

パイプライン埋設地盤の地下水位の挙動を考慮した機能診断調査

小野寺 康浩*

1. はじめに

現在、国内の農業用水路の多くにパイプラインが整備されている。大規模な農業地帯を有する北海道でも、農業用水の送配水のために、畑作、稲作、酪農地域でパイプラインが供用されている。

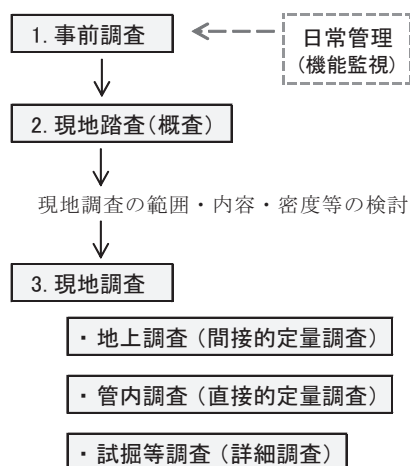
一方、近年では耐用年数を迎える施設も増えており、鉄鋼系、樹脂系、コンクリート系のパイプラインで突発的な事故が発生し、平成20年度は国内で約300件に達している¹⁾。

水利基盤チームは、基盤研究「北海道におけるパイプラインの構造機能の診断技術の開発」において、北海道のパイプライン埋設地盤、使用管種等の条件に適した機能診断手法の策定に取り組んでいる。

本資料では、パイプライン埋設地盤の地下水位の挙動に着目した室内埋設実験の結果²⁾を述べるとともに、北海道のパイプラインの機能診断調査の留意点について報告する。

2. パイプラインの機能診断の基本的な流れ

パイプラインの漏水等の変状を未然に防止するためには、定期的な機能診断の実施が必要である。一般的



図－1 パイプラインの機能診断調査の流れ
(文献3に加筆修正)

な農業用水のパイプラインの機能診断調査は、図－1に示すように、事前調査、現地踏査、現地調査(地上調査・管内調査・試掘等調査)の順序で行われる³⁾。

パイプラインのように長距離に及ぶ線状構造物の機能診断では、現地踏査の段階でパイプラインの過大な変形、水密性の低下等の変状が生じやすい区間を概定し、それ以降の現地調査を進めることが望ましい。

また、北海道のパイプラインの機能診断調査を行う場合は、基礎部に火山灰質系の砂質土等が使用され、融雪期等に比較的大きな地下水位変動が生じる区間で、変状がみられる事例があることにも留意する必要がある。

3. パイプライン埋設地盤の地下水位の事例観測と室内埋設実験

3. 1 パイプライン埋設地盤の地下水位の事例観測

土被り厚が約2～3mのパイプライン埋設地盤で、融雪期を含めた地下水位の観測を行った。

その結果、年間を通し地下水位がパイプの上部に位置し、融雪期や降雨時に地下水位の変動が生じる区間、一方、年間を通して地下水位がパイプの側部、下部に位置する期間が長い。融雪期や降雨時にはパイプの上部まで地下水位が上昇する区間があった。

同じ地域のパイプラインでも、地形条件や埋設深によって、パイプと地下水位の位置関係や地下水位の変動範囲は多様であった。また、過去に漏水等の変状が発生した区間は、年間を通した平均的な地下水位がパイプの上部や側部に位置し、地下水位の変動範囲が比較的大きい傾向が見受けられた。

3. 2 室内埋設実験

北海道の農業用水のパイプラインは、管種に可とう性パイプを使用し、地中に埋設されている事例が多い。また、融雪水等の地盤浸透によって、パイプライン埋設地盤の地下水位が変動する条件下におかれている区間もある。

そこで、地下水位の変動を模擬した室内埋設実験を

行い、地下水位の変動がパイプの土中挙動に与える影響等を検討した。

3. 2. 1 実験概要

室内埋設実験の断面図を図-2に示す。前面と左側面が強化ガラスよりなる鋼製土槽の中央部に、幅2m、

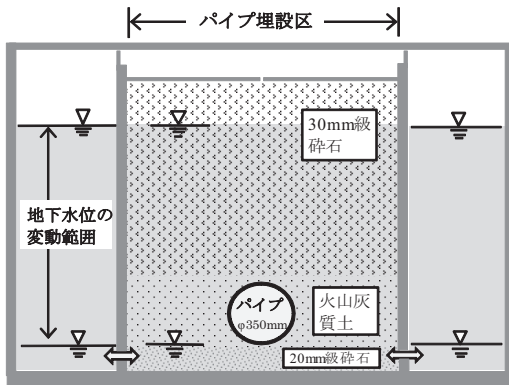


図-2 室内埋設実験の断面図
(土槽寸法：幅4m×高さ2m×奥行き1.5m)

