

L 字形材をボルト接合した鋼板パネルの強度と変形に関する解析的研究

大阪市立大学大学院 学生員 ○藤田 翔吾
 京都大学大学院 正会員 松村 政秀

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 研究背景および目的

既設の薄肉鋼板パネルの局部座屈の防止には縦補剛材の追加が有効である。その接合法には、溶接接合とボルト接合があるが、溶接接合では入熱による変形や応力が、ボルト接合では孔あけによる断面欠損が、それぞれ補強効果に影響を及ぼすことから、施工性や経済性などを考慮して適切に接合法を選択する必要がある。

ここで、文献 1)では溶接組立した L 字形材 (以下、L 字形材と呼ぶ) をボルト接合により薄肉な鋼板パネルに追加設置する補強効果を載荷実験により検討し、L 字形材が局部座屈の防止に有効であることが示されている。

そこで、本研究では、L 字形材をボルト接合した板パネルの強度と変形を FEM 解析により検討する。

2. 解析モデル

解析では、図-1 に示すように、圧縮力を受ける箱型断面トラス弦材の板パネルを周辺単純支持板としてモデル化し、これに L 字形材を追加する。板パネルの板幅は 360 mm、板厚は 10 mm であり補強前の板パネルの幅厚比パラメータは 0.8 である。L 字形材は、縦補剛材の幅厚比パラメータが $R_y < 0.5^2$ 、かつ補剛材の剛比と必要最小限剛比の比が $\lambda > 1^2$ の条件で設計した縦補剛材 (80.9×11t) にボルト孔を設けた平板 (66×11t) を溶接して製作する。板パネルおよび L 字形材を高力ボルト M20・F10T により接合し、中央部分のボルト間隔は最小ボルト間隔²⁾である 120 mm、締付けボルト軸力は 182 kN とする。

対称条件を考慮して板パネルの 2 分の 1 をソリッド要素によりモデル化する。辺 ad に対称条件、それ以外の辺に単純支持条件を設定し、辺 bc に一様圧縮変位を載荷し補強後の板パネルの強度を算出する。初期不整として、初期たわみと残留応力を考慮する。また、死荷重等による初期応力として、板パネルの降伏応力の 2 分の 1 を考慮する。板パネルおよび L 字形材はいずれも鋼材 SM490Y 材とし、完全弾塑性型の応力-ひずみ関係を設定する。解析には、汎用有限要素法解析コード ABAQUS Ver.6.9.3 を用いる。

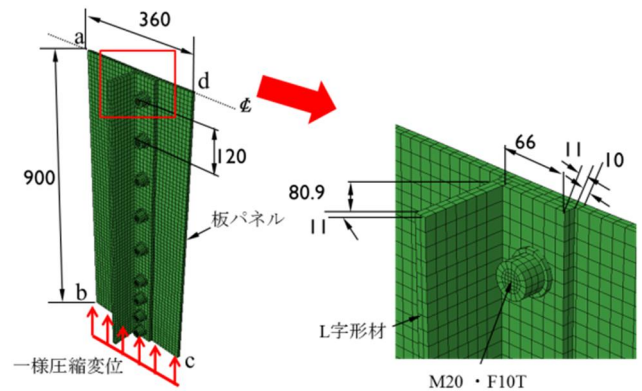


図-1 解析モデル (単位: mm)

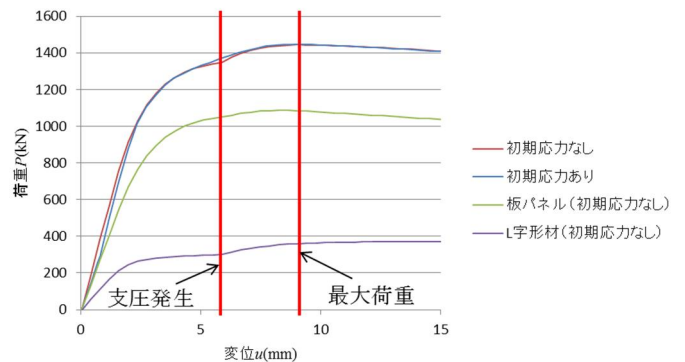


図-2 荷重-変位関係

表-1 主な解析結果

| | P_u (kN) | k (N/mm) | P_u/P_y | P_u/P_{yA} |
|--------|------------|------------|-----------|--------------|
| 初期応力なし | 1,444 | 4.97E+05 | 1.130 | 0.762 |
| 初期応力あり | 1,447 | 4.95E+05 | 1.133 | 0.764 |

P_u は最大荷重、 k は初期剛性、 P_y は板パネルの降伏荷重 (= y × 板パネルの断面積)、 P_{yA} は全断面の降伏荷重 (= y × 全断面積) である。

3. 荷重-変位関係

図-2 に荷重-変位関係を、表-1 に主な解析結果を示す。図-2 には、初期応力を考慮しない場合の板パネルと L 字形材の荷重-変位関係も併せてプロットしている。

図-2 および表-1 より、初期応力の有無は初期剛性および最大荷重にほとんど影響を与えないことが確認できる。また、板パネルの降伏荷重 P_y に対する最大荷重 P_u の比は $P_u/P_y > 1$ であり、板パネルに L 字形材をボルト接合することによって板パネルに対する十分な補強効果が得られたといえる。

一方、L 字形材と板パネルからなる全断面の降伏荷重

キーワード: 板パネル, ボルト接合, FEM 解析, 補強

連絡先: 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科 TEL&FAX 06-6605-2765

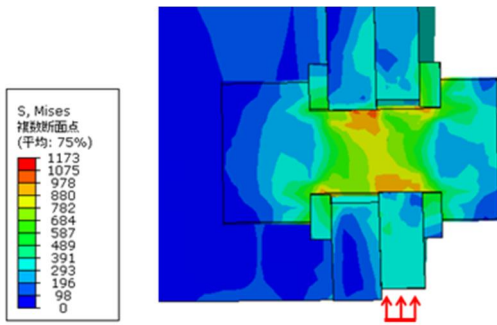


図-3 支圧状態の様子 (変位 : 7.4 mm)

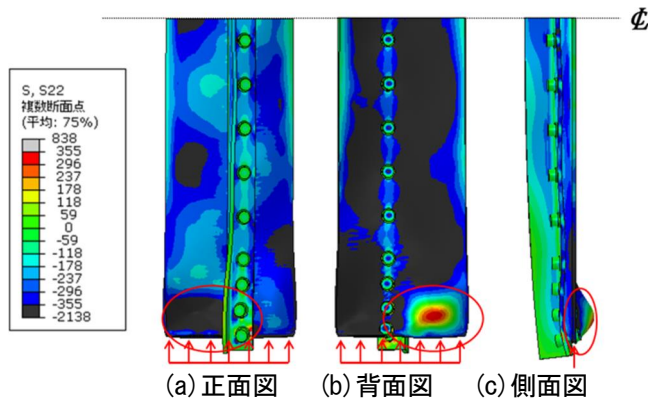


図-4 軸方向応力コンター図 (変形倍率 : 10 倍)

P_{y1} に対する P_u の比は $P_u/P_{y1}=0.762$ であり, 補強後の強度や剛性を評価する上で L 字形材の全断面が補強効果に寄与しているわけではないことに注意を要する.

また, 荷重直後はボルト接合部の摩擦により L 字形材に荷重が伝達されるが, 変位 $u=5.5$ mm 付近から, 荷重辺に近い 1 番目のボルトが図-3 に示すような支圧状態に移行したことが確認できる. その後, 図-4 に示すように, 荷重辺付近の板パネルに局部座屈が発生したため, $u=9.0$ mm 付近で最大荷重を得る.

4. ボルトの作用せん断力

板パネルに作用する荷重はボルト接合部を介して L 字形材に伝達され, 板パネルと L 字形材の軸方向変位量は一致しないことから, 各ボルト軸部に作用するせん断力に着目する. 図-5 には弾性範囲 ($u=1.2$ mm), 支圧開始時 ($u=5.5$ mm), 最大荷重時 ($u=9.0$ mm) において各ボルト軸部に作用するせん断力の分布を示す.

図-5 より, 弾性範囲では各ボルト接合部での摩擦が期待できるため各ボルトにほとんどせん断力が作用していないが, 荷重辺に近い BOLT1 が支圧状態に移行すると, BOLT1, 2 のせん断力が増加し始め, 最大荷重時には BOLT1 に 95 kN, BOLT2 に 25 kN と荷重辺に近いボルトには大きなせん断力が作用している. このとき, BOLT2

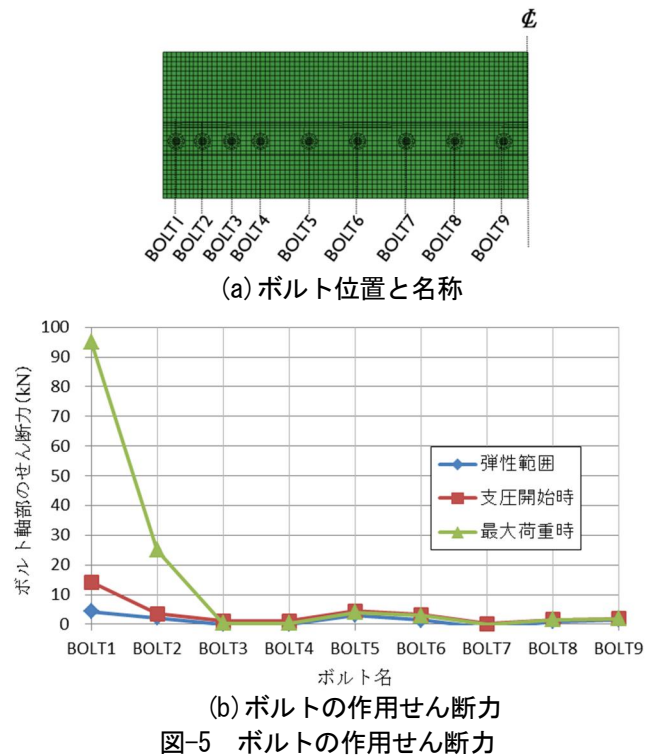


図-5 ボルトの作用せん断力

よりも荷重辺側では L 字形材に比べ板パネルが受け持つ荷重が他の部分より著しく大きくなることから, 図-3 に示したとおり, 荷重辺に近い板パネルに局部座屈が生じたことが確認できる.

5. 結論

本研究では, FEM 解析により L 字形材をボルト接合した板パネルの強度と変形を検討した. 得られた主な結論は次のとおりである.

- 1) 補強後の最大荷重は板パネルの降伏荷重を上回り, L 字形材をボルト接合する方法により十分な座屈防止効果が期待できる.
- 2) 最大荷重は板パネルと L 字形材の降伏荷重よりも小さく, 補強後の強度や剛性の評価には注意を要する.
- 3) ボルトの作用せん断力が大きく, L 字形材端部付近の板パネルに局部座屈が生じやすく, 補強後の板パネルの強度はこの局部座屈の発生が支配的である.

なお, 本解析手法により文献 1)の再現解析を進めているところであり, 本解析手法の妥当性については別途報告したいと考えている.

参考文献

- 1) 松村政秀, 幸田真也, 山口隆司: ボルト接合した補剛材による鋼板パネルの座屈防止効果に関する圧縮力荷重実験, 鋼構造論文集, Vol.21, No.84, pp.23-35, 日本鋼構造協会, 2014.12
- 2) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 2012.3