



Title	高グレード鋼管を適用した高圧ガスパイプラインにおける延性破壊発生限界の評価手法に関する研究
Author(s)	川口, 忍
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44904
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	かわ 川 ぐち 口 しのぶ 忍
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 8 7 0 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 16 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科生産科学専攻
学 位 論 文 名	高グレード鋼管を適用した高圧ガスパイプラインにおける延性破壊発生 限界の評価手法に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 豊田 政男 (副査) 教 授 座古 勝 教 授 西本 和俊 教 授 南 二三吉

論 文 内 容 の 要 旨

市街地に敷設される高圧ガスパイプラインの破壊安全性の確保は重要な課題であり、そのためには適切な破壊性能評価手法の確立が不可欠である。また、近年の鋼管材料の開発に伴って、高強度の鋼管を用いることによって効率的な輸送を目指す動きもあるが、このような高グレード鋼管に対する破壊安全性評価手法は必ずしも明確でない。本論文では、アメリカ石油協会規格 API5LX80 以上の強度を有する高グレード鋼管を対象として、外的にもたらされる「きず」等を起点として大規模破壊に至る以前のきずからの延性き裂の成長開始（以下、ラブチャーと呼ぶ）を防止するためにガスパイプライン用鋼管に要求される材料破壊特性を評価する手法について検討を行っている。

本論文は 7 章から成っており、第 1 章では、わが国の高圧ガスパイプラインを取り巻く環境や、破壊安全性の評価のあり方、並びに、わが国で高グレード鋼管を適用するに際しての技術課題などについてまとめ、本論文の目的と範囲を記述している。

第 2 章では、本論文が対象とする研究課題の位置づけを明確にすることを目的とし、高圧ガスパイプラインの破壊を防止するために行われてきた従来の研究（脆性破壊防止のための材料仕様や、ラブチャー限界応力の評価手法、大規模不安定延性破壊防止のための要求破壊靱性の評価手法など）のレビューと考察を行い、高圧ガスパイプラインにおける破壊防止に関する研究の動向と従来知見の整理から残された課題の抽出を行っている。

第 3 章では、8 種類の鋼管（ $\times 60 \times 1$ 鋼種、 $\times 65 \times 2$ 鋼種、 $\times 80 \times 4$ 鋼種、 $\times 100 \times 1$ 鋼種）を用いて、各鋼管のラブチャー限界応力を評価するための実管破壊試験（貫通切欠き付き銅管の水圧破壊試験）を行っている。その結果に対して、従来から用いられているラブチャー限界応力の簡易推定式である Maxey/Kiefner の評価式により求まる限界応力と、実験でのラブチャー限界応力を比較することにより、高グレード鋼管に対しては Maxey/Kiefner 式が単純に適用できないことを検証するとともに、当該推定式の適用限界について考察を加えている。

第 4 章では、鋼管のラブチャーに先立って切欠き先端から延性き裂が発生することに着目し、小型試験片（ここでは V ノッチシャルピー試験片）の曲げ試験と、その試験片に対して有限要素法を用いた応力・歪解析行って、切欠き先端からの延性き裂発生限界を定量的に評価している。その結果小型試験から得られた延性き裂発生限界歪一定条件が、内圧を受ける貫通切欠き付き鋼管の延性き裂発生限界にも適用できることを明らかにしている。

第 5 章では、第 4 章で求められた鋼材の延性き裂発生限界が、貫通切欠き付き鋼管のみならず、銅管と同じ板厚を

有する貫通切欠き付き平板における延性き裂発生限界にも適用できることに基づいて、解析的に延性き裂発生時の鋼管の周方向応力及び平板の引張応力を計算することによって、延性き裂発生を破壊クライテリアとした場合のバルジング係数を求めた。その結果、高グレード鋼管に対しても Folias が提唱したバルジング係数計算式が妥当性であることを検証し、Maxey/Kiefner らのラプチャー限界の簡易推定式の適用限界を支配する要因を明確にしている。

第6章では、シャルピー吸収エネルギーCVN が低い鋼材と高 CVN をもつ鋼材の両者に対して、シャルピー衝撃試験で得られる吸収エネルギーのもつ意味の違いを、シャルピー試験片の荷重－変位関係の形状に注目して考察し、CVN 値の意味が吸収エネルギー値の大きさで変化することを明確にしている。それに基づいて、鋼管のラプチャー限界応力を簡易に評価するための CVN 値に代わる破壊抵抗の指標を実験的手法によって見出し、高グレード・高 CVN 鋼管を対象としたラプチャー限界応力の簡易推定式を新しく提案している。

第7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、鋼管のラプチャー限界応力の簡易評価手法の適用性拡大に向けた今後の方向性について考察している。

論文審査の結果の要旨

エネルギー輸送にとって重要な役割を果たすガスパイプラインの、特に、我が国のような高密度居住地域の都市市街地に敷設される高圧ガスパイプラインの破壊安全性の確保は不可欠であり、そのためには適切な破壊性能評価が必要である。更に、パイプラインの高効率輸送を目指して、近年開発の著しい高強度ラインパイプの使用のニーズも高まってきている。このような現状に鑑みて、本論文では、都市部パイプラインの破壊限界評価にラプチャー限界評価を用いる場合、従来から用いられている評価手続が高グレードラインパイプには適用できないことを明確にして、新しい安全性評価手法の提案が試みられている。

本論文の主たる新しい着目点と得られた結論をまとめると、

- (1) 種々の強度と破壊靱性レベルをもつ鋼管を用いて実鋼管レベルでのラプチャー試験を実施し、従来からパイプラインにおいて用いられている Maxey/Kiefner の評価式は、高強度鋼管及び高靱性鋼管には単純に適用できないことを明らかにし、その適用限界を定量的に明らかにしている。
- (2) Maxey/Kiefner の評価式が適用できない原因について、評価式における鋼管のバルジング係数とシャルピー吸収エネルギー (CVN) の意義の2点に注目して考察している。まず、ラプチャーに先立つ延性き裂発生限界が切欠き先端での限界歪一定条件で評価できることを明らかにし、その基準に基づいて評価式におけるバルジング係数を求めている。その結果を基に、高グレードラインパイプに対しても Folias が提唱したバルジング係数計算式が妥当であること明らかにし、評価式の適用限界は CVN 値の評価に問題があることを明確にしている。
- (3) 高破壊靱性 (CVN 値) をもつ鋼管について計装化シャルピー試験や同じ試験片に対する静的曲げ試験などによる荷重－変位関係について考察を行い、シャルピー衝撃試験によって得られる吸収エネルギーは鋼材の切欠き先端からの延性き裂発生限界の指標としないことを示している。次いで、静的曲げ試験における延性き裂発生限界に基づく吸収エネルギー指標を提案し、ラプチャー限界内圧が、高強度・高靱性のラインパイプに適用できる限界評価手法となり得る結論を得ている。

以上のように、本論文では、都市部におけるガスパイプラインの破壊安全性評価に不可欠なラプチャー限界内圧の評価手法を、将来的に広く用いられることが予想される高グレード・高靱性ラインパイプに対しても適用可能な形式として提案するなど、安心・安全な社会基盤形成のためにも有用な成果を与えている。その成果は、高性能材料開発や破壊安全性評価などを通じて生産科学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。