準 静 的 負 荷 を 受 け る 3 次 元 梁 ま た は シェル 要 素 で モ デ ル 化 し た 鋼 変 断 面 柱 の 応 答 特 性

長岡工業高等専門学校 正会員 ○宮嵜 靖大 大同大学名誉教授 正会員 酒造 敏廣

1. はじめに

我が国に現存する長大橋の主塔や鋼製橋脚は,柱長さ方向に断面が変化する変断面柱形状を 有するものが大半である.このような変断面柱に対して,常時作用する軸力と地震時等の繰り返 し荷重が同時に作用した場合,変断面柱を構成する形状によっては,不安定な挙動を示すことが 明らかにされている¹⁾.

本研究では,柱基部と柱上部における断面を構成する板の幅厚比パラメータを変化させた変 断面柱を対象に,定軸力下で繰り返し負荷を受ける際の挙動を,3次元梁要素およびシェル要素 でモデル化した有限要素解析を実施し,不安定挙動の発現を調べる.

2. 鋼 変 断 面 柱 形 状

図1は、本研究で対象とした鋼変断面柱を示す. 同図の変断面柱は、SM400で構成されるものとし、その材料特性値および解析に用いる応力関係を、図2に示す. 図中の記号は、Eがヤング係数を、 σ_y が降伏応力を、 ν がポアソン比を意味する. まず、変断面柱の柱長さhは、式(1)に示す細長比パラメータ $\overline{\lambda}$ を0.4に固定して決定した.

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \frac{k_c h}{r} \tag{1}$$

ここで, k_cは式(2)で表す有効座屈長係数, rは柱基部側の断面2次半径である.

$$k_c = \sqrt{0.4 + 0.6\frac{I_1}{I_2} - \frac{1}{\pi}\left(\frac{I_1}{I_2} - 1\right)\sin 0.4\pi} \tag{2}$$

ここで、 I_1 および I_2 は柱基部および柱上部の断面2次モーメントである.つぎに、柱長さ方向で断面を変化させるため、式(3)で表す柱基部 sec.1 および柱上部 sec.2 の断面を構成する板の幅厚比パラメータ $\bar{\lambda}_{ni}$ を変化させて決定する.

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

ここで,各記号の添字*i*は柱基部(=1)または柱上部(=2)を,*b*は板の 支持間隔(図1中のB = D = 750mm), *t_i*は各断面の板厚を,*k_p*は板の座 屈係数(=4)である.本研究では, $\bar{\lambda}_{p1} = 0.2$ で固定し, $\bar{\lambda}_{p2}$ を0.2から0.5 の範囲で0.1刻みで変化させた.このように決定した鋼変断面柱を, 2節点梁要素または4節点シェル要素を用いて有限要素離散化した解 析モデルを作成した.解析モデルでは,柱軸方向に柱基部を構成す る断面の板幅と同じ間隔でダイアフラムを設けることで,柱軸方向 の捩りを拘束した.

解析における負荷条件は、柱頭頂部にて、柱上部断面の降伏荷重の30%を軸力として作用させるとともに、この軸力を考慮した上での柱基部断面の降伏荷重に相当する水平変位*δy*の±2.7倍とした強制変位を20サイクル与える.

定軸力を受ける鋼変断面柱の準静的挙動

図3は、対象とした鋼変断面柱の荷重と変位の関係を示す.同図の 縦軸は解析で与えた水平荷重Hを、軸力を考慮した対象柱の降伏水 平荷重H_uで正規化した値を、横軸は柱頭頂部の水平変位δを対象柱

キーワード 鋼変断面柱,準静的負荷,非線形有限要素解析,不安定現象 連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町888 TEL 0258-34-9439



図1変断面柱形状



図2材料特性



の降伏水平変位*δ_y*で正規化した値を示す. なお, 同図中には, 変断面柱の変形として柱基部での 塑性化の進展により現れるVモードおよび断面変化点での塑性化の進展により現れるYモード が発現する領域¹⁾を線で表している. 等断面柱となる同図(a)では, 梁モデルおよびシェルモデル ともに, 安定した荷重変位関係を示すことがわかる. つぎに, 同図(b), (c)では, 梁モデルおよび シェルモデルともに, YおよびVモードが発現する荷重の大きさを超える荷重が発生している. 一 方, 同図(d)では, シェルモデルがVモードの荷重の大きさに到達しない結果に対して, 梁モデル がVモードを超える荷重となることが確認できる. VおよびYモードの発生荷重を超える応答を 示す場合には, 変断面柱の不安定現象が発現する可能性がある.

図4は、対象とした変断面柱の±2.75y時の柱全体の変形形状を示す. 同図の縦軸は柱長さ方向の 位置yを柱全体の長さhで正規化した値を、横軸は柱の水平変位δを柱の降伏変位δyで正規化した 値を表す. なお、同図のシェルモデルの結果については、対象とした柱の柱基部から頭頂部までの 矩形断面の4つの頂点の節点変位を平均して表している. 同図(a)の等断面柱では、梁およびシェ ルモデルともに、ほぼ同様の変形を示している. そして、同図(d)では、断面変化点での損傷が大 きく現れており、シェルモデルにてその状況が明確に現れている. 一方、同図(b)および(c)では、 梁モデルとシェルモデルの柱の変形形状が大きく異なることが分かる. これは、局部座屈の影響 が考慮できるシェルモデルが、局所的な断面の損傷を評価できることに対して、梁モデルでは要 素内部での塑性化の蓄積とともに、変形による幾何学的非線形性が大きくなり、過度な複合非線 形性が生じることによるものと考える. しかしながら、図4(b)では、シェルモデルにおいても、断 面変化点と柱基部での損傷が発現する荷重となっているため、僅かに不安定な挙動を示している ことが確認できる.

4. おわりに

本研究では、SM400製変断面柱を対象に、軸力と水平力を受ける際の挙動を、梁モデルおよび シェルモデルで有限要素離散化した解析で調べた.本研究の成果をまとめる.対象とした変断面 柱を梁要素でモデル化した応答特性は、顕著な不安定挙動を示す結果が見られたものの、シェル 要素でモデル化した場合には不安定挙動がほとんど発現しなかった.

謝 辞

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:繰り返し水平力を受ける鋼変断面片持ち柱の弾塑性挙動に関する研究,土木学会論 文集,No.446,pp.127-136,1992.2)土木学会鋼構造委員会座屈設計ガイドライン改定小委員会:鋼構造リシー ズ12座屈設計ガイドライン改訂第2版[2005年改訂版],土木学会,2005.