

高張力鋼を用いた圧縮板の極限強度

岐阜大学工学部 正 員 森脇 良一

岐阜大学工学部 正 員 奈良 敬

岐阜大学大学院 学生員○梅村 哲男

1. まえがき 鋼橋の薄肉軽量化と長大化が推進されるにつれ、鋼板構造物の経済的設計の重要性がますます認識されつつある。さらに、構造物の設計基準を許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行しようとする世界的な勢いがある。また初期不整の変化が軟鋼に及ぼす影響については以前より研究されているが、高張力鋼についてはあまり研究されていない。このような状況において、鋼材の塑性強度を利用する設計法が土木分野で重要となると思われる。現在鋼材の高強度化が進むなかで、初期不整およびひずみ硬化が、高張力鋼を用いた圧縮板の極限強度に及ぼす影響について明かにすることは有用であると考えられる。本研究は60kg級高張力鋼(SM58)を対象とし、初期不整がその極限強度に与える影響について考察するものである。

2. 研究方法 弾塑性有限変位解析法をひずみ硬化についても考慮できるように拡張したものをを用いる¹⁾。弾塑性応力-ひずみマトリックス D_{EP} は文献1)の記号を使って次式のように与えられる。

$$D_{EP} = D_E - \frac{D_E \{ \partial f / \partial \sigma \} \{ \partial f / \partial \sigma \}^T D_E}{\{ \partial f / \partial \sigma \}^T D_E \{ \partial f / \partial \sigma \} + H'} \quad (1)$$

3. 解析モデル 一般に縦軸に σ / σ_y 、横軸に $\varepsilon / \varepsilon_y$ をとった真応力-ひずみ関係では、ひずみ硬化領域における応力-ひずみ関係は曲線で表される。それをさらに両対数目盛りのグラフに示すと直線で表される¹⁾。従って、ひずみ硬化領域まで考慮した応力-ひずみモデルを次式のようにおく。

$$0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_y \text{ の時 } \sigma / \sigma_y = \varepsilon / \varepsilon_y \quad (2)$$

$$\varepsilon_y \leq \varepsilon \leq \varepsilon_H \text{ の時 } \sigma / \sigma_y = 1.0 \quad (3)$$

$$\varepsilon_H \leq \varepsilon \text{ の時 } \sigma / \sigma_y = B(C + \varepsilon / \varepsilon_y)^n \quad (4)$$

ただし σ_y 、 ε_y 、および ε_H はそれぞれ降伏応力度、降伏ひずみおよびひずみ硬化開始ひずみである。

本研究で用いたSM58の機械的性質は以下のように与えた。

$$\sigma_u = 58 \text{ kgf/mm}^2, \sigma_y = 46 \text{ kgf/mm}^2, \varepsilon_u = 8.68 \times 10^{-2}, \varepsilon_H = 1.23 \times 10^{-2}$$

ここで σ_u および ε_u はそれぞれ引張強さおよび一様伸びである。

境界条件は周辺単純支持(面内平行横変位)で、メッシュ分割は3×4、つまり図-1に示すように、X方向には3分割、Y方向には4分割とし、縦横比は0.5とした。また、幅厚比は幅厚比パラメータ(以下「R」と呼ぶ)が、0.3, 0.5 および 0.7 になるようにした。初期たわみの最大値(以下「 W_0 」と呼ぶ)は、道路橋示方書(以下「道示」と呼ぶ)の許容値である $b/150$ の他に $b/200$, $b/300$, $b/600$ とした。また残留応力度については、残留引張応力度 σ_{rt} が $0.9\sigma_y$ 、残留圧縮応力度 σ_{rc} は $-0.4\sigma_y$, $-0.3\sigma_y$, $-0.2\sigma_y$, $-0.1\sigma_y$, 0 と変化させた。

4. 結果及び考察 W_0 による極限強度の変化を図-2に示す。 $\sigma_{rc} = -0.2\sigma_y$ の場合、R が大きくなるにつれて $W_0 = b/150$ の場合の極限強度と $W_0 = b/600$ の場合の極限強度との差が大きくなる。 $W_0 = b/150$ の時の極限強度を基準にすると、 $W_0 = b/600$ の時の極限強度は $R=0.3$ で約 5.1%, $R=0.5$ で約 7.8%, $R=0.7$ で約 10.9% 上昇する。つまり W_0 による影響は R の大きい領域で顕著に現れる。

次に残留圧縮応力度による極限強度への影響について、一例を図-3に示す。 $W_0 = b/150$, $R=0.3$ の場合、残留圧縮応力度を変化させても極限強度

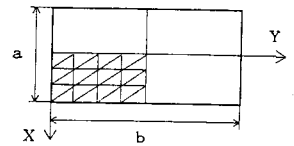


図-1 解析モデルのメッシュ分割

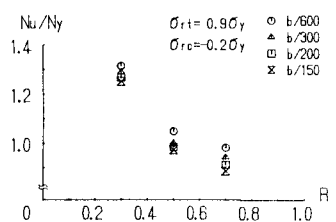


図-2 極限強度とR

の変化は高々 2% である。 $R=0.5$ および 0.7 の場合でも同じ結果が認められる。また $W_a=b/150$ 以外の初期たわみ量の場合についても、残留圧縮応力度による極限強度の変化はほとんど見られなかった。圧縮荷重-圧縮変位曲線を用いて、その影響を調べた結果を図-4 に示す。 $R=0.7$, $W_a=b/150$ の場合、圧縮変位が $u/u_y \geq 2$ では、残留圧縮応力度の大きさにかわらず各曲線はほぼ一致している。塑性化が始まる $0.6 \leq u/u_y \leq 1$ では、残留圧縮応力度が大きくなるにつれて圧縮荷重が低下する。 $R=0.5$ および 0.3 でも同じ結果が認められた。これは残留圧縮応力度が大きい程早めに塑性化が始まり、降伏棚の影響で圧縮荷重が低下するためである。

