

報 時 震 驗

第 八 卷 第 二 三 號

論 文

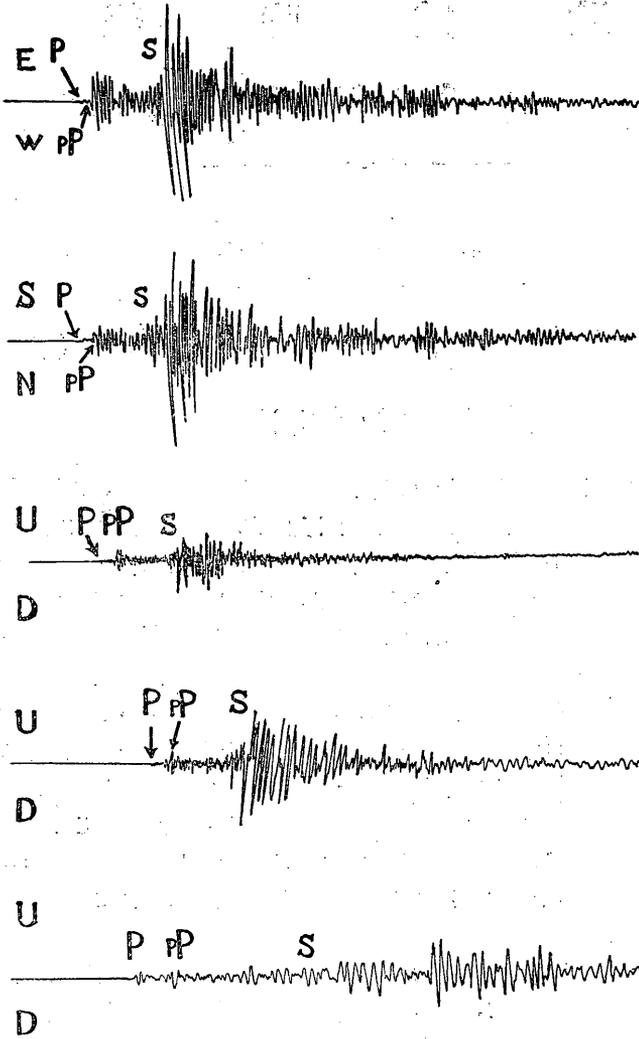
近地地震に於ける地表面反射波に就いて (第一報)

鷺坂 清信・竹花 峰夫

1. 緒言 浅い震源 (10 籽乃至 60 籽位) の近地地震の記象中、P 相の初めの部分に或る變位相が屢現はれて居る事は一般によく知られてゐる。而して此の相は震央附近には現出せず、震央から 100 籽とか 200 籽とか震源の深さに従つて適當の距離隔つた所から見受けられる。斯様な事實は、地表面から約 50 籽の所に所謂モホロビチック面といふ確然たる不連続面があつて、此の面から地表面までの間即ちモホロビチック層内に於いては震波速度は縦波について言へば一様に 5.5 籽毎秒位であつて震波は直進する、此の層の直ぐ下では急に速度が 7.7 籽毎秒に變ずるといふ事に依つて従來說明されて居た。即ちモホロビチック層内に震源があるとき或る震央距離から先では速度の大なる下の層を屈折迂回して來た震波 P が觀測點に最初到達し、次にモホロビチック層内を直進して來る所謂モホロビチック波 P' が入射し、次頁にあるやうな記象を生ずるといふのである。但し次頁には P とせず pP と記號した。此のモホロビチックの假説は一見都合がよいやうに思はれるが地震驗測の進歩につれて此の說に反對の材料が種々提供された。

昭和 5 年 3 月 22 日の伊東強震及び同年 11 月 26 日の北伊豆烈震は何れも地表近くに震源を有するものであつて、而かも震央附近に觀測點があつた故之等の走時曲線から地表面近くの震波速度を明かにすることが出來た。⁽¹⁾⁽²⁾ 之に依れば地表面では 3~4 籽毎秒で深さ 50 籽の處では 7.6 籽毎秒となり、此の間では速度は深さに對して連続に増加し、或る面で不連続的に速度が増加して居るといふやうな事はない。50 籽より深い所では速度は深さに對して極めて徐々に増加する。但し之には走時曲線の引き方が問題となるのであるが、其の後に起つた地震についても震源の極めて浅い事の知れてゐる地震の震央距離の小なる所に於ける走時曲線は上に凸なる曲線をなして居ることは否定出來ない、即ち之等は伊東及び北伊豆地震から求めた速度分布を是認するものである。

地表面反射波の地震記象



昭和八年七月二十九日
紀伊水道の地震

岐阜の記象

昭和六年九月
京都 道志川
同上秋田の記象

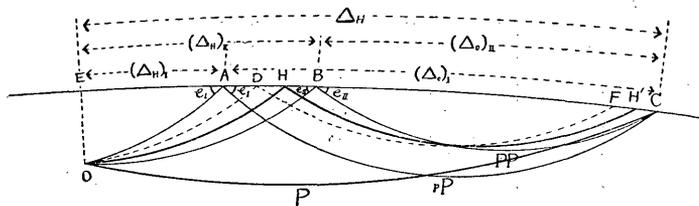
更に本多技師は前記伊東強震及び北伊豆烈震について地震波の初動のエネルギーが震央距離の増加に對して如何に減少して行くかを數量的に調査した⁽³⁾。其の結果に依れば地震縦波の初動のエネルギーは震央距離に對して連続的に減少して居る。若しもモホロビチツク層が存在するものとすれば或る震央距離迄は此の層内を直進して來る波が最初に射出し、或る震央距離から先は下層を屈折迂回して來たエネルギーの小さな震波が初動として入射するものである故に其の震央距離の前後に就いて初動の大きさに格段の相違がある理である。故に本多氏の此の研究はモホロビチツク層の假説には

反對の結果であつて、伊東及び北伊豆地震から求めた速度分布を支持するものである。

地震縦波の速度が地表附近に於いて 3~4 軒毎秒で、深さと共に次第に増加し、深さ 50 軒の邊で 7.6 軒毎秒位となる上述の結果に依れば、震波は震央近くでは可なり彎曲せる軌道を描くが故に例へば深さ 10 軒の震源に於いては約 80 軒の震央距離に於いて一度地表で反射した波が現はれることになる。吾々は此處に縦來 P 相として知られて居つた變位相は地表面反射波として説明した方が至當ではなからうかと考へ、走時及びエネルギーの兩方面から之を説明せんとするものである。即ち中距離及び遠地震に際しては既に多くの人々に依つて地表面反射波は取扱はれて居る故之等に習つて pP, PP, pPP 及び PPP 等の走時表を地表面より震源の深さ 10, 20, 30, 40, 50, 60 及び 70 軒につき震央距離 1,000 軒迄作成し、他方に於いては之等震波のエネルギー量を概算し、之等を照合して實際の地震記象を吟味し、變位相が所謂 P 相ではなくて地表面反射波に因るものであるといふ事を論ぜんとするものである。

2. 走時表 第 1 圖に於て O を震源、E を震央とする。O から水平に射出した震波線 OH は地表 H に於て反射して H' 點に達するとする。EH の中間で反射する波は、E の極めて近くでは射出角が大きいから、反射した波は極めて遠距離に達する、反射點が H に近づくに従つて其の反射波の震央距離は次第に減少し、H に近い或る一點

第 1 圖

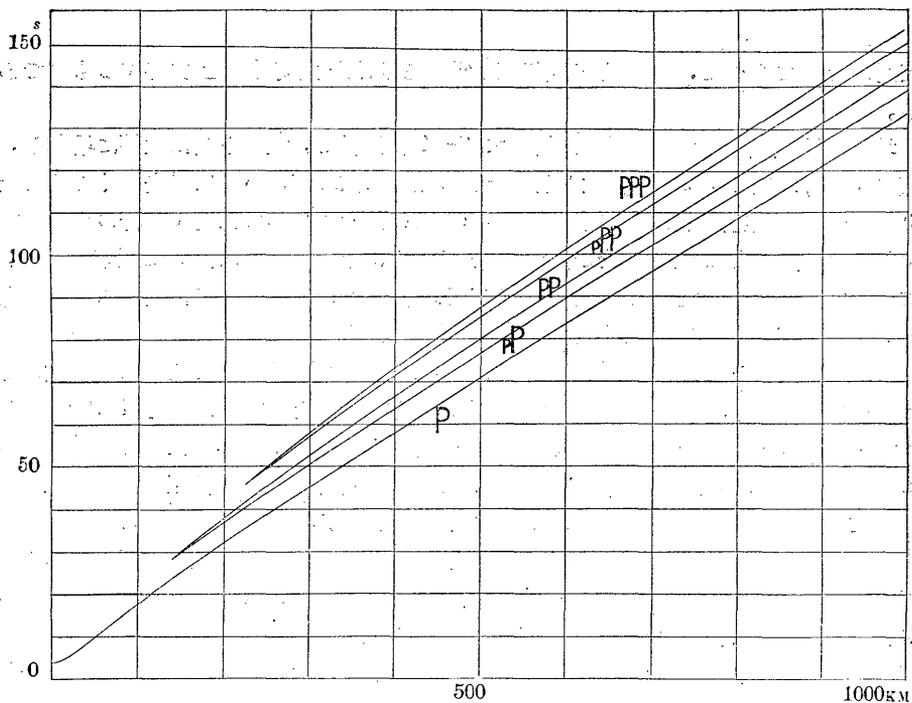


D で反射した波は反射後 H' の稍内側にある F 點に達し再び遠ざかる。EH の中間で反射する P 波を従來の例に倣ひ pP と記號し、EH の外側で反射したものを PP とすると、EF の中間では反射波は出現しない、又 EH' の外側にある觀測所 C 點に於ては一般に二種の反射波 pP 及び PP が觀測される。

