

曲げを受ける有孔アルミニウム合金部材の円孔近傍に生じる応力集中の推定

信州大学 学生会員 ○西部 真生
 上田市役所 久保田 圭介
 信州大学 正会員 近広 雄希

1. 背景

自然災害後の人命救助の目安として 72 時間の壁が挙げられるが、既存の応急組立橋では、供用までに 2 週間以上の時間を要する。そこで、短時間で緊急架橋が可能な緊急仮設橋として「シザーズ橋」の研究が行われている。主構造のシザーズ機構は、X 状に交差した 2 本の骨組部材が部材中央のピボット部でピンを介して結合されることで構成され、これが橋軸方向に連なることで橋構造を形成する。本研究では、シザーズ橋のピボット部を設計するための基礎知見として、曲げモーメント作用下における 1 部材に生じるピボット近傍の応力集中を解析的に評価し、推定式を提案することを目的とする。

2. 解析概要

解析には、シザーズ橋の骨組部材を模した中空押出材と応力集中の緩和のために断面内にリブ材を配置した三室中空押出材（図-1 参照）を対象とした。両押出材ともに部材長 1500mm であり、ヒンジ部にあたる部材端から 100mm とピボット部にあたる部材中央に半径 20mm の円孔がある。また、断面の外寸は同じで、高さ 200mm、幅 50mm となり、三室中空押出材には、断面の中立軸から ±50mm 離れた箇所にはリブ材がある。解析には、非線形有限要素解析ソフトウェア MSC.Marc2016 を用い、対称性を考慮した 1/2 モデルをシェル要素で構築した。部材はアルミニウム合金材 A6005c からなり、材料特性は弾

性係数 $E = 62.5\text{GPa}$ 、降伏応力 $\sigma_y = 216\text{MPa}$ 、ポアソン比を $\nu = 0.3$ とした。ピボット部にあたる部材中央の円孔は、円筒形の鋼製ピンを挿入し、弾性係数 $E = 206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ とした。境界条件として、部材両端の円孔の部材軸直角方向の回転以外を拘束し、荷重は鋼製ピンに対して集中荷重 P を与えた。この解析では、円孔の半径 a を 10~40mm、押出材の板厚とリブ厚 t を 5~10mm とパラメトリックに変化させ、計 16 のモデルに対してピボット部近傍の応力集中の評価を行った。

3. ピボット部の応力集中推定式

シザーズ橋のピボット部では、曲げモーメントによって円孔周辺に応力集中が生じるとともに、部材同士を結合するピンによって局所的な接触応力が生じる。本研究では、最も不利となりうるこの箇所に着目して推定式を検討する。

ピボット部の応力集中は、各押出材を有孔アルミニウム板が面内曲げモーメントを受けると想定し、Howland and Stevenson の応力集中に対する数学的厳密解¹⁾を用い、次式を提案する。

$$\sigma_y = \frac{M}{I} y \left(\frac{a^4}{y^4} - \frac{a^6}{y^6} \right) \quad (1)$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I} y \left(1 + \frac{a^6}{y^6} \right) \quad (2)$$

$$\tau_{xy} = 0 \quad (3)$$

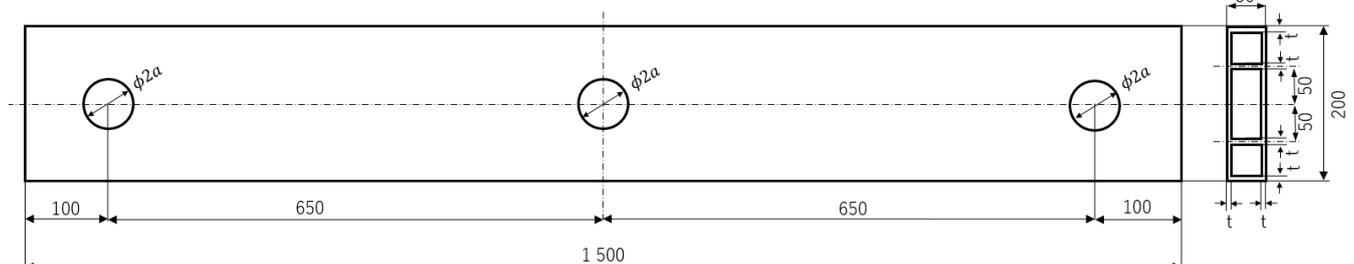


図-1 三室中空押出材

接触応力は、ヘルツの接触理論から部材本体の円孔へりに作用される評価式として次式を提案する。

$$p_0 = \frac{p}{\pi t a} \quad (4)$$

ミーゼス応力は、円孔の上側では式(1)～式(3)から分布を求め、下側では式(2)～式(4)から部材中心軸上の円孔へりの位置一点のみにおいて算出した。ここで σ_x, σ_y はそれぞれ X, Y 方向の垂直応力、 τ_{xy} は XY 方向のせん断応力、 M は曲げモーメント、 I は中空押出材断面の中立軸に関する断面二次モーメント、 a は円孔の半径、 y は円孔の中心を原点としたときの y 座標、 p_0 は接触応力、 p はピンに載荷される集中荷重を表す。

4. 結果および考察

円孔の半径 $a = 20\text{mm}$ 、押出材の板厚 $t = 5\text{mm}$ における各押出材の集中荷重 $P = 30, 60, 90\text{kN}$ 時のピボット近傍のミーゼス応力図を図-2に示す。応力集中と接触応力によって、円孔直下で大きな応力が生じていることが分かる。また、リブ材を断面内に設けることによって、リブ材近傍の応力集中をうまく緩和させることができている。

代表例として、集中荷重 $P = 30\text{kN}$ 時の三室中空押出材の部材中心軸でのミーゼス応力分布を図-3、同条件下での中空押出材のミーゼス応力分布を図-4に示す。式(2)～式(4)によって得られた円孔直下の推定値を図中の●印で示す。また参考として、式(1)～

式(3)から得られた円孔上部での応力集中の推定値を図中の破線で示す。これらの結果より、一部の結果では、解析値と推定値に差が生じたが、概ね解析におけるピボット近傍の最大値を捉えることができた。またリブ材の有無によっても推定精度に大きな差はなく、三室中空断面材に対しても、有孔板と仮定した推定式を適用できることが分かった。今後は、曲げモーメントだけでなく軸力の影響も検討するとともに、シザーズ橋のように傾斜した部材に対するピボット部近傍の応力集中の影響を評価する。

5. 結論

本研究で明らかになったことを以下に述べる。

- 1) 三室中空押出型材のように、断面内にリブ材を設けることで、中空断面材よりもリブ材周辺で応力集中が緩和されることが分かった。
- 2) 有孔板と仮定した推定式を提案し、曲げモーメント作用下におけるピボット近傍の応力集中の最大値を解析結果と差の少ない精度で推定することができた。

6. 謝辞

本研究は JSPS 科研費若手研究(18K13818)の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

7. 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 (1993) pp. 155-22

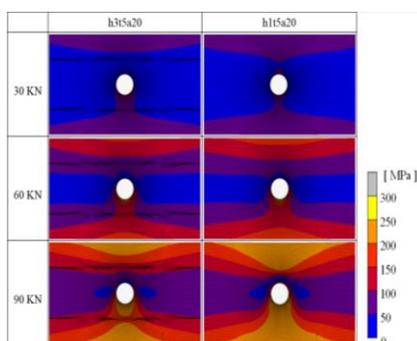


図-2 ピボット部のミーゼス応力図
(左：三室中空押出材，右：中空押出材)

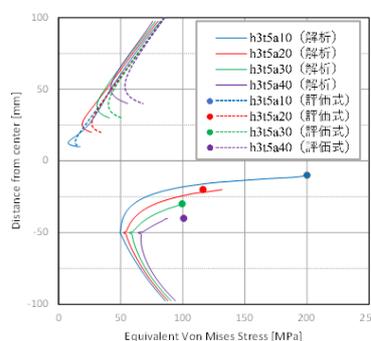


図-3 三室中空押出材の部材中心軸上におけるミーゼス応力と変位の関係

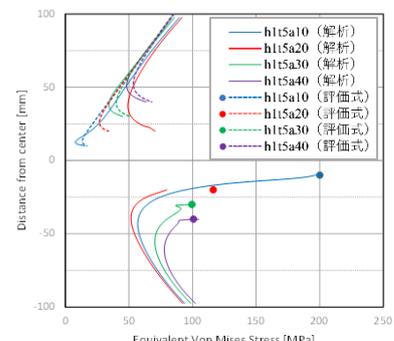


図-4 中空押出材の部材中心軸上におけるミーゼス応力と変位の関係