

欠損を有する鋼管の軸圧縮挙動に関する実験的及び解析的研究

名古屋大学 学生会員 ○千田 耕大

名古屋大学 正会員 葛西 昭

JIP テクノサイエンス株式会社 正会員 深津 真之

1. 緒言

高圧ガス導管耐震設計指針¹⁾における耐震評価方法は、地震によって導管に軸ひずみが生じたとき、発生した軸ひずみが許容ひずみ以下であることを照査する。しかし、実際の導管は施工、腐食等によって欠損が生じる場合があるが、この場合の基準はない。また、局所的な欠損を持った円筒が軸圧縮力を受けたときの座屈荷重や変形能に対する評価法や基準は現在存在しない。本研究は局所的な欠損を有する高圧ガス鋼管の耐震性能評価法を開発することを目的とする。本論文はその第一段階として、実際に欠損を有する鋼管の単調軸圧縮試験を行い、その挙動を把握した。また、実験を想定した解析モデルを検討し、実験結果と比較することで、その有効性を検証した。

2. 実験概要

欠損を有するガス導管の軸圧縮挙動を想定し、内圧を作用させた鋼管の軸圧縮試験を実施した。ここでは実験の概要について説明する。

2.1 実験供試体

本実験で用いた供試体は、図-1 に示すような、管中央部に欠損を有する鋼管である。供試体上部及び下部にはフランジプレートが突合せ溶接により取り付けられている。また、鋼管には配管用炭素鋼鋼管 (SGP) を使用している。実験供試体の諸元を表-1 に示す。ここで、 L : 供試体長さ、 D : 外径、 t : 板厚、 A : 断面積、 P_y : 降伏荷重、 δ_y : 降伏変位、 Rt : 径厚比パラメータ、 λ : 細長比パラメータ、 c_{loss} : 周方向欠損長さ、 a_{loss} : 軸方向欠損長さ、 d_{loss} : 欠損深さ、である。 σ_{hoop} : 内圧によって鋼管に発生する引張応力である。 $\sigma_{hoop}/\sigma_y = 2.66[\%]$ 、 $5.33[\%]$ はそれぞれは内圧 0.5MPa、1.0MPa に相当する。また、 c_{loss}/L 、 $a_{loss}/\pi D$ 、 d_{loss}/d をそれぞれ周方向欠損率、軸方向欠損率、深さ欠損率と称することとする。各実験供試体の欠損寸法、作用内圧を表-2 に示す。

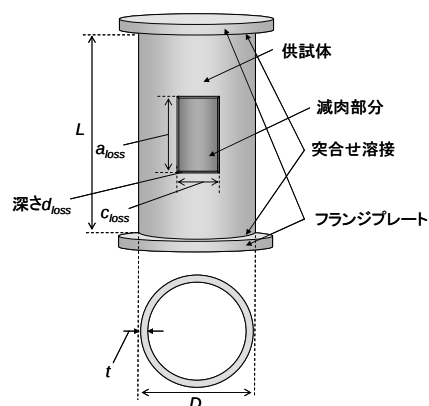


図-1 実験供試体

表-1 実験供試体諸元

鋼材	SGP	Rt	0.0532
$L[\text{mm}]$	500	λ	0.0449
$D[\text{mm}]$	216.3	$c_{loss}/\pi D [\%]$	5,10,25
$t[\text{mm}]$	5.8	$a_{loss}/L [\%]$	20,40,60
$A[\text{mm}^2]$	3836	$d_{loss}/d [\%]$	17.2,34.5,51.7
$P_y[\text{kN}]$	134.3	$\sigma_{hoop}/\sigma_y [\%]$	2.66,5.33
$\delta_y[\text{mm}]$	0.884		

表-2 供試体の欠損寸法及び内圧

供試体名	$c_{loss}/\pi D [\%]$	$a_{loss}/L [\%]$	$d_{loss}/d [\%]$	$\sigma_{hoop}/\sigma_y [\%]$
1	5	20	17.2	5.3
2	10	20	34.5	2.66
3	25	20	51.7	0
4	5	40	34.5	0
5	10	40	51.7	5.3
6	25	40	17.2	2.66
7	5	60	51.7	2.66
8	10	60	17.2	0
9	25	60	34.5	2.66
10	25	60	34.5	5.3
11	0	0	0	0

2.2 実験方法及び载荷パターン

図-2 に示す実験装置を用いて、供試体の軸方向単調圧縮試験を実施した。供試体下端は台座に固定されており、上端はユニバーサルジョイント部でピン結合となっている。载荷はアクチュエーターから鉛直下向きに行い、供試体に軸方向の変位を与えた。载荷は供試体に設置した軸方向変位 δ による変位制御载荷である。また、载荷時には、ガス導管を想定し、鋼管に内圧をかけた。本試験では供試体周りに 90° ごとに4箇所軸方向変位計を設置して軸方向変位を計測するとともに、供試体の同一周上にも 90° ごとにひずみゲージを設置し、軸方向ひずみを計測した。

3. 解析概要

実験結果を再現するための解析モデルを検討し、実験結果と比較することでその有効性を検証した。検討した解析モデルを図-3に示す。解析では供試体部分を4節点低減積分有限膜ひずみシェル要素を用いてモデル化し、周方向、軸方向にそれぞれ80分割した。また、実験を想定した境界条件とするため、下端は固定とし、上端は、回転位置(ユニバーサルジョイント)をピン支持、ユニバーサルジョイントから供試体上端までの距離を剛棒で再現し、剛棒と供試体は剛結とした。供試体両端は閉じており、内圧を受けるようになっている。解析モデル寸法は実験供試体と同値とし、材料構成則にはバイリニア型移動硬化則を用いた。高圧ガス導管耐震設計指針では弾塑性解析を行う際は、バイリニア型移動硬化則を使用し、その二次勾配は降伏点と3%ひずみを結んだ直線とすることが規定されており、本研究ではこれに従った。バイリニア型移動硬化則に用いる材料定数は、実験に先立って実施した引張実験の結果を使用し、二次勾配はヤング率の3/1000倍とした。

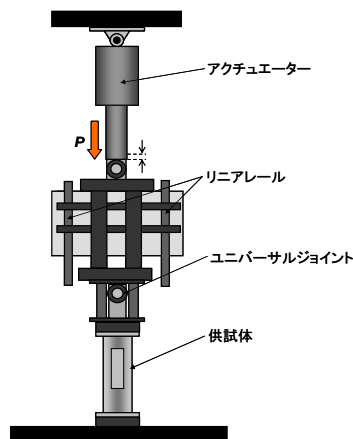


図-3 実験装置概略図

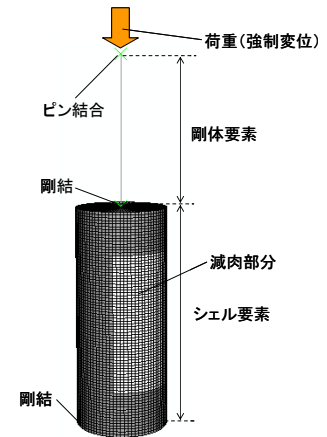


図-4 解析モデル図

4. 結果と考察

4.1 荷重-変位関係

実施した実験のうち、供試体1, 9については失敗したためデータが得られなかった。ここでは、供試体7について実験及び解析から得られた荷重-変位関係を図-4に示す。図-4において、縦軸は荷重 P を降伏荷重 P_y で無次元化したもの、横軸は変位 δ を降伏変位 δ_y で無次元化したものをとっている。

まず、弾性域に着目すると、初期勾配は比較的精度よく一致していることがわかる。実験結果の方が解析結果よりも荷重が若干大きくなっているのは、変形開始直後の段階で、変位計の感度が若干悪かったことが原因であると考えられる。また、 $0.7\delta_y$ 付近から、実験ではグラフの傾きが小さくなり変位が解析より大きくなっている。これは、残留応力などによる影響で局所的に先行して試験体が降伏したことが原因であろう。降伏後の挙動を見ると、解析のほうが若干早期に耐力低下が発生しているが、結果に大きな差はなく、比較的よく一致した。本研究で検討した解析モデルは実験結果をよく模擬できており、有効であると言える。

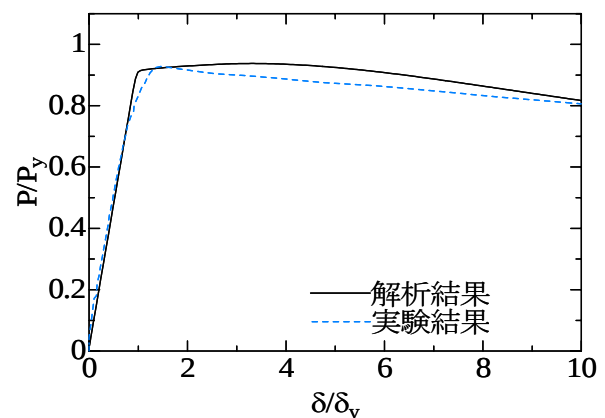


図-5 荷重-変位関係図(供試体7)

5. 欠損形状が強度に与える影響度の検証

欠損を有する鋼管では欠損の寸法が強度に重大な影響を及ぼすことが考えられる。そこで、欠損の軸方向長さ、周方向長さ、深さをパラメータとし、本研究で検討した解析モデルを参考にパラメトリック解析を実施し、欠損と鋼管の耐力の関係性を検証する。この関係性についての検証結果は当日発表するものとする。

6. 結言

- ・本研究では、欠損を有する鋼管の軸圧縮試験を行い、その挙動を把握した。
- ・実験比較解析を実施し、挙動を比較したところ、弾性域の挙動は比較的精度よく一致した。本研究で検討した解析モデルの妥当性を証明した。

参考文献

- 1) 日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針，保文社，2004。