

地震動予測地図作製のツールとしての有限差分法の現状

Present situation of the FDM as a tool of strong-motion mapping

青井 真[1], 功刀 卓[2], 藤原 広行[1]

Shin Aoi[1], Takashi Kunugi[1], Hiroyuki Fujiwara[1]

[1] 防災科研, [2] 防災科技研

[1] NIED

地震動予測地図を作成する際に、1秒ないし数秒より長周期の地震動を、有限差分法等の手法を用いて理論的に計算する必要がある。本講演では、地震動予測地図作成のためのツールとして見た場合の有限差分法（以下FDM）の現状と課題点を概観し、今後の方向性を探る上での話題を提供する。

地震動を評価する際に必要となる主な要素として、震源モデル(source)・地下構造モデル(path, site)・計算手法の三つを挙げるができる。震源モデルに関しては『予測』する必要があるため、ある程度の不確定性は避けられないが、活断層調査や歴史地震の研究成果等の情報からレシピーに基づいてモデルを構築する手法が提案されている。また、地下構造モデルは、費用対効果の問題もあるため詳細な情報を得ることが出来ない場合もあるが、探査を行うことでかなりの精度で推定することができる。本公演のテーマである3次元 FDM 等による波動場の計算も、手法の高度化と電子計算機の発展により、多くの場合には十分な精度で実現出来るようになってきたが、以下に述べるいくつかの問題点が残されている。このように、三つの要素はそれぞれ誤差要因を持ちつつも、総合的に見れば地震動予測地図の予測精度は十分に実用の範囲に入っていると考えられる。

不均質のスケールが格子点間隔に比べ十分に大きな場合には、FDM は実用上十分な計算精度がある。例えば、層厚 1km の堆積層の厚さを 100m 変化させた場合の波形変化に比べれば、FDM の計算誤差はその数分の 1 以下に過ぎない。このことは、地下構造や震源モデルの不確定性に比べれば、FDM の計算は十分高精度に行われていることを示している。しかし、より現実的で複雑な構造、特に地表付近に低速度の媒質を含む場合や S 波速度の比が 5 倍を越えるような不連続面を含む構造などのように条件が厳しい場合には、十分な計算精度が得られない場合も考えられる。また、モデルが複雑になるほどモデルの離散化の任意性が大きくなるため、同じモデルに対する計算でありながら計算結果が異なってしまうことがある。このように、大規模で現実的な構造モデルに対して計算を行おうとすると、計算精度を保証するために解決しなければならない問題点がいくつか生じてくる。しかしながら、このようなモデルに対しては解析解などのように精度が保証された解が存在しない。また、誤差の上限を押さえることも困難である。したがって、計算精度の検証方法は、いろいろなケースに関して複数のコードや手法による計算結果の比較を積み重ねていく以外にない。

計算精度と並ぶ実用上の大きな課題は計算の安定性である。一辺が 100km を越えるような領域で周期 1 秒程度まで計算するには数万タイムステップの計算が必要となる。このとき、時間進展とともに誤差が蓄積し計算が不安定になり発散（オーバーフロー）を起こすことがあり、実用上非常に大きな問題となっている。これに関連しては、通常は精度にほとんど影響を及ぼすことのない些細なプログラムミス（バグ）が、計算の不安定を引き起こす原因となり得ることが分かってきた。時間領域の陽解法である FDM が本質的に不安定要因を持っており、正しいコードを用いても不安定を回避することが出来ないのかどうかについてはいまだ結論が出ていない。ただし、通常用いられているスキームでも、数万ステップまでは計算できることは確認されており、バグのない口バスタなコードを開発することが実用上非常に重要となる。

以上で述べたように、FDM を用いて作成された地震動予測地図の信頼性を担保するためには、個々の研究者がそれぞれのコードの計算精度や安定性の検証を行うだけでは不十分である。今後は、複数の計算コードあるいは他の手法の結果を系統的に比較して相互に誤差評価を行うことが重要である。