

# 曲げを受ける鋼I形断面の局部座屈強度と限界幅厚比に関する実験的研究

大阪大学工学部 正 員 ○ 西村 宣 男

大阪大学大学院 学生員 大 崎 史 淳

奥村組 正 員 長谷川 徹 雄

1. はじめに 各種の鋼骨組構造物を対象とした統一的限界状態設計規準においては、塑性設計を可能とする厚肉断面部材から部材強度に対して局部座屈強度が支配的となる薄肉断面部材までを含んだ部材強度の包括的評価法と、板要素の幅厚比に応じた断面強度の区分を定める必要がある。ほとんどの現行の設計規準では、板要素ごとに作用応力分布に応じた限界幅厚比が与えられており、板要素間の相互拘束効果は表面的には考慮されていない。本研究では、曲げを受ける鋼I形断面を対象として、断面強度と降伏限界幅厚比に関するフランジとウェブの相互作用の効果を明らかにすることを目的とし、フランジとウェブの幅厚比を適切に組み合わせた9体の試験桁を製作して、等曲げ実験を行った。

2. 実験概要 供試体は図-6で示すようなフランジとウェブの幅厚比を組み合わせたモデルを計画した。図-6には代表的な設計規準<sup>1)~2)</sup>における降伏限界幅厚比を併せて示した。各設計規準での降伏限界幅厚比はウェブとフランジに対して個々に限界幅厚比が規定されており、座標軸を除く長方形の2辺がウェブ及びフランジの限界幅厚比を表すことになる。表-1に供試体の寸法及び力学パラメータを掲げる。

表-1 供試体の寸法と極限強度

| Model                | No.1   | No.2   | No.3   | No.4   | No.5   | No.6   | No.7   | No.8   | No.9   |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\bar{\lambda}_{pf}$ | 0.5922 | 0.5991 | 0.6459 | 0.8449 | 0.8265 | 0.8391 | 1.1050 | 1.0772 | 1.0772 |
| $\bar{\lambda}_{pw}$ | 0.6120 | 0.9804 | 1.9479 | 0.6120 | 0.9804 | 1.9479 | 0.6120 | 0.9804 | 1.9479 |
| h (cm)               | 41.2   | 66.0   | 90.7   | 41.2   | 66.0   | 90.7   | 41.2   | 66.0   | 90.7   |
| t (cm)               | 0.56   | 0.56   | 0.56   | 0.56   | 0.56   | 0.56   | 0.56   | 0.56   | 0.56   |
| b (cm)               | 17.1   | 17.1   | 22.8   | 18.0   | 22.7   | 22.7   | 20.4   | 20.3   | 30.3   |
| t <sub>w</sub> (cm)  | 0.47   | 0.86   | 1.21   | 0.57   | 0.87   | 0.86   | 0.56   | 0.86   | 0.86   |
| a (cm)               | 50.0   | 50.0   | 70.0   | 50.0   | 70.0   | 70.0   | 50.0   | 70.0   | 70.0   |
| $M_u/M_t$            | 1.6506 | 2.5103 | 1.8574 | 1.5298 | 1.7025 | 2.4929 | 2.0198 | 1.4184 | 1.5492 |
| $\bar{\lambda}$      | 0.4160 | 0.2931 | 0.2452 | 0.3883 | 0.3591 | 0.2813 | 0.4561 | 0.4591 | 0.3541 |
| k                    | 1.1311 | 1.1891 | 1.1715 | 1.1671 | 1.1347 | 1.1832 | 1.1435 | 1.1159 | 1.1380 |
| $M_u(t/a)$           | 23.87  | 42.32  | 65.87  | 18.85  | 25.77  | 40.58  | 18.83  | 25.46  | 30.47  |
| $M_t(t/a)$           | 28.77  | 49.49  | 105.17 | 18.43  | 31.69  | 93.75  | 22.45  | 72.90  | 109.78 |
| $M_u/M_t(t/a)$       | 30.00  | 48.03  | 85.82  | 18.77  | 54.12  | 70.94  | 21.00  | 55.50  | 75.98  |
| $M_u/M_t$            | 1.207  | 1.087  | 0.898  | 1.128  | 0.955  | 0.800  | 1.100  | 0.850  | 0.765  |
| $M_u/M_t$            | 1.121  | 0.930  | 0.852  | 0.968  | 0.877  | 0.757  | 0.922  | 0.763  | 0.689  |
| $M_u^*/M_t$          | 27.28  | 42.87  | 90.30  | 17.87  | 54.74  | 72.01  | 21.48  | 54.85  | 74.84  |
| $M_u^*/M_t$          | 1.100  | 1.071  | 0.932  | 1.050  | 0.969  | 0.885  | 1.006  | 1.014  | 1.011  |

