

京都大学

正員 丹羽 義次

京都大学

正員 渡辺 英一

株式会社リクルート

正員○宮島 智彦

1. はじめに

本研究の目的は次のとおりである。まず、鋼柱および鋼ばりについて、強度に影響を及ぼす残留応力と初期たわみを過去の実測データに基づいて想定し、その強度をモンテカルロ法およびカタストロフィー理論を用いて推定する。

さらに、求められた強度に5%フラクタイルという評価基準を設定し、強度がその値以下になった時破壊が起こると仮定して、その5%フラクタイルを与える残留応力と初期たわみの組合せの中で、最も出現する確率が高い値を算出する。

一般に鋼構造物の強度を求めるために弾塑性大変形解析が行われているが、この手法における問題点は、計算の手間が膨大になる点、計算結果をすぐに設計に結びつけることが困難な点等であるのでここではカタストロフィー理論を用いた簡略化手法をとることとする。

2. 手法

対象とする座屈は、弱軸回りの柱の座屈、強軸回りの柱の座屈、はりの横倒れ座屈の3種類である。初期たわみの大きさは、柱の場合、全長を基準として平均値 $3/10000$ 、標準偏差 $1.5/10000$ を持ったガンマ分布に従うと仮定し¹⁾、はりの場合、平均値 9.3×10^{-3} rad、標準偏差 6.5×10^{-3} rad を持つガンマ分布に従うと仮定する²⁾。なおこれらの分布は、表-1に示すように細長比に左右されないものとする。

残留応力の大きさの統計的分布は各細長比別に異なり、表-1に示すような平均値、標準偏差を持つ正規分布に従うと仮定する。

表-1 各種初期不整の平均値、標準偏差

	weak-axis buckling of columns						strong-axis buckling of columns						lateral-torsional buckling of beams					
	y_0/l			σ_r/σ_y			y_0/l			σ_r/σ_y			y_0/l			σ_r/σ_y		
λ	M $\times 10^{-4}$	S $\times 10^{-4}$	M	S $\times 10^{-2}$	M $\times 10^{-4}$	S $\times 10^{-4}$	M	S $\times 10^{-2}$	M	S $\times 10^{-2}$	M	S $\times 10^{-1}$	M	S $\times 10^{-1}$	M	S $\times 10^{-2}$	M	S $\times 10^{-2}$
0.5	3.0	1.5	0.14	3.3	3.0	1.5	0.14	3.3	9.26	6.49	0.14	3.3	9.26	6.49	0.14	3.3	9.26	6.49
0.6	3.0	1.5	0.24	3.7	3.0	1.5	0.24	3.7	9.26	6.49	0.24	3.7	9.26	6.49	0.24	3.7	9.26	6.49
0.7	3.0	1.5	0.31	4.3	3.0	1.5	0.31	4.3	9.26	6.49	0.31	4.3	9.26	6.49	0.31	4.3	9.26	6.49
0.8	3.0	1.5	0.39	5.4	3.0	1.5	0.39	5.4	9.26	6.49	0.39	5.4	9.26	6.49	0.39	5.4	9.26	6.49
0.9	3.0	1.5	0.45	5.9	3.0	1.5	0.45	5.9	9.26	6.49	0.45	5.9	9.26	6.49	0.45	5.9	9.26	6.49
1.0	3.0	1.5	0.50	6.0	3.0	1.5	0.50	6.0	9.26	6.49	0.50	6.0	9.26	6.49	0.50	6.0	9.26	6.49
1.1	3.0	1.5	0.53	5.2	3.0	1.5	0.53	5.2	9.26	6.49	0.53	5.2	9.26	6.49	0.53	5.2	9.26	6.49
1.2	3.0	1.5	0.55	4.2	3.0	1.5	0.55	4.2	9.26	6.49	0.55	4.2	9.26	6.49	0.55	4.2	9.26	6.49
1.3	3.0	1.5	0.60	3.0	3.0	1.5	0.60	3.0	9.26	6.49	0.60	3.0	9.26	6.49	0.60	3.0	9.26	6.49
1.4	3.0	1.5	0.64	1.7	3.0	1.5	0.64	1.7	9.26	6.49	0.64	1.7	9.26	6.49	0.64	1.7	9.26	6.49
1.5	3.0	1.5	0.67	1.0	3.0	1.5	0.67	1.0	9.26	6.49	0.67	1.0	9.26	6.49	0.67	1.0	9.26	6.49

INITIAL DISPLACEMENT
AND RESIDUAL STRESS y_0/l
 σ_r/σ_y M : mean value
S : standard deviation

以下にモンテカルロ法の手順を簡条書きに述べる。

- (1) 上に仮定した平均値、標準偏差を持つようなガンマ分布および正規分布に従う乱数を発生させ、それを初期たわみ、残留応力の値とする。
 - (2) ステップ(1)で求めた組合せを、カタストロフィー理論より導かれる耐荷力の計算式に代入する^{3), 4)}
 - (3) (1) ~ (2) のステップを 1000 回繰り返す。
 - (4) ステップ(3)で求められた 1000 個の耐荷力を大きさの順に並べ変え、小さい方から50番目の値を5%フラクタイルとする。
 - (5) 縦軸に残留応力、横軸に初期たわみをとり、初期たわみと残留応力の同時確率密度が同心円上に表せるように座標を標準正規化する。また、5%フラクタイル耐荷力を与える等高線を太線で示す。
 - (6) 原点からステップ(5)で示した太線に垂線をおろし、その足の座標を求める。
- 先に述べた3種類の座屈問題について、以上の(1) ~ (6)を實際上重要な $\lambda = 0.6$ から $\lambda = 1.4$ まで 0.2きざみで繰り返す。

