

内圧による楕円管の真円復元効果に関する模型実験と数値解析

Experiment and numerical analyses for deflection elimination on oval pipes by internal water pressure

○石井 将幸*, 上野 和広*

ISHII Masayuki and UENO Kazuhiro

1. はじめに

農業用パイプラインに用いられる管には、破壊時までほとんど変形しない不とう性管（剛性管）と、たわむことが可能なとう性管（たわみ性管）がある。とう性管では埋設作業による変形が避けられないため、設計基準では内径の5%まで、たわんだ状態での使用が認められている。

たわんだ管の多くは内側から水圧が作用する状態で使用されているが、この内水圧には管を真円状に膨らませようとする作用がある。そのため、とう性管は水圧の変動によって、たわんだ状態と真円に近い状態を行き来し、複雑な応力履歴を生じている可能性が考えられる。本研究では、内水圧による真円復元効果を定量的に評価することを最終的な目的とし、実験と数値解析による基本的な現象の確認を行った。

2. 模型実験の概要

模型実験に用いた供試体の断面図を Fig.1 に示す。楕円断面の管の両端をふさいだ形状となっており、厚さは管とふたの両方で 4mm である。管厚の中央で長軸径は 55mm、短軸径は 45mm であり、直径 50mm の真円から 10% ずつの拡張と縮径を受けた形状となっている。

この形状の供試体を 3D プリンターで作成した。使用した機種は zortrax 社の M200, 用いたフィラメントは Z-ESD である。楕円管供試体に先立ち材料試験用の供試体を作成して試験を行い、後述するように弾性係数を得た。

楕円管供試体の変形を計測するために、高さ方向の中央、長軸の両端と短軸の両端に計 4 枚のひずみゲージを貼り付けた。用いたひずみゲージは東京測器研究所の GFLAB-3, 長さ 3mm のプラスチック用ゲージである。そして楕円管供試体を三軸圧縮試験機のセルに入れ、浮上しな

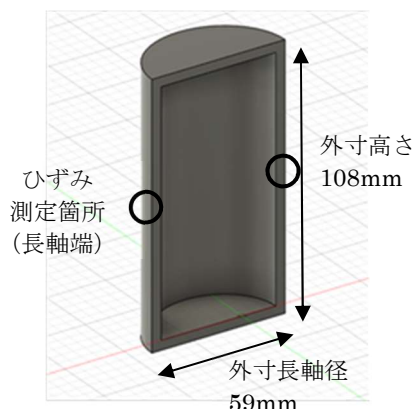


Fig.1 楕円管供試体の断面図
Cross section of oval pipe specimen

いように上下端を押さえたのちセルに注水し、供試体の外から水圧を作用させた。

楕円管に作用する微小な内圧による微小変形量はその内圧に比例するため、外圧と内圧では逆方向の変形が生じる。つまり内圧では断面が真円に近づく一方、外圧では楕円が押しつぶされる。なお水圧による変形量は形状の影響を受けるため、水圧による形状変化が無視できない大きさになると、水圧と変形やひずみの関係が非線形となる。外圧が作用する際には、圧力が大きくなると同一の圧力増分に対するたわみ増分が大きくなる。

3. 材料試験とその結果

楕円管供試体を構成する材料の弾性係数を求めるために、JIS K7161-1:2014 に基づいた試験を行った。用いた試験機は SHIMADZU AGX-V で、荷重とともに非接触式変位計での伸び（標線間距離 50mm）と、載荷装置のストローク（つかみ具間距離 115mm）を測定した。

JIS K7161-1 の規定では、ひずみの計算には非接触式変位計による伸びを用いなければならない。しかし得られた結果にばらつきが生じたため、安定した結果の得られたストロークによる

* 島根大学学術研究院, Academic Assembly, Shimane University
キーワード： とう性管, たわみ, 内圧, 真円復元効果

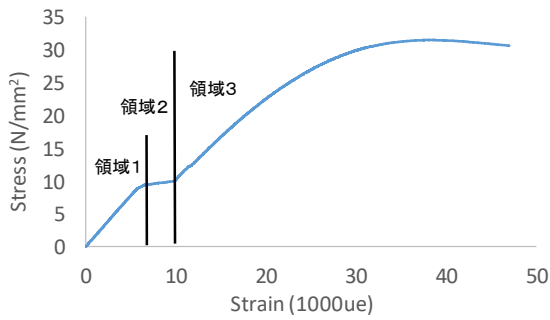


Fig.2 材料の応力ひずみ曲線
Stress-strain curve of used material

応力ひずみ関係を採用した。

得られた結果の一例を Fig.2 に示す。すべての供試体、かつ载荷装置ストロークと非接触式変位計の両方による結果で、弾性係数が一時的に小さくなる現象が発生した。そこで線形弾性を示す領域が 3 つあるとみなし、それぞれに対して弾性係数を求めた。そして模型実験で計測されたひずみの範囲に該当する弾性係数を用いることとした。得られた弾性係数は 5 つの供試体の平均値で、領域 1 で 1.55kN/mm^2 、領域 2 で 0.156kN/mm^2 、領域 3 で 1.01kN/mm^2 であった。

4. 模型実験の結果と 3 次元 FEM による再現

Fig.1 に示した供試体に外水圧を作用させたときのひずみを Fig.3 に示す。長軸端では引張ひずみが、短軸端では圧縮ひずみが生じている。外水圧で生じる断面方向の軸力は全体的に圧縮であるため、引張ひずみは曲げ変形が生じなければ発生しない。長軸端では外側を引張とする曲げ、つまり楕円を押しつぶすような変形が生じていることが確認された。またこれに伴って、短軸端では外側が圧縮になるような曲げとなっていると推察される。

圧力が小さい領域では、水圧とひずみの関係は長軸端と短軸端の両方で、ほぼ線形である。しかし圧力が大きくなると、ひずみの増加が鈍り、そして減少に転じる。これは 3D プリンターで制作した供試体の水密性が不十分であり、内部に水が浸入したためであると考えられる。実験中には供試体からの気泡は一切見られなかった一方、実験終了後の減圧中に気泡が供試体から外へ出たことを考えると、供試体の中と外にある

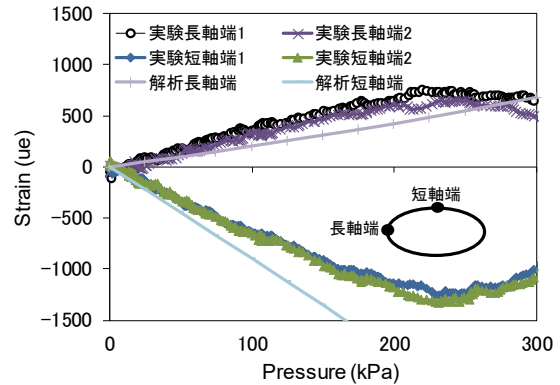


Fig.3 外水圧で生じたひずみ
Strain caused by external pressure

程度の圧力差がなければ水や空気の入りは生じないと考えられる。

Fig.3 に引かれた 2 本の直線は、3 次元 FEM で求めた長軸端と短軸端における水圧とひずみの関係である。解析には ATENA3D を用い、対称性に基づく対象領域の縮小は行わず、供試体全体を対象とした。これは、解析結果と実験結果との比較に、ひずみという離散化誤差の生じやすい値を用いなければならないためである。模型実験で生じたひずみが Fig.2 の領域 1 に収まっていたことから、材料を線形弾性体とみなし、弾性係数を 1.55kN/mm^2 とした。

水圧の小さい領域では長軸端と短軸端の両方でひずみがおおむね一致しているが、当然ながら水の浸入による非線形性は再現されていない。またひずみの計算結果にはかなりのメッシュ依存性がみられ、実験結果と直接的な比較が可能な計算結果が得られているかについては、まだ検討が必要な状況である。

謝辞

本研究には科学研究費補助金 基盤(C) 18K05878 「たわんだ管に作用する内水圧の真円復元効果に関する研究」の補助を受けました。また実験に際して、石川浩也君(現東京消防庁)の協力を得ました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 石井将幸: 内水圧を受けるたわんだ管の挙動, 第 70 回農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集, pp.116-118, 2015.10.