

I-23

鋼箱形断面短柱の弾塑性有限変位解析

岐阜大学大学院 学生員○坂口雅紀
 岐阜大学工学部 正員 森脇良一
 岐阜大学工学部 正員 奈良 敬
 J R 西日本 正員 岩木和洋

1. まえがき

近年、力学的に合理的な補剛板形式を用いた薄肉構造物が、斜張橋や吊橋などの鋼構造物の長大化を強く推進してきた。鋼構造物の薄肉化により、地震や風などの支配的荷重下での板要素の座屈による局部崩壊を考慮した弾塑性有限変位挙動を把握することが重要となってきた。そのため、主塔の下部など局部的な変形を考慮できる部分構造系の解析をする必要がある。

そこで、板要素を立体構成した鋼板構造の弾塑性有限変位解析を開発し、鋼箱形断面短柱を対象とした数値計算例を試みたので報告する。

2. 解析法

micropolar理論¹⁾によるmicro変形に対応した面内回転剛性を導入し、各節点変位として(u, v, w, θ_x , θ_y , θ_z)の6自由度を導入した計18自由度の三角形板要素とする²⁾。micropolar理論とは、通常の平面応力問題では存在しない面内回転変位を一般化された連続体力学理論で考慮されているmicro変形により導入しようとするものである。この理論は、伸びおよびせん断変形に対して剛なmicro要素を考え、回転変形のみを考慮するという仮定に基づいており、ひずみ-変位関係式を次式で表している。

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}_x &= \partial \bar{u} / \partial x + 1/2 (\partial \bar{w} / \partial x)^2 \\ \bar{\epsilon}_y &= \partial \bar{v} / \partial y + 1/2 (\partial \bar{w} / \partial y)^2 \\ \bar{\gamma}_{xy} &= \bar{\gamma}_{xy} + \bar{\gamma}_\mu \\ &= \partial \bar{u} / \partial y + \partial \bar{v} / \partial x + \partial \bar{w} / \partial x \cdot \partial \bar{w} / \partial y \\ &\quad + 2 \{ \theta_z^* - 1/2 (\partial \bar{v} / \partial x - \partial \bar{u} / \partial y) \} \end{aligned} \quad (1)$$

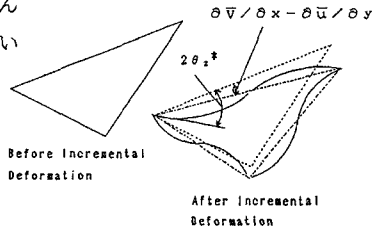


図-1 面内回転変位

ここに、 \bar{u} , \bar{v} , \bar{w} はmacro変位で、 $1/2 (\partial \bar{v} / \partial x - \partial \bar{u} / \partial y)$ がmacro回転、 θ_z^* がmicro回転をそれぞれ表す。図-1にその関係を示す。つまり、式(1)の $\bar{\gamma}_\mu$ が通常の弾性論に付加された項である。そして、このmicro回転とmacro回転が一致した時、弾性論に対応するものと考えられる。

3. 数値計算例とその考察

薄肉鋼板構造の立体弾塑性有限変位解析法の精度を検証するために、一様圧縮を受ける箱形短柱の解析を行う。

図-2に示すように圧縮を受ける2軸対称な箱形短柱を解析対象とする。構成板要素のたわみ波形としては、板幅方向(幅BまたはD)に半波形のたわみ、載荷方向に半波長Aのたわみ波形が連続して生ずるものと仮定する。変形の対称性より図-2の斜線部の1/2をモデル化した。なお、以下では、幅BおよびDの板をそれぞれフランジおよびウェブと呼ぶ。解析モデルのフランジとウェブは、それらの接合線上で互いに直角を保つようにしている。残留応力については、図-3に示すように、圧縮残留応力度が降伏応力度の0.3倍となる矩形分布形状を採用する。初期たわみ波形は次のように与える。

$$V(X, Z) = -V_0 \cos(\pi X/A) \sin(\pi Z/D) \quad W(X, Y) = -W_0 \cos(\pi X/A) \cos(\pi Y/B)$$

ただし、 $V_0 = D/150$, $W_0 = B/150$ とする。

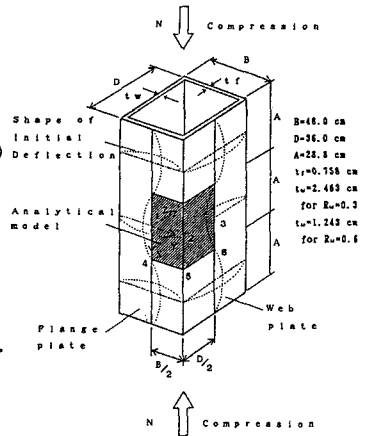


図-2 解析モデル

要素分割数と極限強度の関係を表-1に示す。要素分割については荷重方向に6分割、フランジ幅方向に8分割、ウェブ幅方向に8分割、すなわち6×8×8分割のとき、極限強度は一定値に収束している。収束値の1%を許容誤差とすると4×6×6分割以上で十分であると推察される。また、極限状態のたわみ波形について要素分割別に図-4および図-5に示す。図中の破線が初期たわみ波形で、その他の線が要素分割別の極限状態のたわみ波形である。R_fおよびR_wはそれぞれフランジ、ウェブの幅厚比パラメータである。図-4はR_f=1.3、R_w=0.3の要素のとき

