

氏 名	みや わき こうじろう 宮 脇 幸 治 郎
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3631 号
学位授与の日付	平成 14 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	構造物系の地震応答に基づく非弾性特性のウェブレット解析による同定

論文調査委員	(主 査) 教 授 土 岐 憲 三	教 授 奥 村 浩 士	教 授 家 村 浩 和
--------	----------------------	-------------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ウェブレット解析の耐震工学への応用に関連して、その解析法の有用性ならびに各同定のテーマに対する工学的意義を踏まえた耐震設計上の有用な資料を得ることを目的として実施したものである。本編は8章からなっている。

第1章は緒論であり、本論文の研究の分野における各種研究の紹介とその背景についてふれ、研究目的・意義について述べるとともに研究課題との関係を明らかにしようとしている。

第2章では、ウェブレット解析の基本特性を述べ、非正常な不規則振動として地震波動を解析対象にとり、フーリエ解析とウェブレット解析を対比しながら考察を加えている。その結果、ウェブレット変換による地震波動の情報抽出としては、十勝沖地震での宮古および室蘭のデータからウェブレット係数での2つの時間差を求めて地震波動のデレクティブイテイ効果を明瞭に把握している。さらに、断層近傍の地震波動に対するウェブレットフーリエ位相スペクトルでは、伝播経路の効果と破壊伝播の効果とが異なった振動数領域に抽出されている。また、ウェブレットスペクトルは、耐震工学上の地震応答スペクトルと、分解係数のかなりの範囲までよい対応を示しており、特定の分解係数を境にして地震波動のエネルギー特性が変化しており、パワースペクトルの振動数に対するべき法則に対応した一定の関係を同定している。

第3章は、比較的簡単なアルゴリズムによる雑音処理の方法を提案し、雑音混入の地震波動からの雑音除去を、地震波動の再現の視点からその有効性を示している。インパルス性雑音除去は、ウェブレット変換による逆有限インパルス応答(IFIR)フィルタに相当する操作により行なっている。その場合、インパルスの発生時刻の推定は、ウェブレット係数における偶あるいは奇数部に相当する係数のゼロ交差特性によって行っている。一方、ガウス性雑音は、ウェブレットフーリエスペクトル(WFS)に滑らかなローパスフィルタを乗じて行っている。原波形の振動数とNyquist振動数と比が0.032より低い振動数域に原波形がある場合、雑音除去の効果が大きく、インパルス性雑音の混入割合が0.1%以下のデータにおいて、雑音除去の効果が大きくなっている。

第4章は、ウェブレット変換および逆変換の計算アルゴリズムを用いて位相特性を考慮した耐震設計用合成地震波形に関する数値計算を取り扱っている。本合成波形法は、リスクスペクトル法に属する手法であり、設計応答スペクトルの対応する周期成分を、分解係数ごとに順次長周期成分の波形から短周期成分の波形を構築している。一次分解係数の位相特性は任意波形の位相特性を保持した状態で、それ以上の分解係数の位相特性は、不規則性を含んだ設定位相特性で作成している。その結果任意波形が記録地震波動の場合、ウェブレット変換の特性より位相の不規則性は、大きな影響として現れていない。また、演算繰り返しに対する収束性は良く、3回程度の繰り返し、返し回数でほぼ設定した応答スペクトルに等しい波形となっている。

第5章は、兵庫県南部地震でのアレー観測データを用いて、ウェブレット相互相関関数およびウェブレットF-Kスペクトルによる地震波動の特性抽出を扱っている。地中に配列された観測データにより、鉛直方向の伝播特性が調べられ、地表面に配列された観測データにより、水平方向の伝播特性が調べられている。その結果、鉛直アレー記録でのウェブレット相互相関関数より、波動は、上下方向の実体波の上昇波および下降波の存在が認められ、下降波の波形には乱れが認められ、

液状化による非線形挙動と推察されている。液状化の深さ方向の拡がり、振動数帯域が高い部分の結果から、-30m 付近の深さまで影響していると推察されている。また、水平アレー記録でのウェブレット F-K スペクトルより、周波数の低いところで表面波によると推測される波動特性が抽出されている。さらに、断層からの距離および断層の破壊する走向、分解係数などが、ウェブレット F-K スペクトルに影響していると推察される。これらの特性を比較のため簡単な断層モデルによる 3DFEM の解析が実施され、振動数の低い部分での水平アレー特性は、観測位置での時刻歴および水平方向の波動軌跡と比較的よい対応を示している。

