

## 埋設パイプラインのひずみ推定手法の開発 Development of method to estimate strain of buried pipe

有吉 充\*・毛利栄征\*・堀俊和\*・松島健一\*・上野和広\*

Mitsuru ARIYOSHI、Yoshiyuki MOHRI、Toshikazu HORI、Kenichi MATSUSHIMA、  
Kazuhiro UENO

### 1. はじめに

現在、埋設パイプラインの構造安全性評価について、たわみ量の調査が主に行われている。しかしながら、たわみ量と破壊の関係が不明確で、且つ、地盤条件によってはパイプが局所的な変形をするため、たわみ量は安全性評価の1つの指標にはなるが、定量的評価に用いることは困難である。そこで、本研究では、構造安全性を定量的に評価するために、パイプの曲率から管に発生するひずみを推定する手法を開発したので、以下に報告する。

### 2. ひずみの推定手法

本手法では、パイプが変形する際に曲率半径が変化することに着目して、横断方向のひずみを推定している。実験に用いた曲率半径を測定する装置（以下、曲率半径測定装置と呼ぶ）を写真1に示す。曲率半径測定装置を図1に示すように、パイプの内面から押しあてて、ベース中心の底面からパイプまでの距離  $d$  を測定する。 $d$  から管厚中心の曲率半径は幾何学的に以下の式により計算できる。

$$r' = \frac{l^2 + 4d^2}{8d} + \frac{t}{2}$$

ここで、 $l$ ：ベースの長さ、 $t$ ：管厚、 $r'$ ：変形後のパイプの曲率半径である。上式より求めた曲率半径を下式（曲がり梁の理論）に代入して、パイプに発生する最大曲げひずみが計算できる。

$$\varepsilon_{\max} = \frac{t}{2} \left( \frac{1}{r'} - \frac{1}{r} \right)$$

$\varepsilon_{\max}$ ：最大曲げひずみ、 $r$ ：パイプの管厚中心半径である。

### 3. 模型実験

#### 3. 1 実験概要

本手法の有効性を検証するため、ひずみゲージを貼付したパイプを地盤に埋設し、曲率半径測定装置による推定ひずみとひずみゲージの値を比較する模型実験を実施した。実験に使用したパイプは鋼管（SS400）で、管厚 4.5mm、長さ 2m であり、内面にはエポキシ樹脂塗装が 0.7mm、外面にはポリウレタン被覆が 3.8mm 施してある。なお、管頂から約

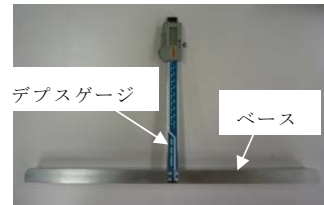


写真1 曲率半径測定装置

Device for the measurement of curvature radius

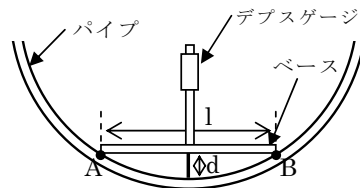


図1 曲率半径の測定方法

Method to measure curvature radius

45 度の付近では、溶接が行われている。また、埋設深は 800mm で、図 2、図 3 に示すように地表面全体から、パイプの鉛直たわみ量が 7% になるまでアクチュエータで地表面全体に等分布荷重を与えた。地盤は、霞ヶ浦砂を用いて作製しており、締固め度は 76% で、緩い地盤を再現している。

ひずみの計測は、図 3 に示すように管軸方向の中央部において、パイプ内面に 10° 毎に合計 36 枚のひずみゲージを貼付して行っている。曲率半径測定装置によるひずみの計測については、ベースの長さ（図 1 参照）が測定精度に与える影響を検討するため、長さを変更した 3 種類のベース（200mm、300mm、400mm）を用いた。

### 3. 2 実験結果

曲率半径測定装置とひずみゲージにより測定されたパイプのひずみ分布図を図 4 に示す。角度は、管頂部が 0° で、時計回りを正とし、ひずみは引張を正としている。曲率半径測定装置により推定したひずみと、ひずみゲージの値は、ほぼ全ての位置において、近い値となっており、本手法により局所的なひずみを推定できることが分かる。但し、30° ~70° にかけては、曲率半径測定装置による推定ひずみが、ひずみゲージの値と大きく異なっている。これは、45° 付近の溶接の影響により、溶接箇所近傍で初期の状態が真円ではないことが原因である。

構造安全性を定量的に評価する場合、パイプに生じている最大ひずみの予測精度が特に重要であるが、ひずみが最大となる管頂部では、ひずみゲージによるひずみは 1452 $\mu$ 、曲率半径測定装置によるひずみは、ベース長が 200mm のとき 1618 $\mu$ （ひずみゲージの 111%）、300mm のとき 1446 $\mu$ （同 99.6%）、400mm のとき 1347 $\mu$ （同 92.8%）となっている。本手法による推定ひずみは、ベースとパイプの接触点を結ぶ円弧（図 1 における弧 AB）の曲率半径から求めるため、ベースが長いほど、円弧も長くなり、局所的な変形が捉えにくくなる。そのため、ベース長が長くなるにつれ、ひずみが小さくなったと考えられる。

実験に用いた鋼管の降伏時のひずみは約 1150 $\mu$  であるため、管頂部や管側部では塑性領域に至っている。パイプは地盤内に埋設されているため、一部が塑性領域に達しても直ちに破壊に至るようなことは考えにくいですが、このような大きなひずみが生じている場合は、構造的な安定性について対策を検討する必要がある。

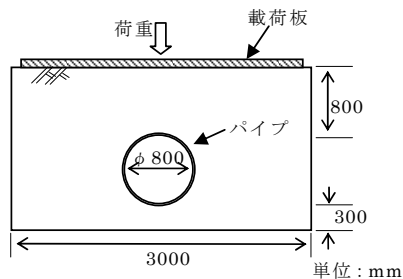


図 2 模型実験断面図（横断面）

Cross section of model test

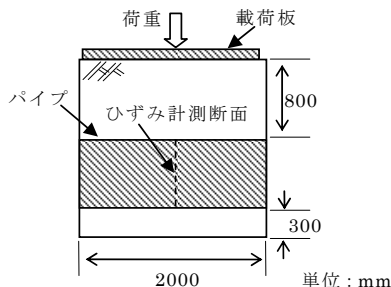


図 3 模型実験断面図（縦断面）

Longitudinal section of model test

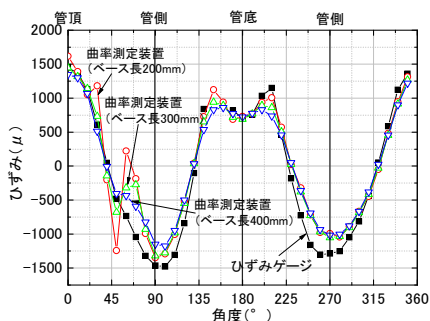


図 4 ひずみ分布図

Distribution of strain of the pipe

※ひずみゲージの 150° と 160° のデータは欠損