図-1は弱軸回りの柱の座屈について $\lambda = 1.0$ の場合を示す。

3. 結果

上記のステップ(6)で求めた座標 (y_o^*/l , σ_r^*/σ_y) , それを標準化した座標 ($\overline{y_o^*/l}$, $\overline{\sigma_r^*/\sigma_y}$) 垂線方向余弦を ($\alpha_{y_o/l}$, $\alpha_{\sigma_r/\sigma_y}$) , さらに垂線の長さ β' を表-2~4に示す。

4. 考察および結論

3種類の座屈について最も出現する可能性の高い初期たわみと残留応力の組合せが各細長比別に得られた。耐荷力は、一般に残留応力よりも初期たわみに影響される度合いが大きい。しかし、 λ が 1.0 付近になると、特に弱軸回りの柱の場合、残留応力の影響が著しくなるので注意しなければならない。

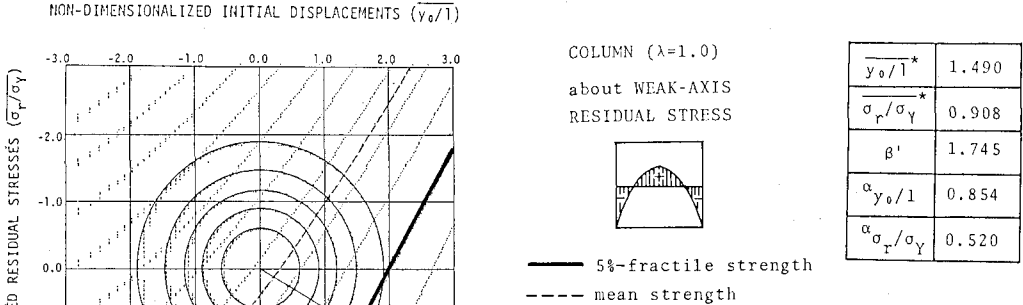


図-1 初期不整と5%フラクタイルの幾何学的意味

図-1 (つづき)

表-2 弱軸回りの柱の座屈, Point of Failure

λ	$y_o/l^* \times 10^{-4}$	σ_r/σ_y^*	$\overline{y_o/l}^*$	$\overline{\sigma_r/\sigma_y}^*$	$\alpha_{y_o/l}$	$\alpha_{\sigma_r/\sigma_y}$	β'
0.6	5.35	0.262	1.752	0.602	0.945	0.326	1.853
0.8	4.95	0.435	1.571	0.841	0.882	0.472	1.782
1.0	4.77	0.554	1.490	0.908	0.854	0.520	1.745
1.2	5.11	0.585	1.646	0.842	0.890	0.456	1.849
1.4	5.47	0.648	1.805	0.482	0.966	0.258	1.868

参考文献

1) Aoki, T. and Y. Fukumoto: On the distribution of buckling strength of welded H columns. Proc. JSCE. No. 222. 1974. pp. 37~47 (in Japanese)

2) IDM Committee: Statistical study on the initial deformations and the ultimate strengths of steel bridge members. JSSC. Vol. 16. No. 170. 1980. pp. 10~43 (in Jpn.)

3) Niwa, Y., E. Watanabe & H. Isami: A new approach to predict the strength of steel columns. Proc. JSCE. No. 341. 1984. pp13~21

4) Niwa, Y., E. Watanabe & S. Suzuki: A new approach to predict the elasto-plastic lateral buckling strength of beams. Proc. JSCE. No. 344. 1984.

表-3 強軸回りの柱の座屈, Point of Failure

λ	$y_o/l^* \times 10^{-4}$	σ_r/σ_y^*	$\overline{y_o/l}^*$	$\overline{\sigma_r/\sigma_y}^*$	$\alpha_{y_o/l}$	$\alpha_{\sigma_r/\sigma_y}$	β'
0.6	5.70	0.240	1.903	0.000	1.000	0.000	1.903
0.8	5.55	0.396	1.839	0.111	0.998	0.060	1.842
1.0	5.50	0.516	1.818	0.267	0.989	0.145	1.837
1.2	5.45	0.381	1.796	0.381	0.978	0.208	1.836
1.4	5.55	0.642	1.839	0.118	0.998	0.064	1.843

表-4 はりの横倒れ座屈, Point of Failure

λ	$y_o/l^* \times 10^{-2}$	σ_r/σ_y^*	$\overline{y_o/l}^*$	$\overline{\sigma_r/\sigma_y}^*$	$\alpha_{y_o/l}$	$\alpha_{\sigma_r/\sigma_y}$	β'
0.6	2.14	0.244	2.078	0.102	0.999	0.044	2.080
0.8	2.13	0.406	2.063	0.296	0.990	0.142	2.084
1.0	2.09	0.534	2.029	0.567	0.963	0.269	2.107
1.2	2.13	0.568	2.063	0.429	0.979	0.203	2.107
1.4	2.13	0.644	2.063	0.235	0.994	0.113	2.076