

材料の応力ひずみ関係の変化が板の面内曲げ強度特性に及ぼす影響
Influence of a Variation of the Stress Strain Relationship for
the Material on the in-Plane Bending Strength Behavior of the Plate

○高橋 寛成*

Hironari TAKAHASHI

宮寄 靖大**

Yasuhiro MIYAZAKI

奈良 敬***

Satoshi NARA

ABSTRACT The steels in structures ensure the standard material strength. However, the stress strain relationship of material represents a variation. Also, the previous study revealed influence of these change on the compressive strength of the plate. Therefore, the purpose of this study is to examine the influence of the change of the stress strain relationship of the materials on the in-plane bending strength behavior of the simply supported plate by numerical analysis. Firstly, it was determined the material model. Secondly, it examined for the plate under in-plane bending by the finite element analysis. Finally, this study clarified effect of strength behavior of simply supported plate under in-plane bending against changing the stress strain relationship of steels.

Keywords: 材料強度, 応力ひずみ関係, 終局曲げ強度, ひずみ硬化勾配
material strength, stress strain relationship, ultimate bending strength, strain hardening gradient

1. はじめに

土木鋼構造物に用いられている鋼材の材料強度は、JIS 等での規定値を確保している。しかし、鋼材の材料特性は、ばらつきを有している¹⁾。また、鋼材の応力ひずみ関係には降伏棚を有するものと有さないものが存在する。著者ら²⁾は、これらの材料特性の変化が圧縮負荷を受ける周辺単純支持板に与える影響を数値計算により明らかにしてきた。土木鋼構造物の基本要素である鋼板への材料特性の変化が強度特性に及ぼす影響は、これまでに明らかにした圧縮負荷のみではなく、種々の負荷条件下での強度特性を明確にする必要がある。

そこで本研究では、材料の応力ひずみ関係の変化が面内純曲げ負荷を受ける周辺単純支持板の強度特性に及ぼす影響を数値計算³⁾により調べる。ここでは、降伏棚の有無、降伏棚の長さの変化、材料強度、ヤング係数のばらつきおよび塑性化後のひずみ硬化勾配の変化に着目する。

2. 数値計算法

2. 1 応力ひずみ関係

本研究で対象とする材料モデルは、SM400 および SUS304 相当の強度を有するものと仮定する。また、これらの応力ひずみ関係は、降伏棚を有するモデルおよび降伏棚を有さないモデルとする。本研究では、ヤング係数 E を 200GPa, ポアソン比 ν を 0.3, 降伏応力 σ_y を 250MPa, 10%塑性ひずみ時の応力 σ_{10} を 500MPa とした基本材料モデルを設定し、この基本モデルに対して、材料の応力ひずみ関係を変化させる。ここで、降伏棚を有さないモデルは、比例限界点 (0.01%耐力) を 150MPa にするとともに、降伏応力として 0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ を用いる。表 1 は、本研究で対象とする全材料モデルの機械的性質を示す。同表中のモデル名は、YP が降伏棚を有するモデル、RH が降伏棚を有さないモデルを意味する。また、YP2 は、YP の降伏棚の長さを 2 倍としたモデルを示している。そして、材料強度のばらつきを考慮するモデルにつ

*長岡工業高等専門学校専攻科 環境都市工学専攻 (〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888)

**博士(工学) 長岡工業高等専門学校准教授 環境都市工学科

(〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888) 第 2 種正会員

***工博 大阪大学大学院教授 工学研究科地球総合工学専攻

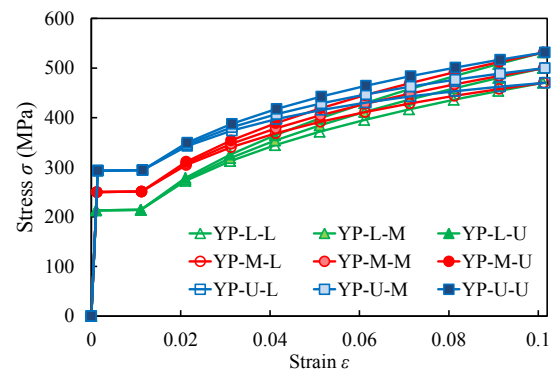
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1) 第 2 種正会員

いては、はじめの記号が降伏応力または0.2%耐力を、次の記号が10%塑性ひずみ時の応力を示し、それぞれの記号のLが下限値、Mが平均値、Uが上限値を表している。図1は、材料強度のばらつきを考慮するモデルの応力ひずみ関係を示している。ここで、表1中の特徴にある材料強度の変化のモデルは、文献1)の統計データを参考にして、 σ_y および σ_{10} それぞれに対数正規分布確率の95%区間で与えている。また、ヤング係数の変化を考慮するモデルは、降伏棚の有無を示す記号に続く記号がヤング係数の大きさ

