

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560685

研究課題名(和文) 鋼構造骨組の完全崩壊挙動と変形性能評価

研究課題名(英文) The complete collapse behavior and deformation capacity evaluation of a steel frame

研究代表者

金尾 伊織 (KANAOKA, Iori)

京都工芸繊維大学・工学科学研究科・准教授

研究者番号：80372564

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、梁横座屈を伴う鋼構造骨組の変形性能の定量化、十分な変形性能を有する梁の横補剛法の提案、梁横座屈後の骨組挙動の実験データの獲得である。数値解析、小型模型実験を実施し、骨組の変形性能のデータを取り纏め、骨組内の梁の性能を評価した。また、梁横座屈を伴う骨組の立体大たわみ挙動データを提供した。さらに、現行の端部補剛規定に加えて、端部補剛で挟まれたその中間部を細長比 $l_b/i_y=100$ 以下の間隔で補剛すれば、十分な性能を有することを示した。

研究成果の概要(英文)：The purposes of this study are following. The first is a quantification of the deformation capacity of the steel structure frame with lateral buckling. Second is the proposal of the lateral bracing method of a beam which has sufficient deformation capacity. The third is acquisition of the experimental data of the post-buckling behavior of frame. The numerical analysis and the small scale frame test were carried out. The deformation capacity of a beam within a frame was presented using the analysis data. Moreover, large deformation experimental data of spatial frame with lateral buckling was provided. Furthermore, The method that bracings are placed near plastic hinge and the remainder as equal distance of  $l_b/i_y=100$  was proposed.

研究分野：建築構造・鋼構造

キーワード：鋼構造 横座屈 横補剛 立体骨組実験

### 1. 研究開始当初の背景

近年の兵庫県南部地震や東日本大震災など大地震の多発により、骨組が崩壊に至るまでの性能を正確に把握し、安全性を確保する必要性が高まっていた。

一方、1981年以降の耐震設計規準では、座屈を起こさない設計が主流となり、座屈が耐震設計上問題となることはほとんどなかったが、旧耐震基準で建てられた建築の安全確保、近年の高強度鋼の利用、大胆な意匠上の要求などによる部材の小断面化など、座屈が骨組に与える影響を無視できなくなってきた。そのため、鋼構造骨組内の部材の座屈挙動や、座屈後挙動を含む骨組全体の性能評価が不可欠であるが、完全崩壊の実験データおよび数値解析データの蓄積が乏しく、骨組全体の性能を評価するには至っていない。骨組の完全崩壊に至る変形性能を評価するためには、完全崩壊骨組の実験および解析データの蓄積、十分な性能を保證するための梁の補剛方法の提案が不可欠であった。

### 2. 研究の目的

鋼構造骨組が崩壊に至るまでの耐力および変形性能を評価するためには、骨組内の部材に座屈が生じた後の骨組耐力の低下や靱性性能を明確にする必要があり、骨組内の梁の横座屈現象は極めて重要な問題となる。また、梁座屈後の骨組全体の挙動を明らかにしなければならない。

上記の必要性から、研究代表者は立体骨組の大変形挙動、部材の座屈や不安定現象を精度よく追跡できる数値解析法の開発<sup>1)~3)</sup>、鋼梁単体の横座屈耐力と変形能力を保持するための補剛の定量化<sup>4),5)</sup>、小型鋼骨組の完全崩壊実験に取り組んでおり<sup>6),7)</sup>、本研究では、以下を主な研究目的とする。

(1) 横座屈を許容する鋼梁を有する鋼構造骨組の変形性能の定量化

(2) 十分な変形性能を有する梁の横補剛法の提案

(3) 横座屈を許容する鋼梁を有する鋼構造骨組の座屈後挙動の実験データの獲得

### 3. 研究の方法

本研究は、数値解析と立体小型鋼骨組実験を2本の柱とする。

(1) 数値解析による梁の横座屈を許容する骨組の変形性能

研究代表者が開発している増分摂動法を用いた立体梁・柱有限要素法による立体骨組解析プログラムを用いて、大変形に至るまでの骨組挙動を解析し、耐力および変形性能について検討する。このプログラムは大たわみ挙動および横座屈などの不安定現象を追跡でき、精度は検証済みである<sup>1),2),4)</sup>。

