

曲げひずみによる FRPM 管の構造安全性の評価について

Evaluation of structural safety of FRPM pipe by a bend strain

有吉 充*・毛利栄征*・裕 昌也**・東 俊司***・堀俊和*

Mitsuru ARIYOSHI、Yoshiyuki MOHRI、Masaya HAZAMA、Syunji HIGASHI、Toshikazu HORI

1. はじめに

農業用パイプの構造安全性を定量的に評価するため、曲げひずみを推定する手法（以下、本手法とする）を開発し、鋼管を用いた模型実験により、その精度を検証してきた。今回は、本手法で FRPM 管の破壊に対する安全性を照査するために、FRPM 管が破壊に至るまでの挙動を明らかにし、変形量が大きい状態における本手法の精度を検証した。

2. 実験の概要

2. 1 FRPM 管の載荷試験

埋設されているパイプは、周辺地盤の変形特性により、変形モードが異なる。そこで、図1に示すように、埋設パイプの基本的な変形モードである楕円形の場合(Type1)と、管底から±30°の箇所で局所的に変形する場合(Type2)の二種類の変形モードを想定した載荷試験を実施し、鉛直たわみ率 5%時のパイプのひずみ分布と破壊時のたわみ量及び管頂のひずみを計測した。なお、供試管には、フィラメントワインディング成形の FRPM 管（φ800、内圧3種管、管厚18mm）を用いた。

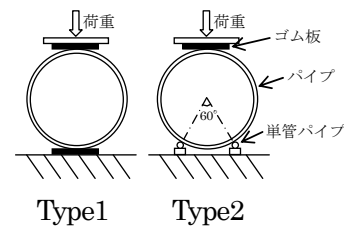


図1 試験条件

パイプの変形に関する計測は、円周方向のひずみと鉛直たわみ量について行った。ひずみの計測は、図2に示す位置にて、パイプ内外面に貼付した合計40枚のひずみゲージにより行った。

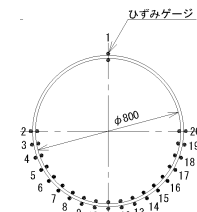


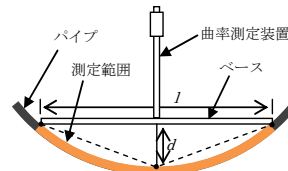
図2 ひずみゲージの貼付箇所

2. 2 本手法の FRPM 管に対する適用性の検証

本手法では、図3に示す曲率測定装置を用いて計測した曲率半径から、横断面の曲げひずみを推定する。曲げひずみは、曲がり梁の弾性論から導かれる曲率半径と曲げひずみの関係から計算できる。

$$\epsilon_{\max} = \frac{t}{2} \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \quad (1)$$

ϵ_{\max} : 最大曲げひずみ、 t : 管厚(m)、 r_a : 変形後の曲率半径(m)、 r_b : 変形前の曲率半径(m)である。



$$r = \frac{l^2 + 4d^2}{8d} + \frac{t}{2}$$

r : 曲率半径、 l : ベース長、 d : 測定長、 t : 管厚

図3 曲率測定装置

ひずみゲージ貼付箇所、Type1 では鉛直たわみ率 10%時、Type2 では鉛直たわみ率 7.5%時の曲げひずみを本手法により計測し、ひずみゲージの値と比較した。また、本手法から得られる曲げひずみの精度は、変形前の曲率半径の誤差とベース長により異なるため、それらの影響についても検討した。

現場に埋設されているパイプは土圧により変形しているため、変形前の曲率半径を計測することができない。そのため、変形前の曲率半径には、パイプ形状を真円と仮定した場合の値を用いる。本実験では、変形前の曲率半径が、本手法により得られる曲げひずみの精度に与える影響を検討するため、変形前の曲率半径には、真円と仮定した場合の値と、自重による横断面の変形が生じないようにパイプを立てた状態（管軸方向と地面を垂直にした状態）で曲率測定装置により計測した値の2種類を用いた。（以下、変形前の曲率半径に、前者を用いて求めた曲げひずみを補正前の値、後者を用いた曲げひずみを補正值とする）。

また、ベース長が本手法の精度に与える影響を検討するため、200mm と 300mm のベースを用いた。

3. 実験結果

3. 1 FRPM 管の載荷試験

農村工学研究所* National Institute for Rural Engineering、(株) 栗本鐵工所** Kurimoto ltd、積水化学工業 (株) *** Sekisui chemical co.ltd. キーワード：埋設管 性能照査 模型実験

Type1 (表1に示すNo.1) と Type2 (No.3) の鉛直たわみ率5%時の曲げひずみ分布図を図4に示す。支持条件が異なる管底部周辺のひずみ分布だけでなく、管頂のひずみ量も異なる。Type2の管頂のひずみ(4887 μ)は、Type1(3467 μ)の約1.4倍であり、たわみ率が同等でも、発生するひずみ量が大きく異なることが分かる。

