

総論 多様な地下構造物

管路埋設工事以外でも活躍する推進工法



なかの まさあき
中野 正明

機動建設工業(株)
代表取締役社長
(本誌編集参与)

1 はじめに

推進工法は先導体が前面の地山を掘削しながら推進管を後方から押し込む工法である。そのため開発当初からその建設目的物は「管路」に限定されていました。下水道、上水道、電力、ガスなどの管路（パイプライン）としての使用用途ですが、最近ではこれらの用途以外でも推進工法の適用事例が増加しているようです。鋼管を用いたパイプルーフやボックスカルバートを用いた地下通路の建設などには古くから行われていましたが、最近では道路の地下交差（アンダーパス）や合流部の建設のための支保工などにも適用されているようです。また反対に今後の推進技術の発展のためにはこのような「管路」以外への推進工法の適用を推し進めなければならないことも事実です。

下水道、上水道、電力、ガスなどの管路（パイプライン）の建設であればその成果物（管路）に要求される性能は厳しい埋設（推進）精度であったり継手の止水性であったりしますが、管路以外の建設であれば要求性能がそれぞれ異なります。

また、管路として使用する管材料は

ヒューム管が最も多く塩ビ管、ダクタイル管なども使用されています。それ以外の用途では鋼管やコンクリートおよび鋼製の函きょが多く使用されます。

本稿では推進工法を管路埋設以外の用途で使用するケースを、その目的や特色、使用管材料、周辺技術などを含めて概観的に紹介します。またそれぞれのケースに要求される技術内容や、今後の適用の可能性などについても述べてみたいと思います。

2 パイプルーフ

2.1 パイプルーフの施工目的

パイプルーフの多くは地下空間に構造物を築造する場合に、上載土の荷重を支保したり側方の土圧を受けたりするための支保工に用いられます。また作業空間の確保や軌道などの上載構造物の変位防止にも用いられます。

(1) 管材料

上記の何れの目的で使用される場合でも管体には梁としての性能が求められますので、管材料の外圧強度だけではなく継手も含めた1本の梁としての強度が要求されます。そのため使用する管材はほとんどの場合鋼管が使用され

ますが、支保工や作業空間の確保の目的ですから、横断方向の形状保持も要求されるため、通常は鋼管の両横に嵌め合いのジャンクションが付きま（写真-1）。



写真-1 パイプルーフ施工状況

(2) 配置形状

パイプルーフの配置形状はその目的に応じていろいろなパターンがあります。例えば上載構造物の変位防止であれば、できるだけ構造物の上面に接近して一面に配置しますし、外圧の支保や作業空間の確保であれば、構築する構造物の形状によってその外周に沿っていろいろな配置形状になります。

一般的な配置形状は下記のような物がありますが、これ以外にも特異な形状で施工された例はあります（図-1）。

(3) 補助工法

パイプルーフにおける補助工法とは、発進到達部の自立確保のための地盤改良以外に、ジャンクション部の止水性を確保するため推進工完了後にジャンクションの止水注入を行うことがあります。薬液注入による場合が多くありますが、高水圧の場合は凍結工法なども用いられます。口径がφ800mm以上で比較的大きい場合は、推進完了後に管内から注入作業を行います。比較的小さい口径の場合は管内作業が不可能なため、事前にジャンクションや推進管に注入管を仕込むなどの工夫が必要です。

2.2 工法分類

パイプルーフに用いられる推進工法としては刃口式推進、鋼管削進、水平ボーリング、泥土圧式推進、泥水式推進など、一般的に小口径および大口径の推進工法のほとんどが適用可能です。ただし到達立坑が無く地中押し止めの場合は、泥水式、泥土圧式などの先導体のある工法は回収の工夫が必要です。

