

平成 21 年 4 月 13 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560576

研究課題名（和文） 水平 2 方向地動を受ける鋼構造骨組の地震応答性状に関する研究

研究課題名（英文） Earthquake Response of Steel Frames Subjected to Horizontal Bi-directional Ground Motions

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：水平 2 方向地動を受ける鋼構造骨組の地震応答性状を，水平 2 方向に梁をもつ魚骨形骨組を用いて検討した．その結果，任意方向から水平 2 方向地動を受ける骨組の任意方向に生じる層間変位角の最大値は，スペクトル強度が最大となる方向の水平地動（強軸地動）だけを，2 つの構面方向または梁の耐力が最大となる方向に入力したときに，強軸地動入力方向に生じる最大層間変位角の中で最も大きい値で近似できることなどを明らかにした．

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
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：地震応答，鋼構造骨組，立体骨組，水平 2 方向地動，柱梁耐力比，強震記録，層せん断力係数分布，最大層間変位角

1. 研究開始当初の背景

建築構造物の耐震設計では，平面骨組だけを検討の対象にし，地震力は構面方向に作用すると考えて設計するのが普通である．しかし，建築構造物も地震動も 3 次元的なものであり，地動は最も強い水平 1 方向だけを考慮すれば良いとしても，強い地動の方向が必ずしも建物の構面方向に生じないことは明白である．

平面骨組を対象とした設計行為は，3 次元的に立体骨組として扱うより圧倒的に単純

であり，設計時に検討すべき課題の大部分を網羅できることから，広く受け入れられており，研究も進展してますます高度化・精緻化している．その一方で，3 次元問題としてしか考慮できない課題は，見逃され放置されている．これらの課題が，現行耐震規定の盲点として，将来の大地震において鋼構造骨組が甚大な被害を受ける引き金となりうる可能性は大いにある．本研究は，将来に禍根を残さないために，多くの研究者や設計者が半ば気付きながら見過ごしている立体骨組とし

ての問題点を、緊急の課題として取り上げるものである。

筆者は既に、平面骨組を対象にして、柱梁耐力比に関する研究を多く行って来た。その結果は、柱を強くすれば地震応答性状が良くなるというように理解されていることが多いが、大部分の骨組は梁を弱くしても地震応答性状が良くなるという傾向を現す。したがって、構面から 45° 傾いた方向の水平力に対しては 2 方向の梁が同時に抵抗するので梁の耐力はおよそ 1.4 倍程度に増大し、相対的に柱が弱い骨組になって地震応答性状が悪くなることが多い。45° 方向入力に対応するためだけに柱耐力を更に 1.4 倍にする必要があるとすれば、これは非常に厳しい設計条件を付与することになる可能性が高い。

2. 研究の目的

柱梁耐力比に関する研究は、平面骨組に対しては既に多く行われているが、その目的は、全体崩壊形を実現し各層の最大層間変位角応答を一様化することと、柱の塑性変形を抑制することの 2 つがある。後者は、柱の塑性変形能力が梁に比べて著しく乏しいときには、重要な問題となるが、鋼構造では柱の塑性変形性能が梁に比べて極端に乏しいとは考え難く、柱にも部分的な塑性変形は許容できると考える。したがって、ここでは、各層の最大層間変位角を一様化することだけを目的として、柱梁耐力比の影響を検討する。

筆者は既に、鋼構造平面骨組の最大層間変位角応答は、適切にモデル化された魚骨形骨組によって近似できることを報告しており、接合部パネルの変形や、柱の伸縮による骨組の全体曲げ変形の影響なども考慮できることを明らかにしている。したがって本研究においては、1 本の柱に直交 2 方向の梁が取り付けいた単純な骨組解析モデル（2 方向魚骨形骨組）を考察の対象にする。

柱梁耐力比の影響を、2 方向魚骨形骨組を用いた時刻歴地震応答解析による数値結果に基づいて検討し、合理的な設計解を見いだすことを目的としている。

3. 研究の方法

解析に用いたのは図 1 に示す魚骨形骨組であり、1 本の柱の水平 2 方向に梁を設けて直交する 2 つの構面方向の立体骨組の力学特性を表現している。本研究では中低層骨組を対象としているので、層数は 4, 8, 12 の 3 種とし、階高は全層 4m、各層質量も全層同じとした。最初に直交 2 構面の剛性・耐力が等しい骨組を対象とし、その後剛性・耐力が異なる骨組についても検討した。すなわち、

(1) 直交 2 構面の剛性・耐力が等しい骨組

構造特性は標準的な鋼構造ラーメン骨組を想定して設定した。

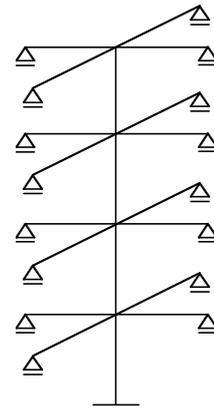


図 1 解析骨組

各部材の弾性剛性は、標準せん断力係数 0.2 に相当する設計用地震荷重を比例载荷したときの層間変位角が 1/200 になるという条件から決定した。ただし、柱と梁の剛比は 1 としている。

