

曲げと軸力を受ける有孔アルミニウム合金部材の応力集中評価とその推定式

信州大学 学生会員 ○西部 真生
 信州大学 正会員 近広 雄希

1. はじめに

昨今、地震や豪雨などの自然災害が多発し、橋梁の被害は後を絶たない。申請者らは、短時間で架橋できる緊急仮設橋「シザーズ橋」の研究開発を行ってきた。シザーズ橋は X 形状に交差した 2 本の骨組部材がピン接合され、橋軸方向に連なることで成り立つ。シザーズ橋の主部材が交差するピボット部近傍では、応力集中の影響から主部材に発生する曲げモーメントと軸力が増大し、設計上の弱点となりうる。しかし、シザーズ構造の応力集中に関する研究はほとんどなく、FEM 解析によりピボット部近傍の詳細な応力状態を把握するしかなかった。そこで本研究では、シザーズ橋のピボット部近傍の応力状態を予測するために、曲げモーメントと軸力が同時に作用する有孔部材の円孔近傍における応力状態を解析的に評価し、その推定式を提案する。

2. 解析概要

シザーズ橋の主部材を想定した解析概要を図-1 に示す。本部材は部材長 1500mm、部材端から 100mm の位置と中央に半径 20mm の円孔が空いている。部材は中空断面であり、高さ 200mm、幅 50mm とした。後述の推定式の適応性を検討するために、板厚は 2, 5, 7, 10mm で変化させた。解析には、非線形有限要素解析ソフトウェア MSC.Marc2020 を使用し、材料特性は弾性係数 $E = 62.5\text{GPa}$ 、降伏応力 $\sigma_y = 216.0\text{MPa}$ 、

ポアソン比を $\nu = 0.30$ とした。ピボット部にあたる部材中央の円孔には、円筒形の鋼製ピンを挿入し、弾性係数を $E = 206.0\text{GPa}$ 、ポアソン比を $\nu = 0.30$ とした。境界条件として、部材左側の円孔部はヒンジ支点に、右側の円孔部はローラー支点とした。荷重は曲げモーメントを与えるために挿入された鋼製ピンに集中荷重 $P = 20.0, 40.0, 60.0\text{kN}$ 、軸力を与えるために右ローラー支点部に引張荷重 $T = 22.5, 45.0, 67.5\text{kN}$ の 3 種類を与えた。引張荷重 T は、既往の研究よりシザーズ橋の主部材に生じる軸応力が曲げ応力の 1/10 程度であることが分かっているため、この知見に基づき値を設定した。

3. ピボット部の応力集中推定式

ピボット部では、中空部材の側面に面内曲げモーメントと面内軸引張力を受けて応力集中が発生していると仮定し、その推定のために Howland and Stevenson の数学的厳密解の適応を試みる。例えば、円孔がある部材中心を通る y 軸上で曲げモーメントと軸力により断面に発生する部材軸方向の応力 σ_x は、応力集中係数 α を用いて次式で表される。

$$\sigma_x = \alpha_1 \frac{T}{A} + \alpha_2 \frac{M}{I} a \quad (1)$$

T は引張荷重、 A は部材の断面積、 M は曲げモーメント、 I は部材の断面二次モーメント、 α_1 は軸応力に対する応力集中係数を、 α_2 は曲げ応力に対する応力集

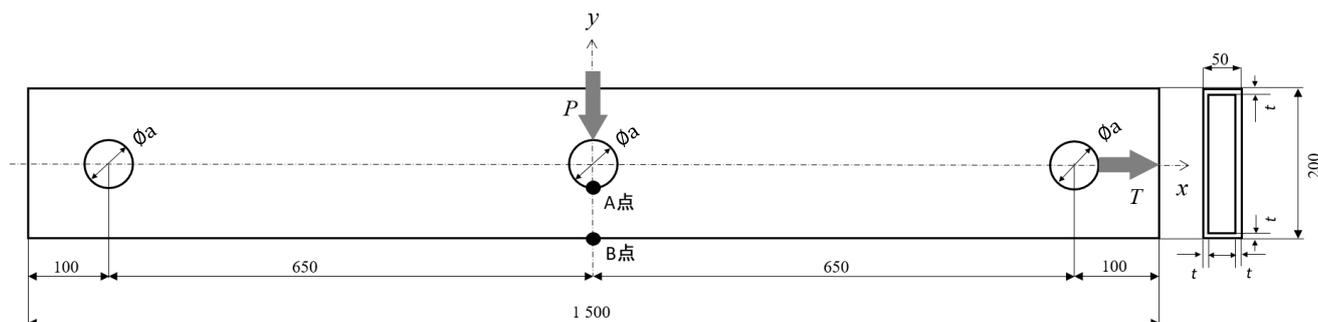
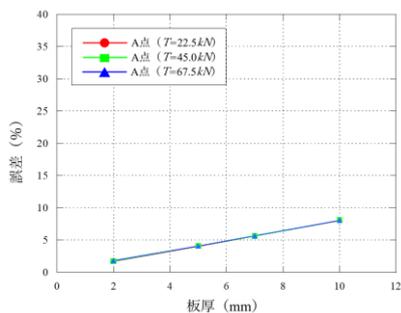
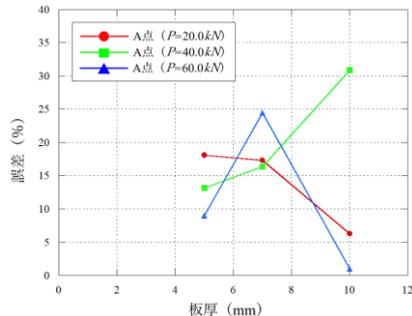


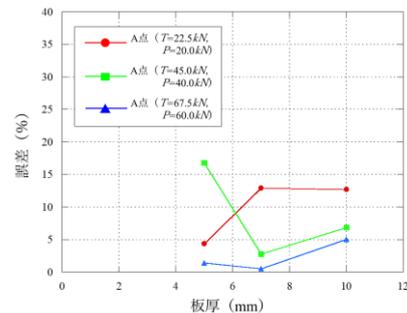
図-1 中空部材の解析概要図



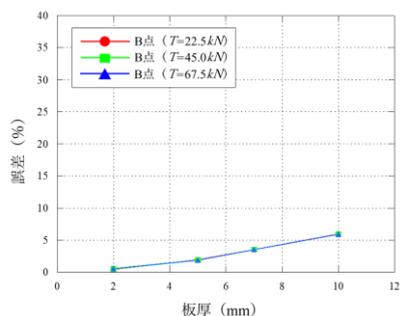
(a) 部材の中央円孔直下の結果



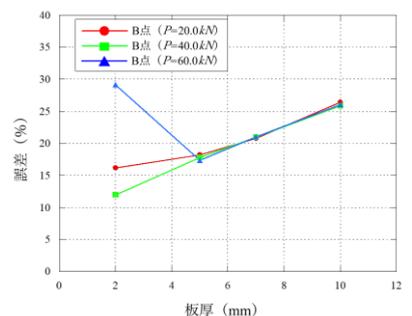
(a) 部材の中央円孔直下の結果



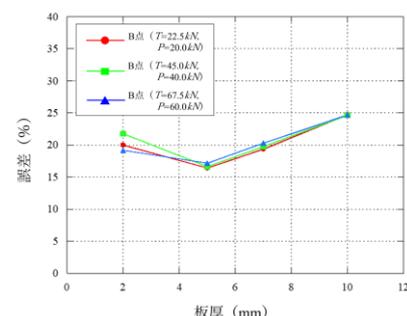
(a) 部材の中央円孔直下の結果



(b) 部材の中央円孔下縁の結果



(b) 部材の中央円孔下縁の結果



(b) 部材の中央円孔下縁の結果

図-2 軸力のみを受けた場合の板厚と誤差の関係

図-3 曲げモーメントのみを受けた場合の板厚と誤差の関係

図-4 軸力と曲げモーメントを受けた場合の板厚と誤差の関係

中係数をそれぞれ表す。また、 a は円孔半径を表す。この式は、応力集中係数の値に応じて、図-1 の円孔直下(A 点)と部材縁端(B 点)の両方の応力推定に適用できる。すなわち、A 点においては $\alpha_1 = 3.14$, $\alpha_2 = 2.00$, B 点においては $\alpha_1 = 0.97$, $\alpha_2 = 5.00$ とした。

4. 結果および考察

図-2～図-4 に、板厚と図-1 中の A・B 点における部材軸方向の応力 σ_x の推定値と解析値との誤差を示す。なお誤差は推定値を真値として算出した。

曲げモーメントと軸力を受けた場合(図-4(a))では、板厚が 5～10mm の範囲で誤差 20%以内であったが、曲げモーメントのみを受けた場合(図-3(a))と比べて誤差分布に差が生じた。これは軸力が加わることで円孔直下の最大応力の分布が円孔直下からずれたことに影響すると考えられる。図-2(b), 図-3(b), 図-4(b) の B 点では、板厚が 5～10mm の範囲で誤差 25%以内となり、板厚が大きくなるにつれて誤差は大きくなった。また板厚 2mm の場合のみ B 点の縁応力は降伏応力を越えており、推定値との間に差が生じた。

以上の結果から、曲げモーメントと軸力を受ける有孔部材の応力集中を解析値と誤差 25%以内で推定することができた。今後は、応力集中係数の値の補正を試みることで推定精度の向上を図る。

5. おわりに

本研究で明らかになったことを以下に述べる。

- 1) 曲げモーメントと軸力の影響を受ける場合には、部材の円孔直下の部材軸方向の応力 σ_x を板厚 10mm まで誤差 20%以内、部材の下縁では板厚 10mm まで誤差 25%以内で推定できた。
- 2) 部材の下縁における部材軸方向の応力 σ_x を推定する場合、板厚が大きくなるにつれて推定値と解析値間の誤差が大きくなることが分かった。

6. 参考文献

- 1) R. C. J. Howland and A. C. Stevenson : Bi-Harmonic Analysis in a Perforated Strip. Phil. Trans. Roy. Soc. A, Vol. 232, pp. 155-221, 1993.
- 2) 西田正孝 : 応力集中, 森北出版, 1967.