

曲線桁橋腹板の有限変位挙動とその設計法に関する考察

大阪市大工学部 正員 中井 博
 大阪市大工学部 正員 北田 俊行
 (株)川崎重工技研 正員 大南 亮一

1. まえがき プレート・ガダーのような薄肉構造物においては、その限界状態として使用限界と終局限界が考えられる。曲線桁橋の場合には、その終局状態は直線桁と同様に全塑性モーメントにより、ほぼ評価できることが明らかになった¹⁾。しかし、腹板の座屈現象は、曲率を有することから、座屈問題よりむしろ変形問題となり、その使用限界を座屈荷重で表わすことが困難である。そこで、本研究では腹板の面外たわみが腹板高の $1/250$ になる荷重を使用限界とし、その基準にもとづいた設計法を検討したので、ここに報告する。

2. 解析プログラムと腹板モデル 本研究では、まず、曲率を有する腹板の複雑な境界条件をできるだけ正確に考慮できるように、有限要素法による解析プログラムを開発した。その特徴は、①図1に示すような8節点のアイソパラメトリック・シェル要素を用いた。

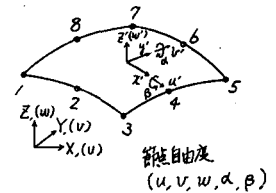


図1. アイソパラメトリック・シェル要素

② Updated Lagrangian 法による有限変位理論を適用した。③非線形の数値解析は、増分法と初期応力法の混合法を用いた。などである。プログラムの解析精度を示す一例として、COAN²⁾が理論解析に用いた板モデルの解析を行い、その結果を図2に示す。同図より両者がよく一致していることがわかる。

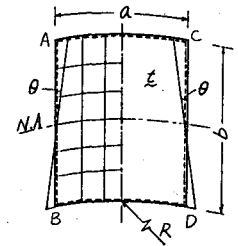


図3. 腹板の解析モデル

曲率を有する腹板のパラメーター解析に用いたモデルを図3に示す。腹板は円筒シェルとし、垂直補剛材と上下フランジに囲まれた腹板パネルの $1/2$ を解析の対象とした。解析の条件は次の通りである。

① 垂直補剛材辺 AB, CD

及びフランジ辺 AC, BD

で単純支持とし、② 載荷辺

AB, CD は平面保持の仮定

より直線を保つものとし、断

面回転角 θ を強制変位

として与えた。この場合、

垂直補剛材辺の円周方向

変位は自由になるよう考

慮した。③ 要素分割は

図3に示すように、

3×6 とした。

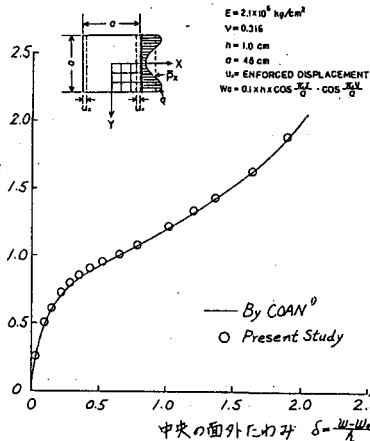


図2. 解析プログラムの精度

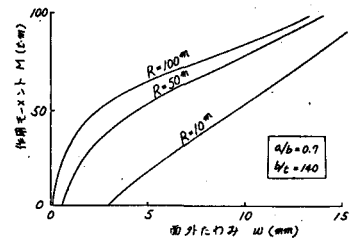


図4. 腹板の面外たわみと荷重の関係

3. 腹板の使用限界と解析結果 本研究では、まえがきで述べたように、腹板の面外たわみに着目し、最大たわみが腹板高さの1/250になるモーメント M_{250} を使用限界と定義し解析結果を整理した。解析に際しては、曲率 R 、幅厚比 b/t 、及び、アスペクト比 a/b をパラメーターとし、実橋で使用される実際的な範囲で変化させた。図4は曲率の異なるモデルに対する荷重と面外たわみの関係を示したものである。表1はパラメーター解析を行ったモデルの諸元と、その解析により得られた使用限界モーメント M_{250} に対する曲げ応力度 σ_{250} の結果をまとめたものである。以下、 σ_{250} を平板の曲げ座屈応力度 σ_{cr} により無次元化した値を無次元パラメーターとして用いる。

