

アングルを用いた半剛接合部における引張接合部の剛性低下係数の簡略化

214-064 曾原 武流

1. はじめに

鉄骨構造の柱梁接合部における接合方法の1つとしてアングルなどの接合金物と高力ボルトを用いる方法がある。この種の接合部は通常、半剛接合として扱われる。溶接接合などに比べて、誰でも比較的容易に扱うことができるが、その一方で、接合部自体の変形によって骨組全体の剛性が低下しやすく、地震時の骨組変形が大きくなりやすいという欠点も持ち合わせている。これによって、構造設計において、地震時における半剛接合骨組の変形を制限値以下に抑えることが課題の1つとして挙げられる。この課題の対応策として、精度の良い評価式が求められている。

本論文では、本研究室によって提案されてきた評価方法および評価式について記述し、幅方向の剛性低下係数について最小二乗法による改良を試みる。

2. 剛性評価方法

本研究室の剛性評価方法は、接合金物であるフランジアングルの曲げ変形を評価の対象としている。以下に詳細を記載する。

図1(b)の引張接合側のアングルに対して、固定ラインの概念を用いてアングル幅方向における剛性の低下を精度良く評価しようとしている。図(b)に示すアングルの変形に対して、中央の基準部分と両側の角度部分に分ける。図1(b)の左側の折線を完全拘束とみなし右側端部は梁材軸方向にのみ動くようにし回転を拘束することで次式を算出する。

$$K_0 = \frac{Et_c^3}{\ell_c^3(1+\gamma_c)}, \gamma_c = \frac{S}{\ell_c^2}, S = \frac{6Et_c^2}{5G} \quad \dots (1)$$

角度部分の剛性については、長さの異なる梁の集合体として積分で累積し、上記の基準部分に加えることで全体の引張剛性 K は次式のように得られる。

$$K = K_0(B + \alpha_{c1}B_1 + \alpha_{c2}B_2) \quad \dots (2)$$

α_1, α_2 は角度部分の剛性を基準部分と同様の計算で算出する際にアングル幅方向の剛性低下率を示す係数である。

3. 引張剛性低下係数の算出

(2)式の括弧内の項は、角度がない場合に相当する幅、つまり有効幅を示しており、この引張接合側の幅方向剛性低下係数 α_c は次式より算出される。

$$\alpha_{ci} = \frac{\ell_c(\ell_c^2+S)}{2S\theta B_i} \left[\ln \frac{(\ell_c+\theta B_i)^2}{(\ell_c-\theta B_i)^2+S} - \ln \frac{\ell_c^2}{\ell_c^2+S} \right], i = 1, 2 \quad \dots (3)$$

ここに低下率式の中に入れるため $\beta = \frac{\theta B_i}{\ell_c} + 1$ から1引いた(4)式の係数 β' を使用することにより、次式(5)となる。この式は元の式で、図1のモデルに対する理論式である。

$$\beta' = \frac{\theta B_i}{\ell_c} \quad \dots (4)$$

$$\alpha_c = \frac{(1+\gamma_c)}{2\gamma_c\beta'} \ln \frac{(\beta'+1)^2+(1+\gamma_c)}{(\beta'+1)^2+\gamma_c} \quad \dots (5)$$

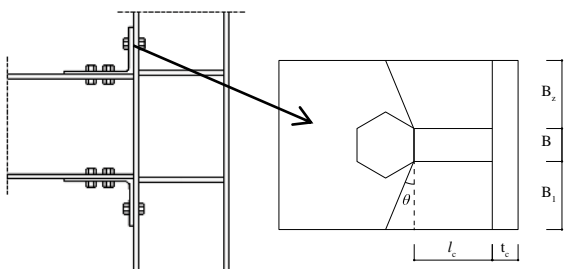
本研究室で提案されてきた簡略式である(6)式は、 γ_c 及び β の範囲に制限があり評価精度の改善が必要である。そこで、最小二乗法を用いて新たな簡略式を検討してみる。

$$\alpha_c = \beta^{-(1.4-0.41\gamma_c)}, \beta: 1.20 \sim 2.00 \quad \gamma_c: 0.06 \sim 0.65 \quad \dots (6)$$

