

座屈荷重 幾何学的非線形 材料非線形
 静的載荷実験 正方形断面

1 はじめに

本報では、正方形断面鋼材の座屈荷重および軸方向の荷重 - 変形関係について、既報(その1~3)に示した理論予想と、既報(その4・5)および前報(その6)に示した実験結果との比較を行う。なお、前報までと同様に、(その7)では式や図表に記号Gを付す。

2 実験結果と解析結果の比較

(I) 座屈荷重

既報(その2)で、座屈荷重の理論式(B17)を求めており、式(G1)として再記する。式(G1)より、座屈荷重は断面係数の影響を受けることが予想される。また、既報(その3)では、断面形状が座屈荷重に与える影響について考察しており、正方形断面の辺方向および対角方向の座屈荷重が式(C11)および式(C12)で示されている。これらを式(G2)・式(G3)として再記する。式(G3)は式(G2)よりも小さい値であり、オイラー座屈荷重 N_E で評価をすると辺方向と対角方向に違いは無いが、理論式からは、対角方向に座屈することが予想される。

$$N_g = AE_c k_g^2 = \left(\frac{N_E N_Y^2 Z^2}{4AI} \right)^{1/3} \quad (G1)$$

ここで、 N_E : オイラー座屈荷重 ($=\pi^2 EI/l_0^2$)

N_Y : 降伏荷重 ($=A\sigma_Y$)

Z : 断面係数 ($=M_Y/\sigma_Y$)

E_c : 弾性ヤング率

A : 断面積

I : 断面2次モーメント

$$N_g = \left(\frac{N_E N_Y^2}{12} \right)^{1/3} \quad (G2)$$

$$N_g = \left(\frac{N_E N_Y^2}{24} \right)^{1/3} \quad (G3)$$

さらに、式(G1)の断面係数 Z を塑性断面係数 Z_p に置き換えた場合が、座屈荷重の上界 N_p を与えることになり、この間に座屈荷重の実験値が分散すると予想される。正方形断面の塑性断面係数と断面係数の比 Z_p/Z は、辺方向

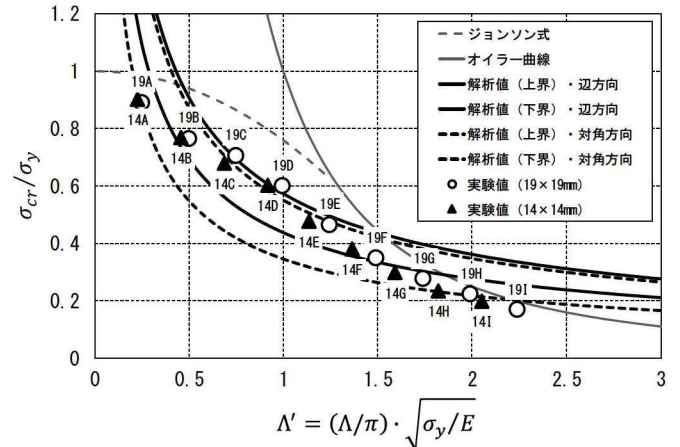


図 G-1 座屈応力度の実験値と解析値比較

で1.5、対角方向で2.0である。以上のようにして得られた解析値と実験結果を座屈応力度 - 基準化細長比関係で比較すると、図G-1に示す通りとなる。なお、図G-1に示す実験値は、各試験体で複数体実施して得られた実験結果の平均値を用いている。

辺方向に座屈した試験体 19A・14A の座屈荷重は、解析値と比べて実験値が小さく、差が大きい結果となった。その他の試験体は、多少のばらつきはあるが、解析値の上界と下界の範囲に実験値が分散する結果となった。また、19×19mm 試験体と 14×14mm 試験体では、断面寸法の違いによる明確な差は、見られなかった。

(II) 軸方向の荷重 - 変形関係

座屈荷重 N_{cr} は、座屈状態における部材長さ l の変形関数の式(B2)と端部曲げモーメント M_0 の式(C1)から得られる式(G4)によって解析的に求まる。ここで、 M_0 を材料試験から求まる全塑性モーメント M_p とした場合を上界、降伏モーメント M_y とした場合を下界として2つの値が得られる。なお、 M_p および M_y は、辺方向・対角方向で値が異なるため、試験体ごとに実験で得られた座屈の方向に合わせた値を用いる。また、式中の初期長さ l_0 は、両端固定の試験であるため、試験体の部材長さ L の1/2となる。

試験体の部材長さ L に対する軸方向変形 δ_x は、図D-5の座屈状態における部材変形と鉛直沈み込み量 d の式(B12)より、式(G5)の関係にある。したがって、座屈状態にお

ける部材長さ l と部材高さ h の変形関数の式 (B2) および式 (B4) から得られる式 (G6) によって、 δ_v が解析的に求まる。

以上より、楕円関数の母数 k をパラメータとして値を計算すると、軸方向の荷重 - 変形関係の解析値が得られる。

$$N_{cr}(k) = \frac{M_o(k) \cdot K(k)}{k \cdot l_o} \quad (G4)$$

$$\delta_v(k) = 2d(k) = 2(l(k) - h(k)) \quad (G5)$$

$$\delta_v(k) = \frac{4l_o(K(k) - E(k))}{K(k)} \quad (G6)$$

ここで、 $K(k)$: 第一種の完全楕円積分
 $E(k)$: 第二種の完全楕円積分

解析値と実験結果の比較を図 G-2 に示す。なお、図中に示す解析値上のプロットは、前述 (I) に示した座屈荷重 (\square : 上界, \diamond : 下界) である。紙面の都合上、 14×14 mm 試験体の内の 6 つについてのみ示しているが、 19×19 mm 試験体についても、基準化細長比ごとに 14×14 mm 試験体と同様の傾向を示す比較結果が得られている。

