

局部変形を有する鋼管の軸圧縮変形（座屈）に関するパラメータスタディ

○名古屋大学 正会員 菅沼 淳
東邦ガス株式会社 河野 順平

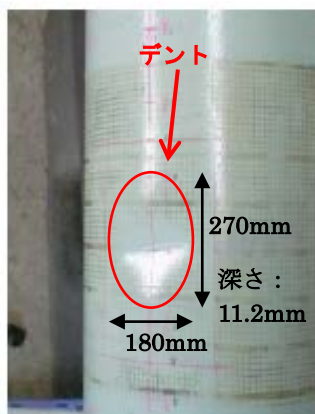
1. はじめに

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（デント）が発生した事例が報告されている。このような場合の緊急対策を検討するため、本稿では、デントが発生した鋼管の軸圧縮変形（座屈）特性を検討するために実施した、有限要素解析によるパラメータスタディの結果を報告する。

2. 最近の研究成果－鋼管の軸圧縮座屈試験と解析モデルの作成

デントの発生した鋼管（管径 400mm，図－1，表－1 参照）について，実管での軸圧縮座屈実験および有限要素解析モデルの作成，デント形状（深さ）を変化させた場合の軸圧縮変形（座屈）性能の変化についての報告がある²⁾。デントの発生した鋼管を用いた軸圧縮座屈試験の実施（図－2），有限要素解析モデルを用いて試験結果の再現ができたことが示された。また，局部的にデントを有するパイプラインの全体としての座屈特性を見極めるため，デント部の局所ひずみの影響を受けない，離れた部位でのひずみ（局部座屈開始ひずみ： ϵ_{Rcr} ，図－3 参照）に着目することが提案された上で，デント形状（深さ）の変化に伴う ϵ_{Rcr} の変化について報告されている。

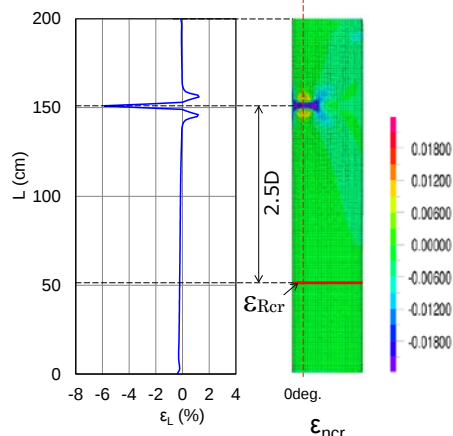
デント深さが深くなるに従い， ϵ_{Rcr} は低下し，鋼管の軸圧縮座屈強度は低下する。デント深さが 10% の場合， ϵ_{Rcr} は健全な鋼管の場合の 3 割強に低下することが報告された（表－1 参照）。



図－1 デントを有する鋼管(管径 400mm)



(試験前) 図－2 デントを有する鋼管の軸圧縮試験



図－3 局部座屈開始ひずみ ϵ_{Rcr} の定義

表－1 軸圧縮座屈解析結果

(単位：%)

検討対象	材質	管径	管厚	解析モデル長	局部座屈開始ひずみ ϵ_{Rcr} (健全管に対する比)			
					デント深さ 0%	同 3%	同 6%	同 10%
400mm 鋼管	API-X42	406.9mm	7.9mm	200cm	0.53 (100)	0.25 (47)	0.20 (38)	0.18 (34)

3. パラメータスタディ

(1) 管厚の変化

上記 2. の検討に続き，管厚を 9.5mm（米国石油協会 API 規格における 2 サイズアップ）に変えた場合の軸圧縮座屈特性の変化を，有限要素解析により求めた。最近の研究成果²⁾と同様，デント深さ d を外径比で 0%，3%，6%，10% と変化させ，局部座屈開始ひずみ ϵ_{Rcr} の変化を求めた。図－4 に解析モデルを示す。なお，デント部分の残留

キーワード パイプライン，デント，軸圧縮座屈，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 FAX：052-789-2975

ひずみは、上記2.での検討と同様、解析モデルには考慮していない。

図-5にそれぞれの解析で求めた応力-ひずみ線図を示す。上記2.同様、デント深さが深くなるに従い、局部座屈開始ひずみ ϵ_{Rcr} も小さくなっていく。

表-2は、解析結果のまとめおよび上記2.での結果の比較

である。管厚の増加に伴い、 ϵ_{Rcr} が大きくなり、軸圧縮座屈強度がわずかに高まっている。

(2) 管内圧力の影響

実際の都市ガス導管では、供用中には管内から圧力が载荷されているので、管内圧力(0.8MPa)を考慮した解析を行った。図-6に応力-ひずみ線図の比較(デント深さ6%の場合)を示す。図中のプロットが示すように、管内圧力の存在により、 ϵ_{Rcr} が大きくなり、軸圧縮座屈強度がわずかに高まっている。

