

川崎重工業研究所 正員 大関 亮一
 大阪市立大学工学部 正員 北田 俊行
 大阪市立大学工学部 正員 中井 博

1. まえがき

純曲げを受けるアール・ガーダーにおいて、使用限界と終局限界の二つの限界状態を考えることができる。直線桁の場合には、フランジの局部座屈および桁の横倒れ座屈が生じなければ、腹板の座屈モーメントも使用限界モーメント、および、桁の全塑性モーメントも終局限界モーメントとして考えることができる。さらに、曲線桁の終局限界モーメントは、曲率によるそりモーメントを考慮した全塑性モーメントにより、直線桁と同様に、ほぼ推定できることが一連の実験的研究から明らかにすることができた。しかし、使用限界については、腹板が曲率を有しているため座屈問題というよりむしろ変形問題に帰着され、直線桁のように座屈荷重で評価することは不合理となる。

そこで、本研究では、曲線桁橋腹板の使用限界状態に対応した幅厚比を面外にわきの大きさに基づいて設定したので、その結果を以下に報告する。

2. 使用限界基準の設定

図1は曲線桁の純曲げ耐力実験¹⁾による腹板の面外にわきと荷重の関係の一例を示したものである。同図から面外にわきは、板の座屈現象のように顕著ではないが、にわき曲線の勾配がある荷重段階から徐々に増加し、極限荷重付近ではほとんど水平になり、腹板の剛性がほとんど失われていることがわかる。腹板の使用性を検討する場合、この面外にわきの大きさに着目し、使用性が失われないようににわき制限を設けることが考えられる。

本研究では、面外にわき δ の制限値に道路橋示方書の腹板に関する初期にわき制限を準用し、 δ を腹板高 b の $1/250$ とした。

ちなみに、実験結果から得られる $P-\delta$ 曲線の勾配が急変する点に相当するモーメント M_{cr} と、 $\delta=b/250$ に対応するモーメント M_{250} と比較した値を表1に示す。表1から、すべての桁で $M_{250}/M_{cr} > 1$ となるが、初期にわきの小さい実験桁(No.1, No.3)では、ほぼ $M_{250} \approx M_{cr}$ となる傾向が認められた。

3. 有限要素法によるパラメトリック解析

実験結果から、腹板の定量的な特性を正確に把握することは、初期不整の影響や実験桁の固数及び寸法制限などから困難である。そこで、垂直補剛材間の腹板パネルに着目し、有限要素法によるパラメトリック解析を行った。

この解析プログラムの特徴は次のとおりである。①8節点のアイソパラメトリック・シェル要素を用いた。②Updated Lagrangian法により有限変位挙動を取り扱った。パラメトリック解析に用いた腹板モデルは、図2に示すように、周辺単純支持の円筒シェルとし、載荷辺 $\overline{AB}$ 、 $\overline{CD}$ は平面保持の仮定より直線を保持ものとし、断面回転角 θ を強制変位として与えた。この場合、載荷辺の円周方向変位は自由になるよう考慮した。さらに、安全側の配慮により、側辺 $\overline{AC}$ 、 $\overline{BD}$ の面内境界条件はすべて自由とした。解析は対称性を考慮しモデルの半分を取り出し、収束性を調べた後、6×3の要素分割ですべて

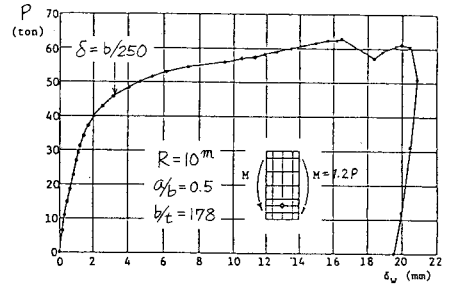


図1. 純曲げを受ける曲線桁橋腹板の面外にわきと荷重の関係(実験結果)

表1. M_{cr} と M_{250} の比較

実験桁	M_{cr} ($P-\delta^*$)	M_{250} ($\delta=b/250$)	M_{250}/M_{cr}
No. (R- α_b - b/t)			
1 (30-0.5-178)	14.8	16.0	1.09
2 (30-1.0-178)	8.5	12.3	1.44
3 (10-0.5-178)	13.0	13.5	1.04
4 (10-0.5-178)	10.4	11.9	1.15
5 (10-0.5-178)	7.8	9.3	1.19
6 (10-1.0-178)	5.0	6.2	1.24

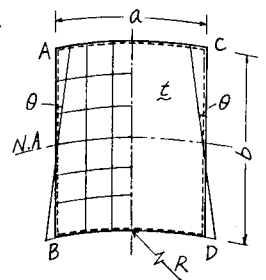


図2. 腹板の解析モデル

の解析を行った。

腹板モデルのパラメーターは、曲率 R 、幅厚比 b/t 、および、アスペクト比 a/b とし、実橋で使用される実測的な範囲でこれらのパラメーターが変化するモデルと、実験解析を対象としたモデルについて解析した。表2は、解析モデルの諸元と、解析結果を示したものである。M₂₅₀は $\sigma = b/250$ に対応する使用限界モーメントであり、 σ_{250}/σ_{cr} は、その時の曲げ応力度 σ_{250} と板の曲げ圧屈応力度 σ_{cr} で無次元化した値を表す。

