

曲げねじりを考慮した立体骨組構造の座屈について

防衛施設庁 正員 井上 主男
 北海道大学工学部 正員 佐藤 浩一

1. はじめに 最近、コンピュータの目覚ましい発展により、構造解析分野においても平面骨組構造解析のみならず、立体骨組構造の振動解析、弾塑性解析、座屈解析などが可能になってきている。

本論文の目的は、有限要素法により立体骨組構造の座屈解析を行うものであり、具体的には以下のものである。(1)閉じ構造と開き構造の座屈荷重の比較。(2)偏心距離の違いによる座屈荷重の比較。(3)サンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した初期応力マトリックスを誘導しサンプナンのねじりのみを考慮した場合の座屈荷重と、サンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した場合の座屈荷重の比較を行う。

2. 初期応力マトリックスのための仮定 仮想働式よりサンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した初期応力マトリックス は(1)から(4)の仮定から初期節点変位ベクトルにより表す。

1) 軸方向変形 形状関数 $\{S\} = [1-Z/L, Z/L]$ 節点変位ベクトル $\{W\}^T = [W_1, W_2]$

2) 曲げ変形 形状関数 $\{S\} = [1-3(Z/L)^2+2(Z/L)^3, L(Z/L)-2(Z/L)^2+(Z/L)^3, 3(Z/L)^2-(Z/L)^3, L-(Z/L)^2+(Z/L)^3]$

節点変位ベクトル $\{U_s\}^T = [U^{s1}, U^{s1'}, U^{s2}, U^{s2'}], \{V_s\}^T = [V^{s1}, V^{s1'}, V^{s2}, V^{s2'}]$

3) ねじり変形 形状関数 $\{S\} = [1-3(Z/L)^2+2(Z/L)^3, L(Z/L)-2(Z/L)^2+(Z/L)^3, 3(Z/L)^2-(Z/L)^3, L-(Z/L)^2+(Z/L)^3]$

節点変位ベクトル $\{\theta\}^T = [\theta^{s1}, \theta^{s1'}, \theta^{s2}, \theta^{s2'}]$

4) 部材要素断面は 2軸対称と仮定する。

3. 初期応力マトリックス 2の(1)から(4)の仮定より誘導された初期応力マトリックス K_0 は 以下のようになり、初期節点変位ベクトル $\{U_{S1}, V_{S1}, W_1, -V_{S1'}, U_{S1'}, \theta_1, \theta_1', U_{S2}, V_{S2}, W_2, -V_{S2'}, U_{S2'}, \theta_2, \theta_2'\}^T$ の順に対応している。また、マトリックスは簡略化のために略号を用いており、その略号は以下に示すとうりである。

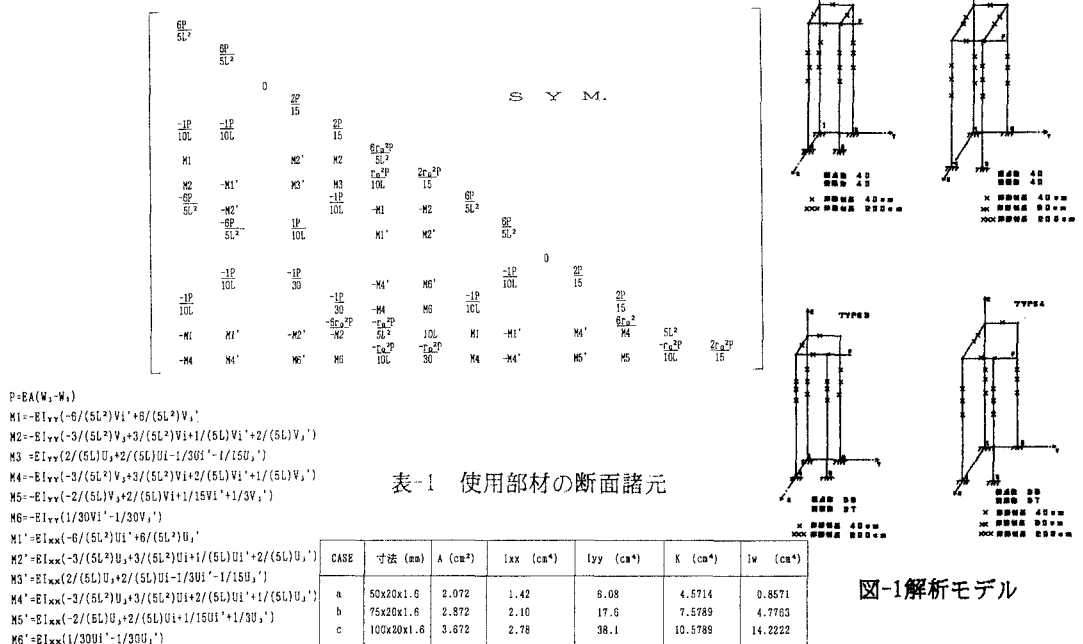


図-1解析モデル

3. 数値計算例

1) 解析モデル a) 解析モデルとして図-1に示すように、TYPE1、TYPE2、TYPE3、TYPE4の4種類とした。TYPE1、TYPE2は閉じ構造で、X軸方向部材長が40cmの場合がTYPE1であり、80cmの場合のものがTYPE2である。TYPE3、TYPE4は開き構造で、X軸方向部材長が40cmの場合がTYPE3であり、80cmの場合がTYPE4である。節点数要素数、部材長は図-5に示す通りである。境界条件は節点番号1、2、3、4を固定とする。また、表-1に示すようなJIS規格の角型鋼管3種類を用い上記のTYPE1からTYPE4までの合計12種類を解析モデルとした。

2) 解析結果 上記の12種類の解析モデル（閉じ構造、開き構造、X軸方向部材長、断面の違い）を用いた解析結果は表-2から表-6の通りである。表-2はサンプナンのねじりのみを考慮した場合の座屈荷重を示す表である。表-3はサンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した場合の座屈荷重を示す表である。表-4はX軸方向部材長が等しい場合の閉じ構造と開き構造の座屈荷重比を示す表である。表-5は閉じ構造と開き構造ごとX軸方向部材長の長さ40cmと80cmの場合の座屈荷重比を示す表である。表-6はサンプナンのねじりのみを考慮した場合とサンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した場合の座屈荷重比を示す表である。

4. 考察 表-2、3、4よりTYPE3とTYPE4のような開き構造がTYPE1とTYPE2の閉じ構造よりも座屈荷重が小さいことがわかった。すなわち、開き構造の構造物に対しては、閉じ構造とすることは座屈荷重を大きくするために有効な手段であると思われる。また、サンプナンのねじりのみを考慮した場合でもサンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した場合でも顕著な差は見られない。表-2、3、5より閉じ構造の場合でも開き構造においても、TYPE2とTYPE4のようなX軸方向部材長が長い方が本解析のような偏心荷重を受ける場合には座屈荷重が小さいことがわかる。特に開き構造の場合にその傾向が顕著である。また、サンプナンのねじりのみを考慮した場合よりもサンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した場合の方がその傾向が大きく曲げねじりの影響が大きいと思われる。表-2、3、6より本解析モデルにおいては、サンプナンのねじりのみを考慮した場合よりもサンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した場合の座屈荷重の方が小さくなることがわかる。特にTYPE2、CASE bの場合には座屈荷重が11%程度小さく最も曲げねじりの影響が大きいことがわかる。

5. あとがき 立体骨組構造の座屈荷重を検討する場合、サンプナンのねじりに曲げねじりを考慮する方が良い場合もあると思われる。

表-2 サンプナンのねじりのみを考慮した場合の座屈荷重

	TYPE	CASE	座屈荷重(kg)	荷重番号
閉じ構造	TYPE1	a	2419.472	S1
		b	3999.873	S2
		c	5903.794	S3
	TYPE2	a	1499.256	S4
		b	2625.199	S5
		c	3806.799	S6
開き構造	TYPE3	a	2205.920	S7
		b	3670.428	S8
		c	5456.690	S9
	TYPE4	a	1258.852	S10
		b	2046.550	S11
		c	2980.270	S12

表-3 サンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した場合の座屈荷重

	TYPE	断面	座屈荷重(kg)	荷重番号
閉じ構造	TYPE1	a	2402.009	B1
		b	3958.514	B2
		c	5818.061	B3
	TYPE2	a	1334.768	B4
		b	2352.976	B5
		c	3540.374	B6
開き構造	TYPE3	a	2188.083	B7
		b	3630.554	B8
		c	5375.104	B9
	TYPE4	a	1154.081	B10
		b	1938.772	B11
		c	2867.240	B12

表-4 閉じ構造と開き構造の座屈荷重比

		サンプナンのねじりのみ		サンプナンのねじりと曲げねじり	
閉じ OR 開き構造	CASE	80 cm 40 cm	座屈荷重比 (%)	80 cm 40 cm	座屈荷重比 (%)
閉じ構造	a	S4/S1	61.999	B1/B4	55.568
	b	S5/S2	65.632	B2/B5	59.440
	c	S6/S3	64.480	B3/B6	60.851
開き構造	a	S10/S7	57.066	B10/B7	52.743
	b	S11/S8	55.757	B11/B8	53.313
	c	S12/S9	54.025	B12/B9	53.342

表-5 X軸方向部材長の違いによる座屈荷重比

		サンプナンのねじりのみ		サンプナンのねじりと曲げねじり	
X軸方向部材長	CASE	開き構造 閉じ構造	座屈荷重比 (%)	開き構造 閉じ構造	座屈荷重比 (%)
40 cm	a	S7/S1	91.173	B7/B1	91.093
	b	S8/S2	91.763	B8/B2	91.715
	c	S9/S3	92.426	B9/B3	92.385
80 cm	a	S10/S4	83.965	B10/B4	86.463
	b	S11/S5	77.957	B11/B5	82.396
	c	S12/S6	78.288	B12/B6	80.986

表-6 サンプナンのねじりのみを考慮した場合とサンプナンのねじりと曲げねじりを考慮した場合の座屈荷重比

	TYPE	CASE	B*/S*	座屈荷重比 (%)
閉じ構造	TYPE1	a	B1/S1	99.360
		b	B2/S2	98.965
		c	B3/S3	98.547
	TYPE2	a	B4/S4	89.028
		b	B5/S5	89.630
		c	B6/S6	93.003
開き構造	TYPE3	a	B7/S7	99.191
		b	B8/S8	98.913
		c	B9/S9	98.504
	TYPE4	a	B10/S10	91.677
		b	B11/S11	94.733
		c	B12/S12	98.207

<参考文献>

- (1)川井 忠彦、藤谷 義信：座屈問題解析、倍風館、1991。(2)藤谷 義信：薄肉はり構造解析、倍風館、1991。(3)水上 考一 他：コンピュータによる数値計算、朝倉書店、1985。(4)川井 忠彦 他：有限要素法ハンドブック、倍風館、1981。