

強震動シミュレーションのための地下構造モデルについて

山中浩明（東京工業大学・総合理工学研究科）

1. はじめに

近年の計算機能力の向上により大規模な平野を伝播するやや長周期地震動（地震工学の分野では、周期1～10秒程度の地震動をこう呼ぶ）の3次元数値シミュレーションが比較的容易に可能となった。とくに、兵庫県南部地震以降、差分法による強震動シミュレーションがいくつも行われ、断層運動の不均質性と堆積平野の地下構造の3次元的不規則性を考慮することにより観測された強震動特性をよく説明できることが示されてきた。さらに、強震動予測においてもやや長周期地震動を堆積平野の地下構造の影響を考慮した解析的手法により評価し、周期1～2秒よりも短周期の地震動を統計的もしくは経験的手法により評価して、両者を加えることにより広帯域の強震動予測が行われるようになった。こうした背景を踏まえて、ここでは強震動シミュレーションではどのような地下構造モデルが用いられているかについて紹介する。

2. 強震動シミュレーションに必要な地下構造の広がり

強震動シミュレーションでは、対象地点周辺の地下構造における地震波の増幅効果を適切に考慮することが重要である。地盤における増幅特性を議論する際には、速度コントラストが大きい境界面を基盤と定義して、地盤における増幅特性と地殻における減衰特性を分けて議論することが多い。地震基盤は、S波速度3 km/s程度の地殻最上層であり、それより上にある堆積層による地震波の変化を地盤特性と考える。地震基盤より深い地殻やマントルでの地震波の変化は伝播経路特性とされている。さらに、地盤のごく表層部分では、S波速度4～700 m/s程度の地層を工学的基盤と呼ぶ場合もある。これは、多くの建物の耐震設計では工学的基盤面で地震力を決めることが多いこと、工学的基盤より上の地盤では強震時に地盤の非線形性影響が顕著になることなどを考慮してのことである。

広帯域強震動の評価で用いられる地下構造モデルも周期範囲（厳密には用いている手法）によって異なるものが使われる。やや長周期地震動の評価では差分法などに代表される領域型の計算手法が用いられ、工学的基盤より浅い低速度な表層までモデル化することは現時点では不可能である。そこで、地震基盤から工学的基盤までの深い地盤の3次元構造がモデル化される。とくに、やや長周期表面波の伝播には堆積平野の広範囲の地下構造が影響を及ぼしており、平野全体の構造をモデル化する必要がある。地震基盤以深の地殻・マントルについても3次元的に構造が明らかにされている場合には当然モデル化される。しかし、地盤構造の3次元効果のほうがより大きく強震動特性を支配することは確かなことである。短周期地震動の評価では、対象地点の直下の地震基盤から地表までの地盤を1次元構造にモデル化して実体波の増幅特性が考慮される。とくに工学的基盤より浅部の地盤では詳細なS波速度構造だけでなく、Q値や非線形特性（強震時の剛性低下）も精度よくモデル化する必要がある。

3. 関東平野の地下構造モデル

現在、提案されている関東平野全域の3次元地下構造モデルには、地質的考察によるモデル（鈴木，1999）による、重力データによるモデル（駒澤，1985）、人工地震データによるモデル（瀬戸，1995）、微動アレイ探査によるモデル（山田・山中，2001）などがある。最近、文部科学省の支援で自治体により反射法地震探査が実施され、限られた地域ではあるが、3次元モデル

も提案され、有益な地盤情報が増えている。これらのモデルにしても平野全体をカバーするものではなく、空白の地域や地震波速度の記述がない等、首都圏の強震動予測に十分であるというわけではない。例えば、図1に示した地震基盤相当の深度分布を見ると、千葉県南部や三浦半島では、それぞれのもとにしているデータが少ないために構造に違いがある。また、北西部についてもデータが少なく、山中・山田（2001）は鈴木(1999)を参考にしている。

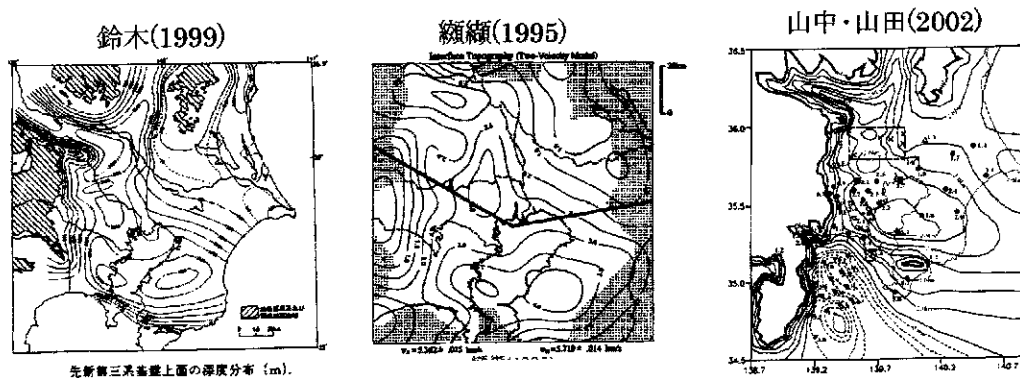


図1：関東平野の基盤構造（地震基盤）の比較。

こうした堆積平野の3次元構造モデルを用いて、強震動シミュレーションはいくつか行われている。Sato et al（1999）は、中小地震のシミュレーションを通じてモデルのキャリブレーションを行った後、関東地震による強震動シミュレーションを行っている。また、山田・山中（2001）は、上記の3次元地下構造モデルを用いた中小地震による地震動シミュレーションから地下構造の差異による地震動特性の違いを論じ、微動探査によるモデルが最もよく地震記録を再現することを指摘している。このように、どのような地下構造モデルを用いるかが3次元シミュレーションの成否の鍵になるといえる。さらに、地震の規模や発生位置によっても、地下構造モデルの違いの現れ方が異なっていることも指摘されている（山田・山中，2001）。すなわち、関東地震の震源域では震源特性の影響が支配的であり、地下構造の差異の影響は少ないが、震源域から離れると、地下構造の影響は顕著になる。一方、中規模の伊豆大島近海の地震ではやや長周期の表面波が卓越し、伝播経路に対応する堆積層の影響によって震源から離れるほど地下構造による地震動の差が大きくなってくる。このように、対象とする地震によっても地下構造の影響は異なっており、複数の地域で発生した地震をシミュレーションすることにより信頼性の高い地下構造モデルの検証が可能になると考えられる。

4. 今後の課題

現時点でシミュレーションに利用可能な3次元地下構造モデルでも仮定した部分が多く、観測された地震記録を完全に説明できるわけではない。したがって、地域ごと地震記録の再現性検討し、シミュレーションがうまくいく地域とそうでない地域を明らかにすることが重要である。そして、うまく行かない地域では観測記録に基づくモデル修正に加えて、地下構造探査を行い、探査結果をより効果的にシミュレーション結果の改善に反映できるような戦略を考えるべきであろう。以上は地震基盤から工学的基盤を対象にしたものであり、工学的基盤より浅い地盤の平野全域の3次元モデル化は未だ手付かずである。表層地盤の情報はボーリング調査などにより数多く現存していることは間違いない。しかし、それらが集積されていないことが問題であり、今後自治体や国も含めた枠組みでのデータの収集・蓄積が望まれる。