5. 鋼種による比較 鋼種を変えると圧縮板の極限強度特性が、どのように変化するかを調べるために、 $R=0.3, 0.5, 0.7$, および 0.9 で、上述の SM58 と、軟鋼の極限強度特性とを比較してみた。軟鋼については SM41 ($\sigma_y=24 \text{ kgf/mm}^2$, $\epsilon_u=1.97 \times 10^{-1}$, $\epsilon_H=2.0 \times 10^{-2}$) を用い、境界条件は周辺単純支持(面内平行横変位)で、縦横比は 0.5 とし、 W_a は道示の許容値である $b/150$ とした。残留応力については、SM58 の場合は $\sigma_{rt}=0.9\sigma_y$, $\sigma_{rc}=-0.2\sigma_y$ とし、SM41 の場合は $\sigma_{rt}=\sigma_y$, $\sigma_{rc}=-0.3\sigma_y$ とした²⁾。

まず $R=0.3$ の場合であるが、図-5 では両鋼種ともひずみ硬化の影響によって圧縮荷重が増加している。さらに SM41 は極限強度、および吸収エネルギーの点で SM58 より優れている。これらは SM41 の方が降伏比が低く、一樣伸びが大きいためである。 $R=0.5$ の場合、図-6 では SM58 がほぼ降伏荷重付近で横ばいになるのに対して、SM41 は圧縮荷重が一旦低下し、変位が進むにつれて、再び圧縮荷重が増加している。これは SM41 の降伏棚が SM58 のそれに比べてかなり長いため、鋼材がひずみ硬化領域に入るまで剛性が低下するものと考えられる。しかし $R=0.7$ および 0.9 の場合では、両鋼種間に顕著な差は現れなかった。つまり R が大きくなると鋼種に関係なくほぼ同じ挙動を示すが、 R が小さくなると鋼材にひずみ硬化の影響が現れ、SM41 すなわち降伏応力度の小さい鋼材ほどひずみ硬化の影響が顕著に現れると言える。

6. 結論 本研究で得られた結果をまとめると以下の事が言える。

高張力鋼を用いた場合、軟鋼の場合と同じく、 R が大きくなるにつれて、 W_a の変化が極限強度の変化に影響を及ぼす。残留圧縮応力度は、変化させても極限強度には影響ないが、塑性化が始まると残留圧縮応力度が大きい程早めに降伏するため、降伏棚の影響で圧縮荷重が低下する。軟鋼と高張力鋼との挙動変化に対しては、 $R \geq 0.7$ の領域ではほぼ同じ挙動を示すが、 $R \leq 0.5$ の領域では、両鋼種にひずみ硬化の影響が現れ、降伏応力度の小さい軟鋼の方にその影響が顕著に現れる。したがってひずみ硬化および初期たわみの影響を考慮して極限強度の平均値を算定する必要がある。

参考文献 1) 奈良 敬・出口恭司・小松定夫：ひずみ硬化を考慮した圧縮板の極限強度に関する研究，土木学会構造工学論文集，Vol. 33 A, pp. 141-150, 1987年 3月。2) 小松定夫・牛尾正之・北田俊行：補剛板の溶接残留応力および初期たわみに関する実験的研究，土木学会論文報告集，第265号，pp25-35, 1977年9月。

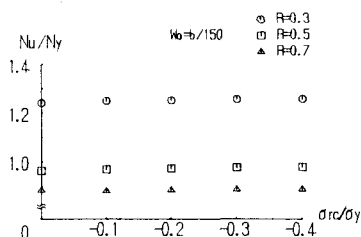


図-3 極限強度と σ_{rc}

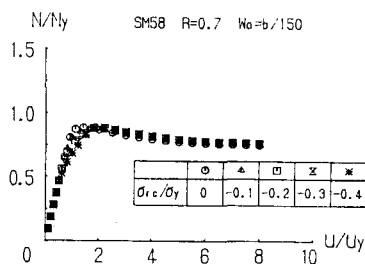


図-4 圧縮荷重-圧縮変位曲線 (面内平行横変位)

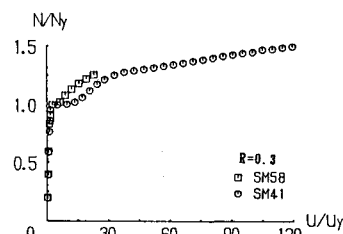


図-5 圧縮荷重-圧縮変位曲線 (面内平行横変位)

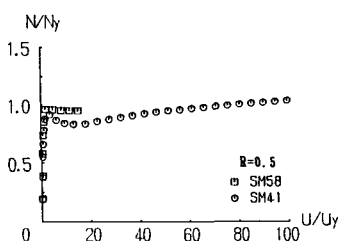


図-6 圧縮荷重-圧縮変位曲線 (面内平行横変位)