

I-16 厚岸大橋において観測された強震記録の特性について

北 大 正 員 芳 村 仁
 苫 高 専 〃 中 辻 隆
 北海学園大 〃 早 川 寛 志
 道 土木部 〃 伊 藤 哲 郎

1. まえがき 前報告において筆者らは、軟弱地盤中におけるSH波とLove波の挙動について、実際に得られた記録を用いて考察した。厚岸大橋が架設されている地点は、N値0~10の粘土層と10~20の砂層とが数mごとに互層をなし、約60m地点に泥岩の支持層をもつ軟弱地盤である。単一の調和波が硬地盤から軟地盤へ伝わる時には、その振幅が増大され、またその進行方向が鉛直寄りになる事は広く知られている事実であるが、発震機構や伝達経路の特性が反映され多くの周波数成分をもつ実際の地震波が軟弱地盤中を伝わる時の挙動については未だ不明な点も多く、実際の観測記録に基づく解析に待つことも多い。

本報告においては、前報に引き続き、主にSH波とLove波の関係において、軟弱地盤中における実体波と表面波の挙動を検討するとともに、P波とSV波の波動特性を明らかにするために、周波数領域におけるマルチフィーターを用いた波動軌跡の主軸方向分析を行ない、また同時に理論解析も行ない、次ので報告したい。

2. SH波とLove波の挙動特性

(1) 基礎理論 図-1に示すような基盤も含めて n 層から成るお互いに平行な多層地盤を考える。第 m 層において、波動の微分方程式とその解は

$$\frac{\partial^2 v_m}{\partial t^2} = \beta_m^2 \left[\frac{\partial^2 v_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_m}{\partial z^2} \right] \quad (1)$$

$$v_m = \{ A_m e^{-ik_p m z} + B_m e^{ik_p m z} \} e^{i(pz - kx)} \quad (2)$$

$$(T_{yz})_m = -ik_p \mu_m \{ A_m e^{-ik_p m z} - B_m e^{ik_p m z} \} e^{i(pz - kx)} \quad (3)$$

$$\beta_m^2 = \mu_m / \rho_m, \quad k_p^2 = (C / \beta_m)^2 - 1, \quad C = P / k \quad (4)$$

と表わす事が出来る。ここで、 ρ_m と μ_m はそれぞれ第 m 層の密度と剪断のヤング係

数である。各層境界面における変位 v と応力 T_{yz} の連続性より、第 m 層の v_m と T_m は伝達関数表示する事が出来る。

$$\begin{Bmatrix} v_m \\ T_m \end{Bmatrix} = \mathcal{Q}_m \mathcal{Q}_{m-1} \cdots \mathcal{Q}_1 \begin{Bmatrix} v_0 \\ T_0 \end{Bmatrix}, \quad \mathcal{Q}_m = \begin{Bmatrix} \cos(k_p m d_m) & \sin(k_p m d_m) / k_p \mu_m \\ -k_p \mu_m \sin(k_p m d_m) & \cos(k_p m d_m) \end{Bmatrix} \quad (5)$$

ここで、 v_m と T_m は、第 m 層の下層面における変位 v と応力 T_{yz} を表わすものとする。基盤から鉛直方向と θ の角をなして入射し多層地盤内を斜め方向に伝播するSH波の位相速度 C は、 $C = \beta_n / \sin \theta$ によって決定される。

Love波の位相速度 C は、基盤内における変位と応力が指数関数的に減少するという条件を用いて求まる固有方程式の解として与えられる。すなわち、

$$\mu_n k_{pn} L_{11} + L_{21} = 0 \quad (6)$$

但し、 L_{11} と L_{21} はそれぞれ、 $L_n = \mathcal{Q}_{n-1} \mathcal{Q}_{n-2} \cdots \mathcal{Q}_1$ 行列の $(1,1)$, $(2,1)$ 成分を表わしている。

