

地上の道路交通へ影響を与えずに交差点を立体交差化

『9号京都西立体千代原トンネル本体工事』～日本最長150mのパイプルーフ工法～

栗林 正明・瀬戸 清・田中 啓之

9号京都西立体千代原トンネル本体工事では、パイプルーフ工法を用いた非開削工法により、地上の道路交通へ影響を与えずに交差点の立体交差化を行う工事を進めている。本報文では、交通量の多い幹線道路である国道9号の直下において、低土被り・玉石砂礫地盤・地下埋設物近接という厳しい条件下で施工中である日本最長のパイプルーフ工について報告する。

キーワード：地下道路トンネル・交差点立体交差化・非開削工法・パイプルーフ工・アンクルモールスパー工法

1. はじめに

国道9号は京都市内中心部から京都府北西部へと続く道路として重要な役割を担うものであるが、近年の交通量の増大により渋滞が発生するなど、幹線道路としての機能低下が生じている。この交通渋滞の緩和と沿道環境の改善等を図るため、「9号京都西立体交差事業」が進められている（図—1、図—2）。

本工事は、当事業のうち千代原口交差点を中心とした延長約490mの地下トンネル部のうち370mの区間に地下構造の道路トンネルを構築するものである。特に交通渋滞が激しい千代原口交差点付近では、地上の道路交通へ影響を与えないことが施工条件として求

められ、パイプルーフ工法による非開削工法を採用している。

本工事における非開削施工によるトンネル延長は150mであり、パイプルーフ工法としては日本最長となる（図—3、図—4）。

2. 工事概要

(1) 全体工事概要（表—1、図—5、図—6）

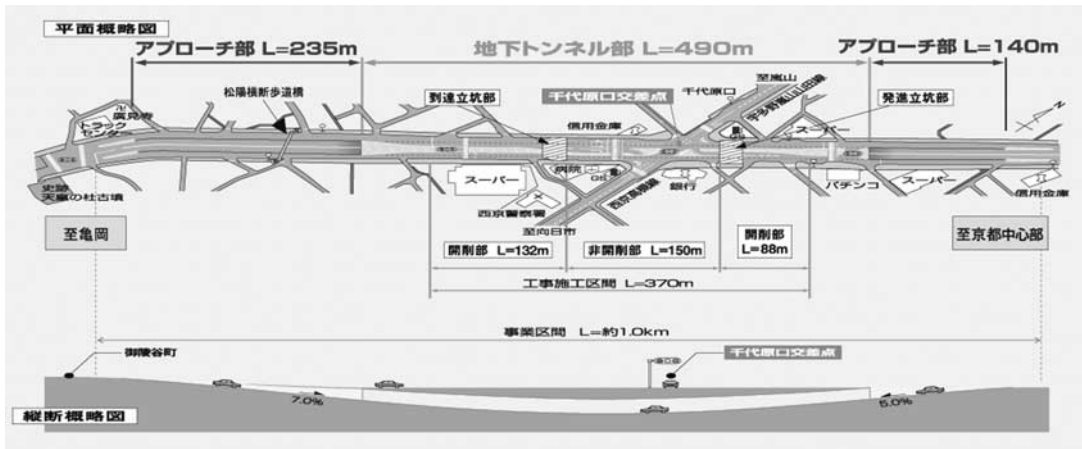
工事名：9号京都西立体千代原トンネル本体工事
 発注者：国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所
 工期：平成18年3月15日～平成21年2月28日
 施工者：鹿島・鴻池特定建設工事共同企業体
 工事場所：京都市西京区上桂三ノ宮町～御陵塚ノ越町地先