破壊時のたわみ率及びひずみ量等を表1に示す。Type2の破壊時の鉛直たわみ率(約18%)は、type1(24%)の約70%である。一方、破壊時のひずみは、Type2とType1ではほぼ同等であり、破壊に対する安全性の指標には、たわみ量よりもひずみを用いることが適当であることが分かる。

3. 2 本手法のFRPM管に対する適用性の検証

図5にType1(No.1)の鉛直たわみ率10%時の曲げひずみ分布図を示す。本手法の曲げひずみ(以下、本手法による曲げひずみは推定値とする)は、補正前の値である。110°を除き、推定値はひずみゲージ値の80%~120%である。ベース長が300mmの場合は、推定値はひずみゲージ値の87%~100%であり、200mmの場合よりも精度のばらつきが小さい。

本手法の曲げひずみを補正值で整理したときの曲げひずみ分布図を図6に示す。図5において精度の低い110°及び120°における推定値の精度は向上し、ベース長200mmでは、それぞれひずみゲージ値の100%及び94%である。これらの箇所では、実際の変形前の曲率半径が、真円と仮定した場合の値と異なっていたため、図5では精度が低くなっていたことが分かる。ベース長が短いほど局所的な変形を捉えるため、パイプ内面の状態が真円ではない本供試管においては、300mmのベースを用いた方が、推定値の大きな誤差を避けることができる。

図7にType2(No.3)の鉛直たわみ率7.5%時の曲げひずみ分布図を示す。本手法による曲げひずみは、補正前の値である。260°及び270°を除き、推定値はひずみゲージ値の80%~120%であり、Type1の場合とほぼ同等の精度である。局所変形をしている150°及び210°においても、推定値はひずみゲージ値の80%以上であり、局所的に変形している場合でも、同様の精度で、本手法により曲げひずみを推定できることが分かる。

4. まとめ

曲率半径の変化から曲げひずみを推定する手法を $\phi 800$ のFRPM管に適用し、その精度を検証した。パイプ内面の状態が真円ではないため、200mmのベース長では、局所的に曲げひずみの精度が低くなる箇所が生じるが、300mmのベース長を用いた場合は、80%以上の精度で曲げひずみを推定できることが分かった。

参考文献1)有吉ら(2011)、埋設パイプラインのひずみ推定手法の開発、平成23年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、406-407

表1 破壊時の鉛直たわみ率及びひずみ等の状態

供試管番号	試験条件	破壊荷重(kN/m)	破壊時の鉛直たわみ率(%)	破壊時の管頂のひずみ(外側)(μ)	たわみ率5%時の管頂のひずみ(外側)(μ)	備考
No.1	Type1	139.5	24.3	14287	3467	管頂及び管底で破壊
No.2	Type1	139.2	24.2	14819	3791	管頂及び管底で破壊
No.3	Type2	127.9	17.4	14534	4887	管頂で破壊
No.4	Type2	150.2	17.8	14434	4661	破壊していないが、管頂内面に亀裂(載荷試験機の性能により中断)

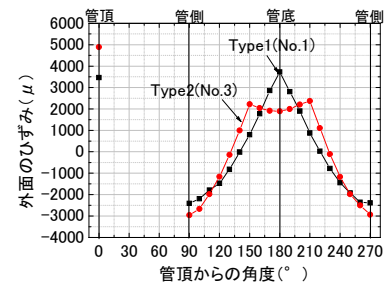


図4 鉛直たわみ率5%時の曲げひずみ分布図(No.1とNo.3)

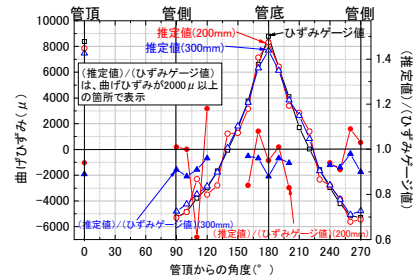


図5 鉛直たわみ率10%時の曲げひずみ分布図(No.1、補正前の値)

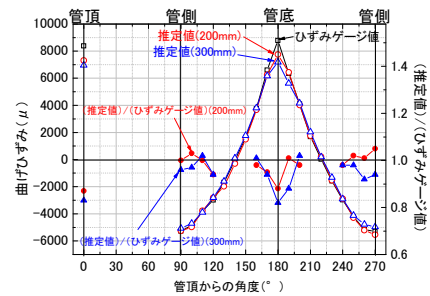


図6 鉛直たわみ率10%時の曲げひずみ分布図(No.1、補正值)

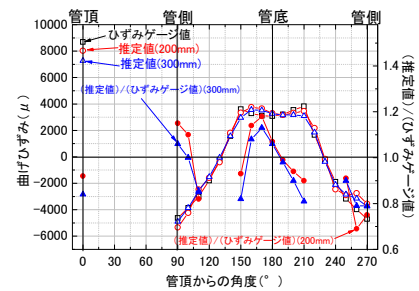


図7 鉛直たわみ率7.5%時の曲げひずみ分布図(No.3、補正前の値)