

I-95

鋼骨組部材の基本強度の統一評価

大阪大学大学院 学生員 島谷竜一

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

大阪大学工学部 正 員 福本啓士

1. はじめに 構造部材として基本的な部材である鋼柱部材および鋼はり部材について、代表的な断面を対象とした弾塑性有限変位解析により、初期不整に対する敏感度関数を作成し、極限強度を初期たわみと残留応力の関数として表示する。そして初期たわみと残留応力を実測データの分布に基づいてモデル化し多数の初期不整の組合せを発生させ、上述の敏感度関数を適用して極限強度の分布を求めた。さらに得られた極限強度分布を、実験データによって福本・伊藤¹⁾が定めた極限強度の統計曲線および各国の設計基準との比較を行う。また敏感度関数から柱とはりの共通性を考慮して、平均値強度および下限値強度を再現するための初期不整を提案する。

2. 初期不整モデル モンテカルロシミュレーションに用いるための残留応力および初期たわみの初期不整モデルを実測データをもとに作成した。圧縮残留応力度の頻度分布は正規分布であり福本・伊藤¹⁾のデータを使用した。初期たわみの分布形は一般に、ガンマ分布、ワイブル分布等が当てはまるが福本・伊藤¹⁾の実測結果をもとにカイ二乗検定の結果、ワイブル分布を用いた。初期不整モデルの信頼度はいずれも95%以上である。

3. 弾塑性有限変位解析 初期不整の敏感度関数を決定するため残留応力、初期たわみを適宜組み合わせた弾塑性有限変位解析を行う。柱部材については、福本・伊藤ら¹⁾の実験データによる断面の区分において、グループ1について溶接箱形断面と圧延I形断面、グループ2について溶接I形断面とT形断面を対象に、はり部材については圧延I形断面、溶接I形断面（圧延フランジおよびフレームカットフランジ）を対象に解析を行った。解析モデルの断面と残留応力分布を図-1に示す。初期たわみはSIN 半波形状を仮定する。また部材が崩壊に至るまで断面の各構成板要素の局部座屈などは生じないものとする。また敏感度関数を作成するため、圧縮残留応力度（ σ_{rc}/σ_y ）は0.0, 0.2, 0.5の3ケース、初期たわみはL/500, L/1000, L/2000, L/5000の4ケースとした。また細長比 λ は0.6~1.2までを0.2ごとに4ケースを設定した。

4. 敏感度関数 強度曲線として一般的に採用されているペリー・ロバートソン型の式の初期不整に関わる係数 α と β を初期不整と残留応力の影響度を反映する形式で考慮して組み込み、以下のように表示する。各断面に対する各係数の値を表-1に示す。

$$\frac{N}{N_y} = \frac{1}{2\beta\lambda^2} \{S - \sqrt{S^2 - 4\beta\lambda^2}\}, S = 1 + \alpha(\lambda - \lambda_{cr}) + \beta\lambda^2$$

ここに $\alpha : (c_1 + c_2X + c_3X^2) (d_1 + d_2Y + d_3Y^2)$

$$X = \sigma_{rc} / \sigma_y \quad Y = W/W_0 \quad (W_0 = L/1000)$$

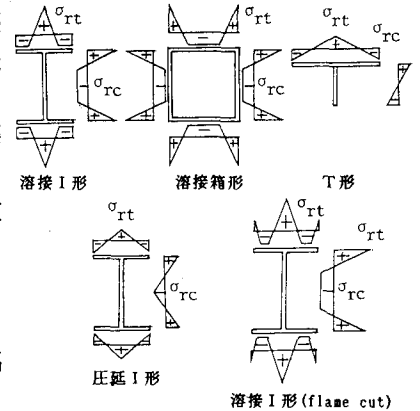


図-1 残留応力分布

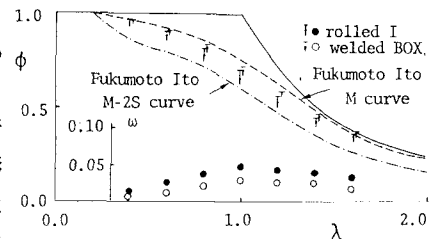


図-2 グループ1の解析結果と実測データ

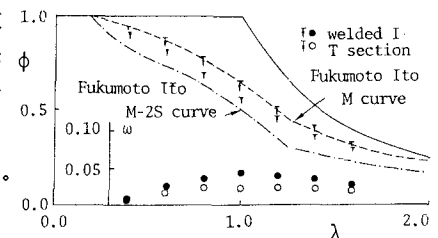


図-3 グループ2の解析結果と実測データ

表-1 敏感度関数のパラメータ

	β	C1	C2	C3	d1	d2	d3
溶接I形柱	1.0	0.2	1.2	0.0	0.5	0.5	0.0
圧延I形柱	0.95	0.2	0.6	0.0	0.6	0.2	0.2
溶接I形はり	0.7	0.4	0.6	0.8	0.5	0.5	0.0
圧延I形はり	0.8	0.2	0.27	0.5	0.667	0.333	0.0

