

解説

ベル工法の 自走式計測ロボットによる 自動化測量技術

たかはし ひろゆき
高橋 博之

ベル・マイクロ工法協会
技術委員
(㈱ベストエンジニアリング)

1 はじめに

生活インフラである機能維持に関する埋設管の新設および更新といった課題の解決は、持続可能な社会の実現に向けた目標である。日本国内における水道普及率および下水道を含む污水处理人口普及率は、100%に近づいているが、2022年度時点には総延長約74万kmの水道管のうち約22%に相当する16万kmが、法定耐用年数の40年を経過している。また総延長約49万kmの下水道管のうち約7%に相当する3万kmが、標準耐用年数の50年を経過している。今後、耐用年数を経過した老朽管の更新工事が増加することは明確である。一方、2025年の時点で建設業の労働人口が約90万人不足するとの予測もあった。工事の需要に対して、建設業における人手不足が深刻な問題ではあるが、外国人労働者の雇用に加えて、工事施工における自動化技術は、解決策のひとつとなる。

ベル工法（以下、本工法）は、独自で開発した自走式計測ロボットによる自動化測量システムを採用し、呼び径300および呼び径350の低耐荷力管（硬質塩化ビニル管）を使用した曲線施工・長距離施工ができる泥水式一工程方式の推進工法である。本稿では本工法の概要および自動化測量システムの特長、施工事例について紹介する。

2 ベル工法の概要と自動化測量システムの特長

本工法は、防食性・耐薬品性等に優れた硬質塩化ビニル管を用いた長距離推進を可能にし、さらに自走式計測ロボットによる管内の自動化測量技術の開発と合わせて曲線推進も可能とした工法である。本工法の概要について説明する。

2.1 工法概要

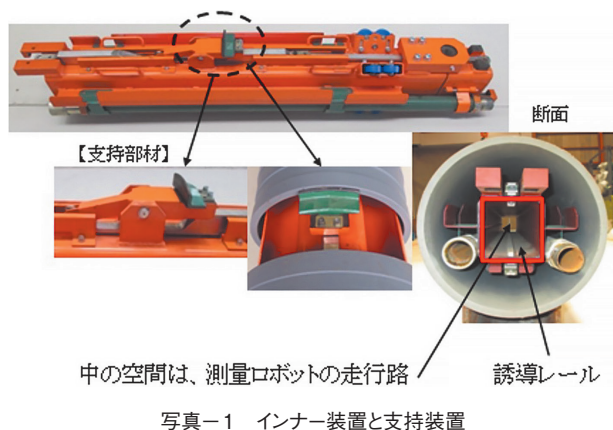
本工法は、低耐荷力管推進工法に分類され、掘削方式は泥水式一工程方式に種別される。

従来の低耐荷力管推進工法は、先端体にかかる先端抵抗力を推進力伝達ロッドに負荷させ、推進管には管と土の周面抵抗力を負担させる方式で、推進距離に比例して管の周面抵抗力が増加し、推進力が上昇するため、管の許容耐荷力までの推進力の範囲が推進許容延長となる（図-1）。

従来の工法に対して、本工法は、推進工時の管周面抵抗力を分割して鋼製インナー装置に負担させる方式で、管の許容耐荷力を下回る間隔の16m毎に鋼製インナー装置の支持部材（写真-1）で推進管を支持することで、管の許容耐荷力に制限されるのではなく鋼製インナー装置の耐荷力を利用し、長距離推進（標準計画L=250m）を可能としている（図-2）。

主要機器としては、掘進機（標準型・礫対応型）、ポンプ筒、測量筒、ステーション関連機器搭載管、イン

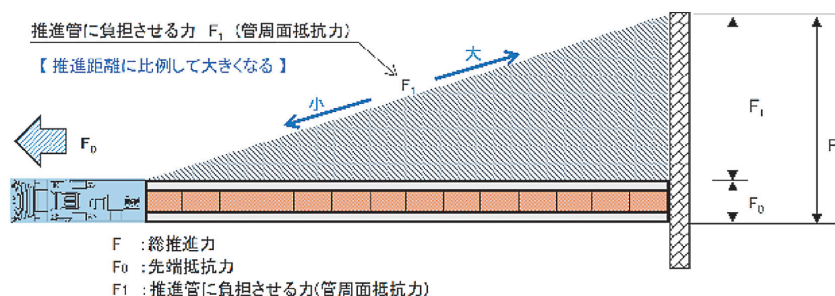
ナー装置、自走式計測ロボットがあり、発進立坑から元押装置で推進する（図－3）。掘進機の型式分類および仕様は表－1のとおりである。



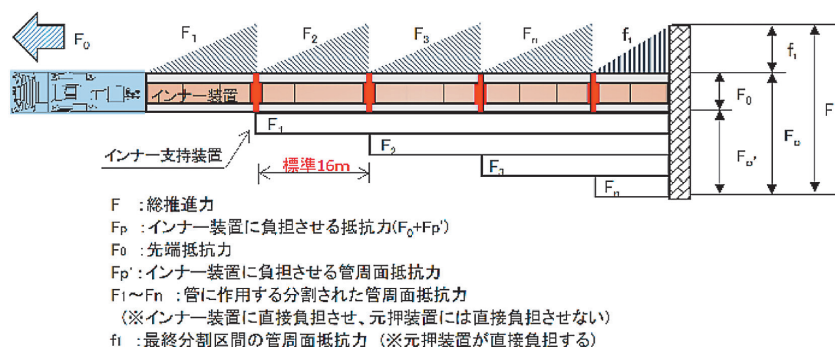
表－1 ベル工法 型式分類および仕様

掘進機種別	標準型			礫対応型
型式	V300	VC300	VC350	VC300D
呼び径	300	300	350	300
最大推進延長 (m)	250			200(※1)
最小曲線半径 (m)	直線	60 (複数曲線可)		
測量方式	レーザ	自走式計測ロボット		
適用土質	普通土・礫質土			礫質土・粗石混り土
最大礫径 (mm)	30		35	120 (※2)
礫率 (%)	20			50 (※3)
一軸圧縮強度 (MN/m ²)	4			150
透水係数 (m/sec)	1×10 ⁻² 以下 (※4)			
最小発進立坑 (mm)	2500 (推進管1.33m管を使用)		2000 (推進管1.00m管を使用)	
最小到達立坑 (mm)	1200 (※5)			
基礎と管芯高 (mm)	発進	700		
	到達	400		

- ※1 粗石混り土は別途検討
 ※2 4個/m以上は別途検討
 ※3 50%以上は別途検討
 ※4 1×10⁻⁴を超えるものは地盤改良等を別途検討
 ※5 φ600mm マンホール鉄蓋から回収可



図－1 従来工法 概念

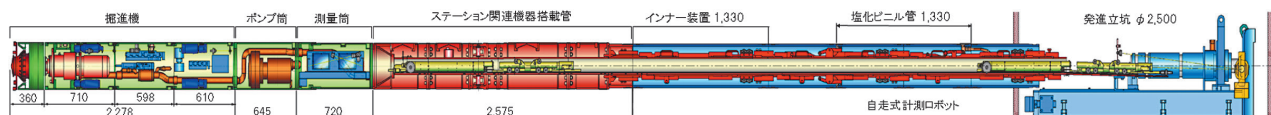


図－2 ベル工法（管周面抵抗力分割方式）概念

2.2 自動化測量システムの特長

本工法の測量方法は、型式V300がレーザ方式、型式VC300、VC350、VC300Dが「自走式計測ロボット方式」による自動化測量システムを採用している。

「自走式計測ロボット」（写真－2）は高性能ジャイロおよび加速度計を搭載し、自走により発進立坑内のランチャー（発射台）から掘進機後部のステーション関連機器搭載管（図－3）まで、インナー装置内部の走行路（写真－1）を往復することで、推進された推進管1本毎の平面位置を高精度に計測できる。また、走行路には、計測精度向上のため、横揺れ防止用の誘導レール（写真－1）を取付けている。この測量シ



図－3 ベル工法（管周面抵抗力分割方式）推進システムの概要