

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.29 (1997) No.2

新潟・仙台間天然ガスパイプラインの施工と技術

Technical Consideration of Niigata-Sendai Natural Gas Pipeline

辻村 修 (Osamu Tsujimura) 菅井 英暁 (Hideaki Sugai) 小泉 秀彦 (Hidehiko Koizumi) uki)

要旨：

新潟・仙台間天然ガスパイプラインは、石油資源開発（株）が新潟県沖で生産する国産ガスとインドネシアより輸入した LNG 気化ガスを東北電力(株)新仙台火力発電所まで輸送する目的で 1996 年に建設された、国土横断ラインとしてはわが国で 2 番目の長距離パイプラインであり、口径は 20 インチ、総延長は 251 km に及ぶものである。川崎製鉄は、同ラインの建設実現のため、調査・計画段階から同プロジェクトに協力し、全長の約 39% に相当する 97 km 区間の建設を担当した。同ラインの建設では、安全確保とコスト削減のために様々な新技術を適用したが、本報告では、同プロジェクトの概要について述べるとともに、これらの技術のうち、代表的ないくつかの項目について紹介する。

Synopsis：

The Niigata-Sendai Gas Pipeline Project was successfully completed in 1996. This is the second longest gas pipeline that crosses the Japan Islands with a diameter of 20 inches and a length of 251 km. Japan Petroleum Exploration Co., Ltd. transports natural gas, which is domestically produced at offshore fields near Niigata pref. or imported as LNG from Indonesia to the Shin-Sendai Thermal Power Plant of Tohoku Electric Power Co. Inc., through this pipeline. Kawasaki Steel had been engaged in this project from the preliminary investigation and planning phase for realization of the project and contributed to the construction of 97 km, 39% of the total length. Kawasaki Steel introduced various advanced technologies to the construction for securing safety and efficiency. This report refers to the outline of the project and some typical advanced technologies.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Technical Consideration of Niigata-Sendai Natural Gas Pipeline



辻村 修

Osamu Tsujimura

エンジニアリング事業
本部 エネルギー水道
事業部 エネルギー水道
技術部 主査(部長)



菅井 英暁

Hideaki Sugai

エンジニアリング事業
本部 エネルギー水道
事業部 エネルギー水道
営業部長



小泉 秀彦

Hidehiko Koizumi

エンジニアリング事業
本部 エネルギー水道
事業部 エネルギー水道
技術部 主査(掛長)

要旨

新潟・仙台間天然ガスパイプラインは、石油資源開発(株)が新潟県沖で生産する国産ガスとインドネシアより輸入した LNG 気化ガスを東北電力(株)新仙台火力発電所まで輸送する目的で 1996 年に建設された、国土横断ラインとしてはわが国で 2 番目の長距離パイプラインであり、口径は 20 インチ、総延長は 251 km に及ぶものである。川崎製鉄は、同ラインの建設実現のため、調査・計画段階から同プロジェクトに協力し、全長の約 39% に相当する 97 km 区間の建設を担当した。同ラインの建設では、安全確保とコスト削減のために様々な新技術を適用したが、本報告では、同プロジェクトの概要について述べるとともに、これらの技術のうち、代表的ないくつかの項目について紹介する。

Synopsis:

The Niigata-Sendai Gas Pipeline Project was successfully completed in 1996. This is the second longest gas pipeline that crosses the Japan Islands with a diameter of 20 inches and a length of 251 km. Japan Petroleum Exploration Co., Ltd. transports natural gas, which is domestically produced at offshore fields near Niigata pref. or imported as LNG from Indonesia to the Shin-Sendai Thermal Power Plant of Tohoku Electric Power Co. Inc., through this pipeline. Kawasaki Steel had been engaged in this project from the preliminary investigation and planning phase for realization of the project and contributed to the construction of 97 km, 39% of the total length. Kawasaki Steel introduced various advanced technologies to the construction for securing safety and efficiency. This report refers to the outline of the project and some typical advanced technologies.

