

端部拘束条件が鋼管の軸圧縮強度に及ぼす影響

豊田工業高等専門学校 正会員 ○ 忠 和男、 桜井孝昌
名古屋工業大学 正会員 後藤芳順、国士舘大学 松浦 聖

1. はじめに

本研究は、円筒形鋼管を対象とし、特に端部拘束条件が鋼管の耐荷力と変形に及ぼす影響を検討することを目的としている。数値解析は、汎用構造解析プログラム(MARC)によって行い、それらの結果を実験結果と比較した。境界条件の相違が軸圧縮強度や変形に及ぼす影響を分析したものである。

2 素材の応力-歪曲線

本研究が対象とした鋼管の鋼材はSTK41であり、表-1に示す。一般に、鋼管に成形する前の鋼板の応力-歪曲線は、図-1に示す、A-C-D-E-Fの経路となる。これに対して電鍍鋼管はコイル状に巻かれた板材から、先に述べた塑性加工の過程を経て成形されるため、成形後の鋼管から切り出した素材の引張試験結果は図-1 応力-歪曲線で、B-D-E-Fの経路となった。従って、数値解析ではこの塑性加工後の経路を素材の応力-歪曲線として用いた。

3. 有限要素法による数値解析

材料は等方等質性材料とし、解析は等方硬化則とVon Misesの降伏条件に基づき弾塑性有限変位理論による有限要素法で解析した。解析対象とした鋼管の変形形状はいわゆるちょうちん座屈である軸対称形であることを実験および数値解析で確かめた。このことにより、数値解析は厚肉シェル理論に基づく軸対称要素を用い、板厚方向には11層に分割して行った。

4. 結果及び考察

端部拘束条件が取り付け曲線に与える影響を検討するため、表-2に示す3種類の境界条件に対する取り付け曲線を求めた。外力は中心軸圧縮で要素は軸対称要素を用い、要素分割は等分割とし、1要素はパイプ長さの1/100 Kgf/mm²以下とした。境界条件は、両端固定(fix)、両端単純支持(s.s.)および両端自由(free)の3種類とした。円筒の軸方向変位をu、軸に対して直交方向の変位をv、およびuとv方向が作る平面に直交する方向の軸回りの回転をθとすると、それぞれの境界条件は、荷重作用端と円筒支持端に分けて、表-2に示すようになる。境界条件が両端固定と両端単純支持についてはそれぞれ2

表-1 パイプの諸元及び力学特性

項 目		
幾何学的性質	鋼 種	STK 41
	パイプ長	mm 800
	半径 r (板厚中央面基準)	mm 156.4
	板厚 t	mm 5.8
	r / t	27.0
力学的性質	断面積 A	mm ² 5698
	ヤング係数 E × 10 ⁴ kgf/mm ² (Gpa)	1.98 (194.0)
	ひずみ硬化係数 H × 10 ² kgf/mm ² (Gpa)	3.55 (3.48)
	降伏応力 σ _y Kgf/mm ² (Mpa)	39.1 (383.2)
	引張強度 Kgf/mm ² (Mpa)	50.6 (495.9)
	降伏歪 ε _y × 10 ⁻⁴	1975

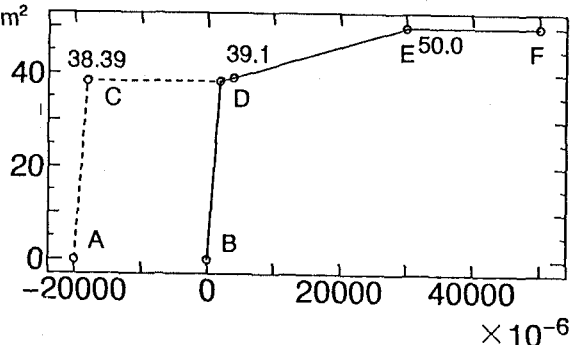


図-1 素材の応力-歪曲線

種類の異なるつり合い曲線が求まった。図-2の変形パターンに示すように、この2種類のうち一方は円筒長さ方向の中央点に関して対称変形モード（aシリーズ）で、他方は非対称変形モード（bシリーズ）となった。両端自由の場合については、4種類の変形モードが求まり、図-2の変形パターンのfree aとfree bは円筒外側に凸形に膨らみ、free a'とfree b'は凹形に反り上がる形状となった。図-3に計算結果を示す。図の縦軸は、円筒の軸圧縮荷重 P を材料の降伏荷重 P_y で除した無次元化軸圧縮力 P/P_y をとり、横軸は円筒の軸方向変位 u をその降伏変位 u_y で除した無次元化変位、 u/u_y をとった。ここに P_y および u_y は

$$P_y = A \sigma_y, \quad u_y = L \sigma_y / E$$

と定義する。ここに E は材料のヤング係数、 σ_y は降伏応力、 L はパイプ長で表-1に示す値である。それぞれのつり合い曲線は図-3に示してあるように、加力開始後から降伏応力に達するまでは同じ経路をたどるが、それ以降は非対称モード（bシリーズ）の方が対称モード（aシリーズ）に比較して変形能が低下する。これらの同一の境界条件に対して異なる変形形状で求めた解は相互に分岐座屈の関係にあるものと考えられる。なお、計算において、aシリーズの解析には円筒長さ方向の中央点に関して対称条件を用いて解析し、free a'とfree b'を求めるに当たっては、あらかじめ円筒の端部の半径 r を $r/10000$ だけ増加してわずかな不整を与えて解析した。このことにより最大荷重は不整を与えない場合に比較して

0.3%程度低下した。境界条件がfree a'とfree b'である場合以外は初期形状に不整は与えていない。実験で得られたつり合い経路は、fix bとs.s. aの中間に存在しておりこれは円筒鋼管端部の支持条件の剛性が、単純支持と固定との中間的なものとなっていることを示している。

表-2 端部の境界条件

端部境界条件	荷重作用端	円筒支持端
両端固定 (fix)	$v=0, \theta=0$	$u=0, v=0, \theta=0$
両端単純支持 (s. s.)	$v=0$	$u=0, v=0$
両端自由 (free)		$u=0$

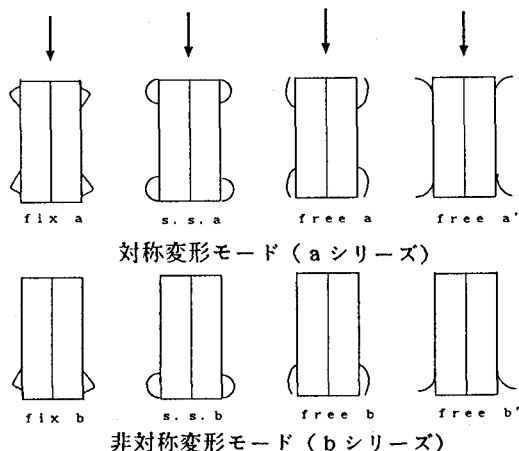


図-2 境界条件に対応する変形パターン

表-3 拘束条件の相違による最大荷重とその変位

type	fix a	s. s. a	free a	free a'	
U/U_y	5.85	1.77	1.48	1.405	
P/P_y	1.07	1.01	1.00	1.00	
type	fix b	s. s. b	free b	free b'	exp.
U/U_y	5.82	1.34	1.41	1.03	3.95
P/P_y	1.07	1.00	1.01	1.00	0.98

$$U_y = 1.58 \text{ mm}, \quad P_y = 2.228 \times 10^5 \text{ kgf}$$

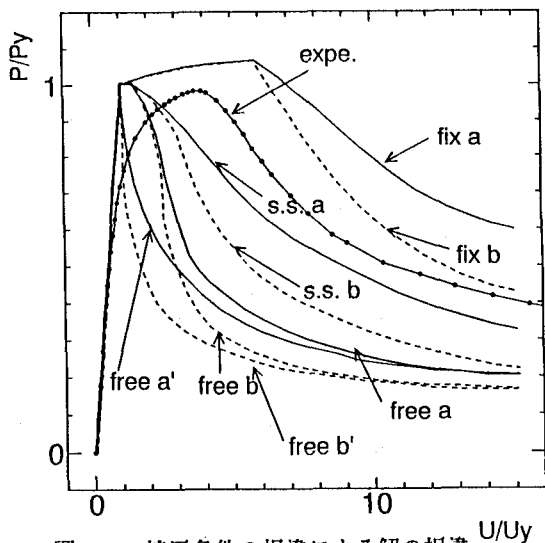


図-3 境界条件の相違による解の相違