

Cr-Ni系ステンレス鋼および構造用炭素鋼で構成されるI形断面梁の曲げ強度特性

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○和田 勇輝
 長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大

1. はじめに

ステンレス鋼は、構造用炭素鋼に比べて優れた耐食性を有するため、長期的供用が期待される橋梁部材に用いることで、ライフサイクルコストの低減が可能となる。しかし、ステンレス鋼のみで構成される構造物は、従来から使用されている炭素鋼製に比べて初期費用が大きくなることが予測できる。その解決策として、腐食環境が厳しい部材のみをステンレス鋼とした適材適所の利用が挙げられる。

本研究では、Cr-Ni系ステンレス鋼と炭素鋼で構成されるI形断面梁の純曲げ強度特性を数値計算¹⁾によって明らかにすることを目的とする。

2. ハイブリッドI形断面梁の数値計算法

本研究では、オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304, SUS304N2, 二相系ステンレス鋼 SUS329J3L およびこれらのステンレス鋼と同程度の材料強度を有する構造用炭素鋼 SM400, SM490Y, SM570 で構成されるI形断面梁を対象とする。表1は、対象材料の機械的性質²⁾を示す。また、図1は、対象材料の応力ひずみ関係²⁾を示す。同図より、ステンレス鋼は、明確な降伏点を有さないため塑性開始点を0.01%耐力、降伏応力を0.2%耐力とする。

図2は、本研究で対象とするI形断面梁の形状を示す。梁の断面は、上下フランジを自由突出板4枚で、腹板を周辺単純支持板1枚で構成されるものとする。これらの板の寸法は、文献3)と同様にする。そして、上下フランジおよび腹板の板厚 t_f および t_w は、式(1)に示す幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{pf}$ および $\bar{\lambda}_{pw}$ から決定する。表2は、これらの幅厚比パラメータの組合せを示す。

$$\bar{\lambda}_{pf} = \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{\sigma_{yf} 12(1-\nu^2)}{E_f \pi^2 k_f}} \quad , \quad \bar{\lambda}_{pw} = \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{\sigma_{yw} 12(1-\nu^2)}{E_w \pi^2 k_w}} \quad (1.a,b)$$

ここで、 σ_{yf} および σ_{yw} は上下フランジおよび腹板の降伏応力を、 k_f および k_w は上下フランジおよび腹板の座屈係数を意味する。なお、 k_f は0.425とし、 k_w は文献3)と同様にして決定する。そして、数値計算モデルに考慮する初期不整は、溶接残留応力および初期たわみを考慮する。これらの初期不整は、文献3)と同様にして与える。

上述のI形断面梁の数値計算モデルは、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、I形断面梁両端部の中立軸の位置における2つの節点で、X軸回りの強制回転角 θ_x を与える。表3は、本研究で対象とする全24パターン断面構成を示している。

3. ハイブリッドI形断面梁の純曲げ強度特性

図3は、I形断面梁の終局曲げ強度と幅厚比パラメータの関係を示す。

キーワード Cr-Ni系ステンレス鋼 ハイブリッドI形断面梁 純曲げ負荷 終局曲げ強度

連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888番地 TEL 0258-34-9439

表1 対象とする材料の機械的性質²⁾

鋼種	降伏応力 σ_y (MPa)	0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	0.01%耐力 $\sigma_{0.01}$ (MPa)	弾性係数 E (Gpa)	ポアソン比 ν
SUS304	—	261	146	157	0.3
SUS304N2	—	402	253	173	0.3
SUS329J3L	—	533	346	202	0.3
SM400	249	—	—	200	0.3
SM490Y	388	—	—	200	0.3
SM570	504	—	—	200	0.3

表2 幅厚比パラメータの組合せ

$\bar{\lambda}_{pf}$	$\bar{\lambda}_{pw}$
0.5	0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5
0.7	0.9, 1.1, 1.3, 1.5
0.9	1.1, 1.3, 1.5

