

解説

4半世紀前に始まったラインパイプ共同研究

Collaboration of Line Pipe Research Started before a Quarter of a Century

奈良好啓
Yoshihiro Nara

MIN コンサルタント(株)
(元住友金属工業)

1 はじめに

大径溶接鋼管研究開発のための委員会組織は、今から4半世紀前に誕生した。発足以来、活発な活動を続け、現在でも日本鉄鋼協会の鋼管部会に所属するHLP委員会 (High Strength Line Pipe Committee) として存続している。この委員会は、日本の鉄鋼五社 (新日本製鐵、NKK、川崎製鐵、住友金属、神戸製鋼) のラインパイプ技術者と研究者により構成されている。その研究成果を海外で発表して、パイプライン関係の海外企業、団体や国際研究機関から高い評価を受けてきた。その努力が認められて日本鉄鋼協会より山岡賞を受賞している。その裏には、多くの参加者が共同研究のために、各社間にあった技術的、営業的障害を乗り越え、一致協力してきたことを忘れてはならない。そこで、発足当初の活動開始から海外で試験研究を実施する時期までの数年を振り返り、その一端を紹介してみたい。ただし、技術的成果は参考文献として後述する発表論文等に譲るとして、ここでは、論文には載らない共同研究の準備状況や裏舞台について述べ、今後の研究体制の在り方を考える際に参考にしていただきたいと思っている。

2 国内におけるラインパイプの研究

2.1 トランス・アラスカ・パイプラインの受注¹⁾

トランス・アラスカ・パイプライン (TAPS) は、図1に示すように北極海に面したブルードベイからアラスカ内陸を縦断してアラスカ湾に接する南端のバルデズまでのパイプラインである。北極圏で採掘された原油を太平洋側の出荷港まで輸送するために計画された。その建設資材として、外形48インチ (1,219mm) の大径ラインパイプの50万トン全量が、1968年、日本の鋼管メーカーに発注されることになった。このことは、世界の鉄鋼業界ばかりでなく石油業界でも大き

な話題になった。受注獲得に成功したのは、日本の鉄鋼各社が共同体制をとり、顧客であるメジャーオイルからの技術要求を理解し、受け入れたことに勝因があったからである。受注してから、各社は技術開発と工場管理の改善に努力した結果、無事にラインパイプを納入することができた。しかしながら、顧客からの技術要求は大変に厳しく、なかでも、高強度ラインパイプの低温靱性と、現地溶接を容易にするための溶接性能は、材料的に相反する要素であるため、各社は両者を満足させるのに大変な苦勞をした。この苦勞を乗り越えることができたのは、素材である厚鋼板の制御圧延技術を飛躍的に向上させ、工場における品質管理体制を改善させたからである。その結果、日本のラインパイプの品質性能を世界でも他に追従を許さない最高水準に引き上げることができ

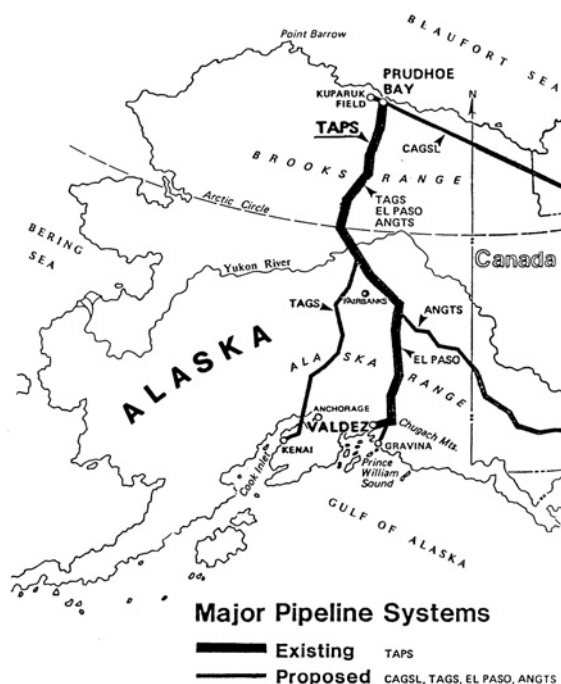


図1 アラスカ縦断の石油パイプラインTAPS

た。また、各社の共同体制により全量受注に成功したのが契機となり、それ以降に発生する各社共通技術の開発には、日本の鉄鋼業界は共同研究組織を設置して対応する態勢をとるようになった。