座屈後 (最大荷重到達後) の挙動に注目して、実験値と解析値を比較すると、座屈の方向が解析予想と異なる辺方向となった試験体 14A・14B は、軸方向の荷重 - 変形関係についても実験値と解析値の差が大きい。その他の対角方向に座屈した試験体 14C~14I は、軸方向の荷重 - 変形関係についても実験値と解析値が概ね一致する結果となった。また、実験値は、全塑性モーメント M_p から求まる上界の解析値と良く一致していると言える。

3 まとめ

座屈荷重および軸方向の荷重 - 変形関係について、実験結果と理論予想を比較し、行った実験の範囲内で両者が良く一致することを確認した。ただし、基準化細長比が小さく、特に、座屈荷重の理論予想が降伏荷重を超えるものは、実験結果と解析予想が一致しない結果となった。ここまで、2 種類の断面形状について同様の実験を行ったが、実験を行った範囲内では、断面寸法の違いによる大きな影響は見られなかった。

今後は、座屈後の部材変形について、実験結果と理論予想を比較し、座屈モデルの妥当性を検証する。

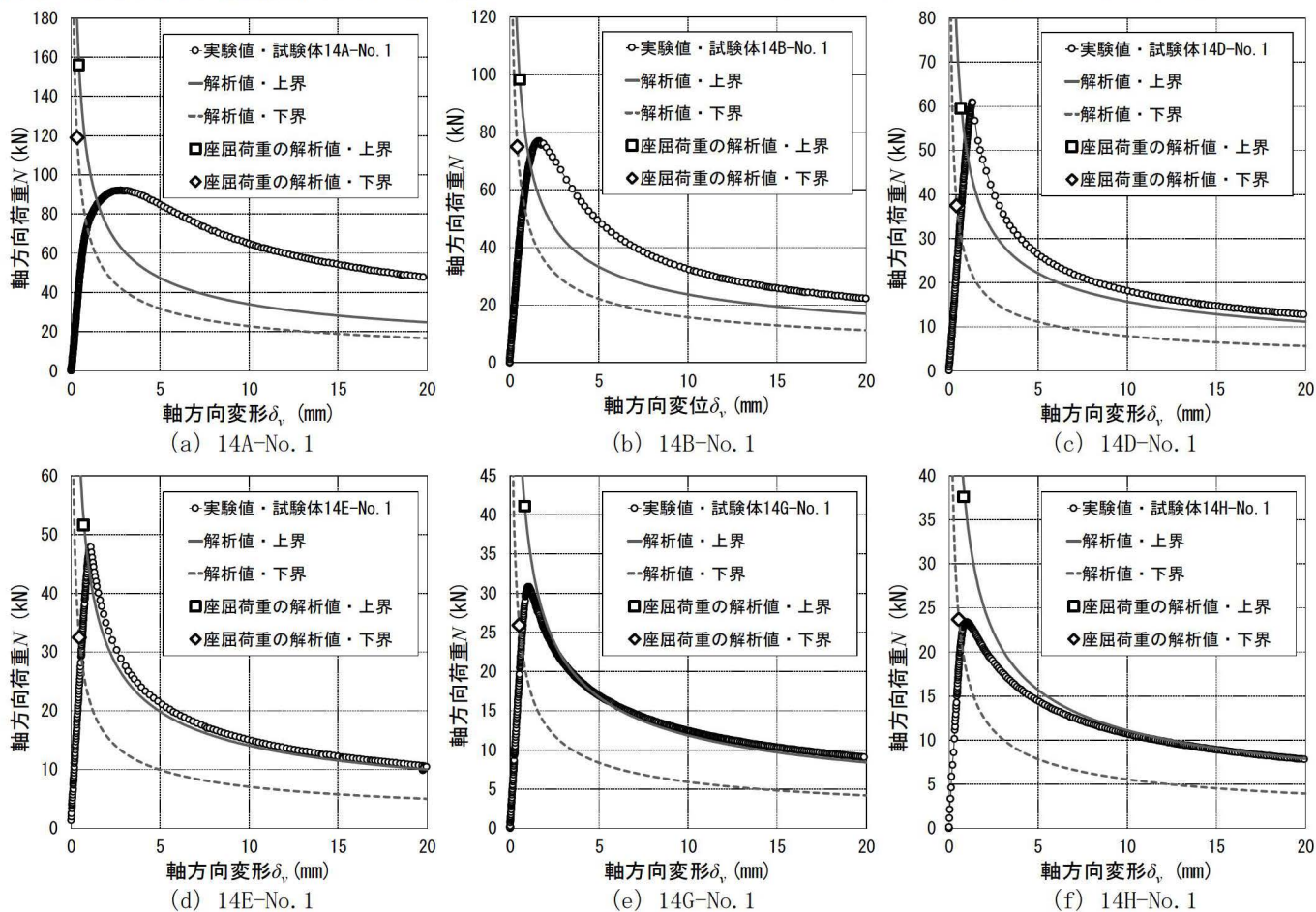


図 G-2 軸方向の荷重 - 変形関係 実験値と解析値比較 (14×14 mm 試験体)

* 愛知工業大学 工学部 建築学科 講師
 ** 愛知工業大学大学院 工学研究科博士前期課程
 *** 東京都市大学 工学部 建築学科 教授

* Lect., Dept. of Architecture, Aichi Institute of Technology
 ** Graduate Student of Eng., Aichi Institute of Technology
 *** Prof., Dept. of Architecture, Tokyo City University