

泥炭性軟弱地盤におけるダクトイル鋳鉄管の 挙動観測について

—経年的な沈下への追従性の確認と評価に向けて—

札幌開発建設部 岩見沢事務所 第2工事課

○金森 翔
児玉 輝明
清水 拓郎

主として泥炭で構成される地盤において農業用パイプラインを敷設する場合、経年的な地盤沈下の進行に伴い、管継手部の離脱や管体の破損に至ることが確認されている。

本稿では、近年、耐震性や地盤追従性に優れた継手など、用途に応じた開発が進められているダクトイル鋳鉄管について、経年的な沈下への追従性を確認することを目的とした管体の挙動観測計画と初期観測結果を報告する。

キーワード：パイプライン、泥炭、沈下、新技術

1. はじめに

一級河川石狩川水系の本流である石狩川の中・下流部に広がる泥炭地は、先人らの弛まぬ努力などにより、排水性の悪い未墾地・原野から北海道内屈指の稲作地帯となり、生産される米の食味等は全国から極めて高い評価を得ている。

泥炭地は、枯死した植物の生化学分解が十分行われなまま生成した有機質土から成ることから、多量の水分を含み、軟弱で、高い圧縮性を持つことで排水改良に伴う沈下が生じやすい。

このため、主として泥炭で構成される地盤において農業用パイプラインを敷設する場合、地下水位の変動に伴いながら経年的な地盤沈下が進行し、管継手部の離脱、破損に至ることが確認されている²⁾³⁾。

一方、農業用パイプラインの管種のひとつであるダクトイル鋳鉄管は、耐震性や地盤追従性に優れた継手など、用途に応じた開発が進められており、近年の国営造成施設復旧工事での鎖構造継手等の施工実績もある。

本稿では、泥炭性軟弱地盤で施工事例が少ないダクトイル鋳鉄管について、経年的な沈下への追従性を確認することを目的とした管の挙動観測計画と計測後約1ヶ月の初期観測結果を報告する。

2. 地形・地質の概要

本調査の対象地区である国営農地再編整備事業「美唄茶志内地区」(以下、「美唄茶志内地区」という。)は、美唄市に位置し、石狩川左岸に広がる約1,570haの水田地帯である。地区の主要工事である区画整理は、傾斜区分

1/1,000~1/100の田を対象とした低平地で事業を実施している。また、美唄市の地質図幅(昭和40年 地質調査所)では、高位泥炭及び低位泥炭が広く現れており、昭和46年度調査実施の「地力保全基本調査成績書 空知中部地域(北海道道立中央農業試験場)を基本としつつ、現地踏査及び現地土壌断面調査を行ったところ、地区内の水田土壌では、泥炭由来の土壌が7割以上を占めている(図-1)。

なお、調査対象施設が位置する美唄市開発町桜井の農地で実施したボーリング調査でも、表土以下、シルト質粘土層厚約1m、泥炭土層厚約5m、更にN値5未満の粘土やシルトの軟弱層厚が約10mであることを確認している。

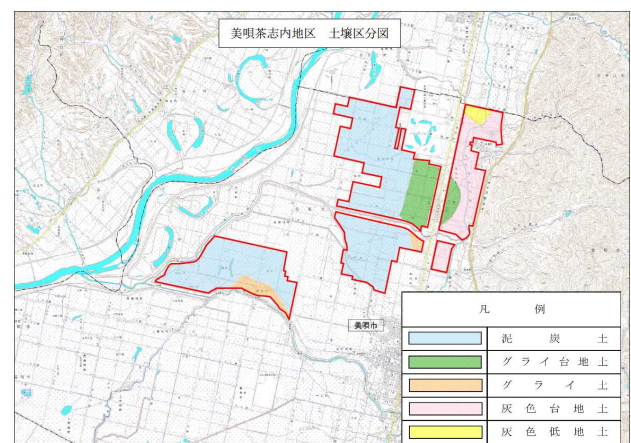


図-1 土壌区分図(美唄茶志内地区)

3. 調査の背景

美唄茶志内地区で造成する支線及び末端水路は、施工区域の土質条件や経済性を考慮して、口径φ500以下は

全ての地盤条件でVU管（硬質ポリ塩化ビニル管）、φ600以上は普通地盤でFRPM管（強化プラスチック複合管）、軟弱地盤・泥炭地盤ではPE管（高密度ポリエチレン管）として管種設定を行っている。