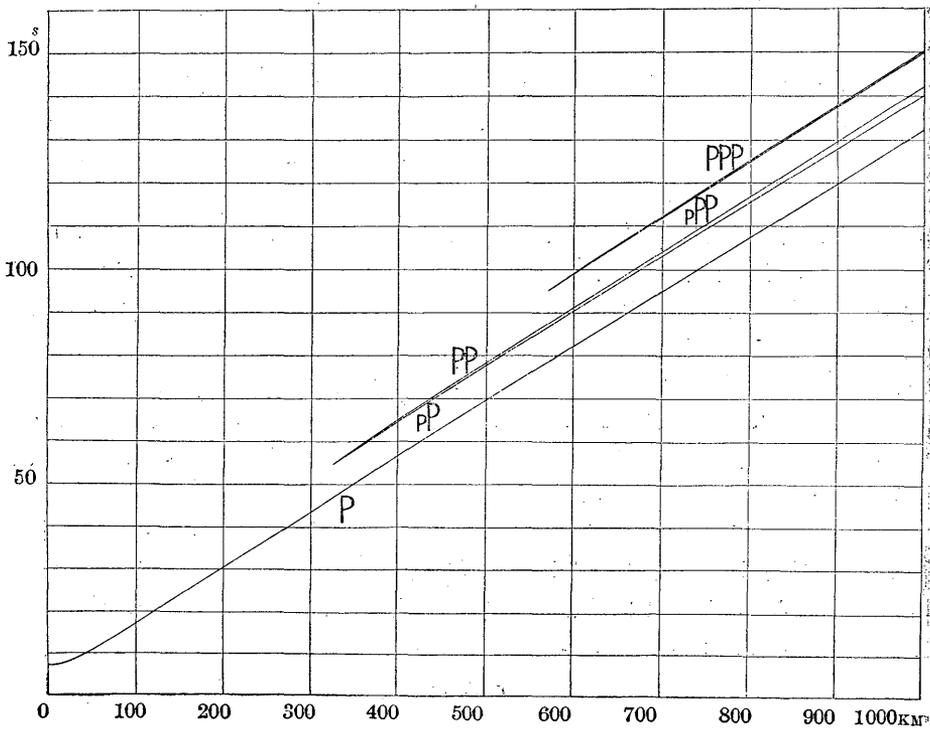
今震源の深さを H とすると、A 點及び B 點で反射する震波線は夫々其の點の射出角と同じ角度で反射する。EA, AC, EB, BC の距離を夫々 $(\Delta_H)_I$, $(\Delta_0)_I$, $(\Delta_H)_{II}$, $(\Delta_0)_{II}$ とし之等の距離に對應する震源の深さ O 及び H の走時を加へ合せれば觀測點 C に於ける求むる pP 及び PP 波の走時が得られる。

和達氏等の算出した種々の震源の深さに依る縦波走時曲線及び $\alpha (= \cos \alpha_0)$ の値を用ひて表面反射波 pP, PP 及び pPP, PPP の走時を震央距離 1,000 軒迄、各震源の深さ 10 軒置きに 70 軒迄算出した値を表示すると次表の如くなる。尙 P 波との走時差も同時に表示する。表中 Δ_m 及び T_m は夫々震央距離及び走時の極小値を表はす。

第 2 圖 P, pP, PP, pPP, PPP 走時曲線 (震源の深さ 20 軒)



第 3 圖 同 上 (震源の深さ 40 軒)



第 一 表

T_{pP} (秒)

$T_{pP}-T_P$ (秒)

Δ_{KM}	T_{pP} (秒)							$T_{pP}-T_P$ (秒)						
	H=10 (km)	20	30	40	50	60	70	H=10 (km)	20	30	40	50	60	70
80	18.0	—	—	—	—	—	—	2.5	—	—	—	—	—	—
90	19.7	—	—	—	—	—	—	2.6	—	—	—	—	—	—
100	21.4	—	—	—	—	—	—	2.8	—	—	—	—	—	—
10	23.0	—	—	H	Δ_{KM}	T_m	2.8	—	—	—	—	—	—	—
20	24.6	—	—	10	80	18.0	2.9	—	—	—	—	—	—	—
30	26.2	—	—	20	140	28.2	3.0	—	—	—	—	—	—	—
40	27.7	28.2	—	30	220	40.0	3.1	4.5	—	—	—	—	—	—
50	29.2	29.6	—	40	325	54.4	3.2	4.6	—	—	—	—	—	—
60	30.7	31.1	—	50	457	71.6	3.2	4.7	—	—	—	—	—	—
70	32.2	32.5	—	60	603	90.6	3.3	4.7	—	—	—	—	—	—
80	33.6	34.1	—	70	760	111.1	3.3	4.8	—	—	—	—	—	—
90	35.1	35.5	—	—	—	—	3.4	4.8	—	—	—	—	—	—
200	36.5	37.0	—	—	—	—	3.4	4.9	—	—	—	—	—	—
10	37.9	38.3	—	—	—	—	3.5	4.9	—	—	—	—	—	—
20	39.3	39.7	40.0	—	—	—	3.5	5.0	6.3	—	—	—	—	—
30	40.6	41.0	41.4	—	—	—	3.5	5.0	6.4	—	—	—	—	—
40	42.0	42.4	42.8	—	—	—	3.6	5.1	6.5	—	—	—	—	—
50	43.4	43.8	44.2	—	—	—	3.6	5.2	6.6	—	—	—	—	—
60	44.7	45.0	45.6	—	—	—	3.6	5.2	6.6	—	—	—	—	—
70	46.0	46.4	46.9	—	—	—	3.7	5.3	6.7	—	—	—	—	—
80	47.3	47.7	48.3	—	—	—	3.7	5.3	6.8	—	—	—	—	—
90	48.6	49.1	49.6	—	—	—	3.7	5.4	6.8	—	—	—	—	—
300	49.9	50.4	51.0	—	—	—	3.7	5.4	6.9	—	—	—	—	—
10	51.2	51.7	52.4	—	—	—	3.7	5.4	7.0	—	—	—	—	—
20	52.5	53.1	53.7	—	—	—	3.8	5.5	7.0	—	—	—	—	—
30	53.8	54.3	55.0	55.0	—	—	3.8	5.5	7.1	7.6	—	—	—	—
40	55.1	55.6	56.4	56.3	—	—	3.8	5.5	7.1	7.6	—	—	—	—
50	56.3	57.0	57.7	57.6	—	—	3.8	5.6	7.1	7.6	—	—	—	—
60	57.6	58.3	59.0	58.9	—	—	3.8	5.6	7.1	7.7	—	—	—	—
70	58.9	59.6	60.3	60.2	—	—	3.8	5.6	7.2	7.7	—	—	—	—
80	60.2	60.9	61.6	61.5	—	—	3.8	5.6	7.2	7.7	—	—	—	—
90	61.4	62.2	62.9	62.8	—	—	3.8	5.6	7.2	7.7	—	—	—	—
400	62.6	63.4	64.2	64.1	—	—	3.8	5.6	7.2	7.7	—	—	—	—
10	63.9	64.7	65.5	65.4	—	—	3.8	5.6	7.2	7.7	—	—	—	—

第 1 表 (續き)

T_{pP} (秒)

$T_{pP}-T_P$ (秒)

Δ_{KM}	T_{pP} (秒)							$T_{pP}-T_P$ (秒)						
	H=10 (km)	20	30	40	50	60	70	H=10 (km)	20	30	40	50	60	70
420	65.1	66.0	66.8	66.7	—	—	—	3.8	5.6	7.2	7.7	—	—	—
30	66.4	67.2	68.1	68.0	—	—	—	3.8	5.6	7.2	7.7	—	—	—
40	67.6	68.5	69.4	69.4	—	—	—	3.8	5.7	7.2	7.7	—	—	—
50	68.8	69.8	70.6	70.7	—	—	—	3.8	5.7	7.2	7.7	—	—	—
60	70.0	71.0	71.9	72.0	72.0	—	—	3.8	5.7	7.2	7.8	8.3	—	—
70	71.3	72.4	73.2	73.3	73.3	—	—	3.9	5.7	7.2	7.8	8.3	—	—
80	72.6	73.6	74.5	74.6	74.6	—	—	3.9	5.7	7.2	7.8	8.4	—	—
90	73.8	74.9	75.8	75.8	75.9	—	—	3.9	5.7	7.2	7.8	8.4	—	—
500	75.1	76.3	77.0	77.2	77.2	—	—	3.9	5.8	7.2	7.9	8.4	—	—
20	77.7	78.8	79.6	79.8	79.8	—	—	3.9	5.8	7.2	8.0	8.4	—	—
40	80.4	81.4	82.1	82.3	82.4	—	—	4.0	5.8	7.2	8.0	8.5	—	—
60	83.2	84.1	84.6	84.8	85.0	—	—	4.1	5.9	7.2	8.0	8.6	—	—
80	85.8	86.7	87.2	87.4	87.6	—	—	4.2	6.0	7.2	8.0	8.6	—	—
600	88.6	89.3	89.7	90.0	90.2	—	—	4.3	6.1	7.2	8.0	8.7	—	—
20	91.1	91.8	92.2	92.5	92.8	92.7	—	4.4	6.2	7.2	8.0	8.8	9.2	—
40	93.6	94.4	94.8	95.1	95.4	95.5	—	4.4	6.2	7.2	8.0	8.8	9.2	—
60	96.2	96.9	97.3	97.6	97.9	98.2	—	4.4	6.2	7.2	8.0	8.8	9.3	—
80	98.7	99.4	99.8	100.2	100.5	100.8	—	4.4	6.2	7.2	8.0	8.8	9.4	—
700	101.2	101.9	102.4	102.7	103.1	103.3	—	4.4	6.2	7.2	8.0	8.8	9.4	—
20	103.6	104.4	104.8	105.2	105.6	106.0	—	4.4	6.2	7.2	8.0	8.8	9.5	—
40	106.1	106.9	107.4	107.8	108.1	108.5	—	4.4	6.2	7.2	8.0	8.8	9.5	—
60	108.5	109.4	109.9	110.3	110.7	111.0	111.1	4.3	6.1	7.2	8.0	8.8	9.5	10.0
80	111.0	111.8	112.4	112.8	113.2	113.5	113.6	4.2	6.0	7.1	8.0	8.8	9.5	10.0
800	113.4	114.3	114.8	115.3	115.7	116.1	116.2	4.2	6.0	7.1	7.9	8.8	9.5	10.0
20	115.8	116.7	117.3	117.8	118.2	118.6	118.7	4.1	5.9	7.1	7.9	8.8	9.5	10.0
40	118.2	119.2	119.8	120.3	120.7	121.1	121.2	4.0	5.9	7.0	7.9	8.8	9.5	10.0
60	120.6	121.7	122.3	122.8	123.3	123.6	123.7	3.9	5.8	7.0	7.9	8.9	9.6	10.1
80	123.1	124.1	124.8	125.4	125.8	126.1	126.2	3.8	5.7	7.0	7.9	8.9	9.6	10.1
900	125.5	126.6	127.3	127.9	128.3	128.6	128.7	3.7	5.6	7.0	7.9	8.9	9.6	10.1
20	127.9	129.0	129.8	130.4	130.8	131.1	131.2	3.6	5.6	7.0	7.9	8.9	9.6	10.1
40	130.4	131.5	132.3	132.8	133.3	133.6	133.7	3.6	5.6	7.0	7.9	8.9	9.6	10.1
60	132.8	133.9	134.8	135.3	135.8	136.1	136.2	3.5	5.6	7.0	7.9	8.9	9.6	10.2
80	135.3	136.4	137.3	137.8	138.4	138.6	138.7	3.5	5.6	7.0	7.9	9.0	9.7	10.2
1000	137.8	138.9	139.8	140.4	140.9	141.1	141.2	3.5	5.6	7.0	7.9	9.0	9.7	10.2

