

欠損を有する鋼管の局部座屈に関する解析的研究

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○千田 耕大
名古屋大学 正会員 葛西 昭
東邦ガス株式会社 正会員 三輪 昌隆

1. 緒言

我が国にはパイプラインは数多く存在している。しかし埋設されたものも多く、そのような場合、工事作業などの要因から薄肉部分が生じる可能性がある。また、日本は、世界でも有数の地震多発国であるため、このような局所欠損を有する鋼管に対し、大地震が起こることも想定する必要がある。しかし、現在は、例えば高圧ガス導管の設計¹⁾については無欠損の鋼管を想定しており、局所欠損を有する鋼管の耐震性能の評価基準・手法は存在しない。

欠損を有する鋼管について、損傷状況の評価、地震をはじめとする様々な外力に対する耐荷力及び変形能の評価を適切にできれば、点検の際、補修及び交換などを検討する上でも重要な指標となり、予防保全の観点から非常に有益である。そこで、本研究はパイプラインなどの鋼管が局所欠損を有する場合の耐震性能の評価法を確立することを目的とする。本論文はその第一段階として、欠損を有する鋼管の単調軸圧縮解析を実施し、欠損形状と強度・変形能の関係性について検証した。また、パイプラインで輸送物により発生する内圧の影響についても検証した。

2. 解析モデル

本研究で使用した解析モデルを図-1 に示す。解析モデルには、鋼管の例として、高圧ガス導管に主に用いられる SGP200A (外径 216.3mm, 肉厚 5.8mm) を想定したものを使用した。また、モデル長さは 500mm とした。材料の応力ひずみ関係にはバイリニアを仮定し、2 次勾配は 3/1000 とした。モデルは、十分に長い直線部の鋼管の一部を切り出した場合を想定しているため、両端部で、連続性が成立するような境界条件を設定した。

欠損は発生要因により様々な形状、サイズが考えられるが、ここでは、矩形の欠損をモデル中央部に導入することとした。図-1 中の色つきの部分が欠損を示している。欠損は、周方向 (c_{loss})、軸方向 (a_{loss})、厚さ方向 (d_{loss}) にそれぞれ長さを変化させることとし、周方向欠損率 ($\bar{L}_c = c_{loss} / 2\pi \times 100(\%)$)、軸方向欠損率 ($\bar{L}_a = a_{loss} / L \times 100(\%)$)、厚さ欠損率 ($\bar{L}_d = d_{loss} / t \times 100(\%)$) の 3 つのパラメータで評価を行った。ただし、 $r = (D-t)/2$ である。内圧は、それによって実際に管側面に発生する引張応力 (フープ応力 σ_{hoop}) により表現することとする。表-1 に各パラメータの値を示す。また、モデル名は「 $L-\bar{L}_c-\bar{L}_a-\bar{L}_d$ 」とし、内圧がある場合はその後に「 $-\sigma_{hoop}/\sigma_y$ 」の小数点以下 2 桁を加えて表すこととする。

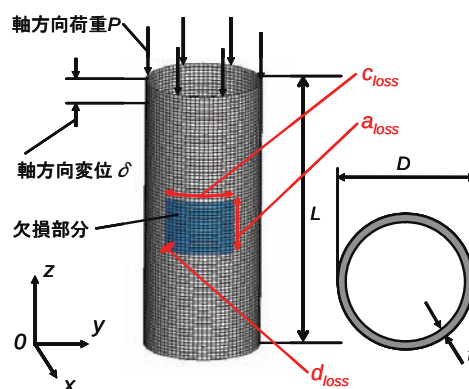


図-1 解析モデル図

表-1 欠損・内圧パラメータ値一覧

$\bar{L}_c$ (%)	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
$\bar{L}_a$ (%)	0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100
$\bar{L}_d$ (%)	17, 34, 52, 69, 86
σ_{hoop}/σ_y	0.05, 0.10, 0.30, 0.50

3. 解析結果

解析から得られた、各欠損率と最大荷重、最大荷重時変位の関係を図-2 から図-5 に示す。図-2 から図-5 において、縦軸には最大荷重を降伏荷重で無次元化したもの、もしくは最大荷重時変位を降伏変位で無次元化したものを取り、横軸には各欠損率をとっている。図-2、図-3 を見ると、軸方向欠損率は鋼

キーワード：パイプライン、鋼管、欠損、埋設、耐震設計

連絡先 (名古屋市千種区不老町・電話 052-789-4617・FAX 052-789-5461)

管の最大荷重, 最大荷重時変位にほとんど影響がないことがわかる。これに対し, 図-4, 図-5を見ると, 周方向欠損率の増加に伴い, 鋼管の最大荷重はほぼ線形的に低下した。厚さ欠損率が増加すると, 最大荷重低下の割合が大きくなっている。最大荷重時変位については, ややばらつきがあるが, 周方向欠損率, 厚さ欠損率の増加に伴い, ほとんどの場合で $2\delta_y$ 以下に低下した。

