

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560686

研究課題名(和文) 極大地震を想定した鋼構造柱梁接合部パネルの二方向載荷モデルの構築

研究課題名(英文) The bidirectional loading model of the beam-to-column joint panel for steel structure assumed a very large earthquake

研究代表者

桑原 進 (KUWAHARA, SUSUMU)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10243172

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：極大地震時の鋼構造骨組の地震応答性状、倒壊安全性を検討するためには各部材の耐力劣化域も考慮した精緻な解析が必要となる。鋼構造柱梁接合部パネルは、これまで構面内の一方向加力に対する力学モデルが提案されているものの、二方向載荷(45°方向載荷)時の力学性状に対する検討は数少ない。本研究ではFEM解析により二方向載荷時の剛性・耐力を算定し、弾性剛性の計算値や塑性解析に基づく耐力の計算値と比較し、よい対応を示すことを明らかにした。また、繰返し載荷により角形鋼管・円形鋼管パネルの破壊性状・変形性能を明らかにした。これらの結果に基づいて地震応答解析プログラムに適用する簡便な解析モデルの設定を可能とした。

研究成果の概要(英文)：To study the seismic response characteristics and collapse safety of steel structural frame at the time of maximum earthquake, the sophisticated analysis considering the strength degradation of each member is necessary. For the beam-to-column joint panel of steel structure, mechanical model for the one-way loading in the plane of structure have been proposed until now. However, the studies on the mechanical properties for two-way loading is one of the few. In this study, Stiffness and strength for the two-way loading is calculated by the FEM analysis. They are compared with the calculated value of the full plastic strength based on plastic analysis and of elastic stiffness, it was revealed to show a good correspondence. And it was revealed the failure and deformation performance of the RHS and circular steel tube panel by cyclic loading test. Based on these results, it was possible to set a simple analysis model to apply to the seismic response analysis.

研究分野：建築構造学, 鋼構造学

キーワード：建築鋼構造学 柱梁接合部パネル 塑性解析 繰返し載荷 パネル耐力 崩壊機構 変形性能

1. 研究開始当初の背景

柱梁接合部パネルは地震時に大きなせん断鋼構造柱梁接合部パネルは地震時に大きなせん断力が作用する部位である。既往の研究によれば、パネルの断面と柱断面が同じ場合、パネルが柱に比べて早期に降伏し、構造体の剛性・耐力に大きく影響を及ぼすことが指摘されている。したがって、構造体全体の力学性状・崩壊性状を解析的に検討するためには、パネルの力学性状を正確に把握し、モデル化することが必要である。柱梁接合部の研究は従来から数多く行われてきており、研究成果が柱梁接合部の設計に反映されている。申請者らも通しダイアフラム形式の角形鋼管・円形鋼管柱梁接合部パネルの力学性状を実験より把握し、力学モデルならびにパネルを意識した耐震設計法を提案している。

これらの力学モデルならびに耐震設計法は、基本的には平面骨組を想定した構面内の応力に対するものである。しかしながら地震動を受けて骨組が変形する場合には、構面外二方向応力が作用することは明らかであり、骨組全体の挙動にも影響を及ぼすパネルの挙動においても二方向載荷を想定した力学モデルが必要であると考えられる。パネルの構面外二方向載荷については、これを想定した角形鋼管45°方向載荷の実験例もあるものの、構面内一方向載荷の実験例と比較するとその数は圧倒的に少なく、申請者は二方向載荷時のパネルの有限要素解析を行い、その変形性状や応力状態に関する知見を蓄積してきている。これらパネルの挙動に関する研究は、鋼構造骨組の地震応答性状を精緻に解析し、骨組の損傷や倒壊性状を把握することを最終的な目的としている。しかしながら骨組全体をFEMで解析することは現実的ではなく、より簡便な力学モデルが要求されることは明らかである。

また、2011年3月に発生した東日本大震災を受け、これまでの想定以上の大きな地震動に対する骨組の地震応答性状を明らかにしていくことが急務である。鋼構造ではその大きな靱性に期待し、保有水平耐力の検討によって大地震時の倒壊安全性を確認しているが、今後は各部材の耐力劣化域も考慮した極大地震時の倒壊解析を実施し、安全性の検討が必要になってくると考えられる。パネルではせん断変形により大きな変形性能が期待できることが知られているが、角形鋼管45°方向の載荷では角部の溶接に亀裂が入ることが報告されており、二方向載荷時の変形性能については未解明の部分が多い。

2. 研究の目的

本研究では、極大地震時の鋼構造骨組の地震応答性状、倒壊安全性を検討するための地震応答解析プログラムに組み込むパネルの簡便な解析モデルを提案することを最終的な目的とし、以下の検討を行う。

(1) 二方向載荷を想定した鋼構造柱梁接合部パネルの有限要素解析を行い、その性状を明らかにすると共に、その性状を適切に表現できる力学モデルを提案する。

(2) せん断座屈等の不安定現象に基づくパネルの耐力劣化を有限要素法では追跡することは可能であるが、溶接部の亀裂などに起因する耐力劣化や変形性能を把握するためには実験が必要となる。通常、柱梁接合部パネルの二方向載荷実験を行う場合、4本の梁の付いた試験体を用いることになるが、現在使用している試験装置では困難であるため、今回はパネル部分を取り出した試験体をせん断加力する。これにより有限要素解析により検討したパネルの力学性状の確認を行うと共に、解析では追跡困難である耐力劣化挙動や変形性能を確認、把握する。

3. 研究の方法

鋼構造柱梁接合部パネルの断面として、角形断面・円形断面・H形断面が用いられるが、「載荷方向によって性状が異なること」、「二方向ラーメンで二方向曲げを受ける環境で用いられること」を想定して、角形断面用いた標準型パネル(パネルに接合する梁の梁せいが同じ)を主対象として設定する。

(1) 角形断面パネルの二方向載荷を想定した一部のパラメータについては、ソリッド要素による有限要素解析を既に実施している。本研究では、これをシェル要素に置き換えて、有限要素解析を行い、力学性状を明らかにする。解析モデルは図1のような4本の梁が取り付く柱梁接合部を想定し、柱上下端をピン支持、梁端部に強制変形を与える。検討するパラメータは、パネルアスペクト比、パネルの軸力比、パネル幅厚比、載荷方向(0°、30°、45°)、パネルの鋼材特性(応力度一歪度関係)である。また、弾性剛性、塑性解析に基づいた全塑性耐力の計算方法を提案し、有限要素解析結果と比較する。

(2) 柱梁接合部パネルの力学性状、特に変形性能、耐力劣化挙動、破壊性状などを検討するために、図2に示すようなパネル部分を取り出したせん断加力試験を行う。実験パラメータはパネルアスペクト比、載荷方向(0°、45°)、定常載荷振幅(3%、5%)である。また、同時期に実験を行う低降伏点円形鋼管せん断型ダンパーの試験体がほぼ同形状であり、円形鋼管パネルとしても評価することが出来るため、これを検討対象の一部として採用する。

(3) (1)、(2)の解析、実験から得られた力学特性を反映した力学モデルを設定する。地震応答解析プログラムでの使用を想定しているため、簡便なIKROモデル(移動硬化と等方硬化の組み合わせによる複合硬化を採用したRamberg Osgood式を採用したモデル)を採用する。実験、解析結果からIKROモデルの諸元を決定する。

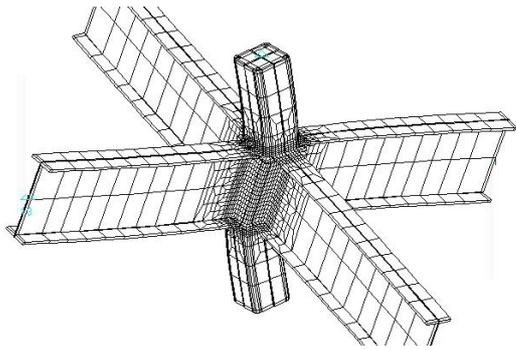


図1 二方向加力したパネルの変形状態

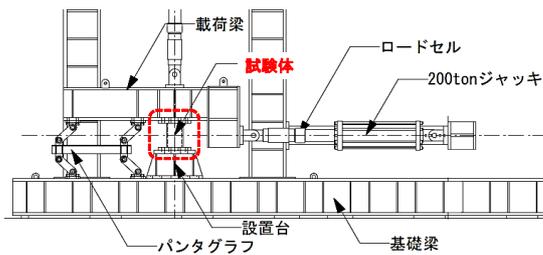


図2 パネルのせん断加力装置

4. 研究成果

- (1) 塑性解析手法を用いて任意方向加力に対する角形鋼管柱梁接合部パネルの耐力式を提案した。同耐力式では「せん断変形」のみを考慮する崩壊機構 A と「せん断+曲げ」を考慮する崩壊機構 B を想定し、それぞれから得られる耐力の内、最小のものを全塑性耐力としている。
- (2) 軸力比 0° 、 30° 、 45° の3種類、アスペクト比 1.0、1.5、2.0 の3種類、軸力比 0、0.5 の2種類、合計 18 体の角形鋼管柱梁接合部パネルの有限要素解析 (図1 参照) を実施し、パネルの変形性状、耐力、応力分布、塑性化について検討し、それぞれのパラメータが耐力等に及ぼす影響について明らかにした。
- (3) (1) の耐力式で算定した全塑性耐力値と (2) で得られた有限要素解析結果を比較し、良好な対応を示すことを明らかとした。ただし、高軸力 (軸力比 0.5) の場合については、若干精度が劣るため、今後の検討課題とした。
- (4) 角形鋼管パネルのせん断加力実験 (図2 参照) を実施した。実験パラメータはアスペクト比 (1.0、1.5)、加力方向 (0° 、 45°)、定常荷重振幅 (3%、5%) である。所定の荷重振幅になるまで平均せん断変形角 1% 毎に漸増荷重とし、所定の振幅 (3%、5%) に到達後は定常振幅荷重とし、最大せん断耐力の 80% 以下に耐力が低下するまで繰返し荷重を行い、変形性能および破壊性場の相違について把握した (図3 参照)。また、各パラメータが変形性能に及ぼす影響を荷重振幅と変形性能 (荷重サイクル数) の関係より考察する。
- (5) (1) で提案した全塑性耐力、弾性剛性の計算値と (4) で実施した実験結果を比較し、

良好な対応を示すことを確認した。

(6) (4) と同様に行った円形鋼管パネルとの比較より、パネル断面の相違による力学性状、変形性能の相違について考察した。

(7) (4) で実施した実験結果を元に角形鋼管パネル、円形鋼管パネルのせん断力-せん断変形角関係に IKRO モデルに適用する際のパラメータの同定を実施した。極低降伏点鋼を用いた円形鋼管パネルに課題を残すものの、おおよそ良好な対応を示すことを確認した。

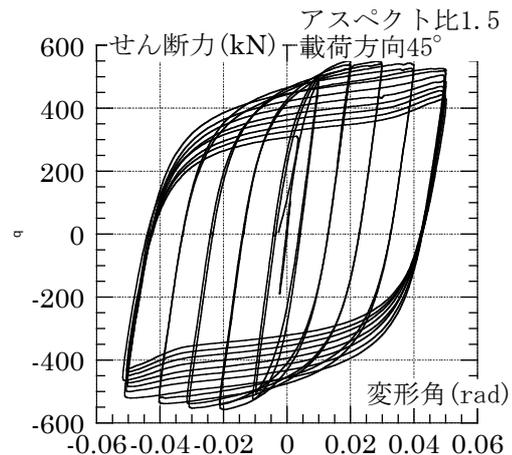
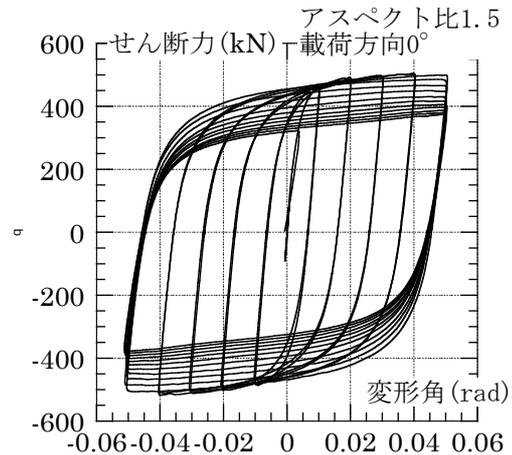


図3 せん断力-せん断変形角関係の一例

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 4 件)

- ① 竹内賢太郎, 桑原進: 二方向加力を受ける鋼構造角形鋼管柱梁接合部パネルの耐力評価, 日本建築学会大会, 2013.08.30, 札幌市
- ② 石川祐理, 桑原進, 他: 低降伏点円形鋼管を用いたせん断型履歴ダンパーの力学性状 その1 せん断加力実験と FEM 解析の概要, 日本建築学会大会, 2014.9, 神戸市
- ③ 森岡宙光, 桑原進, 他: 低降伏点円形鋼

管を用いたせん断型履歴ダンパーの力学性状 その2 実験結果, 日本建築学会大会, 2014.9, 神戸市

- ④ KIM Jinwoo, KUWAHARA Susumu : Shear type damper using low yield strength circular hollow section, IABSE, 2015.5, Nara

〔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

桑原 進 (KUWAHARA SUSUMU)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 10243172

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし