

急斜面部における既設管内配管工法の一提案

JFE エンジ(株) 中野 孝紀 JFE エンジ(株) 栗原 孝司 JFE エンジ(株) 高橋 幸美
JFE エンジ(株) 田原 和範 JFE エンジ(株) 柏原 宜尚 日大生産工 木田 哲量

1. はじめに

わが国の水道普及率は、97.3%に達しており、国民のほぼ全てが近代水道を利用できる環境が整備されたと言っても過言ではない。その一方で、高度経済成長期に整備された水道施設の多くが耐用年数を迎えており、首都圏直下・東南海・南海等、大規模地震のリスクが高まる中、これらの施設、とりわけ送配水管路施設の更新ならびに耐震化が喫緊の課題となっている。これらの管路施設は一般に埋設されているが、市街地においては人口の集中や交通量の増大、さらに他の地下埋設物の錯綜のため、開削工法による更新は物理的にも経済的にも極めて困難な状態になっている。そのため、開削工法に代わる埋設管の更新・耐震化工法として、既設管内に配管を行うパイプ・イン・パイプ工法（以下 PIP 工法と称す）が近年数多く採用されている。水道管路は自然流下方式による送水を基本とすることから、ほぼ水平もしくは緩傾斜状態で布設されるのが一般的であるため、PIP 工法についてもほとんどの場合、水平部もしくは緩傾斜部に対する適用に限られていた。

本論文は、既設管の最大傾斜角度が 30° を超える急傾斜地において PIP 工法を適用するための施工方法について提案するとともに、群馬用水のサイホン管更新工事に適用した実施例について紹介するものである。

2. PIP 工法の概要

2.1 PIP 工法の特徴

PIP 工法は、老朽化した既設管を鞘管としてその中に 1 口径(100mm 程度)小さい口径の新設管を挿入し、既設管内で接合する工法である。

同工法の特徴としては、

- (1) 発進・到達立坑部以外は非開削で更新が可能
 - (2) 既設管に近い口径の新管布設が可能
 - (3) 曲管部や分岐管部でも対応が可能
- などが挙げられる。

PIP 工法による管路更新で最も重要となるのが、コストミニマムとなる配管設計である。そのためには、設置立坑数を最小化すること、最適な立坑位置を選定すること、既設管内になるべく長い管を搬入し、管内での溶接工数を最小化するこ

となどがポイントになる。しかしながら、既設配管の線形は必ずしも直線的ではなく、平面・縦断面方向ともに曲線部を有するのが一般的であるため、曲率の小さい曲管部を有する路線においては、この部分を通過するために挿入する新管の管長を短くする必要があり、結果として管内における溶接口数が増大する。

この課題を解決する方法として「巻込鋼管」を用いた PIP 工法が考案されている。同工法は鋼管のシーム部を溶接せず、縮径した状態で既設管内に挿入し、管内で拡管して接合する方法があり、写真 1 に示す形状である。PIP 工法においては、既設配管の線形に合わせて普通鋼管と巻込鋼管との最適な組み合わせを行うことが、経済的な設計の要点となる。



写真 1 巻込鋼管の例

2.2 PIP 工法のフロー

PIP 工法による施工方法を図 1 に示す。同工法の手順は、以下のとおりである。

- (1) 立坑（発進・到達）の築造
- (2) 運搬台車・溶接機器・換気等の準備工
- (3) 巻込鋼管搬入・吊降ろし・管内運搬
- (4) 巻込鋼管の拡管・据付
- (5) 軸方向溶接・円周方向溶接（接合）・検査
- (6) 既設管との間隙にグラウト充填
- (7) 内面塗装・検査

写真 2 には、運搬台車を用いた鋼管の運搬状況を、図 2 には巻込鋼管の拡管方法をそれぞれ示す。

Application of pipe in pipe method for the steep slope area

Takanori NAKANO, Takashi KURIHARA, Yukimi TAKAHASHI
Kazunori TAHARA, Yoshinao KASHIWABARA and Tetsukazu KIDA

