

I-210

高力ボルト引張接合・長締め形式の変形挙動とボルト付加軸力

武蔵工業大学 学生員 黒田充紀 武蔵工業大学 正員 西脇威夫
 武蔵工業大学 正員 増田陳紀 武蔵工業大学 正員 皆川 勝
 櫻田機械工業(株) 正員 鈴木康弘

1. はじめに 高力ボルト引張接合・長締め形式は適切な個所に用いれば、溶接接合と比べて施工期間が短縮されたり、摩擦接合に比べて添接板などが外面に露出しないので美観が向上するなどの長所を發揮すると思われる。著者らは、数年来高力ボルト引張接合・長締め形式について系統的に実験的研究を実施してきた^{1), 2), 3)}。今回は、引張荷重による変形挙動とボルト軸力の変動量について数値解析的に検討した結果について報告する。

2. パネモデル 文献4)では引張荷重によるボルト付加軸力を推定するために接合部をバネ系モデル（図-1）に置換することを提案している。本モデルでは荷重-ボルト軸力関係におけるボルト付加軸力の勾配 α は次式で表わされる。

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{K_{RIB}}{K_{BOLT}} + \frac{K_{RIB}}{K_{ANC}}} \dots\dots\dots (1)$$

K_{BOLT} :ボルトの伸剛性 $K_{BOLT} = E \cdot A_{BOLT} / \ell_{BOLT}$, K_{RIB} :リブプレートおよび母材の伸剛性 $K_{RIB} = E \cdot A_{RIB} / \ell_{RIB}$
 K_{ANC} :アンカープレートのたわみ剛性, E :ヤング係数, A_{BOLT} :ボルトの断面積和, A_{RIB} :リブプレートと母材の断面積和
 ℓ_{BOLT} :ボルトの有効長（ナット内側長）, ℓ_{RIB} :リブプレートの伸剛性を考慮した接合部長

著者ら³⁾は、文献4)と同様に K_{ANC} を3辺支持板として求め、また K_{RIB} に母材とリブプレートの断面積和と等しい断面積を持つバネのバネ定数を与えて数値計算を実施したが、この方法によるボルト付加軸力の計算値は必ずしも実験値と一致しなかった。パネモデルは図-2の一点鎖線で示した接合部断面における変形を考慮して構成されたものであるが、上述のような各剛性の評価方法では接合部全体の3次元的な変形特性を考慮することはできない。

本報告では、接合部の挙動をパラメトリックに検討するために図-2に示す形状パラメータを導入する。

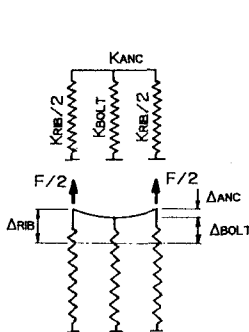


図-1 パネモデル

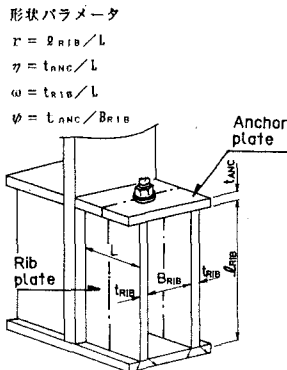


図-2 記号の説明と形状パラメータ

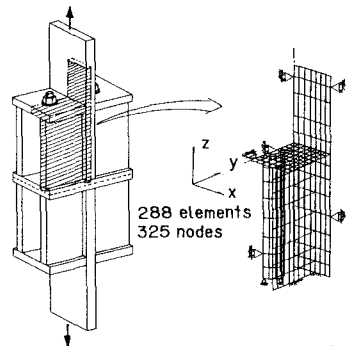


図-3 接合部のモデル化と要素分割

3. 有限要素解析 変形挙動を把握するために接合部を図-3に示すようにモデル化する。用いた要素は面内回転自由度を有するシェル要素⁵⁾である。ボルト部は実際のそれと伸剛性を一致させた円筒でモデル化した。

4. アンカープレートの変形とたわみ剛性 3.による解析によって得られたパラメータ $\phi - \Delta_{ANC} / \Delta_{RIB}$ 関係を図-4(b)に示す。同図から ϕ が0.2以上の場合には $\Delta_{ANC} / \Delta_{RIB}$ は0.02以下であることがわかる。実際的にはアンカープレートのリブプレート間隔方向におけるボルト軸方向の変形量はほぼ一定であると考えてよく、(1)式におい

て $K_{ANC}=\infty$ としても α の推定精度にはほとんど影響しないと考えられ、 K_{ANC} を含む項を削除する。

5. リブプレートの変形と伸剛性

図-5は3. による有限要素解析によるリブプレートの変形であり、リブプレートの変形は幅方向に一律ではない。リブプレートではリブプレートに一律な変形が生ずると見なしており、リブプレートのボルト軸線上の変形量との間には差がある。そこで2. で示すモデルで正しくボルト付加軸力を求めるためには、接合部の伸剛性をこのような変形状が導入されるように求めなければならない。すなわち、接合部伸剛性修正係数 C_R を

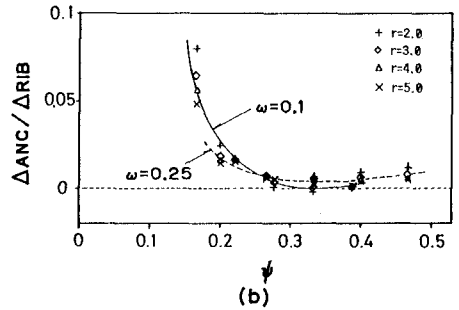
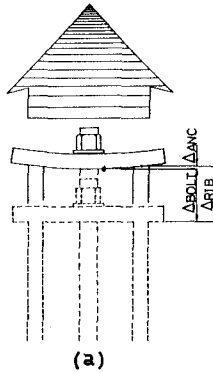


図-4 リブプレートと $\Delta_{ANC}/\Delta_{RIB}$ の関係

図-5中に示した Δ_{SPRING} および Δ_{RIB} を用いて次のように定義する。

$$C_R = \Delta_{SPRING} / \Delta_{RIB} \quad \dots\dots\dots (2)$$

リブプレートに用いるべき修正接合部伸剛性を K_{RIB}^* とすれば、

$$K_{RIB}^* = C_R \cdot K_{RIB} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$K_{RIB} = E \cdot A_{RIB} / \Delta_{RIB}$$

3. による有限要素解析によって求められた C_R とリブプレート r の関係を図-6に示す。 r が無限度の場合の極限を考えると C_R は1.0に漸近することが考察される。また、 ψ が大きくなる場合も C_R は1.0に近づき、リブプレートの剛性がリブプレート端部の変形量におよぼす影響が極めて大きいことが明かとなる。

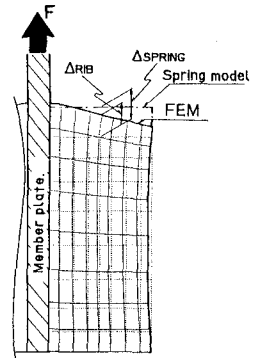


図-5 有限要素解析によるリブプレートの変形

6. 修正バネモデルによるボルト付加軸力係数の計算 以上のように修正されたリブプレートによる α の計算結果と実測結果^{2), 3)}を比較して表-1に示す。ここで提案したボルト付加軸力係数 α の推定方法は接触面状態が理想的であり、接触面間に離間が生じないような場合を対象とするものである。接触面の状態を数値計算へ考慮する方法については今後の課題である。

7. まとめ リブプレートがある程度の剛性を持っている場合はそのリブプレート間隔方向における変形量はほぼ一定であり、リブプレートの剛性はリブプレートの変形に大きな影響をおよぼすことがわかった。本検討によって、長締め形式の変形特性を数値解析的に明かにするとともに、ボルト付加軸力の大きさととの関係を解明することができた。

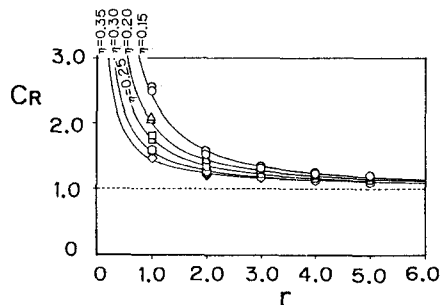


図-6 リブプレートと接合部伸剛性修正係数 C_R の関係

参考文献

- 1) T.Nishiwaki, et al.: High strength bolt joints subjected to cyclic tensile loading, The 1st. East Asian Conf. on Structural Engineering and Construction, Vol. 2, 1986.
- 2) 西脇・増田・皆川・黒田・鈴木: 長締めボルト引張接合のボルト軸力, 構造工学論文集, Vol. 35AIII, 1989.
- 3) 黒田・西脇・増田・皆川・鈴木: 長締めボルト引張接合の応力挙動, 土木学会第43回年講集 I 部門, 1988.
- 4) 日本鋼構造協会引張ボルト接合班: 高力ボルト引張接合について, JSSC, Vol. 3, No. 24, 1967.
- 5) 吉田・雨宮・増田: 立体構造解析のための薄板有限要素, 土木学会論文報告集, 第211号, 1973.

表-1 ボルト付加軸力係数 α の実測値と計算値

Specimen	Experiment	Calculation	
	α	α	C_R
C-NS-87	0.042	0.043	1.344
D-NS-87	0.029	0.026	1.341