

(I-7) 断層モデルに基づく耐震設計用入力地震動の設定例

(株) オリエンタルコンサルタンツ 正員 井上 陽介
正員 桶 義規

1. はじめに

社会資本の整備や維持に一層の合理化が求められる現状を踏まえると、今後の耐震設計には、地域ごとの地震活動度に応じて設計地震動を定め、構造物の重要度に応じて適切な性能を付与することが求められる。また、日本には地震の発生源となりうる多くの活断層が存在しており、その近傍に構造物が建造されることは決して少なくない。このような状況から、本稿では、断層モデルに基づいた入力地震動の設定結果を例示する。

2. 断層を考慮した地震動の設定法

半経験的手法の1つである入倉・釜江¹⁾の方法により地震動を作成した結果を示す。この方法は、大断層の近傍で発生した小規模な地震の観測記録(要素地震)を時間領域で足し合わせることによって、大断層による大規模地震動を合成する手法である。なお、要素地震動については、今回統計的グリーン関数法により作成した。

3. 断層パラメータの設定

今回対象としたのは、中部地方の断層長32kmの断層である。本断層は東側(断層長28km)および西側(断層長4km)の2つの断層線から形成され、東側の断層が途中で折れ曲がっていることから、断層面を3つに分割してモデル化し、分割した断層毎に各パラメータを設定した。

(1) 走向・長さ・幅・傾斜角

断層の幾何学的パラメータは、図-1に示す走向、長さ、幅、傾斜角の4つである。このうち、断層の走向や長さ、傾斜角などは既往の調査資料等²⁾³⁾を用いて設定することができる。また、断層の幅については、既往の地震におけるすべりが深さ5~12kmの範囲で生じていること、内陸型地震の震源深さが15km前後であること等から、大きめに17km(≒15km/sin65°:65°は傾斜角)に設定した。

(2) せん断波速度および破壊伝播速度

せん断波速度の設定は花崗岩を想定し3.5km/sとした。また、破壊伝播速度は一般にせん断波速度との比率が0.7~0.8とされていることから、ここでは2.5km/sとした。

(3) 地震モーメント M_0 およびライズタイム τ

地震モーメント M_0 は断層面積を S 、断層の食い違い量を D 、断層面のせん断弾性係数を μ とすると、 $M_0 = \mu DS$ で定義される。地震モーメントは断層面積との関係式(1)⁴⁾を用いて算定した。また、ライズタイム τ は断層上のある点の食い違い量がゼロから最終的な値になるのに要する時間で関係式(2)⁴⁾により算定した。

$$S = 2.05 \times 10^{-15} M_0^{2/3} \quad \text{---- (1)}$$

$$\tau = 1.72 \times 10^{-9} M_0^{1/3} \quad \text{---- (2)}$$

(4) アスベリティ

地震動は主に上盤と下盤との相対変位が大きい部分(アスベリティ)で生成されると考えられており、現在では、断層全体を破壊させるのではなく、断層面上にアスベリティを分布させ、この領域を破壊させる方法が主流となっている。既往の研究成果⁵⁾によれば、断層の総面積に対するアスベリティの面積比は0.26となっており、計算ではこれを参考に0.3を用いた。以上の断層パラメータをまとめて表-1に示す。ここで、各断層の地震モーメントは、まず断層全体の値を式(1)で算定し、これをアスベリティの面積比で分配した。

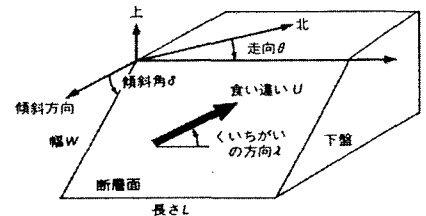
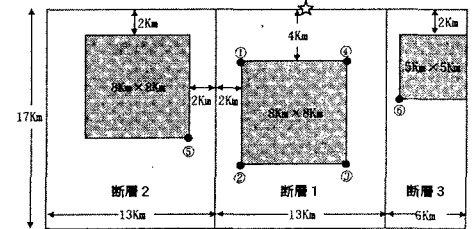


図-1断層の走向・長さ・幅・傾斜角

表-1 断層パラメータの設定結果

	断層1	断層2	断層3
走向 (deg)	226	231	187
断層長さ (km)	13	13	6
断層幅 (km)	17	17	17
傾斜角 (deg)	65	65	65
せん断波速度 (km/s)	3.5	3.5	3.5
破壊伝播速度 (km/s)	2.5	2.5	2.5
地震モーメント (dyne·cm)	5.55E+25	5.55E+25	2.56E+25
ライズタイム (sec)	0.7	0.7	0.5
アスベリティ面積 (km×km)	8×8	8×8	5×5



