

## 14. 東京の基盤構造 その5

第7回, 第8回, 第9回夢の島爆破実験による地下深部探査\*

地震研究所	}	嶋悦三
		柳沢馬住
		工藤一嘉
東京工業大学		瀬尾和大

(昭和56年1月26日受理)

### 1. はじめに

前報(嶋・他, 1978b)では, 第6回, 第7回夢の島爆破実験による地震動を観測して, 東京都夢の島と埼玉県堂平山を結ぶ測線での地下構造を明らかにした. 第7回夢の島爆破実験の際には, 観測班の一部を, 夢の島と茨城県筑波山を結ぶ測線上にも配置したが, データ不足で, 地下構造を解析するまでにはいたらなかった. その後, 第9回夢の島爆破実験が行なわれ, 前記の測線上でのデータの補強がなされた. 以後この測線を北北東測線とよぶ.

なお, 第8回目の実験では, 観測班は測線上に展開したのであるが, 事故のため爆破が不成功に終わった. この一連の爆破実験では, 地下構造の解明の他, 北方, 西方両測線上の各5固定観測点で, P波速度変化の観測を続けている. 爆破実験は年2回, 約6ヶ月おきに実施されているが, これは, P波速度変化を検出するためには必要最低の回数と考えられるので, 再度爆破実験を行ない, 固定観測点のみでの観測を実施した.

夢の島における一連の爆破実験は, 東京直下はもとより, 東京よりやや離れた地点に将来発生するであろう地震により, 東京の各地でどのような地震動が期待されるかを推定し, 対策をたてるための基礎資料となる首都圏における三次元的地下構造を詳しく知ると同時に, P波速度変化を調べ, 東京直下の地震を予知するための基礎資料をも得ようとするものである.

以下, 観測結果について報告する.

### 2. 爆破地震動の観測結果

爆破地震動の観測に用いられた電磁式地震計は, P波初動検出のためには, 主として, 0.5~1秒の固有周期をもつ上下動地震計が, また, S波検出のためには, 主として固有周期1秒の水平動地震計を測線方向に設置して観測が行なわれた. 記録は磁気録音方式による.

\* 人工地震の観測は, 首都圏基盤構造研究グループにより行なわれた.



Fig. 1. Shot and observation points.

爆破点（東京都夢の島15号地南端）および観測点を Fig. 1 に示す。また、第7回、第9回夢の島爆破実験の爆破点、観測点の位置、距離および観測者名を Table 1 に示す。観測点番号は両爆破実験を通じ、距離順にまとめられており、第7回爆破実験の時の観測点には \* 印をつけて区別してある。爆破孔はパーカッション方式により、直径 30 cm の孔を深度 100 m までうがった。薬量はダイナマイト 495 kg、薬長は 13.6 m であった。爆破方式はすべて斉発である。

第7回、第8回、第9回夢の島爆破実験はそれぞれ、昭和53年3月19日3時1分59.21秒、同年10月26日2時1分59.11秒、昭和54年3月26日3時1分59.23秒に実施された。前にも述べたように、第8回爆破の際には、北方、西方二測線上の各5固定観測点のみでの観測が行なわれた。（観測点の位置、爆破点との距離等については（嶋・他、1978a）を参照されたい）。

Fig. 2 は上下成分、したがって、主として P 波記録をあつめたものである。図では各観測点の走時から、震央距離  $\Delta$  (km) を速度 5.6 (km/sec) で割った値を差し引いて示してある。Fig. 2 から、P 波初動および、めばしい後続位相の走時を読みとり、Fig. 3 に

Table 1. Locations of shot and observation points for the 7th and 9th Yumenoshima explosions.