ここに  $M_u$ : 極限強度の実験値,  $M_t$ : 極限強度の解析値

$$\text{フランジ幅厚比パラメータ: } \bar{\lambda}_{pf} = \frac{b'}{t_f} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k_f \pi^2} \frac{\sigma_Y}{E}}$$

$$\text{ウェブ幅厚比パラメータ: } \bar{\lambda}_{pw} = \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k_w \pi^2} \frac{\sigma_Y}{E}}$$

載荷方法は図-1に示すように2点載荷でテストパネル部が等曲げ状態とし、桁の鉛直変位は載荷点、着目パネルの中央点の下フランジ下面で変位計で計測し、テストパネルのひずみ、上フランジとウェブのたわみも計測した。初期たわみは表-2で示す。

3. 実験結果 表-1に実験による極限強度 $M_u$ と弾塑性有限変位解析法により求めた極限強度 $M_u^*$ を比較して示す。供試体 No.1, No.2の実験値は解析値より若干大きくなったが、極限強度の実験値と解析値の誤差は  $\pm 10\%$ 以内で、 $M_u/M_u^*$ の平均値は 10 2.4%であり、両者の対応は比較的良好であった。荷重-桁たわみについて、 $\bar{\lambda}_{pf}$ が0.83とほぼ一定とし $\bar{\lambda}_{pw}$ が変化した場合を図-2に、 $\bar{\lambda}_{pw}$ が1.3とほぼ一定とし $\bar{\lambda}_{pf}$ が変化した場合を図-3で示す。

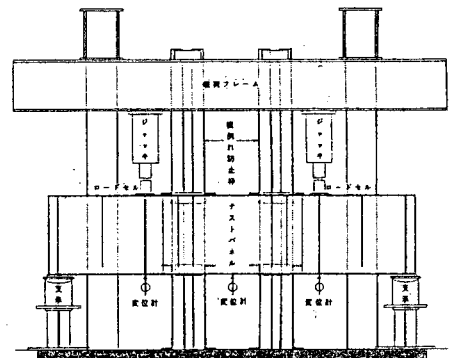


図-1 載荷状態

表-2 初期たわみの実測値

| Model        | No.1   | No.2  | No.3  | No.4  | No.5  | No.6  | No.7  | No.8  | No.9  |
|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\delta_f$   | 0.24   | 0.55  | 3.81  | 2.21  | 5.95  | 3.85  | 0.68  | 4.07  | 2.83  |
| $b/\delta_f$ | 718.5  | 510.8 | 62.0  | 72.4  | 59.8  | 81.8  | 309.1 | 74.5  | 116.2 |
| $\delta_w$   | 0.23   | 2.83  | 8.50  | 8.88  | 3.22  | 5.88  | 1.04  | 1.47  | 2.53  |
| $h/\delta_w$ | 1791.3 | 251.0 | 104.9 | 41.4  | 205.0 | 164.3 | 398.2 | 449.0 | 344.9 |
| $\delta_w$   | 0.54   | 3.88  | 5.80  | 18.89 | 8.02  | 8.45  | 1.38  | 3.01  | 3.57  |
| $h/\delta_w$ | 765.0  | 16.93 | 162.0 | 24.4  | 82.3  | 140.8 | 299.0 | 219.3 | 254.1 |

ここに  $\delta_f$ : フランジ初期たわみ最大値(mm),  $\delta_w$ : ウェブ初期たわみ最大値(mm)  
 $\delta_w$ : 圧縮フランジからウェブ高 1/4 点のパネル中央の初期たわみ(mm)

