

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 21 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760442

研究課題名(和文) 床スラブ付き鋼梁の動的応答特性の解明と鋼構造建物の耐震性能への応用

研究課題名(英文) Investigation of Dynamic Response on Composite Beam to apply to Seismic Performance in Steel building

研究代表者

島田 侑子 (Shimada, Yuko)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：90586554

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：床スラブ付き鋼梁の履歴挙動や梁における合成効果について既往の研究や実験の分析をもとに、載荷速度を変化させた頭付きスタッドの押し抜き試験と、最大耐力時における応力状態の検討を進めた。押し抜き試験より載荷速度が大きくなると頭付きスタッドボルト1本にかかる最大せん断力が上昇すること、更にはコンクリートに亀裂が生じず頭付きスタッドボルトが破断しやすい傾向が確認された。一方、床スラブが付いたことによる応力上昇と動的載荷の関係は明らかでないため、静的載荷状態での最大曲げ耐力の実験式について応力伝達の条件や適用範囲について検討し、中立軸の位置の重要性、床スラブの有効幅や支圧耐力の影響について確認した。

研究成果の概要(英文)：According to previous studies and experiments on cyclic behavior of steel beam with slab and composite effect, I conducted two; one is push-out tests of stud-bolt in various strain-rate, and the other is consideration of stress condition at the maximum bending strength. In push-out tests, the maximum shear strength in a stud-bolt increased as strain-rate became large. Moreover, under high-speed loading, crack did not appear on concrete and stud-bolt is easy to fracture. However, it is not clear the relationship between increasing of strength and dynamic loading not only the behavior of stud-bolt under high-speed loading. I considered stress transfer and applied condition in experimental formula on the maximum bending strength under static loading. From the consideration, it is clear importance of plastic neutral position, the effective width and bearing strength in slab.

研究分野：建築学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：合成梁 せん断力伝達 耐力評価 モーメント伝達効率 動的載荷

1. 研究開始当初の背景

現行の耐震設計基準は、地震を受ける建物を静的荷重がかかる平面骨組として設計を行うが、設計基準で想定している以上の地震が生じた場合には建物に超かつ動的な力が生じるため、従来の設計基準で見込まれている安全率を瞬間的に超過し、倒壊も含む甚大な被害に至らしめる可能性がある。しかもこの設計の中には、鋼材の歪速度の影響や床スラブの影響は考慮されておらず、実際の建物における現実的な挙動については明らかとはなっていない。歪速度に関しては、申請者が行った平成 22～23 年度に一般的建築用鋼材を対象とした動的繰返し載荷実験により、歪速度が大きくなると鋼種によっては大きく耐力が上昇するだけでなく変形能力にも変化が生じることを確認しており、この動的性能を反映させた履歴特性を反映させた鋼構造ラーメン骨組において、鋼材の組み合わせ次第では地震下での応答がこれまで考えられていたものより危険側になる可能性があることを明らかにした。これにより建物の応答解析に用いる材料の復元力特性に、動的荷重の影響を反映させることが可能となり、鋼構造建物の地震時における応答挙動の再現がより高精度になると考えられる。

一方で床スラブは合成梁として鋼梁の耐力や剛性を上昇させる傾向がこれまでも確認されており、建物全体の耐力バランスに大きく寄与することが考えられる。そのため合成梁における床スラブと鋼梁の相互関係について十分な検討が必要であるが、既往の研究では静的荷重下での合成梁の挙動についての定性的評価が殆どで、なおかつ正曲げ時の耐力上昇のメカニズムや剛性上昇をもたらす要因についてははっきりとした知見を得るまでには至っていない。そのため、動的荷重下で静的荷重下と比較してどのような挙動の変化を有するのかについては殆どわかっていない。このためには床スラブがついたことによる梁の耐力・変形に対する影響についてより多くのデータを得るべく、パラメータを梁幅や柱スキンプレートの厚さなど様々に変化した実験を行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、中低層建物規模で床スラブ付きの鋼梁について、静的載荷時の耐力やその評価方法を確認し、また合成梁実験も行い、どのパラメータが外力に対して影響するのかを検討する。

