

# 世界で初めて、下水管敷設の“夢の工法”を開発

川崎重工と(株)エム・シー・エル・コーポレーションが、塩化ビニール管を用いた「小口径・長距離・曲線推進工法(ベル工法)」を開発

## コンクリート製下水管は30年程度で老朽化

わが国の下水道普及率は約72%(2008年3月末現在)だが、人口5万人未満の中小都市では40%に達しておらず、整備の中心が中小都市へ移りつつある。そして、人口密度が低い中小都市の下水管は、大都市より小口径のものが多く距離も長くなる。

一方で近年、全国で下水管損傷による道路の陥没事故が多発しており、国土交通省によると、2007年には約4,400件に及んでいる。これは、コンクリート製の下水管が、敷設後30年程度を経て腐食したためである。同省によると、緊急点検の必要がある敷設して30年以上経過した下水管は、全国で延べ5,015kmもあるという。下水管の交換には新設の数倍の費用がかかることとされている。

こうしたことから近年、腐食せず、地震にも強い塩化ビニール管の利用が増えている。

## 腐食に強いが後ろから押す力に弱い塩化ビニール管

一般的に、下水管の敷設は、道路を掘って埋設する開削工事で行なわれるが、この方法では交通制限などの問題が生じる。そこで、道路を掘らず、発進部と到達部に立坑(地表から縦に掘った作業用の穴)を設け、小型のトンネル掘進機で地下を水平に掘り、下水管を押し入れる「推進工法」が用いられている。ただ、塩化ビニール管は短距離の推進工事は行なえるが、長距離(100m以上)で

はコンクリート管を使用せざるをえない。というのも、塩化ビニール管は後ろから押す力に弱い(同じ口径では耐荷力がコンクリートの約5分の1)からだ。後ろからの力が耐荷力を超えると、管がつぶれてしまう。といって、短い距離で立坑を設置すると、交通渋滞や振動・騒音の緩和にならず、推進工法を採用するメリットがなくなる。

## 川崎重工が主要機器・装置を開発

(株)エム・シー・エル・コーポレーションは、NEDO(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の助成事業(助成期間は2007年9月~2009年3月)として、この課題の克服に取り組んだ。

そして開発したのが、ベル(VEL: Vinyl Chloride Pipe Eco Friendly Long Tunnel)工法と呼ぶ、塩化ビニール管を用いた「小口径・長距離・曲線推進工法」である。

川崎重工は、ベル工法の開発に参画し、主要機器・装置を開発するとともに開発技術を立証し、また、全般的な技術面のサポートを行なった。

## 実証実験で直線150mの推進工事に成功

この助成事業の開発テーマは2つあり、1つは「長距離・直線推進工法用機器の開発」である。

推進工事では、掘ったトンネルに塩化ビニール管を継ぎ足しながら押し込んでいくが、長さが増すにつれてトンネル面との周辺摩擦抵抗力が増大し、限られた長さしか押し込められない。それ以上の長さになると、許容耐荷力を超えるため管がつぶれてしまうのだ。

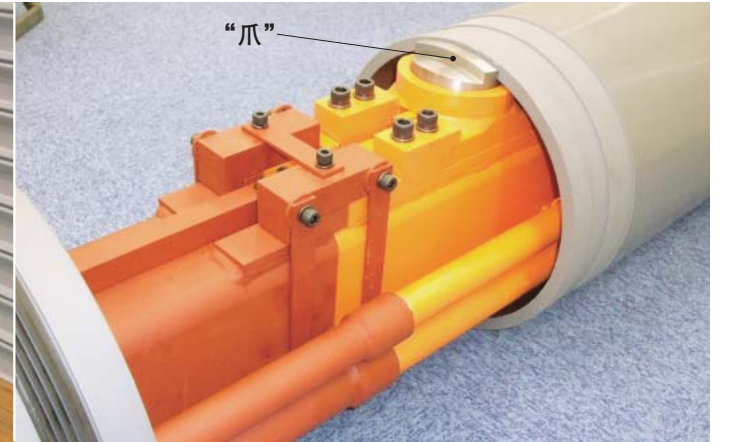
ベル工法は、標準仕様で長さ1.33mの塩化ビニール管を継ぎ足しながら押し込んでいく。この点は従来と同じだが、ポイントは、トンネル面との周辺摩擦抵抗力が、管がつぶれるレベルに達する前(耐荷力以下)の長さで管を分割することだ。分割した管を、元押しジャッキ装置からの推力を伝えるインナー装置(川崎重工が開発)の“爪”でそれぞれ押し込んでいくのである。