(1) 刃口式推進工

適用例はあまり多くありませんが刃口式推進でパイプルーフを施工する事例があります。適用条件としては地山の自立とφ800mm以上の口径ですが、多くの利点もあります。1つめの利点は切羽が開放しているため、障害物が存在する場合でもほとんど問題なく施工できます。障害物の撤去は人力で行うため、障害物の材質や形状に関係なく撤去可能です。2つめは地中押し止めの場合でも、切羽を閉塞するだけで推進工を完了することが可能です。3つめは複数同時施工の場合でも掘進機を増やすことなく、簡易な設備と作業員を増やすことだけで対応可能です。欠点としては人力掘削のため、機械式に比べて掘進速度が遅いことです。

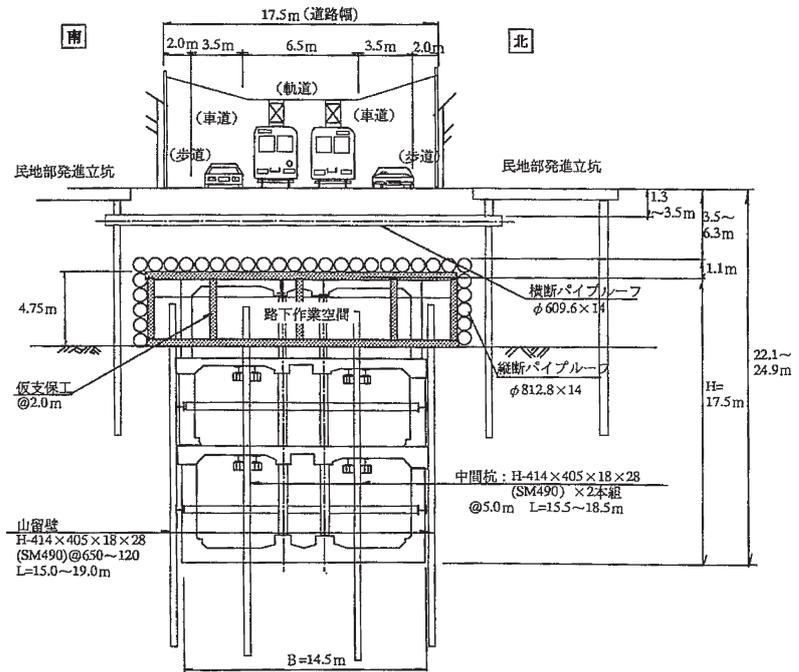


図-1 パイプルーフ配置形状

(2) 鋼管削進

鋼管削進工法も適用事例はあまり多くありませんが、適用可能です。ジャンクションのある施工では、二重ケーシング工法のみ適用可能です。利点は岩盤などの硬質土に対応可能なことと、地中押し止めに対応可能なことです。適用制限としては小口径のみに適用可能であることと、推進精度と施工距離です。基本的に確実な方向制御機能がないため、短距離のみの適用になります。

(3) オーガ方式

パイプルーフに用いられる工法で最も件数の多いのはこのオーガ方式で、



写真-2 オーガ方式施工状況

特に軌道や道路横断部などの補助工法として多く用いられています。利点としては比較的簡易な設備で多様な土質に対応可能なことと、φ1000mm程度までの口径に適用可能なことです。適用制限としては一部の工法をのぞいて地中押し止めには対応不可であること、および高水圧や距離には限界があります(写真-2)。

(4) 泥水、泥土圧

大規模地下空間構築の補助工法などに最近多く用いられるのがこの泥水、泥土圧方式です。利点としては高水圧、長距離に適することです。最近では100mを超える長距離パイプルーフの施工事例があります。適用制限としては地中押し止めの場合は先導体の引き戻し機構を備えた特殊な掘進機が必要なことです。

