

京都大学	博士（工学）	氏名	謝 金 哲
論文題目	Seismic Response Prediction Method of Buildings with Floor Flexibility Based on Microtremor Measurement (剛床が成立しない建物の微動計測に基づく地震応答推定法)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、低層建物特有の振動特性を微動計測とモード同定を通して明らかにし、低層建物を含めて広く適用できる地震被災度即時判定法を確立するために、微動計測に基づく地震応答推定法を提案しており、7章で構成されている。以下に、章ごとの内容と得られた成果を記す。</p> <p>第1章は序論であり、既往の研究を概観して当該研究領域の課題を整理した後に、本論文の目的と構成を示している。低層建物特有の構造的特徴のために、中高層建物に適用されている剛床仮定を前提とした地震被災度即時判定法が、低層建物にそのまま適用できない現況を述べている。また、その地震被災度判定法の提案を妨げている要因として、振動解析が構造設計で法的に義務付けられていない低層建物では、振動計測による特性の把握が進んでいない点も指摘している。</p> <p>第2章では、平面形状と構造的特徴が異なる大規模低層商業建物6棟を選び、それらの微動計測から固有振動数、減衰比およびモード形というモード特性を同定して、中高層建物とは異なる振動特性を抽出している。並進・ねじれ振動の強い連成、吹抜・天窓・エキスパンションジョイントを境にした振動方向の反転、大空間における大きな振動が確認され、同一階でも場所によって振動は大きく異なっていた。これらの振動特性は、中高層建物に適用されている剛床仮定を前提とした地震被災度即時判定法が、低層建物にそのまま適用できないことを意味しており、低層建物が地震時に複雑な振動を起こす可能性が高いことを指摘する根拠にもなっている。建築基準法が略算式で示している建物高さから算出する1次固有周期は、微動時とは大きく異なっていたことから、振動計測に基づく建物の地震応答推定の必要性も述べている。</p> <p>第3章では、前章で得た振動特性を踏まえて、一日程度の微動計測から評価したモード特性を利用して、建物の等価線形振動解析モデルを作成する方法を提案している。提案したモデル化は、少ない数の計測器の配置換えを繰り返して微動計測することにより、建物全体のモデルを得る方法であり、微動計測した全点で地震応答を予測する方法になっている。解析モデルの総自由度数は微動計測点数に正比例し、計測点数を増やすほどモデルは詳細になるため、提案手法は微動計測の労力が報われる方法である。このモデル化は、経済的理由や維持管理上の理由から計測器を常設できない建物にも適用できる。提案手法は、重量、剛性および減衰といった設計資料を用いないため、設計に関与していなかった建物にも適用し易い長所も有する。微動計測には、低次モードしか同定できない、地震入力の変動モードへの関与を意味する刺激係数を得られない、という課題がある。この課題を解決するために、提案手法は、限られた数のモード形から刺激係数を近似計算して、モード同定結果を地震応答解析モデルに接続させている。</p> <p>第4章では、第3章で提案した手法の基本的性質を5質点系モデルの地震応答解析に</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	謝 金 哲
<p>より明らかにしている。選択するモード数が地震応答推定に与える影響、および刺激係数を近似する際のモード形の使い方を主に検討している。複数の同定した低次モードだけを利用しても、地震被災度即時判定に要求される建物応答の推定精度が確保でき、刺激係数の近似精度は、上層階のモード振幅の利用により向上することを検証している。刺激関数の近似精度は、モード重畳法におけるモード打ち切り誤差の観点から理解可能なことを示している。</p> <p>第5章では、第2章で微動計測した大規模低層商業建物から1棟を選び、それを模擬した大次元質点系モデルを用いて、特に並進・ねじれの連成振動がある場合に提案手法の適用性を調べている。その結果、この連成振動がある場合には、第3章で2次元に拡張した水平2方向モデルを推奨している。並進振動とねじれ振動の低次の数モードを2方向モデルに反映させると、刺激係数の近似精度が向上し、地震応答を推定できることを検証している。また、第4章で把握した提案手法の基本特性が、大次元モデルでも維持されることを確認している。</p> <p>第6章では、実大建物の大型振動台実験データを利用して提案手法を検証すると同時に、微動時と地震時で建物の固有周期や減衰が異なる点をどのように考慮すべきかを検討している。提案手法が微動計測全点で加速度、速度および変位の3種類の応答を推定できることから、振動実験を利用してそれら3種類の応答の精度を調べている。適用上の第一の想定は、多点で微動計測した後に、例えば1階と最上階というように1入力1出力系を構成する最低限の地震計測がある場合であり、第二の想定は、建物の1階といった基礎部で地震入力と見なせる計測がある場合である。1入力1出力系を構成できる第一の想定では、微動から評価した建物の固有振動数とモード減衰を、地震応答推定のために更新することが可能であり、それにより応答推定精度が向上することを実証している。一方、第二の想定では、地震の規模に応じて微動で評価した固有振動数を低下させ、減衰を増加させる程度を仮定するため、推定精度がやや低下する傾向であった。しかしながら、地震被災度即時判定法では、被害が肉眼で即時に確認できない状況、地震直後に点検の優先順位を判断したい状況などが想定されており、第二の想定でも、中地震での最大応答値の推定結果は適用性を損なう結果ではなかった。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

氏名	謝金哲
----	-----

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、低層建物特有の振動特性を微動計測とモード同定から明らかにし、低層建物を含めて広く適用できる地震被災度即時判定法を確立するために、微動計測に基づく地震応答推定法を提案している。以下に、その内容と得られた成果を記す。

(1) 平面形状と構造的特徴が異なる6棟の大規模低層建物で微動計測を実施し、中高層建物とは異なる振動特性を抽出した。並進・ねじれ振動の強い連成、吹抜・天窗・エキスパンションジョイントを境にした振動方向の反転、大空間における大きな振動が確認され、同一階でも場所によって振動は大きく異なっていた。これは、中高層建物に適用されている剛床仮定を前提とした地震被災度即時判定法が、低層建物にそのまま適用できないことを意味していた。

(2) 上記の振動特性を踏まえ、一日程度の微動計測から同定したモード特性に基づいて、剛床仮定を適用できない建物の等価線形振動解析モデルの作成法を提案した。少数の振動計測器の配置換えを繰り返してモデルを得る方法であり、微動計測全点で地震応答が予測できる。提案手法は、計測器を常設できない建物に適用できる、設計資料は不要である、建物の高さ・用途・形状に制約を課さない、という高い適用性を有している。

(3) 微動計測には、低次モードしか同定できない、地震入力振動モードへの関与を意味する刺激係数を得られない、という課題がある。提案手法は、限られた数のモード形から刺激係数を近似計算して、モード同定結果を地震応答解析モデルに接続させている。刺激係数の近似精度は上層階のモード振幅の利用により向上し、これはモード重畳法におけるモード打ち切り誤差の観点から理解できた。その有効性を数値解析と振動台実験により把握し、並進・ねじれ連成振動がある場合には水平2方向モデルを推奨している。

(4) 振動台実験では、地震時の建物特性が微動時と異なる点を主に検討した。入出力系を構成できる計測が可能ならば、微動で同定した建物の固有振動数とモード減衰比を更新することにより、応答推定精度が向上することを実証した。地震被災度即時判定法では、被害が肉眼で即時に確認できない状況、地震直後に点検の優先順位を判断したい状況が想定されており、中地震時の応答推定結果はこの状況下での高い適用性を検証した。

本論文は、低層建物特有の振動特性を微動計測から評価し、それに基づく地震応答推定法を提案している。低層建物を含めて広く適用できる地震被災度即時判定法を確立するために有用な振動解析モデルを提案・実証しており、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4年11月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、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。