

京都大学工学研究科 正会員 土岐憲三
 京都大学工学研究科 正会員 清野純史
 三菱商事 ○五島龍太

1. はじめに 成層地盤の地震応答解析においては重複反射理論が最も一般的で簡便な手法である。本研究では、成層地盤の地震応答解析における一般的な手法である重複反射理論を採用し、不整形地盤を水平方向に不均質な地盤材料特性を有する成層地盤構造と仮定することにより、伝達マトリックス、および Born 近似¹⁾を用いてその応答倍率を算出する手法を提示した。さらに、この一連の応答解析に等価線形化手法を導入し、地盤の非線形特性をも扱えるようにした。

2. 不均質地盤の地震応答解析 不均質地盤の簡略モデルとして、図 1 のような不整形地盤を想定する。地盤は 2 層構造で、深さ 20m、長さ 3200m であり、第 1 層の単位体積重量は $1.7(tf/m^3)$ 、せん断波速度は $200.0(m/sec)$ 、第 2 層はそれぞれ $1.8(tf/m^3)$ 、 $300.0(m/sec)$ である。本研究では、この不整形地盤に対して、深さ 10m から 20m まで層厚 1m の水平層を仮定し、これを成層構造とみなし、鉛直下方から波数 λ 、振幅 1 の SH

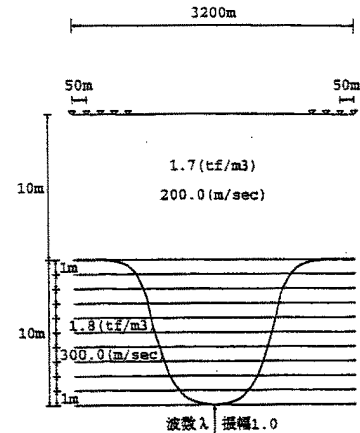


図 1 不整形地盤モデル

波が入射すると想定する。着目する地点は、各境界上に 50m 間隔で設置した離散点である。また、上記のように仮定した成層構造における各層の物性値は各層の物性値の平均値とした。重複反射理論によって各境界間で地震応答を伝達させる伝達マトリックスを P とすると、この伝達マトリックス P を用いれば対象とした地盤の各地点での応答倍率 f_0 (変位、応力) は以下の式を用いて算定できる。

$$f(k, z) = P(z, z_0)f_0(k, z_0) + \frac{1}{2\pi} \sum_{l=1}^L H_l P(z, z_l) P(z, z_{l+1}) A'_l(k - \lambda, z_{l+1}) f_0(\lambda, z_{l+1}) \quad (1)$$

ここで、 k は x 方向の波数である。また、行列は各層における水平方向に不均質な性質を表す行列である。すなわち、右辺第 1 項は均質性、右辺第 2 項は不均質性に基づく波動成分を表すことになる。

入射振動数を 5Hz、10Hz として地表面における波数領域での応答倍率を求めたものが図 2、またこれらをフーリエ逆変換して空間領域での応答倍率を求めたものが図 3 である。図 2 より、特に 10Hz 入射の場合に波数 0 以外の波数が大きく現れていることが

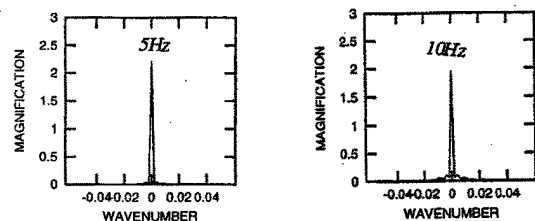


図 2 地表面の応答倍率 (波数領域)

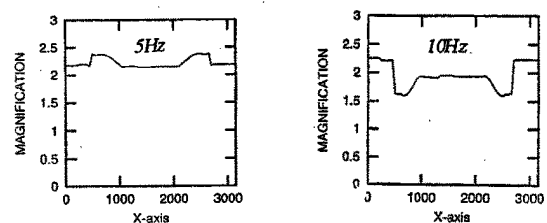


図 3 地表面の応答倍率 (空間領域)

わかる。また図 3 によると、主に直下の地盤構造に起因して場所ごとに応答が異なるため、5Hz 入射と 10Hz 入射では応答倍率の空間分布に顕著な違いが現れている。