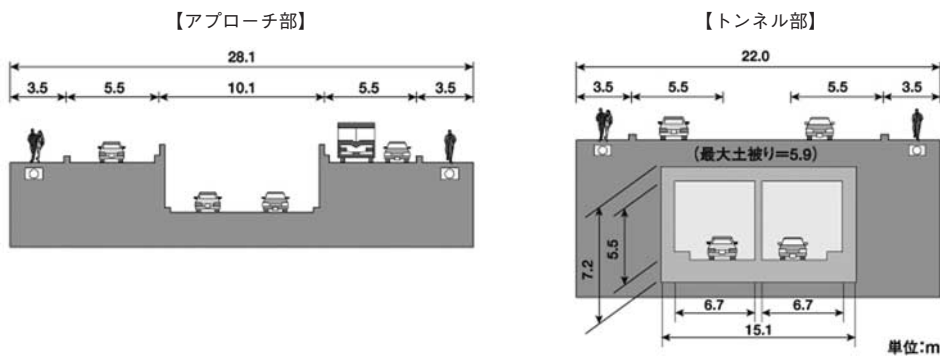
図—1 位置図



図—2 完成イメージ



図一 3 計画図



図一 4 計画断面図

工事内容：ボックスカルバート工 L = 370 m
 非開削部（パイプルーフ工法） L = 150 m
 開削部（全面路面覆工） L = 220 m

表一 1 主要工種数量

工 種	仕 様	概算数量
パイプルーフ工	φ 812.8mm L = 150m	27 スパン
	φ 1,016mm L = 150m	9 スパン
パイプルーフ支保工		2,400t
掘 削 工	開削部	35,000m ³
	非開削部	23,000m ³
コンクリート工		21,000m ³
千代原川付替工	プレキャストボックス	55m
路面覆工撤去		4,000m ²
地下水低下工	ディープウェル工	9 本
底版改良工	薬液注入工	一式

(2) 開削部

土留め壁（SMW 工）造成後、道路面に覆工板を設置し、その下部にて工事を進める。土留め支保工を架設しながら、掘削工を行った後、道路構造物を構築する。工事に伴って地上部に建設用機械や資材を配置する必要があるため、道路上に作業帯（夜間は作業帯を拡幅）を設ける。

(3) 非開削部

発進立坑と到達立坑の間にパイプルーフ工（水平部・垂直部 計 36 本）を施工し、トンネル支保工を架設しながら掘削（上半部・下半部）した後、道路構造物を構築する。非開削工法では、原則的に地上の道路規制が必要ないため、一般の道路交通へ影響を与えない施工が可能となる。

(4) 工事の特徴と課題

(a) 日本最長 150 m の長距離パイプルーフ工

当工事では、これまで実績のない長距離のパイプルーフ工を施工する。150 m のパイプルーフ工を安全にかつ高い精度の施工を行うために、最適な掘進管理や線形管理の手法を確立しなければならない。

(b) 特殊な地盤条件への対応

工事場所の地盤は、最大約 30 ~ 40 cm 程度の玉石を含み、地表面から水平部パイプルーフの土被りは 3.5 m と小さく、地下水位は地表面より約 7 m の高さである。また、水平部パイプルーフが掘進する地山は透水係数の高い無水砂礫である。このような地表面へ影響が及びやすい地盤条件下で、パイプルーフ工を施工するにあたり、非常に慎重な施工管理が要求される。

(c) 地下埋設物との近接施工

国道下には様々な地下埋設管（ガス・上下水道・電力・通信）が存在する。その直下でパイプルーフ工を施工することになるため、地下埋設物への影響を防止することが求められる。

