

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24360222

研究課題名(和文) 一階柱脚の降伏を避ける工法を用いた鋼構造損傷制御骨組に関する研究

研究課題名(英文) ESTIMATION OF SEISMIC STRENGTH OF MULTI-STORY STEEL MOMENT RESISTING FRAMES WITH DAMPERS AND NEW COLUMN SUPPORT SYSTEM

研究代表者

木村 祥裕 (Yoshihiro, Kimura)

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、全層梁降伏型を形成する骨組の要求性能評価と簡易保有水平耐力設計法の提案、二方向地震動を受ける場合に柱が弾性保持するための要求性能の把握、骨組の層剛性・耐力からみた柱の要求性能と弾性通し柱による層間変形抑制効果の検討、主架構無損傷化を目指した制振ブレースの適用及び鉄骨柱支点部のディテールの開発を明らかにした。

本研究における柱脚を降伏させない最下層柱脚機構を骨組に適用することで、梁崩壊時まで柱が弾性保持するための性能を仮想仕事法を用いた簡易保有水平耐力設計法を提案した。そして、本柱脚機構と制振ブレースを併用することで、巨大地震においても主架構が無損傷となるシステムを考案した。

研究成果の概要(英文)：In the steel frames, the column base is allowed to yield after beam yielding subjected to large earthquake in Japanese design codes such as "The Building Standard Law of Japan" by Building Center of Japan. If the frames have unexpected seismic horizontal force, the soft story mechanism may occur. To prevent the plastic collapse of the column on 1st story, our previous paper suggested the new column support system on 1st story, which consist of the reinforced concrete downside column and the steel topside column. In this paper, the virtual work method is applied to estimate the damage distribution and the collapse deformation capacity of the steel moment resisting frames with dampers and these support systems, and the shear and axial demands the column joints on 1st story are clarified.

研究分野：耐震構造

キーワード：層中間型柱脚 全層梁降伏 損傷制御 塑性変形倍率

1. 研究開始当初の背景

今後 30 年以内に 87% の確率で発生するといわれている都市直下巨大地震である東海・東南海・南海地震に対して、可能な限り、建築物の損傷を軽減し、地震後の社会インフラの復旧を早期に目指す必要がある。都市型事務所ビル等の多くは、高い靱性を有する鉄骨ラーメン構造であり、梁端の局部座屈を伴って地震エネルギーを吸収するシステムである。しかし、激震時には、最下層柱脚が損傷する構造形式であり、2006 年の E-ディフェンスの実大 4 層鉄骨ラーメン架構の振動台実験¹⁾では兵庫県南部地震 (Takatori 波) の元波で架構は倒壊してしまった。倒壊の要因は最下層柱の柱脚、柱頭での局部座屈であり、最下層柱での損傷を抑制する必要性が改めて認識された。採用された柱脚は埋め込み型柱脚であるが、柱脚の回転剛性が高く、柱脚固定に近い場合、最下層の水平層剛性が高く、層間変形角が小さくなるものの、上層に比べて柱の脚部と柱頭での作用曲げモーメントのバランスが悪く、脚部の作用曲げモーメントは柱頭に比べて大きくなるためである。そして、埋め込み型柱脚の場合、鉄骨柱を基礎梁に埋め込むことで、鋼材使用量は増えるとともに基礎梁の配筋が複雑になる。そのため、鉄筋の納まり上、基礎梁の断面を大きくするか、基礎梁にハンチを設けなければならない。さらに、鉄骨建て方を基礎梁の工事の前に行わなければならないため、鉄骨部材の製作時間が十分でなく、その間の工事工程が遅れることも少なくない。また、根巻き型柱脚の場合、設計上、根巻き内の鉄骨部材の曲げ耐力を無視し、柱の脚部の曲げ応力を全て RC 部分に負担させなければならないため、過剰に安全側となる。また、根巻き部分の施工は鉄骨鉄筋コンクリート造と同様、かなり複雑となる。一方、露出型柱脚は前者の二つの工法に比べてピンに近く、半剛接合の挙動を示すことから、柱頭の曲げモーメントが大きくなるだけでなく、最下層の層間変形も大きくなってしまいうため、この層の柱断面を大きくするか、柱脚を弾性固定金物等で基礎梁に緊結し、固定度を上げる必要がある。そのため、多くのアンカーボルトが必要となり、厳しい施工精度が要求されるとともに、基礎梁鉄筋との納まりが複雑となる。施工時にこれらの問題点を解決したとしても、最下層柱の降伏は避けられない。RC 基礎梁から RC 柱を立ち上げ、上部鉄骨柱と下部 RC 柱を簡易接合 (以下、鉄骨柱支点部と呼ぶ) とし、鉄骨柱支点部で地震時の曲げ応力の反曲点とする新しい柱脚機構を提案した。この機構は、柱脚が基礎梁と同様、RC 構造であり、高い固定度を有する一方、上部鉄骨柱と下部 RC 柱の接合はベースプレートによるシアキャップとアンカーボルトの緊結とし、鉄骨柱支点部での回転を許容する。この鉄骨柱支点部には、柱に作用するせん断力に対してはシアプレートで抵抗し、軸方向の圧縮力とせん断力は RC

