

FRPM 管のたわみ量とひずみ量の相互関係と診断技術について

東北農政局北上土地改良調査管理事務所 所長 合屋 英之
〃 保全整備課長 佐藤 章悦
〃 保全設計係長 金平 修祐

1. はじめに

近年多発する FRPM 管の破損事故等の原因解明に当たり、管の劣化状況を確認するため、継手間隔やたわみ量、許容漏水量の調査が行われている。設計基準においても劣化状況の判定はたわみ量を用いることとなっており、特にたわみ量の把握で管の劣化判定が行われている。

しかし、劣化から破損に到る過程においては偏圧に伴う局部変形が生じるが、管全体の変形量を把握する“たわみ量”から局部の変形を特定することは難しく、局部変形量の把握に対応できる“ひずみ量”の測定が必要とされている。

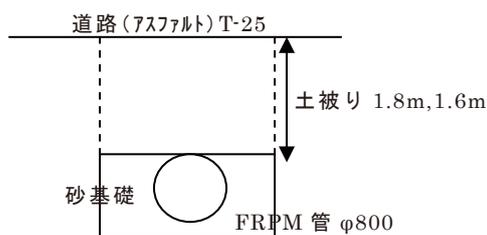
ひずみ量の測定は、一般には管にゲージを貼り付けるひずみゲージが用いられているが、ひずみ量の測定を普及させるため、平成 21 年度頃から農村工学研究所が主体となり、より簡易にひずみ量を捉えることができるデプスゲージの活用が提唱され、管破損に至るたわみ量とひずみ量の解析が室内実験を通して行われている。管の構造的な安全性を定量的に把握・評価するためには、たわみ量とひずみ量の測定が不可欠であり、その相関

性を調べることで、偏圧の集中箇所や方向性、あるいは管の特性（品質のばらつき）などが分かり、破損に到るプロセスの解明にも期待できるものと考ええる。

本報告は、FRPM 管の劣化確認が必要とされている現場において、たわみ量とひずみ量の測定を行うことで、原位置でのデプスゲージ計測診断技術の適用を図るとともに、測定データから相関性の把握を試みたものである。

【対象とした管の概要】

- ・ 頭首工から取水した水をポンプ圧送して吐水槽に溜めた上で自然流下させるクローズド系パイプラインに属している。
- ・ 道路下に埋設され、自動車荷重は T - 25 で大型車両が走行する。
- ・ 対象区間の管には A 社と B 社のものがあり、管強度区分の 1 種及び 2 種の割合は、それぞれ A 社が 6.7% と 93.3% (n = 140 個)、B 社が 73.6% と 26.4% (n = 347 個) である。
- ・ A 社及び B 社の管は $\phi 800$ の FRPM で、平成 9 ~ 平成 10 年度にかけて敷設され、それぞれの平均土被りは 1.8 m と 1.6 m である。



標準断面



写真-1 現地状況

2. たわみ量とひずみ量の測定

(1) たわみ量測定

局部変形をもたらす管全体の変形が“たわみ”であり、水平方向と鉛直方向のたわみ量が測定され、それぞれのたわみ量は以下の式から求められる。

$$\text{たわみ量 (\%)} = \Delta X / 2R \times 100 (\%)$$

$$\text{水平: } \Delta X = 2R - (D_h + t)$$

$$\text{鉛直: } \Delta X = 2R - (D_v + t)$$

2R : 管厚中心直径

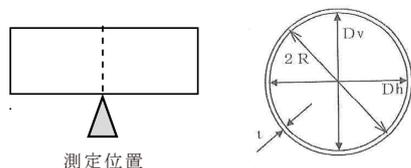
D_h : 水平方向延長

t : 管厚

D_v : 鉛直方向延長

たわみ量測定では、φ 800 mm と狭小なスペース作業のため測定誤差を防止する必要があることから、管の中央を測定位置とし、従来の計測棒によらないレーザ距離計を使用して複数回測定を行った上で最小値を測定値とした。

たわみ量 (%) 測定位置



(2) ひずみ量測定

ひずみ量の測定「曲げひずみによる FRPM 管の構造安全性の評価について」(参考資料)を基に実施した。測定機器であるデプスゲージは、埋設パイプのひずみを推定する手法として開発されたものである。

農村工学研究所の FRPM 管の点载荷試験の結果より、管に貼り付けたひずみゲージの測定値とデプスゲージによるひずみ量を算出した測定値はほぼ等しいことが示されており、その有効性が証明されているベースの長さ L は、300 mm である。ゲージ食い込み深さ d (mm) を小数点以下 1 桁まで読み、管変形後の最大ひずみ ϵ_{\max} (管内面の値) を算出した。その式は、曲りの梁の理論か