(2) 解析結果

これまでの解析によつて、厚岸大橋近傍の地盤においては、SH波とLove波とが、ほぼ同じ周波数0.9, 1.9Hzで卓越し得る事を示した(図-2; S波の増幅度スペクトル, 図-3; Love波分散曲線)。図-4は強震計が設置されている $z=25m, 47m$ 地点におけるSH波(鉛直下方向入射)とLove波の $v(z)/v(0)$ の値を各周波数成分に対してその変動を示したものである。この図から、卓越周波数である0.9, あるいは1.9Hz付近においては、 $v(z)/v(0)$

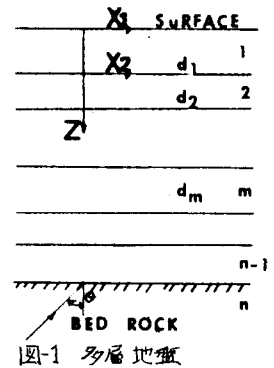


図-1 多層地盤

がSH波とLove波とで近似した値となっており、これは、当該地盤のように硬い基盤の上に軟らかい層がある地盤構造においては、特にその地盤の地震時挙動に大きな影響を与える周波数成分に対してSH波とLove波とが類似した特性を示す事を推察させる。この事を二層からなる簡単な地盤モデルを用いて検討したのが図6～図7である。(I)は振動インピーダンス比が小さく、(II)は比が大きい地盤を表わしている。

モデル地盤のS波(鉛直入射)の卓越周波数は、基盤面が定常波の節に、また地表面が腹になる時であるから、 $f = (2n+1)\beta_1/4d$ (n は自然数)より $f=0.5, 1.5\text{Hz} \dots$ とする。図6に示すようにLove波の群速度が極小となるのは、(I)では1.3, 3.0Hz...(II)では0.6, 1.7Hz...となり、(II)の地盤においてS波とLove波がより近接した周波数で卓越する事がわかる。これは、数式からも推定される。即ち、二層地盤におけるLove波の固有方程式は(6)式を変形し

$$\tan k d_1 \sqrt{\left(\frac{c_1^2}{\beta_1^2} - 1\right)} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{c_2}{c_1}\right)^2}{\left(\frac{c_1^2}{\beta_1^2} - 1\right)}} \quad (7)$$

となる。 $\mu_2 \gg \mu_1$ の時には容易に

$$f = \frac{\beta_1}{4d} \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{c_2}{c_1}\right)^2}} \quad (8)$$

の関係を導く事が出来る。

図4と同様にして、モデル地盤中の中点($z=25\text{m}$)における $v(z)/v(0)$ の値を図7に示したが、インピーダンス比の大きい(II)の場合には0.5,あるいは1.5Hz付近でのSH波とLove波の類似が見られる。図5は、SV波(鉛直入射)とRayleigh波に関し、図4と同様に、 $u(z)/u(0)$ の値を示したものである。SH波とLove波の場合と似た傾向が見られるが、これらについては、今後更に詳しく検討するものとした。