柱の頂部に設けたシアプレートを介して伝達させ、軸方向の引張力はアンカーボルトで伝達させる方法を用いることができる。鉄骨柱支点部の位置を高さ方向に調節することで、最下層の水平層剛性や柱の曲げ応力を制御できるため、従来の柱脚とは異なり、最下層の RC 柱の脚部と鉄骨柱の柱頭の曲げ応力の比を制御できる。そのため、架構の最大層間変形角が 0.02 や 0.03 となる終局時でも最下層の上部鉄骨柱、下部 RC 柱ともに弾性保持することができ、全層梁降伏メカニズムを形成することを可能とした。この柱脚機構により全層梁降伏型とするためには、鉄骨柱支点部をピン接合とする必要がある。これまでに、部分架構による柱脚機構の基礎実験では、一方向の水平荷重に対して提案型柱脚がほぼピン接合となることを示した。

2. 研究の目的

より汎用性の高い骨組である魚骨形骨組に提案する最下層柱脚機構を適用した場合の梁崩壊メカニズム時までの挙動を静的増分解析及び地震応答解析により明らかにし、柱の要求性能を把握する。また、地震動の二方向入力により柱に作用するせん断力及び曲げモーメントは増加するため、地震動の二方向入力による立体骨組解析を行い、地震動の二方向の相関性と柱の作用せん断力、曲げモーメントの増幅率を統計的に求め、柱が弾性保持し、鉄骨柱支点部が損傷しないための要求性能を明らかにする。次に、柱脚の降伏や全層梁降伏しない従来の埋め込み型柱脚等の骨組では適用が難しかった仮想仕事法を使って、骨組の簡易保有水平耐力法を提案し、その有効性を確認する。従来、静的増分解析でしか得られなかった骨組の保有水平耐力を手計算で簡便に求められる。さらに、建物内における軸力支持柱やエレベーターシャフトのような高さ方向に曲げ剛性をもつ通し材を活用し、層せん断力を高さ方向に均一に分配させることで、剛接柱の負担せん断力軽減の可能性を明らかにし、柱の要求性能の低減を検討する。震後も建物を継続使用するためには、梁の損傷を抑え、主架構でのエネルギー吸収ではなく、制振ブレース等のダンパーを併用し、ダンパーのみにエネルギー吸収させることで、主架構を無損傷化させる構造形式とすることができる。そこで、特に鉄骨柱支点部とダンパーとの接合部のディテールを、骨組の数値解析及び部分架構載荷実験により開発する。

3. 研究の方法

本研究ではこれまでの知見を活用しつつ、新たに以下の項目を検討する。

- ・全層梁降伏型鉄骨ラーメン構造を実現するための骨組の要求性能評価と簡易保有水平耐力設計法の提案
- ・二方向地震動を受ける場合に柱が弾性保持するための要求性能の把握
- ・骨組の層剛性・耐力からみた柱の要求性能

と弾性通し柱による層間変形抑制効果の検討

・主架構無損傷化を目指した制振ブレースの適用及び鉄骨柱支点部のディテールの開発

4. 研究成果

1)全層梁降伏型鉄骨ラーメン構造を実現するための骨組の要求性能評価

鉄骨ラーメン骨組と魚骨形骨組との力学挙動を比較しつつ、以下の項目を明らかにした。

・設計時の梁の要求性能と梁の保有性能の相違による崩壊メカニズムへの影響

・梁の塑性変形性能と骨組の保有水平耐力、最大層間変形角の関係梁崩壊時の累積塑性変形倍率と地震動の最大速度の関係

・高さ方向の梁の損傷メカニズム分布に与える柱梁剛性比の影響

2)全層梁降伏型鉄骨ラーメン構造を実現するための簡易保有水平耐力設計法の提案

床スラブの影響を考慮した梁をモデル化し、様々な骨組を試設計する。静的増分解析により、この簡易設計法が適用できることを示した。さらに、最大速度を基準化した観測地震動数十波による地震応答解析を行い、簡易設計法による保有水平耐力と最大層せん断力との関係を把握し、歪硬化による梁の最大耐力や塑性率分布から歪硬化による耐力係数を提示した。

3)二方向地震動を受ける場合に柱及び鉄骨柱支点部が弾性保持するための要求性能の把握

立体骨組を対象として、最大速度を基準化した観測地震動数十波による地震応答解析を行い、両構面の梁から作用する柱のせん断力、曲げモーメントや作用方向を統計的に調べ、鉄骨柱及びRC柱が弾性保持及びひび割れ耐力以下となる要求性能を明らかにした。

