

# 震 源 (第5報)

強制力が作用する場合

高 木 聖\*

## § 1 序

私は先に爆発震源から発生すべき波動を計算した。それ等は既に誌上に発表しており、震源に振動力が働くとして概算したものは、震源第2報として驗震時報第14巻及び海と空第27巻に、又震源に静圧力が働くとして様子をみたものは、震源第3報として、驗震時報第16巻及び海と空第28巻に発表した。しかしこれ等はいづれも地震現象とは程遠いものであつて、たゞ参考までに求めたと言うに過ぎないものであつた。そこで震源に衝撃力が働くとして、大地球震現象にかなり近いものを、震源第4報として、驗震時報第17巻海と空第28巻に発表した。これで震源から発生する波動の大体の様子は知る事が出来た。しかしこの計算から求まるものは、震源球の固有振動のようなものであつて、力の作用の仕方の時間的なものに対する様子は全然不明であつた。そこでこゝには種々の強制力に対する波動の形を求める事にした。

## § 2 數學的實驗

震源球面上に於ける力の分布は、全く前記三論文の場合と同一である。即ち震源球の中心を球座標の原点に取り、震源球の半径を  $a$  として、

$r=a$  に於て、

$$\widehat{r}r = -F(\theta, \varphi, t), \quad \widehat{r}\theta = 0, \quad \widehat{r}\varphi = 0 \quad (1)$$

こゝに  $F$  は作用する力であつて、球函数に展開すれば、

$$F(\theta, \varphi, t) = f \sum_{m=0}^{\infty} \left\{ A_{0,m} P_m(\cos \theta) + \sum_{n=1}^m (A_{n,m} \cos n\varphi + B_{n,m} \sin n\varphi) P_m^n(\cos \theta) f(t) \right\} \quad (2)$$

である。こゝに  $f$  は力の大きさを示す常数であり、

$$\left\{ \begin{aligned} A_{0,m} &= \frac{2m+1}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{-1}^1 F(\sigma, \varphi) P_m(\sigma) d\sigma \end{aligned} \right. \quad (3)$$

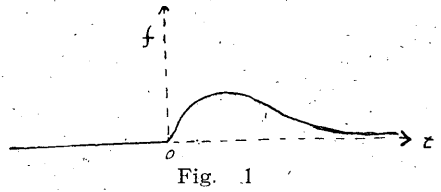
$$\left\{ \begin{aligned} A_{n,m} &= \frac{2m+1}{2\pi} \frac{(m-n)!}{(m+n)!} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{-1}^1 F(\sigma, \varphi) \cos n\varphi P_m^n(\sigma) d\sigma \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{aligned} B_{n,m} &= \frac{2m+1}{2\pi} \frac{(m-n)!}{(m+n)!} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{-1}^1 F(\sigma, \varphi) \sin n\varphi P_m^n(\sigma) d\sigma \end{aligned} \right. \quad (5)$$

\*中央气象台研修所

であり、 $f(t)$  が問題の時間的作用の仕方を示す項である。これを第1図の様な形におけば、それは数学的に次の様に表現される。即ち

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ at e^{-at} & t \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$



これは又数学的に取扱い易い様に、Fourier 積分で表現され、

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{a}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} dp \int_0^{\infty} \tau e^{-a\tau} e^{i p \tau} e^{i p t} d\tau \\ &= \frac{a}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{i p t}}{(a + i p)^2} dp \end{aligned} \quad (7)$$

となる。力をこの形においたのは、 $a$  が小さいとすれば、非常にゆつくりと永い間作用する事を示し、 $a$  が大きいとすれば、急激に作用して早く作用がやむ形の力となる。しかしどつちにしても、その作用する期間を通じての最大の力の大きさは変らない。

即ちどちらにしても最大の大きさは、

$$F_{max} = e^{-1} \quad (8)$$

である。

又 (3), (4), (5) の  $F(\sigma, \varphi)$  は前記三論文と全く同じく、

第2図Aの場合は

$$F(\sigma, \varphi) = \begin{cases} f_A & 1 \geq \sigma \geq 1 - \varepsilon \\ 0 & 1 - \varepsilon > \sigma \geq -1 \end{cases} \quad (9)$$

第2図Bの場合は

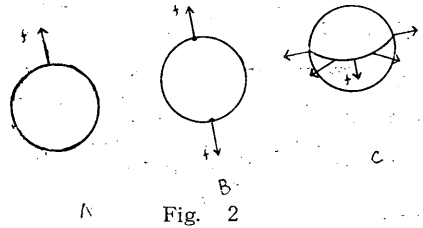
$$F(\sigma, \varphi) = \begin{cases} f_B & 1 \geq \sigma \geq 1 - \varepsilon \\ 0 & 1 - \varepsilon > \sigma > -(1 - \varepsilon) \\ f_B & -(1 - \varepsilon) \geq \sigma \geq -1 \end{cases} \quad (10)$$

第2図Cの場合は

$$F(\sigma, \varphi) = \begin{cases} 0 & 1 \geq \sigma > \varepsilon \\ f_C & \varepsilon \geq \sigma \geq -\varepsilon \\ 0 & -\varepsilon > \sigma \geq -1 \end{cases} \quad (11)$$

である。こゝに  $\varepsilon$  は非常に小さい量とする。

これ等を考慮して、(3)~(5) を計算すると



$$\begin{cases} A_{0,m} = \frac{2m+1}{2} \int_{-1}^1 F(\sigma) P_m(\sigma) d\sigma = \frac{2m+1}{2} f W_m & (12) \\ A_{n,m} = 0 & (13) \\ B_{n,m} = 0 & (14) \end{cases}$$

となる。こゝに

$$W_m = \begin{cases} \text{第2図Aの場合} & W_{A,m} = \int_{1-\varepsilon}^1 P_m(\sigma) d\sigma \doteq \varepsilon & (15) \\ \text{第2図Bの場合} & W_{B,m} = \int_{1-\varepsilon}^1 P_m(\sigma) d\sigma + \int_{-1}^{-(1-\varepsilon)} P_m(\sigma) d\sigma = 2 \int_{1-\varepsilon}^1 P_m(\sigma) d\sigma \begin{cases} \doteq 2\varepsilon & m: \text{偶数} \\ = 0 & m: \text{奇数} \end{cases} & (16) \\ \text{第2図Cの場合} & W_{C,m} = \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} P_m(\sigma) d\sigma = 2 \int_0^{\varepsilon} P_m(\sigma) d\sigma \begin{cases} \doteq 2(-1)^{\frac{m}{2}} \frac{m!}{2^m \left(\frac{m}{2}!\right)^2} \varepsilon & m: \text{偶数} \\ = 0 & m: \text{奇数} \end{cases} & (17) \end{cases}$$

である。

よつて (2) は

$$F(\theta, \varphi, t) = \sum_{m=0}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\alpha}{2\pi} f \varepsilon W_m' P_m(\cos \theta) \frac{e^{i\nu t}}{(\alpha + i p)^2} d p \quad (18)$$

と整理出来る。

こゝに

$$W_m' = \begin{cases} \frac{2m+1}{2} & \text{第2図Aの場合} & (19) \\ \begin{cases} 2m+1 & m: \text{偶数} \\ 0 & m: \text{奇数} \end{cases} & \text{第2図Bの場合} & (20) \\ \begin{cases} (-1)^{\frac{m}{2}} (2m+1) \frac{m!}{2^m \left(\frac{m}{2}!\right)^2} & m: \text{偶数} \\ 0 & m: \text{奇数} \end{cases} & \text{第2図Cの場合} & (21) \end{cases}$$

