

阪神高速道路公団 正員 上松英司 京都大学工学部 正員 山田善一
 京都大学工学部 正員 野田 茂

1. まえがき 実測記録の少ない震源近傍での地震動を、波動理論に基づいて検討することは地震工学上意義深いことである。そこで本研究では、離散型波数有限要素法と移動性震源を考慮した断層震源モデルを適用して、1980年伊豆半島東方沖地震時の震源域での理論地震動を合成した。さらに、各種断層パラメーターの変化が波形、最大地動および応答スペクトルに及ぼす影響を検討し、本方法の有効性について論じた。

2. 理論地震動の合成 本研究では、水平成層地盤における Green 関数を、Olson(1982)が提案した離散型波数有限要素法 (DWFE法) により計算した。この方法は円筒座標系 (r, θ, z) における波動方程式を、水平方向については Fourier-Bessel 級数展開、鉛直方向については有限要素法、および時間については差分法を適用して解く。Green 関数は、初期条件と境界条件を満たすように、円筒の側面と底面で反射波が生起しない程度の有限の境界内で求める。安定な数値解を得るために、地盤の薄層の厚さおよび時間の刻み幅を定めた。点震源に対する Green 関数は、図-1 に示すように、相反定理を用いて、観測点 (r, s , 地盤深さ z_0 に対応したグリッド点 j .) に単位のステップ力が作用したときの震源 j_s における応答として計算した。本解析法は一定周波数以下の実体波および表面波の相をすべて考慮でき、震源近傍での波形計算に適している。次に、断層面は $M \times N$ 個の点震源の集合より成り立っているものとし、各点震源から励起された要素波を、DWFE法とモーメントテンソルを用いて解析的に計算する。さらに、破壊フロントの成長を考慮した各点震源における Triggering Time を勘案して、これらの要素波を重ね合わせることで、対象地点での理論地震動を合成した。

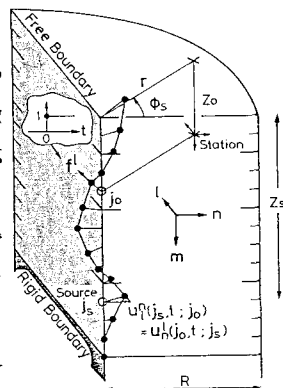


図-1 グリーン関数を得るための概念図

3. 1980年伊豆半島東方沖地震への適用

本研究では、1980年伊豆半島東方沖地震 (M6.7) の推定断層パラメーターを用い、伊東市川奈と小田原市高田における理論地震動を合成した。

図-2 に地震断層と対象地点の位置を示す。伊豆半島付近の地下構造としては、伊神(1978)と浅野ら(1982)の結果を参考にして、工藤ら(1978)により推定されたものを用いた。この断層の幾何パラメーターは井元ら(1981)によって推定されている。本研究では、走向 $N10^\circ W$, Dip Angle 70° , 長さ 14km , 深さ $14 \sim 20\text{km}$ を断層モデルの基本の諸元とし、図-3 に示すように断層を 7×4 の点震源に分割した。

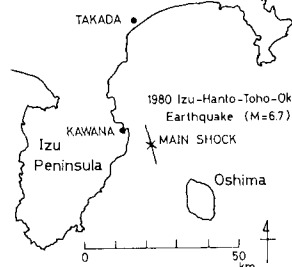


図-2 断層と観測点の位置

さらに断層の動的パラメーターは、岡田(1980)によって推定された $N10^\circ W$, Rake 0° , Rise Time 1sec, 破壊伝播速度 3 km/sec , 地震モーメント $0.72 \times 10^{26}\text{ dyne} \cdot \text{cm}$ を用いた。破壊は断層中央の深さ 18km の点 (図-3 に示す (3,4) の位置) から断層面内を同心円上に広がるものを基本とした。震源パラメーターは基本モデルから変化させて、パラメトリック・スタディを実施した。

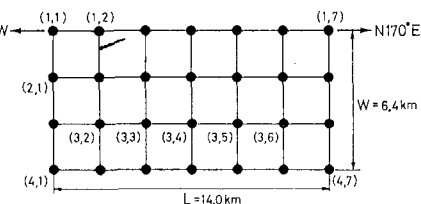


図-3 1980年伊豆半島東方沖地震の断層を小分

割したモデル
 図-4 は本計算で用いた2つのタイプの食い違い時間関数 (図は時間に関する2階微分で表示した) である。以下の計算では主にタイプ1を採用した。

図-5 に、川奈における NS 成分の観測変位波形と本解析手法で計算した理論変位波形の一例を示す。波形は

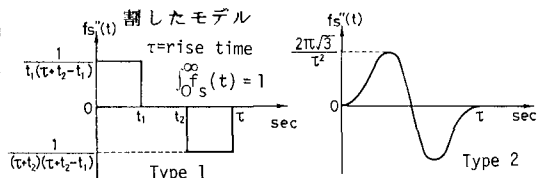


図-4 食い違い時間関数 $f_s(t)$ の時間微分

チェビシェフ型漸化フィルターを通して。図より本解析結果は、微細な部分を除けば観測波形の相を後続波までよく捉えていることがわかる。なお、この断層パラメーターを用いた加速度波の計算結果は、観測波の振幅を十分に説明することはできなかったが、これは2 Hz以下の振動数成分にグリーン関数の波形計算を限定したことによる。

