

(続紙 1)

京都大学	博士 (工 学)	氏名	HUANG JIANTAO
論文題目	Seismic Damage Evaluation of Cold-Formed Steel-Framed Gypsum Partition Walls considering Boundary Elements (境界材を考慮した軽量鉄骨下地間仕切り壁の地震損傷評価)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文では、非構造部材の一種である軽量鉄骨下地間仕切り壁 (以下、間仕切り壁) の地震時損傷について、過去の地震や実験研究における被害・損失の報告を整理し、柱・間柱・直交する壁などの間仕切り壁の境界を成す部材 (以下、境界材) が及ぼす損傷への影響について一連の研究を行ったものである。まず、実験データを利用して間仕切り壁の地震時損傷に境界材が及ぼす影響を評価し、損傷メカニズムに関する理論モデルと境界材を考慮した有限要素モデルを構築した。実験研究は、実大鉄骨造病院建物の振動台試験と準静的試験に基づいており、前者では間仕切り壁の損傷メカニズムと隣接する天井の地震時挙動を分析し、後者では画像ベースの変位測定システムに独自に開発した変位・ひずみ解析ソフトを組み合わせ、ひずみ場を迅速に求める方法を開発した。</p> <p>論文は7章で構成されており、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。</p> <p>第2章では、間仕切り壁の地震被害および脆弱性評価に対する境界材の影響を調査している。E-ディフェンス震動台実験施設を利用した実大4階建鉄骨造病院建物の振動台実験において、試験体建物内に設置された間仕切り壁の損傷に関する実験データを分析している。異なる境界材を有する間仕切り壁の変形と剛体運動を考慮した損傷メカニズムモデルを提案し、観察された損傷の分布と境界材の影響を適切に評価できることを示した。また、間仕切り壁の破壊確率曲線、予想される補修期間と補修費用に関するモデルにおいて、境界材の影響が無視できないことを明らかにした。</p> <p>第3章では、構造実験において画像変位計測システムを用いて得られる離散変位データからひずみ場を推定する手法を提案した。画像変位計測システムでは、高輝度のマーカーを試験体に配置し、複数の高感度カメラを用いて変位情報を収集する。新たに提案する手法は、ニュートン補間関数を適用し、ニュートン多項式の利点を活用し、特徴量 (要素サイズと節点数) が変化する要素に対しても、ひずみ場を再構成して評価することを可能にする。具体的には、特徴量の変化によりサイズ変更された要素に対して元の要素のひずみ場にスケール係数を考慮するだけでひずみ場を再構築することができ、座標を再入力する必要がなくなる。また実験中にマーカーが見え隠れし節点番号が変更された要素においても、節点番号が変更される前のひずみ場を利用することが可能で、変更された節点の寄与のみを再計算するだけで良い。提案手法は、基本的な1次元要素および2次元要素のケーススタディによつての有効性を実証されており、構造実験全般に適用可能で汎用性が高い。</p> <p>第4章では、間仕切り壁の耐震性能に及ぼす鉛直方向の境界材の影響に焦点を当てて</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	HUANG JIANTAO
<p>いる。実大試験体の準静的試験を実施し、異なる境界材を持つ間仕切り壁の損傷状態と補修時間のデータを得た。画像ベースの変位計測システムによって得られたデータから間仕切り壁および壁を構成する石膏ボードを評価し、第3章で提案した手法で推定したひずみ場から各パネルの変形に対する境界材の影響を評価した。また、準静的試験と第2章で報告した実大振動台試験のデータを組み合わせて損傷確率曲線ならびに予想される修復時間を更新した。さらに実験で観察された損傷とメカニズムを追跡する、境界を組み込んだ有限要素法解析モデルを構築し、間仕切り壁の詳細の変更が補修時間に及ぼす影響を検討した。</p> <p>第5章では、間仕切り壁の面内地震挙動に対するドアの影響に焦点を当てている。ドアの有無を変数とした準静的試験を実施し、間仕切り壁の損傷の違いを分析した。地震により間仕切り壁が変形した際にドアとドアフレームが変形に抵抗する機構を分析し、ドアの剛体運動と変形を包含する間仕切り壁の損傷メカニズムを定量的に評価した。また、ドアを有する間仕切り壁の有限要素法解析モデルを構築し、間仕切り壁を構成する部材の物理特性を変化させた場合のひずみ分布の変化を分析し、各パネルに生じるひずみに基づいて補修費用の期待値を計算した。また、部材の物理特性や詳細の仕様変更が補修費用に与える影響を分析する際に、構築した解析モデルが有用であることを示した。</p> <p>第6章では、第2章と同じ実大4階建鉄骨造病院建物の振動台実験において、間仕切り壁を境界を持つ天井の地震被害を分析した。分析対象とした天井は、天井高さの異なる2つの部屋にまたがっており、立ち上がり部を有することを特徴としている。立ち上がり部分と部屋を隔てる間仕切り壁で、深刻な損傷が発生した。異なる高さの天井は、吊り部材の長さが異なるため別々の周波数で振動する。したがって、立ち上がり部の水平剛性が低い場合に、各天井の振動に位相ずれが生じ損傷の程度が大きくなる。立ち上がり部において損傷を低減するためには、立ち上がり部の水平剛性を高める筋交い材の設置が重要となる。海溝型の巨大地震を想定した長時間続く長周期の地震動を入力した場合には、直下型の地震動を入力した場合と比較して、繰り返し荷重により天井を構成する部材に損傷が蓄積し、天井パネルのひび割れや天井と間仕切り壁ならびに吊り機器との境界に隙間が生じた。このことは、最大床加速度や最大床速度のような床応答指標では、天井の損傷を包括的に評価できないことを示している。さらに、病院建物内で無菌環境を提供するクリーンルームを想定し、損傷と機能的損失を関係付ける評価マトリクスを提案した。ここでは、クリーンルームにおいて、天井に累積する損傷が空気環境の悪化につながることを考慮している。</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	HUANG JIANTAO
-----	---------------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、これまでは詳細な検討がなかった間仕切り壁の地震時損傷における境界材の影響を、実大実験や数値解析で検証し、損傷メカニズムの違いによる被害関数や損失の期待値の変化を定量的に評価した。以下に、その内容と得られた成果を記す。