爆破時刻：第7回 昭和53年3月19日3時1分59.21秒  
 第9回 昭和54年3月26日3時1分59.23秒

観測点 番号	観測点	位 置		距 離 Δ km	観 測 者
		東 経	北 緯		
*	発 破 点	139°50'18.1"	35°37' 0.2"	0	大場・嶋
	発 破 点	139°50'16.4"	35°36'59.7"	0	大場・嶋
1	江 戸 川 (1)	139°51'27.9"	35°38'52.5"	3.92	大保・増井
2	江 戸 川 (2)	139°51'37.1"	35°39'23.6"	4.88	大保・増井
* 3	第三葛西小学校	139°51'53.3"	35°40' 4.1"	6.15	長能
* 4	松江小学校	139°52'22.8"	35°41'41.2"	9.21	小林(啓)・渡辺・石川
* 5	下小岩小学校	139°53' 9.2"	35°43'29.4"	12.74	小林(啓)・翠川・田鎖
* 6	小岩第三中学校	139°53'23.4"	35°44'37.9"	14.86	小林(啓)・小林(喜)
7	矢切小学校	139°53'59.8"	35°45'35.1"	16.85	遠藤・山本・米田
* 8	相模台小学校	139°54'29.5"	35°46'39.7"	18.95	大保
9	上本郷小学校	139°55'17.5"	35°47'43.3"	21.23	山崎・秋山・加藤
* 10	馬橋小学校	139°54' 3.2"	35°48'46.5"	22.49	星野
11	新松戸中央公園	139°54'49.5"	35°49'20.3"	23.83	長能
12	八木南小学校	139°55'52.6"	35°51' 7.9"	27.47	星野
* 13	八木南小学校	139°55'52.8"	35°51' 6.9"	27.42	佐々木
14	柏第三中学校	139°57'23.0"	35°51'52.7"	29.53	佐々木・田沢
15	田中小学校	139°58' 0.8"	35°53'54.0"	33.37	沢田・矢島
* 16	田中小学校	139°58' 0.8"	35°53'54.0"	33.34	沢田・矢島
17	高野小学校	139°59'25.7"	35°55'33.8"	37.00	小林(啓)・瀬尾・小林(喜)
* 18	大野小学校	139°58' 0.6"	35°56'34.0"	37.99	田中・坂上
19	守谷小学校	140° 0'15.0"	35°56'35.0"	39.22	田中・坂上
20	伊奈中学校	140° 2' 4.0"	35°57'49.4"	42.41	西出
* 21	谷和原中学校	140° 0'56.6"	35°59'17.6"	44.22	座間
22	谷和原中学校	140° 0'56.6"	35°59'17.6"	44.25	吉井
23	十和小学校	140° 0'56.8"	36° 0'33.1"	46.43	工藤・座間
24	福岡小学校	140° 2' 4.7"	36° 1'26.2"	42.57	工藤・座間
* 25	大生小学校	140° 0'34.0"	36° 2' 6.5"	48.93	頼瀬
26	高山中学校	140° 2'40.0"	36° 3'34.9"	52.58	工藤・座間
* 27	面 の 井	140° 4'14.5"	36° 4' 1.5"	54.20	工藤
28	豊里中学校	140° 2'22.5"	36° 6'17.6"	57.16	柳沢・長谷川
* 29	防災センター	140° 5'51.5"	36° 7'11.7"	60.54	工藤
30	大穂中学校	140° 3'54.0"	36° 8' 6.9"	61.09	柳沢・長谷川
31	筑波水守	140° 3'56.0"	36° 9'25.7"	63.40	柳沢・長谷川
32	北 条	140° 5'29.0"	36°10'37.1"	66.25	柳沢・長谷川
* 33	筑波地震観測所	140° 6'36.3"	36°12'35.9"	70.24	神定
34	筑波地震観測所	140° 6'36.3"	36°12'35.9"	70.27	中村・神定

注 \*印は第7回の観測を示す。

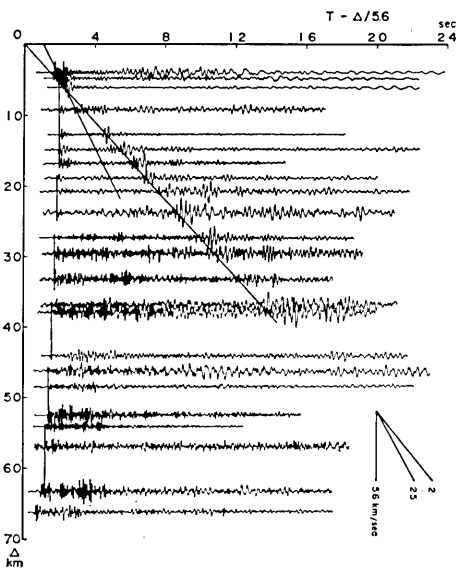


Fig. 2. Seismograms obtained by the 7th and 9th Yumenoshima Explosions (vertical component).