対象とする骨組は1層1スパンの門型骨組であり、柱頭に水平力を単調載荷する。解析パラメータは以下を選択する。

#### 1. 柱と梁の剛性比

#### 2. 柱脚の拘束条件

#### 3. 柱断面形状 (H形柱, 角形鋼管)

#### 4. 梁断面形状 (細幅H形鋼, 中幅H形鋼)

データは、骨組内の梁の横座屈長さ、変形性能についてまとめる。

#### (2) 十分な変形性能を有する梁の横補剛法

現行の耐震設計基・規準において、保有耐力横補剛として、均等間隔補剛規定と端部補剛規定があり<sup>8)</sup>、端部補剛規定による補剛方法は補剛数が少なく、高い補剛効果を示ことが明らかにされた<sup>9)</sup>。しかし、端部補剛の設計法は、様々な補剛間隔が存在し、設計が複雑であることから、有限要素法プログラムを用いてより簡便な横補剛方法を提案する。

単純梁の有限要素モデルを用いた数値解析を行い、パラメータは下記とする。

#### 1. 梁断面形状 (細幅H形鋼, 中幅H形鋼)

#### 2. 補剛間隔

データを取りまとめて、簡易で十分な変形性能を確保できる補剛方法を提案する。

#### (3) 梁横座屈後の骨組大たわみ実験

立体骨組の実験データは少なく、崩壊に至る大たわみ挙動を対象としたものは極めて少ないことから、1層1スパン小型鋼立体骨組の完全崩壊実験を実施する。スパン500mm、階高425mm、梁H-10×8×1×1、H-10×6×1×1、柱■-9×9、柱脚ピンの小型鋼立体骨組を対象とし、地震力を模擬した繰返し水平力を受ける実験を実施する。パラメータは以下とする。

#### 1. 載荷履歴 (単調載荷, 繰返し載荷)

#### 2. 静的載荷, 動的載荷

#### 3. 補剛位置

(4) 以上の結果をまとめて、横座屈を許容した骨組の完全崩壊までの耐力・変形能力を示し、立体骨組実験データを提供する。

### 4. 研究成果

#### (1) 骨組内の梁耐力と変形性能

骨組内の梁の耐力および変形性能を検討する目的で、1層1スパンの門形骨組を対象とした数値解析を行った。

解析対象は図1に示す両柱頭に均等に水平力を受ける門形骨組であり、階高 $h$ は3500mm、スパンは細長比 $\lambda_y=170\sim 800$ に相当する長さとする。柱頭の面外並進変形を拘束しており、柱頭のねじれは拘束していない。骨組内の梁の変形性能を把握するため、設計規準などでは横補剛が必要とされる梁に対しても横補剛は設けていない。

本論文では、座屈後挙動も追跡できる増分摂動法を導入した一軸材料線要素からなる梁・柱有限要素法による立体骨組解析プログラムを用いている。拘束条件は、柱頭は面外の並進変位のみを拘束し、柱脚完全固定の場合は、節点⑩、⑪の全変位、ピンの場合は、節点⑩、⑪の全並進変位とZ軸回りのねじれ

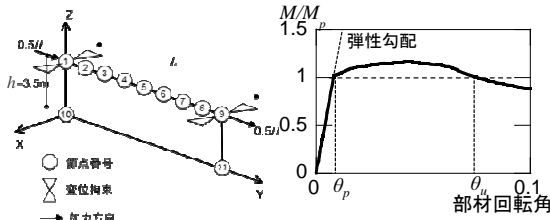


図1 解析対象骨組

図3 部材塑性変形倍率指標の取り方

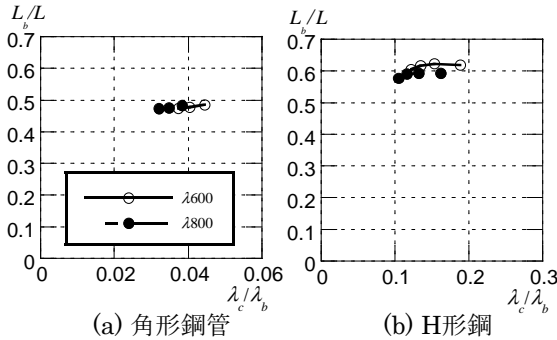


図2 横座屈長さの検討 (柱脚固定細幅梁)