3. 研究の方法

まず既往の実験結果からその構成と耐力についてのデータベースを作成し、その上で既往の研究で示された耐力評価式の適用範囲を検討する。

そのデータベースから耐力評価に必要なと考えられるパラメータを抽出して、床スラブ付き鋼梁の静的繰返し実験を行い、その力

学的挙動を考察する。

4. 研究成果

4.1 床スラブ付き鋼梁のデータベース

既往の研究^{1)~12)}より、角形鋼管柱とH形鋼梁に床スラブが付いた試験体について実験を行った研究からデータベースを作成した。ここでは設計時に想定した耐震性能と実験で得られた性能の違いを主として検討する。図1に実勢値から求めた接合部係数とF値(公称値)から求めた接合部係数の比較を示す。ここで接合部係数は接合部設計指針¹³⁾に示されている、保有耐力設計を満足するために必要とされる純鉄骨梁の全塑性モーメントに乗じる係数を示す。図1を見ると、F値から求めた接合部係数で1.2を下回るデータは1件のみであったが、実勢値から求めた接合部係数で1.2を下回るデータは7件あった。鋼種や接合部によっても異なるものの、接合部設計指針¹³⁾で提示されているの最低値1.2を下回るような実勢値からの接合部係数が発生していることは実際の建物においても発生しうる傾向であり、純鉄骨梁としても接合部係数を確保すれば保有耐力設計を満足するとしている現状の設計は危険である可能性があると言える。

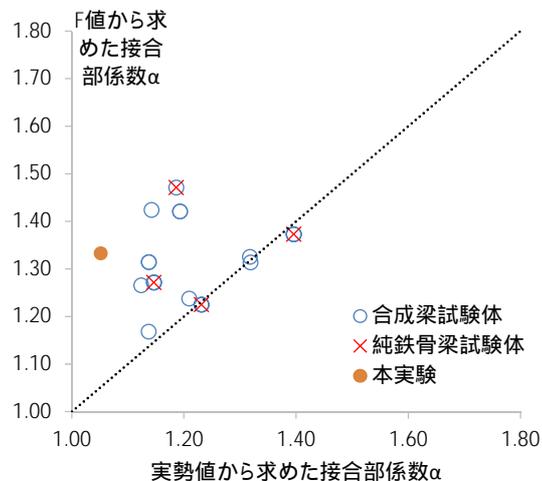


図1 接合部係数の比較

床スラブ付き鋼梁の実験の場合、純鉄骨の全塑性モーメントに対応するような「床スラブ付き梁が塑性化し始める耐力」が、一般的な式として示されていない。そのため、耐力評価でまず最大耐力を検討する。実勢値から求めた接合部係数により、実験時の最大耐力が異なるのか、両者を比較して図2に示す。図2を見ると、接合部係数の違いによっては特に最大耐力に異なる等の傾向は見られない。そこで、図3のように純鉄骨梁のせいと接合部係数の関係を見てみると、梁せい600mmの辺りにはデータが比較的多いものの、全体的に分布している。一方で、梁幅は殆どが200mm程度のもになっていることが図4からわかる。床スラブの厚さは縮小模型で非常に床スラブが薄い試験体を除くと殆ど150

~200mm 程度であるが、既往の研究³⁾において床スラブの厚さが耐力値に与える影響は少ないということが示されている。また図5に示すように柱スキンプレートの板厚と接合部係数の関係を見ると、極端に薄い場合か十分に厚い場合に分かれており、梁せいと柱スキンプレート厚との関係性も検討すべきであろう。

