

# 長距離大深度トンネル内への高圧ガス幹線建設の効率化 HIGH EFFICIENCY CONSTRUCTION OF NATURAL GAS TRANSMISSION LINE BY LONG DISTANT AND DEEP TUNNEL SHAFTS THAT RUNS THROUGH TOKYO METROPOLITAN AREA

木原晃司<sup>1</sup>・吉田宣宏<sup>2</sup>・久壽米木孝<sup>3</sup>・松岡利英<sup>4</sup>

Koji KIHARA・Nobuhiro YOSHIDA・Takashi KUSUMEGI・Toshihede MATSUOKA

We planed the construction of a natural gas transmission pipeline that named “Chuo Kansen” transmission pipeline in order to the increase of gas demand at Greater Tokyo (metropolitan) area and the stable supply. In respect to the formation of circular pipeline network, the Chuo Kansen is positioned as a line to introduce gas that is produced in Sodegaura works directly. As for the construction of the Chuo Kansen, employment of non-open-cut tunnel shafts(23km, depth:ave.40m) solved the environmental impact to the local society and the already busy traffic. In this paper, we introduce subjects and solution of high efficiency construction in the long distant and deep tunnel shafts.

*Key words* : Chuo kansen transmission pipeline, long distant and deep tunnel shafts in the Tokyo metropolitan area, high efficiency construction for transmission pipeline

## 1. はじめに

近年、首都圏において京都議定書に盛り込まれた環境対策によるエネルギーの転換を始めとした都市ガス需要の増加のため、東京ガス(株)では2010年には既存の製造・供給施設では対応しきれないことが予測された。ますます高まる都市ガス需要ならびに安定供給の確保のために新たな都市ガス輸送幹線「中央幹線」の早急な建設が必要となった。

中央幹線は既存の環状幹線の中央を貫き、東京都江戸区の葛西ガバナステーションから埼玉県草加ガバナステーションに至る23.1kmの新たな高圧ガス輸送幹線である。本工事の路線は、東京下町の密集した商工業地域であり、開削工事には適さないため、全路線非開削のシールドトンネルとした。(図-1 参照)

シールドトンネルは、立坑用地の確保が難しいこととあわせ周辺地域への環境負荷を配慮し、立坑用地ならびに立坑数の低減、既設構造物への影響の低減のために長距離・大深度とした。

その構築したトンネル内へ敷設される口径600mmの高圧ガス輸送幹線は、安定供給のためのガス輸送幹線であり都市ガス供給の大動脈にあたること、ならびに大深度トンネルへの敷設など、その担う使命や敷設形態から高品質とともに逼迫する都市ガス需要に応えるため、工事の効率化による工期短縮での早時なガス開通が求められた。

