

材料の応力ひずみ関係におけるひずみ硬化勾配の変化が板の終局圧縮強度に及ぼす影響

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○阿部 真之介  
長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大  
大阪大学大学院 正会員 奈良 敬

1. はじめに

土木構造物に用いられる鋼材は、JIS 等で規定される強度を確保している。しかし、このような鋼材の材料特性はバラツキを有している<sup>1)</sup>。本研究は、材料の応力ひずみ関係における塑性化後のひずみ硬化域での勾配に着目し、この勾配変化に伴う面内純圧縮負荷を受ける周辺単純支持板の強度特性の変化を数値計算<sup>2)</sup>により明らかにする。

2. 数値計算法

2.1 応力ひずみ関係

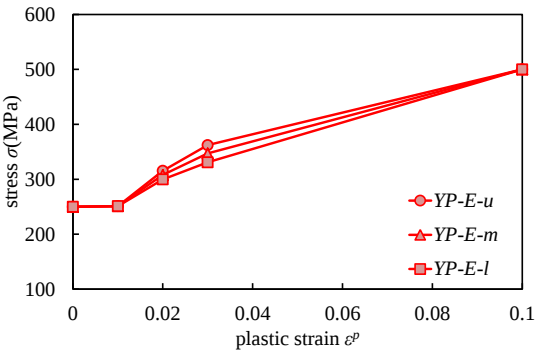
本研究で対象とする鋼材は、SM400 相当の材料モデル<sup>3)</sup>を用いて仮定する。図1は、数値計算で用いる応力塑性ひずみ関係を示す。同図(a)は降伏棚を考慮するモデルを、同図(b)は降伏棚を考慮しないモデルを示す。また、応力ひずみ関係におけるひずみ硬化域での勾配は、塑性ひずみが3%までの傾きを文献4)の結果に基づいて決定している。また、3%以上の塑性ひずみについては10%塑性ひずみ時の応力まで直線的に増加すると仮定する。表1は、本研究で対象とする材料モデルの材料定数を示す。これらの図1および表1中のモデル名は、YPが降伏棚を考慮するモデル、RHが降伏棚を考慮しないモデルを表し、数字がヤング率E(GPa)を、l(最小)、m(平均)、u(最大)がひずみ硬化域での勾配を表している。また、表1中の記号は、 $\nu$ がポアソン比を、 $\sigma_y$ が降伏応力を、 $\sigma_{10}$ が10%塑性ひずみ時の応力を示す。なお、降伏棚を考慮しない材料モデルは、降伏応力として、0.2%耐力を用いる。さらに、降伏棚を考慮しない材料モデルは、塑性開始点を0.01%耐力点とし、その値を150MPaに固定している。

2.2 数値計算モデル

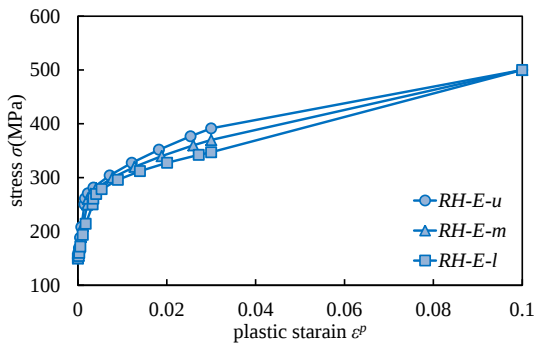
図2は、対象とする周辺単純支持板を示す。板の形状は、縦横比a/bを1.0、載荷辺長bを400mmとし、式(1)に示す幅厚比パラメータRを0.3から1.5まで0.1刻みで変化させる。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \tag{1}$$

ここでtは板厚、kは座屈係数(=4.0)を表す。対象とする板に与える初期不整は、文献4)で示した残留応力および初期た



(a) 降伏棚を考慮するモデル



(b) 降伏棚を考慮しないモデル

図1 材料の応力塑性ひずみ関係

表1 対象とする材料モデル

| モデル名     | E (GPa) | $\nu$ | $\sigma_y$ (MPa) | $\sigma_{10}$ (MPa) |
|----------|---------|-------|------------------|---------------------|
| YP-160-l | 160     | 0.3   | 250              | 500                 |
| YP-160-m | 160     | 0.3   | 250              | 500                 |
| YP-160-u | 160     | 0.3   | 250              | 500                 |
| YP-200-l | 200     | 0.3   | 250              | 500                 |
| YP-200-m | 200     | 0.3   | 250              | 500                 |
| YP-200-u | 200     | 0.3   | 250              | 500                 |
| YP-220-l | 220     | 0.3   | 250              | 500                 |
| YP-220-m | 220     | 0.3   | 250              | 500                 |
| YP-220-u | 220     | 0.3   | 250              | 500                 |
| RH-160-l | 160     | 0.3   | 250              | 500                 |
| RH-160-m | 160     | 0.3   | 250              | 500                 |
| RH-160-u | 160     | 0.3   | 250              | 500                 |
| RH-200-l | 200     | 0.3   | 250              | 500                 |
| RH-200-m | 200     | 0.3   | 250              | 500                 |
| RH-200-u | 200     | 0.3   | 250              | 500                 |
| RH-220-l | 220     | 0.3   | 250              | 500                 |
| RH-220-m | 220     | 0.3   | 250              | 500                 |
| RH-220-u | 220     | 0.3   | 250              | 500                 |

キーワード 材料強度、応力ひずみ関係、周辺単純支持板、降伏棚、ひずみ硬化勾配  
連絡先〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888 長岡工業高等専門学校 TEL0258-32-6435 E-mail:y-miyazaki@nagaoka-ct.ac.jp

わみを考慮する。これらの周辺単純支持板は、変形の対称性を考慮し、図2に示す板の1/4部分を対象に、13×13分割とした8節点シェル要素により有限要素離散化を行う。また数値計算では、図2に示す強制変位 $u$ を与えて計算を行う。

### 3. 終局圧縮強度特性

図3は、 $E$ が220GPaの終局圧縮強度と幅厚比パラメータの関係を示す。同図の縦軸は、数値計算により得られた終局圧縮荷重 $P_u$ を降伏荷重 $P_y$ で無次元化した値を示す。同図より、 $R$ が0.3の場合、YP-220- $u$ の終局圧縮強度は、YP-220- $l$ のモデルに比べて最大で約3%大きくなることわかる。また、 $R$ が0.7の場合、RH-220- $u$ の終局圧縮強度はRH-220- $l$ のモデルに比べて最大で約14%大きくなることわかる。さらに、降伏棚を考慮しないモデルは、本研究で仮定したひずみ硬化域の勾配の影響が降伏棚を考慮したモデルに比べて顕著に現れることがわかる。この理由は、降伏棚を考慮するモデルに比べて早期に塑性化の進行が発生するためである。

図4は、 $E$ が220GPaの時の終局圧縮強度時の変位と幅厚比パラメータの関係を示す。同図の縦軸は、数値計算で与えた終局圧縮強度時の変位 $u_u$ を降伏変位 $u_y$ で無次元化した値を示す。同図より $R$ が0.3の場合、YP-220- $u$ の終局圧縮強度時の変位は、YP-220- $l$ に比べて最大で約14%大きくなることわかる。また、 $R$ が0.7の場合、RH-220- $l$ の終局圧縮強度時の変位はRH-220- $u$ に比べて最大で約36%小さくなることわかる。

### 4. おわりに

本研究で得られた結果は、つぎの通りである。

- (1)降伏棚を考慮しないモデルでは、ヤング率の大きいモデルが塑性後の応力上昇の傾きの影響が大きい。
- (2)塑性ひずみが3%までの応力ひずみ関係におけるひずみ硬化勾配の変化に伴う周辺単純支持板の終局圧縮強度への影響は、材料の勾配の変化が最大で約26%に対して最大で約14%となる。

### 参考文献

- 1) 奈良敬, 中村聖三, 安波博道, 川端文丸, 塩飽豊明:橋梁向け構造用鋼板の板厚および強度に関する統計調査, 土木学会論文集 No. 752/I-66,299-310,2004. 2)MSC.Software Co.:Marc User's Guide, MSC.Software Corporation,2012. 3)宮寄靖大, 奈良敬:無補剛版ステンレス鋼圧縮板の座屈照査法, 構造工学論文集, Vol.56A,pp.122-134, 2010.3. 4)阿部真之介, 宮寄靖大:材料の応力ひずみ関係が板の圧縮強度特性に及ぼす影響, 土木学会関東支部, .2014.3. 5)日本道路協会:道路橋示方書(I 共通編・II 鋼橋編)・同解説, 丸善, 2012.

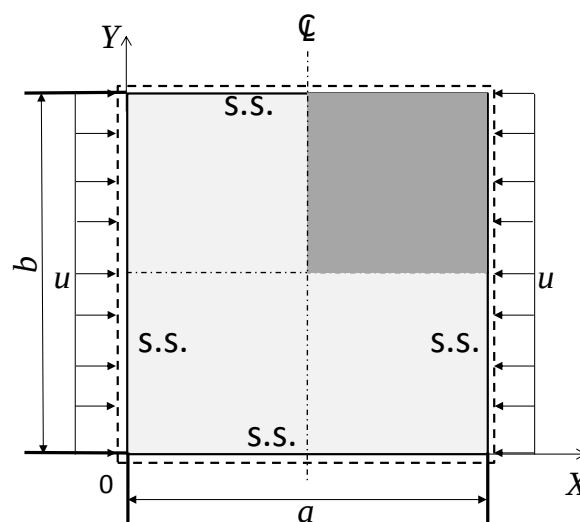


図2 周辺単純支持板

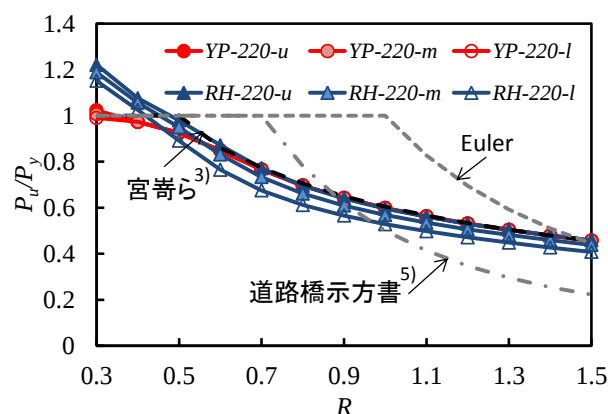


図3 終局圧縮強度と幅厚比パラメータの関係

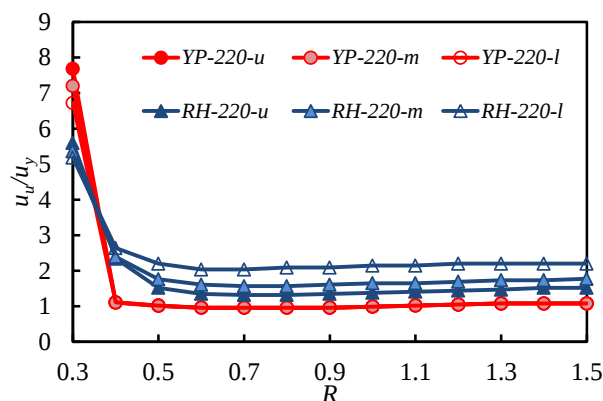


図4 終局圧縮強度時の変位と幅厚比パラメータの関係