

任意荷重に対するてこ反力算定式の提案

○平設計 正会員 岩崎充 平設計 フェロー会員 西脇威夫

1. はじめに

従来、引張継手の設計で重要とされてきたものは作用力によって増加する付加ボルト軸力の存在である。付加ボルト軸力は、継手強度がボルトで決定される場合にはそれを低下させる要因である。付加ボルト軸力の発生要因は、既往の研究によって明らかにされている。現行の設計指針（案）¹⁾では、許容応力度設計法による限界状態に対するてこ反力の値のみ求めるものであり任意の作用力に対するものではない。本報告ではFEM解析より求めたてこ反力の挙動の分類を基に、作用力に対するてこ反力の定式化を行った。

2. てこ反力の算出方法

現行の設計指針（案）では、てこ反力の算出は加藤一田中式を採用していた。しかし、それより求めるてこ反力はボルト破断時のてこ反力係数であるので、それを許容応力度設計法に取り込みうるような工夫を行っていた。しかし、てこ反力は作用力の増大に伴い変化するものであり、作用力の大きさによっては過大に評価する場合もあった。そこで既往の研究に示したFEM解析手法を基に付加ボルト軸力を算出した。同解析を用いた計算値と実験結果を比較した一例を図-1に示した。実験値に対して解析値は概ね5%以内の差であるといえる。また2次元解析と3次元解析を同じモデルで比較した場合には、解析に用いた構造モデルに限り、両者に大きな違いがないことも確認している²⁾。定式化を行うためにFEM解析を行ったT継手の形状は表-1に示すとおりである。

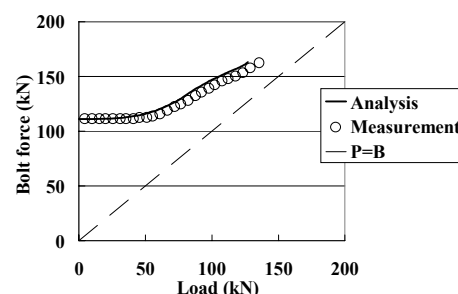


図-1 FEM解析値と実験値

表-1 対象としたT継手形状

Tフランジ厚 t_f

18,19,20,22,24,28,32,36,40,44,50mm

T継手長 $w = 75,100,120\text{mm}$

Tフランジにおけるボルト位置

 $a=b=50\text{mm}$

フランジ鋼材の降伏点

 $\sigma_y = 235, 315, 490 \text{ N/mm}^2$

ボルトの降伏点

 $\sigma_y = 900 \text{ N/mm}^2$

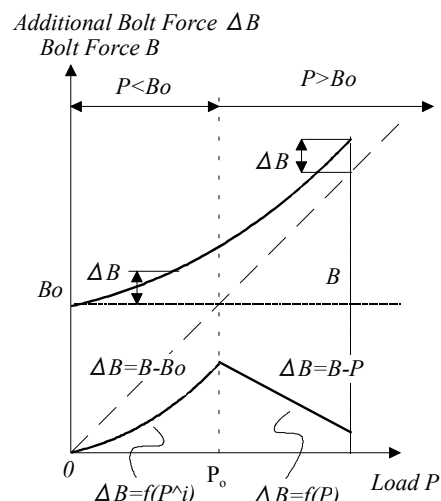
3. 定式化の方法

既往の研究によれば、付加ボルト軸力は作用力 P が $P < B_0$ の領域では P に対し下に凸の曲線を示し、それは概ね3次式で表すことができ、 $P \geq B_0$ では1次式で表すことができる（図-2）。そこで、それによって以下に示す順序で、FEM解析によって得られている同図内に示した定義によるてこ反力係数 p を P/B_0 の3次式および1次式で表した。上記モデル形式に対して求めたてこ反力係数のうち、ボルト軸力が降伏ボルト軸力を超えている作用力のデータは定式化に用いていない。

- ① てこ反力 p を フランジ厚 t 、継手長さ w 、フランジ鋼材の降伏点 σ_y を変数として含む係数を a_3, a_2, a_1 とし、無次元化した作用力 P/B_0 の3次式または1次式を求める。

$$p(t, w, \sigma_y, P/B_0) = a_3(t, w, \sigma_y) \left(\frac{P}{B_0}\right)^3 + a_2(t, w, \sigma_y) \left(\frac{P}{B_0}\right)^2 + a_1(t, w, \sigma_y) \left(\frac{P}{B_0}\right)$$

- ② 上式中の a_i を、継手長さ w 、フランジ鋼材の降伏点 σ_y を変数として含む係数を b_3, b_2, b_1 とし、無次元化したフランジ厚 t/d の3次式を求める。

図-2 作用力 P とボルト軸力 B 、付加ボルト軸力 ΔB

キーワード: 高力ボルト引張接合, 短締め形式, 付加ボルト軸力, てこ反力係数, FEM解析

〒110-0005 東京と台東区上野3丁目17番11号 コーワビル2 Tel:03(3836)3246 Fax:03(3833)7467

$$a_i = b_3 \left(w, \sigma_y \right) \left(\frac{t}{d} \right)^3 + b_2 \left(w, \sigma_y \right) \left(\frac{t}{d} \right)^2 + b_1 \left(w, \sigma_y \right) \left(\frac{t}{d} \right)$$

③ 式中の b_i を、フランジ鋼材の降伏点 σ_y を変数として含む係数を c_2, c_1, c_0 とし、無次元化した継手長さ $w/120$ の2次式を求める。

$$b_i = c_2 \left(\sigma_y \right) \left(\frac{w}{120} \right)^2 + c_1 \left(\sigma_y \right) \left(\frac{w}{120} \right) + c_0 \left(\sigma_y \right)$$

このようにして得られる c_i はフランジ鋼材の降伏点に殆ど影響されない。これは、計算の対象である作用力の領域では、フランジは弾性域にあって、降伏点の違いの影響が出ないことを示している。しかし、大きな作用力の場合には、フランジに降伏が生じ若干の相違が出る。そこで c_i としては算術平均を採用した。

4. てこ反力係数算定式

上記、手法によって得られるてこ反力係数算定式を以下に示す。

(1) $P < B_o$ の場合

$$p = \{ (1.700 - 0.0369w + 0.000220w^2) \left(\frac{t}{d} \right)^3 + (-8.2567 + 0.1767w - 0.001062w^2) \left(\frac{t}{d} \right)^2 + (13.097 - 0.2795w + 0.001695w^2) \left(\frac{t}{d} \right) + (-5.9167 + 0.1377w - 0.000848w^2) \} \times \left(\frac{P}{B_o} \right)^3 + \{ (-1.340 + 0.0214w - 0.0001267w^2) \left(\frac{t}{d} \right)^3 + (6.9033 - 0.1029w + 0.0006178w^2) \left(\frac{t}{d} \right)^2 + (-12.540 + 0.1747w - 0.0010533w^2) \left(\frac{t}{d} \right) + (6.5767 - 0.0776w + 0.0004822w^2) \} \times \left(\frac{P}{B_o} \right)^2 + \{ (0.2000 - 0.00388w + 0.0000233w^2) \left(\frac{t}{d} \right)^3 + (-1.1000 + 0.0194w - 0.0001133w^2) \left(\frac{t}{d} \right)^2 + (1.7367 - 0.0272w + 0.0001622w^2) \left(\frac{t}{d} \right) + (-0.9867 + 0.0136w - 0.0000822w^2) \} \times \left(\frac{P}{B_o} \right)$$

(2) $P \geq B_o$ の場合

$$p = (0.7845 - 0.001065w) - \{ (-0.1991 + 0.003037w) + (0.0130 - 0.000063w) \cdot t \} \cdot \left(\frac{P}{B_o} \right)$$

ここで、 P : ボルト1本当たりの作用力 (kN), B_o : 初期ボルト軸力 (kN), p : てこ反力係数 ($P < B_o$: $p = \Delta B / B_o$, $P \geq B_o$: $p = \Delta B / P$), ΔB : ボルト付加軸力 (kN) ($P < B_o$: $\Delta B = B - B_o$, $P \geq B_o$: $\Delta B = B - P$), t : Tフランジ厚 (mm), d : ボルト径 (mm), w : フランジ幅 (mm)

5. てこ反力係数値の比較

上記のてこ反力係数算定式より求めたてこ反力と前指針（案）で示されている設計式より求めたものとを図-4に示した。

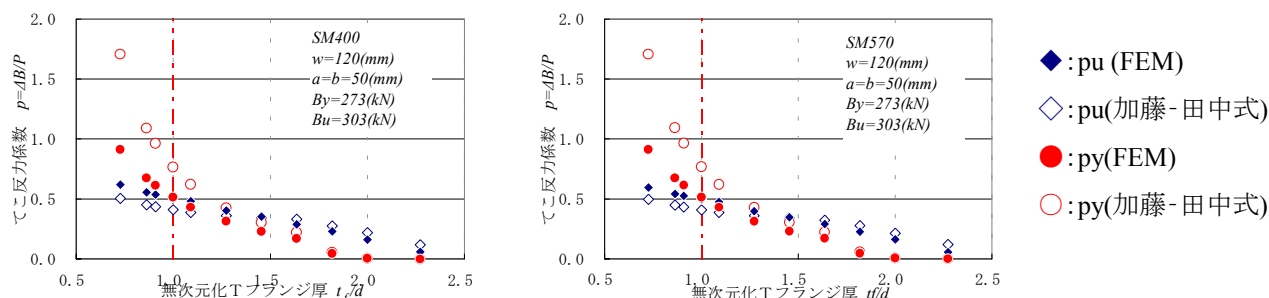


図-4 ボルト降伏時のてこ反力係数の比較

6. あとがき

本報告は、日本鋼構造協会に設置された橋梁用高力ボルト引張接合設計指針改訂小委員会における改訂作業に関連して行ったものである。委員各位から貴重なご意見を戴いた。ここに記して深く感謝の意を表する。

【参考文献】1) 日本鋼構造協会：橋梁用高力ボルト引張接合設計指針（案），1994.3 2) 岩崎充，西脇威夫，増田陳紀，竹井将史：2次元数値解析モデルの解析精度，第57回年次学術講演会，土木学会，I-129，2002.9