

豪雪地帯における泥炭層地盤の長距離推進

Pipe-Jacking with Long Distance of Peat Layer Ground in Heavy Snowfall Areas

安藤 速人*1	江角 孝介*1	並木 雅弥*1
Hyato Ando	Kosuke Ezumi	Masaya Namiki
齋藤 由梨*1	三木 雄登*1	佐々木 雄亮*2
Yuri Saito	Yuto Miki	Yusuke Sasaki

要旨

本工事は、北海道岩見沢市内を流れる岩見沢幹線用水路の北1条工区において、農業用水の安定供給や維持管理の軽減を目的とした用水路の整備を行うものである。

岩見沢市は豪雪地帯に位置するため、積雪期には作業効率が大幅に低下する。また、ガス調査から溶存メタンガスが検出された。本稿では、長距離推進における実施工上の課題と対策、周辺環境対策や推進工における可燃性ガス対策について報告する。

キーワード：長距離推進 豪雪地帯 メタンガス 自動測量

1. はじめに

一級河川石狩川の左岸に拓けた北海地区は、北海道岩見沢市を含む5市2町1村にまたがる約27,000haを受益面積とした稲作を中心とする農業地帯である。当地区には、国営総合かんがい排水事業「美唄地区」(昭和32～54年度)により整備された全長80kmの国内最大規模の用水施設がある。既存施設の約9割は、築造後40年以上が経過し、老朽化・凍上などによりコンクリートの劣化が進行して維持管理に多大な費用が発生している。このため、農業用水の安定供給、維持管理の軽減、用水管理の効率化などを目的として、頭首工1箇所および用水路2路線の整備が国営かんがい排水事業で計画された。岩見沢幹線用水路は、北海幹線用水路の55.3km地点で岩見沢市内へ分水する延長6.0kmの幹線用水路である。

本稿では、岩見沢幹線用水路のうち、工事延長843.9mの北1条工区の推進工における課題と対策について報告する。

2. 工事概要

図1に工事位置図、図2に路線平面・縦断図を示す。また、表1に工事概要を示す。

本工事は、呼び径1,800の管きよを延長743.5mにわたり、泥水式推進工法で敷設するものである。平面線形は曲線半径R=400, 500, 200mの3箇所の曲線を含み、縦断線形は推進方向に8.37‰の下り勾配であった。また、推進路線



図1 工事位置図(国土地理院地図に加筆)

直上には、閑静な住宅街が広がり、発進立坑から最寄りの家屋は離隔44mの位置関係にあった。また、掘進対象地盤は、シルト質粘土層(Ac)を主体として、一部泥炭(腐植土)が出現する。分布する土層のN値はN=1～3程度を示し、一軸圧縮強度は $qu=36.2\text{kN/m}^2$ と軟弱な地層であった。なお、推進工法の工法選定においては、経済的な利点等が高く評価され泥水式が採用された。使用した掘進機を写真1に示す。