1 緒 言

新潟・仙台間天然ガスパイプラインは、石油資源開発(株)が新潟県内で産出する国産天然ガスと新潟東港に陸揚げされるインドネシア・ア alun 産 LNG 気化ガスとの混合ガスを東北電力(株)新仙台火力発電所に供給する目的で建設された総延長 251 km に及ぶ長距離高圧ガスパイプラインであり、近年その気運がたかまりつつあるナショナル・ガスパイプライン構想の先駆けとして位置づけられている。同パイプラインは、1996 年 3 月に無事竣工し、現在順調な運転がなされている。当社は、1986 年から開始された事前調査・企業化調査段階から本プロジェクトに参画し、7 年間にわたる調査・計画・設計・地方自治体や地元住民との交渉を経て、1992 年から実施された建設段階では、全工区の約 39% に相当する 97 km 区間の施工を担当した。本プロジェクトにおいては、安全の確保と徹底的な施工効率化が主要なテーマであり、その実現に向けて、最新の技術開発・導入を積極的に推進した。本報告では、プロジェクトの概要について報告し、さらに適用したパイプライン建設技術のうち、

代表的な数例について紹介する。

2 プロジェクト概要

2.1 パイプライン仕様

パイプラインの全体ルートを図 1 に示す。同ラインは、新潟県聖籠町新潟東港を起点とし、宮城県仙台市東北電力(株)新仙台火

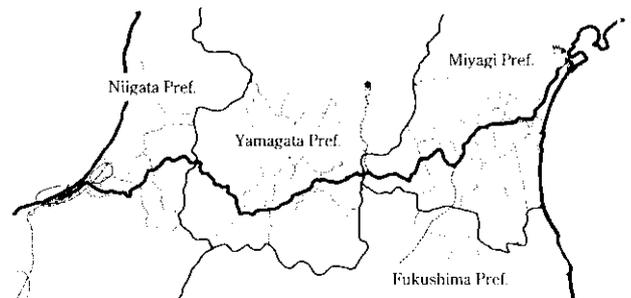


Fig. 1 Route map of natural gas pipeline from Niigata to Sendai

*平成9年4月2日原稿受付

Table 1 Outline of Niigata-Sendai Gas Pipeline

Total pipeline length	(km)	251
Total pipe weight	(t)	36 500
Design pressure	(MPa)	6.86
Diameter	(mm)	508.0
Wall thickness	(mm)	11.91
Grade		API 5L X60
Regulation		Mining law
Design standard		Technical guideline for high pressurized gas pipeline
Transmission capacity	(Nm ³ /d)	5 000 000

力発電所構内を終点とする延長 251 km の長距離高圧幹線であり、その主な仕様を Table 1 に示す。適用法規は鉱業法・鉱山保安法であるが、本プロジェクトにおいては、設備の安全性をより確実なものとするため、新たに関係官庁、学識経験者の参加により作成された「高圧ガスパイプライン技術指針(案)」⁹⁾を技術基準として採用した。

2.2 全体工程

Fig. 2 にプロジェクトの全体工程を示す。構想から供用開始までに、約 10 年の期間を費やしたが、そのうち、調査・計画に 3 年、設計・許認可等に 4 年、建設に 3 年程度の期間をそれぞれ要しており、事前調査や許認可取得などの事前準備が大変重要であるといえる。

2.3 鋼管の所要性能

同ラインに使用する鋼管には、破壊安全性のための十分な機械的強度の保持と同時に、施工効率向上のための高い溶接施工性が要求された。特に、前者については母材、溶接部共に Table 2 に示す要求値を満足するものであることを性能確認試験によって確認した。

Table 2 Mechanical properties

Grade		API 5L X60
Charpy energy (V notch)	(J)	35 (at -10°C)
DWTT Percent shear area (%)		40 or more (piece) 80 or more (ave.)
Hardness	(Hv)	250 or less

2.4 一般埋設工事

わが国においては、欧米諸国のように公共性の高いパイプラインに対する優遇的な敷設占用権 (Right of Way) が認められていないため、配管は原則的に一般道路下に埋設せざるを得ない。そこで、片側車線に 50~100 m の作業帯を占用して作業を実施した。Fig. 3 に標準埋設断面を示すが、その平均進捗速度は 15~25 m/d であった。

2.5 特殊部工事

ルート選定にあたっては、特殊部工事、すなわち河川や鉄道などの横過箇所を最小化するようにつとめたが、それでも当社担当工区内において合計 62 ヶ所の特殊部工事が発生した。このような特殊

