

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月11日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

研究課題番号：21760443

研究課題名（和文） 任意方向からの地震入力を受ける平面的・立面的に不整形な建築物の地震応答性状の解明

研究課題名（英文） Investigation of Buildings with Irregularities in Plan and Elevation under Horizontal Excitation Acting in an Arbitrary Direction

研究代表者

藤井 賢志（FUJII KENJI）

千葉工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20397029

研究成果の概要（和文）：本研究は、平面的・立面的に不整形性を有する建築物を対象として、これが任意方向からの水平地震動を受ける場合の地震応答性状の解明を目的として実施した。その成果として、(1) 模型振動実験の結果より、建築物にとって応答が最も厳しくなるときの地震動の入力方向は、定性的には建築物の振動モードより説明可能であることを示した。加えて、(1)の知見に基づき、偏心建築物の非線形地震応答評価手法の開発を行い提案した。

研究成果の概要（英文）：In this research project, the seismic response of buildings with irregularities in plan and elevation is investigated considering the direction of seismic input. The main conclusions are as follows; (1) the critical direction of building can be explained based on mode shape of building structures, and (2) the estimation procedures of peak nonlinear response for asymmetric buildings considering the critical directions of buildings is proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：建築構造，地震応答，偏心，耐震設計，地震動の主軸，既存建築物

1. 研究開始当初の背景

過去の日本国内外の地震被害では、耐震壁の偏在等による建物平面の不整形性が原因となって大きな被害に至ったと考えられる事例が数多く指摘されている。これは、構造物中に耐震壁などの剛性・耐力が高い耐震要素が偏在する場合、耐震壁等から最も離れた

位置にある柱などの部材には、強震時にねじれ振動により大きな変位が強制されて破壊が生じやすくなり、結果として建物全体の崩壊につながるためと考えられている。しかしながら、偏心を有する建築物の非線形応答は、建物側・入力側のパラメータが多く、その組み合わせは膨大な数となるため、未だ統一的

な見解の得られていない難題となっている。

一方、現行の建築物の耐震設計では、耐震性能の検討は互いに直交する構面の方向に対して独立に検討を行なう事が一般的である。ところで、地震動の水平成分には一般に強い方向と弱い方向が存在することが知られている。建築物の耐震性能を検討する際、将来起こりうる地震動の強い方向（主軸方向）が当該建築物に対してどのような方向から入力されるかを事前に知ることはほぼ不可能であるため、建築物に対してあらゆる方向から地震動の主軸成分が入力される場合を検討する事が必要となる。

特に平面的・立面的に不整形な建築物の場合、構面の方向からの地震入力に対する検討のみでは不十分となる場合が存在する可能性がある。この問題を実務設計上扱う為には、当該建築物に対して最も応答が厳しくなる場合の地震動の入力方向を評価する方法があれば非常に有意義であると考えられる。これまでに、いくつかの解析的検討が行なわれているが、地震動の入力方向に関する実験的検討は非常に少なく、かつ結論が未だ得られていないと考える。

2. 研究の目的

本研究は、平面的・立面的に不整形性を有する建築物を対象として、任意方向からの水平1方向地震入力を受ける平面的・立面的に不整形な建築物を対象として、地震動の入力方向がその応答性状に与える影響について実験的・解析的に検討することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、以下の2つの方法により研究を実施した。

(1) 水平1軸振動台を用いた模型試験体の振動実験

平面的ならびに立面的に不整形性を有する建築物を模擬した模型試験体をアルミニウム合金で作成し、それを加振方向が変更できるように穴を多数空けた円盤状に固定する。そして、円盤の向きを変えることで、加振方向を変化させた振動実験を実施し、弾性範囲における、加振方向と建築物の応答との関係を実験的に調べる。

(2) 単層ならびに多層偏心建築物の時刻歴応答解析：

新築建築物を想定した変形能力の高い部材より構成された単層ならびに多層偏心系、ならびに既存建築物を想定した変形能力の乏しい部材の混在した偏心系を対象として、地震動の入力方向をパラメータとして非線形地震応答解析を実施し、地震動の入力方向と系の非線形応答性状の関係を検討する。これに基づき、対象建築物にとって最も厳しい入力方向から地震動が入力するとき、対象建

