

一般はり部材に対するモーメント修正係数と設計係数

大阪大学工学部 正 員 福本 晴士, 大阪大学工学部 正 員 西村 宣男
大阪大学大学院 学生員 西井 学, 大阪大学大学院 学生員 〇石井 晃

1. はじめに 柱部材とともに基本的な構造部材である鋼圧延はりおよび溶接はりを対象として、不等端モーメントあるいは中間荷重を受ける場合、基本はり強度に換算するためのモーメント修正係数に関する検討を加える。

2. 弾性横ねじれ座屈理論による修正係数 文献¹⁾によると、一般的なはりの座屈モーメント式は、はりの最大曲げモーメント M_{max} の限界値を $M_E = (M_{max})_{cr}$ とおいて、次式で与えられる。

$$M_E = \frac{C_{b1} \pi^2 E I_z}{K_v K_\varphi L^2} \left[(C_{b2} h_D + C_{b3} \beta_y) \pm \sqrt{(C_{b2} h_D + C_{b3} \beta_y)^2 + \frac{I_y}{I_z} \left(1 + \frac{(K_\varphi L)^2 GJ}{\pi^2 E I_w} \right)} \right]$$

C_{b1} : 曲げモーメント分布に関する係数

C_{b2} : 横荷重作用位置に関する係数

h_D : 荷重作用位置とせん断中心との距離

C_{b3}, β_y : 断面形状に関する係数

K_v, K_φ : 境界条件に関する係数

はり断面の一部が降伏すると、断面剛度 ($E I_z, GJ, E I_w$) が減少するため、座屈強度の低下を生じる。

部材に存在する初期不整もこの降伏現象に大きく影響し、さらにモーメント分布による影響も様々になる。

つまり弾性理論による係数で実験値を等曲げの強度に修正した値は、信頼性に疑いが持たれる。ここでは弾塑性有限変位解析により、これらの荷重状態の極限強度特性を明らかにし、等曲げ状態への修正係数を検討する。

3. 解析結果の考察 対象断面は圧延 I 形断面 (R-Ib) および溶接 I 形断面 (W-fc, W-Ib) であり、ここでは表-1 に示すモデルの残留応力と初期たわみを平均値どうして組み合わせたものについて示す。

・中間荷重 荷重状態は、中央集中荷重、2点集中荷重、等分布荷重の3ケースであり、各々に対応する係数 C_{b1} の値を表-2 に示す。修正係数を用いて計算した λ を横軸に、また M_u/M_0 を縦軸にとり、解析結果をPlotしたものを各断面について、図-1 に示す。破線は基本はりの平均値相当曲線である。中間荷重による解析結果を純曲げに修正した値は、10%程度の強度差に収まっており、いずれも実際の純曲げの値よりも安全側にある。設計の簡便性を考え、このまま表-1 の弾性座屈理論に基づく修正係数を適用しても差し支えないと考えられる。

表-1 初期不整モデルのパラメータ
(a) 残留応力 (σ_r/σ_y)

対象断面	N	M	S
R-Ib	25	0.066	0.0159
W-fc, W-Ib	34	0.12	0.05592

(b) 初期たわみ ($W_0/L \times 10^{-3}$)

対象断面	N	M	S	m	α	γ
R-Ib	437	0.5	0.43	1.178	0.476	0.0
W-fc, W-Ib	68	0.5475	0.326	1.7314	0.4302	0.0

N: 平均値

S: 標準偏差

N: 度数

m: 形のパラメータ

α : 尺度のパラメータ

γ : 位置のパラメータ

表-2 中間荷重に関する係数 C_{b1}

	中央集中荷重	2点集中荷重	等分布荷重	純曲げ
C_{b1}	1.365	1.096	1.132	1.00

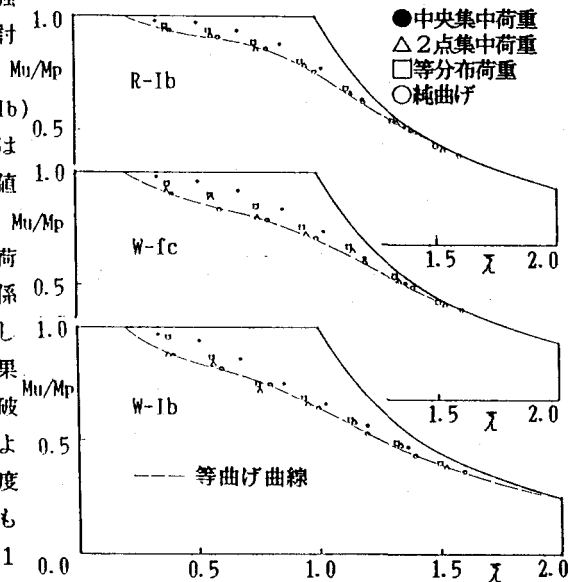


図-1 極限強度に対する中間荷重の影響
— 平均値相当の初期不整 —

Yushi FUKUMOTO, Nobuo NISHIMURA, Manabu NISHII and Akira ISHII

・不等曲げ 荷重状態は、 $\beta = -1.0, -0.5, 0.0, 0.5, 1.0$ の5ケースであり、各々に対応する係数 C_{b1} の値を表-3に示す。

