

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420570

研究課題名(和文) 中低層鉄骨造建物の崩壊余裕度と評価手法に関する基礎研究

研究課題名(英文) Evaluate collapse margin of medium-low-rise steel buildings

研究代表者

松宮 智央 (MATSUMIYA, Tomohiro)

近畿大学・建築学部・准教授

研究者番号：20454639

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：部材端部の破断性状と骨組の降伏機構が建物の終局限界に及ぼす影響を評価できる性能評価手法構築のための基礎研究として、同一の鉄骨造の柱梁接合部試験体に対して、載荷速度(周期1 Hzと0.01 Hz)を因子とした漸増振幅繰返し載荷実験を実施した。本実験から得られた知見を以下に示す。

(1) 載荷速度の違いは、材料強度に影響するほどのひずみ速度の違いをもたらさなかったにも関わらず、多少の挙動の差を生み出した。

(2) 動的載荷では、静的載荷と比較してより早期に破断し、塑性変形能力が劣った。高力ボルト摩擦接合における滑りなどが原因で、急速な負荷が溶接欠陥を起点とした亀裂伝播を早めた可能性が考えられる。

研究成果の概要(英文)：For beam-to-column connection of the steel building, the gradual increase amplitude cyclic loading experiment which assumed loading speed (period 1Hz and 0.01Hz) were carried out. This experiment is fundamental researches for the performance evaluation technique construction that can evaluate the influence that the fracture property of the member end and the yield mechanism of the frame give to the ultimate state of the building. The conclusions obtained from this experiment are (1) The difference in loading speed produced differences of some behavior. (2) In the dynamic loading, beam-to-column connection fracture occur in comparison with static loading earlier, and plastic deformation capacity was inferior. For sliding in the high-strength bolt friction joint, the possibility that it hastened the crack spread started from the welding defect is thought about.

研究分野：鉄骨構造

キーワード：鉄骨造建物 柱梁接合部 極大地震 終局限界状態 耐力劣化

1. 研究開始当初の背景

我が国の建築物の着工床面積統計を見ると、木造建物について鉄骨造建物が2番目に多い。さらに、鉄骨造建物の着工床面積を階数別に見ると、10階建て程度までのいわゆる中低層建物が圧倒的に多く、全体のおよそ9割以上を占めている。つまり、我々の町に存在する鉄骨造建物の大半は中低層である。切実な問題として、近年の大地震で得られた強震動記録(過大地震動)は、多くの建物が建設された当時の耐震設計で考える地震力を上回っている。実際に兵庫県南部地震において、これら中低層鉄骨造建物のうち、新耐震設計施行前に建てられた建物の多くが甚大な被害を受けた。被害を助長した要因に品質不良があった事実を目を向ければ、今も中低層鉄骨造建物には既存不適格のものが多く潜在している可能性がある。しかし、現状の建物の耐震安全性を保証するためには、建設当時もしくは現行の耐震設計で、想定する以上の地震に対して、どの程度の倒壊安全余裕度を有するかを明らかにしなければならない。また、倒壊余裕度を把握する上で、RC床スラブの寄与は無視できないが、現行の耐震設計において、RC床スラブの寄与は加味されていない。

2. 研究の目的

鉄骨造建物の設計では、骨組が本来保有している塑性変形能力を十分に発揮できるように、例えば柱及び梁の仕口部は保有耐力接合とし、骨組の急激な耐力低下が生じる恐れがないことを確かめている。しかし、極大地震時において設計限界状態を超える大変形が生じることを想定し、建物の真の終局限界状態を検討するためには、部材の耐力低下を伴う動的弾塑性応答までを評価する必要がある。現行の耐震設計に忠実に従った建物でも、終局的には、大変形領域において設計で想定しない変形を経て崩壊に至る可能性が高い。本研究では、部材端部の破断性状と骨組の降伏機構が建物の終局限界に及ぼす影響を評価できる確率論的性能評価法の構築に取り組む。

3. 研究の方法

図1に示す載荷システムを構築した。ラーメン構造の部分架構を横倒しに向けて、柱を振動台に対して単純支持し、梁の先端は載荷梁を介して振動台外の反力床に結合した。振動台の動きによって、試験体の梁に繰返し曲げ・せん断変形を生じる仕組みであった。振動台を利用して梁に構面外補剛を施し、載荷