(d) 周辺環境への配慮

工事場所は病院、住宅や商業施設が立ち並ぶ市街地

を通過する国道上であるため、可能な限り騒音や振動の低減を図りながら工事を進める必要がある。

3. パイプルーフ工法概要

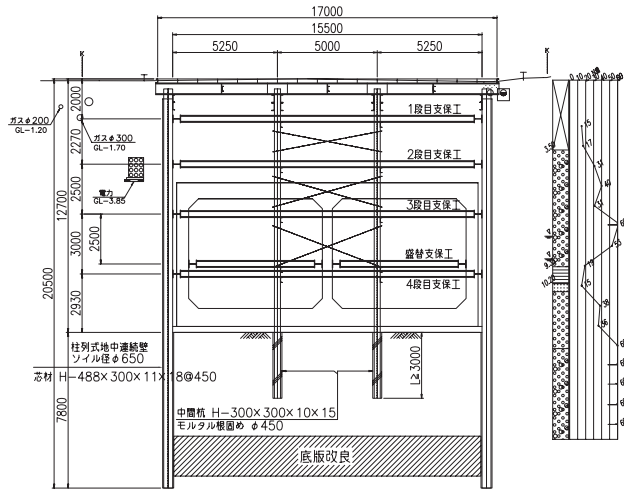
(1) 推進工法の選定

推進工法の選定にあたり、長距離パイプルーフにおいて実績の多い泥水推進式パイプルーフ工法であるアンクルモールスーパー工法を採用した。

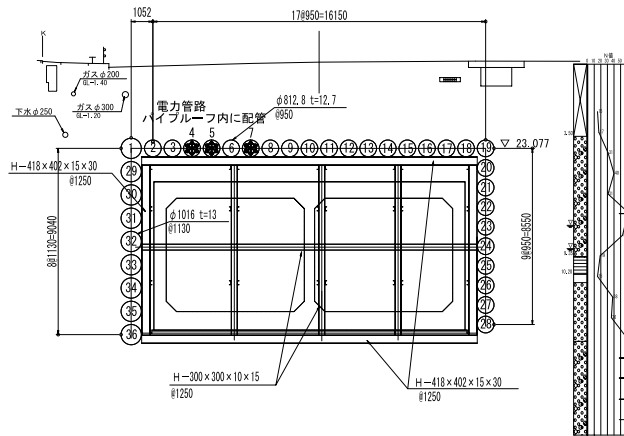
アンクルモールスーパー工法は、岩盤、玉石、砂質土及び粘性土を掘進できる全地質対応型掘進機（写真—1）による推進工法である。

(2) 掘進方法

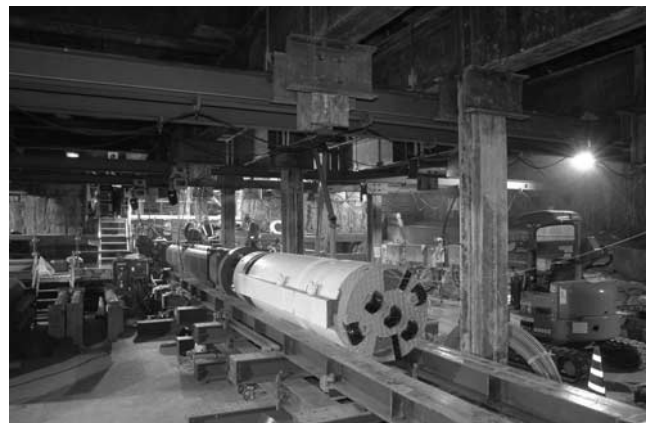
ローラビットを装着したカッタヘッドを切羽に押し付けて回転することにより、玉石を圧砕（一次破碎）する。呼び径の30%まで破碎された玉石はカッタヘッド前面にあるスクレーパにより開口部から機内に取り込まれ、偏心運動を行うコンロータの強力な破碎力により、クラッシャの土砂排出口のスリット通過可能な大きさになるまで順次破碎（二次破碎）され、流体輸送により坑外に排出される。



