

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820226

研究課題名(和文)フェールセーフ付剛-滑り型ソフトストーリー機構の開発・研究

研究課題名(英文) Performance-based design on steel moment-resisting frame with fail-sage structural system

研究代表者

古川 幸 (Furukawa, Sachi)

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：30636428

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：多段階の損傷制御設計を行う性能設計へ移行する中、損傷部位を積極的に特定・制限する損傷部位特定型の建物の開発・採用が加速している。耐震設計の根幹をなし、最も一般的な損傷制御法として梁降伏先行型建物が挙げられるが、建物応答の地震外乱への依存度が大きく、設計時の想定通りには損傷部位を必ずしも制御できないという課題がある。そこで、本研究では、鋼構造ラーメン骨組を対象に、地震時における建物の応力分配を調整する機構を付与し、かつ特定層に過度な損傷集中を防ぐフェールセーフ機構を付帯させることで、多段階の損傷制御設計を可能とする構造システムを提案し、実現に必要な耐震性能評価を行った。

研究成果の概要(英文)：Performance-based seismic design requires engineers to develop structural systems which reliably control damages with respect to not only their location but also their extent as engineers expect in a design stage. Beam-yielding mechanism is seismic design concept which is fundamental and is adopted by most of buildings. However, seismic responses of these buildings are subject to types of ground motions so that unexpectedly large damage may occurs. This research proposes a new structural system which reliably control structural damages: A simple connection is applied to a column to control stress distribution and additional structural system is attached which reduces concentration of story displacement.

研究分野：建築工学，耐震工学

キーワード：性能設計 損傷制御設計 鋼構造 梁降伏先行型

1. 研究開始当初の背景

旧来の仕様設計から、地震外力に対する建物損傷度の多段階制御を試みる性能設計へと移行した現在、ランダムな地震外乱に対しても設計時の想定に即した地震時応答が見込める構造形式として、損傷部位を積極的に特定・制限する損傷部位特定型の建物の開発・採用が加速している。この損傷制御法を究極的に再現した構造形式として、損傷部位を特定の層に集約した免震建物が挙げられ、変形量が生じやすい傾向にある層にエネルギー吸収機構を併設する制振構造もこの例として挙げられる。一方、上記2つのような特別な処方を施さなくとも、通常の建物における損傷制御法として、層崩壊を助長する柱降伏を防ぐ梁降伏先行型建物が挙げられる。本制御法は、耐震設計の根幹をなす損傷制御法であるが、前者2つに比べて建物応答の地震外乱への依存度が大きく、設計時の想定通りには損傷部位を必ずしも制御できないという課題がある。従って、設計時の意図から外れた建物応答が生じかねず、予想外の大きな損傷を受ける可能性もある。

梁降伏先行型建物の実現性の難しさから、多段階損傷制御設計を行う場合、免震や制振構造の採用が一般的であるが、震災時において社会全体での機能保持性能の向上を目指すには、より簡便な形で多段階損傷制御設計が可能となる建物の提案が必須である。

2. 研究の目的

そこで本研究では、一般的な店舗や事務所建物に良く採用される鋼構造ラーメン骨組を対象に、建物に元々存在する構造システムを発展的に活用することで、損傷部位特定型建物の実現を目指す。特に、損傷部位の制御を難しくする原因となる、柱降伏を防ぐ機構を追加し、かつ特定層に過度な損傷集中を防ぐフェールセーフ機構を付帯させることで、多段階の損傷制御設計を可能とする構造システムを提案する。

本研究では、本提案型構造システムの実現を目指し、本提案型構造システムを有する鋼構造ラーメン骨組の多段階制御設計に必要なとなる本機構の性能指標に関する耐震性能評価を行う。

3. 研究の方法

本研究では、提案する耐震機構を有する鋼構造ラーメン骨組のロバスト性評価を行うにあたり、(1)骨組挙動を表現する理論解の構築、(2)数値解析、(3)縮小模型を用いた静的載荷実験を実施した。

