拘束部材に溝形鋼を適用した BRB の拘束力に関する実験的検討

名城大学　学生会員　○清水　俊彦
名城大学　正会員　渡辺　孝一

1. はじめに

著者らはこれまでに形鋼による座屈拘束ブレース（以下 BRB と記載）の開発研究を行っており，既報告[1]では溝形鋼を拘束部材に適用することによる軽量化と高機能化に着目した実験を試行的に実施した．しかし，実験では同等の諸元を有する高機能座屈拘束ブレース[2]と比較して，最大圧縮載荷時に拘束部材端部で損傷が発生した．

2. 研究目的

既報告では，写真 1 に示すように拘束部材端部で側面の拘束部材（以降，「形状保持板」と呼ぶ）の変形と接合用ボルトが軸部でせん断破壊した様子が確認された．解体して内部を観察すると，写真 2 に示すように拘束部材とブレースの局部座屈損傷が確認された．BRB の断面方向から見ると図 1 のようであり，この損傷要因として，(1) 補剛力（赤矢印）がボルトのすべり耐力（緑矢印）を上回った事によるボルトのせん断破壊，(2) 形状保持板の強度不足による面外変形，が推察される．そこで，本論文は図 1 の接合固定用ボルト本数と形状保持板を変化させて，拘束材として用いる 100mm 幅の溝形鋼のウェブに補剛力が作用して破壊するまでの載荷実験から BRB の拘束部材の必要強度を検討する．

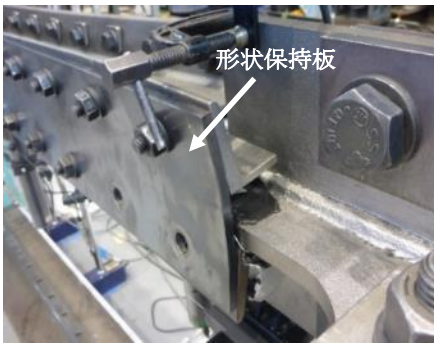


写真 1　端部損傷状況

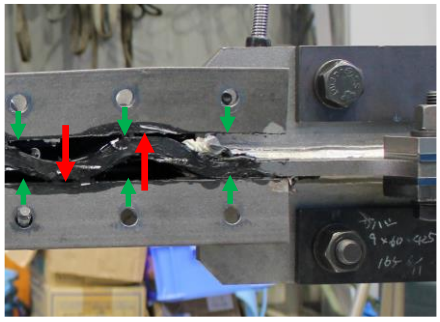


写真 2　実験終了後拘束部材

3. 実験供試体

実験供試体は BRB 断面の軸対称性から図 1 の部分模型範囲で示した 1/2 BRB 部分模型とした．供試体概形を図 2 に示す．この断面の固定ボルト本数 n と形状保持板厚 t を変化させた 4 種類の供試体を表 1 に示す．例として，図 2(a)B12P6 は，固定用ボルト M10（F10T 相当）を片側 6 本（計 12 本）使用し形状保持板厚 6mm の供試体であり，図 2(b)B16P9 は，固定ボルトを密に配置して合計 16 本使用し接合力を増加させ，さらに，形状保持板厚を 9mm とした補強供試体である．

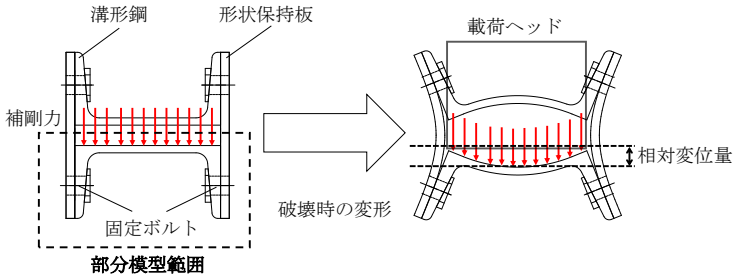
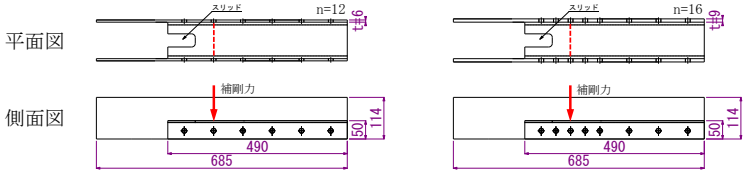


図 1　溝形鋼 BRB 断面



(a)　B12P6　　(b)B16P9

図 2　実験供試体

4. 実験方法

写真 1，2 の損傷を再現するため，既報告で得られたブレース芯材の局部座屈波形 1 波目の頂部（図 2 図中の矢印位置）に着目し，ブレース芯材の局部的な接触力を模した荷重を与えた．載荷はアムスラー型試験装置に載荷ヘッドを取り付け変位制御で実施し，形状保持板と溝形鋼の接合ボルトが破断するまで載荷を行った．

