

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560682

研究課題名(和文) 鋼構造骨組における形鋼ブレースの変形性能向上に関する研究

研究課題名(英文) Study on deformation capacity improvement of shaped steel braces in steel frames

研究代表者

田川 浩 (TAGAWA, HIROSHI)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70283629

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)：鋼構造建築物において多く用いられている山形鋼ブレースの劣化挙動を防止し変形性能を向上することを目的として、ブレースと同一の山形鋼を端部に溶接する補強方法を検討した。この補強方法では接合部補強と圧縮補強の両方を想定している。圧縮載荷実験結果、引張載荷実験、繰返し載荷実験および有限要素解析を通じて補強効果を確認した。さらに、接合ガセットプレート面の面外剛性の影響を明らかにするとともに、ブレースを既存柱梁架構に設置する際に有用となる組立補強材を用いた接合形式についても検討を行った。

研究成果の概要(英文)：For improvement of deformation capacity of angle-shaped steel braces and suppression of their deterioration behavior, a reinforcement method was investigated. In that method, the same steel angles as the brace member are welded at the brace-ends for both reinforcements of compression and connection behavior. Loading tests under compression, tension and repeated loads were conducted. The finite element analyses were also conducted. The test and analysis results revealed efficacy of the proposed reinforcement method. Furthermore, effects of the out-of-plane stiffness of gusset plates were examined. Stiffening methods of bolted connections with steel member assemblies were also examined for connecting the reinforcement members to the existing building frames.

研究分野：建築構造学

キーワード：山形鋼 ブレース 変形性能 接合部補強 圧縮補強 載荷実験 ガセットプレート 剛性評価

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において、ブレースが引張材として十分伸びる前に接合部で破断した例や、圧縮時の座屈により局部塑性変形が生じた部位が引張時に破断した例が報告されている。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等が指摘されている。近年では座屈拘束ブレース等の变形性能に優れたブレースが種々開発されている。しかし、それら新型ブレースは中高層骨組に対する適用例は増加しているが、中低層骨組では依然として山形鋼、溝形鋼、H形鋼等のブレースの使用が多く、形鋼ブレースの性能向上は重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、建築構造物で用いられる形鋼ブレース（主に山形鋼ブレース）の变形性能向上を検討することを目的としている。ブレース部材の变形性能向上を多角的に検討していくためには、実験と数値解析による検討が必要不可欠である。新しい補強法を提案する本研究では、载荷実験および有限要素法に基づく弾塑性挙動分析を通じて、耐力や变形性能の向上を検討する。本研究における载荷実験では、単調圧縮载荷と単調引張载荷により基本的な補強効果を確認するとともに、繰返し载荷実験による变形性能分析を行う。有限要素解析においては、応力集中部位の検討や初期たわみが座屈耐力に及ぼす影響等を詳細に分析する。またブレースの性能向上により建築骨組の耐震性能を高めるためには、ブレースと柱梁架構との接合に関する検討も重要となる。本研究では、ブレース部材の性能向上とともに、ガセットプレートや部材接合部に関する検討も行う。

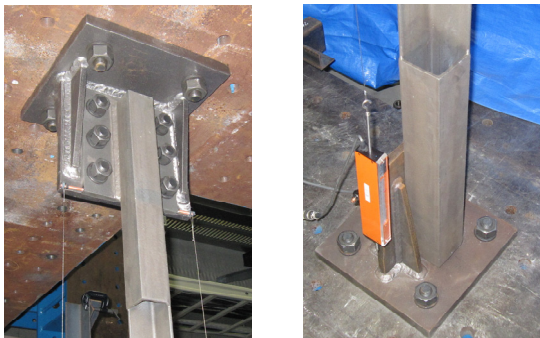


写真1 本研究で提案する端部補強

3. 研究の方法

(1) 圧縮载荷時の挙動特性

本研究では、写真1に示すようにブレースと同一の山形鋼をブレース端部に溶接し、圧縮補強と接合部補強を考慮する補強法を検討する。合計12ケースの圧縮载荷実験をL-40×40×5、L-50×50×6、L-65×65×6、L-75×75×6の山形鋼（全長2.5m）を用いて行っており、

無補強、補強長さを200mmおよび400mmとした試験体の最大圧縮耐力と細長比の関係として図1を得ている。細長比 λ は無補強区間の長さを考慮したものである。なお、高剛性のガセットを用いており、座屈長さ係数は0.5とする。圧縮耐力 P_u は、降伏軸耐力 P_y で無次元化している。補強部の長さが増大し細長比が小さくなると最大耐力が増大する傾向が見られ補強効果が確認できる。

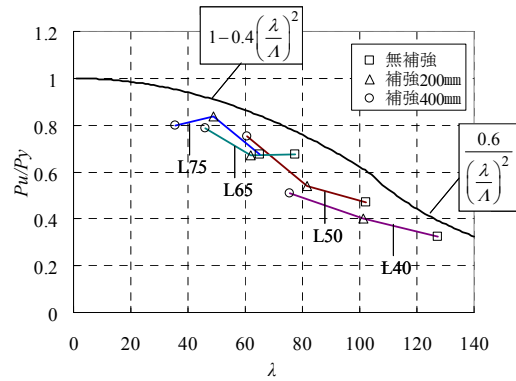


図1 最大圧縮耐力～細長比関係

補強されたブレースの圧縮耐力評価のため、補強部分の曲げを考慮した回転拘束バネを両端部に有する偏心圧縮モデルを構築し、耐力評価式を導出した。载荷実験結果と比較し良好な評価精度を確認している。さらに、有限要素解析により、初期たわみが座屈耐力に及ぼす影響を分析している。

(2) 引張载荷時の挙動特性

提案する補強法による接合部耐力の向上を検討するため、図2に示すような単調引張载荷実験を行った。

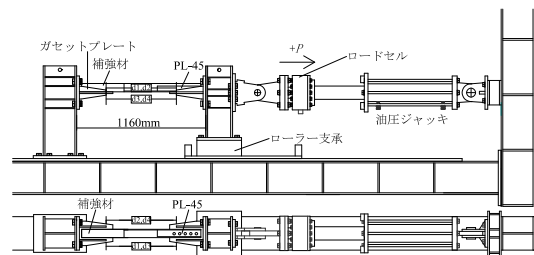


図2 引張载荷実験セットアップ
表1 実験結果(引張载荷)

試験体	ボルト数(本)	補強種類	破断箇所	最大荷重(kN)
N3	3	無補強	第1ボルト孔	244
L3	3	提案補強(L=100)	母材(溶接部)	325
N5	5	無補強	第1ボルト孔	306
S5	5	提案補強(L=0)	母材(溶接部)	350
L5	5	提案補強(L=100)	母材(溶接部)	365
G5	5	一般補強	母材(中央)	374

表1に示すように、ボルト3本の試験体2体とボルト5本の試験体4体を製作した。ボルト本数が3本の試験体はいずれもボルトですべりが発生したが、提案補強試験体では耐力上昇と母材破断が確認され補強効果

が確認できた。ボルト本数が 5 本の試験体はいずれもすべりが発生せずブレース母材が降伏した。ひずみ硬化の領域で提案補強試験体の補強効果が確認できた。写真 2 に実験後の試験体状況を示す。提案補強試験体ではいずれも補強材溶接部を起点として亀裂が発生した。図 3 に示すように、試験体 L5 の弾性域での挙動をシミュレートした有限要素解析において、当該部分の応力集中が確認された。当該部位の溶接加工時に留意が必要であることが明らかにされた。

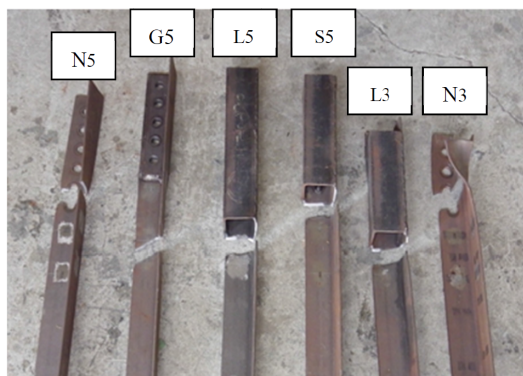


写真 2 実験後の試験体状況

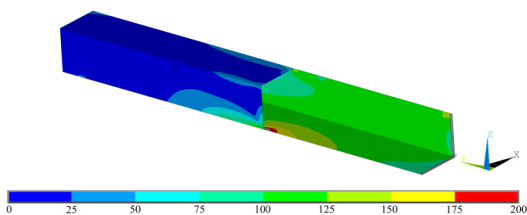


図 3 試験体 L5 の相当応力分布 (N/mm^2)

(3) 繰返し载荷時の挙動特性

図 2 と同様の装置を用いて繰返し载荷実験を行った。図 2 において 1160mm としている寸法が 3000 mm となる試験体を用いる。

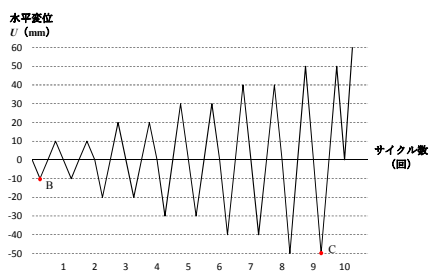
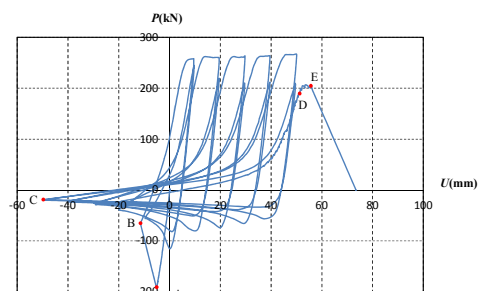


図 4 载荷プログラム

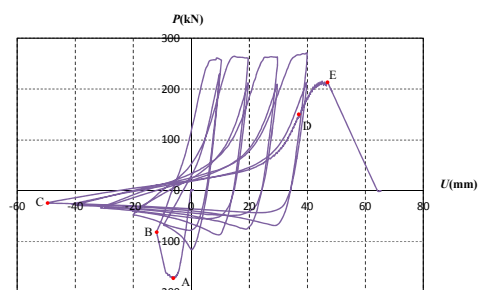
表 2 実験結果 (繰返し载荷)

試験体	補強長 l_s (mm)	細長比 λ	初期変位 V_0 (mm)	座屈方向	圧縮耐力 (kN)
T1-N	無補強	82.1	0.5	下	174.1
T2-N	無補強	82.1	0.5	上	183.4
R0	0	79.4	2.5	上	182.4
R1	100	72.6	3.5	下	190.6
R1P	100	72.6	8.5	上	184.7
R2	200	65.9	1.5	下	173.8
R2P	200	65.9	4.5	下	198.5
R4	400	52.4	1.5	下	172.1
R6	600	38.4	1.0	下	174.2

図 4 に示す载荷プログラムを用いて、表 2 に示す合計 9 体の試験体に繰返し荷重を作用させた。図 5 に例として試験体 R1 (補強長さ 100mm) と試験体 R4 (補強長さ 400mm) の荷重～変形関係を示す。補強部分が一定以上長くなると変形性能が低下することが明らかとなった。その他、補強する場合に座屈が生じる方向が一定になる傾向があることや、座屈が生じる方向により座屈変形量や終局変形状況が大きく異なることなどの特性が確認された。



(a) 試験体 R1



(b) 試験体 R4

図 5 荷重～軸方向変位関係

(4) ガセットプレート面外剛性評価

本研究で提案する補強方法は、ガセットプレートの面外剛性が高い場合に特に有効であり、ガセット面外剛性の評価が重要となる。そこで、図 6 に示す既存の剛体－バネモデルと図 7 に示す新たに構築した片持ち板モデルを用いて剛性評価式を導出した。

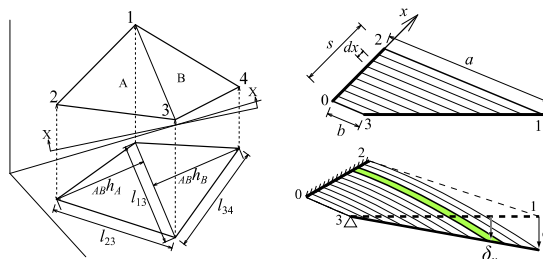


図 6 剛体－バネモデル 図 7 片持ち板モデル

剛性評価式の精度を検討するために図 8 に示す载荷実験を行った。試験体は表 3 に示す合計 8 体であり、ガセットプレートの形状には小型(S)と大型(L)、板厚には 6mm と 9mm を考える。ブレースには L-75×75×6 を使用し

端部補強無し(N)と補強有り(R)の試験体を製作した。図 9 に例として試験体 L6N と L6R におけるガセットプレートの面外曲げモーメント～回転角関係を示す。