$\lambda_{pf}$ が一定の場合極限強度に達すると僅かな変位増加に対して除荷が生じるが、図-3の $\lambda_{pf}$ が0.55の供試体No.3は極限状態で急激な除荷減少が現れずダクティリティが大きいことがわかる。荷重-板たわみについては、パネル部中央断面での上フランジの両端鉛直たわみと上フランジからウェブ高1/6の位置での水平たわみを示す。図-4は $\lambda_{pf}$ が0.83とほぼ一定の場合で $\lambda_{pw}$ の違いによる板たわみの影響を見たもので、図-5は $\lambda_{pw}$ が1.3と一定の場合で $\lambda_{pf}$ の違いによる板たわみの影響を見たものである。図-4でウェブの板たわみは $\lambda_{pw}$ が大きくなるにつれ低い荷重レベルから増加している。供試体No.4ではウェブの拘束効果によりフランジのたわみ変形は極限状態まで僅少である。図-5のウェブの板たわみは全て低い荷重レベルから増加している。 $\lambda_{pf}$ が小さくなるにつれて極限強度が大きくなっていて、特に供試体No.3では $\lambda_{pw}$ が1.3と道路橋示方書の制限値を超えているが、極限強度はほぼ降伏強度に達している。

4. 限界幅厚比に関する考察 図-6には実験による極限強度のうち、降伏強度を上回る場合を○印で下回る場合を●印で表示した。実線は実測の降伏応力度を用いて弾塑性有限変位解析法より求めた降伏限界幅厚比の相関曲線で、破線は実測の降伏応力度を公称降伏応力度で換算した相関曲線である。各設計規準はまちまちであるが実線にほぼ対応する限界幅厚比が規定されて

いる規準はDIN18800のみで、CSA, SIA, 道路橋示方書(JSHB)およびAIJは破線にはほぼ対応するようである。

5. 結論 曲げを受ける鋼溶接I形断面の局部座屈強度はウェブとフランジの相互拘束効果を受け降伏限界幅厚比は $\lambda_{pw}$ と $\lambda_{pf}$ の相関曲線となりほぼ直線になることがわかり、代表的鋼構造設計規準における降伏限界幅厚比に関する規定に統一的な評価を与えることができた。

参考文献： 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1980。 2) DIN18800：Stahlbauten, Stabilitätsfall, Knicken von Stäben und Stabwerken, Teil 2, 1988。

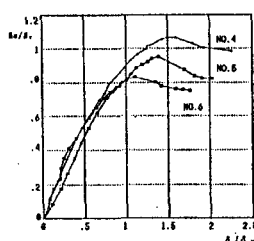


図-2 荷重-桁たわみ

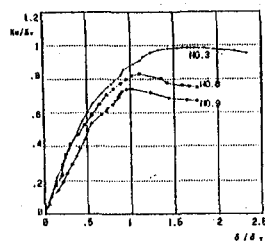


図-3 荷重-桁たわみ

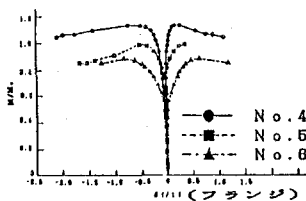


図-4 荷重-板たわみ

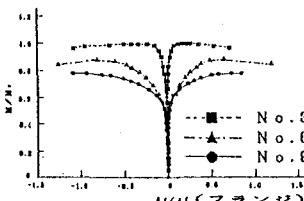


図-5 荷重-板たわみ

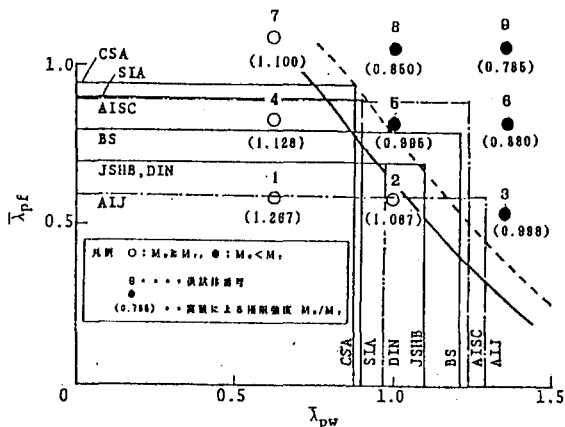


図-6 代表的設計規準の降伏限界との比較