(1)骨組挙動を表現する理論解の構築

地震外力の大きさに応じて骨組の損傷度を設定する多段階設計を可能とするには、骨組の耐震性能を制御する構造システムの性能指標と、建物損傷度を関数化する必要がある。評価に使用する構造システムの性能指標として曲げ剛性と耐力とし、建物損傷度とし

て、耐震性能評価に一般的に使用される、建物全体の变形を表す頂部変形角、最大層間変形角、層間変形集中率(=最大層間変形角/頂部変形角)とした。

骨組挙動(変形、応力分布)を表現する理論解として、ブレース構造に追加構造システムを組み込んだ場合における骨組挙動を検討するための理論解を構築した例は既往の研究に存在するが、本研究で対象とするラーメン骨組はブレース構造より冗長性が高いため理論解の構築が難しい。そこで、提案型構造システムを組み込む鋼構造ラーメン骨組の地震時の変形性状を理論的に構築する手法として、旧来耐震設計に用いられてきたD値法を採用した。D値法は、もともと旧型の耐震設計法である許容応力設計を想定し、確立された弾性理論解析法である。そこで、許容する損傷度を多段階に設定する性能設計に対応するため、建物の損傷の進行を追うことができる修正D値法を提案し、その妥当性を詳細骨組モデルを用いて検討した。

また、提案型構造システムをラーメン骨組に組み込んだ場合、ラーメン骨組と提案型構造システムで地震外力を分担する。その分担割合は、ラーメン骨組に対する提案型構造システムの相対的な剛性の割合による。ラーメン骨組に対して提案型構造システムが無視できる条件と大きすぎる条件を極値とし、その間を相対的な剛性比で補完し、地震外力の分担割合を決定する方法を提案した。なお、ラーメン骨組に対する提案型構造システムの相対的な剛性の割合を示す指標の妥当性は、(2)で検討した。

本提案手法では、弾性変形である小変形から、保有水平耐力に達するまでの損傷の流れ、各時点における骨組変形量を詳細に予測することができることから、多段階損傷制御設計を可能とする。

(2)数値解析(静的・動的)

(1)の妥当性を検討し、かつ提案型構造システムを有する鋼構造ラーメン骨組の地震時の動的な挙動を検討するため、数値解析を行った。静的解析では、魚骨型骨組モデルを用いて提案型構造システムの一般骨組に対する評価を可能とした。解析変数としては、骨組の層数、柱梁耐力比、各層の部材断面とした。動的な数値解析に関しては、(3)の縮小骨組模型を用いた振動台実験が難しい状況にあったため、補完的な役割を担わせた。数値解析では、前述の骨組の耐震性能を制御する構造システムの性能指標を骨組パラメータとし、複数の地震動に対してPGV(最大地震動速度)を漸増することで、地震外乱のランダム性と想定外地震動に対する性能評価を行った。(1)の理論解構築においては、地震外力に相当する水平外力として設計外力(いわゆる A_i 分布)を使用したため、一部の地震動に対しては、提案型構造システムが想定通りの性能を発揮しなかった。上部構造にお

いて2次的な振動モードが支配的となる場合に、提案型構造システムに対して厳しい条件となることから、設計外力として2次的なモードを加味することが必要となることを明らかにした。

(3)縮小骨組模型を用いた静的載荷実験

本研究で使用する予定であった振動台の不調から、縮小骨組模型を用いた性能評価は静的実験で行うこととし、動的効果については前述の(2)数値解析で行うこととした。縮小模型の静的実験を行うにあたり、低荷重、大変形制御を可能とする簡易的な載荷装置の開発を行った。この際、最も制御が難しい複層に渡って安定的に等しい比率で水平力を載荷する手法である。本研究では、傾斜をつけた台と錘を、骨組層数だけ併用することで、簡易的な載荷方法を提案した。また、縮小模型の方は、ヒンジ形成部の板厚を調整することで、保有水平耐力と柱梁耐力比を調整可能な縮小骨組模型でラーメン骨組をモデル化し、提案型構造システムも実際に近い形で再現した。実験では、提案型構造システムの有無、ラーメン骨組の部材断面の違いを変数とした。提案型構造システムの性能を最大限に発揮するためには、ラーメン骨組側の部材断面を合理的に設定する必要があることを明らかにした。

4. 研究成果

以上、3つの方法を用いて、特に3.研究の方法(1)で記述した理論解を用いて、提案する耐震機構を有する鋼構造ラーメン骨組のロバスト性評価を行った。

主な成果を以下に列挙する。

(1)提案型構造システムを有する鋼構造ラーメン骨組の耐震性能評価を可能とする理論解を構築した。理論解構築あたっては、以下の各項目を検討した。

- ・ラーメン骨組挙動(変形、応力分布)の理論的な表現が可能なD値法の採用
- ・多段階設計を可能とするために、弾性理論を応用したD値法の塑性理論への拡張
- ・ラーメン骨組と提案型構造システムの応力分配割合を、ラーメン骨組と提案型構造システムの剛性比に応じて分配する方法を提案

(2)提案型構造システムを有する鋼構造ラーメン骨組の耐震性能の多段階評価を可能とする理論解を用いて、提案型構造システムの性能指標と、建物損傷度(頂部変形角、最大層間変形角、層間変形集中率)の関係を明らかにした。建物損傷度に併せて、提案型構造システム自体の損傷を防ぐために、提案型構造システムが負担する応力状態についても明らかにした。

(3)地震時の提案型構造システムを有する鋼構造ラーメン骨組の挙動検討を目的とした動的数値解析を行い、本建物では2次的なモードが上部構造で卓越する場合、 A_i 分布を想定して提案型構造システムを設計した場

合、いかなる場合にも損傷を許容しない提案型構造システムに損傷が集中する可能性が示された。ここから、理論的に構築した耐震性能評価法に対して、2次的なモードを考慮した外力分布を考慮する必要性を示した。

(4)提案型構造システムを有する鋼構造ラーメン骨組の耐震性能評価を可能とする理論解による耐震性能評価と、縮小骨組模型を用いた静的載荷実験による耐震性能評価が良く一致した。

また、上記の他、本研究を進めるにあたり副次的ではあるが、縮小骨組模型の静的実験を簡便に行うことを可能とする静的載荷実験装置を提案した。

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1件)

(1)村田裕磨, 古川幸, 木村祥裕: 縮小骨組模型実験による層中間ピン柱脚骨組の終局メカニズム, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文報告集, 第24巻, pp.206-209, 2016.11.

[学会発表](計4件)

(1)Yuma Murata, Sachi Furukawa and Yoshihiro Kimura: Ultimate seismic capacity of steel moment resisting frame by scale test, Civil Engineering Conference in the Asian Region 7, CD-ROM, pp.1-12, Aug.30 – Sep.2, 2016, Hawaii(USA).

(2)村田裕磨, 木村祥裕, 古川幸: 弾性柱を適用した層中間ピン柱脚を有する鉄骨ラーメン骨組の縮小模型実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.663-664, 2016.8.24 - 26, 福岡大学(福岡県福岡市).

(3)入沢美優, 木村祥裕, 古川幸: 二方向地震動を受ける層中間ピン柱脚鋼構造ラーメン骨組における柱の要求性能 その1 修正D値法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.703-704, 2016.8.24 - 26, 福岡大学(福岡県福岡市).

(4)岩見遼平, 入沢美優, 木村祥裕, 古川幸: 二方向地震動を受ける層中間ピン柱脚鋼構造ラーメン骨組における柱の要求性能 その2 数値解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.705-706, 2016.8.24 - 26, 福岡大学(福岡県福岡市).

[図書](計0件)

[産業財産権]

○出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:

種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古川 幸 (FURUKAWA SACHI)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：30636428

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

木村 祥裕 (KIMURA YOSHIHIRO)
東北大学・未来科学技術共同研究センター・教授
研究者番号：60280997