

ワンサイドボルトを用いた薄鋼板構造性能実験  
 その4 ワンサイドボルトを用いた薄鋼板構造部材の実験結果の検討  
 Experiments on the Performance of Thin Steel Plate Structures Using One-side Bolt  
 Part.4 Investigation of results on BH shaped steel beam and thin steel plate

津田達也<sup>1</sup>, ○藤井克紀<sup>2</sup>, 渡辺邦夫<sup>3</sup>, 揚原茂雄<sup>3</sup>, 姿健一郎<sup>4</sup>, 中西三和<sup>5</sup>, 安達洋<sup>5</sup>  
 Tatsuya Tsuda<sup>1</sup>, Katsunori Fujii<sup>2</sup>, Kunio Watanabe<sup>3</sup>, \*Shigeo Agehara<sup>3</sup>, Kenichiro Sugata<sup>4</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>5</sup>, Hiromi Adachi<sup>5</sup>

In this paper, in order to analyze HP shell made of thin steel plate, the strength and stiffness of beam (specimen A) and plate (specimen B) are considered from the experimental results of the previous report (Part.1,2,3).

1. はじめに

本研究では、薄鋼板を用いた、見付平面寸法 32×32mm の HP シェル (Fig.1) を想定して試設計を行った。昨年度は、この曲面構造の基本的な挙動を把握するために3つのシリーズ (A, B, C) の実験を行った。

シリーズ A は薄鋼板を用い断続溶接した BH (build.H) 梁と上下フランジ面に薄鋼板パネルを張付ける際、裏面からのナット締め付けを必要としないワンサイドボルト接合した梁の実験、シリーズ B は板の面内方向の性能を調べたせん断実験、そしてシリーズ C は試設計された HP シェル曲面構造の 1/10 模型試験体の実験である。本報では、これら実験結果 1), 2), 3) に基づいて各試験体の剛性と耐力に及ぼすパネルの有効幅について検討し、部材のモデル化を行った解析と実験結果の比較から解析モデルの妥当性を確認した。

Table.1 に各試験体の概要を示す。

2. シリーズ A の実験結果の検討

2.1 パネルの有効幅

BH 梁に薄鋼板パネルを取り付けた際の面外方向における剛性を評価するために、パネルの有効幅を求めた。有効幅の算出には、Fig.2 の(1)式に示す 2点载荷における梁中央のたわみ式に、最大耐力の 1/3 を弾性域と仮定した弾性時の実験値を代入し、実験に適合する断面 2次モーメントを求め、リブの BH 梁の断面 2次モーメントを引いたものを、薄鋼板パネルの断面 2次モーメント  $I_p$  とし、(2)式を用いて、パネルの有効幅を算出した。算出した結果を Table.2 に示す。この結果から、3.2mm パネルでは 300mm, 1.6mm パネルでは 200mm の有効幅が見込めることがわかった (Fig.3)。

2.2 最大耐力の検討

パネルを取り付けた際の試験体の最終破壊が断続溶接試験体と同じ断続溶接間の圧縮フランジが局部座屈を起こすことから、耐力算出には、断続溶接試験体の

同様に、断続溶接間を座屈長さとして、座屈応力度を算出し、材料の降伏点強度と鋼材の許容応力度との比を強度上昇率とし、その積をみかけのフランジの降伏点強度とした降伏点強度と、2.1 で算出した有効幅に基づいて計算上の耐力を算出した。実験値と計算値を Table.3 に示した。溶接接合では、概ね近い耐力を算出

Table.1 Specimen summary

試験体名	試験体概要
A2	断続溶接試験体
A2-W3.2	3.2mm板 溶接接合
A2-W1.6	1.6mm板 溶接接合
A2-B3.2	3.2mm板 ワンサイドボルト接合
A2-B1.6	1.6mm板 ワンサイドボルト接合
B1	3.2mm板をワンサイドボルトで固定
B2	1.6mm板をワンサイドボルトで固定
B3	1.6mm板をワンサイドボルトで固定 産屈止めあり
B4	1.6mm板をワンサイドボルトで固定 産屈止めあり ボルト2倍

Fig.1 Experimental model and scale

$$\delta = \frac{23pl^3}{1296EI} + \frac{sppl}{6GAtw} \quad (1)$$

$$B = \frac{12I_p}{H^3 - h^3} \quad (2)$$

$I_p$ : パネルの断面 2次モーメント [mm<sup>4</sup>]  
 $B$ : 有効幅 [mm]  
 $E$ : ヤング係数 [N/mm<sup>2</sup>]  
 $\delta$ : 中央変位 [mm]  
 $G$ : せん断係数 [N/mm<sup>2</sup>]