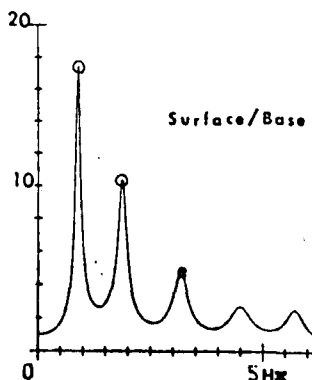


図-2 S波の増幅度スペクトル

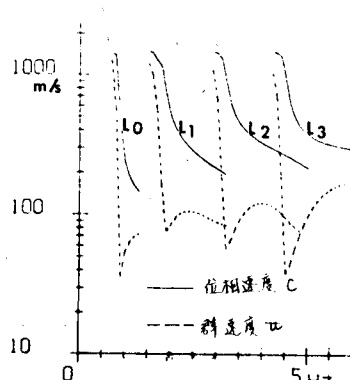


図-3 Love波の分散曲線

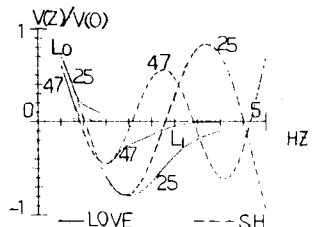


図-4 $v(z)/v(0)$; SHとLove

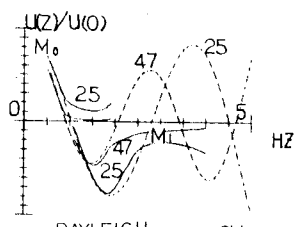


図-5 $u(z)/u(0)$; SVとRayleigh

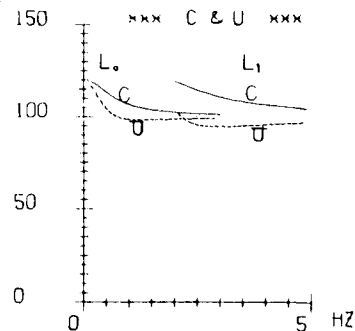


図-6(1) 分散曲線(モデルI)

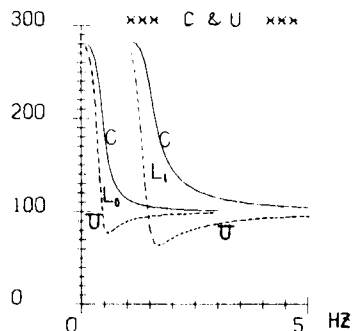


図-6(2) 分散曲線(モデルII)

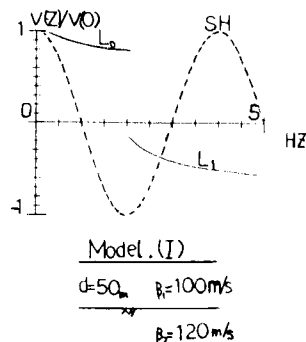


図-7(1) $v(z)/v(0)$

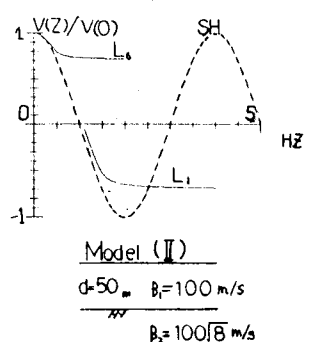


図-7(2) $v(z)/v(0)$

3. P波とSV波の挙動特性

(1) 基礎理論 P波とSV波を表わす微分方程式とその変位解は以下のように表わす事が出来る。

$$\frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial t^2} = \alpha_m^2 \left[\frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_m}{\partial z^2} \right] \quad (9) \quad \frac{\partial^2 \psi_m}{\partial t^2} = \beta_m^2 \left[\frac{\partial^2 \psi_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi_m}{\partial z^2} \right] \quad (10)$$

$$u_m = (i k) \left[\frac{\alpha_m^2}{p^2} (A_m e^{-i k \beta_m z} + B_m e^{i k \beta_m z}) + \beta_m \frac{2 \beta_m^2}{p^2} (C_m e^{-i k \beta_m z} - D_m e^{i k \beta_m z}) \right] e^{i(p x - k z)} \quad (11)$$

$$w_m = (i k) \left[\beta_m \frac{\alpha_m^2}{p^2} (A_m e^{-i k \beta_m z} - B_m e^{i k \beta_m z}) - \frac{2 \beta_m^2}{p^2} (C_m e^{-i k \beta_m z} + D_m e^{i k \beta_m z}) \right] e^{i(p x - k z)} \quad (12)$$