次に、断層の各種パラメーターを変化させ、それが最大地動にどのような影響を与えるかを調べた。破壊開始点が図-3に示す(3, 2)の位置から(3, 6)まで走向方向に変化したときの、川奈と高田の水平最大地動のNS成分の変化を示したのが図-6である。断層の走向の延長上付近に位置する高田では、断層上を破壊伝播が指向するモデル((3, 6))によると、ドップラー効果の影響で振幅が大きくなっている。川奈では、逆の効果を示している。

図-7は、2つのタイプの震源食い違い時間関数を用いて合成した理論波形により求めた加速度応答スペクトルと、観測波形より求めたものを比較したものである。タイプ1によると短周期帯域において理論値は観測値を下回っているが、卓越周期やスペクトルの形状などは両者の間に良い一致が見られる。短周期帯域における両者の不一致は、本解析例では0.5秒以下の周期を十分に考慮していないことや、表層構造および断層の破壊過程の複雑さを無視したことが原因であると考えられる。特に、川奈においてこの影響が大きく現われている。しかし、タイプ2の関数を採用すると、タイプ1で説明できなかった点をうまく改善できている。

Rise Time と断層のDip Angle の変化が加速度応答スペクトルに及ぼす影響を示したのが図-8である。同図より、断層の静的パラメーターの走向の影響は概して小さかったが、同図より、Dip Angle の影響は高田のNS成分に現われる程度である。動的パラメーターであるRise Time の変化は、短周期帯域における加速度応答スペクトルの振幅の変化に如実に反映されている。

図-9は、断層面上で食い違い量・破壊伝播速度とライズタイムが

不規則なときの、川奈における加速度応答スペクトルのNS成分である。破壊開始点と震源の食い違い時間関数の相違も反映して、決定論的に求めた図-7の結果と異なっているのが特徴である。

4. あとがき 本解析手法による結果は、振動数2 Hz以下の地震動成分について実記録波形をよく説明できた。より短周期の地震動成分を捉えるには、特に表層構造

の複雑さを取り入れる必要がある。
謝辞 実地震記録を貸して戴いた東京大学地震研究所の大沢胖教授に感謝致します。

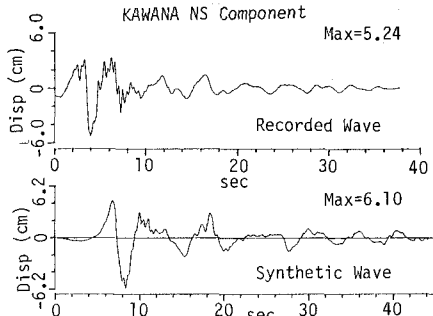


図-5 川奈における観測および理論変位波形

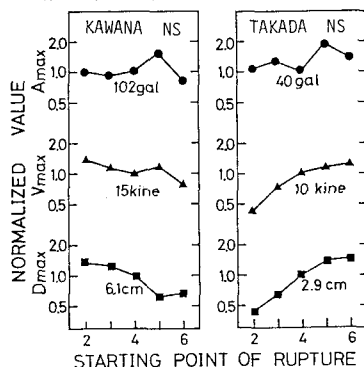


図-6 破壊開始点の位置の変化がNS成分の最大地動に及ぼす影響

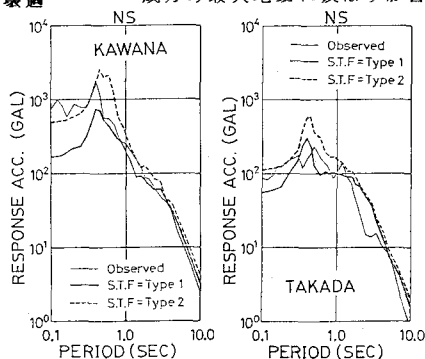


図-7 食い違い時間関数の相違による加速度応答スペクトルの変化

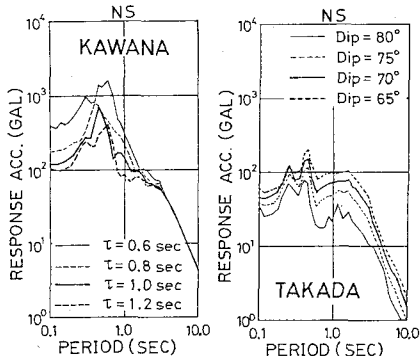


図-8 ライズタイムと断層の傾斜角がNS成分の加速度応答スペクトル(川奈と高田)に及ぼす影響

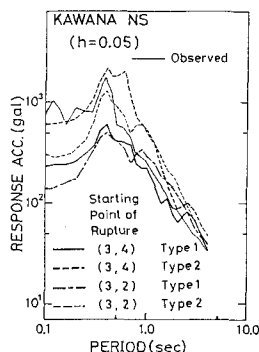


図-9 破壊伝播の不規則さが川奈の加速度応答スペクトルに及ぼす影響