第 2 表

T_{PP} (秒)

$T_{PP}-T_P$ (秒)

Δ_{KM}	T_{PP} (秒)							$T_{PP}-T_P$ (秒)								
	H=0 (km)	H=10 (km)	20	30	40	50	60	70	H=0 (km)	H=10 (km)	20	30	40	50	60	70
80	19.0	—	—	—	—	—	—	—	2.2	—	—	—	—	—	—	—
90	—	20.0	—	—	—	—	—	—	—	2.9	—	—	—	—	—	—
100	23.0	21.9	—	—	—	—	—	—	3.1	3.3	—	—	—	—	—	—
10	—	23.7	—	—	H	Δ_m	T_m	—	—	3.5	—	—	—	—	—	—
20	26.8	25.6	—	—	10	81	18.2	—	3.9	3.9	—	—	—	—	—	—
30	—	27.4	—	—	20	142	28.5	—	—	4.2	—	—	—	—	—	—
40	30.2	29.1	—	—	30	223	40.4	—	4.5	4.5	—	—	—	—	—	—
50	—	30.7	29.8	—	40	329	54.9	—	—	4.7	4.8	—	—	—	—	—
60	33.6	32.4	31.5	—	50	462	72.2	—	5.1	4.9	5.1	—	—	—	—	—
70	—	34.0	33.1	—	60	608	91.3	—	—	5.1	5.3	—	—	—	—	—
80	36.8	35.6	34.7	—	70	766	111.9	—	5.6	5.3	5.4	—	—	—	—	—
90	—	37.1	36.3	—	—	—	—	—	—	5.4	5.6	—	—	—	—	—
200	39.8	38.7	37.8	—	—	—	—	—	5.9	5.6	5.7	—	—	—	—	—
10	—	40.2	39.3	—	—	—	—	—	—	5.8	5.9	—	—	—	—	—
20	42.8	41.7	40.9	—	—	—	—	—	6.2	5.9	6.2	—	—	—	—	—
30	—	43.2	42.4	41.4	—	—	—	—	—	6.1	6.4	6.4	—	—	—	—
40	45.8	44.7	43.8	42.8	—	—	—	—	6.5	6.3	6.6	6.5	—	—	—	—
50	—	46.2	45.4	44.2	—	—	—	—	—	6.4	6.8	6.6	—	—	—	—
60	48.6	47.7	46.8	45.7	—	—	—	—	6.6	6.6	7.0	6.7	—	—	—	—
70	—	49.2	48.2	47.1	—	—	—	—	—	6.8	7.1	6.9	—	—	—	—
80	51.4	50.6	49.7	48.5	—	—	—	—	6.8	7.0	7.3	7.0	—	—	—	—
90	—	52.1	51.1	49.9	—	—	—	—	—	7.2	7.4	7.1	—	—	—	—
300	54.2	53.6	52.5	51.4	—	—	—	—	7.0	7.4	7.5	7.3	—	—	—	—
10	—	55.0	54.0	52.8	—	—	—	—	—	7.5	7.7	7.4	—	—	—	—
20	57.0	56.4	55.3	54.2	—	—	—	—	7.1	7.7	7.8	7.5	—	—	—	—
30	—	57.8	56.7	55.5	55.0	—	—	—	—	7.8	7.9	7.6	7.6	—	—	—
40	59.8	59.2	58.2	56.9	56.4	—	—	—	7.3	7.9	8.0	7.6	7.7	—	—	—
50	—	60.6	59.5	58.3	57.8	—	—	—	—	8.1	8.1	7.7	7.8	—	—	—
60	62.4	62.0	60.9	59.7	59.1	—	—	—	7.4	8.2	8.2	7.8	7.9	—	—	—
70	—	63.4	62.2	61.0	60.5	—	—	—	—	8.3	8.2	7.9	8.0	—	—	—
80	65.2	64.8	63.6	62.4	61.8	—	—	—	7.5	8.4	8.3	8.0	8.0	—	—	—
90	—	66.2	65.0	63.8	63.2	—	—	—	—	8.6	8.4	8.1	8.1	—	—	—
400	67.8	67.5	66.3	65.1	64.5	—	—	—	7.6	8.7	8.5	8.1	8.1	—	—	—
10	—	68.9	67.7	62.5	65.9	—	—	—	—	8.8	8.6	8.2	8.2	—	—	—

第 2 表 (續き)

TPP (秒)

TPP-TP (秒)

Δ_{KM}	TPP (秒)								TPP-TP (秒)							
	H=0 (km)	H=10 (km)	20	30	40	50	60	70	H=0 (km)	H=10 (km)	20	30	40	50	60	70
420	70.6 ^s	70.3	69.1	67.8	67.2	—	—	—	7.7 ^s	9.0	8.7	8.2	8.2	—	—	—
30	—	71.7	70.4	69.2	68.5	—	—	—	—	9.1	8.8	8.3	8.2	—	—	—
40	73.2	73.0	71.7	70.5	69.9	—	—	—	7.8	9.2	8.9	8.3	8.2	—	—	—
50	—	74.3	73.1	71.8	71.2	—	—	—	—	9.3	9.0	8.4	8.2	—	—	—
60	76.0	75.7	74.4	73.2	72.5	—	—	—	8.0	9.4	9.1	8.5	8.3	—	—	—
70	—	77.0	75.8	74.6	73.8	73.4	—	—	—	9.5	9.1	8.6	8.3	8.4	—	—
80	78.6	78.3	77.1	76.0	75.1	74.7	—	—	8.1	9.6	9.2	8.7	8.3	8.5	—	—
90	—	79.6	78.4	77.3	76.4	76.0	—	—	—	9.6	9.2	8.7	8.4	8.5	—	—
500	81.4	80.9	79.7	78.5	77.7	77.4	—	—	8.4	9.6	9.2	8.7	8.4	8.6	—	—
20	84.0	83.4	82.3	81.1	80.3	80.0	—	—	8.5	9.6	9.3	8.7	8.5	8.6	—	—
40	86.6	86.0	84.9	83.6	82.8	82.6	—	—	8.6	9.6	9.3	8.7	8.5	8.7	—	—
60	89.2	88.6	87.5	86.2	85.4	85.2	—	—	8.7	9.6	9.3	8.8	8.6	8.8	—	—
80	91.8	91.2	90.0	88.8	88.0	87.9	—	—	8.8	9.6	9.3	8.8	8.6	8.9	—	—
600	94.4	93.8	92.6	91.3	90.6	90.5	—	—	8.9	9.6	9.4	8.8	8.6	9.0	—	—
20	97.2	96.4	95.1	93.9	93.2	93.1	93.0	—	9.1	9.7	9.5	8.9	8.7	9.1	9.3	—
40	99.8	99.0	97.8	96.5	95.8	95.7	95.6	—	9.2	9.8	9.6	8.9	8.7	9.1	9.3	—
60	102.4	101.6	100.3	99.1	98.4	98.3	98.3	—	9.3	9.8	9.6	9.0	8.8	9.2	9.4	—
80	105.0	104.2	102.9	101.6	101.0	100.9	100.9	—	9.4	9.9	9.7	9.0	8.8	9.2	9.5	—
700	107.6	106.7	105.5	104.3	103.6	103.5	103.5	—	9.5	10.0	9.8	9.1	8.9	9.2	9.6	—
20	110.2	109.3	108.0	106.8	106.2	106.0	106.2	—	9.6	10.1	9.8	9.2	9.0	9.2	9.7	—
40	112.8	111.8	110.6	109.5	108.9	108.6	108.8	—	9.7	10.1	9.9	9.3	9.1	9.3	9.8	—
60	115.4	114.4	113.2	112.1	111.5	111.2	111.3	—	9.8	10.2	9.9	9.4	9.2	9.3	9.8	—
80	118.0	116.9	115.8	114.8	114.0	113.7	113.8	113.7	9.9	10.2	10.0	9.5	9.2	9.3	9.8	10.1
800	120.6	119.5	118.4	117.3	116.6	116.3	116.4	116.4	10.0	10.3	10.1	9.6	9.2	9.4	9.8	10.2
20	123.2	122.0	121.0	119.9	119.2	118.8	118.9	119.0	10.1	10.3	10.2	9.7	9.3	9.4	9.8	10.3
40	125.8	124.6	123.5	122.5	121.8	121.4	121.4	121.5	10.2	10.4	10.2	9.7	9.4	9.5	9.8	10.3
60	128.4	127.1	126.1	125.1	124.4	124.0	123.9	124.0	10.2	10.4	10.2	9.8	9.5	9.6	9.9	10.4
80	130.8	129.7	128.6	127.7	127.0	126.6	126.4	126.5	10.2	10.4	10.2	9.9	9.5	9.7	9.9	10.4
900	133.4	132.2	131.2	130.3	129.6	129.1	129.0	129.0	10.3	10.4	10.2	10.0	9.6	9.7	9.9	10.4
20	135.8	134.8	133.7	132.9	132.2	131.6	131.4	131.5	10.3	10.5	10.3	10.1	9.7	9.7	9.9	10.4
40	138.4	137.4	136.3	135.5	134.7	134.1	133.9	134.0	10.4	10.6	10.4	10.2	9.8	9.7	9.9	10.4
60	141.0	139.9	138.9	138.1	137.3	136.7	136.4	136.5	10.4	10.6	10.6	10.3	9.9	9.8	9.9	10.5
80	143.4	142.5	141.5	140.7	139.9	139.3	138.9	139.0	10.4	10.7	10.7	10.3	10.0	9.8	10.0	10.5
1000	146.0	145.1	144.1	143.2	142.5	141.9	141.4	141.5	10.5	10.8	10.8	10.4	10.0	10.0	10.0	10.5