一方、令和4年度に軟弱・泥炭地盤条件で施工した桜井支線用水路（φ800）とその支線用水路の設計にあたっては、最新の他地区の事例収集や、資材メーカーからの聞き取り等を行い、検討することとした。この結果、①耐震用のNS形ダクタイル鋳鉄管及びNS形継輪（以下、「NS形」という。）には、大きな伸縮・屈曲性能が期待でき、不同沈下に対応可能であること、また、②NETIS（新技術情報提供システム）登録技術であるALW形ダクタイル鋳鉄管（以下、「ALW形」という。）は、設計基準に準じ、構造上安全となる範囲で管厚を最小化し、NS形を併用しても、従来型（K、T形）のダクタイル鋳鉄管に対して管材料費の低減が図られていることを確認した。このことから、VP管、FRPM管及びPE管のほかに同管種を含めた比較検討を行い、想定沈下量に対する性能確認の上、資材費、施工費としての経済性にも優れたALW形及びNS形を選定している。

なお、管種選定にあたっては、予定施設管理者とも協議を行い、決定している。

4. 調査対象施設の設計概要

(1) 調査対象施設の概要

調査対象施設である桜井支線用水路は、農地の区画整理工事に伴う水掛の統合の後、新設変更を行うもので、北海幹線用水路（フルーム水路）から分岐している茶志内幹線（管水路）を起点とする延長L=0.7kmの配水系クローズドパイプラインである。最大通水量 $Q=0.886\text{m}^3/\text{s}$ （代かき期）、管径φ800、静水圧は最大0.16MPaである（図-2）。

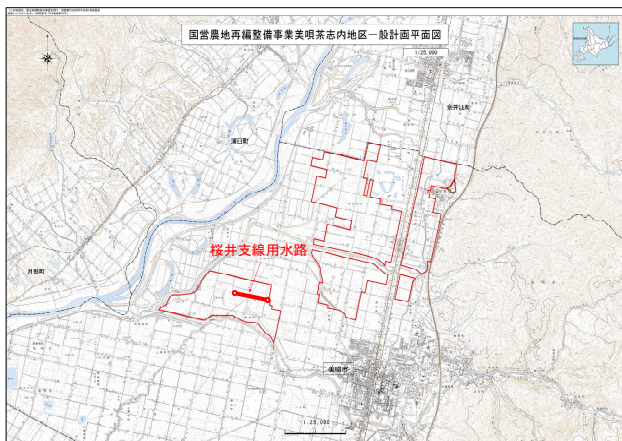


図-2 施設位置図

(2) 調査対象施設の設計概要

①配管の概要

管継手の性能とコストを勘案し、一般区間（ALW

形）と重点対策区間（NS形）に区分し、配管計画を行った。このうち重点対策区間は、軟弱地盤に起因する施設変状、特に不同沈下が予想される区間とし、高性能継手の採用を検討している。

なお、管種の内訳としては、ALW形はL=330.8m、NS形はL=303.9mの配管延長である。

②施工方法及び施工断面

当該路線では、地盤への追従性に優れた管種での配管としているが、不同沈下の抑制を目的として、掘削溝の縦断方向に沿って不同沈下抑制シート（引張強度6kN/m）を敷設した。一方、浮上対策としては、管路が浮上しないための最小必要土被りを算出し、埋設深さを設定している。

また、当該地盤条件のように特殊土壌腐食環境（泥炭地帯、腐植土や粘土質の土壌）にある場合、錆等の進行による管体腐食を防止する対策を行う必要がある。このため、当該路線では、防食対策として水道事業でも採用されている、ポリエチレンスリーブ被覆を行った。

