

京都大学 防災研究所 正会員 三浦房紀

京都大学 防災研究所 正会員 土岐憲三

京都大学 防災研究所 正会員 佐藤忠信

1. はじめに

不規則な構成をもつ地盤内に伝播する表面波の解析を行う場合、地盤を有限要素法などによって、有限な振動系に置き換えることが多い。その際設定される仮想境界がどこに位置するかによって、系の振動特性が大きく異なることが予想される。そこで、ここでは著者らによって考案された、有限要素法において設定される仮想境界の影響を取り除く異なる2種類の手法をラグ波の伝播問題に適用し、その有用性を比較検討した。

2. 解析手法の概略

1). 第1の手法は、仮想境界上の変位と応力の連続条件から求める積分方程式を用いることによって、仮想境界上の複素剛性マトリクスを算出し、これを有限要素解析の中に組み込むことにより、半無限に広がりをもつ基盤層の効果を考慮に入れた解析手法である^{1),2)}。この解析手法では、解析対象領域(不規則領域)への表面波の入射に対して、表面波の透過あるいは透散だけでなく不規則領域で生じた実体波の透散の評価も同時に可能である。

2). 第2の手法は、半無限地盤を有限要素化するに当り、地盤を表層と基盤層とに大別し、基盤層には表面波の鉛直面上での変位を忠実に再現するために半無限要素を導入する手法である³⁾。この半無限要素は、図-2に示すように、節点からの深さと共に、その変位の指数関数的に減少するような半無限に広がる帯状の要素である。この半無限要素の導入によって、数値計算上基盤層のモデル化に必要な容量が大幅に削減され、その分だけ構造物や表層を詳細にモデル化できる。しかし、本手法では、仮想境界を通じてラグ波しか透散しないため、解析手法1のように実体波の透散効果は評価できない。

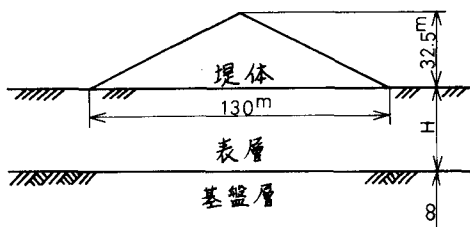


図-1. 地盤-構造物系モデル

表-1. モデルの諸定数

	堤体	表層	基盤層
単位体積重量 ton/m^3	1.8	1.8	1.8
せん断波速度 m/sec	160	320	640

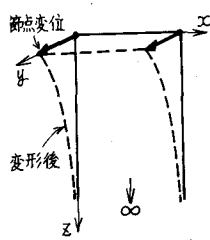


図-2. 半無限要素

3. 解析モデル

解析に用いた地盤-構造物系のモデルを図-1に示す。地盤は層厚Hの表層と半無限に広がりをもつ

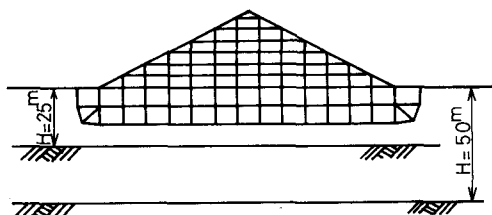


図-3. 解析手法1の有限要素モデル

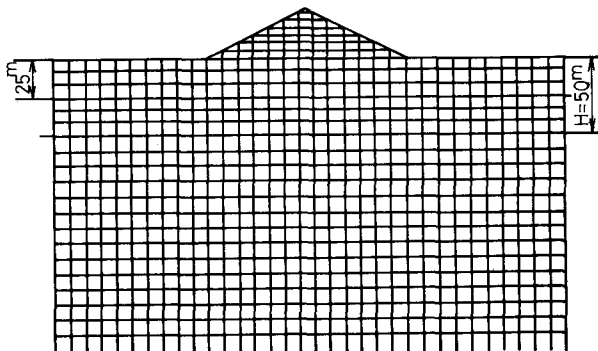


図-4. 解析手法2の有限要素モデル

もつ基礎層から成り、構造物として堤体と考えている。堤体、表層、基礎層の単位体積重量とせん断波速度を表-1に示してある。ここでは表層厚 $H=25\text{m}$ 、 50m の場合についてそれぞれの手法で解析を試みた。図-3は解析手法1に対する、図-4は解析手法2に対する有限要素モデルである。

4. 解析結果と考察

解析に先立ち、両解析手法の妥当性のチェックのため、堤体のない水平地盤系にラブ波の基底モードを入射し、これが解析領域内で何ら変形を生じず、そのまま透過し得るかどうかを調べ、両解析手法共に十分満足いく結果を得た。