第 3 表

T_{PP} (秒)

$T_{PPP}-T_P$ (秒)

Δ_{KM}	H=10 (km)	20	30	40	50	10	20	30	40	50
150	33.1	—	Δ	H=60	—	7.1	—	Δ	H=60	—
60	34.8	—	1060	158.3	—	7.4	—	1060	19.5	—
70	36.6	—	80	160.9	—	7.8	—	80	19.7	—
80	38.2	—	1100	163.5	—	8.1	—	1100	19.9	—
90	39.6	—	—	—	—	8.3	—	—	—	—
200	41.5	—	—	—	—	8.5	—	—	—	—
10	43.2	—	—	—	—	8.7	—	—	—	—
20	44.7	—	—	—	—	8.9	—	—	—	—
30	46.3	46.5	—	—	—	9.2	10.5	—	—	—
40	47.8	48.1	—	—	—	9.4	10.8	—	—	—
50	49.4	49.6	—	—	—	9.6	11.0	—	—	—
60	50.9	51.1	—	—	—	9.9	11.3	—	—	—
70	52.4	52.6	—	—	—	10.2	11.5	—	—	—
80	53.9	54.1	—	—	—	10.4	11.7	—	—	—
90	55.4	55.6	—	—	—	10.6	11.9	—	—	—
300	56.9	57.0	—	—	—	10.8	12.0	—	—	—
10	58.4	58.5	—	—	—	11.0	12.2	—	—	—
20	59.8	60.0	—	—	—	11.1	12.4	—	—	—
30	61.3	61.4	—	—	—	11.3	12.6	—	—	—
40	62.7	62.8	—	—	—	11.5	12.7	—	—	—
50	64.2	64.3	—	—	—	11.7	12.8	—	—	—
60	65.6	65.7	—	—	—	11.8	13.0	—	—	—
70	67.0	67.1	67.0	—	—	11.9	13.1	13.9	—	—
80	68.4	68.5	68.5	—	—	12.0	13.2	13.1	—	—
90	69.9	70.0	70.0	—	—	12.2	13.4	14.3	—	—
400	71.3	71.3	71.4	—	—	12.3	13.5	14.4	—	—
10	72.7	72.8	72.8	—	—	12.4	13.7	14.5	—	—
20	74.0	74.1	74.3	—	—	12.5	13.8	14.7	—	—
30	75.4	75.5	75.7	—	—	12.6	13.9	14.8	—	—
40	76.7	76.8	77.1	—	—	12.7	14.0	14.9	—	—
50	78.1	78.2	78.5	—	—	12.9	14.1	15.0	—	—
60	79.4	79.6	79.8	—	—	13.0	14.2	15.1	—	—
70	80.8	80.9	81.1	—	—	13.1	14.3	15.1	—	—
80	82.2	82.3	82.5	—	—	13.2	14.4	15.2	—	—
90	83.5	83.7	83.8	—	—	13.3	14.5	15.2	—	—
500	84.9	85.0	85.1	—	—	13.4	14.5	15.3	—	—
20	87.6	87.7	87.8	—	—	13.5	14.6	15.3	—	—
40	90.3	90.3	90.2	—	—	13.6	14.7	15.4	—	—
60	92.9	92.9	92.9	—	—	13.7	14.8	15.5	—	—
80	95.5	95.6	95.6	95.8	—	13.8	14.9	15.6	16.3	—
600	98.1	98.1	98.3	98.5	—	13.9	15.0	15.8	16.5	—
20	100.7	100.7	101.0	101.2	—	14.0	15.1	16.0	16.6	—
40	103.2	103.4	103.7	103.8	—	14.0	15.2	16.1	16.7	—
60	105.7	106.0	106.3	106.5	—	14.0	15.3	16.2	16.8	—
80	108.2	108.6	109.0	109.1	—	14.0	15.4	16.3	16.9	—
700	110.7	111.2	111.7	111.7	—	14.0	15.5	16.4	17.0	—
20	113.2	113.8	114.3	114.3	—	14.0	15.6	16.5	17.1	—
40	115.7	116.4	116.9	116.9	—	14.0	15.7	16.6	17.2	—
60	118.3	119.1	119.6	119.6	—	14.0	15.8	16.7	17.3	—
80	120.8	121.7	122.0	122.2	—	14.0	15.9	16.8	17.4	—
800	123.3	124.3	124.8	124.7	—	14.1	16.0	16.9	17.4	—
20	125.9	126.9	127.3	127.3	—	14.1	16.1	17.0	17.4	—
40	128.4	129.4	129.9	129.9	129.8	14.1	16.1	17.0	17.4	17.8
60	130.9	132.0	132.4	132.4	132.5	14.1	16.1	17.0	17.5	18.0
80	133.4	134.5	134.9	135.0	135.1	14.1	16.1	17.0	17.6	18.1
900	135.9	137.1	137.5	137.6	137.6	14.1	16.1	17.1	17.6	18.2
20	138.4	139.5	140.1	140.1	140.2	14.1	16.1	17.2	17.7	18.3
40	140.9	142.1	142.6	142.7	142.8	14.1	16.2	17.3	17.8	18.4
60	143.4	144.5	145.1	145.3	145.4	14.1	16.2	17.3	17.9	18.5
80	145.9	147.0	147.7	147.9	147.9	14.1	16.2	17.4	18.0	18.6
1000	148.3	149.5	150.2	150.5	150.5	14.1	16.2	17.4	18.0	18.6

第 4 表

T_{PPP} (秒)

T_{PPP}-T_P (秒)

ΔKM	H=0 (km)	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50
150	34.5	33.1	—	Δ	H=60	7.4	7.1	—	Δ	H=60	—	—
60	36.4	35.0	—	1060	158.3	7.9	7.6	—	1060	19.5	—	—
70	38.2	37.0	—	80	160.9	8.3	8.2	—	80	19.7	—	—
80	40.0	38.9	—	1100	163.5	8.8	8.8	—	1100	19.9	—	—
90	41.8	40.8	—	—	—	9.2	9.1	—	—	—	—	—
200	43.5	42.5	—	—	—	9.6	9.5	—	—	—	—	—
10	45.3	44.3	—	—	—	10.0	9.8	—	—	—	—	—
20	47.0	46.0	—	—	—	10.4	10.2	—	—	—	—	—
30	48.7	47.7	46.5	—	—	10.7	10.6	10.5	—	—	—	—
40	50.3	49.4	48.2	—	—	11.0	11.0	10.9	—	—	—	—
50	52.0	51.0	49.8	—	—	11.3	11.3	11.2	—	—	—	—
60	53.5	52.6	51.4	—	—	11.5	11.6	11.6	—	—	—	—
70	55.1	54.2	53.0	—	—	11.8	11.9	11.9	—	—	—	—
80	56.0	55.7	54.6	—	—	12.0	12.2	12.2	—	—	—	—
90	58.1	57.3	56.2	—	—	12.2	12.5	12.5	—	—	—	—
300	59.6	58.8	57.8	—	—	12.4	12.7	12.8	—	—	—	—
10	61.2	60.4	59.3	—	—	12.6	13.0	13.0	—	—	—	—
20	62.7	61.9	60.8	—	—	12.8	13.2	13.3	—	—	—	—
30	64.2	63.4	62.4	—	—	13.0	13.5	13.6	—	—	—	—
40	65.6	64.9	64.0	—	—	13.1	13.7	13.8	—	—	—	—
50	67.1	66.4	65.5	—	—	13.3	13.9	14.0	—	—	—	—
60	68.5	67.9	66.9	—	—	13.4	14.1	14.2	—	—	—	—
70	70.0	69.4	68.4	67.0	—	13.6	14.3	14.4	13.9	—	—	—
80	71.4	70.9	69.9	68.5	—	13.7	14.5	14.6	14.1	—	—	—
90	72.9	72.4	71.4	70.0	—	13.9	14.7	14.8	14.3	—	—	—
400	74.3	73.8	72.8	71.5	—	14.0	14.9	15.0	14.5	—	—	—
10	75.3	75.3	74.3	73.0	—	14.1	15.1	15.2	14.7	—	—	—
20	77.1	76.8	75.7	74.5	—	14.2	15.3	15.4	14.9	—	—	—
30	78.5	78.2	77.2	76.0	—	14.3	15.4	15.6	15.1	—	—	—
40	79.9	79.6	78.6	77.5	—	14.5	15.6	15.8	15.3	—	—	—
50	81.3	81.0	80.1	78.9	—	14.6	15.8	16.0	15.4	—	—	—
60	82.6	82.4	81.5	80.3	—	14.7	16.0	16.1	15.6	—	—	—
70	84.0	83.8	82.8	81.8	—	14.8	16.1	16.2	15.7	—	—	—
80	85.5	85.2	84.2	83.1	—	15.0	16.2	16.3	15.8	—	—	—
90	86.9	86.6	85.6	84.5	—	15.2	16.3	16.4	15.9	—	—	—
500	88.4	88.1	87.0	85.9	—	15.4	16.5	16.5	16.0	—	—	—
20	91.0	90.7	89.7	88.5	—	15.6	16.6	16.6	16.1	—	—	—
40	93.8	93.5	92.4	91.1	—	15.8	16.8	16.8	16.2	—	—	—
60	96.4	96.1	95.2	93.9	—	15.9	16.9	17.0	16.4	—	—	—
80	99.2	98.8	97.9	96.5	95.8	16.2	17.1	17.2	16.6	16.3	—	—
600	101.8	101.5	100.5	99.3	98.6	16.3	17.3	17.4	16.8	16.3	—	—
20	104.5	104.2	103.2	102.0	101.3	16.4	17.5	17.6	17.0	16.8	—	—
40	107.2	106.9	106.0	104.7	104.0	16.6	17.7	17.8	17.1	16.9	—	—
60	109.9	109.5	108.7	107.3	106.6	16.8	17.8	18.0	17.2	17.0	—	—
80	112.6	112.3	111.2	110.1	109.3	17.0	18.0	18.2	17.4	17.1	—	—
700	115.2	114.9	114.0	112.7	111.9	17.1	18.2	18.3	17.5	17.2	—	—
20	117.9	117.6	116.5	115.4	114.5	17.3	18.4	18.4	17.7	17.3	—	—
40	120.6	120.3	119.2	118.1	117.1	17.5	18.6	18.5	17.8	17.3	—	—
60	123.2	122.9	121.9	120.7	119.7	17.6	18.7	18.6	17.9	17.4	—	—
80	125.8	125.6	124.5	123.3	122.4	17.7	18.8	18.7	18.0	17.5	—	—
800	128.5	128.2	127.1	125.9	125.0	17.9	19.0	18.8	18.1	17.6	—	—
20	131.1	130.8	129.6	128.5	127.6	18.0	19.1	18.9	18.2	17.7	—	—
40	133.7	133.5	132.3	131.2	130.2	129.8	18.1	19.2	19.0	18.3	17.8	17.8
60	136.4	136.1	135.0	133.8	132.8	132.5	18.2	19.3	19.1	18.4	17.9	18.0
80	139.0	138.7	137.7	136.4	135.3	135.0	18.4	19.4	19.2	18.5	17.9	18.1
900	141.7	141.4	140.3	138.9	137.9	137.7	18.6	19.5	19.3	18.6	17.9	18.3
20	144.4	144.1	142.8	141.5	140.5	140.3	18.8	19.7	19.4	18.7	18.0	18.4
40	147.0	146.7	145.4	144.1	143.1	142.9	19.0	19.9	19.5	18.8	18.2	18.5
60	149.7	149.4	147.9	146.6	145.7	145.5	19.1	20.1	19.6	18.8	18.3	18.6
80	152.3	152.1	150.5	149.2	148.3	148.0	19.3	20.3	19.7	18.9	18.4	18.7
1000	155.0	154.7	153.1	151.7	150.9	150.6	19.5	20.5	19.8	18.9	18.4	18.7

