

I - B 83

地中深部に加振点を有する場合の固有モードを用いた半無限成層地盤のインパルス応答

佐藤工業 正会員 秋山伸一
早稲田大学 正会員 宮原 玄

1. はじめに

著者らはこれまでに Love 波とリーキングモードを用いて半無限成層地盤のインパルス応答について一連の研究^{1)~3)}を行ってきた。これらの研究は加振点が表層地盤内にある場合を対象としている。ここでは、加振点が半無限基盤内にある場合について検討する。

2. 加振点が半無限基盤内にある場合の定式化

定式化の対象となる地盤モデルを図-1に示す。このモデルは半無限基盤と厚さ H の表層地盤から成る。図中の C_j , μ_j ($j=0,1$) は各々基盤と表層のせん断波速度とせん断弾性係数を示す。また, S は半無限基盤内の加振点, R は表層地盤内の観測点を表す。

図-1において、基盤内の加振点 S に衝撃力 P が作用すると、観測点 R の応答は振動数と波数の二重積分で表される。二重積分のうち、波数に関する積分は加振点が表層地盤内にある場合^{1),2)}と同様に、Riemann 面の上葉および下葉上に拡張して積分経路を変更することにより Love 波モードとリーキングモードの和で表される。リーキングモードは Love 波と同様に面外波動の特性方程式から導かれる固有モードである。以上により、インパルス応答は次式で示される。

$$v_1(x, z, t) = \frac{P}{\mu_1 \pi} \sum_n \operatorname{Re} \int_{\Gamma_n} B(\omega, \xi_n) \cos \eta_1 z \cdot \exp(i\omega t - i\xi_n x) d\omega, \quad (0 \leq z \leq H) \quad (1)$$

$$\text{ここに, } B(\omega, \xi_n) = \frac{\cos \eta_1 H}{\xi_n} \exp\{-i\eta_0(h-H)\} \left\{ \frac{\mu_0 \mu_1}{\eta_0} \cdot \frac{\eta_1^2 - \eta_0^2}{\mu_1^2 \eta_1^2 - \mu_0^2 \eta_0^2} + iH \right\}^{-1}$$

$$\eta_j = \sqrt{k_j^2 - \xi_n^2}, \quad k_j = \frac{\omega}{C_j}, \quad (j=0,1)$$

上式において、 i は虚数単位、 ω は角振動数、 ξ_n は Love 波とリーキングモードの n 次の固有値を示す。 Γ_n は図-2に示す ω 平面上のは積分経路を表す。図-2において ω_n は n 次の cut off frequency を表す。リーキングモードの区間における積分経路の設定については文献2)に詳しく示されている。

3. インパルス応答の算出

上述の定式化に従い、表-1に示す物性値を用いて地表面で観測されるインパルス応答を算出する。表-1より、表層地盤の層厚 100m に対して加振点は地表面から 150m(基盤面から 50m)の深さに位置する。インパルス応答の算出では、式(1)に現れる振動数の積分を台形公式に従って数値積分を行い、40 次までの固有

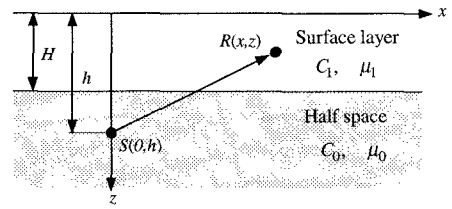


図-1 地盤モデル

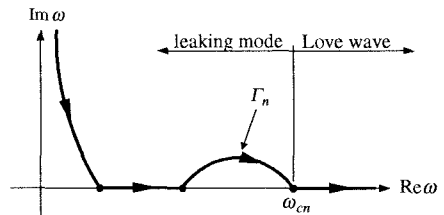


図-2 ω 平面上の積分経路

表-1 解析に用いる物性値

	Surface layer ($j=1$)	Half space ($j=0$)
$H(\text{m})$	100	—
$h(\text{m})$	—	150
$C_j (\text{m/sec})$	500	1000
$\mu_j (\text{kN/m}^2)$	5.0×10^5	2.0×10^6