(3) 土圧の影響

実際のガス導管はほとんどの区間が埋設されており、外側から相応の土圧を受けているので、土圧(埋設深さ1.2mの場合)を考慮した解析を行った。図-7に応力-ひずみ線図の比較(デント深さ6%の場合)を示す。図中のプロットが示すように、 ϵ_{Rcr} にほとんど差がない。軸圧縮座屈強度には、土圧はほとんど影響がないと考えられる。

4. まとめ

最近の研究成果²⁾に引き続き、デントを有する鋼管の軸圧縮変形(座屈)特性に関し、管厚を厚くしたパラメータスタディを行った。また、ガス導管としての実際の使用環境を考慮し、管内圧力、土圧の影響を検討した。管厚の増加、および管内圧力の存在では、いずれも軸圧縮座屈強度を向上させる効果が見られた。土圧の影響はほとんどなかった。今後、鋼管材質(グレード)を変化させた場合の研究に、知見を活用していく。

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.
- 2) 菅沼淳, 河野順平, 林口暢高: 局部変形を有する鋼管の軸圧縮変形特性と耐震安全性, 土木学会構造工学論文集 Vol.64A, 2018年3月

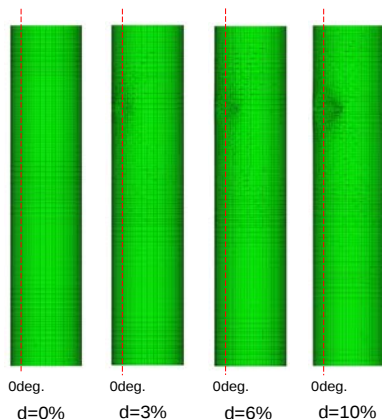


図-4 解析モデル(管厚 9.5mm)

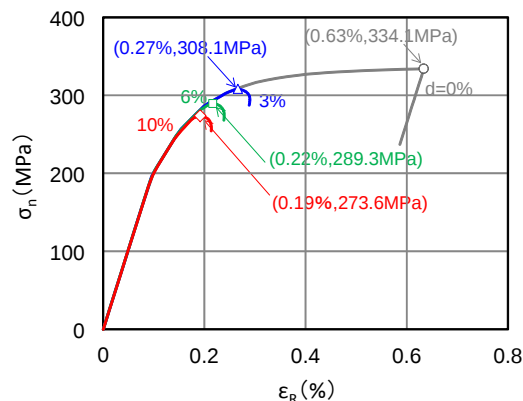


図-5 応力-ひずみ線図(管厚 9.5mm)

表-2 解析結果まとめ(管厚の変化)

デント深さ d/D (%)	P _{max} (MN)	δ_{cr} (mm)	σ_{nmax} (MPa)	ϵ_{ncr} (%)	ϵ_{Rcr} (%) (管厚 9.5mm)	ϵ_{Rcr} (%) (管厚 7.9mm)
0	3.96	13.06	334	0.65	0.63	0.53
3	3.65	6.85	308	0.34	0.27	0.25
6	3.43	6.67	289	0.33	0.22	0.20
10	3.24	6.74	274	0.34	0.19	0.18

注) P_{max}: 最大荷重
 δ_{cr} : 変位 σ_{nmax} : 最大軸応力 ϵ_{ncr} : 座屈開始ひずみ (いずれも P_{max}時)

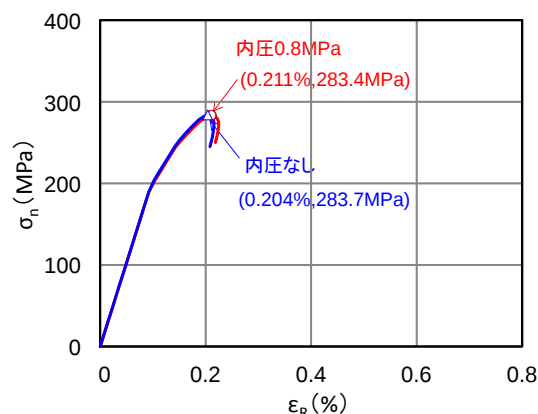


図-6 応力-ひずみ線図(内圧の有無)
(デント深さ: 6%)

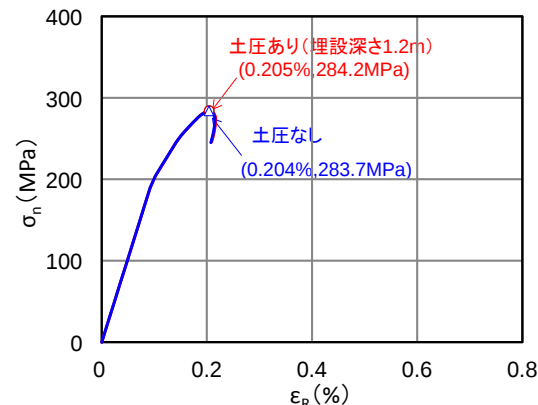


図-7 応力-ひずみ線図(土圧の有無)
(デント深さ: 6%)