

離散型波数有限要素法を適用した震源域での耐震設計用地動の推定

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

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、Olson¹⁾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。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。

3. 1980年伊豆半島東方沖地震への適用

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1に地震断層と対象地点の位置を、図2には工藤らにより推定された伊豆半島付近の地下構造を示す。この断層の幾何パラメーターは井元ら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14~20km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。さらに断層の動的パラメーターは、岡田によって推定されたRake 0° 、rise time 1 sec、破壊伝播速度3 km/sec、地震モーメント 0.72×10^{26} dyne・cmを用い、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拡がるものを基本とした。

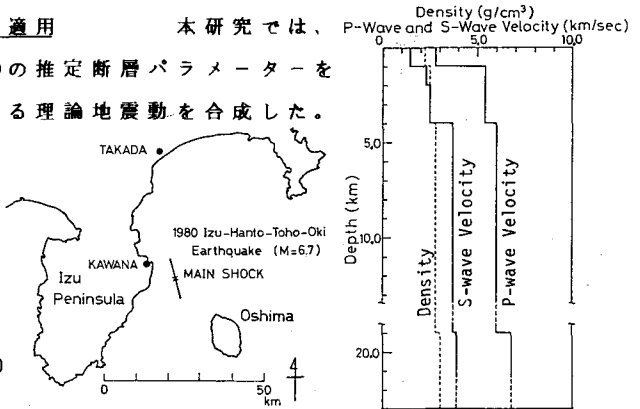


図1 断層と観測点の位置 図2 伊豆半島付近の地下構造

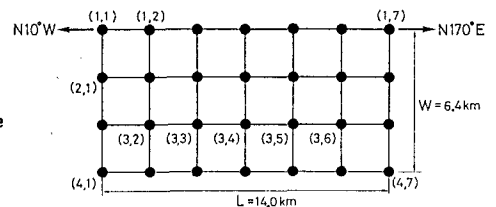


図3 1980年伊豆半島東方沖地震の断層を小分割したモデル

図4に、川奈における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。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。なおこの断層パラメータ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変化を示したのが図5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。

図6は、基本断層パラメータ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。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あらわれている。

断層の走向と rise time 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7である。同図より、断層の動的パラメータである rise time の変化は走向の変化に比べ、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。

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、さらに破壊過程の不規則性および表層構造の複雑さを取り入れたモデルを考えることが望まれる。

(参考文献) 1) Olson, A.H.: Ph.D. Thesis, University of California at San Diego, 1982.

その他の参考文献については、紙面の都合上割愛する。

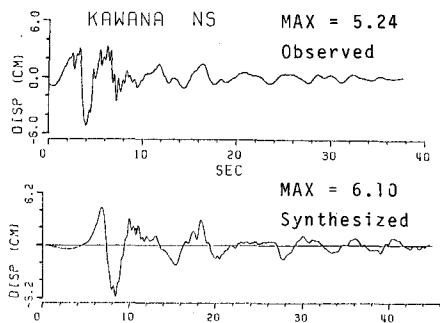


図4 川奈における観測および理論変位波形

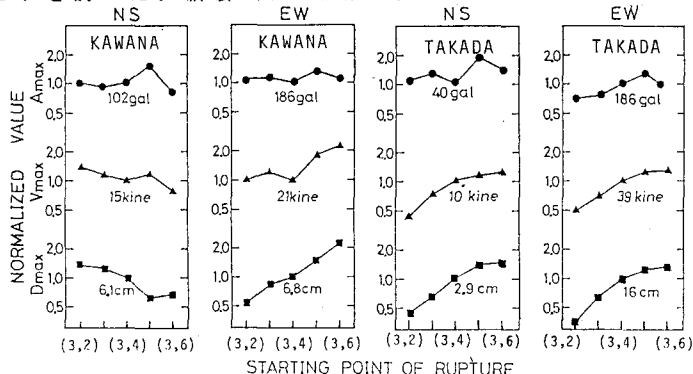


図5 破壊開始点の位置の変化が最大地動に及ぼす影響

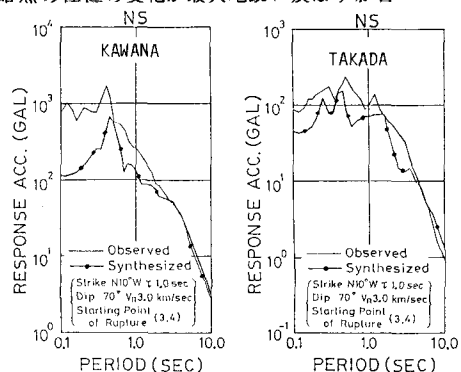


図6 観測波形と理論波形による加速度応答スペクトルの比較

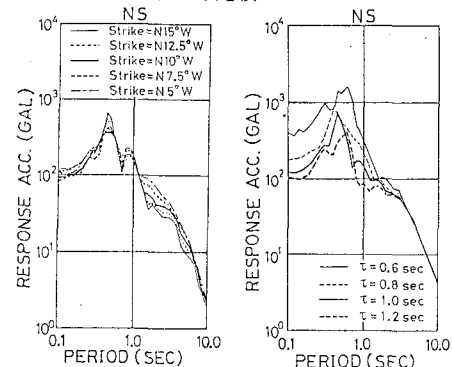


図7 走向とrise time の変化が加速度応答スペクトル(川奈NS)に及ぼす影響