HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Effect of frequency-dependent site amplification and heterogeneous attenuation structure for the precise real-time prediction of ground motions [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	小木曽, 仁
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	乙第7074号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74410
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Masashi_Ogiso_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（理　学）　氏　名　　小 木 曽　仁

学 位 論 文 題 名

Effect of frequency-dependent site amplification and heterogeneous attenuation structure for the precise real-time prediction of ground motions
(周波数依存性を考慮したサイト特性と不均質減衰構造が地震動即時予測に及ぼす効果について)

平成 23(2011)年東北地方太平洋沖地震とそれに引き続く地震活動によって、震源要素の早期推定に基づく緊急地震速報の手法としての限界が明らかになった。一般的に、地震動は周波数領域において震源項・伝搬項・サイト特性項と機器応答項の積で表現される。緊急地震速報ではある時点までの実際の観測地震動を予測に用いることが一般的な地震動予測と異なる点である。観測地震動はその時刻までの複雑な震源項や伝播項の影響を含んだものであるから、緊急地震速報においては波動場のリアルタイムモニタリングに基づいた地震動即時予測というアプローチが可能である。本研究では波動場のモニタリングに基づいた地震動即時予測の精度向上を目的として、サイト特性及び伝播項の効果に着目する。

一般的にサイト特性は周波数依存性を持つが、現在運用されている緊急地震速報システムでは単一のスカラー量として補正される場合が多い。第 2 章では、地震動即時予測においてサイト特性の周波数依存性を考慮するため、日本全国の強震観測点における周波数依存性をもつサイト特性を推定するとともに、そのサイト特性を近似する時系列フィルタを推定した。このフィルタは最小位相特性を満たしており、観測波形に対して時系列上でリアルタイムに適用することが可能である。周波数依存性の考慮がどの程度有効か調査するため、サイト特性を補正することによって隣接観測点の震度を予測するという実験を行った。2 点間の平均震度差を補正量とするスカラー補正法に対して、本研究で推定した時系列フィルタを用いて観測波形のサイト特性を補正した後に予測震度を計算する手法のほうがよい予測成績を示した。観測点間距離が短くなるほど周波数に依存した補正の優位性が大きかった。これは、観測点間距離が長い、すなわち、猶予時間が長い予測のためにはサイト特性以外の影響の考慮が必要であることを示唆している。

地震動の振幅はその伝播経路にも依存する。第 3 章では伝播経路特性のうち、地震波減衰構造について考察する。おおよそ 1Hz より高い周波数帯においては、地震動の振幅は媒質の内部減衰及び散乱減衰というメカニズムの異なる 2 種類の減衰の影響を受ける。内部減衰は地震波エネルギーの減少による振幅減衰をもたらすが、散乱減衰は地震動の振幅減衰に加えてその継続時間にも影響を及ぼす。したがって、正確な内部減衰と散乱減衰の分離推定は地震動の振幅のみならず継続時間をも含めた高度な地震動予測につながると期待される。本研究では、地震波エンベロープに着目して、新たな内部減衰と散乱減衰の 3 次元空間分布推定手法を提案する。提案手法は 2 つの部分からなり、最初にエンベロープフィッテイングを用いて各震源―観測点ペアごとに内部減衰と散乱減衰のパラメータを推定する。次に、得られたパラメータをセンシティビティカーネルを用いて 3 次元空間に投影していく。どちらの過程においても、深さ依存性を持つ地震波速度構造の影響も考慮した。エンベロープのモデリングにあたっては、主要動付近の形状を的確に表現するために前方散乱モデルを採用した。新たに提案した手法を用いて推定した西南日本地域の 3 次元内部・散乱減衰構造と従来の分離推定手法を用いて推定した 2 次元の内部・散乱減衰構造を比較したところ、地殻活動が活発な九州地方は他の地域より内部減衰・散乱減衰がともに大きいという共通した特徴が見られた。また、新たに推定した 3 次元構造では、特に中国地方において下部地殻の内部・散乱減衰がともに上部地殻のそれより小さいという特徴が明瞭に見られた。さらに、深さ 10-50㎞ においては四国中央部に低内部減衰域が推定された。これらの特徴は従来

の 2 次元解析では発見できないものである。

第 4 章では、不均質減衰構造が地震動即時予測に及ぼす効果を調査するため、波動場のモニタリングに基づく地震動即時予測手法である「揺れの数値予報」において不均質減衰構造が考慮できるよう拡張し、2016 年熊本地震を対象としてこの手法に基づく地震動即時予測実験を行った。まず、等方散乱モデルに基づく、従来の分離推定手法で推定した 2 次元内部・散乱減衰構造を用いた場合と均質な減衰構造を用いた場合を比較した。最大震度の予測残差の RMS を比較すると、不均質減衰構造を考慮した場合、均質構造の場合と比較して 10 秒後予測の場合は 12%、20 秒後予測の場合は 15%の改善が見られた。次に、前方散乱モデルを用いて同様の実験を行った。その際、不均質減衰構造としては 3 章で推定した 3 次元減衰構造のうち、第 2 層目の構造を用いた。その結果、最大震度の予測残差の RMS は 10 秒後予測で 10%、20 秒後予測で 9%の改善がみられた。等方散乱モデルの場合と比較すると改善傾向がやや異なるが、その原因として減衰構造と波動伝播シミュレーションにおける次元の違いが影響していることが考えられる。4 種の予測モデルにおいてエンベロープ全体の予測残差の RMS を計算すると、前方散乱モデルのもとで不均質構造を考慮した場合が最も良い成績であった。これらの結果から、前方散乱モデルは「揺れの数値予報」において地震動のエンベロープ全体の予測を可能としうること、また、不均質減衰構造の導入により「揺れの数値予報」の震度予測精度が向上することが明らかとなった。

本研究で得られた時系列フィルタはリアルタイムで波形レベルでのサイト特性補正を可能とし、また、本研究で推定された不均質減衰構造は「揺れの数値予報」において地震動の推定精度を向上させることが明らかとなった。これらの成果は、波動場のモニタリングに基づく地震動即時予測において、その予測精度の向上に重要な役割を果たすであろう。