

薄板集成短柱の強度推定法

名古屋大学 正会員 ○葛 漢彬 名古屋大学 正会員 宇佐美勉

1. まえがき

薄板集成短柱の圧縮強度（局部座屈強度）を求めることは、圧縮部材の局部座屈と全体座屈の連成座屈強度を求める際に重要となる。これまでに提案されている局部座屈強度の推定方法は、次の3つに大別されよう：(1) 有効幅の概念に基づいて各構成板要素の強度の和から算定する方法（有効断面法）。(2) 板要素間の連成効果を考慮して求めた断面としての等価幅厚比を用いて強度評価式から算定する方法。(3) 各構成板要素の幅厚比の相乗平均により求めた断面の等価幅厚比を用いて強度評価式から算定する方法。(1)は各構成板要素単独の強度さえ判ればよい。しかし、(2)、(3)は断面の強度評価式を求めるため、断面の強度が既知である必要がある。また、(2)は断面形状ごとに異なる、板要素間の連成を考慮した座屈係数を求めておく必要があり、式がかなり複雑になる。(3)は、構成板要素が3枚以上の時は等価幅厚比をどのように求めるのか不明である。したがって、(1)の方法が最も簡便のように思われる。

この論文では、構成板要素（単純支持板、片持板）の強度推定式を初期不整の関数として数値計算によりあらかじめ求めておき、特定の初期不整量を元に求められた板要素の強度の和と、同一の初期不整を与え数値計算より求めた短柱の強度と比較することにより、有効断面法の妥当性を数値計算の面から実証する。ついで、平均値強度を与えると考えられる初期不整を与えて求められた板要素の強度の和と実験値を比較することにより、実験的な面から有効断面法の有効性を実証する。なお、断面形としては長方形箱形およびH形を考える。

2. 初期不整の関数で表した板要素の強度推定式

(1) 両縁支持板

箱形断面の構成板要素、H形断面のウェブは両縁板要素と考える。圧縮残留応力、最大初期たわみおよび幅厚比パラメータの関数で表した両縁支持板の強度推定式は既に文献[1]に求められている。残留応力分布は、両非載荷縁溶接によって生ずると考えられる矩形分布、初期たわみモードは、板の幅、長さ方向に半波の正弦曲線を仮定し、板のアスペクト比は0.5としている。具体的な式の形は以下になる。

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_y} = \frac{1}{2R} [\beta - \sqrt{\beta^2 - 4R}] \quad (1)$$

上式の適用範囲は $0 \leq \sigma_{rc}/\sigma_y \leq 0.5$ と $1/3233 \leq \Delta_p/b \leq 1/150$ である。なお、式(1)での R は、板要素の幅厚比パラメータ、 β は初期たわみと残留応力で表す常数である。その詳細については、文献[1]を参考されたい。

(2) 片持板

H形断面のフランジは片持板と考える。これについては、数値計算結果を元に提案した近似式は、文献[2]に与えられている。残留応力分布は、矩形分布を用いたが、これは非載荷辺のうちの自由端に沿っての溶接によって生じたものとする。引張残留応力は降伏応力と考える。なお、この残留応力は、自己つり合い条件の1つである。初期たわみについては、板の幅方向に線形で長さ方向に半波の正弦曲線を仮定した。アスペクト比 a/b は強度がほぼ最低になるように2.0を用いた。得られた強度推定式は以下のようなものである。

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_y} = \frac{1}{2R} [\beta - \sqrt{\beta^2 - 4R}] + 2.5R(\beta - R - 1)^2 \quad (2)$$

上式の適用範囲は、 $0 \leq \sigma_{rc}/\sigma_y \leq 0.5$ と $1/809 \leq \Delta_p/b \leq 1/50$ である。両縁支持板と同様に、 β は初期たわみと残留応力で表す常数である[2]。片持板の強度推定式は、両縁支持板の強度推定式に右辺第2項を加えた形になっている。式(2)の適合性を見るために、残留応力が降伏応力の0.1倍で種々の初期たわみを与えた場合について数値計算結果と推定式を比較したものがFig.1である。この図より、推定式は妥当なものと考えられる。

3. 薄板集成短柱の強度

有効断面法の妥当性は弾塑性有限変位解析により厳密に解析した短柱の強度との比較により文献[3]で示されている。この方法では、短柱の強度 P_u は、板要素の強度 P_{ui} の和で与えられるとしている (Fig.2を参照)。すなわち、

