第Ⅰ部門　　L 字形材をボルト接合した鋼板パネルの耐力算定法に関する解析的研究

大阪市立大学工学部　学生会員　○藤田　翔吾　大阪市立大学大学院　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

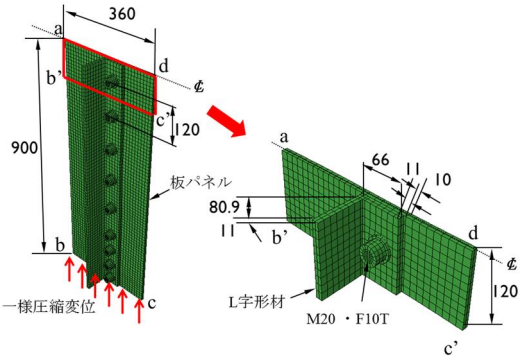
既設の薄肉鋼板パネルの局部座屈の防止には縦補剛材の追加が有効である．その接合法には，溶接接合とボルト接合があるが，現場での施工面で溶接接合では入熱による変形や応力の品質管理が難しく，ボルト接合では孔あけによる断面欠損が生じ，それぞれ補強効果に影響を及ぼすことから，施工性や経済性などを考慮して適切な接合法を選択する必要がある．

ここで，L 字形材をボルト接合して板パネルを補強する場合，板パネルへの作用荷重はボルト接合部を介して L 字形材に伝達されるため，板パネルおよび L 字形材の軸方向変位量は一致せず，両者の変形状態を考慮して補強後の板パネルの耐荷力特性を評価する必要がある．

そこで，本研究では板パネル，L 字形材の変形状態を考慮して L 字形材をボルト接合した板パネルの補強後の強度を定量的に算出する方法を検討し，補強後の幅厚比パラメータの算出を試みる．

2. 解析モデル

解析には，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する全体モデル，および全体モデルから中央部分（120mm）を取り出した部分モデルを用いる．解析モデルを**図-1** に示す．板パネルの板幅は 360mm，板厚は 10mm 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_S<0.5，補剛材の剛比と必要最小限剛比の比 が γ_s/γ^*>1 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[1]．板パネルおよびL字形材はいずれも鋼材 SM490 材であり，完全弾塑性形の応力-ひずみ関係を設定する．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である 120mm，締付けボルト軸力は 182kN である．全体モデルは板パネルの 2 分の 1 をソリッド要素によりモデル化し，辺 ad に対称条件，それ以外の辺に単純支持条件を設定する．部分モデルでは，載荷辺 bc に対称条件を設定する．また，初期不整として，初期たわみと残留応力を考慮する．死荷重等による初期応力（ここでは，板パネルの降伏応力の 2 分の 1）を考慮するモデルには-F を付している．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．



(a)　全体モデル　　(b)　部分モデル

図-1　解析モデル（単位：mm）

3. 解析手順

まず，全体モデルにおいて板パネルの辺 bc に一様圧縮変位を載荷し，中央部分の板パネルと L 字形材の応力状態を得る．次に，部分モデルの板パネルと L 字形材に終局時の変形状態を再現した圧縮変位をそれぞれ与える．すなわち，全体モデルを用いて算定した断面 bc における板パネルおよび L 字形材の軸方向変位量を，強制変位量として部分モデルに載荷し，補強後の板パネルの強度を算出する．

4. 解析結果

4.1 板パネルと L 字形材の応力状態（全体モデル）

図-2 には，断面 bc における板パネルの変位に対する，L 字形材の平板および縦補剛材先端の軸方向変位の比率と載荷辺 bc の変位 u の関係を示す．

同図より，載荷辺 bc 付近において，ボルト接合による摩擦が期待できる状態，摩擦力を上回る状態，ボルト軸部とボルト孔が接触する支圧状態に移行する状態で，中央部分における板パネルと L 字形材の軸方向変位の比率が異なり，板パネルと L 字形材の軸方向変位量は一致し

Shogo FUJITA, Masahide MATSUMURA, and Takashi YAMAGUCHI
sfujita@brdg.civil.eng.osaka-cu.ac.jp

ないことがわかる．最大荷重以降は，初期応力の有無に係わらず，L 字形材の平板の変位の比率はほぼ一定で，先端は緩やかに増加している．初期応力の考慮の有無により，u<約 3mm までの挙動は異なるものの，板パネルの変形量が L 字形材を常に上回り，L 字形材では先端よりも平板が大きい．とりわけ，支圧状態開始時に板パネルと L 字形材の変位差が最大となり，板パネルの軸方向変位を基準とすると，初期応力を考慮しない場合に L 字形材の平板は 0.677，先端は 0.337，初期応力を考慮する場合に，平板は 0.624，先端は 0.366 であった．

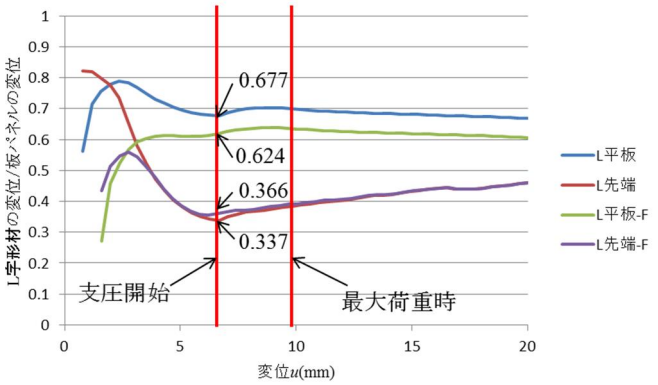


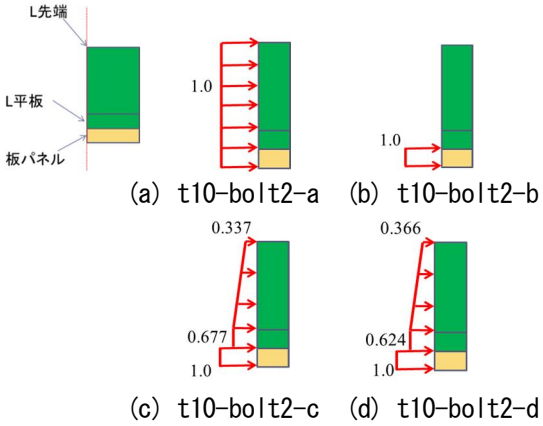
図-2　板パネルに対する L 字形材（先端，平板）の変位

4. 2 補強後の板パネルの耐荷力（部分モデル）

板パネルと L 字形材は一様に変位していなかったことから，部分モデルには**図-3** に示す 4 つの載荷パターンを設定する．-a，-b はそれぞれ全断面および板パネルのみに一様圧縮変位を，-c，-d はそれぞれ板パネル，L 字形材の平板および先端に初期応力を考慮するとき，考慮しないときに 4.1 で得られた最大の変位の比率を，載荷辺 b'c' に強制変位として載荷することを示す．

図-4 に荷重-変位関係を，**表-1** に主な解析結果を示す．**表-1** において，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（=$\mathring{u}_y$×板パネルの断面積）である．

図-4 および**表-1** より，t10-bolt2-a，-c，-d に着目すると，初期剛性は板パネルおよび L 字形材に異なる変位量を載荷した-c および-d が，一様に載荷した-a から約 15%低下したものの，最大荷重はほぼ同じ値であった．これは，載荷当初は板パネルと L 字形材の変形量の違いが初期剛性に影響を及ぼすものの，終局時には両者に応力が配分されるためであり，L 字形材をボルト接合した鋼板パネルの耐力は，板パネルと L 字形材の両者に一様な圧縮変位を与えることにより算定できることがわかる．また，P_u/P_y は 1.4 を上回り，板パネルのみに載荷する場合であっても P_u/P_y はほぼ 1 となったことから，L 字形材をボルト接合する方法は板パネルの座屈防止に有効であり，補強後の板パネルの幅厚比パラメータは 0.4 程度以下に改善されていると言える．



(a) t10-bolt2-a　(b) t10-bolt2-b

(c) t10-bolt2-c　(d) t10-bolt2-d

図-3　強制変位の載荷方法（部分モデル）

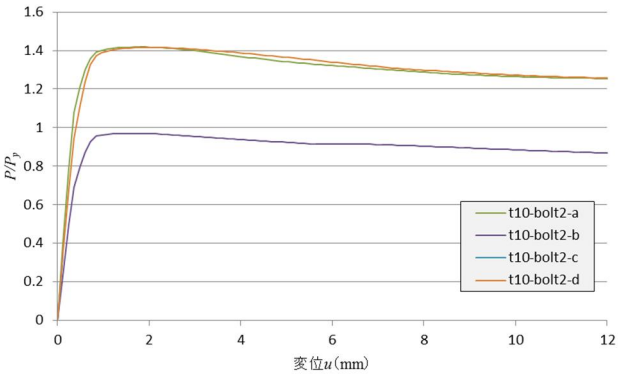


図-4　荷重-変位関係（部分モデル）

表-1　主な解析結果（部分モデル）

解析モデル名	最大荷重 P_u(kN)	初期剛性 k(N/mm)	P_u/P_y
t10-bolt2-a	1,813	4.20E+06	1.42
t10-bolt2-b	1,240	2.61E+06	0.97
t10-bolt2-c	1,812	3.65E+06	1.42
t10-bolt2-d	1,809	3.61E+06	1.42

5. 結論

本研究では，終局時における変形状態を考慮して L 字形材をボルト接合した板パネルの強度を定量的に評価した．得られた主な結論は次の通りまとめられる．

1) 板パネルと L 字形材の軸方向変位量は一致せず，ボルト接合部が支圧状態に移行する直前に板パネルと L 字形材の変位差が最大となる．
2) 板パネルと L 字形材の平板および先端の変位差を考慮しても，考慮しない場合と最大強度はほぼ一致し，一様圧縮変位を与え，補強後の強度を算定できる．
3) 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．

参考文献　1) 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,　2) 土木学会：座屈設計ガイドライン，2005 年版