

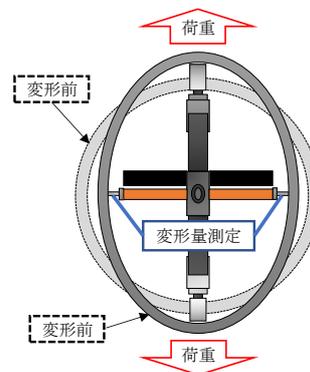
# 埋設 VU 管に内面載荷法を適用した際の測定値の特性および周辺地盤の挙動 Measurement Characteristics and Surrounding Ground Behavior in the Application of the Internal Loading Method to Buried VU Pipe

○関田伊織\* 兵頭正浩\*\* 緒方英彦\*\*\*

Iori SEKITA\* Masahiro HYODO\*\* Hidehiko OGATA\*\*\*

## 1. はじめに

現在、農業用パイプラインの機能診断は主に管内カメラを用いた目視調査に頼っているが、その精度には限界がある。このため、より正確な診断手法として内面載荷法が研究・開発されている<sup>1)</sup>。本手法は、**Fig.1**に示すように、局所的な荷重を徐々に加えて管を弾性変形させ、得られた鉛直荷重と対応する水平変形量を計測する。この計測結果から近似直線を導き、直線の傾き（荷重－変形量の傾き）を指標として埋設管の耐力を評価している。本手法は、コンクリート管などの不とう性管を対象に研究されてきた。しかし、地震の多い日本では、とう性管が全体の95%を占めるため、とう性管への適用拡大が求められている<sup>2)</sup>。



**Fig.1** 内面載荷法の概要

埋設とう性管から得られる計測結果は、地盤の影響を大きく受けるため、不とう性管とは異なる非線形挙動を示す。したがって、内面載荷法を適用して得られた結果を活用することで、埋設管の耐力評価に加えて、周辺地盤の状態を評価できる可能性がある。特に、地盤の緩みを早期に察知し、管が限界までたわむことで発生するパイプラインの破壊の兆候を検知できる可能性がある。本研究では、最終的に地盤状態に応じた荷重－変形量の傾きを指標とする機能診断手法の確立を目指しており、本報では、その第一段階として、とう性管の一種である埋設 VU 管に内面載荷法を適用し、測定値の特性と、それらが生じるメカニズムを周辺地盤の挙動の観点から分析した。

## 2. 実験概要

作製した埋設管の模型の横・縦断面図を **Fig.2** に示す。模型は鉄製の箱（厚さ 4.5mm）で、鉄製の蓋（厚さ 9mm）を介して上部から外圧を付加することで埋設深 600mm の環境を再現した。供試管を模型に挿入するために、側面中央に  $\phi 270\text{mm} \times 500\text{mm}$  の穴をあけており、この穴は管の外径より 10mm 大きく、管と模型の接触による拘束は発生していない。また、供試管は  $\phi 250$  の VU 管（薄肉硬質塩化ビニル管）を用いた。測定断面を管軸方向の中心位置に設定し、土圧計を管から 10mm 離れた  $90^\circ$  の位置に設置した。埋め戻し材料には真砂土（最大乾燥密度  $\rho_{d\max}=1.69\text{g/cm}^3$ 、最適含水比  $\omega=14.5\%$ ）を用い、7層に分けて均一に締め固めた。さらに、内面載荷装置を用いて、埋設環境および非埋設環境下における鉛直荷重、水平変形量、土圧の測定データを取得した。内面載荷装置と管を固定するために、初期荷重として約 300N を付与した。計測は 5 回実施し、各回において、左右変形量の合算平均値が  $300\ \mu\text{m}$  増加するまで载荷を実施した。測定を開始する際には、各測定値をリセットした。

\*鳥取大学大学院持続性社会創生科学研究科, Graduate School of Sustainability Science, Tottori University,

\*\*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, \*\*\*鳥取大学大学院連合農学研究科,

The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University

キーワード: とう性管, 荷重－変形量の傾き, 土圧, 診断, せん断破壊

### 3. 結果と考察

非埋設条件, 埋設条件において, 内面載荷法の鉛直方向の載荷・除荷過程で得られた荷重-変形量の関係を図.3, 4に示す. 図.3の非埋設条件では, 1~5回目の載荷において, 荷重-変形量の傾きおよび載荷開始点と除荷終了点がほぼ一致している. 一方で, 埋設条件である図.4では, 1回目の載荷で1,500N付近で折れ点が生じ, 非線形領域が広く確認できる. 2~5回目の載荷では, 線形領域が広がり, 残留変形も1回目と比較して減少傾向にある. この結果から, 荷重-変形量の特徴は地盤の影響を大きく受けることが示唆される. 載荷1回目の折れ点の原因を探るため, 土圧-荷重(図.5)の関係を調査した. 土圧の値は地盤が圧縮される方向を正と定義した. 結果, 載荷後に荷重が1,500Nを超えた後, 除荷が進み1,500Nを下回るまでの間, 土圧の値にほとんど変化がみられなかった. また, 土圧の挙動から, 地盤にせん断破壊が生じた可能性が考えられる. そこで, 地盤にせん断破壊が生じる際の荷重について, 式(1)を用いて計算を行った.