らわれ（したがって、見掛け P 波速度は基盤のそれと同じ）、 $\Delta \approx 15$  km 付近では中間層を通過してきた P 波の走時とほとんど同じになる。このため中間層の速度をきめることがやや困難になるのである。この困難さは、Fig. 2, Fig. 3 から理解されよう。

さて、大局的に見て、基盤の深さは、北北東にいくに従い次第に浅くなっていくであろ

示す走時図を得た。最上層の P 波速度は、1.83 km/sec である。今回の北北東測線では、利根川は  $\Delta \approx 35$  km に位置する。1.83 km/sec の最上層を伝わる P 波は、利根川をこえ、 $\Delta \approx 40$  km 付近までは、はっきり認められさらに  $\Delta \approx 50$  km 位までは振幅は小さくなるが、それらしきものが認められる。なお、 $\Delta \approx 50$  km より遠くは丘陵になっている。Fig. 2 で見るように、利根川をこえた 2 観測点での記録は、振幅が全体的に大きくなっている。観測点が利根川北方の低湿地に位置することを考えあわせると興味深いことである。おそらく、地表付近に存在するより軟弱な地層により、地震波が増幅されるためであろう。中間層の P 波速度は 2.6 km/sec と得られたが、精度はそれほどよくない。今までにも経験されていることであるが、基盤面で一回反射して来た波が優勢にあ

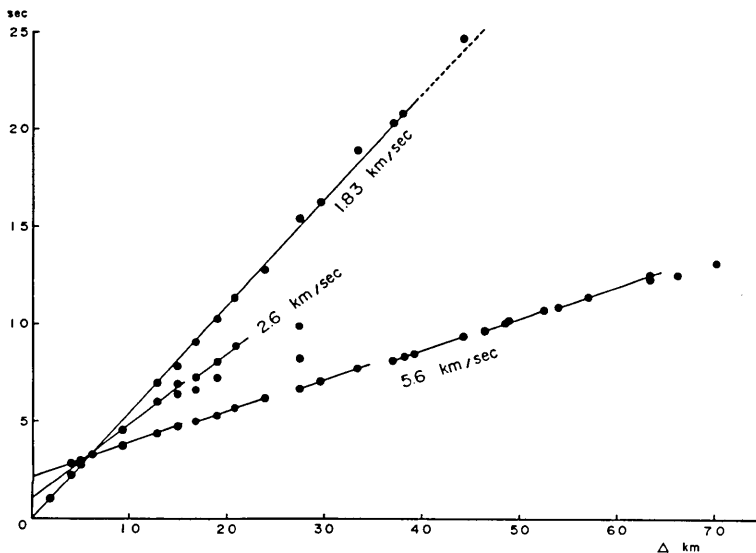


Fig. 3. The travel time graph for P-waves.

うことはあらかじめ予想されることである。もし、一様に浅くなっていくとすれば走時は一本の線上にまとまるはずである。無理に一本の線を引くことも出来るが、その際見られる観測値とのへだたりから見て、Fig. 3 に見るよういくつかの走時の段差をもうけた方がより合理的と思われる。このようにすれば見掛け速度は5.6 km/secとなり、この値は前報までの研究で得られた基盤層での P 波の真の速度と一致する。すなわち、基盤は部分的に見れば平らであり、いくつかの階段的段差により、北北東に行くに従い浅くなると見ることが出来る。

次に、Fig. 4 に S 波の走時図を示す。測線方向に設置した水平成分から走時を読みとったものである。最上層の S 波速度は、0.66 km/sec、中間層、基盤層のそれは、それぞれ 1.3 km/sec、2.9 km/sec と得られたが、精度はそれほど良いものではない。図には直接 P 波の走時が書き入れてある。測線方向の水平成分では、この位相も優勢に見られるので、基盤を通して来た S 波の位相は  $\Delta$  が 20 km をこえると P 直接波に乱されて読みとりは大変困難となるので、読みとりは図の範囲にとどめてある。