ここに、中央幹線においてガス供給改善ならびに供給安定化を早期に実現するために取り組んだトンネル内ガス導管配管工事の効率化について報告する。

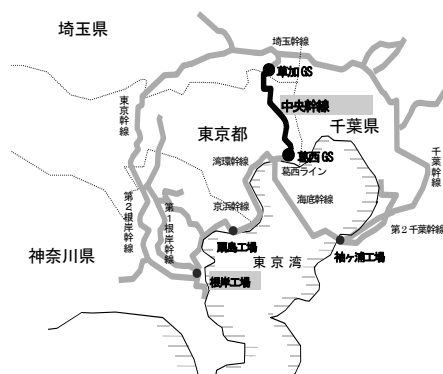


図-1 中央幹線路線図

キーワード：中央幹線、都心部における大深度長距離シールド、高圧ガス幹線建設の効率化

<sup>1</sup>正会員 工修 東京ガス(株)中央幹線建設事務所課長 <sup>2</sup>非会員 東京ガス(株)中央幹線建設事務所副課長

<sup>3</sup>非会員 日鉄パイプライン(株)工事本部部長 <sup>4</sup>非会員 日鉄パイプライン(株)工事本部主任

## 2. 中央幹線トンネル内ガス導管配管工事概要

### (1) 施工場所

始点：東京都江戸川区臨海町（葛西ガバナステーション）

終点：埼玉県草加市瀬崎（草加ガバナステーション）

### (2) ガス導管諸元

設計圧力：7.0 MPa

口径、管厚：600 mm, 15.1 mm

材質：鋼管（API 5L X65）

ガス管長さ：12.0 m/本

接合方法：溶接接合

非破壊検査：放射線透過試験（全数、全線）および超音波探傷試験

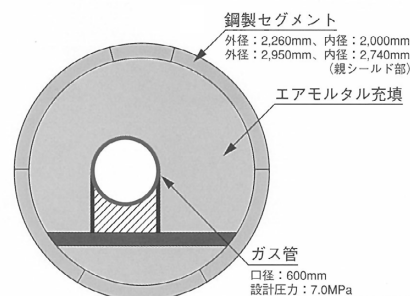


図-2 ガス導管敷設断面図

### (3) トンネル諸元

トンネル内径：親シールド／2740 mm, 子シールド／2000 mm

立坑内径、深度：葛西立坑／内径φ3.0 m, 深度13.3 m

北葛西立坑／内径φ10.0 m, 深度37.3 m

立石立坑／内径φ11.0 m, 深度36.5 m

草加立坑／□6.0 m×43.5 m, 深度11.9 m

### (4) ガス導管配管延長、溶接口数およびスパン割

延長：23.1 km（全路線 内径2000 mmのトンネル内への配管）

スパン割：5スパン／葛西工区3.8 km, 船堀工区4.4 km, 新小岩工区4.4 km,

堀切工区4.8 km, 足立工区6.3 km

溶接口数：2312口

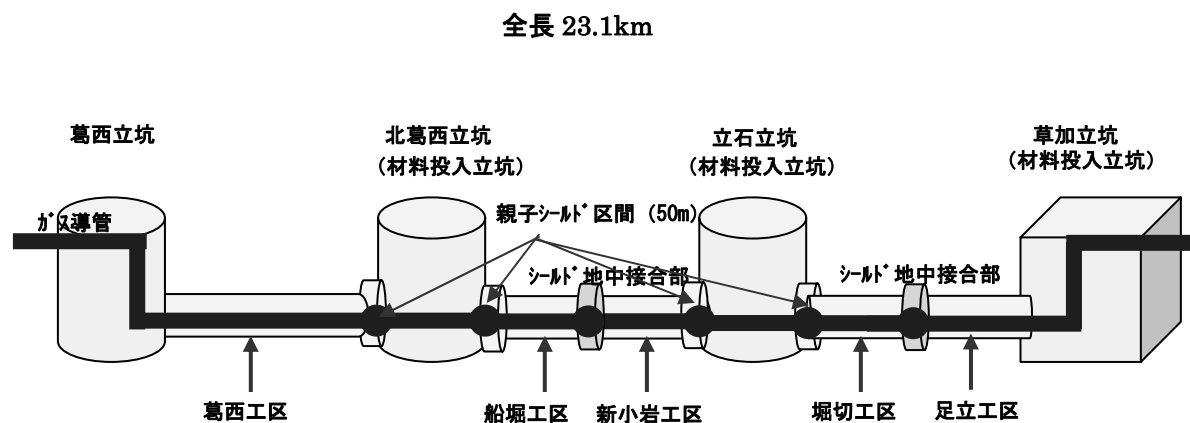


図-3 工事概要

### (5) 工期

土木工事：2003年10月～2007年3月（立坑、シールド）

ガス導管配管工事：2007年7月～2008年9月

ガス開通：2009年1月

### 3. トンネル内ガス導管配管工事の取り組み

本幹線建設の目的である都市ガス需要の増加・安定供給の確保のためには、当然のことながら建設時に健全な品質を確保されていることが大前提であり、また、都市ガス供給の大動脈である本幹線の重要性和逼迫する都市ガス需要に対応するための早期なガス開通の必要性から、いかに高品質でかつ効率的にパイプラインを建設するかが課題であった。

#### (1) 効率的な工事への取り組み

##### a) 都市型土木技術と一体となった設計・計画、施工

中央幹線は、立坑用地の低減の必要性、長距離、大深度となる必然性に対して、配管工事進捗の向上＝工期短縮のためには、トンネル内容積数の低減＝施工量の低減、ガス管を含む資機材等の運搬、搬送の効率向上ならびに作業空間の確保が課題であった。

