

せん断変形の影響を考慮した柱フランジ面外剛性評価式の改良

1. はじめに

鉄骨構造の柱梁接合部において、溶接接合の他に接合金物と高力ボルトによる接合形式である半剛接合がある。本論文では、汎用数値解析ソフト Abaqus を用いて数値解析を行い、前報の文献¹⁾で提案されている柱フランジの面外剛性評価式に対してせん断変形の効果に着目し改良を行った。基本的には文献¹⁾で示されている解析対象をせん断変形が顕著な範囲まで拡張することでせん断変形を考慮した剛性評価式へと発展させる。

2. 柱フランジの面外変形による剛性

2.1 剛性評価方法の概要

柱フランジの面外引張剛性を評価するため、図1に示す集中荷重を受ける基本モデルに対して、接合部の実情を考慮できるように、図2(a)、2(b)に示す1辺拘束モデル及び図2(c)に示す2辺拘束モデルへ拡張していく必要がある。

本論文では主に幅方向の応力拡散効果に着目し、図2で示している個々の要因による等価幅の増加量の算出を試みる。このときの剛性評価の基本的な考え方として、2辺拘束モデルについては図3で示すように、整合モデルの半分と3辺拘束モデルの半分を足し合わせることで算出する。3辺拘束モデルについては、無限幅整合モデルからの有効幅の増加量の算出を試みる。

2.2 弾性力学理論解の修正

図1で示すような無限幅の片持板における1点集中荷重時の弾性力学理論解を(1)式で示す。ここでEはヤング係数、 ν はポアソン比である。(1)式と片持ち梁の剛性計算式と合わせることで板の等価幅を得ることができ、せん断変形の影響を考慮すると式(2)のように書き換えることができる。

$$K = \frac{Et^3}{2.016b^2(1-\nu^2)} \quad (1)$$

$$K = \frac{2.18bEt^3}{b^3(4+\gamma)}, \quad \gamma = 2.4(1+\nu)\frac{t^2}{b^2} \quad (2)$$

ここで γ は全体変形に対するせん断変形の影響を表しており、片持ち梁の場合における変形量の支配率は図4に示す結果となる。同図の縦軸は全体変形の曲げ変形に対する割合を示す。本論文では、片持ち梁の場合のせん断変形の支配率が約2割となる $\gamma = 1.05$ まで解析対象を拡大する。

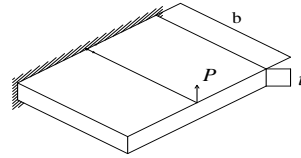


図1 無限幅モデル

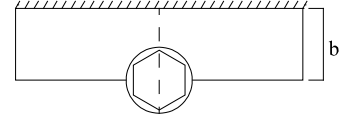


図2(a) 接合モデル

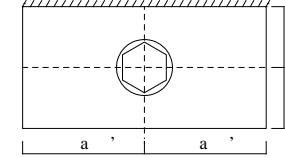


図2(b) 整合モデル

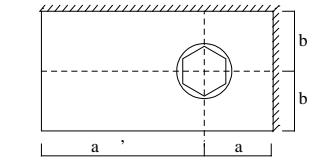


図2(c) 2辺拘束モデル

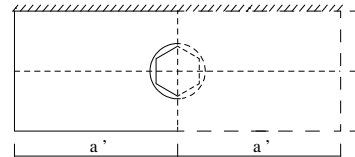


図3 足し合わせによる剛性評価

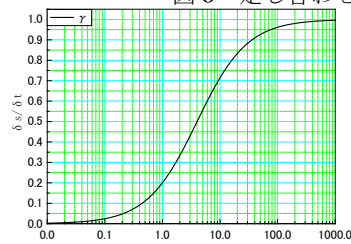


図4 せん断変形の影響が及ぼす割合

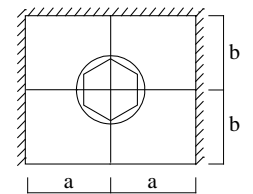


図5 3辺拘束モデル

実際の接合部ではボルトの締付けがあるため、一点載荷時よりも応力の横の広がりがある。そのため、ボルト頭寸法Bを考慮し、基本式を以下の(3)式のように幅方向の補正をしていく。以下、Wは各剛性評価式に対する有効幅を示す。

