

第9章 結論

本論文では、地震学分野と工学分野に関係する地震動の工学的予測方法の開発を目的に、(1) 運動学的断層モデルと水平成層地盤モデルを用いた剛性行列による地震動波形合成法、(2) 因果性位相波の考え方を導入し、地震動水平成分波形から地震動上下成分波形の作成する方法、(3) 近傍の強震観測記録と常時微動H/Vスペクトル比を用いた地震動推定法、の3つの手法に関して地震動観測記録を再現することで、それぞれの検証を行った。その研究結果と今後の課題をまとめる。

(1) 運動学的断層モデルと水平成層地盤モデルを用いた剛性行列による地震動波形合成法

第2章では、地震工学問題への適用を目指し、運動学的断層モデルと水平成層地盤モデルを用いて構造技術者に馴染み深い剛性行列による地震波動場の定式化（振動数・波数領域の剛性方程式への定式化）を行った。震源断層の影響を表す外力項の表現として、(1) 半無限弾性体の剛性行列と無限弾性体中の震源断層から放射される地震波による変位と応力を用いる方法、(2) 半無限弾性体の剛性行列と解放基盤波を用いる方法、(3) 無限弾性体の剛性行列と無限弾性体中の震源断層から放射される地震波変位を用いる方法、の3つの方法により、地震波動場の定式化を示した。この定式化により、これまでは伝達行列を用いて求めていた地震波の影響を表す剛性方程式の外力項を、剛性行列の演算のみによって求めることができ、完全な剛性行列法による地震波動場の定式化ができた。

第3章では、剛性行列による波形合成法の数値計算例として、断層の永久変位を含む断層近傍の地震動の変位・速度・加速度波形を計算し、地震動に及ぼす表層地盤の厚さの影響が大きいことを示した。これらの断層近傍の地震動の振幅は片側に大きい、いわゆる片寄りのある波形となることを示した。また、順解析的手法ではあるが、表層地盤特性を変化させ、1966年 Parkfield 地震の断層近傍の変位・速度・加速度波形の再現を行い、本手法の妥当性を明らかにした。今後の課題として、逆解析手法により断層近傍での観測波形と本論文で示した剛性行列による地震動シミュレーション法から観測波形を説明できる震源断層特性、地下構造特性の推定法を検討する。

(2) 因果性位相波の考え方を導入し、地震動水平成分波形から地震動上下成分波形の作成する方法

第4章では、わが国で最近発生した内陸被害地震の震源断層近傍（断層最短距離 20km 以内）における強震観測記録から、表層地盤特性（道路橋耐震設計指針の地盤分類：I種、II種、III種地盤）を考慮して、地震動上下成分と水平成分のフーリエ振幅スペクトル比の平均値と標準偏差の周期特性の評価式を求めた。また、震源断層近傍の強震動観測記録を補完する目的として逆断層・地盤系モデルによる理論的に作成した地震動上下成分と水平成分のフーリエ振幅スペクトル比を求め、上盤と下盤でその特性が異なることを明らかにした。また、表層地盤の厚さと逆断層の傾斜角、断層線からの距離によって変わることを示した。最後に、波形合成法を用いて、2008年岩手・宮城内陸地震による KiK-net 一関西観測点で観測された地震動加速度波形から求めた変位波形を再現し、観

測記録の地震動上下成分特性と震源断層モデルによる再現した地震動上下成分の特性を比較し、理論的方法による地震動上下成分の特性の再現についての検討し、考察した。

第5章では、因果性位相波の定義と位相波特性の線形システム論的解釈を示し、この位相波と第4章で示した強震観測記録による地震動上下成分と水平成分のフーリエ振幅スペクトル比のモデル式を使い、地震動水平成分波形を用いた地震動上下成分波形の作成方法を提案した。そして、2008年岩手・宮城内陸地震のKiK-net一関西の観測記録から地震動上下成分波形の作成を行なった。

第6章では、第5章で示した因果性位相波と地震動水平成分波形を用いた地震動上下成分波形の作成方法の検証のため、9つの内陸被害地震における震源断層近傍の観測記録を用いて地震動上下成分波形の作成を行い、数値計算例から方法の妥当性を示した。

(3) 近傍の強震観測記録と常時微動 H/V スペクトル比を用いた地震動推定法

第7章では、常時微動記録と近傍の地震動記録のみを用いて、地盤情報には頼らない地震動推定法に関する従来の方法を改善することを目的に、「地震動と常時微動の H/V スペクトル比は完全に等しいものではなくほぼ等しい。そして2地点間距離が近い場合でも地表面鉛直地震動のスペクトル特性は異なる」という観測事実をできるだけ考慮した仮定に基づく新しい定式化において、「上下動の増幅特性を表す鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/O}$ 」と「常時微動と地震動 H/V スペクトル比の違いを表す補正係数 β_E 」の2つの係数が地点毎に計測することができる常時微動 H/V スペクトル比の特性から推定できることを示し、その推定式を提案した。

第8章では、第7章で示した常時微動記録と近傍の地震動記録のみを用いる地震動推定法を、福岡県と宮崎県の18地点の強震観測記録と常時微動記録から、これら2つの係数の推定式を用いて地点毎の地盤振動特性を考慮することにより、これまで以上にすべての地点で安定的に、短周期地震動(周期0.1秒から2秒)の推定精度が向上することを示した。今後の課題として、地震動と常時微動の観測地点を増やすことが必要だと考えられる。観測地点を増やすことで、補正係数 β_E や鉛直地震動スペクトル比 $\gamma_{E/O}$ の精緻なモデル化を行うことができる。そして、同時に推定精度の検証を行うこともでき、推定法のさらなる改善を行うこともできる。

本論文でまとめた3つの地震動予測手法は、剛性行列による地震動波形合成法は理論的手法、因果性位相波を考慮した地震動上下波形の作成方法、近傍の強震観測記録と常時微動 H/V スペクトル比を用いた地震動推定法は経験的手法に大別される。理論的手法は周期1~2秒以上の長周期地震動で、経験的手法は周期5秒以下の短周期地震動と地震動予測に対して適用できる周期範囲が異なる。そこで、本論文で示した理論的手法と経験的手法を組み合わせ、短周期と長周期の地震動の予測を行うことで、今後の建造物の耐震設計や既存建造物の耐震診断とその補強、地震被害想定等において求められる合理的かつ精度の高い地震動予測技術として利用できる。