

断層に斜めに入射する波動挙動について

広島市役所 正員 山下慶介
 広大工学部 正員 佐藤 誠

1. はじめに

地盤内に伝播する地震波等の波動は地盤構成の非均質性により、挙動が複雑となる。ここではこれら非均質な地盤構成の中でも、波動挙動に極めて重要な効果を持つと考えられる断層に注目し、主として横波がこの断層に種々の角度で入射する場合の波動伝播挙動を有限要素法を用いて解析し、この種の問題を取り扱う際に生起する解析上の問題点について検討した。

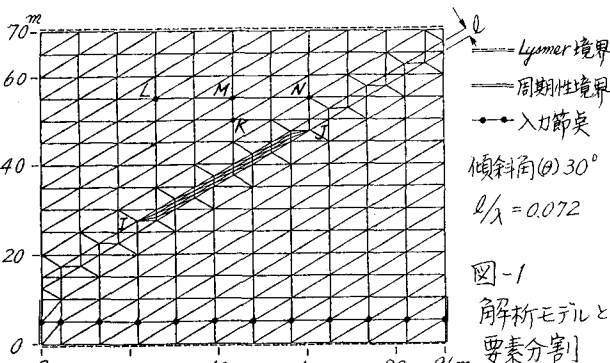
本研究では入射波長の $1/10$ 程度の層厚を持つ一層の均質断層を考え、これに half-sine 形の平面横波が入射する場合を対象としたが、このとき解析モデルの合理的な設定に対して以下のような問題点が存在する。

1) 無限領域の有限領域モデル化、2) 平面入射波の発生と制御、3) 入射平面波を横切るような断層モデルの設定、4) 入射波長と断層定数の関係による最適断層モデルの設定。

以上はいずれも本質的には無限領域を有限領域化したモデルで解析するために生ずる問題点であり、莫大な要素数を持つモデルを許すなら部分的には解決される。しかしながら現実の応用面においては、断層近傍に存在する構造物あるいは地表面とそこに設置される構造物を含むような系として解析する場合が多く、上述の解決法には限界がある。

2. 解析モデル

本研究では鉛直上方に入射する平面横波に対して、傾斜した断層を設置した状態で解析した。図-1 に断層の傾斜角(θ) = 30° の場合の解析モデルとその要素分割を示す。図-1 に於て境界条件は図示の通りである。但し周期性境界より上部の両側面は自由面である。周期性境界は左右のその境界線上の節点変位を等しいとしたものであり、無限直線上に一樣な入力を



生じさせることができ、平面入射波が発生する。入力節点の下方の Lysmer 境界は滑らかな入力波形を得るためのものである。入射横波は入力節点に継続時間 44 msec の half-sine 形の右水平方向節点力として与えたが、発生した入射横波は主要部分約 25 m の波長(λ)を持つ。尚断層内の弾性係数は、 E_1 を周辺地盤の弾性係数、 E_2 を層内の弾性係数とすると、 E_2/E_1 を $1/10$ 、 $1/50$ 、 $1/100$ としたが、後述するように断層内波長が層内の要素寸法に比較して十分長くなるように、図-1 の I、J 間を密な要素分割としている。ただし、 $E_2/E_1 = 1$ の場合を基準モデルとして、この場合には I、J 間の要素分割はその延長層内の要素と等しいものを用いた。また各傾斜角に対して断層厚(l)は断層の走行方向に垂直な方向の層厚を一定とした。

3. 解析結果と考察

$E_2/E_1 < 1$ のとき断層内の波長(λ)は周辺地盤内のそれより短くなり、モデル全体を一樣な要素寸法とした場合には断層通過波動の挙動を十分表現できなくなる。そこで横波が断層に垂

E_2/E_1	C_0 m/sec	λ m	d/λ	τ_x/τ_y	d/λ	τ_x/τ_y	理論値
$1/10$	183	8.1	0.222	0.747	0.074		0.770
$1/50$	82	3.6	0.500	0.273	0.164	0.388	0.385
$1/100$	58	2.6	0.692	0.151	0.231	0.264	0.295

表-1. 断層内要素寸法と垂直入射による透過せん断応力 $C_0 = 550$ m/sec, $\lambda = 24.2$ m

直に入射する場合($\theta=0$)に対して、反射・透過係数を考慮した重ね合せ解と、断層内の横波伝播方向の要素節点間(d)を短かくしたモデルに対する有限要素解とを、透過波の u_{xy} のピーク値で比較し、表-1に示す。なお u_{xy} は基準モデルの値である。この結果より断層部分の要素寸法は少なくとも層内の横波の波長のほぼ $1/4 \sim 1/5$ 以下とする必要があると考えられる。また周辺地盤内では $\mu/\lambda = 0.20$ としている。

図-2は図-1に示した解析モデルについて、 E_2/E_1 の値をパラメータとして、断層に対する入射角 θ に対する節点Kの u_{xy} のピーク値と基準モデルの u_{xy} のピーク値との比(α_s)を示したものである。なお $E_2/E_1 = 1/50$ については $\mu/\lambda = 0.108$ のものも比較のために示した。 α_s は傾斜断層を通過する横波の見掛けの透過率と考えられる。ここでは前述の問題点1) および3)の制約から θ が 45° までのものについて解析を行なったが、この範囲内で α_s は θ の増加とともに増加し、 θ が 15° から 30° の間での増加率が最も大きい。 θ が 30° 以上で α_s の増加率が減少するのは、理論上 33° 附近で全反射を起すことの影響が現われていると考えられる。

断層厚 l が変化しても反射・透過係数是不変であるが、 l が増加すると断層内での反射波、透過波の層内通過時間が増加し、結果として断層を通過した縦波、横波の各次数の透過波のピークが時間的にずれて重ね合わされるため、断層厚 l の増加にともない α_s は減少する。このことより、逆に l が短いほど高次の透過波まで α_s の値に影響を及ぼすから、前述の問題点4)に含まれている断層内の要素寸法を、これら高次の透過波までも表現するように十分吟味して決定する必要がある。

本研究で用いた解析モデルの大きさは伝播方向の距離を $2.8\lambda = 70 \text{ m}$ と一定にし、周期性境界間の距離を変化させ、要素分割のパターンは等しいままで断層の傾斜角を 15° から 45° まで変えている。したがって $\theta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ に対してこの距離はそれぞれ $7.84\lambda, 3.64\lambda, 2.1\lambda$ となっている。

図-3は $\theta = 30^\circ$ の場合の節点L, M, Nにおけるそれぞれの E_2/E_1 に対する節点変位の軌跡を示したものである。ここでは解析モデルの両側面は自由縁としているから、両側面からの反射波が解析領域の内部に影響を及ぼす。図-3の $E_2/E_1 = 1$ すなわち基準モデルの軌跡は各節点でのこの影響を示している。これより節点Mでは解析時間内で両側面からの反射波の影響を無視できると考えられる。

図-3の各軌跡の初期に現われている u, v の負方向の変位は透過波として生じた引張り縦波によるものであり、その後横波を主成分とする透過波による右水平方向の変位が生じている。この結果に関する限り E_2/E_1 が $1/50$ と $1/100$ では初期の引張り縦波による y 方向変位量にはほとんど差がない。

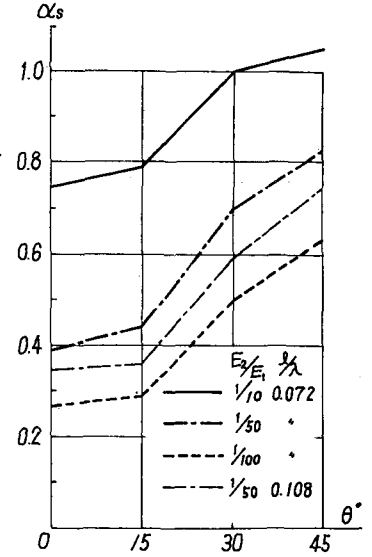


図-2 断層傾斜角と α_s

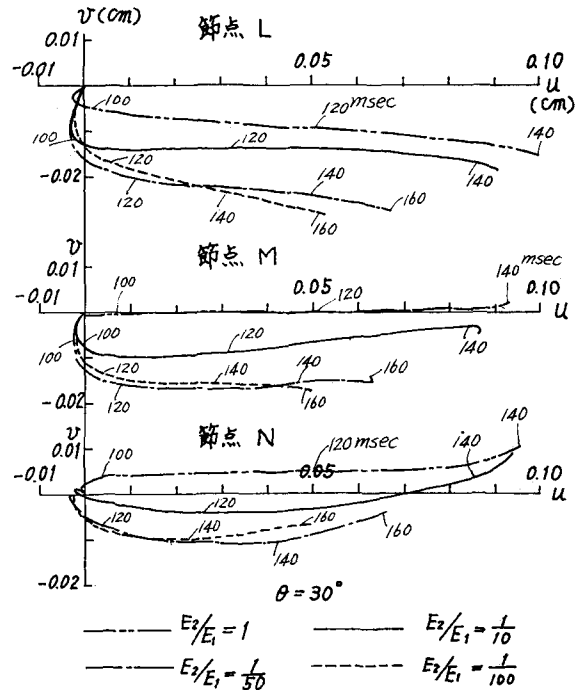


図-3 節点変位の軌跡 (msec)