大深度でガス管定尺長さ12mより狭い内径10mの立坑にて、ガス管の効率的なトンネル内への吊降ろしを管斜め吊降ろし方法にて可能としたことによりトンネル内容積数の低減が図られた。

トンネル内へ水平に吊降ろす状況を図-4に示す。

トンネル内での配管作業＝溶接、検査、塗覆装ならびにエアモルタル充填作業を効率的に行うために、二段枕木による作業員の移動スペースの確保、風管の枕木下への配置による作業および設備設置スペースの確保から、必要作業空間を確保できるトンネルとして内径2000mmの小口径トンネルとした。また、30mRの急曲線でも12mのガス管の搬送、運搬を可能とした。このことは、施工量の低減、作業の効率性向上とともに建設費の低減においても大きく貢献した。

トンネル内断面図を図-5に示す。

また、立坑坑口部の50m区間のトンネルを内径2740mmとし、軌道を複線化とすることにより、あらかじめガス管、資機材等の運搬、搬送準備を行うことで手待ちロスをなくし、運搬、搬送の効率向上を図った。複線軌道の概要を図-6に示す。

このように先行工事となるトンネル土木のみならず、配管工事までも十分に考慮し、土木と配管が一体となった設計、計画・施工の手法による取り組みが工事の効率を大きく向上させた。