内圧と最大荷重, 最大荷重時変位の関係を図-8, 図-9に示す。縦軸は図-7までと同様で, 横軸には内圧をとっている。図-8を見ると, 内圧が大きくなるにつれ, 最大荷重は線形的に低下した。欠損サイズが変化しても, 傾向は同様であった。これは, 内圧が作用することで, 軸差応力が生じ, 降伏が早まるためである。また, 内圧による力は管側面を面外方向外側方向に作用するため, 面外方向外向きの変形を助長するように作用

することも原因であると考えられる。最大荷重時変位に関しては, 図-9を見ると, 内圧が0.1以下の場合では, ほとんど内圧の影響を受けなかった。内圧が0.3以上の場合には結果にばらつきが見られた。内圧が大きい場合, 最大荷重時変位が著しく増加している場合があるが, この場合, 大ひずみ領域の変形が生じている。これは, 応力-ひずみ関係にバイリニアを仮定しているため, 応力が過剰に大きくなったことが原因であると考えられる。

4. 結言

本研究から得られた主な知見を以下にまとめる。

1. 軸方向欠損率は, 最大荷重, 最大荷重時変位に影響を与えない。
2. 周方向欠損率, 厚さ欠損率の増加に伴い, 最大荷重は線形的に, 最大荷重時変位は $2\delta_y$ 以下に低下した。
3. 内圧の増加に伴い, 最大荷重は線形的に低下した。最大荷重時変位は内圧0.1以下ではほとんど影響を受けず, 内圧0.3以上では結果がばらついた。

参考文献

- 1) 日本ガス協会(2004): 高圧ガス導管耐震設計指針, 保文社

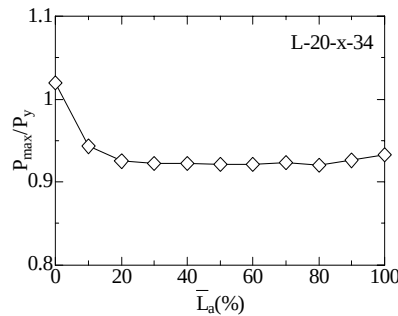


図-2 最大荷重-軸方向欠損率関係

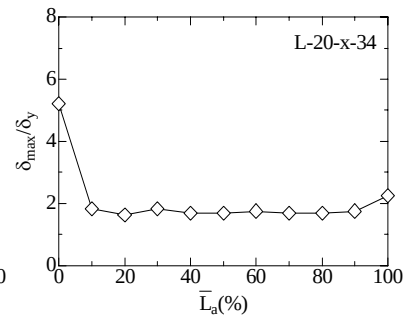


図-3 最大荷重時変位-軸方向欠損率関係

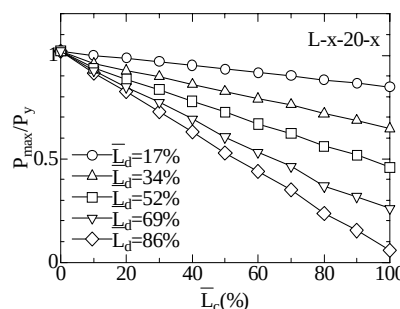


図-4 最大荷重-周方向欠損率関係

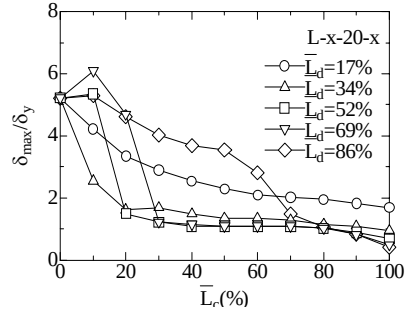


図-5 最大荷重時変位-周方向欠損率関係

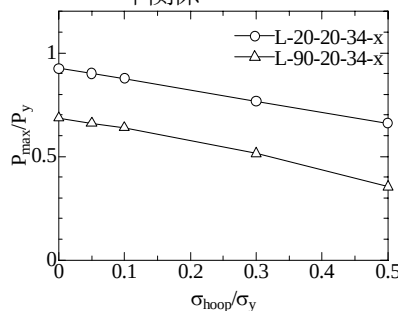


図-6 最大荷重-内圧関係

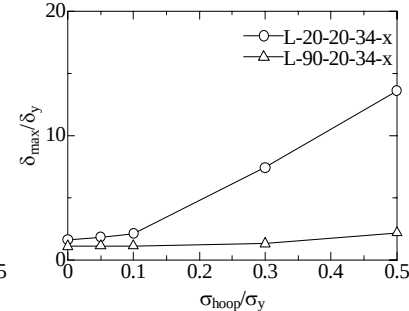


図-7 最大荷重時変位-内圧関係