

成層地盤を伝播する波動の数値シミュレーション

東京理科大学理工学部 正会員 東平 光生
東京理科大学大学院 学生員 ○ 加藤 ゆかり

1. はじめに

近年、不整形地盤を伝播する波動の数値シミュレーションが、活発に行われるようになった。しかしながらその一方で、成層構造を伝播する波動の特性が解明されたとは言いがたい。本研究は、成層地盤のモード解析と時刻歴応答解析を通じて、成層構造を伝播する波動の時間-空間的伝播特性の検討を行ったものである。

2. 計算手法

計算手法として、薄層要素-離散化波数法¹⁾を用いる。この方法によると、式(1)で示すように、地盤の応答は振源の関数と Green 関数の合成積で表すことができる。こうして、簡単な積分形で時刻歴応答を計算することが可能となった。

$$\{u(t)\} = \sum_{k_n} [C_{k_n}] \int_0^t [h_{k_n}(t-\tau)] \{f_{k_n}(\tau)\} d\tau \quad (1)$$

ここで、 $\{u(t)\}$ は地盤の応答、 k_n は離散化波数、 $[C_{k_n}]$ は波動特性の伝播特性を決める horizontal wave function を成分とするマトリクス、 $[h_{k_n}(t-\tau)]$ は正規モードの重ね合せで定義されるマトリクス、 $\{f_{k_n}(\tau)\}$ は波動領域での振源の関数である。

3. 解析モデル

正規モードを求めるために、固有値解析を行う。その過程において、変位が生じない剛基盤の設定が必要となる。そのため、仮想の剛基盤からの反射 P 波が到達しない Time-window を十分とるために、本研究では地表面から深さ 100km 地点に設定した。そして、人工地震によって得られた東京付近の地盤モデル²⁾を用いる。この地盤モデルを図 1 に示す。

そこで、地表面から深さ 5km 地点を点震源とし、鉛直上向きに加振した場合の地表面での変位時刻歴を、無限級数の打ちきりの数を 200、時間増分を 0.1 秒で 20 秒間計算する。数値計算を行う観測点は、震央距離が 0.1km, 2km, 5km, 10km, 15km ある地表面のポイントとする。震源に加わる外力の時間変動はランプ関数

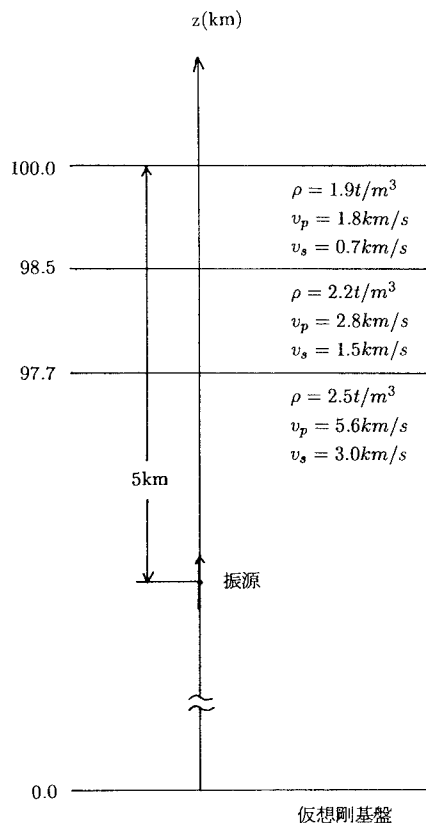


図 1: 地盤モデル

で与える。実際の震源に加わる力は、この力を組み合わせたモーメント外力としてモデル化されるが、さらに簡略化し、この力を単独で用いる。

計算結果は円柱座標系をもって表す。

4. 結果と考察

正規モードの位相速度と周波数の関係を図2に示す。これより正規モードが重なり合った結果、第三層のP波の位相速度5.6km/sとS波の位相速度3.0km/sで直線が形成されていることがわかる。分散性の正規モードを重ね合わせることによって、非分散性の実体波の合成が表現できる。

z成分とr成分のそれぞれの変位時刻歴を図3、図4に示す。弾性方程式の解を誘導する過程においてz方向と ϕ 方向の変位成分は独立な成分であることが確認されるように、z方向に加振しても ϕ 方向に変位は生じない。それに対して、z方向とr方向の変位は連成しているため、z方向の加振に伴い、r方向の変位も生じることがわかる。

一般には、幾何減衰により振幅が減少する。しかし、図4では、震央距離5kmまで変位が増幅しているのがわかる。実体波と表面波の組み合わせより、局所的に応答が大きくなっていると考えられる。

z成分のフーリエスペクトルを図5に示す。どの震央距離においても高周波数成分の小さいスペクトルを示しており、しかも1Hz以下にスペクトルが集中している。r成分のフーリエスペクトルにも同様の傾向がみられる。これは、力の加え方や地盤の影響による考えられる。

5. おわりに

成層地盤を伝播する波動の時間-空間領域での特性を調べるためにいくつかの数値シミュレーションを行った。これによると、成層地盤の波動伝播においても局所的に応答が大きくなるポイントが存在した。今後は、震源過程のモデル化を詳細に行うことと平行して、成層構造を伝播する波動の特性を解明することが課題である。

参考文献

- 1) Touhei 1994 B.S.S.A vol.84
- 2) 東京工業大学 年報博士論文 1993

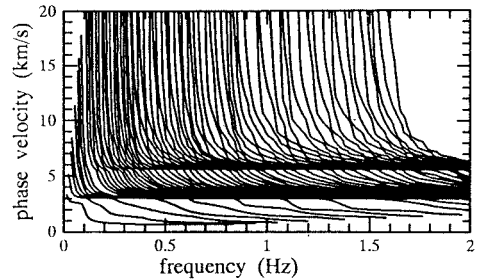


図2: 正規モードの位相速度と周波数の関係

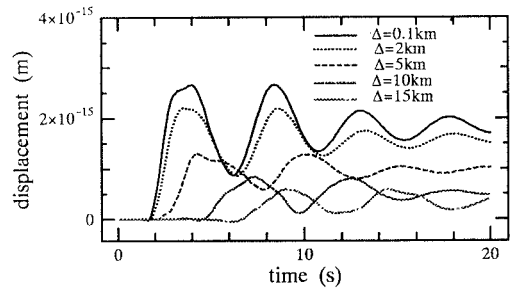


図3: z成分の変位時刻歴

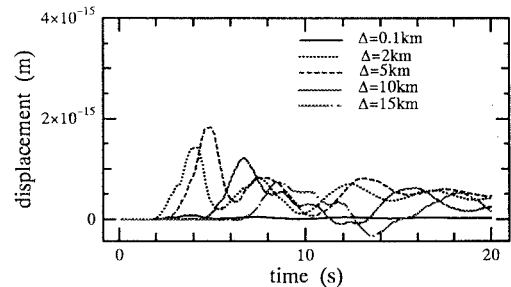


図4: r成分の変位時刻歴

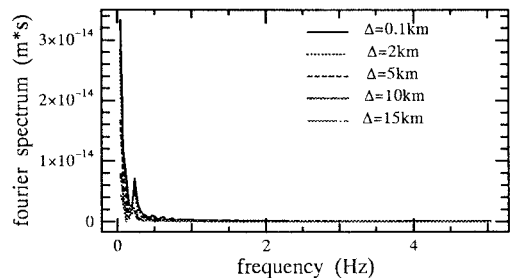


図5: z成分のフーリエスペクトル