応力も同様にして表わす事が出来るので、 m 層の下層面における変位 u, w と応力 σ_x と τ_{xz} をそれぞれ $u_m, w_m, \sigma_m, \tau_m$ と記号付けると 次を示す伝達関数表示を得る事が出来る。(Tは並置行列を示す。)

$$\{u_m, w_m, \sigma_m, \tau_m\}^T = b_m b_{m-1} \cdots b_2 b_1 \{u_0, w_0, \sigma_0, \tau_0\}^T \quad (13)$$

b_m は 4×4 行列であるが、(5)式の a_m 同様、 m 層の地盤定数によって定める事が出来る。

位相速度 C は 入射角 θ を用いて $C = \alpha_m / \sin \theta$ 、あるいは $\beta_m / \sin \theta$ と求める事が出来る。特にSV波において $\theta \geq \sin^{-1}(\beta_m / \alpha_m)$ となる角で入射する場合には臨P波が境界面で全反射し基盤内におけるP波が指数関数的に減少する。

(2) 波動軌跡 ある地点($x=0$ と仮定)における変位を u, w とすると、それは一般的に複素数となり

$$u = (a + bi) e^{i p t} \quad (14) \quad w = (c + di) e^{i p t} \quad (15)$$

と表わす事が出来るので、時刻 t を消去する事によって (u, w) は 楕円となる。

$$(c^2 + d^2) u^2 - 2(ac + bd) u w + (a^2 + b^2) w^2 = (bc - ad)^2 \quad (16)$$

楕円の長径と短径の大きさ R_1, R_2 と長軸の方向 χ は (17)(18)式'によ、て決定される。

$$R^2 - (\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 + \delta^2) R + (\alpha^2 + \beta^2)(\gamma^2 + \delta^2) - (\alpha\gamma + \beta\delta)^2 = 0 \quad (17)$$

$$\tan 2\chi = -2(\alpha\gamma + \beta\delta) / (c^2 + d^2 - a^2 - b^2) \quad (18)$$

(11)~(13)式を用いて B_m, D_m (P波入射; $A_m=0, B_m=1$, SV波入射; $A_m=0, D_m=1$) と u_m, w_m の関係を決めると P波が入射する場合には、 $\beta_m < \alpha_m < C$ となるので u_m と w_m がともに複素数となり長軸の方向が傾いた楕円となる。しかしながら、臨界角より大きい角でSV波が入射した場合には、単位の入射SV波に対して、 u_m は純虚数($a=0$) w_m は実数($d=0$)となるので (16)式は (19)式'のようになる。

$$\frac{u^2}{b^2} + \frac{w^2}{c^2} = 1 \quad (19)$$

ここで、 $|b| > |c|$ の場合には 長軸の方向は $\chi=0$ 、 $|b| < |c|$ の場合には $\chi=\frac{\pi}{2}$ となる。又Rayleigh波においても $C < \beta_m < \alpha_m$ であるので (19)式'が成立する。

(3) マルチフィルターを用いた波動軌跡の主軸方向分析

実際の地盤中を伝播する地震波は 境界面あるいは地表面の存在によってP波とSV波とが相互に関連し合い複雑な楕円軌跡を描いているものと思われる。実際の観測波形から楕円軌跡を求めその長軸(主軸)方向を決定するために 時刻 t における主軸の方向 χ を次のように定義した。

$$\chi(t) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[\frac{-2I_{uw}}{I_u - I_w} \right] \quad (20)$$

$$I_u = \int_t^{t+\tau} \dot{u}^2 dt, \quad I_w = \int_t^{t+\tau} \dot{w}^2 dt, \quad I_{uw} = \int_t^{t+\tau} \dot{u} \dot{w} dt \quad (21)$$

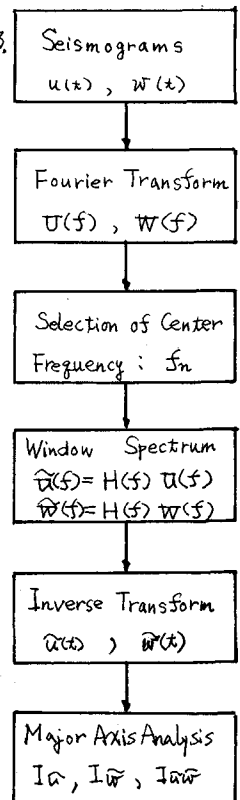


図-8 主軸方向分析法

各周波数成分に対する I_a , I_b , I_{ab} を計算するためにマルチフィルターを用いた。即ち、図-8の流れ図に示すように、フーリエ変換された周波数領域において対象とする周波数 f_n の近傍成分だけをフィルター関数 $H(f)$ を用いて抽出し、それを逆変換して、周波数 f_n の波形関数 $\hat{u}(t)$ と $\hat{v}(t)$ を求め I_a , I_b , I_{ab} の計算をする。

ここで、フィルター関数と

しては Gauss 関数

$$H(f) = e^{-\alpha \left(\frac{f-f_n}{\Delta f} \right)^2} \quad (22)$$

を用いた。実際の計算においては $f = f_n (1 \pm 0.25)$ の周波数で $H(f)$ の値が十分小さくなるようにパラメータ α の値を決定した。

$\alpha(t)$ の計算結果は、横軸を周波数に、縦軸を時刻にとり表現される。

(4) 解析結果

エトロフ沖地震 (53.12.6, $M=7.7$, 震央距離 $\Delta=250$ km 震源深度 $h=100$ km) の時に地表で観測された記録を用いて主軸方向 α を計算したのが図9である。図中の左端の波形は、水平方向2成分から求めた震央と観測地を結ぶ方向 (R-D 方向) の、また右端は上下 (u-d) 方向の波形である。対象とした周波数は、上横軸上に示した $f_n=0.2, 0.3, 0.4, \dots$ の各成分であり、 $T=1/f_n$ とし、時刻 t を1秒づつずらして計算したものである。

表-1、表-2はそれぞれP波SV波が、入射角 $\theta=0^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ の大きさで入射した時に、各周波数成分に対して式(18)から理論的に計算される楕円の長軸方向を示したものである。この計算において、基準の α_n と β_n をそれぞれ $\alpha_n=300^\circ/\text{s}$, $\beta_n=1500^\circ/\text{s}$

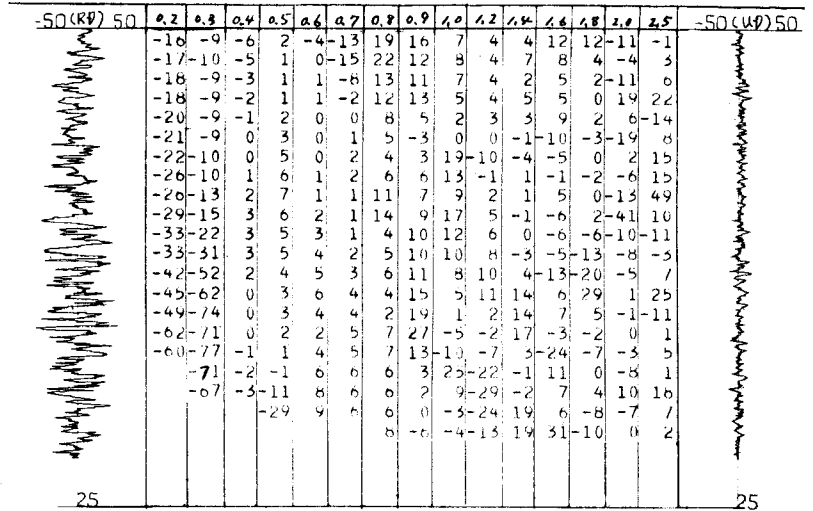


図-9 各周波数成分の主軸方向 $\alpha(t)$

(53.12.6 H-07沖地震)

(P-Wave)

$\theta \backslash f$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0°	-90	-90	-90	-90	-90	-90	90	90	90	90	90	90	90	90
15°	-74	-72	-70	-66	-59	-47	-26	5	32	53	57	51	25	-40
25°	-64	-62	-58	-53	-44	-32	-16	3	19	38	42	36	15	-23
35°	-55	-52	-48	-42	-34	-23	-11	2	14	28	32	27	10	-16
45°	-47	-44	-40	-34	-27	-18	-8	2	10	22	25	21	8	-11
60°	-37	-34	-30	-26	-20	-13	-6	1	7	16	19	15	6	-8
75°	-30	-28	-25	-21	-16	-10	-5	1	6	13	15	12	5	-5

表-1 各周波数成分の主軸方向 (理論) ; P-波

(SV-Wave)

$\theta \backslash f$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15°	13	12	11	9	6	4	2	0	-2	-5	-6	-4	-1	2
25°	18	16	14	12	9	6	3	0	-3	-7	-8	-6	-2	3
35°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45°	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	0	0	0
60°	90	90	90	90	0	0	0	0	0	90	90	90	0	90
75°	90	90	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90

表-2 各周波数成分の主軸方向 (理論) ; SV-波

m/s と仮定しているのでSV波は $\theta \geq 30^\circ$ である時全反射を生じる。この表は、 $\theta < 30^\circ$ なるSV波と地盤の卓越周波数である0.9あるいは1.9HzのP波においては、振動の主軸がほぼ水平方向になることを述べている。図-9を見ると0.2Hzと0.3Hz成分を除いた他の周波数成分においては、多少のばらつきはあるが、ほぼ水平に近い主軸をもつ；しかもその時間的変動も小さい事がわかる。この事からこれらの成分の多くが $\theta < 30^\circ$ なるSV波に対応しているものと予想される。一方、0.2と0.3Hz成分ではその主軸方向が時間の経過とともに -90° に向かっている。鉛直方向の長軸をもつのは、表-2に見る通り、全反射の生じるSV波においてであることを考えると、図-9に見られる0.2と0.3Hz成分の主軸方向の変化は、これらの実体波としての成分が、伝播途中の経路あるいは当該地盤において反射屈折を繰り返すうちに全反射が生じ、表面波成分へと変貌して、いる可能性を示している。

図10は、 $f=0.2, 0.3, 0.9, 1.9$ Hzの各周波数成分に対して抽出された $\hat{u}(t)$ 、 $\hat{w}(t)$ の波形と2秒間隔毎に描いた波動軌跡を示したものである。表-3と表-4は、それぞれP波とSV波が $\theta=15^\circ, 25^\circ, 45^\circ, 75^\circ$ で入射する

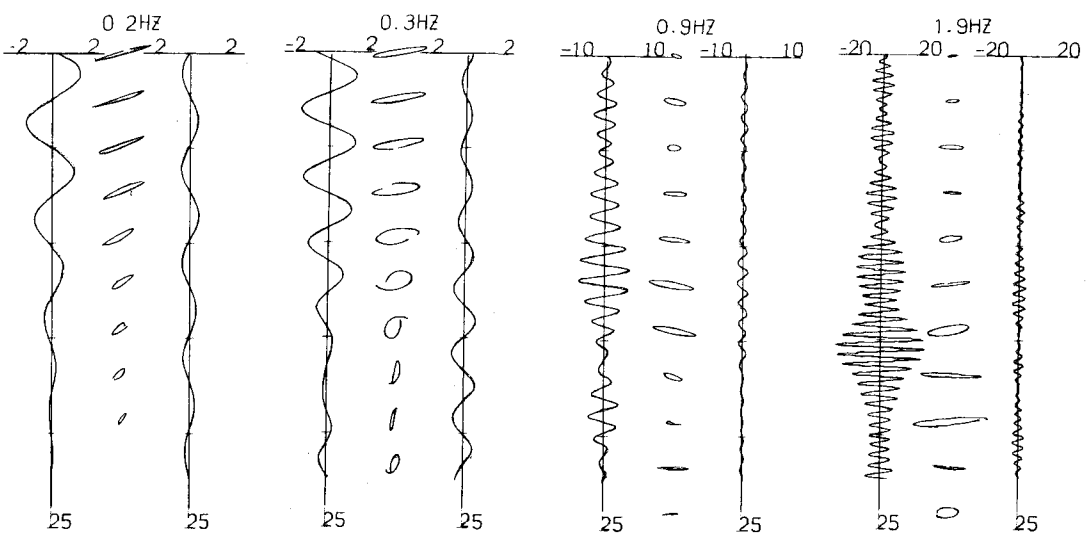


図-10 各周波数成分の波動軌跡 (実測) (S53.12.6 I-H7沖地震)

(P-Wave)

θ	0.2 Hz			0.3 Hz			0.8 Hz			0.9 Hz			1.0 Hz			1.8 Hz			1.9 Hz			2.0 Hz		
	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α
15°	1.9	0.0	-74°	0.8	0.0	-72°	4.4	0.6	-28°	2.6	1.8	5°	3.7	0.6	32°	4.2	1.4	25°	4.6	2.2	-8°	3.2	1.1	-46°
25°	1.6	0.0	-66°	2.0	0.0	-62°	6.6	0.7	-16°	14.9	1.9	3°	5.4	0.6	19°	6.1	1.5	15°	7.0	2.2	-4°	4.5	1.3	-23°
45°	2.0	0.0	-47°	2.1	0.0	-44°	2.5	0.8	-8°	20.5	1.8	2°	8.1	0.6	10°	8.2	1.6	8°	9.4	2.1	-1°	6.3	1.5	-11°
75°	1.4	0.0	-30°	1.5	0.0	-28°	6.7	0.6	-5°	11.1	0.9	1°	4.6	0.4	6°	4.6	0.8	5°	4.9	0.9	0°	4.1	0.8	-5°

表-3 各周波数成分の楕円形状 (R_1 長径, R_2 短径, α 主軸方向)

(SV-wave)

θ	0.2 Hz			0.3 Hz			0.8 Hz			0.9 Hz			1.0 Hz			1.8 Hz			1.9 Hz			2.0 Hz		
	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α	R_1	R_2	α
15°	2.2	0.0	13°	2.4	0.0	12°	14.9	0.1	2°	34.0	0.1	0°	12.1	0.0	-2°	14.1	0.1	-2°	16.5	0.0	0°	10.1	0.0	2°
25°	0.1	0.0	18°	0.3	0.0	16°	1.9	0.0	3°	27.6	0.1	0°	12.3	0.1	-3°	11.4	0.0	-2°	12.9	0.1	0°	5.8	0.9	3°
45°	1.4	0.1	90°	1.4	0.0	90°	1.5	0.5	90°	1.4	1.0	90°	1.5	0.5	90°	19.0	1.9	0°	3.6	1.0	0°	2.2	1.2	0°
75°	0.7	0.5	90°	0.7	0.5	90°	3.3	0.4	0°	12.4	2.6	0°	2.6	1.3	0°	2.4	0.2	0°	3.0	1.4	0°	0.7	0.9	90°

表-4 各周波数成分の楕円形状 (R_1 長径, R_2 短径, α 主軸方向)

時、式(17)と式(18)とから求まる楕円軌跡の長径 R_1 と短径 R_2 と長軸の方向 α を $f=0.2, 0.3, 0.9, 1.9$ Hz成分に対して求めたものである。ここでは、楕円の大きさは、入射波の波長 λ (P波の場合には $\lambda = \alpha_p / 2\pi f$, SV波の場合には $\lambda = \alpha_s / 2\pi f$)を用いて、 λ/α 倍されている。表3,表4から、当該地盤においては、全反射が生じていない時には、その楕円の形は、長径/短径の比が大きいものとなり、しかもその周波数が地盤の卓越周波数に近い時にはその方向はほぼ水平となるが、他方、全反射が生じている時には、楕円の形は丸味を帯び、その長軸の方向は、 $\alpha=0^\circ$ が 90° のいずれかになることがわかる。特に、0.2Hzあるいは0.3Hz成分に対しては、 $\alpha=90^\circ$ になる事が多いと予想される。強震記録から求めた楕円の形状から判断するならば、0.9あるいは1.9 Hz成分は時間的にあまり変動する事なく長径/短径の値が大きい値となっているので、全反射は生じていないものと思われる。一方0.2, 0.3 Hz, 特に0.3Hz成分に対して顕著であるが、時刻が進むにつれて丸みを帯びた形になるとともにその方向も 90° となっていることから、先に述べたように、これらの周波数成分において、実体波から表面波への移行が生じているものと思われる。