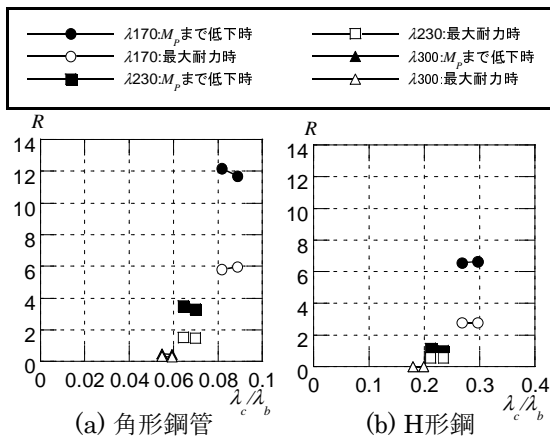


図4 骨組内の梁の変形性能 (ピン柱脚・細幅梁)

回転および反りを拘束している。解析パラメータは梁・柱断面、スパン、柱脚の拘束条件である。梁は H-400×200×8×13, H-340×250×9×14, 柱は□-250×250×16~□-350×350×16, H-340×250×9×14 ~ H-458×417×30×50の角形鋼管およびH形鋼柱である。

### ① 骨組内の梁耐力

解析結果より、弾性横座屈である $\lambda_b=600\sim 800$ のスパンを対象として、梁の座屈長さを求める。鋼構造限界状態設計指針<sup>10)</sup>に示された単純支持梁の弾性横座屈耐力式より、 $L_b$ について解くと、式(1)を得る。式(1)で得られる材長を相当座屈長さ $L_b$ と呼ぶこととする。ここで、モーメント係数は $C_1=2.3$ とし、 $M_e$ には解析より得られた横座屈耐力を代入する。

$$L_b = \sqrt{\frac{\pi^2 C_1^2 E I_y J + \sqrt{(\pi^2 C_1^2 E I_y J)^2 + \pi^4 C_1^2 M_e^2 E^2 I_y I_w}}{2 M_e^2}} \quad (1)$$

図2に座屈長さ・細長比関係を示す。縦軸は $L_b$ を材長で除した座屈長さ係数を示し、横軸は柱と梁の一般化細長比の比 $\lambda_c/\lambda_b$ としている。 $\lambda_c/\lambda_b$ は柱と梁のねじり剛性を考慮した指

標として用いる。

角形鋼管柱の場合、概ね $L_b=0.5L$ となり、ほぼ完全固定とみなせる。一方、H形鋼柱の場合、柱の拘束度が角形鋼管柱よりも小さいため、横座屈長さが $0.5L$ を上回り、 $0.65L$ と評価できる。

以上より、解析で得られる横座屈耐力に対して、安全側の評価として横座屈長さを算出すると、角形鋼管柱に取りつく梁の座屈長さは $L_b=0.55L$ 、H形鋼柱に取りつく梁の座屈長さは $L_b=0.65L$ とできる。この長さを鋼構造限界状態設計指針に示された単純支持梁の弾性横座屈耐力式に適用し、良好な結果を得ることを確認している。

### ② 骨組内の梁の塑性変形能力の評価

骨組内の梁の変形性能について検討する。梁の変形性能評価は、骨組内の梁耐力-梁部材回転角関係において、最大耐力以降、 $M_p$ まで低下したときの梁部材回転角 $\theta_d$ を、 $M_p$ に対応する弾性梁部材回転角 $\theta_p$ で除したものを塑性変形倍率 $\mu$ とし、 $\mu$ から弾性変形分を減じた塑性変形能力 $R$ を指標とする(図3)。

図4に $R$ -細長比関係を示す。 $\bullet$ ,  $\blacksquare$ ,  $\blacktriangle$ は梁耐力が $M_p$ まで低下する時、 $\circ$ ,  $\square$ ,  $\triangle$ は梁の耐力が最大時の変形能力を示す。