2.2 天然ガス・パイプラインへの挑戦

一方、カナダのパイプライン関係者は、北極圏の油田から産出する天然ガスを、将来アラスカ北部よりカナダを縦断して米国本土の西部地区に輸送することを考え、トランス・カナダ・パイプラインの構想を描いていた。この計画は、その後実現しなかったが、その当時は、天然ガス・パイプライン用材料の研究対象として、関係技術者が関心を寄せる格好の開発テーマであった。このことから、米国のバッテル研究所は、天然ガス輸送の安全性を向上するための研究開発を進めた。試験ラインとして高圧ガスを封入した実物大のパイプラインを建設し、「バースト・テスト」という破壊試験を実施して、伝播する破壊をどのように停止させるか研究することにした。すなわち、天然ガス輸送ラインの破壊現象として特有な「不安定延性破壊」を解明することであった。

さらに、TAPS受注合戦に負けた欧州パイプメーカーは、バースト・テストの共同研究グループEPRGを設立した。また、米国鉄鋼連盟は米国本土でのパイプラインに米国製品を提供するために対抗措置としての研究計画を立てた。両グループは、それぞれ独自の方法で天然ガス・パイプラインのバースト・テストを実施し、その結果をラインパイプ性能向上のために応用していた。このような情勢から、日本の鉄鋼各社もラインパイプ輸出のためには、日本製ラインパイプの持つ「亀裂伝播停止性能」について統一見解を示す必要に迫られた。それには、各社はバースト・テストの共同研究を実施することが必要であると考えられるようになった。1974年12月に新日本製鐵、日本鋼管、住友金属の技術者が一堂に会し、ラインパイプ破壊試験の共同実施について検討を行った。この鉄鋼三社による研究会が、その後、川崎製鐵、神戸製鋼が参加した鉄鋼五社によるラインパイプ共同研究の始まりであった。

2.3 共同研究のための模索

鉄鋼三社による研究会は「ラインパイプ破壊機構共同研究会」と称して、1977年3月までに7回の会議を開催し、内外文献の調査、破壊機構の解明、シミュレート試験法の検討などを行った。その後、前述の2社を入れた鉄鋼五社は、科学技術庁より昭和52年度特別研究促進調整費を獲得することを決めて、3年計画で予算規模3.5億円の申請を行った。ところが、その後、申請に対して他の業界から反発が予想されたことから、申請を取り下げるようになった。このため、鉄

鋼五社はそれぞれ開発費を捻出して、自費による共同研究をせざるを得なくなり、その検討に入った。

まず、試験場の調査を実施した。鉄鋼五社は、日本国内の寒冷地域で破壊実験をする必要があり、その候補地として、人的にはもちろんのこと、物的にも被害が発生しない遠隔の地を選択することが要求された。しかしながら、試験場には重量のある鋼管や機材の搬入をしなくてはならない。この2つの条件を満たす場所を求めて、ガスタービン試験場や自衛隊実験場など、東北地方を探したがなかなか見つからなかった。それでも、鉄鋼五社にはバースト・テストを実施する機運が高まり、1978年3月に今までの共同研究会を解散して、日本鉄鋼協会は新たな組織として「高級ラインパイプ研究委員会」(通称HLP委員会)を設立した。直ちに試験実施のための規約、委員会組織、共同研究契約、実験計画等の検討に入った。同年5月には、第1回HLP準備委員会が開催され、岩手県の日鉄鉱業釜石鉱業所を試験候補地にすることとした。

