

# I-13 一様軸圧縮を受けるテーパー鋼板の終局強度

高知工業高等専門学校専攻科 学生員 ○田中 豪  
高知工業高等専門学校 正員 勇 秀憲  
高知工業高等専門学校 正員 海田辰将

## 1. 緒 言

近年、合理化設計の観点から構造物の重量低減を目的として工場製作された LP 鋼板が橋梁のフランジや船舶の一部で用いられるようになってきた。LP 鋼板は作用断面力の変化と抵抗断面力の変化を近づけ、鋼材重量の低減を図る目的として製作された変厚（テーパー）鋼板の一種である。しかし、テーパーを有する板要素の力学的特性に関する研究は非常に少なく、それらから構成される薄肉鋼構造物の終局挙動を把握するためには、板要素の基本的強度特性を明らかにする必要がある。

本研究は、一様軸圧縮を受けるテーパー鋼板の弾塑性有限変位 FEM 解析を行い、その弾塑性後座屈挙動および終局強度を調べるものである。

## 2. 解 析 概 要

テーパー鋼板の解析モデルを Fig.1 に示す。図中、 $t_0$ ：最小板厚、 $t_1$ ：最大板厚、 $a$ ：板の载荷方向の長さ、 $b$ ：板幅である。これは一様な圧縮を受け、 $x-y$  平面に関し対称的にテーパーを有する板要素である。板要素は周辺単純支持の正方形板( $a=b=1m$ )とし、有限要素数は  $50 \times 50$  とした。板厚の変化を考慮できる 4 節点薄肉線形シェル要素を用いた。

鋼材の応力ひずみ関係は Table 1 の材料特性に基

づく完全弾塑性モデルを用い、von Mises 降伏条件、結合流れ則、等方硬化則に従うものとする。解析は汎用有限要素解析コード Marc による弾塑性有限変位解析である。圧縮荷重  $P$  は载荷辺に等分布強制変位として与える。テーパー鋼板の初期不整は、弾性座屈解析による一次座屈モードとし、その大きさを道路橋示方書・同解説<sup>1)</sup>で規定される  $b/150$  とした。なお、残留応力度は考慮していない。

板厚変動が板要素の終局強度に及ぼす影響を把握するため、テーパー比  $t_1/t_0$  を 1.0 (テーパー無し)、1.125、1.25、1.50、平均幅厚比パラメータ  $R_{av}$  を 2.93 ( $t_{av}=6mm$ )、1.95 ( $t_{av}=9mm$ )、1.46 ( $t_{av}=12mm$ ) としてパラメトリック解析を行った。ここに、平均幅厚比パラメータは、一定平均板厚を有する板要素に対する幅厚比パラメータとし、式(1)によって定義した。

$$R_{av} = \frac{b}{t_{av}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (1)$$

また、 $b$ ：板幅、 $t_{av}$ ：平均板厚、 $\sigma_y$ ：降伏応力度、 $\nu$ ：ポアソン比、 $E$ ：弾性係数、 $k$ ：座屈係数（＝4）である。

## 3. 解 析 結 果

### (1) 荷重 - たわみ曲線

縦軸を平均断面積に関する全降伏荷重 ( $P_y = b \cdot t_{av} \cdot \sigma_y$ ) で無次元化した圧縮荷重  $P$ 、横軸を平均板厚  $t_{av}$  で無次元化した最大たわみ  $w_{max}$  とする荷重 - たわみ曲線の例を Fig.2 に示す。

板たわみが小さいときはテーパーの有無や大小に関わらず面外剛性が等しく、板たわみが大きくなる大変形後の面外剛性はテーパーの大小により変化し、テーパー比の増加に伴い終局強度が低下することが分かる。

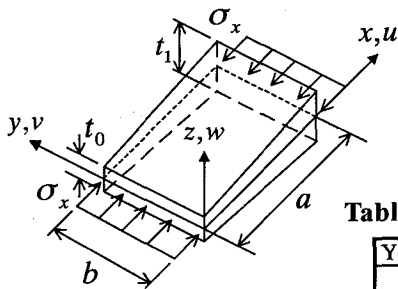


Table 1 Material properties

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Young's modulus[GPa] | 205.8 |
| Poisson's ratio      | 1/3   |
| Yield Stress[Mpa]    | 235.2 |

Fig.1 Analysis model

荷重－面内変位曲線についても，初期面内剛性は等しく，テーパー比の増加に伴って終局強度が低下するという傾向が見られた。

## (2) 塑性ひずみの分布

終局荷重  $P=P_u$  のときの塑性ひずみ分布の例 ( $t_1/t_0=1.125$ ,  $R_{av}=1.95$ ) を Fig.3 に示す。図中左側はテーパーの薄板部，右側は厚板部である。図のように，4つの隅角部から板中央部に向かい塑性ヒンジが形成される等厚板とは異なり，薄部から中心に塑性ヒンジが発生し，塑性ひずみが集中して発生することが分かる。