ら次式となる。

$$\gamma' = (L^2 + 4d^2) / 8d + t / 2$$

$$\epsilon_{\max} = t / 2 * (1 / \gamma' - 1 / \gamma)$$

γ' : 変形後の管厚中心半径 (曲率半径)

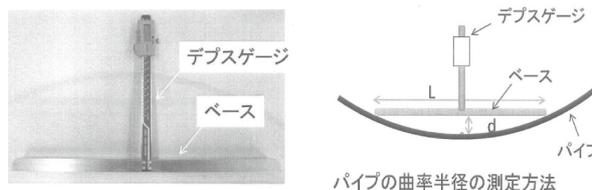
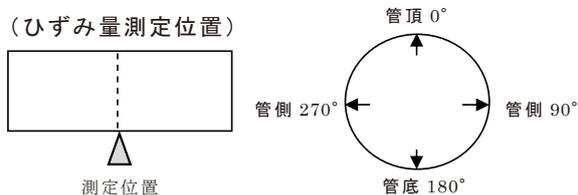
γ : 変形前の管厚中心半径 (曲率半径)

t : 管厚

d : ゲージ食い込み深さ

L : ベース長 0.3m

また、たわみ量測定と同様に管の中央を測定位置とし、管頂を 0° とし時計廻りに管側 90°、管底 180°、管側 270° の 4 点の局部を測定する。



デプスゲージにて、パイプの曲率半径を測定する。曲率半径の変化から、発生しているひずみを計算する。

(3) 測定概要

たわみ量とひずみ量の相関性を正確につかむためには、位置ずれが起こらないよう同時期の測定が望ましいが、ひずみ量測定は平成 25 年度、たわみ量測定は平成 26 年度と間をおいての測定となった。そのため、平成 25 年度の測定の際の管番などのマーキング情報等を基に、同位置で平成 26 年度ひずみ量測定位置を特定する手法をとった。

また、相関性を分析するため、たわみ量測定で得られた鉛直方向の値は、管頂と管底部のひずみ量の値を対応させ、水平方向の値は、左右の管側部の値を対応させ関係を探ることとした。



写真-2 H25年度ひずみ量測定状況



写真-3 H26年度たわみ量測定状況

3. たわみ量とひずみ量の測定結果に基づく相関性の検証

ひずみ量とたわみ量の測定値を基に整理を行い、前述の測定概要のとおり、鉛直たわみ量と管頂0°及び管底180°のひずみ量、水平たわみ量と管頂90°及び管底270°を対応させた回帰式を求めグラフ化を行った。

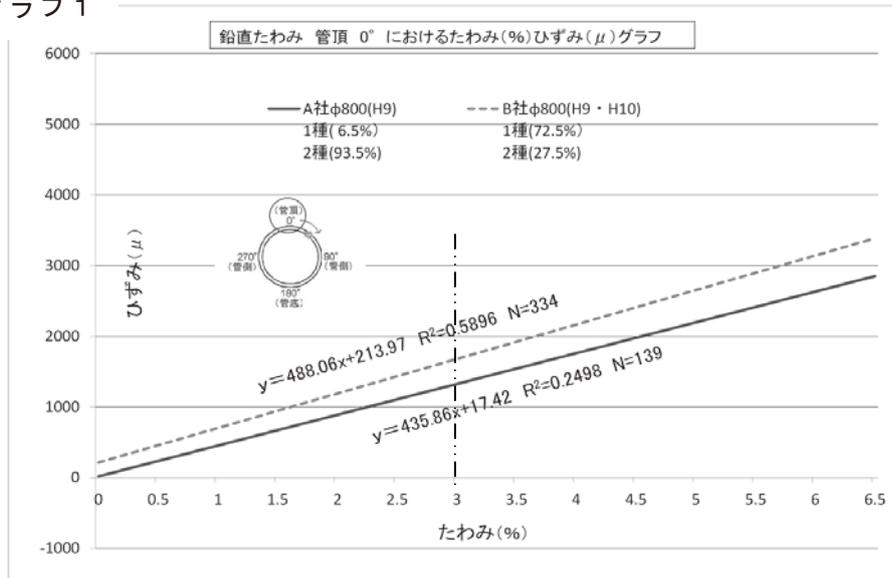
これらのグラフより明らかになったことは次の5点である。

- ・グラフ1, 2より、管頂及び管底において、2社ともグラフの傾きが同様な回帰式が得られ、たわみとひずみの偏圧は鉛直方向で一致することが示された。その中で管頂において

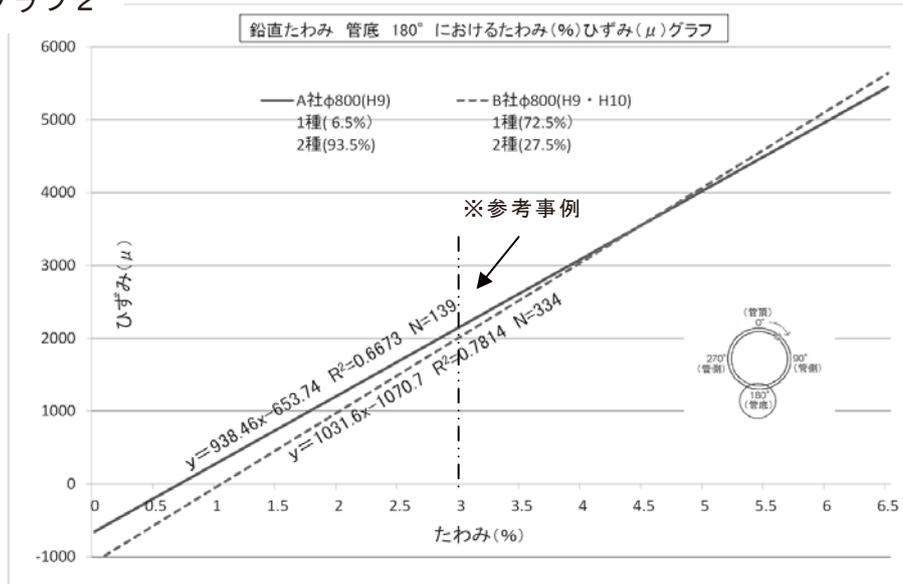
回帰式の寄与率 R^2 がA社は高く、B社は低いという傾向が見られた。

- ・グラフ1, 2より、鉛直方向のたわみ量が3%の場合、管頂でひずみ量が1330 (μ) ~ 1680 (μ)であるのに対し、管底では2020 (μ) ~ 2150 (μ)となり、管底により大きなひずみがかかっていることが示された。
- ・グラフ2より、2社とも管底で相関が高い回帰式が得られた。このことは、仮に管のひずみ量から管のたわみ量の推定を行う場合、管底の値から求めることでより精度の高い値を得られることを示している。
- ・グラフ3, 4より管側90°及び管側270°において、B社の回帰式の寄与率 R^2 が高く、

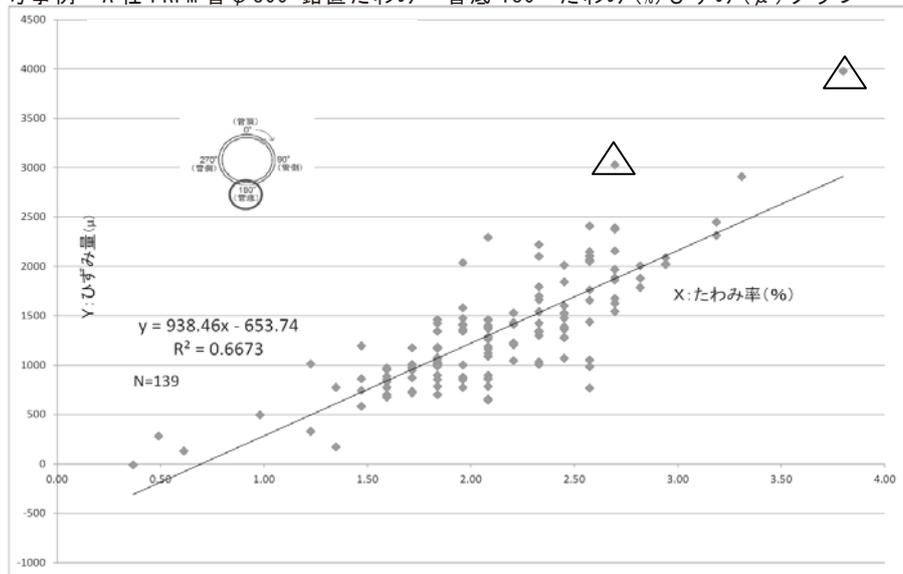
グラフ1



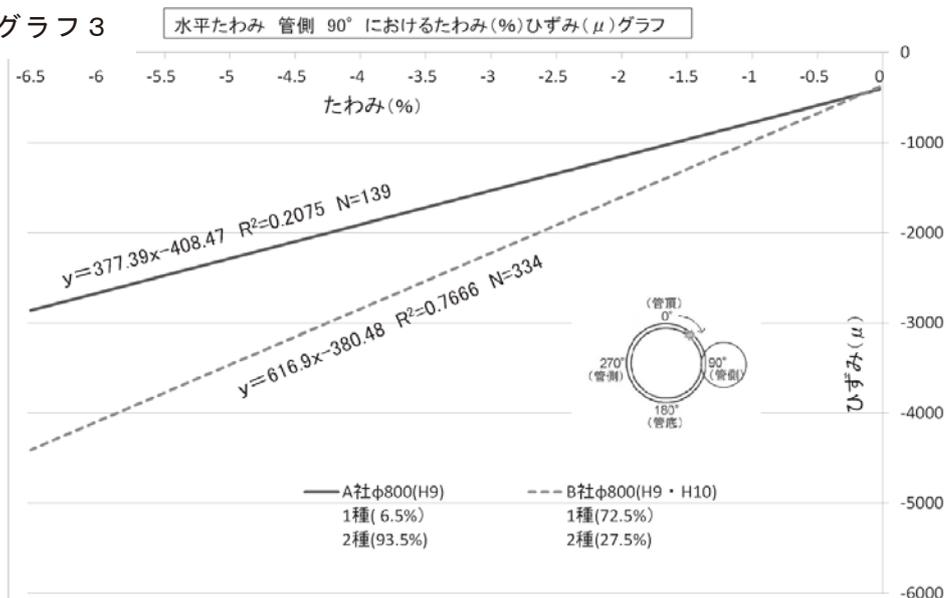
グラフ 2



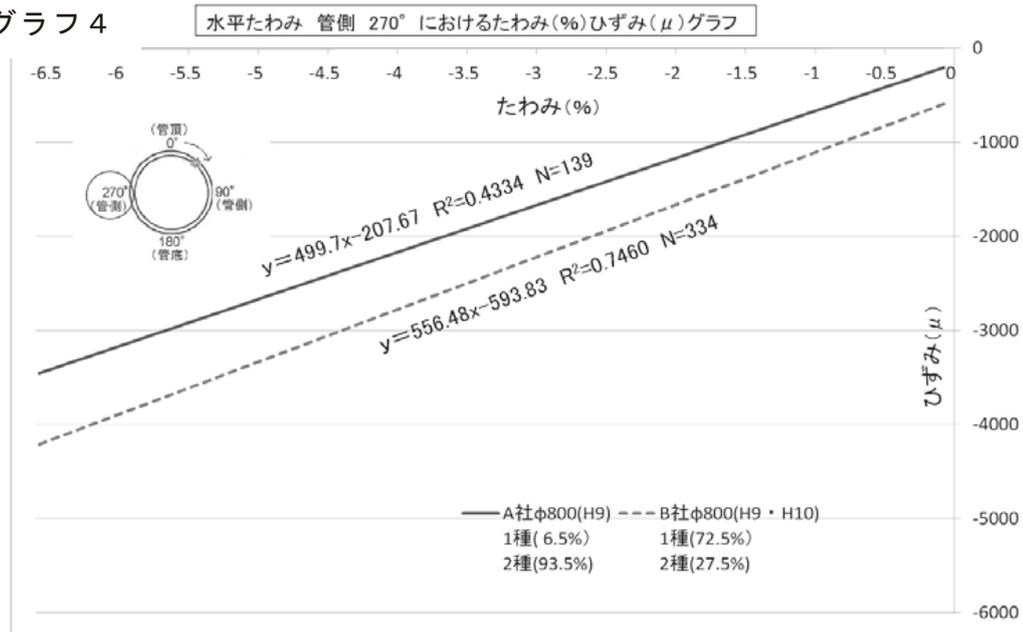
※参考事例 A社FRPM管φ800鉛直たわみ 管底180°たわみ(%)ひずみ(μ)グラフ



グラフ 3



グラフ 4



A社は低いという傾向が見られた。

- 管側 90° と管側 270° は、水平位置にあるためグラフ上で2社とも同様の傾きが得られるものと考えていたが、グラフ3の管側 90° で異なる結果となった。また、グラフ3, 4より、A社の管側 90° と管側 270° の比較でも傾きが異なる結果となり、これは、自動車走行による荷重のバラツキや品質のバラツキによるものと推測される。

4. まとめ

A社, B社によるたわみ量とひずみ量の回帰式の比較により, FRPM 管という括りでは同様な傾向が得られるものと考えていたが, たわみ量と管頂, 左右管側, 管底の4点のひずみ量の検討で, 寄与率の高低やグラフの傾きなどに差異が確認された。

製造社の違いによるFRPM管の特性情報が十分知られていない状況の中で, 各地で突発的な漏水事故が多発している。たわみ量とひずみ量を組み合わせた今回と同様の診断調査が実施されることで, 製造社の管特性に合わせた劣化状況の把握や余寿命などを推定することが可能となる。

また, たわみ量とひずみ量の回帰式では寄与率の高低に目を奪われるが, “※参考事例”のグラフの△を付けた2点のように回帰式を上回っている箇所より大きなひずみ量が記録され, 不具合

が生じている可能性もある。また取りまとめ時に回帰式から外れた点に対し電磁波レーダによる異物調査や詳細な目視調査を実施することで, 調査精度の向上が期待できる。

なお, 平成26年度の管内たわみ量の測定に当たって, 平成25年度の管内面目視調査による高圧洗浄で汚れはほとんどないものと判断していたが, 実際は管内に残っていた泥をかき分けながらの作業となり, 受注者には多大な作業を強いる結果となった(写真-3参照)。φ800mmと作業スペースが狭い中で測定を行う場合, 事前の高圧洗浄は必要不可欠である。

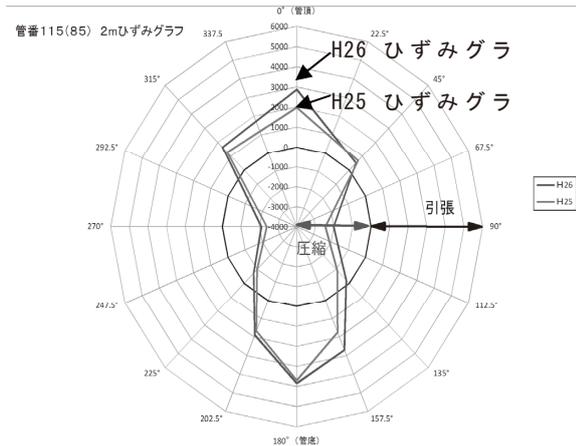
5. 今後の展開

現地でFRPM管の高度な診断を行うためには, ひずみ量測定に併せ管内の内面形状を簡易に測定する“手動管内面計測”が必要と考えている。平成25年と26年の2ヶ年において, 手動管内面計測と管内10箇所のひずみ量測定を実施し, 角度ごとのひずみ量をグラフ化したものと手動管内面計測結果の対比(重ね合わせ)及び解析を行った。これにより, 局部の変形箇所や全体の変形状態の見える化が図られ, 管上部の荷重や管底の砂基礎状況など管変形の要因推定が可能となり, 管破損事故の原因解明にとって大きく寄与する手法と期待されるものとなった。

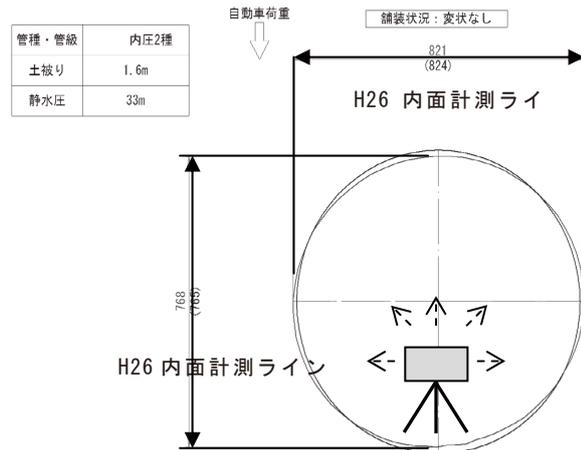


角度センサー付きレーザー距離計を市販されているカメラ雲台(3軸気泡型 360° 目盛付で 5° 刻み固定可)を用いて、手動により 5° 毎に回転させた位置で器具から内面までの距離を測定することで、内面形状を簡易に測定・表現するための計測器具。汎用品で構成されており機動性が高い。

写真-4 手動管内面計測器具



ひずみグラフ



手動管内面計測

FRPM 管の診断で管のたわみ量とひずみ量の相関性を把握することは、管の経年劣化の状態を具体的に解き明かす重要な手法となり、モニタリング技術の高度化に資するものと確信している。今後、ストックマネジメント技術高度化事業を活用しこれら技術の積み重ねにより、管の特性を踏まえたパイプラインの維持管理技術の向上を図って

いくことが重要であると考えている。

参考資料

「曲げひずみによる FRPM 管の構造安全性の評価について」、有吉充, 毛利栄征, 裕昌也, 東俊司, 堀俊和, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 764-765, 2013 年 8 月