

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19560574  
 研究課題名（和文）日米鉄骨構造物における冗長システムの損傷集中抑制効果と倒壊時性能評価  
 研究課題名（英文）Evaluation of Collapse Capacity and Effect of Damage Distribution of for Redundancy System  
 研究代表者  
 木村 祥裕 (KIMURA YOSHIHIRO)  
 長崎大学・工学部・教授  
 研究者番号：60280997

## 研究成果の概要（和文）：

日本と米国の鉄骨ラーメン架構は架構形式及び使用部材に大きな相違点がある米国では柱・梁を剛接骨組として地震動等の水平外力に抵抗する骨組と、構造物の自重のみを負担する柱に分けた機能分離型の構造物が数多く見られる。前者の柱はその平面骨組の構面内で、曲げせん断に抵抗する柱であり、後者は軸力のみを支持する柱である。しかし、柱が軸力支持柱（Gravity Column）として設計されている場合でも、特に多層の骨組が高次モードの変形を生じようとする場合に、これらの柱は曲げせん断剛性と曲げせん断強度を発揮し、設計上考慮されていないこれらの柱の剛性・耐力は構造物に冗長性（Redundancy）を与える。架構の層間変形を高さ方向に均一化する通し柱材の有効性は既に明らかにされており、申請者もこのような軸力支持柱は静的解析では見られない層間変形集中抑制効果を発揮することを明らかにしてきた。しかし、特定層は会の防止だけでなく、このような柱による特定部位への損傷集中抑制効果は明らかにされていない。そこで、日米鉄骨ラーメン架構の架構形式の違いが保有水平耐力、層間変形集中率、損傷集中にどのような影響を与えるかを検討している。そして、様々な実地震波を用いた地震応答解析を行い、部材が最大耐力に達した時の架構の保有性能を把握している。

## 研究成果の概要（英文）：

There are some differences in the steel structures from the view of seismic designs between U.S. and Japan. Japanese typical frames are spatial moment resisting frames. U.S. frames are the perimeter frames, and the columns inside the frames are designed as the gravity columns which support only the weight of the buildings. Such columns may divide the shear force over the height of the frame and work as the damage control systems. This study clarifies the drift deformation concentration for the standard steel moment resistant frames in U.S. and Japan. The equations for the drift concentration are developed under the equilibrium conditions, and compared with the push over analyses results.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：建築構造

科研費の分科・細目：5301

キーワード：鉄骨構造，層間変形集中，冗長性

## 1. 研究開始当初の背景

地震時の耐震性能を明確に把握する上で、構造物の冗長性を明確にし、損傷が予想される部材とそれを抑制する部材との相互作用を明らかにする必要がある。損傷が予想される構造部材に対する非構造部材の抑制効果等に着眼した研究が見られ、申請者も同様の研究を取り組んできた。さらに、構造物内の構造部材の崩壊メカニズムに対して、構造部材同士の相互作用の影響が必ずしも明らかにされたとは言い難く、座屈拘束型ブレース架構の降伏後の層間変形集中率に及ぼす柱材の抑制効果についても検討してきた。研究の特色として、釣合条件から崩壊メカニズムを仮定し、層間変形集中率に対する式を誘導することで陽な解を求め、実用性の高い手法を提案している点にある。同様の研究は国内外でも見られるが、定性的な把握にとどまっている。

昨年より稼動しているE-ディフェンスでの鉄骨構造プロジェクト（鉄骨構造の日米共同研究）では、上記の影響を統合的に調査するために、実大かつ実在する鉄骨骨組を対象として、大型振動台による実験を行われる。日米鉄骨構造物の架構形式に着目した研究は、既往の研究で行われている。両国の設計規準及び設計者、ユーザーの建物への考え方が異なることから、構造形式のみを問題とすることは難しいものの、架構の保有耐力と層間変形角の概略的な把握にとどまっており、相違点への踏み込んだ考察は見受けられない。すなわち、本研究で対象としている構造物内における構造要素の相互作用及び冗長システムの効果は明確に把握されていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、設計時に想定された崩壊メカニズムと実際の地震時との相違についても検討することを目的としている。許容応力度