2.4 HLP委員会の活動開始²⁾

HLP委員会は1978年8月に鉄鋼五社が共同研究契約に調印したことで正式に発足した。委員長に新日本製鐵鋼管技術部長が選出され、その下部組織として業務分科会と技術分科会を設置し、それぞれの主査にNKK及び住友金属の技術者が任命された。業務分科会は、実験準備のための外部折衝、実験設備の見積もりとその手配、資材搬入の手続きなどの業務を分担し、技術分科会は、実験計画、研究者の試験業務の配分、試験用鋼管製造を各社へ要請する業務を分担した。図2に示す釜石鉱業所堆積場に設けた実験場では実戦部隊として、HLP委員会委員と委員会を応援する各社スタッフ、安全管理のための釜石製鉄所関係者、実験設備構築のための外部業者などを総括した実験班が組織された。

1987年12月、長さ12mのラインパイプを用いて第1回予

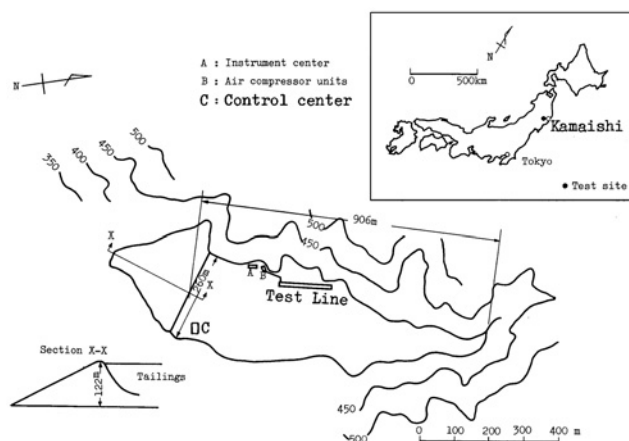


図2 釜石試験場の配置図

265

能研究のため、4月の第3回テストは制御圧延法と熱処理法の双方で第1回より靱性を下げた鋼管を使って実施した。それぞれの試験条件は、圧力が11.6MPaで試験管体温度が3℃と8℃であった。第2回テストでは海外へのPRをかねて実験経過をすべて映画に収録し、英語のナレーションを付けてフィルムを完成させた。

2.6 海外での論文発表⁴⁾

バッテル研究所以外に米国、日本、ドイツ、イタリアでフルスケール・バースト・テストが行われていることを聞いたパイプライン関係者は、1980年6月にヒューストンで開催される米国石油協会 (API) の標準化委員会総会に合わせて不安定延性破壊のシンポジウムを開催する事を企画し、日本も参加してほしいと要請があった。HLP委員会は、やっと3回の試験を完了したばかりで、正式論文を纏める状態ではなかったが、この時こそ世界に日本のラインパイプの実状を示す機会であると考え、「中間報告」としての論文を書き上げて発表することにした。API標準化委員会には日本代表代理である住友金属の技術者が常時出席していることから、彼が論文の発表を行った。この論文でHLP委員会は「セパレーションがパイプラインの破壊伝播に全く影響しない」ことを初めて表明した。

3 海外におけるラインパイプの研究

3.1 天然ガスによる破壊試験の検討

国内のフルスケール・バースト・テストは、天然ガスの代わりに圧縮空気を採用しているの、実際のガス・パイプラインの破壊現象と異なる。従って、今までの研究結果が実際のパイプライン事故と異なる可能性を完全に除くことはできない。すなわち、天然ガスの場合は、パイプライン中の高压ガスは、ある範囲の破壊伝播速度で割れ目から放出する時に、断熱膨脹をするため液化現象を生じ二相ガスとなる。それに対して圧縮空気の場合は、このような現象は発生しない。このため、天然ガスは、圧縮空気とは異なる減圧曲線に沿って、その圧力を降下させることが知られている。それも、天然ガスの混合成分が変わると違った形状の減圧曲線をたどるので、一度は天然ガスによる試験を実施して圧縮空気による試験結果と比較をする必要があった。しかしながら、国内には天然ガスを使用する破壊試験を行う適当な場所を探すことは不可能と思われた。

