

低合金鋼ラインパイプにおける応力腐食割れに関する研究：機構解明と耐応力腐食割れ性能向上

嶋村，純二

<https://hdl.handle.net/2324/6787559>

出版情報：九州大学，2022，博士（工学），課程博士
バージョン：
権利関係：やむを得ない事由により本文ファイル非公開（2）

氏 名 : 嶋村 純二

論 文 名 : 低合金鋼ラインパイプにおける応力腐食割れに関する研究
～機構解明と耐応力腐食割れ性能向上～

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

エネルギー分野の動向として、化石燃料の中でも燃焼時の CO₂ 排出量の大きい石炭や石油の利用が減少し、CO₂ 排出量を削減できる天然ガスおよび液化天然ガスの利用が増加すると予測されている。採掘された天然ガスや原油は腐食性の高い CO₂ ガスや H₂S ガスを多く含み、油井管パイプの応力腐食割れを促進する。本研究は、そのようなサワー環境下にあるラインパイプ用高強度鋼で生じる硫化物応力腐食割れの境界条件、および応力腐食亀裂の発生・伝播メカニズムを明らかにしようとするものである。

本論文は 6 章で構成されており、それぞれの概要を以下に示す。

第 1 章では、応力腐食割れに関する工業的重要性、特に低合金ラインパイプにおける硫化物応力腐食割れに影響を与える材料因子、発生機構についてこれまでの知見をまとめている。

第 2 章では、サワー環境下において、低合金ラインパイプの硫化物応力腐食割れ挙動に及ぼす試料の極表面硬さ分布、および H₂S 分圧の影響を明らかにするため、4 点曲げおよび SSC 試験を実施している。それにより、硫化物応力腐食割れ発生に対する極表面硬さ限界値は、H₂S 分圧 0.07 bar から 1 bar までは分圧の増加と共に減少し、1 bar 以上では一定となることを明らかにしている。これは、試料表面に生じる腐食生成物が鉄の溶解反応を抑えることがその主因である事を電気化学的測定から明らかにしている。その結果を基に、試料冷却速度を低減し、試料表層をグラニューラーベイナイト主体の組織にする事によって、1 bar 以上の H₂S 分圧においても、硫化物応力腐食割れに耐性を持たせることに成功している。

第 3 章では、電気化学分極曲線を精緻に測定する事によって、カソード反応、アノード反応何れも硫化物応力腐食割れを促進することを明らかにしている。また、腐食環境下に晒された試料表面に最初に生じる腐食ピットはアノード反応によって生じるが、腐食ピットの成長に伴ってピットの先端ではカソード反応が促進されるようになり、最終的には水素脆化割れへ遷移する事を初めて明らかにしている。また、ケルビンプローブ顕微鏡を用いて塑性変形に伴って腐食初期にアノード分極が促進され、腐食ピットの生成が促進されることを明らかにしている。また、硫化物応力腐食割れにおける素過程が腐食ピット発生から亀裂進展に至る過程でダイナミックに変化する硫化物応力腐食割れの破壊メカニズムを明らかにしている。

第 4 章では、有限要素計算を用いて、応力と水素拡散の関係について詳細な検討を行っている。

その結果、第3章で明らかになった亀裂先端での水素脆化割れへのダイナミックな遷移は、腐食進行に伴う初期腐食ピットの進展が、亀裂進展での応力を上昇させ、亀裂先端への水素拡散が促進されることで生じる事を明らかにした。これらの結果より、硫化物応力腐食割れを抑制させるためには、試料表面の硬さをある水準以下に抑えることが重要である事を指摘している。

第5章では、本研究により構築した硫化物応力腐食割れの破壊メカニズムとその抑制機構が実機にも適用可能であるかを検証するため、硫化物応力腐食亀裂伝播停止性能に及ぼす局所的に硬度の高い領域（ハードスポット）深さの影響について、レーザ熱処理を施し人工的にハードスポットを持つ実機サイズの試験片で4点曲げ硫化物応力腐食割れ試験を実施している。その結果、ハードスポットより深い領域での硬さを低下させると、硫化物応力腐食初期亀裂伝播に対する抵抗が改善することを明らかにしている。この時、亀裂先端での水素量は、水素由来の亀裂発生閾値に達していないこともあわせて示しており、水素脆化抑制メカニズムを明らかにしている。

6章では、得られた結果を総括している。