$\lambda 300$ についてみると、角形鋼管柱の場合は $R=2$ であるが、H形鋼柱では $R$ は1を下回り、柱のねじり剛性が高いほど、骨組内の梁の変形能力は上昇することがわかる。柱のねじり剛性が梁の変形性能に影響を与えることがわかる。横補剛がなく横座屈が生じて、柱が角形鋼管のようにねじり剛性が高い断面であれば、梁の変形性能の向上が期待できるが、H形鋼のようにねじり剛性が低い断面においては、梁に耐力低下を生じさせないようにすることが重要である。

### ③ 結論

得られた知見は以下である。

1. 柱脚固定に比べて、柱脚ピンの場合、横座屈発生後の骨組の耐力低下が著しい。
2. 角形鋼管柱の方がH形鋼柱よりも、相当座屈長さが短く、角形鋼管柱では $0.55L$ 、H形鋼柱では $0.65L$ で評価できる。
3. 骨組内の梁の変形能力は、梁の取り付く柱のねじり剛性に大きく影響を受ける。角形鋼管柱の場合は、H形鋼柱と比較して高いねじり剛性を有しているため、梁の変形能力が約2倍大きくなる。

### (2) 十分な変形性能を有する梁の横補剛法

汎用有限要素法プログラム Marc.2010 を用いる。図5(a)に示す単純梁解析モデルを対象とし、梁断面 H-500×200×10×16, H-600×200×11×17, H-800×300×14×26, 細長比 $\lambda_b=110, 250, 570$ に相当する材長について検討する。応力ひずみ関係はバイリニアモデル、接線弾性係数 $E=2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、降伏応力度 $\sigma_y=235 \text{ N/mm}^2$ とし、降伏後の接線係数は $E/100$ としている。載荷点の節点のX, Y方向変位およびねじれ回転角を固定し、

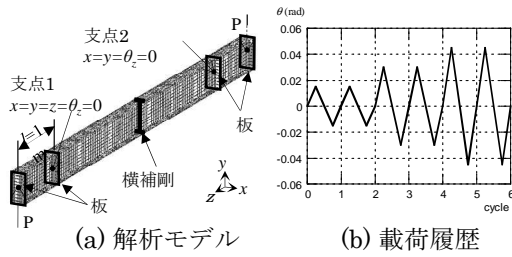


図5 数値解析モデル

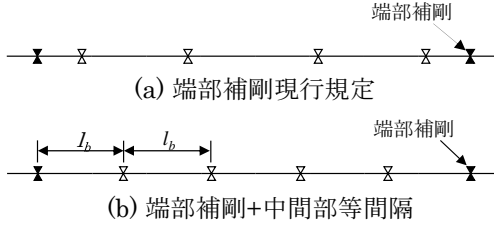


図6 補剛配置図

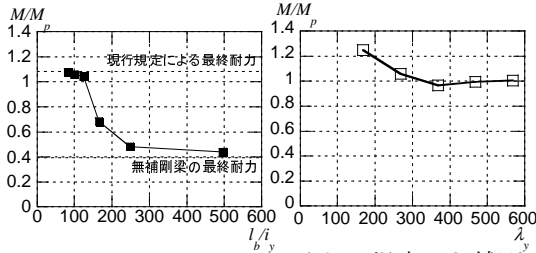


図7 補剛間隔の影響

図8 提案した補剛方法の効果

ピン支点は全並進変位とねじれ回転角を拘束，ローラー支点は X, Y 方向変位，ねじれ回転角を拘束している．横補剛を配置する場合は，横補剛配置位置の断面の全節点の X 方向変位とねじれ回転角を拘束している．図 5(b)の载荷履歴を採用する．

### ① 補剛方法の提案

図 6(a)の現行の端部補剛方法(端部補剛 A)の性能の高さは確認されているため，中間部の補剛を簡単にする目的で，(b)に示すように端部補剛規定に従った横補剛を梁両端部に配置し，その中間部を均等間隔で補剛する方法の必要補剛間隔を検討する．

