

1. はじめに

従来の鉄骨構造の設計では、柱の弱軸方向に対して耐震要素としてよくブレースを用いる。また、耐震性能が不足する低層鋼構造建物に対しては、変形の抑制、非構造材の保護の観点からブレースによる補強も有効である。ブレースを設ける場合、接合部となるガセットプレートを柱梁に取り付ける必要がある。ブレースをガセットプレートと高力ボルトで接合する場合、母材の有効断面の破断によって決まる接合部の最大耐力は、使用する形鋼、接合するボルト本数、接合部の応力方向の長さ、接合部の偏心量などの影響を受ける。本研究では、高力ボルトを介して引張り力を受けるガセットプレートの最大耐力を算出する時の有効幅と有効角度の評価精度について検討する。

2. 既存の評価方法

高力ボルトで接合された引張筋交いのガセットプレートの応力伝達有効角度は筋交い材の配置を考慮せず、最上部のボルト孔中心から左右 30° の広がりとなされ、ガセットプレートの最下部のボルト孔中心位置の有効幅を使用している。高力ボルト摩擦接合によるブレース接合部の耐力を求めるため、ガセットプレートの有効幅をこの 30° 線の仮定に基づく必要があり、このときブレース接合部では(1)式を満たすものとする。また、ガセットプレートが破断する時の最大引張耐力は(2)式より求めることができる。

$${}_j N_u \geq \alpha \cdot N_y \quad (1)$$

$${}_j N_u = {}_g A_e \cdot {}_g F_u \quad (2)$$

ここに、 ${}_j N_u$: ブレース接合部の軸方向の最大引張力、 α : ブレース端部の接合部係数、 N_y : ブレース全断面の引張降伏耐力($= {}_b A \cdot F_y$)、 F_y : ブレース材の降伏強さ、 ${}_b A$: ブレースの全断面積、 ${}_g A_e$: ボルト孔による欠損断面積を考慮したガセットプレートの有効断面積、 ${}_g F_u$: ガセットプレートの引張強さである。ブレースの軸力は最大耐力時において全ての接合ボルトによって均等的に分担しているとすれば、 30° の広がりによる有効

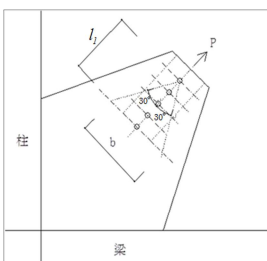


図1 ガセットプレートの応力伝達

断面積に対して最終ボルト位置は危険断面となり、耐力評価式は(2)式となる。この時の有効幅は

$$b = \frac{2}{\sqrt{3}} l_f, \text{ ガセッ}$$

トプレートの有効

断面積は ${}_g A_e = b \cdot {}_g t - A_d$ 、欠損断面積は A_d となる。

3. 数値解析

汎用プリポストシステム HyperMesh を用いて解析モデルを作成し、汎用構造解析ソフト ABAQUS を用いて数値解析を行った。解析モデルは板厚 12mm のガセットプレートに対して2つのブレースで挟むような形で高力ボルトを用いて接合している。ブレース材・ボルトは弾性体、ガセットプレートは弾塑性体とし、SS400 鋼材の真応力-真ひずみ関係を使用する。ブレース形状・ボルト本数は一定、ガセットプレート形状・ボルト張力の有無・材料の最大引張強度時の劣化設定の有無をパラメータとして応力解析を行い、ガセットプレートへの応力伝達の違いを比較した。材料の最大引張強度時の劣化は、勾配が緩やかなものを(1)、急なものを(2)とした。なお、解析に使用した静摩擦係数は 0.45、鋼材のヤング係数は 205000 N/mm²とした。

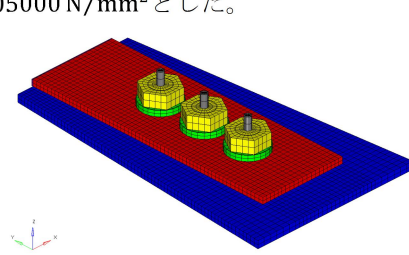


図2 解析モデル(G5)

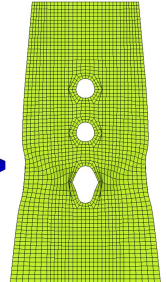


図3 破壊形式

表1 解析モデル詳細

モデル名称	ボルト張力	材料の劣化	ガセットプレートの形状
G1	なし	なし	長方形
G2	なし	あり1	長方形
G3	なし	あり2	長方形
G4	あり	あり1	長方形
G5	なし	あり1	台形

表2 詳細寸法

使用ボルト	ボルトピッチ (mm)	ガセットプレートの最終 ボルト位置の全幅(mm)	有効幅 (mm)	端あき距離 (mm)	ブレース板厚 (mm)
F10T M16	39.8	127.6	91.9	80	6

4. 解析結果及び考察

図4は表1に示す各解析モデルの荷重-変位グラフであり、この数値解析により得られた耐力と学会指針による評価値を表3に示す。表からわかるように、G1とG3を除く全ての解析モデルにおける解析値と評価値との差はいずれも2割程度となっている。表からもわかるように、いずれのケースも安全側の過小評価となっており、既存の評価方法は概ね妥当であると言える。標準モデルG2に比べ、ボルトの初期張力が導入されたモデルG4の場合では、耐力が5%程度大きくなっている。最大耐