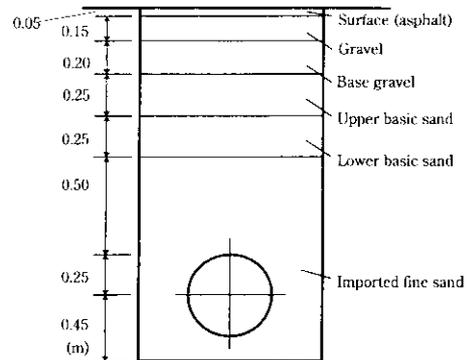


Fig. 3 Normal section (under road)

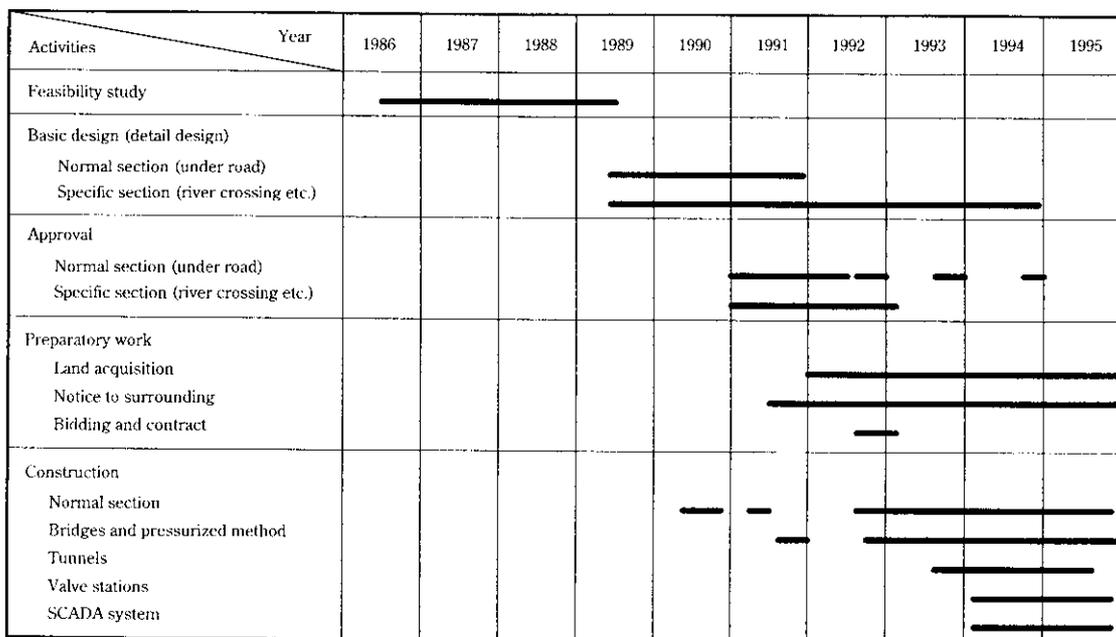


Fig. 2 Project schedule

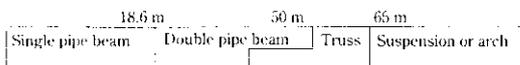


Fig. 4 Bridge style and span

Table 3 Pipeline bridges style

Additional pipeline to existing bridges	
Existing bridges	5
New walking bridge	1
Exclusive pipeline bridges	
Pipe beam bridge	10
Truss bridge	4
Pipe arch bridge	1
Suspension bridge	1

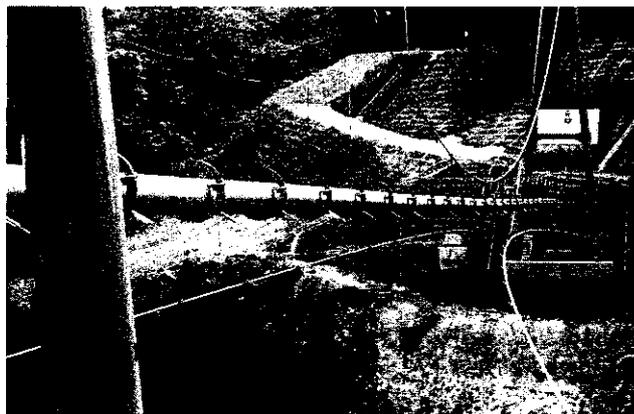


Photo 1 Kosutegawa Suspension Bridge

部においては、専用橋の架設、既存橋梁への添架、推進、専用トンネルの築造など、周囲の状況により最適な方法を採用した。

(1) 橋梁部

橋梁による横過の場合、経済的に最も有利なのは既設橋梁への添架であるが、添架が不可能な場合には、パイプライン専用橋の建設が必要となる。このとき、専用橋の形式選定が経済性を左右する計画・設計上のポイントとなるが、同プロジェクトにおいては、支間長に応じて Fig. 4 に示す形式をそれぞれ選定した。特に、小河川や水路など、支間長の比較的短い横過の場合に、パイプビーム形式を採用することで工期の短縮・効率化を実現した。同形式の採用に際しては、事前に耐風・振動実験を実施し、構造上問題のないことを確認した。Table 3 に橋梁一覧表を、Photo 1 に吊橋の例を示す。

(2) 推進部

橋梁による横過が経済的に不利であったり、河川管理者の指導その他の制約条件によって橋梁による横過方式が採用できない場合には、推進による方法を採用した。推進方法としては、Table 4 に示すように推進距離と土質条件から最適な工法を選定した。

(3) トンネル部

山形県と宮城県との県境に位置する二井宿地区は、急峻な山岳地帯であり、一般埋設工法に比較してトンネルの築造による配管が経済的に有利であったため、施工延長 1027 m に及ぶトンネルの掘削が計画された。同工区では、12% の勾配を有する斜坑掘削が要求されかつ中央部に水平方向の曲折部が存在し

Table 4 Micro tunneling and pushing

Style	Distance (m)	Numbers
Micro tunneling (large scale)	40-150	4
Pressurized super slurry method	187	1
Micro tunneling (small scale)	10-80	12
Horizontal boring pushing	6.0	1
Horizonger pushing	6.0-35	13
Grundoram pushing	6.0-14	4
Simple pushing	4.0-8.0	4

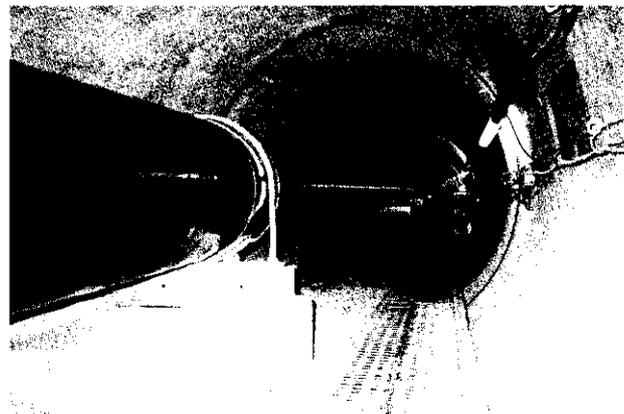


Photo 2 Inside of the Nijuku Tunnel

ため、TBM (tunnel boring machine) 工法を採用した。同工法は、施工精度が高く、同工区のような斜坑の掘削に適しており、掘削速度は平均で約 10 m/d 程度であった。配管後のトンネル内状況を、Photo 2 に示す。

2.6 電気・計装工事

監視・制御システムとして SCADA (supervisory control and data acquisition) システムを採用した。監視センターは震災に対する冗長性を考慮して、長岡と仙台の 2ヶ所に設置されており、パイプライン沿いに設置されている緊急遮断バルブステーションのうち、24ヶ所のステーションから無線回線および NIT 専用回線を通じて流送・保安データをリアルタイムで収集するシステムとなっている。これらのデータは、両センターに設置された計装用計算機に伝送された後、監視用モニターへ表示されるとともに磁気ディスクへ格納され、日常の運転管理に必要な帳票類の出力に利用される。

一方、各ステーションの制御については、通常長岡の管理センターが命令権を保有するが、支障が発生した場合には、モニターからの操作によって、同権利を仙台センターへ委譲することが可能であり、回線の二重化と相まって、震災に強いシステムとなっていることが大きな特長である。