である。

次に弾性方程式の解は、震源第4報のものと同じものを用いる事にする。即ち

$$u = \sum_p \sum_m \frac{\lambda + 2\mu}{p^2} e^{i\nu t} \frac{d}{dr} r^{-\frac{1}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(hr) P_m^n(\cos \theta) (A \cos n\varphi + B \sin n\varphi) \\ - \frac{\mu}{p^2} e^{i\nu t} r^{-\frac{3}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(kr) P_m^n(\cos \theta) (C \cos n\varphi + D \sin n\varphi)$$

$$v = \sum_p \sum_m -\frac{\lambda+2\mu}{\rho p^2} e^{i\nu t} r^{-\frac{3}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(hr) \frac{dP_m^n(\cos\theta)}{d\theta} (A \cos n\varphi + B \sin n\varphi) \\ - \frac{\mu}{m(m+1)\rho p^2} e^{i\nu t} r^{-1} \frac{d}{dr} r^{\frac{1}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(kr) \frac{dP_m^n(\cos\theta)}{d\theta} (C \cos n\varphi + D \sin n\varphi) \\ + \frac{1}{m(m+1)} e^{i\nu t} r^{-\frac{1}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(kr) \frac{P_m^n(\cos\theta)}{\sin\theta} \frac{d}{d\varphi} (E \cos n\varphi + F \sin n\varphi)$$

$$w = \sum_p \sum_m -\frac{\lambda+2\mu}{\rho p^2} e^{i\nu t} r^{-\frac{3}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(hr) \frac{P_m^n(\cos\theta)}{\sin\theta} \frac{d}{d\varphi} (A \cos n\varphi + B \sin n\varphi) \\ - \frac{\mu}{m(m+1)\rho p^2} e^{i\nu t} r^{-1} \frac{d}{dr} r^{\frac{1}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(kr) \frac{P_m^n(\cos\theta)}{\sin\theta} \frac{d}{d\varphi} (C \cos n\varphi + D \sin n\varphi) \\ - \frac{1}{m(m+1)} e^{i\nu t} r^{-\frac{1}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(kr) \frac{dP_m^n(\cos\theta)}{d\theta} (E \cos n\varphi + F \sin n\varphi)$$

こゝに  $h = \frac{p}{\sqrt{\lambda+2\mu}}$ ,  $k = \frac{p}{\sqrt{\frac{\mu}{\rho}}}$  である。

これより境界条件 (1) を満足するように、それぞれの係数を決定すればよい。その結果、

$$\left\{ \begin{aligned} u = \sum_{m=0}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} a \frac{f \varepsilon a^2}{2\mu} \sqrt{\frac{1}{2\pi}} (-1)^{\frac{m}{2}} W_m' P_m(\cos\theta) \left[ e^{i\xi a} (\xi a)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{N_p}{M}\right) \frac{d}{dr} \left\{ r^{-\frac{1}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(\xi r) \right\} \right. \\ \left. - 2m(m+1) e^{i\eta a} (\eta a)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{N_s}{M}\right) r^{-\frac{3}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(\eta r) \right] \frac{e^{i\nu t}}{(a+ip)^2} dp \end{aligned} \right. \quad (22)$$

$$\left\{ \begin{aligned} v = \sum_{m=0}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} a \frac{f \varepsilon a^2}{2\mu} \sqrt{\frac{1}{2\pi}} (-1)^{\frac{m}{2}} W_m' \frac{dP_m(\cos\theta)}{d\theta} \left[ e^{i\xi a} (\xi a)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{N_p}{M}\right) r^{-\frac{3}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(\xi r) \right. \\ \left. - 2e^{i\eta a} (\eta a)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{N_s}{M}\right) r^{-1} \frac{d}{dr} \left\{ r^{\frac{1}{2}} H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(\eta r) \right\} \right] \frac{e^{i\nu t}}{(a+ip)^2} dp \end{aligned} \right. \quad (23)$$

$$\left\{ \begin{aligned} w = 0 \end{aligned} \right. \quad (24)$$

を得る。

これを積分するのであるが、このまゝの形では複雑なので、少し整理してみよう。今  $\xi a \rightarrow x$  なる変換を行へば、 $\eta a \rightarrow \sqrt{3}x$ ,  $dp \rightarrow \frac{v_p}{a} dx$  となる。こゝに  $v_p$  は  $P$  波の速度であり、 $\lambda = \mu$  としてある。そうすると、 $H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}(\xi r)$  等は  $H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}\left(\frac{r}{a}x\right)$  の形になり、これを  $x$  について積分すればよいが、 $H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}\left(\frac{r}{a}x\right)$  は  $e^{-\frac{r}{a}x}$  と  $\frac{r}{a}x$  の分数冪の級数との積で表現出来るので、積分の後  $\frac{a}{r}$  を非常に小さい、即ち震源域に比し遙かに遠い所での事を問題にするとすれば、 $\frac{a}{r}$  の自乗以上の項は省略

して差支へない。所が  $H_{m+\frac{1}{2}}^{(2)}\left(\frac{r}{a}x\right)$  を級数で表現した時  $\frac{r}{a}x$  はそれぞれ分離した形となつてい  
るので、積分の後省略する替りに、積分前に省略しても差支へない。そうすると、(22)~(24) は

$$u = -\frac{f\epsilon a^2 a}{2\pi\mu v_p} \frac{a}{r} \sum_{m=0}^{\infty} W_m' P_m(\cos\theta) \int_{-\infty}^{\infty} x \left(\frac{N_p}{M}\right)_{\xi a=x} \frac{e^{-i\left(\frac{r-a}{v_p}-t\right)\frac{v_p}{a}x}}{\left(x-i\frac{a}{v_p}\right)^2} dx \quad (25)$$

$$v = \frac{f\epsilon a^2 a}{\pi\mu v_s} \frac{a}{r} \sum_{m=0}^{\infty} W_m' \frac{dP_m(\cos\theta)}{d\theta} \int_{-\infty}^{\infty} x \left(\frac{N_s}{M}\right)_{\xi a=x} \frac{e^{-i\left(\frac{r-a}{v_s}-t\right)\frac{v_p}{a}x}}{\left(x-i\frac{a}{v_p}\right)^2} dx \quad (26)$$

$$w=0 \quad (27)$$

となる。こゝに

$$\begin{aligned} M = & -3x^2\{3x^2-2(m+2)(2m+1)\}\{U_{m+\frac{1}{2}}(x)U_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)-V_{m+\frac{1}{2}}(x)V_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)\} \\ & +4\sqrt{3}x^2\{2-m(m+1)\}\{U_{m-\frac{1}{2}}(x)U_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)-V_{m-\frac{1}{2}}(x)V_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)\} \\ & +2\sqrt{3}x\{3x^2+2(m-1)(m+1)(m+2)\}\{U_{m+\frac{1}{2}}(x)V_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)+V_{m+\frac{1}{2}}(x)U_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)\} \\ & +4x\{3x^2+(m-1)m(m+2)\}\{U_{m-\frac{1}{2}}(x)V_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)+V_{m-\frac{1}{2}}(x)U_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)\} \\ & +i\{3x^2\{3x^2-2(m+2)(2m+1)\}\}\{U_{m+\frac{1}{2}}(x)V_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)+V_{m+\frac{1}{2}}(x)U_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)\} \\ & -4\sqrt{3}x^2\{2-m(m+1)\}\{U_{m-\frac{1}{2}}(x)V_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)+V_{m-\frac{1}{2}}(x)U_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)\} \\ & +2\sqrt{3}x\{3x^2+2(m-1)(m+1)(m+2)\}\{U_{m+\frac{1}{2}}(x)U_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)-V_{m+\frac{1}{2}}(x)V_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)\} \\ & +4x\{3x^2+(m-1)m(m+2)\}\{U_{m-\frac{1}{2}}(x)U_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)-V_{m-\frac{1}{2}}(x)V_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)\} \quad (28) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_p = & \{3x^2-2m(m+2)\}V_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)+2\sqrt{3}xU_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x) \\ & +i\{3x^2-2m(m+2)\}U_{m+\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x)-2\sqrt{3}xV_{m-\frac{1}{2}}(\sqrt{3}x) \quad (29) \end{aligned}$$

$$N_s = [(m+2)V_{m+\frac{1}{2}}(x)-xU_{m-\frac{1}{2}}(x)]+i[(m+2)U_{m+\frac{1}{2}}(x)+xV_{m-\frac{1}{2}}(x)] \quad (30)$$

である。

こうしていよいよ積分に入るわけであるが、極の位置は震源第4報と同じものに、新しく  $i\frac{a}{v_p}a$  なる二次の極がある事になる。従つて求まる答は  $\frac{a}{v_p}a$  の値の如何により非常に異なる事になる。 $\frac{a}{v_p}a$  がなまのまゝで入つてゐる解は繁雑であるから、これに数値を与へた場合の解を述べる事にする。即ち

i)  $\frac{a}{v_p}a=0.1$  の場合

驗 震 時 報

$P$  波:  $t < \frac{r-a}{v_p}, \quad u=0, \quad v=0, \quad w=0$  (31)