設計時及び保有水平耐力設計では架構の層間変形角 $1/200 \sim 1/100$ レベルでの検討であるが、構造物が想定外巨大地震動や特定固有周期領域が卓越する地震動を受ける場合、どのような終局崩壊挙動を示すかは明らかにされていない。既往の地震災害においても構造要素同士の相互作用、構造要素と非構造要素との相互作用、冗長要素の存在等により設計時に仮定した部位と異なる部位で損傷を生じる場合や特定部位に過度の損傷集中を生じる場合があった。「建築耐震設計における保有耐力と変形性能（1990）」<sup>3)</sup>では部材の塑性変形能力から層としての塑性変形能力、そして架構としての塑性変形能力を誘導することができるとしている。しかし、ここで定義されている塑性変形能力とは、繰返し荷重を受ける部材では荷重変形関係から得られる骨格曲線で評価しており、バウジンガー域を含む部材の全エネルギー吸収能力ではない。一方で、設計時には部材の全エネルギー吸収量で評価されており、架構の崩壊時性能を評価する上で、両者の整合性を検討する必要がある。

本研究では、図1に示すような、地震外力を受ける標準的な日米鉄骨構造物の耐震性能を比較し、両構造物の優位点を明らかにする。日米のラーメン構造（MRF, Moment Resisting Frame）、日米の座屈拘束ブレース構造（BRBF, Buckling-Restrained Braced Frame）を比較した場合、それらの設計に大きな違いが見られる。米国のAISC Code Provision（2005, Draft）によると、BRBFはDual Systemでなければ架構は剛接合とする必要はなく、各層に履歴吸収エネルギーの高い座屈拘束ブレースを配置したとしても、層間変形集中を生じる可能性がある。一方、米国の鉄骨構造物に見られるGravity Columnは、静的解析では見られない層間変形集中の抑制効果を発揮するものと思われる。

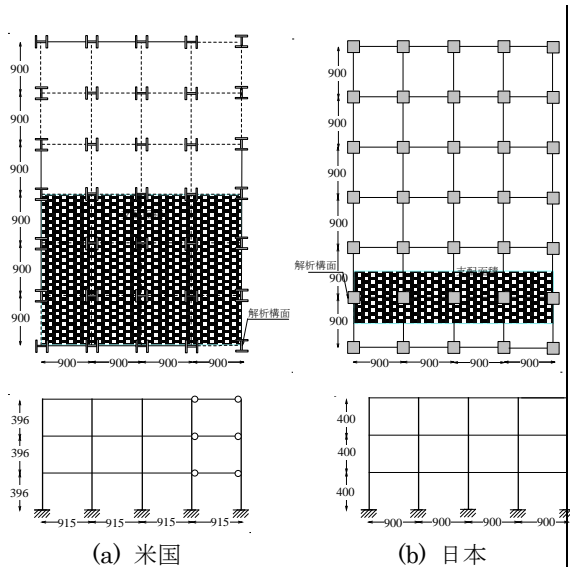


図1 鉄骨ラーメン構造物の解析モデルの一例<sup>1)</sup>

### 3. 研究の方法

申請者はこれまでに研究業績においてブレース構造物の層間変形集中に対する柱材の抑制効果を把握してきた。本研究では、日米鉄骨構造物の崩壊時性能を明らかにする上で、構造物内の相互作用及び冗長システムによる抑制効果について明らかにし、損傷を高さ方向に分散させ所定の層間変形に抑制する手法として、架構内に冗長システムの適用を提案する。具体的には以下に示す研究計画により遂行する。

1) 日米鉄骨構造物の倒壊メカニズム形成過程における構成部材の相互作用の影響

日米両国において構造上ほぼ同一条件で設計された標準的な構造物を対象として、静的解析及び動的解析を行い、損傷メカニズムの形成過程を比較した。

2) 鉄骨構造物の層間変形集中に及ぼす冗長システムの抑制効果の解明

1)の知見を踏まえて、特定部位への損傷集中及び特定層への層間変形集中を抑制し、耐震性能を向上させるために、高さ方向への応力分散機構として弾性トラス芯材の適用を検討した。