図-5は表層厚 $H=25\text{m}$ のときの、それぞれの周波数におけるラブ波の基底モードが入射したときの堤体の天端の応答倍率である。入射基底モードは、地表面での振幅を1に正規化してある。また図-6は $H=50\text{m}$ のときの同じく堤体の応答倍率である。両図とも、解析手法1では仮想境界を通じてラブ波のみが透散するものとして解析を行っている。

図-5では解析手法にかかわらず、顕著なピークが4つずつみられ、それぞれ対応すると思われるピークはほぼ同程度の応答倍率を示している。しかし最初と2番目のピークの生じる周波数には、両手法の間に約 $0.2 \sim 0.3\text{Hz}$ の差異が認められる。また一般的傾向として、解析手法2の方が大きい応答値を呈している。次に図-6では、 1.7Hz 付近の応答に差異が見られるが、両解析手法による結果は比較的に一致しているといえる。

図-7は解析手法1を用いてラブ波が入射した際、ラブ波とSH波の両方が透散する場合の応答倍率を示したものである。顕著なピークが約 1.43Hz で生じており、この時の高さ方向の応答倍率を調べたものが図-8である。これは堤体のせん断変形を示している。剛性基礎にある同一形状の堤体のせん断振動による固有振動数は 1.9Hz であるから、約 0.47Hz の固有振動数の低下が生じている。これは、堤体の周辺地盤の質量効果によるためであると考えられる。

図-7とラブ波のみが透散する場合(図-5、図-6)とを比較すると両者の間にほぼ等しい相違のみみられ、応答倍率への実体波の寄与が非常に大きいことがわかる。地盤内を表面波が伝播する場合でも、地表面付近に構造物が存在すると、構造物の振動に伴って実体波が生じ、これが地盤内を透過、反射をくり返し伝播する。したがって、表面波が地盤構造物系に入射する際の応答を調べる場合、仮想境界を通じて表面波だけが透過、透散しようとする解析手法では不十分であるといえよう。

参考文献

- 1) 土岐・佐藤; 任意の境界条件を有する表層地盤の振動解析, 土木学会第31回年次学術講演会講演概要集第1部 昭和51.10
- 2) 土岐・佐藤; Seismic Response Analysis of Surface Layer with Irregular Boundary, 6th W.C.E.E. New Delhi India 1977, 7.
- 3) 土岐・三浦; 有限要素法を用いた弾性表面波による表層地盤の振動解析, 第14回地震工学研究発表会講演概要 昭社51.7

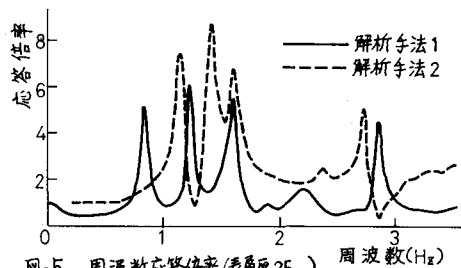


図-5. 周波数応答倍率(表層厚 25m)

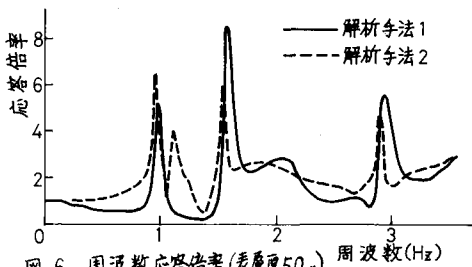


図-6. 周波数応答倍率(表層厚 50m)

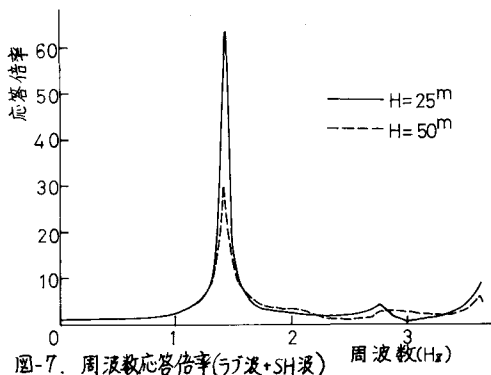


図-7. 周波数応答倍率(ラブ波+SH波)

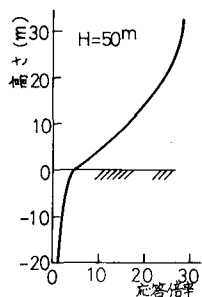


図-8 鉛直方向の応答倍率分布