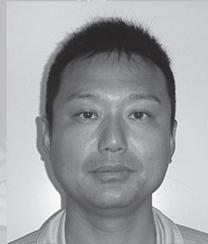


河川横断部の縦断曲線施工 (円弧推進)

はらだ みつぐ
原田 水胤

機動建設工業(株)
北陸支店工事課課長



いぬくぼ かずあき
犬窪 和晃

機動建設工業(株)
北陸支店工事課係員



1 はじめに

推進工法は下水道整備とともに発展してきましたが、近年は上水道、工業用水、農水、通信、電力、ガス等さまざまなライフラインに活用されています。また、道路線形に沿った長距離施工や曲線施工も普通のように計画され実施されています。この中で下水道は自然流下が基本であるため、水平方向の曲線施工が主で、縦断方向に関しては緩い勾配の直線で敷設されるのが一般的です。これに対して、電力、通信ケーブルのさや管や上水道、工業用水、農水等圧力管のさや管として推進工法が用いられる場合は、縦断方向の曲線施工も多数実施されています。

本稿で紹介いたします縦断曲線施工は、石川県の水道用水供給事業における送水管耐震化事業の一環として実施されたものです。この送水管耐震化事業は、平成19年の能登半島地震で一時的断水の被害が発生したことから、老朽化が進んでいる延長184kmにも及ぶ既設送水管とは別ルートで耐震性の高い送水管を整備し、2系統化を行うもので、これにより、災害時にも安定した水道水の供給が可能になり、老朽化した送

水管のメンテナンスも可能になります。

このような送水管の敷設は、大部分が開削工法で実施されていますが、上水道などの圧力管を敷設する場合、河川横断部では二重管構造とするため、推進工法用管をさや管とし、その中にNS形ダクタイル鉄管などの耐震管を挿入する「さや管推進工法」が用いられています。推進工法による河川横断では、ほぼ水平に敷設することが一般的であり、発進立坑と到達立坑が深くなるがありました。本工事でも護岸矢板が制約条件になり、水平施工では立坑深さが約20mと深くなりますが、縦断方向の曲線施工(円弧推進)を採用することで、発進立坑と到達立坑を浅くでき、その結果、トータルの施工コストを縮減することができました。また、さや管内に敷設される本管(耐震性能を有したNS形ダクタイル鉄管)は、下り・上りを含む急勾配の縦断曲線で敷設されたさや管に、スムーズに挿入できることが必須条件となりますが、本工事を含む三件の施工では、(株)栗本鐵工所のEPS工法が採用され、良好に挿入することができました。

本稿では、さや管としての推進工法による縦断曲線施工(円弧推進)と急

勾配さや管への本管挿入について記したいと思います。

2 縦断曲線施工の経緯

縦断曲線施工(円弧推進)は、本工事に先立ち実施された、弓取川推進(事例-1)で計画されました。その概要は次のとおりです。

【縦断曲線施工によるメリット】

- ・立坑(発進・到達)を浅くできるため次のような利点がある
 - 1) 仮設鋼矢板経費を軽減できる
 - 2) 底盤改良が不要になる
 - 3) 立ち上げ配管が不要になる
- ・立坑を広くできるため定尺(6m)の水道管が使える

【縦断曲線施工によるデメリット】

- ・推進距離が長くなる
- ・直線推進に比べて日進量が低下するため推進費用が高くなる

これらのメリットとデメリットについて①立坑築造費②薬液注入費③推進工事費④開削工事費の観点から経済比較が行われ、最も安価になる縦断曲線施工(円弧推進)が採用されました(弓取川推進の事例では直線推進に比較して約8%のコスト縮減)。

【事例-1】弓取川推進の概要

工事名：県水送水管耐震化事業送水管
管理設工事（金沢-1-40）

発注者：石川県

請負者：加賀建設㈱

施工箇所：石川県金沢市直江町
～大河端町地内

施工時期：平成26年7月～11月

工法：泥水式推進工法

推進管径：φ1,350mmヒューム管
（本管φ900mmDIP-NS）

推進延長：L=105m
（縦断R=350m）

土被り：6.9～11.7m

土質：砂質シルト～粘土
～砂質シルト

発進角度：-7.5°（到達角度+6.0°）

また、弓取川推進の施工が良好に完了し、縦断曲線施工の優位性が実証されたことから、50m道路の横断敷設にも縦断曲線施工（円弧推進）が採用されました。

【事例-2】50m道路推進の概要

工事名：県水送水管耐震化事業送水管
管理設工事（金沢-1-46）

発注者：石川県

請負者：高田・北興JV

施工箇所：石川県金沢市鞍月4丁目
～5丁目地内

施工時期：平成26年10月
～同27年4月

工法：泥水式推進工法

推進管径：φ1,350mmヒューム管
（本管φ900mmDIP-NS）

推進延長：L=143m
（縦断R=350m）

土被り：1.8～9.6m

土質：砂質シルト～粘土
～砂質シルト

発進角度：-10.0°（到達角度+11.9°）

とによって、本報告の犀川工事についても縦断曲線による横断施工が計画されました。ただし、犀川横断施工は推進延長が約260mと長くなり、縦断曲線も護岸矢板の埋設深さが制約条件（コントロールポイント）となって、次の概要に示しますように、発進角度が-11.3度で約16m下がり、最下点から到達に向かって約18m上り（到達角度+16.8度）、さらに縦断曲線部分に水平曲線を含む三次元曲線施工という難易度の高いものになりました（図-1）。