$$K_0 = \frac{Et^3}{b^3(4+\gamma)} \times W_0, \quad W_0 = 2.18b + B \quad (3)$$

2.3 無限幅の補正係数

図2(a)に示す接合モデルに対して、有限要素法に基づく数値解析を実施し、式(4)を用いて等価幅の式(3)に対して補正する。ここでdはボルト孔の寸法を示す。

$$W_1 = \alpha_1(2.18b + B), \quad \alpha_1 = -0.507(t^2/bd) + 0.967(4)$$

図2(b)の整合モデルで示しているように、ボルト外側の付加部分がある。板要素では、幅方向における応力伝達の拡散が考えられ、等価幅の増加量を検討する必要がある。実際の接合部との対応を考慮し、解析対象を b'/b が0.5~2.0の範囲とした。

接合モデルとの差から付加部分のみの剛性を評価し、付加部分による等価幅の増幅効果を考慮する補正を行った。

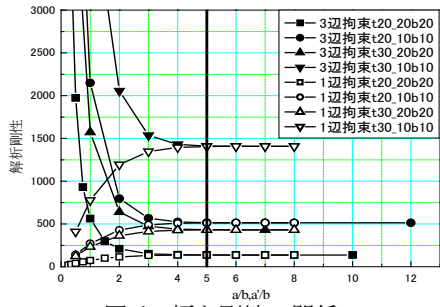


図6 幅と剛性の関係

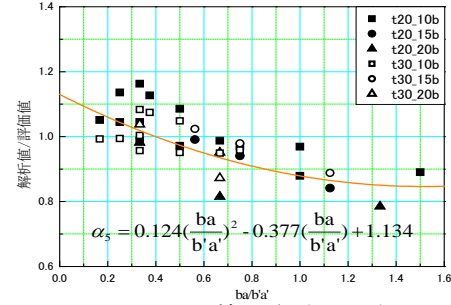


図9 α_5 補正前 ($a' < 5b$)

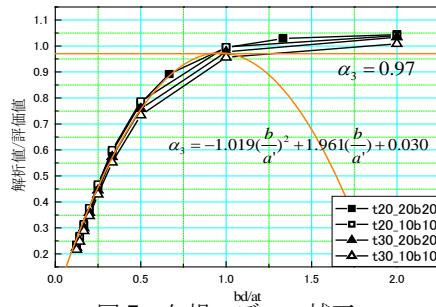


図7 欠損モデルの補正

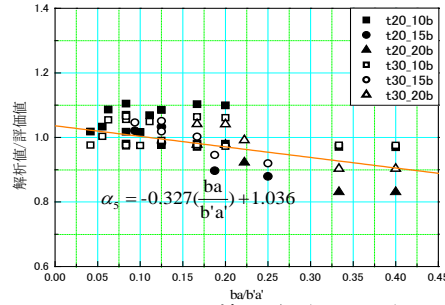


図10 α_5 補正前 ($a' \geq 5b$)

