

広島大学工学部 正員 佐藤 誠
三菱重工業 “ 糟谷 文治
“ “ 祝部 一孝

1. はじめに

地震波あるいは破壊などによる波動の反射、屈折、散乱などの伝播挙動は地盤構成の中でも主として音響インピーダンス(PC)に支配される。したがって波動伝播によって地層、断層を含む地盤がどのように挙動するかを正しく把握するための重要な要素となっている。これらを考慮した波動解析には、たとえは金子ら¹⁾がSV波の伝播に対して地盤表面と基盤面とが水平な層をなす場合の地盤粒子の震動軌跡を求めたような波動論的手法がある。しかし現実には存在するような多層地盤またはそれらとともに地上あるいは地中に構造物を含む系などに対する波動応答解析を行なうためには、有限要素法などによる数値解析の手法も必要である。

こゝでは直線平行な層境界を持つ弾性地盤モデルに対して、平面せん断波(SV)が境界に斜め入射する場合と有限要素解析するための問題点とその取扱い法および解析結果と実験結果と比較考察する。

2. 解析モデル

本研究で対象とするような平面せん断波の伝播解析においては、1) 無限領域問題の有限領域内解析、2) 平面波波面と交差する層境界を持つモデルの設定、3) 波長と層数との関係から定まる分割要素数、等が常に解析モデル設定のための問題点となる。なお本解析では要素は定れず三角形要素を、逐次積分にはWilsonの法を用いる。

図-1の(a),(b)は境界に対するせん断波の入射角 θ が 30° の2層問題のモデルの例である。以下では平面せん断波は各モデルの下方向の入力節点に継続時間50 μ secのhalf-sine形のパルスとして与えられる。この例では領域I, IIの横波速度 C_0 は $C_{0I} > C_{0II}$ であり、モデルの中は入射波長の約2.5倍である。

モデルAは少々とも入射波の境界から発生しないように周囲をLysmer境界としてある。モデルBは上下境界はLysmer境界であるが、両側では左右の対応する節点の変位を等しくしてある。こゝではこの境界を周期性境界と呼ぶ。

図-1の図中の英字はモデルA, Bを対応させて比較するための節点である。両モデルの要素数、節点数はほぼ等しい。

図-2の(a)は領域I, IIのPCが等しい場合の上記節点の変位軌跡である。このときの軌跡は一定長さの直線になるべきであり、モデルAでは平面波が伝播しないことが明らかである。したがってこの場合には中を相当大きくとりなければ平面波としての解析はできない。

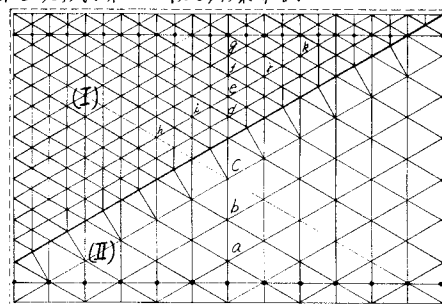
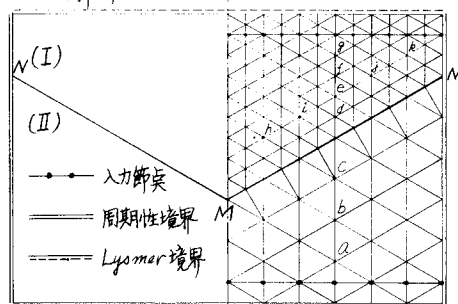
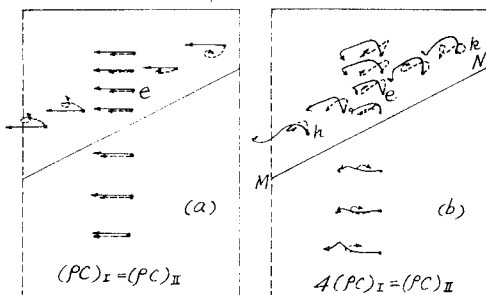
解析モデルA (a) $\theta = 30^\circ$ 図-1 解析モデルB (b) $\theta = 30^\circ$ 

図-2 節点の変位軌跡 —: B, ---: A

次にモデルBのM, Nのような凹凸部の効果を検討するため、 $(PC)_E / (PC)_I = 4$ の場合の節点変位軌跡を図-2(b)に示す。これよりM, N点の影響を受けた屈折波が早く到達するおおよそM点では平面波の状態からずれていると思はれるが1波長の時間内には中央部はほぼ満足できる状態となっている。