1) 間仕切り壁の損傷パターンの分析から損傷メカニズムの理論モデルを提案し、鉛直方向境界材が損傷に与える影響を説明した。境界材をパラメータとした脆弱性分析を実施し、修復時間とコストのモデルを開発した。

2) モーションキャプチャーにより取得した節点変位から、節点に囲まれる領域のひずみを推定する手法を提案した。提案手法は、ニュートン補間関数を用いており、カメラと対象物との位置関係や室内照度の変化によりデータの欠損や節点ラベルの更新が起きた場合でも、ひずみを精度良く推定できるものである。

3) 間仕切り壁の損傷を忠実に再現する有限要素法モデルを構築し、実験で得られたひずみ分布に照らして妥当性を検証した。間仕切り壁の諸元が変化した場合にも修復時間を予測できる手法を整備した。

4) 壁内に設置されるドアが壁内の境界材として損傷の程度と分布に与える影響を分析し、損傷メカニズムを説明するモデルを提示した。ドアを考慮した間仕切り壁の有限要素法解析モデルの妥当性を検証し、解析モデルを利用した損失推定手法を提示した。

5) 間仕切り壁を水平方向の境界材の一部とする吊り天井システムの地震応答を分析した。間仕切り壁との衝突が天井の損傷に与える影響を考察し、医療施設等のクリーンルームを想定した場合に、損傷と機能的損失を関係付ける評価マトリクスを提案した。

間仕切り壁の地震損傷における境界材の影響を、実大実験や数値解析で検証し、損傷メカニズムの違いによる被害関数や損失の期待値の変化を定量的に評価しており、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6年1月16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。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

[要旨公開可能日：令和6年6月24日以降](#)