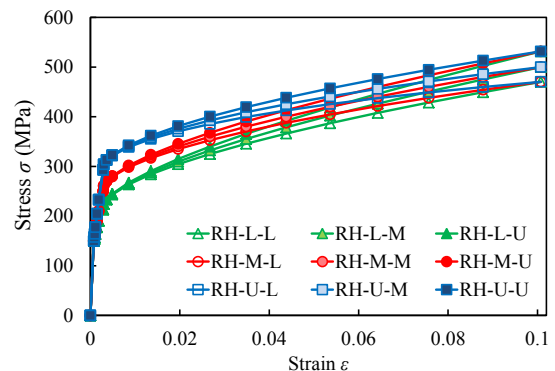
表1 材料モデルの機械的性質

モデル名	特徴	E (GPa)	ν	σ_y (MPa)	σ_{10} (MPa)
YP-L-L	材料強度 の変化	200	0.3	213	470
YP-L-M		200	0.3	213	500
YP-L-U		200	0.3	213	531
YP-M-L		200	0.3	250	470
YP-M-M(YP-BASE)		200	0.3	250	500
YP-M-U		200	0.3	250	531
YP-U-L		200	0.3	293	470
YP-U-M		200	0.3	293	500
YP-U-U		200	0.3	293	531
RH-L-L	材料強度 の変化	200	0.3	213	470
RH-L-M		200	0.3	213	500
RH-L-U		200	0.3	213	531
RH-M-L		200	0.3	250	470
RH-M-M(RH-BASE)		200	0.3	250	500
RH-M-U		200	0.3	250	531
RH-U-L		200	0.3	293	470
RH-U-M		200	0.3	293	500
RH-U-U		200	0.3	293	531
YP-160	ヤング 係数 の変化	160	0.3	250	500
YP-200(YP-BASE)		200	0.3	250	500
YP-220		220	0.3	250	500
RH-160		160	0.3	250	500
RH-200(RH-BASE)	ヤング 係数 の変化	200	0.3	250	500
RH-220		220	0.3	250	500
YP-160-EPL-5	ひずみ 硬化勾配 の変化	160	0.3	250	500
YP-160-EPL-6		160	0.3	250	500
YP-160-EPL-7		160	0.3	250	500
YP-220-EPL-5		220	0.3	250	500
YP-220-EPL-6		220	0.3	250	500
YP-220-EPL-7		220	0.3	250	500
YP-160-EPU-5		160	0.3	250	500
YP-160-EPU-6		160	0.3	250	500
YP-160-EPU-7		160	0.3	250	500
YP-220-EPU-5	ひずみ 硬化勾配 の変化	220	0.3	250	500
YP-220-EPU-6		220	0.3	250	500
YP-220-EPU-7		220	0.3	250	500
RH-160-EPL-3		160	0.3	250	500
RH-160-EPL-4		160	0.3	250	500
RH-160-EPL-5		160	0.3	250	500
RH-220-EPL-3		220	0.3	250	500
RH-220-EPL-4		220	0.3	250	500
RH-220-EPL-5		220	0.3	250	500
RH-160-EPU-3	ひずみ 硬化勾配 の変化	160	0.3	250	500
RH-160-EPU-4		160	0.3	250	500
RH-160-EPU-5		160	0.3	250	500
RH-220-EPU-3		220	0.3	250	500
RH-220-EPU-4		220	0.3	250	500
RH-220-EPU-5		220	0.3	250	500
YP2	降伏棚の 長さ の変化	200	0.3	250	500

(GPa)を示す。ヤング係数を変化させるモデルは、文献4)の材料試験データを参照に、基本モデルのヤング係数に38%の変化を与えた。さらに、ひずみ硬化勾配を変化させるモデルは、ヤング係数に続く記号がひずみ硬化勾配の大きさを意味しており、EPLが勾配の下限値、EPUが上限値を表している。これに続く、末尾の数字はひずみ硬化勾配の変化を考慮する塑性ひずみの最大値(%)を示している。図2は、ひずみ硬化勾配を変化させるモデルの応力ひずみ関係を示している。同図は、図1で示した材料強度を変化させるモデルの応力ひずみ関係を基本として、ひずみ硬化勾配を変化させている。まず、ひずみ硬化勾配を変化させる領域は、塑性ひずみが3から7%として1%刻みで変化させる。そして、ひずみ硬化勾配を変化させた領域を超える応力ひずみ関係は、10%塑性ひずみまで比例関係にあると仮定する。さらに、ひずみ硬化勾配とヤング係数Eとの勾配の差による影響を調べるため、ヤング係数を160GPa、220GPaと変化させる。



(a) 降伏棚を有するモデル



(b)降伏棚を有さないモデル

図1 材料強度の変化を考慮した材料モデルの応力ひずみ関係

2. 2 面内純曲げ負荷を受ける周辺単純支持板

図3は、本研究で対象とする面内純曲げ負荷を受ける周辺単純支持板を示す。板の形状は縦横比 a/b を2/3, 載荷辺長 b を300mmとし、式(1)に示す幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ を0.3から1.5まで0.1刻みで変化させる。

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (1)$$

ここで、 t は板厚、 ν はポアソン比、 k は座屈係数(=23.9)を表す。対象とする板に与える初期不整は残留応力および初期たわみを考慮する。残留応力は、図3に示す自己平衡を保つ矩形分布で与え、圧縮残留応力 σ_{rc} および引張残留応力 σ_{rt} を式(2)に示す大きさとする。