様々な接合部ディテールに幅広く対応できるように考慮し、新たな簡略化を考える一例として、 $\gamma_c = 0.8$ のときに対して(5)式と(6)式で算出した α_c の比較を行った、横軸を β' としたグラフを図2に示す。(5)式は非常に複雑で実用性に欠けており、さらに簡略化した(6)式は β に制限があり、誤差が大きくなる場合がある。図2から分かるように β' の大きい領域では約1割ほどの誤差が生じる。ここで更なる改良を行うために提案する新しい簡略式を次式に示す。

$$\alpha_c = \alpha_\beta(\beta' \alpha_\gamma + 1) \quad \dots (7)$$

この α_β は標準と見なす($\gamma_c = 0.35$)のケースの低下係数として定めたパラメータである。また、 α_γ はせん断変形の効果を示す係数 γ_c に対する補正項である。



(a) 柱梁接合部 (b) 引張接合側のアングル
図1 本研究のモデル

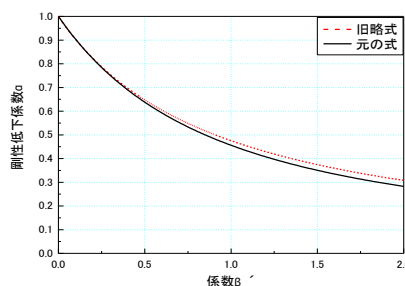


図2 従来の簡略化による誤差

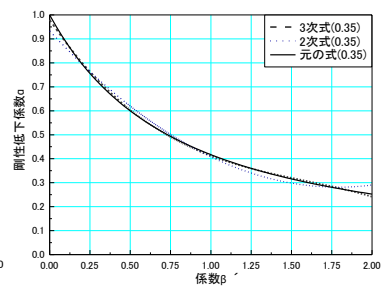


図3 標準ケースにおける比較

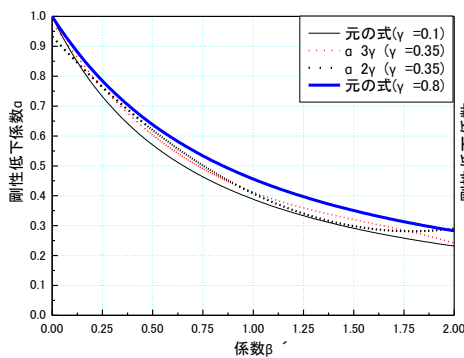


図4 標準ケースにおける比較

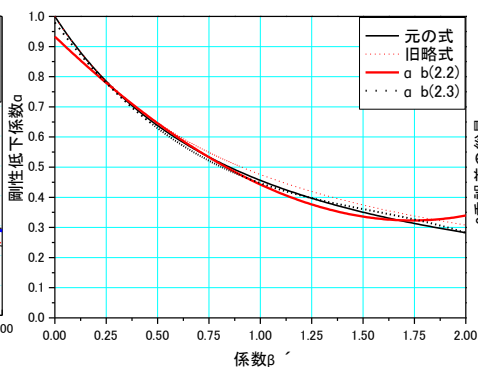


図5 提案式の誤差

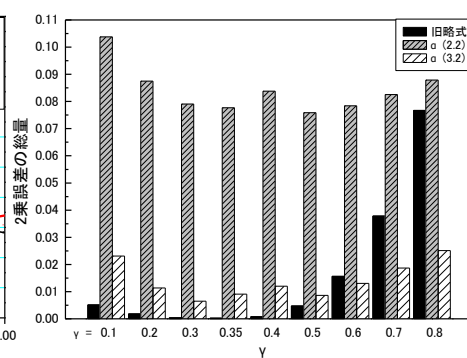


図6 提案式と従来式の2乗誤差総量の比較

ここではまず標準ケースの評価精度が最も良くなるように最小二乗法による低下係数 $\alpha_\beta = \alpha_{\gamma=0.35}$ を算出し、その結果を次式に示す。最小二乗法より得た2次関数では精度が著しく低下するため、更に3次関数を求め、2つの値で検討した。また(5)式と(8)式及び(9)式を比較したものを図3に示す。

$$\alpha_{2\gamma=0.35} = 0.204\beta'^2 - 0.729\beta' + 0.933 \quad \dots (8)$$

$$\alpha_{3\gamma=0.35} = -0.114\beta'^3 + 0.541\beta'^2 - 0.994\beta' + 0.980 \quad \dots (9)$$

図3から分かるように(5)式と(8)式、(9)式を比較すると、(9)式は極めて精度よく近似している。しかし両式は $\gamma_c = 0.35$ の場合のみの式となっており、 γ_c の値が固定されているため、他の γ_c の値で計算する際には再び最小二乗法を使用しなくてはならず、実用性に欠けている。そこで更なる補正である α_γ を定める必要がある。 γ_c の値が変動したときの(5)式と(8)式および(9)式を比較したものを図4に示す。

ここでは、新しい簡略式(7)式を定めるため、(8)式と(9)式を基準式とにおいて、基準式に対してある倍率を乗じることで新しい簡略式を算出する。倍率は式(10)に示す。この倍率は γ_c の値によって変動するので、具体的には次のように評価していく。倍率式と基準式で2次関数と3次関数の組み合わせが3通りあるので、3通りそれぞれの α_c と(5)式との誤差が微小となるようにする。(基準式次数, 倍率式次数)=(2, 2)の場合 $\beta' = 1.233$ 、(3, 2)の場合 $\beta' = 1.195$ 、(3, 3)の場合 $\beta' = 1.195$ のとき γ_c の値(= 0.1~0.8)に関わらず、最も誤差が少なくなる。しかし(基準式次数, 倍率式次数)=(3, 2)と(3, 3)は精度がほぼ等しくなるので次数(3, 2)とする。

また倍率式は $\beta' = 1.233, 1.195$ かつ $\gamma_c = 0.35$ のとき及び $\beta' = 0, \gamma_c = 0.35$ のときに対して $b \alpha_c = \alpha_\beta$ となるように補正される。その際に使用する倍率係数 α_γ とおくと、(10)式は倍率式として成立する。

$$(\text{倍率}) = \beta' \alpha_\gamma + 1 \quad \dots (10)$$

この α_γ についても、 γ_c との関係から最小二乗法を用いて算出すると次式となる。

(基準式次数, 倍率式次数)=(2, 2)のとき

$$\alpha_\gamma = -0.074\gamma_c^2 + 0.27\gamma_c - 0.086 \quad \dots (11)$$

(基準式次数, 倍率式次数)=(3, 2)のとき

$$\alpha_\gamma = -0.077\gamma_c^2 + 0.276\gamma_c - 0.089 \quad \dots (12)$$

ここで α_β と α_γ を(7)式に代入することにより新しい簡略式(13)、式(14)が得られる。

$$\alpha_{(2.2)c} = (\beta'(-0.074\gamma_c^2 + 0.27\gamma_c - 0.086) + 1) \cdot (0.204\beta'^2 - 0.729\beta' + 0.933) \quad \dots (13)$$

$$\alpha_{(3.2)c} = (\beta'(-0.077\gamma_c^2 + 0.276\gamma_c - 0.089) + 1) \cdot (-0.114\beta'^3 + 0.541\beta'^2 - 0.994\beta' + 0.980) \quad \dots (14)$$

$\gamma_c = 0.1 \sim 0.8$ の中で(5)式と(6)式の誤差が最も大きくなる $\gamma_c = 0.8$ のときの(5)式と(6)式および(13)式(14)式を比較したものが図5となる。また、(5)式と(6)式および(13)式(14)式を比較したときの γ_c の値によって生じる2乗誤差の総量を示したものが図6となる。

4. まとめ

本論文ではアングルと高力ボルトを用いた鉄骨構造柱梁半剛接合を検討の対象として、接合部引張剛性を予測する際、引張接合側の剛性低下係数の評価式の簡略化を行い、精度改善の可能性を探ってみた。その結果、次のことが分かった。

- (1) 最小2乗法によって求めた剛性評価値については、2次関数では元の式に比べて、 β' に対してばらつきの大きいグラフになったが、3次関数では極めて精度の良い形状となった。倍率式の関数については良い精度の評価として(基準式次数, 倍率式次数)=(3, 2)を採用した。
- (2) 従来の簡略式と新しい簡略式の2乗誤差を比較した結果、 $\gamma = 0.1$ から0.5の範囲では新しい提案式の精度がやや悪くなるものの、 $\gamma = 0.6$ 以降の範囲では新しい簡略式の方は精度の向上が見られた。
- (3) 本提案式をまとめると次式となる。

$$\alpha_c = \alpha_\beta(\beta' \alpha_\gamma + 1)$$

(基準式次数, 倍率式次数)=(3, 2)のとき

$$\alpha_\beta = -0.114\beta'^3 + 0.541\beta'^2 - 0.994\beta' + 0.980$$

$$\alpha_\gamma = -0.077\gamma_c^2 + 0.276\gamma_c - 0.089$$

ただし $\beta' = 0$ のとき $\alpha_c = 1$

参考文献

- (1) 浅田健太、林暁光、引張接合の離間性状を考慮した柱梁半剛接合部の曲げ剛性評価、建築学会近畿支部研究報告集、2010年 (林研究室)