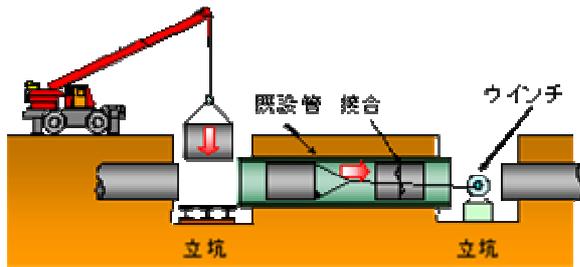


図1 PIP工法による管更新



写真2 運搬台車による管運搬状況

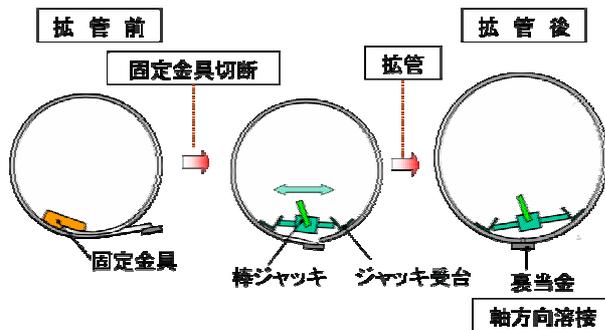


図2 巻込鋼管の拡管

3. 適用対象工事

本論文中で対象とした PIP 工法による管更新工事は、独立行政法人水資源機構・群馬用水総合事業所の利根川サイホン管（下流部）であり、供用開始から 30 年余経過し、経年劣化に加えて耐震性に問題があることから更新事業が行われている。本工事の概要を表 1 に、また更新区間の縦断面図を図 3 にそれぞれ示す。最大の傾斜区間は図中の 区間であり、その最大傾斜角度は 33°にも及んでいる。

表 1 適用対象工事の概要

工事名	利根川サイホン下流部既設管補強工事
工事場所	群馬県渋川市赤城町津久田地内
施工時期	平成20.1～平成20.4
工事内容	鋼管布設 L=135.041m
	鋼管溶接 φ2286mm(普通鋼管) 22箇所
	鋼管溶接 φ2286mm(巻込鋼管) 11箇所
	グラウト充填 51.6m ³
	鋼管塗装(巻込鋼管軸方向含む) 33箇所
	等
工区詳細	延長L=16.3m, 斜面部21°, 巻込鋼管5本, t=12mm
	延長L=63.5m, 水平部, 普通鋼管14本, t=12mm
	延長L=27.0m, 斜面部14°, 巻込鋼管6本, 普通鋼管1本t=12.13mm
	延長L=28.2m, 斜面部33°, 普通鋼管8本, t=13mm

4. 急斜面部に対する適用検討

4.1 技術的課題の抽出

急傾斜配管に対して PIP 工法を適用する際の技術的課題は以下のとおりである。

- (1) 新設管の引き込み・溶接作業時における安全性ならびに溶接作業性の確保
 - (2) 巻込鋼管の拡管作業における安全性確保と効率化
 - (3) 傾斜部におけるグラウト充填圧管理
- 以下に各課題の概要ならびに対策を記す。

4.2 鋼管引き込み・溶接時の対策

通常、新設管の引き込みは図 1 や写真 2 に示すように、地上で管にキャスターを取付け、運搬台車やウインチによって行うが、急傾斜配管の場合には図 4 に示すように既設管の傾斜を利用して吊り降ろしを行う。引込みの際の安全対策として、鋼管の引込時には管下の人払いを徹底して行い、管落下による災害防止を図った。

なお、急傾斜管内で溶接等の管内作業を行うことは作業の安全性ならびに施工性を著しく損なうため、事前に新設管内に作業用足場を設けることとしたが、足場自体にも落下防止対策を講じる必要がある。そこで、写真 3 に示すように、作業用足場両端の管材を、内面塗装保護用のゴム板を介して新設管両端口にジャッキベースで固定し、さらにウインチ用の吊りピースに固定することとした。さらに、工具等が落下すると、斜面のため管下まで滑り落ちてしまうことから、各管の管口にベニヤ板を取付け、工具落下防止の

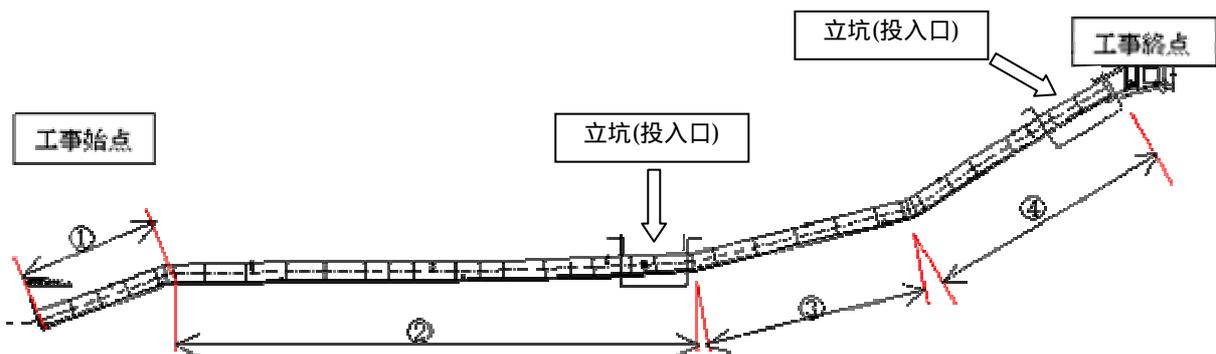


図3 利根川サイホン下流部の縦断面

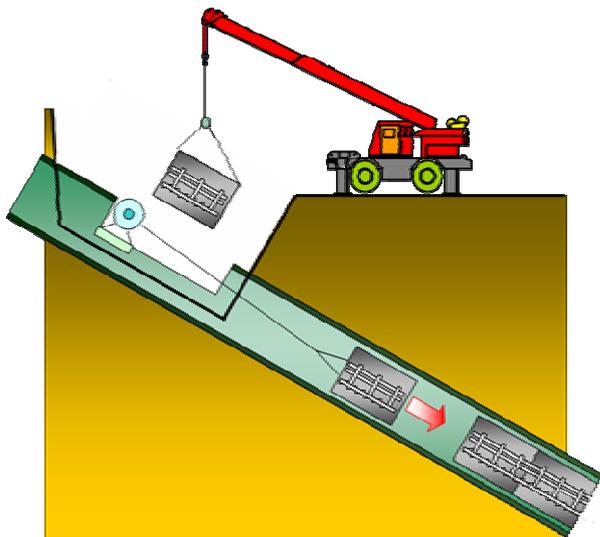


図4 急傾斜配管内への新設管の引き込み

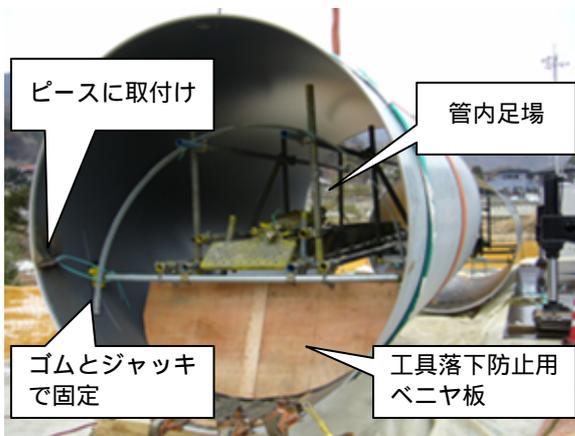


写真3 新設管内の作業足場状況

処置も行った。新設管の引き込み・据付後は、吊りピースとの固定を解除し、隣接する管の足場同士を接続する。以上の対策により、急傾斜配管内への新設管設置ならびに管内溶接作業の安全性ならびに施工性を確保することができた。

4.3 急斜面部における巻込鋼管の拡管

拡管作業は、新設管の据付後に固定金具を切断し、拡管ジャッキを用いて所定の口径まで拡管した後、仮付け溶接・シーム溶接の順で行う。急傾斜管内における拡管作業の場合、前述の普通鋼管の場合と異なり、既設管内への管挿入時には、新設管は縮径状態であることから、事前に作業用足場を新設管内に設置しておくことができない。そこで、巻込鋼管下部に足場板設置用のピースを取付け、固定金具の切断・拡管作業時には写真4に示すような足場板上で管内作業が行えるよう対策を施した。

本対策によって、急傾斜管内における拡管作業の安全性・作業性を確保することができたが、固定金具切断・仮付け溶接作業を除く拡管作業の所要時間は、勾配14°の工区では1時間、勾配

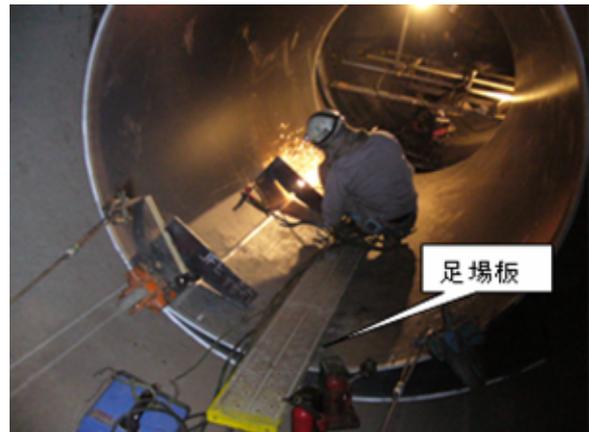


写真4 急傾斜管内での固定金具切断状況

20°の工区では3時間となっており、傾斜角度が大きい区間では作業効率が大幅に低下する結果となった。この点については、例えば既設管の傾斜角度によって挿入する新設管の管長を短く設定する等の対応が考えられるが、さらに改善の余地があると考えられる。

4.4 急斜面部におけるグラウト充填

PIP工法では、新設管の布設後、既設管と新設管の間にモルタル等のグラウト充填を行い、新設管の周囲を拘束するとともに、新設管外面の防食を行う。図6にはPIP工法におけるグラウト充填方法を示す。本工区では、図7に示すよう

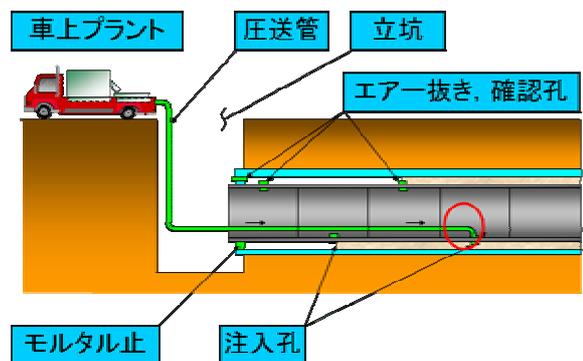


図6 グラウト充填方法

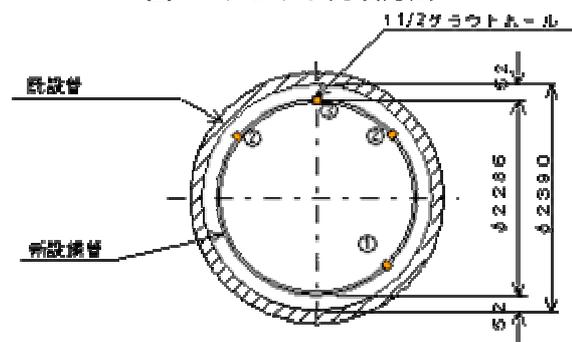


図7 対象工事における管断面図

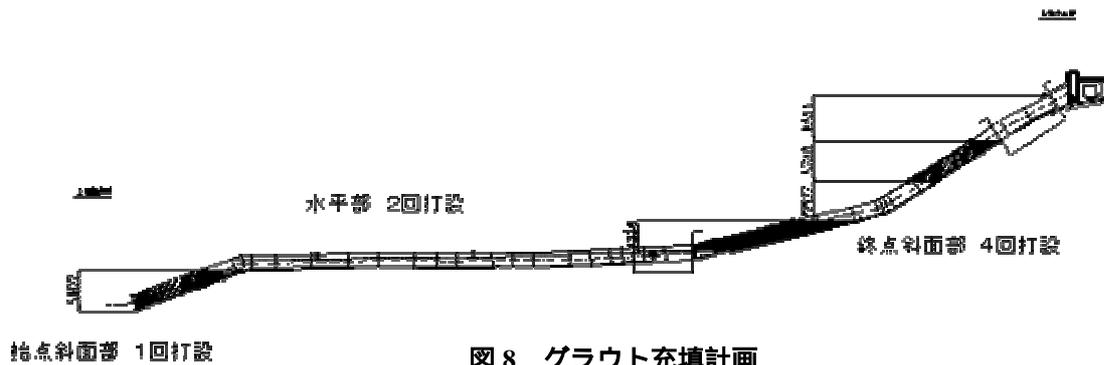


図8 グラウト充填計画

に、既設管(外径 2,390mm)と新設管(外径 2,286mm)との間には約 50mm の間隙が存在するので、新設管に予め設けられたグラウトホールからグラウト充填を行い、新設管頂部に設けられたグラウトホールからオーバーフローするまで充填を行う。グラウト充填の際、新設管にはグラウト充填圧および打設位置における水頭分が外圧として作用するが、過大な外圧が作用すると、新設鋼管が管内で座屈を生ずるおそれがあるため²⁾、慎重な打設計画が要求される。

管の周囲が無拘束状態である新設鋼管の限界座屈圧力 P_k ならびにグラウト材の打設限界高さ H は、(1)式ならびに(2)式によってそれぞれ求めることができる³⁾。

$$P_k = \frac{2 \cdot E_s}{1 - \nu_s^2} \left(\frac{t}{D_0} \right)^3 \cdot \frac{1}{S} \quad (1)$$

$$H = \frac{P_k}{\gamma_m} \quad (2)$$

ここに、

P_k : 限界座屈圧力 (N/mm²)

E_s : 鋼材のヤング率 (= 2.0 × 10⁵ N/mm²)

ν_s : 鋼材のポアソン比 (= 0.3)

D_0 : 管外径 (= 2,286mm)

t : 管厚 (= 巻込鋼管 12mm , 普通鋼管 13mm)

S : 安全率 (= 1.5)

γ_m : 充填材の単位体積重量 (= 7.1 ± 0.5 kN/m³)

H : グラウト材の限界打設高さ (m)

図8には、本工事におけるグラウトの打設計画を示す。同工事では、まず最下流側の傾斜配管部であるⅠ区で打設を行った後、水平配管部(Ⅱ区)では、管の2/3高さを境界として2回に分けて打設を行う。終点の傾斜配管部(Ⅲ区)においては、上式により計算される打設高さより、4回の打設とした。

急傾斜管内でのPIP工事においては、上記のようにグラウト充填圧による鋼管の座屈ならびに浮力による管の損傷など、施工時荷重に対する

十分な配慮が重要となる。本工事においては、事前の構造計算結果に基づくグラウト充填計画の策定により、無事にグラウト充填を完了した。

5. まとめ

本論文では、従来水平もしくは緩傾斜配管部に採用実績の多い鋼管によるPIP工法を急傾斜配管部に適用する場合の諸対策を提案し、実際の施工を通じて検証した。

以下に得られた知見を記す。

- (1) 鋼管によるPIP工法は、急傾斜配管内の更新工事においても適用が可能である。ただし、通常の場合と異なり、種々の安全対策・施工性改善対策が必要である。
- (2) 新設管として普通鋼管を挿入する場合には、管内作業の安全性・施工性を考慮して事前に作業足場を管内に設置する方法が推奨できる。また落下防止対策も必須である。
- (3) 新設管として巻込鋼管を挿入する場合には、事前に管内に作業足場を設置することが困難であるため、ピースを巻込鋼管下面に取付け、管挿入後に足場板を設置する方法が適用できる。ただし、拡管作業の方法については今後も検討が必要である。
- (4) 急傾斜配管の場合、グラウト充填時における施工検討は、新管等の座屈防止等の検討が極めて重要である。

参考文献

- 1) 粕谷明博：水道施設の耐震化の現状と課題，水道協会雑誌，第78巻第8号，2009。
- 2) 日本水道鋼管協会 WSP 037-98 水道用鋼管のトンネル内配管施工指針
- 3) 日本水道鋼管協会 WSP 036-2003 水道用鋼管のトンネル内配管設計基準，2003。