また、発進立坑から南東に延びる延長85.8mの区間は、呼び径2,000のダクタイル鋳鉄管を敷設し、中間部にRC構造の水位調整施設を構築した。

*1 東京本店 土木部 *2 技術本部 土木技術部

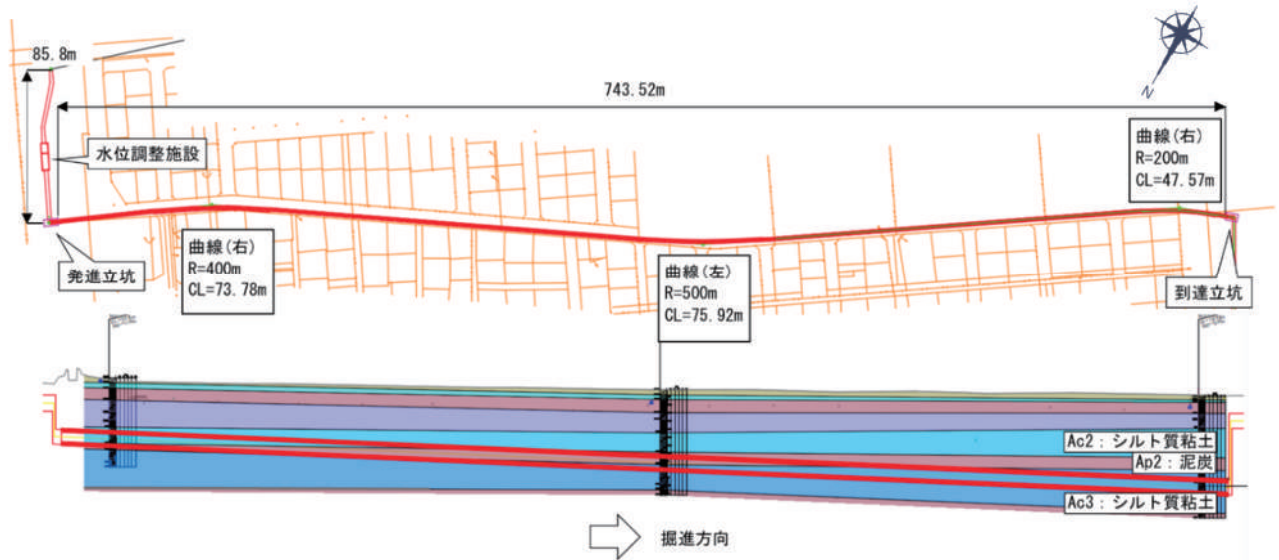


図2 路線平面・縦断面

表1 工事概要

工事名	北海農業水利事業 岩見沢幹線用水路北1条工区建設工事
事業主体/発注者	国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部
施工者	株式会社鴻池組
工事場所	北海道岩見沢市北1条地先
工期	2021年10月5日～ 2024年1月31日
推進工	泥水式推進工法：呼び径 1,800、 L=743.52m
土被り	5.5m～10.3m
平面曲線半径 (R=・m)	400、500、200
土質	シルト質粘土、泥炭（腐植土）
推進管	外殻鋼管付コンクリート管 呼び径 1,800 4種 50N/mm ²
管体工	ダクタイト鋳鉄管 呼び径 2,000 3 種管 S型
水位調整施設工	鉄筋コンクリート構造 B=5.00m、H=9.16m、L=17.20m
発進立坑	鋼矢板Ⅲ型 L=11.5m、 B=4.4m、L=8.8m、H=8.4m
到達立坑	鋼矢板Ⅳ型 L=20.5m、 B=4.4m、L=7.6m、H=13.2m



写真1 RCM型掘進機（普通土対応型）

月の12か月で予定されていたが、1月から3月の積雪量は例年1m以上が観測されており、除雪をしながらの作業は、場内および場外（搬出入・通勤車両の交通）において非効率となり、危険性も高くなると考えられた。そのため、気象条件によっては想定外に日進量が低下し、全体工程の遅延が懸念された。写真2に岩見沢市の積雪状況について示す。近年、積雪量は増加傾向にあるものの、積雪の影響が少ないと予想される12月中の到達を目標と定め、日進量を7.3m（推進管3本）として計画を行った。この計画日進量を確保するうえで、次に示す課題があった。

3.1.1 中押し推進設備を併用した推進方法による掘進サイクル時間の増加

推進工法は、掘進機に推進管を後続させ、立坑内に設置した推進設備により管を地中に圧入する工法である。圧入する管の総延長が長くなると、管の周囲にかかる摩擦力が増えるため、圧入に必要な推進力は大きくなる。また、曲

3. 施工上の課題

3.1 日進量確保における課題

北海道岩見沢市は、北海道の中でも特に積雪量が多く、特別豪雪地帯に指定されている。推進工は、6月から翌年5



写真2 岩見沢市の積雪状況

線区間においては、推進管と曲線外側の地山が接触し、摩擦抵抗が大きくなるため、曲線区間が増えると、必要な推進力は大きくなる。

当路線は曲線区間を3箇所含み、延長700m以上の長距離推進であり、推進力が大きくなる。このため、元押しジャッキで押し切ることが難しく、3組の中押しジャッキを使う必要があった。しかし、中押しジャッキを併用する推進方法は、元押し推進と中押し推進の繰り返し作業となるため、日進量が低下することが懸念された。

3.1.2 曲線を含む長距離路線の線形管理測量

曲線を含む長距離の推進路線の線形精度を確保するためには、測量頻度を上げることが必要となる。しかし、推進管1本ごとの手動測量は、推進距離が長くなれば複数回の盛り替えが必要となるほか、推進管内は狭隘で移動が困難なため、時間を要する。したがって、1日に数回の測量を実施した場合は、推進のサイクルに影響を及ぼし、進捗の低下に繋がるため、効率化を踏まえた測量方法が課題であった。

3.2 住宅街に近接した施工における課題

2020年2年に東京都調布市で地表面陥没事故が発生し、連日放送された陥没事故のニュースは、人々の関心を高め、国土交通省により「シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン」が策定された。ガイドラインには周辺的生活環境への配慮についての記載があり、地表面の変位量や騒音に配慮することが記されている¹⁾。

推進工事は、シールド工事と同様に地中を掘削するため、周辺地盤に影響を与える恐れがある。また、発進基地は住宅街に近接しているため、騒音に配慮する必要がある。これらのことから工事が周辺環境に与える影響を低減することが必要であった。

3.2.1 掘削による地表面への影響

掘削により発生する空隙は周辺地盤の変状を引き起こし、地上の住宅街に影響を与える可能性がある。本工事では掘進機の掘削外径は2,170mmに対し、推進管の外径は2,120mm

であるため、掘進後に25mmの空隙（テールボイド）が生まれる。そこで、掘進中はその空隙部を滑剤により充填するが、滑剤は掘進に伴い地盤浸透や地下水、推進力の影響により滑剤自体が減容化され、空隙が発生する恐れがあった。さらに、当路線は延長700m以上の長距離であり、到達までに時間を要するため、空隙は広範囲かつ長時間に及び、周辺地盤へ影響を与えることが懸念された。

3.2.2 工事設備が発する騒音による影響

発進基地周辺の住宅街は騒音規制法に基づき指定された規制地域区域区分のうち、第一種区域に指定されている。第一種区域の騒音は岩見沢市公害防止条例施行規則で、午前8時から午後7時までの間を50dB以下とするよう規定されている。この規制区域に近接した発進基地では、工事施工に伴い、泥水式推進工法の設備である泥水処理装置や門型クレーン、バックホウなどから騒音が発生する。騒音は音源から受音点に達するまでに減衰が生じるため、距離が離れていれば影響は減少する。しかし、これらの設備から最寄りの家屋までの離隔が44mと小さく、騒音による家屋への影響が懸念された。このため、配置予定設備のうち、「仮設防音設備設計積算要領書」に記載の最も高い騒音を発するとされる泥水処理機の騒音が民地境界に達するときの数値を試算した。その結果、防音対策がない場合、騒音値が63dBに達する恐れがあることが判明した。

3.3 メタンガスを含む地盤の掘削における課題

当初、推進路線において、ボーリング調査は発進立坑と到達立坑の2箇所で行われ、推進工法の選定などに利用された。工事着手後に受領したボーリング結果には、シルト質粘性土や泥炭などの地層から少量のガスが噴出したことが記録されていた。腐植土で形成された泥炭層は、メタンを生成する可能性があり、メタンガスは可燃性ガスであるため、爆発事故につながる恐れがある。このため、発注者と協議の上、ガス調査を発進立坑と到達立坑とその間の計3点について行った。その結果、2点から爆発限界濃度5.0vol%を超える濃度のメタンガスが検出されたため、メタンガスに対する対策を検討する必要がある。表2に3地点で観測されたメタン濃度の結果を示す。

表2 ガス調査結果

	測定地点		
	No.1(発進)	No.2	No.3(到達)
空気補正濃度(vol%)	4.86	8.12	10.2
発生量(mL/L地下水)	1.98	6.94	7.96

3.4 支障物の存在による線形における課題

発進立坑の鋼矢板打設が2週間後に迫ったころ、推進路線に近接する既設人孔周辺に残置された鋼矢板が推進路線

の支障となることが判明した。掘進機は支障物切削に対応した仕様ではなく、対策を十分に検討する時間的余裕も残されていなかったため、路線を変更することで支障物を回避する必要があった。

また、変更後の路線と残置された鋼矢板との離隔によっては、掘削の影響が懸念されることや実際の位置と図面に誤差があり、掘進機と鋼矢板が接触することなどが懸念された。

4. 課題に対する対策

4.1 日進量確保のための対策

日進量を確保するためには、推進1回のサイクル時間を短縮する必要がある。本工事では下記に示す取組を行うことで、作業の効率化を図り、施工日換算平均で8.5m（推進管3.5本）/日と、計画値を上回る日進量を確保することができた。各取組みを次に示す。

4.1.1 推力低減装置の採用による周面抵抗力の低減

施工時の推進力管理図を図3に示す。推力低減を実施しない場合の計画総推進力は30,850kNと高く、使用する4種の外殻鋼管付きコンクリート管の許容耐荷力11,092kNや元押推進設備最大配置推進力11,760kNを大きく超過していた。そこで、長距離路線の総推進力の低下と掘進サイクルの効率化に向けて、管周混合推進工法を採用した。先頭と中間に滑材注入装置を設置し、一回の掘進サイクルごとに滑材を定量注入することで、周面抵抗力の低減を図った。写真3に中間滑剤注入装置を示す。中間滑材注入装置は、100m間隔で計7箇所配置した。その結果、中間滑剤注入装置による低減効果を見込んだ場合の計画総推進力は、8,680kNと大幅に減少した。

工事中的実推進力は、縁切り時の一時的な推力上昇はあるものの、推進管140本ほどまでは計画推進力（推力低減）と近い数値で推移し、その後は、横ばい傾向となり、到達時の推進力は、3,260kNと大幅に低減することができた。なお、当工事では、推進管に鉄筋コンクリート管ではなく外殻鋼管付きコンクリート管を採用しており、鉄筋コンクリート管と比べて周面抵抗力が小さかったことなども寄与し、140本以降、推進力がほとんど上昇しなかったものと考えられる。

4.1.2 自動測量システムの導入による測量の効率化

坑内の線形測量管理に、自動水準、視準可能なPipeShotを用いた自動測量システムを採用した。プリズム付きTSを立坑下に設置し、PipeShotを（到達時）坑内に12台設置した。なお、PipeShot上部にもプリズムが据え付けられている。写真4に坑内の設置状況を示す。PipeShotには視準



写真3 中間滑材注入装置

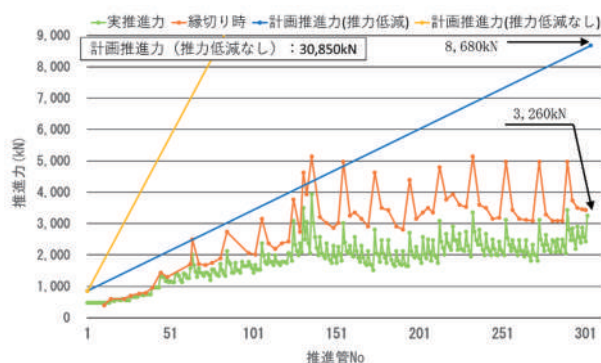


図3 推進力の推移

距離に60m程度の限界があるため、推進50m間隔に設置した。また、曲線区間では機械同士を視準できないことがあるため、その際には位置を調整した。測量は基準点に設置したトータルステーションや坑内に設置したPipeShot同士が立坑から切羽に向けて、1台ずつ自動視準し、最後に、先頭のPipeShotが掘進機に設置されたプリズムを視準することで、位置を測量した。線形測量は推進管1本の推進終了ごとに行い、自動測量の結果はリアルタイムで運転席に画面表示して、迅速に線形管理に反映させた。写真5に自動測量結果の画面を示す。

自動測量システムを導入することによって、1回の測量が平均して10分前後になり、測量の省力化と時間短縮により掘進サイクルの向上に寄与できた。なお、システムを導入しない場合は、PipeShotの設置台数と同程度の盛替えを必要とするため、盛替え点を10箇所程度と想定すると、移動含め1点につき10分、合計で100分程度必要であったことが考えられる。1回ごとの測量時間が短くなり、推進管1本ごとに測量することが可能となったことや到達手前の曲線(R=200m)に進入してから到達立坑までは、推進管1本につき2回の測量頻度として線形精度の向上を図った。その結果、路線全体の線形精度は最大基準高さ+24mm、左右ズレ左45mmで、到達では表3に示すように高精度な線形を確保することができた。



写真4 自動測量機器設置状況

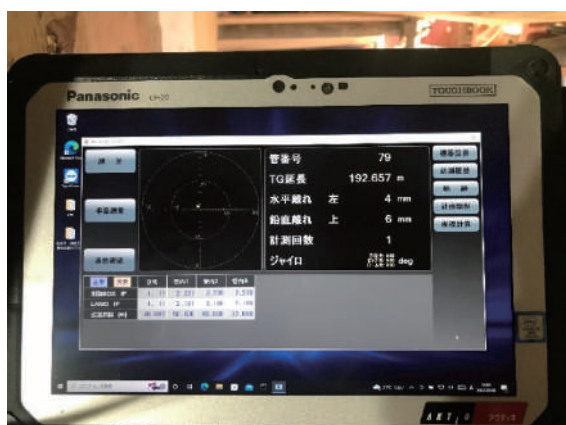


写真5 自動測量結果

表3 到達精度

	施工実績値	管理基準値
基準高さ	+8mm	±50mm
左右のズレ	右40mm	左右100mm

4.2 環境対策

周辺環境に影響を与える恐れのある要素について、次のような対策を行い、影響の低減を図った。

4.2.1 地盤変状を抑制するための対策

通常使用する高粘性滑材から変更し、二液混合型の固結型滑材を一次注入することで、掘削による空隙を充填し、周辺地盤の変状の抑制を図った。また、二次注入に液状滑材を使用し、固結型滑材層の維持を図った。一次注入に使用する固結型滑材は、ゲルタイムが20～60秒と短いため、注入目的箇所からの逸走を防止することができ、固結後には空隙の保持を行い、空隙の発生に伴う周辺地盤の変状を抑制することができた。また、地表面変位量の1次管理値を許容値の50%である10mmと定め、その日に掘進機が通過した箇所から前後に30m位置の地表面変位測量を行った。さらに、測量の結果をもとに泥水圧を調整することで変状の抑制を図った。

以上の対策を行うことで、1次管理値を超過することなく、推進を到達させることができた。

4.2.2 防音建屋による騒音の低減

騒音源である推進用設備を防音建屋で覆うことで、住宅街への騒音の影響低減を図った。防音建屋は3辺に枠組足場と防音パネル、屋根を設置するものとした。写真6に防音建屋を示す。

表4に騒音測定結果を示す。この結果、民地境界で測定した騒音は防音建屋内の騒音に比べ、35%低減できた。推進設備を防音建屋で覆うことで、条例に定められた騒音の規制値を超過することなく推進を完了させることができた。



写真6 防音建屋

表4 騒音測定結果

	防音ハウス内	防音ハウス外	民地境界
騒音値(dB)	76.0	62.0	49.4

4.3 メタンガス対策

可燃性ガスによる危険性防止のため、国土交通省「土木工事安全施工技術指針」や農林水産省「土木工事等施工技術安全指針」を基本とし、具体的な対策については東京都水道局「可燃性ガス対策設計指針」に基づいて検討を行った。

まず、東京都水道局の指針を用いて、可燃性ガスの安全性の評価を行ったところ、危険度ランクA(5vol%以上)に該当することが判明した。該当する危険度ランクによって、実施すべき対策について同指針に基づいて以下のように検討し、実施した。

① 検知器および警報機の設置および集中管理

ガスの測定は、定置式検知器をマシン切羽、立坑下部および坑内100mごとに設置した。警報機(ブザー付き回転灯)は検知器と同一場所に設置した。警報機は定置式検知器と連動しており、検知器がガスを確認すると警報機が自動で作動するシステムとした。推進機は遠隔操作を基本としているが、作業員が入坑する必要がある場合は、自動検知システムの確認に加え、携帯型検知器を使用し、安全確保を図った。

②換気設備

図4に換気設備概要図を示す。坑内換気設備は、建設業労働災害防止協会「ずい道等建設工事における換気技術指針」に基づき、坑内に湧出するガスの管理目標濃度（0.25～1.0vol%）以下に拡散・希釈するのに十分な風量とガスの停滞を防ぐ風速（0.5～1.0m/s以上）が確保できる設備とする必要がある²⁾。各種条件から必要風量を算出した結果、128.73m³/min以上の性能を持つ設備が必要だったため、140m³/minとした。

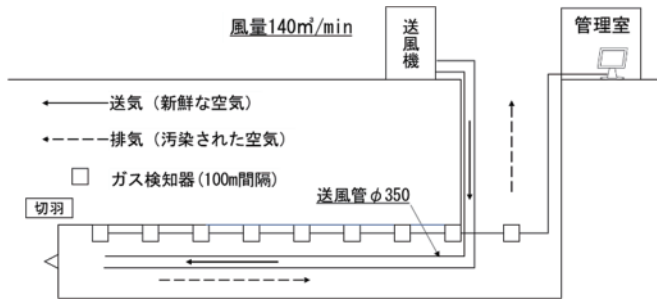


図4 換気設備概要図

③継手部の対策

推進管と推進管の継手は、密閉性を確保できるものではなく、特に曲線区間においては、曲線外側の継手が開くように引張力が働く。このため、継手部から地下水の漏水が生じた場合に、溶存ガスが発生する可能性があった。これを防ぐため、継手部に止水滑材（レジューブ SW-2）を使用し、止水性を確保した。

④泥水式推進による坑内対応

国土交通省の指針では、坑内に可燃性ガスが存在し、危険な濃度に達する可能性のある場合は、電気設備機器に防爆構造を有するものを採用することと記されている。本工事は、泥水式推進工法を採用しているため、切羽が隔壁によって密閉されており、掘削土砂は送泥水に混入され、排泥管内を通じて立坑外に搬出される。また、シールド工法と違い、掘進機テール部と推進管は固定されており、接合部もシーリングにより隙間が空くことがない。同様に、送泥管と排泥管の延長は坑内ではなく、換気循環している立坑で行う。以上のことから掘進機および送排泥ラインは完全に密閉されているため、掘進機内や推進管内にメタンガスが流入することはない。①～④の対策を実施することで、メタンガスが危険な濃度に達する可能性を排除するものとし、坑内を「非危険区域」とした。このため、防爆型の電気設備機器は採用しないこととした。

以上の対策を講じて臨んだ掘進は、掘進中・後ともに坑内でメタンガスを検知することなく、安全に掘進を完了することができた。

4.4 線形の変更と支障物近接時における施工時の取組み

推進路線に近接した既設人孔の残置鋼矢板を回避するために、発注者と協議を行った結果、発進立坑の位置を約3.1m、最初の曲線区間を曲線半径 R=500m から R=400m に変更した。

変更後路線と鋼矢板の最小離隔は740mmと小さかったため、推進施工時では、図面に記載のない支障物への接触も考慮して、掘進速度を落として掘進した。また、残置物に近接した推進を行うため、通常箇所での推進とは違った変状が周辺地盤で発生する恐れがあるため、オペレーターとの連絡体制を確保し、地表面の監視を作業中、連続して行った。この結果、既設人孔および地表面に影響を与えることなく、また新たな支障物に衝突することもなく、推進を完了させることができた。

5. まとめ

2022年8月2日に発進した推進工は、計画値を上回る日進量を確保することができ、当初予定より20日ほど早い12月6日に到達した。2022年は2021年よりも降雪量が多く、早くから積雪が始まっていたが、推進工の進捗に影響が出る前に到達させることができたため、工程遅延を防ぐことができた。推進機の到達状況を写真7に示す。

最後に、推進工の施工に際し、多大なるご指導、ご協力を賜りました札幌開発建設部の皆様ならびに関係者各位に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 シールドトンネル施工技術検討会：シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン、p. 32、2021. 12
- 2) 建設業労働災害防止協会：ずい道等建設工事における換気技術指針新版、p. 38、2014. 3



写真7 到達状況