Fig.2 deflection formula of beam

Table.2 Effective widths

試験体名	$I_p$ [mm <sup>4</sup> ]	B [mm]
A2-W3.2	19851019	300
A2-W1.6	6635387	204
A2-B3.2	19588809	296
A2-B1.6	7423966	228

Fig.3 Effective widths

Table.3 Experimental results

試験体名	実験値 [kN]	理論値 [kN]
A2-W3.2	180.8	194.5
A2-W1.6	126.8	127.5
A2-B3.2	160.0	172.1
A2-B1.6	105.8	106.4

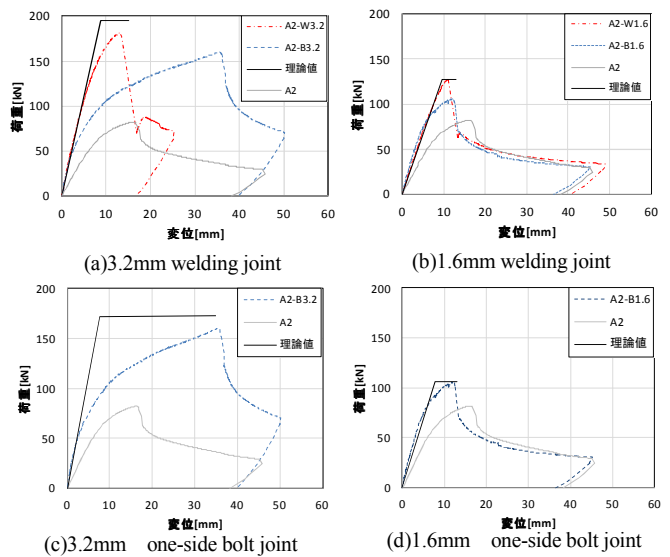


Fig.4 load-displacement curves

1 : 株式会社小山工作所 Oyamakousakusyo Co. Ltd.  
 2 : 株式会社ロブテックスファスニングシステム Lobtex Fastening System Ltd.  
 3 : 構造設計集団 (SDG) STRUCTURAL DESIGN GROUP  
 4 : 日大理工・院・海洋 Graduate Student, Graduate School of Science & Technology, Nihon Univ.  
 5 : 日本理工・教員・海建 Prof. Dept. of Oceanic Architecture & Engineering College of Science & Technology, Nihon Univ. Dr. Eng

した。ボルト接合の計算値は、実験からボルト接合は溶接接合に比べ、約 15%ほど耐力が減少する傾向があったので、溶接接合の計算値を同様に減少させた結果、実験値と近い値が得られていることを確認した。

2. 3 バイリニアモデル

2.1 と 2.2 の結果から、シリーズ C の試験体の弾塑性解析を行うために、バイリニアモデルを作成した。各試験体に設定したバイリニアモデルを、Fig.4 の実験の荷重-変形曲線に併せて示す。なお、降伏後の 2 次剛性は、1/1000 とした。同図(a)(c)から、3.2mm では、接合による違いが現われ、溶接接合は近似した結果であるのに対し、ボルト接合ではすべりによる剛性低下が生じ、バイリニア曲線で表すのは困難であることがわかった。1.6mm では、(b)(d)で示されるように、降伏に至るまで、ほぼ線形である。なお、シェルにおいては、面外性能よりも面内の性能が主要であるため、シリーズ C と接合方法とパネル厚が同条件の図(d)の実験値とバイリニア曲線は、多少異なるが許容とした。

3. シリーズ B の実験結果の検討

3. 1 パネル板のせん断座屈耐力

パネル板のせん断座屈耐力の実験結果と理論値を Table.4 に示す。実験値は、実験中に目視でパネルに皺が確認できた時の耐力とし、耐力の算出は、鋼構造設計規準のウェブプレートの許容せん断板座屈応力度 (Fig.5) から耐力を算出した。その結果、実験のほうが高い耐力が得られた。また、座屈止めやボルト本数倍にしたが、座屈耐力を上昇させる効果はなかった。

3. 2 ブレース置換

パネル板の面内剛性を評価するために Fig.6 の(3)式に示すブレース置換法でパネル板をブレース置換し、求めたブレース断面積  $A_B$ 、(4)式のブレース変形式に実験の最大耐力の 1/3 を弾性域と仮定した弾性時の実験値を代入し、実験の面内剛性に適合するブレース断面積  $A_B'$  を有効ブレース断面積とし、Table.5 に示す。全断面が効いた場合に比べ、3.2mm では、約 70%減少、1.6mm では、約 60%減少していることがわかった。

