

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：12201

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2015

課題番号：25709047

研究課題名(和文) 2方向加力を受けて塑性化した接合部パネルに取り付く梁の弾塑性挙動と設計法

研究課題名(英文) Elastic-plastic behavior and design method of beams attached to the joint panel that the plastic deformation occurs under biaxial loadings

研究代表者

中野 達也 (NAKANO, TATSUYA)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：00361361

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水平2方向入力を受ける角形鋼管柱-H形鋼梁接合部の弾塑性挙動に関する基礎データを、2方向載荷実験およびFEM解析によって収集した。その結果、接合部パネルの塑性化に起因して梁の曲げ耐力が低下する現象を確認し、耐力低下を引き起こす要因を明らかにした上で、その低下傾向はパネル梁耐力比で評価可能であることを明らかにした。また、梁端部が早期に破断を生じるような現象はみられず、現実的な部材の組合せの範囲内であれば、梁の曲げ耐力低下が生じても、接合部パネルが塑性歪エネルギーを吸収することで、架構全体として要求性能を上回る十分な塑性変形能力を発揮する結果を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, the elasto-plastic behavior of the WF beam-to-RHS column connection under the biaxial loadings was investigated by biaxial loading tests and finite element method analysis. As a result, the bending strength of beam was reduced by the plastic deformation of joint panel, the factor of decrease became clear. The declining trend could be evaluated by the panel over design factor. In addition, the early fracture of beam-end connection did not occur. And within the range of practical member combination, the whole of partial frame showed the plastic deformation capacity over the required performance by the abundant absorbed energy of the joint panel, despite that the bending strength of beam decreases.

研究分野：建築構造，鋼構造，接合部，耐震工学

キーワード：鋼構造 柱梁接合部 塑性変形能力 2方向載荷実験 有限要素解析 梁端接合部 接合部パネル

1. 研究開始当初の背景

鋼構造柱梁接合部は骨組全体の耐震性能を左右する最も重要な設計部位のひとつである。一般的なラーメン骨組では接合部パネル（以下、パネル）が塑性化し易いが、塑性化したパネル面に取り付く梁の弾塑性挙動に着目した既往研究は皆無であった。

そのような中、中柱梁接合部の荷重実験を行い、45度方向荷重の場合にパネルの塑性化を伴って梁の全塑性曲げ耐力が計算値に対して4割も低下したことを確認した。梁端接合部の曲げ耐力が減少すると、梁端接合部が早期に破断して梁の塑性変形能力が大幅に低下するおそれがあることが知られている。しかし、パネルの塑性化に伴うこれらの耐力低下現象に着目した研究は行われておらず、塑性化したパネル面に取り付く梁の弾塑性挙動に関する実験的な検討が必要な状況であった。

2. 研究の目的

本研究では、鋼構造骨組の角形鋼管柱・H形鋼梁接合部において、塑性化したパネル面に取り付く梁の弾塑性挙動を明らかにすることを根幹とし、パネルの塑性化が梁端接合部の曲げ耐力や梁の塑性変形能力に及ぼす影響に関する基礎データを、2方向荷重実験およびFEM解析によって収集した上で、水平2方向入力を受ける柱梁接合部の力学性能を定量的に評価することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究のように接合部の破断や部材の座屈などの終局状態に至る現象を扱う場合には、荷重実験によるデータの収集が不可欠である。一方で、研究予算が限られている中では、実験によるパラメトリックスタディは不可能である。そこで、FEM解析と荷重実験を並行して検討を行った。

(1) FEM解析

解析には、汎用非線形構造解析プログラム「ADINA ver.8.7」を使用した。降伏条件はVon Misesの降伏条件、塑性域における構成則は等方硬化則を用いた。図1に解析モデルの一例を示す。要素分割は8節点ソリッド要素か4節点シェル要素である。完全溶込み溶接部、すみ肉溶接部は詳細にモデル化しておらず、裏当て金は無視した。

解析に用いた材料特性は、予備解析では公称値、事後解析では素材引張試験結果に基づいて定めた。ただし、ヤング係数は205000N/mm²、ポアソン比は0.3で統一した。

(2) 2方向荷重実験

立体十字形架構の水平2方向入力を再現するために、写真1に示すような多軸制御機能を有する荷重装置を整備した。

側柱梁接合部試験体の場合は、柱の下端をピン支持、上端を鉛直移動できるローラー支持とし、梁の先端部に荷重した。中柱梁接合

部試験体の場合は、柱の下端をピン支持、梁の先端部を鉛直移動を拘束したローラー支持とし、柱の上端に荷重した。

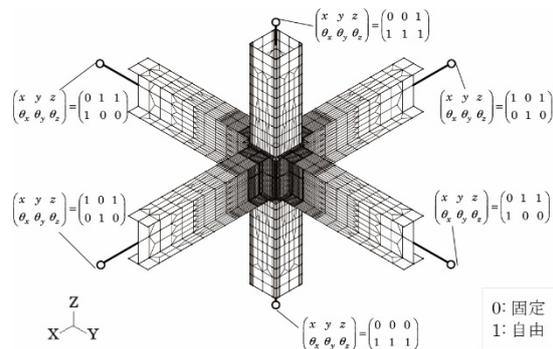


図1 FEM解析モデルの一例



写真1 整備した荷重装置と試験体のセットアップ状況

4. 研究成果

(1) 梁の全塑性曲げ耐力の低下要因

2方向入力を受ける柱梁接合部の弾塑性挙動をFEM解析により検討した。パラメータは、外力を受ける架構の形状と、荷重パターンである。特に、梁端部に着目し、パネルの塑性変形が及ぼす影響を明らかにした上で、それらの影響を考慮して全塑性曲げ耐力の評価を行った。

①取り付く接合部パネル面が塑性化した場合、梁の全塑性曲げ耐力は、精算値に対して1割弱～3割低下する。

②梁端ウェブの耐力低下は、図2(a)に示すように、パネルの塑性化に伴うパネル面の面外剛性の低下に起因し、パネルアスペクト比が大きく曲げ変形を生じた場合に低下率が大きい。

③梁端フランジの耐力低下は、構面内パネルの塑性変形に梁端ウェブが追従することで作用する局所的な2次曲げに起因するものと、図2(b)に示すように、構面直交パネルの塑

性変形に梁端フランジが追従することによって作用するせん断応力に起因するものである。

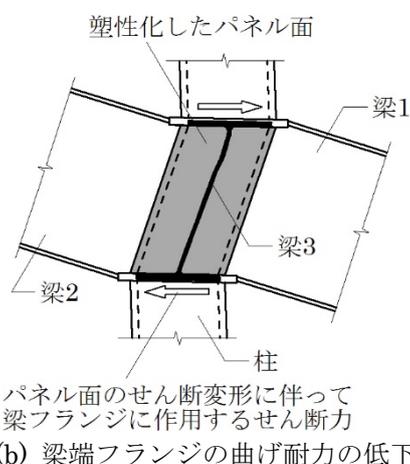
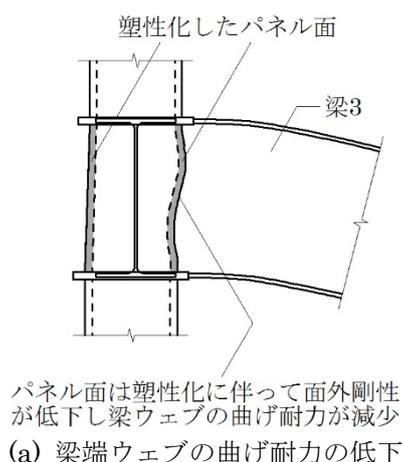