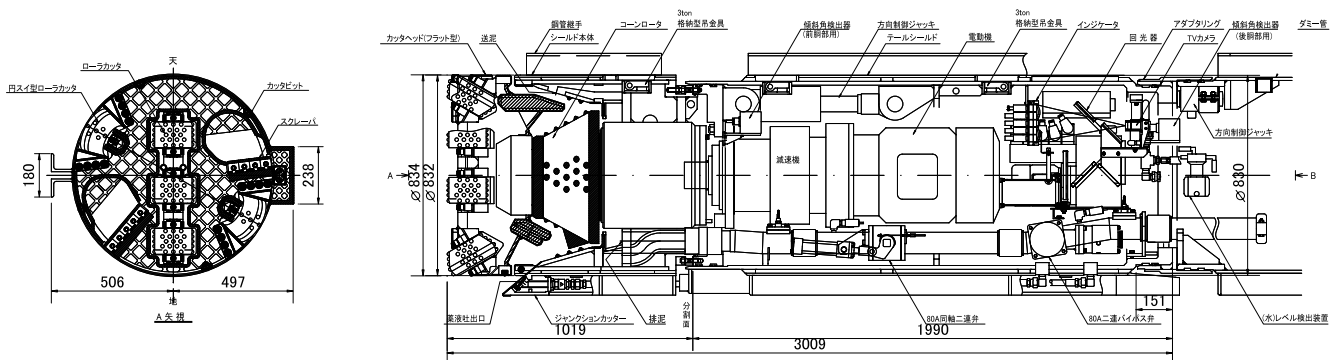
図—5 開削部断面図



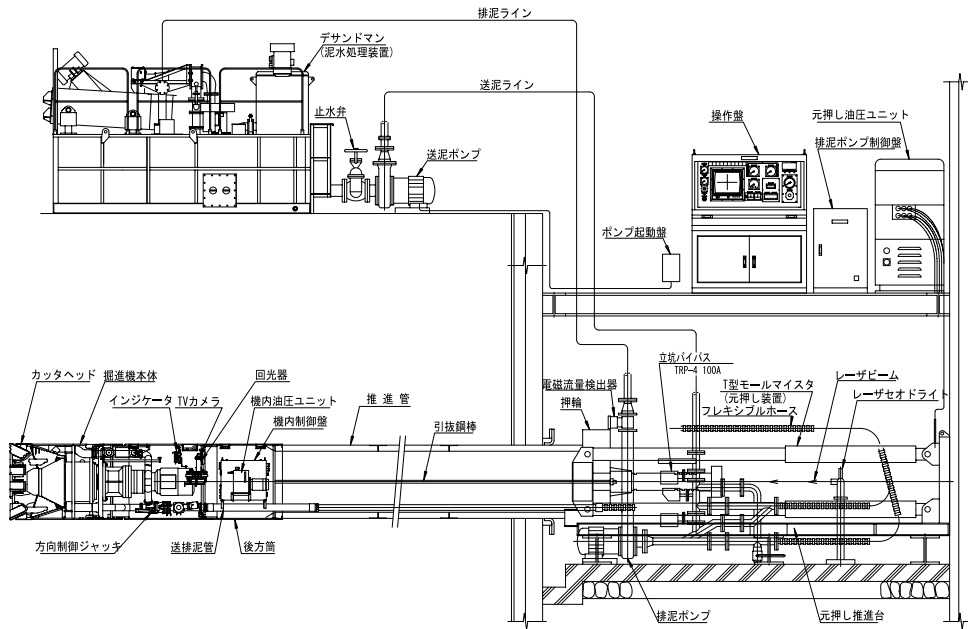
図—6 非開削部断面図



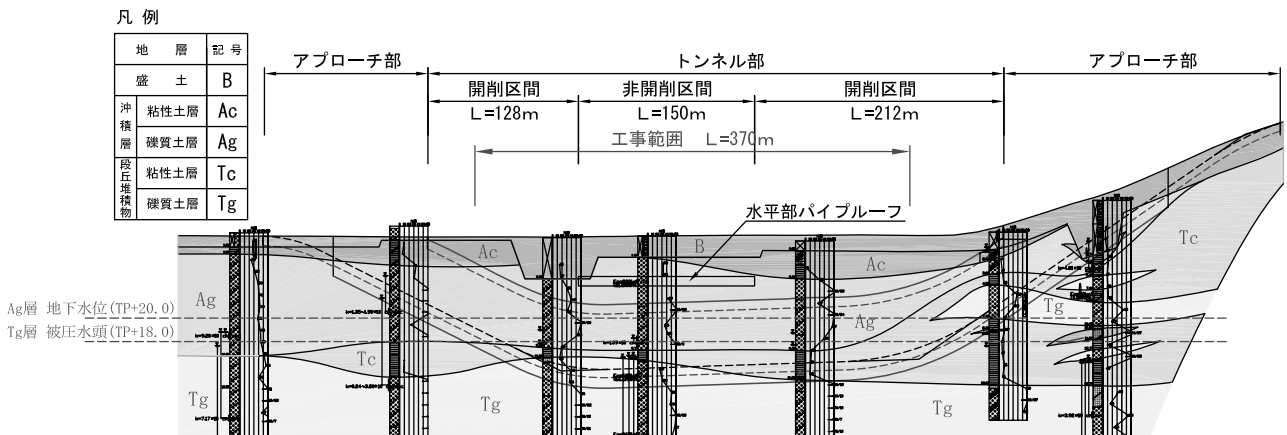
写真—1 掘進機



図—7 掘進機構造



図—8 工法システム図



図—9 土質縦断面図

鋼管継ぎ手部の掘削のためにジャンクションカッタを装備しているため、継ぎ手部の掘削を効率的に行え、高精度の掘進が可能となる。

さらに、掘進機からの薬液注入機能を有しており、崩壊性及び透水性の高い地山に対しても十分な対応が可能である (図—7, 図—8)。

4. 施工条件

(1) 土質条件

当該地区の地質は、沖積砂礫層 (Ag)・段丘粘土層 (Tc)・段丘砂礫層 (Tg) から構成される。Ag層は GL - 10m 前後まで分布し、径 100 ~ 150 mm 程度の玉石を多く含み、細粒分が少なく (礫率 75%) 透水性が高い ($k = 2 \times 10^{-2}$ cm/sec)。また、Tg層は風化礫を混入し (礫率 52 ~ 86%, 最大礫径 30 ~

40 cm), 全体的にシルト混じり~シルト質であるため透水性は比較的低い ($k = 2 \times 10^{-4}$ cm/sec)。その両者の間に段丘粘土層 (Tc) が挟在している (図—9)。

(2) 周辺環境条件

施工場所は市街地人口集中地区 (DID 地区) であり、国道 9 号沿いには、病院、ガソリンスタンド、飲食店、商業施設、集合住宅等が密集している。また、交通量が平均約 55,000 台/日であり、慢性的な混雑状況を呈している交通状況の中、通行車両並びに歩行者等の安全確保が最優先となる。また、特に夜間作業時の工事による騒音や振動の発生を最小限に抑えなければならない。