☆地震動抽出点 □アスベリティ ●破壊開始点
注:アスベリティの位置は既往の検討例を参考に3ケース設定。上図はその1例。

キーワード: 耐震設計, 地震荷重, 入力地震動, 活断層, 断層モデル

〒213-0011 神奈川県川崎市高津区久本3-5-7 ニッセイ新溝の口ビル TEL (03) 044-812-8815 FAX (044) 812-8825

4. 要素地震動の作成

前述したように、本断層の要素地震動は、統計的グリーン関数法により作成した。まず、発生源となる小断層を1km×1kmと設定し、小断層の大きさとアスペリティの大きさに相似則を適用して、地震モーメントを決定した。次に、要素地震の加速度フーリエスペクトルを地震モーメント等から設定し、これをフーリエ逆変換して時刻歴波形を作成した。ここで、フーリエ逆変換を行うためには、各周波数成分の位相スペクトルも必要となるが、これに関しては十分な研究成果がないため、乱数で位相スペクトルを設定した。

断層内の破壊開始点、破壊の進行方向、要素地震断層毎の地震動推定地点との距離による到達時間のずれを考慮して、各小断層からの要素地震動の時刻歴波形を重ね合わせる。重ね合わせにおいては、要素地震動毎に距離減衰による振幅の減衰を考慮する。

5. 地震動の合成結果

断層内のどこにアスペリティを設けるか、また、どこから断層の破壊を開始するかで、地震動の作成結果が異なるが、これらに関しては確定的に決定することができない。また、その他の断層パラメータに関しても、数種の経験式が提案されているが、評価値にはばらつきがある。よって、現状ではこれら不確定な要素についてはパラメトリックに検討し、その影響の大きさを把握しておく必要がある。

今回の検討では、破壊開始点、アスペリティの位置、ライズタイムを数種設定して地震動の試算を行った。その結果、①地震動の推定地点（構造物の建設地点）に向かって断層の破壊が進行するケースで地震動が大きく算定される、②ライズタイムを短くする、つまり、断層の食い違い時間を短時間に設定した方が地震動が大きく算定される、③地震動の推定地点にアスペリティが近い方が地震動が大きく算定されるということが判明した。図-2に推定地震動と道路橋示方書I種地盤のタイプIIスペクトルとの比較を示す。道示スペクトルに比べて推定地震動のスペクトルはかなり小さいが、理由として以下のことが挙げられる。

①道示スペクトルは兵庫県南部地震記録を基本に設定しているが、今回地震動を推定した断層は兵庫県南部地震の断層よりも幾分か小さい。

②道示スペクトルはI種地盤表面での地震動であり、I種地盤による増幅が含まれている。これに対して、推定地震動は地震基盤（せん断波速度3.5km/s）での値であり、耐震設計上の基盤面に到達するまでの増幅が考慮されていない。

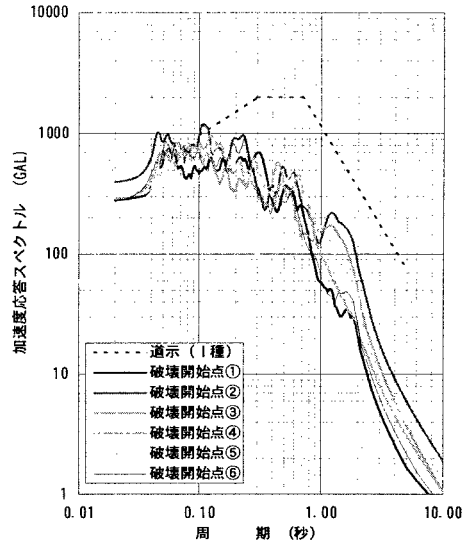


図-2 推定地震動と道示スペクトル比較

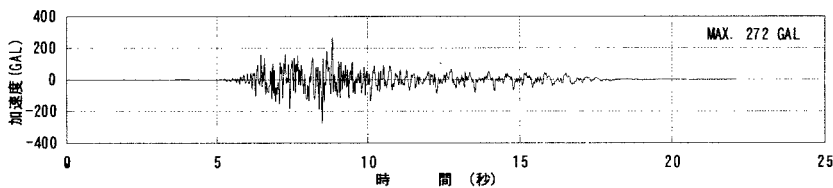


図-3 推定地震動の一例

6. おわりに

断層モデルに基づいた入力地震動の設定に関しては、地域防災計画等でも具体的に検討されており、耐震設計を行う上で、今後必要な技術になると思われる。今回の検討では、地震基盤から耐震計算上の基盤面までの地盤の情報がないため、その間の地震動の増幅を考慮しておらず、工学的には不十分な結果となってしまった。これを解決するためには、ある程度マクロな情報でもかまわないので、地殻までの地層構成を把握する必要がある（大規模な弾性波探査により、ある程度は把握可能）。また、断層パラメータの推定精度の向上のためには長い年月をかけてデータを蓄積する以外ないので、当面はパラメトリックに検討を行い、工学的に判断を加える必要がある。

《参考文献》

- 1) Irikura K.: Estimation of near-field ground motion using empirical Green's function, Proc. of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, 1986
- 2) 活断層研究会編：[新編] 日本の活断層，東京大学出版会
- 3) 佐藤，阿部，岡田，島崎，鈴木：日本の地震断層パラメータ・ハンドブック，鹿島出版会
- 4) 大阪府土木部：大阪府土木構造物耐震対策検討委員会報告書，1997.3
- 5) Somerville, 入倉，澤田，岩崎，田居，伏見：地震断層のすべり変位量の空間分布の検討，第22回地震工学研究発表会，1993