3) 冗長システムによる鉄骨構造物の損傷分散メカニズムの検証

2)の知見を踏まえて、冗長システムにより損傷分散メカニズムが有効に機能するかを

検証するために、2)で示した冗長システムを有する架構の縮小模型振動実験を行った。

4) 地震動の指向性を考慮した鉄骨構造物の倒壊時性能評価と冗長システムの配置計画

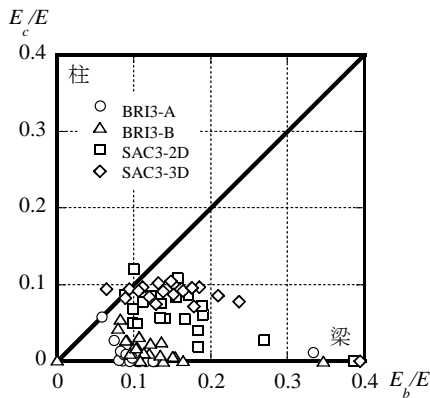
地震動が有する特性を明確にし、構造物の耐震特性との関係を把握する。既往の研究では、地震応答解析において観測地震動の速度を25kine, 50kine, 75kineとして構造物の層間変形角との関係を明らかにしている。

### 4. 研究成果

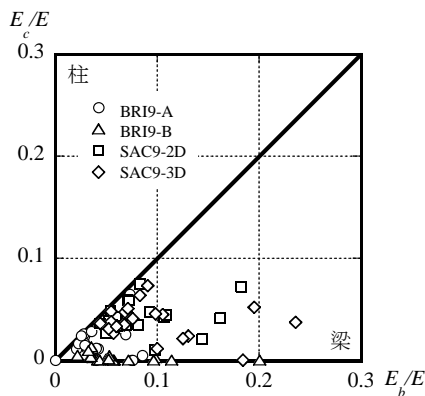
本研究では、地震動を受ける構造物について構造要素間の相互作用を調べ、各構成要素の冗長効果を明らかにした。すなわち、架構形式の違いにより構造要素が保有する冗長性の比較、外力レベル及び地震動の指向性に対する構造要素の冗長性の効果について検討した。具体的には、図2に示すように、三層及び九層鉄骨ラーメン架構で架構形式の異なる場合に、柱と梁の履歴吸収エネルギー性能の割合の違いを示している。米国型であるSAC架構の方が日本型であるBRI架構と比べて、梁の履歴吸収エネルギーが大きくなっている。これは、架構内部の軸力支持柱が冗長要素となり、応力再配分機構として機能しているためと考えられる。

このように、構造物の崩壊時の性能を明確にすることで、構造物自身の保有性能を明らかにすることができた。また、日米の標準的な構造物について、各構成要素の相互作用による応力低減・増幅、冗長要素による応力再配分機構を明らかにすることで、両構造物の優位点等を把握した。具体的には、米国型鉄骨ラーメン架構の軸力支持柱による層間変形集中の抑制効果を、柱群の剛性と架構の層せん断剛性の割合で評価した。

本研究では、架構内に弾性柱材を活用することで、架構の高さ方向に損傷を分散させ、層間変形集中を回避する方法を提案し、鉄骨構造物の耐震性能向上できることを示した。



(a) 三層



(b) 九層

図2 架構の総履歴吸収エネルギーに対する柱端・梁端の最大エネルギー比

### 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)

木村祥裕, 御幡結: 強震を受ける損傷制御型二層ブレース構造物の層間変形集中に対するブレース材の二次剛性の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻651号, 2010.5掲載予定

金田勝徳, 木村祥裕, 船津悠太, 和田章: 架構法の異なる日米の鉄骨ラーメン架構の耐震限界性能, 鋼構造論文集, 第16巻64号, pp.1-10, 2009.12

木村祥裕, 松尾陽平, 御幡結, 林田幸浩: 座屈劣化型二層ブレース架構の層間変形集中に及ぼす柱材の影響, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文集, 第17巻, pp.1-6, 2009.11

木村祥裕, 岩間聡史: 強震を受ける損傷制御型二層ブレース構造物の層間変形集中に対

する柱脚回転剛性の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第73巻628号, pp.973-982, 2008.6

木村祥裕, 松永高尚, 濱崎慎一: 冗長部材を有する鉄骨ラーメン構造物の縮小模型振動台実験, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文集, 第16巻, pp.421-424, 2008.11