5. パイプルーフ工施工計画

(1) パイプルーフ施工順序

まず1台の掘進機により水平部パイプルーフの中央スパン (NO.10) を基準管として施工した後、2スパン目となるNO.11の施工を行う。その後、2台の掘進機を用いて、隣接するスパンを順次掘進することにより、水平部を完成させる。それに引き続き、鉛直部パイプルーフの施工となる。

パイプルーフ用鋼管には継ぎ手 (ジャンクション) があり、鋼管径は $\phi 812.8 \text{ mm}$ と $\phi 1,016 \text{ mm}$ の2種類となる。パイプルーフが地中障害物 (既設電力管路) に干渉するスパンでは人力作業による刃口推進工となるため、坑内作業性を考慮して鋼管径を $\phi 1,016 \text{ mm}$ とした (図-10)。

(2) 掘進管理システム

シールド工事に於いて多くの実績を持つシールド掘進管理システム (KSCS) を推進工事にアレンジしたシステムを構築した (写真-2)。掘進施工状況をリアルタイムに一元管理することにより、安全かつ確実な施工を行うことができる。土量管理では、送排泥流量と密度を計測し、乾砂量積算値を主な管理指標とした。

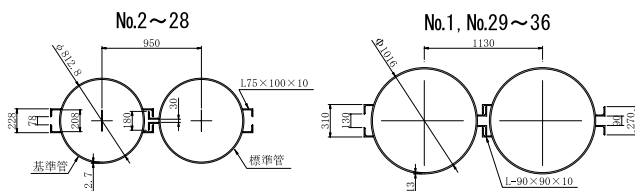


図-10 鋼管

(3) 線形管理システム

ジャンクション付きパイプルーフ工法において、精度不良は推力上昇や掘進機破損等の推進不能に陥る恐れがあるため、高い線形精度の確保が要求される。

本工法では、掘進機を制御するために反射型方向誘導装置を装備しており、高精度な線形管理が可能となる。反射型方向誘導装置とは、発進立坑側から掘進方向へレーザー光線を照射し、掘進機先端位置と計画線との離隔がリアルタイムに計測でき、即時に方向修正することが可能なシステムである。

(4) 沈下抑止充填性滑材

パイプルーフ掘進機及び鋼管が地下埋設物の直下を最小離隔約70 cmで掘進するため、地下埋設物の沈下等の影響が懸念された。

このような厳しい条件下で、地下埋設物への影響を最小限に抑えるため、鹿島が開発した沈下抑止充填材「ボイドキーパー」を推進工用滑材として初めて適用した (写真-3)。

適用にあたり、以下の実証実験を実施し、その性能を確認した。

(a) 摩擦低減性能の確認

- ① 実験概要 土槽部に地山を模擬した礫層を設置し、その礫層にパイプルーフを想定した鉄板を敷設する。鉄板の両端は土槽の外側に出ており、その片端が引き抜きジャッキに固定され、鉄板を引き抜く。土槽の上部は載荷板になっており、その上に錘を載せて模擬地盤に荷重を与えた (図-11)。
- ② 実験結果 滑材の摩擦低減性能の評価として、滑材を使用しないときの引張り荷重 (荷重がピークを迎えて低下し、ほぼ安定した時の引張り距離約

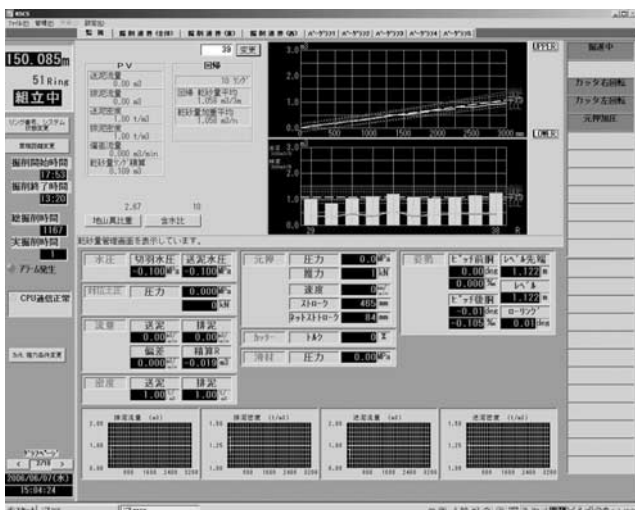


写真-2 推進工事掘進管理システム



写真-3 ボイドキーパー

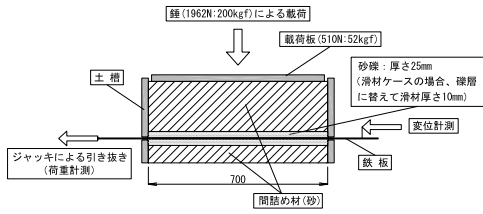


図-11 実験模式図 (摩擦低減性能)

表-2 実験結果

	写真	測定結果	引張荷重
滑材なし			950N (100%)
ボイドキーパー			63N (7%)

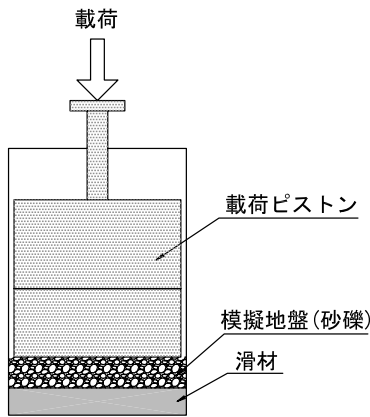


図-12 実験模式図 (地山保持性能)

