

薄肉開断面曲線梁の弾塑性曲げ振り解析

藤 田 讓 外

【討】熱田稔雄君 (1) 弾塑性領域における断面力解析において剪断中心の位置は荷重状態に応じて移動するものと考えられますが、この点は考慮されているかどうか、また、その影響は小さいと考えて良いのかどうか。

(2) 断面力としては、軸力・二軸曲げ、振りモーメントが定式化されており、Vlasov らがいういわゆる bi-moment は表には表わっていないが、これに対する著者の考えは。

(3) 理論展開は非対称断面にも適用可能と考えられますが、計算例はすべて対称断面に限られている理由は比較する計算例がないということでしょうか。

(4) 実用上の観点からは非対称の荷重状態が多い訳ですが、本論文の考え方は変位関数および境条件をうまく選べば非対称の荷重状態にも適用可能か、または特別な困難が生ずるのかどうか。

(5) 討論者の経験から critical strength を求めるためにはかなりの計算時間を要すると思われませんが、この点について一言。

以上、討論者が感じた点を述べましたが、お尋ねしたいところは、数値計算結果としては弾性解は比較的従来のものとあいやすく、application の立場から見ると、ultimate strength に関する実験結果があれば、それとの対比が望ましい気がする次第です。

【回】張昌斗君 (1) ご指摘の通り、断面内に塑性域が広がると、これに応じて剪断中心の移動が生じると思います。また、これは弾塑性域における St. Venant の振り剛性の評価とも関連がありますが、本解析では弾塑性変形の際に剪断中心はあえて一定と考えております。このような剪断中心の移動が生じるのは、梁柱が主に弾塑性座屈を起こす低細長比域に限りませんが、この領域における薄肉開断面の St. Venant の振り剛性は曲げ振り剛性に比べて小さいことから、これらの剪断中心の移動の影響は小さいと思います。

(2) そり変形によって誘起される曲げ振りモーメントすなわち bi-moment は、 $\Delta M_{\omega} = \int_A \Delta \sigma_{\theta} \cdot \omega_n dA$ と定義されるもので、本文(7)式中第4式の右辺の第2項の所に入っており、第1項の St. Venant の振りと共に Z 軸まわりの振りモーメントを成しております。

(3) ご指摘の通り適当な計算例が見当らなかったのですが、本解析法は非対称断面にもそのまま適用できる

と思います。一般に、非対称断面の場合は面内変形と面外の曲げ振り変形がすべて連成し、傾向的には対称断面に面外の初期変形が存在している場合に相似していると思います。

(4) 本解析法は主曲率面内に働く非対称荷重状態 (Unequal endmoments) においても有効であると思います。すなわち、両端単純支持の境界条件さえ満足すれば本文の(23)~(25)式の変位関数をそのまま適用できると思います。なお、面外の境界条件が固定で、そり変形も拘束されている場合には、(23)式の変位関数の中、 Δv と $\Delta \phi$ のみを次式のように採れば良いと思います。

$$\Delta v(\theta) = \sum_{n=1}^N \Delta C_n \left(1 - \cos \frac{2n\pi\theta}{\alpha}\right)$$

$$\Delta \phi(\theta) = \sum_{n=1}^N \Delta d_n \left(1 - \cos \frac{2n\pi\theta}{\alpha}\right)$$

(5) 数値計算には変位関数として u, v, w, ϕ を各5項ずつ採りましたが、3項ではほぼ収束し、工学的に十分な精度が得られることを確かめました。解くべき連立方程式の元数は12~20元で、同じ程度の解を与える有限要素法、または有限積分法¹³⁾等に比べて約1/5~1/3であり、critical (ultimate) strength を求めるのには1荷重 step 平均0.2秒で最高荷重まで30step 計算で約6秒を要しました。

【討】大勝孝司君 (1) 剛性の級数展開係数(A-3など)を求める数値積分は解の精度と計算時間に影響すること大と思われませんが、どの様になされましたか。

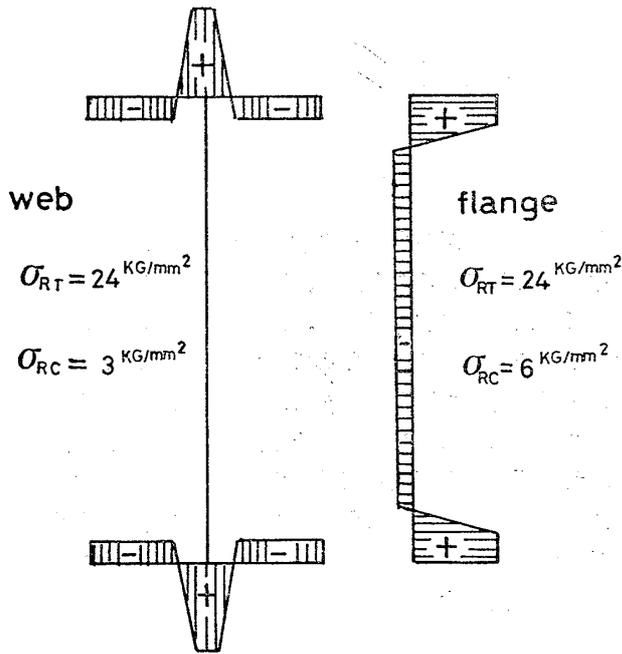
(2) 横倒れ崩壊の Fig. 13 に関して、

1) 低細長比域で、最高荷重が初期降伏荷重により近似出来るのを初期不整無しのに限っているけれども、残留応力の有るときもフランジ自由辺の降伏により近似出来ないでしょうか。

2) 初期変位のある場合と更に残留応力のある場合の両曲線が交差するのは何故でしょうか。

【回】張昌斗君 (1) 梁の断面内に塑性域が生じると $\bar{E}(x, y, z)$ が場所の関数となるために、本文の(8)式の断面剛性積分および付録(A・2)、(A・3)式の材軸方向の積分は数値積分を行なう必要があります。本解析では断面内の面材とウェブの板厚中心線に各10点梁の材軸方向に21点の積分点を設けて、断面積分には台形則、材軸方向の積分にはシン普森則を用いており、積分の誤差は約0.2%以下です。

1) ご指摘の通り、残留応力がある場合も面材の自由



I-section ($Q = 4000 \text{ cal/cm}$)

Fig. A

辺の降伏荷重で最高荷重を近似的に推定できると思います。即ち、面材の圧縮残留応力 σ_{RC} (Fig. A 参照) を用いて本文 (28) 式中の M_y の代わりに次式を用いばよいと思います。

$$M_y = 2 \cdot I_y (\sigma_Y - \sigma_{RC}) / d \quad (\sigma_{RC} > 0)$$

ただし、面材中央部に引張残留応力が存在していること

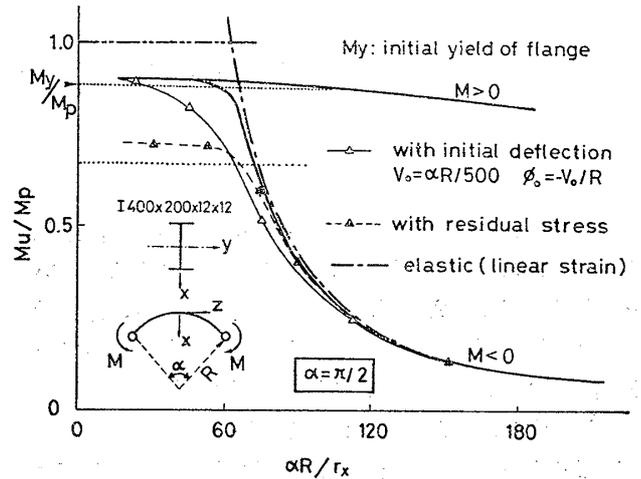


Fig. B

から予想されるように、かなり安全側の結果 (Fig. B の下部の点線) を与えると思います。

2) Fig. 13 に示した結果は初期不整として初期変位または残留応力のみがそれぞれ存在している場合について計算したもので、残留応力は梁の長さに無関係に一定なものを用いているのに対して、初期変位は梁長に比例するものを採っているために、低細長比の所では初期変位の影響が小さくなり、両者は異なる傾向を示しているものと思います。なお、初期変位と残留応力が共に存在する場合はご指摘の通り、これらの初期不整の影響は従来直線梁の計算結果から類推すると大体加算されることが予想されます。

塑性関節法の一般化に関する研究

上 田 幸 雄 外

【討】 大坪英臣君 (1) 「節点に降伏関節が生じる」として計算を進めています。塑性領域を節点に集中させたものと考えられますが、この点に関して著者等の物理的解釈を御教授下さい。

(2) 曲げに対しての塑性関節線あるいは面内変形に対する要素全域の塑性化などの従来的方法と比べて著者等の方法の得失をお教え下さい。たとえば要素分割と計算精度、塑性化による剛性マトリックスの演算量など。

【回】 矢尾哲也君 (1) 塑性関節法では塑性変形が要素の節点にのみ生ずると仮定して解析を行っており、塑性条件を満足した節点は塑性関節を形成したと見なすわけです。一次元部材の場合この塑性関節は物理的な意味での塑性関節と一致します。二次元部材の場合には、塑性関節はその点が塑性化していることを表わしており、塑性関節群をもって塑性域の拡がり、あるいは塑性関節線的なものと解釈します。

(2) 要素単位で塑性化の拡がりを追跡する通常の有限要素法解析と比較した結果を述べます。

1) 計算時間

(a) 微小面内解析

一定ひずみ要素を用いる場合、塑性剛性行列を作るための演算量は通常の有限要素法解析の 2/3 程度となります。

(b) 微小曲げ解析

板厚方向に層割りして応力の判定を行なう通常の有限要素法解析と比較して、約 1/4 の演算時間です。例えば Fig. 2(a) の解析に要した時間は京都大学大型計算機センターの FACOM M 200 を用いて約 4 秒です。

2) 計算精度

用いた有限要素の変位関数の精度に依存します。一般に要素分割を細かくすれば正解に収束して行きます。また要素分割のパターンの差の影響はほとんど受けません。