



第 5 3 話 鉄骨ブレースの座屈後挙動

今回は、鉄骨ブレースの座屈後挙動についてお話する。個材の圧縮耐力は、一般的に材の細長比 λ をパラメータとして表され、図 1 のようになる。個材の圧縮力と軸方向変位の関係は材の細長比によって異なり、おおよそ図 2 の形状となる。材の細長比が小さいか、あるいは大きい場合、最大耐力を超えて変位が進んでも、耐力の低下は緩やかである。しかし、材の細長比が限界細長比付近では、最大耐力に到達した後、耐力は急激に低減する。

個材の座屈後、及び材降伏後も含めた履歴挙動に関する理論的研究は、塑性ヒンジの概念を導入したものと、有限要素法による直接解析によるものがある。また、実験的研究も数多く行われており、理論の検証と共に、個材の非弾性座屈挙動そのものが明らかにされつつある。軸方向力と軸方向変位の関係をモデル化し、部材の復元力特性を近似する解法は様々な形で提案されている。その中で最も単純なモデルは、直線型モデルで全ての領域を線形近似する。しかし、座屈後の挙動は直線で近似すると誤差が大きくなり、精密な非弾性領域の追跡ができない。コンピュータの能力が向上した今日では、弾性領域は直線で、非弾性領域は曲線、特に双曲線関数や高次関数を用いて近似することが多い。同法では、処女載荷時の挙動は良い精度で近似できるが、繰返し載荷を受ける場合その誤差が大きくなっていく。この問題は、除荷が起こった際の弾性領域で細長比が大きいものほど幾何学的非線形性の影響を強く受け、非線形弾性の履歴を描くためであると思われる。バウジンガー効果など材料の特性を無視したモデルで、この傾向が強くなる。

代表的なブレース材の復元力特性を以下に示す。繰返し軸方向力を受ける単一筋違の復元力特性を図 3 の一組の耐力曲線と弾性除荷直線及び全断面引張塑性域直線で表現する。ここでは区分領域ごとに説明する。

(1) 圧縮側耐力曲線：耐力曲線は、引張側、圧縮側ともに、次式で与えられるものとする。

$$n = \frac{1}{(a \cdot \delta + b)^r} \dots\dots (1)$$

ここに、 $n \equiv N / N_0$ は筋違軸力の大きさと降伏軸力の比、 $\delta \equiv u / u_0$ は軸力変位と降伏軸方向変位の比であり、 a 及び b は無次元 Euler 荷重 n_E の関数である。

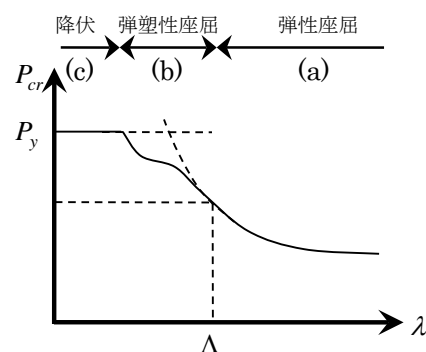


図 1 部材の圧縮耐力と細長比の関係

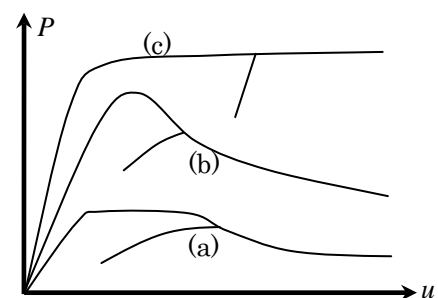


図 2 部材の圧縮力と軸方向変位の関係

$$n_E = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 \sigma_y} \quad \dots\dots(2)$$

また、定数 r は $n^{-1/r}$ と δ がほぼ線形の関係になるように値を選択する。

実験で得られた代表的な圧縮側耐力曲線から、 $r=1/2$ と定め、圧縮側耐力曲線を次式で与える。

$$n = \frac{1}{\sqrt{p_1 \delta + p_2}} \quad \dots\dots(3)$$

ここで、

$$p_1 = \frac{10/n_E - 1}{3}; \quad p_2 = \frac{4}{n_E} + 0.6 \quad \dots\dots(4)$$

とする。ただし、式が適用できるのは $n_E \leq 10$ の場合に限られる。接線剛性は、式(3)から次式で与えられる。

$$ak = \frac{dn}{d\delta} = \frac{-0.5p_1}{(p_1\delta + p_2)^{\frac{3}{2}}} \quad \dots\dots(5)$$

(2) 引張側耐力曲線：引張側耐力曲線は (0, 1) 点を通る曲線として定義されるので、式(1)における b は、 $b=1$ となる。実験で得られた結果によると、 $(n^{-2/3} - 1)$ と δ の関係は原点を通る直線で表されるため、 $r=3/2$ とし、引張側耐力曲線を次式のように与える。

$$n = 1/(p_3\delta + 1)^{\frac{3}{2}}; \quad p_3 = \frac{1}{3.1 \cdot n_E + 1.4} \quad \dots\dots(6)$$

引張側耐力曲線の接線剛性は、式(6)左より次式となる。

$$ak = \frac{dn}{d\delta} = -\frac{1.5p_3}{(p_3\delta + 1)^{\frac{5}{2}}} \quad \dots\dots(7)$$

(3) 引張側耐力曲線の移動則：引張側耐力曲線の途中から変位を逆転し、 δ_a だけ圧縮側に変位させた後、再び変位を逆転させた場合の引張側耐力曲線の移動量 x を次式とする。

$$x = \ln(q_1 \bar{\delta}_a + 1) - q_2 s \geq 0 \quad \dots\dots(8)$$

ただし、

$$q_1 = \frac{3 - 1/n_E}{10}; \quad q_2 = \frac{0.115}{n_E} + 0.36 \quad \dots\dots(9)$$

(4) 圧縮側耐力曲線の移動則：圧縮側非弾性領域にある応力点において変位を逆転し、引張側耐力曲線と圧縮側耐力曲線の基準点の移動量 y は引張側塑性変形量 δ_b に比例するものとして扱う。

$$y / y_0 = \delta_b / \delta_{b0} \quad \dots\dots(10)$$

(5) 初期剛性と座屈：処女載荷時の座屈軸力は、設計指針の基準式を用いる。

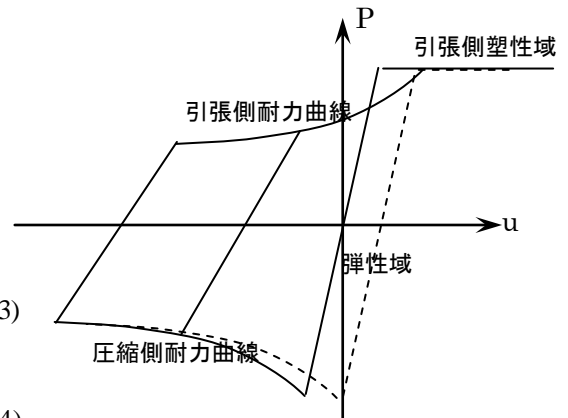


図 3 軸方向履歴モデル

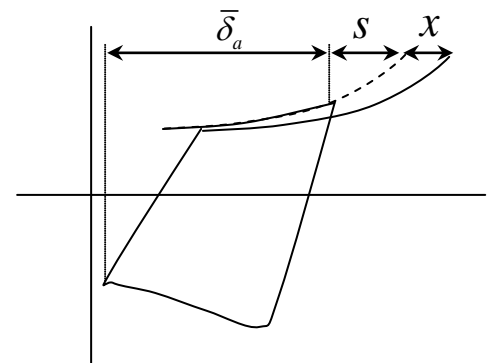


図 4 引張側耐力曲線の移動