園	34.7156	135.2292	—	野澤
D57	東灘小付近	34.7203	135.2986	—	野澤
D61	本山第二小学校	34.7219	135.2728	20m	神戸大
D62	本山第三小学校	34.7244	135.2894	10m	神戸大
D63	東急建設社宅	34.7233	135.3313	2m	木村(正)・熊谷
D71	ポートアイランド強震観測点2	34.67000	135.20833	3m	沼田・関
D72	灘区民ホール南側公園	34.7100	135.2308	30m	横井
D73	六甲アイランド C-5 パース	34.68067	135.26567	3m	戸松・岡田
D74	月若公園	34.73069	135.30400	—	童
KG1	甲南大東隣公園	34.72517	135.27228	36m	平野
KG2	三条町公園	34.73061	135.29733	26m	荻本
KG3	東山公園	34.73625	135.30856	44m	岩楯・古屋・大岡
KG4	高塚公園	34.73892	135.31967	41m	山城・内田
KG5	西田公園	34.73900	135.33889	5m	上岡・木村(良)
KG6	西宮市民運動場	34.74453	135.34728	8m	あべ木
KG7	神戸女学院大南端	34.73611	135.35556	10m	秋元
E01	打手天神社	34.70432	135.31797	13m	戸田
E02	聖ペテロ幼稚園	34.73478	135.32750	16m	戸田
E03	西宮戎神社	34.73225	135.33756	3m	戸田
E04	こばと幼稚園	34.73256	135.35139	3m	戸田
E05	深津公園	34.73692	135.36147	5m	戸田
E06	尼崎高	34.74711	135.40528	4m	根本
E07	正玄寺	34.75125	135.42089	5m	根本
E08	園田北小	34.75881	135.44611	10m	根本
E09	法華寺	34.76600	135.46719	20m	根本
E10	佐藤様宅	34.81389	135.53500	48m	根本・川方
E11	竹見公園	34.79161	135.50219	71m	根本
E12	津雲公園	34.74886	135.51419	56m	根本・稲葉・尾鼻
E13	万博公園	34.80161	135.54131	39m	根本

東工大 A: 山中・瀬尾・ハイレ・久家・小林・佐藤(浩)

東工大 B: 翠川・年縄・松岡・長谷川

地震研: 工藤・坂上・鈴木(三)・梅村・神野・鈴木(清)

神戸大: 前田・岡本・川辺・佐藤(裕)・竹本

東電 A: 植竹・八代・松本・中島

東電 B: 石井・田中・西村・石川・藤谷

神戸・阪神間における屈折法地震探査

ガー LS 8000 SH の組合せを合計 137 台、諸大学の火山研究機関などからお借りして利用させていただいた。地震計はほぼ固有周期 2 Hz, コイル抵抗 2.2 kΩ, 減衰定数 0.7 になるように調整されており、データロガーには高低ふたつの倍率で 200 Hz のサンプリング周波数により収録した。

盗難等の危険性から、市街地における無人観測点の設置可能箇所はきわめて限られており、ほとんどの箇所です学校などの公共施設を利用させていただいた。Table 2 は各観測点の場所と位置、観測機関、観測者を示している。大部分の観測点で、観測機材は前日の昼間などに設置し、タイマ起動により人工地震を観測した後、当日の昼間などに回収する方式を取ったが、少数の観測点では人工地震の発破時に観測者が立ち会う観測も行った。

3. 観測結果

S2~4 からの地震波は全般的に振幅が小さく、山間部から市街地に入った段階で都市雑音に埋もれてしまう可能性が当初は指摘されていたが、卓越周波数が 10 Hz を越える信号が主成分であったため、これより周波数の低い都市雑音の中でも判別可能であった。たとえば A 測線では A12 が神戸海洋気象台で、その周辺で北側の六甲山から南側 (A12~A01, K07~K00) の市街地に入る。この測線の S3 のレコードセクション (Fig. 2) では市街地でも短周期の初動がかなり明瞭に見え、中でもポートアイランドの南側 (A04 より遠方) では夜間人口が少なく雑音が小さいため、特に明瞭である。ただし、海に近いポートアイランド南側では波浪による脈動が逆に大きい。同様の傾向は C 測線における S2 のレコードセクション (Fig. 3) にも見られるが、A 測線の遠方が深夜ほぼ無人の開発中埋立地であるのに対して、C 測線の遠方は引続き市街地であるため、震央距離 20 km を越えてしまうと信号の判別が困難になる。これらに対して淡路島で行われた S4 では、距離の近い D 測線であっても市街地で信号を判別することは難しい (Fig. 4)。

一方、大阪北港の埋立地で行われた U1 については、S1~4 に比べると比較的長周期で振幅の大きな信号が、観測対象地域の全域で観測された (Fig. 5, 6)。ただし夢の島発破などと同様に、大振幅の目立った位相は堆積層内の直達波であり、それより数秒前の基盤か

Table 3. Travel times of first and later arrivals from the shots.

