

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 4月 3日現在

機関番号：17401
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21560594
 研究課題名（和文） 中低層鋼構造ラーメン骨組の部材耐力分布の適正化に関する研究
 研究課題名（英文） OPTIMUM STRENGTH DISTRIBUTION OF STRUCTURAL MEMBERS
 IN MULTI-STORY STEEL FRAMES
 研究代表者
 小川 厚治（OGAWA KOJI）
 熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
 研究者番号：80112390

研究成果の概要（和文）：

本研究では、相対的に弱い柱脚をもつ骨組において最下層への変形集中を抑制する耐力分布や、座屈による耐力低下など複雑な履歴挙動をとる筋違の耐力評価法、2方向水平地動を受ける立体骨組における柱梁耐力比の必要値等について検討し、特定層への変形集中を抑制し、各層の最大層間変位角を最小化する部材耐力の適正分布を明らかにした。また、偏心をもつ骨組の耐力分布を検討するツールとして、2方向魚骨形骨組を開発した。

研究成果の概要（英文）：

This study is concerned with the optimum strength distribution of structural members in steel frames with relatively weak column bases, the determination of strength for conventional steel braces in seismic design procedure and the required column-to-beam strength ratio of steel frames subjected to horizontal bidirectional ground motions. Further, a simplified dynamic structural model is developed to examine the earthquake response of 3-dimensional multi-story steel frames with eccentricity.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：鋼構造、骨組、耐震、地震応答、最大層間変位角、偏心、柱脚、筋違

1. 研究開始当初の背景

動的地震応答解析を行うことなく単純な耐力計算を行うだけで、強震下で特定層に変形が集中するのを抑制し全層の最大層間変位角を一様化するように、鋼構造ラーメン骨組の部材耐力分布を適正化する方法を確立するのが、この研究の目的であるが、基本的な平面骨組に関しては、筆者は既に部材耐力

分布を適正化する方法を提案している。しかし、これを現実の骨組に適用するには、下記のような問題が残されていた。

まず1つ目は、最下層柱脚の耐力が相対的に小さい場合である。最近の鋼構造骨組で多く用いられている露出柱脚については、塑性化しないように十分な耐力を付与することが困難な場合も多く、柱脚の耐力を確保する

代わりに、最下層の柱や梁の断面を大きくして最下層の変形を抑制する方が合理的な場合もある。このような相対的に弱い柱脚をもつ骨組の適正な耐力分布は明らかにされていない。

2つ目は、現在も多くの建物で利用されている従来型の筋違の耐力を、耐震設計に際していかに評価するかという問題である。座屈する圧縮側筋違の耐力については座屈後安定耐力という考え方が提案され、引張側筋違はスリップ型の履歴特性を示すことは知られているが、この耐力評価が地震応答をどの程度反映したものになっているかは不明である。また、筋違付骨組は層崩壊を起こし易いことは指摘されているが、それを回避する条件も明確にされていない。

3つ目は、水平2方向地動を受けることに由来する問題である。すなわち、梁は構面方向の1方向地動だけにしか抵抗しないが、柱は2方向地動に抵抗する。その結果、2方向地動を受ける骨組では、平面骨組として考えるより柱が相対的に弱くなり、特定層への変形集中が起こり易くなる。適正な耐力分布は水平2方向の地震入力を考慮して決める必要がある。

2. 研究の目的

この研究では、前項で述べた3つの課題を解決させることによって、構造設計時に部材耐力に関する単純な計算から、部材耐力分布を適正化する方法を確立することを目的とした。

まず、最下層柱脚に関しては、相対的に耐力が小さくなることが多いという問題がある。この研究では、特定部位の耐力が不足しているという制約条件の下での適正耐力分布の算定法を確立する。最下層柱脚以外にも、相対的に弱い部位が有る骨組にも適用できるように、一般的な耐力分布の適正化の方法を検討する。

次に、従来型の筋違については、設計時に利用できるような単純な耐力評価法を明らかにする。さらに、現行の耐震設計においては、単に保有水平耐力を確保するための手段としてだけ、従来型の筋違が利用されているのが普通である。筋違の最大変位応答抑制効果を明らかにすることで、効果的な筋違の活用方法を明らかにする。

2次元地動の影響については、相対的に梁耐力が最も強くなる方向および構面方向の平面的な挙動から、立体骨組の最大層間変位角が予測できることを既に明らかにしている。この研究では、最大層間変位角の全方向に関する最大値を最小化する柱梁耐力比を定量化する。

以上の3課題が当初からの目的であり、立体骨組の3次元挙動に由来する最も重要な

問題とされる偏心は検討対象に含めていなかった。その理由は、構造部材と2次部材が明確に区別される鋼構造では、意図しない偏心が生じることは稀で、偏心は回避すべき問題で偏心を前提に構造設計が行われるべきでないと考えたためである。しかし、実建物の調査によると、自由な構造計画が妨げられる小規模建物や重量機器を偏在させる必要がある建物など、偏心が避けられない建物も多いことが判明した。したがって、偏心によるねじれ振動も積極的に検討対象に組み入れることにした。立体骨組の単純化動力学モデルとして既に開発済みの2方向魚骨形骨組を、偏心やねじれ振動が取り扱えるように拡張し、偏心をもつ骨組の適正耐力分布についても検討している。

3. 研究の方法

次の4つの課題を、時期的には一部オーバーラップさせながら検討を進めた。

(1) 相対的に弱い柱脚をもつ骨組の適正耐力分布

相対的に弱い柱脚をもつ骨組を対象に、最下層への変形集中を抑制するために必要な2層床梁や1層柱等の耐力の割り増しについて、広汎な地震応答解析結果に基づいて検討する。また、この耐力の割り増しを、適正な層せん断耐力分布と十分な柱梁耐力比の確保というような観点から理論的にも検討する。

また、スリップ型の履歴特性をもつ柱脚がある骨組を対象にして、その最大層間変位角に及ぼす影響を、地震応答解析結果と理論的考察の両面から検討する。

(2) 従来型筋違の耐力評価法と耐力分担率

圧縮側筋違は座屈後安定耐力を弾性限耐力とする完全弾塑性型、引張側筋違は降伏軸力を弾性限耐力とするスリップ型にモデル化することで、筋違付骨組の地震応答が近似できるかを検討する。また、筋違の耐力分担率をパラメータとした地震応答解析結果によって、耐力分担率の適正值について検討する。

(3) 2方向地動入力を考慮した柱梁耐力比の適正值

水平2方向地動の入力方向を変化させた解析を行い、任意方向に生じる最大層間変位角の最大値を調べ、この値と柱梁耐力比の関係を検討する。立体骨組が水平2方向地動の下で層崩壊するのを避けるために必要な柱梁耐力比を明らかにする。

(4) 偏心をもつ立体骨組の地震応答

偏心をもつ立体骨組の適正耐力分布についても検討するために、2方向魚骨形骨組を偏心やねじれ振動が取り扱えるように拡張したモデル化手法を確立する。このモデルを用いて、偏心が骨組の地震応答に及ぼす影響

を検討する。

4. 研究成果

主な研究成果は以下の通りである。

(1) 相対的に弱い柱脚をもつ骨組の適正耐力分布

相対的に弱い柱脚をもつ骨組を対象に、最下層への変形集中を抑制するために必要な2層床梁や1層柱等の耐力の割り増しについて検討した。その結果、適正な層せん断耐力分布を維持し必要な柱梁耐力比を確保することで、柱脚が弱い骨組における最下層への変形集中を抑制できることを示した。

露出型柱脚をもつスリップ型の履歴特性が重層骨組の地震応答に及ぼす影響について、地震応答解析結果と理論的考察の両面から検討した。その結果、履歴特性が地震応答性状に及ぼす影響は比較的小さく、移動硬化型の履歴特性を持つ場合に比べて、平均的には1割程度最大層間変位角応答が増大する程度であること等を明らかにした。

(2) 従来型筋違の耐力評価法と耐力分担率

まず、圧縮側筋違は座屈後安定耐力をもつ完全弾塑性型、引張側筋違は降伏軸力を耐力とするスリップ型にモデル化した筋違付骨組の地震応答解析結果と、1次元有限要素法を用いて詳細にモデル化した解析結果とを比較することで、このようなモデル化によって筋違付骨組の地震応答が近似できることを明らかにした。

上記のように単純化した復元力特性を用いて、筋違付重層骨組の地震応答解析を行い、純ラーメン骨組や履歴型ダンパー付骨組の地震応答と比較した。その結果、筋違の耐力分担率を大きくすると最大層間変位角抑制効果も顕著になるが、極端に耐力分担率を大きくすると一部の層に変形集中を起こすことなどを明らかにした。また、層崩壊の発生を回避するための耐力分担率の上限値の算定式を提示した。

(3) 2方向地動入力を考慮した柱梁耐力比の適正值

構面から傾いた方向では、2方向の梁が抵抗することで、構面方向よりも梁が相対的に強くなる。このような影響で梁が最も強くなる方向について、骨組全体の終局耐力が上昇することも考慮した上で、要求される柱梁耐力比を確保することで、2方向地動を受ける立体骨組の全層の最大層間変位角を一様化できることを示した。

(4) 偏心をもつ立体骨組の地震応答

偏心をもつ重層骨組の適正部材強度分布を明らかにするために、単純化動力学モデルの開発を行った。このモデルの概形は上記(3)の検討でも用いた2方向魚骨形骨組であるが、上記のモデルが各層4自由度であるのに対して、各層に6つの自由度をもたせてい

る。この拡張によって、耐力や剛性のさまざまな偏心を考慮できる。

2方向魚骨形モデルを用いて、偏心をもつ重層骨組の地震応答性状を検討した。その結果、特定層の柱や梁だけに偏心がある場合でも、層せん断力の分布形は偏心のない骨組と変化がなく、偏心によるねじりモーメントの分布形も層せん断力と類似し、偏心層だけで大きくなるような傾向は認められないこと、その一方で、偏心層付近で塑性変形が集中する傾向があることなどを明らかにした。

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11件)

①林田洋幸、宮下いづみ、小川厚治、従来型筋違の変位応答抑制効果に関する研究、日本鋼構造協会鋼構造論文集、査読有、Vol. 19, No. 73, pp. 75-84, 2012

②酒井快典、江原大輔、小川厚治、偏心を有する鋼構造重層立体ラーメン骨組の単純化動力学モデルに関する研究、日本建築学会構造系論文集、査読有、第76巻 第670号、pp. 2153-2162, 2011

③宮下いづみ、林田洋幸、小川厚治、従来型筋違の単純化復元力モデルに関する研究、日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集、査読有、第19巻、pp. 799-804, 2011

④江原大輔、酒井快典、小川厚治、偏心を有する鋼構造重層ラーメン骨組の単純化動力学モデルの検討、日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集、査読有、第19巻、pp. 783-790, 2011

⑤酒井快典、江原大輔、小川厚治、偏心を有する鋼構造骨組の地震応答性状に及ぼす柱梁耐力比の影響、日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集、査読有、第19巻、pp. 791-798, 2011

⑥横尾雅代、小川厚治、柱脚の復元力特性が鋼構造骨組全層の最大層間変位角に及ぼす影響、日本鋼構造協会鋼構造論文集、査読有、Vol. 17, No. 67, pp. 29-41, 2010

⑦酒井快典、小川厚治、水平2方向地動を受ける鋼構造骨組の適正な柱梁耐力比、日本鋼構造協会鋼構造論文集、査読有、Vol. 17, No. 67, pp. 52-64, 2010

⑧Yoshinori Sakai, Minoru Yamanari and Koji Ogawa, Optimum Column-to-Beam Strength Ratio of 3D Steel Moment Frames, Beijing, Proc. of Pacific Structural Steel Conference 2010, 査読有, Vol. 1, pp. 522-529, 2010

⑨横尾雅代、小川厚治、相対的に弱い柱脚をもつ鋼構造骨組の部材耐力適正分布、日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集、査読有、第

17巻、pp.57-64、2009

⑩福田光俊、小川厚治、鋼構造立体骨組の単純化地震応答解析モデルに関する研究、日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集、査読有、第17巻、pp.101-108、2009

⑪木原隆志、福田光俊、小川厚治、直交2構面の梁の剛性・耐力が異なる鋼構造骨組の最大層間変位角応答に関する研究、日本鋼構造協会鋼構造論文集、査読有、Vol.16, No.62、pp.59-74、2009

〔学会発表〕(計23件)

①湊川諒、江原大輔、酒井快典、小川厚治、偏心を有する鋼構造重層骨組の単純化動力学モデルにおける降伏曲面に関する研究(その1 降伏曲面の提案)、日本建築学会九州支部研究報告、第51号1、pp.441-444、2012.3.4、西日本工業大学(小倉)

②江原大輔、湊川諒、酒井快典、小川厚治、偏心を有する鋼構造重層骨組の単純化動力学モデルにおける降伏曲面に関する研究(その2 地震応答解析による降伏曲面の検討)、日本建築学会九州支部研究報告、第51号1、pp.445-448、2012.3.4、西日本工業大学(小倉)

③小野剛、酒井快典、江原大輔、小川厚治、鋼構造一軸偏心骨組の地震応答に関する研究(その1 変形性状)、日本建築学会九州支部研究報告、第51号1、pp.449-452、2012.3.4、西日本工業大学(小倉)

④酒井快典、小野剛、江原大輔、小川厚治、鋼構造一軸偏心骨組の地震応答に関する研究(その2 応力分布)、日本建築学会九州支部研究報告、第51号1、pp.453-456、2012.3.4、西日本工業大学(小倉)

⑤村田宏文、宮下いつみ、小川厚治、強震を受ける従来型筋違付骨組の残留層間変位角に関する研究(その1 残留層間変位角の予測式の提案)、日本建築学会九州支部研究報告、第51号1、pp.429-432、2012.3.4、西日本工業大学(小倉)

⑥宮下いつみ、村田宏文、小川厚治、強震を受ける従来型筋違付骨組の残留層間変位角に関する研究(その2 筋違付骨組の残留層間変位角の評価)、日本建築学会九州支部研究報告、第51号1、2012.3.4、pp.433-436、西日本工業大学(小倉)

⑦林田洋幸、宮下いつみ、小川厚治、鋼構造重層骨組における筋違の耐力分担率の上限値、日本建築学会九州支部研究報告、第51号1、pp.425-428、2012.3.4、西日本工業大学(小倉)

⑧江原大輔、酒井快典、小川厚治、偏心を有する鋼構造重層骨組の単純化動力学モデルの開発(その1 単純化動力学モデルの提案)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1構造III、pp.843-844、2011.8.23、早稲田大

学(東京)

⑨酒井快典、江原大輔、小川厚治、偏心を有する鋼構造重層骨組の単純化動力学モデルの開発(その2 地震応答解析結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1構造III、pp.845-846、2011.8.23、早稲田大学(東京)

⑩宮下いつみ、林田洋幸、小川厚治、筋違の制震効果の定量化に関する研究(その1 筋違の復元力特性の単純化)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1構造III、pp.799-800、2011.8.23、早稲田大学(東京)

⑪林田洋幸、宮下いつみ、小川厚治、筋違の制震効果の定量化に関する研究(その2 筋違と履歴型ダンパーの比較)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1構造III、pp.801-802、2011.8.23、早稲田大学(東京)

⑫宮下いつみ、林田洋幸、小川厚治、座屈を生じる筋違の制震効果に関する研究(その1 筋違の復元力特性の単純化)、日本建築学会九州支部研究報告、第50号1、pp.389-392、2011.3.6、鹿児島大学(鹿児島)

⑬林田洋幸、宮下いつみ、小川厚治、座屈を生じる筋違の制震効果に関する研究(その2 筋違と履歴型ダンパーの制震効果の比較)、日本建築学会九州支部研究報告、第50号1、pp.393-396、2011.3.6、鹿児島大学(鹿児島)

⑭江原大輔、酒井快典、小川厚治、偏心を有する鋼構造重層骨組の単純化動力学モデルに関する研究(その1 単純化動力学モデルの提案)、日本建築学会九州支部研究報告、第50号1、pp.349-352、2011.3.6、鹿児島大学(鹿児島)

⑮酒井快典、江原大輔、小川厚治、偏心を有する鋼構造重層骨組の単純化動力学モデルに関する研究(その2 地震応答解析結果)、日本建築学会九州支部研究報告、第50号1、pp.353-356、2011.3.6、鹿児島大学(鹿児島)

⑯酒井快典、福田光俊、小川厚治、水平2方向地動を受ける鋼構造骨組の適正な柱梁耐力比に関する研究(その1 地震応答性状)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1構造III、pp.1151-1152、2010.9.10、富山大学(富山)

⑰福田光俊、酒井快典、小川厚治、水平2方向地動を受ける鋼構造骨組の適正な柱梁耐力比に関する研究(その2 適正値の提案)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1構造III、pp.1153-1154、2010.9.10、富山大学(富山)

⑱西田雄一、横尾雅代、小川厚治、柱脚の復元力特性が鋼構造骨組の全層の地震応答に及ぼす影響(その1 地震応答解析)、日本建築学会九州支部研究報告、第49号1、pp.317-320、2010.3.7、長崎総合科学大学(長崎)

⑲横尾雅代、小川厚治、柱脚耐力が弱い鋼構

造骨組の部材耐力適正化に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1 構造 III、pp. 705-706、2009. 8. 27、東北学院大学（仙台）

②福田光俊、小川厚治、鋼構造立体骨組の単純化地震応答解析モデルに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1 構造 III、pp. 719-720、2009. 8. 27、東北学院大学（仙台）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 厚治 (OGAWA KOJI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：80112390

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし