

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560583

研究課題名（和文）

変位制御型ブレースを用いた鋼構造骨組の地震時過大変形抑止法

研究課題名（英文）

Suppression method of excessive deformation for steel frames under seismic excitation by displacement-restraint bracing

研究代表者

田川 浩 (TAGAWA HIROSHI)

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：70283629

研究成果の概要（和文）：

鋼材を用いた変位制御型ブレース架構として丸鋼ブレースを用いた形式を検討した。門型骨組の繰返し載荷実験を通じて基本性能を明らかにするとともに、低層鋼構造骨組の地震応答解析を種々の条件下で実施し変位制御型ブレースを有する架構の基本耐震性能を分析した。ラーメンのエネルギー吸収性能を高めるためにダンパーを用いた制振部材を構築し、数値解析等により性能を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The displacement-restraint bracing system using round steel bars was investigated. The fundamental characteristics of that system were revealed through cyclic loading tests of portal frames. The seismic resistant properties of the frame with the proposed bracing systems were examined through seismic response analysis for low-rise steel frames. Furthermore, for the purpose of increasing energy dissipation capacity of moment frames, damping devices with dampers were developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：建築構造学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：鋼構造，変位制御，ブレース，耐震構造，地震応答解析，耐震補強

1. 研究開始当初の背景

過去のブレース付き鋼構造骨組の地震被害では、ブレースが引張材として十分伸びる前に接合部で破断する例や、圧縮側での座屈により局部座屈が生じその後の繰返し過程で破断する例が見られた。例えば、1995年兵庫県南部地震における比較的竣工年が古い鋼構造の被害において、ブレースの損傷に

より最大 1/25 程度の残留層間変形が生じ、外壁のモルタルが剥落している例が見られた。これらの被害例から、ブレース部材において座屈に伴う破断が生じる可能性があること、ブレースなどの耐震要素が破壊すると架構全体の变形増大につながる恐れがあることが分かる。それに対して本研究代表者らは、既往の研究において、ラーメン架構としての

エネルギー吸収性能を発揮しつつブレース構造としての耐力上昇が期待でき、層間変形角を一定の範囲内に抑えることができる変位制御型ブレースを検討している。これまでに载荷実験による基本性能確認と3階建て骨組の地震応答シミュレーションにより耐震効果を明らかにしてきた。ただし、小規模の鉄骨構造や木造軸組構造を想定しており、一般的な規模の中低層鋼構造骨組への適用性や有効性については未解明である。また、既往の研究ではブレース材料にはワイヤロープ（ケーブル）を想定しており、一般鋼材を適用した場合のブレース架構の特性については検討していなかった。

2. 研究の目的

鋼構造ラーメン架構の耐震設計では、部材の塑性変形によるエネルギー吸収能力を考慮して、各架構形式の中で最も地震荷重を低減することができる。ただし、大規模の地震動が作用すると、変形が過大となり外装材の損傷や大きな残留変形が生じる恐れがある。他方、ブレース架構とすれば比較的容易に変形を抑えることができるが、過去のブレース付き鋼構造骨組の地震被害ではブレースの引張破断や座屈を伴う破壊により過大な変形が生じた被害も少なくない。本研究では、鋼構造骨組を対象として、ラーメン架構としてのエネルギー吸収能力を維持しつつブレース架構としての強度を保持できる変位制御型ブレースを用いて、大地震時に鋼構造骨組に生じる過大变形を効率よく抑止する方法を構築することを目的とする。さらに、ラーメン架構のエネルギー吸収能力を高めることを目的として、種々のダンパーを用いた制振部材を構築する。

3. 研究の方法

(1) 鋼材を用いた変位制御型ブレース架構の形状の検討

変位制御型ブレースの概念を図1に示す。この図では層間変形角が R_s に達した時点からブレースが作用する例を示している。既往の変位制御型ブレースに関する研究では、柱梁架構の対角線よりも長い一対のワイヤブレースを円筒部材により交差部で拘束する形式を対象としていた。それに対して本研究では丸鋼ブレースを用いた形式を対象とし、施工性やコストなどを考慮した架構形状を検討する。

(2) 载荷実験による性能確認

前項(1)で検討した変位制御型ブレースの基本特性を確認するために、ブレース付き門型骨組試験体を用いて繰返し载荷実験を

行う。ブレース作用開始点はターンバックルによるブレースの長さ調節により制御し、ブレースの全長が異なる複数の試験体の载荷実験を通じて骨組の復元力特性、特にブレース作用開始点の精度を検討する。図2に実験結果（荷重～変形関係）の一例を示す。

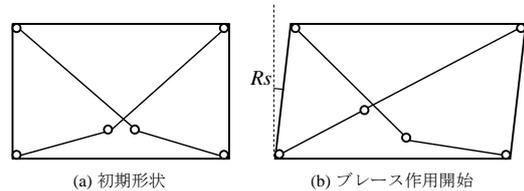


図1 変位制御型ブレースの概念

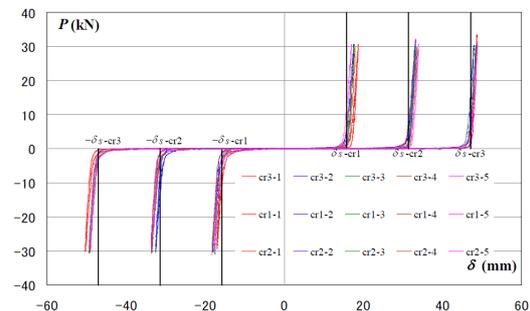


図2 荷重～変形関係

(3) 変位制御型ブレース付き低層鋼構造骨組の地震応答解析

変位制御型ブレースによる過大变形抑止効果を明らかにするために、前項(2)で実施した実験結果を考慮したブレース付き低層鋼構造骨組の地震応答解析を行う。図3は2層骨組における地震応答時の第1層の層せん断力～層間変形角関係の例であり、遅れて作用するブレースの弾塑性挙動が考慮できていることが確認できる。

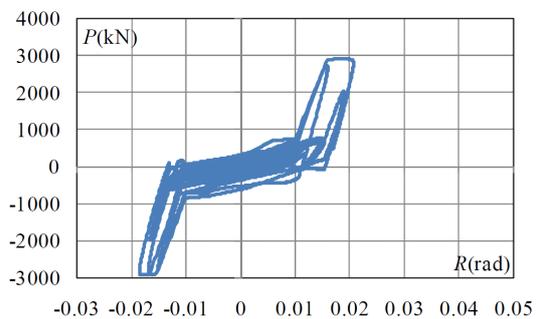


図3 層せん断力～層間変形角関係

変位制御型ブレースの効果的な配置方法を検討するため、低層骨組(2層骨組)を対象として、種々の設計条件に関するパラメ

リック解析を通じてラーメン架構の耐震特性を分析する。図4に1層の柱と2層の柱の耐力を変動させたときの地震時最大層間変形角分布の例を示す。

大規模地震が作用する時に第1層の変形が著しく増大する2層骨組を設定し、変位制御型ブレース（図5の例では層間変形角が0.01radでブレースが作用開始）を第1層のみに配置した場合を想定し、地震応答解析を行う。第1層層間変位の時刻歴の例を図5に示す。補強なしの場合と比べて応答が大幅に改善されていることが分かる。

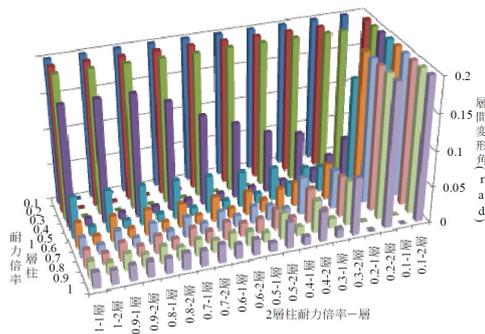


図4 最大層間変形角の変動

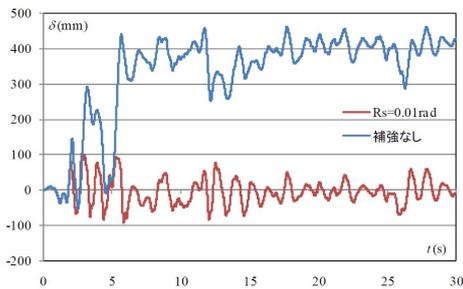


図5 第1層層間変位の時刻歴



図6 ガセットプレート有限要素分割

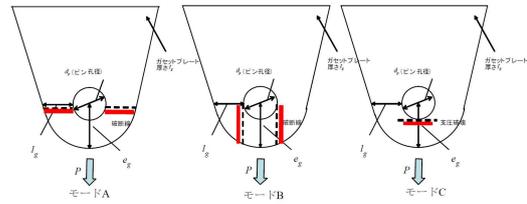
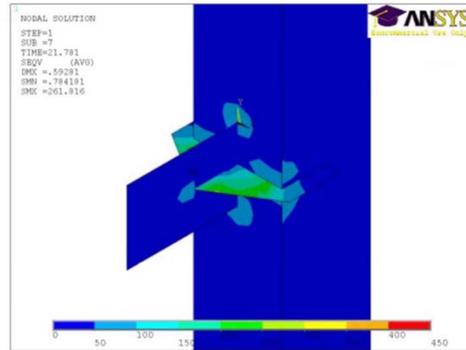
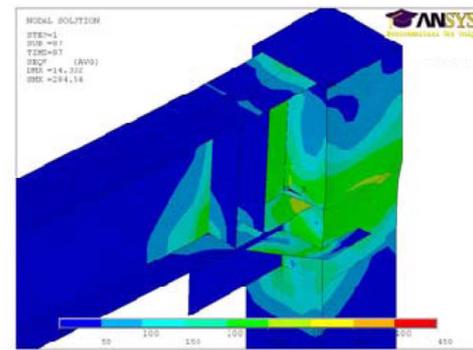


