

静的軸圧縮力を受ける変断面鋼管短柱の静的局部座屈強度

防衛大学校 ○正会員 森 雅美 武蔵工業大学 フェロー 増田陳紀 防衛大学校 正会員 香月 智

1. はじめに

先の兵庫県南部地震（1995.1.17）では、鋼製円筒橋脚の断面変化部直上での環状の軸対称局部座屈現象¹⁾など衝撃的上下動で説明し得る被災例が多く見受けられた。このような観点から、鋼管座屈耐力について基礎的に検討することが重要と思われる。本研究は、静的軸圧縮力を受ける変断面鋼管短柱の複合非線形静的解析により静的局部座屈荷重に及ぼす径厚比、径長比と板厚比の3つの幾何パラメータの影響を検討したうえで、変断面鋼管短柱の静的局部座屈強度の算定式について考察するものである。

2. 解析対象と解析モデル

解析対象は、阪神高速神戸3号線の鋼製円筒橋脚（P-584 海側）の局部座屈の発生したダイアフラム間の変断面円筒シェルを模擬した図-1に示す変断面鋼管短柱であり、管長 l の中央（ $l_1=l_2=l/2$ ）に断面変化部を有している。変断面鋼管短柱の幾何形状と荷重条件および対象とする変形の対称性から、図-2に示すように手前の1/2を解析モデルに設定し、管壁の中立軸位置に1要素4節点で1節点6自由度（変位： u, v, w 、回転角： $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ ）の4節点シェル要素を配置した3次元の要素分割を行った。解析モデルの板厚方向は11層分割、円周方向は20等分割とした。軸方向は、薄肉側上部（管長： l_1 、板厚： t_1 ）と断面変化部の板厚が遷移する領域（0.5mm）を除いた厚肉側下部（管長： l_2 、板厚： t_2 ）では要素長を2mmとした。材料は、表-1に示す材料定数を持つ軟鋼SS400を想定した。表中、 E は縦弾性係数、 ν はポアソン比、 σ_y は降伏応力、また E_t は塑性領域の接線係数を示す。幾何学的境界条件は、解析モデルの両端部の全自由度（ただし下端部の軸方向には後述のように強制変位を与える）を固定（ $u=v=w=\theta_x=\theta_y=\theta_z=0$ ）とし、荷重条件は下端部の全節点の軸方向への一様強制変位入力により軸圧縮力を負荷した。

検討パラメータを表-2に示す。解析モデルの外径は $D=140\text{mm}$ に固定し、幾何パラメータはP-584海側橋脚のもの（径厚比： D/t_1 105、径長比： l/D 0.91、板厚比： t_2/t_1 1.33）を包含するよう、径厚比を $D/t_1=70\sim110$ の間で10刻み、径長比を $l/D=0.8\sim1.0$ の間で0.1刻み、また板厚比を $t_2/t_1=1.0\sim1.5$ の間で0.1刻みで計90ケース変化させた。各ケースともvon Misesの降伏関数と関連流動則に従う等方硬化則を用いた弾塑性構成則により材料非線形性を、またUpdated Lagrange法により幾何学的非線形性を考慮した複合非線形静的解析を行った。なお、数値解析には汎用非線形構造解析プログラムMSC.Marc2001²⁾を用いた。

3. 解析結果と考察

(1)局部座屈荷重

解析結果の一例として、図-3に板厚比 $t_2/t_1=1.3$ の場合の局部座屈荷重～径長比（ $P_{cr}\sim l/D$ ）関係を径厚比 D/t_1 をパラメータとして、図-4に径厚比 $D/t_1=100$ の場合の局部座屈荷重～板厚比（ $P_{cr}\sim t_2/t_1$ ）関係を径長比 l/D をパラメータとして、また図-5に板厚比 $t_2/t_1=1.3$ の場合の局部座屈荷重～径厚比（ $P_{cr}\sim D/t_1$ ）

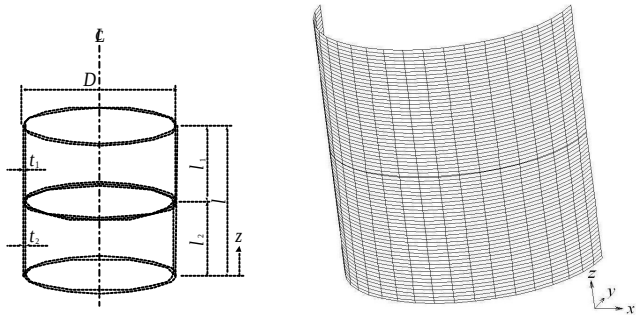


図-1 変断面鋼管短柱
表-1 材料定数

Material	SS400
E (GPa)	206
σ_y	0.3
σ_y (MPa)	235
$E_t=E$	0.01

図-2 解析モデル
表-2 検討パラメータ

D(mm)	$D=t_1$	$l=D$	$t_2=t_1$
140	70		1.0
	80	0.8	1.1
	90	0.9	1.2
	100	1.0	1.3
	110		1.4
			1.5

キーワード：衝撃的上下動、変断面鋼管短柱、軸対称局部座屈、静的局部座屈強度

連絡先：〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL：046-841-3810（内）2365 FAX：046-844-5913

