



Title	耐震変形能を確保したガスパイプライン用高グレード鋼管材料における加工硬化特性のあり方
Author(s)	谷田部, 洋
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/45988">https://hdl.handle.net/11094/45988</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	谷 田 部 洋 <sup>ひろし</sup>
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 9 6 6 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 17 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 名	耐震変形能を確保したガスパイプライン用高グレード鋼管材料における 加工硬化特性のあり方
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 豊田 政男  (副査) 教 授 座古 勝 教 授 南 二三吉 教 授 村川 英一 助教授 大畑 充

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、我が国の高圧ガスパイプラインには地震時の破壊安全性の保証が不可欠であり、今後国内のガスパイプラインへの適用が期待されているアメリカ石油協会規格 API 5L X80 以上の強度を有する高グレード鋼管に対して、その座屈限界および漏洩限界に関する諸検討を行い、耐震変形能を確保するための加工硬化特性のあり方についての提案を行った。本論文は 8 章からなり、

第 1 章では、国内のガスパイプラインの変遷や安全性および耐震性に関する基本的な考え方、ならびに、高グレード鋼管を適用するに際しての技術課題などの一般的事項について記した。

第 2 章では、本論文の研究課題の位置づけを明確にすることを目的として、パイプラインの座屈限界及び漏洩限界に関する既往の研究成果および諸基準のレビューを行い、鋼管の変形能に関する研究動向と従来知見の整理、更に高グレード鋼管における耐震変形能確保のための課題を抽出した。

第 3 章では、パイプラインの変形挙動評価手法としての有限要素解析の適用性について検討し、本論文で実施した実験結果との比較から有限要素法による構造解析の妥当性について検証した。更に、本研究において対象とするパイプラインの形状や変形量から、適用すべき有限要素の特定やメッシュ分割方法、さらには材料物性の定義方法などについて整理を行った。

第 4 章では、地震時の外力を想定した実験および有限要素解析を行うことにより、様々な加工硬化特性を有する X80 直管の軸圧縮変形および一方向曲げ変形時の座屈変形能を算定し、座屈限界に及ぼす材料の加工硬化特性の影響を評価した。その結果、直管の座屈限界は、座屈が発生する時の比較的小さい塑性変形領域の材料の加工硬化特性に大きく支配されることを確認した。更に、材料の加工硬化特性の指標として、応力・ひずみ線図より算出されるコンプリメンタリーエネルギーを用いることにより、座屈変形能がほぼ一義的に整理できることを確認した。

第 5 章では、X80 直管の一方向曲げ変形時の漏洩限界を実験的に評価した。その結果、設計係数 0.4 での漏洩限界は、既存の耐震基準である高圧ガス導管液状化耐震設計指針によって評価できることを確認した。一方、設計係数 0.6 では、曲げ変形時に引張側となる部位での延性破壊という、これまで明らかでなかった新たな破壊形態が確認され、その限界曲げ角度は従来知見を大きく下回った。更に、破壊発生部位における応力・ひずみを有限要素解析によって定量的に評価した結果、その破壊限界は相当塑性ひずみと応力多軸度を用いた延性破壊発生限界によって評価できることを明らかにした。漏洩限界に及ぼす材料の加工硬化特性と設計係数の影響を有限要素解析によって評価した結果、

一様のびが小さい材料ほど低い設計係数下で引張側での延性破壊となるが、0.4 程度の低い設計係数であれば、引張側での延性破壊は発生しないことも確認した。

第6章では、X80 高周波ベンドを対象に、設計係数 0.4 という条件下における面内一方向曲げ変形時の座屈・漏洩限界に及ぼす材料の加工硬化特性の影響を有限要素解析によって評価した。その結果、内曲げ変形時の座屈変形能に及ぼす材料の加工硬化特性の影響は小さいこと、外曲げ変形時の座屈変形能は、材料の加工硬化特性の影響を大きく受け、直管と同様、応力・ひずみ線図より算出されるコンプリメンタリーエネルギーを用いることによりほぼ一義的に整理できることを確認した。また、面内一方向曲げ実験により、X80 高周波ベンドの漏洩限界は既存の耐震基準である高圧ガス導管液状化耐震設計指針によって評価できることを確認した。

第7章では、第4章から第6章で得られた知見をもとに、耐震変形能を確保したガスパイプライン用高グレード鋼管材料における加工硬化特性のあり方についての提案を行った。

第8章では、本論文で明らかにした各章の結論を総括するとともに、国内における高グレード鋼管の適用拡大に向けて、耐震性を考慮した適切な材料設計目標を明示する際に本成果が活用できることを示した。

### 論文審査の結果の要旨

本研究は、高圧ガスパイプラインの高効率輸送能力を確保するために用いられようとしている高グレード（高強度）ラインパイプの特性、特に、我が国では必要不可欠である激震時の破壊安全性に注目して、高グレードラインパイプの鋼材としての加工硬化特性の在り方について検討し、耐震性を考慮したラインパイプとしての材料設計指針を明らかにしたものである。

本論文の主な新しい着目点とその結論は以下の通りである。

- (1) 我が国のような地震地帯に敷設される高圧ガスパイプラインに必要とされる変形能について考察し、直管の軸圧縮座屈限界及び曲げ変形能が、また、ベンド管では曲げ変形能が重要な性能因子であることを明らかにし、それらの変形性能には、ラインパイプ材料の持つ加工硬化特性が主要な支配因子であることを実験と有限要素法を用いた解析によって明らかにしている。
- (2) 高グレード鋼管では、一般に材料の加工硬化能と一様伸びが小さく、そのため軸圧縮座屈性能や一方向曲げ変形時の局部座屈後の漏洩限界能が低下することを実験と解析によって明らかにし、特に、高グレード鋼管が大きな内圧を受けるときには、一様伸びが小さい場合、一方向曲げ変形を受けると、曲げ変形によって引張り側となる部位で延性破壊が生じることを初めて実験的に明らかにし、その限界評価は2パラメータ限界評価クライテリオンによって評価が可能であることを明らかにすると共に、そのような破壊が生じる材料特性と内圧の組み合わせ範囲を明確にしている。
- (3) 高グレード鋼管を含め、種々の加工硬化特性を持つ鋼管の変形能の解析から、軸圧縮座屈限界及び曲げ変形下の座屈限界は、鋼材の応力・歪曲線から算出されるコンプリメンタルエネルギーを用いることによってほぼ一義的に整理出来ることを明らかにしており、耐震変形能を確保したガスパイプライン用高グレード鋼管材料における加工硬化特性の在り方の提案を行っている。

以上のように、本論文では、将来的に適用が期待される高グレード鋼管を対象とし、我が国のように地震国におけるガスパイプラインの破壊安全性を確保するために必要な鋼材の材料特性を明確にして、その設計指針と材料基準の在り方を提案している。その成果は、耐震性を要求されるパイプラインにおける高グレード鋼管の適用に対して新しい指針を与えるものであり、ライフライン耐震性向上のための鉄鋼工学やその設計工学の発展に寄与するところが大である。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。