$$P_{max} = \{c + \sigma \times \tan(\phi)\} \times A \quad (1)$$

ここに,  $P_{max}$ : 最大荷重 (N),  $c$ : 粘着力 ( $N/m^2$ ),  $\sigma$ : 正規応力 ( $N/m$ ),  $\phi$ : 内部摩擦角 ( $^\circ$ ),  $A$ : 接触面積 ( $m^2$ ),  $c = 10.0$ ,  $\sigma = 12.0$ ,  $\phi = 36.1$ ,  $A = 0.1$ である.

計算結果から, せん断破壊が生じる際の荷重は1,875Nであり, 初期荷重300Nを考慮すると, 1,500N付近の傾きの折れ点と一致する. このことから, 折れ点の前半部分は地盤が圧縮される領域であり, 地盤状態を適切に反映していると考えられる. 一方, 折れ点以降の後半部分では, せん断破壊が発生していることが示唆される.

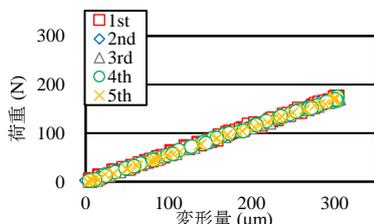


Fig.3 荷重-変形量  
【非埋設条件】

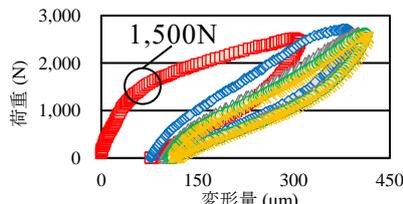


Fig.4 荷重-変形量  
【埋設条件】

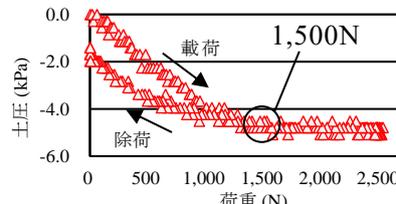


Fig.5 土圧 (90° 位置) - 荷重  
【載荷 1 回目】

### 4. まとめ

本研究では, 農業用パイプラインの機能診断手法として内面載荷法を適用し, とう性管の一種である埋設 VU 管の荷重-変形量の特徴を分析した. 埋設条件では, 1,500N 付近で荷重-変形量の傾きに折れ点が生じ, 地盤の影響を確認した. さらに, 土圧の挙動およびせん断破壊の生じる荷重値を調査した結果, せん断破壊の発生が示唆された. 今後の研究では, 圧縮領域における荷重-変形量の傾き(載荷1回目)を中心に, 地盤状態(土圧)との関係を詳細に検討し, とう性管に対する内面載荷法を用いた機能診断手法の可能性を検証する.

謝辞: 本研究は, 科学研究費補助金「埋設された管および周辺地盤の個別状態評価手法の提案と判定基準の構築」(課題番号: 22H02457, 代表: 兵頭正浩)の助成を受けて実施した. ここに記して感謝の意を表します.

参考文献: 1) 兵頭正浩, 石井将幸, 佃 亮介, 緒方英彦, 野中資博 (2015): 埋設管の現有耐力評価手法としての内面載荷法の提案-PVC 管を用いたひび割れ検知能力の検証-, 農業農村工学会論文集, No.300, pp.215-220, 2) 山口康晴 (2017): 農業用管水路の整備状況とリスク管理に関する考察, 農業農村工学会誌, 85 (10), pp.945-948

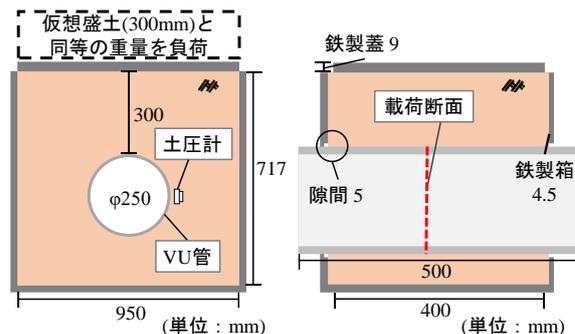


Fig.2 模型の横断面図・縦断面図