$t \geq \frac{r-a}{v_p},$

$$u = \frac{f \varepsilon a^3}{\mu r} \left\{ \left[ \begin{aligned} &0.0184 e^{0.6667 \frac{v_p}{a} (\frac{r-a}{v_p} - t)} \sin 1.1547 \frac{v_p}{a} (\frac{r-a}{v_p} - t) \\ &- 0.0301 e^{0.6667 \frac{v_p}{a} (\frac{r-a}{v_p} - t)} \cos 1.1547 \frac{v_p}{a} (\frac{r-a}{v_p} - t) \\ &- 0.0023 \frac{v_p}{a} (\frac{r-a}{v_p} - t) e^{0.1 \frac{v_p}{a} (\frac{r-a}{v_p} - t)} + 0.0301 e^{0.1 \frac{v_p}{a} (\frac{r-a}{v_p} - t)} \end{aligned} \right] W_0' P_0(\cos \theta) \right.$$

$$+ \left\{ \begin{aligned} &0.0148 e^{0.6367 \dots} \quad \quad \quad + 0.0086 e^{1.6041 \dots} \\ &- 0.0016 e^{0.9123 \dots} \sin 1.6000 \dots \quad \quad - 0.0072 e^{0.9123 \dots} \cos 1.6000 \dots \\ &- 0.0125 \dots \quad \quad \quad e^{0.1 \dots} \quad \quad \quad - 0.0162 e^{0.1 \dots} \quad \quad \quad \end{aligned} \right\} W_1' P_1(\cos \theta)$$

$$+ \left\{ \begin{aligned} &- 0.0007 e^{0.4636 \dots} \sin 0.6009 \dots \quad \quad - 0.0079 e^{0.4636 \dots} \cos 0.6009 \dots \\ &- 0.0033 e^{1.0742 \dots} \sin 2.3905 \dots \quad \quad - 0.0034 e^{1.0742 \dots} \cos 2.3905 \dots \\ &+ 0.0121 e^{2.1127 \dots} \sin 0.8393 \dots \quad \quad + 0.0008 e^{2.1127 \dots} \cos 0.8393 \dots \\ &+ 0.0010 \dots \quad \quad \quad e^{0.1 \dots} \quad \quad \quad + 0.0103 e^{0.1 \dots} \quad \quad \quad \end{aligned} \right\} W_2' P_2(\cos \theta)$$

$$+ \left\{ \begin{aligned} &0.0009 e^{0.9788 \dots} \\ &- 0.0017 e^{0.4469 \dots} \sin 1.1199 \dots \quad \quad - 0.0008 e^{0.4469 \dots} \cos 1.1199 \dots \\ &+ 0.0107 e^{2.8390 \dots} \\ &- 0.0087 e^{2.4019 \dots} \sin 1.8100 \dots \quad \quad - 0.0029 e^{2.4019 \dots} \cos 1.8100 \dots \\ &+ 0.0002 e^{1.2683 \dots} \sin 3.2198 \dots \quad \quad - 0.0021 e^{1.2683 \dots} \cos 3.2198 \dots \\ &- 0.0000_2 \dots \quad \quad \quad e^{0.1 \dots} \quad \quad \quad - 0.0052 e^{0.1 \dots} \quad \quad \quad \end{aligned} \right\} W_3' P_3(\cos \theta)$$

$$+ \left\{ \begin{aligned} &- 0.0001 e^{0.5293 \dots} \sin 1.2653 \dots \quad \quad - 0.0000_4 e^{0.5293 \dots} \cos 1.2653 \dots \\ &+ 0.0000_1 e^{0.4350 \dots} \sin 1.6177 \dots \quad \quad - 0.0000_6 e^{0.4350 \dots} \cos 1.6177 \dots \\ &+ 0.0004 e^{2.6972 \dots} \sin 2.2791 \dots \quad \quad + 0.0006 e^{2.6972 \dots} \cos 2.2791 \dots \\ &- 0.0000_6 e^{2.8192 \dots} \sin 2.5090 \dots \quad \quad - 0.0003 e^{2.8192 \dots} \cos 2.5090 \dots \\ &+ 0.0002 e^{2.9414 \dots} \sin 3.1652 \dots \quad \quad - 0.0001 e^{2.9414 \dots} \cos 3.1652 \dots \\ &+ 0.0000_{0.04} \dots \quad \quad \quad e^{0.1 \dots} \quad \quad \quad + 0.0000_1 e^{0.1 \dots} \quad \quad \quad \end{aligned} \right\} W_4' P_4(\cos \theta)$$

+ ..... ]

$v = 0, \quad w = 0$

(32)

$$S \text{ 波: } t < \frac{r-a}{v_s}, \quad u=0, \quad v=0, \quad w=0 \quad (33)$$

$$t \geq \frac{r-a}{v_s}, \quad u=0$$

$$v = -2\sqrt{\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}} \left\{ \begin{aligned} & \left\{ \begin{aligned} & 0.0000_7 e^{0.9123} \sin 1.6000 \quad -0.0018 e^{0.9123} \cos 1.6000 \\ & -0.0226 e^{0.6367} \quad +0.0013 e^{1.6041} \\ & +0.0116 e^{0.1} \quad +0.0232 e^{0.1} \end{aligned} \right\} W_1 \frac{dP_1(\cos \theta)}{d\theta} \\ & + \left\{ \begin{aligned} & -0.0048 e^{0.4636} \sin 0.6009 \quad +0.0091 e^{0.4636} \cos 0.6009 \\ & -0.0002 e^{1.0742} \sin 2.3905 \quad -0.0004 e^{1.0742} \cos 2.3905 \\ & +0.0009 e^{2.1127} \sin 0.8393 \quad +0.0002 e^{2.1127} \cos 0.8393 \\ & -0.0008 e^{0.1} \quad -0.0089 e^{0.1} \end{aligned} \right\} W_2 \frac{dP_2(\cos \theta)}{d\theta} \\ & + \left\{ \begin{aligned} & -0.0003 e^{0.9788} \\ & +0.0005 e^{0.4469} \sin 1.1199 \quad -0.0005 e^{0.4469} \cos 1.1199 \\ & -0.0003 e^{2.4019} \sin 1.8100 \quad +0.0001 e^{2.4019} \cos 1.8100 \\ & +0.0002 e^{2.8390} \\ & -0.0001 e^{1.2683} \sin 3.2198 \quad +0.0000_4 e^{1.2683} \cos 3.2198 \\ & +0.0000_2 e^{0.1} \quad +0.0005 e^{0.1} \end{aligned} \right\} W_3 \frac{dP_3(\cos \theta)}{d\theta} \\ & + \left\{ \begin{aligned} & 0.0000_6 e^{0.5293} \sin 1.2653 \quad -0.0000_3 e^{0.5293} \cos 1.2653 \\ & -0.0000_3 e^{0.4350} \sin 1.6177 \quad +0.0000_7 e^{0.4350} \cos 1.6177 \\ & +0.0000_2 e^{2.6972} \sin 2.2791 \quad +0.0000_2 e^{2.6972} \cos 2.2791 \\ & -0.0000_1 e^{2.8192} \sin 2.5090 \quad -0.0000_6 e^{2.8192} \cos 2.5090 \\ & +0.0000_{005} e^{2.9414} \sin 3.1652 \quad +0.0000_{07} e^{2.9414} \cos 3.1652 \\ & -0.0000_{005} e^{0.1} \quad -0.0000_{07} e^{0.1} \end{aligned} \right\} W_4 \frac{dP_4(\cos \theta)}{d\theta} \\ & + \dots \end{aligned} \right\}$$

$$w=0$$

(34)

ii)  $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  の場合,

P 波:  $t < \frac{r-a}{v_p}, \quad u=0, v=0, w=0$  (35)

$t \geq \frac{r-a}{v_p},$

$$u = \frac{f \epsilon \alpha^3}{\mu r} \left\{ \begin{aligned} & \left\{ \begin{aligned} & 0.0786 e^{0.6667 \parallel} \sin 1.1547 \parallel & -0.1111 e^{0.6667 \parallel} \cos 1.1547 \parallel \\ & -0.3333 \parallel e \parallel & +0.1111 e \parallel \end{aligned} \right\} W_0' P_0(\cos \theta) \\ & + \left\{ \begin{aligned} & 0.3220 e^{0.6367 \parallel} & +0.5354 e^{1.6041 \parallel} \\ & -0.0888 e^{0.9123 \parallel} \sin 1.6000 \parallel & -0.0270 e^{0.9123 \parallel} \cos 1.6000 \parallel \\ & -0.0670 \parallel e \parallel & -0.8305 e \parallel \end{aligned} \right\} W_1' P_1(\cos \theta) \\ & + \left\{ \begin{aligned} & -0.0380 e^{0.4636 \parallel} \sin 0.6009 \parallel & +0.0660 e^{0.4636 \parallel} \cos 0.6009 \parallel \\ & -0.0398 e^{1.0742 \parallel} \sin 2.3905 \parallel & +0.0130 e^{1.0742 \parallel} \cos 2.3905 \parallel \\ & +0.0520 e^{2.1127 \parallel} \sin 0.8393 \parallel & -0.1146 e^{2.1127 \parallel} \cos 0.8393 \parallel \\ & +0.0551 \parallel e \parallel & +0.0346 e \parallel \end{aligned} \right\} W_2' P_2(\cos \theta) \\ & + \left\{ \begin{aligned} & 15.1111 e^{0.9788 \parallel} \\ & -0.0081 e^{0.4469 \parallel} \sin 1.1199 \parallel & +0.0146 e^{0.4469 \parallel} \cos 1.1199 \parallel \\ & -0.1483 e^{2.4019 \parallel} \sin 1.8100 \parallel & +0.0249 e^{2.4019 \parallel} \cos 1.8100 \parallel \\ & +0.2516 e^{2.8390 \parallel} \\ & -0.0101 e^{1.2683 \parallel} \sin 3.2198 \parallel & -0.0216 e^{1.2683 \parallel} \cos 3.2198 \parallel \\ & -0.0100 \parallel e \parallel & -0.0695 e \parallel \end{aligned} \right\} W_3' P_3(\cos \theta) \\ & + \left\{ \begin{aligned} & -0.0006 e^{0.5293 \parallel} \sin 1.2653 \parallel & +0.0010 e^{0.5293 \parallel} \cos 1.2653 \parallel \\ & -0.0003 e^{0.4350 \parallel} \sin 1.6177 \parallel & -0.0008 e^{0.4350 \parallel} \cos 1.6177 \parallel \\ & +0.0028 e^{2.6972 \parallel} \sin 2.2791 \parallel & +0.0018 e^{2.6972 \parallel} \cos 2.2791 \parallel \\ & -0.0022 e^{2.8192 \parallel} \sin 2.5090 \parallel & -0.0030 e^{2.8192 \parallel} \cos 2.5090 \parallel \\ & +0.0013 e^{2.9414 \parallel} \sin 3.1652 \parallel & -0.0020 e^{2.9414 \parallel} \cos 3.1652 \parallel \\ & +0.0088 \parallel e \parallel & +0.0036 e \parallel \end{aligned} \right\} W_4' P_4(\cos \theta) \\ & + \dots \dots \dots \end{aligned} \right\}$$

$v=0, w=0$  (36)



$$S \text{ 波: } t < \frac{r-a}{v_s}, \quad u=0, \quad v=0, \quad w=0 \quad (37)$$

$$t \geq \frac{r-a}{v_s}, \quad u \neq 0$$

$$v = -2\sqrt{3} \frac{f \varepsilon a^3}{\mu r} \left\{ \begin{aligned} & \left\{ -0.0192 e^{0.9123} \sin 1.6000 \quad -0.0121 e^{0.9123} \cos 1.6000 \right. \\ & \quad -0.4932 e^{0.6367} \quad +0.0786 e^{1.6041} \\ & \quad -0.1972 e \quad +0.4267 e \quad \left. \right\} W_1 \frac{dP_1(\cos \theta)}{d\theta} \\ & + \left\{ 0.0689 e^{0.4636} \sin 0.6009 \quad -0.0355 e^{0.4636} \cos 0.6009 \right. \\ & \quad -0.0050 e^{1.0742} \sin 2.3905 \quad -0.0022 e^{1.0742} \cos 2.3905 \\ & \quad +0.0216 e^{2.1127} \sin 0.8393 \quad -0.0073 e^{2.1127} \cos 0.8393 \\ & \quad -0.0612 e \quad +0.0450 e \quad \left. \right\} W_2 \frac{dP_2(\cos \theta)}{d\theta} \\ & + \left\{ -0.0006 e^{1.2683} \sin 3.2198 \quad +0.0009 e^{1.2683} \cos 3.2198 \right. \\ & \quad -0.0034 e^{2.4019} \sin 1.8100 \quad +0.0034 e^{2.4019} \cos 1.8100 \\ & \quad -0.0136 e^{0.4469} \sin 1.1199 \quad -0.0052 e^{0.4469} \cos 1.1199 \\ & \quad +0.0053 e^{2.8390} \quad -40.0602 e^{0.9788} \\ & \quad -0.8775 e \quad +40.0558 e \quad \left. \right\} W_3 \frac{dP_3(\cos \theta)}{d\theta} \\ & + \left\{ -0.0002 e^{0.5293} \sin 1.2653 \quad -0.0006 e^{0.5293} \cos 1.2653 \right. \\ & \quad +0.0002 e^{0.4350} \sin 1.6177 \quad +0.0009 e^{0.4350} \cos 1.6177 \\ & \quad +0.0001 e^{2.6972} \sin 2.2791 \quad -0.0003 e^{2.6972} \cos 2.2791 \\ & \quad -0.0005 e^{2.8192} \sin 2.5090 \quad -0.0008 e^{2.8192} \cos 2.5090 \\ & \quad +0.0004 e^{2.9414} \sin 3.1652 \quad +0.0003 e^{2.9414} \cos 3.1652 \\ & \quad -0.0002 e \quad +0.0004 e \quad \left. \right\} W_4 \frac{dP_4(\cos \theta)}{d\theta} \\ & + \dots \end{aligned} \right\}$$

$$w=0$$

(38)

iii)  $\frac{a}{v_p} a=10$  の場合,

$P$  波:  $t < \frac{r-a}{v_p}$ ,  $u=0, v=0, w=0$  (39)

$t \geq \frac{r-a}{v_p}$ ,

$$u = \frac{f \varepsilon a^3}{\mu r} \left\{ \begin{aligned} & \left\{ 0.0250 e^{0.6667} \sin 1.1547 \text{ // } + 0.0420 e^{0.6667} \cos 1.1547 \text{ //} \right. \\ & \quad \left. - 0.040 \text{ // } e^{10} \text{ // } - 0.0420 e^{10} \text{ //} \right\} W_0' P_0(\cos \theta) \\ & + \left\{ 0.0200 e^{0.9123} \sin 1.6000 \text{ // } + 0.0190 e^{0.9123} \cos 1.6000 \text{ //} \right. \\ & \quad + 0.0048 e^{0.6357} \text{ // } + 0.277 e^{1.6041} \text{ //} \\ & \quad \left. + 0.4150 \text{ // } e^{10} \text{ // } - 0.0472 e^{10} \text{ //} \right\} W_1' P_1(\cos \theta) \\ & + \left\{ 0.0040 e^{0.4635} \sin 0.6009 \text{ // } + 0.0030 e^{0.4635} \cos 0.6009 \text{ //} \right. \\ & \quad + 0.0280 e^{1.0742} \sin 2.3905 \text{ // } + 0.0030 e^{1.0742} \cos 2.3905 \text{ //} \\ & \quad + 0.0440 e^{2.1127} \sin 0.8393 \text{ // } + 0.0700 e^{2.1127} \cos 0.8393 \text{ //} \\ & \quad \left. + 0.5200 \text{ // } e^{10} \text{ // } - 0.0750 e^{10} \text{ //} \right\} W_2' P_2(\cos \theta) \\ & + \left\{ 0.0008 e^{0.9788} \text{ //} \right. \\ & \quad + 0.0030 e^{0.4469} \sin 1.1199 \text{ // } + 0.0002 e^{0.4469} \cos 1.1199 \text{ //} \\ & \quad + 0.0680 e^{2.4019} \sin 1.8100 \text{ // } - 0.1100 e^{2.4019} \cos 1.8100 \text{ //} \\ & \quad + 0.1565 e^{2.8390} \text{ //} \\ & \quad - 0.0030 e^{1.2683} \sin 3.2198 \text{ // } + 0.0280 e^{1.2683} \cos 3.2198 \text{ //} \\ & \quad \left. + 0.8330 \text{ // } e^{10} \text{ // } - 0.0730 e^{10} \text{ //} \right\} W_3' P_3(\cos \theta) \\ & + \left\{ 0.0002 e^{0.5293} \sin 1.2653 \text{ // } + 0.0000 e^{0.5293} \cos 1.2653 \text{ //} \right. \\ & \quad + 0.0000 e^{0.4350} \sin 1.6177 \text{ // } + 0.0000 e^{0.4350} \cos 1.6177 \text{ //} \\ & \quad - 0.0040 e^{2.6972} \sin 2.2791 \text{ // } + 0.0004 e^{2.6972} \cos 2.2791 \text{ //} \\ & \quad + 0.0060 e^{2.8192} \sin 2.5090 \text{ // } + 0.0020 e^{2.8192} \cos 2.5090 \text{ //} \\ & \quad - 0.0020 e^{2.9414} \sin 3.1652 \text{ // } + 0.0050 e^{2.9414} \cos 3.1652 \text{ //} \\ & \quad \left. + 0.0100 \text{ // } e^{10} \text{ // } - 0.0100 e^{10} \text{ //} \right\} W_4' P_4(\cos \theta) \\ & + \dots \dots \dots \end{aligned} \right\}$$