2.3 管材料

パイプルーフに使用する推進管はそのほとんどが鋼管で、その他の管材が使用されることはごくまれです。それはパイプルーフの施工目的が上載土荷重

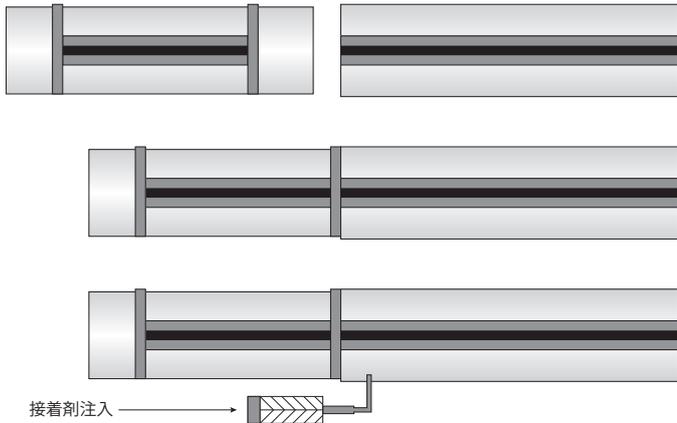


図-2 パイプルーフ鋼管継手例

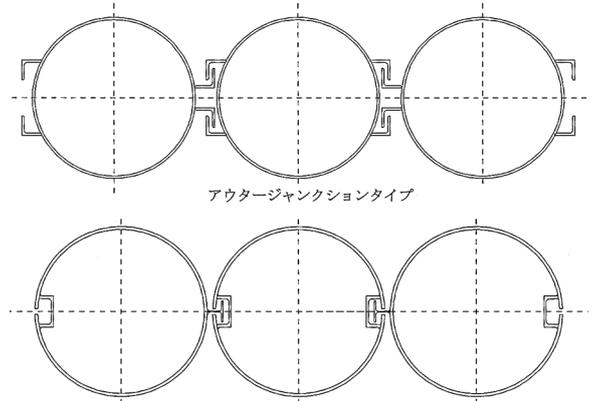


図-3 ジャンクション形状

や周辺土圧を受ける「支保工」で有るため、管体には梁としての性能が要求されるためです。またその1本1本が一体物としての梁であるとともに、配置形状全体が設計通りの連続した一体形でなければなりません。そのため、鋼管どうしが大きく離れたり接触したりしないように通常左右に連結するためのジャンクションが付きま

(1) 鋼管継手

パイプルーフの推進管には前述したように梁としての性能が要求されるため、その軸方向継手は溶接継手が一般的です。前後の鋼管の端面同士を付き合わせて、外周を全周溶接します。鋼管の厚さによっては数回の全周溶接をしなければならないため、接続時間が長くなります。

最近では溶接継手だけではなく、アクリル系やエポキシ系の接着剤を用い

た接着継手もあります。接着継手は突き合わせではなく、ソケット形状や印籠継ぎ形状で、内外の管の隙間に接着剤を注入するのが一般的です(図-2)。

(2) ジャンクション

ジャンクションの目的は全体の断面形状保持のための隣接管の継手です。そのため期待されるのはジャンクション自体の緊結力ではなく、離隔保持であるため、嵌め合いの構造にはかなりの余裕を持たせるのが一般的です。あまり余裕がないと推進中に競り合って大きな推進力がかかったり、ジャンクションや鋼管本体が変形したりする事があります。むしろ必要なのは推進抵抗になら

ないような構造で、土砂がジャンクション内に入ってこないような形状です。一般的なジャンクション形状は図-3のような物があります。

2.4 曲線パイプルーフ

パイプルーフの軸方向線形は直線が一般的ですが、最近では曲線(円弧)線形の施工事例もあります。使用する推進管は鋼管ですので、鋼管自体を曲線形状に製作して、同一半径の円弧形状に推進します。今までのところ曲線は縦曲線(バーチカルカーブ)のみで、水平曲線はこれからの課題だと思われます。いずれにしてもパイプルーフが自由な線形で施工可能になれば、その適