木村祥裕, 御幡結: 二層ブレース架構の層間変形集中に及ぼすブレース材の二次勾配の影響, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文集, 第16巻, pp.396-399, 2008.11

木村祥裕, 天本朱美, Wang Ludi: 水平・回転剛性を有する偏心補剛H形鋼圧縮部材の必要補剛剛性, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文集, 第16巻, pp.33-36, 2008.11

木村祥裕, 天本朱美: 材長方向に偏心補剛されたH形鋼圧縮部材の座屈荷重に対する回転補剛剛性及びウェブ変形の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第614号, pp.147-153, 2007.4

木村祥裕: 損傷制御型二層ブレース構造物の層間変形集中に対する弾性柱材の抑制効果, 日本建築学会構造系論文集, 第612号, pp.187-196, 2007.2

木村祥裕, 岩間聡史: 二層ブレース架構の層間変形集中に及ぼす柱脚回転剛性の影響, 日本鋼構造協会 鋼構造年次論文集, 第15巻, pp.67-70, 2007.11

[学会発表] (計11件)

Y. Kimura and Y. Mihata: Effect of post yielding stiffness of braces on soft storey mechanism for two storey braced frames with restraint braces, 11th Nordic Steel Construction Conference, pp.1-6, 2009.9

Y. Kimura and S. Hamazaki: Effect of elastic columns on mechanism of damage control for Japanese and U.S. steel structures, 7th International Conference on Earthquake Resistant Engineering Structures pp.53-64, 2009.5

Y. Kimura and Y. Mihata: Elasto-Plastic Behavior for Two Story Braced Frames with Leaning Columns, 6th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp.681-685, 2009.3

Y. Kimura and A. Amamoto: Strength of Flexural-Torsional Buckling with Web

Deformation for H-shaped Compression

Members with Continuously Eccentric Bracings,  
Coupled Instabilities in Metal Structures 2008,  
pp.69-76, 2008.6

御幡結, 木村祥裕: 損傷制御型中低層ブレース  
架構の層間変形集中に対するブレース材  
の二次剛性の影響, 日本建築学会九州支部  
研究報告, 第 49 号, pp.369-372, 2009.3

松尾陽平, 木村祥裕, 御幡結: 座屈劣化型二  
層ブレース架構の層間変形集中に及ぼす柱  
材の影響, 日本建築学会九州支部研究報告,  
第 49 号, pp.305-308, 2009.3

御幡結, 木村祥裕: 二層ブレース架構の層間  
変形集中及び柱材作用モーメントに対する  
ブレース材の二次勾配の影響(その 1 層間  
変形集中率式の誘導と層間変形集中率), 日本  
建築学会九州支部研究報告, 第 48 号,  
pp.401-404, 2009.3

御幡結, 木村祥裕: 二層ブレース架構の層間  
変形集中及び柱材作用モーメントに対する  
ブレース材の二次勾配の影響(その 1 層間  
変形集中率式の誘導と層間変形集中率), 日本  
建築学会九州支部研究報告, 第 48 号,  
pp.401-404, 2009.3

天本朱美, 木村祥裕: 水平・回転剛性を有す  
る偏心補剛H形鋼圧縮部材の弾性座屈荷重  
その 1 弾性座屈荷重式の誘導と弾性座屈  
応力度, 第 4 6 回日本建築学会九州支部研  
究報告論文集pp. 465-468, 2008.3

天本朱美, 木村祥裕: 水平・回転剛性を有す  
る偏心補剛H形鋼圧縮部材の弾性座屈荷重  
その 2 必要補剛剛性, 第 4 6 回日本建築  
学会九州支部研究報告論文集pp. 469-472,  
2008.3

島津勝, 木村祥裕: H形鋼梁の塑性変形性能  
と履歴吸収エネルギーに及ぼすフランジ幅  
厚比とせん断スパン比の影響, 日本建築学  
会大会学術講演梗概集, C-1, pp.627-628,  
2007.8

[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◇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 (KIMURA YOSHIHIRO)  
長崎大学・工学部・教授  
研究者番号: 6 0 2 8 0 9 9 7

(2) 研究分担者

石原 直 (ISHIHARA TADASHI)  
国土交通省 国土技術政策総合研究所・  
建築研究部・主任研究官  
研究者番号: 5 0 3 7 0 7 4 7

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: