

I-413 不整形地盤の振動特性に関する基礎的考察

佐藤工業 正会員 秋山伸一

1 はじめに

地震による構造物の被害は、過去の震害調査や研究事例から、地盤構造が不規則な不整形地盤で生じ易いことが指摘されている。従って、不整形地盤の地震時挙動を把握することは工学的に重要である。不整形地盤の解析では、地盤の不整形性と入射波を正確に評価する必要があるが、境界要素法は、波動の逸散減衰を適切に評価でき、様々な入射波を容易に設定できるため、地盤の動的解析では有効であると考えられる。

本報告では、不整形地盤の動的挙動を把握する目的で、日本で比較的良く見られる軟弱層が基盤に盆地状に堆積する地盤を想定し、境界要素法を用いた動的解析を行い、地盤の振動特性について考察を加える。

2 解析モデルと解析方法

解析モデルを図-1に示し、解析に用いた地盤の物性値を表-2に示す。図中D₁は軟弱層を、D₂は半無限硬質基盤を示し、各々の領域を等方均質弾性体と仮定する。表中の値は、D₂領域の物性値を基準に無次元化して示す。このモデルに平面波が任意の角度で入射すると仮定する。

以上の仮定に基づいて、弾性体の運動方程式を境界要素法により離散化する。その際、地表面上で応力零の境界条件を満足させる。離散化された方程式は次式で表わされる。

$$[G] \cdot \{q\} - [H] \cdot \{u\} = \begin{cases} \{0\} & \cdots \cdots (D_1 \text{ 領域}) \\ \{U^i\} & \cdots \cdots (D_2 \text{ 領域}) \end{cases}$$

なお、上式で $\{u\}$ 及び $\{q\}$ は境界上の変位及び表面力のベクトルであり、 $\{U^i\}$ は入射波によるベクトルである。地層境界での変位の連続条件及び応力の適合条件を満足させるように上式を連成させる。

3 数値解析

SH波、P波及びSV波を任意の角度で入射した際の地表面での変位応答倍率を図-2に示す。ここで、周波数は無次元化し、 $\eta = 2A/L$ (L :入射波長)で示す。地表面の変位応答は、位置的な変化が大きく、入射角が変わることによっても異なる応答分布を示す。これらの結果から、このような不整形地盤での地表面変位応答は軟弱層内で波動が複雑に反射・屈折を繰返すため、局所的な変化が現れるものと考えられる。

次に、SH波入射に対する地表面での周波数応答関数を図-3に示す。入射角を変化させた際の周波数応答関数は、各々異なる応答性状を示しているが、応答のピークを示す周波数はほぼ一致している。これは、変位応答のピークが軟弱層の固有周期の影響を受けて生じるものと考えられる。

そこで、軟弱層での変位応答のピークを示す周波数と軟弱層の固有周波数を比較するために、軟弱層と半無限基盤との地層境界を固定し、軟弱層についての固有値解析を行った。固有値解析から得られた固有周波数と周波数応答関数から読み取ったピーク周波数をまとめて表-2に示す。固有周波数とピーク周波数は良い対応を示していることがわかる。

さらに、図-4及び図-5には、各々ピークを示す周波数での地盤内の変位応答分布及び、固有値解析から得られる軟弱層のモード図を示し、各モード毎に両者の比較を行う。まず、1次モードに対する変位応答分布は、垂直入射(90°入射)及び斜め入射(45°入射)ともにほぼ一致している。また、2次モードに対しては斜め入射、3次モードに対しては垂直入射時の変位応答分布が対応している。以上の結果から、軟弱層における変位応答は、その固有振動特性に依存していると考えられる。

4 おわりに

本報告の解析結果から、不整形地盤の振動特性は、その地盤固有の振動特性の影響を受けることがわかった。さらに、固有値解析結果から、軟弱層では、水平方向に位相差を持つ波動が生じることが考えられる。この問題については、今後さらに検討を進めて行く所存である。

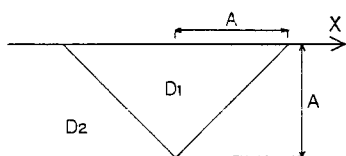


図-1 解析モデル

表-1 地盤の物性値

領 域	D ₁	D ₂
せん断弾性係数 G	0.167	1.0
ポアソン比 ν	0.333	0.333
地盤密度 ρ	0.667	1.0
S波速度 C ₂	0.5	1.0

表-2 固有周波数

及びピーク周波数

n	固有周波数 (η)	ピーク 周波数 (η)
1	0.508	0.45
2	0.817	0.75
3	1.064	1.00
4	1.204	1.10
5	1.409	1.40