なお、本地区の基礎材及び埋戻し材は、管内で施工実績があり、経済的にも有利な現地発生土としている（図-3）。

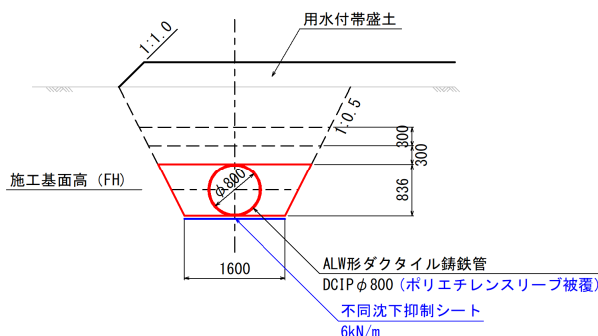


図-3 標準断面図（φ800）

(3) 管路の自重と沈下量

桜井支線用水路の路線沿いで実施したボーリング調査及び近隣のボーリング調査資料では、概ね泥炭層厚5mの下位に軟弱粘土層厚10mで構成され、全体として軟弱層厚が15m程度であった。また、近隣のボーリング調査でも泥炭層厚は同様の傾向であった。これにより、軟弱地盤層厚を15mと仮定した場合の沈下量（概略）を泥炭性軟弱地盤対策工マニュアルにある概略式より求め、口径φ800のALW形は43cm、NS形は51cmであった。

なお、管重で有利な農業用ポリエチレン管とALW形を比較した場合、沈下量はALW形の方が11cm多い程度であり、沈下量計算の係数のひとつである増加応力でみた場合では、管重の比率が1.32に対し、満水時（管重＋水重）の比率が1.07である（表-1）。このことから、沈下量に与える増加応力については、管重の要素は小さい側面も示唆される。

表-1 想定沈下量と重量比（口径φ800）

	想定沈下量 (cm)	管重(比率) (kN/m)	水重(比率) (kN/m)	満水時(比率) (kN/m)
PE管(農業用 ポリエチレン管)	32	1.184 (1.00)	5.207	6.391 (1.00)
ALW形	43	1.557 (1.32)	5.294	6.851 (1.07)
NS形	51	2.999 (2.53)	5.178	8.177 (1.28)

(4) 地盤変状に対する継手の特徴と追従性について

沈下に対する管の健全性を確認するため、可とう管等の沈下を吸収する資材に頼らず、管継手のみの対応可否について検討した。

まず、ALW形の継手は離脱防止機能は有していないが、伸縮・屈曲性能があり、NS形の継手については、大きな伸縮・屈曲性能に加え、離脱防止機能を有している。このため、限界までの伸び出しを沈下追従性と評価することとし、継手の最大屈曲角度から求めた。

また、①直管1本が限界まで屈曲した時の変位量と併せ、NS形に代表される鎖構造継手管路では、曲管に近い継手から屈曲と伸び出しが生じ、次々に外側の継手に伝達して管路全体が変位することから、鎖構造継手管路の変形モードを参照し⁴⁾、②直管4本分で変位を受ける場合を含めた2パターンで想定沈下量への適否を検証した(図-4、図-5)。

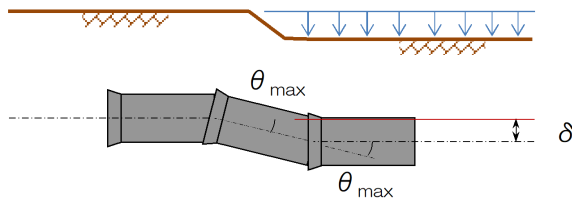


図-4 直管1本が限界まで屈曲した状態の模式

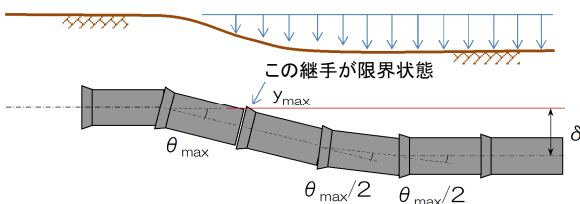


図-5 直管4本が限界まで屈曲した状態の模式

計算の結果、口径φ800のALW形の場合、想定沈下量は前述のとおり43cmであり、変位量の限界値は直管1本では50.2cmであった。また、NS形の場合、想定沈下量51cmに対し、直管1本分では73.1cm、直管4本分では183.7cmである(表-2)。

以上のことから、最大沈下量が局所的に生じる最も厳しい条件でも、直管のみで沈下に対する追従性を十分有していることを確認した。

表-2 想定沈下量と変位量の限界値（口径φ800）

管種	想定沈下量 (cm)	直管1本での 変位量の限界 (cm)	直管4本での 変位量の限界 (cm)
ALW形	43	50.2	—
NS形	51	73.1	183.7