Table 2 に、読みとった P 波初動および顕著な後続位相の走時をまとめてある。

### 3. 地下構造

Fig. 3 に見られるように、走時図にあらわれる P 波速度が真の速度と一致しているので、この測線では、地下構造が平行成層と考えられる。そこで、原点走時より地下構造を推定した。Fig. 5 にその結果を示す。P 波の速度断面は地表から順に、それぞれ 1.83 km/sec、2.6 km/sec、5.6 km/sec、表層、中間層の厚さはそれぞれ、1.35 km、1.11 km である。S 波の構造は地表から順に、それぞれ 0.66 km/sec、1.3 km/sec、2.9 km/sec であり、厚さはそれぞれ 1.37 km、1.13 km である。両者の構造は大変よく一致している。基盤までの深さは P 波からは 2.46 km、S 波からは、2.50 km となる。

ところで、前にも述べたように、中間層の速度は精度の点で、最上層および基盤層を伝わる P 波速度のそれにおとる。著者の一人は、かつて、実際には三層構造であるのに、中間層の走時が初動として読みとれぬため、二層構造とみなして解析した場合に考えられる誤差の議論をした(嶋, 1957)。この手法を東京の場合に適用すると、基盤までの深さは 2.1 km と得られ、最悪の場合 20% 程度浅く見積るといふ誤差を覚悟せねばならない

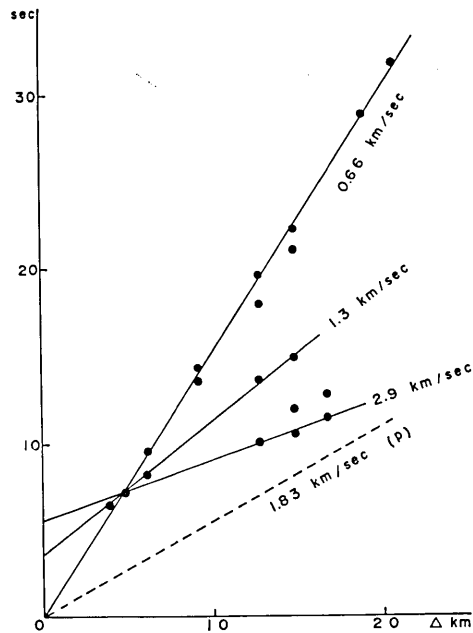


Fig. 4. The travel time graph for S-waves.

Table 2. Travel times for the 7th and 9th Yumenoshima explosions.

観測点 番号	観 測 点	距 離 $\Delta$ km	P波走時(上下成分)			顕著な位相走時(R成分)	
			初動走時	後 続 位 相 時		初動走時	後 続 位 相 時
			sec	sec		sec	sec
	発 破 点	0					
	発 破 点	0					
1	江 戸 川 (1)	3.92	2.24	2.83		6.3	
2	江 戸 川 (2)	4.88	2.77	2.93		7.2	
* 3	第三葛西小学校	6.15	3.23			8.2	9.5
* 4	松江小学校	9.21	3.73	4.54			13.5 14.3
* 5	下小岩小学校	12.74	4.38	5.98	6.96		10.0 13.6 18.0 19.6
* 6	小岩第三中学校	14.86	4.72	6.40	6.94	7.79	10.4 11.9 14.8 20.9 22.2
7	矢切小学校	16.85	4.98	6.62	7.25	9.06	11.4 12.8
* 8	相模台小学校	18.95	5.27	7.22	8.07	10.26	28.8
9	上本郷小学校	21.23	5.69	8.85 11.30			31.7
* 10	馬橋小学校	22.49					
11	新松戸中央公園	23.83	6.17	12.76			
12	八木南小学校	27.47	6.66	8.20	9.9	15.4	
* 13	八木南小学校	27.42	6.69				
14	柏第三中学校	29.53	7.05	16.2			
15	田中小学校	33.37	7.73	18.9			
* 16	田中小学校	33.34	7.72				
17	高野小学校	37.00	8.12	20.3			
* 18	大野小学校	37.99	8.35	20.8			
19	守谷小学校	39.22	8.48				
20	伊奈中学校	42.41					
* 21	谷和原中学校	44.22	9.39	24.7			
22	谷和原中学校	44.25					
23	十和小学校	46.43	9.67				
24	福岡小学校	48.57	10.07				
* 25	大生小学校	48.93	10.21				
26	高山中学校	52.58	10.73				
* 27	面 の 井	54.20	10.90				
28	豊里中学校	57.16	11.43				
* 29	防災センター	60.54	(11.69)				
30	大穂中学校	61.09					
31	筑波水守	63.40	12.30	12.53			
32	北 条	66.25	12.53				
* 33	筑波地震観測所	70.24	13.15				
34	筑波地震観測所	70.28	13.16				