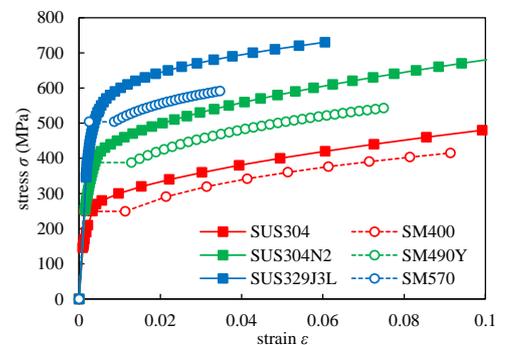


図1 対象とする材料の応力ひずみ関係²⁾

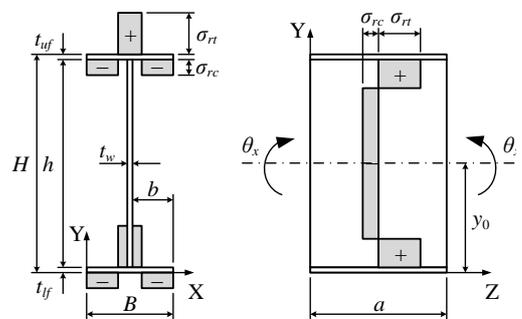


図2 純曲げ負荷を受けるI形断面梁

表3 対象とするI形断面梁の断面構成

モデル名	上フランジ	腹板	下フランジ	モデル名	上フランジ	腹板	下フランジ	モデル名	上フランジ	腹板	下フランジ
HOSM40	SM400	SM400	SM400	HOSM49	SM490Y	SM490Y	SM490Y	HOSM57	SM570	SM570	SM570
MHY40-40-04			SUS304	MHY49-49-N2			SUS304N2	MHY49-N2-N2			SUS304N2
MHY40-04-04		SUS304	SM400	MHY49-N2-49		SUS304N2	SM490Y	MHY57-J3L-57		SM570	SM570
MHY04-04-04			SUS304	MHYN2-49-49			SUS304N2	MHYJ3L-57-57			SUS329J3L
MHY04-40-04	SUS304	SM400	SM400	MHYN2-49-N2	SUS304N2	SM490Y	SM490Y	SUS329J3L	SM570	SM570	
MHY04-04-04			SUS304	MHYN2-49-N2			SUS304N2			MHYJ3L-57-57	SUS329J3L
HOS304		SUS304	SUS304	HO304N2		HO304N2	SUS304N2		SUS304N2	HO329J3L	SUS329J3L

示す。同図の縦軸は、数値計算により得られた終局曲げモーメント M_u を式(2)⁴⁾で定義するハイブリッド降伏曲げモーメント M_{yh} で除した値を、横軸は腹板の幅厚比パラメータを示す。ここで、式(2)の M_{yh} は、上フランジと下フランジを構成する材料の材料強度が小さい方が先に降伏するとして、圧縮先行降伏または引張先行降伏を仮定した式を用いている。

$$M_{yh} = \begin{cases} \frac{\sigma_{yf} A_f H}{6} [6 + \beta \psi (3 - \psi) - \beta \psi (1 - \alpha)^2 (3 - \psi + \psi \alpha)] & (\sigma_{yf} \leq \sigma_{yw}) \\ \frac{\sigma_{yw} A_w H}{6} [6 + \beta \psi (3 - \psi) + \beta \psi (1 - \alpha)^2 (3 - \psi + \psi \alpha)] & (\sigma_{yf} > \sigma_{yw}) \end{cases} \quad (2.a, b)$$

$$\sigma_{yf} = \min(\sigma_{yuf}, \sigma_{yif}), \quad \psi = \min\left(\frac{y_0}{H}, \frac{H - y_0}{H}\right) \quad (3), (4)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_{yw}}{\sigma_{yf}}, \quad \beta = \frac{A_w}{A_f} \quad (5), (6)$$

ここで、 A_f および A_w はフランジおよび腹板の断面積を、 α および β はフランジと腹板の降伏応力および断面積の比を、 ψ はI形断面梁上端または下端から中立軸までの高さと同断面梁の高さの比を意味する。同図より、上フランジをステンレス鋼、下フランジを炭素鋼としたI形断面梁の終局曲げ強度は、炭素鋼のみのI形断面梁と同程度以上の強度を有することがわかる。また、上フランジを炭素鋼、腹板および下フランジをステンレス鋼としたI形断面梁の終局曲げ強度は、炭素鋼のみの結果に比べて約89%から約102%の大きさとなる。これは、終局曲げ強度時の炭素鋼のみのI形断面梁が全断面において部分的な塑性化が発生していることに対し、上フランジを炭素鋼、腹板および下フランジをステンレス鋼としたI形断面梁の終局曲げ強度時には、上フランジのみでの塑性化が見られ、引張領域となる腹板や下フランジでのひずみ硬化に伴う強度上昇が発現しないためである。

4. おわりに

本研究で得られた内容はつぎのとおりである。(1) 上フランジをステンレス鋼、下フランジを炭素鋼としたI形断面梁の終局曲げ強度は、炭素鋼のみのI形断面梁と同程度以上の強度を有する。(2) 上フランジを炭素鋼、腹板および下フランジをステンレス鋼としたI形断面梁の終局曲げ強度は、炭素鋼のみのI形断面梁の結果に比べて約89%から約102%の大きさとなる。

参考文献

1) MSC. software Co. :Marc User's Guide, Software Corporation, 2013. 2) 宮寄靖大, 奈良敬 : 無補剛ステンレス鋼圧縮版の座屈照査法, 構造工学論文集, Vol56A, pp.122-134,2010. 3) 和田勇輝, 宮寄靖大 : SUS410L および SM400 製 I 形断面梁の曲げ強度特性, 第 33 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会, pp.72-75,2015. 4) Report of the Subcommittee 1 on Hybrid Beams and Girders Joint ASCE-AASHO Committee on Flexural Members : DESIGN OF HYBRID STEEL BEAMS, Journal of the STRUCTURAL DIVISION Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol.94 No.6, pp.1397-1426, 1968.

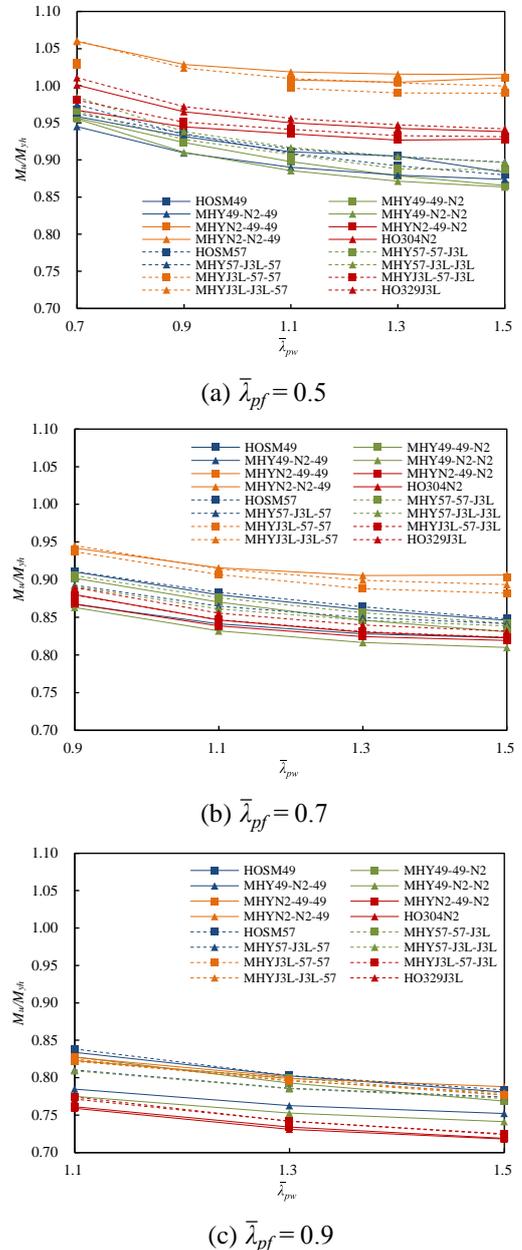


図3 I形断面梁の終局曲げ強度