3. 3 最大耐力の検討

最大耐力の算出には、置換したブレースの引張材の断面積に鋼材の材料強度を乗じて算出した。Table.6 が示すように、1.6mm 試験体は近い値を得るが、3.2mm は異なる値となった。この結果から、3.2mm パネルにおいては、実験の剛性に適合させるブレース置換では、計算が合わないことがわかった。

3. 4 バイリニアモデル

置換ブレースの圧縮材の最大耐力を 3.1 の実験で得た

座屈耐力とし、引張材の最大引張耐力を最終耐力とした。圧縮材の座屈後は、引張材のみとなるため、2 次剛性は初期剛性の半分となるバイリニアモデルを作成した。Fig.8 に実験の荷重-変形曲線とバイリニアモデルを併せて示す。図から、実験の履歴曲線とバイリニア曲線が近似する結果となった。試験体 B1 は、3.1、3.3 の結果から、バイリニアモデルを作成するには困難であることがわかった。

4. まとめ

ワンサイドボルトを用いた薄鋼板構造部材の実験結果の検討から以下の知見が得られた。

- (1) 実験結果から得た面外方向におけるパネルの有効幅を用いて、作成したバイリニアモデルが実験の荷重-変形曲線に近似することがわかった。
- (2) 3.2mm を除いた 1.6mm パネルにおいて、有効ブレース断面積から得た、バイリニアモデルが実験の荷重-変形曲線と近似することがわかった。

【参考文献】

- (1) ワンサイドボルトを用いた薄鋼板構造性能実験—その 1 薄板 BH 鋼梁の実験概要—
- (2) ワンサイドボルトを用いた薄鋼板構造性能実験—その 2 薄板 BH 鋼梁の実験結果—
- (3) ワンサイドボルトを用いた薄鋼板構造性能実験—その 3 薄板鋼板パネルの面内せん断実験概要及び実験結果
- (4) 井上一朗; 建築鋼構造—その理論と設計 鹿島出版会 2010. 2. 10
- (5) 日本建築学会; 鋼構造設計基準 丸善株式会社 2003. 4. 20

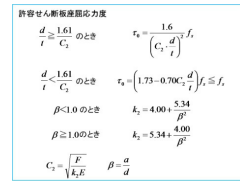


Fig.5 Allowable shear buckling stress

$$A_b = \frac{GA\ell}{2Eh\cos\theta} \quad (3) \quad A_b' = \frac{Q}{2E\cos\theta\delta} \quad (4)$$

$A_b$ : ブレース断面積[mm<sup>2</sup>]  $G$ : せん断係数[N/mm<sup>2</sup>]  
 $Q$ : 水平荷力[N]  $\delta$ : 水平変形[mm]  
 $E$ : ヤング係数[N/mm<sup>2</sup>]  $A_w$ : パネル断面積[mm<sup>2</sup>]

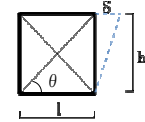


Fig.6 Wall by model of brace substitution

Table.5 Section area of brace substitution

試験体名	$A_B$	$A_B'$
B1	1860	543
B2	930	373
B3	930	372
B4	930	477

Table.6 result of maximum load

試験体名	実験値	理論値
B1	249.4	174.6
B2	128.1	120.0
B3	125.9	119.6
B4	155.9	153.4

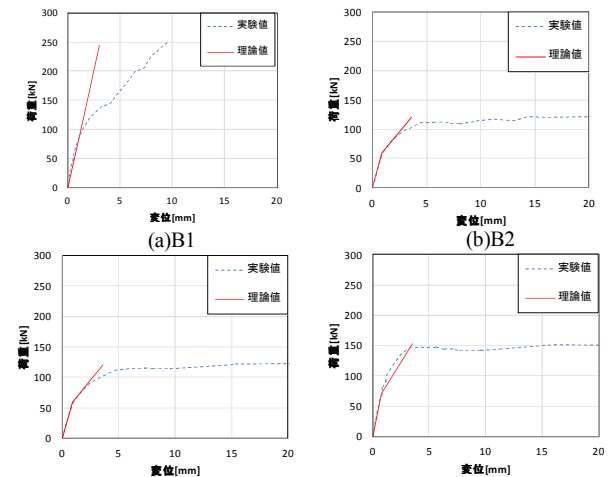


Fig.8 load-displacement curves