

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：80122

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20471

研究課題名（和文）座屈拘束ブレースに適用できる一面摩擦接合部に関する基礎的研究

研究課題名（英文）Basic study on single shear bolted connections applicable to buckling-restrained braces

研究代表者

高島 将人（TAKASHIMA, Masato）

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・建築研究本部 北方建築総合研究所・研究職員

研究者番号：60964054

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：部材数の削減と施工性の向上を目的として、座屈拘束ブレースを対象とした新たな一面摩擦接合形式を提案した。提案形式の特徴は、リブプレートがブレース材軸から偏心させて配置することで、ブレースとガセットプレートの図心が一致している点である。提案一面摩擦接合部の構造性能を把握するため、軸方向圧縮載荷試験を実施し、提案一面摩擦接合部は従来の二面摩擦接合部と同等の圧縮耐力を有することを確認した。また、鋼材使用量とコストの積算を行い、提案する一面摩擦接合部は従来の二面摩擦接合部より、鋼材使用量とコストを低減できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、建築物の耐震性・安全性を確保しながら施工の合理化を行い、省資源化と低コスト化を達成していくことが求められている。特に、鋼構造部材は製造時に多くのCO<sub>2</sub>を排出するため、使用量の削減が必要である。本研究では、提案する新しい一面摩擦接合形式が、従来の二面摩擦接合形式と比較して、同等の圧縮耐力を有することと、鋼材量とコストを削減できることを示した。提案する一面摩擦接合部は座屈拘束ブレースに適用できる可能性が高いと考えられ、これが実用化されれば、施工の簡略化と鋼材量の削減に大きく貢献できる。

研究成果の概要（英文）：In this research, a new single-shear bolted connections for buckling-restrained braces are proposed to reduce the amount of steel and improve workability. In the proposed connections, rib-plates are attached eccentrically to coincide the brace axis with the gusset plate axis. In order to quantify the structural performance of the proposed single-shear bolted connections, axial compressive loading tests are conducted, and it is confirmed that the proposed new single-shear bolted connections has the same compressive strength as the conventional double-shear bolted connections. The amount of steel and the cost of the proposed single-shear bolted connections and double-shear bolted connections are calculated. It is confirmed that the amount of steel and the cost for the proposed single-shear bolted connections is less than that of the double-shear bolted connections.

研究分野：建築構造学

キーワード：鋼構造 座屈拘束ブレース 接合部 偏心 圧縮載荷試験

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

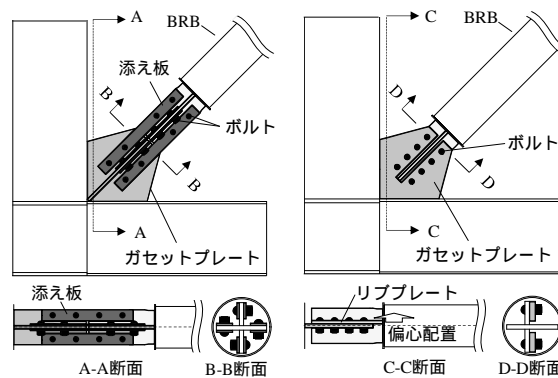
### 1. 研究開始当初の背景

近年、建築物の耐震性・安全性を確保しながら施工の合理化を行い、省資源化と低コスト化を達成していくことが求められている。座屈拘束ブレース (以下、BRB) は地震時に建物の被害を軽減する点で有効な部材である。BRB が地震力に抵抗するには、圧縮時に接合部の損傷を防ぐ必要があり、接合部の圧縮耐力に関する研究はこれまでに数多く実施されている (例えば<sup>1)</sup>)。BRB を建物にボルト接合する際は、強剛な接合部とするため二面摩擦接合が使用されるが、一面摩擦接合形式を適用できれば、部材数の削減と施工性の向上につながる。一方、一面摩擦接合は、接合部に偏心が生じるという力学的な課題がある。

接合部の偏心を解消するため、既往研究<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>で、図1に示す新たな一面摩擦接合形式を提案した。その特徴は以下の2点である。

- ・ ブレース材軸に対しリブプレートを偏心させて配置することで、ブレースとガセットプレートの材軸を一致させ、偏心圧縮を防止する。
- ・ 添え板が必要ないため、部材数の削減と施工性の向上が可能となる。

円形鋼管ブレースの载荷試験<sup>2)</sup>や BRB の有限要素解析<sup>3)</sup>により、ブレース軸部が圧縮耐力に達するまで提案する一面摩擦接合部は損傷しないことを確認しているが、接合部自体の耐力については実験的に確認するまでに至っていない。



(a) 従来の二面摩擦接合 (b) 提案一面摩擦接合

図1 BRB 接合部

### 2. 研究の目的

本研究では BRB 接合部を対象として、提案する一面摩擦接合部のディテールが構造性能に及ぼす影響と提案形式による鋼材量とコストの削減効果を明らかにすることで、BRB への一面摩擦接合形式の適用可能性を示すことを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、(1) 接合部の軸方向圧縮载荷実験、(2) 鋼材量とコストの削減効果の調査を以下の通り実施した。

#### (1) 接合部の軸方向圧縮载荷実験

##### 試験体

試験体 (全 8 体) の詳細を図2に、一覧を表1に示す。試験体は柱梁接合部側の BRB 接合部を模擬した。芯材塑性化部は平板 (厚さ 6 mm × 幅 65 mm) を想定し、試験体は保有耐力接合を満足するように設計した。試験体に使用した鋼材の材料特性を表2に示す。試験体パラメータについて以下に詳述する。

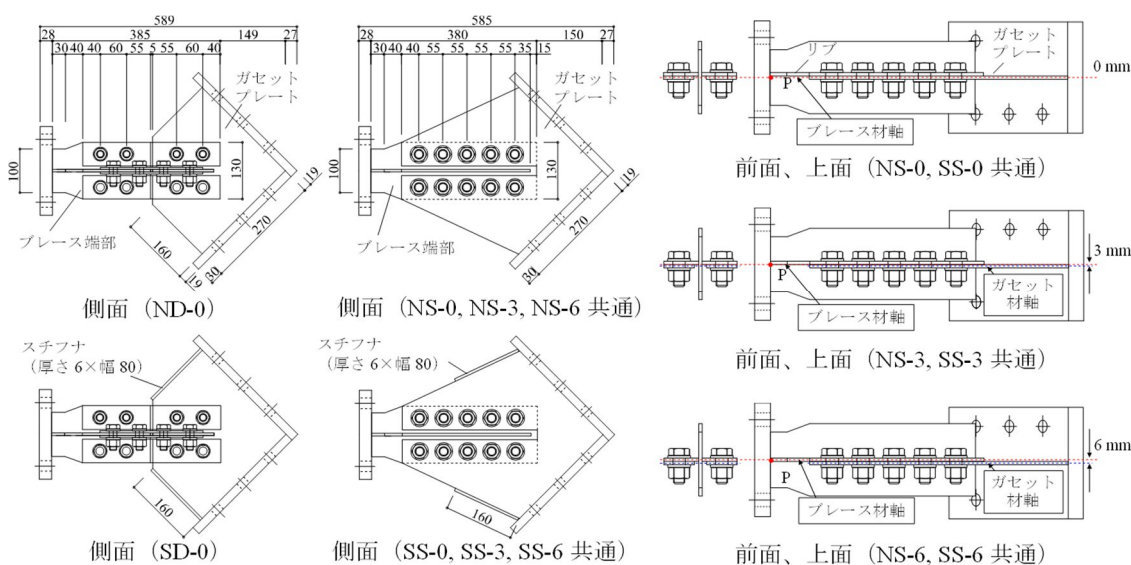


図2 試験体

・パラメータ 1：接合形式

試験体の接合形式は、提案する一面摩擦接合と従来の二面摩擦接合の 2 種類とする。ここで、図 3 に標準ボルトピッチを基準として設計した接合部を示す。図中のディテールでは、一面摩擦接合と二面摩擦接合で接合部の長さが異なり、接合形式のみが耐力に与える影響を特定できない。そこで本試験では、ボルトピッチを調整し一面摩擦接合と二面摩擦接合の試験体長さをほぼ同等とした。

