

局部変形のある鋼管の圧縮変形特性

○名古屋大学 正会員 菅沼 淳
東邦ガス株式会社 林口 暢高

1. はじめに

海外における高圧ガスパイプラインの事故件数の約半分は他工事損傷が原因である¹⁾。我が国でも、操業中のガス導管に、建設機械や地盤沈下などによって局部変形が発生した事例が報告されている。このような導管の緊急対策を検討するため、本稿では、局部変形が発生した鋼管の圧縮変形特性を検討するために実施した、圧縮試験と有限要素解析の結果を報告する。

2. 鋼管の圧縮座屈試験

(1) 圧縮試験用供試体

他工事および地盤沈下によって発生した鋼管（管径 400mm）の局部変形の例を示す（図－1）。建設機械によって変形したもので、中央部が直線的に折れ曲がっている。圧縮試験では、変形特性を比較するため、局部変形のない 400mm 鋼管も使用した。圧縮試験用供試体の寸法と局部変形の形状を示す（表－1）。



図－1
局部変形のある鋼管
（管径 400mm）

表－1 供試体の寸法と局部変形の形状 （単位：mm）

供試体	材質	管径	管厚	管長	局部変形形状：軸長，周長，深さ
400mm 鋼管	API-X42	406.9	7.9	980	なし
400mm 変形鋼管	API-X42	406.9	7.9	980	270,180,11.2

(2) 圧縮試験結果

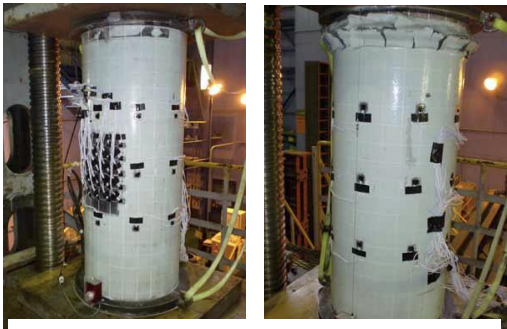
圧縮試験前後の写真を示す（図－2，図－3）。400mm 鋼管は上端部に座屈波形が発生している。400mm 変形鋼管では、圧縮変形によって初期の局部変形が顕著に成長している。

圧縮試験で得られた各々の最大軸応力 σ_{max} と局部座屈開始ひずみ ϵ_{ncr} を示す（表－2）。ここに ϵ_{ncr} は、最大圧縮軸応力における圧縮変形量を、供試体の全長で除した平均圧縮軸ひずみである。

表－2 最大軸応力と局部座屈開始ひずみ

供試体	管径管厚比 D/t	最大軸応力 σ_{max} (MPa)	局部座屈開始 ひずみ ϵ_{ncr} (%)
400mm 鋼管	51.5	333	0.60
400mm 変形鋼管	51.5	301	0.46

400mm 鋼管は、 $\sigma_{max}=333\text{MPa}$ と $\epsilon_{ncr}=0.60\%$ で極大値に達した後、座屈波形の成長に伴って ϵ_n が 4.8%まで増加した段階で試験を終了した。これに対し、400mm 変形鋼管は、 $\epsilon_{ncr}=0.46\%$ で極大値 $\sigma_{max}=301\text{MPa}$ を示していた。 σ_{max} と ϵ_{ncr} が 400mm 鋼管よりもそれぞれ 10%と 23%小さくなっているのは局部変形の影響である。



図－2 400mm 鋼管の圧縮試験



図－3 400mm 変形鋼管の圧縮試験

3. 有限要素解析

(1) 解析モデル

汎用構造解析コードADINA-9.1.2を使用し、鋼管は4節点シェル要素で分割した。全長980mmを98分割し、全周1277mmを72分割した。従って、4節点シェル要素の大きさは、長さ10mmで幅17.7mmである。

キーワード パイプライン，局部変形，圧縮変形，耐震性能
連絡先 〒464-8601 名古屋市千種区不老町 名古屋大学 TEL：052-789-4829

(2) 有限要素解析

400mm 鋼管の変形曲線の比較を示す(図-4). 図に示すように, 極大値までの変形曲線は TEST と FEA で良く一致している. 局部座屈開始ひずみは TEST が 0.60%,

FEA が 0.58%である. 400mm 鋼管, 400mm 変形鋼管の軸ひずみ分布と変形

状況を3段階について示す(図-5, 図-6). 軸圧縮試験結果をよく再現することができた. 従って, FEA の精度は十分と考えられる.

4. 圧縮変形性能に及ぼす材料特性の影響

(1) 応力ひずみ曲線

応力ひずみ曲線による鋼管の圧縮変形特性への影響を調べるため, 3種類の応力ひずみ曲線を設定した(図-7).

(2) 有限要素解析モデルと局部座屈開始ひずみの定義

局部座屈開始ひずみ ε_{Rcr} (R: Remote) を座屈波形や局部変形部分に集中するひずみ分布から離れた区間で定義するため, 図-8, 図-9に示す有限要素モデルを採用した. 座屈波形の中心からパイプの呼び径(D)と等しい距離における円周線を始点とし, 呼び径の半分(D/2)外側に離れた円周線の区間における平均軸ひずみを ε_{Rcr} と定義する.

(3) 局部座屈開始ひずみ

400mm鋼管の局部座屈開始ひずみ ε_{Rcr} を示す(表-3). ここに, ε_{Rcr} は座屈波形や局部変形の中心部分に集中する影響を避けた部分で定義した局部座屈開始ひずみで, ε_{ncr} は圧縮実験で得られた平均局部座屈開始ひずみである.

表-3 400mm 鋼管の局部座屈開始ひずみ

S S カーブ	局部変形	ε_{Rcr} (%)	ε_{ncr} (%)	$\varepsilon_{Rcr} / \varepsilon_{ncr}$
YP	無	0.162	0.178	0.91
	有	0.154	0.166	0.93
YP-R	無	0.329	0.334	0.99
	有	0.188	0.229	0.82
RH	無	0.552	0.577	0.96
	有	0.256	0.336	0.76

5. まとめ

実験およびFEAの結果によると, 局部変形のある鋼管の局部座屈開始ひずみは健全な鋼管の50~75%に低下している. RH型鋼管の局部座屈開始ひずみは, YP型鋼管よりも3倍以上大きい. ガス導管の安全性を確保するために重要な着目点である. また, 初期変形段階における応力ひずみ関係が丸みを帯びているYP-R型の場合, YP型よりも局部座屈ひずみは大きいため, 導管の安全性は向上する.

参考文献

- 1) Michel Baker Jr. Inc.: Mechanical Damage – Final Report – Submitted to U.S. Department of Transportation, Integrity Management Program, Under Delivery Order DTRS56-02 -D-70036, April 2009.

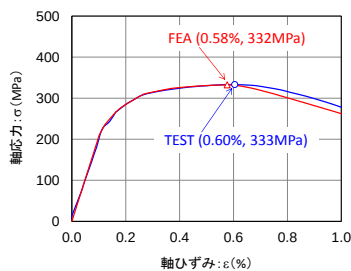


図-4 実験と解析の比較

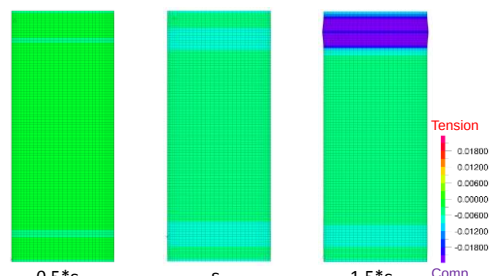


図-5 400mm 鋼管の軸ひずみ分布

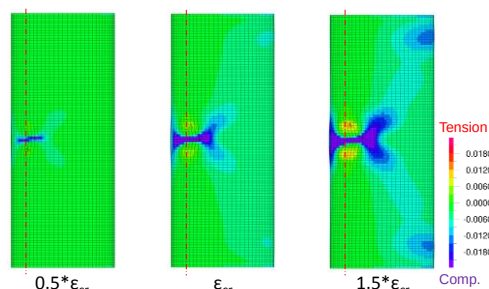


図-6 400mm 変形鋼管の軸ひずみ分布

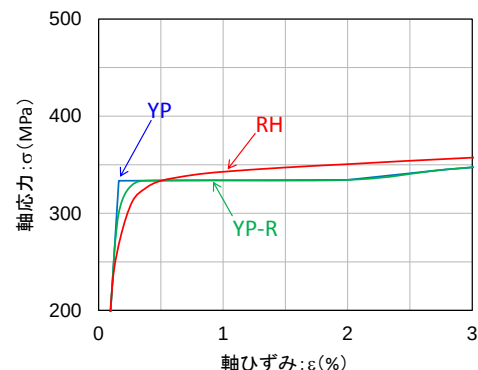
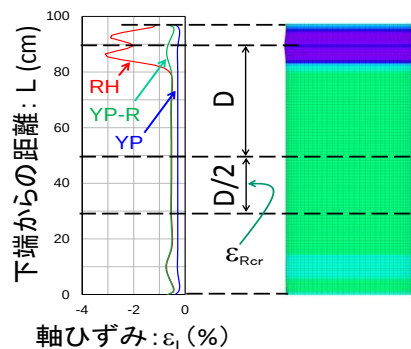
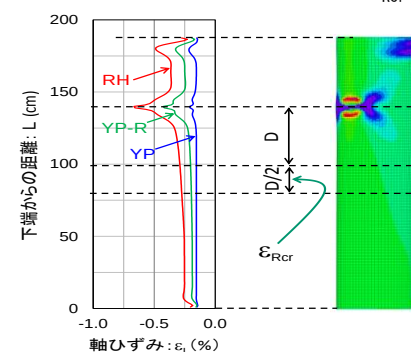


図-7 400mm 鋼管の応力ひずみ曲線

図-8 400mm 鋼管の解析モデルと局部座屈開始ひずみ ε_{Rcr} 図-9 400mm 変形鋼管の解析モデルと局部座屈開始ひずみ ε_{Rcr}