【犀川横断概要】

工事名：県水送水管耐震化事業送水管
管理設工事（金沢-1-53）

発注者：石川県

請負者：北都・高田・犀川JV

施工箇所：石川県金沢市赤土町
～観音堂町地内

施工時期：平成28年2月～6月

工法：泥水式推進工法

推進管径：φ1,350mmヒューム管

3 本工事（犀川推進）における課題と対策等

二つの工事が良好に施工完了したこ

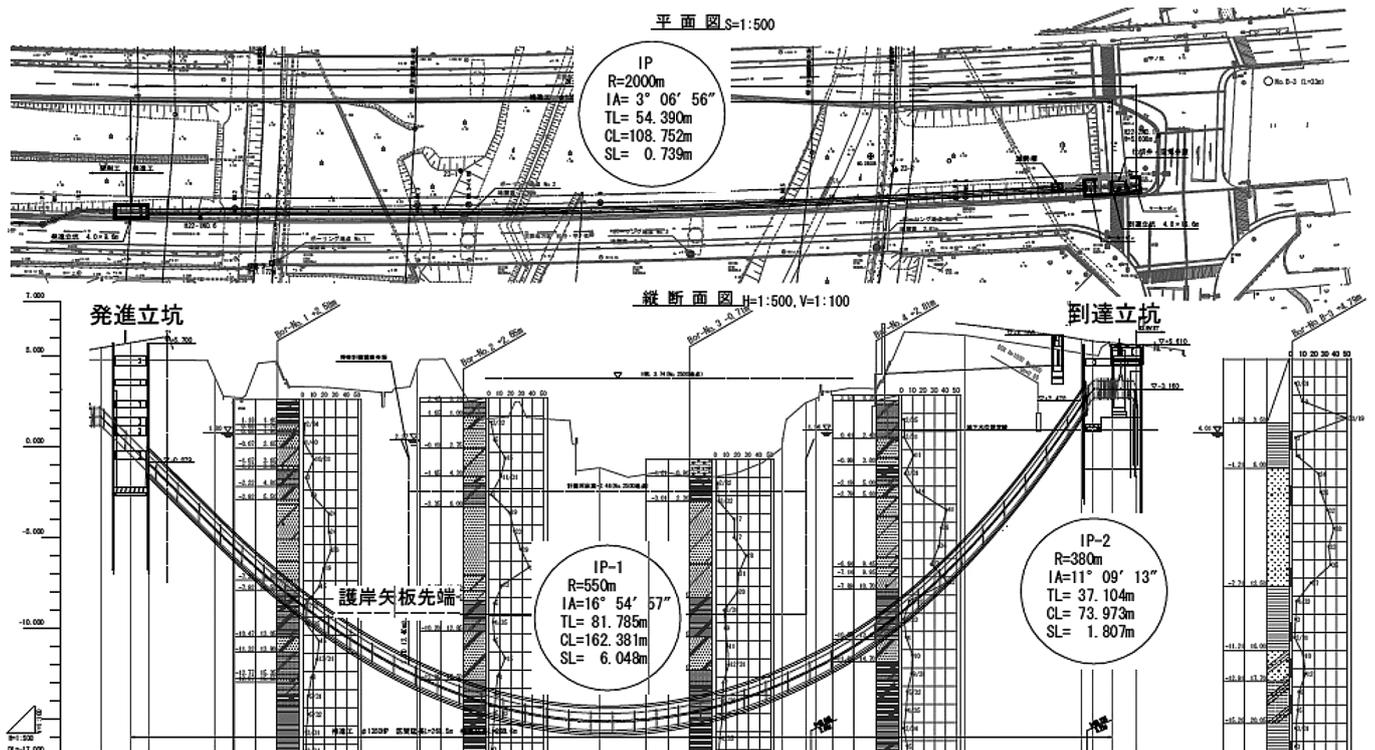


図-1 平面図・縦断面図



写真-1 掘進機

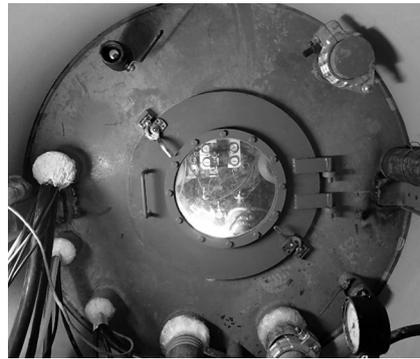


写真-2 セーフティバルクヘッド

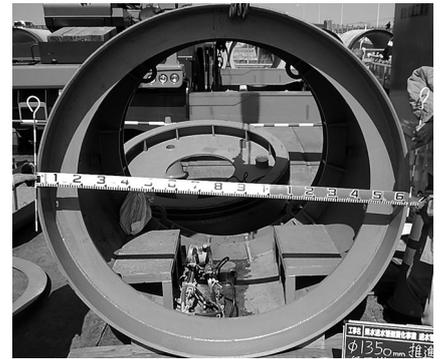


写真-3 シールド筒

(本管 $\phi 900\text{mmDIP-NS}$)
 推進延長: $L = 259\text{m}$
 縦断 $R = 550, 380\text{m}$
 水平 $R = 2,000\text{m}$
 土 被 り: $3.9 \sim 16.8\text{m}$
 土 質: 砂質シルト～粘土
 ～砂質シルト

発進角度: -11.3° (到達角度 $+16.8^\circ$)
 よって、安全で確実な施工を行うために課題を抽出し、次のような対策を計画しました。

【課題】

- ①掘進は、犀川を縦断曲線で横断するもので、推進延長が約260mと長いいため、推進抵抗力を確実に低減する必要がある。
- ②最深部は発進立坑から約16m下方にあるため、掘進中は推進管内に人が入らない安全・確実な掘削方法を採用する必要がある。
- ③施工土質は、発進・到達付近が崩壊性の高い砂質シルトや礫混り粗砂 (N値: $20 \sim 30$) で、推進路線の底部が沈下の恐れのある有機質粘性土 (N値: $3 \sim 5$) となっており、周辺地盤へ影響を考慮しながら、掘進機の方角制御を安全かつ確実に行う必要がある。

【対策】

- ①掘進機胴殻先端部に溝を切った特殊拡幅リング (写真-1) を装備するとともに、ULIS (アルティミット滑材注

入システム) を用い、滑材の注入量・注入圧力・注入位置を集中制御することによって周辺摩擦力を確実に低減できるように計画する。

- ②泥水式推進工法を用いることで、高水圧や地下水圧の変動の激しい地盤条件でも切羽の安定を確実にでき、完全遠隔操作による掘進中の管内無人化で作業員の安全を確保する。また、近年多発しているゲリラ豪雨による発進立坑からの管内への浸水対策として、セーフティバルクヘッドを掘進機後方に設置し、万が一掘進機が水没したときにも対応できるようにする (写真-2)。
- ③掘進機面板を掘削対象地盤に適合した開口 (率) に設定するとともに、掘進機後方にシールド等 (写真-3) を設置し、沈下、ローリング、浮き上がり等に対応できるようにする。また、センプリング (推進力伝達材) を推進管継手部左右に適正に配置することで、縦断施工での軌道保持と推進力伝達がより確実に実施できるように計画する。

また、急勾配施工に対応した計測機器として①「液圧差レベル計」によるリアルタイムの縦断方向位置計測②「光ファイバジャイロコンパス」によるリアルタイムの水平方向の傾き計測 (縦断方向傾斜角も ± 15 度まで対応) ③「自動測量」による測量の迅速化、等を計

画しました。

この他、事前に土質条件及び施工計画図を整理し①泥水物質収支バランスシート (泥水調整比重管理を含む) ②滑材注入量③裏込め注入量④送排泥配管延長 (中継ポンプ適用延長含む) ⑤換気用配管⑥推進力 (直線・曲線部) ⑦鉛直方向の管耐荷力⑧推進力伝達材シミュレーション⑨日進量等について入念な計画を行いました。

4 施工概要

【推進架台の設置】

推進準備工は通常と同じですが、発進時の角度が -11.3 度 (-20%) となるため、写真-4 に示しますように、ベース鋼材を階段状に設置した特徴的なものになりました。図-1の縮尺は縦1/100、横1/500であるため急勾配が強調されており、縦・横を同一縮尺にすると勾配もそれほどきつくは感じませ



写真-4 推進架台の設置

んが、実現場（発進立坑）の作業では、推進台上ではちょっとしたことで滑るため、いつも以上に気をつける必要がありました。

【掘進概要】

- ・慎重に発進し、掘進機の推進完了後、セーフティバルクヘッドおよびシールド筒を設置しました（写真－5）。
- ・No.7（19.2m）推進管押切り後、自動測量を設置しました。

- ・No.10（25.3m）推進管押切りで第1縦断曲線に入りました。
- ・No.14（34.9m）推進管押切りでP3ポンプを設置しました。
- ・No.48～52（127.5m）推進管で、掘進機が縦断曲線最下点を通過しました。
- ・縦断曲線であるため、地山土質は粘土層～砂層～砂礫層～砂層～粘土層に順次変化しましたが、地盤条件に

応じた適切な泥水管理と切羽圧力管理を実施することで、掘進は順調に推移しました。

- ・最下点通過後は、掘進機の方向を徐々に上向きに制御し（写真－6）、No.82（199.7m）掘進では、推進管1本（L＝2,430mm）で320mmの上昇、No.96（236.5m）掘進では550mmの上昇、到達時の最終勾配は30.2%（1本で約740mmの上昇と、計画通りの勾配に制御しました）。
- ・No.105（258.6m）で到達、掘進機位置（レベル・センタともに10mm以内）を確認、坑口を取付け、掘進機を押し出しました（写真－7、8）。



写真－5 シールド筒設置



写真－6 上向き制御（ピッチ角）



写真－7 No.107 推進

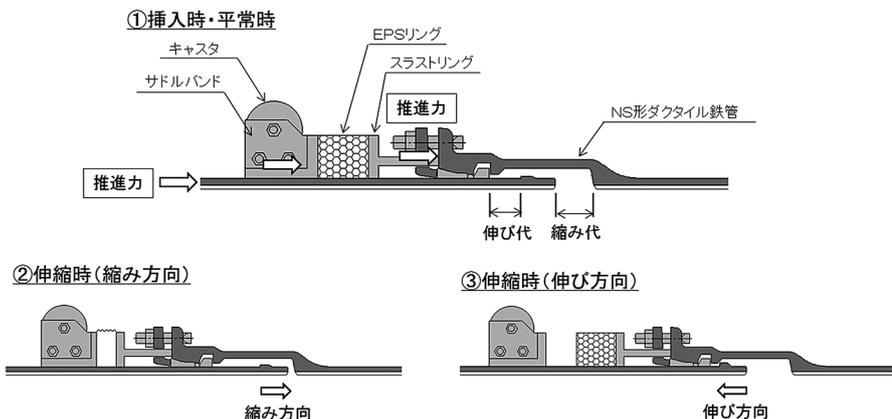


写真－8 掘進機押し出し

5 本管（NS形ダクタイル鉄管）の挿入

NS形ダクタイル鉄管は、継手に伸縮可とう性を有しているため、さや管への挿入時に推進力によって継手が縮むことがない構造にする必要があります。今回採用された（株）栗本鐵工所の「EPS工法」は、NS形ダクタイル鉄管に、EPSリング、サドルバンド、スラストリングおよびキャストを取り付けてさや管内に挿入する工法です。EPSリングは強度の調整ができ、推進力では圧壊しない強度のEPSリングを使用することで、挿入時には継手の縮み代を損なわずに、また、地震などで管路に強大な圧縮力がかかるとEPSリングが圧壊し、継手は縮むことができるようになっています（図－2）。

一般に、NS形ダクタイル鉄管のさや管への挿入は、鉄管にキャストを取付けて、油圧ジャッキ等で押し込みますが、計画当時はこのような上り・下り勾配の両方を含んだ縦断曲線でのEPS工法の施工実績がなく、特に下り勾配が急角度であるため、NS形ダクタイル鉄管の継手の抜け出しや管の滑落の懸念がありました。



図－2 挿入時・地震時のNS形ダクタイル鉄管の挙動

そこで、下り勾配での滑落対策として、管メーカーにて次の検討が実施されました。

- ①管にソリを取付けてさや管との摩擦力を増加させて滑落を防止する。
- ②工場内試験によるソリの最適形状の検討やさや管とソリとの摩擦係数の測定。
- ③①および②に基づき計算された挿入力増加に対するEPSリングの圧縮強度の検討。

本工事に先がけて発注された弓取川工事（前述）では、施工時にNS形ダクタイル鉄管の挿入力を測定し計算値との比較が行われ、その結果、測定値は計算値に近い値を示し、急勾配の縦断曲線においてもEPS工法によってNS形ダクタイル鉄管の挿入が問題なく施工できることが確認されました（写真-9）。

NS形ダクタイル鉄管の挿入後の中込め注入においては、鉄管の浮上り防止のため、鉄管内を水で冠水させました。また、中込め充填材料のブリージング水を確実に除去し鉄管の耐久性を確保するために①発進・到達側閉塞最上部にエア抜きパイプを設置し、エア抜きパイプを閉塞天端よりさらに高い位置まで伸ばしておく②充填材料の希釈防止として到達側か濃度の濃い充填材料が流出するまで充填作業を継続する③充填する塩ビ管を管路中央部まで伸ばし最下部から充填する、等の対策を講じました。

6 おわりに

本稿では、推進工法の新しい取り組みの一つとして、縦断曲線施工（円弧



写真-9 本管（NS形ダクタイル鉄管）の挿入作業

推進）による水道圧送管のさや管工法を紹介しました。これは、推進工法のさや管としての施工技術と挿入される本管の縦断施工への技術対応がシナジー効果として現れた有意な事例であると考えます。

本報文が今後の計画や施工の一助になれば幸いです。

○お問い合わせ先

[縦断曲線施工]

機動建設工業(株)土木本部

〒553-0003

大阪市福島区福島4-6-31 機動ビル

Tel : 06-6458-6183

Fax : 06-6545-0274

関東支店

〒101-0035

東京都千代田区神田紺屋町38

エスポワールビル6F

Tel : 03-3289-4771

Fax : 03-5294-1281

<http://www.kidoh.co.jp/>

[ダクタイル鉄管、EPS工法]

(株)栗本鐵工所

鉄管事業部 企画部

〒550-8580

大阪市西区北堀江1-12-19

Tel : 06-6538-7641

Fax : 06-6538-7752

<http://www.kurimoto.co.jp/>