築物は1次モード成分が卓越して応答すると仮定して、その地震応答を推定する方法を検討する。

4. 研究成果

本研究の成果を、上記の(1)、(2)に分けて述べる。

(1) 水平1軸振動台を用いた模型試験体の振動実験

1年目(2009年度)は図1に示す単層模型試験体により振動実験を実施した。実験変数は、加振方向と模型試験体の形状(1軸偏心試験体、2軸偏心試験体)である。実験の結果、a) 偏心骨組の最大応答は、地震動の入力方向により大きく変動し、加振方向が重心と剛心を結ぶ線に対して垂直な方向となる時に最大角加速度が最大になること、ならびに b) 実験により得られた加速度波形から推定した模型試験体の固有モードベクトルを用いて各モード成分を抽出する事で、加振方向による偏心骨組の最大応答の変動が説明可能である事を示した(学会発表⑤、⑥)。

次いで2年目(2010年度)では、図2に示すセットバックを有する模型試験体による振動実験を実施した。実験変数は、加振方向に加えて入力地震動の種類、ならびに模型試験体の形状(層数ならびに各階平面の形状)である。図3には、3層試験体における加振方向と1層での最大層せん断力 Q_{1max} ならびに最大ねじりモーメント T_{Z1max} の関係を示す。

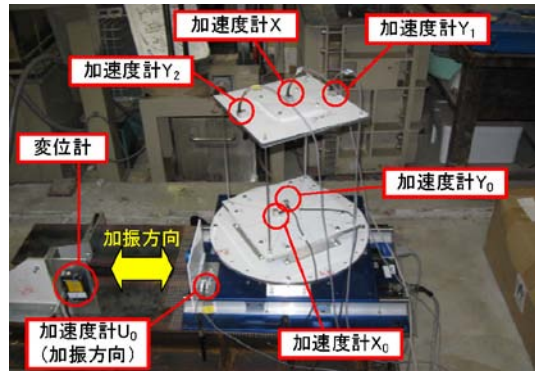


図1 単層模型試験体(2009年度)

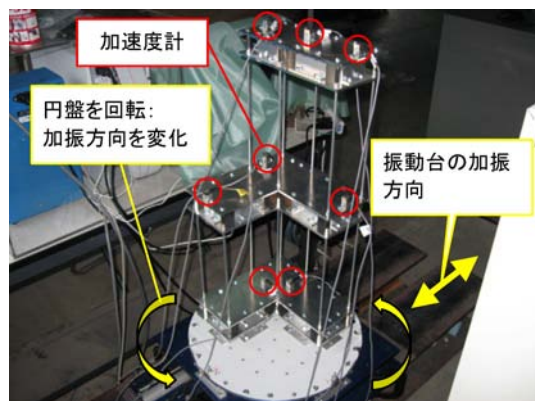


図2 多層模型試験体(2010年度)

同図より、1層での最大せん断力 Q_{1max} は加振方向による変動が小さいのに対し、最大ねじりモーメント T_{Z1max} は加振方向により大きく変動しており、 T_{Z1max} が最大となる方向と最小となる方向がほぼ直交していることがわかった。そこで、別途実施した、模型試験体の固有値解析結果より得られた固有モード形を用いて、実験結果より1次～3モード成分を抽出し、加振方向と各成分の最大等価加速度 A_{imax}^* の関係を分析した(図4)。その結果として、 T_{Z1max} が最も大きくなる加振方向が1次ならびに3次モード成分が最大となる方向(各モード応答の主軸方向)と対応することがわかった。ならびに、 T_{Z1max} が最も小さくなる加振方向は、2次モード成分が最大となる方向と対応することがわかった。