$\lambda_y=570$ の梁を対象として，中間部の補剛長さを変化させた場合の最終耐力の 1 例 (H-600×200) を図 7 に示す．縦軸は梁端曲げモーメントを全塑性モーメントで除して無次元化し，横軸は補剛間隔を示す．最終耐力とは，繰返し载荷時の最終サイクルの負側の耐力である．補剛間隔が  $l_b/i_y=100$  よりも短い場合，最終耐力が全塑性モーメントを維持していることがわかる．

### ② 提案した補剛方法の効果

端部補剛で挟まれた中間部に補剛間隔  $l_b/i_y=100$  で横補剛を均等配置する方法 (端部補剛 B) の補剛効果について， $\lambda_y=170\sim 570$  に変化させて数値解析を行った．図 8 に梁の細長比と最終耐力の関係 (H-600×200) を示す．縦軸は梁端曲げモーメントを全塑性モーメントで除して無次元化し，横軸は材長を示す．いずれの長さも最終耐力は全塑性モーメント以上の耐力を示し，十分な耐力と変形能力を有することがわかる．

### ③ 結論

得られた知見は以下の通りである．

1. 端部補剛規定に加えて，端部補剛で挟まれたその中間部を  $l_b/i_y=100$  以下の間隔で補剛することによって，十分な効果を発揮することを示した．
2. 提案した補剛方法は，いずれの材長および断面においても，最終耐力が概ね全塑性モーメントを維持できることを示した．

(3) 横座屈を有する小型鋼立体骨組のたわみ挙動実験

### ① 小型鋼立体骨組の静的実験

図 9 に実験の概要を示す．試験体は階高 425mm，スパン 500mm の 1 層 1 スパン立体骨組である．柱 ■-9×9，梁 H-10×8×1×1，H-10×6×1×1 は，10×10mm の SS400N 級鋼材の角棒鋼材を切削加工して製作している．補剛材には丸鋼を用い，梁のウェブ中央位置に  $\phi 4$  の孔をあけ，先端をネジ切りした補剛材を通してボルトで止め，梁と補剛材を取り付ける．

スクリージャッキを節点①,④に接続し，手回しでジャッキを伸縮させて载荷を行う．柱頭部の変形を拘束しないように面内回転できる治具をジャッキと柱頂部の間に取り付けている．荷重は剛床フレームと反力治具との間に設置した荷重計でベースシアを計測した．変位は，1 節点につき 4 つの巻き込み変位計を用い，節点①,②,③,⑥の 3 次元変位を計測する．柱脚部は全方向回転可能なピン治具を用いており，接合部は剛，柱脚部はピンとして扱う．载荷履歴は層間変形角  $1/100\text{rad}$  から  $1/3\text{rad}$  まで漸増繰返し载荷を行う．材料強度は材料実験によって得ている．試験体は，無補剛骨組，補剛 1 本(LSD<sup>10)</sup>，補剛 2 本(塑性指針<sup>11)</sup>，補剛 5 本(保有耐力横補剛<sup>8)</sup>)の骨組 4 体に加え，提案した補剛効果を検討するため，梁 H-10×6×1×1 の骨組について，端部補剛 A，端部補剛 B の試験体 2 体を対象とする．

図 10 に荷重-面内変位関係を示す．図中に崩壊荷重を示す．いずれも最大耐力は崩壊荷重以上であり，梁耐力は全塑性耐力を示した．無補剛骨組では，繰返し载荷ごとに耐力低下が見られ，梁に圧縮軸力が入力される正側载荷時の耐力低下が大きい．

(a)~(d)より，横補剛を 1 本配置すると，無補剛骨組よりも耐力低下が抑えられるが，負側载荷時の耐力の方が高いことが確認できた．横補剛を 2 本配置すると，耐力低下は抑えられ，最終状態でも最大耐力の 74%程度の耐力を維持している．正側よりも負側の耐力の方が高く，負側载荷時には耐力低下も見られない．また，座屈形状は，補剛位置が反曲点にならないことを観察した．横補剛 5 本配置すると耐力低下がほとんど生じず，横座屈も観察できない．負側载荷時においても降伏後も荷重が低下しない．

