

## II-26 水道における推進工法について

札幌市水道局 正会員 藤井 憲 次  
正会員 西 條 肇 昌  
藤井 美 次

## 1. はじめに

本市における配水管工事は、従来開削によるものが主体であった。しかし、近年の都市整備に伴う各種埋設物の輻輳化、また、車両増加に対する円滑な交通の確保、さらには振動・騒音等の建設公害の観点からも、開削工事による工事は大きな制約を受ける状況にあった。このため、従来の河川・軌道・幹線道路等の横断箇所、動水勾配から土被りが大となる箇所ばかりではなく、道路の縦断方向についても、地下街・地下鉄の他、地下埋設物が輻輳し、工事の安全な施工ができなくなってきたこと、さらには水道管路としての、維持管理面の容易性を比較検討のうえ、非開削工法が広く採用されるに至った。

非開削工法は、シールド工法・セミシールド工法・トンネル工法・推進工法等があるが、本市の配水管工事においては、管径・延長・土質から、刃口元押推進工法の実例が最も多い。推進工法は、開削部が発進坑と到達坑に限定されるため、工事占用面積が少なくて済み、そのうえ、交通の確保並びに振動・騒音等の影響を最小限におさえることができる。また、主として作業が切羽や立坑の範囲に限られるため、安全管理においても有利である。さらに埋設物の輻輳化から土被りが大になる場合は、工事費も割安となり経済性に優れている等の理由から、推進工法が多く用いられてきたのである。

そこで今回は、本市水道における配水管の推進施工例を報告し、今後の課題について述べたい。

## 2. 推進工法の実施状況

本市においては、毎年 140km以上の配水管を布設しており、この内、大口径配水管（管径 500mm以上）は10km程度を実施している。推進工事の割合は表-

1のとおりであり、昭和55年以前は約 700mの 5%程度で、河川・軌道・主要道路の横断であった。しかし、昭和56年以降は道路縦断方向等にも広く取入れられ、ここ3年間は、おおむね 5kmの40~50%を占めている。

推進工法には、鉄筋コンクリート管等を推進して、その中に配水管を敷設するサヤ管方式と、配水管としてのダクタイル鋳鉄管や鋼管を、直接推進する直押（じかおし）方式がある。

表-1 配水管布設に対する推進延長

| 区分<br>年度   | 配水管布設延長        |                | 布 設<br>合 計     | 推進施工<br>延 長 | 推進の占める割合   |               |
|------------|----------------|----------------|----------------|-------------|------------|---------------|
|            | 管径400<br>mm 以下 | 管径500<br>mm 以上 |                |             | 全布設<br>延長  | 管径500<br>mm以上 |
| 昭和<br>55 年 | (m)<br>125,540 | (m)<br>15,469  | (m)<br>141,009 | (m)<br>727  | (%)<br>0.5 | (%)<br>4.7    |
| 56 年       | 128,327        | 12,753         | 141,080        | 2,467       | 1.7        | 19.3          |
| 57 年       | 129,982        | 13,577         | 143,559        | 2,281       | 1.6        | 16.8          |
| 58 年       | 138,953        | 15,195         | 154,148        | 6,988       | 4.5        | 46.0          |
| 59 年       | 166,725        | 10,472         | 177,197        | 4,647       | 2.6        | 44.4          |
| 60 年(推)    | 146,026        | 13,974         | 160,000        | 5,305       | 3.3        | 38.0          |

## 2-1 サヤ管方式を採用する場合

## (1) 配水管径が 700mm以下の場合

人力で管内掘削を行う推進の最小管径は、①

切羽における土砂崩壊の時、作業員が退避可能な大きさであること。②換気を十分に行うことができ、酸素欠乏が生じないこと等の安全を第一に考えており、災害の防止の観点から管径 800mmとしている。

## (2) 土質の制約を受ける場合

推進部分の土質が転石混りや玉石混りで、推進管耐力と推力の関係、かつ、推進長にもよるが、①推進管のコンクリート外装管を破損する恐れがあるとき。②推進中に玉石が競り合い、極部に応力が集中し推進管内への変形を生じさせ、内面のモルタルライニング及びシールコートに影響を与える恐

れがあるとき等、配水管保護の観点から、配水管の管径より一回り大きい鉄筋コンクリート管等を使用している。

### (3) 各管理者の制約を受ける場合

配水管は、圧力管路で構成されていることから、河川・軌道の管理上、直接それぞれの施設に支障を与えたくないとの判断より、二重構造の許可条件を占有者に義務づけている。なお、河川横断において、堤内地が、堤外地より地盤の高い掘込河道の場合で、使用材料としてのダクトイル鉄管が、十分な屈撓性と水密性を有し、地震に対しても安全であるとして直押を実施した事例はある。

## 2-2 直押工法を採用する場合

### (1) 配水管径が 800mm 以上の場合

推進部分の土質あるいは各管理者からの条件等で、特に制約がないときは、直押方式の直接推進を実施している。

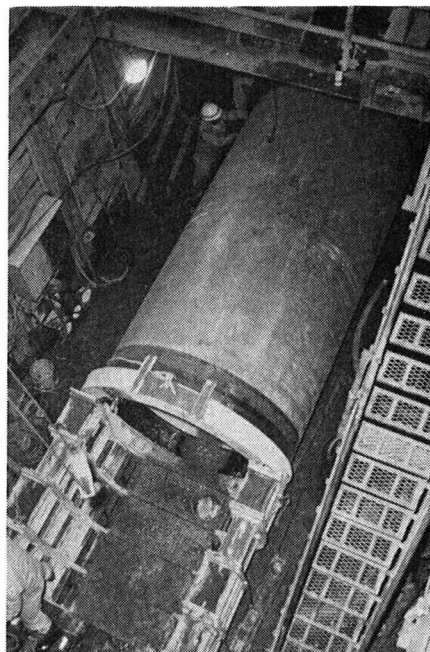
### (2) 中小口径推進の採用が可能な場合

最近、火山灰等の一般土質箇所での中小口径管の推進に直押が採用されている。これは作業員が管内に入らずに、シールドタイプの刃口を装着した配水管をジャッキで推進させながら、管内に入る土砂をアースオーガーで搬出するもので、管径 700mm 以下で実施している。本市においては昭和58年に管径 400・500mm の T 形ダクトイル鉄管で、1 スパン 50～100m の範囲において、3 条の並列推進を含めて連続 7 スパンを実施した事例がある。

### (3) 継手に無理のない推進ができる場合

推進に使用する管が、要推力に対して強度が十分あり、推進精度も接合可能な誤差内におさまリ、継手からの漏水の問題もなく耐水性が保たれると判断できるとき直押としている。

推 進 状 況



## 3. 特殊推進の採用

本市においては、表-2 に示す特殊推進を送・配水管路で採用した。

### 3-1 長距離推進

推進工法は、1890年代に北太平洋鉄道の建設工事に採用されたのが最初のことであるが、その後、国内において改良のうえ一般化され、最近は長距離の事例も多くなってきている。本市においても 1 スパンの推進長が 200m を越える長距離のものとして、昭和54年に管径 1500mm で延長 275m 及び昭和57年に管径 1800mm で延長 386m の 2 例がある。

#### (1) 管径1500mm・延長 275mの推進

本市の配水管理システムの中核拠点である配水センターから、一般主要道路の水源池通りに向う配水管路において実施した。布設計画路線

は、一般住宅地で道路幅員も 8m (有効幅員 5.5m) と狭きで、工事車両の通行問題や工事によって発

表-2 特 殊 推 進

| 名 称   | 施 工 度   | 管 径                 | 延 長                                          | 幹 線 名   |
|-------|---------|---------------------|----------------------------------------------|---------|
| 長距離推進 | 昭和 54 年 | 1,500 <sup>mm</sup> | 275 <sup>m</sup>                             | 平岸第3幹線  |
| 〃     | 57 年    | 1,800 <sup>mm</sup> | 386 <sup>m</sup>                             | 白川第2送水管 |
| 急勾配推進 | 54 年    | 1,800 <sup>mm</sup> | 150.5 <sup>m</sup>                           | 〃       |
| 曲線推進  | 58 年    | 1,650 <sup>mm</sup> | 曲線半径 458 <sup>m</sup><br>弧 長 72 <sup>m</sup> | 〃       |
| 地中接合  | 57 年    | 1,650 <sup>mm</sup> | 183 <sup>m</sup>                             | 〃       |

生ずる振動・騒音によるトラブルが大きな障害であった。

## (2) 管径1800mm・延長 386mの推進

白川浄水場と平岸配水池を結ぶ白川第2送水管路の内、市の南西部に位置する真駒内団地附近の丘陵地の市道において実施した。この附近は、道有地真駒内保安林として、エゾヤマザクラ・トドマツ・シラカバ等の緑豊かな森林地帯で、夏はハイキングコース、冬はクロスカントリーコースとしても市民のいこいの場所であり、保健保安林及び鳥獣の自然保護区にも指定され、保安林解除もできなく、周辺環境を保全しなければならない等の諸制約があった。この制約下で、長距離推進が可能と判断したのは、①いずれの現場も土質は火山灰質であり、N値45以上で、自然含水比も30～40%と比較的安定した地盤であること。②管径が1500mm及び1800mmと大口径であるため、管内の作業性が良いこと。③長距離の推力増大に対して使用の中押管と、採用管種であるダクトイル鉄管の強度に、十分信頼がおけること。④中押工法としてダクトイル鉄管製中間スリーブ管を使用する事例も多く、実績があり信頼がおけること等による。かつ、いずれの長距離推進においても、管路としての安全性、すなわち、接合の許容誤差内に入り、継手からの漏水はないと判断したためである。

