

京都大学	博士（工学）	氏名	ZHOU JIAN
論文題目	Application of orientation-independent response spectrum-compatible bi-directional ground motions: characterization of directionality effects on structural seismic response （軸回転に依存しない応答スペクトルへの適合2方向地震動の応用：方向性が構造物の地震応答に与える影響の評価）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>地震時には、橋梁等の構造物には水平方向に直交する地震動の2方向の成分が同時に作用することから、そのような状況における構造物の耐震性能の評価のための合理的な設計地震動の想定が重要である。本論文は、この目的のために用いられるスペクトル適合地震動の設定方法とそれに対する構造物の地震応答の特性を、特に入力地震動の水平面内の方向性に着目して検討した成果について述べたものであり、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、まず構造物の耐震設計における2方向地震動による地震作用の考慮の考え方や、現状において用いられている複数の設計基準において設計上想定する2方向成分を有する入力地震動に要求される条件を述べている。水平面内の軸方向回転に依存しない2方向地震動の強さを表す指標である RotDnn、特にその最大値である RotD100 による応答スペクトルが設計地震動の強さの定義に用いられているが、2方向地震動が RotD100 応答スペクトルに適合していても、地震動の方向性に関わる性質が構造物の地震応答に影響する事が指摘されており、構造物の地震応答の評価に用いる入力地震動を定める上での課題となる事を説明している。そこで本論文では、RotD100 応答スペクトルに適合した2方向地震動の方向性を定量的に特徴付けるため、地震作用が最大となる方位を表現する OA（最大方位角）と、半径方向最大応答加速度の方位による変化の包絡線形状を表現した RadSAP の2つの指標に着目し、これらの2つの指標を制御したスペクトル適合地震動を作成するためのスペクトルマッチング手法を開発し、これを利用して2方向地震動の方向性の構造物応答への影響を検討することを目標とすることを説明し、本論文の構成を説明している。</p> <p>第2章においては、スペクトル適合地震動や2方向地震動に対する構造物および構造部材の応答に関する過去の研究を概観している。最初にスペクトル適合地震動の作成手法に関する既往研究について、次いで2方向地震動に対する構造物の地震応答に関する既往研究とそれらの成果について述べている。これらの成果に基づき2方向性地震動による構造物応答の問題における現在の課題や取り組むべき問題について論じている。</p> <p>第3章では、RotDnn 応答スペクトル適合2方向地震動の作成手法として、複素離散フーリエ変換(CDFT)を用いた新たな手法の開発について述べている。開発された手法での計算手順を詳述するとともに、2つの実際の設計基準に用いられる設計応答スペクトルを用いた計算結果に基づき、提案手法が2成分の加速度軌跡の特徴を十分に保存しながら、目標応答スペクトルに適合した2方向地震動波形の生成を可能としていることを確認している。</p> <p>第4章では、2方向入力地震動の方向性のうち方位角(OA)の固有周期依存性の構造物応答への影響についての検討を行っている。まず、各々の固有周期において指定されたOAを持つスペクトル適合2方向地震動の生成のための計算アルゴリズムを考案し、その手法について述べている。前章で開発した計算手法に、計算過程の中で算出されるCDFTの複素フーリエ係数を修正する操作を組み込むことでこれを実現している。その効果が特に重要となる累積的な損傷による剛性劣化を伴う非線形応答を示す</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	ZHOU JIAN
<p>           構造物の例として地震応答による低サイクル疲労の進行を伴う鋼橋脚を有する橋梁モデルの応答を取り上げている。有限要素モデルを用いた非線形動的解析による検討を行い、入力地震動の方向性の相違が構造物の応答および損傷度に与える影響を調査している。橋脚天端の最大応答やフラジリティ曲線を算出することで、OAが一定となるような入力地震動の方が、OAが変動する地震動よりも構造物の損傷が増加する傾向が得られた。         </p> <p>           第5章では、半径方向最大応答加速度の方位による変化の包絡線形状を表現する指標である RadSAP について、構造物の地震応答に及ぼす影響を検討している。まず、元となる2方向地震動観測記録の各々の固有周期における RadSAP を可能な限り変化させずに目標 RotD100 応答スペクトルへの適合地震動を生成する手法を、CDFT の複素フーリエ係数の探索計算と組み合わせることで開発している。橋梁橋脚の有限要素モデルに対して、RadSAP を規定したスペクトル適合2方向地震動波形と他のスペクトル適合2方向地震動波形を入力とした応答解析の結果を比較することで、RadSAP が構造物の地震応答に及ぼす影響を評価している。その結果、入力波形の RadSAP は構造物の最大応答値やそのばらつきに影響し、特に橋脚の矩形断面のアスペクト比が大きいなど方向依存性が強い構造物では、その影響や差異が大きくなることを示している。         </p> <p>           第6章では、より具体的な一般的な道路橋モデルの例を用いて、鉄筋コンクリート橋脚の断面設定、橋軸などの幾何学的形状、地震時の桁衝突など実橋梁で生じる事象を考慮した地震応答の検討を、前章までに示した手法で作成したスペクトル適合2方向地震動を入力として用いて行っている。入力地震動の方向性等の特性の設定と地震応答との関係や本研究で用いた入力地震動を用いた地震応答評価の有効性について論じている。特に、橋軸方向と橋軸直角方向の間で剛性や固有周期特性および耐力などが異なっているため、OA を一定として生成したスペクトル適合地震動は、実地震動波形の方向性を残したスペクトル適合地震動よりも応答が大きくなる傾向があることなどを見出している。このことから、OA を一定としたスペクトル適合地震動の場合はその入射角の影響を考慮することが重要であることを指摘している。         </p> <p>           第7章では、本研究で得られた結論を要約し、今後の課題について述べている。         </p>			