3. 反射波のエネルギー 本邦附近に發した顯著なる深發地震の際に比較的遠距離の外國觀測所に於て pP, PP 等が明瞭に觀測され、之等の走時から震源の深さを決定することは既に F. J. Scrase⁽⁶⁾ や V. C. Stechschlute⁽⁷⁾ 等によつて試みられ、之等の反射波が可なりのエネルギーを有することが實證されてゐる。深さ 70 軒以内の比較的淺い地震に於て之等の反射波が P 波に比較して觀測し得る程度のエネルギーを有するかどうか吟味して見る必要がある。今著者等は本多技師が深發地震の際の振幅の計算に用ゐられた式を借用する、即ち震源に於て鉛直と θ なる角で射出された震波が、地表の觀測點に射出角 e_0 で入射する振幅を A とする

$$A \propto \sqrt{\frac{\sin\theta}{\Delta \sin e_0 d \Delta}} \dots \dots \dots (1)$$

(1) 式中 Δ は震央距離、 $d\Delta$ は鉛直と θ の角をなし、 1° の開きをもつて射出された震波線が地表面に於て持つ幅である。勿論エネルギーは震源から總ての方向に一樣に射出されると考へ、途中でエネルギーは吸収されないものとしてある。深さ 0, 20, 40, 60 軒の P 波の場合に就て (1) 式の右項を震央距離 1,000 軒迄計算すると第 5 表の如くなる。又其の震波線の入射角をも對應して表示した。

第 5 表

$$A_P = \sqrt{\frac{\sin\theta}{\Delta \sin e_0 d \Delta}} \quad \text{入 射 角 } (i)$$

Δ KM	H=0 (km)	20	40	60	H=0 (km)	20	40	60
0	1.0000	.3589	.2089	.1352	90° 00'	0° 00'	0° 00'	0° 00'
10	0.2871	.3492	.2042	.1343	55 24	16 20	7 11	4 29
20	.1472	.2512	.1910	.1300	46 59	25 02	13 01	8 38
30	.1042	.1734	.1679	.1242	43 24	28 26	18 08	12 11
40	.0826	.1291	.1419	.1167	40 33	29 49	20 59	15 12
50	.0692	.0989	.1170	.1057	38 06	29 13	22 32	17 35
60	.0584	.0767	.0986	.0933	35 44	28 46	23 43	18 58
70	.0488	.0617	.0824	.0826	33 27	28 18	24 28	20 22
80	.0408	.0501	.0708	.0731	31 24	27 51	"/ 54	21 29
90	.0342	.0420	.0608	.0646	29 53	27 28	25 06	22 13
100	.0299	.0359	.0538	.0568	28 42	27 04	"/ 13	"/ 47
20	.0203	.0266	.0428	.0453	27 24	26 37	"/ 17	23 28
40	.0135	.0198	.0348	.0384	26 45	"/ 14	"/ 13	"/ 50
60	.0102	.0164	.0286	.0332	"/ 18	25 59	"/ 10	24 01
80	.0086	.0143	.0243	.0293	"/ 03	"/ 44	"/ 06	"/ 09

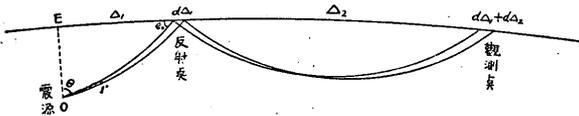
Δ_{KM}	H=0 (km)	20	40	60	H=0 (km)	20	40	60
200	.0075	.0126	.0210	.0262	25° 48'	25° 32'	25° 02'	—
20	.0069	.0112	.0184	.0235	" 32	" 21	24 54	—
40	.0063	.0100	.0163	.0212	" 21	" 13	" 51	—
60	.0058	.0090	.0145	.0190	" 13	" 06	" 43	24 05
80	.0055	.0081	.0130	.0171	" 06	24 54	" 35	—
300	.0051	.0073	.0116	.0152	24 58	" 47	" 28	—
20	.0048	.0066	.0103	.0134	" 51	" 39	" 24	23 58
40	.0044	.0060	.0091	.0117	" 43	" 32	" 17	23 54
60	.0041	.0054	.0081	.0102	" 35	" 28	" 09	23 50
80	.0038	.0048	.0071	.0090	" 28	—	—	—
400	.0035	.0043	.0063	.0080	" 20	24 13	24 01	23 46
20	.0033	.0038	.0056	.0070	—	—	—	—
40	.0030	.0034	.0050	.0063	—	—	—	—
60	.0028	.0031	.0044	.0056	—	—	—	—
80	.0026	.0028	.0040	.0051	—	—	—	—
500	.0024	.0026	.0036	.0046	23 50	23 46	23 43	23 41
20	.0023	.0025	.0034	.0042	—	—	—	—
40	.0022	.0024	.0032	.0039	—	—	—	—
60	.0021	.0023	.0030	.0037	—	—	—	—
80	.0020	.0022	.0028	.0035	—	—	—	—
600	.0019	.0021	.0027	.0033	23 43	23 43	23 41	23 39
20	.0038	.0020	.0026	.0032	—	—	—	—
40	.0013	.0019	.0025	.0030	—	—	—	—
60	.0017	.0018	.0024	.0029	—	—	—	—
80	.0016	.0018	.0023	.0028	—	—	—	—
700	.0016	.0017	.0023	.0027	23 39	23 39	23 39	23 35
20	.0015	.0017	.0022	.0027	—	—	—	—
40	.0015	.0017	.0021	.0026	—	—	—	—
60	.0015	.0016	.0021	.0025	—	—	—	—
80	.0014	.0016	.0020	.0025	—	—	—	—
800	.0014	.0015	.0020	.0024	23 35	23 35	23 35	23 31
20	.0014	.0015	.0019	.0024	—	—	—	—
40	.0014	.0015	.0019	.0023	—	—	—	—
60	.0013	.0015	.0018	.0023	—	—	—	—
80	.0013	.0014	.0018	.0022	—	—	—	—
900	.0013	.0014	.0018	.0022	23 31	23 31	23 28	23 28
20	.0012	.0014	.0017	.0022	—	—	—	—
40	.0012	.0014	.0017	.0021	—	—	—	—
60	.0012	.0013	.0017	.0021	—	—	—	—
80	.0012	.0013	.0016	.0021	—	—	—	—
1000	.0012	.0013	.0016	.0020	23 28	23 28	23 24	23 20

反射波の場合には震央距離 Δ_1 なる地點に A なる振幅を持って入射した波が反射後 A_1 なる振幅をもち (P 波の振幅に就て) 震央距離 $\Delta_1 + \Delta_2$ なる観測所に達して A_2 なる振幅を持つとする, 入射 P 波と反射 P 波との比 A_1/A は Gutenberg の表に依る値を用ひ A_1 を求められる, A_1 と A_2 との関係は

$$A_2 \propto A_1 \sqrt{\frac{\Delta_1 d\Delta_1}{(\Delta_1 + \Delta_2)(d\Delta_1 + d\Delta_2)}} \dots \dots \dots (2)$$

となる。(2) 式中 $d\Delta_1$ は震源に於て 1° の開きをもつて射出された震波線が地表反射點に於て持つ幅で, $d\Delta_1 + d\Delta_2$ は観測點に於て持つ幅である。

第 4 圖



第7表 反射縦波と入射縦波の振幅の比 (B. Gutenberg に依る)

i	A_1/A	i	A_1/A
0°	1.0000	50°	0.2551
5	0.9894	55	0.1701
10	0.9579	60	0.1039
15	0.9071	65	0.06279
20	0.8387	70	0.05634
25	0.7554	75	0.10300
30	0.6612	80	0.2248
35	0.5594	85	0.4837
40	0.4545	90	1.0000
45	0.3513	—	—

かくして求めた各震央距離に於ける pP, PP 波の振幅及び夫々の P 波との振幅の比を表示すると第6表の如くなる, 之を各深さ別に圖示すると第5圖—第8圖の如くなる。即ち震源の深さ零の場合には概して PP 波は P 波より小さいが, 深さ 20, 40 及び 60 籽の場合では反射波は一般に P 波より大きく, 特に震央距離の小さい處で非常に大きく, 比の最大値は震源の深さ 20 籽では 1.7, 40 籽では 1.9, 60 籽では 3.0 倍を示す, 震央距離が増大するに従つて反射波の振幅は割合に急に減少して P 波の振幅に近づき, 1,000 籽附近では P 波の振幅と同程度或は之より小さくなるものもある。pP, PP 波相互間の振幅を比較すると最初は pP 波の方が