以上のことより、加振方向と建築物の応答との関係は、各モード成分に着目することで説明可能であることがわかった(学会発表①、②)。

(2) 単層ならびに多層偏心建築物の時刻歴応答解析：

1年目(2009年度)は、変形能力の高い曲げ破壊型の鉄筋コンクリート造(RC造)部材より構成された新築の多層偏心建物を想定して、地震動の入力方向を変数とした時刻歴応答解析を実施した。次いでこれに基づき、偏心建築物において変形の最も大きくなる柔側構面の応答が最も厳しくなる時の地震動の入力方向が、対象建築物の1次モードベクトルより定まる1次モード応答の主軸方向と一致すると仮定して、対象建築物の地震応答において1次モードが支配的であるとして等価1自由度系に縮約し、任意方向からの水平1成分入力に対する柔側構面の最大応答の上限値を推定する方法を提案した(図5)。加えて、粘弾性体を用いた制震部材を設置した偏心建物に関しても同様の検討を行い、制震部材を設置した場合においても適用可能であることを確認した(雑誌論文②ならびに学会発表⑦、⑧)。

2年目と3年目(2010年度・2011年度)は、1年目に検討した偏心建築物の地震応答推定手法を既存建築物に対して適用できるようにすることを目的として、変形能力の乏しいせん断破壊型の部材と曲げ破壊型部材の混在したRC造建築物を対象として、1次モード応答の主軸方向から地震動が入力する場合において、対象建築物の柔側構面において終局状態に至る時の地震動入力倍率を「1次モード応答の主軸方向に対する限界地震動倍率」と定義し、これの評価方法を検討した。そして、提案する手法を4層の既存建築物を想定した解析モデル、ならびにこれを鉄骨ブレースの増設により耐震改修したものを想定したモデルに対し適用し、その有効性を示した(雑誌論文①ならびに学会発表

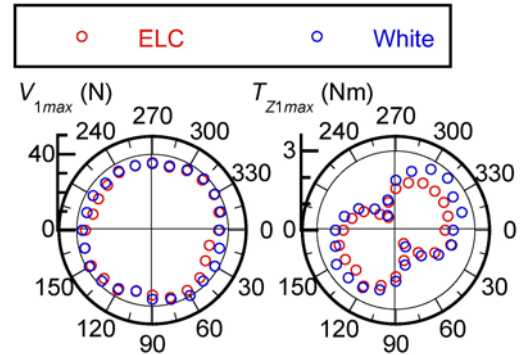


図3 加振方向と1層最大層せん断力、1層最大ねじりモーメントの関係

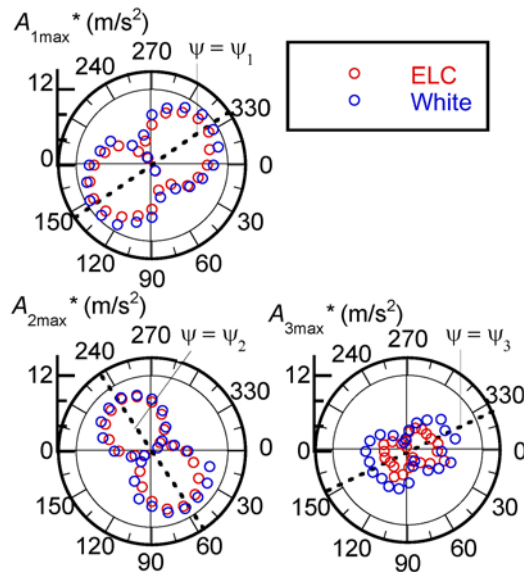


図4 加振方向と各モードの最大等価加速度の関係

④)。一方、これらの検討は基本的に数値解析をベースにしたものであるが、非線形領域での1次モード形の変動を理論的に把握するため、極限解析を応用して対象建築物において崩壊機構を形成したときに生じ得る1次モード形の推定を行うための方法として「崩壊モード解析」を定式化し、単層偏心系モデルの静的漸増載荷解析結果と比較して両者に対応することを確認した(学会発表③)。

(3) 研究の総括と今後検討すべき課題：

以上により、2009年度から2011年度の3カ年にわたり、平面的かつ立面的に不整形性を有する建築物を対象として、任意方向からの地震入力に対する地震応答性状の解明をテーマとして研究を行ってきた。これらの成果は、世界中で建築物の耐震設計の際に用いられている、静的漸増載荷解析に基づく耐震性能評価手法の精度改善ならびに適用範囲の拡張のために大きく寄与するものと考えており、研究代表者は現在成果を海外発表すべく準備中である(2012年9月にポルトガル・リスボンにて開催される世界地震工学会

議に向けて発表準備中)。今後検討すべき課題として考えるものを以下に記す。

- ① 吹き抜け・スキップフロア等により立面的不整形性を有する建築物に対する本研究での成果の展開
- ② 本研究において提案した地震応答推定手法の適用条件の定式化，ならびに構造不整形性の表す指標の定式化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 藤井 賢志，地震動の入力方向を考慮した既存鉄筋コンクリート造偏心建物の耐震性能評価，日本建築学会構造系論文集，査読有，第 77 巻第 674 号，2012，pp. 565-574
- ② 藤井 賢志，任意方向からの水平 1 成分地震動を受ける偏心建物の柔側構面最大応答の上限値の推定，日本建築学会構造系論文集，査読有，第 75 巻第 653 号，2010，pp. 1247-1256

[学会発表] (計 8 件)

- ① 藤井 賢志，池田 智紀，任意方向から地震入力を受ける平面的・立面的に不整形な多層建築物模型の振動実験 (その 1) 実験概要，日本地震工学会・大会-2011，2011 年 11 月 12 日，国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都)
- ② 池田 智紀，藤井 賢志，任意方向から地震入力を受ける平面的・立面的に不整形な多層建築物模型の振動実験 (その 2) 各モード成分の最大応答，日本地震工学会・大会-2011，2011 年 11 月 12 日，国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都)
- ③ 藤井 賢志，極限解析を用いた単層偏心系モデルの崩壊モード解析，日本建築学会大会 (関東)，2011 年 8 月 24 日，早稲田大学 (東京都)
- ④ 藤井 賢志，せん断破壊を伴う鉄筋コンクリート造低層偏心建物における限界地震動の大きさの推定，コンクリート工学年次大会，2011 年 7 月 13 日，大阪国際会議場 (大阪府)
- ⑤ 池田 智紀，藤井 賢志，任意方向からの地震入力を受ける偏心骨組模型の応答性状 (その 1) 振動実験，日本建築学会大会 (北陸)，2010 年 9 月 9 日，富山大学 (富山県)
- ⑥ 藤井 賢志，池田 智紀，任意方向からの地震入力を受ける偏心骨組模型の応答性状 (その 2) 加振方向が各モード成分の最大応答に与える影響，日本建築学会

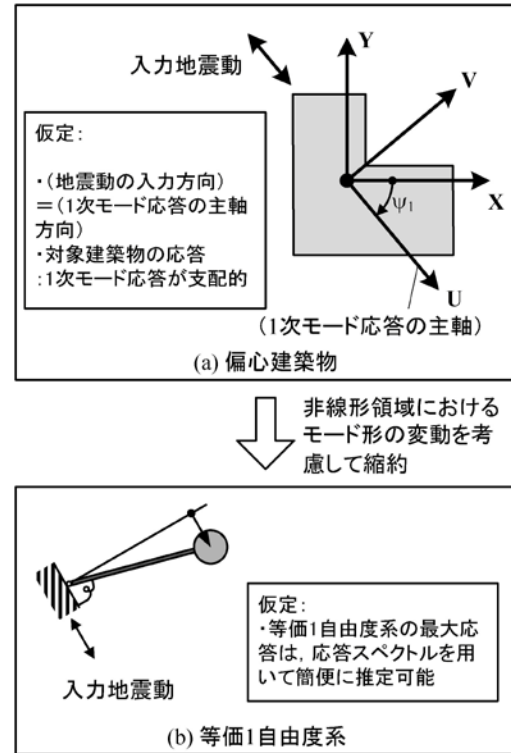


図 5 応答推定手法のコンセプト

大会 (北陸)，2010 年 9 月 9 日，富山大学 (富山県)

- ⑦ Kenji FUJII，Seismic Assessment of Asymmetric Buildings Considering the Critical Direction of Seismic Input，14th European Conference on Earthquake Engineering，September，1st. 2010，Metropol Lake Resort，Ohrid，Republic of Macedonia.
- ⑧ 藤井 賢志，等価線形化法による粘弾性制震部材を設置した RC 造多層偏心骨組の最大応答の推定，日本地震工学会・大会-2009，2009 年 11 月 13 日，国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 賢志 (FUJII KENJI)
千葉工業大学・工学部・准教授
研究者番号：20397029

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし