



Title	カソード防食した埋設パイプライン材料の水素脆化と疲労に関する研究
Author(s)	山口, 祐一郎
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/40962">https://hdl.handle.net/11094/40962</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	山 口 祐一郎
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 13363 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 9 年 7 月 7 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	カソード防食した埋設パイプライン材料の水素脆化と疲労に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 柴田 俊夫 (副査) 教授 豊田 政男 教授 森 博太郎 教授 原 茂太

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、土壤中に埋設された都市ガスパイプラインの安全確保を目的として行われた研究であって、腐食防止のためにカソード防食を行った場合に、過防食による水素脆化を生じさせない防食電位条件を確立し、さらにカソード防食条件下において外的要因による傷を起点とする腐食疲労に対して寿命予測を行った研究をまとめたものであって、8章からなる。

第1章は序論であって、ガスパイプラインの安全確保の重要性と技術問題点とについて述べるとともに、本論文の構成について述べている。

第2章においては、ガス供給圧力が中程度 ( $1 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ ) のパイプで用いられている炭素鋼について、実環境から採取した種々の土壤中における水素脆化に対する感受性を溶接部に着目して評価し、さらに実環境で考えられるすべての土壤で適用できる水素脆化を生じさせない臨界防食電位の推定方法の提言を行っている。防食電位の最卑値として、真砂土(含水率14%)で-1.2 V、海成粘土(同30%)で-1.4 V (Cu/CuSO<sub>4</sub>電極基準)であることを明らかにしている。

第3章においては、パイプライン用炭素鋼について水素脆化によって生じた破面を、破面形態解析法(FRASTA)によって、定量的に解析し過防食環境下における割れメカニズムを明らかにしている。

第4章においては、パイプライン用高炭素鋼中に存在する溶接部等のハードスポット部の水素によるき裂の発生、進展の可能性について、鋼材中の水素量に着目して解析し、さらに実パイプラインで発生しうる傷の大きさと、き裂進展の可能性について考察を加えている。

第5章においては、高圧( $10 \text{ kg/cm}^2$ 以上)のガス供給パイプラインで使用されている材料を対象とし、変動荷重下における疲労におけるき裂発生と進展および全寿命について検討し、実環境下における疲労寿命の推定を行っている。

第6章においては、過防食下における変動荷重による疲労寿命について検討し、疲労き裂進展速度が水素量の関数となることを明らかにしている。

第7章においては、実環境下における過防食下の疲労寿命の検討を行い、き裂発生寿命、き裂進展寿命、ならびに破断寿命を明らかにし、パイプライン材料が過防食環境下で変動荷重を受けても十分寿命があることを確認している。

第8章では、本研究で得られた結果を要約している。

## 論文審査の結果の要旨

現在、全国の都市ガス事業者の数は244事業者で、そのガスパイプラインの総延長距離は約195,404 kmにも達している。これらのパイプラインは日常生活を支えるライフラインとして極めて重要であり、その保安の確保が最重要課題である。パイプラインの大半は土壤中に埋設されており、土壤による腐食を防止するため塗覆装が、さらに主要なパイプラインには外部電源法によりカソード防食が施されている。本研究は、パイプラインの過防食による水素脆化を回避し、かつ十分な防食条件を満たす臨界防食電位を求め、さらに実環境でのパイプラインの安全性を確保する条件について研究を行ったものである。

結果を要約すると以下の通りである。

- (1) ガス供給圧力が中程度(1~10 kg/cm<sup>2</sup>)のパイプで用いられている炭素鋼について、環境から採取した種々の土壤中における水素脆化に対する感受性を溶接部に着目して評価し、さらに実環境で考えられるすべての土壤で適用できる水素脆化を生じない臨界防食電位の推定方法の提言を行っている。すなわちこの鋼の水素脆化感受性を示す臨界水素濃度が10 ppbであることに着目して、各種環境において臨界水素濃度を与える電位を臨界防食電位とする方法を提案している。この方法によって、真砂土(含水率14%)における臨界防食電位は-1.2 V、海成粘土(同30%)では-1.4 V(Cu/CuSO<sub>4</sub>電極基準)であることを明らかにしている。さらに推定した臨界防食電位が妥当であることを、実環境を想定した定荷重実験によって確認している。
- (2) 破壊過程を再現する破面形態解析法(FRASTA)を用いて、配管用炭素鋼の過防食下における水素脆化破壊プロセス解析を行い、破壊は初期き裂が試験片外側から発生成長し、新たなき裂と合体を繰り返して最終破壊に至ることを明らかにしている。初期き裂は最大荷重点を越えてから発生し、空気中の結果と比べると水素添加により破壊が加速されること、またき裂発生は鋼中介在物のMnSにトラップされた水素により誘起されることを示している。
- (3) パイプライン表面の腐食孔等の欠陥からの水素誘起き裂進展について検討し、材料硬度がHv 300以下では水素によるき裂進展は認められないことを確認している。また Hv 300以上では、き裂進展の始まるときの応力拡大係数K<sub>IHE</sub>は、水素量C<sub>0</sub>の関数としてK<sub>IHE</sub>=16.9×(C<sub>0</sub>)<sup>-0.146</sup>で表されることを明らかにしている。
- (4) パイプライン材料の低サイクル疲労実験および有限要素法を用いて疲労寿命を評価し、環境の影響のない場合には全疲労寿命のうちき裂発生寿命がその大半を占め、パイプライン表面に傷が存在しても、実環境で加わる応力によってき裂発生が起こるまでの寿命は十分に長く、実地寿命において無視できることを明確に示している。
- (5) 過防食環境下において内圧疲労(2回/1日)が加わった場合のき裂進展速度を、繰り返し周波数0.5 Hzを用いて評価し、き裂進展速度が鋼中水素量の関数として表わされることを明らかにしている。すなわち、き裂伝播速度は、パリス則に従い、da/dN=C(ΔK)<sup>m</sup>で表されることを明らかにしている。ただし各定数は、C<sub>0</sub>を材料中の水素量(ppm)として、C=1.72×10<sup>-10</sup>×(10<sup>-5.6</sup>C<sub>0</sub>)およびm=3.05+4.74C<sub>0</sub>で表される。
- (6) 過防食環境下における破断寿命に占めるき裂進展寿命とき裂発生寿命を分離し、内圧疲労による寿命を評価した結果、パイプライン表面に傷が存在し内圧疲労を受けても材料の寿命は十分長く、その耐用年数は100年以上あることを明らかにしている。

以上のように、本論文は都市ガスを供給する地中埋設パイプライン材料を対象として、各種土壤環境下においてカ

ソード防食時に過防食による水素脆化を生じさせない臨界防食電位を求める方法を提案するとともに、この方法によって求められた臨界防食電位が有効であることを実証している。また過防食下における水素脆化プロセスの解析を行うとともに、実環境の変動荷重下におけるパイプライン材料の寿命評価を行い、これらの材料寿命が十分長いことを明らかにし、ガス供給パイプラインの安全性向上の指針を示すことに成功している。その成果は材料工学ならびに環境材料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。