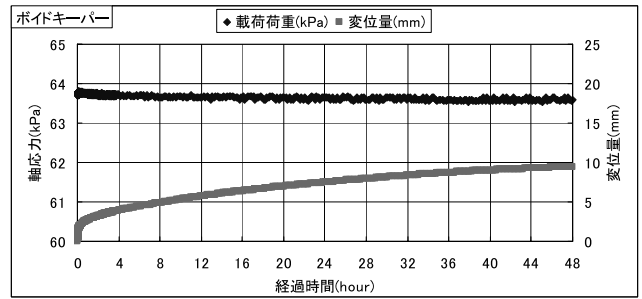


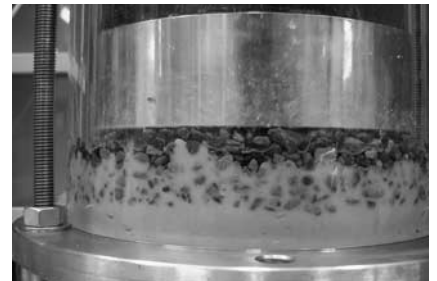
図-13 実験結果



載荷前



63kPa 載荷直後



48 時間経過時

写真-4 実験結果

10 mm 区間の平均値) とボイドキーパーを用いた場合の値を比較した。その結果、ボイドキーパーを用いた場合は、滑材を使用しない場合の約 7% の値となり、滑材として十分な性能を持つことがわかった (表-2)。

(b) 地山保持性能の確認

- ①実験概要 ボイドキーパーの地山保持性能を確認するために、加圧実験を実施した。載荷荷重は、現場の土被り 3.5 m、および地山の湿潤密度を 18 kN/m³ として 63 kN/m² とした。載荷ピストンの沈下量によりボイドキーパーの地山保持性能を確認した (図-12)。

- ②実験結果 ボイドキーパーは地山の礫にある程度

浸透するが、礫自身が落ち込んでくることはなく、その状態で地山を保持していることがわかった。本材料は充填注入直後から材料本来の性状を発揮でき、地山の落ち込みを最小限にして保持することができると言える (図-13, 写真-4)。

(5) 設備配置計画

騒音や振動を起こす可能性があるパイプルーフ工設備等を路面覆工下の地下へ配置することにより、騒音及び振動低減対策に加えて、路上交通の視認性の確保においても周辺環境への配慮を図った (図-14)。

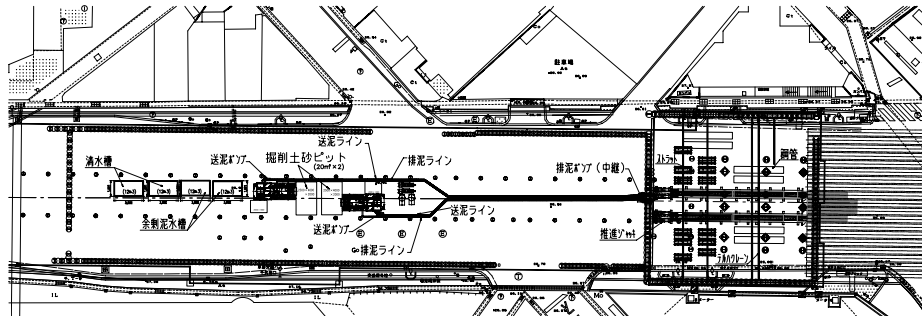


図-14 設備配置図

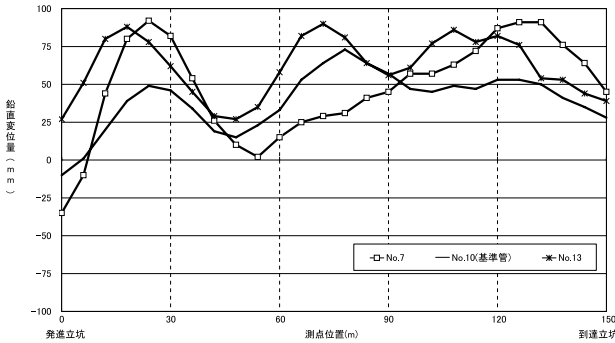


図-15 鋼管線形出来形 (鉛直変位量)

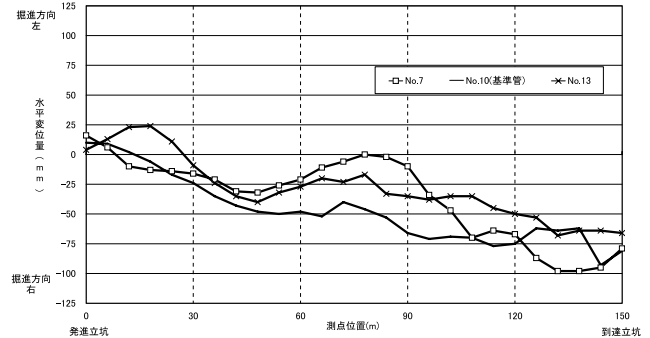


図-16 鋼管線形出来形 (水平変位量)

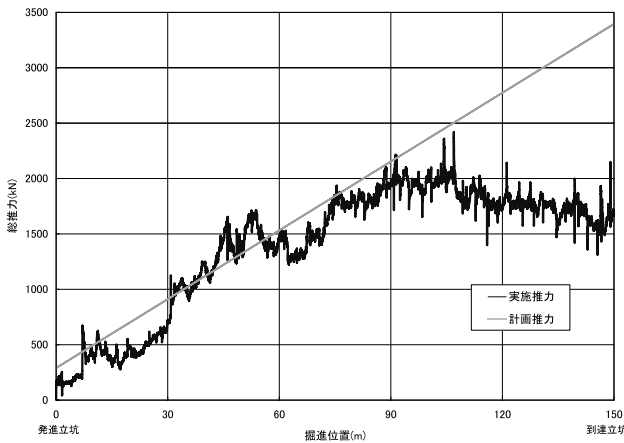


図-17 推力変化図



写真-5 水平部パイプーフ全景

6. パイプーフ工施工実績

(1) 線形精度

鋼管の出来形精度は、鉛直及び水平とも計画線に対して±10cmの範囲内であった。ジャンクションによって隣接する鋼管同士がある程度拘束されているため、基準管の線形精度が他の鋼管の精度へ影響を与えたと言える(図-15, 図-16)。

(2) 推力

計画値の約50～100%程度の推力であり、ジャンクションのせり等による推力上昇は見られなかった。ジャンクション付きの鋼管では、推力は隣接鋼管の精度に大きく依存すると考えられる(図-17)。

7. おわりに

今回採用した掘進及び線形管理システム、さらに地盤条件に対応した特殊滑材の開発などにより、当工事の長距離パイプーフ工が可能となった。

現在の工事状況は、パイプーフの水平部19スパンのうち17スパンの施工を完了している。残りの水平部2スパンに引き続き、垂直部パイプーフの施工に着手する(写真-5)。

今後、都心部を中心として増加すると予想される交通渋滞緩和を目的とした工事に対して、道路交通へ影響を与えずに施工可能な非開削工法のニーズは高いと考えられる。本報告が参考になれば幸いである。

[筆者紹介]



栗林 正明 (くりばやし まさあき)
国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所南丹国道出張所所長



田中 啓之 (たなか ひろゆき)
鹿島・鴻池特定建設工事共同企業体
(国道9号線京都西JV工事事務所)
工事課長



瀬戸 清 (せと きよし)
鹿島・鴻池特定建設工事共同企業体
(国道9号線京都西JV工事事務所) 所長

建設の機械化／建設の施工企画 2004年バックナンバー 平成16年1月号(第647号)～平成16年12月号(第658号)

1月号(第647号) ロボット技術特集	5月号(第651号) リサイクル特集	9月号(第655号) 維持管理特集	■体裁 A4判 ■定価 各1部840円 (本体800円)
2月号(第648号) 地震防災特集	6月号(第652号) 海外の建設施工特集	10月号(第656号) 環境対策特集	■送料 100円
3月号(第649号) 地下空間特集	7月号(第653号) 安全対策特集	11月号(第657号) 除雪技術特集	
4月号(第650号) 行政特集	8月号(第654号) 情報化施工特集	12月号(第658号) 新技術・新工法特集	

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289 <http://www.jcmanet.or.jp>