大きいと震央距離が増すに従つて急激に減少し, PP 波は割合に緩かに減少する。従つて近距離では pP が明瞭に観測出来るが遠距離では pP 波よりも PP 波の方が明瞭に観測される。勿論之等は前述した様な入射, 反射の関係が適應されると考へた簡単な近似的計算である。又嚴密には徑路の相違によるエネルギーの吸収率の差異を考へねばならぬが, 以上の計算で大體の目安にはなると思ふ。

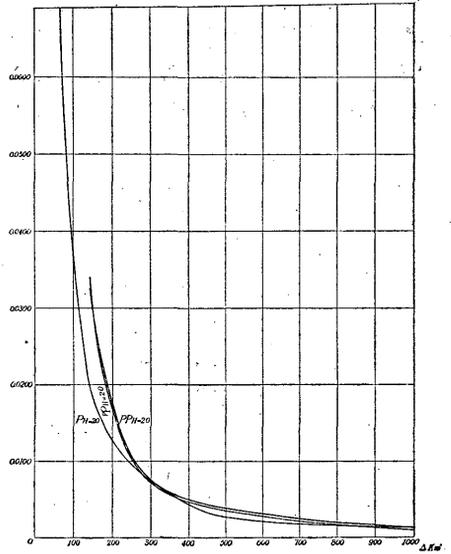
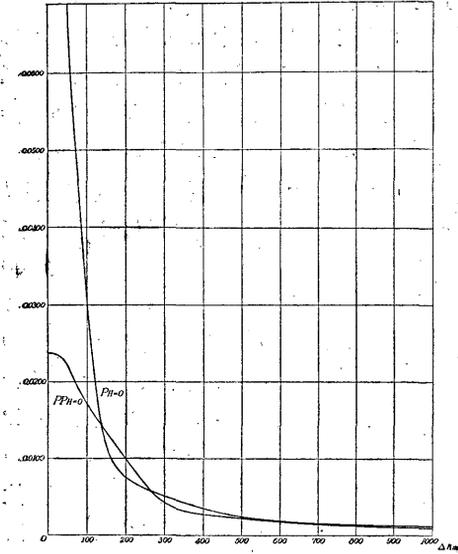
第 6 表

Δ_{KM}	A_{pP}			$\frac{A_{pP}}{A_p}$				A_{pP}			$\frac{A_{pP}}{A_p}$			
	H=20 (km)	H=40	H=60	H=20	H=40	H=60	H=0	H=20	H=40	H=60	H=0	H=20	H=40	H=60
80	—	—	—	—	—	—	0.0188	—	—	—	0.5	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	.0170	—	—	—	0.6	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	.0155	—	—	—	0.8	—	—	—
40	0.0340	—	—	1.7	—	—	.0141	—	—	—	1.0	—	—	—
60	.0248	—	—	1.5	—	—	.0126	.0257	—	—	1.2	1.6	—	—
80	.0201	—	—	1.4	—	—	.0112	.0209	—	—	1.3	1.5	—	—
200	.0163	—	—	1.3	—	—	.0099	.0170	—	—	1.3	1.4	—	—
20	.0134	—	—	1.2	—	—	.0085	.0140	—	—	1.2	1.3	—	—
40	.0110	—	—	1.1	—	—	.0072	.0115	—	—	1.1	1.2	—	—
60	.0093	—	—	1.0	—	—	.0061	.0097	—	—	1.0	1.1	—	—
80	.0081	—	—	1.0	—	—	.0050	.0084	—	—	0.9	1.0	—	—
300	.0071	—	—	1.0	—	—	.0043	.0074	—	—	0.8	1.0	—	—
20	.0064	—	—	1.0	—	—	.0037	.0067	—	—	0.8	1.0	—	—
40	.0058	.0151	—	1.0	1.7	—	.0033	.0061	.0144	—	0.7	1.0	1.6	—
60	.0054	.0132	—	1.0	1.6	—	.0031	.0057	.0130	—	0.8	1.1	1.6	—
80	.0050	.0117	—	1.0	1.6	—	.0029	.0053	.0118	—	0.8	1.1	1.7	—
400	.0047	.0104	—	1.1	1.6	—	.0028	.0050	.0109	—	0.8	1.2	1.7	—
20	.0044	.0094	—	1.2	1.7	—	.0026	.0047	.0101	—	0.8	1.2	1.8	—
40	.0041	.0085	—	1.2	1.7	—	.0025	.0044	.0093	—	0.8	1.3	1.9	—
60	.0039	.0078	—	1.3	1.8	—	.0024	.0042	.0086	—	0.9	1.4	2.0	—
80	.0037	.0072	—	1.3	1.8	—	.0023	.0040	.0080	—	0.9	1.4	2.0	—
500	.0035	.0067	—	1.3	1.9	—	.0022	.0038	.0075	—	0.9	1.5	2.1	—
20	.0033	.0062	—	1.3	1.8	—	.0021	.0037	.0070	—	0.9	1.5	2.1	—
40	.0032	.0058	—	1.3	1.8	—	.0020	.0035	.0095	—	0.9	1.5	2.0	—
60	.0030	.0055	—	1.3	1.8	—	.0020	.0034	.0061	—	1.0	1.5	2.0	—
80	.0029	.0052	—	1.3	1.9	—	.0019	.0032	.0058	—	1.0	1.5	2.1	—
600	.0028	.0049	—	1.3	1.8	—	.0018	.0031	.0055	—	1.0	1.5	2.0	—
20	.0026	.0046	0.0097	1.3	1.8	3.0	.0017	.0030	.0052	0.0094	0.9	1.5	2.0	2.9
40	.0025	.0044	.0075	1.3	1.8	2.5	.0017	.0028	.0050	.0085	0.9	1.5	2.0	2.8
60	.0024	.0041	.0066	1.3	1.7	2.3	.0016	.0027	.0047	.0078	0.9	1.5	2.0	2.7
80	.0023	.0039	.0059	1.3	1.7	2.1	.0015	.0026	.0045	.0072	0.9	1.4	2.0	2.6
700	.0021	.0037	.0053	1.2	1.6	2.0	.0015	.0025	.0043	.0066	0.9	1.5	1.9	2.4
20	.0020	.0035	.0048	1.2	1.6	1.8	.0014	.0024	.0040	.0062	0.9	1.4	1.8	2.3
40	.0019	.0033	.0045	1.1	1.6	1.7	.0014	.0023	.0038	.0057	0.9	1.4	1.8	2.2
60	.0018	.0031	.0041	1.1	1.5	1.6	.0013	.0022	.0036	.0053	0.9	1.4	1.7	2.1
80	.0017	.0029	.0039	1.1	1.4	1.5	.0013	.0021	.0034	.0049	0.9	1.3	1.7	2.0
800	.0016	.0027	.0036	1.1	1.4	1.5	.0013	.0020	.0032	.0046	0.9	1.3	1.6	1.9
20	.0015	.0026	.0034	1.0	1.4	1.4	.0012	.0019	.0030	.0043	0.9	1.3	1.6	1.8
40	.0015	.0024	.0032	1.0	1.3	1.4	.0012	.0018	.0028	.0040	0.9	1.2	1.5	1.7
60	.0014	.0023	.0030	1.0	1.3	1.3	.0012	.0017	.0027	.0037	0.9	1.1	1.5	1.6
80	.0013	.0022	.0028	0.9	1.2	1.3	.0011	.0017	.0026	.0035	0.8	1.2	1.4	1.6
900	.0013	.0021	.0027	0.9	1.2	1.2	.0011	.0016	.0024	.0033	0.8	1.1	1.3	1.5
20	.0012	.0020	.0026	0.9	1.2	1.2	.0011	.0015	.0023	.0031	0.9	1.1	1.4	1.4
40	.0012	.0019	.0025	0.9	1.1	1.2	.0010	.0014	.0022	.0030	0.8	1.0	1.3	1.4
60	.0011	.0018	.0024	0.9	1.1	1.1	.0010	.0014	.0021	.0029	0.8	1.1	1.2	1.4
80	.0010	.0017	.0023	0.8	1.1	1.1	.0010	.0013	.0020	.0028	0.8	1.0	1.2	1.3
1000	.0010	.0015	.0022	0.8	0.9	1.1	.0009	.0013	.0019	.0027	0.8	1.0	1.2	1.3

P, pP, PP 波の振幅(震源から 1 の振幅で射出された場合)

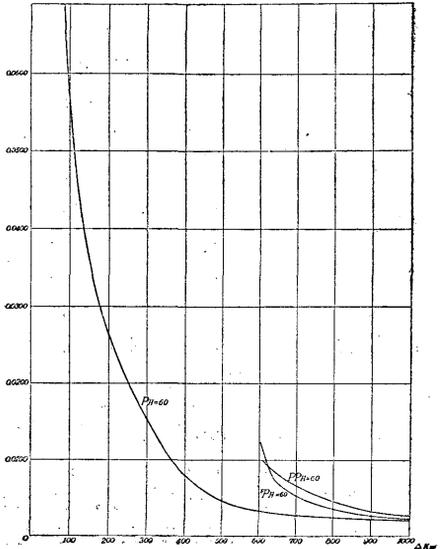
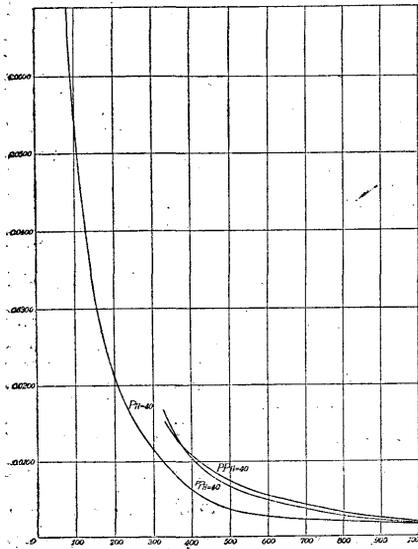
第 5 圖 H=0 軒

第 6 圖 H=20 軒



第 7 圖 H=40 軒

第 8 圖 H=60 軒



4. 反射波の驗測

a) 昭和8年7月29日の紀伊水道の地震 此の地震の震央は和歌山縣由良町附近(東經 135.1°, 北緯 34.0°)であつて既に棚橋氏の報文にもある如く變位相が P 相中に明瞭に現はれて居る(54 頁挿圖参照), 今此の相を P_R なる記號を以つて示し, P 相との走時差を讀取り表示すれば次の第8表の如くなる。表中 $P_R - P$ は即ちそれであるが, 此の P_R 即ち pP 或は PP と思惟せられる相は震央距離 130 籽位迄は現出せず 150 籽邊から現はれて居り, 220 籽前後の松山, 岐阜, 名古屋等に於いて特に著しい。

