

摂動解法を用いた境界要素法による不整形地盤の応答解析

埼玉大学大学院 学生員 ○福原 幸司
 埼玉大学 正会員 茂木 秀則
 埼玉大学 正会員 川上 英二

1. はじめに

地表面の起伏や崖地形などの不整形地盤では、その不整形性に起因して増幅現象が生じることが指摘されている。このため不整形地盤の地震応答の検討を目的とした数値解析が数多く行われているが、このような応答が生じるメカニズムについては依然として不明な点が多い。そこで本研究では、二次元 SH 波動場における境界要素法に摂動解法を適用し、不整形地盤における地震波の散乱のメカニズムについて検討した。

2. 解析方法

二次元 SH 波動場を考える。このとき振動数領域での方程式として、次式のようなヘルムホルツ方程式が得られる。

$$\{\nabla^2 + k_\beta^2\} u(x, z, \omega) = 0 \quad (1)$$

ここで u は弾性体の変位、 k_β は S 波の波数 $k_\beta = \omega/\beta$ 、また β は S 波速度を表す。式(1)に境界要素法を用いると次式の連立一次方程式が得られる。

$$v = \frac{1}{2} H' u \quad (2)$$

ここで u 、 v はそれぞれ、地表面の応答振幅と入射波振幅の節点値をベクトル化したものである。本研究では v を全ての解析例で平面波の鉛直入射として与えた。また、 H' は境界積分から生じる正方行列である。式(2)を解いて未知の節点変位 u の(数値的)厳密解を得るのが通常の境界要素法の解法である。

一方、境界要素行列 H' から対角成分を取り除いた行列 H ($H' = E - H$, E :単位行列)を用いると、次式のように u を表すことができる。

$$u = \{E + H + H^2 + \dots\} 2v \quad (3)$$

このとき(3)式右辺第一項を入射波、第二項、第三項をそれぞれ、1次、2次散乱波による応答変位と解釈することができる。

3. 数値解析例と考察

(1) 正弦波型地盤モデルによる解析

図-1のように正弦波部分(振幅 10m, 正弦波部分の全長 45m)を中央に配置し、正弦波部分以外は平坦な地盤モデルを考えた。境界要素は正弦波部分の要素長さを 0.5m, 平坦部分の要素長さを正弦波部分からの距離に応じて 2.5~20m とした。解析では図-1中の A 点の応答を主に検討した。

図-2に A 点の周波数応答を示す。この図から応答振幅が 0~3.5 の範囲で変動していることがわかる。

図-3に入射波の振動数が 3.7Hz(図-2中で応答振幅がピークとなる振動数)に対する変位分布を示す。(a)は通常の解法による厳密解、(b),(c)はそれぞれ(3)式に基づいて算定した入射波+1次散乱波と入射波+1~5次散乱波による近似解である。この図から、入射波と1~5次までの散乱波を重ね合わせることで厳密解とほぼ等しい応答が得られることがわかる。また1次散乱波を用いた場合でも比較的良い近似が得られることがわかる。

図-4に 3.7Hz に対する A 点の応答に寄与する1次散乱波の振幅分布を示す。横軸は散乱波の波源となる境界要素の水平座標、縦軸は散乱波の複素振幅(境界要素の単位長さ当り)である。この図より、A 点の応答は A 点付近と、山部の頂点よりも外側にある不整形部分からの1次散乱波の寄与が大きいこと、モデルの両側にある平坦な地盤からの寄与は小さいことなどがわかる。

(2) 崖型地盤モデルによる解析

図-5に示すような崖型地盤モデルを用いて解析を行った。崖部分(高さ 5m, 傾斜 45°)を中央に配置し、崖部分以外は平坦な地盤とした。崖上近傍の平坦部分を A 点、崖下近傍の平坦部分を B 点とし、この二点の応答を主に検討した。また境界要素は、崖部分の要素長さを 0.1m, 平坦部分の要素長さを崖部分からの距離に応

キーワード: 摂動解法, 境界要素法, 二次元 SH 波動場, 不整形地盤, 散乱波

連絡先: 〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保 255 TEL 048(858)3566 FAX 048(858)7374

じて0.5~20mとした。

図-6にA,B点における周波数応答を示す。この図から崖下より崖上の方が揺れやすいことがわかる。

図-7に5.0Hzに対する変位分布を示す。(a)は厳密解、(b)は入射波+1次散乱波による近似解である。この図から、入射波と1次散乱波を重ね合わせることで厳密解とほぼ同様の応答が得られることがわかる。

