

組立圧縮材の設計と耐荷力挙動について

熊本高等専門学校 正会員 ○岩坪要 日鉄環境株式会社 非会員 小田七海
 明石工業高等専門学校 正会員 三好崇夫 九州工業大学 正会員 高井俊和
 舞鶴工業高等専門学校 正会員 玉田和也

1. はじめに

形鋼とレーシングバーをリベット接合で製作された組立圧縮材は古い橋梁に多く、今では補修対象となることが多い。道路橋示方書では昭和48年版(以下、S48道示)¹⁾が最後であり、橋梁関係の専門書での記載も少ないため、設計時の考え方の確認が出来ない状態にある。また、一部のレーシングバーが腐食して機能しなくなった場合の部材耐力への影響を調べた研究は少ない。そこで本研究では、組立圧縮材の設計上の考え方を文献から整理¹⁾²⁾³⁾し、数値解析で組立圧縮材の耐荷力挙動について調べたものである。対象としたのは溝形鋼2本をシングルレーシングバーで接合した組立圧縮材である。

2. 組立圧縮材の座屈設計²⁾³⁾

図1に示す中心圧縮材の座屈荷重は、たわみの基礎式(1)式から、オイラーの座屈荷重は(2)式のように表されることはよく知られている。

$$\frac{d^4y}{dx^4} + \frac{P}{EI} \frac{d^2y}{dx^2} = 0 \quad (1)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2)$$

ここで、 E : ヤング率、 I : 断面2次モーメント、 L : 部材長(座屈長さ)である。細長比 λ を用いて応力度の形で表せば、

$$\sigma_E = \frac{P_E}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (3)$$

となる。ここで、図2に示すように、座屈変形した部材の一部分を取り出してせん断変形角を考えると、

$$\gamma = \frac{\kappa Q}{GA} \quad (4)$$

となる。ここに、 A : せん断に抵抗する部分の面積、 G :

せん断弾性係数、 κ : せん断に対する断面の形状係数、である。(4)式からせん断変形によって部材に生じている曲率は dy/dx で表され、曲げによる曲率 $(-M/EI)$ と合算したものが全曲率となるので、

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} + \frac{dy}{dx} = -\frac{M}{EI} + \frac{\kappa}{GA} \frac{dQ}{dx} \quad (5)$$

が求められる。(5)式に曲げモーメント $M = Py$ とせん断力 $Q = P \cdot dy/dx$ を代入して整理すると、

$$EI \left(1 - \frac{\kappa P}{GA} \right) \frac{d^4y}{dx^4} + P \frac{d^2y}{dx^2} = 0 \quad (6)$$

と表される。よって、座屈荷重 P_{cr} は(1)式と比較しながら整理すると、(7)式のように求められる。

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 EI}{L^2} \cdot \frac{\kappa}{GA}} \quad (7)$$

上式から、(2)式で示されるオイラーの座屈荷重より小さくなることがわかる。次にS48道示¹⁾で規定されている内容の抜粋を要約して以下に列記する。

- ① レーシングバーの取付けリベット間にある圧縮材の部分の細長比を決めている。
- ② レーシングバーは、圧縮材全強に対して2%のせん断力(SS41の場合)が部材と直角に作用するものとして設計する。
- ③ レーシングバーに圧延平鋼を使用する場合の最小長さと最小板厚を規定している。
- ④ レーシングバーが部材の軸となす角はシングルレーシングの場合は 60° 以上とする。
- ⑤ せん断力 Q により1個のレーシングバーに作用する軸方向力 F は次式で算出する。

$$F = Q \frac{l}{d} \quad (8)$$

ここに、 l : レーシングバーの連結リベットの中心間距離、 d : レーシングバーの連結リベット線間距離、 Q : ③で規定しているせん断力



図1 中心圧縮材の座屈

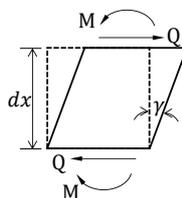


図2 部材のせん断変形角

3. 溝形鋼の解析

本研究で対象とした組立材は図3に示すような溝形鋼とシングルレーシングバーで構成された部材とした。そこで、図4に示す溝形鋼のみの圧縮解析を行った。

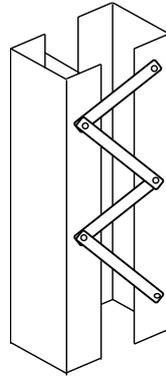


図3 組立圧縮材

(1) 解析諸元

対象とした溝形鋼の寸法諸元と材料条件を表1に示す。

表1 寸法諸元と材料条件

断面	B=50mm, H=100mm, t=2.3mm
長さ	L=300mm, 600mm, 900mm, 1200mm
材料	鋼材(SM490相当) 降伏応力 $\sigma_y = 355 \text{ N/mm}^2$ ヤング係数 $E = 200 \text{ kN/mm}^2$ 引張強さ $\sigma_u = 550.7 \text{ N/mm}^2$ ポアソン比 $\nu = 0.3$

材料条件は表中に示す値を用い、ひずみ硬化域は n 乗硬化則を用いた。初期不整として初期たわみと残留応力を導入した。断面の初期たわみは図5(a)に示す sin 波形で部材全長にわたって1面に設定し、弱軸まわりに部材長方向に $L/1000$ の sin 波形を導入した。残留応力は文献4)のデータを参考にして分布形状を決め、自己つり合いを保つように設定した。詳細については、実験で確認中である。

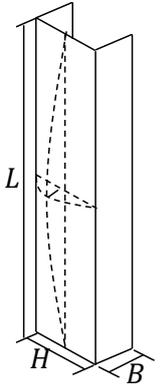


図4 溝形鋼部材

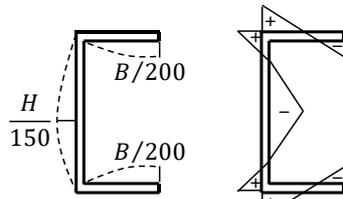


図5 初期不整 (a) 初期たわみ (b) 残留応力

(2) 解析結果

解析結果を図6に示す。横軸は軸方向の圧縮変位を降伏変位で無次元化し、縦軸は降伏荷重で無次元化して示している。300mm の場合は一般的な開断面部材に起こる局部座屈が部材中央に発生して耐力が低下したが、600mm 以上になると、急激な耐荷力の低下が確認できた。特に 1200mm の変形状態と等価応力のコンター図を図6に示すが、フランジの局部変形が複数個所発生する座屈変形が表れていた。

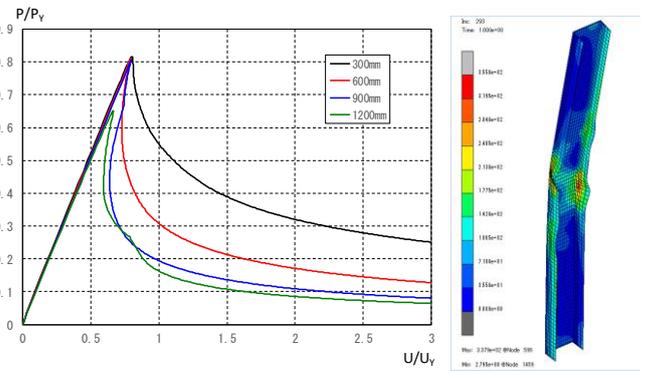
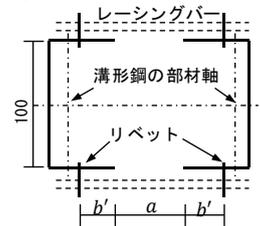


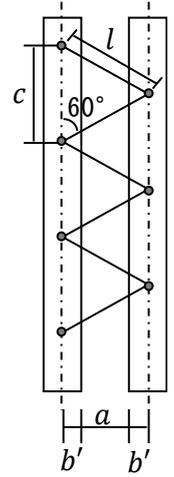
図6 荷重-軸変位曲線

4. 組立材の解析

同じ溝形鋼を2本用い、図7(a)に示す b' と a を変化させ、かつ図7のようにレーシングバーの配置(3連)を基本モデルとし、4連、6連のモデルを設計した。材料条件は表1に示すものを用い、初期たわみと残留応力も同様に入力した。表2にパラメータの一部を示し、これらを組み合わせてモデルを作成した。



(a) 断面図



(b) 側面図

図7 解析モデル

表2 解析パラメータ

リベット位置(b')	36.6mm, 25mm, 12.5mm
溝形鋼の間隔(a)	50mm, 25mm
レーシングバー	3連, 4連, 6連

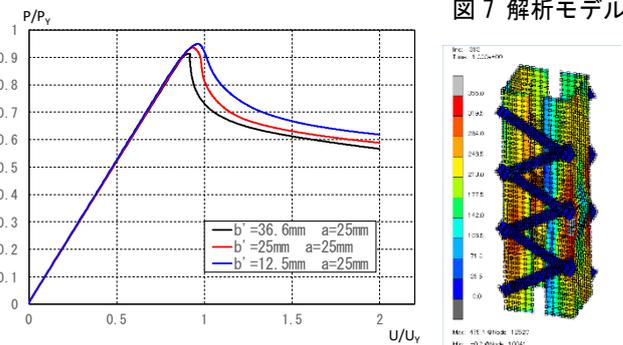


図8 荷重-軸変位曲線

解析結果の一例を図8に示す。リベット場所を溝形鋼のフランジ端に近づけた場合に最大強度の上昇が確認できた。ただし、解析モデルを作成するにあたり、リベットのモデル化、レーシングバーと溝形鋼の接触について考慮するモデル化が必要であることが分かった。

【参考文献】1) 日本道路協会：(昭和48年版) 道路橋示方書・同解説，1973. 2) 日本建築学会：鋼構造座屈設計指針，2009. 3) 高梨晃一ほか：基礎からの鉄骨構造，2003. 4) 林田幸浩：繊維化塑性関節法の汎用性の向上と実用化に関する研究，長崎大学学術研究成果リポジトリ，2008. 5) 久積和正ほか：中心軸圧縮力を受ける腐食減肉した形鋼部材の座屈耐力評価，2019.