3 本プロジェクトに適用した主な新技術

前述のように、本プロジェクトには安全の確保と施工効率化を目的とした種々の新技術を採用したが、本章ではそのうち主なものについて紹介する。

3.1 フィールドバンド管の採用²⁾

(1) 概要

パイプラインは、原則的に道路下に埋設されるため、その線

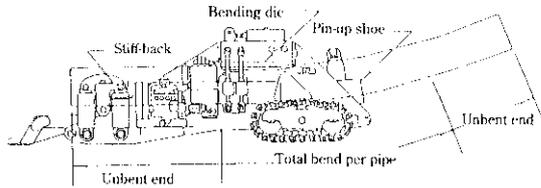


Fig. 5 The outline of pipe bending machine

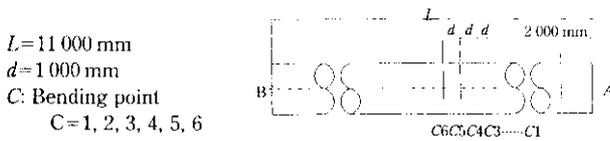


Fig. 6 The standard condition of bending

形は道路線形に近いものとなる。それゆえ、数多くの曲管が必要となるが、これらの曲管は工場加工による管長 2~3m のものを用いるのが一般的であることから、本ラインのような長距離パイプラインにおいては、溶接回数、検査回数を増加させる主要因と考えられていた。そこで、建設現場において所要の角度 (2~12°) となるよう 11m の直管を冷間加工曲げし、工事進捗率の向上ならびに工費の削減を図った。最終的には、1639 本のフィールドベンド管を用いたが、これは当社工区全延長の約 20% に相当するものであった。

なお、冷間曲げ加工機としては、CRC Evans Pipeline International Inc. 社製の MODEL PB16"30" を用いた。その外観を Fig. 5、標準曲げ加工条件を Fig. 6 に示す。

(2) 性能確認試験

現場適用に際して、同加工機の性能確認試験を実施し、適正な曲げ加工条件の確認を行った。試験内容としては、1ヶ所当たりの曲げ角度ならびに曲げ加工箇所間の間隔が加工後の鋼管の扁平率に及ぼす影響についての調査、加工による鋼管の機械的性質の変化、寸法精度ならびに塗覆装に与える影響についての確認が主な項目であった。加工前後の扁平率変化の測定結果の一例を Fig. 7 に示す。また加工後の機械試験の結果を Table 5 に示す。試験結果より標準の曲げ加工箇所間隔を 1m とし、さらに 1ヶ所当たりの最大曲げ角度を 2° 以内に規定した。

冷間加工による加工硬化の発生により、材料の引張強度、耐力が上昇するとともに、シャルピー吸収エネルギーが低下する傾向がみられたが、絶対値としては問題のないレベルであり、本パイプラインの仕様を十分満足するものであることが確認された。さらに、塗覆装については外観、付着強度ともに冷間曲げによる影響は認められなかった。

3.2 長距離パイプライン用工事管理システムの開発³⁾

3.2.1 概要

長距離パイプラインの施工管理を行う場合、一般の建築物の場合と異なり、同工事に特有の以下のような課題を解決する必要がある

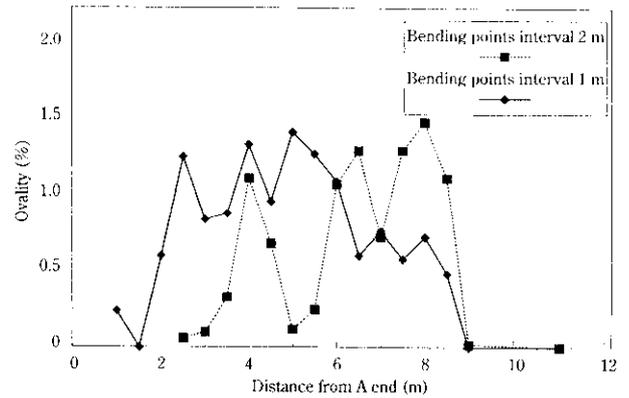


Fig. 7 Change of ovality

Table 5 Result of mechanical tests

	Mother pipe	Bend pipe
Tensile strength (N/mm ²)		
Compression	—	637.0
Tensility	—	627.0
Neutrality	607.0	614.0
Charpy energy (mean) (J)		
Compression	—	100.0
Tensility	—	109.0
Neutrality	121.0	102.0

た。すなわち、

- (1) 工事の最小単位である工区ごとに複数の現場事務所が同時に施工を進め、かつそれらの所在位置は広範囲に散在する。
- (2) 現場事務所の数ならびに所在位置は、該当工区の工事完了とともに変化もしくは移動する。
- (3) これら複数の工事現場において発生する施工管理情報は膨大であり、かつ進捗に応じて現場事務所間相互の調整を図る必要がある。

上記の課題を解決するためには、従来のように各現場事務所単位で施工管理を行うシステムでは対応が困難であると考えられた。そこで、統括工事事務所をこれらの上位機関として設置するとともに、膨大な情報を統括的に一元管理するために同システムを開発・適用することで、工事品質の維持と効率的な工程管理を実現した。

3.2.2 システムの特長

本システムの特長は、以下のとおりである。

- (1) 工事情報のデジタル化により、最新情報の一元管理が実現でき、保管場所の削減とともに情報の喪失・劣化防止および二重化防止が図れた。
- (2) 現場端末としてノート型パソコンを採用し、公衆電話回線を利用したパソコン通信を行うことで、機動性と経済性を両立させた。
- (3) 表計算やグラフ化・統計処理などの機能については、市販のソフトを有効利用し、開発費の低減を図った。
- (4) 中央の管理用計算機としては EWS を採用し、マッピングシステムとリンクさせることで、地図上で工事進捗状況の視覚的な把握を可能とした。
- (5) 日々蓄積されたデータを、完工後の維持管理用情報として施主にそのまま提供し得る環境が構築できた。

3.2.3 ハードウェア構成

本システムのハードウェア構成を Fig. 8 に示す。本システムは、

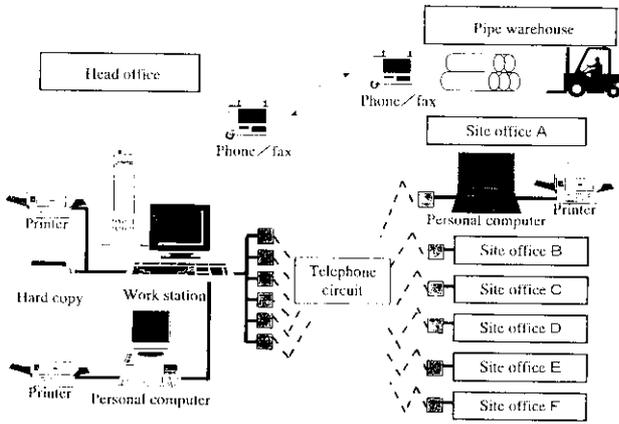


Fig. 7 Hardware components
Fig. 8 Configuration of hardware

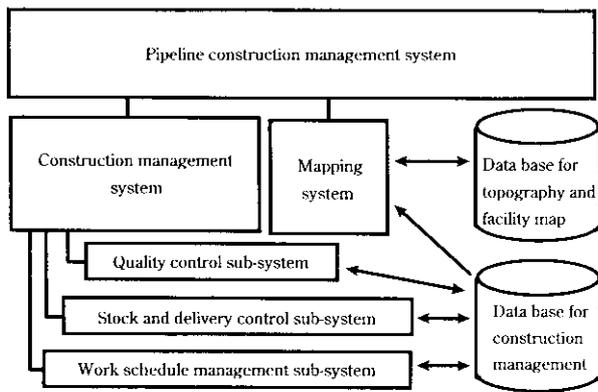


Fig. 9 Configuration of software

統括事務所に設置された管理用計算機をキーステーションとし、工事進捗によって新設・移動・廃止される複数の現場事務所用パソコン端末および両者を電話回線によって接続するための通信装置（モデム）から構成される。

3.2.4 ソフトウェア構成

本システムは、Fig. 9 に示すように資材管理・品質管理ならびに工程管理の各サブシステムから構成される。以下各サブシステムの機能について詳述する。

(1) 資材管理サブシステム

本プロジェクトで使用した鋼管の種類は、直管・フィールドバンド管・高周波曲げ曲管・高周波曲げS字曲管・短管の5種類であるが、曲管については角度やシーム位置などで様々な組み合わせとなるため、その種類はさらに膨大なものとなる。これらの鋼管材料を工事の進捗に合わせて必要な数だけ、必要な場所に準備するためには、正確な製作計画および使用計画の立案と時々刻々の補正が必要となる。同サブシステムでは、これら鋼管材料の流通情報・在庫情報・履歴情報の管理を行い、円滑な資材調達の実現に寄与した。

(2) 品質管理サブシステム

高圧ガスパイプライン建設において、溶接継手部の施工および検査結果の管理は品質管理の上で極めて重要である。同サブシステムでは、気象や溶接実施者などの溶接時状況情報、外観検査結果情報、X線検査結果情報の管理を行い、統計処理によって、品質低下の傾向が僅かでも認められた場合は適宜原因

の究明を図ることで、一貫して品質レベルの維持につとめた。

(3) 工程管理サブシステム

各現場事務所においては、工事日報という書式で日々の工事進捗状況が報告される。本サブシステムは、この書式を電子化した形で収集・管理するもので、すべての工事管理事務所の情報を総合して、時刻歴または工区ごとの位置的な変化といった観点から工事進捗情報を評価し得るものである。特に、統計処理による工事進捗率推移の監視や、マッピングシステムを用いた位置的な進捗度把握は、工事全体の進捗を考慮した人員配置や工程変更などの対応策を、迅速に立案・実施することを可能とした。

3.3 試運転調整ならびに設計検証

(1) 試運転調整の概要

本パイプラインシステムの末端に位置する仙台新港バルブステーション (VS) は、新潟から到達したガスを脱水・脱塵後圧力調整し、最終需要家である東北電力(株)新仙台火力発電所に送ガスを行う機能を有する点で、他の VS と異なる重要な施設である。

平成 8 年 4 月 5 日から実施した通ガスならびに試運転調整では、同 VS における配管気密性の確認、ガス加温設備能力の確認、PCV (圧力調節弁) 制御パラメータの調整などを実施するとともに、事前設計の妥当性を確認するための種々の流送データ計測作業をあわせて行った。とりわけ、パイプラインの輸送能力の評価については、同ライン計画時に膨大な数のケーススタディを基に選定したパイプ口径の妥当性を検証するという意味から、極めて重要度の高い項目として位置づけた。これは、一般にパイプ口径の選定が、長距離パイプライン建設プロジェクトそのものの事業採算性を左右する支配的な要因であるためである。

(2) 輸送能力の評価

試運転時に計測した流送データを基に、解析的手法により輸送能力の評価・検討を行った。解析においては、始点新潟東港から仙台新港 VS 入口までの 248.8 km を対象とし、ライン標高も考慮した。Fig. 10 には流量境界条件として用いた試運転時の負荷変動状況を、また Fig. 11 には仙台新港着圧の実測値をそれぞれ示す。なお、各点に付した数字は同着圧の計測時刻を示す。仙台着圧は負荷上昇時と下降時とで異なる値をとり、全体としてヒステリシスを描くことがわかった。そこで、試運転時と同様な時間的負荷変動を境界条件とした非定常流送シミュレーションを実施し、計算機上で試運転時の流れを再現した。Fig. 11 には、摩擦損失推定式として Colebrook の式を適用し、