氏名	ZHOU JIAN
----	-----------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、橋梁等の構造物に水平2方向の地震動が作用する状況での構造物の耐震性能の評価において、設計地震動の合理的な設定を確立する上で未解明となっている方向性の影響の明確化を目的として、入力地震動の方向性に対する構造物の地震応答への影響を検討した成果について述べたものである。水平面内の軸回転に依存しない2方向地震動の評価指標として知られている RotDnn 応答スペクトルに着目し、複数のレベルで方向特性を考慮したスペクトル適合2方向地震動を算出する新たな計算方法を開発し、橋脚や橋梁の非線形有限要素モデルを用いた解析により地震動の方向特性の構造物応答への影響を検証しており、一連の研究により得られた主な成果は次のとおりである。

1. 地震作用が最大となる方位を表現する OA (最大方位角) と、半径方向最大応答加速度の方位による変化の包絡線形状を表現した RadSAP の2つの指標に着目し、これらの2つの指標を制御したスペクトル適合地震動を作成するためのスペクトルマッチング手法を新たに開発した。

2. 入力地震動の方向性の相違が構造物の応答および損傷度に与える影響を検討するため、橋脚の有限要素モデルを用いた動的応答計算を実施した。橋脚天端の最大応答や fragility 曲線を算出することで、OA (最大方位角) が固有周期によらず一定となるような入力地震動の方が OA が変動する地震動よりも構造物の損傷が増加する場合があることを具体的な計算を通じて明らかにしている。また、OA を一定としたスペクトル適合地震動の場合はその入射角の影響を考慮することが重要であることを指摘している。

3. 橋脚の有限要素モデルを用いた動的応答計算により、半径方向最大応答加速度の方位による変化の包絡線形状を表現する指標である RadSAP が構造物の地震応答に及ぼす影響を検討している。同一の RotDnn 応答スペクトルへの適合2方向地震動であっても、RadSAP が異なれば構造物の最大応答やそのばらつきに影響し、特に橋脚の矩形断面のアスペクト比が大きいなど方向依存性が強い構造ほど、その影響や差異が大きくなることを計算例により示している。

本論文は、地震活動度の高い地域における構造物や特に橋梁の地震時安全性の向上につながる技術を提供するとともに、スペクトル適合2方向地震動を用いた構造物の耐震性能評価の妥当性や方法論の理解に貢献し得る新たな方法論を提示しており、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)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年8月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。