$v=0, w=0$

(40)

$$S \text{ 波: } t < \frac{r-a}{v_s}, \quad u=0, v=0, w=0 \quad (41)$$

$$t \geq \frac{r-a}{v_s}, \quad u=0$$

$$v = -2\sqrt{\frac{f \varepsilon a^2}{\mu r}} \left\{ \begin{aligned} &0.0040 e^{0.9123 \prime \prime} \sin 1.6000 \prime \prime + 0.0060 e^{0.9123 \prime \prime} \cos 1.6000 \prime \prime \\ &- 0.0074 e^{0.6367 \prime \prime} + 0.0040 e^{1.6041} \\ &+ 0.0120 \prime \prime e^{10 \prime \prime} - 0.0025 e^{10 \prime \prime} \quad \left. \vphantom{0.0040 e^{0.9123 \prime \prime}} \right\} W_1, \frac{dP_1(\cos \theta)}{d\theta} \\ &+ \left\{ \begin{aligned} &- 0.0020 e^{0.4636 \prime \prime} \sin 0.6009 \prime \prime - 0.0050 e^{0.4636 \prime \prime} \cos 0.6009 \prime \prime \\ &+ 0.0020 e^{1.0742 \prime \prime} \sin 2.3905 \prime \prime + 0.0030 e^{1.0742 \prime \prime} \cos 2.3905 \prime \prime \\ &+ 0.0030 e^{2.1127 \prime \prime} \sin 0.8393 \prime \prime + 0.0060 e^{2.1127 \prime \prime} \cos 0.8393 \prime \prime \\ &+ 0.0140 \prime \prime e^{10 \prime \prime} - 0.0030 e^{10 \prime \prime} \quad \left. \vphantom{0.0020 e^{0.4636 \prime \prime}} \right\} W_2, \frac{dP_2(\cos \theta)}{d\theta} \\ &+ \left\{ \begin{aligned} &- 0.0022 e^{0.9788 \prime \prime} \\ &+ 0.0001 e^{0.4469 \prime \prime} \sin 1.1199 \prime \prime + 0.0023 e^{0.4469 \prime \prime} \cos 1.1199 \prime \prime \\ &- 0.0002 e^{2.4019 \prime \prime} \sin 1.8100 \prime \prime - 0.0015 e^{2.4019 \prime \prime} \cos 1.8100 \prime \prime \\ &+ 0.0034 e^{2.8390 \prime \prime} \\ &+ 0.0010 e^{1.2683 \prime \prime} \sin 3.2198 \prime \prime - 0.0005 e^{1.2183 \prime \prime} \cos 3.2198 \prime \prime \\ &+ 0.0160 \prime \prime e^{10 \prime \prime} - 0.0015 e^{10 \prime \prime} \quad \left. \vphantom{0.0022 e^{0.9788 \prime \prime}} \right\} W_3, \frac{dP_3(\cos \theta)}{d\theta} \\ &+ \left\{ \begin{aligned} &- 0.0001 e^{0.5293 \prime \prime} \sin 1.2653 \prime \prime + 0.0001 e^{0.5293 \prime \prime} \cos 1.2653 \prime \prime \\ &+ 0.0001 e^{0.4350 \prime \prime} \sin 1.6177 \prime \prime - 0.0001 e^{0.4350 \prime \prime} \cos 1.6177 \prime \prime \\ &+ 0.0000_8 e^{2.6972 \prime \prime} \sin 2.2791 \prime \prime + 0.0001 e^{2.6972 \prime \prime} \cos 2.2791 \prime \prime \\ &+ 0.0010 e^{2.8192 \prime \prime} \sin 2.5090 \prime \prime + 0.0006 e^{2.8192 \prime \prime} \cos 2.5090 \prime \prime \\ &+ 0.0001 e^{2.9414 \prime \prime} \sin 3.1652 \prime \prime - 0.0002 e^{2.9414 \prime \prime} \cos 3.1652 \prime \prime \\ &+ 0.0020 \prime \prime e^{10 \prime \prime} - 0.0005 e^{10 \prime \prime} \quad \left. \vphantom{0.0001 e^{0.5293 \prime \prime}} \right\} W_4, \frac{dP_4(\cos \theta)}{d\theta} \\ &+ \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \end{aligned} \right.$$

$$w=0$$

$$(42)$$

となる。これは  $m=4$  までしか求めてないが、これ以上になると計算上誤差が大きくなって、求めた数値が無意味になるからである。しかし何度も述べたように、 $m$  の大きい所は急速に小さくなって行く事が予想されるし、 $m=4$  までで数値の max が出ているので、こゝで打切つてもあまり大きな誤はないと思はれる。

§3 吟味

(31)~(42) を図示したものが第3図である。

こうして求めた波形をよく見ると、震源より出る波動は、強制力を忠実に現はすとは言へない。成程この解をよく見ると、各部分に強制力の形がそのまま求まつておるが、全体としての波形は強制力をそのまま出しているとは言へない。力の作用がまだ続いていても、波形は既に静止の状態にかえておる場合もあれば、(第3図Ⅱ、Ⅲの  $\frac{a}{v_p}a=0.1$  の場合)、力の作用は殆んど止まつておるにも拘らず、波形はなお継続しておる場合もある。(第3図の  $\frac{a}{v_p}a=10$  の場合) その他の事は震源第4報

SEISMIC WAVES FROM EARTHQUAKES' SOURCES (BY A MECHANISM)

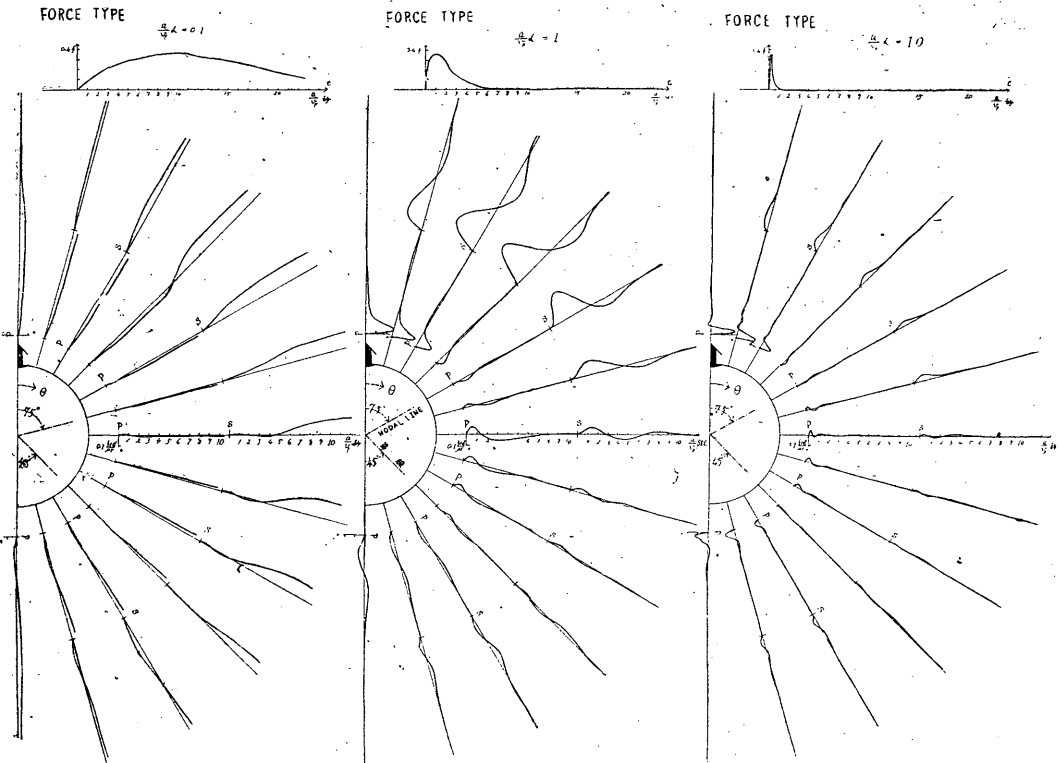


Fig. 3 (I)

SEISMIC WAVES FROM EARTHQUAKES' SOURCES (BY B MECHANISM)

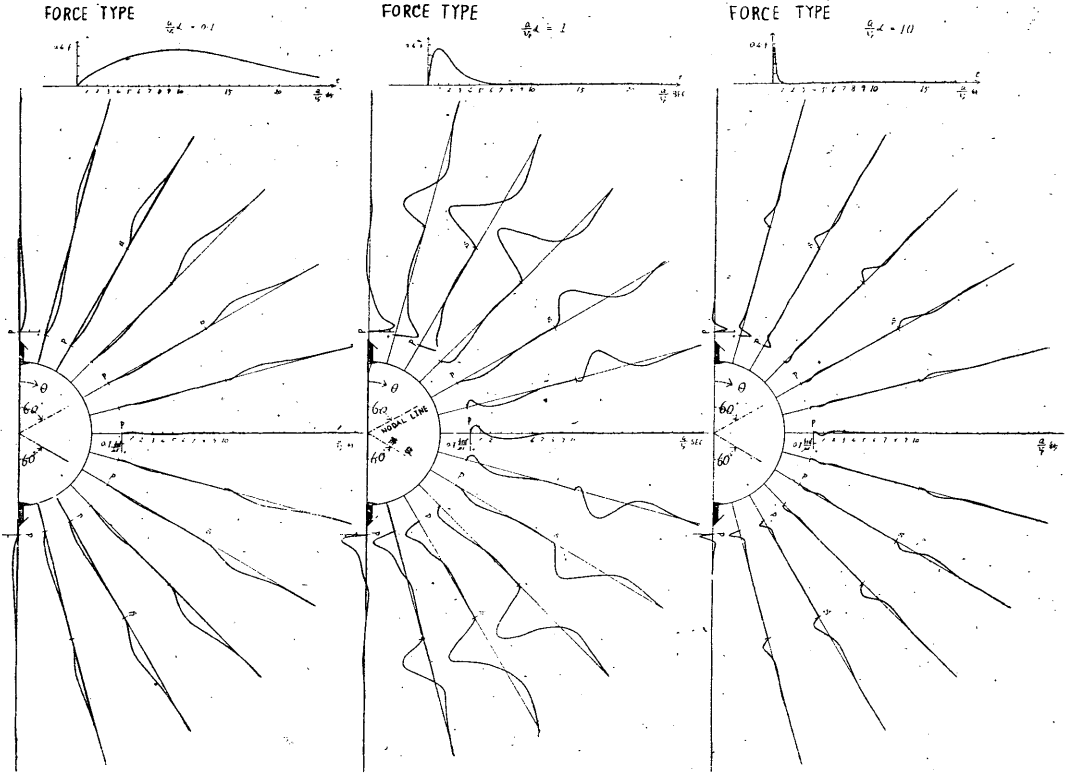


Fig. 3 (II)

で求めた結果がそのまゝあてはまるようである。こゝに注意すべき事は、 $\frac{a}{v_p} a$  の如何によつて振幅及び波形が異なる事である。

今  $\frac{a}{v_p} a = \zeta$  とおけば、 $a = \frac{v_p}{a} \zeta$  となり、この時の強制力の形は、

$$f = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{v_p}{a} \zeta t e^{-\frac{v_p}{a} \zeta t} & t \geq 0 \end{cases} \quad (43)$$

となる。一方震源から出る波動は

$$e^{\frac{A v_p t}{a}} \sin B \frac{v_p t}{a}, \quad e^{\frac{B v_p t}{a}} \cos B \frac{v_p t}{a}, \quad e^{\frac{C v_p t}{a}} \quad (44)$$

の形であるので、 $\frac{v_p t}{a}$  を時間の単位  $T$  に取れば、強制力が形

$$f = \begin{cases} 0 \\ \zeta T e^{-\zeta T} \end{cases} \quad (45)$$

SEISMIC WAVES FROM EARTHQUAKES' SOURCES (BY C MECHANISM)

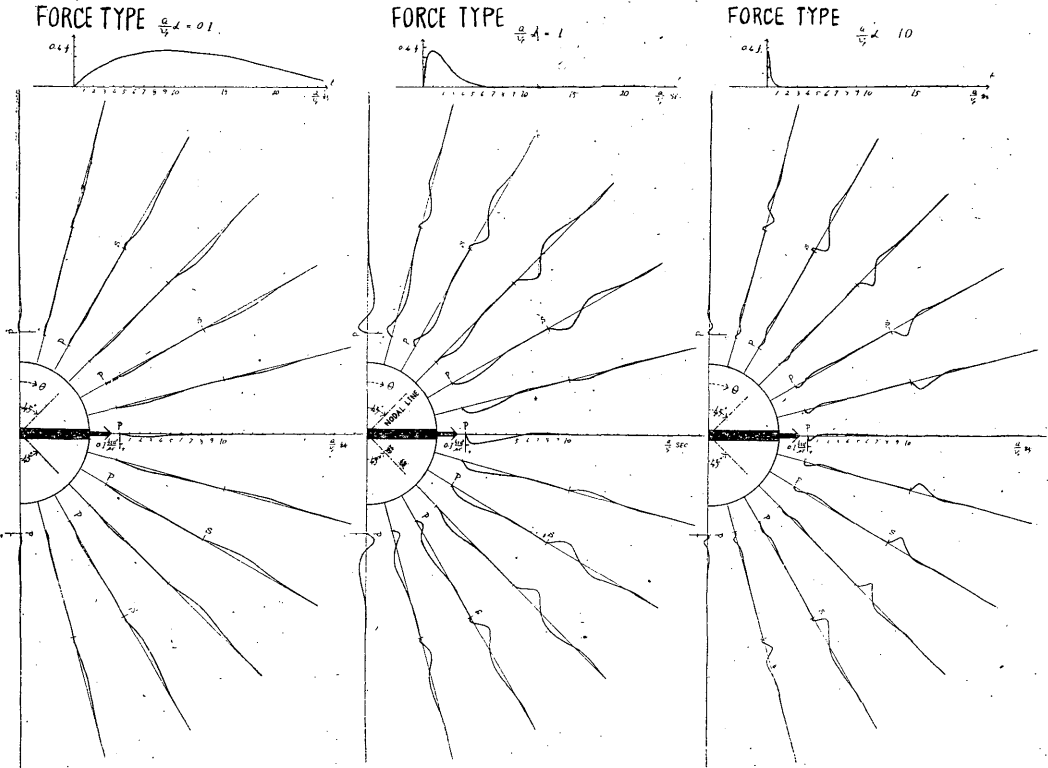


Fig. 3 (III)

に対するそれぞれの波形が、時間の単位  $T$  に対する

$$e^{AT} \sin BT, \quad e^{AT} \cos BT, \quad e^{CT} \tag{46}$$

の形で求まる。従つて強制力の形は、時間の単位  $T$  に対しては、 $\zeta$  の如何により決まる事になる。即ち  $\zeta$  が小さい時は、ゆるやかに永く作用する力を示し、 $\zeta$  が大きい時は、急激に作用して短時間に止む力となる。しかし最大力はどちらも同じである。これはそのまま同一の震源、即ち  $\frac{v_p}{a}$  が一定しておる場合に適用出来る事である。こうして作つたのが第3図である。

第3図によると、第2図A機構では、 $\theta=0^\circ$  の所々出る  $P$  波は、いづれも押波であるが  $\frac{a}{v_p} a=0.1$  の場合は  $10 \frac{a}{v_p}$  秒で最大振幅  $+0.05 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  に達し、 $\frac{a}{v_p} a=1$  の場合は、 $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒で最大振幅  $+0.29 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  に達し、みかけの半週期は  $6 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $\frac{a}{v_p} a=10$  の場合は、 $0.1 \frac{a}{v_p}$  秒で  $+0.26 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $\theta=30^\circ$  では、 $\frac{a}{v_p} a=0.1$  に対しては  $10 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.05 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、 $\frac{a}{v_p} a=1$  に対しては、 $0.8 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.15 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$

となり、みかけの半週期は  $4.0 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては  $0.12 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.12 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $0.8 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $\theta = 60^\circ$  では  $\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  に対しては  $10 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.03 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  に達し、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  に対しては  $1.5 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.04 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $3 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては  $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.03 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $1.4 \frac{a}{v_p}$  秒位となる。 $\theta = 90^\circ$  では、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  に対しては、 $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて、 $-0.005 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $1.6 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  に対しては  $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて、 $-0.08 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、半週期  $1.3 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては、 $0.04 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.06 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $0.4 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $P$  波の節線は  $\theta = 75^\circ$  位の所にある。 $\theta = 120^\circ$  では、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  に対し、 $10 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.03 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  に達し、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  に対しては、 $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.05 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、半週期は  $1.5 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては、 $0.1 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.02 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  に達し、みかけの半週期は  $0.4 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $\theta = 150^\circ$  に於ては、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  に対し、 $1.6 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.008 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  に達し、みかけの半週期は  $3.4 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  に対しては  $1.6 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.03 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、半週期は  $3.2 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては、 $0.1 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.03 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $0.9 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $P$  波の節線は  $\theta = 135^\circ$  の所にある。 $\theta = 180^\circ$  に於ては、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  に対し、 $1.8 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.02 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $4.2 \frac{a}{v_p}$  秒位であり、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  に対しては、 $1.8 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.07 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、半週期は  $3.5 \frac{a}{v_p}$  秒位である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては、 $0.1 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.08 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  に達し、みかけの半週期は  $0.8 \frac{a}{v_p}$  秒位である。従つて先の押円錐となる円錐の頂角は  $150^\circ$  であり、その反対側の押円錐の円錐の頂角は  $90^\circ$  となり、対照形とならない。これは非常に注意すべき事である。

こうしてみると全ての方位にわたつて、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  の場合が振幅は最大となつておる。これは (36) に於て  $m=3$  の項に三次の極が出来るからと言うわけではないようである。と言うのは  $m=3$  を必要としない次の B 機構、C 機構に於ても、やはり  $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  の場合が振幅は最大となつておるからで

ある。これは共鳴現象に似たものと解釈すべきかと思はれる。即ち震源球に対し、強制力の作用の仕方が

$$f = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ \frac{v_p}{a} t e^{-\frac{v_p}{a} t} & t \geq 0 \end{cases} \quad (47)$$

となるような場合に、その震源から出る波動の内最大の振幅の波動が出るのではないかと思はれる。即ち作用の仕方によつて、出る波動の振幅も変化する事になる。

節線の位置は震源第4報で求めたものと大差ないようである。

$\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  の場合は、波形は比較的強制力に近い形を取るようである。

B機構では P 波は  $\theta = 0^\circ$  に於ては、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  に対し、 $2.8 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.05 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  に対しては  $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.25 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $3.8 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては  $0.2 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.13 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\theta = 30^\circ$  では、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  に対し  $2.8 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.04 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  に対しては、 $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.18 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $4.5 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては、 $0.2 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.06 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\theta = 60^\circ$  に於ては、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  に対して、 $3 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.17 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  に対しては  $2.8 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.07 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $6.8 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては  $0.5 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.02 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $1.2 \frac{a}{v_p}$  秒である。この時の初動の始まりは殆んど零であつて、非常にゆつくりとそれぞれの振幅になるものである。これは  $\theta = 60^\circ$  に P 波の節線がある事を示す。 $\theta = 90^\circ$  に於ては、 $\frac{a}{v_p} \alpha = 0.1$  に対しては、 $0.8 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.008 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $1.5 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 1$  に対しては、 $0.6 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.8 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $1.4 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\frac{a}{v_p} \alpha = 10$  に対しては、 $0.1 \frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.02 \frac{f \epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $0.3 \frac{a}{v_p}$  秒である。 $\theta$  がこれ以上の所では以上に対照の形となる。この場合も節線の位置は震源第4報で求めたものと全く同じである。即ち押円錐の円錐の頂角は  $120^\circ$  となり、この時は A 機構と違い、その逆の方の押円錐の円錐の頂角はやはり  $120^\circ$  である。その他波動の性質も震源第4報で求めたものと大差ない。たゞ幾分漸次に始まるようである。



C機構では  $P$  波は、 $\theta=0^\circ$  に於て、B機構の  $\theta=90^\circ$  に於て出る波動と全く同一である。 $\theta=30^\circ$  に於ては、 $\frac{a}{v_p}a=0.1$  に対しては、 $0.8\frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.003\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $1.1\frac{a}{v_p}$  秒である。しかし  $P$  波の最大振幅は次に  $+0.01\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となる。 $\frac{a}{v_p}a=1$  に対しては、 $0.5\frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.04\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $1.1\frac{a}{v_p}$  秒となる。これも最大振幅は次の  $+0.06\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  である。 $\frac{a}{v_p}a=10$  に対しては、 $0.1\frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $-0.01\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $0.3\frac{a}{v_p}$  秒である。これも最大振幅は次の  $+0.03\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  である。 $\theta=60^\circ$  では、 $\frac{a}{v_p}a=0.1$  に対して、 $2.8\frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.02\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となる。 $\frac{a}{v_p}a=1$  に対しては、 $2.8\frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.07\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となり、 $\frac{a}{v_p}a=10$  に対しては  $0.1\frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.03\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $1.0\frac{a}{v_p}$  秒である。 $P$  波の節線は  $\theta=45^\circ$  附近にあつて、これも震源第4報で求めたものと同じである。 $\theta=90^\circ$  では、 $\frac{a}{v_p}a=0.1$  に対しては、 $3.0\frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.03\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となる。 $\frac{a}{v_p}a=1$  に対しては、 $0.8\frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.09\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $5.5\frac{a}{v_p}$  秒である。 $\frac{a}{v_p}a=10$  に対しては  $0.2\frac{a}{v_p}$  秒かゝつて  $+0.05\frac{f\epsilon a^2}{\mu r}$  となり、みかけの半週期は  $0.8\frac{a}{v_p}$  秒である。 $\theta$  が  $90^\circ$  以上の所では以上の対照となる。

以上を一括して第1表とした。

以上を通観して、振幅の大きさは距離の自乗に比例して大きくなるけれども、又震源域の大きささとそれに作用する力の作用の仕方ともよる事が分る。 $\frac{a}{v_p}a=1$  の場合が比較的大きな振幅となる事は前にも述べた。 $\frac{a}{v_p}a=0.1$  の時の波動は比較的強制力の形に忠実であり、波動も漸次に始まる様であるが、 $\frac{a}{v_p}a$  がだんだん大きくなるに従つて、波動も急激に始まる形を取るようになる。

$P$  波の初動分布型式は、A機構もB機構も押円錐型であるが、A機構では一方の円錐の頂角は  $150^\circ$  で他の一方のは  $90^\circ$  である。B機構では両方共  $120^\circ$  となる。C機構では引円錐型となり、その頂角は  $90^\circ$  である。

$S$  波については一々ここで述べないが、 $P$  波と  $S$  波との振幅の関係及び週期の関係は、震源第4報で求めたものとあまり大差はない、節線も全く同じである。

こゝに注意すべきは、A機構に於ては、力の作用のない側の押円錐部分では初動は非常に小さいが、力の作用のある部分の押円錐では大きい。しかし次の瞬間には幾分遅れて、岩漿溜のもう一方の方の壁にも力はぶつかる筈であるから、またすぐ大きな押波が生ずる事になる。

驗 震 時 報

Table 1 (I)

Table 1 (I) showing seismic data for three structures (A, B, C) across angles theta from 0 to 180 degrees. The table is organized into three main columns for structures A, B, and C, each subdivided into P and S wave components. Each component includes parameters like amplitude and period, with units like mu r and a seconds.

(II)

Table 1 (II) showing seismic data for three structures (A, B, C) across angles theta from 0 to 180 degrees. The structure and layout are similar to Table 1 (I), but the data values are different, reflecting a different seismic event or analysis.

(III)

Table 1 (III) showing seismic data for three structures (A, B, C) across angles theta from 0 to 180 degrees. This table provides a third set of seismic data for the same parameters as the previous tables.

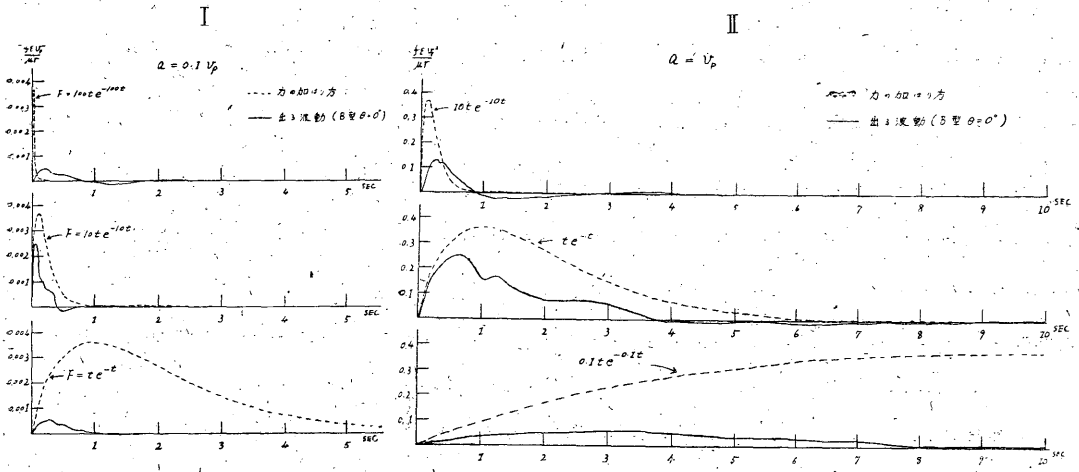


Fig. 4

第4図は震源域の大きさを  $a=0.1 v_p$ ,  $a=v_p$  とした場合の三種類の力の加はり方に対する B 機構の  $\theta=0^\circ$  に於て出る波動を比較したものである。この図を見て以上述べた事を類推されたい。