第 6 章では、部材構造系の特性を、変位、速度および加速度などの状態量を観測量として扱い、これによって形成される非パラメトリック特性面を、2 次元ウェブレット変換による非パラメトリック面の変形量の顕在化により把握し、構造同定している。剛性劣化の増加を生じないバイリニア (BL) 型モデルと剛性劣化の増加を生じる耐力劣化 (SDB)、剛性劣化 (DB)、修正剛性劣化 (MDB)、原点復帰 (OBL) 型モデルとの応答特性は、大きく異なることを示している。すなわち、 $D^{[AD]}_j f$ は、系の第 1 剛性と劣化する第 2 剛性を持っている系の特徴が、明瞭に認められる。また、応答加速度あるいは入力加速度のパワーが一定という条件において応答量を極値化して評価し、これを等応答スペクトルとして定義している。評価式の誘導は、変量をウェブレット分解し、このときのウェブレット係数を変化させることにより行われている。その結果、入力一定の等応答スペクトルでの下限値は、塑性率 10 程度のバイリニア型履歴復元力系に対する非線形応答スペクトルに対応している。入力一定の等応答スペクトルの上限値より、地震の入力パワーが同じであっても、応答スペクトルが、2 倍を超える可能性を示している。第 7 章では、スロッシング、底面スラブの反力特性、滑動・剝離特性が、地上式タンク系の設計基本量を構成しており、これを実験的に検討している。貯蔵液体によるスロッシング振動は、その圧力分布に明瞭に現れ、速度ポテンシャルの分布および振動数応答の解析結果とよい一致を示している。タンク底面スラブに作用する振動地盤反力分布は、貯蔵液体の有無、浮屋根の有無によらず、円筒シェル直下部に大きな値を示す分布となっている。基礎地盤の卓越振動数時には、貯蔵液体が有る場合、底面スラブ中央部においても大きな値を生じる。タンク本体に生じるベースシャー・転倒モーメントは、タンク本体の加速度応答で推定でき、転倒モーメントは、地盤反力分布からも推定できる。これらの応答特性は、貯蔵液体のスロッシング振動数および地盤の卓越振動数において現れ、解析とよい対応を示している。地盤-タンク-液体系における空間的な相関関係は、ウェブレット相互相関関数により評価し、空間的な相互相関を視覚的に抽出している。ウェブレット相互相関関数により、入力基盤、タンク底面スラブ直下、タンク円筒シェル上下端部の相関特性は、入力基盤の加速度特性がタンク円筒シェルの上端部以外そのまま伝播している様子が認められる。すなわち、上端部は、タンク本体のロッキング振動と思われる特性と強い相関をもっているのが明瞭に認められる。

第 8 章は、本論文により得られた成果をとりまとめると同時に、今後に残された課題についても述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ウェブレット解析の耐震工学への応用に関連して、その解析法の有用性を検証するとともに、対象とする動的現象の工学的意義を踏まえた耐震設計上の有用な知見を得ることを目的として実施した研究成果をまとめたものである。

本研究の特色は、ウェブレット変換により地震工学に関連する物理的な諸量を分解係数ごとに顕在化した量で評価していることにある。そのためウェブレット関数は、Mayer や Daubechies などが定義したものとは別に Lemarie の方法で新たに作成したものを提案している。データに内在する特性のウェブレット変換による抽出は、ウェブレット分解係数の高次と低次の特性、ファーザウェブレットとマザーウェブレットの特性、ウェブレット相互スペクトルとウェブレット相互相関関数の特性などにより行っている。さらに、ウェブレット変換の展開と再構築が地震動を想定した不規則過程の波形構築に用いられている。

得られたウェブレット変換の手法による主な研究成果は、以下の通りである。

1. 地震波動記録から地震波動のデレクティビティ効果、断層面上の破壊過程の追跡や断層近傍における位相特性の抽出を行った。
2. 比較的簡単なアルゴリズムによるノイズ処理の方法を提案し、地震波動に含まれるインパルス性ノイズの除去により地震波の再現を行った。

3. 多重解像度解析の特性を活かした方法を提案し、位相特性を考慮したリスクスペクトル法に属する波動の合成を行った。
4. 兵庫県南部地震に際して液状化現象を伴ったポートアイランドでのアレー観測データによる地震波動伝播特性の抽出やウエブレットF-Kスペクトルによる波源を含んだアレー網での長周期特性の抽出を行った。
5. 履歴復元力特性を有する構造系の非パラメトリック特性面に対する4種類の変換処理を施すことにより、等価な構造定数の同定を行った。
6. 地盤上の液体貯蔵タンクの動的振動実験データによる空間的相互相関の応答モード特性の同定などを行い、耐震工学上有益な資料を得た。また、地盤上の液体貯蔵タンク系の動的挙動は、地盤の卓越振動、タンク全体のスウエー・ロッキング振動、貯蔵液体のスロッシング、底板スラブの滑動・剝離およびタンクシェル・スラブの変形などの振動モードの含まれた状態として取り扱っている。

以上、本論文はウエブレット解析の実空間およびフーリエ空間で同時に顕在化する特性を用いて、地震応答に関連する事象を耐震工学的な観点から論じ、構造物系の地震応答による非弾性特性の同定の手法を示しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない、よって本論文は博士（工学）の学術論文として価値あるものと認める。また、平成13年12月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。