2008年5月に行なった実証実験では、口径300mmの塩化ビニール管を用い、直線で150mの長距離推進に成功した。到達精度の誤差は数mm。“夢の工法”に世界で初めて成功したのである。ベル工法協会では、鋼材で製作されたインナー装置の耐荷力の限界まで推進距離を伸ばすことができるので、最大250mの推進工事が可能としている。

塩化ビニール管はコンクリート管に比べて管厚が薄く、トンネルの掘削断面が小さくて済むので掘削残土が減少する。また、工期も短縮できるなどのメリットがある。



川崎重工が開発したインナー装置。塩化ビニール管の内部にセットされ、元押しジャッキからの推力を伝えて管を押ししていく。



塩化ビニール管の内部にセットされたインナー装置。管の耐荷力以下の長さで分割した分割点を“爪”(管にかかる突起)で押ししていく。



発進部の立坑(地表から縦に掘った作業用の穴)。ここから、掘進機が掘り進むトンネルに塩化ビニール管を押し入れていく。



到達部の立坑で到達した掘進機を回収している場面。実証実験では、直線150mの長距離推進で到達精度の誤差は数mmだった。

## “夢の夢”だった「長距離・曲線推進」工法

開発テーマの2つ目は「長距離・曲線推進工法用機器の開発」である。

日本の道路は曲がりくねっていることが多く、長距離推進工事では下水管路が曲線となることが多くなる。

ベル工法では、川崎重工が高性能ジャイロを搭載した超小型自走式計測ロボットを開発した。この新型計測ロボット(制御システムおよび測量システムも川崎重工が開発)は、インナー装置内を自走しながら、トンネル掘進機の進路を高精度で測量し、トンネル掘進機の進路を正確に導いていく。そのため、曲線部(半径60m以上)も正確に施工できる。

この実証試験(2009年3月)では、150mのS字曲線を設計通りに敷設できた。ビニール管による「長距離推進」に、「曲線推進」が加わることは“夢のさらに夢”とされていた工法である。

これにより、磁力線による測量が困難

になる深さ(一般的に6m以上)や、既設埋設管との併走、あるいは河川・水路横断面などの施工も高精度な測量を行なうことができる。

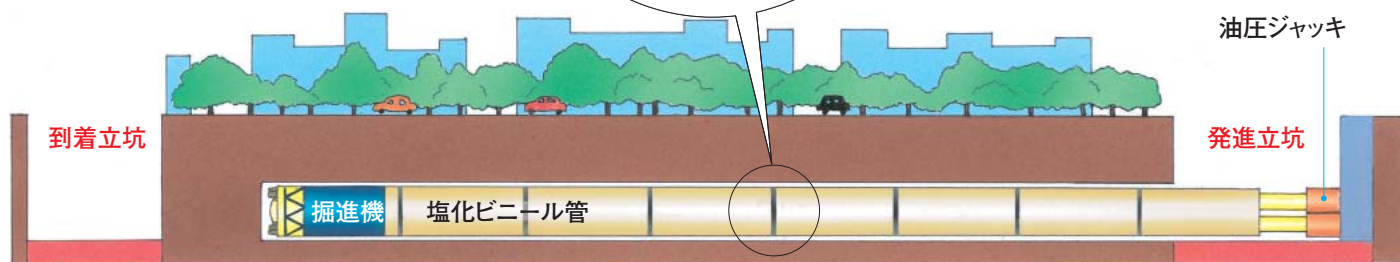
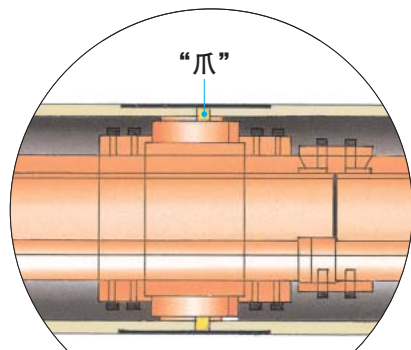
「ベル工法」は、ポリエチレン管やFRP(ガラス繊維強化プラスチック)管などにも適用できるので、下水管の敷設だけではなく、電力やガス、水道および農業用

水など幅広い用途に用いることが可能である(特許申請中)。

2009年5月に(株)エム・シー・エル・コーポレーションが中心となりベル工法協会を設立し、川崎重工も主会員としてベル工法を技術面でサポートしている。



↑川崎重工が開発した、高性能小型ジャイロ搭載の超小型自走式計測ロボット。この計測ロボットの開発が正確な長距離・曲線推進を実現した。  
←実証実験に先立って行なわれた地上実験風景。



●今回開発した推進工法概念図