$$\sigma_{rc} = -0.3\sigma_y, \quad \sigma_{rt} = \sigma_y \quad (2)$$

つぎに、初期たわみ W_0 は、式(3)に示す形状で与える。

$$W_0 = W_{0\max} \cos \frac{\pi X}{a} \cos \frac{\pi Y}{b} \quad (3)$$

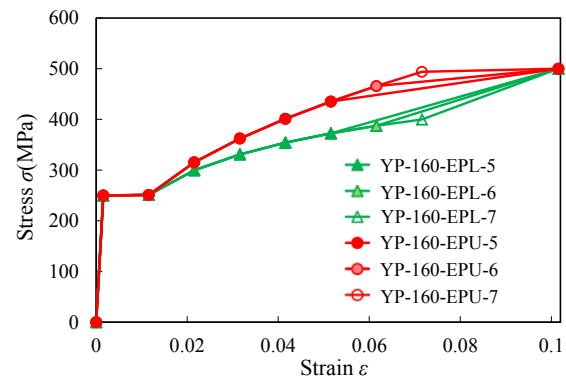
ここで、初期たわみの最大値 $W_{0\max}$ は道路橋示方書で規定される設計許容値⁵⁾である($=b/250$)とした。これらの周辺単純支持板は、変形の対称性を考慮し、図3に示す板の1/2部分を対象に、9×26分割とした8節点アイソパラメトリックシェル要素により有限要素離散化を行う。また、数値計算では、図4に示すZ軸まわりの強制回転角 θ_z を与えて、汎用非線形有限要素解析プログラムMARC³⁾により計算を行う。なお、既往の研究にて⁶⁾、本数値計算モデルの妥当性は検証されているため、これらについての詳細はこちらを参照されたい。

3. 材料の応力ひずみ関係の変化が周辺単純支持板の面内曲げ強度特性に及ぼす影響

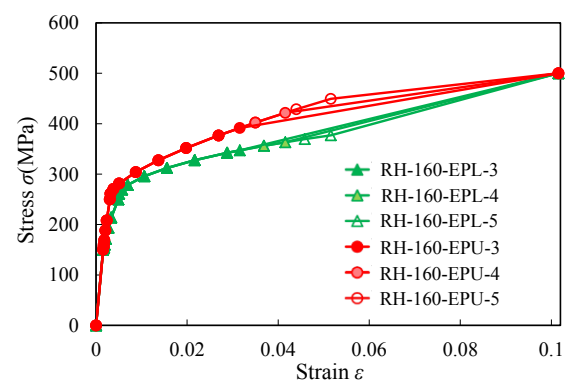
本章では、数値計算により得られた面内純曲げ強度と回転角の関係、終局曲げ強度および終局曲げ強度時の回転角を述べる。

3. 1 対象としたモデルの曲げモーメントと回転角の関係

図5は、数値計算により得られた曲げモーメントと回転角の関係の結果の一例を示す。同図の縦軸は、数値計算で得られた曲げモーメントを式(4)で示す降伏曲げモーメント M_y で無次元化した値を、横軸は数値計算で与えた回転角 θ_z を式(5)で示す降伏回転角 θ_{y_0} で無次元化した値を示す。



(a) 降伏棚を有するモデル



(b) 降伏棚を有さないモデル

図2 ひずみ硬化勾配の変化を考慮した材料モデルの応力ひずみ関係

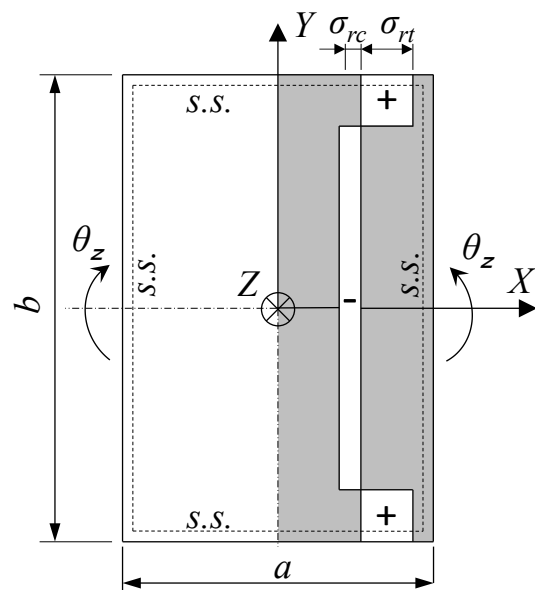


図3 面内純曲げ負荷を受ける周辺単純支持板

$$M_y = \frac{\sigma_y t b^2}{6} \quad (4) \quad , \quad \theta_{zy} = \tan^{-1} \frac{2\sigma_y a}{bE} \quad (5)$$

同図は、紙面の都合上、降伏棚を有する基本モデル YP-M-M(YP-200)、降伏棚を有さない基本モデル RH-M-M(RH-200)および降伏棚の長さを 2 倍とした YP2 を示している。同図より、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の場合、RH-BASE モデルは YP-BASE モデルに比べて早期に終局曲げ強度に達することがわかる。それに対して、その他の $\bar{\lambda}_p$ の場合、YP-BASE モデルは RH-BASE モデルに比べて早期に終局曲げ強度に達することがわかる。これは、図 6 に示す変形モードより、YP-BASE モデルが、同図(a)の $\bar{\lambda}_p=0.3$ の場合、同図(b)の $\bar{\lambda}_p=1.5$ に比べて終局強度時に十分な塑性化が進行するため、その強度特性に材料の応力ひずみ関係が影響することを意味している。また、YP2 モデルの数値計算結果は、弾完全塑性体の数値計算結果と同等となった。これは、YP2 モデルは降伏棚の領域が大きい、図 6(a)に示すような YP-BASE モデルにみられるひずみ硬化勾配の影響がないことを意味する。なお、以降で述べる終局強度とは、本研究で対象とした各材料モデルの数値計算により得られた最大強度を意味する。