キーワード　座屈拘束ブレース，溝形鋼，すべり耐力，補剛力
連絡先　〒468-8502　愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501　名城大学　TEL 052-832-1151

実験結果は，載荷位置直下の溝形鋼ウェブの変形量であり，形状保持板の接合ボルトの滑りによるずれ量を除外している．

5. 実験結果

荷重（補剛力）－変位関係を図 2 に示す．B12P6 は同一諸元の載荷を 3 台，B16P9 は 2 台実施した．実験結果にばらつきが少なかったため，ここでは，B12P6-2，B16P9-1 の載荷履歴を表示する．B16P6 を除く全ての供試体でボルトが破断したため，実験を終了した．B16P6 は束材部材の面外変形が進行し，ボルトの破断は発生しなかったが，載荷限界の δ=20mm 地点で実験を終了した．

図 3 に載荷履歴を一つにまとめる．全ての供試体で載荷開始から接合ボルトのすべりが明確に生じる 75kN（変位 0.8mm）まで線形挙動を示しているが，ボルトの摩擦接合にすべりが生じて荷重が剛性が低下する．その後，ボルトが支圧接合に移行しながら，再び荷重が上昇し，最終的にボルトが破断したために，載荷を終了した．既報告で使用した供試体と同等の諸元の供試体 B12P6 では，写真 1 と同じ端部の損傷とボルトの破断が確認された．

表 1　供試体一覧

供試体名	ボルト本数n [本]	形状保持板厚t [mm]
B12P6-1	12	6
B12P6-2		
B12P6-3		
B12P9-1		9
B16P6-1	16	6
B16P9-1		9
B16P9-2		

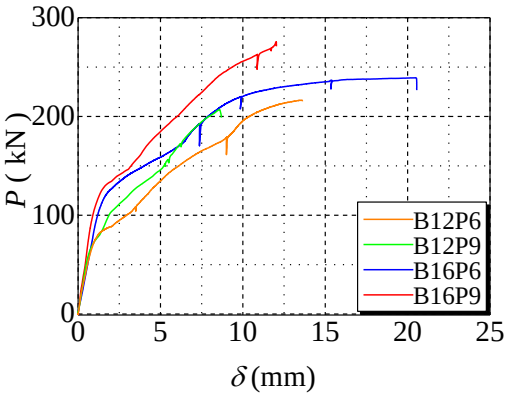


図 3　荷重-変形関係

6. 考察

各供試体の載荷初期の剛性とすべり耐力および，実験終了時の荷重をボルト破断荷重としてまとめた結果を表 2 に示す．ボルト本数が同じで，形状保持板の厚さの違いに着目すると，B12P6 の初期剛性は，81.4kN/mm に対し B12P9 は 95.9kN/mm となり，約 15%高い値となった．同様に，B16P6 の 86.8kN/mm に対し，B16P9 では 103.3kN/mm となり，剛性の上昇は約 16%と同程度であり，形状保持板の強度は厚さと比例関係であることは，明確である．

表 2　実験結果一覧

供試体名	初期剛性 [kN/mm]	すべり耐力 [kN]	ボルト破断荷重 [kN]
B12P6	81.4	80.0	217.9
B12P9	95.9	72.8	207.7
B16P6	86.8	127.5	―
B16P9	103.3	131.2	264.7

一方で，B12P6 のすべり耐力が約 80kN に対し，B16P6 は 127.5kN と 37%程高い値となった．同様に B12P9 で 72.8kN に対し，B16P9 は 131.2kN と 45%程高い値となった．これより，すべり耐力はボルト本数が大きく影響することは明かであり，補強のためボルト間隔を 1/2 として密に配置することにより，概ねすべり耐力が 37%～45%程度向上することを確認した．

7. まとめ

以下に本実験で得られた知見をまとめる．

(1) 部分模型による載荷実験を行った結果，端部の損傷及びボルトの破断を確認し，既報告の端部損傷を再現することができた．(2) 拘束部材として溝形鋼を固定する形状保持材は，一定以上の板厚とし，補剛力に対して必要な十分な強度を確保することが重要である．(3)固定ボルトは，配置本数とすべり耐力が明確に比例関係となるため，補剛力に応じたボルト本数を確保することが重要である．

FEM解析による補剛力の推定を進めており，ブレース芯材の局部座屈を防止し，かつ，形状保持板で固定された拘束部材が補剛力に対して安全側となる設計のため，溝形鋼サイズに応じた，ボルト間隔と形状保持板組み合わせについて引き続き検討を進める予定である．

参考文献

1)　清水俊彦，渡辺孝一：拘束部材に溝形鋼を使用した BRB の変形性能に関する実験的検討，平成 27 年度全国大会第 70 回年次学術講演会概要集, I-029,2015.9.

2)　宇佐美勉，佐藤崇，葛西昭：高機能座屈拘束ブレースの開発研究，構造工学論文集 Vol.55A, pp719-729