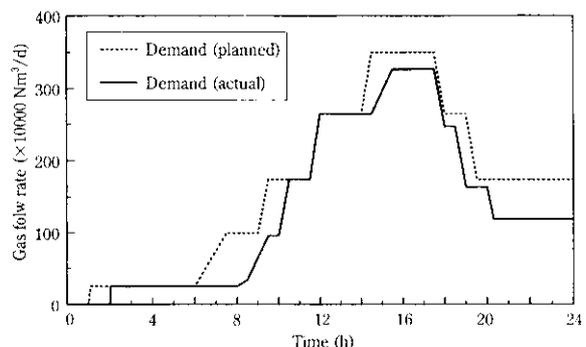


Fig. 10 Demand change of Shin-Sendai Power Plant

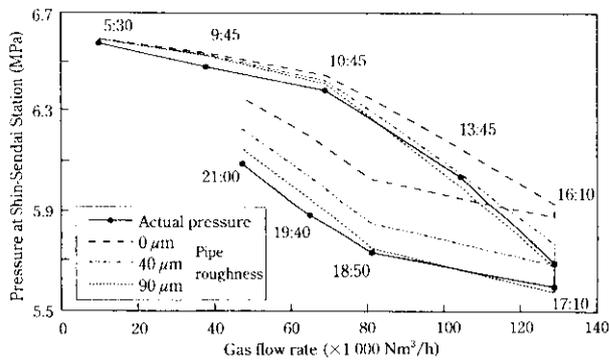


Fig. 11 Pressure change of Shin-Sendai Station

その管内粗度を 0, 40, 90 μm と仮定した場合の仙台着圧の計算結果を、それぞれ実測値と比較して示している。この例が示すように、各粗度における仙台着圧の変動履歴の計算値は、実測値と定性的に良い一致を見た。そこで、Fig. 12 に示すように管内粗度の仮定値を少しずつ変化させ、各負荷レベルにおける実測値と計算値との差異の絶対値の総和が最も小さくなる管内粗度を求めた結果、管内粗度 = 93.8 μm を得た。この数値は一般的な鋼管の管内粗度と比較してかなり大きな数値であるが、これは曲管部やバルブなどの形状損失を管摩擦損失に含めて考慮したためであり、厳密には管内粗度と異なる。なお、一般的に用いられている新設管の管内粗度 25 μm を用いた場合、同ラインの効率は約 0.95 となる。一方、同ラインの輸送能力については、上記で求めた管内粗度を用い、新潟始圧ならびに仙台着圧を境界条件とした定常流解析により求めた。その結果、同ラインの輸送能力は、初期設計時の推定値と概ね近いものであったが、若干低い値となることが判明した。これは、同ラインの起動時にメタンハイドレート生成防止用に注入したグリコールの飛沫や、管内に残存していた微細な鉄粉などの飛来によ

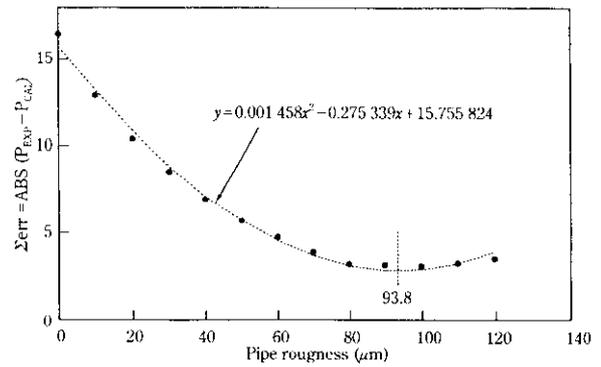


Fig. 12 Estimation of pipe roughness by simulations tuning

り、固気二相流の付加的な圧力損失が発生していたためであると考えられる。

4 結 言

本論文では、新潟・仙台間ガスパイプライン建設プロジェクトの概要を報告するとともに、安全確保ならびに建設コスト削減の目的で同プロジェクトに適用した主な技術の一部を紹介した。

現在、わが国にも欧米諸国のような天然ガスパイプライン網を基幹インフラとして整備すべきであるという声が高まりつつあるが、同パイプラインは、まさにその先駆けとして位置づけられる施設であり、同プロジェクトが実現に至った意味は極めて大きいと考えられる。

現在、次の大規模プロジェクトとして「サハリンパイプライン」が注目されているが、当社としては、今後ともパイプライン建設の機械化・情報化のための技術開発を推進し、高度な安全レベルの確保と同時に廉価なパイプラインシステムの提供に努め、わが国の高圧ガスパイプライン網建設に寄与したいと考える。

参 考 文 献

- 1) (財)国土開発技術研究センター、石油資源開発(株)：「高圧ガスパイプライン技術指針(案)」, (1992)
- 2) 江川 亮：「新潟・仙台間天然ガスパイプラインの建設」, 石油技術協会誌, 62(1997)2, 112-121
- 3) 辻村 修, 鎌倉秀夫, 藤谷正博, 小泉秀彦, 橋口成人：「長距離パイプライン工事管理システムの開発と応用」, 配管技術, 37(1995)11, 100-104