5. 管挙動観測計画

(1) 観測計画の目的

泥炭性軟弱地盤において、従来管(K、T形)より軽量のALW形、耐震性や地盤追従性に優れた鎖構造継手のNS形を用いた場合の、継手の抜け出し等、沈下への追従性の確認し、当該施設の機能の検証を行う。

(2) 調査の内容

本調査は、道路横断後を起点とした約48mの区間(重点:区間1)と、田面高さ(上乗荷重)に差がある地点を含む直線部の約36mの区間(一般:区間2)を調査区間としている。

管の挙動観測計画の概要としては、対象管路内の継手に伸縮・屈曲量を測定するための変位計を設置するとともに、沈下高さを測定するための立上げ管を設置する。また、地下水位の変動を計測するため、水位計を設置し、測定は計測作業によるレベル測量と、データロガーによるインターバル計測を実施する。

調査項目としては、①管路の沈下、②継手の動き、③管の変形、④地下水位の変化、⑤周辺地盤の沈下、⑥現地地盤の物性試験、⑦埋戻し土の材料試験を実施し、各調査内容は次のとおりである。

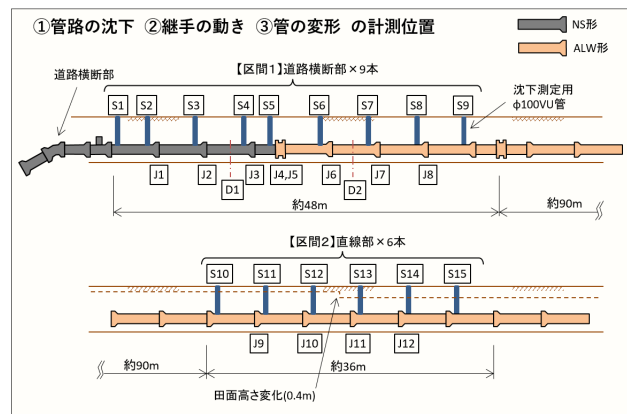


図-6 調査区間と計測位置 (①~③)

① 管路の沈下

道路横断後を起点として連続した9本の管路(S1~S9)、直線部の連続した6本の管路(S10~S15)の高さを測定するため、蓋付きのVU管φ100を管頂部に固定し、立ち上げ、高さの変化を測定することで、管路全体の挙動を把握する(図-6、写真-1)。

なお、高さの計測値と継手伸縮量から得られる管路の

挙動を組み合わせ補正し、管の沈下量を測定する。



写真-1 設置状況 (①沈下量測定)

②継手の動き

道路横断後を起点とした8本の継手 (J1~J8) と、直線部の連続した4本の継手 (J9~J12) に各3点の変位計を取り付け、その伸縮量を連続的に観測し、圧密沈下に伴う管路の挙動を把握する (図-6)。

なお、管底部に変位計を取り付けることが困難であることから、管頂を基準に120°間隔で設置した (図-7)。

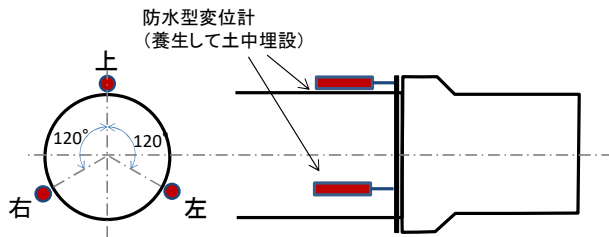


図-7 計測位置 (②継手の動き)

③管の変形

計測区間のうち、ALW形及びNS形の各1本を対象とし、管外面・中央部の円周方向12点のひずみゲージを貼付し、管の断面方向の変形を把握する (図-6)。

なお、管の内部で目視計測が可能な施工開始から埋め戻し完了までは、棒ゲージ等により鉛直・水平方向のたわみ量を測定する。供用後は、管の内部を計測することができないことから、管外面の円周方向に貼付したひずみゲージにより、施工開始時をゼロとした変化を自動測定し、発生応力を確認するとともに、たわみ量の変化を推定する (図-8)。

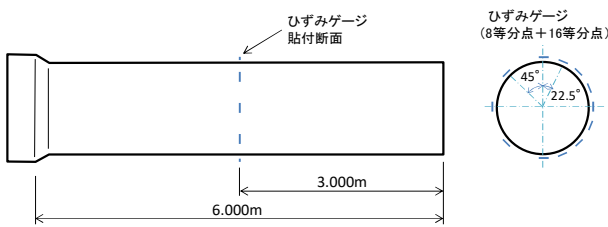


図-8 計測位置 (③管の変形)