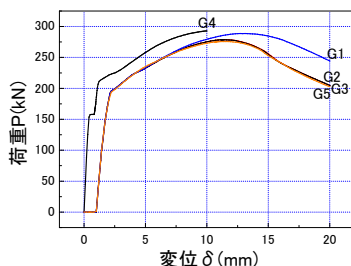


図 4 荷重－変位グラフ

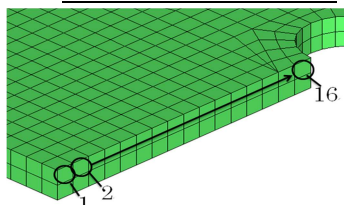


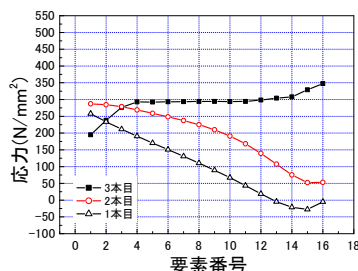
図 5 要素番号

表 3 最大耐力時における

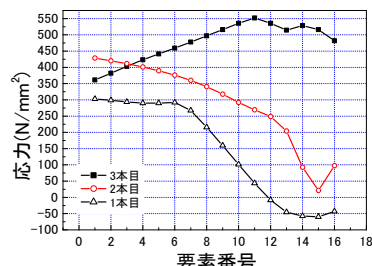
解析結果と評価値の比較 (kN)

	G1	G2	G3	G4	G5
評価値	228.8				
解析値	288.7	278.7	278.5	292.8	275.7

力時では被接合体の塑性変形によって、ボルト張力の大半が解放されたが、残存摩擦耐力によって最大耐力がある程度の上昇に至った。既存評価式では、この残存摩擦耐力の影響を考慮していない。このことによって、評価式は単に安全側の過小評価ヘシフトすることになる。このことを踏まえて、解析モデル G2 に対して評価式(2)は安全側の評価ではなく、精度の良い評価式にするには、応力の流れや分布に基づく有効幅の検討が必要である。一方、既存の耐力評価式では、降伏耐力も最大耐力も同じ有効幅・有効断面積を使用しており、これは主に弾性範囲内の応力解析結果に基づく指摘されている。本論文では、弾性範囲内の解析結果と最大耐力時の結果の両方を検討する。図 4 の G2 と G3 を比較すると、最大耐力に対して材料劣化の勾配の影響が敏感ではないことがわかる。このことを踏まえて、耐力が上昇し続ける傾向の劣化モデルよりも、劣化設定モデルの方が実態に近いと考えられる。モデル G2 における応力度分布及びその変化の様子を図 6 に示す。ボルト孔周辺の応力集中が見られるが、その応力が降伏応力度を超えようとする時の応力分布では、ボルト孔を中心とする領域が主に荷重を分担しており、外側になればなるほどその分担が徐々に低下する。この状態では有効幅と言えるほどのものがなく、有効断面積の設定が難しい。一方、降伏耐力時の応力分布ではほぼ台形の分布形状となり、応力一定の領域が顕著に表れている。その応力一定の領域の幅は概ね第一ボルト中心からの 30° 線で定義することができる。しかし材料のひずみ硬化後の塑性状態では、応力分布が低荷重弾性時の分布と類似してくる。最大耐力まで荷重が上昇しても、30° 線有効幅程度の台形分布にはならず、ボルト孔付近から離れるにつれ徐々に分担が低下する。



(a) 降伏耐力時



(b) 最大耐力時

図 7 各ボルト位置の応力度分布

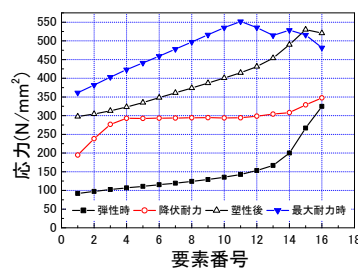


図 6 モデル G2 における
応力度分布の変化

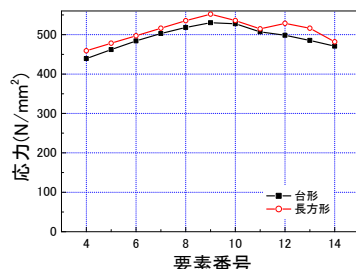


図 8 ガセットプレート形状の
違いによる影響

図 7 に降伏耐力時・最大耐力時の各ボルト位置での応力度分布を示す。ここからも最終ボルト位置の降伏耐力時応力が 30° で伝達されていることが分かるが、第一ボルト位置・第二ボルト位置ともに応力分布が乱れており、応力伝達の複雑さを示している。最大耐力時において、第一ボルト位置・第二ボルト位置で応力がマイナスになるところが確認された。図 8 は長方形ガセットプレートと台形ガセットプレートの応力伝達の比較である。最大耐力時においては、整形なガセットプレートのほうが 4%程度応力が大きくなっているが、応力の分布形状の変化がほとんどなく、ガセットプレートの形状による影響がほとんど見られないことが分かる。

5. まとめ

本論文では、数値解析を通して、ガセットプレートの応力伝達の有効幅と有効角度について検討した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 本論文のいずれの解析モデルにおいても、最大耐力の解析値が既存の評価式と比較すると大きくなっており、既存の評価方法は安全側の過小評価であると言える。
- (2) 降伏耐力時については、主に 30° 線による有効断面が荷重を負担しているが、最大耐力時でははっきりした台形分布とならず、既存式の最大耐力評価の誤差の主要因になっていると言える。

参考文献

- 1) 平田 聡、都合 重範、宇田川 邦明：「高力ボルト接合された引張筋違いガセットプレートの有効角度と有効幅」、日本建築学会大会学術講演梗概集、2008 年 9 月
- 2) 宇田川 邦明、都合 重範、平田 聡：「高力ボルト接合された引張筋交いガセットプレートの有効幅と有効角度に関する実験」、鋼構造論文集、2008 年 9 月
- 3) 日本建築学会：「鋼構造接合部設計指針」、2012 年 3 月 (林研究室)