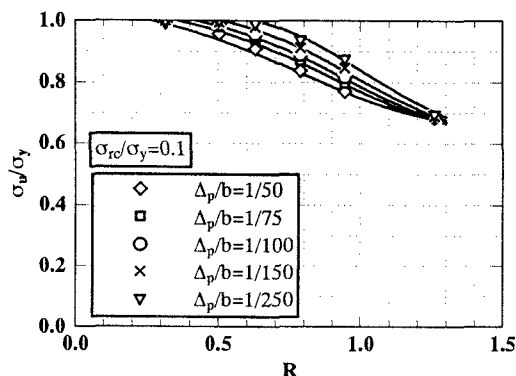


Fig. 1 Comparisons of proposed formula with analytical results of outstanding plates

$$P_u = \Sigma P_{ui} \quad (3)$$

ここで、 Σ は全板要素の和を意味する。板要素の強度 P_{ui} は式 (1) または (2) の σ_u にその板要素の断面積を乗じて求められる。

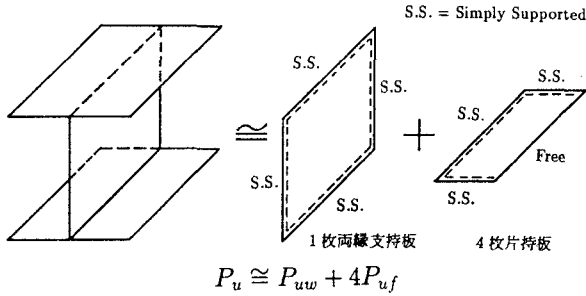


Fig.2 Concept of effective section method

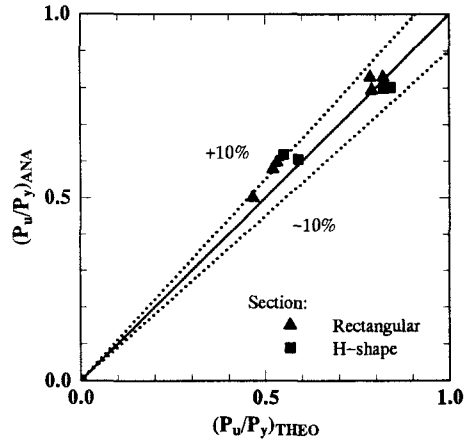
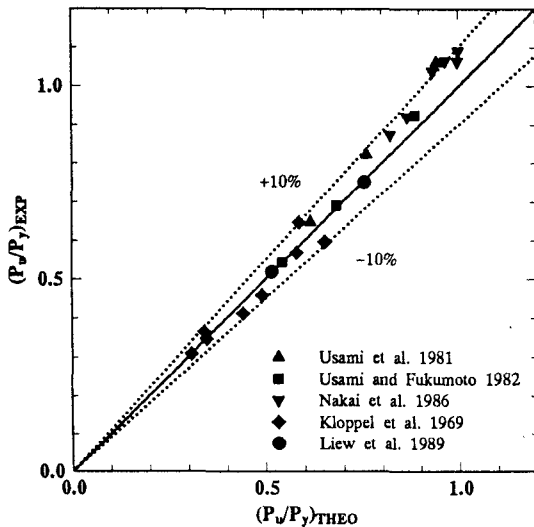
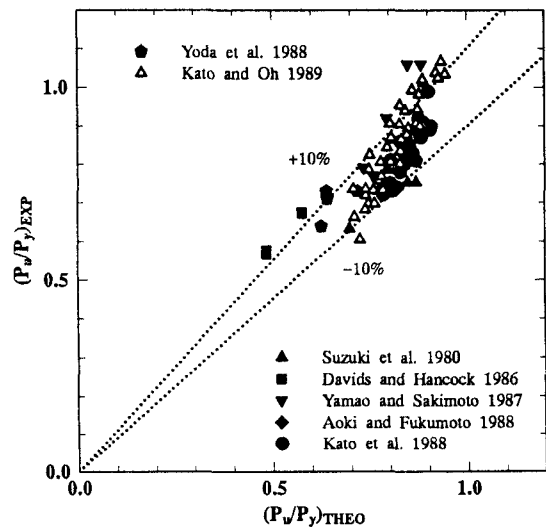


Fig.3 Comparisons of predictions and analytical results

Fig.3 は、長方形箱断面およびH形断面について上記の方法で求めた圧縮強度 $(P_u/P_y)_{THEO}$ を全断面について弾塑性有限変位解析 [3] によって得られた結果 $(P_u/P_y)_{ANA}$ と比較したものである。近似式はかなり良い精度で推測できることがわかる。また、長方形箱断面およびH形断面について上記の方法で求めた圧縮強度 $(P_u/P_y)_{THEO}$ を実験値 $(P_u/P_y)_{EXP}$ と比較する。板要素の初期不整は、平均的な強度を与えるために、単純支持板について $\sigma_{rc}/\sigma_y = 0.115$ と $\Delta_p/b = 1/425$ 、片持板板について $\sigma_{rc}/\sigma_y = 0.1$ と $\Delta_p/b = 1/250$ を仮定している。得られた結果を Fig.4 に示す。図からわかるように、いずれの場合も式 (3) から求められた予測強度は実験値と良く一致している。



(a) Rectangular Sections



(b) H-Sections

Fig.4 Comparisons of predictions and test results of stub-columns

4. あとがき: より詳しい内容については講演当日に述べる。

5. 参考文献: [1] Usami, T.: Effective Width of locally Buckled Plates in Compression and Bending, J. of Struct. Eng., ASCE, 1993. [2] Ge, H. B. and Usami, T.: Ultimate Strength Formula for Outstanding Steel Plates in Compression, EASEC-5. [3] Usami, T. et al.: Ultimate Compressive Strength of Plate Assemblies, Proc. ICSAS, 1991.