図2 2方向入力を受ける側柱梁接合部の変形状態と梁端接合部の耐力低下要因

(2) 側柱接合部におけるパネル塑性化の影響

側柱梁接合部を対象として、十字形構面のパネルを塑性化させた後に、ト字形構面の梁に漸増振幅繰返し载荷を行う実験を想定したFEMによる予備解析を行った。

①塑性化するパネル面に取り付く梁の耐力低下は、パネル面が当該梁に先行して降伏しているかどうか依存し、上記の実験を想定した場合はアスペクト比の影響をほとんど受けない。

②ト字形構面梁の全塑性耐力の低下を評価する上では、柱梁接合部が45度方向入力を受ける場合に比べて上記の载荷方法の方が厳しい条件を与える。

③設定している試験体サイズの場合、パネルの塑性化に伴う耐力低下とスカラップの有無による耐力低下が同程度である。

④パネル面の塑性変形の大きさが梁端フランジの曲げ耐力低下に与える影響は小さい。

これらの検討結果を踏まえて、载荷パターンとスカラップの有無をパラメータとした载荷実験を行った。

⑤ノンスカラップ試験体ではパネル面の塑性

化に伴う梁の耐力低下が生じ、全塑性曲げ耐力が1割ほど低下した。

⑥スカラップ試験体ではパネル面の塑性化に伴う梁の耐力低下はほとんど見られなかった。

⑦すべての試験体が、写真2に示すように、梁の局部座屈で終局状態に至り、塑性変形能力には大差がなかった。

パネル面の塑性化に伴う梁の全塑性曲げ耐力の低下が見られた一方で、繰返し载荷履歴を受ける場合、梁の塑性変形能力には大差が生じないという実験結果が得られた。この点について、応力・歪性状を把握するためのFEM解析を行った。その結果、整備した载荷装置では、側柱接合部試験体に任意の斜め方向入力を与えると、部材の塑性化に伴う十字形構面とト字形構面の剛比変化に起因して、梁に不用意な構面外応力が生じる現象が明らかになった。すなわち、降伏後の大変位振幅载荷時に、想定していなかった構面外応力が試験体に作用し、試験体の終局状態が梁の連成座屈に統一されたことで塑性変形能力に大差が生じない実験結果となった可能性が発覚した。これを回避するための改造を载荷装置に施すのは費用面で困難であったことから、その後の実験は、平面架構(十字形・ト字形)を対象とした0度方向入力と、立体十字形架構(十字形中柱梁接合部)を対象とした45度方向入力の2種類に限定することとした。



(a) 全景 (b) 梁の局部座屈

写真2 载荷終了後の試験体の一例

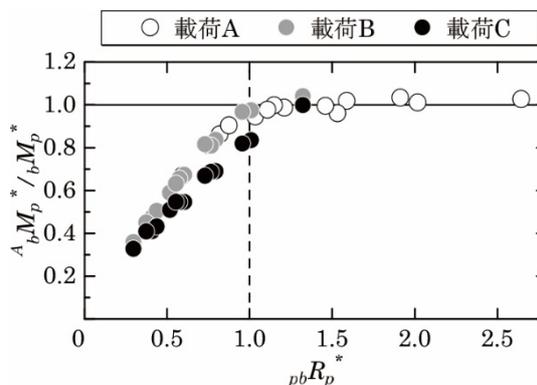


図3 梁の全塑性曲げ耐力低下率とパネル梁耐力比の関係

(3) 中柱接合部におけるパネル塑性化の影響
中柱梁接合部を対象とした2方向载荷実験

を想定した FEM 解析を行った。主なパラメータは架構形状、パネル梁耐力比、入力方向である。

①パネルが梁よりも先行して塑性化すると梁の全塑性曲げ耐力が低下し、図 3 に示すように、パネル梁耐力比の減少に伴って梁の全塑性曲げ耐力が直線的に低下する。

②パネルウェブ・フランジそれぞれの塑性化に起因する低下現象を明らかにした上で、梁の耐力低下傾向を表現できる簡便な力学モデルを構築した。

これらの検討結果に基づいて、実在骨組として現実的な柱・梁の組合せの範囲で、梁の全塑性曲げ耐力の低下率が最大であった解析モデルを選定して実大載荷実験を行った。

③載荷実験でも、解析どおり、梁の全塑性曲げ耐力の低下がみられた。

④一方で、側柱梁接合部の場合と同様に、梁端部が早期に破断を生じるような現象はみられなかった。

⑤梁の耐力低下が生じて、接合部パネルが塑性歪エネルギーを吸収することで、架構全体として要求性能を上回る十分な塑性変形能力を発揮した。

0・45 度方向入力に限定した結果ではあるが、現実的な範囲で最悪の条件を選定して得られた成果であり、研究全体を通じて、パネルの塑性化を伴う梁端接合部の曲げ耐力や梁の塑性変形能力を評価するための基礎データを得るという最大の目標も達成することができた。

なお、任意の斜め方向入力を受ける様々な柱梁接合部の影響評価へ展開するために、FEM 解析結果に基づいて、直線的な耐力低下傾向を表現できる簡便な力学モデルを構築した。しかし、立体骨組内における部分架構の応力状態や、パネル・梁・柱の変形分担なども明らかにする必要がある。当該検討は本研究の範疇を超える内容であり、今後の研究課題である。

(4) まとめ

2 方向入力を受ける柱梁接合部の弾塑性挙動に関する実験はわずかであり、本研究で得られた実験データは学術的な価値が高いと考えられる。近年、3 次元地震動に対する耐震性能を評価する気運が高まっており、E-Defense による実大骨組の振動台実験に代表されるように、地震時の骨組挙動に関する実験データが徐々に蓄積されている。同時に、水平 2 方向（場合によっては鉛直方向を加えた 3 方向）入力を受ける接合部および部材などの弾塑性挙動に関する基礎的な要素実験データが切望されている。本研究の成果は、柱梁接合部設計法の高度化だけでなく、地震時の立体骨組挙動予測の高精度化にも寄与するものである。

一般的な鋼構造骨組の耐震安全性は、平面骨組を対象とした構造計算により検証されているが、パネルの塑性化を扱うことができる

汎用ソフトはない。これは、現行の建築基準法令の保有水平耐力計算において、構造特性係数 D_s の値が、柱と梁には設定されている一方でパネルには設定されていないことが一因である。パネルの塑性化を考慮すべきことは学術的に明らかであり、本研究の成果はパネルの存在を考慮した立体骨組解析による柱梁耐力比の要求値の検討、さらにはパネルの塑性化を陽に表現した設計法の構築に資するものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1) 中野達也, 齋藤良太: 接合部パネルの塑性変形が梁端部の弾塑性挙動に及ぼす影響(2 方向載荷を受ける鋼構造柱梁接合部の力学性能その 1), 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 692 号, pp.1813-1821, 2013.10, 査読有

〔学会発表〕(計 3 件)

(1) 伊藤駿, 中野達也: 45 度方向入力を受ける立体十字形架構における各構成部材の弾塑性挙動, 日本建築学会関東支部研究報告集 I, pp.429-432, 2016.3, 「日本大学(東京都千代田区)」

(2) 伊藤駿, 中野達也: 接合部パネルの塑性化が梁の全塑性曲げ耐力に及ぼす影響, 日本建築学会関東支部研究報告集 I, pp.533-536, 2015.3, 「日本大学(東京都千代田区)」

(3) 齋藤良太, 中野達也: 接合部パネルの塑性化が梁の曲げ挙動に与える影響(その 3 平面十字形架構における梁端ウェブの弾塑性挙動), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 III, pp.785-786, 2013.8, 「北海道大学(北海道札幌市)」

〔その他〕

ホームページ等

<http://archi.ishii.utsunomiya-u.ac.jp/str/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中野 達也 (NAKANO TATSUYA)

宇都宮大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 00361361