

大林組技術研究所 正会員 大堀道広
 大林組技術研究所 非会員 野畑有秀
 大林組技術研究所 非会員 若松邦夫
 大林組技術研究所 非会員 安井 譲

1. はじめに

周知のことだが、堆積盆地に代表される不整形地盤の地震応答解析手法として、BEM¹⁾⁻³⁾、BIEM⁴⁾、FEM⁵⁾、ALM⁶⁾など、様々な手法が提案されているが、いずれも全ての問題に対して万能なものではなく、対象とする問題ごとに適した手法を選択する必要がある。こうした中で、最近では、現実的な薄い堆積盆地の端部で生成される Love 波の計算を行うために、効率的な手法が相次いで提案されているが^{2),3),7),8)}、本研究もその流れを汲むものであり、久田^ら^{2),8)}が提案した片側の開いた堆積盆地に対する計算方法(以後、久田法)を、両側の閉じた堆積盆地の計算方法に拡張した⁹⁾ので報告を行う。

2. 定式化

図1に示すように半無限弾性体ではさまれた多層を有する成層構造において、左側の半無限弾性体側から鉛直方向に任意の振幅分布を有する SH 波が水平方向から入射する場合を考える。この時、左側の鉛直境界において発生する Love 波のみに着目すれば、堆積盆地内の地震応答は、久田法により次式で表される。

$$u_2^I(x, z) = 2 \sum_{m=0}^M \sum_{n=1}^{N_c} \mu_{2,n} T_n^m u_{1,n}^I \Delta A_{L,n}^m(z) \times \exp\{-ik_2^m(x+r)\} \quad (1)$$

ここで、添字 m はモード次数を表す。 k_1 、 k_2^m は水平方向波数を表す。 $\mu_{2,n}$ 、 T_n^m 、 $u_{1,n}^I$ は第 n 層に関するせん断弾性係数、透過係数、入射波の振幅を意味する。 $\Delta A_{L,n}^m(z)$ は Love 波の medium response¹⁰⁾ に propagator 行列を乗じた上で第 n 層の上端から下端まで積分して得られる実数値である^{2),8)}。彼らの定式化においては、表現定理とともに成層構造に対するグリーン関数として Love 波の正規モード解が

用いられているが、全く同様の手続きにより、盆地内を伝播した Love 波が右側の鉛直境界に入射する問題を定式化することができる⁹⁾。その結果、成層構造内を伝播する Love 波が鉛直境界に入射した際の反射 Love 波の地表面振幅は、入射 Love 波の地表面振幅を 1 とすれば、次式で表される。

$$R^m = 2 \sum_{n=1}^N \mu_{2,n} R_n^m \phi_n^m \Delta A_{L,n}^m(0) \quad (2)$$

ϕ_n^m 、 R_n^m は第 m 次モード、第 n 層における地表面で基準化した Love 波のモードと反射係数を表す。 R^m は、鉛直境界全体での反射係数に相当し、これを(1)と組み合わせれば、成層構造の両側に鉛直境界がある場合に任意の振幅分布を有する SH 波が半無限弾性体側から入射した場合に、盆地内を行き交う Love 波による地震応答は次式で表される。

$$\begin{aligned} u_2(x, z) &= u_2^I(x, z) + \sum_{l=1}^{L_m} u_2^{R,l}(x, z) \\ &= \sum_{m=0}^M u_2^{I,m} \phi^m(z) \sum_{l=0}^{L_m} (R^m E^m)^l F_l^m \end{aligned} \quad (3)$$

ただし、

$$u_2^{I,m} = 2 \sum_{n=1}^{N_c} \mu_{2,n} T_n^m u_{1,n}^I \Delta A_{L,n}^m(0) \quad (4)$$

$$E^m = \exp(-2ik_2^m r) \quad (5)$$

$$F_l^m = \begin{cases} \exp\{-ik_2^m(x+r)\}, & l=0 \\ \exp(+2ik_2^m x), & l=1, 3, 5, \dots \\ \exp(-2ik_2^m x), & l=2, 4, 6, \dots \end{cases} \quad (6)$$

ここで、 L_m は time window 内に含まれる反射 Love 波の数を表す。これより、盆地内を行き交う任意の Love 波を個別に評価し、伝播時間を reduce しながら計算を行うことも可能である。