表-1 実験に用いた土質材料の性質

材料区分 (施工範囲)	基床材 (底面から 管底高まで)	基礎材 (管底高から 管頂高+5cmまで)	埋戻し材 (管頂高+5cm から上面まで)
土質材料	20mm級 砕石	火山灰質土	30mm級 砕石
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.756	2.462	2.753
最大粒径 D_{max} (mm)	20	20	30
自然含水比 w_n (%)	4.5	31.4	4.2
コンシス テンシー	NP	NP	NP
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.990*	1.210*	1.980**
最適含水比 w_{opt} (%)	12.0*	36.7*	11.4**
土質分類	GS-F (細粒分まじり 砂質礫)	SV-G (礫まじり 火山灰質砂)	GWS (粒径幅の広い 砂質礫)
埋設実験における 締固め度 (%)	90	85	85

最大乾燥密度と最適含水比の、*はA-c法、**はB-c法による値である。

高さ1.6m、奥行き0.5mのパイプ埋設区(以下、埋設区と称する)を設け、基礎材に火山灰質土を使用して、樹脂系のパイプを埋設した。パイプの両端面はビニルマシチックテープ等で密閉した。また、埋設区の内壁の側面・背面には摩擦軽減処理を施し、前面(ガラス面)は目視観察ができるよう無処理とした。

埋設地盤は、表-1に示す土質材料を用いて、壁打ちパイプレータで締め固めて作製した。埋設完了後、上面に不陸防止のために鋼製プレートを設置した。

地下水位の変動方法は、埋設区の側壁の底面から10cmの高さに給排水孔を設け、埋設区の外側の水槽を介し、埋設区の地下水位を上下動させるものとした。地下水位の変動範囲は、実際のパイプライン埋設地盤での観測結果を参考に設定した。

測定項目は、小型土圧計によるパイプに作用する外圧、ワイヤー型変位計を用いた管頂部の鉛直変位量、パイプ内外面のひずみ、地盤の間隙水圧等である。

3. 2. 2 実験結果

実験結果の一例として、パイプの上部で地下水位が変動した場合の管頂・管側(パイプ左右の平均値)・管底における外圧、および管頂部の鉛直変位量(パイプ前後の平均値)の変化を図-3に示す。

パイプに作用する外圧は、管底部で大きく変化しており、地下水位の上昇時に減少し、下降時に増加する傾向が認められた。また、元の水位に回復した後も緩やかに増加した。管頂部と管側部の外圧には、大きな変化はみられなかった。このような外圧変化の要因としては、地下水位の上昇時には上昇範囲の埋戻し部に浮力が作用し、パイプに作用する有効上載荷重が減少

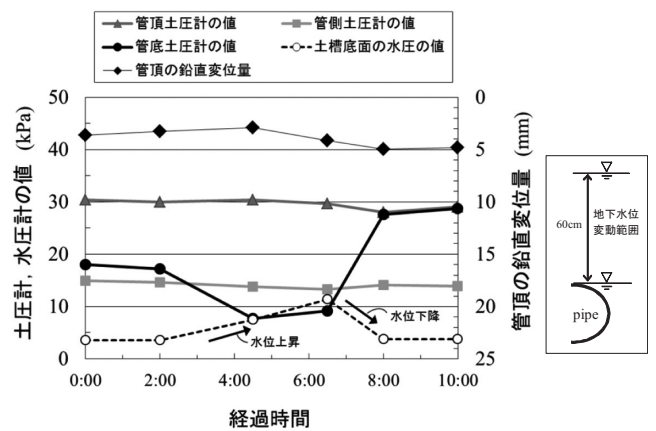


図-3 パイプの上部で地下水位の変動が生じた場合の作用外圧と鉛直変位量の変化

するため外圧が減少し、地下水位の下降時には埋戻し部に作用していた浮力が減少し、有効上載荷重が復元するため外圧が増加するものと推察される。さらに、地下水位が回復した後も、埋戻し部の間隙水圧が消散するまでの間は、上載荷重が緩慢に増加することで外圧が微増するものと推察される。

管頂部の鉛直変位量は、地下水位の上昇時に減少し下降時には増加しており、地下水位の変動がパイプの鉛直変位に影響を与えていることが示唆される。なお、管底部に比べ管頂部で外圧の変化が小さい理由は、供試パイプがリング剛性の低い可とう性のパイプであるため、上載荷重が減少すると管頂部は上に変位し、上載荷重が復元すると下に変位し、管頂部がパイプ上部の地盤の変位に追従するためと考えられる。但し、地下水位の変動に伴う可とう性パイプの挙動には、様々な要因が複雑に絡んでいるため断定できない。

今回の埋設実験では、パイプの上部、パイプの側部で地下水位の変動が生じるケースを検討している。地下水位の変動範囲の差違で比較すると、パイプの側部よりも上部で変動が生じる場合のほうが、パイプへの作用外圧とパイプの変位量の変化が大きかった。

図-4には、パイプの上部で地下水位の変動が繰り返し生じた場合の、管頂・管側・管底における外圧を示した。地下水位の変動が繰り返し生じると、管頂部、管側部の外圧には大きな変化はみられないが、管底部では徐々に外圧が増加する傾向が認められた。この管底部の外圧の増加には、地下水位変動の繰返しに伴う繰返し荷重やパイプ周辺地盤の土圧分布の変化等が影響していると推察される。現時点では火山灰質土を基礎材に用いた実験のみを行っているため、このような

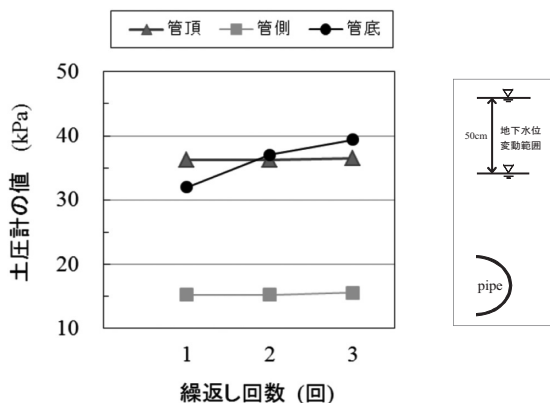


図-4 パイプの上部で地下水位の変動が繰り返し生じた場合の外圧の変化

管底部の外圧の増加が、他の土質材料の場合でも生じるか否かを検証する実験を継続する予定である。

図-5は、地下水位の変動が繰り返し生じた場合の、地下水位下降直後のパイプ内面の円周方向のひずみ分布である。ひずみは引張を正とし、パイプを基床に設置した時点と初期値としている。パイプ内面のひずみは、管底部、管頂部および斜め上方部で引張状態にあり、管底部で大きな引張が生じていることが分かる。また、今回の実験では、地下水位の変動に伴う発生ひずみが小さいことから、パイプ横断方向のたわみ量(真円を基準とした管厚中心直径の変化量)の変化も小さいことが伺える。

地下水位の変動に伴うパイプの土中挙動には、管種、口径、パイプと周囲地盤の力学的特性、パイプと周囲地盤との相対剛性⁴⁾、荷重条件等が複雑に影響するため、今後、さらに詳細に検討しなければならない。

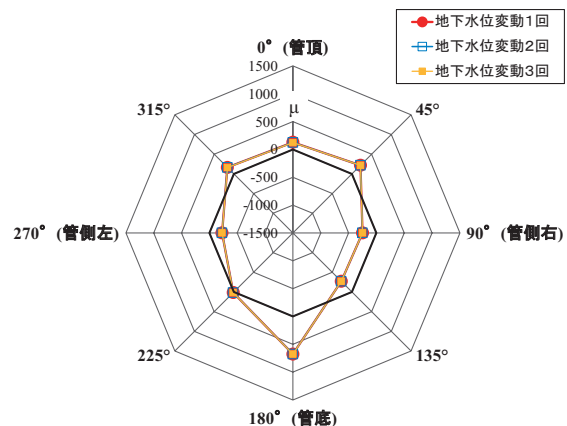
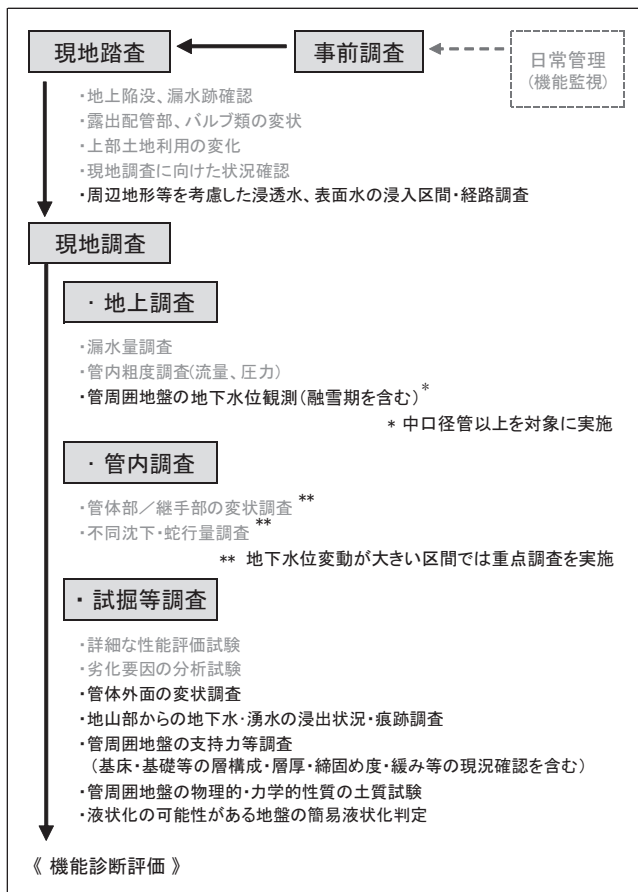


図-5 地下水位の変動が繰り返し生じた場合のパイプ内面の円周方向のひずみ分布

4. 北海道のパイプラインの機能診断調査について

北海道のパイプラインは、春先の急激な融雪水の地盤浸透によって、地下水位が上昇しその後下降する地下水位挙動が生じる条件下に埋設されている区間がある。例えば、パイプラインの背後に斜面や高位段丘が存在している区間、傾斜地の低標高部の区間、沢地を横断している区間、河川や排水路に近接している区間等が挙げられる。

図-6は、一般的なパイプラインの機能診断調査³⁾の流れを基本に、北海道のパイプライン埋設地盤の環



灰色の記載箇所は全国共通的な調査項目(文献3から引用)
 黒色の記載箇所は北海道のパイプラインで重要と考えられる調査項目

図-6 北海道におけるパイプラインの機能診断調査の概略フロー

境を考慮した機能診断調査の概略フローを示したものである。なお、図-6には鉄鋼系パイプの腐食に関する調査項目は記載していない。

既往の突発事故の発生箇所や室内埋設実験の傾向を踏まえると、北海道のような積雪寒冷地のパイプラインの機能診断調査では、現地踏査の段階で現地地形図と古地図等を用いた周辺地形調査を行い、融雪水や雨水が集まりやすい地形条件の区間を概定し、次に、現地調査(地上調査)の段階で、融雪期を含めた地下水位観測を行う必要があると考える。そして、地下水位の変動が顕著な区間については、現地調査(管内調査)の内容、密度等を検討して、重点調査を実施することが望まれる。さらに、現地調査(管内調査)で変状が認められた箇所では、現地調査(試掘等調査)によってパイプ周囲地盤の力学的な状態等も調査し、パイプラインの安定性を評価することが望まれる。

農業用水のパイプラインの設計基準⁵⁾は、1998年(平成10年3月)の改訂において、基床を含む基礎部の標準的な締固めの程度(設計基準⁵⁾の締固めI)が、締固め度85%程度から90%平均に引き上げられた。

改訂前の基準に準拠して建設されたパイプラインの基礎部は、高密度のものに比べると、地下水、湧水等に対する抵抗性が低いことも推察される。パイプラインの管種や基礎材の土質が同じでも、建設当時の基準等によって、パイプ周囲地盤の支持力、力学的性質が異なる場合があることにも留意する必要がある。

なお、口径や勾配等の制約で入管調査が不可能な区間については、条件に応じて適当な診断機器等を使用することになるが、調査費用と得られる結果のバランスを検討して診断機器等を選定し、次回以降の診断時に比較できるデータ収集を行うことが重要である。

5. おわりに

北海道の農業用水のパイプラインは、可とう性パイプの使用事例が多く、地中に埋設されている場合が多い。また、融雪水等の地盤浸透によって、地下水位が大きく変動する条件下に埋設されている区間もある。

北海道のような積雪寒冷地のパイプラインの機能診断では、融雪水等が集まりやすい地形条件等を考慮し、現地調査(地上調査)の段階で融雪期を含めた地下水位観測を行い、パイプライン埋設地盤の地下水位の挙動を考慮した機能診断調査を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 毛利栄征：パイプラインの再生と維持管理更新における課題，*水土の知*，Vol.78，No.4，pp.1-2，2010.
- 2) 小野寺康浩：地下水位変動条件下の可とう性パイプの診断に関する基礎検討，*土木学会北海道支部論文報告集*，第69号，F-02，2013.
- 3) 農業土木事業協会：農業水利施設の機能保全の手引き「パイプライン」，pp.29-48，2009.
- 4) Gumbel,J.E., O'Reilly,M.P., Lake,L.M., and Carder, D.R. : The development of a new design method for buried flexible pipes, *Proc. Europipe '82*, Basle, pp.87-98, 1982.
- 5) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」基準書・技術書，1998.



小野寺 康浩*
ONODERA Yasuhiro

寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
水利基盤チーム
総括主任研究員
技術士(農業)