HLP委員会は、海外での研究を考えてバッテル研究所に問い合わせると、オハイオ州アーセンで実施していた天然ガスによる試験場は閉鎖したとの回答を受けた。欧州の情勢を調査すると、欧州地域内の統合研究組織であるEPGRが英

国ガス会社のBGCで試験を実施していることを知った。また、カナダのパイプライン会社であるフートヒルズ社を調べると、日本の実験に協力する意向があることを掴んだ。HLP委員会は、BGCとフートヒルズに技術者を派遣して、試験場としてどちらを選択するか調査を行った。BGCの場合は、試験場の設備が完備していて実験計測が容易であるが、封入ガスは試験場で混合する合成ガスを使って実験しなくてはならない。フートヒルズの場合は、近くで産出する天然ガスを使用できるが、実験機材が不十分のため、新たに準備しなくてはならない。調査結果を基に、HLP委員会はBGCを選択して契約交渉に入った。日本からラインパイプを英国に搬入して、天然ガスによるフルスケール・バースト・テストを2回実施することを決定し、1982年1月にその契約書に調印した。

3.2 天然ガスによるフルスケール・バースト・テスト⁵⁾

BGCの試験場は、北海油田開発基地のニューキャッスルから西へ約40km行ったスピードアダムにあり、英国空軍練習場の一部をBGCが借地して建設した、図6に示すテストセンター内に置かれていた。各社製作のグレードX70、外径48インチ (1,912mm) 肉厚0.720インチ (18.29mm) で靱性の異なる鋼管を日本から搬入して実験に取りかかった。国内試験と同じように、図7に示す試験管体は起爆点となる中央の管の靱性値は低く、両側に行くほど高いように7本の鋼管を配列して、長さを65mにした。その左右外側に設けたりザーバーを含めた全長は163mに及んだ。一番苦労した問題

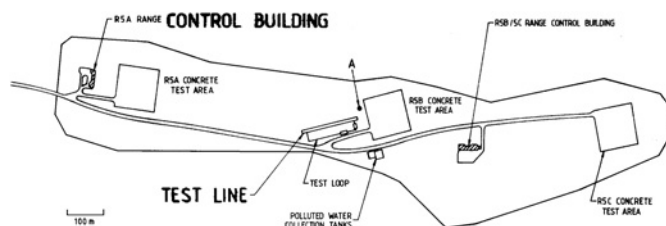


図6 スピードアダム試験場の配置図

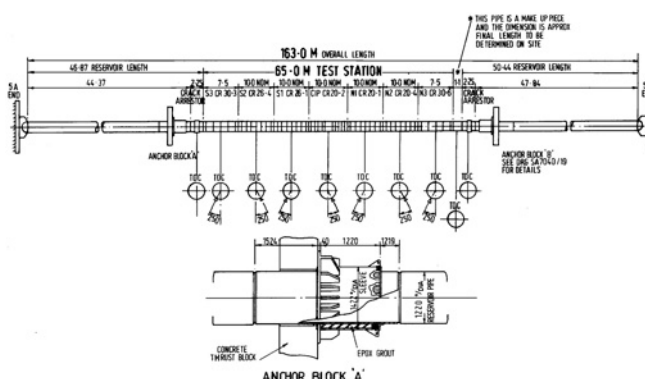


図7 天然ガスフルスケール・バースト・テストの試験管体の配列

は試験管体に封入する合成ガス成分の決定であった。最終的には、天然ガス長大パイプラインの将来計画である、カナダ縦断のCAGSLプロジェクトのガス組成に近い成分にしたと記憶している。

1982年10月に第1回テストを、1983年6月に第2回テストを実施したが、国内試験とは異なり、試験体の設置から爆破作業までの一連の作業はBGC側が行った。合成ガスは、試験管体へ充填してから、熱交換機を付けたループラインで循環させて、実験条件である管体温度を -5°C まで下げることとした。その理由は、低温にすれば破壊伝播時に割れ目から放出するガスが二相化して、気体と液体の混合状態になることから、実際のパイプライン事故を再現できると考えられていたからである。また、試験圧力は第1回が11.6MPa（最少降伏点の0.80倍相当）、第2回が10.4MPa（最少降伏点の0.72倍相当）であった。

このテストの立ち会いのために日本から各社技術者によるミッションが派遣されたが、派遣技術者には国内試験と同じように破壊時に変形した試験管体の形状計測など試験データを収集する任務があり、また、破壊した破面のサンプルを採取して日本への持ち帰ることが求められた。帰国後国内では、試験データの解析と破面のミクロ観察が行われ、圧縮空気による試験結果と天然ガスによる試験結果の比較がなされた。その結論として、単相ガスである圧縮空気でも、二相ガスである天然ガスでも、それぞれの減圧曲線が想定されれば、亀裂伝播を理論的に計算して亀裂停止の長さを推定できることが確認された。

3.3 論文発表と海外研究グループとのシンポジウム^{6,7)}

HLP委員会は、試験結果をもとに海外の関係協会に論文を投稿し、国際会議に委員を派遣して論文発表を行った。その一例を紹介すると、米国のPRC（パイプライン研究委員会）の組織NG18と日本鉄鋼協会のHLP委員会が1990年3月にオハイオ州コロンバスで開催した合同会議に、鉄鋼五社の各委員が出席して国内外で実施したフルスケール・バースト・テストを比較しての研究成果を発表したことがあげられる。このように、HLP委員会はその研究成果を世界に公表することにより、日本のパイプライン技術と製品品質が優れていることを説明してきた。また、HLP委員会は鉄鋼五社による共同研究活動として高く評価され、日本鉄鋼協会より1983年に山岡賞を受賞して栄光に輝くことになった。

4 おわりに

20世紀初頭から化石燃料の開拓とその活用は伸長を続けてきたが、第1次及び第2次の石油危機以降は、その可採量

の限界とその利用による地球環境問題を知って、急激な自然の変化を起こさないエネルギーの利用方法を検討するようになった。しかしながら、太陽光、風力、地熱などは、技術的にも経済的にもエネルギー確保の実験段階であり、これから検討すべき問題を残している。従って、数十年のスパンで将来を考えると、既存のエネルギー利用方法を改善することが、我々に課せられた当面の課題であろう。

なかでも、天然ガスは、石油系液体燃料に代わるエネルギーとして、ますます消費量が増加するものと思われる。その理由として、既存の油田は採用経過に伴い徐々に石油より天然ガスに生産量比率が変化すること、また、天然ガスは石油よりも単位エネルギー当たりの CO_2 、 NO_x 及び SO_x の排出量が少ないことがあげられる。このことから、これからは天然ガスの確保とその運搬を含めた資源コスト低減が重要問題になってくることは確実である。

我が国における天然ガス利用の現状は、中東で液化した天然ガスをLNGタンカーにより海上輸送して輸入し、一般的には都市ガスや電力に変換している。しかしながら、このシステムには原油の場合と同様に、輸送路の安全性確保に不安定なところがあり、また、天然ガスの液化によるコスト高の弱点があると言われている。最近の調査では、中東ばかりでなくサハリン、極東シベリア、中国西部地区などにも多量の天然ガスが存在していることが分かっている。これら地域の天然ガスを獲得することは、日本にとってエネルギー確保に安定度をもたらすことは確実である。これらの天然ガスを輸送するには、パイプラインが経済的で安全であると考えられており、日本を含む消費地へのパイプラインのルートが検討されている。

このような実状を考えると、パイプライン建設に多くの関心が注がれるようになり、ラインパイプの技術開発も活発になることが予想される。このため、HLP委員会はラインパイプの技術開発に今よりも力を注いで行く必要がある。将来の研究開発にあたり、4半世紀前に鉄鋼五社による共同研究が発足し、パイプラインの安全性確保のためにいかに努力してきたかを思い起こしてほしい。