関係を径長比 l/D をパラメータとして示す。ここで、局部座屈荷重 P_{cr} は図-2 に示す解析モデルの上端部の全節点の軸方向の反力値の総和の最大値から求めたものである。図-3 より、径厚比 $D/t_1=70\sim110$ の各場合とも局部座屈荷重 P_{cr} は径長比 l/D に殆ど影響を受けず、概ね一定値を保持することがわかる。また、図-4 より径長比 $l/D=0.8\sim1.0$ の各場合とも局部座屈荷重 P_{cr} は板厚比 t_2/t_1 に殆ど影響を受けず、概ね一定値を保持することがわかる。さらに、図-5 より径長比 $l/D=0.8\sim1.0$ の各場合とも、径厚比 D/t_1 の増大に伴い局部座屈荷重 P_{cr} が低下することがわかる。これは、表-2 に示すように外径を $D=140\text{mm}$ に固定しており、径厚比 D/t_1 が大きくなるほど断面積 A_1 が小さくなるためである。

②無次元化局部座屈強度

一例として、図-6 に板厚比 $t_2/t_1=1.3$ の場合の局部座屈荷重 P_{cr} を降伏軸力 $P_y (=A_1\sigma_y)$ で除した無次元化局部座屈強度 σ_{cr}/σ_y と無次元化局部座屈パラメータ $\alpha_1 (= (E/\sigma_y)/(D/t_1))$ との関係を径長比 l/D をパラメータとして示す。これより、無次元化局部座屈強度 σ_{cr}/σ_y は、無次元化局部座屈パラメータの増大に伴って α_1 8.0 の場合の“1.0”から α_1 12.5 の場合の“1.06”まで幾分増大することがわかる。 σ_{cr}/σ_y が“1.0”より大きくなるのは、弾塑性構成則の相当応力～相当ひずみ関係にバイリニア型の真応力～対数ひずみ関係を仮定したためであり、降伏棚（塑性流れ）を考慮すれば検討した無次元化局部座屈パラメータ α_1 の全範囲（8.0～12.5）にわたって概ね一定値“1.0”をとることが予測される。

図-7 は、上記の一定値“1.0”（実線）を文献³⁾に掲載されている等断面の中心軸圧縮鋼管短柱に対する種々の機関の無次元化局部座屈強度提案式と併記して示したもので、破線は米国鉄鋼協会（AISI）、点線は米国石油協会（API）、細い点線は Ostapenko、また一点鎖線は宇佐美ら⁴⁾の提案式を示している。これより、塑性局部座屈が発生（ $\sigma_{cr}/\sigma_y=1.0$ ）する無次元化局部座屈パラメータ α_1 の下限値は、API 式では“12.1”と検討した α_1 の範囲の下限（8.0）より大きくなるものの、他の提案式では8.0より小さくなっており（ただし AISI 式では9.1）、ここで対象とした変断面鋼管短柱の場合も等断面鋼管短柱の場合と同じ局部座屈強度算定式を適用し得ることがわかる。

【参考文献】

- 1) 中村秀治：鋼製円筒橋脚の動的弾塑性座屈解析，土木学会論文集，No.549/I-37，pp.205-219，1996.10.
- 2) エムエスシーソフトウェア（株）：MSC.Marc2001 日本語オンラインマニュアル，A～E編。
- 3) Galambos, T.V. ed：Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 5th ed., John Wiley & Sons, New York, pp.533-536, 1998.
- 4) 宇佐美勉・青木徹彦・加藤正宏・和田匡央：鋼管短柱の圧縮および曲げ耐荷力実験，土木学会論文集，第 416号/I-13，pp.255-264，1990.4.

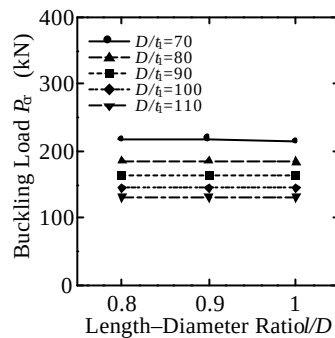


図-3 $P_{cr} \sim l/D$ 関係 ($t_2/t_1=1.3$)

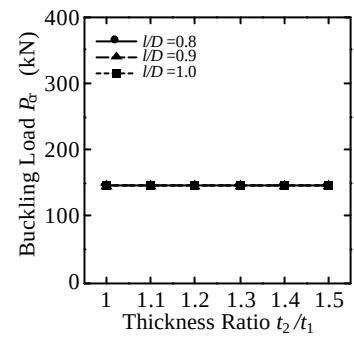


図-4 $P_{cr} \sim t_2/t_1$ 関係 ($D/t_1=100$)

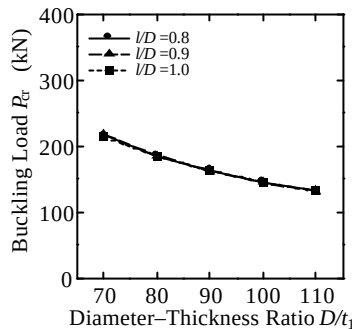


図-5 $P_{cr} \sim D/t_1$ 関係 ($t_2/t_1=1.3$)

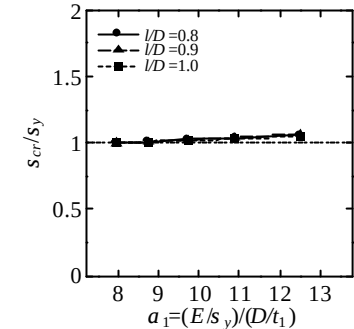


図-6 $\sigma_{cr}/\sigma_y \sim \alpha_1$ 関係 ($t_2/t_1=1.3$)

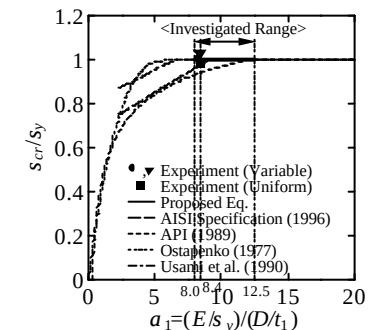


図-7 変断面鋼管短柱の局部座屈強度算定式