

最大級の地震動をもたらす断層モデルの簡易設定法

産業技術総合研究所活断層研究センター 正会員 吉見雅行

1. はじめに

特定の断層を想定したシナリオ地震型の強震動予測が数多く行われている。震度分布や強震動波形の性質は、予測に用いられる断層モデルにより大きく異なる¹⁾が、結果が構造物の耐震設計に用いられることを考えれば、想定する断層モデルには社会的な説明能力が要求される。したがって、断層パラメータが対象地点の波形や対象構造物の応答に及ぼす影響について明確にする必要があり、さらに言えば、対象地点の対象構造物の応答を最大（最悪）にするような地震動をもたらす断層モデルの構築方法が必要である。

本稿は、特定地点に特定の周期帯の最大のパルス地震動をもたらす断層過程構築方法²⁾を半無限媒質・平行成層構造を対象として検証するものである。対象とする断層は、垂直横ずれ断層、逆断層、低角逆断層である。

2. 方法

1) 断層パラメータ設定

全無限媒質中のS波far-field項³⁾の係数 C^{FS} と線震源の破壊伝播による増幅倍率 C_{rup} の積をもって、断層上の特定地点の地震動励起能力を評価する。このとき、

$$S_{\Omega} : \left\{ S_{asp} \subseteq S \mid \int_{S_{asp}} C_i^{FS} C_{rup} dS \rightarrow \max \right\} \quad (1)$$

を満足するアスペリティ S をもって、対象とする断層モデルとする。ここで、

$$C^{FS} = \frac{1}{|\mathbf{u}|r} \left[(\gamma \cdot \mathbf{v}) \ddot{\mathbf{u}} + (\gamma \cdot \ddot{\mathbf{u}}) \mathbf{v} - 2(\gamma \cdot \mathbf{v})(\gamma \cdot \ddot{\mathbf{u}}) \gamma \right] \quad (2).$$

$$C_{rup} = \left(1 - \frac{v_r}{\beta} \cos \theta \right)^{-1} \quad (3),$$

である。ただし、 $\ddot{\mathbf{u}}$ ：断層面の平均すべり速度、 \mathbf{v} ：断層面の単位法線ベクトル、 γ ：方向余弦（観測点から震源へ向かう単位ベクトル）、 \mathbf{r} ：震源－観測点間距離、 (\cdot) ：内積、 β ：S波速度、 v_r ：破壊伝播速度、 θ ：破壊伝播方向と震源・観測点方向とのなす角である。図1に C^{FS} の分布を示す。

震源近傍に特徴的なパルスの地震動の卓越周期は、アスペリティサイズがコントロールする⁴⁾。そこで、検討したい周期帯域にあわせてアスペリティサイズを決定する。破壊伝播様式はディレクティブ効果の大きさをコントロールするため、地震動を計算する対象地点に向かう破壊伝播を想定する。上記以外の断層パラメータ（アスペリティ内の滑り量分布、最大滑り量、破壊伝播速度）は文献2に従い設定している。

2) 地震動計算方法

半無限媒質（表1）および半無限成層構造（表2）の地震動計算には、Kohketsuの波数積分法計算プログラム⁵⁾を

用い、断層面上の滑り速度時間関数は、中村・宮武の式⁶⁾を用いた。断層面を多数の小断層に分割しそれぞれの中心の点震源からの地震波を計算し、それらを破壊伝播による時間差をつけて足し合わせ、対象地点の地震動とした。

ここでは、断層長さは40km、断層面の深さは4km-20km、対象周期は2.0秒、アスペリティ内の応力降下量は一律10MPa、破壊伝播速度はS波速度の80%、アスペリティは正方形とし、配置するアスペリティの個数は1つである。

3. 計算結果

式(1)を用いる方法（簡易手法）とグリッドサーチ結果とを比較して示す。前者の方法ではアスペリティを設定する際に波形合成が必要ないが、後者は全ケースの波形を計算してから最大値を探索するため、計算量に多大な差がある。図2にアスペリティの配置位置と周期2.0秒の速度応答値との関係を示す。アスペリティの配置位置によって地震動強度が変わる様子がわかる。

図3に半無限媒質における比較結果を示す。ほぼすべてのケースで提案手法とグリッドサーチの一致はよい。すなわち、式(1)によって最大地震動をもたらすアスペリティ位置が求められる。

図4に平行成層構造における比較結果を示す。傾斜角90度、60度の場合には両者の一致はよく、提案手法は水平成層構造に対しても有効であるといえる。一方、傾斜角30度の断層に対しては、提案手法が過小評価する場合がある。これは、層構造による波線の曲がりや層構造の影響が式(1)では考慮されていないことによると考える。

本手法はパルス波の生成に焦点を当てたものである。図3、図4より、断層線より5km以内の断層近傍では、それ以遠に比べて特に強い地震動をもたらされることがわかる。

4. おわりに

耐震設計のために、地震動の「最大」を知ることは重要である。詳細な地震動シミュレーション結果や観測記録との比較を通して、最大の地震動について考察していく必要があると考える。

参考文献

- 岡田成幸・戸松誠（2000）：都市直下地震を想定した入力地震動の考え方と地域防災計画への指針－震源パラメータの不確実性をもたらす地震動入力および被害評価への影響－，日本建築学会構造系論文集，530，37-44.
- 吉見雅行・宮武隆・東原紘道（2003）：震源近傍の特定地点に特定の周期帯の波を卓越させる地震断層モデル－全無限等方質弾性体における検討－，土木学会応用力学論文集，vol.6，pp.799-808.

3. Aki, K. and P. G. Richards (1980): Quantitative Seismology, W.H. Freedman and Company.
4. 宮武隆 (1998): 断層近傍の強震動パルスの成因, 地震第2輯, 第51巻, 161-170.
5. Kohketsu, K. (1985): The extended reflectivity method for synthetic near-field seismograms, J. Phys. Earth, 33, 121-131.
6. 中村洋光・宮武隆 (2000): 断層近傍強震動シミュレーションのためのすべり速度関数の近似式, 地震, 第53巻, 第1号, 1-9.

表 1 半無限媒質諸元

Thick (km)	α (km/s)	β (km/s)	ρ (g/cm ³)	Qp	Qs
Inf.	6.00	3.5	2.7	600	300

表 2 平行成層構造諸元

Thick (km)	α (km/s)	β (km/s)	ρ (g/cm ³)	Qp	Qs
0.10	2.50	1.00	2.10	60	20
0.40	3.20	1.80	2.10	100	30
4.50	5.50	3.20	2.60	600	300
Inf.	6.00	3.46	2.70	600	300

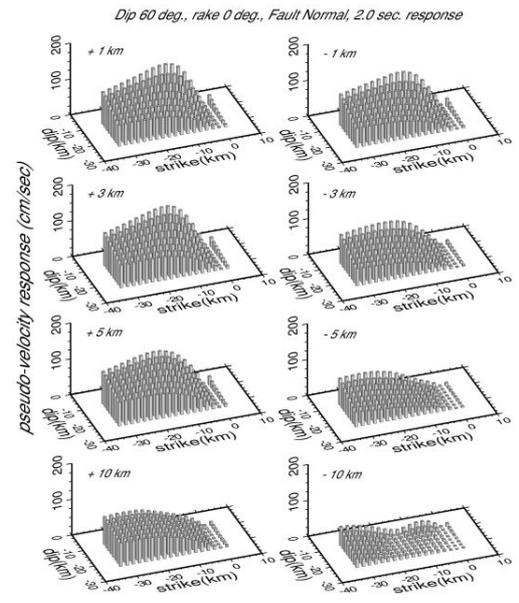


図 2 線形速度応答値分布 (周期 2.0 秒)
(断層距離-10km~+10km, 左:上盤側, 右:下盤側, 傾斜角 60 度, 滑り角 0 度)

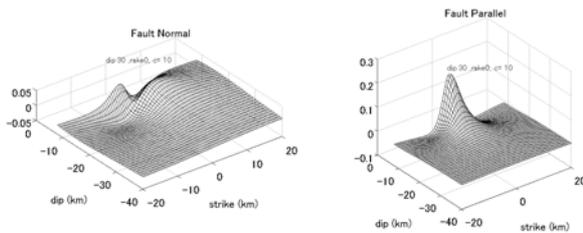


図 1 C^{FS} の分布 (傾斜角 30 度, 断層距離+10km, 滑り角 0 度)

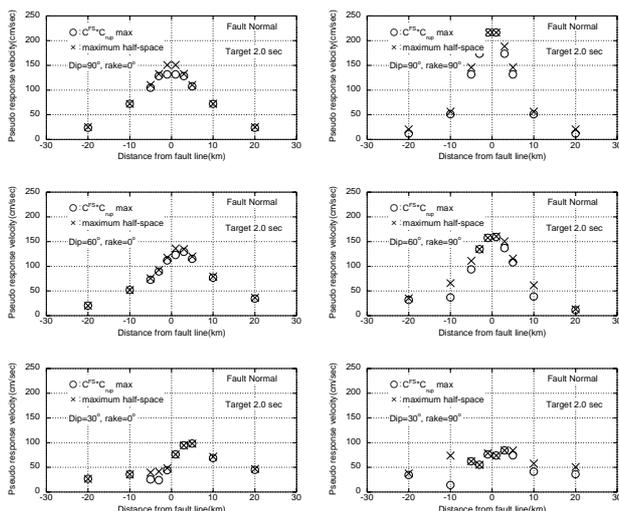


図 3 簡易手法とグリッドサーチ結果との比較 (半無限媒質, 左:滑り角 0 度, 右:滑り角 90 度, 上から傾斜角 90 度, 60 度, 30 度, 周期 2.0 秒)

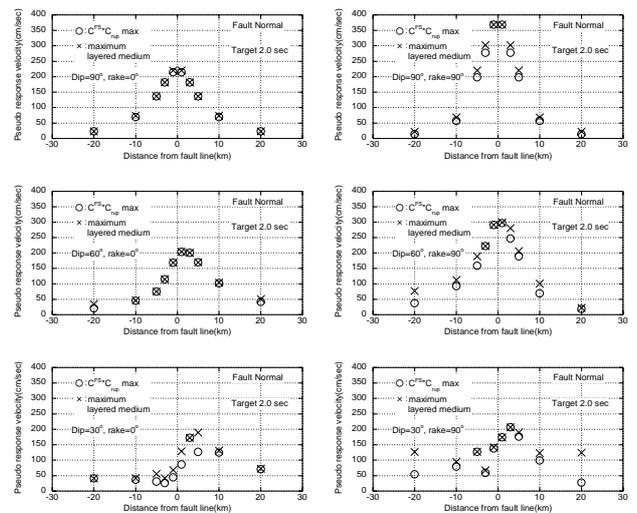


図 4 簡易手法とグリッドサーチ結果との比較 (水平成層構造, 左:滑り角 0 度, 右:滑り角 90 度, 上から傾斜角 90 度, 60 度, 30 度, 周期 2.0 秒)