梁の耐力は、標準せん断力係数 0.3 に相当する設計用地震荷重を比例载荷したときに最上層を除くすべての梁端が降伏するという条件から決定し、柱梁耐力比は 1~3 の範囲で変化させた。最上層節点では、柱梁耐力比は 1 としている。

なお、設計用地震荷重の高さ方向分布には、告示で規定されたせん断力係数分布を用いず、一様せん断棒のモード重畳法解析から求めたせん断力係数分布を用いている。この分布の合理性も、本研究で明らかにしたものである。

柱の 2 軸曲げに関する降伏相関条件式は円とし、柱梁共に、復元力特性は bilinear 形で履歴特性は移動硬化型を仮定している。

(2) 直交 2 構面の剛性・耐力が異なる骨組

まず、実在骨組を含む現実的な鋼構造ラーメン骨組の直交 2 構面の剛性・耐力の比について調査した。その結果、2 構面の耐力の比は 1.3 程度となり、剛性の比は 1.1~1.2 程度の値となる骨組も決して特殊なものではないこと、耐力の高い構面の方が剛性も高くなること等の結論を得た。

この調査結果に基づき、前記(1)の解析骨組を基準としながら、剛性・耐力共に大きい梁が取り付け強構面と、剛性・耐力共に小さい梁が取り付け弱構面からなる骨組を設定した。強構面の梁の耐力・剛性を弱構面の梁の 1.3 倍にすることで、2 つの構面の耐力の比が 1.2~1.3、剛性の比が 1.1 程度の骨組を設計している。ただし、弱構面について柱梁剛比は 1 とし、強構面について柱梁耐力比は 1.5 としている。

入力地震動は、6 種の強震記録 El Centro, Taft, 八戸, 東北大学, JMA Kobe, NTT Kobe の NS 成分と EW 成分計 12 波を用いる。これらの 2 方向強震記録は一般に地動の強弱方向と一致せず、解析結果の検討を複雑にする

要因となる．そこで，スペクトル強度が最大になる方向の地動を強軸地動，その直交方向を弱軸地動と設定し，この2つの主軸方向に変換した地震波形を入力地動として用いる．

また，これらの入力地動は骨組の応答レベルを揃えるため，損傷に寄与する地震入力エネルギーの速度換算値について2種類の入力レベル 1.5 m/s ，3.0 m/s を設定した．強軸1方向地動を解析骨組の弱構面方向に入力したとき，損傷に寄与する地震入力エネルギーの速度換算値がこれらの値になるようにそれぞれの地動の最大加速度を調整している．

4．研究成果

主要な結論は (1) と (2) 何れの骨組についても同じであり，以下のように要約できる．

強軸地動の入力方向を構面方向または梁最大耐力方向（梁の耐力が相対的に最も強くなる方向）としたとき，水平2方向地動によって任意方向に生じる最大層間変位角は，強軸地動だけを入力したとき強軸地動入力方向に生じる最大層間変位角で近似できる．

1方向地動の入力方向を変化させたとき，地動入力方向に生じる最大層間変位角は，構面方向または梁最大耐力方向で極値を取る傾向がある．

水平2方向地動を任意方向から入力したとき任意方向に生じる最大層間変位角は，強軸地動だけを構面方向または梁最大耐力方向から入力したときに強軸地動入力方向に生じる最大層間変位角の中で最大の値を用いて近似できる．

まず，の結果は，(1)の骨組で柱梁耐力比を変化させて調べた際には，柱梁耐力比が $\sqrt{2}$ より大きい範囲で認められている．柱梁耐力比が $\sqrt{2}$ より小さくなると，構面から45°方向付近では柱が梁よりも相対的に弱くなり，特定層への変形集中の傾向が強くなるので，弱軸地動が最大層間変位角に大きな影響をもちのような傾向は見出し難い．柱梁耐力比が $\sqrt{2}$ を超えると，特定層への変形集中は起こりにくくなり，弱軸地動に対する応答は強軸地動に対する応答に比べて本来小さいので，の傾向が生じると考えている．

に示すように，1方向地動入力による最大層間変位角は，構面方向や梁最大耐力方向に地動を入力したとき最大値や最小値を取ることが多い．構面方向で極値を取る原因としては，この方向で梁の耐力が極小となることや，全入力エネルギーが構面方向の変形に費やされることなどが挙げられる．また，梁最大耐力方向で極値を取る原因としては，構面方向に比べて梁の耐力が増大し柱梁耐力比が小さくなることで，特定層への変形集中