注 \* 印は第7回の観測を示す。

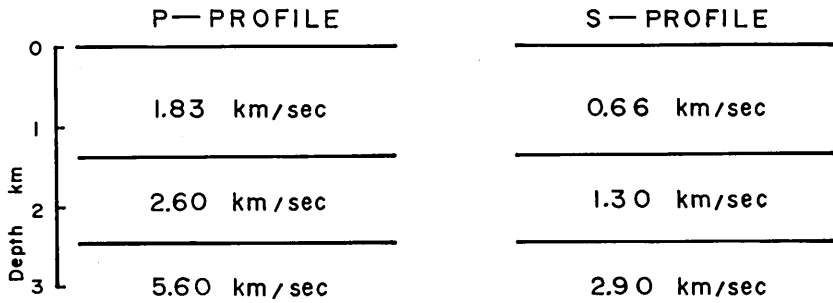


Fig. 5. The underground structure of the Tokyo area obtained assuming parallel layering.

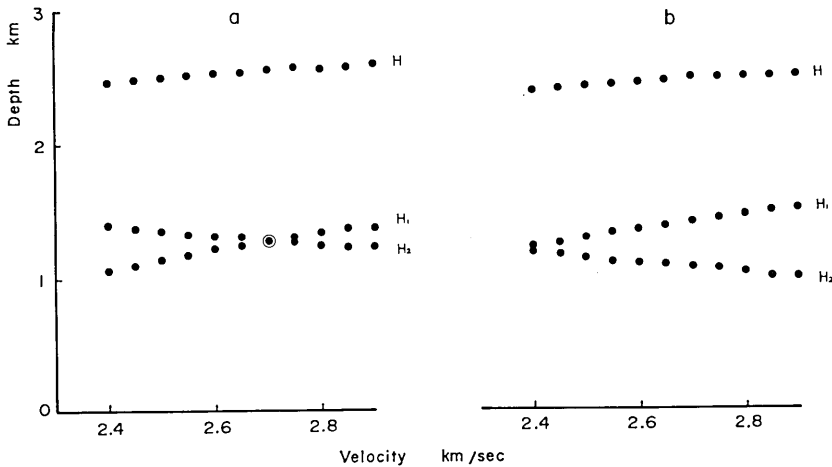


Fig. 6. The variation of depth down to the base rock assuming the error in determining the P-wave velocity of the intermediate layer.

$$a: T_1 = T_2' = T_3, \quad b: T_1 = T_3 < T_2$$

where,  $T_1$ ,  $T_2$  and  $T_3$  are travel times associated with the topmost, the intermediate and the base rock layers at the critical distance.  $T_1$ ,  $T_2$  and  $T_3$  are observed values.  $T_2'$  is the assumed value.  $H_1$  and  $H_2$  are the thicknesses of the topmost and the intermediate layers.  $H$  is the depth down to the base rock.

しかしながら、東京の場合、初動のみの読みとりでは二層構造であるが、後続位相を読みとり、最初から三層構造として地下構造をきめている。したがって、誤差の範囲はずっと小さくなる筈である。この場合、中間層の速度決定の精度が問題になると思われる。そこで最上層、基盤の P 波速度および基盤層に関連した原点走時を固定して、中間層の速度をいくらか変えた場合に各層の厚さがどのように変化するかを二例について調べた。

Fig. 6 の a は、最上層、中間層、基盤層を伝わった P 波が一点で交わる場合であり、これは、三層構造を二層構造として解析した時よりも誤差の大きくなる場合である。Fig. 6 の b は今回の実験にもっとも近い例であり、critical distance での中間層を通

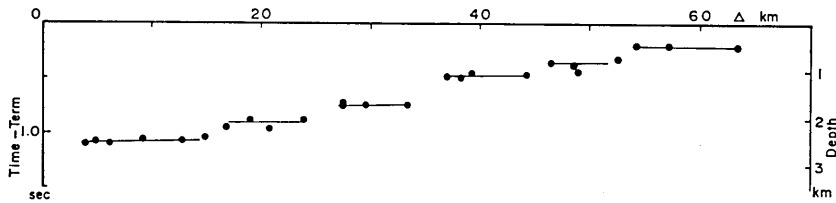


Fig. 7. The underground structure of NNE-profile.

た P 波の走時が、実験での読みとりと一致するようにした場合である。当然のことながら、中間層の速度が小さくなれば、最上層の厚さ  $H_1$  はうすくなり、中間層の速度が大きくなれば  $H_1$  は厚くなる。しかしこの場合、中間層の厚さ  $H_2$  は前者の場合厚く、後者の場合うすくなる。したがって、基盤までの深さ  $H = H_1 + H_2$  は両者の和であるから誤差は打消しあい、それほど変化しないことになる。P 波速度を約 10% 変えても深さの誤差は高々 3% にすぎない。Fig. 6 の a, 6 の b からその有様が読みとられるであろう。このことは、現在の観測方式から見て、最上層や中間層の三次元的厚さを考えるよりも、その和であるところの基盤までの深さの分布を論じた方がより合理的であることを示している。time term 法により基盤までの大よその構造を推定しているのはこの理由による。Fig. 7 に北北東測線の基盤構造を示す。縦軸左が P 波の time term, 右に参考のために相当する深さをとってある。前節に述べたように、基盤にはいくつかの段差が見られる。具体的な場所は、南から順に、北北東測線と江戸川との交点付近、千葉県流山市付近、利根川付近、茨城県筑波郡谷和原村宮戸付近および同村福岡村付近である。もっとも大きい段差は利根川付近のものである。時間差で約 0.3 秒の段差である。時間差 0.1 sec は約 240 m の段差に相当するから、利根川付近の段差は約 700 m もあることになる。この付近を、中央構造線がよぎっているのではないかと推定しているむきもある。あるいはこの段差がそれにあたるのかも知れない。他の場所での時間差は、0.1~0.15 秒であり、せいぜい 250~400 m 程度の段差と考えられる。

$\Delta = 66$  km の北条では、地表の観察からは、すでに岩盤が露出しているが、Fig. 3 にも見るように、我々が基盤層と考えている 5.6 km/sec 層より下部の P 波速度がより高速度の地層を通過して来たと思われる波が初動として観測されている。これが 5.6 km/sec 層を通過して来た波だとすれば、time term は負となり、説明出事ないのである。残念ながら、5.6 km/sec 層を通過して来たと思われる後続位相は記録からは読みとることが出来なかった。しかし、いづれにしろ、 $\Delta = 70$  km の筑波山では基盤が露出していることは明らかであるから、北条でも表層はあったとしても大変うすいものと思われる。

首都圏のデータがかなり集まったので、一応のまとめと、今後補うべき地点を知る目的で time term map を作製した。これには、著者等の独自のデータ (嶋・他, 1978c)、樋口・他 (1977) のデータも加えてある。Fig. 8 にその結果を示す。この結果は HAGIWARA (1967) の得た短波長のブーゲー異常と調和的である。



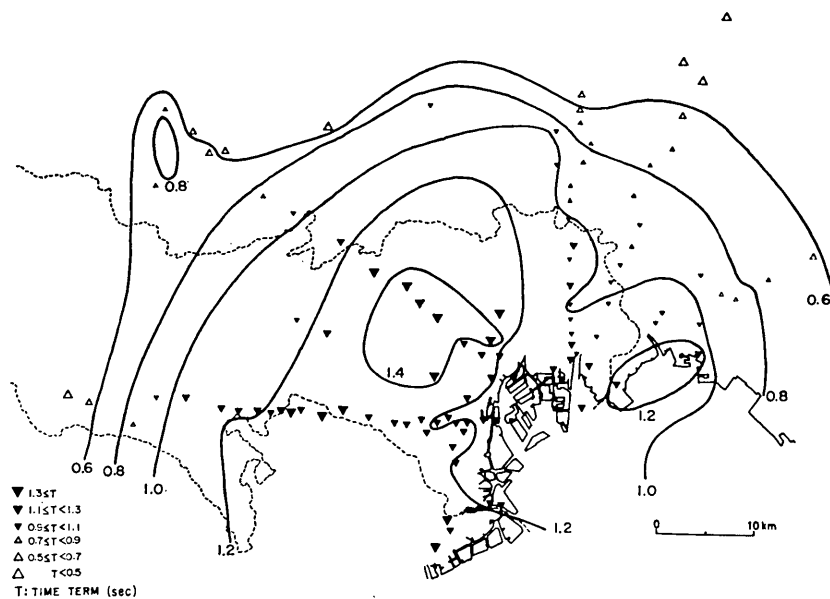


Fig. 8. The time term map of the Tokyo Metropolitan area.

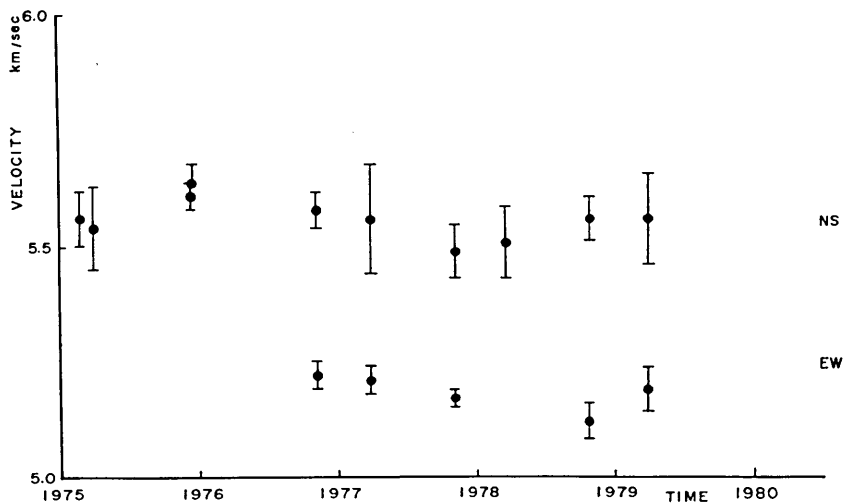


Fig. 9. The variation of P-wave velocity with respect to time.

#### 4. 基盤層における P 波速度の時間的变化

この一連の調査では、北方、西方両測線上のそれぞれ5固定観測点において、人工地震波を観測し、P波の見掛け速度を決定し、その時間的变化を調べている。北方測線での見掛けP波速度は、第8回、第9回夢の島爆破実験に関して、それぞれ  $(5.56 \pm 0.05)$  km/sec,  $(5.56 \pm 0.10)$  km/sec, また西方測線ではそれぞれ,  $(5.12 \pm 0.04)$  km/sec,  $(5.19 \pm$

0.05) km/sec と得られた。前報(嶋・他, 1978b) でえられた結果にこれを加え, Fig. 9 に示す。一見規則的に変化しているようにも見えるが, もし変化しているのだとしてもその振幅は全体の1%内外であり, こまかな議論は差しひかえるべきであろう。むしろ変化していないというべきであろう。

## 5. おわりに

東京都夢の島と茨城県筑波山を結ぶ約 70 km の測線上の延 34 の臨時観測点で, 昭和53年3月19日, 昭和54年3月26日に実施された第7回, 第9回夢の島爆破実験に伴う人工地震動を観測した。また基盤層を伝わる P 波速度の時間的変化を調べる目的で, 北方, 西方両測線上の各5固定観測点での観測を行なった。この観測は第8回夢の島爆破実験(昭和53年10月26日)でも実施した。その結果は以下の様に要約することが出来る。

I) 北北東測線の P 波の速度構造として, 地表から順に,  $V_P=1.83$  km/sec,  $V_P=2.6$  km/sec, 基盤のそれは 5.6 km/sec である。

II) 各層の厚さは, 表層が 1.35 km, 中間層のそれが 1.11 km とえられた。

III) 首都圏の場合, 基盤層までの深さは, 中間層の P 波速度が10%程度変化したとしても, 高々3%の変化にすぎない。

IV) 基盤は北北東に行くに従い, いくつかの段差により次第に浅くなるが, この段差のうちもっとも大きいのは, この測線と利根川が交わる付近に見られる。時間差にして 0.3秒, 高さにして約 700 m の段差に相当する。基盤は  $\Delta=70$  km の筑波山では確実に露出しており,  $\Delta=66$  km の北条付近でも地表層はあったとしても大変うすいものと推定される。

V) いままで得た結果の一応のまとめとして首都圏の time term map を作った。この結果は重力のデータと調和的である。

VI) S 波速度に関しては, 最上層 0.66 km/sec, 中間層 1.3 km/sec, 基盤層のそれは 2.9 km/sec とえられた。表層および中間層の厚さは, それぞれ 1.37 km, 1.13 km となり, P 波速度構造とよい一致を示す。

VII) 基盤層における P 波見掛け速度には, 北方, 西方両測線とも, 現在のところ大きな変化は見られない。

おわりに, 今回の調査にあたり, 東京都防災全議の関係職員諸氏の寄せられた御助力に謝意を表したい。また東京都港湾局の関係諸氏には, 爆破点設定に関し大変お世話になっている。観測点として使用させて頂いた東京都, 千葉県, 茨城県下の小, 中学校, 諸施設でお世話になった多くの方々にも厚く御礼申し上げる。

人工地震の観測に参加され, 貴重なデータを提供された首都圏基盤構造グループの方々にも厚く御礼申し上げる。

## 文 献

- 嶋 悦三・柳沢馬住・工藤一嘉・吉井敏尅・瀬尾和大・黒羽公明, 1978a, 東京の基盤構造その3, 地震研究所彙報, 53, 305-318.  
嶋 悦三・柳沢馬住・工藤一嘉・吉井敏尅・瀬尾和大・大保直人・星野 務・長能正武, 1978b. 東

- 京の基盤構造その 4, 地震研究所彙報, 53, 1245-1255.
- 嶋 悦三・柳沢馬住・座間信作, 1978c, 首都圏の基盤構造, 第 5 回地震工学国内シンポジウム論文集, 321-328.
- 嶋 悦三, 1957, 屈折法による速度層の厚さ決定に関する一注意, 物理探鉱, 19, 16-18.
- 樋口茂生・笠原敬司・伊藤公介・矢田恒晴・赤桐毅一・原 雄・古野邦雄・鈴木宏芳・塚原弘明・松村正三・山本英二・楡井 久, 1977, 千葉県葛南地域における人工地震波観測の記, 千葉県公害研究所研究報告, 7, 59-64.
- HAGIWARA Y., 1967, Analyses of Gravity Values in Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 45, 1091-1228.
-

*14. On the Base Rock of Tokyo.**V. Observations of Seismic Waves Generated from the  
7th, 8th and 9th Yumenoshima Explosions.*

By

Etsuzo SHIMA, Masumi YANAGISAWA, Kazuyoshi KUDO,

Earthquake Research Institute,

and

Kazuoh SEO,

Tokyo Institute of Technology.

Seismic waves from the large explosions which were set off at Yumenoshima were observed at 34 temporary stations along a spread around 70 km in length, extending NNE from the shot points, connecting Tsukuba Seismological Observatory of Earthquake Research Institute and Yumenoshima. Observations were also carried out at 10 fixed stations, 5 to the north and 5 to the west of Yumenoshima to check the variation of P-wave velocity with respect to time.

The results are summarized as follows:

- i) The P-wave underground structure consists of three layers. P-wave velocities from top to bottom are 1.83 km/sec, 2.6 km/sec and 5.6 km/sec respectively.
- ii) The mean thicknesses of the layers in Tokyo are 1.35 km for the topmost layer and 1.11 km for the intermediate layer.
- iii) It was suspected that the P-wave velocity of the intermediate layer may have an error in determining its value, because of the contamination of other arrivals, since the signals from this layer were later arrivals. It was shown that even if there was 10% error in velocity value, the error in determining the depth down to the base rock (the sum of the thicknesses of topmost and the intermediate layers) would not exceed 3% of derived value.
- iv) The depth of the base rock decreases to the NNE of Yumenoshima. It was found that there were several step-wise uplifts of the base rock. The largest uplift of the base rock in this spread (0.3 sec in time gap and about 700 m in height) was found near the Tone river. Near Hōjō ( $\Delta \doteq 66$  km), the depth of the base rock may be very shallow, since at Tsukuba ( $\Delta \doteq 70$  km) the outcrop of the base rock is evident.
- v) To see the three dimensional feature of the base rock, the time term map was constructed using all available data. The gravity data in this area harmonized well with the proposed map.
- vi) The shear wave velocities of the topmost, the intermediate and the base rock layers were determined to be 0.66 km/sec, 1.3 km/sec and 2.9 km/sec respectively. The thicknesses of the topmost and the intermediate layers were 1.37 km and 1.13 km respectively. The shear wave velocity structure coincided well with that of the P-wave.
- vii) No indication of time variation of the P-wave velocity of the base rock was found.