## 3-2 急勾配推進

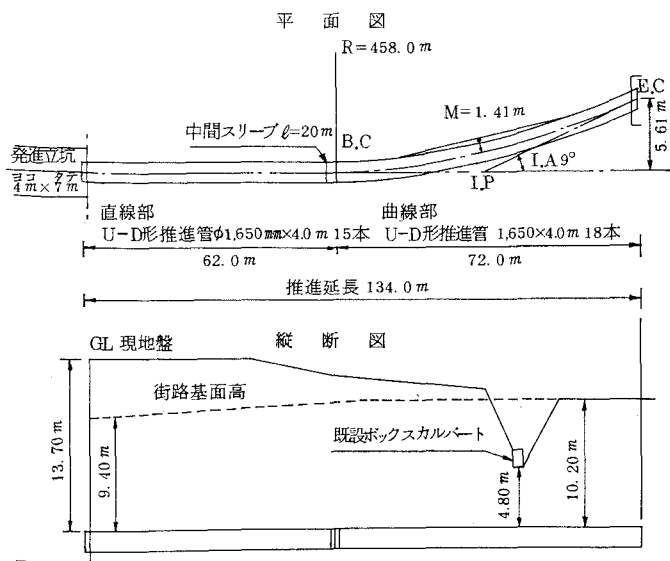
推進勾配は、先導管の切羽部分から湧き出る地下水を処理するために、水平もしくは1～2%程度の範囲にすることが通常である。しかし、昭和54年に南区澄川緑ヶ丘団地の丘陵傾斜地で、白川第2送水管路において、管径1800mmダクトイル鉄管で、延長 150.5mの6%上り勾配推進を実施した。

この急勾配推進が可能と判断したのは、①土質は、軟岩質の火山灰(N>50)で安定しており、地下水位も低い。②神奈川県企業庁が、平塚市において、管径1500mmダクトイル鉄管で、延長60mの15%上り勾配を施工した実績があったこと。③推力は一般推進に比較して大きくなるが、使用するダクトイル鉄管の耐圧力で十分対応できること。④推進精度も漏水のない許容誤差内におさめることができること等による。

## 3-3 曲線推進

推進は直線施工が通常であるが、道路の曲線部分においては、立坑の増加を余儀なくされるため、最近では長距離推進と同様に曲線推進の必要性が高まり、すでに鉄筋コンクリート管による施工事例が報告されている。本市においては、昭和58年に白川第2送水管路で、図-1に示すとおり、管径1650mmダクトイル鉄管による曲線半径 458m、弧長72mの推進工事を、国内で初めて市の南西部に位置する、豊平区羊ヶ丘農業試験場内の羊ヶ丘街路において

図-1 曲線推進



て実施した。曲線推進が可能と判断したのは、①街路工事に先行して施工するため、土被りが10～14mになること。②すでに道路橋の橋脚が新設されていたこと及び既設ボックスカルバートの位置関係から、立坑位置の確保が困難であったこと。③推力伝達の補助金具として使用するデスタントピース及びライナープレートを改良することで、必要屈曲角が確保できると判断したこと。④曲線半径が 458mと大きく、管1本(4m/本)あたりの曲げ角度は30分と、許容曲げ角度の2分の1であり耐水性が保たれること

等による。

### 3-4 地中接合

推進は、発進立坑から到達立坑へと施工するのが通常であるが、地下埋設物が輻輳して、どうしても到達立坑スペースを確保できない状況もある。このため、昭和57年に豊平区西岡地区の白川第2送水管路において、到達立坑を設けず片側から管径1650mmダクタイル鋳鉄管で推進長130mを直押し、反対方向から管径2400mmの鉄筋コンクリート管（サヤ管）で、延長183mの迎え推進をおこない、このサヤ管内に1650mmダクタイル鋳鉄管を送り込み、既設先頭管と連結する地中接合を実施した。地中接合が可能と判断したのは、①土質が火山灰質で、N値45以上の安定した地盤であること。②推進延長は比較的長い、土質の状態、推進距離からみて、漏水のない接合ができると判断したこと等による。

## 4. 推進工事における今後の課題

本市においては、特殊推進工事を含めて、多くの推進工事を経験してきたが、今後さらに増加する傾向にある。このような状況下で、設計目的に合致した安全で経済的な施工及び水道の維持管理面からも安全な管路とするためには、現在まで行ってきた推進工事の問題点などを、検討・改善することが必要である。

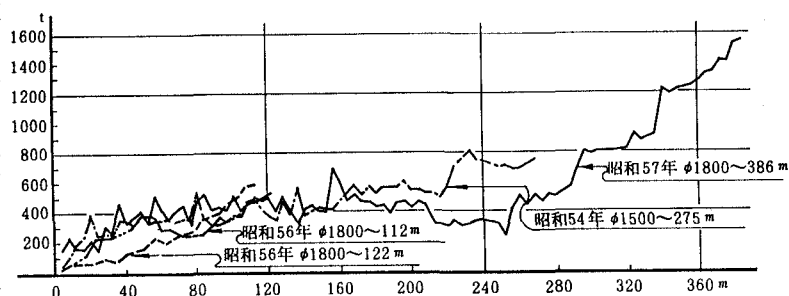
### 4-1 管路の埋設深さ

配水管の埋設深度は、道路施行令で1.2m以上とされているが、積雪寒冷地では、この他に凍結深度の確保を図ることが必要である。管路の適切な深さは、管路の安全性・維持管理性を基本とし、法令・自然条件・その他路面荷重を考慮して、本市では、配水枝管（管径350mm以下）で1.2m、配水幹線で（管径400mm以上）では2m程度を経済的な埋設深さとしている。しかし、推進工事の採用が多くなることにより、従来より埋設深さが大となり、管路の凸凹が多くなる状況である。このことは、推進工法でも漏水のない配水管を布設できるとはいえ、将来の維持管理面で問題があり、事故時の対応策を今から十分に練っておく必要がある。

### 4-2 推力

本市においては、数種の理論式により推力を算定しているが、設計要推力は実施推力に対して過大に出る傾向にある。本市で、昭和57年に実施した延長386mの長距離推進の要推力を理論式で求めた結果、推力は2,237～3,565tの範囲にあるが、実施時における最大推力は1,570tであった。推

図-2 実施推力



力の算定に影響を与える要因としては、特にN値と内部摩擦角、内部摩擦角と摩擦係数、地下水と粘着力の影響があげられるが、これらをいかにとらえるかによって推力は変わってくる。

今後、本市においては、事前の土質調査と現行までの施工実績から、土質別にデータを収集し、実績数値により算定式を修正するなど、見直しを計りたいと考えている。

#### (1) N値と内部摩擦角の関係

N値から内部摩擦角を推定する式にも数種類あるが、実際の現場から採取した火山灰を試験した結果、推定式で求めた内部摩擦角と大差はなく、火山灰等の一般土質であれば十分現場に対応できると判断した。

## (2) 管と土との摩擦係数の関係

静摩擦係数は通常  $\tan \phi$  で求められるが、推進の場合は動摩擦抵抗と考えられるので、日本下水道協会では  $\tan(\phi/2)$  としている。しかし、同じ内部摩擦角であっても土質の相違に対する画一的な仮定については議論があり、今後の検討が必要と考える。

## (3) 地下水の影響

シルト及びシルト質砂が、地下水位以下で飽和状態にある場合、調査N値が15より大きい数値であるとき、その土の実際に有する強度が過大に出る傾向があるため、 $N = 15 + (N' - 15)/2$ （ただしN：補正したN値、N'：測定したN値）によりN値の補正を行う必要がある。

## (4) 粘着力の影響

土の粘着力は、砂質土のサクションによる見掛けの粘着力と粘性土の粘着力の2つに区別できるが、砂の場合は、見掛けの粘着力のため、管との付着力はないといわれる。また、粘性土の場合、管に対する付着力は粘着力に反比例する関係にあり、粘着力が小さい時は付着力が大きく、粘着力が大きい時は付着力は小さくなると考えられている。したがって、管外周面に働く付着抵抗（F）は、日本下水道協会において、 $F = \pi \cdot B_c \cdot C$ と提案しているが、粘着力（C）の代わりに付着力（A）を求め、 $F = \pi \cdot B_c \cdot A$ （ただし、 $B_c$ ：管外径、C：粘着力）とする提案もあるので、今後の検討が必要である。

# 4-3 施工管理

## (1) 推進中心線の確認

推進工事においては、いかに測定の精度を高め、過誤のないようにするか、十分検討を行う必要がある。特に中心線の方向は、推進長が長くなるほど誤差が大きくなり、推進の施工自体が正しく行われても、設計上期待している管路は布設できないことになる。本市においては、推進誤差の許容値を、高さ・振れともに $\pm 5\text{cm}$ の範囲にしている。したがって、この対応として、最低限、管一本推進するごとに方向確認を行うとともに、特に長距離推進の場合には、中心線方向に数箇所のセンターボーリングを施して、ズレを確認・修正する必要がある。

## (2) 測量機種の選定

推進延長が100mを越えるような場合、外気温との差により管内にモヤが発生して視準しづらくなる事例があるため、レーザー光線付のトランシットを使用するのが適当と思われる。しかし、いずれにしても推進勾配があり延長が長いほどターニングが必要であることから、精度が低下する問題を抱えている。

## (3) 管路の蛇行修正

推進管路の蛇行を修正する施工上の対策としては、一般的に推進管の推力を伝達するための、さし口フランジと受口を連結する植込ボルトを緊結せず、一定の間隔の締め残しを確保することで、修正時の偏位を可能にしているが、刃口に軌跡修正用ジャッキを装着したセミシールドタイプを使用することにより、さらに修正を容易に行えるうえ、推力（刃先貫入抵抗）の分散も可能となるので検討する必要がある。

# 4-4 安全管理

## (1) 管径と推進延長

推進適用管径は、災害防止の観点から最小で管径800mmにしているが、管径800～1000mmについては、管内での作業性が悪いことから、延長が40mを越えるような場合には、サヤ管方式を検討する必要がある。

## (2) 管内の換気

道路横断等の延長が短い場合は、自然換気で十分であるが、延長が長くなると自然換気のみでは不

十分となる場合が多いので、適切な換気設備を設けるとともに、必ず作業開始前に酸素濃度のチェックを行う必要がある。

#### 4-5 経済性

開削工法と非開削工法の施工費を比較する場合、配水管の土被りが5～6m以上になると、推進工法が経済的に有利になると報告されている。本市においても、昭和58年に実施した豊平区有明・里塚地区での管径500mmの配水管工事において経済比較をおこなった。ダクトイル鋳鉄管径500mmの配水管工事において、延長70mを火山灰層土質に敷設した機械推進工法と開削工法との比較を行ったところ、土被り5mで推進の工事費は14,220千円(20.3万円/m)、開削の工事費は14,720千円(21.0万円/m)と、ほぼ土被り5mが損益点になった。なお、管径が1800mmでもほぼ同じ結果が得られ、管径が大きくなるにつれて、工事上の付帯設備等は推進の方が有利となる。

#### 5. おわりに

水道における推進について述べてきたが、本来、配水管は水道利用者へ、清浄・豊富な水を安全に運搬することを目的として埋設されるものであり、その性格からして、土被りは給水サービスに適した深さでなければならない。本市の場合、地下街・地下鉄のほか、電話・電気を始め、上下水道管・ガスパイプ・熱管など、地下埋設物が重なり合い複雑に入り組んで、どうしても推進工法による深い位置への配水管埋設となる。また、推進工法を採用できるのは、強度が十分な管材料があること、耐水的にも優れ伸縮性に富んだ継手が使用できる状況下にあるためである。しかし、配水管の維持管理、給水サービスからして、好んで深い位置に埋設しているものではない。これからの都市整備を考えると、各埋設者がそれぞれの埋設物の新・増設、改良計画を立て、生活ライン埋設物をワンセットに収めることのできる共同溝の設置等を、道路行政と連携を取りながら進めるべきものと思慮される。

#### (参考文献)

- 1 藤井美次, 久保田和男, 日野石幸男 「 $\phi 1500\text{mm}$ ダクトイル管の長距離推進」  
第31回全国水道研究発表会講演集 1979
- 2 西条肇昌, 平賀岑吾, 高柳裕 「口径1800mmの長距離推進」  
第34回全国水道研究発表会講演集 1982
- 3 平賀岑吾, 阿部一晴, 引木優 「口径1650mmの曲線推進」  
第35回全国水道研究発表会講演集 1983
- 4 平賀岑吾「札幌市における中小口径推進, ダクモール工法の採用」水道公論 1984, NO.6
- 5 藤井憲次, 平賀岑吾, 西条肇昌 「水道施設における水管橋について」  
土木学会北海道支部論文報告集 1983
- 6 藤井憲次, 平賀岑吾, 西条肇昌 「水道施設におけるトンネルについて」  
土木学会北海道支部論文報告集 1984