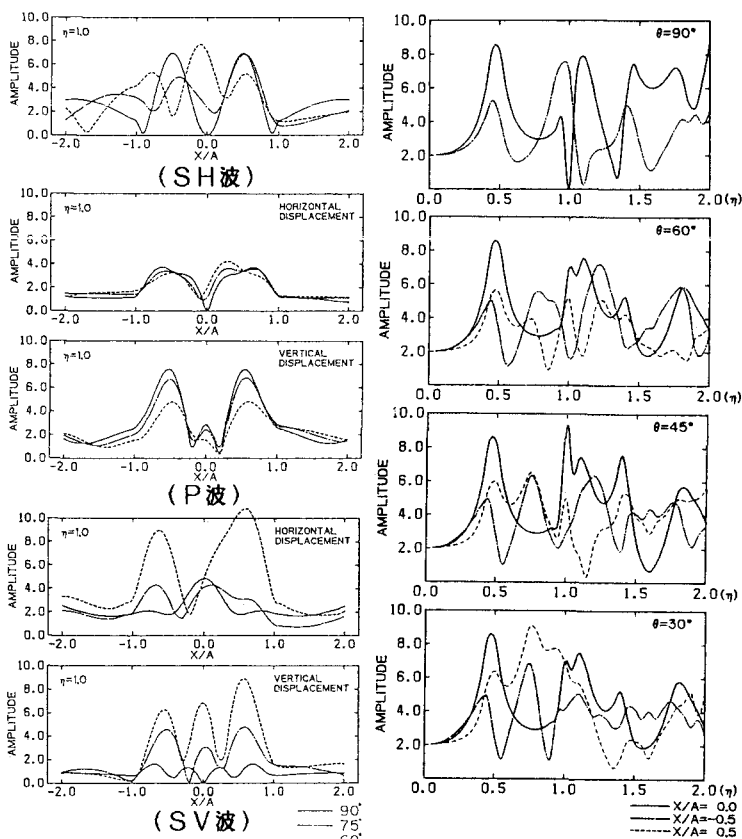


図-2 地表面変位応答倍率

図-3 周波数応答関数 (SH波)

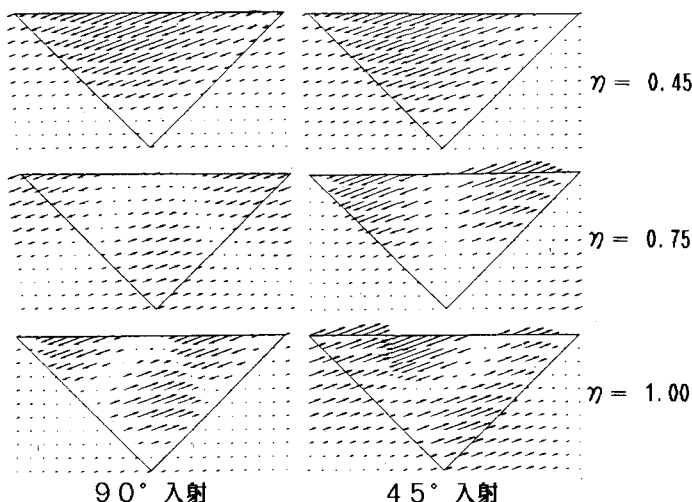


図-4 地盤内変位応答分布 (SH波-Real Part)

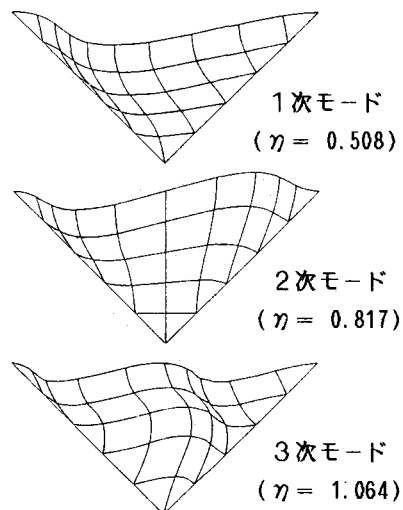


図-5 固有モード図 (SH波)

<参考文献>

1) 佐藤泰夫：弾性波動論、岩波書店

2) P. Y. Bard, M. Bouchon: The Two-Dimensional Resonance of Sediment-Filled Valleys, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 75, No. 2, pp. 519-541

3) 秋山伸一：不整形な地層を有する地盤の振動特性に関する検討、第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集