

シェル要素を用いた繰返し水平荷荷を受ける鋼製変断面柱の力学的挙動に関する解析的研究

長岡工業高等専門学校 正会員 ○木村 宥斗
 長岡工業高等専門学校 正会員 加藤 尚希
 長岡工業高等専門学校 正会員 宮寄 靖大
 大同大学名誉教授 正会員 酒造 敏廣

1. はじめに

我が国における供用中の吊橋や斜張橋などの長大橋の主塔および鋼製橋脚には、柱の長さ方向に断面が変化する変断面構造が多く採用されている。このような鋼製変断面柱の設計性能照査では、一般に簡易的な等断面のモデルに置換され、数値計算が行われている。酒造¹⁾は、鋼製変断面柱を剛体ばね要素によってモデル化し、定軸力または軸力変動作用下で水平繰返し荷荷を受ける際の力学的挙動を調べている。この中で、軸力下において水平力を受ける鋼製変断面柱は、断面構成により正負の繰返しにおいて塑性変形の集中箇所が交番する不安定挙動を示すことを明らかにしている。

本研究では、鋼製変断面柱をシェル要素でモデル化し、複合非線形性を考慮した非線形有限要素解析により、その力学的挙動を明らかにすることを目的とする。

2. 数値計算モデル

本研究で対象とする柱を図1に示す。同図のように対象とする変断面柱は、断面変化点($k=0.4$)の下側を柱基部(sec.1)、上側を柱上部(sec.2)として断面を変化させる。変断面柱形状は、式(1)の細長比パラメータを固定し、柱高さ h を決定した。

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y kh}{E r}} \quad (1)$$

ここで、 r はsec.1の断面二次半径($=\sqrt{I/A}$)を、 σ_y は鋼材の降伏応力($=335\text{MPa}$)を、 E はヤング係数($=206\text{GPa}$)を意味する。また、式中の k は式(2)で示す変断面柱の有効座屈長係数²⁾を意味する。

$$k = \sqrt{0.4 + 0.6 \frac{l_1}{l_2} - \frac{1}{\pi} \left(\frac{l_1}{l_2} - 1 \right) \sin 0.4\pi} \quad (2)$$

変断面柱の断面形状は、図1(b)に示すように、フランジおよび腹板の幅($B=D$)を750mmとした中空正方形断面とし、sec.1とsec.2の板厚 t_i を変化させる。断面を構成する板厚は、式(3)の幅厚比パラメータを用いて決定した。

$$\bar{\lambda}_{pi} = \frac{b}{t_i} \sqrt{\frac{\sigma_y 12(1-\nu)^2}{E k_p \pi^2}} \quad (3)$$

ここで、 b は断面の板幅($B=D$)、 ν はポアソン比($=0.3$)、 k_p は板の座屈係数($=4.0$)である。

本研究で対象とする鋼製変断面柱は初期不整を考慮せず、応力ひずみ関係については図2に示すようなBilinear型かつ等方移動硬化則を仮定し、von Misesの降伏条件に従うものとする。また、対象とする柱に与える荷荷条件は、図1(a)に示すようにsec.2の全断面降伏軸力 N_{y2} の0.3倍とするとともに、 X 軸方向に、柱の降伏変位 δ_y の ± 3.0 倍を24サイクル作用させる。対象の柱は4節点厚肉シェル要素を用いて有限要素離散化する。さらに、表1に本研究で

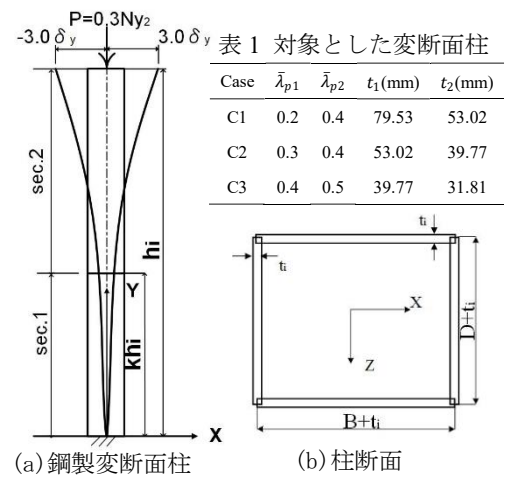


図1 対象の鋼製変断面柱

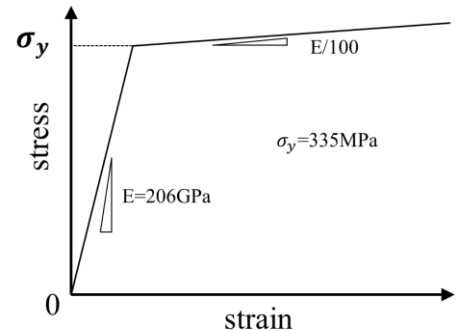
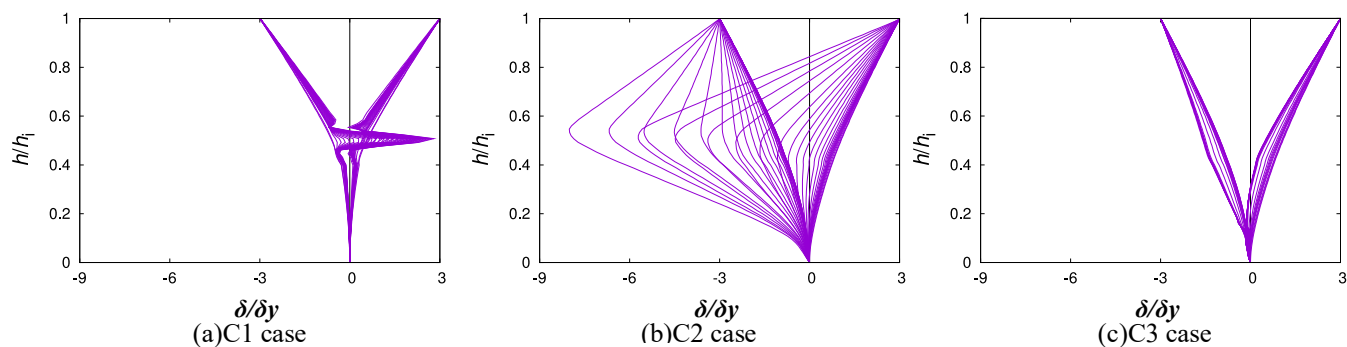


図2 応力ひずみ関係

キーワード 鋼製変断面柱, 不安定現象, 有限要素, シェル要素

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

図4 $\pm 3.0\delta_y$ 時の変形形状

対象とした解析パターンを示す。以上の数値計算は、複合非線形性を考慮し、汎用解析ソルバーMarc³⁾にて行う。

3. 数値計算結果

図3は、本研究で対象とした鋼製変断面柱の繰返し毎の最大荷重比について示す。同図の縦軸は $\pm 3.0\delta_y$ 時の荷重 H_{maxi} について初期の最大荷重 H_{max1} で無次元化した値を、横軸は繰返し回数を表している。同図より、C2モデルでは、繰返し回数が35付近において、不安定現象が発現したことによる急激な荷重の低下が確認できる。

図4は、鋼製変断面柱の $\pm 3.0\delta_y$ 作用時の柱全体の変形形状を示す。同図の縦軸は対象とした鋼製変断面柱の各節点位置の y 座標値 h_i を柱全体の高さ h で無次元化した値を、横軸は柱断面を構成する矩形断面の4箇所の頂点に位置する節点変位を平均して表した値 δ を柱の降伏変位 δ_y で無次元化した値を表している。同図(a)より、柱の断面変化点上部で大きく変形し局部座屈が発生している(Yモード)。また、同図(b)のC2ケースでは、断面変化点と柱基部を起点として柱全体が大きく変形(Sモード)し、不安定現象の発現が見られた。そして、同図(c)のC3ケースでは、柱基部で変形が現れるVモードを示した。

図5は、数値計算によって得られた柱基部から断面変化点上部までの柱部位について、22サイクル時点の全相当塑性ひずみを等高線図で示す。なお、変形倍率は1.0倍としている。C1モデルでは図4(a)で示したように、断面変化点での局部座屈の発生による変形が顕著であり、断面変化点での塑性ひずみの蓄積が大きいことがわかる。また、C2モデルでは断面変化点および柱基部での局部座屈が発生している。そして、C3モデルでは柱基部での塑性ひずみの蓄積が確認できる。

4. おわりに

本研究は、鋼製変断面柱を4節点厚肉シェル要素でモデル化し、繰返し負荷時の力学的挙動を調べた。本研究では、対象とした鋼製変断面柱のC2モデルにて、不安定現象が発現することを明らかにした。このような不安定現象を呈する変断面柱は、柱基部および断面変化点にて塑性ひずみが蓄積して、局部座屈が発生する状況においても塑性変形箇所が交番し、変形が大きく発生するとともに、耐荷力の急激な低下が生じることが確認できた。

本研究は、日本鉄鋼連盟2019年度「鋼構造研究・教育助成事業」により実施したものです。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1)酒造敏廣：繰返し水平力を受ける鋼製変断面片持ち柱の崩壊メカニズムの変動特性，土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 73, No. 4 (地震工学論文集第36巻)，I9-I18, 2017. 2)Stephen P. Timoshenko, James M. Gere：THEORY OF ELASTIC STABILITY Second Edition Graw Hill, pp.113-116,1961. 3)MSC. Software Co.: Marc User's Guide, MSC. Software Corporation, 2014.

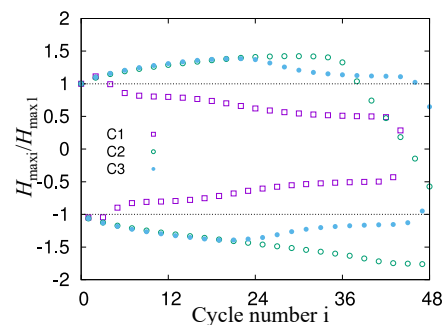
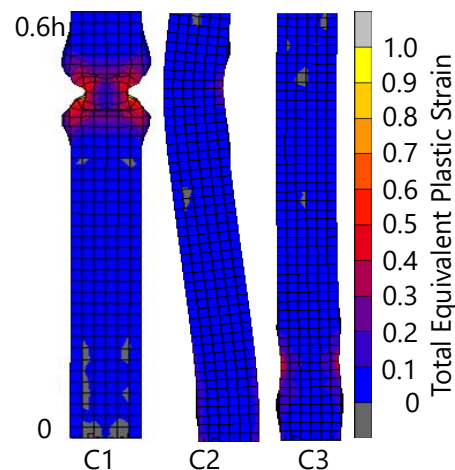
図3 $\pm 3.0\delta_y$ 時の最大荷重比

図5 全相当塑性ひずみ分布