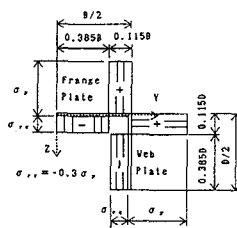


図-3 残留応力

で、ウェブはどの要素分割の場合も変わらない。しかし、フランジは、2×3×3分割のときのたわみが6×8×8分割のときたわみに比べて5.5%程度小さい。図-5はR_f=1.3、R_w=0.6の要素のときで、分割数によって、フランジ、ウェブのたわみ波形はほとんど変わらないことが分かる。よって、表-1に示す要素分割数程度では極限強度にはほとんど変化がないものの、フランジとウェブの幅厚比パラメータに大きな差異がある場合には、要素分割数がたわみ波形に影響を与える。以上より、要素分割数は4×6×6で十分である。6×8×8分割で解析した結果を中井ら³⁾の解析結果と比較し、図-6、図-7に示す。圧縮荷重-圧縮変位曲線を示す両図において、図中の○印は本研究の解析結果、△印は中井らの解析結果である。

表-1 要素分割別極限強度

要素分割数	R _w = 0.3		R _w = 0.6	
	N _u /N _y	N _u /N _y	N _u /N _y	N _u /N _y
2×3×3	0.9298	0.7550		
4×6×6	0.9091	0.7448		
6×8×8	0.9066	0.7420		
8×10×10	0.9068	0.7420		

図中のNは圧縮荷重、N_yは降伏荷重、Uは圧縮変位、U_yは降伏に達する変位を示す。図-6はR_w=0.3、図-7はR_w=0.6のときで、どちらとも本解析結果は中井らの解析結果に一致している。

4. 結論

薄肉鋼箱形断面柱を解析モデルとして数値計算を行った結果、本解析法は、実験結果を十分な精度をもって追跡しうることを、および従来の解析結果とほとんど誤差がないことが分かった。その他の数値計算例については、講演当日発表する。

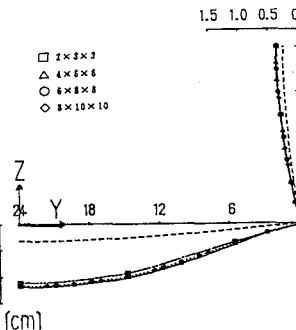


図-4 要素分割-極限状態のたわみ波形 (R_f=1.3, R_w=0.3)

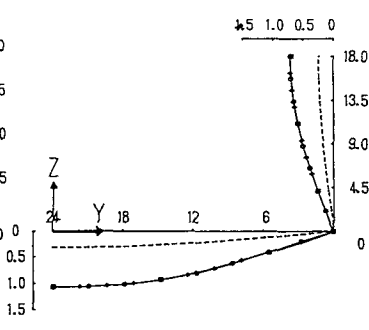


図-5 要素分割-極限状態のたわみ波形 (R_f=1.3, R_w=0.6)

<参考文献>

- 1) 松岡 理, 飯島俊比古: 種々の一般化された連続体力学理論の相互関係についての一考察, 日本建築学会論文報告集, 第215号, 1974年1月.
- 2) 森脇良一, 奈良敬, 岩木和洋: 薄肉鋼板構造の立体弾塑性有限変位解析, 平成3年度土木学会中部昭和年度支部研究発表会講演概要集, I-6, 1992年.
- 3) 中井 博, 北田俊行, 酒造敏廣: 圧縮を受ける薄肉箱形短柱の終局強度特性と終局強度算定法に関する研究, 構造工学論文集, vol. 31A, 1985年3月.

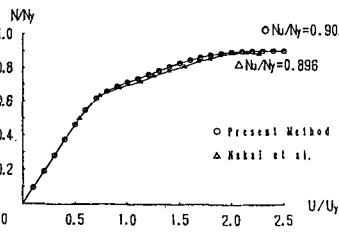


図-7 圧縮荷重-圧縮変位曲線 (R_f=1.3, R_w=0.3)

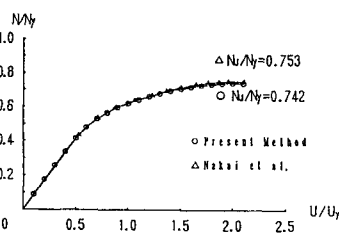


図-8 圧縮荷重-圧縮変位曲線 (R_f=1.3, R_w=0.6)