

Stochastic finite-fault modelingを用いた福岡県 西方沖地震における強震動の再現

大島, 光貴
九州大学大学院理学府固体地球惑星力学研究分野

<https://doi.org/10.15017/1467670>

出版情報：九州大学情報基盤センター広報：全国共同利用版. 6 (2), pp.63-67, 2006-09. 九州大学情報基盤センター
バージョン：
権利関係：

Stochastic finite-fault modeling を用いた

福岡県西方沖地震における強震動の再現

大島 光貴 (九州大学大学院理学府固体地球惑星力学研究分野)

概要

2005年3月20日に発生した福岡県西方沖地震(Mw6.6)における強震動の再現を目的に、九州大学情報基盤センターの計算機を利用して Stochastic simulation method によるシミュレーションを行った。その概略を述べる。

1. 研究内容

本研究では、Stochastic simulation method を用いた福岡県西方沖地震における強震動の再現をテーマとした解析を行った。

地震発生時に観測される強い地震動、すなわち強震動は建築物やその他のインフラに被害を与えるばかりでなく、人命にも被害を及ぼす。従って地震の際にどこでどのような強震動が予測されるのかを評価することは、防災上極めて重要である。強震動の予測手法は大きく分けて2つある。一つは、差分法や有限要素法などにみられるような決定論的な計算法によるものである。もう一つは、本研究で用いた stochastic simulation method に代表されるような統計的・推計的計算法である。本研究では、統計的・推計的強震動の計算手法である stochastic simulation method を用いて、実際に観測された福岡県西方沖地震による強震動の再現を試みた。

近年、全国において精力的な強震動予測シミュレーションがなされ、強震動予測分布図などが作成されている。このようなシミュレーションを詳細に行う際には、まず震源となる断層を決め、その断層上でどれくらいの大きさの滑り量が大きい領域がどのように分布するのかを想定し、三次元速度構造を用いた差分計算および統計的グリーン関数法をハイブリッドして用いるのが普通である。この際、強震動評価において重要なファクターのひとつとなる forward rupture directivity 効果(破壊の特定の方向への伝播に起因する一種のドップラー効果)の存在を考慮すると、震源(破壊開始点)と滑り量が大きい領域および強震動を予測する対象地域との相対的な位置関係が重要であるため、何通りものシナリオを作成し、計算を行わなければならない。この際、三次元の差分法などを用いた計算はコストがかかるため、まず統計的手法を用いて強震動評価を行い、その結果に従ってシナリオを絞ってから差分法、統計的手法をハイブリッドしてシミュレーションを行うという方法も用いられる。統計的手法には、低コストである程度正確に強震動シミュレーションを行うことができるという長所がある。今回の福岡県西方沖地震のように、今まで大地震が観測されていない場所で起こるような地震について強震動の予測をする際には、震源の特性や地震波の伝播特性などについての情報を得

ることができないため、計算は考えうるいくつもの地震のシナリオを作った上でこれらについて行われなければならない。このような場合、統計的手法を用いれば、少ないコストで数多くのシナリオについてある程度確実なシミュレーションが可能になるかもしれない。

このような観点から、本研究では統計的な手法を用いた強震動シミュレーションの可能性を探ることを目的に、福岡県西方沖地震について実際に観測された強震動記録をどの程度再現することができるのか、統計的手法の一つである、Beresnev and Atkinson (1998)による Stochastic simulation method を用いて調べた。

今回の解析では、Beresnev and Atkinson (1998) (以降、B&A)によるコードに手を加えたものを用いた。B&Aによる方法は、震源断層をいくつかの矩形の小断層に分け、それらの小断層からの寄与を地震波の統計的な伝播特性を考慮しつつ観測点において適当な時間差を与えながら時間領域で足し合わせるといったものである。合成される波形は加速度波形である。

今回の解析では基本的に B&A による手法を踏襲しているが、一部変更している部分もある。

B&Aによる方法では、断層面上の破壊伝播速度は一定値を取るが、今回の解析では、Takenaka et al. (2005)による詳細な破壊過程を導入するために断層面上で値が変化する破壊伝播速度を導入した。また、オリジナルでは 50Bar の一定値とされるストレスパラメータ (応力降下量に相当) についても断層面上で値が変化するようコードの変更を行った。さらに、B&Aによる方法では、各小断層について地震波の放射強度を規定するパラメータが必要であったが、Motazedian and Atkinson (2005)による方法を用いることでこのパラメータを与える必要がなくなった。これによって計算時に必要な入力パラメータの数が減った。これらの修正を行った B&A によるコードを用いて解析を行った。

観測点で観測される波形は、震源の特性、震源から観測点までの地震波の伝播特性、そして観測点近傍の地震波に対する応答特性の3つによって支配される。震源については、先述の通り断層面上で可変な破壊の伝播速度を用い、断層面は応力降下量とすべり量が周りの領域(背景領域)と比較して大きなアスペリティ領域と背景領域とに分割(以降、アスペリティモデル)し、それぞれについて観測波形と計算波形の一致の度合いが最大となるようストレスパラメータを求めた。計算に用いる震源モデルとしては、アスペリティモデルで破壊速度に Takenaka et al. (2005)による解析結果を導入したものと、B&Aのように断層面上で一定値としたもの、そしてストレスパラメータおよび破壊伝播速度を断層面上で一定とし、すべり量の分布をランダム分布とするものの3つのモデルを用いた。震源断層からの伝播特性については過去の地震から得られた統計的な値が用いられる。しかし、研究対象地域についてはこれらのデータが前もって得られなかったため、B&Aによるデフォルトデータを用いた。サイト周辺の地震波に対する応答特性は、Kawase and Matsuo (2004)による研究成果を用いた。解析に用いた波形データは、

福岡県および佐賀県に設置されている観測点のうちの 27 点分の加速度記録である。

得られた計算波形と観測波形を比較して、おおよそよい一致が見られた。またフーリエスペクトルについても 1Hz から 20Hz においておおよそよい一致が見られた。特に、今回 Kawase and Matsuo (2005)による正確なサイト増幅特性を用いたため、ピーク的位置など、その形については驚く程よく一致している。しかし、観測波形と計算波形の一致の度合いについては観測点によってばらつきがある。このばらつきについては、目立った方位依存性は見られなかった。また、forward rupture directivity の効果による計算波形と観測波形との差は明確ではなかった。計算波形と観測波形の一致の度合いのよい観測点は概して S 波速度の大きなコンディションのよい観測点に多い傾向が見られた。また、堆積盆地上に無い観測点についてはよい一致が見られ、堆積盆地上の観測点では一致の度合いのよくない観測点が多かった。また、用いた 3 つの震源モデルについて今回の解析では有意な差は見られなかった。また、破壊の伝播過程について観測結果を導入したものと、断層面上で伝播速度一定としたものとのスペクトルの差は明確ではなかった。将来起こる地震について強震動予測を行う場合、アスペリティの位置や大きさ、そして破壊の伝播過程などの詳細な情報はほとんど得られないと考えられる。このことを考えると、ストレスパラメータおよび破壊伝播速度を断層面上で一定とし滑り分布をランダムに分布させたモデルがより詳細な情報を取り込んだモデルとそれほど変わらない結果を与えたということは、一定の意味を持つものと考えられる。また、ストレスパラメータとして地震の平均的な応力降下量 50bar を全断層面上で一定値として用いても、結果は意外にもある程度観測値を説明することができた。ただし、今回は周波数帯域が 1~20Hz とやや高周波側で統計的・確率的な挙動の割合がより大きくなる領域をターゲットとしており、また、地震の被害が振幅の最大値のみではなく揺れの時刻歴に大きく影響されることを考えれば、アスペリティの位置や大きさ、応力降下量など、できる限り詳細な情報をとりいれてシミュレーションを行うことは極めて大切である。

今回、本来前もって調べておくべき解析対象地域の地震波の伝播特性については、今まで大きな地震が起こっていなかったこともあり、ほかの地域における値をそのまま用いたが、前もって伝播特性を正確に評価しておくことで精度の向上が可能である。また、震源からの地震波放射についてかなりラフな近似を行った。これについても近年提案されているより高精度のモデルを用いることで精度の向上が可能である。さらに、解析の対象とした 1~20Hz の間ではスペクトルの形の相関が極めて良いが、計算波形のスペクトルと観測波形のスペクトルでは今回対象としなかった低周波側では振幅の一致度が悪かった。これは全観測点、全モデルに共通しており、これは Stochastic simulation method を用いた低周波成分の再現能力の限界を示しているものと思われる。1 Hz 未満の領域では、地震波の低周波成分のモデリングおよび導入といった作業が必要である。