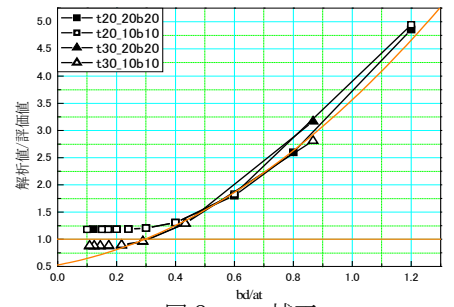


図8 α_4 補正

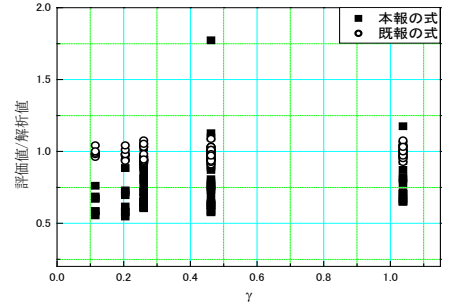


図11 前報の提案式との比較

これらの補正により図2(b)の a' が無限となる無限幅整合モデルは評価できたこととなる。以下に補正係数 α_2 及び補正後の評価式を示す。

$$W_2 = \alpha_1(2.18b + B_b) + \alpha_2 b' \quad (5)$$

$$\alpha_2 = 0.324(b'/b)^2 - 1.495(b'/b) + 2.700$$

2.4 幅の不足の効果

図6から見て取れるように、整合モデルが無無限幅と言えるのは $a/b \geq 5$ の場合である。つまり、図6は $a/b < 5$ のとき、 $a > 0.5W_2$ であっても単純な幅の置換ができないことを示している。片側の等価幅は実際の幅の関数と考え、図7から次式で評価した。

$$0.5W_3 = \alpha_3 a'$$

$$\alpha_3 = -1.019(b/a')^2 + 1.961(b/a') + 0.030$$

ただし、 $b/a' > 1$ の時、 $\alpha_3 = 0.97$ (6)

2.5 両辺拘束による効果

3辺拘束モデルの剛性については、図6より $a/b \geq 5$ で収束することがわかる。 $a/b \geq 5$ の場合、両端の拘束は剛性に寄与しているとは言えず、整合モデルの場合と同様に等価幅は W_2 となる。しかし、 $a/b < 5$ の場合は両端拘束による剛性増加が考えられる。これについては図8に示す無限幅整合モデルからの増加量により評価した。実際の接合部状況を鑑み、 $a/b < 1$ の範囲を除外する。

$$0.5W_4 = \alpha_4 W_2$$

$$\alpha_{4C} = (2.037(\frac{bd}{at})^2 + 1.001(\frac{bd}{at}) + 0.527) \times \frac{t}{d}$$

ただし、 $a/b \geq 5$ の時、 $\alpha_{4C} = 1$ (7)

2.6 2辺拘束モデルの等価幅

2辺拘束モデルについては、整合モデルの半分と3辺拘

束モデルの半分による足し合わせにより評価する。足し合わせの効果は図9、図10から最小2乗法により算出した。

$$W = \alpha_5(0.5W_3 + 0.5W_4)$$

$$\alpha_5 = 0.124(\frac{ba}{b'a'})^2 - 0.377(\frac{ba}{b'a'}) + 1.134$$

ただし、 $a'/b \geq 5$ の時、

$$W = \alpha_5(0.5W_2 + 0.5W_4)$$

$$\alpha_5 = -0.327(\frac{ba}{b'a'}) + 1.036 \quad (8)$$

よって、2辺拘束モデルの剛性評価式は、次式となる。

$$K = \frac{Et^3}{b^3(4 + \gamma)} \times W \quad (9)$$

3. 結果と考察

代表的な2辺拘束モデルに加え、 $\gamma = 1.05$ までのモデルの数値解析結果を用いて、図11で示すように本報の式(9)と前報¹⁾の提案式との比較を行った。同図より、 a' の欠損しているモデルやせん断変形の影響が顕著な範囲や、前報¹⁾では考慮されていない範囲でも比べているので本報のほうが精度の良い結果になったと考えられる。

4. まとめ

本論文では、文献¹⁾で提案されている柱フランジ面外剛性評価式をせん断変形の影響が顕著な範囲まで拡大して改良を行った。数値解析との比較では、解析したすべての範囲で誤差を1割以内に抑えることができ、よい精度が得られた。

参考文献

- 1) 島野竜平、李亦然、林暁光：高力ボルトとスプリットティーを用いた柱梁接合部に関する研究 日本建築学会近畿支部研究報告集 平成28年度
- 2) 石崎聡史、林暁光：被接合部材のフランジ面外剛性におよぼす非対称要素の影響について 大阪工業大学卒業論文論文集
- 3) 三好崇夫、加藤久人：変形とせん断変形 技術者のための構造力学 (林研究室)