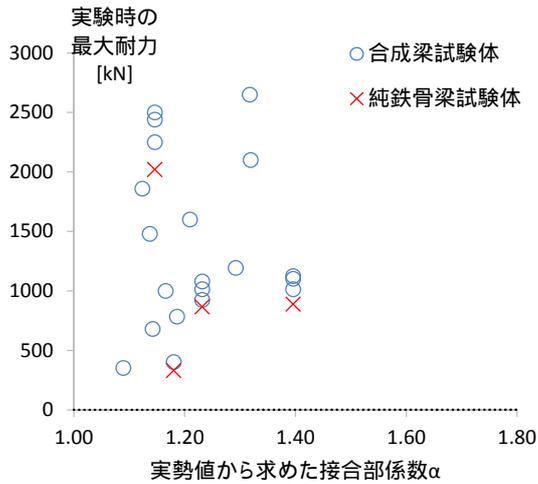


図2 接合部係数と最大耐力

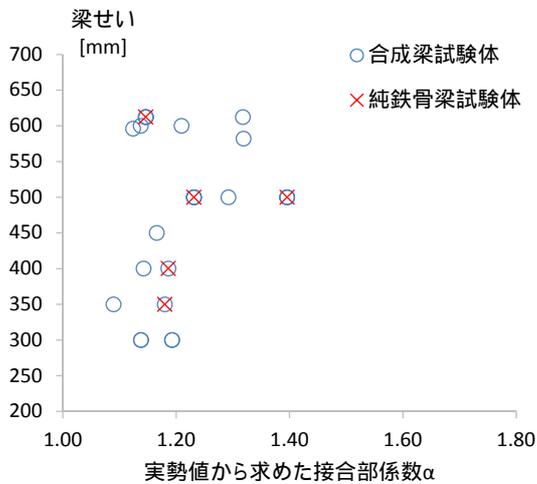


図3 接合部係数と純鉄骨梁せい

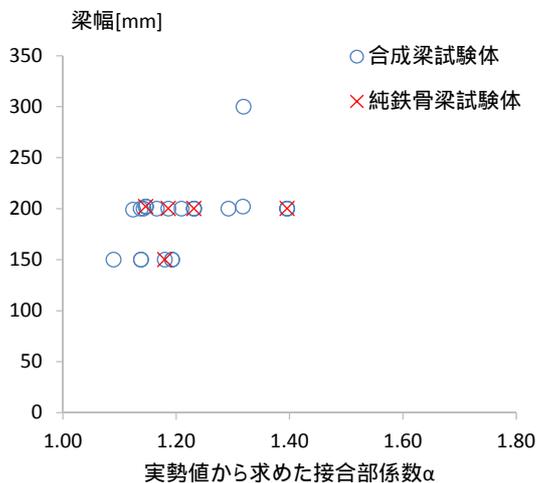


図4 最大耐力と純鉄骨梁の幅

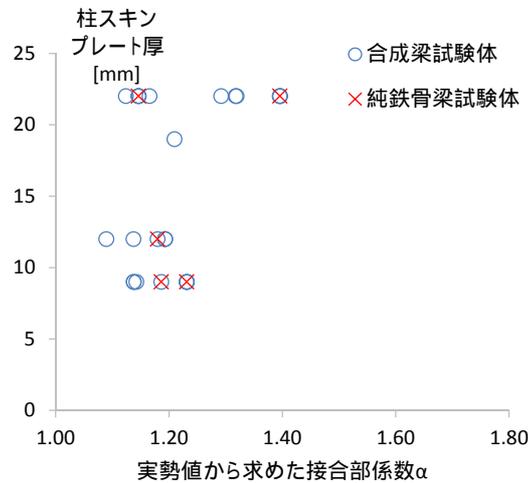


図5 接合部係数と柱スキンプレート厚

4.2 床スラブ付き鋼梁の繰り返し載荷実験
前節を受けて、床スラブ付き鋼梁の繰り返し載荷実験を行った。試験体は図6に示すように角形鋼管柱（300×300×9）にH形鋼梁（梁せい500mm）がつき、通しダイアフラム形式の柱梁接合部を含むT形試験体である。実験パラメーターはあまり比較するデータがとれていない梁幅の違いとし、H-500×200×10×16を標準試験体、梁フランジカット試験体として梁幅を150mmとしたものを設定した。

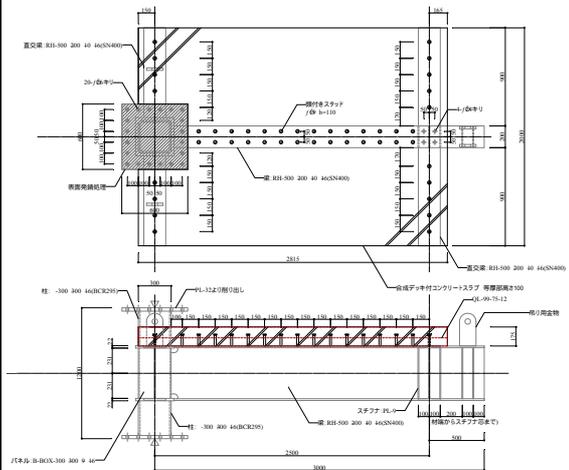


図6 試験体

写真1にセットアップを示す。梁の自由端側にアクチュエーター（島津製作所製 ±300kN・±100mmを2台）を設置して鉛直方向に正負繰り返し交番載荷を行った。計測について、荷重はアクチュエーター先端に設置したロードセルからの値にアクチュエーターの傾きによる補正をかけた値を算出した。変形について、載荷点の鉛直変位はワイヤー変位計で計測した。またパネルの四隅の鉛直・水平変形を、パネル四隅近傍のダイアフラムをターゲットとして計測して柱フェイスの傾きと変形を算出するようにしている。柱梁接合部に近い鉄骨梁の表面に

は応力の流れをみるためにフランジ，ウェブ共に1軸塑性歪ゲージを貼付した．



写真1 セットアップ

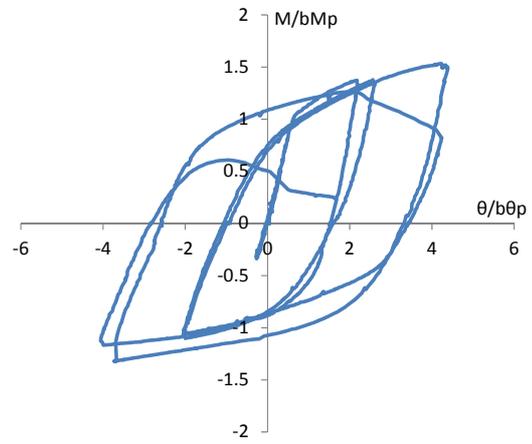
載荷はアクチュエーターのストロークで制御する漸増振幅載荷とした．目標変位は梁端部で $2p, 4p, \dots$ と $2p$ ずつ増加する方法とした．ここで， p は純鉄骨梁の全塑性モーメントに対応する弾性変形角をモーメントアーム（柱フェイスから載荷点までの距離 2350mm ）で除した値である．

実験結果として梁端の曲げモーメント-回転角関係を図7に示す．図中の曲げモーメントは各試験体の純鉄骨梁での全塑性モーメント bMp で除して無次元化しており，回転角も純鉄骨梁の弾性変形角 b/p で除して無次元化している．

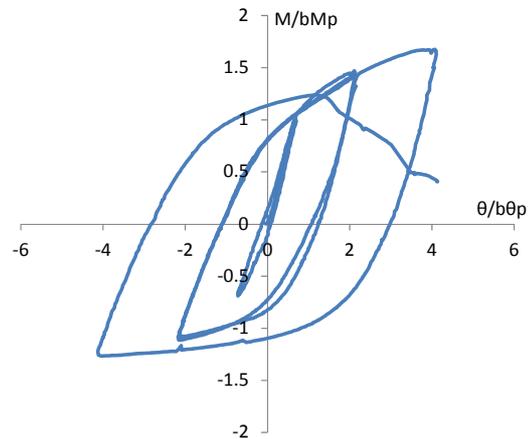
1体目（梁幅 200mm ）は $+4p$ （+は正曲げ側載荷，-は負曲げ側載荷を示す．以下同様）の1サイクル目で最大耐力（ bMp の 1.53 倍）を示した． $-4p$ の1サイクル目では負曲げ側の最大耐力に至ったが，ピーク値に至る直前に試験体が治具を挟んでしまったため，その分のデータは補正してある．負曲げ側の最大耐力は bMp よりやや上回る程度の値であった．その後 $+4p$ の2サイクル目で梁の下フランジに亀裂が生じて耐力が低下し始め， $+6p$ に向かうサイクルの中で亀裂が進展して梁の下フランジが破断し，大きく耐力が低下した（写真2）．