キーワード：インパルス応答, Love 波, リーキングモード

佐藤工業(株)中央技術研究所 〒103-8639 中央区日本橋本町 4-12-20, TEL.(03)5823-2352, FAX.(03)5823-2358

モードを重ね合わせる．図-3～図-6 に算出結果を示す．

図-3 に示されるインパルス応答によると，はじめに直達波のパルスが現れ，続いて表層地盤内を反射しながら伝わる波のパルスが現れる．このうち，直達波のパルスは加振点近傍で最も大きく，遠方に進みながら次第に減少する．つぎに，インパルス応答を構成するリーキングモードの成分を図-4 に，Love 波の成分を図-5 に示す．これらの結果から，リーキングモードに比べて Love 波の成分はほとんど現れない．さらに，式(1)の固有モードの振幅特性を表す $B(\omega, \xi_n)$ を図-6 に示す．図-6 より，Love 波の振幅はリーキングモードと比べて十分小さい．したがって，インパルス応答は主にリーキングモードによって形成される．加振点が表層地盤内にある場合，インパルス応答に与える Love 波の影響は大きい^{2),3)}が，加振点が半無限基盤内にある場合のインパルス応答には Love 波の寄与がほとんど見られないのが大きな特徴である．

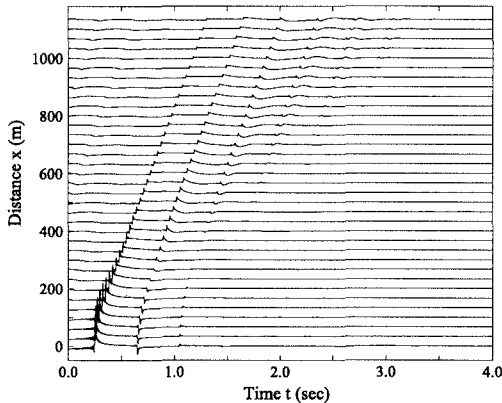


図-3 インパルス応答

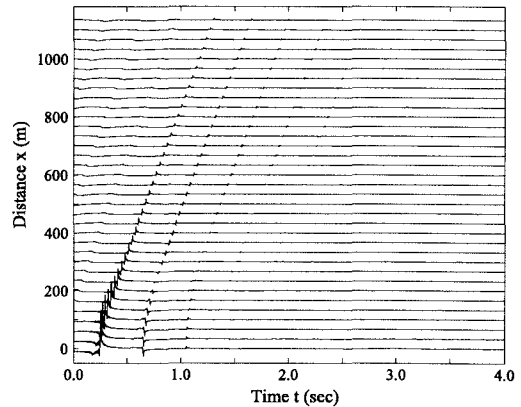


図-4 リーキングモード成分

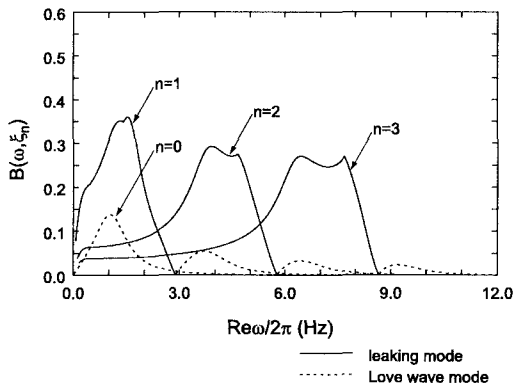


図-6 固有モードの振幅

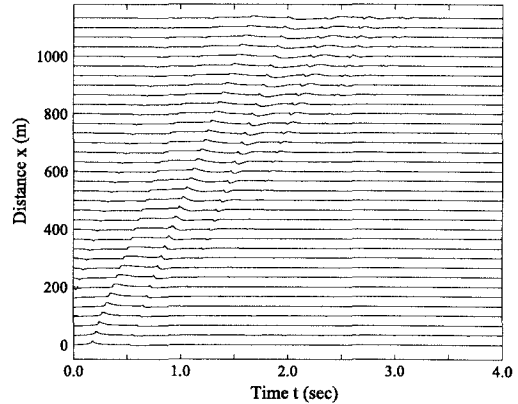


図-5 Love 波成分

4. まとめ

地中深部の半無限基盤内に加振点を有する場合のインパルス応答は，主にリーキングモードにより形成され，Love 波の寄与はほとんど現れない．この結果から見て，地中深部に震源を有する地震動の解析に正規モード法を用いることは適さない．一方，ここで示したインパルス応答は正規モードに加えてリーキングモードも含まれるため，震源の深さや観測点の位置に制約されることなく用いることができる．

-参考文献-

- 1) 秋山・宮原：固有モードの重ね合わせによって表現される半無限成層地盤のインパルス応答，第9回日本地震工学シンポジウム，pp.313-318, 1994.
- 2) 秋山：特性方程式から与えられる固有モードを用いた半無限成層地盤におけるインパルス応答の定式化，土木学会論文集，No.519/I-32, pp.149-158, 1995.
- 3) 秋山：Love 波とリーキングモードによって構成される半無限成層地盤のインパルス応答の性質，土木学会論文集，No.577/I-41, pp.41-52, 1997.