

SM570 と SUS329J3L を組合せたハイブリッド長柱の圧縮強度特性

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○堀澤 英太郎
長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大

1. はじめに

長期間供用された鋼橋の損傷のひとつは、腐食である。腐食による損傷は、桁端部やトラス格点部など構造物の中でも発生しやすい部位が存在する。この腐食損傷を防ぐ手段としては、耐食性に優れた材料の使用が考えられる。ステンレス鋼は、クロムを含有することで優れた耐食性を有する材料である。一方、ステンレス鋼の材料費用は炭素鋼に比べて高価なため、ステンレス鋼を構造物全体に用いた場合、初期費用の増大が懸念される。これらのことから、腐食環境の厳しい箇所をステンレス鋼、その他を炭素鋼とした断面構成や部材配置が良策であるといえる。そこで本研究では、柱部材両端を SUS329J3L としたハイブリッド正方形断面柱の圧縮強度特性を数値計算¹⁾により明らかにする。

2. 数値計算法

本研究で対象とする材料は、二相系ステンレス鋼 SUS329J3L および炭素鋼 SM570 である。表 1 はこれら材料の機械的性質を示す²⁾。表中の記号は、 E がヤング係数、 $\sigma_{0.2}$ が 0.2%耐力、 σ_y が降伏応力、 $\sigma_{0.01}$ が 0.01%耐力、 ν がポアソン比を意味している。同表より、これら材料は同程度の材料強度を有することがわかる。また、図 1 は既往の材料試験結果より得られたこれら材料の応力ひずみ関係を示す²⁾。同図より、SUS329J3L の応力ひずみ関係は明確な降伏棚を持たず、ひずみの増大に伴い応力が連続的に上昇することがわかる。このため、数値計算では、ステンレス鋼の塑性開始点を 0.01%耐力とし、同図に基づく応力塑性ひずみ関係を使用する。

図 2 は、本研究で対象とする正方形断面柱の形状を示す。まず、柱断面幅 b を 300 mm とし、部材長 L および板厚 t を式 (1) で示す細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ および式 (2) で示す幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_p$ により決定する。

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

ここで、 σ_F は材料強度 (SUS329J3L では $\sigma_{0.2}$ 、SM570 では σ_y)、 L_e は有効座屈長、 r は断面 2 次半径、 k は座屈係数 (=4) である。なお、 $\bar{\lambda}$ は 0.1 から 2.0 まで 0.1 刻みで変化させて部材長 L を決定し、 $\bar{\lambda}_p$ は断面を構成する板の局部座屈を防ぐため 0.3 として t を決定する。また、初期不整として初期たわみのみを考慮し、その最大値 V_{0max} が $L/1000$ となる sin 半波形として、図 2 で示す Y 軸方向に与える。このように

表 1 対象材料の機械的性質²⁾

鋼種	E(GPa)	$\sigma_{0.2}$ or σ_y (MPa)	$\sigma_{0.01}$ (MPa)	ν
SUS329J3L	202	533	346	0.30
SM570	206	504	—	0.30

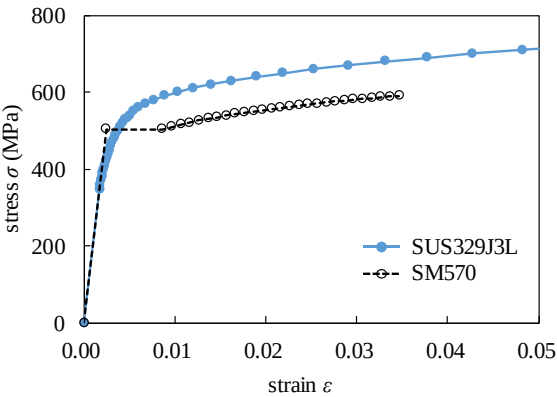


図 1 対象材料の応力ひずみ関係²⁾

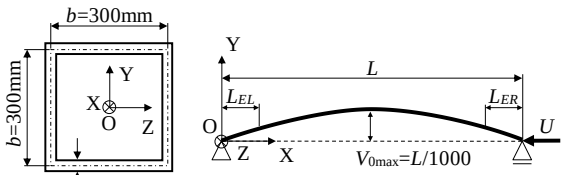


図 2 正方形断面柱

表 2 材料の組み合わせ

モデル名	主柱部材	柱両端部材	両端部長さ ($L_{EL}+L_{ER}$) /柱全体長さL
J3L	SUS329J3L	—	—
SM57	SM570	—	—
SM57-J3L-0.1 (0.2,0.3,0.4,0.5)	SM570	SUS329J3L	0.1-0.5 (0.1刻み)

キーワード SUS329J3L, SM570, ハイブリッド長柱, 終局圧縮強度

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 TEL. 0258-34-9439

して決定した正方形断面柱は、X 軸方向に 20 分割し、3 節点梁要素を用いて有限要素離散化を行う。そして、数値計算モデルにおける柱の境界条件は、両端単純支持とし、図 2 で示す X 軸方向に強制変位 U を与える。

表 2 は、本研究で対象とする正方形断面柱を構成する材料の組み合わせを示す。同表中のモデル名は、主要柱部材および柱両端部材の順に、柱を構成する材料を表している。部材両端を SUS329J3L としたハイブリッド長柱は、柱全体長さ L に対する両端部の長さ ($L_{EL}+L_{ER}$) の比を 0.1 から 0.5 まで 0.1 刻みで変化させて決定する。

3. 数値計算結果

図 3 は、数値計算により得られた $\bar{\lambda}=0.4, 1.2$ および 2.0 の場合の荷重と変位の関係を示す。同図の縦軸は数値計算により得られた荷重 P を降伏または 0.2%耐力時の荷重 P_F で無次元化した値、横軸は数値計算で与えた圧縮変位 U を降伏または 0.2%耐力時の変位 U_F で無次元化した値を表す。同図より、荷重と変位の関係における初期勾配から 2 次勾配への変化は、部材長に対する SUS329J3L の割合の増大に伴い、大きくなることがわかる。これは、SUS329J3L が 0.01%耐力から非線形性を示す応力ひずみ関係を有するためである。

図 4 は、終局圧縮強度と細長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長柱の終局圧縮強度 P_u を降伏または 0.2%耐力時の荷重 P_F で無次元化した値を表す。なお、同図中には比較のため、道路橋示方書 (溶接箱形断面柱)³⁾ およびステンレス構造建築協会 (中心圧縮柱)⁴⁾ の耐荷力曲線を示す。同図より、SM57-J3L-0.1, SM57-J3L-0.2 および SM57-J3L-0.3 の全ての $\bar{\lambda}$ における終局圧縮強度の平均は、SM57 の約 99.9%, 99.8% および 99.4% となることがわかる。この結果から、これらの部材構成としたハイブリッド長柱の終局圧縮強度は、炭素鋼製柱と同等に評価できると考える。一方、SM57-J3L-0.4 および SM57-J3L-0.5 の終局圧縮強度は、 $\bar{\lambda}=0.5$ から 1.3 の範囲で SM57 との差が大きくなり、SM57-J3L-0.5 の $\bar{\lambda}=0.9$ の場合に SM57 の約 91.5% の大きさとなる。

4. おわりに

本研究で得られた結果は次の通りである。

- (1) SM570 と SUS329J3L で構成されるハイブリッド長柱の荷重と変位の関係は、部材長に対する SUS329J3L の割合の増大に伴い、初期勾配から 2 次勾配への変化が大きくなる。
- (2) 部材長に対する SUS329J3L の割合が 30%以下の SM570 と SUS329J3L で構成されるハイブリッド柱の終局圧縮強度は、SM570 のみで構成される長柱の 99.4%以上となる。

参考文献

- 1) MSC. Software Co.: Marc User's Guide, MSC. Software Corporation, 2014.
- 2) 宮寄靖大, 奈良敬: 無補剛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) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編 II 鋼橋編, 丸善, 2012.
- 4) ステンレス構造設計基準作成委員会: ステンレス建築構造設計基準・同解説 (第 2 版), ステンレス構造建築協会, 1995.

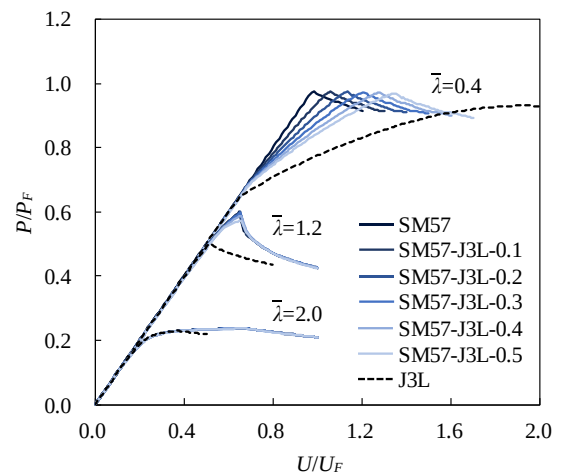


図 3 荷重と変位の関係

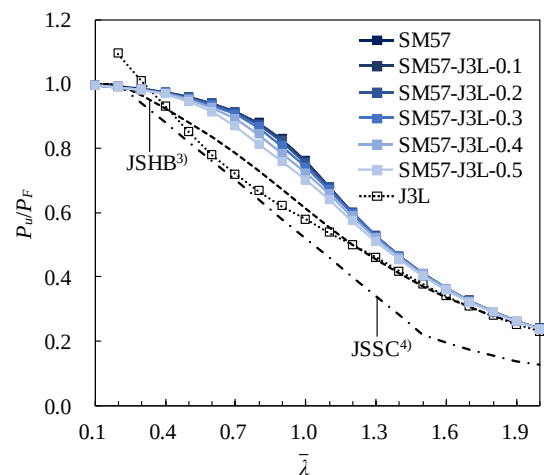


図 4 終局圧縮強度と細長比パラメータの関係