3. 2 材料強度の変化に着目した場合

図 7 は、終局曲げ強度 M_u/M_y と幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の関係を示す。同図の縦軸は、終局曲げモーメント M_u を式(4)の降伏曲げモーメント M_y で無次元化した値を示す。同図(a)より、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の場合、YP-L-U モデルの終局曲げ強度は、YP-U-L モデルに比べて最大で約 5%大きくなる。これは、降伏応力 σ_y が小さく 10%塑性ひずみ時の応力 σ_{10} が大きいモデルでは、塑性化後の強度上昇が期待できるためである。つぎに、同図(b)より、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の場合、RH-L-U モデルの終局曲げ強度は RH-U-L モデルに比べて最大で約 9%大きくなる。また、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.5 から 1.0 の場合、各モデルの終局曲げ強度は、ほとんど変化しないことがわかる。これは、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.5 から 1.0 の場合、各モデルの終局曲げ強度時の塑性化領域と塑性化の進展がほぼ同等であるためである。

図 8 は、終局曲げ強度時の回転角 θ_{zu}/θ_{zy} と幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の関係を示す。同図の縦軸は、数値計算で与えた終局曲げ強度時の回転角 θ_{zu} を式(5)の降伏回転角 θ_{zy} で無次元化した値を示す。同図(a)より、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の場合、YP-L-U モデルの終局曲げ強度時の回転角は、YP-U-L モデルに比べて最大で約 37%大きくなる。また、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.4 以上の場合、各

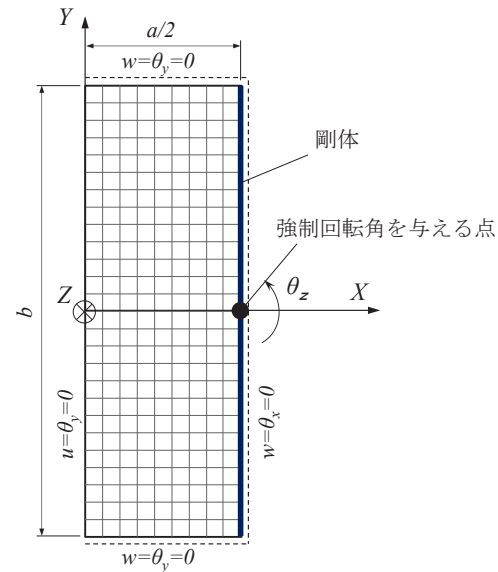


図 4 周辺単純支持板の数値計算モデル

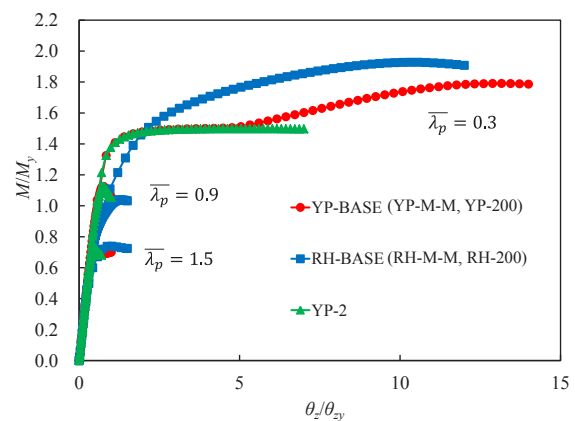


図 5 曲げモーメントと回転角の関係

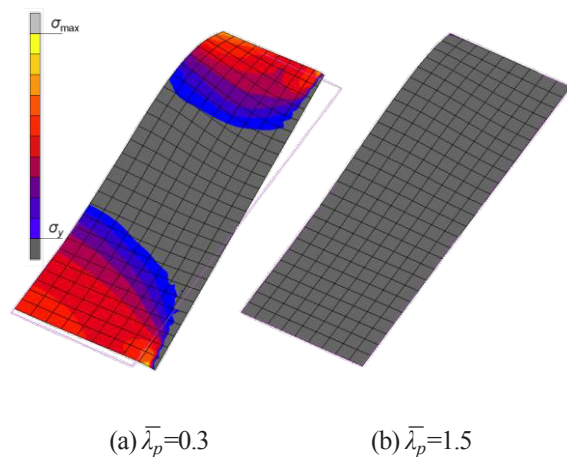


図 6 YP-BASE モデルの変形モード

モデルのばらつきは、ほとんどないことがわかる。
これは、終局強度時の板の塑性化の進行が生じないためである。つぎに、同図(b)より、対象とした全ての $\bar{\lambda}_p$ で、各モデルのばらつきは、最大で約 18%となることがわかる。また、同図より、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.4 以上の場合、降伏棚を有さないモデルの終局曲げ強度時の回転角は、降伏棚を有するモデルに比べて大きいことがわかる。これは、降伏棚を有さないモデルでは、0.01%耐力点を塑性開始点に設定しているためである。

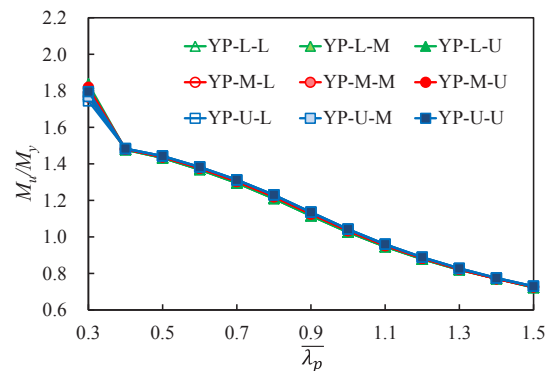
3. 3 ヤング係数の変化に着目した場合

図 9 は、終局曲げ強度 M_u/M_y と幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の関係を示す。同図(a)より、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の場合、YP-160 モデルの終局曲げ強度は YP-220 モデルに比べて最大で約 9%大きいことがわかる。また、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.4 以上の場合、各モデルの終局曲げ強度のばらつきは、最大約 2%となることがわかる。つぎに、同図(b)より、対象とした全ての $\bar{\lambda}_p$ で、RH-160 モデルの終局曲げ強度は RH-220 モデルに比べて、最大で約 6%、平均で約 4%大きくなることがわかる。また、 $\bar{\lambda}_p$ の増大に伴い、各モデルの終局曲げ強度のばらつきは小さくなることがわかる。これは、 $\bar{\lambda}_p$ が大きい板は、終局時の塑性化がほとんど生じなくなるためである。

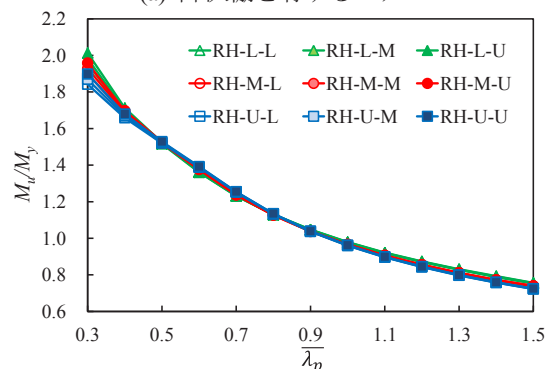
図 10 は、終局曲げ強度時の回転角 θ_{xu}/θ_y と幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の関係を示す。同図(a)より、対象とした全ての $\bar{\lambda}_p$ において、各モデルの終局曲げ強度時の回転角のばらつきは、最大で約 7%、平均で約 2%となることがわかる。つぎに、同図(b)より、対象とした全ての $\bar{\lambda}_p$ において、各モデルの終局曲げ強度時の回転角のばらつきは、最大で約 18%、平均で約 10%となることがわかる。以上より、ヤング係数の変化が板の終局強度時の回転角に及ぼす影響は、降伏棚を有さないモデルが、降伏棚を有するモデルに比べて大きいことがわかる。これは、早期に塑性化が発生する材料モデルは、剛性の変化が板の終局強度に及ぼす影響が大きくなることを意味する。

3. 4 ひずみ硬化勾配の変化に着目した場合

図 11 は、終局曲げ強度 M_u/M_y と幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の関係を示す。同図(a)より、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の場合、YP-160-EPU-6 モデルの終局曲げ強度は YP-220-EPL-6 モデルに比べて、最大約 17%大きくなることがわかる。つぎに、同図(b)より、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の場合、RH-160-EPU-4 モデルの終局曲げ強度は、RH-220-EPL-4 モデルに比べて最大約 16%大きくなることがわかる。また、同図より、ヤング係数が小

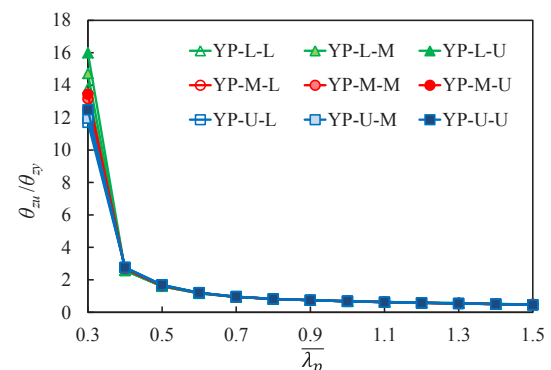


(a) 降伏棚を有するモデル

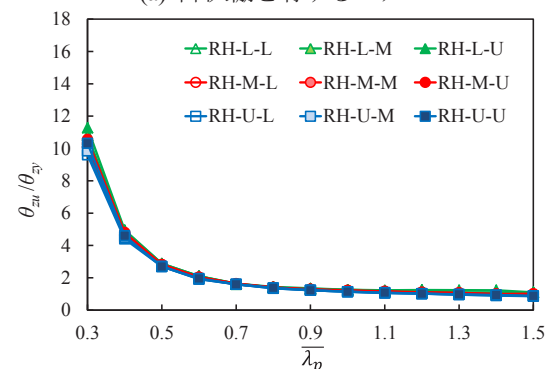


(b) 降伏棚を有さないモデル

図 7 終局曲げ強度と幅厚比パラメータの関係 (材料強度変化)



(a) 降伏棚を有するモデル



(b) 降伏棚を有さないモデル

図 8 終局曲げ強度時の回転角と幅厚比パラメータの関係(材料強度変化)

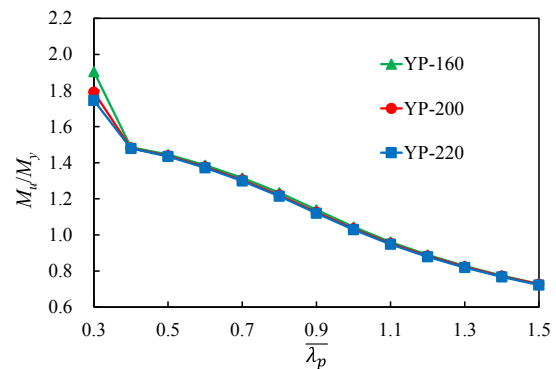
さくひずみ硬化勾配が大きいモデルは、終局曲げ強度が大きくなることがわかる。これらより、弾性域での勾配が小さく塑性域で勾配が大きいモデルは、塑性化の進行とともに応力上昇による終局強度の増大が期待できることを意味する。

図12は、終局曲げ強度時の回転角 θ_{xu}/θ_y と幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の関係を示す。同図(a)より $\bar{\lambda}_p$ が0.3の場合、YP-220-EPU-6モデルの終局曲げ強度時の回転角は、YP-220-EPL-6モデルに比べて最大約15%大きくなることがわかる。また、同図(b)の $\bar{\lambda}_p$ が0.3の場合、RH-160-EPU-4モデルの終局曲げ強度時の回転角は、RH-220-EPU-4モデルに比べて、最大約13%大きくなることがわかる。さらに、 $\bar{\lambda}_p$ が0.5以上の場合、ひずみ硬化勾配が小さいモデルの終局強度時の回転角は、大きいモデルのそれに比べて全ての結果で大きくなることがわかる。これは、ひずみ硬化勾配が小さいモデルでは、 $\bar{\lambda}_p$ が0.5以上の場合、終局強度の発現がひずみ硬化勾配の大きいモデルに比べて遅れるため、変形が大きくなることを意味する。

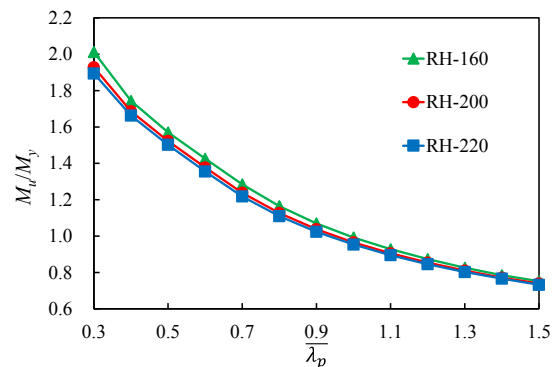
図13は、終局曲げ強度時の回転角 θ_{xu}/θ_y と幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の関係を示す。同図(a)より、 $\bar{\lambda}_p$ が0.3の場合、YP-160-EPU-6モデルの終局曲げ強度時の回転角は、YP-160-EPU-5モデルに比べて最大約2%大きくなることがわかる。また、YP-160-EPU-6モデルとYP-160-EPU-7モデルの終局曲げ強度時の回転角は、同じ大きさとなることがわかる。つぎに、同図(b)の $\bar{\lambda}_p$ が0.3の場合、RH-160-EPU-4モデルの終局曲げ強度時の回転角は、RH-160-EPU-3モデルに比べて、最大約5%大きくなることがわかる。さらに、RH-160-EPU-4モデルとRH-160-EPU-5モデルの終局曲げ強度時の回転角は、同じ大きさとなることがわかる。なお、紙面の都合により割愛した、ヤング係数が220GPaとなるモデルでは、ひずみ硬化域の考慮範囲の変化による曲げ強度特性への影響はみられなかった。以上の結果より、本研究で対象とした周辺単純支持板において、応力ひずみ関係の変化が板の曲げ強度特性に影響を及ぼす範囲は、降伏棚を有するモデルで塑性ひずみ最大6%、降伏棚を有さないモデルで最大4%までであることがわかる。

4. 終局曲げ強度評価法

図14は、終局曲げ強度 M_u/M_y と幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ の関係を示す。同図中には、式(7)および式(8)で示される既往の耐荷力曲線⁷⁾を示す。

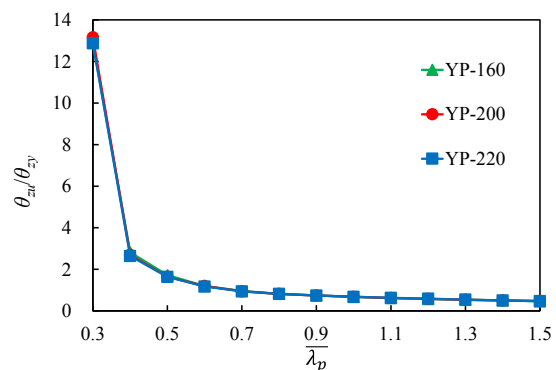


(a) 降伏棚を有するモデル

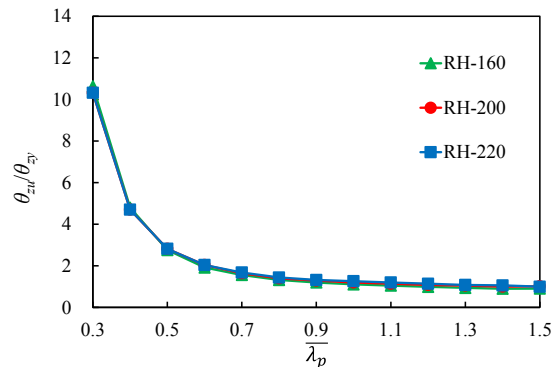


(b) 降伏棚を有さないモデル

図9 終局曲げ強度と幅厚比パラメータの関係(ヤング係数変化)



(a) 降伏棚を有するモデル



(b) 降伏棚を有さないモデル

図10 終局曲げ強度時の回転角と幅厚比パラメータの関係(ヤング係数変化)

$$\frac{M_u}{M_y} = \left(\frac{1.21}{\bar{\lambda}_p} \right)^{0.420} \quad (6), \quad \frac{M_u}{M_y} = \left(\frac{1.00}{\bar{\lambda}_p} \right)^{0.720} \quad (7)$$

ここで、同図の数値計算結果は、3章で得られた YP モデルおよび RH モデルにおける終局強度の最大値、平均値および最小値を示している。同図より、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.4 および 0.5 の場合、降伏棚を有さない各モデルの終局曲げ強度は、降伏棚を有する各モデルの終局曲げ強度を上回ることがわかる。これは、降伏棚を有さないモデルでは、0.2%耐力に達した後も連続的に応力が上昇し続けるためである。

図 15 は、本研究で得られた数値計算結果の下限値と式(7)で表される終局曲げ強度の差を示したものである。同図の縦軸は、式(7)で示される終局曲げ強度を図 14 に示す数値計算結果(下限値)で除した値を示す。同図より、本研究で得られた終局曲げ強度は、 $\bar{\lambda}_p$ とほぼ線形関係にあることがわかる。そこで、まず、RH-数値計算結果(下限値)について、式(8)で示す近似式を提案する。

$$\frac{M_u/M_y}{M_u/M_y} = -0.0836\bar{\lambda}_p + 0.1879 \quad (8)$$

つぎに、数値計算結果(下限値)を評価する耐荷力曲線は、式(7)を基本として、式(9)を用いることで表現できるとする。

$$\frac{M_u}{M_y} = \varphi(\bar{\lambda}_p) \left(\frac{1.00}{\bar{\lambda}_p} \right)^{0.720} \quad (9)$$

ここで、係数 $\varphi(\bar{\lambda}_p)$ は、終局強度が降伏強度を超えない場合は式(10)で、許容する場合は式(11)で表す。

$$\varphi(\bar{\lambda}_p) = 0.9 \quad (M_u/M_y \leq 1.0) \quad (10)$$

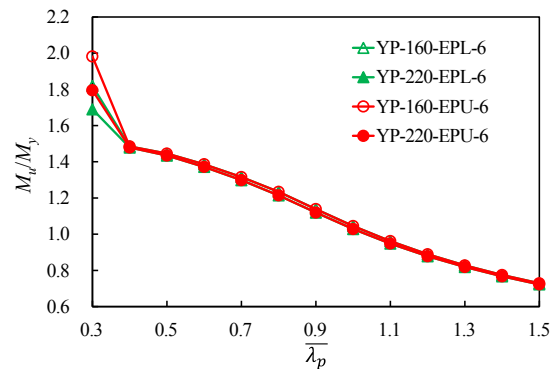
$$\varphi(\bar{\lambda}_p) = 0.81 + 0.083\bar{\lambda}_p \quad (M_u/M_y \leq 1.5) \quad (11)$$

以上で示した終局曲げ強度評価式は、降伏棚を有する材料モデルおよび有さない材料モデルを対象としたものである。図 14 より、本研究で提案する評価法は、材料モデルの降伏棚の有無に関わらず良好に適用できることが確認できる。

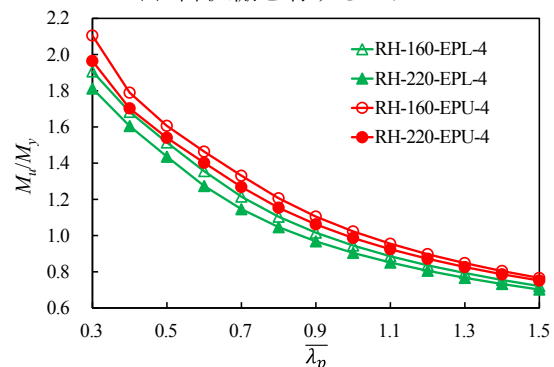
5. おわりに

本研究では、応力ひずみ関係の変化が面内純曲げ負荷を受ける周辺単純支持板の強度特性に及ぼす影響を数値計算により照査した。以下では、本研究で得られた成果をまとめる。

(1) 本研究で対象とした応力ひずみ関係の変化が周辺単純支持板の終局曲げ強度に及ぼす影響は、 $\bar{\lambda}_p=0.3$ の場合、YP-160-EPU-6 モデルが YP2 モデルに比べ

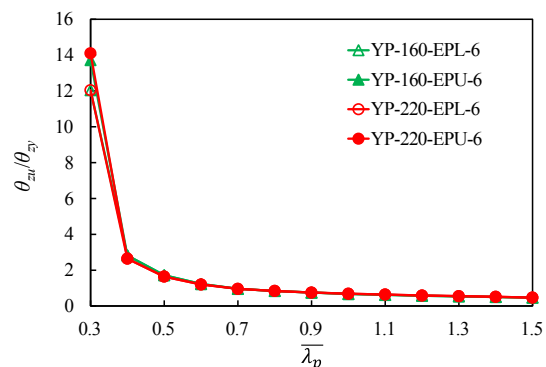


(a) 降伏棚を有するモデル

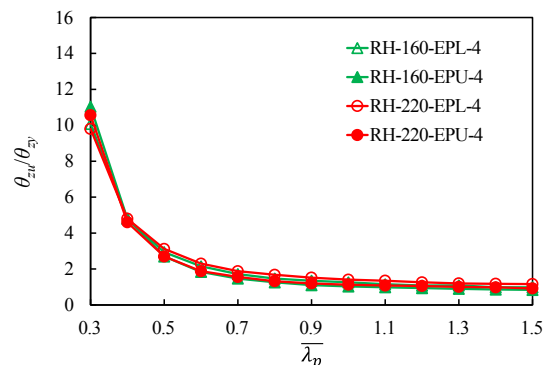


(b) 降伏棚を有さないモデル

図 11 終局曲げ強度と幅厚比パラメータの関係(ひずみ硬化勾配変化)



(a) 降伏棚を有するモデル



(b) 降伏棚を有さないモデル

図 12 終局曲げ強度時の回転角と幅厚比パラメータの関係(ひずみ硬化勾配変化)

て最大約 32%大きくなり、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.4 以上の場合、各 YP モデルの終局強度のばらつきが最大約 2%となることを明らかにした。また、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 および 0.9 の場合、RH-160-EPU-4 モデルは RH-220-EPL-4 モデルに比べて最大約 16%大きくなることを明らかにした。

(2)本研究で対象とした応力ひずみ関係の変化が周辺単純支持板の終局曲げ強度時の回転角に及ぼす影響は、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の場合、YP-L-U モデルが YP2 モデルの 3 倍程度大きくなる。また、 $\bar{\lambda}_p$ が 0.3 の場合、RH-L-U モデルは RH-U-L モデルに比べて最大約 18%大きくなる。

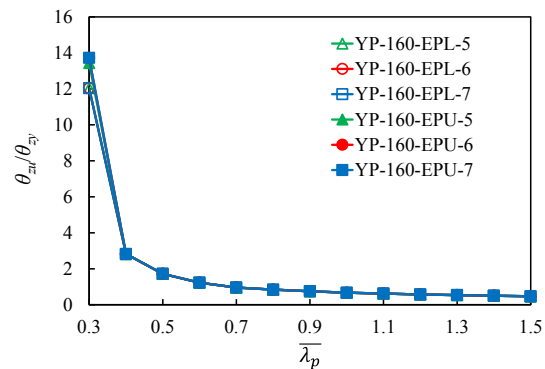
(3)本研究で対象とした周辺単純支持板において、応力ひずみ関係のひずみ硬化勾配を変化させる領域の違いが曲げ強度特性に影響を及ぼす塑性ひずみの範囲は、降伏棚を有するモデルで最大 6%，降伏棚を有さないモデルで最大 4%である。

(4) 本研究で仮定した下限値レベルの終局曲げ強度は、既往の周辺単純支持板の終局曲げ強度評価式に係数を乗ずることによって評価できることを確かめた。

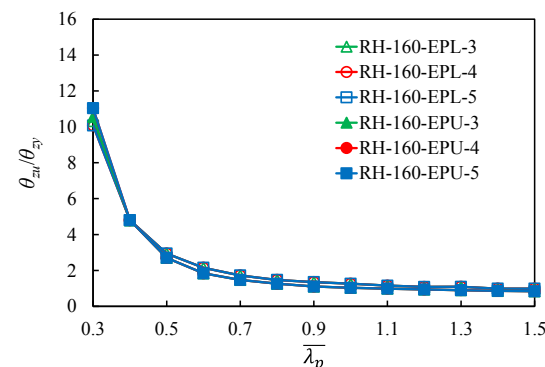
今後は、材料の応力ひずみ関係の変化が種々の負荷を受ける板の強度特性に及ぼす影響を調べ、抵抗係数等を評価する必要がある。

【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, pp. 299-310, 2004.
- 2)阿部真之介, 宮寄靖大, 奈良敬:材料の応力ひずみ関係の変化が板の圧縮強度特性に及ぼす影響, 鋼構造年次論文報告集, 第 22 巻, pp.64-71, 2014.
- 3)MSC. Software Co. : Marc User's Guide, MSC. Software Corporation, 2013.
- 4)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.
- 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.
- 6)宮寄靖大, 奈良敬:面内純曲げを受けるステンレス鋼板の強度特性, 鋼構造年次論文報告集, 第 20 巻, pp.261-268, 2012.11.
- 7)福本昤士(代表者):鋼骨組み構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究, 平成元年度科学研究費(総合研究 A)研究成果報告書(課題番号: 62302040), 1990.



(a) 降伏棚を有するモデル



(b)降伏棚を有さないモデル

図 13 終局曲げ強度時の回転角と幅厚比パラメータの関係(考慮範囲変化)

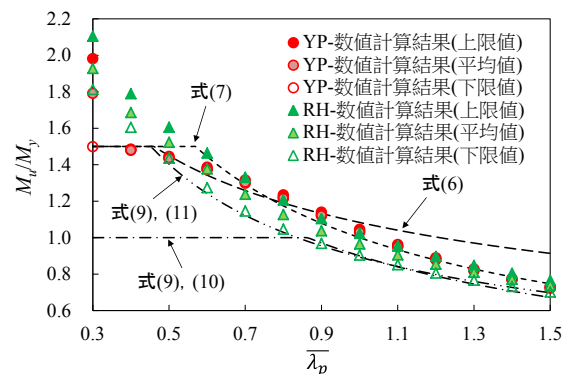


図 14 提案する終局曲げ強度評価法

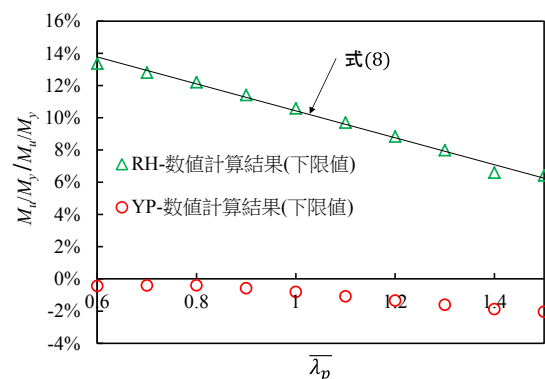


図 15 数値計算結果と耐荷力曲線の比較