5. 強度分布と実測強度曲線

各グループごとに算出した強度分布を福本・伊藤¹⁾の平均値および下限値曲線と比較し図-2～5に図の下部に変動係数 ($\omega=S/M$) を添えて●、○で示す。柱部材についてはグループ1では箱型断面柱が平均値曲線を、圧延I形柱の下限値が下限値曲線にはほぼ該当している。一方グループ2では溶接I形柱が平均値曲線を、T形断面柱が下限値曲線にはほぼ該当している。また各国基準との比較を溶接圧延I形について図-6に示す。各国基準はシミュレーション結果の「M-2S」値にはほぼ一致していることがわかる。次にはり部材については強度分布が平均値、下限値曲線の間に位置しており、柱部材に比べ変動係数の値は比較的大きく、細長比パラメータが1.0の辺りで最も大きくなる。またフレームカットされたフランジを持つ断面では残留応力分布の影響で圧延フランジを持つ断面より強度が5%程度高くなっている。さらに各示方書による強度評価と比較する。各国示方書の強度評価式は細長比パラメータの表示法がまちまちである。そのため代表的断面について計算し統一的な細長比 $\lambda = \sqrt{M_p/M_e}$ に対して曲線を表示して比較した。圧延I形断面について図-7に示す。各示方書の強度評価曲線は部材のストックリーな部分で大きくばらついており特に溶接ばりについて顕著に現れている。柱部材の評価が各国とも下限値相当であったのに対し、はり部材では全般に平均値相当の評価となっており、設計思想に統一性がない。例えば、はり一柱では強度評価における軸力と曲げの相関強度式を用いた場合に、考慮する極限強度状態が異なることになり合理的でないと言える。

6. 等価初期不整量 同一の断面の部材については、その使用方法が柱であろうとはりであろうと同等な初期不整を考慮するべきである。このことより本研究では強度の下限値に該当する初期不整を等価初期不整と定義し提案を行う。なお各断面の平均値強度と下限値強度に相当する等価初期不整は δ によらず一定値をとる。また各初期不整を残留応力-初期たわみ平面上にプロットし、図-8に示す。初期不整をとともに平均値で与えた場合を(○)で、ともに「M+2S」で与えた場合を(●)で示す。これより下限値強度を再現するためには、「M+2S」では過大評価であると言える。本研究では(○)と(●)を直線で結び、下限値の初期不整曲線（図中一点鎖線）との交点(▲)を下限値強度を再現するための初期不整として提案する。

参考文献

- 1) 福本 啓士、伊藤 義人：座屈実験データベースによる鋼柱の基準強度に関する実証的研究、土木学会論文集、第355号、1983
- 2) 福本 啓士、伊藤 義人：実験データベースによる鋼ばりの横ねじれ基準強度に関する実証的研究、土木学会論文報告集、第341号、1984

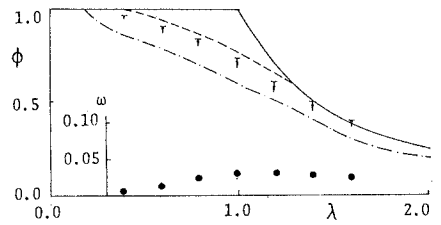


図-4 圧延I形はりの解析結果と実測データ

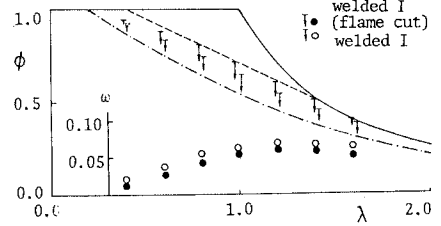


図-5 溶接I形はりの解析結果と実測データ

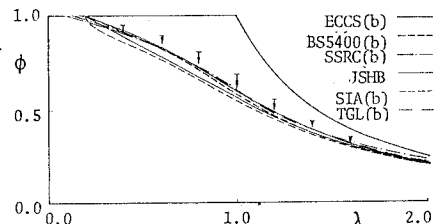


図-6 圧延I形柱の解析結果と各国規準

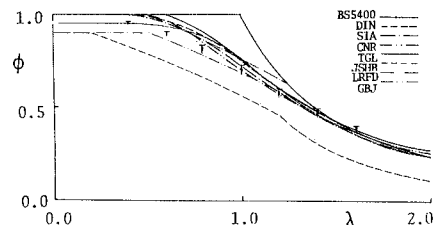


図-7 圧延I形はりの解析結果と各国規準

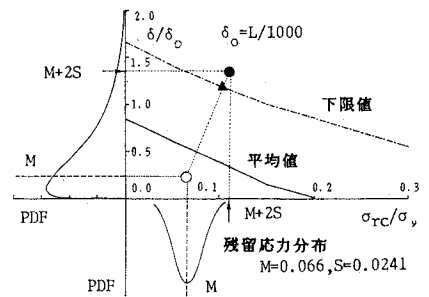


図-8 圧延I形柱の等価初期不整量