4)骨組の層剛性・耐力からみた柱の要求性能と弾性通し柱による層間変形抑制効果の検討

縮小模型振動台実験及び有限要素法による地震応答解析により、高さ方向への層せん断力の均一化効果と耐震柱が弾性保持するための要求性能を明らかにした。

5)激震時に柱脚を降伏させない損傷制御骨組の設計法の提案

巨大地震時にもダンパーによりエネルギー吸収を期待しつつ、主架構、特に柱脚の降伏を防ぐために、本研究で提案する柱脚機構を適用した損傷制御骨組の設計法を提案する。観測地震動の最大速度とダンパー量をパラメータとして、従来型の損傷制御骨組(鉄骨ラーメン構造+制振ブレース)と本提案型柱脚機構を有する損傷制御骨組の地震応答解析を行い、主架構の塑性化分布や最大塑性率分布を明らかにした。そして、両骨組の柱脚の損傷について比較し、激震時であっても本提案型柱脚機構では柱脚での降伏を防ぐことを示した。

6)本提案型柱脚を適用した損傷制御骨組における鉄骨柱支点部のディテールの開発

鉄骨柱支点部がピン機構を保持しつつ、制振ブレースからの応力伝達が確実に伝達できる接合部ディテールを試作し、柱及び制振ブレースの作用軸力、せん断力を与えた鉄骨柱支点部の載荷実験を行い、簡便で経済的な接合部ディテールを提案した。これにより実構造物への適用が可能となった。

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 10 件)

- 1) 木村祥裕, 古川幸, 金田勝徳, 渡辺亨, 和田章: 層中間型柱脚機構を有する鉄骨ラーメン骨組における最下層柱の圧縮力伝達機構と鉄骨柱支点部の圧縮耐力, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第 80 巻 712 号, pp.905-915, 2015.6, <http://doi.org/10.3130/aajs.80.905>
- 2) 木村祥裕, 松尾健志, 吉野裕貴: 軸力と等曲げモーメントを受ける上フランジ補剛 H 形鋼梁の弾塑性横座屈応力度評価, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第 79 巻 703 号, pp. 1299-1308, 2014.9, <http://doi.org/10.3130/aajs.79.1299>
- 3) 木村祥裕, 金田勝徳, 和田章: 新しい柱脚機構を有する鉄骨ラーメン骨組の終局耐震能力と鉄骨柱支点部の作用力の算定法, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第 78 巻 688 号, pp. 1149-1158, 2013.6, <http://doi.org/10.3130/aajs.78.1149>
- 4) 岩見遼平, 古川幸, 木村祥裕, 渡辺亨: 下部 RC 柱と上部鉄骨柱から成る最下層柱接合部の最大せん断耐力, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 23 巻, pp.203-206, 2015.11
- 5) 鈴木敦詞, 網倉裕人, 木村祥裕: 合成梁の負曲げにより鉄骨梁に作用する軸力の予測式, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 23 巻, pp.8-12, 2015.11
- 6) 岩見遼平, 古川幸, 木村祥裕, 渡辺亨: 下部 RC 柱と上部鉄骨柱から成る最下層柱接合部の応力伝達機構, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 22 巻, pp.424-427, 2014.11
- 7) 古川幸, 入沢美優, 木村祥裕, 大塚友里: 魚骨型骨組解析による弾性柱付全層梁降伏型骨組の終局耐震能力評価, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 22 巻, pp.362-367, 2014.11
- 8) 入沢美優, 木村祥裕: 二方向水平外力を受ける立体鉄骨ラーメン骨組の終局耐震性能, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 22 巻, pp.334-337, 2014.11
- 9) 古川幸, 木村祥裕, 金田勝徳, 和田章: 下部 RC 柱と上部鉄骨柱で構成される最下層接合部のせん断破壊性状, 日本

鋼構造協会 鋼構造年次論文集, 査読有, 第 21 巻, pp.547-552, 2013.11

- 10) 木村祥裕, 網倉裕人: 制振鋼構造低層骨組における梁及び柱の累積塑性変形能力, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文集, 査読有, 第 21 巻, pp504-509, 2013.11

[学会発表] (計 30 件)

- 1) 古川幸, 岩見遼平, 木村祥裕, 金田勝徳, 染谷俊章, 和田章: 下部 RC と上部鉄骨柱で構成される最下層柱接合部における最大耐力評価その 1~その 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.647-652, 2015.9.4, 藤沢市
- 2) 高橋邦広, 金田勝徳, 古川幸, 木村祥裕, 和田章: 層中間型ピン柱脚構法を有する鉄骨建物, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1055-1056, 2015.9.4, 藤沢市

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: ピン接合形式の露出型鉄骨柱接合構造
発明者: 渡辺亨, 和田章, 金田勝徳, 木村祥裕, 古川幸, 染谷俊章

権利者: 岡部株式会社, 和田章, 株式会社 構造計画プラス・ワン, 国立大学法人 東北大学

種類: 特許

番号: P2013-154588

出願年月日: 2013. 7. 25

国内外の別: 国内

○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

木村祥裕 (Yoshihiro Kimura)

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

(2) 研究分担者

和田章 (Akira Wada)

東京工業大学 応用セラミックス研究

所・名誉教授

研究者番号: 90158684

金田勝徳 (katsunori Kaneda)

日本大学 理工学部・特任教授

研究者番号: 60439289

古川幸 (Sachi Furukawa)

東北大学 工学研究科・助教

研究者番号: 30636428

(3) 連携研究者

()

研究者番号: