

小断面トンネルにおける管敷設工技術(管搬入・溶接管理)

藤 本 克 郎*
菅 原 健**

概要 赤羽根下流工区工事は、東海沖地震を想定した大規模な地震対策として、豊川用水の複線化による用水の安定供給を目的に、既設水路に併設する形で計画された全長L=3,429 mのパイプライン設置工事である。そのうち延長3,153 mについてはNATMでのトンネル区間となっており、内挿管方式の圧力トンネルである。トンネル断面積が約6 m²と狭小な長距離トンネルの施工において、トンネル掘削および内挿管の坑内搬入・管布設について赤羽根下流工区工事で実施した施工技術について報告する。

キーワード：小断面トンネル，長距離施工，坑内内挿管運搬車，溶接管理モニタ

1. はじめに

赤羽根下流工区工事は、愛知県田原市の渥美半島中央部に位置し、東海沖を震源とする地震を想定した大規模地震対策として、豊川用水の複線化による用水の安定供給を目的に、既設水路に併設する形で計画された全長3,429 mのパイプラインである。そのうち延長3,153 mについては、山岳トンネル工法で施工する内挿管方式の圧力トンネルである(図-1)。

本工事の特徴は、トンネル断面積が約6 m²と狭小な中で、全長3 kmを超える長距離トンネルをNATMで施工し、掘削完了後にφ1100~1200 mmの鋼管を坑内搬入・敷設・溶接する工事であり、長距離小断面トンネルでの安全かつ効率的な施工が求められることである。

本稿では、小断面トンネル工事の施工におけるトンネル掘削および内挿管の施工について、技術的な課題とその対策について報告する。



図-1 豊川用水施設系統と本工事位置¹⁾

2. 工事概要

赤羽根下流工区工事はトンネル部3,153 mと、パイプライン部276 mからなり、φ1100~1200 mmの鋼管を敷設す

る総延長3,429 mの併設水路工事である。工事概要を表-1に示す。

トンネルは上流区間(L=1,732 m)と下流区間(L=1,421 m)に分かれ、両坑口からの掘削となっており、トンネル掘削完了後、内挿管(内張鋼管)を敷設し周囲をエアモルタルで充填する計画である。図-2にB1タイプにおけるトンネル断面図を示す。

表-1 工事概要

工 事 名 称	豊川用水二期東部幹線併設水路赤羽根下流工区工事	
工 事 場 所	愛知県田原市赤羽根町~伊川津町	
工 期	2017年3月22日~2021年11月15日	
発 注 者	独立行政法人 水資源機構	
施 工 者	飛鳥建設株式会社	
工 事 内 容	延 長	L=3,429m (トンネル_3,153m, パイプライン_276m)
	掘削断面積	6.4m ² ~12.9m ²
	掘削工法	全断面掘削 NATM
	掘削方式	発破掘削方式
	運搬方式	レール方式

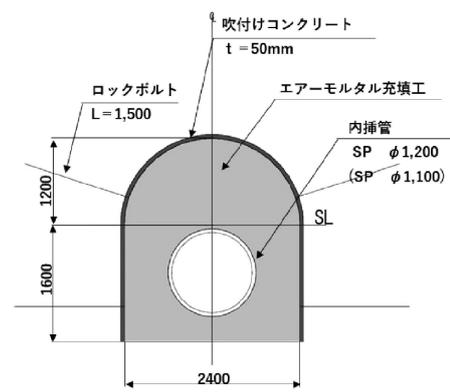


図-2 トンネル断面図(B1タイプ)

3. 本工事の技術的課題

(1) 小断面 NATM での掘削進行の確保

本トンネルルートは、ほぼ全線において硬質なチャートの出現が予想されたため、設計では掘削パターンが上流側

* 飛鳥建設(株) 名古屋支店 赤羽根トンネル作業所 所長 Katsurou_Fujimoto@tobishima.co.jp
** 飛鳥建設(株) 名古屋支店 赤羽根トンネル作業所 現場代理人 Ken_Sugawara@tobishima.co.jp

で84%，下流側で93%がB～Cパターンで計画されていた。このような安定した地山に対して，掘削工期を短縮するためサイクルタイムを短縮することが全体工期およびコスト削減の面の課題であった。

(2) 内挿管敷設工事の施工性向上

内挿管敷設工事において，狭小な断面内での内挿管(L=9.0 m/本，W=2.4 t/本)の長距離運搬方法，施工場所での内挿管引込・据付作業などについて安全かつ効率的な施工方法を検討し，施工性を向上させることが課題であった。

(3) 内挿管溶接の品質向上

内挿管敷設工事において，当現場の接続は全て内面からの全溶接であり，溶接個所が上流側・下流側合わせて514箇所となることから，気温や風の影響を受けやすい現場での溶接の品質を向上させることが課題であった。

4. 技術的対策

(1) トンネル施工機械と進行実績

トンネル掘削の進行を確保するには，施工計画段階でトンネルの規模，地山条件などにに基づき，適切な施工方法と機械の選定を行うことが重要である。本トンネルは，硬質なチャートの出現が予想されていたため，削孔時間短縮の観点から，ドリルジャンボのドリフター能力を，標準のHD150級から写真一1に示すHD190級に変更した。



写真一1 ドリルジャンボ(HD190級ドリフター搭載)

坑内トンネルずり運搬作業には，写真一2に示す1進行分のずりを全て積込むことが可能な15 m³積シャトルカーを採用した。また，吹付け専用のロボットに替えて，ドリルジャンボに吹付け用アタッチメントを設置することで，吹付け作業毎の坑内への施工機械の入替回数を減少させることで，サイクルタイムの短縮を図った。

実際の地山状況は，トンネルのほぼ全線にわたり，泥岩を主体とする混在岩であり，硬質なチャートは出現しな



写真一2 15 m³積シャトルカー

った。このため，当初設計のB～Cタイプから，ほぼD1タイプの地山等級となり，鋼製支保工設置や吹付け工などに時間がさらにかかることとなったが，上記対策を実施したことにより平均月進で約84.5 mの掘削進行を確保することができた。

(2) 内挿管敷設の施工性向上対策

内挿管敷設工事は，全長L=3,153 mの本トンネル内に，鋼管(L=9.0 m/本，内径φ1,100～1,200 mm)を敷設する工事である。

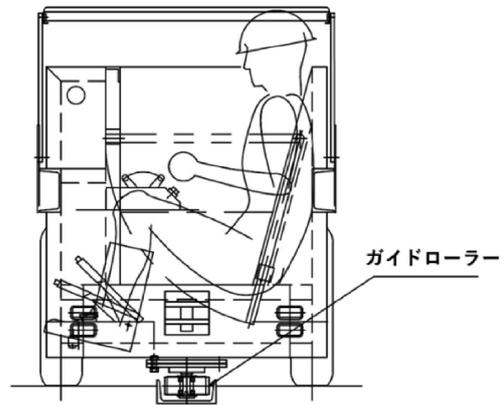
坑内での内挿管運搬は，改造したフォークリフトで台車に乗せた鋼管を後押しする方法がよく用いられている。しかし，本トンネルの全幅は2.4 mであり，狭小な断面内での後押し運搬は前方視認不足や運転操作ミスによる側壁への接触のリスクが高いため，より安全かつ効率的な作業方法を採用する必要があった。

以上の対策として，本工事では坑内内挿管運搬車にシールド工事の技術であるコンパクトシールド工法の搬送システムを応用した，ガイドローラー付きタイヤ式搬送車を水路トンネル工事で初めて採用した。(写真一3)



写真一3 ガイドローラー付きタイヤ式搬送車

基礎コンクリート打設時に，トンネル中央部に設置した溝形鋼(C-200×80)をガイドレールとし，この溝の中にガイドローラーを通してタイヤ式運搬車を走行させることとした(図一3)。運搬車の方向操舵が省略でき運搬進路が定まることで，運搬中に運転ミスにより鋼管が接触することでの鋼管の損傷や，坑内作業員の挟まれ事故の防止につながった。



図一3 坑内内挿管運搬車

また、後押し運転による前方視認対策として、運搬車前方に前照灯付きカメラを設置し、運転席のモニタから視認できるよう工夫したことにより、運搬車の安全走行を実現できた(写真—4)。



写真—4 内挿管運搬状況(前方側)

(3) 内挿管溶接の品質向上

溶接金属の機械的性質の良否は、溶接施工条件に大きく関係しており、特にパス(層)間温度・溶接入熱量が高くなればなるほど、溶接金属の強度や靱性が低下する。そこで、本工事では、パス間温度・入熱量を管理できる「溶接管理モニタ」を用いて、内挿管現場溶接作業の品質管理を定期的に行うこととした(写真—5)。

このモニタの特長を以下に示す。

①パス(層)間温度の管理

あらかじめ設定したパス間制限温度を超過すると警報ブザーが鳴り、温度が下がると、ブザーが停止し、溶接可能となる。

②溶接入熱量の管理

溶接作業中、あらかじめ設定した管理入熱量を超過すると警報ブザーが鳴る。この場合溶接速度を上げて、平均入熱を下げる対応をとる。

③溶接施工記録の自動作成

溶接電流値、電圧値、速度、パス間温度および入熱量などが自動記録され、PCで簡単に編集できる。



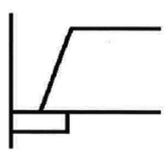
写真—5 溶接管理モニタを用いた溶接状況

実際の施工で、定期的に品質管理を行った結果を以下に示す。

①溶接作業中、パス間制限温度を超過することがなかった。理由として、当現場では管厚さが6~9mmと比較的肉薄で、2~3層盛溶接で施工しているが、φ1200~1100mm内面溶接ということで、1回の溶接長が長いいため、溶接時間が長くなる。そのため、金属の冷却速度が速いの

で、2回目の溶接にかかる時には、ある程度温度が下がってしまうため、パス間温度が問題となることはなかった。②入熱量に関しても、定期的実施した溶接記録によれば、溶接長さ3768mm×2周(層)、総アークタイム1240秒で計算すると、平均入熱量は約6.5KJ/cmとなることから、通常の溶接速度で管理入熱量(30KJ/cm)を超過することはない(表—2)。

表—2 溶接施工記録の一例

溶接施工記録							
溶接方法	半自動溶接	工事番号	AKABANE				
電流・電圧	交流	工事名称	赤羽掘トンネル				
溶接姿勢	全姿勢	溶接部位	43X44				
溶接長さ(mm)	3768	溶接技能者名	TSUJI				
板厚(mm)	6	溶接管理者名	AMANO				
材質	炭素鋼	溶接施工日	2020/02/29				
溶接ワイヤ(銘柄)	SF-1V	開先					
ワイヤサイズ(φmm)	1.2						
シールドガス	炭酸ガス						
ガス流量(L/min)	20						
予熱温度(°C)	0						
上限パス(層)間温度(°C)	250						
下限パス(層)間温度(°C)	-100						
基準入熱量(KJ/cm)	030.0						
アークタイム[秒]	1240						
総パス数	12						
パス数	溶接時間(秒)	溶接電流(A)	溶接電圧(V)	溶接速度(cm/min)	パス間温度(°C)	入熱量(KJ/cm)	備考
1	160	196	21.6	141.3	14	1.8	
2	83	218	21.4	272.4	15	1.0	
3	92	176	21.9	245.7	15	0.9	
4	92	226	21.7	245.7	17	1.2	
5	117	175	19.5	193.2	58	1.1	
6	105	159	19.8	215.3	47	0.9	
7	81	172	20.4	279.1	91	0.8	
8	60	227	21.1	376.8	90	0.8	
9	58	216	20.0	389.8	103	0.7	
10	106	184	20.7	213.3	26	1.1	
11	84	153	19.2	269.1	24	0.7	
12	202	194	20.8	111.9	28	2.2	

5. おわりに

本工事から学んだ事象や、それを踏まえた教訓を本稿の終わりに記載する。

当該工事の施工にあたっては、非常に狭小な断面での長距離施工ということもあり、小断面がゆえの施工の難しさがあった。本工事は令和元年9月にトンネル掘削が完了、令和2年5月に坑内の内挿管敷設工事が完了、令和2年12月に充填工事が完了し、現在は明かり部の作業を行っている。トンネル内での作業は全て終了したが、どの工種においても坑内への資材の運搬方法および軌道車両と人との離合方法が課題となった。特に、今回ガイドレールを使用した坑内内挿管運搬車は、安全面において非常に有効であった。このように通常の道路トンネルなどの施工では問題視されないことのない作業などについても詳細な施工計画や現場での工夫が非常に重要となった。

また、鋼管溶接で採用した「溶接管理モニタ」については、当現場のような管厚が肉薄な鋼材に対してではなく、高強度鋼材の溶接で、溶接長が数十cmと比較的短く、多層盛溶接を行う環境において、より効果が期待できるのではないかと考える。

最後に、本工事におきましては、独立行政法人水資源機構豊川用水総合事業部ならびに関係各位の皆様方からのご指導を賜り、この場をお借りして厚くお礼申し上げます。また、本報告が今後の類似トンネル工事の施工に参考になれば幸甚である。

出典

- 1) 豊川用水 HP : <https://www.water.go.jp/chubu/toyokawa/annai/index.htm>