Station	Travel Times				
	S2	S3	S4	U1	U1(late)
A profile					
A01	6.380	3.180	—	4.315	—
A02	6.375	3.320	—	4.370	—
A03	6.340	3.240	—	4.445	—
A04	6.370	3.150	—	4.720	—
A06	—	—	—	4.715	—
A07	6.255	—	—	—	—
A08	—	2.510	—	—	—
A09	5.975	2.435	—	—	—
A10	—	2.225	—	—	—

(to be continued)

神戸・阪神間基盤構造研究グループ

Station	Travel Times				
	S2	S3	S4	U1	U1(late)
A11	5.875	2.125	—	—	—
A12	5.705	2.010	—	4.760	—
A13	5.490	1.665	—	4.675	—
A14	5.605	1.630	—	4.745	—
A15	5.785	1.470	—	—	—
A16	5.845	1.365	—	5.095	—
A17	5.815	1.235	—	5.180	—
A18	5.745	1.090	—	5.235	—
A19	5.780	0.960	—	5.370	—
A20	5.760	0.825	—	5.435	—
A21	5.745	0.725	—	5.470	—
A22	5.615	0.665	—	5.465	—
A23	5.505	0.565	—	5.490	—
A24	5.645	0.380	—	5.675	—
A25	5.675	0.335	—	5.730	—
A26	5.685	0.230	—	5.905	—
K00	6.485	3.750	—	4.065	—
K01	6.490	3.715	—	4.090	—
K02	6.480	3.705	—	4.080	—
K03	6.450	3.655	—	4.110	—
K04	6.440	3.580	—	4.135	—
K05	6.430	3.570	—	4.190	—
K06	6.420	3.460	—	—	—
K07	6.495	3.455	—	4.290	—
B profile					
B01	4.560	3.010	—	3.780	—
B02	—	—	—	3.750	—
B04	—	3.200	—	3.750	—
B06	—	3.825	—	3.600	—
B09	—	3.560	—	3.880	—
B10	—	3.800	—	3.670	—
A27	—	—	—	4.230	—
A29	—	—	—	3.890	—
A30	—	—	—	3.685	—
A31	—	—	—	3.485	—
A33	—	—	—	3.680	—
A34	—	—	—	3.550	—
A35	—	—	—	3.710	—
C profile					
C01	—	—	—	4.330	—
C02	—	—	—	4.310	—
C03	2.560	—	—	4.240	—
C04	—	—	—	4.265	—
C05	—	—	—	4.140	—
C06	2.960	—	—	4.045	—

(to be continued)

神戸・阪神間における屈折法地震探査

Station	Travel Times				
	S2	S3	S4	U1	U1(late)
C07	3.070	—	—	3.935	—
C08	3.135	—	—	3.820	—
C09	3.280	—	—	3.770	—
C10	3.285	—	—	—	—
C11	3.445	—	—	—	—
C12	3.580	—	—	3.580	—
C13	—	—	—	3.460	—
C14	—	—	—	3.280	—
C15	—	—	—	3.235	—
C16	4.150	—	—	3.220	—
C17	4.390	—	—	3.095	—
C18	—	—	—	3.080	—
C19	—	—	—	3.000	—
C20	—	—	—	2.870	—
C21	4.750	—	—	2.775	—
C22	—	—	—	2.715	—
C23	—	—	—	2.625	—
C24	—	—	—	2.545	—
C25	—	—	—	2.410	—
C26	—	—	—	2.370	—
C27	—	—	—	2.315	—
C29	—	—	—	2.100	—
K02	—	—	—	2.430	—
K04	—	—	—	—	4.550
H01	—	—	—	0.610	—
D profile					
D00	—	2.81	2.60	5.88	14.46
D01	—	2.84	—	5.54	13.73
D02	—	2.69	—	—	—
D03	—	2.56	—	—	—
D04	—	2.51	—	—	12.75
D05	—	2.39	—	—	12.50
D06	—	2.32	—	5.29	13.14
D07	—	—	—	5.05	12.11
D08	—	2.51	—	4.95	12.11
D09	—	2.18	—	4.63	12.25
D10	—	2.03	—	5.25	11.76
D11	—	1.96	3.68	5.15	11.76
D12	—	2.11	—	5.29	12.30
D13	—	—	—	—	11.52
D14	—	—	—	—	11.03
D15	—	2.25	—	—	—
D16	—	2.07	—	7.40	11.30
D17	—	2.03	—	—	11.98
D18	—	2.07	—	—	10.59

(to be continued)

神戸・阪神間基盤構造研究グループ

Station	Travel Times				
	S2	S3	S4	U1	U1(late)
D19	—	2.40	—	—	11.76
D20	—	—	—	—	10.49
D21	—	2.36	—	—	10.88
D22	—	—	—	—	10.00
D23	—	—	7.55	—	10.64
D24	—	2.14	—	4.22	9.51
D25	—	2.21	—	4.26	9.36
D26	—	—	—	—	9.07
D27	—	—	—	—	8.62
D31	—	1.86	—	5.61	12.77
D32	—	—	—	—	12.72
D33	—	—	—	5.42	12.72
D34	—	2.47	—	—	—
D35	—	2.77	—	5.15	12.40
D36	—	—	—	—	11.43
D37	—	—	—	—	10.20
D38	—	2.30	—	—	—
D39	—	2.14	—	4.75	10.34
D51	—	—	—	—	10.00
D52	—	—	—	—	9.07
D53	—	—	—	4.17	9.07
D54	—	2.23	—	4.26	9.02
D55	—	1.59	—	4.17	8.84
D56	—	2.58	—	—	8.73
D57	—	—	—	2.60	6.37
D63	—	—	12.79	2.89	5.10
E01	4.595	—	—	3.180	—
E02	—	—	—	3.155	—
E03	—	—	—	3.105	—
E04	4.495	—	—	2.935	—
E06	4.530	—	—	3.110	—
E07	4.465	—	—	3.235	—
E08	4.480	—	—	3.440	—
E09	4.530	—	—	—	—