標準ボルトピッチを基準とした接合部は試験体より全長が長く、耐力が低下することが想定され、その低下割合は、接合部の全長が長い二面摩擦接合の方が大きくなると考えられる。したがって、一面摩擦接合試験体の耐力が二面摩擦接合試験体の耐力と同等以上ならば、標準ボルトピッチを基準としたディテールにおいても一面摩擦接合が十分な耐力を有すると考えられる。

・パラメータ 2：接合部の偏心量

一面摩擦接合された試験体では、リブプレートの溶接位置を変化させ、ブレース - ガセットプレート間の偏心量（以下、偏心量）を変化させた。提案する偏心量 0 mm の試験体は、リブプレートとガセットプレートの板厚の合計の半分（ $6/2 + 6/2 = 6 \text{ mm}$ ）だけ、リブプレートをブレース材軸に対して偏心させて配置した形式であり、ガセットプレートとブレースの材軸が一致している。偏心量 6 mm の試験体は、一般的なブレースの一面摩擦接合形式と対応しており、ブレース材軸の中央にリブプレートを配置している。偏心量 3 mm の試験体は、上記 2 種の間タイプであり、ブレース材軸はガセットプレートとリブプレートの接合面（摩擦面）上に位置している。

・パラメータ 3：スチフナの有無

スチフナの有無によりガセットプレートの曲げ剛性・耐力を変化させた。以降は、スチフナのある試験体を N シリーズ、ない試験体を S シリーズと呼称する。

・荷重・計測方法

図 4 に試験体の設置状況および変位計測位置を示す。試験体のガセットプレートはスライドテーブル上に設置した治具に固定し、鉛直移動と回転を拘束した。試験体のブレース端部は十分に剛な H 形鋼にエンドプレートを介して接合し、H 形鋼の反対側はクレビスに接続してピン支点とした。

スライドテーブルに接続した油圧ジャッキにより軸方向に単調圧縮荷重を行う。荷重はジャッキ先端のロードセルで計測する。変位計 d1 ~ d5 は軸方向変位を計測し、変位計 d6, d7 は面外変位を計測する。面外変位はいずれも図 4 に示した A 側に増大する方向を正とする。

(2) 鋼材量とコストの削減効果の調査

標準ボルトピッチを基準とした図 3 の接合部を対象として、鋼材量とコストを分析した。鋼材量は製作ロスを考慮して重量ベ

表 1 試験体一覧

試験体	接合形式	偏心量(mm)	スチフナ
ND-0	二面摩擦接合	0	無
NS-0	一面摩擦接合	0	
NS-3		3	
NS-6	6	有	
SD-0	二面摩擦接合		0
SS-0	一面摩擦接合		0
SS-3			3
SS-6		6	

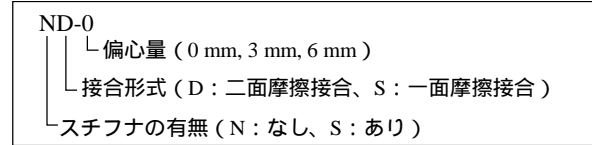
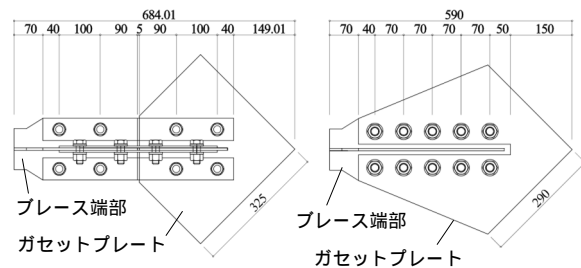


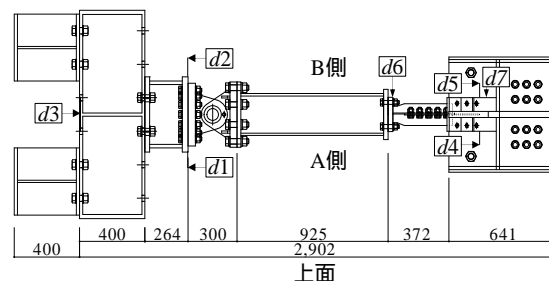
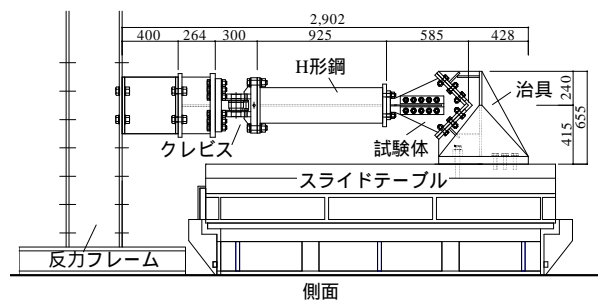
表 2 材料特性

使用箇所	板厚 (mm)	鋼種	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
ガセット ブレース端部	6	SN400B	342	472	32
添え板	4.5	SS400	312	429	27



(a) 二面摩擦接合 (b) 提案一面摩擦接合

図 3 標準ボルトピッチを基準とした接合部



軸方向変形： $U = (d1 + d2)/2 - d3 - (d4 + d5)/2$   
 P 点面外変形： $\delta_p = d6 - d7$

図 4 試験体設置状況と変位計測位置

ースで算出し、コストは試験体製作時の単価を用いて算出した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 接合部の軸方向圧縮载荷実験の結果

座屈性状を写真 1 に示す。座屈性状はガセットプレートの剛性によって異なり、S シリーズでは首折れ座屈が生じた。N シリーズでは、首折れ座屈が生じた NS-6 を除き、ガセットプレートの自由端で局部座屈が生じた。

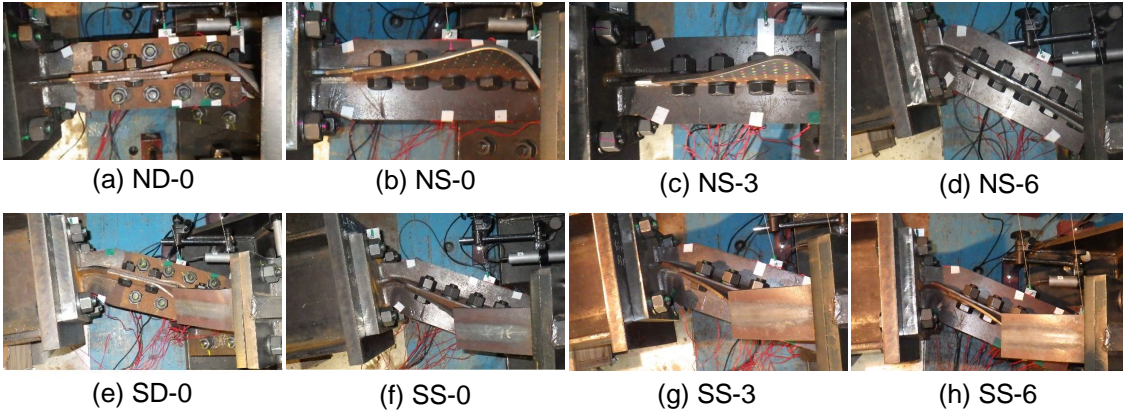


写真 1 座屈性状

表 3 試験結果

試験体	圧縮耐力 (kN)	座屈性状
ND-0	399	局部座屈
NS-0	433	局部座屈
NS-3	394	局部座屈
NS-6	436	首折れ座屈
SD-0	514	首折れ座屈
SS-0	491	首折れ座屈
SS-3	449	首折れ座屈
SS-6	465	首折れ座屈

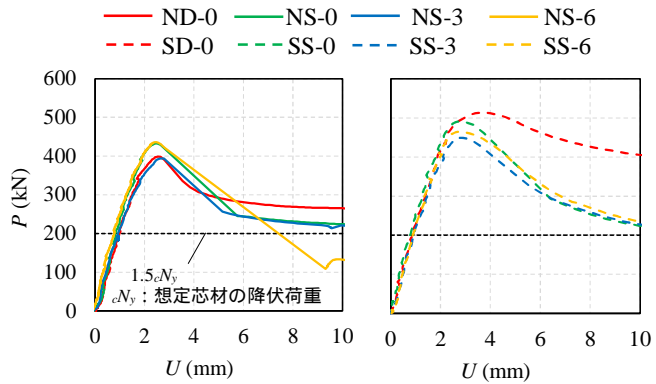


図 5 荷重 - 軸方向変形関係

試験結果一覧を表 3 に、荷重 - 軸方向変形関係を図 5 に示す。ガセットプレートとプレースの材軸を一致させた提案一面摩擦接合 (NS-0, SS-0) は、従来の二面摩擦接合 (ND-0, SD-0) と同等の耐力となった。全試験体で、想定する芯材の降伏荷重レベルまで接合部は損傷しなかった。今回検討したディテールでは、提案する一面摩擦接合は、首折れ座屈・局部座屈の防止に対して二面摩擦接合と同程度に有効である。

一面摩擦接合では、偏心量が大きいほど耐力が低下すると想定されたが、N, S シリーズの両方で、偏心量を 3 mm とした方が偏心量を 6 mm とするよりも耐力が低下した。NS-6 を除いた N シリーズはガセットプレートの局部座屈が生じており、N シリーズの局部座屈荷重は首折れ座屈荷重よりも小さいと考えられる。NS-6 は局部座屈が生じず首折れ座屈が発生したため、局部座屈が生じた他の N シリーズよりも耐力が高くなったと推察される。S シリーズは、N シリーズとは異なり、偏心がない SS-0 が最も耐力が高い結果となった。

先の図 2 に示した P 点の荷重 - 面外変形関係を図 6 に示す。弾性座屈理論では、部材の初期不整が大きいほど圧縮時の面外変形は大きくなる。一方、本試験では、偏心量が異なる NS-0 と

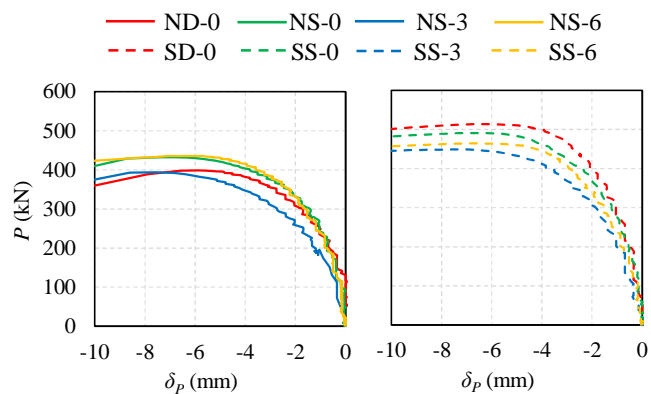


図 6 P 点の荷重 - 面外変形関係

NS-6 の面外変形挙動は、圧縮耐力に至るまで概ね等しい。また偏心量が小さい SS-3 よりも偏心量が大きい SS-6 の方が、同一荷重レベルでの面外変形は小さい。このことから、本検討では板厚が小さく、偏心量が小さかったため、試験体の初期不整として、偏心量よりも大きく影響を与えた要素があり、その結果、耐力と偏心量に明確な相関性がみられなかったと推察される。

## (2) 鋼材量とコストの削減効果の調査結果

一面摩擦接合と二面摩擦接合の鋼材使用量を図 7 に示す。ボルトの鋼材量は一面摩擦接合と二面摩擦接合で等しい。これは、一面摩擦接合のせん断耐力は二面摩擦接合の半分となるが、一面摩擦接合はブレース端部とガセットプレートを直接ボルト接合するのに対し、二面摩擦接合ではブレース端部と添え板の間、添え板とガセットプレートとの間の 2 か所をボルト接合するため、同一のせん断耐力としたときのボルト本数は一面摩擦接合と二面摩擦接合で等しくなることに起因する。本検討では、一面摩擦接合はボルト径を増大し、本数を減らす設計とした。一面摩擦接合は、ガセットプレートとブレース端部での鋼材量は多いが、添え板が不要となる。結果として、全体の鋼材使用量は一面摩擦接合が 12% 少なくなった。

二面摩擦接合の製作コストに対する一面摩擦接合の製作コストの割合を図 8 に示す。加工費は鋼材量に加工単価を乗じることで算出されるため、一面摩擦接合では鋼材量の低下に伴い加工費は低下する。本検討では、一面摩擦接合のコストは二面摩擦接合よりも 15% 低減した。

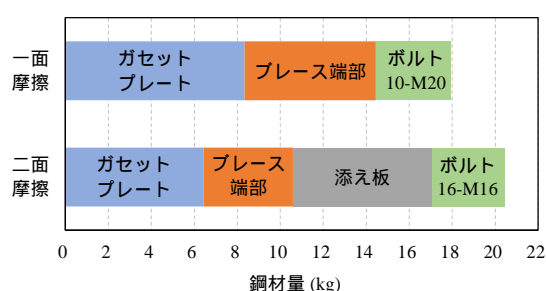


図 7 鋼材量の比較 (重量ベース)

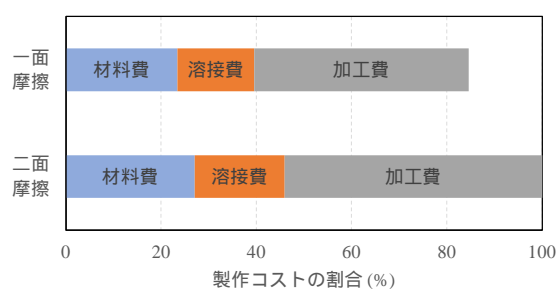


図 8 製作コストの比較

## (3) まとめ

本研究では、提案する一面摩擦接合部と従来の二面摩擦接合部の圧縮荷重実験と鋼材量・コストの分析により以下の知見を得た。

- ・ 偏心量を 0 とした提案する一面摩擦接合部は二面摩擦接合部と同等の耐力を有する。
- ・ 偏心量と圧縮耐力には明確な相関性が表れなかった。この原因の一つとして、板厚が小さく、偏心量が小さかったため、他の初期不整の影響が大きく表れたことが考えられ、板厚の大きな場合の検討が今後の課題である。
- ・ 標準ボルトピッチを基準としたディテールでは、提案一面摩擦接合の方が二面摩擦接合よりも鋼材量・コストを低減できる。

## 【参考文献】

- 1) 竹内徹, 小崎均, 松井良太: 拘束材端部の曲げモーメント伝達能力を考慮した座屈拘束ブレースの構面外機構安定性評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 691 号, pp.1621-1631, 2013.9
- 2) 田川浩, 高島将人, 陳星辰: 偏心配置された割込み板を有する円形鋼管ブレース接合部の簡略化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1009-1012, 2020.9
- 3) 高島将人, 田川浩, 陳星辰: 一面摩擦接合形式を用いた座屈拘束ブレースの有限要素解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 945-946, 2022.7

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高島将人、齊藤隆典、田川浩
2. 発表標題 座屈拘束ブレースを対象とした十字形一面摩擦接合部の圧縮載荷試験と鋼材量・コストの分析
3. 学会等名 日本建築学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------