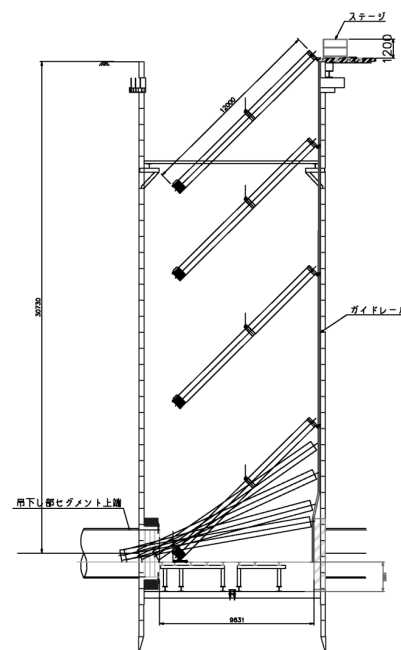


図-4 ガス管吊降ろし状況

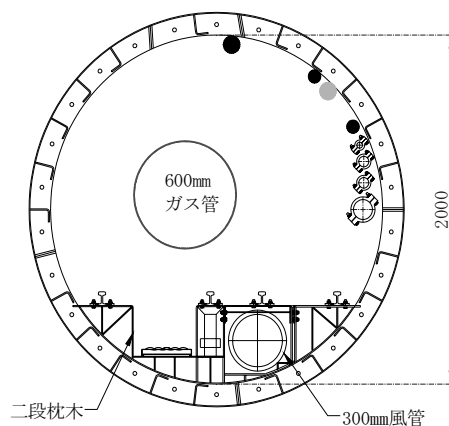


図-5 トンネル内断面図

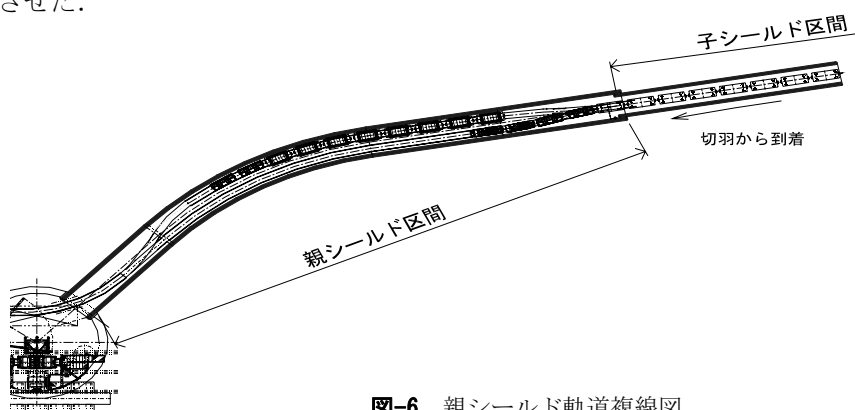


図-6 親シールド軌道複線図

b) 溶接の分割，並行施工ならびにエアモルタル充填の同時並行施工

トンネル内配管工事は，ガス管を立坑下へ吊降ろし，トンネル現地への運搬そして溶接・検査・塗覆装の一連の配管工事完了後，トンネル坑内をエアモルタルにて充填し，工事は完了する。  
トンネル内配管工事フローを図-7 に示す。

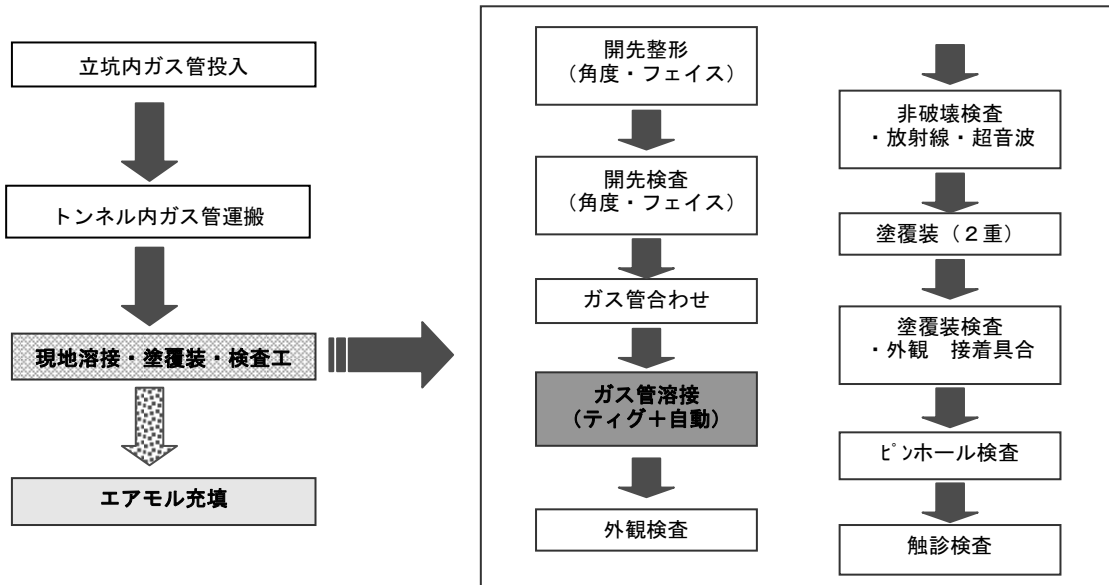


図-7 トンネル内配管工事フロー

従来，配管工事とは別分野と考えられていたエアモルタル充填工事を配管工事の一つとしてとらえ，エアモルタル充填工事までを一つの作業フローに組み込み，配管工事と同時並行作業を可能とすることにより，配管工事完了とほぼ同時にエアモルタル充填工事も完了させることができた。

トンネル内配管工事の作業帯を図-8 に示す。

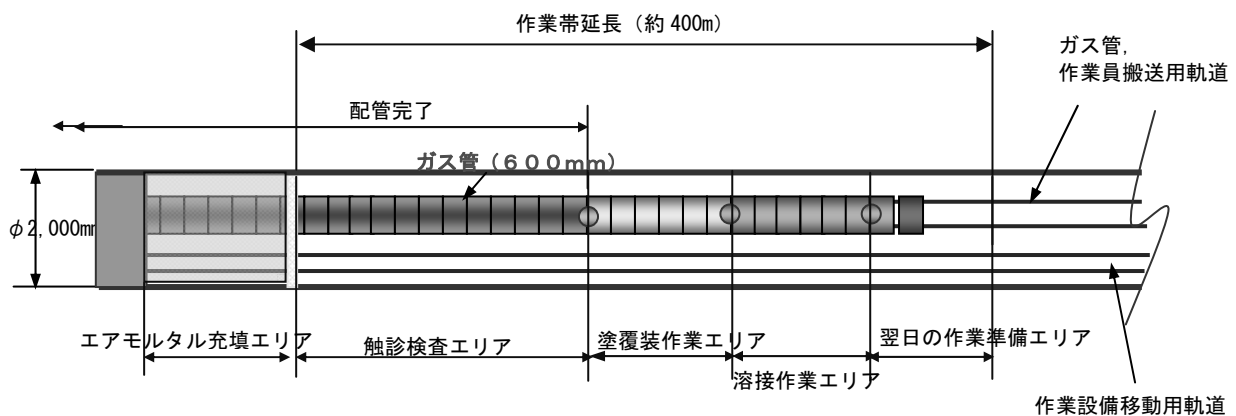


図-8 トンネル内配管工事作業帯



図-9 溶接作業状況（ティグ）



図-10 溶接作業状況（自動）



図-11 塗覆装作業状況（自動）



図-12 触診検査作業状況

さらに、一日の作業の中で最も作業時間を要し、工事進捗のクリティカルとなる溶接工事の時間短縮を図った。従来の溶接は溶接開始から終了まで連続して施工は行われ、手溶接では1リングあたり150分から180分程度必要とされていた。

中央幹線では、連続して行われていた溶接施工を初層部と自動溶接の導入による積層部の二つの溶接に分割し、かつ初層部の溶接を先行させ、積層部の溶接を後追いさせることにより、2リングの溶接を同時並行的行うことを可能とした。その結果、1リングあたりの溶接時間は、後追い施工する積層部の溶接時間で決定されることになり、その溶接時間は80分と大幅に短縮され工事進捗向上が図られた。

#### c) プレハブ管の活用

トンネルの線形は、その占用する道路線形により決定される。トンネルの曲線部等の配管は、その曲り角度に応じた曲管と直管の長さを調整した切管の組合せで対応する。また、トンネル配管工事は、工事進捗に応じて、平均400m間隔で設置されている工事用電源トランスの撤去と電源ケーブルの盛替えが発生する。

トランス撤去・ケーブル盛替え時は、坑内の配管作業を休止しなければならない。その休止時を利用して、曲線部用配管を地上にて曲管と切管によりあらかじめプレハブ製作することにより、坑内溶接作業の低減による効率化ならびに作業休止ロスを回避した。

#### d) Expanded Polystyrol による管の支持サポートの採用

トンネル内に配管されたガス管はエアモルタルが充填されその強度が十分に発現されるまではガス管を支持するサポートが必要である。従来は砂袋を積み上げ、ガス管を支持する方法が多く採用されてきた。従来の方法は、砂袋自体が重たく施工性が悪い。そのため、狭い施工場所には適さず中央幹線では、軽量で持ち運び・設置が容易でかつ、ガス管にきずをつけないサポートが必要とされた。そこで、圧縮力があり加工性に優れ、かつ軽量であり軟弱地の道路工事や埋設管基礎や保護として用いられている土木資材のExpanded Polystyrolに着目し、ガス管支持形状に合わせたものにあらかじめ製作、加工することにより効率化を図った。サポート間隔は1.2mでサポートの1ヶあたりの重量は約3kgと非常に軽量である。

## (2) 高品質確保の取り組み

### a) ガス管材料品質の確保

7. 0MPa の高圧で都市ガスを輸送する中央幹線に使用するガス管は、十分な安全率をもって材料設計がなされ、材質、管厚や製造方法が定められている。

ガス管の製造は製造要領に詳細を定めている。ガス管の製造に用いる鋼板の化学成分、きず、造管時の溶接、きず、寸法・長さ・重量、機械的特性、造管後の管内外面の塗装・塗覆装の厚み、きず、表示、出荷にともなう梱包、保管などの各項目について、製造した全てのガス管に対して、指定した検査会社の検査員により、製造者側の検査の確認または検査を実施し、合格したガス管のみを現場へ出荷する。

現場では、製造者より出荷された管に対して、輸送中にきずなどが生じていないかを現場受入れ時に、あらためて管の内外面および管端開先部を中心に外観検査を実施する。

このように、全数量のガス管を鋼板から造管、出荷、受入れまでの全工程にわたって入念に検査し、合格した管のみを使用することにより、使用するガス管の品質を確保した。

### b) 溶接品質の確保

溶接施工法については、(1) 節、b) 項で触れた初層部をティグ溶接 (T f)、積層部を自動溶接 (S) の分割同時並行施工による大幅な時間短縮とともに、自動溶接の導入と厳選された溶接士の起用さらには溶接品質管理者による検査、確認を実施し、狭いトンネル内での作業の中で品質を確保した。

一般的には、溶接士は公的には溶接を行う会社が該当するガス管材料、溶接方法 (T f + S) に対して、ガス事業法に定められる溶接施工法を取得しており、その会社に所属する溶接士がガス事業法に定められる技能を有していればよいが、これに加え独自に溶接を行う会社に対しては溶接施工法試験を、溶接士に対しては技量確認試験とガス工事全般に関する導入教育を実施し、合格・修了した溶接士のみを本工事に起用した。

### c) 防食品質の確保

一般的には、埋設ガス管 (鋼管) の腐食対策としては、まずは塗覆装により、鋼管と周辺土壌等との接触を回避することである。中央幹線の建設においては、立坑部より配管位置までのガス管運搬が長距離に及ぶため、また狭いトンネル内での作業により、塗覆装に損傷を与えるリスクは大きい。そのため、中央幹線における塗覆装のうち、工場塗覆装 (鋼管の管端部以外をカバーする塗覆装) は通常の 2 倍の厚さのものを採用し、施工時に損傷を受けても大事に至らないものとした。

現地塗覆装 (鋼管の管端部、現地溶接接合部を工場塗覆装と同等の品質でカバーする熱収縮型塗覆装) については、従来は、ガスバーナーによる手加熱方式を採用していたが、中央幹線では狭いかつ、限定された空間での作業に対する安全ならびに安定した品質の確保のために、新しく開発した火器を用いない遠赤外線加熱方式の自動塗覆装機を採用し、安全・品質・施工性の向上を図った。

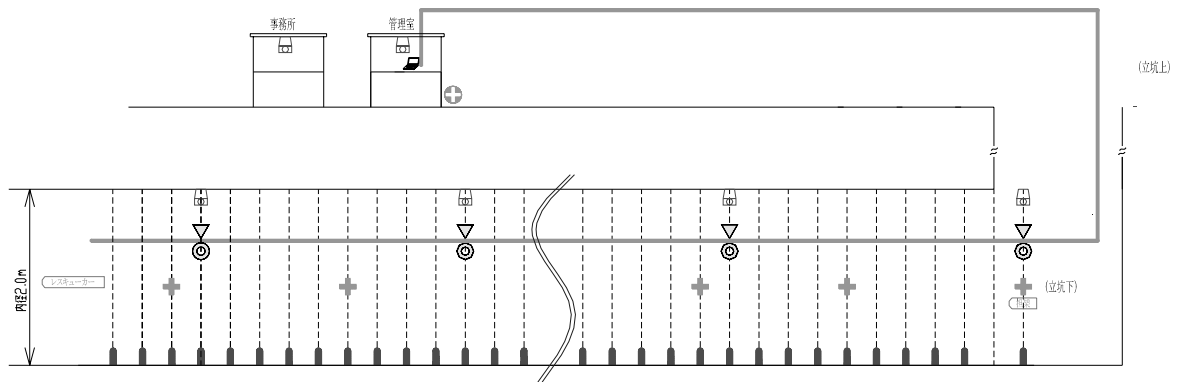
また、経済性、施工性の最適バランスからトンネル内径を定め、かつ通常の 2 倍もの厚みの塗覆装を採用したものの、坑内はガス管運搬、溶接、検査、塗覆装、エアモルタル充填の作業で輻輳し、絶対に有害なきずが生じないという保障はなく、そのために現場では絶対にきずを残さないといった信念のもと、エアモルタル充填前には、必ず充填区間のガス管を全線全周にわたり高電圧の電気抵抗によるピンホール検査に加え、直に手で触れることによる触診検査を実施し、きずのないことを確認した。

塗膜抵抗測定結果は、 $10^6 \Omega \text{m}^2$  抵抗値の合格基準に対して、 $10^{10} \Omega \text{m}^2$  抵抗値と高品質な防食品質を得ることができた。

## 4. 安全への取り組み

中央幹線は、先に施工した長距離トンネル掘進の保安設備を配管工事に引継ぎ、流用することにより、酸素欠乏、有毒ガス等の坑内環境災害防止、照明、通信の確保、救護・避難設備等基本的な安全対策に加え、トンネル配管工事特有の危険有害要因の洗い出しおよび防止対策の策定を行い、各作業毎に要領書を定め、作業員へ作業内容および手順の周知・徹底を行った。

トンネル坑内保安施設図を図-13 に示す。



	: 可燃性ガス検知器(0-5%) (@900m)		: 強化液消火器(@100m、後続台車)
	: 酸素濃度検知器(@900m)		: 避難用具(@500m、)
	: 電子音式パトライト-ガス検知(@900m)		: 救護器具(立坑上)
	: ガス測定値モニター		: 担架(立坑下)

図-13 トンネル坑内保安設備図

また、朝礼ではその日の作業内容の確認およびR-KY等を実施し、災害・事故防止に努めた。特に、重大災害が想定される以下の3項目については、詳細な作業ルールの設定と遵守の徹底を図り、無事故、無災害にて工事を完遂することができた。

#### (1) バッテリーロコ事故防止

ガス管を含む資機材や作業員の坑内搬送・運搬に供するバッテリーロコの運行に関して、後押し運転時を含め、ロコ運転時の専任誘導員の配置、ロコの停止位置ルールの設定と日々移動する停止位置とIDタグ位置の書面にての引継ぎ、ロコの前照灯、カメラ等の始業前点検、坑内歩行の原則禁止とやむを得ない場合の処置、緊急停止時の処置等を定めた運行ルールを制定し、その周知・徹底のために月1回の割合で災害防止教育とロコの停止・合図・退避の訓練を実施した。

#### (2) 火災事故防止

坑内作業場を溶接エリア、塗覆装エリア、エアモルタル充填エリア、坑内電気設備、坑内資機材保管の区分に設定し、各区分ごとに管理、チェック項目の制定と実施シートによる毎日の実施・確認の徹底を行った。また、事故発生時の消火連絡体制を確立し、安全設備の配置と点検管理、消火訓練を月1回の割合で実施した。

#### (3) 吊り荷落下事故防止

坑内作業の中で最重量物であるガス管の吊り作業中の落下防止として、カス管受台として Expanded Polystyrol による管の支持サポートの兼用と吊り治具の併用ならびに作業前には坑内吊り治具の点検を行った。

#### (4) 異常時連絡等

緊急連絡体制を補完し事故等の異常により迅速に対応するために、作業基地内での地上と坑内および坑内間の連絡、また、作業基地外から坑内へ、坑内から作業基地外へ連絡もまた可能としたPHSを職員ならびに作業員に携帯させ、連絡の迅速化を図った。

## 5. おわりに

配管工事は、当初は2007年7月より着工し、およそ2年後の2009年9月のガス開通を目指していたが、シールド土木と一体となった設計、計画・施工、溶接工事の施工方法、配管工事とエアモルタル充填工事との同時並行施工ならびにプレハブ管の活用等々の工夫・改善、また、高品質を目指し妥協しない真摯な取り組みや徹底した安全活動に支えられ、8ヶ月の大幅な完成の前倒しにより、ガス供給がピークを迎える冬場の2009年1月にガス開通させることができ、ガス供給改善、供給安定に大きく貢献した。

今後は、本工事により得られた知見、技術を計画されているシールド内高圧ガス幹線建設に生かしていく所存である。

**謝辞：**環境・工期共々課題は多い中央幹線建設工事であったが、無事故・無災害にて満足いく品質のもと、大幅な工期短縮を達成し完成させることができ、ガス供給改善、供給安定に大きく貢献することができた。この場を借りてご指導ご協力をいただいた関係者諸氏に御礼申し上げる。