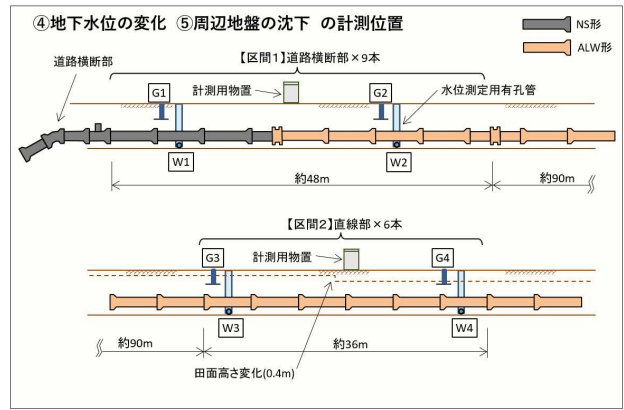


図-9 調査区間と計測位置 (④~⑤)

④地下水位の変化

地下水位の時期的な変動と管路挙動に及ぼす影響を把握するため、4箇所 (W1~W4) の管底に水位計を設置する (図-9)。なお、設置方法としては、水位計設置位置から透水性の底板付きのVU管を立ち上げ、その中に水位計を吊り下ろして行う (図-10)。

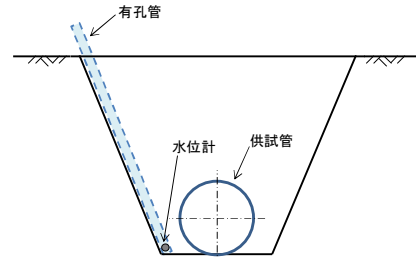


図-10 計測位置 (④地下水位の変化)

⑤周辺地盤の沈下

対象管路の平行測線上の周辺地盤について沈下量を測定し、管路の挙動との違い (管重量の影響等) を把握する。また、地盤内に沈下計を配置する。計測管路と並行した位置の4箇所 (G1~G4) でGL-0.6mの深さに平板と立上げ管を設置し、地盤高さの変化をレベル測量する (図-9)。

なお、設置位置は、計測管路上の盛土部分を避け、保安林側の路肩に設置し、管軸方向の位置は、地下水位 (W1~W4) の測定位置付近とする (図-11)。

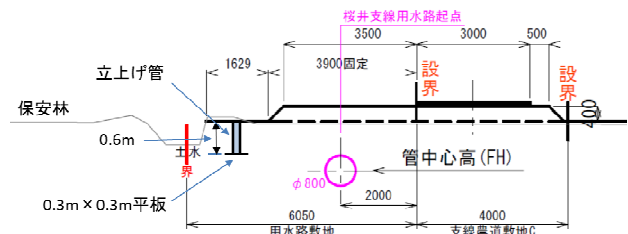


図-11 計測位置 (⑤周辺地盤の沈下)

⑥現地盤の物性試験

管路周辺のボーリングにより土質柱状図を作成し、泥炭層の厚さ等を把握する。管底部におけるコアサンプル

の含水比試験により、沈下特性値を把握し、現地盤の沈下量を再予測する。

⑦埋戻し土の材料試験

沈下予測に必要な埋戻し材料の密度を測定する。

(3) 調査期間

調査期間は、現時点で概ねの沈下収束までの期間として、3年間を想定しているが、計測値の蓄積状況とデータの傾向を踏まえて、適宜修正を行っていく予定である(表-3)。

表-3 挙動観測期間

	(1)管路の沈下	(2)継手の動き	(3)管の変形	(4)地下水位の変化	(5)周辺地盤の沈下	現地盤および埋戻し	備考
現地盤掘削	—	—	—	—	—	●	埋戻し完了から1年後までの間は計測頻度を多くとる。
管布設	●ゼロ	○ゼロ	○ゼロ	設置	●ゼロ	—	
管芯埋戻し	—	○	○	—	—	●	
管頂埋戻し	●	○	○	—	—	●	
埋戻し完了	●	○	○	○ゼロ	●	—	
1年後	●	○	○	○	●	—	
2年後	●	○	○	○	●	—	
3年後	●	○	○	○	●	—	



写真-3 管体工・埋戻し状況

(2) 初期観測値 (管体の沈下量)

計測項目のうち、管布設開始から盛土完了までの管体および周辺地盤の初期沈下量と、管体の構造安全性を確認するための管の変形(初期ひずみ)に着目して計測結果を報告する。

なお、計測期間は、管布設時点を起点(区間1:9月22日、区間2:10月7日)とし、付帯施設の支線農道の施工が完了した11月15日までとしている。

6. 初期観測結果

(1) 設置及び施工状況

管体工は、日施工量を踏まえたサイクル(掘削、管布設、埋戻し)で施工しており、観測機器設置箇所は1日程度の時間を要することから、埋戻しは、観測機器設置の翌日に実施している。また、両区間とも素掘り掘削であるが、降雨を除けば、ドライワークが可能な状態での施工であり、施工時の地下水位は管底部以下であった(写真-2、写真-3)。



写真-2 管体工・施工状況

① 区間1 (道路横断後を起点とした約48mの区間)

沈下量の計測値は最大がS5地点で、管布設後1日経過で136mm、管布設後39日経過で182mmの沈下量であった。管体の沈下量が最小のS5とS8の両地点で比較すると差は71mmであった(図-12)。

また、盛土完了時の周辺地盤の沈下量は、S2付近のG1で15mm(隆起)、S7付近のG2で31mm(隆起)となっている。管体と比べて変化量は小さいが、埋戻し・盛土に伴って掘削断面の脇では隆起が生じている。

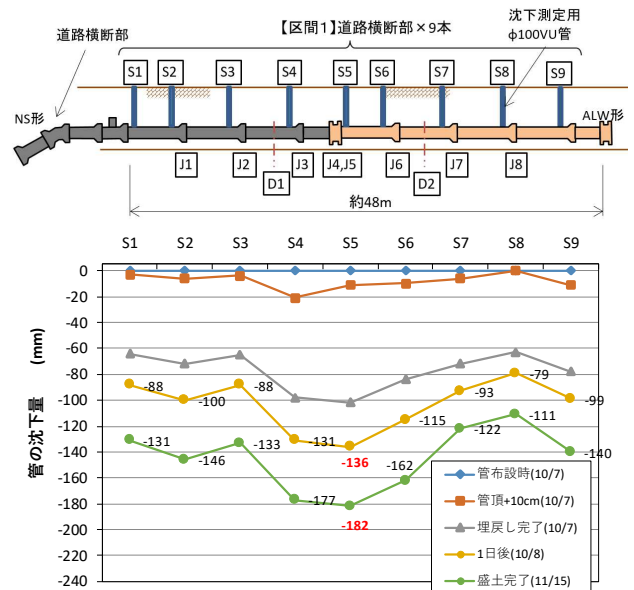


図-12 管路の沈下 (区間1)

②区間2（直線部の約36mの区間）

沈下量の計測値は最大がS10地点で、管布設後1日経過で92mm、管布設後55日経過で237mmの沈下量であった。管体の沈下量が最小のS13とS14の両地点で比較すると差は130mmであった（図-13）。

また、盛土完了時の周辺地盤の沈下量は、S10付近のG3で35mm（沈下）、S15付近のG4で5mm（隆起）となっている。区間1と同様、周辺地盤の変化は小さいが、特に沈下の増加が大きいS10付近では周辺地盤も沈下していることがわかる。

区間2では、埋戻し完了時と盛土完了時で土かぶりの増分に差があり、盛土荷重の大きいS10～S12で、特に沈下量が増加している。この土被りの違いは、区間2として田面高さに差のある地点を選んだためであり、盛土整形時に所定の高さに調整されたことで沈下が進行したものと考えられる。