(e), (f)より，端部補剛 A は極めて安定した

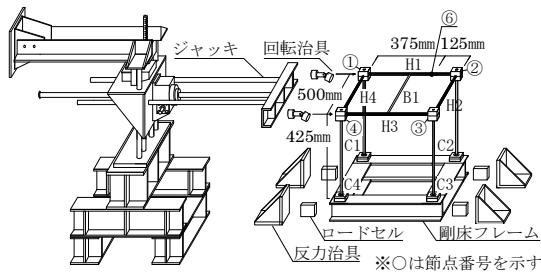


図9 実験概要

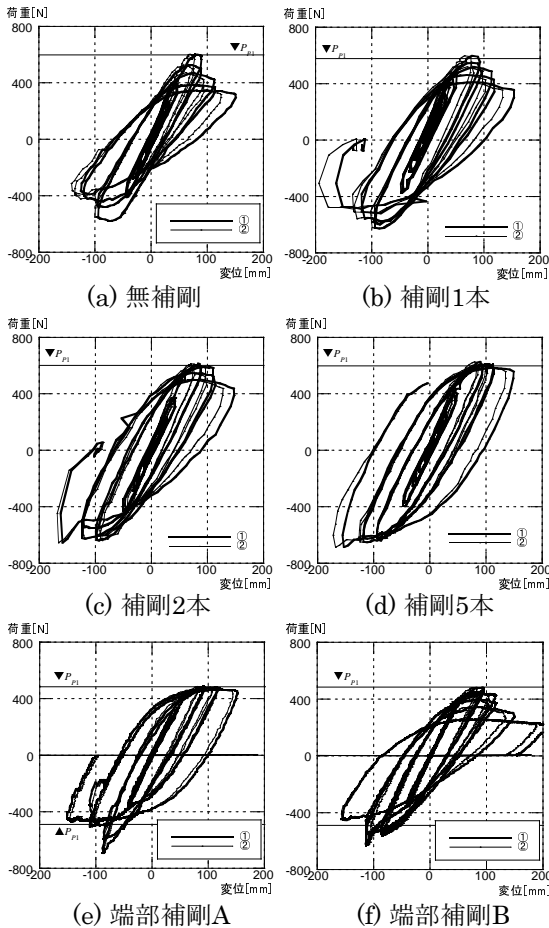


図10 静的実験結果 (荷重-面内変位関係)

履歴を描いており、 $1/3\text{rad}$  までねじれ変形もほとんど確認できなかった。端部補剛 B は水平変位  $85.0\text{mm}$  ( $1/5\text{rad}$ ) の大変形時に最大耐力を示すが、その後耐力劣化を示した。端部補剛 B は、耐力は十分であるが、 $1/5\text{rad}$  以上の極めて大変形時には面外変形が生じることを確認した。

#### ② 小型鋼立体骨組の動的実験

図 11 に実験概要を示す。実験装置は節点 ①、③には 3 軸加速度計を設置し、XYZ 方向の加速度を計測する。変位は、VENUS3D を用いて計測する。P- $\Delta$ 効果を考慮して加速度を受けて試験体が崩壊機構を形成するために要する錘質量として、各節点に約 180N、計 720N の錘を配置する。試験体は、端部補剛 A と端部補剛 B の骨組である。地震波は、試験体の固有周期と地震波の卓越周期に近い JMAKOBE-NS 波とする。なお、同じ試験体について、静的実験も同時に行っている。

図 12 に動的実験結果と静的実験結果を比

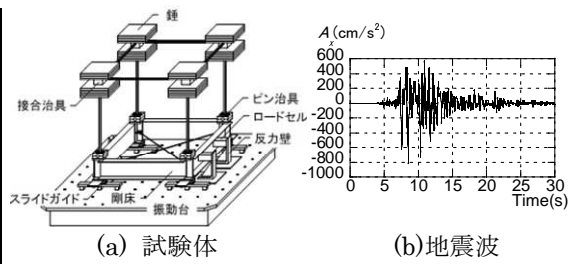


図11 実験概要

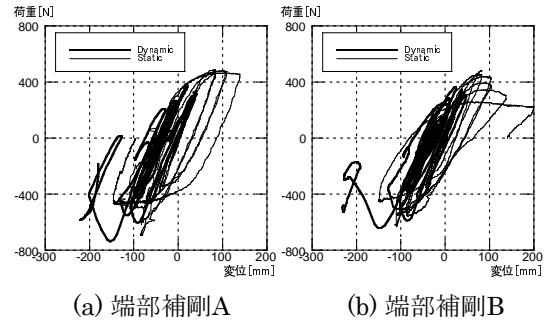


図12 実験結果 (荷重-面内変位関係)

較した結果を示す。耐力は動的実験の方が大きく、最大耐力以降の耐力劣化については、静的・動的実験ともに概ね同じであることがわかる。また、面外変形についても、概ね同じであることを確認している。端部補剛 A の場合、静的実験は極めて安定した履歴を描いているが、動的実験は  $1/2.8\text{rad}$  で最大耐力以降の耐力低下が大きく、静的実験よりも耐力が低下している。梁のねじれ回転角は静的・動的実験においてもほとんど生じていないことを確認しており、端部補剛の効果が極めて高いことがわかる。端部補剛 B は、動的実験では  $1/2.8\text{rad}$  の大変形時に最大耐力を示しており、静的よりも動的の方が、大変形時に最大耐力を示すことが確認できる。また、最大耐力以降は、静的・動的実験ともに、耐力低下しているが、極めて大変形時である。

その他、横座屈発生時の骨組耐力、面外変形について、静的実験と動的実験を比較した。その結果、動的実験の耐力は、静的実験よりも  $5\sim 25\%$  程度上昇するが、横座屈発生時の耐力については、一定の傾向は見られないことを確認した。ねじれ回転角は、概ね同じか動的挙動の方が大きくなる傾向にあることを確認した。動的挙動の方がねじれ回転角が大きく、面外変位が小さいことから、動的挙動では、横座屈の座屈モードは生じにくいものの、梁のねじれ回転が先行する可能性が考えられる。

#### ④ 結論

得られた知見は以下である。

1. 極めて大きな変形時の立体骨組挙動の 3 次元静的・動的実験データを獲得した。
2. 補剛付骨組の骨組耐力は梁横座屈発生後低下するが、緩やかであることを確認した。また、載荷方向によって、梁に圧縮軸力が入力される場合と引張軸力が入力される場合では、最大耐力および梁の横座屈後の耐力低下が異なることを示した。

3. 補剛材の効果を実験的に確認した。
4. 動的挙動では静的挙動と比較して、骨組の最大耐力が向上することを示した。

<参考文献>

- 1) 金尾(奥田)伊織, 森迫清貴, 中村武: 一軸材料線要素からなる梁-柱有限要素を用いた H 形鋼梁の弾塑性横座屈挙動の解析, 日本建築学会構造系論文集, 2000, 第 527 号, pp.95-101.
- 2) 金尾(奥田)伊織, 森迫清貴, 中村武: 一軸材料線要素からなる梁-柱有限要素を用いた鋼立体ラーメンの弾塑性挙動の解析, 日本建築学会構造系論文集, 2001, 第 533 号, pp.99-106.
- 3) 金尾伊織, 森迫清貴, 村本真: 水平力を受ける鋼 1 層ラーメンの梁横座屈発生後挙動に関する基礎的考察, 日本建築学会構造系論文集, 第 649 号, pp.643-649, 2010.3.
- 4) 金尾伊織, 中島正愛, 劉大偉: 繰り返し載荷を受ける H 形鋼梁の横座屈挙動と横座屈補剛, 日本建築学会構造系論文集, 2001, 第 544 号, pp.147-154.
- 5) 金尾伊織, 中島正愛, 劉大偉: 繰り返し載荷を受ける鋼標準梁・RBS 梁の必要横補剛条件, 日本建築学会構造系論文集, 2002, 第 556 号, pp.131-137.
- 6) 村本真, 金尾伊織, 森迫清貴: 鉛直荷重時における鋼構造立体剛接骨組の不安定挙動, 日本建築学会構造系論文集, 日本建築学会構造系論文集, Vol.73, No.632, pp.1765-1772, 2008.10
- 7) 金尾伊織, 村本真, 森迫清貴: 梁の横座屈を含む小型鋼立体ラーメンの大たわみ解析, 構造工学論文集, Vol.60B, 2014.3, pp.205-211
- 8) 国土交通省住宅局建築指導課: 建築物の構造関係技術規準解説書, 2007.
- 9) 于征, 金尾伊織, 森迫清貴: 日中米の横補剛規定を満たす H 形鋼梁の弾塑性挙動解析, 構造工学論文集, Vol. 59B, pp. 221-230, 2013. 3.
- 10) 日本建築学会: 鋼構造限界状態設計指針・同解説, 第 3 版, 2010
- 11) 日本建築学会: 鋼構造塑性設計指針, 第 2 版, 2010

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 金尾伊織, 村本真, 河合柳之介, 市田侑平, 武内大輝, 森迫清貴: 横補剛を有する小型立体鋼骨組の繰り返し載荷実験と数値解析, 構造工学論文集, 査読有, Vol.61B, 2015.3, pp.199-208
- ② 中尾浩之, 金尾伊織: 鋼構造ラーメン骨組内の梁耐力と変形性能に関する基礎的考察, 構造工学論文集, 査読有, Vol.60B, 2014.3, pp.257-264
- ③ 于征, 金尾伊織, 森迫清貴: 繰り返し載荷を受ける H 形鋼梁の保有耐力横補剛に関

する数値解析的研究, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第 79 巻, 第 696 号, 2014.2, pp.323-329

[学会発表] (計 8 件)

- ① 金尾伊織, 村本真: 小型鋼立体骨組の大変形挙動, 日本建築学会大会(東海), 東海大学(平塚市), 2015.9.5
- ② 武内大輝, 坂下由佳, 村本真, 金尾伊織: 横補剛を有する小型鋼立体骨組の大たわみ挙動, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 大阪工業技術専門学校(大阪市), 2015.6.28
- ③ 于征, 金尾伊織: 横補剛を有する H 形鋼梁の面外変形に関する基礎的考察, 日本建築学会大会(近畿), 神戸大学(神戸市), 2014.9.12
- ④ 于征, 金尾伊織: 横補剛を有する H 形鋼梁の面外変形に関する基礎的考察, 日本建築学会, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 大阪工業技術専門学校(大阪市), 2014.6.21
- ⑤ 河合柳之介, 武内大輝, 村本真, 金尾伊織: 横補剛を有する小型立体骨組の繰返し載荷実験, 日本建築学会大会(北海道), 北海道大学(札幌市), 2013.8.31
- ⑥ 武内大輝, 河合柳之介, 村本真, 金尾伊織: 鋼構造小型立体骨組の振動台実験, 日本建築学会大会(北海道), 北海道大学(札幌市), 2013.8.31
- ⑦ 河合柳之介, 武内大輝, 村本真, 金尾伊織: 横補剛を有する小型立体骨組の繰返し載荷実験, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 大阪工業技術専門学校(大阪市), 2013.6.15
- ⑧ 武内大輝, 河合柳之介, 村本真, 金尾伊織: 鋼構造小型立体骨組の振動台実験, 日本建築学会近畿支部研究発表会, 大阪工業技術専門学校(大阪市), 2013.6.15

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金尾 伊織 (KANAOK Iori)

京都工芸繊維大学工芸科学研究科・准教授  
研究者番号: 80372564

(4) 研究協力者

村本 真 (MURAMOTO Makoto)

京都工芸繊維大学工芸科学研究科・講師  
研究者番号: 70510296

于 征 (YU Zheng)

京都工芸繊維大学工芸科学研究科・研究員

中尾 浩之 (NAKAO Hiroyuki)

京都工芸繊維大学大学院・大学院生

河合 柳之介 (KAWAI Ryunosuke)

京都工芸繊維大学大学院・大学院生

武内 大輝 (TAKEUCHI Daiki)

京都工芸繊維大学大学院・大学院生

坂下 由佳 (SAKASHITA Yuka)

京都工芸繊維大学・学部生