

震源からの地震波動の解析への有限要素法の適用に関する一考察

— 節点自由度の違いによる影響 —

秋田工業高等専門学校 正会員 僧理栄司

中日本建設コンサルタント 正会員 ○庄村昌明

中部電力 正会員 杉山 武

1. 序

構造物に入射する地震動を推定する手法として、種々の手法が提案されているが、その適用は線形系に限定されているものがほとんどである。そこで、非線形系の解析において多大な実績を有する有限要素法を、そこに応用することができるならば、その効果は多大なもの期待できると考えられる。

本論文は、その基礎的研究の一環として、解析モデルを線形系と仮定した場合の、有限要素法の適用性について検討したものである。従って、本論文では、断層モデルとして運動学的断層モデルを用いており、震源時間関数に従った強制変位を、断層面に与えることにより震源特性を表現するように設定している。

二次元有限要素法を用いる場合については、既にToki・Miuraによる動力学的断層モデルによる研究〔1〕があるので、本論文では三次元有限要素法の場合について、検討を行なっている。

2. 解析モデルおよび解析手法

解析モデルとしては、全無限弾性体中に、ある面積を有する鉛直せん断断層面が存在している、というものを対象としている。実際の計算においては、そのモデルを図1に示すように、対称・逆対称条件を用いて、全体の1/8に縮小したモデルを用いている。モデル周辺には、地盤の無限性を表現するためのダッシュボット要素が、対応する部分に取り付けてある。全体の1/2モデルと1/8モデルとでは、予備解析の結果、同様な結果が得られている。

断層は、断層面中心位置を原点として、図1に示すようなZ-Y平面内に含まれる垂直な面を仮定している。さらに、その断層面は、全体が同時かつ均一に、Y方向に食い違いを生じるものとしている。その食い違い量は、図2に示すような震源時間関数に従うものとし、実際の計算においては、これに対応する量を強制変位量として断層面上の各節点に加えている。

用いた材料定数は、表1に示す値である。

3. 解析結果

図3は、断層面位置からX方向に9000m離れた地点において得られた、Y方向変位の波形である。同図には、伝播波動を平面波と仮定して、節点変位をY方向の自由度のみに限定した場合と、節点の自由度を三方向とした場合の波形が、示されている。さらに比較のために、ダブルカップル力が原点位置に作用したとした場合の、点震源モデルによる計算波形も、同図には示されている。

波形の最大値については、いずれの場合にも大差はなく、比較的よく一致していると考えられる。しかしながら、波形全体にわたっては、節点自由度が一つの場合の方が、点震源モデルとよく一致しているといえる。伝播波動をS波と考えた場合には、 $V_s=3690\text{m/sec}$ であるので、9000m離れた地点では2.44秒の到達時間がかかることになる。節点自由度が一つの場合や点震源モデルの場合は、これに相当しているといえる。

それに対して、自由度が三つある場合には、それより前にY方向の負の変位が生じているということになっている。この変位が生じ始めた時間は、P波の到達時間である1.41秒に近い値となっている。このことをさらに検討するために、原点を含むX-Y平面上の節点の水平変位場を、節点自由度が三の場合について示したものが、図4である。同図より、せん断食い違い断層から発せられた波動は、純粋なS波ではなくP波を含んだような渦状の波動となっていることがわかる。そのために、図3においては、S波の到達前にY方向変位が生じたものと考えられる。これは、有限要素法を用いて計算した影響であると考えられ、せん断食い違いによる断層変位を与えても、ポアソン比の影響で、純粋なS波のみでなくP波をも含んだ波動が伝播することになるのであると考えられる。これは、モデル自体の影響であるのか、要素分割等の影響であるの

かは、今後の課題である。

また、伝播波動の距離減衰特性を示したものが、図5である。節点自由度が一つの場合には、点震源モデルによく一致しているのに対して、自由度が三の場合には、それより緩やかな勾配を有する特性があることがわかる。これは、節点自由度が多い場合には、発生した歪をより多くの方向に分散させたためであると考えられる。現実の現象として、どの場合が最もふさわしいのであるかについては、今後さらに検討して行かなければならないことと考えられる。

4. 結

本論文では、全無限弾性体中に仮定された断層面から放射される地震波動を、有限要素法によって解析する場合における、その手法の適用性の良否についての検討を行なっている。断層には運動学的断層モデルを用いており、震源時間関数を与えるものとしている。数値解析結果は、ダブルカップル力による点震源モデルの結果と比較されている。

結果として、伝播波動を平面波と仮定した場合、すなわち節点自由度が一方向のみの場合には、その距離減衰特性は点震源モデルと同程度であるが、節点が三方向に自由度を有する場合には、点震源モデルより緩やかな勾配を有する距離減衰特性を示す結果が得られている。

[1] K.Toki and F.Miura; "Simulation of a fault rupture mechanism by a two-dimensional finite element method", J.Phys.Earth., 33, 1985, 485-511.

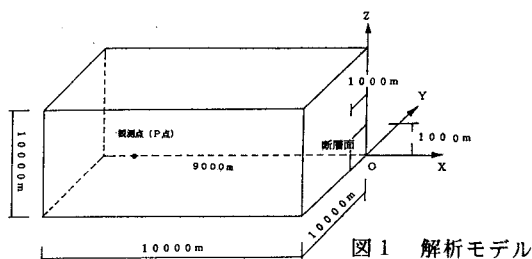


図1 解析モデル

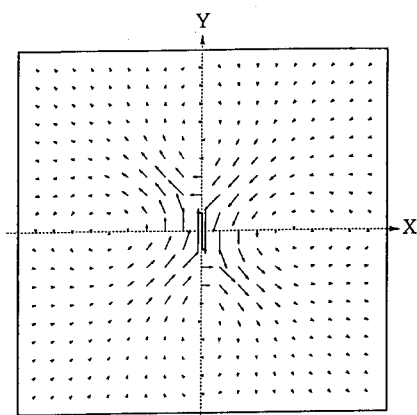


図4 水平変位場(1.00秒後)

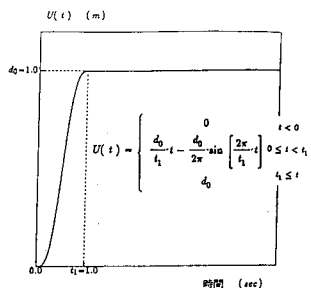


図2 震源時間関数

表1 材料定数

ポアソン比 : ν	0.25
P波速度 : V_p	6400 (m/s)
S波速度 : V_s	3690 (m/s)
単位体積質量 : ρ	0.284 (t/m^3)

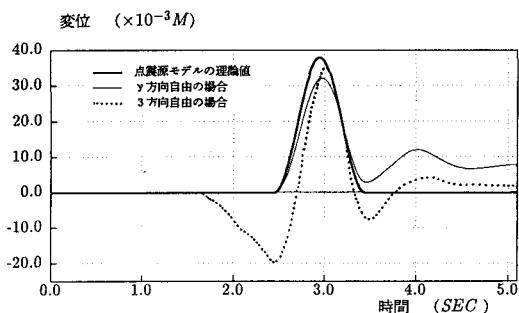


図3 観測点での変位波形の比較

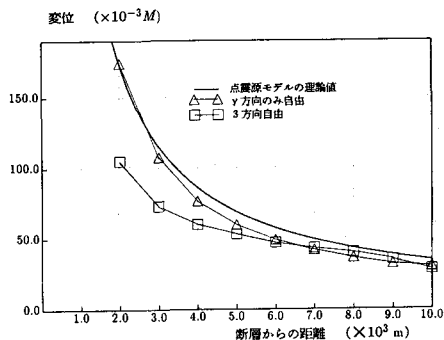


図5 変位波形の距離減衰特性