図5は各種パラメーターと σ_{250}/σ_{cr} の関係を調べたものである。特に、 a/b に関しては、 $a/b \cong 1.0$ で σ_{250}/σ_{cr} が最小となり $a/b > 1.0$ で再び漸増する傾向が見られる。

表1. 解析モデルの諸元と解析結果

NO.	解析モデルの諸元 ($R-b/t-a/b$)	曲げ座屈の力 ¹⁾ (M_{250} (t-m), σ_{cr} (kg/cm ²))		σ_{250}/σ_{cr}	備考
		M_{250} (t-m)	σ_{cr} (kg/cm ²)		
1	10-140-0.7	44	1,347	2,314	0.58
2	50-200-0.7	23	1,006	1,134	0.89
3	50-140-0.5	73	2,235	2,314	0.97
4	50-140-0.7	60	1,837	2,314	0.79
5	50-140-1.0	56	1,714	2,314	0.74
6	50-140-1.5	59	1,806	2,314	0.78
7	50-140-2.0	66	2,004	2,314	0.87
8	50-100-0.7	153	3,346	4,536	0.74
9	100-140-0.7	68	2,082	2,314	0.90
10	10-173-0.5	6.3	1,313	1,515	0.87
11	10-173-1.0	4.6	958	1,515	0.63
12	30-173-0.5	7.3	1,510	1,515	1.00
13	30-173-1.0	5.6	1,156	1,515	0.76

¹⁾ $M_{250} = \frac{1}{2} \sigma_{250} I$ ²⁾ $\sigma_{cr} = k_0 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2$, $k_0 = 23.9$

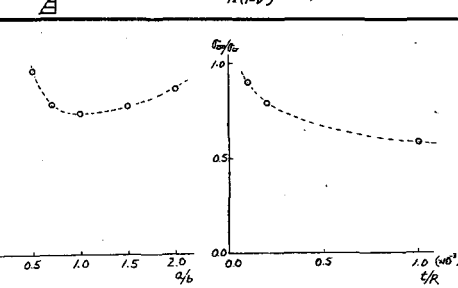


図5. 各種パラメーターと σ_{250}/σ_{cr} の関係

4. 使用限界に基づく腹板の設計

討法 設計の便に供するた a) b/t ($a/b, t/R$ 一定) b) a/b ($b/t, t/R$ 一定) c) t/R ($b/t, a/b$ 一定) ぬ、 $\sigma_{250}/\sigma_{cr} = f(X)$ なる関係式として表現できる断面寸法に関する無次元パラメーター X について検討した。その結果、 $X = \sqrt{\frac{t}{R} \left(\frac{a}{b} - 0.44 \right)}$ ---- (1) が適切であることがわかった。このパラメーター X を用い、表1の σ_{250}/σ_{cr} をプロットすると図6に示すように、ほぼ1つの曲線に載ることがわかる。ただし、 a/b の適用範囲は $0.5 \leq a/b \leq 1.0$ とした。この曲線は次式で近似できる。

$$\frac{\sigma_{250}}{\sigma_{cr}} = 1.0 \quad (X \leq 0.03) \\ = \frac{1}{100X + 0.9} + 0.166 \quad (X > 0.03) \quad (2)$$

次に、現行示方書の b/t に関する規定を σ_{250}/σ_{cr} に適用することを試みた。例えば、SS41材においては、 $\sigma_{250}/\sigma_{cr} = 1.0$ のとき $b/t = 152$ とし、以下は、 σ_{cr} が $(t/b)^2$ に比例することを用いて σ_{250}/σ_{cr} と b/t の関係を求めた。図6にSS41材とSM50Y材について得られた結果を示す。

以上の結果は、曲線桁橋腹板の使用限界に対する一つの目安となると考えられる。

1) 例えば、土木学会第36回年次学術講演会概要集 I-137 pp. 273-274
2) J.M. COAN, "Large-Deflection Theory for plate with Small Initial Curvature Loaded in Edge Compression", Jour. of Applied Mechanics, June 1951, pp. 143-151