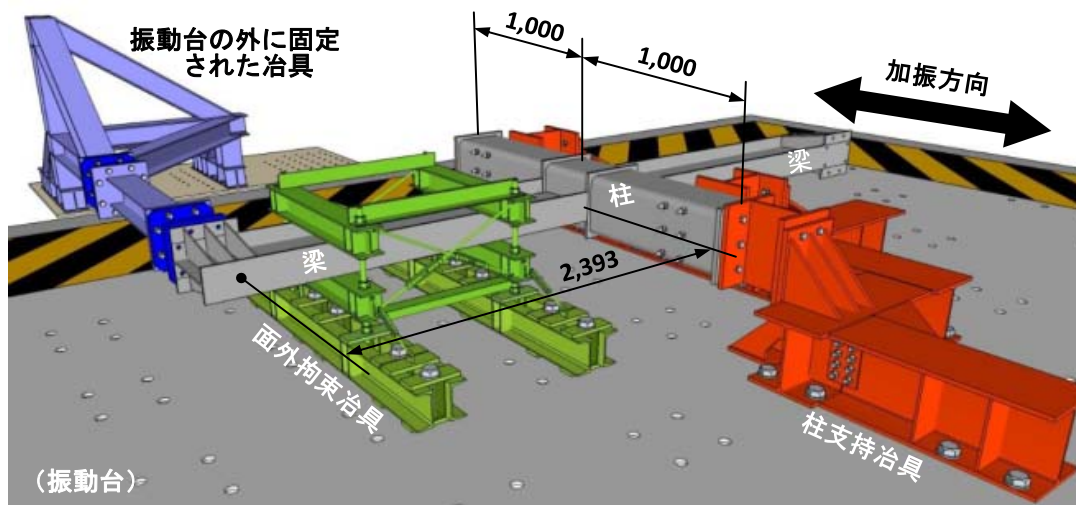


図1 試験体セットアップ (単位: mm)

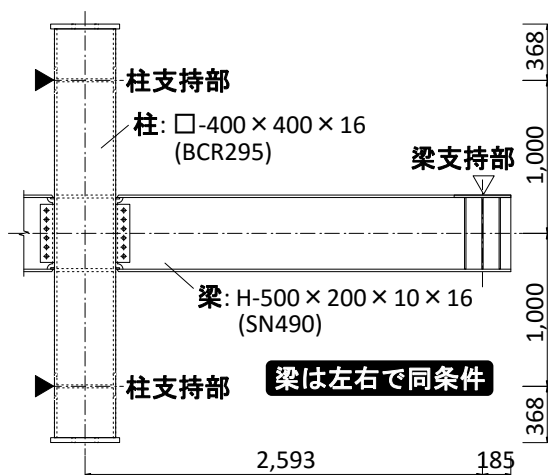


図2 試験体 (単位: mm)

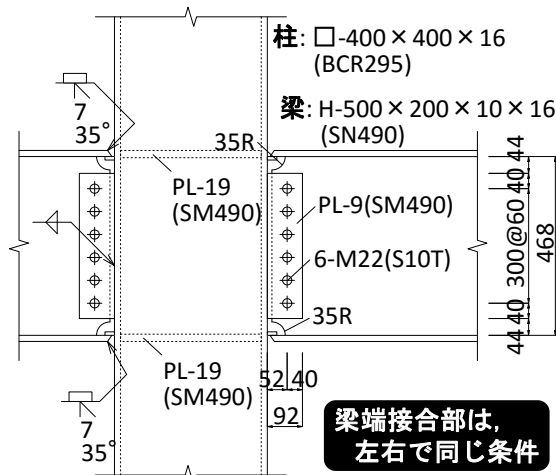


図3 接合部詳細 (単位: mm)

梁の両端に付けたピン型2軸ロードセルで荷重を計測した。

図2に試験体の図面を示す。試験体は、柱を共有することで、2つのト形試験体を1体の十字形試験体に合わせた鉄骨造の柱梁接合部である。柱の反極点間長さは2,000 mm、梁の荷点(反極点)から柱芯までの距離は2,593 mmであった。内ダイアフラム形式の柱梁接合部を採用し、梁にSM490A材のH-500×200×16×10を、柱にボックスカラムを模擬してBCR295材の□-400×400×16を用いた。表1に、引張試験に基づく鋼材の機械的性質を記す。図3に柱梁接合部の詳細を示す。柱梁接合部は、初期超高層ビル(引用文献①)を模擬して、梁ウェブを高力ボルト摩擦接合とし、梁フランジ溶接部のスカラップはスカラップ底にアールをとらない半径35 mmの1/4円形とした。梁フランジの完全溶込み溶接には、梁の外側からの連続下向き溶接を可能にする、工場溶接の詳細を採用した。シア板(板厚9 mm)はウェブより薄く、高力ボルトの本数も限られたために、ウェブの応力伝達が不十分な条件であった。ウェブ接合部の曲げ耐力が小さく、梁フランジの溶接詳細がスカラップ底で応力集中を来しやすい形式であったために、現行の柱梁接合部と比較して小さな塑性変形で梁フランジ接合部が破断することが予測された。

試験体に所定の漸増振幅繰返し層間変形角を与えるように振動台を変位制御した。図4に振動台変位の履歴を示す。試験体のうち1体を周期1 Hz(動的)で3段階に分けて、もう1体を周期0.01 Hz(静的)で2段階に分けて載荷した。振幅0.00375 rad, 0.005 rad, 0.0075 radを6回ずつ、0.01 radを4回、0.015 rad, 0.02 rad, 0.03 rad, 0.04 radを

それぞれ2回ずつ繰り返したあと、振幅0.05 radを破壊に至るまで継続した。ただし、静的載荷では、振幅0.005 radまでをA段階、0.015 radまでをB段階、残りをC段階と3回に分けて、動的載荷では、振幅0.005 radまでをA段階、残りをB段階と2回に分けて実施した。動的・静的載荷に関わらず、各段階の間で振動台を休止し、30分程度のデータ収集・観察時間をとった。

図5に実験より得られた梁端の曲げモーメント $\delta M$ と層間変形角の履歴関係を、引張試験に基づく降伏強度から算定した $M_p = 681 \text{ kN}\cdot\text{m}$ とともに示し、写真1に実験終了後の接合部を示す。反力治具が滑ったために、層間変形角は目標より若干小さかったことに留意されたい。

静的載荷では、振幅0.02 radの途中で梁フランジの亀裂進展が原因で耐力が低下し、多数回繰り返した振幅0.05 radでは、一方のフランジが破断し、もう一方のフランジは幅半分だけ繋がっている状態だった。動的載荷では、静的載荷と比較して若干早い段階で耐力低下が始まり、振幅0.05 radでは両方の梁フランジが破断しており、梁ウェブだけで曲げに抵抗する状態だった。履歴曲線の凹凸は、梁と補剛装置の摩擦によるものと思われる。振幅0.05 radの載荷を多数回繰り返したが、損傷はほとんど進展しなかった。いずれの試験体も、梁フランジが破断したあとは梁ウェブが伝達する曲げモーメントを受けて、鋼管柱が大きく面外変形した。静的載荷では、破断したフランジが再接触したことによる剛性・耐力の回復が見られたが、動的載荷では、破断した両フランジの間隙が増大し、ほとんど再接触しなかった。

実験終了後の観察から、梁フランジの破断が当初想定したスカラップ底でなく、梁フランジ外縁の溶接始末端を起点としたこと、完全溶込み溶接の柱側に溶込み不足があったこと、この溶込み不足に沿って亀裂が進展したことが確認された。梁ウェブ接合部のモーメント伝達効率が低かったために、スカラップ底に応力集中を生じなかったものと考えられる。梁ウェブにも溶接始末端に亀裂を生じていたが、鋼管柱が面外変形したために、梁ウェブが伝達する曲げモーメントが小さく抑えられ、多数回繰返しを経ても梁ウェブの亀裂はある程度以上には進展しなかった。

表1 材料試験結果

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
柱 BCR295	379	457
梁フランジ SM490	336	519
梁ウェブ SM490	374	531

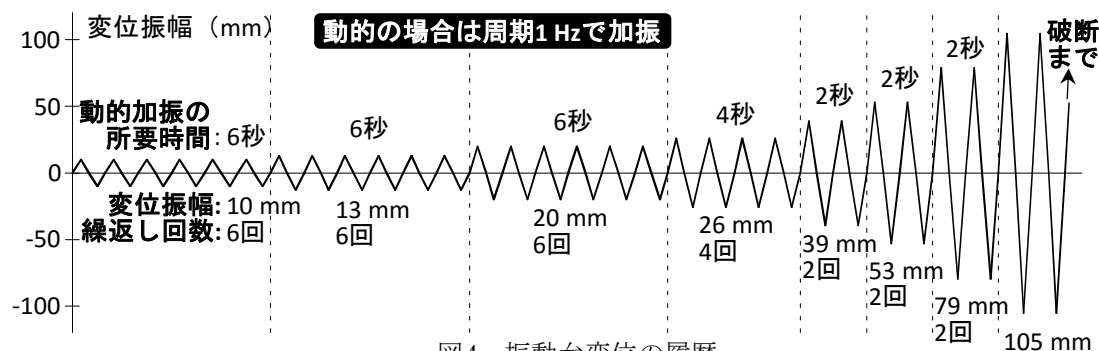


図4 振動台変位の履歴

4. 研究成果

汎用性の高い荷重装置を構築し、同一の鉄骨造の柱梁接合部試験体に対して、荷重速度（周期 1 Hz と 0.01 Hz）を因子とした漸増振幅繰返し荷重実験を実施した。本実験から得られた知見を以下に示す。

- (1) 荷重速度の違いは、材料強度に影響するほどのひずみ速度の違いをもたらさなかったにも関わらず、多少の挙動の差を生み出した。
- (2) 動的荷重では、静的荷重と比較してより早期に破断し、塑性変形能力が劣った。高力ボルト摩擦接合における滑りなどが原因で、急速な負荷が溶接欠陥を起点とした亀裂伝播を早めた可能性が考えられる。

<引用文献>

- ① 山田祥平・北村有希子・吹田啓一郎・中島正愛：初期超高層ビル柱梁接合部の実大実験による耐震性能の検証，日本建築学会構造系論文集，No. 623，pp. 119-126，2008

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計 7 件）

- ① 松宮智央・岡崎太一郎・長江拓也・高橋典之・丸山一平・梶原浩一・中澤博志・御子柴正：部分架構の動的荷重実験と同時損傷評価手法の開発，日本建築学会北海道支部研究発表会（北海道室蘭市），2017. 6. 24

- ② 岡崎太一郎・中田和志・松宮智央・長江拓也・高橋典之・丸山一平・中澤博志・御子柴正：大型振動台を用いた構造骨組加力実験と解析評価 その1 実験手法と S 試験体の履歴応答，日本建築学会大会（広島県広島市），2017. 8. 31

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松宮 智央 (MATSUMIYA, Tomohiro)  
 近畿大学・建築学部・准教授  
 研究者番号：20454639

(2) 研究分担者

岡崎 太一郎 (OKAZAKI, Taichiro)  
 北海道大学・工学研究科・教授  
 研究者番号：20414964

長江 拓也 (NAGAE, Takuya)  
 名古屋大学・減災連携研究センター・准教授  
 研究者番号：90402932

高橋 典之 (TAKAHASHI, Noriyuki)  
 東北大学大学院・工学研究科・准教授  
 研究者番号：60401270

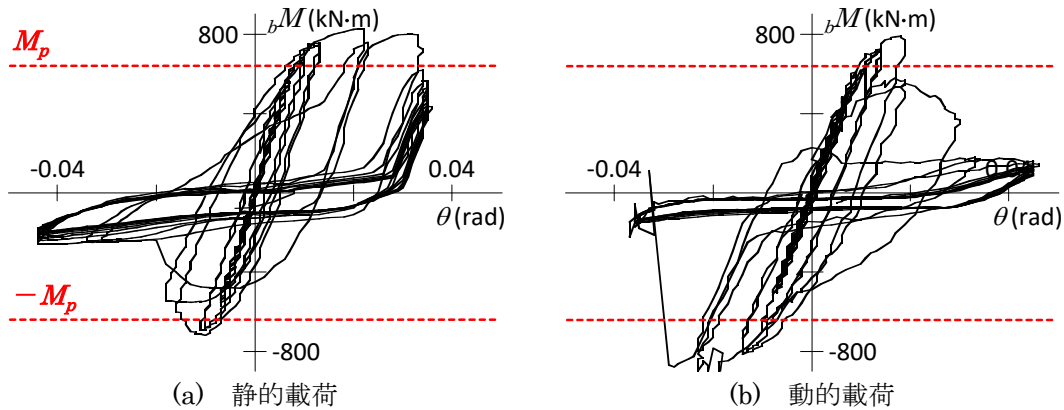
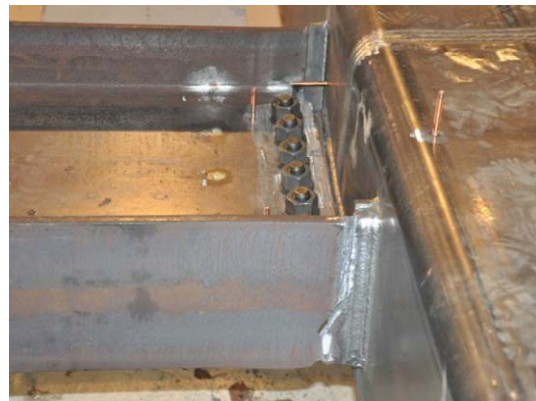


図5 梁端モーメントと層間変形角の関係



(a) 静的荷重



(b) 動的荷重

写真1 実験後の梁端接合部