サイト特性については、Kawase and Matsuo (2004)によって求められた特性を用いた

ため、フーリエスペクトルの形状が観測スペクトルと計算スペクトルとで驚くほど一致している。これは、Kawase and Matsuo (2004)によるサイト応答特性が極めて正確なものであることを示すと同時に、強震動予測においてサイト特性の正確な評価が極めて重要であることを示している。

今回の解析では入力パラメータの値の選定についてややラフな部分もあったが、それにも関わらずある程度の結果を得ることができたのは、Mamada and Takenaka (2004)¹による減衰特性、Kawase and Matsuo (2004)によるサイトの応答特性、九州大学大学院附属地震火山観測研究センターによる震源情報など、高精度で求められた解析結果を導入したことと無縁ではなく、強震動予測における震源、伝播特性、サイト特性それぞれについての正確な情報の導入の重要性が改めて確認されたといえよう。

2. 計算機の使用状況

今回用いたプログラムはB&Aによるオリジナルのコードに、断層面上で2次元分布する破壊伝播速度および応力降下量を導入し、さらにMotazedian and Atkinson (2005)による方法を導入するための変更を施したものである。FORTRAN77で書かれたこのプログラムは約1000行のコンパクトなものであり、実行にかかる計算時間は約1分である。また、計算に必要となるメモリの量は数メガバイトである。このように計算に必要な時間とメモリがかなり少ないため、MPIやOpenMPなどによる並列化は特に行わなかった。しかし、1回あたりの計算に必要なリソースは小さいものの、今回はアスペリティと背景領域の両方についてパラメータ値を決めなければならず、それを3つの震源モデルについて27個観測点分計算しなければならないため、必要となる計算回数はかなり多くなる。応力降下量は背景領域で20Barから90Barまで5Bar刻みで、アスペリティ領域では30Barから200Barまで、最初10Bar刻みで、最終的に5Bar刻みでグリッドサーチを行った。単純に計算回数は初期の計算だけでも21870回となる。また、Motazedian and Atkinson (2005)による方法を導入する前には、アスペリティと背景領域について更に1個ずつ未知パラメータがあり、グリッドサーチをするには膨大な回数の計算量が必要であった。また、当然ながらこれ以外の設定すべきパラメータの値を決めるため、他にもかなりの回数の計算が必要であった。この多数回の計算に対応するため、パラメータ空間をいくつかに分割し、複数のディレクトリで同時に計算を行った。

3. 希望・感想

今回行った計算は、1回の計算自体はごく短時間で終了するものであり、計算に必要なメモリ量も微々たる物であった。しかし先述のようにパラメータ空間が広く、グリッドサーチによって最適なパラメータ値を求めるには実に多数回の計算が必要であった。多数回の計算を現実的な計算時間で終了するためにはパラメータ空間の適切な分割と多数のディレクトリにおける同時計算が不可欠であった。また、多数回の計算に伴って

生じる多くの出力ファイルの保存も計算と同時にされなければならない。計算自体に必要なリソースはかなり小さいものの、多くのディレクトリでの計算の同時実行には強力な CPU 系が必要であり、また、多数回の計算に伴う出力ファイルを保存するための大きなディスク容量も必要となる。さらに、長時間 CPU および IO に大きな負荷を与えることになるため、計算機はハード的に十分タフで、しっかりとした安定性も有さなければならない。これらの事情から、もはや今回の計算を一般的な PC で処理するのは現実的ではない。しかし、経済的な理由から今回提供して頂いたような強力な環境をいつでも利用できる訳ではないため、今回の無料キャンペーンにより大いに助けられました。無料で充実した計算機環境をご提供下さった大型計算機センターの皆様に深く感謝致します。今後も、もし可能であれば、今回のようなキャンペーンを行って頂けると大変助かります。