図-8に5.0Hzに対するA点の応答に寄与する1,2

次散乱波の振幅分布を示す。この図からA点近傍斜面部分からの1次散乱波の寄与が顕著であることがわかる。

4. まとめ

摂動解法を用いて散乱波のメカニズムを検討した。そして正弦波型地盤モデル、崖型地盤モデルにおいて1次散乱波の寄与が顕著であることなどを指摘した。

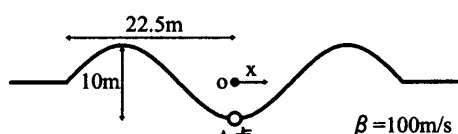


図-1 正弦波型地盤モデル

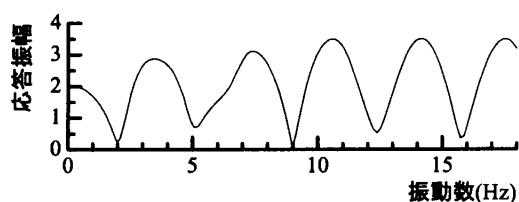


図-2 A点での応答振幅

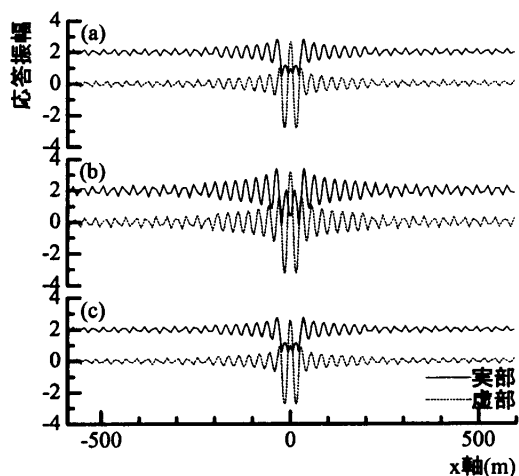


図-3 入射波3.7Hzに対する変位分布

(a)厳密解
(b)入射波+1次散乱波による近似解
(c)入射波+1~5次散乱波による近似解

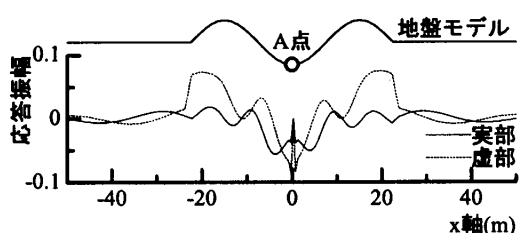


図-4 入射波3.7Hzに対するA点の応答に寄与する1次散乱波の振幅分布

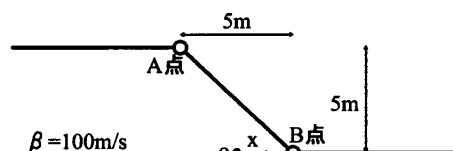


図-5 崖型地盤モデル

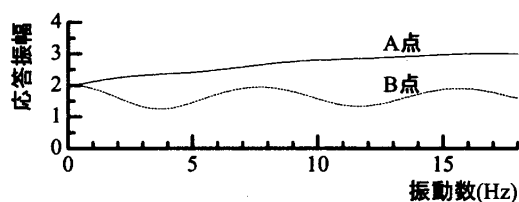


図-6 A,B点での応答振幅

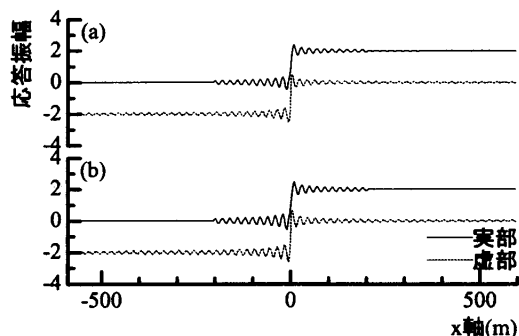


図-7 入射波5.0Hzに対する変位分布

(a)厳密解
(b)入射波+1次散乱波による近似解

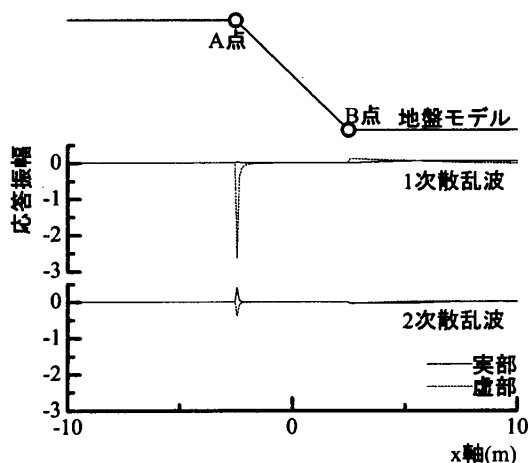


図-8 入射波5.0Hzに対するA点の応答に寄与する1,2次散乱波の振幅分布