さらに終局状態 ( $P=P_u$ ) の後では，塑性ひずみが載荷辺中央部に進展し，板厚の薄部でたわみが集中する特有の局部座屈を示した。この傾向はテーパー比の増加に伴い大きく現れた。

テーパー鋼板はテーパー比に依存した特有の弾塑性大変形挙動を示す。その特性はテーパー比の大小により変化する。

## (3) 終局強度とテーパー比の関係

テーパー比と終局強度の関係を調べるため，縦軸を  $y=P_u/P_y$ ，横軸をテーパー比  $x=t_1/t_0$  とする板厚変動比－終局強度曲線 (Fig.4) を作成した。さらに，テーパー比と終局強度の相関性を把握するため，Table 2 に相関係数と近似曲線を示した。

終局強度と板厚比の間には高い相関関係があり，テーパー鋼板の終局強度はテーパー比の2乗に比例する。さらに，その特性曲線は平均幅厚比パラメータに依存し，テーパー比の増加に伴い終局強度が低下することが分かる。

## 4. 結 言

- (1) 平均幅厚比パラメータとテーパー比の2つのパラメータを考慮すれば，板要素の終局強度を推定できると考えられる。
- (2) テーパー比の増加は重量低減に高い効果を発揮するが，極端なテーパーの増加は薄部に高い応力集中を生じ，耐荷力を大きく低下させる恐れがある。

今後は，残留応力を考慮したパラメトリック解析を行い，テーパー鋼板の基本的特性をさらに明らかにする。さらに，地震などの繰り返し荷重を受けるテーパー鋼板の劣化特性を把握する。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会，道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，pp.430，2002。

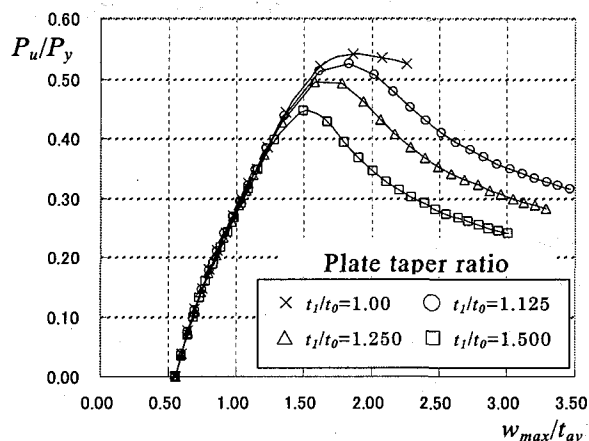


Fig.2 Load-maximum deflection curves ( $R_{av}=1.46$ )

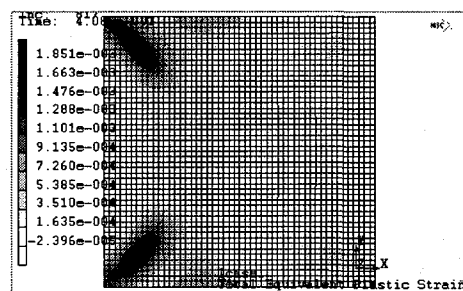


Fig.3 Plastic strain distribution at ultimate state

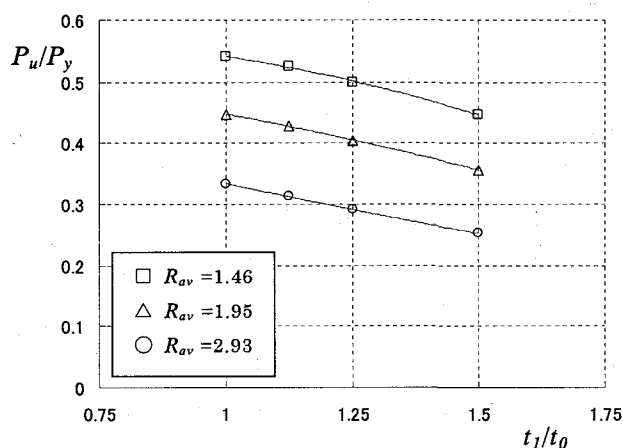


Fig.4 Relation between  $t_1/t_0$  and  $P_u/P_y$

Table 2 Approximate function of  $t_1/t_0$  and  $P_u/P_y$

| $R_{av}$ | Approximate parabolic function      | Coefficient of correlation |
|----------|-------------------------------------|----------------------------|
| 1.46     | $y = -0.1242x^2 + 0.1213x + 0.5444$ | 0.9982                     |
| 1.95     | $y = -0.0577x^2 - 0.0377x + 0.5433$ | 0.9991                     |
| 2.93     | $y = 0.0347x^2 - 0.2511x + 0.5512$  | 0.9999                     |