中間荷重の場合と同様、解析結果を図-2に示す。いずれの場合も安全側に分布しているが、純曲げ曲線との強度差が大きく、stockyな部分では横ばい状態の強度を示している。また β の値によっても分布に差が現れ、しかもその強度差は最大70%程度もあり、初期不整の違いによっても分布に差がでてくる。したがって、修正係数をこのまま設計に適用するのは些か問題があり、 β あるいは初期不整などを考慮する必要があると考えられる。

4. 塑性化を考慮した修正係数 C_{b1} 中間荷重と不等曲げを受けるはりについて、弾塑性有限変位解析を行った結果、中間荷重を受けるはりについては修正係数 C_{b1} の妥当性が確認された。しかし不等曲げを受ける場合、 C_{b1} の値にはその信頼性に疑いが持たれる。そこで、次のような塑性化を考慮した修正係数を提案する。

$$\sqrt{\frac{C_{b1}}{C_{b1P}}} = \frac{0.17 + A \cdot (1.23 \cdot \lambda_0 - B) + (1.23 \cdot \lambda_0 - B)^2}{0.17 + 0.7 \cdot (1.23 \cdot \lambda_0 - C) + (1.23 \cdot \lambda_0 - C)^2}$$

$$A = 0.7 + 0.35 \cdot \sqrt{1 - \beta}, \quad B = 0.3 + 0.27 \cdot \sqrt{1 - \beta}$$

$$C = 0.3 + 0.29 \cdot \sqrt{1 - \beta}, \quad \lambda_0 = \lambda / \sqrt{C_{b1}}$$

ここで C_{b1P} は、上式による新しい修正係数を表している。先ほどの不等曲げの図-2について、この修正係数 C_{b1P} を用いて計算し直した λ を横軸にとり、Plotしたものを、各断面の平均値相当の初期不整の場合について図-3に示す。修正前と比べて、強度の広がりはかなり改善されたが、20%程度の強度差を持つところもある。しかし、実際の部材として使用されるのは $\beta = 0.5$ 程度までの場合が多く、この部分についてはかなりの精度で修正が行われている。今回の解析では β を考慮した修正を行ったが、下限値相当の初期不整を持つ場合は同様な解析の結果、適切な修正が行われているとは言えなかった。しかし、いずれの断面においても安全側に分布しており、設計の簡便性からみて、初期不整まで考慮した修正を行う必要はないと考えられる。

5. 結論 弾性屈曲モーメントの修正係数を弾塑性有限変位解析により検討した結果、中間荷重の場合はいずれもその妥当性が確認されたが、不等曲げの場合は強度差が大きく、材端モーメント比 β によって評価できる修正係数を提案した。

表-3 不等曲げにおける材端モーメント比 β に関する係数 C_{b1}

β	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0
C_{b1}	2.56	2.35	1.75	1.3	1.0

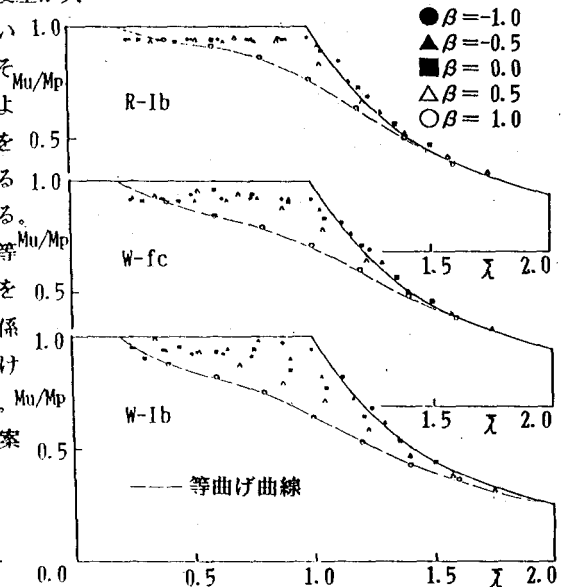


図-2 極限強度に対する不等曲げの影響
—平均値相当の初期不整—

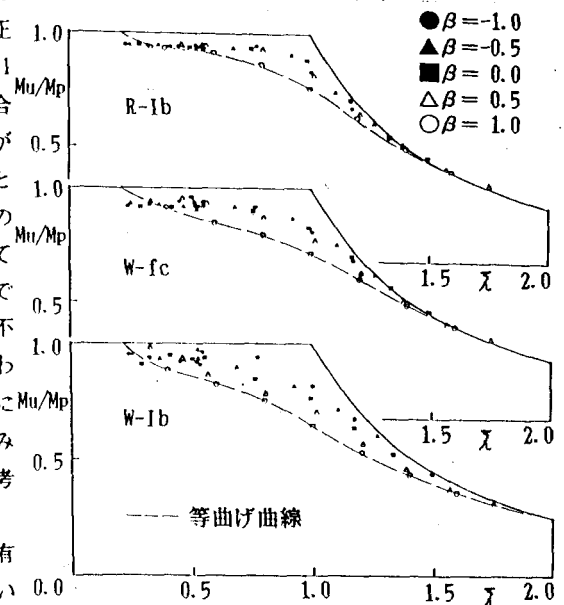


図-3 提案式によるモーメント修正係数を用いた
不等曲げを受けるはりの極限強度の評価
—平均値相当の初期不整—

参考文献 1) 土木学会：座屈設計ガイドライン（福本啓士 編）、第6章 はり、技報堂、1987。