最後に、楕円の形状と地盤の卓越周波数の関係を見るならば、既に、表-1と表-2で見え通り、これらの周波数において、その振動方向が水平であるとともに、表-3と表-4に見る通り、長径の長さも極大値となっている。この事は逆に、0.9Hzあるいは1.9 Hz成分の波が最も水平方向に大きく振動する性質を持っているから卓越周波数になると言える。ここで、再度、図9を見るならば、必ずしも、0.9Hz成分が水平になってはならず、0.5Hz～0.7 Hz付近で最も水平な動きをしている事が示されている。これは、解析に用いた記録が $M=7.7$ と大きく、しかも $\Delta=250$ kmと大きいために、地震波形には地盤による影響よりも発震や伝達経路の影響が色濃く反映されているためと思われる。

4. あとがき

必ずしも十分な論議がなされたとは言えないが、今回の報告において次の成果をあげることが出来た。

(1) 厚岸大橋近傍地盤のように、硬い基盤の上に軟らかい軟弱層があるような地盤においては、SH波とLove波とは類似した挙動を示す。また、具体的には解析結果を示さなかったが、容易に推察されるように、このような地盤構造においては、SH波の入射角の影響は小さい。即ち、Love波が問題となる時、その地盤が硬い基盤を持っている場合には、鉛直下方から伝播するSH波と考えても誤差は大きくはないものと思われる。今後、逆に、振動インピーダンス比の小さい場合の挙動のちがいを分析するとともにP波、SV波とRayleigh波の関係についても検討して行きたい。

(2) 今回、筆者らが提案したマルチフィルターを用いた主軸方向の分析法が、地震波に含まれている各周波数成分の経時変化を集約的に表現するのに有効な手段である事を示すことが出来た。今回報告したように、理論解析との照合を同時に行うならば、地震波の挙動をかなり速格に促える事が出来るものと期待される。しかしながら、未だ解析事例も少なく、また、フィルターの感度など解決すべき点も多く今後さらに改良を重ねて行きたい。

最後に、本研究の実施にあたり 有益な助言をして下さいました北大工学部金子孝吉氏と佐々木康彦氏に深く感謝の意を表します。

なお、本研究の数値計算は 北大大型計算機センターのHITAC M-200と苫高専HITAC 8250を用いて行いました。

参考文献

- | | |
|--|--|
| (1) 金子他;土木学会論文集, Vol.289, 1979 | (2) 星谷他;土木学会論文集, Vol.268, 1977 |
| (3) 西村他;震研集報, Vol.13(1935), Vol.15(1937) | (4) 妹沢他;震研集報, Vol.10(1932), Vol.12(1934) |
| (5) Brjewinski et al; B.S.S.A., Vol.59, No.1, 1969 | (6) Bloch et al; B.S.S.A., Vol.58, No.3, 1968 |
| (7) Haskell; B.S.S.A., Vol.43, 1953 | (8) Gazetas et al; A.S.C.E., Vol.105, GT12, 1979 |
| (9) 佐藤;弾性波動論, 岩波書店 | (10) Brekhovskikh; Waves in Layered Media, A.R. 1980 |
| (11) 中辻芳村, 厚川;土木学会北海道支部, Vol.37, 1981 | (12) 芳村, 中辻;第16回地震工学研究発表会, 1981 |