図2 最大層間変位角の比較

が生じやすいことや，耐力が大きいため履歴減衰が働きにくく，変位応答が大きくなる傾向があることなどが挙げられる．

の結論は前記 と から予測されるものである．図2は解析結果の一例で，損傷に寄与する地震入力エネルギーの速度換算値が 1.5m/s の JMA Kobe および Hachinohe を入力した 8 層骨組に関するものである．この図で，任意方向から2方向地動を入力したときに 11:01 任意方向に生じる最大層間変位角を青印，弱構面，強構面，梁最大耐力方向に強軸地動だけを入力したときの強軸地動入力方向の最大層間変位角を赤印で示している．青印は3つの赤印の最大値で概ね近似できている．

この結果は，全方向に2方向地動を入力した時の最大層間変位角という立体骨組としての挙動が，構面方向及び梁最大耐力方向に強軸1方向地動のみを入力した時の強軸地動を入力した方向の最大層間変位角という平面的な挙動で近似できることを示している．

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 5 件)

川島敏夫、出口義史、小川厚治，鋼構造骨

組の部材耐力分布の適正化に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第 74 巻、第 635 号、147-155、2009、査読有
中原寛章、小川厚治、強震を受ける鋼構造ラーメン骨組の合成梁に生じる最大変形、日本鋼構造協会鋼構造論文集、Vol.15、No.58、57-68、2008、査読有
中原寛章、小川厚治、鋼構造ラーメン骨組の最大層間変位角に及ぼす床スラブの合成効果の影響、日本鋼構造協会鋼構造論文集、14 巻 57 号、1-15、2008、査読有
木村竜馬、小川厚治、水平 2 方向地動を受ける鋼構造骨組の最大層間変位角応答に及ぼす柱梁耐力比の影響、日本鋼構造協会鋼構造論文集、14 巻 55 号、111-122、2007、査読有
中原寛章、小川厚治、繰り返し荷重を受ける合成梁の弾塑性解析法に関する研究、日本鋼構造協会鋼構造論文集、14 巻 55 号、99-110、2007、査読有

[学会発表](計 15 件)

横尾雅代、小川厚治、柱脚の復元力特性が鋼構造ラーメン骨組の地震応答に及ぼす影響、日本建築学会九州支部研究報告、2009.3.8、那覇

Takashi Kihara, Minoru Yamanari, Koji Ogawa, Effect of Column-to-beam Strength Ratio on Maximum Story Drift Angle Response of Steel Frames under Horizontal Bi-directional Ground Motions, Proc.of 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008.10.13, 北京, 中国

Yoshifumi DEGUCHI, Toshio Kawashima, Minoru Yamanari, Koji Ogawa, Seismic Design Load Distribution In Steel Frame, Proc.of 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008.10.13, 北京, 中国

M. Yokoo, Minoru Yamanari, Koji Ogawa, Plastic Deformation in Steel Frames with Column Bases Having Relatively Weak Strength, Proc.of 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008.10.13, 北京, 中国

福田光俊、木原隆志、小川厚治、直交 2 構面の梁の耐力・剛性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(その 1 解析骨組)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008.9.19、広島

木原隆志、福田光俊、小川厚治、直交 2 構面の梁の耐力・剛性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(その 2 解析結果)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008.9.19、広島

出口義史、川島敏夫、小川厚治、鋼材量と

最大層間変位角応答との関係に関する考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008.9.19、広島

横尾雅代、小川厚治、相対的に弱い柱脚をもつ鋼構造ラーメン骨組の 2 層床梁端に生じる塑性変形、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008.9.19、広島

木原隆志、小川厚治、直交 2 構面の梁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、日本建築学会九州支部研究報告、2008.3.2、熊本

出口義史、川島敏夫、小川厚治、鋼構造骨組の耐震設計用地震荷重分布に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告、2008.3.2、熊本

中原寛章、小川厚治、合成梁の弾塑性解析におけるコンクリートスラブの有効幅、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.8.29、福岡

木原隆志、木村竜馬、小川厚治、2 方向地動を受ける骨組の最大層間変位角応答に及ぼす柱梁耐力比の影響(その 1 2 方向地動の性質)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.8.29、福岡

木村竜馬、木原隆志、小川厚治、2 方向地動を受ける骨組の最大層間変位角応答に及ぼす柱梁耐力比の影響(その 2 地震応答性状)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.8.29、福岡

出口義史、川島敏夫、小川厚治、鋼構造骨組の部材強度分布の適正化に関する研究(その 1 層せん断力係数分布)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.8.29、福岡

川島敏夫、出口義史、小川厚治、鋼構造骨組の部材強度分布の適正化に関する研究(その 2 部材耐力)、日本建築学会大会学術講演梗概集、2007.8.29、福岡

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