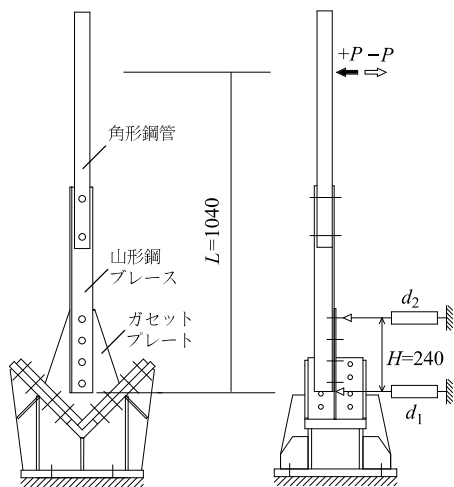


図 8 ガセット載荷実験セットアップ

表 3 実験結果 (ガセット面外載荷)

試験体	実験剛性	剛体-バネモデル		片持ち板モデル	
		評価剛性	実/評	評価剛性	実/評
S6N	24641	11986	2.06	16652	1.48
S6R	22945		1.91		1.38
S9N	66709	40451	1.65	56199	1.19
S9R	79294		1.96		1.41
L6N	39558	29012	1.36	40360	0.98
L6R	42945		1.48		1.06
L9N	126825	97914	1.30	136213	0.93
L9R	135800		1.39		1.00

剛性の単位 : kN・mm

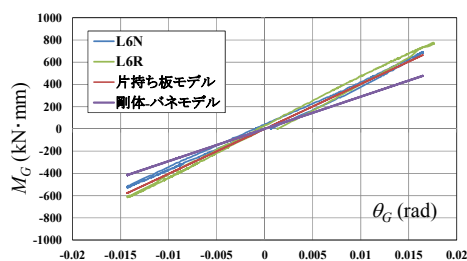


図 9 ガセット M～θ 関係

表 3 および図 9 より、剛体バネモデルでは剛性を低く評価するのに対し、片持ち板モデルでは評価精度の向上が確認できる。なお、本実験の範囲では補強の有無によるガセット剛性の変化は小さいことが分かった。

(5) 組立補強材を用いた接合形式の検討

耐震改修等においてブレースなど補強部材を取り付けるとき、溶接では養生等が必要となるためボルト接合の優位性が指摘されている。そこで図 10 に示すような山形鋼と平鋼を用いた組立補強材によるボルト接合形式を検討した。まず梁フランジ引張側接合部を取り出し、耐力評価式を導出するとともに引張実験および有限要素解析により評価精度を確認した。さらに T 字形実大部分骨組試験体の繰返し載荷実験を通じて、補強効果および変形性能を明らかにした。

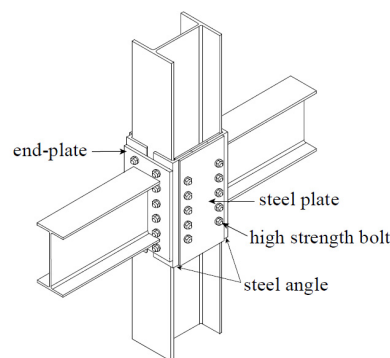


図 10 組立補強材を用いた接合形式

4. 研究成果

本研究の主な成果は上述したとおりであり、山形鋼ブレースの端部補強に関する十分な知見が得られたと考えている。この成果は国内のみならず国外においても山形鋼部材を使用している国々において有用になると考えられる。今後の展望としては、本研究成果の国内外への情報発信を進めるとともに、山形鋼以外の溝形鋼などの部材補強に応用することや組立補強材による接合システムを各種接合部へ拡張することが挙げられる。

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 1 件)

① H. Tagawa, Y. Liu, Stiffening of bolted end-plate connections with steel member assemblies, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 103, pp190-199, 2014. (査読有)

[学会発表] (計 5 件)

① 田川 浩, 高土貴寛, 山西央朗: 端部補強された山形鋼ブレースの接合部引張耐力に関する研究, 日本建築学会中国支部研究報告集第 38 号, pp153-156, 2015 年 3 月 8 日, 米子工業高等専門学校

② 田川 浩, 高田裕也, 山西央朗: 山形鋼ブレースのガセットプレート構面外剛性評価 その 1・その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp1111-1114, 2014 年 9 月 13 日, 神戸大学

③ 田川 浩: 端部補強された山形鋼ブレースの繰返し載荷実験, 日本建築学会中国支部研究報告集第 37 号, pp237-240, 2014 年 3 月 2 日, 広島大学

④ 田川 浩: 端部補強された山形鋼ブレースの圧縮耐力評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp1297-1298, 2013 年 8 月 31 日, 北海道大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田川 浩 (TAGAWA HIROSHI)

広島大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 70283629