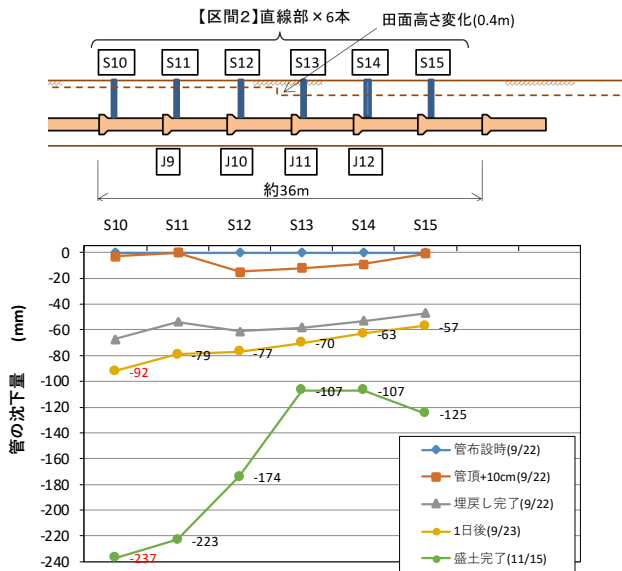


図-13 管路の沈下（区間2）

③管の変形

管布設時を0として、盛土完了時のALW形とNS形の円周方向発生ひずみを図-14に示す。図-14のひずみ分布から、泥炭での埋戻しに対してもいずれも均等な横長方向の変形を示していることがわかる。ALW形の最大ひずみは管頂部で -145×10^{-6} （曲げ応力で 23.2N/mm^2 ）、NS形の最大ひずみは管側部で 57×10^{-6} （同 9.1N/mm^2 ）であり、許容応力 189N/mm^2 と比べて十分に安全な値である。

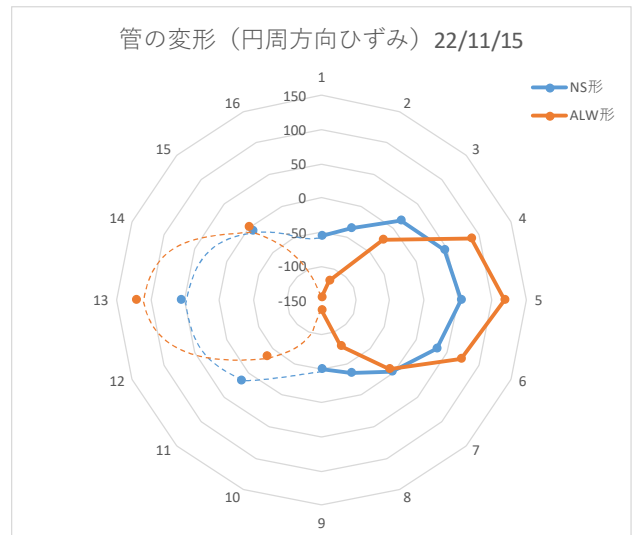


図-14 管の変形

7. おわりに

泥炭地を対象とした基盤整備では、基盤切盛や用水新排水路等の施工に伴う泥炭層の排水促進によって、泥炭の圧縮、乾燥収縮、分解等が促され、地下水位付近の泥炭の圧密等による沈下が進行する。供用後の施設機能の低下を回避するためには、設計及び施工時の対策を適切に行うことが重要である。このため、泥炭性軟弱地盤へのダクトイル鋳鉄管の適用可能性など新技術を踏まえた検討とその実証を行うことにより、同様の条件下にある施設設計における技術的な選択肢の付与となるよう取り組んでいる。本報では、経年的な沈下への追従性を確認することを目的とした管の挙動観測計画と計測後約1ヶ月の初期観測結果について述べたが、泥炭地では、盛土の場合、施工終了後数ヶ月で一次圧密の大部分が終了するとされていることから⁹⁾、今後、融雪前後の地下水位の年変動や水利用との関係を踏まえた検討を進め、関係機関との適切な状況共有を図りながら評価を進めていく。

謝辞：本報の作成にあたり、ご協力をいただいた当該工事の受注者であるこぶし建設株式会社、株式会社クボタ、株式会社アルト技研の関係各位にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 農業土木学会：日本の特殊土壌（梅田安治）
- 2) 農業農村工学会：泥炭地における農業用パイプラインの沈下と漏水リスク管理（坂本克史、植屋賢祐）
- 3) 第65回北海道開発技術研究発表会：泥炭性軟弱地域等におけるパイプラインの更新技術に関する研究（南雲人、寺田健司、大久保天）
- 4) 神戸大学、茨城大学、農研機構：液状化地盤におけるパイプラインの耐震化向上技術 設計・施工マニュアル 管路屈曲部の耐震工法
- 5) 北海道開発土木研究所月報：泥炭地盤の長期的な沈下（土質基礎研究室）2002年6月