4. 使用限界特性の関数表示

表2に示した σ_{250}/σ_{cr} を設計の便に供するためには、

$$\sigma_{250}/\sigma_{cr} = f(a/R, b/t, a/b) \quad \text{--- (1)}$$

なる関数式で表現することが必要であるが、ここでは、近似的であるがむきむき単純な方法を用い、この関数を求める。

まず、最大たわみ加腹板の中央縦距 $a/2$ に

等しいSin半波長の初期たわみを有する矩形板に、一様相対圧縮変位を作用させた場合について考える。この板のたわみ波形がSin半波長に近似できるものと仮定し、最大たわみが $b/250$ にある時の平均圧縮応力度 σ_{250} を求めると、次式で与えられる。

$$\sigma_{250}/\sigma_{cr} = C_0 + C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 \quad \text{--- (2)}$$

ここで、 $X_1 \sim X_3$ は $a/R, b/t, a/b$ の関数で、

$$X_1 = (b/t)^2 (a + 1/4), \quad X_2 = (a/R)^2 (b/t) (a + 1/4),$$

$$X_3 = 0.032 (a + 1/4) / (a/R b + 0.032), \quad a = a/b$$

さらに、係数 $C_0 \sim C_3$ を有限要素法による正確な解を用い最小自乗法により求めると、

$$C_0 = 0.467, \quad C_1 = 2.206 \times 10^{-7}, \quad C_2 = 2.280 \times 10^{-5}, \quad C_3 = 0.096 \quad \text{となった。}$$

有限要素法による解析結果に対し、式(2)による σ_{250}/σ_{cr} の値は、表3に示すように、No.1のモデル($a/R = 0.098$)を除くと、誤差が最大でも1%以内で表すことができた。

5. 使用限界に基づく腹板の設計法

現行示方書の b/t に関する規定は、 $R=0$ の場合に対応すると考えられ、例えば、SS41材では $\sigma_{250}/\sigma_{cr} = 1$ のとき $b/t = 152$ となる。この関係を満足するように、式(2)から a/R と b/t の関係を求めると図3に示すような曲線が得られた。図3から a/R が大きくなるほど b/t を小さくする必要があることがわかる。また、 $a/b = 1$ の場合に b/t が最小となるが、 a/b の差による b/t の差はほとんどないと考えられる。

最後に、実橋における a/R の分布を実験調査結果²⁾から示すと図4のようになる。ほとんどの曲線桁橋は、 $a/R < 0.05$ の範囲に分布し、 $a/R = 0.01$ 付近のものが最も多いことがわかる。

《参考文献》 1) 例えば、土木学会が36回年次学術講演会概要集 I-137, pp. 293-294

2) 中井、松村、吉川、堀、大綱, “曲線桁橋腹板の実験調査”, 橋梁と基礎, Vol. 15, No. 4, 昭和56年4月, pp. 38-43

表2. 解析モデルの諸元と解析結果

No.	解析モデルの諸元 ($R-b/250-a/b$)	$W=b/250$ の外力 ¹⁾		曲げ圧屈応力 σ_{cr} ²⁾ (kg/cm ²)	σ_{250}/σ_{cr}	備考
		M ₂₅₀ (t-m)	σ_{250} (kg/cm ²)			
1	10-140-0.7	44	1,347	2,314	0.58	実験大 モデル
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	実験析 モデル
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	

$$^1) M_{250} = \frac{\pi^2 EI}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^3$$

$$^2) \sigma_{cr} = k_2 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^3, \quad k_2 = 23.9$$

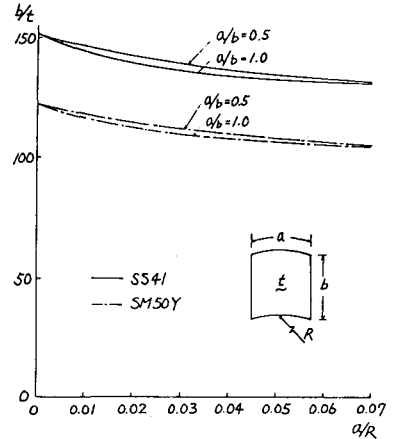


図3. 曲線桁橋腹板の b/t - a/R の関係

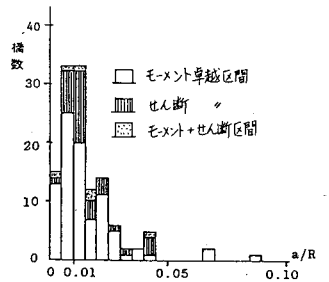


図4. 実橋の a/R の分布