3. 計算例と考察

本手法を用いて、図2に示す幅30km、深さ1kmの矩形の堆積盆地に平面SH波が真横から入射する場合の盆地内の地震応答を計算する。まず、(2)より盆地内を伝播するLove波の反射係数を算出したので、これを図3に示す。図中には、エアリー相に対応する周波数を●印で示している。次に、震源時間関数として中心周期3秒のRicker Waveletを用いて、基本モードのみに着目した時刻歴応答の計算を行った。その結果を図4に示す。図4(a)は(1)を用いて計算した左側境界より発生した透過Love波を表している。図4(b)は図4(a)に示す透過Love波が右側境界に入射した際に発生した第1回目の反射Love波を表しており、(3)を用いて計算している。なお、伝播時間を15秒reduceして求めている。同様に、図4(c)-(f)は順に第2回目から第5回目までの反射Love波を表している。盆地左端で発生したLove波が盆地内を幾度か繰り返し伝播するうちに勢力を失っていく様子がわかる。

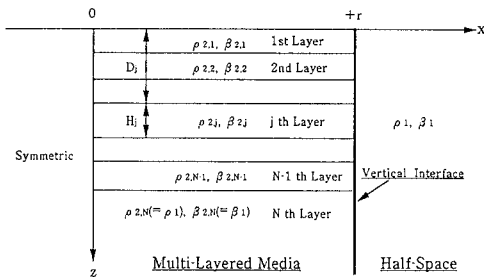


図1: 本研究において対象とする鉛直境界

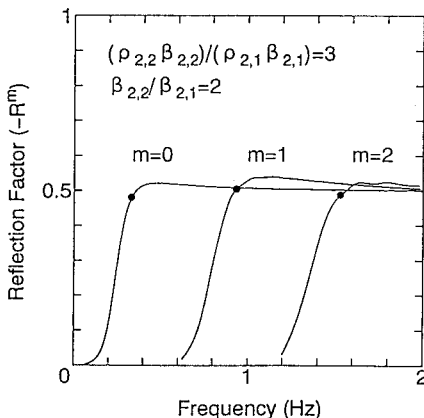


図3: Love波の反射係数 R^m

謝辞

Love波のmedium responseの計算プログラムを使用させて頂きました東京大学地震研究所の工藤一嘉先生に感謝いたします。

参考文献

- 1) 久田嘉章, 山本俊六, 谷資信, 日本建築学会構造系論文報告集, 第393号, 1988年11月
- 2) 久田嘉章, 早稲田大学学位論文, 1991年12月
- 3) 藤原広之, 竹中博士, 物理探査学会第89回学術講演集, 1993年
- 4) Sánchez-Sesma, F. J. and Esquivel, J. A., Bull. Seism. Soc. Am., Vol.69, 1979
- 5) 座間信作, 地震研究所彙報, Vol.56, 1981年
- 6) Aki, K. and Larnier, L. L., J. Geophys. Res., Vol.82, 1970
- 7) 大堀道広, 野畑有秀, 若松邦夫, 安井譲, 地震2, 1994年(印刷中)
- 8) 久田嘉章, 山本俊六, 谷資信, 日本建築学会構造系論文報告集, 第419号, 1991年1月
- 9) 大堀道広, 野畑有秀, 若松邦夫, 安井譲, 日本建築学会構造系論文報告集, 1994年(投稿中)
- 10) Harkrider, D. G. and Anderson, D. L., J. Geophys. Res., Vol.71, 1966

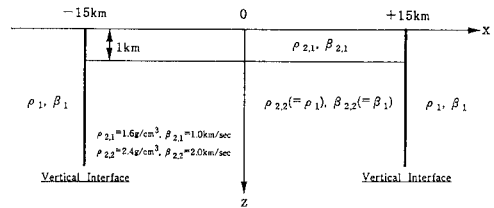


図2: 例題として用いる堆積盆地

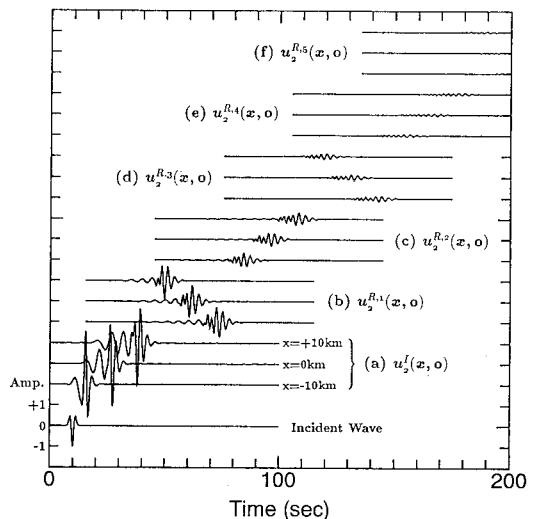


図4: 時刻歴応答波形