図7 想定する崩壊モード



(a) 鋼管柱面外変形に対する補剛



(b) ガセット接合部の補剛

図8 ブレース接合部の数値解析

(4) ブレース接合部の検討

ブレース端部をリングジョイントで接合する場合、ガセットプレートはピン接合となる。ピン接合部の終局状態を把握するため、図6に示すように要素分割したモデルの解析を行い変形および応力状態を検討する。図7に示す3通りの崩壊モードを想定し耐力評価式を導出するとともに、有限要素解析結果と比較する。

変位制御型ブレースを耐震補強に用いる場合、ブレース接合部周辺の補強が重要となる。そこで、ガセットプレート接合部を縦スチフナと補強リブで補強する場合を想定し補強部材の必要性能を検討する。図8(a)は角形鋼管柱にガセットを溶接する場合を、図

8(b)は柱梁接合部にガセットを溶接する場合を想定し、鋼管の面外変形抑止のために補強リブ、梁の補強のために縦スチフナを設置した場合の応力状態を有限要素解析により検討した例である。

(5) ダンパーによるエネルギー吸収能力向上の検討

変位制御型ブレース構造の特徴は、ブレース作用開始を遅らせてラーメン架構のエネルギー吸収能力を維持することである。ラーメンのエネルギー吸収能力をさらに高めるためにダンパーの利用を検討する。門型骨組を用いた繰返し載荷実験を行う。

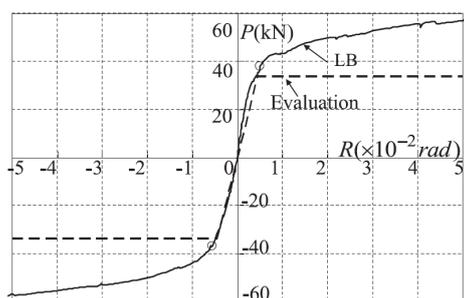


図9 骨格曲線と評価曲線の比較

(6) ダンパー付き鋼構造骨組の構造設計法の整備

前項(5)で検討するダンパーを有する骨組を設計するために必要な剛性評価式および耐力評価式を導出する。前項で実施する実験結果と比較し評価式の精度を分析する。図9は繰返し載荷実験により得られた荷重変形関係曲線より作成した骨格曲線と、評価剛性・評価耐力とを比べた例である。十分な精度で評価できている。ダンパー付き架構の地震応答解析を通じて制振性能を確認するとともに、設計時の使用を目的とした簡易解析モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) 門型骨組の載荷実験を通じて丸鋼を用いた変位制御型ブレースの基本性能を分析するとともに、2層骨組のパラメトリック地震応答解析により変位制御型ブレースの効果および耐震性能を明らかにした。

(2) 変位制御型ブレースの既存柱梁接合部へのガセットプレート接合に対する補強について有限要素解析を通じて検討し、縦スチフナと補強リブの有効性を確認した。また、ガセットプレートのピン接合部の耐力と終局挙動を明らかにした。

(3) 変位制御型ブレースではエネルギー吸収はラーメンに期待する。そこでラーメンの

エネルギー吸収性能を高めるためにダンパーの利用を検討した。履歴ダンパーを設置した骨組の剛性評価式と耐力評価式を導出した。繰返し載荷実験結果より、評価式の精度を確認するとともにエネルギー吸収性能を明らかにした。また、鋼構造骨組の地震応答解析を通じて粘弾性ダンパーによる制振効果を確認した。

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5件)

- ① Hiroshi Tagawa, Jinhe Gao : Evaluation of vibration control system with U-dampers based on quasi-linear motion mechanism, Journal of Constructional Steel Research, Volume 70, pp 213-225, 2012.3 (査読有)
- ② Jaedo Kang, Hiroshi Tagawa : Vibration Control System for Structures with Long Rods and Seesaw Mechanisms, Proceedings of the 2011 International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics, 2257-2264, 2011.9 (査読無)

〔学会発表〕(計6件)

- ① 田川 浩, 高金賀, 姜在道 : 近似直線運動機構に基づくU形ダンパー付き制振構造に関する研究 その5 地震応答解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, 797-798, 2011.8
- ② 姜在道, 田川 浩 : 粘弾性ダンパーを有する近似直線運動機構に基づく制振構造の地震応答解析, 日本建築学会東海支部研究報告集第49号, 173-176, 2011.2
- ③ 竹中皓洋, 田川 浩 : テンションロッドを用いた変位制御型ブレース構造に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, 965-966, 2010.9

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田川 浩 (TAGAWA HIROSHI)

名古屋大学・大学院環境学研究科・准教授
研究者番号：70283629

(2) 研究分担者

研究分担者なし

(3) 連携研究者

連携研究者なし