2体目（梁幅 150mm ）は $+4p$ の1サイクル目で最大耐力（ bMp の 1.68 倍）を示した．この時点で梁の下フランジにはやや絞りが生じていた．その後 $-4p$ の1サイクル目では $-bMp$ の 1.26 倍を示した．再度 $+4p$ のサイクルを載荷したところ，目標変位に到達する前に急激に梁の下フランジが破断して耐力が低下した．

両者の結果から梁幅を小さくすると梁の下フランジに急激に応力する傾向があり，一気に破断する傾向が見られた．また両試験体ともに下フランジに近い柱のスキンプレートが写真3のように 20mm 程度パンチングを生じていた．1体目は $-2p$ の2サイクル目終了時にはこの現象が確認されたが，2体目は破断が確認されるまでこのようなパンチ



1体目（梁幅 200mm ）



2体目（梁幅 150mm ）

図7 曲げモーメント-回転角関係



写真2 端の下フランジ破断(1体目)



写真3 柱スキンプレートのパンチング(1体目)

ングは確認されなかった。柱スキンプレート厚が薄いと破れてしまってその部分での応力が伝達できないことが考えられ、この部分の違いは最大耐力にも影響を及ぼしていると考えられる。既往の研究でもこの部分の挙動について考慮した最大耐力評価式もあることから、より精度を上げるためには歪ゲージの検討を含め、更に実験と考察を重ねて検討して行く必要がある。

【参考文献】

- 1) 岡田健, 他 5 名 : 従来型の柱梁接合部を有する合成梁の変形能力に関する実験的研究 合成梁の変形能力を反映した鋼構造骨組の耐震性評価 その 1, 日本建築学会構造系論文集, 第 547 号, pp.161-168, 2001.9
- 2) 岡田健, 他 2 名 : 改良型の柱梁接合部を有する合成梁の変形能力に関する実験的研究 合成梁の変形能力を反映した鋼構造骨組の耐震性評価 その 2, 日本建築学会構造系論文集, 第 554 号, pp.123-130, 2002.4
- 3) 岡田健, 他 2 名 : 合成梁の塑性変形能力に柱梁接合部における継手効率が及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 573 号, pp.185-192, 2003.11
- 4) 角野大介, 他 3 名 : 床スラブの存在が柱梁接合部パネルの力学性状に与える影響その 1, その 2, 日本建築学会関東支部研究報告集 (79), pp.297-304, 2009.3
- 5) 菊池康一, 他 1 名 : 合成梁の正曲げ耐力に関する実験的研究 角形鋼管柱の場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, 構造 1990, pp.1261-1262, 1990.10
- 6) 竹下和彦, 他 3 名 : 合成梁の新しい梁端ディテールへの試み, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造 1997 pp.381-382, 1997.9
- 7) 竹下和彦, 他 2 名 : 梁端ディテールが合成梁の力学的挙動に及ぼす影響 その 1, その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造 1998, pp.431-434, 1998.9
- 8) 立山英二, 他 3 名 : 通しダイヤフラム形式で角形鋼管柱に接合される H 形断面はりの耐力と変形性能に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 389 号, pp.109-121, 1988.7
- 9) 五十嵐定義, 他 4 名 : 角形鋼管柱に接合される合成梁の正曲げ耐力に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 構造系 (27), pp.441-444, 1987.5
- 10) 朝倉直毅, 他 4 名 : 塑性歪履歴を受ける鋼構造柱梁溶接接合部の変形能力 その 9, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 構造系 (52), pp.449-452, 2012.5
- 11) 宇佐美徹, 他 3 名 : スラブ付き鉄骨梁の横座屈挙動 その 1, その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造 2007, pp.635-638, 2007.8 / その 4, その 5, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造 2008, pp.589-592, 2008.8 / その 10, その

- 11, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, 構造 2010, pp.879-882, 2010.8
- 12) 伊藤陽介, 他 6 名 : 実大鉄骨建物完全崩壊実験のための部材試験 その 2. 合成梁の繰返載荷試験, 日本地震工学会大会 2007 梗概集, pp.218-219, 2007.11
- 13) 日本建築学会 : 鋼構造接合部設計指針, 2012

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 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 侑子 (SHIMADA, Yuko)
千葉大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号 : 9 0 5 8 6 5 5 4

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし