

## 断面欠損を有する鋼トラス弦材の圧縮強度に関する载荷試験

国立研究開発法人 土木研究所 正会員 ○田代大樹, 村越潤, 高橋実, 本多弘明  
 首都大学東京 フェロー 野上邦栄, 正会員 岸祐介, 栗原雅和  
 早稲田大学 フェロー 依田照彦, 日本大学 正会員 笠野英行

### 1. はじめに

実橋梁から切り出した箱形断面部材に対して模擬的に断面欠損を導入し、圧縮载荷試験を実施することにより、断面欠損が部材の圧縮強度と破壊性状に及ぼす影響について検討を行った。本論文では、载荷試験結果と、併せて実施した FEM 解析との比較結果について報告するものである。

### 2. 対象部材

対象は、著しい腐食により架け替えられたトラス橋 (S37 年竣工) の上弦材であり、塗膜を除去後に図-1 に示す 3 箇所 (B1~B3) から 1m の短柱供試体を切り出して製作した。鋼材表面の腐食状況は構成される 4 面で異なり、主に図-1 に示す面 (上弦材下面) に多数の孔食が見られた。なお、箱断面内部の腐食は見られなかった。また、写真-1 に示す角部の溶接状況から、未溶着部が 4mm 程度あり、切断面の溶接部にはブローホールが生じていた。

対象部材のウェブとフランジから材料試験片を各 3 体切り出して材料引張試験 (JIS Z 2241) を実施した。供試体の諸元と材料引張試験結果を表-1 に示す。材料引張試験の結果、対象部材の降伏応力 ( $\sigma_y$ ) は JIS 規格を満足していた。

### 3. 対象部材の模擬腐食と腐食特性

断面欠損の状態が圧縮強度や破壊性状に及ぼす影響について検討するために、切り出した 3 つの供試体に対して図-2 に示す模擬腐食を外側面に導入した。B1 は模擬腐食無しのもの、B2 は角部の腐食を想定して柱中央溶接ビード部の 50×20mm の面を 2.0mm 切削したもの、B3 は 4 面が一様に腐食することを想定して柱中央部の 320×300mm の面を 3.7mm 切削したものである。

模擬腐食導入後、レーザー変位計を用いて鋼材表面の腐食形状を計測 (計測ピッチ 3mm) した。図-2 中の破線で示した断面積が最小となる位置での平均腐食深さ (以下、 $d_{avg}$ ) と最大断面欠損率 (以下、 $R_A$ ) を表-1 に示す。なお、鋼材表面に生じていた孔食の最大腐食深さは 7mm であった。

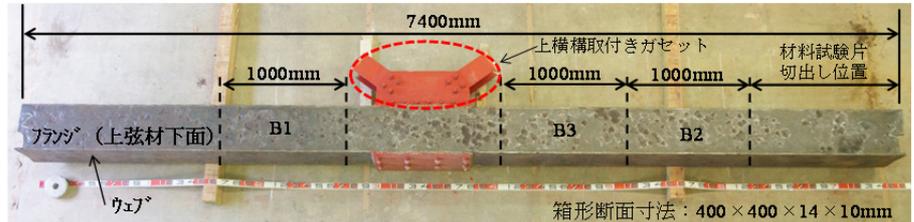
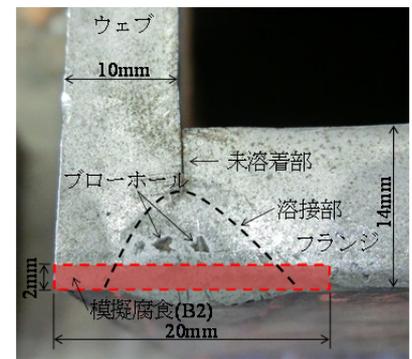


図-1 対象部材と供試体の切り出し位置

表-1 供試体諸元

供試体諸元	供試体名		
	B1	B2	B3
材質	SS400		
断面形状	400×400×14×10 mm		
部材長 (L)	1,000 mm		
断面積 (A)	18,640 mm <sup>2</sup>		
降伏応力 ( $\sigma_y$ ) <sup>※1)</sup>	279.9 N/mm <sup>2</sup> (JIS規格値: 245N/mm <sup>2</sup> 以上)		
弾性係数 (E) <sup>※1)</sup>	205.5 kN/mm <sup>2</sup>		
平均腐食深さ ( $d_{avg}$ ) <sup>※2)</sup>	0.46mm	0.44mm	2.89mm
模擬腐食深さ (d)	-	2.0mm	3.7mm
最大断面欠損率 ( $R_A$ ) <sup>※2)※3)</sup>	3.8%	3.7%	24.2%

※1)ウェブとフランジから各 3 体切り出した計 6 体の平均値  
 ※2)各供試体で断面積が最小となる位置 (図-2の破線位置) にて算出。  
 ※3) $R_A=(A_0-A_{min})/A_0 \times 100(\%)$ ,  $A_0$ : 健全部の断面積,  $A_{min}$ : 最小断面積



※赤破線は供試体 B2 の欠損範囲を表す。

写真-1 角溶接の状況例

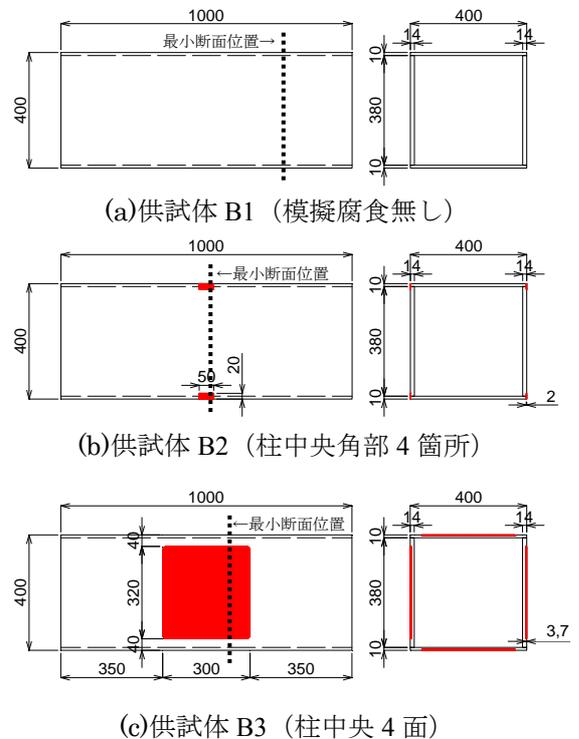


図-2 模擬腐食形状

キーワード 腐食、圧縮载荷試験、圧縮強度、座屈、FEM 解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人 土木研究所 CAESAR TEL 029-879-6773

4. 荷重試験方法

荷重試験は土研所有の30MN試験機にて実施した。供試体の設置状況を写真-2に示す。供試体端面と荷重板の接触面はメタルタッチとした。荷重方法は、弾性変形域では荷重制御（荷重速度：0.01mm/s）による50kNピッチとし、非線形性が見られ始めた段階で変位制御にて0.1~3.0mmピッチで荷重した。

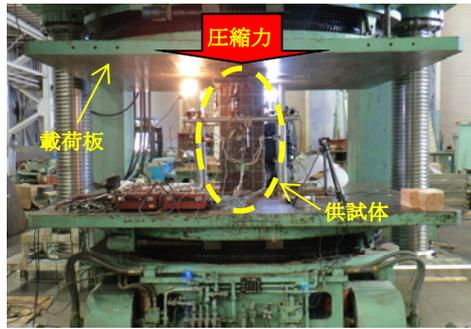


写真-2 供試体設置状況

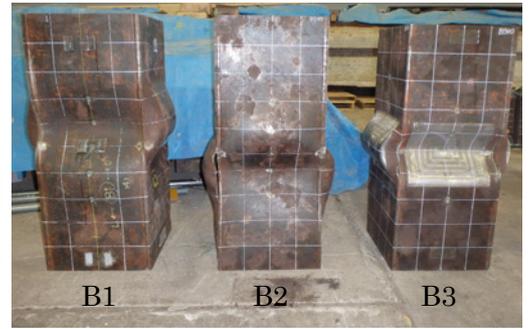


写真-3 試験後の変形状況

5. 試験結果

供試体3体の圧縮荷重試験結果として、試験後の変形状況を写真-3に、荷重荷重(P)と供試体上端の軸方向鉛直変位(δ)の関係を図-3に示す。破壊性状としては、3供試体ともにフランジ・ウェブ面の局部座屈により最大荷重に達した。その後、面外変形の増加とともに徐々に耐力が低下し、荷重が60%程度低下した時点で、中央付近の角部の溶接線に沿った亀裂が外面側に確認された。なお、B2の破断位置は、四隅切削位置が裂けている部分とそうでない部分がみられた。図-3より、B1とB2では、B2の最大荷重が若干小さいが、ほぼ同様の挙動を示している。外観の割れの発生時点を考えても、B2に導入した角部の模擬腐食の影響は大きくなかったと考えられる。また、B3については、模擬腐食を導入した部分の局部座屈により最大荷重に達しており、B1に比べて最大耐力が約3割減少していることから、模擬腐食による影響が大きいことがわかる。

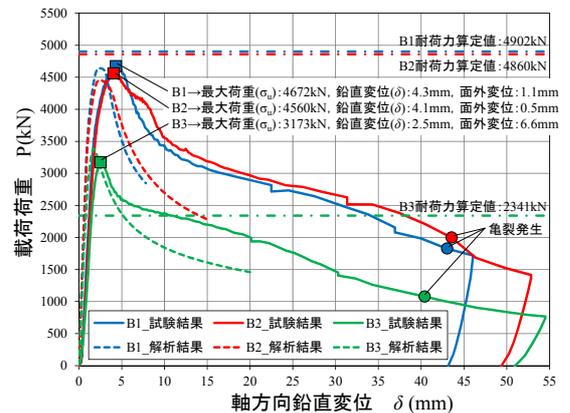


図-3 荷重荷重と鉛直変位の関係

図-3には試験結果と併せて別途実施した弾塑性有限変位解析<sup>1)</sup>の結果と、別途提案している基準耐力曲線の下限值式<sup>2)</sup>に基づく局部座屈強度の算定値(図-4中の□記号)を記載している。解析では、ソリッド要素を用いて腐食減肉を考慮し、直線分布を仮定した残留応力(引張側1.0σ<sub>y</sub>、圧縮側0.25σ<sub>y</sub>)と初期たわみ(弱軸側に正弦半波L/5,000)を考慮した。試験結果と比較すると解析結果の変位量が小さい傾向にあるが、最大荷重前後までの挙動を概ね再現できている。なお、B3は下限値式に基づく算定値に対して、試験結果は大きい値を示した。

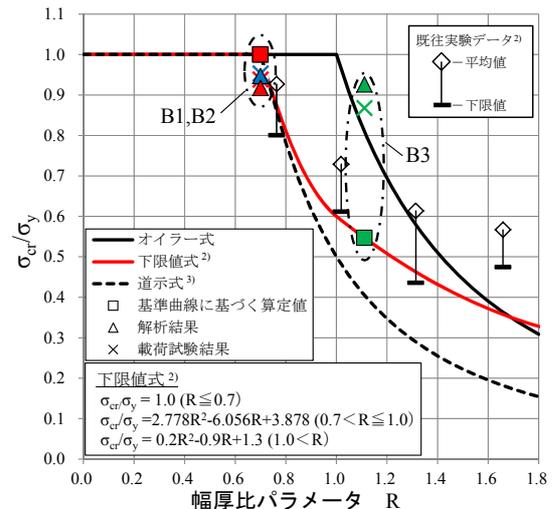


図-4 両縁支持板としての座屈パラメータと既往耐力による耐力算定値

図-5に、今回の供試体3体の荷重試験と解析結果に加えて、過去に実施された箱形断面の圧縮荷重試験結果<sup>4)</sup>について、健全体としての下限値式による局部座屈強度の算定値(σ<sub>cr</sub>)と試験・解析結果(σ<sub>u</sub>)の耐力比(σ<sub>u</sub>/σ<sub>cr</sub>)に対するR<sub>A</sub>の関係を示す。全データによる回帰直線の決定係数(R<sup>2</sup>)は0.94と高く、相関性が見られており、R<sub>A</sub>により残存耐力を概略推定できる可能性が示唆される結果となった。

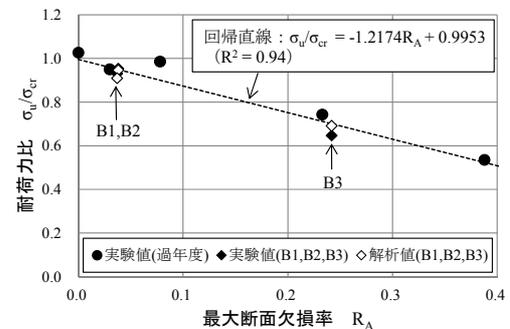


図-5 最大断面欠損率と耐力比の関係

参考文献: 1) 栗原雅和ら: 腐食環境下にあった既設鋼トラス橋圧縮部材の残存耐力, 第70回土木学会年次学術講演会, 2014.9. (投稿中) 2) 赤松伸祐ら: 鋼部材の局部座屈強度に関する基準耐力曲線の一検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.69, 1-129, pp257-258, 2014.9. 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, 2012.3. 4) 山沢哲也ら: 模擬腐食を導入した鋼トラス橋斜材の残存圧縮耐力, 構造工学論文集, Vol.59A, 2013.3.