第8表 昭和8年7月29日紀伊水道地震の觀測表

觀測所	發震時 <i>h m s</i>	初 動			$P_R - P$ <i>s</i>	S-P <i>s</i>	Δ <i>km</i>
		μ	μ	μ			
和歌山*	1 43 30.5	+156	0	+70	—	4.3	31
洲本*	31.4	+4.1	-4.4	+3	—	6.1	49
大阪支臺	35.8	—	—	—	—	10.6	85
徳島	38	-14	+248	—	—	7.2	51
岡山	38.1	—	—	—	—	—	—
潮岬*	38.4	+22	-14	-51	—	10.9	84
神戸*	38.5	+50	+3	+37	—	10.5	82
八木	40.8	+10	-7	—	—	9.3	90
室戸	44.3	—	—	—	—	14.5	114
京都*	46.5	+19	13+	+14	—	13.6	131
高知*	48.6	(ENE)?	D?	D?	1.3	—	150
龜山*	49.3	N	E	+3	4.8	—	160
津	49.6	—	—	—	—	—	—
多度津	51	-14	+33	—	—	—	—
宮津	51.7	—	—	—	—	—	174
豊岡*	51.8	+62	—	+5	2.1	—	177
新居濱	52.2	—	—	—	—	—	—
彦根*	52.7	+6.9	+4.6	-5.7?	2.6	—	180
伊吹山	54.7	—	—	—	—	—	—
松山*	54.7	—	—	—	3.2	—	213
岐阜*	56.7	N	E	U	4.0	—	223
名古屋*	57.5	N	E	U	3.7	—	214
濱田*	44 08.1	—	—	—	—	—	—

表中 P_R は P 相中に現出せる變位相にして反射波 pP 或は PP と思惟せられるものである。

名古屋及岐阜の P_R は *s, u, d*, 濱田のは *u*.

* 印は地震記象原紙又は其の複寫を著者等自身で驗測せるものである。

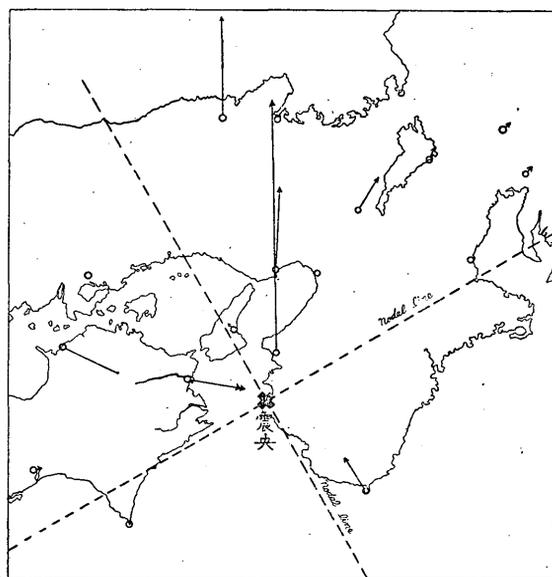
扱此の事實を第1表に照して見るに反射波が震央距離 150 籽邊から現はれることは震源の深さは 20 籽位であることが考へられる。又 $P_R - P$ の値は多小不規則の觀があるが此の變位相の最も明かに現はれた岐阜, 松山, 及び名古屋の平均値 3.6 秒を取つて 220 籽に於ける $T_{pP} - T_P$ の値として, 同じく第1表に照せば, 震源の深さは約 10 籽となる。尙岐阜等に於ける變位相が極めて顯著なることを考へて見るに震源の深さが約 20 籽とすれば反射波 pP, PP, pPP

及び PPP の四相が僅か 5 秒の間に相次いで現はれ, 而かも之等の震波のエネルギーは第6表に見る。

に何れも P 波よりも大きいことに注意すれば此の顯著なる變位相は説明される。此の見地より該地震の震源の深さは約 15 軒と概算する。而して此の値は P 波の走時曲線を描いて和達氏等の表と比較して求めるも、又初期微動時間より求めるも大體同様得られる。

地表面反射波の位相 について考へるに先づ第 8 表より初動分布圖を作れば第 9 圖の如くなり、4 象限に區劃され西北西—東南東の方向に壓力が作用し、北々東—南々

第 9 圖 昭和 8 年 7 月 29 日紀伊水道地震



西の方向に張力が作用したことを示して居る。此の圖に見るが如く岐阜、名古屋等では其の初動は震央に對して反對の方向を取つて居るが、變位相の初動は P 波の初動とは反對の向きになつてゐる。但し此の變位相は P 波による振動中に現出するもの故確實なる讀取りは中々出來ないが、該地震のみならず以下述べる幾つかの地震に於いても變位相の初動と P 相の初動とは相反する傾向が見受けられる。此の事柄を考へて見るに地表面反射は自由端に於ける反射と考へられ、エネ

ルギーは全部反射する。此の反射に際して縦波にありては、所謂押し波は引き波として反射される。此の事は上述の驗測結果と一致する。然しながら時として同方向に讀取れるものもあるが兎も角も振動中に現はれるものなれば之を決定するには今後のよい材料に依らなければならない。又此の事は射出角が大なる場合は上述の如く考へられるが小なる時は更に考究を要する問題である。

扱以上述べた事項を反省して見るに變位相が地表面反射波であると考へる事は妥當であらう。更に多くの例を次に列擧する。

b) 昭和 8 年 10 月 4 日新潟縣中部強震⁽¹¹⁾ 等 P 線或は等 P-S 線から求めたこの地震の震央は東經 138°52', 北緯 37°17' 新潟縣十日町の北々東約 10 軒の地點に當る。各觀測所に於て觀測された初動方向圖は氣象要覽(昭和 8 年 10 月)所載の如くである、即ち節線の交點を中心として北西、南東部分では疎波、他の二部分では密波で震源に於て北西上、南東下即ち北西—南東方向の稍傾いた壓力が作用したものと考へられ

る。走時曲線其の他から決定した震源の深さは正確には求められないが約 30 軒⁽¹²⁾内外となる。今之の地震に就て反射波を記象紙上で驗測して見ると、震央距離 300 軒以内では殆ど觀測されないが、震央距離 300—400 軒の間にある御前崎、岐阜、盛岡、龜山、京都等の觀測所で稍明瞭に觀測された、震央距離 400 軒以上の觀測所では記象全體が小さく觀測出来ない。第 9 表中 P-i は P 相發現後最初に現れた相迄の間隔を示す、

第 9 表 新潟縣中部強震驗測表

觀測所	實 測 値				計 算 値					
	發 震 時			ΔKM	H=20 ^{KM}		H=30 ^{KM}			
	^μ	^m	^s		P-pP	P-PP	P-pP	P-PP		
御前崎	3	39	41.0	5.5	37.5	304	5.4	7.5	6.9	7.3
岐 阜		33.6		5.6	41.6	309	5.4	7.7	7.0	7.4
盛 岡		41.2		6.2	46.4	336	5.5	8.0	7.1	7.6
龜 山		46.9		5.7	40.0	347	5.6	8.1	7.1	7.7
京 都		53.1		5.7	49.4	376	5.6	8.3	7.2	8.0

震源の深さ 20 軒及び 30 軒の各震央距離に相當する第 1 表、及び第 2 表中の P-pP, P-PP の計算値と比較すると、實測値は大體兩者の中間

にあり、H=20 軒の P-pP と略一致する、併し計算値によると反射波は深さ 20 軒の場合には震央距離 150 軒から、深さ 30 軒の場合には 230 軒、深さ 40 軒の場合には 320 軒から發現すべきである。實測に於て反射波が震央距離 300 軒以内で驗測されないことから實測の誤差等を考慮すると震源の深さは約 30 軒と推定される。

e) 昭和 6 年 6 月 11 日⁽¹³⁾ 道志川地震 震央の位置は兩者共北緯 35°30'、東經 138°54'、山梨縣道志川流域に當る。走時曲線其の他から推定した震源の深さは夫々 27 軒(6 月)、35 軒(9 月)と求められてゐる。

第 10 表 道志川地震驗測表

觀測所	ΔKM	實 測 値				計 算 値			
		6 月 11 日		9 月 16 日		H=20 ^{KM}		H=30 ^{KM}	
		P-S	P-i	P-S	P-i	P-pP	P-PP	P-pP	P-PP
彦 根	242	32.4	6.9	29.0	6.6	5.1	6.6	6.5	6.5
八 丈 島	277	31.3	(7.0)	30.6	(6.4)	5.3	7.3	6.8	7.0
輪 島	278	32.5	(7.0)	33.5	(6.5)	5.3	7.3	6.8	7.0
福 島	286	33.0	—	37.6	6.5	5.4	7.4	6.8	7.1
京 都	302	39.0	7.0	40.3	6.6	5.4	7.5	6.9	7.3
大 阪	329	44.5	7.1	41.2	7.5	5.5	7.9	7.1	7.6
仙 臺	353	46.5	7.3	46.5	7.7	5.6	8.1	7.1	7.7
神 戸	357	51.8	7.9	51.6	7.8	5.6	8.2	7.1	7.9
洲 本	390	52.5	—	50.7	7.5	5.6	8.4	7.2	8.1
潮 岬	459	45.9	8.8	48.0	(8.0)	5.7	9.1	7.2	8.5
秋 田	480	72.1	(8.7)	73.0	8.5	5.7	9.2	7.2	8.7

今之等の地震の記象紙に就き反射波を驗測して計算値と比較して見ると第 10 表の如くなる。表中 P-S は前報文に發表してあるものをそのまま用ひてある、P-i は P 波と反射波發現時との間隔であ

る。記象紙に依つて見ると震央距離 230~40 軒以内では反射波は驗測されず、300 軒内外で pP 波が最も顯著に現れ、400 軒以上では pP 波は次第に減衰して、寧ろ PP 波が稍明瞭に現れてゐる(54 頁圖参照)。深さ 20 軒及び 30 軒の場合の pP, PP 波の計算値と比較して見ると兩者共深さ 30 軒のものと同く一致してゐることがわかる。即ち震源の深さは兩者共約 30 軒と推定され走時曲線其の他から求めた深さと大體一致する。

d) 昭和 4 年 7 月 27 日相模強震⁽¹⁴⁾ 隼田氏の調査に依る之の地震の震央は東經 139°5', 北緯 35°30' 相模, 甲斐國境大群山の南麓に當り, 震源の深さは 23 軒と算出