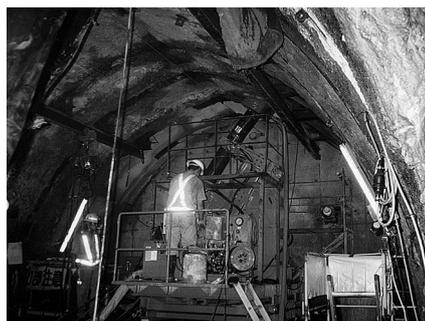


写真-3 曲線パイプルーフ施工状況

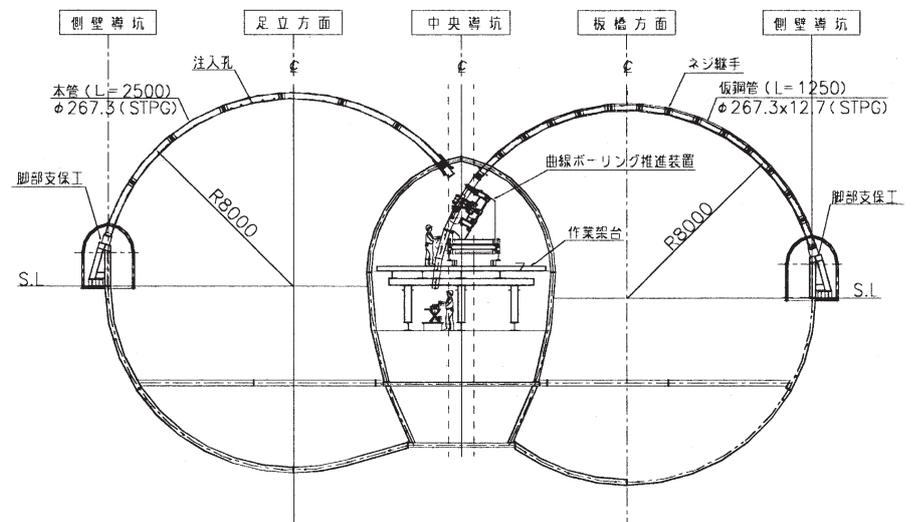


図-4 曲線パイプルーフ図



写真-4 ボックス推進施工状況

用範囲は飛躍的の伸びることは確実ですので、今後の技術開発が期待されます（写真-3、図-4）。

3 函きよ(ボックスカルバート)推進

3.1 ボックスカルバートの施工目的

ボックスカルバートは従来から管路(水路)としてだけではなく、人道、車道、共同溝などにも適用されてきました。

(1) 人道(地下通路)

ボックスカルバート推進の管路以外の適用として最も古くから行われているのは、人道(地下通路)です。道路あるいは軌道を横断する地下道(人道)を増設する場合は、開削工は不可能であるため古くから非開削での施工が要望されました。そのため刃口式推進によるボックスカルバート推進工はいち早く地下道の建設に適用されました。地下道に要求される性能は外圧に対する強度確保は当然のこととして、完了後も上部の車両や列車の振動を受ける事に対する耐久性や止水性(地下水の流入防止)などがあります。特に、完了後も人が出入りして空気の流れがあるため、継手処理には特段の配慮が必要です(写真-4)。

(2) 車道

地下の車道建設にはその断面が大きいため、従来あまり推進工法は適用されていませんでした。しかし最近では複数のボックスカルバートを組み合わせて大

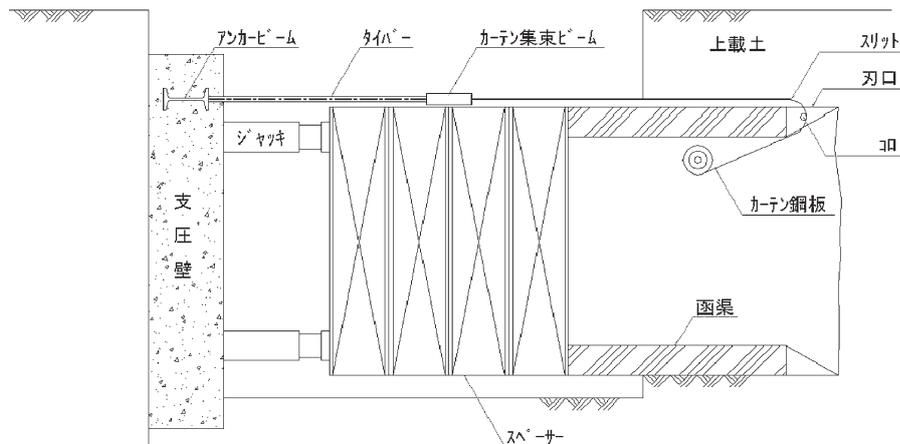


図-5 ディスリップカーテン説明図

断面を形成したり、パイプルーフ的発想で構築物の外周をボックスカルバート推進で施工して、後で内部を掘削することによって大断面の地下空間を構築したりすることによって地下車道を建設することが可能です。

(3) 共同溝

推進工法が共同溝の敷設に適用されるようになったのは比較的最近のことです。それは要求される性能の内、特に止水性に対する要求性能が厳しいため、従来の既成の推進用函きよの継手形式では対応が困難であったためです。しかし最近では函きよの継手が改善され、徐々に適用例は増えつつあります。今後はさらに継手の改善とともにボックスカルバート推進技術そのものが開発、改良されて、下水道など同じように推進工法が標準工法となる事が期待されます。

(4) 導坑

地下作業でアンダーピニングや地盤改良などを行うための作業空間確保として、推進工法が適用されることがあります。作業空間の形状としては円形より矩形の方が遙かに作業効率が良く空間を無駄なく使えるため、ボックスカルバート推進が適しています。この場合、既設構造物や埋設物の直下に近接して施工する 경우가多く、特に上部の土砂

および既設物の変位防止が要求されます。そのためにはボックスカルバート推進の場合の特異な挙動である、上部の土砂が函きよ上面に乗って動く現象を防止しなければなりません。そのためにディスリップカーテン工法などの函きよと上載土の縁切り工法が提案されています。導坑としての函きよはそれぞれ本工事の種類によって要求される性能が異なるため、その都度使用目的(本工事の施工)に応じて設計する必要があります(図-5)。

(5) ステーション工法

作業坑確保の目的でボックスカルバート推進を行う事例の中で、推進工の地下発進立坑として使用するケースをステーション工法と呼んでいます。発進部の管路の上部に既設埋設物が存在したり上部の道路交通が一時的にも閉鎖不可能であったり、発進立坑の築造が不可能な場合、側方の民地などの立坑築造可能な場所からボックスカルバート推進工で導坑を築造する工法です。この場合の函きよ寸法は、幅が通常の発進立坑の長さとはほぼ同じ程度が必要です。発進鏡切りの施工や仮設物としての手軽さを考えると、ほとんどの場合函きよは鋼製函きよが使用されます(図-6)。

3.2 工法分類

ボックスカルバート推進に適応する工法は、大中口径推進と同じく刃口式推進、半機械式推進、機械式密閉型推進があります。ボックスカルバートはヒューム管などと違って、下水道協会規格のような標準寸法がないため、1現場毎にその寸法が異なります。そのため従来は先導体の安価な刃口推進工法や半機械式推進工法が圧倒的に多く用いられました。

(1) 刃口推進

ボックスカルバート推進の中で一番多く用いられるのは刃口式推進工法です。その理由は前述のように先導体が安価なことと推進距離が短い施工がほとんどであるためです。刃口式推進工の適用条件は切羽の自立であるため、ボックスカルバート推進においても同様に切羽の自立を確保しなければなりません。特に大型の函きよの場合は薬液注入のみでは大断面の自立の確保が難しく、水平の噴射攪拌杭、ディープウエルやパイプルフを併用したりします。

(2) 半機械式推進

大型のボックスカルバート推進で、特に軟岩などの硬質土の場合人力では施工困難なため、切削機械を用いて切羽の掘削を行うことがあります。適用条件としては切羽の完全な自立で、硬質粘性土や軟岩などに限られます。先端の掘削機械はショベルタイプやロードヘッダータイプなどの種類があり、切羽の土質によって選択します。

(3) 機械式密閉型推進

ボックスカルバート推進に適用される機械式密閉型推進工法は、大中口径推進と同じく泥水式、泥土圧式、泥濃式があります。それぞれの使い分けは函きよの寸法や土質、水圧などによります。おおまかには比較的小型で高水圧の場合は泥水式、比較的小型で低水圧の場合は泥濃式、大型の場合は泥土圧式が

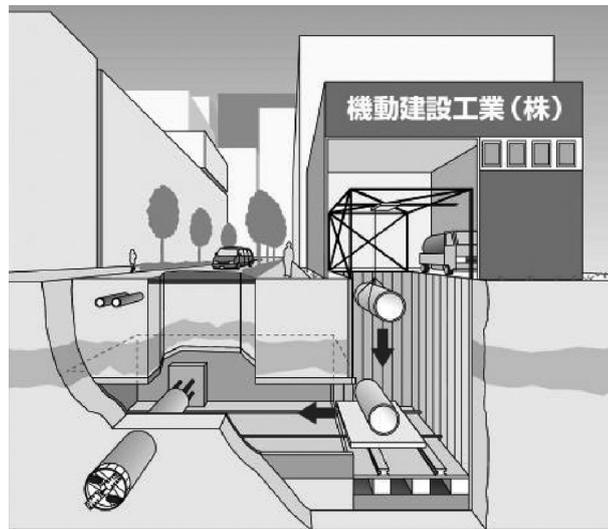


図-6 ステーション工法説明図

多く用いられるようです。何れの場合も函きよの寸法に合わせて都度の製作あるいは寸法改造が必要です。また機械的には函きよの四隅の隅角部の切削が困難であるため、函きよの四隅を円弧に切り取った推進用ボックスカルバートも提案されているようです。

機械式密閉型の特長はなんとと言っても地下水位以下の施工でも地盤改良の必要がないことです。また、函きよ外周の潤滑層が保持されるため、開放型の刃口式推進と比較して推進抵抗が軽い傾向があります。そのため比較的長距離の施工には経済的にも優位性があり、適用事例が増加しています。今後は大深度（大土被り）での大規模地下空間の築造など、その適用範囲を大きく拡大できるものと期待されます。

3.3 函きよ材料

推進工に用いる函きよには、それぞれの工法や用途によってPC、RC、鋼製があります。

(1) PC、RC

函きよを人道、車道、共同溝など構造物としてそのまま使用する場合はコンクリート製函きよが用いられ、その構造によってPCおよびRCに区別されます。何れの場合も軸方向にはシースを配置

してPC鋼棒の緊張による緊結を行う（縦締め）のが普通です。初期のボックスカルバート推進の軸方向継手は、このPC鋼棒による緊結のみの場合もありましたが、現在ではPC鋼棒による緊結と併用して、円形管と同じく埋め込みカラー型の接合が一般的です。縦締めのシースグラウトは推進工完了後に、緊結ボックスの後埋め処理をしてから行います。

コンクリート製函きよは鋼製と比較して重量が重いため、大型のボックスカルバートの場合は上下や左右に2分割して搬送するケースがあります。その場合は現場にて分割函きよを組み合わせ、PC鋼棒で緊結（横締め）して一体化します。この場合は鋼棒緊張後にシースグラウトを行って、硬化してからの推進開始となります。

(2) 鋼製函きよ

鋼製函きよを推進工で使用する事例としては、函きよを作業導坑や発進横坑（ステーション工法）として使用するケースや、大規模地下空間築造の先行支保工として施工されるケースなどがあります。鋼製函きよはコンクリート製函きよと比較して軽量で取り扱いやすいため、仮設物としての隧道建設に適して

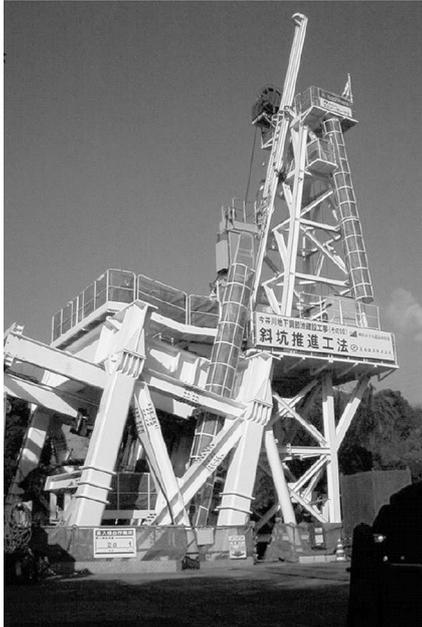


写真-5 斜坑推進施工状況

います。また、その自重の軽さによって、推進抵抗がコンクリート製函きよを使用する場合と比較して小さいため、機械式密閉型の推進工法と組み合わせれば、長距離推進が可能です。現状では最長でもL = 100mそこそこですが、将来的にはL > 500mの長距離施工も可能になるのではと期待されます。

4 その他の特殊事例

管路埋設以外の分野で活躍する推進工法の事例としては、上記のほかにもまだまだ多くあります。

4.1 斜坑(鉛直)推進

推進工法は通常両端の立坑間を発進側から到達側に向かってほぼ水平に施工するものですが、これを斜めあるいは鉛直に施工することによって適用範囲を拡大した事例があります。

(1) 貯留管エア抜き坑

近年の都市型水害の対応策として雨水貯留管の建設が行われていますが、洪水時にスムーズな雨水流入を行うためにはエア抜き管が必要です。大容量

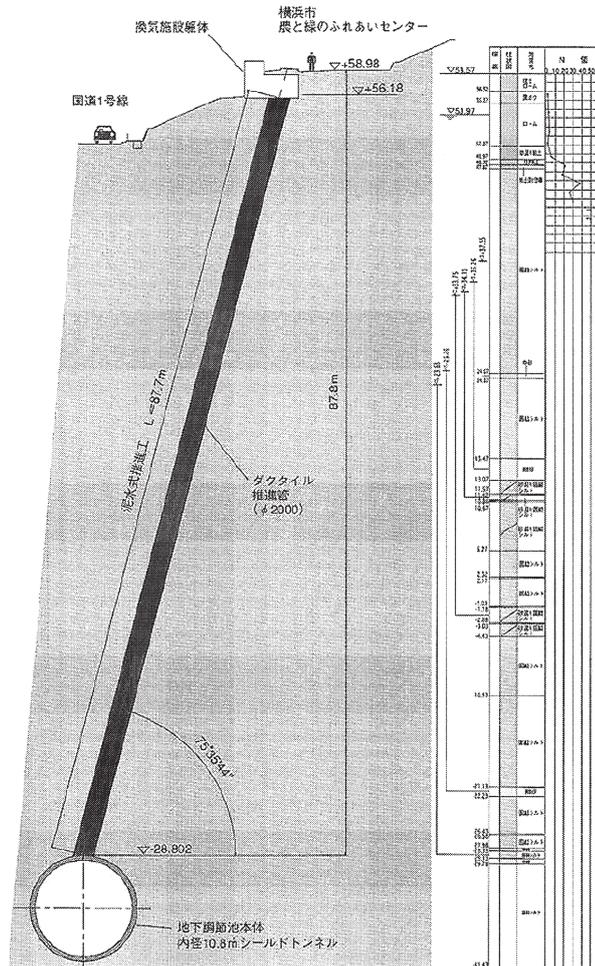


図-7 斜坑推進断面図

の雨水貯留管となると、このエア抜き管でも大口径(φ800mm以上)に匹敵する管径が必要で、さらに大深度に貯留池を構築することが多くなっていますので、その敷設には工夫が必要です。そこで本来水平方向に施工する推進工法を、地上から斜行に施工することで解決した事例です。使用した推進管はその耐圧力を考慮して推進用ダクトイル管を使用し、反力はアースアンカーを打設して確保しました。掘進機は回収型の泥水式掘進機を使用し、貯留管到達後に地上まで引き上げて回収しました。通常このような大深度での取付管施工には、補助工法として凍結工が多く用いられますが、この事例では

貯留管内あるいは機内からの薬液注入で対応可能となっています(写真-5、図-7)。

(2) 小口径管(鋼管)

小口径管推進工法のオーガ方式や鋼管削進工法を拡大展開している例としては、大型アンカーやタイロッドの打設補助管、鋼管矢板の打設、土質調査のコアサンプル採取などがあります。

4.2 液状化対策

東日本大震災以降液状化対策の必要性が認識され、いろいろな工法が提案されています。主なものとしては地盤改良工法、置換工法、地下水位低下工法、間隙水圧消散工法などですが、そのうちの地下水位低下工法に小口径管推進が適用されています(図-8)。

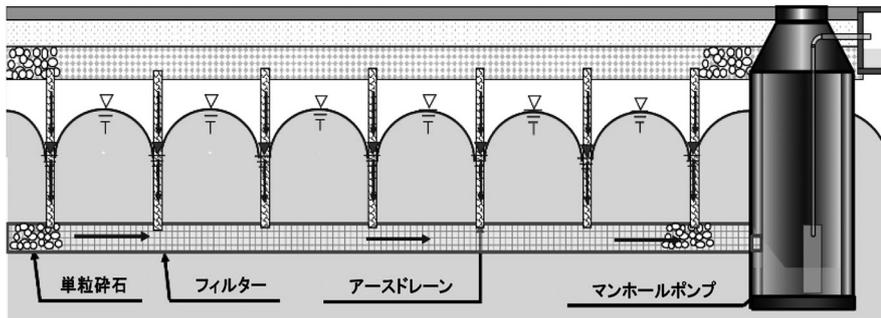


図-8 エリアドレーン概念図



写真-6 水平ドレーン施工状況

(1) 地下水の集水、排水

地下水位低下工法はディープウエルなどの井戸を鉛直に打設したり平面的に排水溝を設置したりして地下水を排水して液状化を防止する工法ですが、道路や街区を平面的にカバーするためには縦方向のドレーンと水平方向の集水（排水）路を組み合わせてエリア全体の水位を低下する必要があります。水平の集水、排水は砕石などでドレーン管を敷設するのですが、道路下や建物下などは開削工法で敷設するより、推進工法で敷設する方が適しています。

(2) 施工方法

水平のドレーン管は地下水の集水を

行わなければなりませんので、鋼管などの推進管は撤去されて、地山の中に砕石ドレーンのみ残置されていなければなりません。そのため、まず小口径推進で鋼管を貫通させた後、鋼管内に砕石の入ったドレーンバッグを挿入し、終われば鋼管のみを引き抜きます（写真-6）。

5 おわりに

推進工法管路埋設には長距離、急曲線、大深度（大土被り）、超大口径などの技術開発によって、その適応範囲を拡大してきました。しかし、管路以外

の用途には徐々に適用事例は増えているものの、まだまだ特殊な条件で他の工法では決してできない状況でなければ採用されてはいないようです。

しかし、ここで紹介したように考え方や発想を少し変えるだけで、適用できる可能性はまだまだあると思われます。むしろこれからの大規模地下空間の構築や大深度地下利用にはその利点が大いに生かせるものと考えます。下水、水道のみならず道路建設、鉄道建設など広く建設工事に携わる技術者の皆さんには、推進工法の特長をよく理解していただいて、その適用を拡大していただきたいと思います。