

解析信号ウェーブレットを用いた Wigner 分布に基づく波形合成法による地震波形の推定

Ground motion estimation based on Wigner distribution using analytic signal wavelets

本田 利器[1]; 大濱 吉礼[2]

Riki Honda[1]; Yoshinori Ohama[2]

[1] 京大防災研; [2] JR 西日本

[1] DPRI, Kyoto Univ.; [2] JR West

1. はじめに

地震動は非定常性を有する時系列信号であるから、地震動の合成等においてはその時間周波数特性を考慮することが重要である。フーリエ変換では非定常性に関する情報は陽には得られないため、そのような目的のためには、短時間フーリエ変換 (STFT) やウェーブレット等が用いられることが多い。本研究では、STFT やウェーブレット変換よりも解像度が高い Wigner 分布に基づき波形を合成する方法について検討する。

2. 解析信号ウェーブレットを用いた波形の合成

Wigner 分布は、解像度が高く、また、時間-周波数空間上での周辺条件を満たすなどの好ましい特性を有する一方で、クロス項といわれる異なる周波数成分同士の干渉により生じる「ノイズ」のために利用が容易でない面もある。例えば、ある Wigner 分布に対応する(その分布を与える)時系列信号は一般には存在せず、そのような Wigner 分布については、逆変換によって時系列信号を合成することはできない。本田・大濱(合同大会 2001)は、ウェーブレット関数の Cross-Wigner 分布を用いて近似的な波形を合成する方法を提案した。これは目標とする Wigner 分布を、正規直交ウェーブレットの Cross-Wigner 分布を基底に有する空間に射影して同空間内での近似として表現可能な Wigner 分布を合成し、それに基づき時系列信号(地震波形)を合成するものである。

本報告では、この手法にもちいるウェーブレットとして、解析信号ウェーブレットを用いる手法を提案する。解析信号とは負の周波数成分を有さない複素信号であるため、信号が有する時間周波数特性を、正の周波数領域において規定することが可能である。ここでは、アナライジングウェーブレットとして、解析信号であり且つ正規直交性を有する複素関数を用いることを提案する。これにより、正と負の周波数領域の成分の干渉により生じる項を除去することが可能となり、より合理的な波形の合成が可能になる。

3. Wigner 分布に基づく未観測地点の時間周波数特性の推定

上で提案した手法を用い、未観測地点の地震動を、観測地点の波形の時間周波数特性に基づいて推定する手法を提案する。

具体的な手順は以下の通りである。まず、観測された地震波形を実部に持つ解析信号を解析信号として扱い、その Wigner 分布を算出する。対象とする未観測地点の地震動の時間周波数特性は、波動伝播に伴う時間周波数特性の変化を Wigner 分布の変形により評価することで推定する。そのため、観測記録の Wigner 分布に、図形処理で用いられるモーフィング処理を施して補間することで、未観測地点の地震動の Wigner 分布を推定する。対象地点の地震動の Wigner 分布の推定においては、観測記録の Wigner 分布のワーピング等による幾何的な補間の他、地盤条件や震源距離、周波数依存性を有する伝播特性等の情報に基づく補正を加えることも可能である。推定された Wigner 分布にもとづき、上述した波形合成手法により地震動を作成する。

4. 強震記録への適用例

強震記録を用いた数値解析を行い、提案する手法の適用性を検証した。対象とする波形は台湾集集地震における強震記録とし、2 地点における強震記録から、おおむね両者の中間に位置する地点の地震動を推定することを試みた。なお、モーフィングの際のワーピングにおける基準ベクトルは、強震記録の Choi-Williams 分布 (Wigner 分布よりも解像度は劣るがクロス項が抑制されるため時間周波数特性を把握しやすい特性を有する分布。)を参考にして設定した。合成された波形は、初動部分では比較的短周期の成分が、また後半部分においては長周期成分が卓越している様子が見られ、観測記録が有する時間周波数特性を反映していると言える。補正において、Wigner 分布の振幅(時間周波数平面上でのエネルギーに相当する)を震源からの距離に応じて調整した場合、単純に線形で変化させた場合よりも、実際の観測記録に近い結果を与えた。これにより、提案する波形剛性手法においては、このような物理的考察等に基づく補正を与えることも可能であることが示された。