図-3は図-2(b)で示したE点の変位軌跡を拡大したものである。図中の数字は時間(μsec)である。E点に最初に到達するSP波の変位方向を破線矢印で示したが、モデルBでは正確にその方向に変位している。

モデルBは本質的にはM, N点の凹凸を繰返すモデルであり、必ずしも合理的なモデルではないが、モデルAの型より中を増加することにより比較的平面波状態を保持し易いと考えられる。ただしM, N点の角度の鋭角的になるに従ってこのモデル設定も無理となる。以下本解析ではモデルBを基準形とし $\theta = 30^\circ$ を最大として用いることとする。なお要素分割の大きさは、1波長内に最小5個の節点を含むように選んだ。

3. 解析および実験結果と考察

解析結果と比較するために、図-5に示す実験模型において、破線が入射せん断波の波面として、斜線部より上方全体をAL板としたものをモデルB-1、斜線部のみ1cm中のAL層としたものをモデルC、このAL層の上に1cm中のBrass層を加えたものをモデルDとして実験を行った。また解析においては入力波の振幅はすべて0.5としている。

図-4はモデルB-1のゲージ測定における解析による応力波形である。 $\theta = 15^\circ$ では反射縦波が臨界角を超え、 $\theta = 30^\circ$ では透過波はすべて臨界角を超えている。したがって境界からの距離に従って徐々に減衰する応答をなすと考えられるが、本研究の結果では明確でない。

図-6は解析結果と実験結果の比較の目安として、入射波の $T_{\max}$ の最大値に対する透過波の $T_{\max}$ のそれの比を α ($= (T_{\max})_{\text{out}} / (T_{\max})_{\text{inc}}$) として、これを透過率として示している。右縦軸はB-1に対するものである。図-6における解析結果はいずれも入射角 θ の増加に伴って α が減少しているが、これが前述のM点の影響によるものかは現在明らかでない。

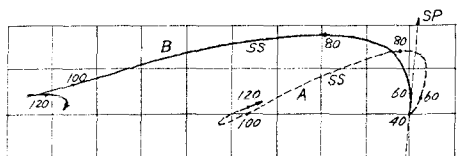


図-3 節点Eの変位軌跡 $4(PC)_E = (PC)_I$

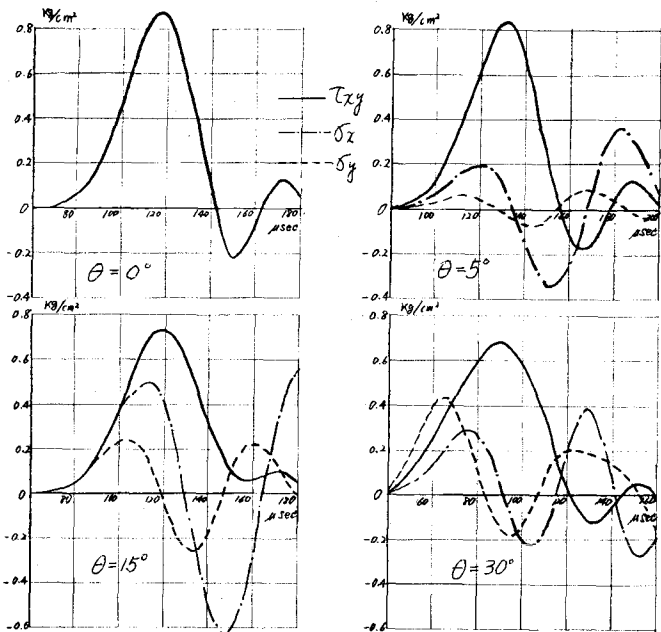


図-4 モデルB-1の透過応力波形

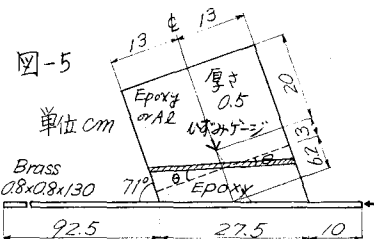


図-5

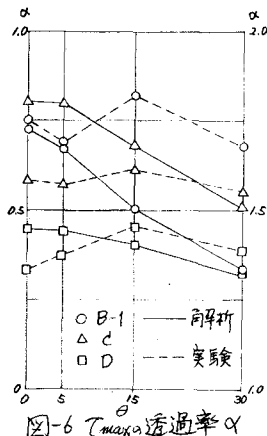


図-6 $T_{\max}$ の透過率 α