らの屈折波は、走時の読み取りが難しい観測点も市街地には見られた。山間部 (Fig. 5 の A 16 以降, Fig. 6 の C 07 以降) に入ると基本的に堆積層はなくなるが、直達波は消えてしまう訳ではなく、そのまま基盤に入り込んで振幅を落しながら基盤速度で伝播する。逆に、屈折波はその影響で急激に相対振幅を増している。

このほか、A 測線では K 00~07, A 01~A 12 において、直達波の後に大きな振幅の後続位相が見える。この位相は、山間部と市街地の境界の A 12 付近から明らかに逆向き (発破点へ向かう方向) に伝播しており、しかもその伝播速度は非常に速く屈折波のそれに近い。同様の後続位相は B 測線でも見られる可能性があるが、この場合は振幅も小さく雑音も大

神戸・阪神間における屈折法地震探査

きいので判然としない (Fig. 7). また, A 測線では U1 の逆測線に相当する S3 のレコードセクション (Fig. 2) を子細に観察すると, やはり A12 付近から市街地に向かって, 初動よりやや遅い速度の後続位相が見られる. これら後続位相に対しては, 山間部と市街地の境界面で発生した反射波, あるいは回折波などの可能性が考えられるであろう.

なお, 本報告におけるすべてのレコードセクションでは, それぞれの記録がその最大振幅で規格化されている. また, 各観測点における初動と後続位相 (U1 のみ) の走時は Table 3 に示した. ただし, 読み取り値のない観測点は除かれており, 少数点以下 3 桁および 2 桁はそれぞれ読み取り精度 0.005 秒と 0.01 秒を表わす.

4. 実験参加者

本実験の参加者を以下に示す. 所属は実験当時のものを用いた.

発破点交渉: 工藤一嘉 (東大地震研), 入倉孝次郎・岩田知孝 (京大防災研), 堀家正則 (大阪工大)

測線統括: 山中浩明 (東工大総合理工), 片岡俊一 (清水建設技研), 岩田知孝 (京大防災研), 額縁一起 (東大地震研)

観測指導: 森田裕一・佐藤峰司 (東北大理学部)

記録整理: 岩田知孝 (京大防災研), 大倉敬宏 (京大総合人間学部), 額縁一起・関根秀太郎 (東大地震研)

報告執筆: 額縁一起 (東大地震研)

観測実施: 笹谷 努・南雲秀樹 (北大理学部), 坂尻直己 (八戸工大), 横井俊明 (秋田大鉱山学部), 佐藤峰司・森田裕一 (東北大理学部), 梅村恒・工藤一嘉・額縁一起・坂上実・下山利浩・関根秀太郎・高橋正義 (東大地震研), 神野達夫・鈴木清彦 (芝浦工大), 童華南 (東大生産研), 岩楯敏弘・大岡晃・上岡真也・木村良章・古屋猛裕 (都立大工学部), 久家英夫・栗田勝実・小林孝至・佐藤浩章・鈴木晴彦・瀬尾和夫・年縄巧・メッセレ ハイレ・長谷川浩一・中丸明子・松岡昌志・翠川三郎・山中浩明 (東工大総合理工), 荏本孝久 (神奈川大工学部), 秋元昭司・あべ木紀男・平野雅子・山城勝也 (関東学院大工学部), 赤松純平・ホルヘ アギーレ・稲葉進・岩田知孝・尾上謙介・尾鼻浩一郎・川方裕則・斎藤秀雄・慈道 充・中川 博・根本泰雄・畑山 健・アーベン ピタルカ (京大防災研), 大倉敬宏 (京大総合人間学部), 戸田 茂・西村敬一 (京大理学部), 澤田純男・盛川 仁 (京都大学工学部), 釜江克宏 (京都大学原子炉実験所), 鈴木三四郎 (関西大工学部), 堀家正則 (大阪工大), 前田幸典・岡本博通・川辺秀憲・佐藤裕・竹本一則 (神戸大工学部), 奥村貴史・竹中博士・村越 匠 (九大理学部), 今岡克也・大西貴史・上野一郎 (九大工学部), 香川 淳・楠田 隆・佐藤賢二・古野邦雄 (千葉県水質保全研), 赤澤隆士・香川敬生・鶴来雅人 (大阪土質試験所), 植竹富一・八代和彦・松本尚志・田中英朗・西村功・石川博之・藤谷昌弘 (東京電力), 中島由雄・石井寿 (東電工業), 内田勝康 (内田建築事務所), 若松邦夫・野畑有秀 (大林組技研), 野澤 貴 (鹿島建設技研), 山田祐司 (鴻池組技研), 片岡

神戸・阪神間基盤構造研究グループ

俊一・半澤徹也(清水建設技研), ハオ憲生・日比野浩(大成建設技研), 木村正彦・熊谷裕道(東急建設技研), 藤堂正喜・渡壁守正(戸田建設技研), 沼田淳紀・関宝棋(飛鳥建設技研), 戸松征夫・岡田哲朗(西松建設技研), 境茂樹・井上超(間組技研), 齊藤芳人(前田建設技研)

5. おわりに

1995年12月に実施された神戸・阪神地域における屈折法地震探査について, その概要を報告した。人工地震のひとつが中止された, 山側の人工地震からの地震波は振幅が小さかったなど, いくつかの障害があったにもかかわらず, 参加者の努力により一定の成果が得られた。これらに対する詳しい解析の結果は, 別の機会に報告される予定である。

謝 辞

東北大理学部地震予知・噴火予知観測センター, 東大地震研火山噴火予知研究推進センター, 九大理学部島原観測所, 京大理学部火山研究施設には観測機材に関して多大なご支援をいただきました。また, 本探査の実現に当たっては岩崎貴哉氏を初めとする諸氏, 神戸市教育委員会を初めとする諸機関のご協力をいただきました。記して感謝致します。

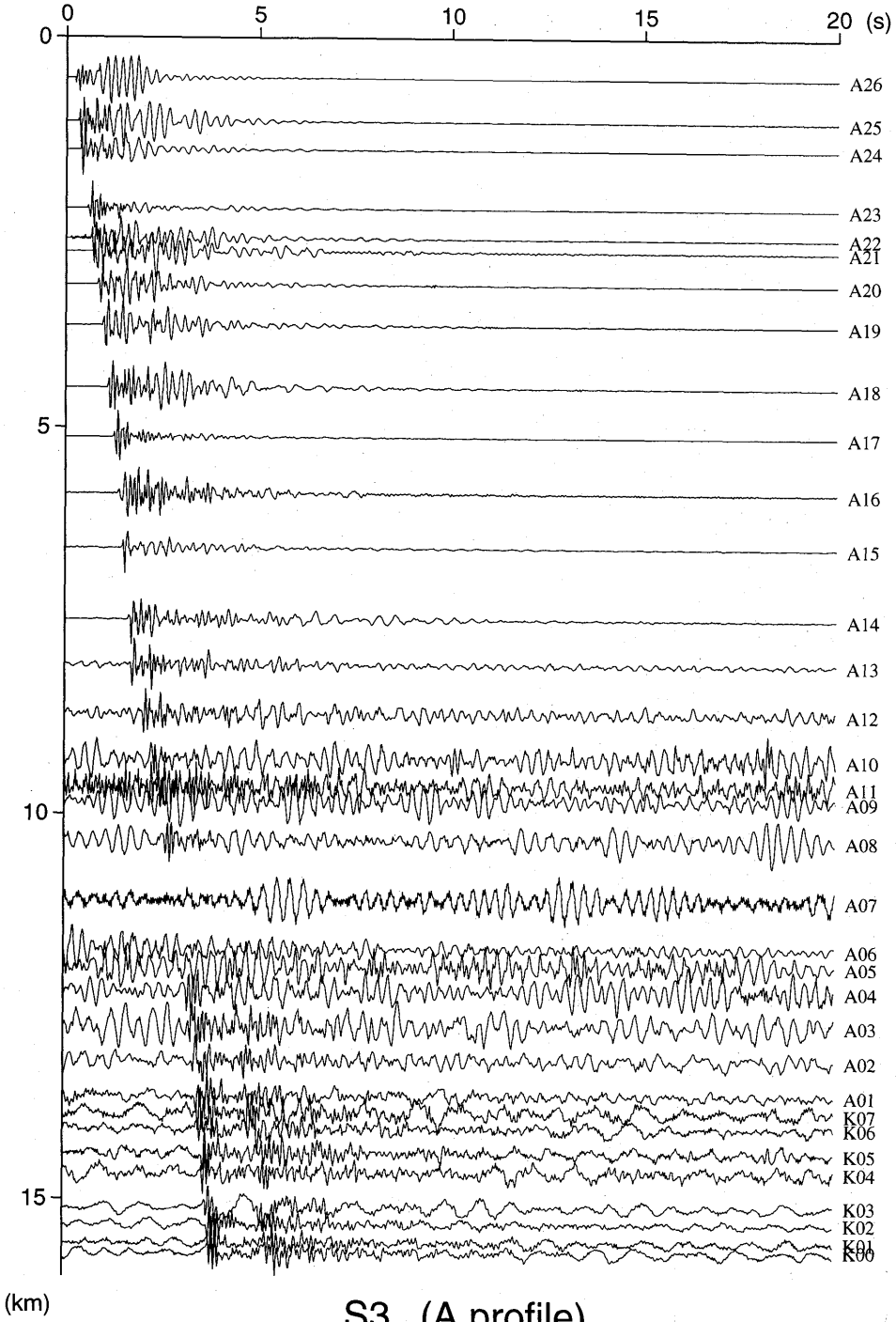
文 献

爆破地震動研究グループ, 1996, 兵庫県南部地震震源域及びその周辺域における大規模地殻構造探査, 地球惑星科学関連学会1996年合同大会予稿集, 38.
首都圏基盤構造研究グループ, 1989, 夢の島人工地震実験資料集, 277pp.
嶋本利彦, 1995, “震災の帯”の不思議, 科学, 65, 岩波書店, 195-198.

(Received May 21, 1997)

(Accepted July 2, 1997)

神戸・阪神間における屈折法地震探査



S3 (A profile)

Fig. 2. Section of records for the shot S3 along the A profile. The horizontal and vertical axes represent elapsed times in seconds and distances in km from the shot, respectively.

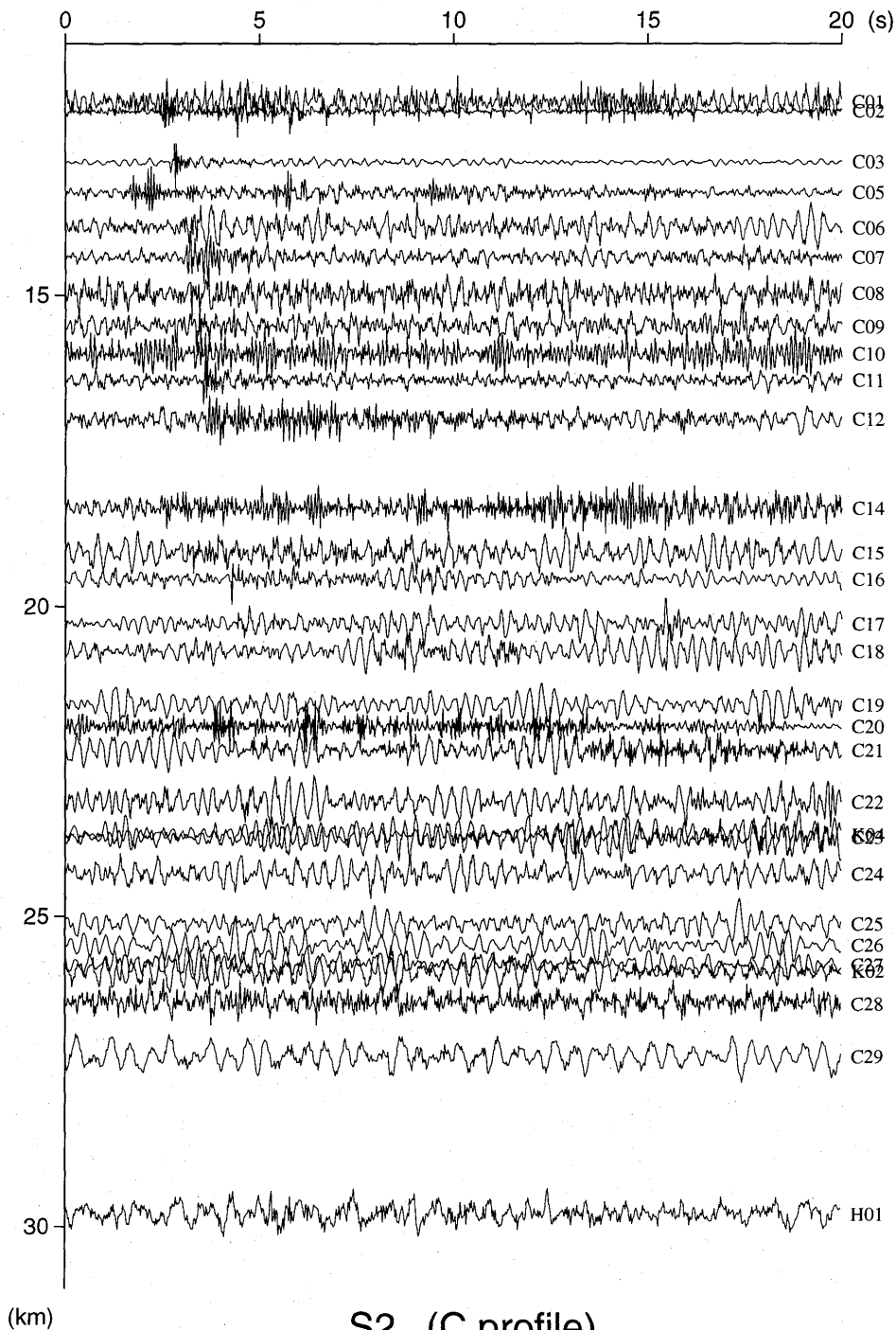


Fig. 3. Section of records for the shot S2 along the C profile. The horizontal and vertical axes represent elapsed times in seconds and distances in km from the shot, respectively.

神戸・阪神間における屈折法地震探査

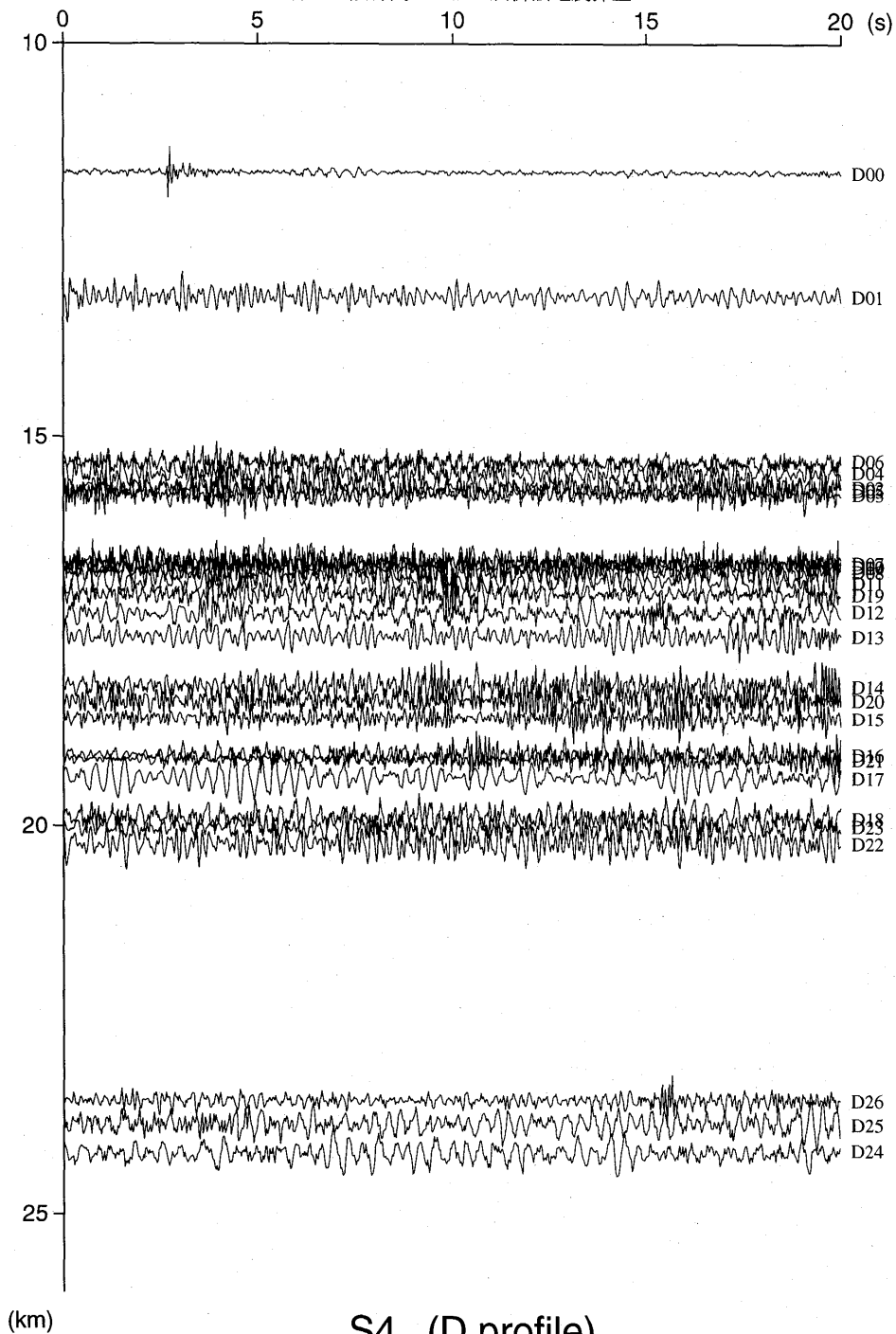


Fig. 4. Section of records for the shot S4 along the *D* profile. The horizontal and vertical axes represent elapsed times in seconds and distances in km from the shot, respectively.

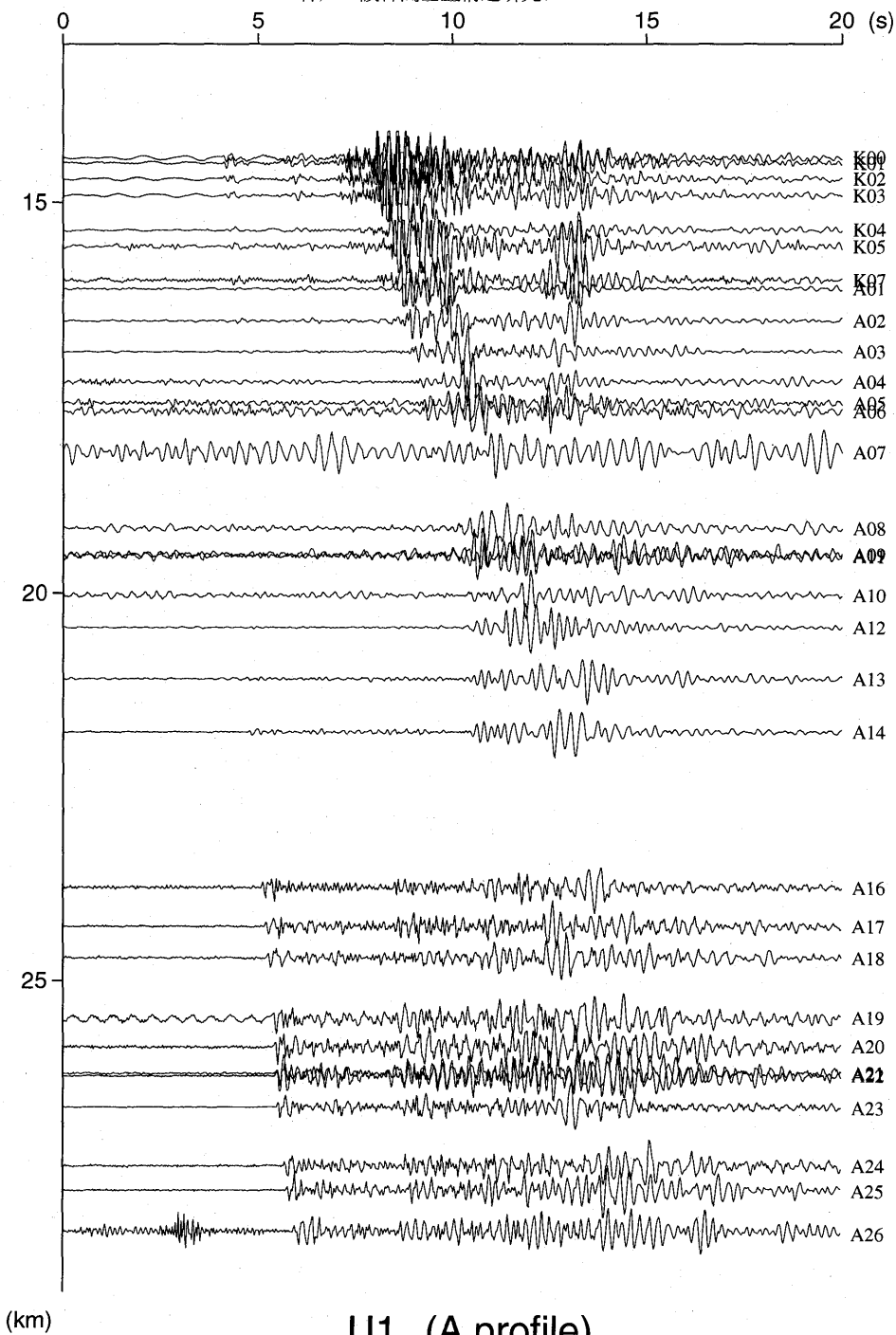
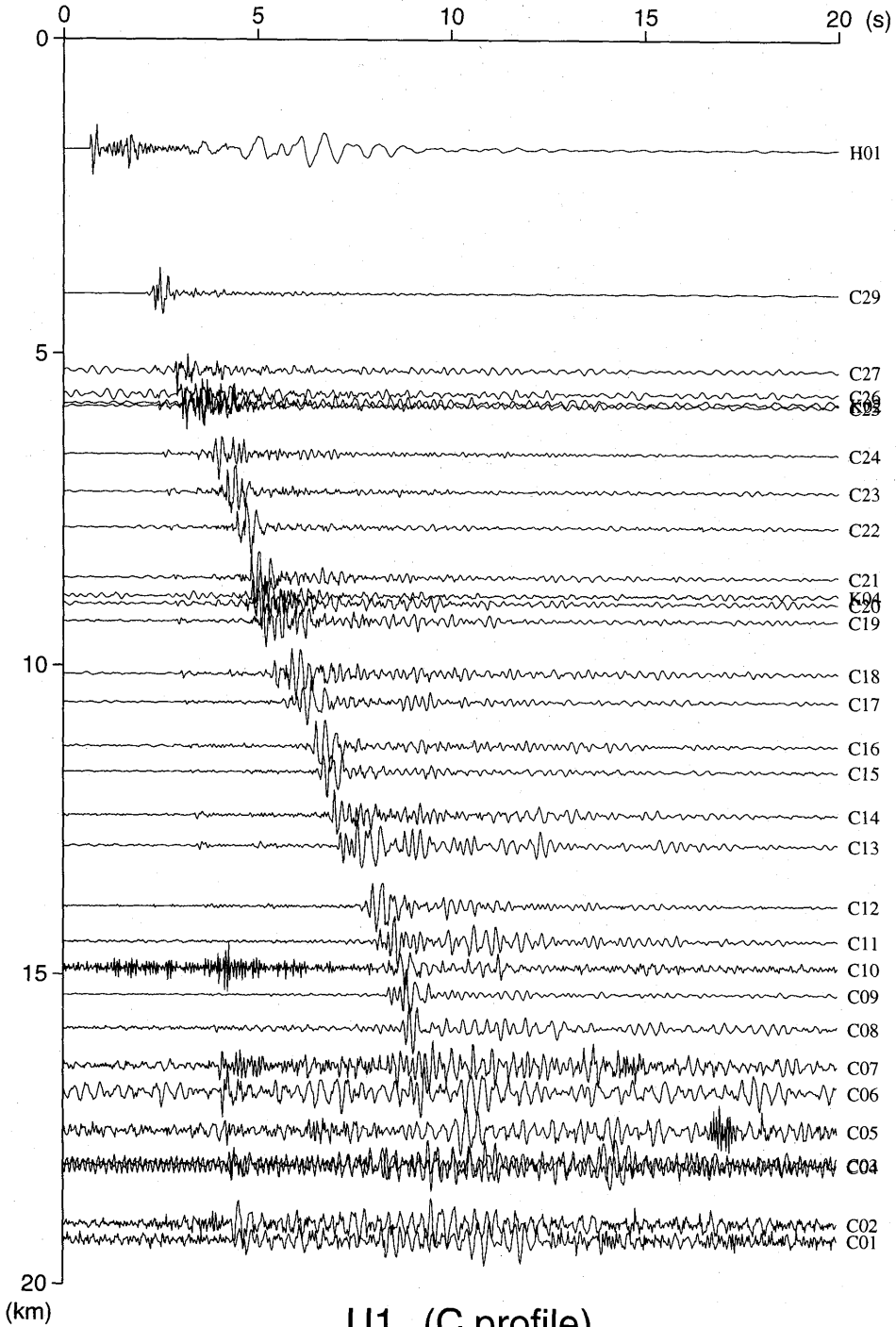


Fig. 5. Section of records for the shot U1 along the A profile. The horizontal and vertical axes represent elapsed times in seconds and distances in km from the shot, respectively.

神戸・阪神間における屈折法地震探査



U1 (C profile)

Fig. 6. Section of records for the shot U1 along the C profile. The horizontal and vertical axes represent elapsed times in seconds and distances in km from the shot, respectively.

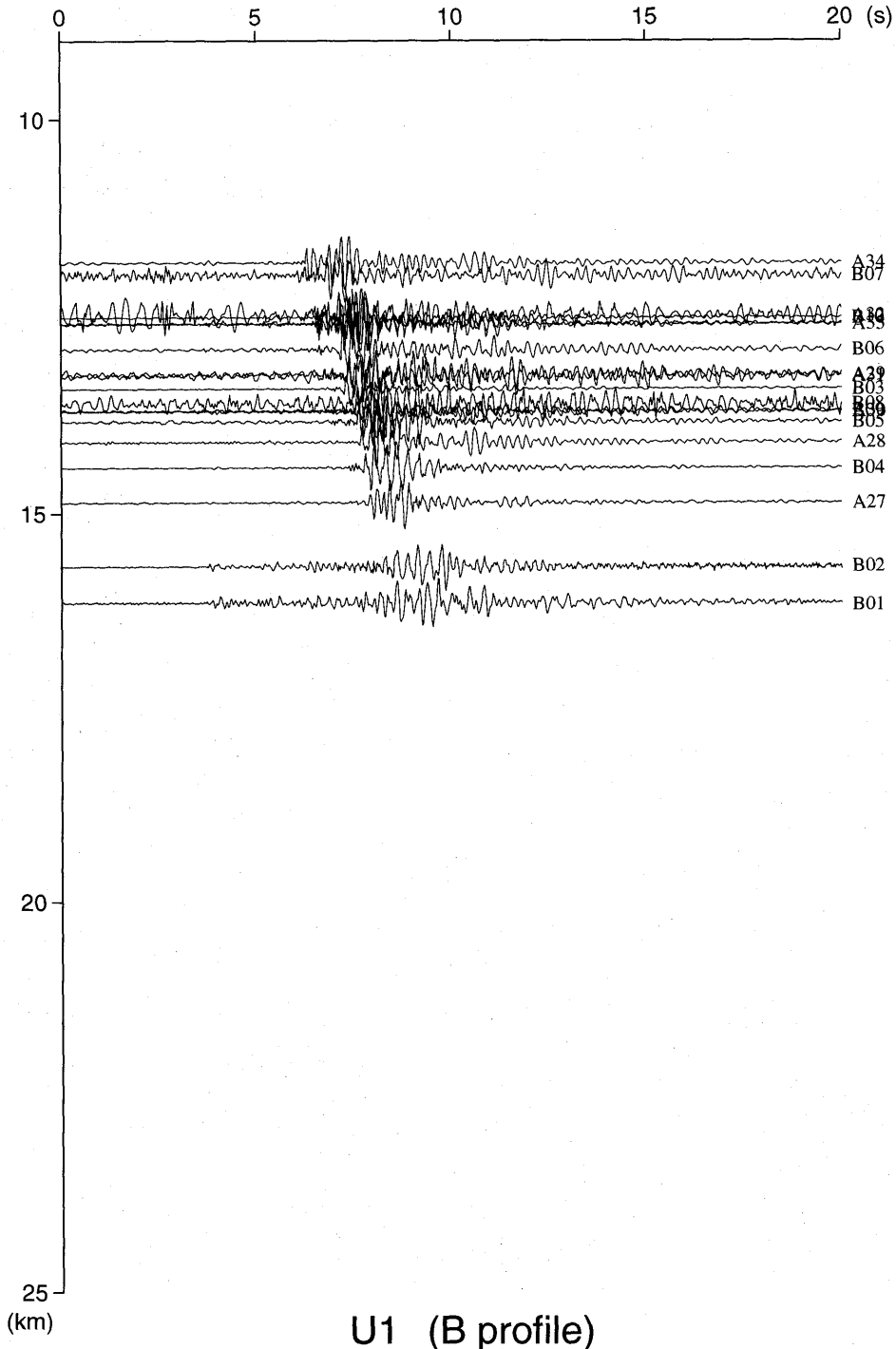


Fig. 7. Section of records for the shot U1 along the B profile. The horizontal and vertical axes represent elapsed times in seconds and distances in km from the shot, respectively.