以上は一つの震源に於ての問題であつたが、次に力の作用の仕方を一定にしておいて、即ち  $a$  を一定として、震源域の大きさが変化する場合について考へてみよう。第5図を参照されたい。今仮りに  $v_p$  も一定とすれば、 $\frac{a}{v_p} a=0.1$  として得られた波動は  $a=0.1 \frac{v_p}{a}$  の震源から出る波動であり、

$\frac{a}{v_p} a=1$  として得られた波動は  $a=\frac{v_p}{a}$  の震源から出る波動であつて、 $\frac{a}{v_p} a=0.1$  の時の震源域の10倍の大きさの震源域から出る波動となる。

この時の B 機構に於ける  $\theta=0^\circ$  に於ての波動についてあたつてみると、 $\frac{a}{v_p} a=0.1$

の時は最大振幅は  $0.28 \frac{1}{a}$  秒かゝつて、 $+0.0005 \frac{f \varepsilon}{\mu r} \left(\frac{v_p}{a}\right)^2$  となり、

$\frac{a}{v_p} a=1$  の時は最大振幅は  $0.6 \frac{1}{a}$  秒かゝつて  $+0.25 \frac{f \varepsilon}{\mu r} \left(\frac{v_p}{a}\right)^2$  と

なる。震源域は10倍になつたのであるから、振幅がもし震源域の自乗に比例するものとすれば、100倍になるべき筈であるが、こゝで

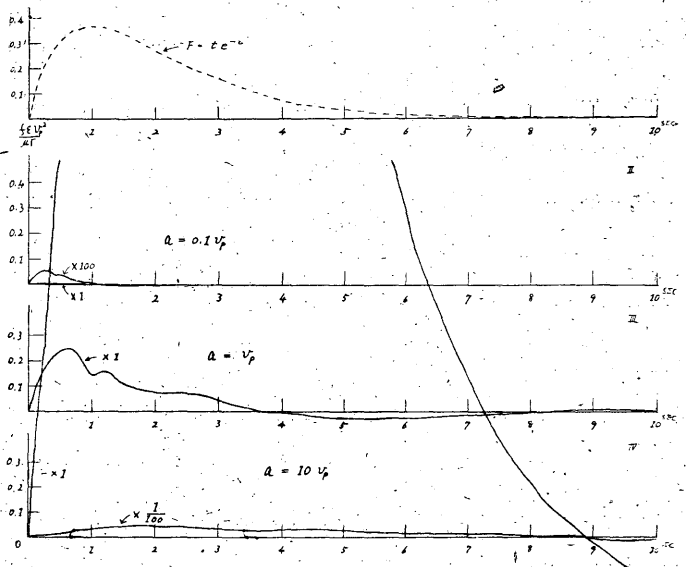


Fig. 5

は 500 倍となつてゐる。同じ事を  $\frac{a}{v_p} a = 10$  に対した求めてみると  $2 \frac{1}{a}$  秒かゝつて  $+13 \frac{f \epsilon}{\mu r} \left( \frac{v_p}{a} \right)^3$  となつており、本来ならば  $\frac{a}{v_p} a = 1$  の時の震源域の 10 倍になつておるのだから、その 100 倍の  $25 \frac{f \epsilon}{\mu r} \left( \frac{v_p}{a} \right)^3$  となるべき所が、僅か約 50 倍の  $13 \frac{f \epsilon}{\mu r} \left( \frac{v_p}{a} \right)^3$  にしかなつていない。これを  $\frac{a}{v_p} a = 0.1$  の場合と比較すると、この時は震源域の大きさが 100 倍となつておるので、振幅は 10000 倍とならなければならないが、それよりも大きく約 30000 倍となつてゐる。こうしてみると  $\frac{a}{v_p} a = 1$  の時が一番効率がよい事になる。しかし振幅の絶対値はやはり震源域の大きい程大きい。A 機構、C 機構に於てもこの傾向は同じである。みかけの週期の方も決して震源域の大きさに比例して大きくなるのではない。数学的解の方を見てみると、あたかも震源域の大きさに比例して週期も大きくなる様に思へるが、全部を総合してみると、決してそうなつていない。即ち振幅や週期を決めるものは  $a$  のみではなく、作用する力の  $\alpha$  も関係している事に気付くのである。これより、得られた記象から  $a$  や  $\alpha$  を出す事が必要であるにも拘らず、いかにむづかしい事であるかゝ分るであろう。従つて energy を求める事がどんなに困難であるかも想像出来る。

先にも述べたとするが、これ等の事から、得られた記象を分析して強制力を抜き出す事も非常に困難である。

又初動の定量的な分析と言う事も考へられる問題であるが、これも  $\alpha$  や機構を考慮に入れる時は、各場合につき一樣でないので、そう簡単にはゆかない事も分る。

しかし初動方向だけは確実に求められるので、初動分布型式だけは、得られた記象から確定される筈である。これが初動分布型式に重点をおく理由である。

#### §.4 結

以上を簡単にまとめると、次のようである。

震源第 4 報では、週期は  $\frac{v_p}{a}$  に逆比例して大きくなり、減衰の方は  $\frac{v_p}{a}$  に正比例して小さくなる様に求まつていたが、こゝではそう簡単な形にはならない。 $\alpha$  の如何によつて種々の場合を生じ、比例関係にはならないのである。もし  $\alpha$  を一定としてみても、やはり  $\frac{v_p}{a}$ 、即ち震源域の大きさに比例するとは限らない。この場合は  $\frac{a}{v_p} a$  の如何によつて、それぞれ独立の値を取る事になる。振幅も亦同様である。しかし厳密な比例関係にはないとは言へ、やはり一般の場合には、震源域が大きくなると、週期も振幅も大きくなつて減衰が遅いと言う事は言へる。

数学的解の中には強制波の形が独立に入つておるけれども、震源域の自己振動が一緒になるから分離出来ない。従つて観測からは強制力の  $\alpha$  を求める事は殆んど不可能であろう。それ故  $\alpha$  を仮定しない限りは震源域の大きさを求める事も出来ない事になる。

変位は零から始まるけれども、一般には初速度も初加速度も零にはならない。今迄初速度又は初加速度を零として、地震計の方程式を解く努力が払はれて来たけれど、その必要はないようである。

この場合も内部球窩の表面から同時に波動は発生する形となる。

$\frac{a}{v_p} = i$  の場合に最も有効に作用力は使はれるらしい。即ちこの時最も大きい波動を生ずる。

以上は  $P$  波にも  $S$  波にも適用出来る事であるが、次に  $P$  波の押波の出る部分は、 $S$  波の方がみかけ上の週期は大きく、引波の部分では小さくなる。又  $S$  波は  $\theta = 45^\circ$  の所が最大の振幅を有し、 $\theta = 0^\circ$  及び  $90^\circ$  では全然  $S$  波は発生しない。しかし  $A$  機構では  $\theta = 90^\circ$  で僅かに  $S$  波を発生する。 $P$  波の零になる部分は生じない。 $P$  波も  $S$  波も初動の押、引を区分する節線は同じ所にある。 $S$  波は  $P$  波の引の部分に初動が非常に小さいので読取り難いであろう。これが従来  $P$  波と  $S$  波の節線は  $45^\circ$  傾いておると考へられたユエンであろう。

大体に於て、震源第4報で求めたものと同じであるが、たゞ力の作用の仕方の如何によつて発生する波の工合がことなるだけである。

合成された波動の波長は震源域の10倍以上に達する場合も生ずる。従来は震源域より大きい波長の波動は生じないと考へられていたけれど、実はそれは  $e^{i\omega t}$  の  $\rho$  で積分しないための誤りであつて、 $\rho$  で積分すると、殆んど震源域位か又はそれよりもずっと大きい波長の波動を生ずる事になる。

以上計算にあたり、中央气象台長和達清夫博士、同地震課長井上宇胤博士、及び東京大学地球物理学教室松沢武雄博士、坪井忠二博士の心からなるおはげましに対し感謝致しております。

— 昭 24. 5. 20 —

## On the Origin of Earthquake (the fifth paper)

### — On the Case of Aperiodic Force (II) —

S. TAKAGI (*Training School for Meteorological Observer*)

The author calculated elastic waves from the inner cave whose surface was forced as Fig. 1. Fig. 3 shows the result. Some characteristics from the result are shown in Fig. 4. 5.