入射振動数を 0.1Hz から 0.1 刻みで 12.8Hz まで変化させ、各離散点での周波数伝達関数を算出したものが図 4 (a)、(b) である。図 4 より、250m 地点では 4Hz、9Hz、850m 地点では 3~4Hz 付近が卓越していることがわかる。

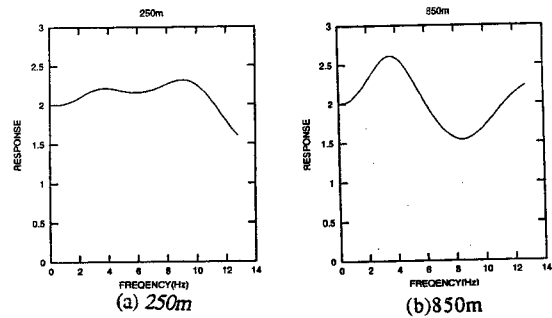


図 4 周波数伝達関数（地表面）

3. 不均質地盤の等価線形化解析 ある程度

以上の大きさの地震外力が地盤に作用すると、地盤は非線形挙動を示す。この非線形

挙動を地盤の動的変形特性と結び付け、例えばせん断弾性係数 G とせん断ひずみ γ の関係、および減衰定数 h とせん断ひずみ γ の関係を用いた線形解析で応答計算を行なうものが SHAKE に代表されるような等価線形解析である。

本研究では、時刻歴波形から各層の最大ひずみを決定し、その 60% を各層の有効ひずみとして $G \sim \gamma$ 関係および $h \sim \gamma$ 関係に対応させ、新たなせん断弾性係数 G および減衰定数 h を決定する。この新たな G 、 h を初期設定地盤内に仮定した成層地盤における各層の材料物性値として、これまでと同様の手順を物性値が収束するまで繰り返し行う。収束条件は、せん断弾性係数、減衰定数とも前段階からの変化率の 3% 以内とした。ここでは入射振幅を 20cm、中心周波数を 1.0Hz の Ricker Wavelet を入射して収束計算を行い、収束後のせん断弾性係数の変化率、およびひずみ分布を算出した（図 5）。図 5 よりせん断弾性係数の変化率は第 2 層の両端で大きくなっており、ひずみ分布は地盤の第 1 層内部で値が大きくなっている。

4. まとめ 本研究では、層ごとのインピーダンス比があまり大きくない不整形地盤を薄層に分割し、これを横方向に不均質な地盤とみなし、成層地盤の伝達マトリックスを用いて簡便に算出できるプログラムを開発した。さらに、この手法を等価線形化解析にも適用した。しかし、本解析はあくまで伝達マトリックスによる計算が主体であるので、本来の不整形地盤の境界で生じる反射・屈

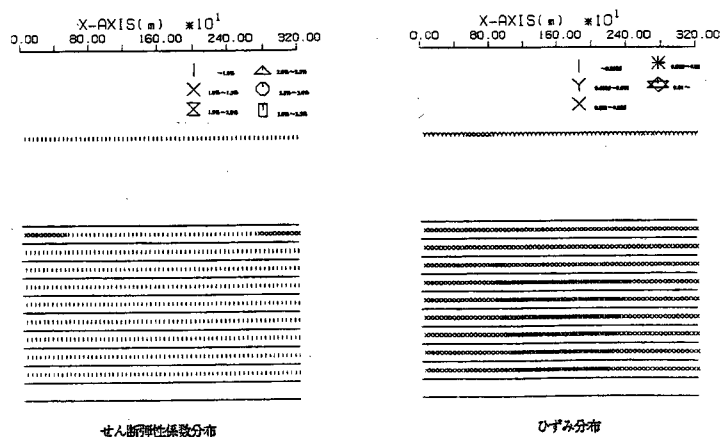


図 5 収束時における地盤状態

折波動は表現できていない。今後は、本計算法による近似の程度のチェックと不整形境界面の影響も取り入れた、本手法の拡張としての等価線形化手法の開発が課題である。

参考文献 1) Kennett, B. L. N.: Seismic waves in laterally inhomogeneous media, Geophys. J. R. Astr. Soc., 27, pp.301-325, 1972.