参考文献

- 1) 奈良好啓：鋼管の用途の現状と将来，第112・113回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会，(1986)，26。
- 2) HLP委員会昭和53年度調査報告，HLP委員会・幹事会・技術分科会・業務分科会，(1980)，6。
- 3) HLP委員会昭和54年度調査報告，日本鉄鋼協会HLP委員会，(1981)，8。
- 4) E. Sugie, H. Kaji, T. Taira, H. Mimura and Y. Nara : Interim Report on Full Scale Burst Test in Japan,

API Symposium on Pipe SS-7 : 2, (1980)

- 5) HLP委員会昭和56・57・58年度調査報告, 日本鉄鋼協会HLP委員会, (1984), 10.
- 6) E. Sugie, H. Kaji, T. Taira, M. Ohashi and Y. Sumitomo : Shear Fracture Arrestability of Controlled Rolled Steel X70 Line Pipe by Full-scale Burst Test, Journal of Energy Research Technology, 106, (1984),

55.

- 7) Y. Nakano, S. Tone, M. Nagae, T. Inoue and Y. Kawaguchi :HLP Research Review-Activities of Burst Test Technical Committee, NG-18/HLP Joint Technical Meeting on Line Pipe Research, 2, (1990)

(2000年11月1日受付)

ブックレビュー

叢書 鉄鋼技術の流れ 第2シリーズ 第3巻

電気炉製鋼法—高能率、低電力、高品質への挑戦—

森井 廉 著

2000年5月 日本鉄鋼協会発行 (Tel.03-3279-6021)

●A5判 284頁 定価4,200円、会員価格3,500円
(消費税等込み、送料本会負担)

電気炉製鋼法は20世紀の鉄鋼業発展に大きく貢献したプロセス技術の一つであり、21世紀も電気炉製鋼法のさらなる活躍が期待されている。特に、これからの環境社会における老廃スクラップの増加、循環型社会への指向は、ますます電気炉の役割を重要なものとしていくと考えられる。本書は、この重要な電気炉がいかに20世紀の鉄鋼業を支え、躍進させてきたのか、さらに、電気炉自身がどのような発展を遂げてきたのかを、数多くの事例とそれを支えた理論的背景により明解に示すものである。

実際に本書を読むと、いかに電気炉が様々な周辺技術あるいは電気炉を取り巻く環境変化と関りあって進化してきたかが、よくわかる。炉外精錬プロセス、真空脱ガス法、原料・電力事情、高度成長期における高能率化、省エネ技術、環境問題など。高炉—転炉の精錬プロセスが製鋼技術全般の主役であるとすれば、電気炉製鋼プロセスは特殊鋼精錬の主役であるともいえる。

本書の最も大きな特徴の1つは、ふんだんな実操業データの掲載である。こういった広範囲なテーマを扱かう場合、一般的な事象に偏りがちになるが、本書は主に大同特殊鋼(株)での経験を基に蓄積された実操業データに重点をおいている。それゆえ、現場で働く技術者にとっては直適用可能な生の姿を見ることができるといってよい。実利に富んだ良書であるといえる。また、数多くの図表による解説も理解し易い。もちろん、現場とは少し離れた技術者/研究者、あるいは電気炉操業に関わる技術者以外の人にも、各々の技術とその背景との関わりを丁寧に解説している点で、わかりやすいといえる。

本書は大きくまとめると、1電気炉製鋼の歴史、2電気炉法の操業、3電気炉鋼の品質、4電気炉設備(炉体本体、耐火物、電極、システム、etc.)、5環境技術、などの項目で構成されており、電気炉製鋼に関係する重要な事項はほぼすべて網羅されているといってよい。電気炉製鋼の知識をいち早く習得したい人、電気炉製鋼法の歴史あるいは技術動向に興味のある人すべてにお勧めの書である。

(住友電気工業(株)特殊線事業部製鋼圧延部 清水健一)