第 11 表 昭和 4 年 7 月 27 日相模強震驗測表

觀測所	Δ_{KM}	實測値		計 算 値					
		P-S	P-i	H=10 ^{KM}		H=20 ^{KM}		H=30 ^{NK}	
				P-pP	PP	P-pP	P-pP	P-pP	P-pP
名古屋	202	23.3	2.6	3.4	5.6	4.9	5.7	—	—
岐阜	211	—	3.3	3.5	5.8	4.9	5.9	—	—
福島	277	32.0	7.2	3.7	7.0	5.3	7.3	6.8	7.0
京都	308	34.9	7.2	3.7	7.5	5.4	7.7	7.0	7.4
大阪	343	—	7.7	3.8	7.9	5.5	8.0	7.1	7.6
仙臺	344	33.6	7.1	3.8	7.9	5.5	8.0	7.1	7.6
神戸	366	41.7	10.1	3.8	8.3	5.6	8.2	7.2	7.9
和歌山	384	39.4	8.5	3.8	8.4	5.6	8.3	7.2	8.0
豊岡	385	38.9	10.5	3.8	8.6	5.6	8.4	7.2	8.1
洲本	403	42.7	13.9	3.8	8.7	5.6	8.5	7.2	8.1
徳島	441	46.0	11.4	3.8	9.2	5.7	8.9	7.2	8.3
境	528	55.1	12.8	3.9	9.6	5.8	9.3	7.2	8.7

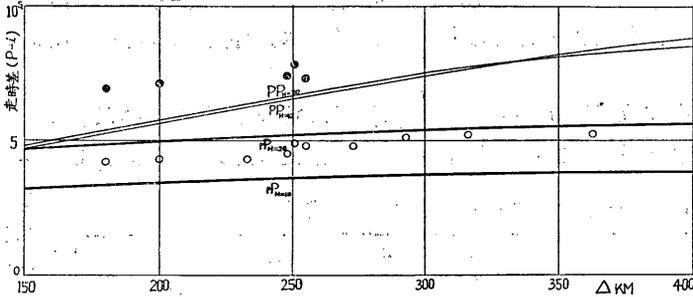
されてゐる。第11表中 p-i は同氏が P-P, 即ちモホロビチツク層の存在を假定した兩種の縦波の間隔であつて、今著者等は之を pP 或は PP 相と考へて深さ 10 軒, 20 軒及び 30 軒の場合の走時と比較した。可なり

の差はあるが大體深さ 20 軒乃至 30 軒の場合と比較的一致し、福島、京都、大阪、仙臺等の實測値は 30 軒の pP 波と合致してゐる。又この波が震央距離 200 軒以上の觀測所で觀測され、又 P 波と P 波の走時曲線の交點即ち轉向圓の交點の震央距離を 165 軒と求められてゐる、之を反射波の場合に當てはめると pP 波は深さ 20 軒では 142 軒、深さ 30 軒では 223 軒から發現すべきである。従つて反射波と考へても大體震源の深さは 20-30 軒のものと同一致し、同氏の定めた深さ 23 軒とも矛盾しないことになる。

著者等は必ずしもモホロビチツク層の存在を否定するものではないが従來 P として驗測されてゐたものの中には pP 或は PP 波の走時と一致するものが多い、又エネルギーや P 波, pP, PP 波相互の位相の關係等から考へても反射波と考へた方が都合よく説明される、従つて pP, PP 波以後に現れる各相に就ても SP, PS, 或は SS 等で説明されると思ふ。

e) 昭和8年(16) 9月21日能登強震 震央は東經 136°58', 北緯 37°4', 石川縣七尾灣南部の石崎沖に當る。走時曲線其他から決定した震源の深さは極めて浅いと考へられる。各観測

第 10 圖 能登強震 P 波と反射波の走時差 (各點は實測値)



第 12 表 昭和8年9月21日能登強震観測表

観測所	ΔKM	實 測 値				計算値
		P-S	P-i ₁	P-i ₂	Ai/AP	
岐 阜	180	21.5	4.2	6.9	2.3	1.4
前 橋	200	25.0	4.4	7.1	2.4	1.3
船 津	233	24.8	4.3	—	2.1	1.1
龜 山	248	33.6	4.5	7.4	2.0	1.1
京 都	251	33.4	4.9	7.8	1.2	1.1
豊 岡	255	33.6	4.8	7.3	2.9	1.0
三 島	273	30.6	4.8	—	2.4	1.0
御 前 崎	293	41.1	5.1	—	—	1.0
福 島	316	36.1	5.2	—	1.8	1.0
仙 臺	363	47.0	5.2	—	—	1.0

所の記象紙に就て P 相發現後最初に現れてゐる相を i_1 其の次の稍明瞭な相を i_2 とし P との走時差の實測値を第 12 表に示す。之を深さ 10 軒及び 20 軒の pP, PP の計算値と比較圖示すると第 10 圖の如くなる、即ち i_1 相は何れも深さ 10 軒及び 20 軒の pP の中間にあり、 i_2 相の中には之等の PP 波と一致するものもある。即ち pP 波から推定される震源の深さは約 15-17 軒位となる。

次に P 相發現後 pP 波が現れる迄の P 波の全振幅と大體の pP 波の全振幅との比を驗測し計算値と比較すると第 12 表中の最後二行の如くなる。即ち實測側の方が計算値よりも一般に大きい値を示してゐる。

f) 昭和6年3月9日馬淵川河口沖の地震 此の地震はその震央を馬淵川河口東微南約 130 軒(東經 143.70, 北緯 40.2°)の沖合に有し、八戸附近に多少の被害を伴つた著しい地震であつた。此の震央の位置は主として等發震時線に依つて決定したものであつて、初動方向及び初期微動時間等は補助として用ひた。此の地震記象紙には變位相が非常に明瞭に現れて居る、今著者等が讀取つた値を次の第 13 表に示す。

此の表に依れば 160 軒邊より變位相が現はれ其の値は震央距離に無關係に大體 7 秒である。之を第 1 表に照して見るに其の走時差は pP 波に依るものと見ることが出來

第 13 表

観測所	發震時	初動			Pr-P	Δ
		N	E	Z		
盛岡	12 49 14.2	S 74° W +11.7			6.6	160
宮古	15	-60 ^μ	-120 ^μ	—	—	110
青森	20	-6	-12	—	5.0	190
浦河	20.5	—			6.0	200
石巻	23.7	—			7.0	240
秋田	28.4	—			8.0	250
仙臺	29.6	-6	-7	+7	7.0	280
根室	29.6	—			7.5	390
釧路	34.0	—			6.9	330
札幌	36.0	—			7.0	340
銚子	50 02.1	—			8.0	530

表距離 1000 軒迄算出し、之等と P 波との走時差をも合せて表示した (第 1-4 表)。又是等の地表面反射波と P 波との振幅の比をも概算して表示した (第 5, 6 表)。此の二つの表から直ちに見られる事で注意すべきことは次の事項である。

(i) 或範圍では地表面反射波の振幅は震源から直接來るものよりも大きい。

(ii) 地表面反射波は震源が浅い程、震央距離の小なる所から現出して居る (第 1-4 表)。此處に注意すべきはモホロビチツク層の假設では其の層内に於いて震源が深い程、所謂 P 相の現出が早い、即ち震央距離の小なる所に現はるべきである。然るに實際に於いては震源が浅い程、變位相は震央距離の小なる所から現出して居る (第 4 節参照)。

次に實際の地震記象から變位相を驗出し、上記の表に照して吟味した結果次の結論を得た。

(iii) 通常の深さの近地地震につき屢 P 相中の初めの部分に現はれる變位相は P 波の地表面反射波に依るものであつて、從來 P 波として説明されてゐた變位相は P 波又は PP 等として極めて合理的に説明出來た (S 波及び變轉波についても同様の事は類推出來るが何れ改めて詳報する)。

(iv) 既に報告された伊東強震及び北伊豆烈震から求められた P 波の速度及び本多技師の數量的に實證された震央距離に對して初動の振幅が連続的に減小することと上述の結果即ち變位相が地表面反射によりて説明出來る事から、我が國に於いては從來提唱されて居るやうな觀念の所謂モホロビチツク層は存在しないと考へられる。

(v) 地表面反射波の應用として、深發性の遠地地震に於けると同様に通常の深さの近地地震の震源の深さを簡単に求める事が出來る、而かも震央の位置が稍不確定の場合でも其の震源の深さを割合に正確に求める事が出來る。

る。故に震源の深さは大約 30 軒と推定される。又他方に於いて氣象要覽に依りて上述の震央に對する走時曲線を描き、之を和達氏等の走時表と比較して震源の深さを求むれば約 40 軒位となつて、Pr-P から求めたものと大體一致する。

5. 結論 著者等は震源の深さ 70 軒以下の地震につき地表面反射波 pP, PP, PPP 及び PPP の走時表を震源の深さ 10 軒毎に、震

終りに臨んで本論文に種々懇篤なる注意を下さつた本多技師に御禮申上げる。

(昭和9年9月)

引用文献

- (1) 本多弘吉; 驗震時報第五卷第一號 (2) 鷺坂清信; 同 (3) 本多弘吉; 氣象集誌第二輯第九卷第七號 (4) K. Wadati; Geophy. Mag. Vol. VII p. 269 (1933) (5) B. Gutenberg; Handbuch der Geophysik Bd. IV P. 192. (6) F. J. Scrace; Proc. Roy. Soc., A, 132, p. 213 (1931) (7) V. C. Stechschulte; Eul. Seis. Soc. America. Vol. 22 No. 2 (1932) (8) 和達, 鷺坂, 益田; 氣象集誌第二輯第十卷第八號 (9) H. Honda; Geophy. Mag. Vol. V, No. 4. (10) B. Gutenberg; Handbuch der Geophysik Bd. IV, P. 48. (11) 本地震は花澤正男, 星爲藏兩氏が調査されたものであるが未發表である。(12) 花澤, 星, 兩氏は約50 軒と推定して居る。(13) 竹花, 平山, 矢木; 驗震時報第六卷第一號 (14) 隼田公地; 驗震時報第四卷第一號 (15) 棚橋嘉市; 海と空第十四卷第六號 (16) 能登強震調査報告, 驗震時報第七卷第三號