

パイプライン用鋼の落重試験における破面形成過程に及ぼす試験条件の影響
**Influence of Testing Conditions on Fracture Surface Evolution
 in Drop Weight Tear Test for Pipeline Steels**

学籍番号 03100908 竹下 明宏
 指導教員 粟飯原 周二

(平成 24 年 2 月 8 日提出)

Keywords: パイプライン 高張力鋼 落重試験 SEM 観察 FEM

1. 序論

近代以降の工業化による石油の過剰使用に伴い地球温暖化の問題が浮上しており、その対抗策として石油から天然ガスへのシフト、CCS の使用が考えられている。パイプラインは今後これらの展望に大きな役割を担っていくことになるが、その際パイプラインの安全性評価が非常に重要になっている。破壊に対するパイプライン用鋼の強度は安全性に寄与する重要なファクターであり、強度測定には現在、落重試験(Fig.1)を用いた試験片破面の延性破面率(Fig.2[1])計測が広く用いられている。試験片の破面は主に脆性破面と延性破面に大別され、延性破面が占める割合が大きいほど強度が高いといえる。しかし、最近の高強度鋼は破面に AHM(Fig.3)、異常破面(Fig.4)、セパレーションといったどちらも判別できない破面が現れている。本研究では、延性破面率の正確な測定を行うため、この 3 種類の破面の発生メカニズムについて調査した。

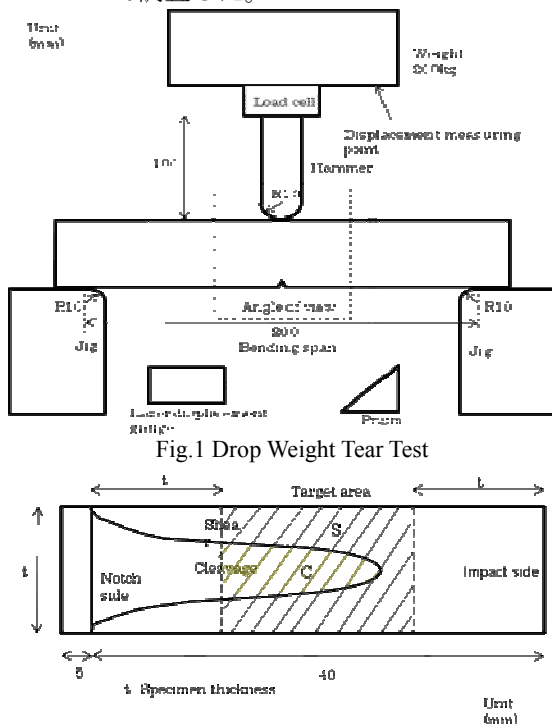


Fig.2 Fraction of Shear Area

2. AHM の生成メカニズム

2.1 AHM とは

落重試験では、Fig.3 のような AHM(Arrow Head Marking)という矢じり模様の破面が観察されている[2]。特徴はその独特な形と、ミクロな視点において、板面と平行な面が連なって AHM を形成している点である。

2.2. 実験概要

落重試験の際、試験片が落錘から受ける弾性振動が AHM の原因であると仮説を立て、供試鋼-1 の 4 本の試験片を用い、破壊形態と温度を変えて試験片を破断し、その破面を観察した。4 本の試験片の条件は Table.1 の通りである。仮説が正しければ、準静的破壊を行った A6~A8 の 3 本の試験片には AHM は生じない。なぜなら、準静的破壊は弾性振動を伴わないからである。

2.3 結果

試験片の破壊後の破面観察の結果、A6~A8 の 3 本の板表面付近に AHMらしき細かな模様があった。確認するため、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いてミクロ組織の観察を行った。その結果、細かな模様は AHM である判明した。以上より仮説は棄却された。

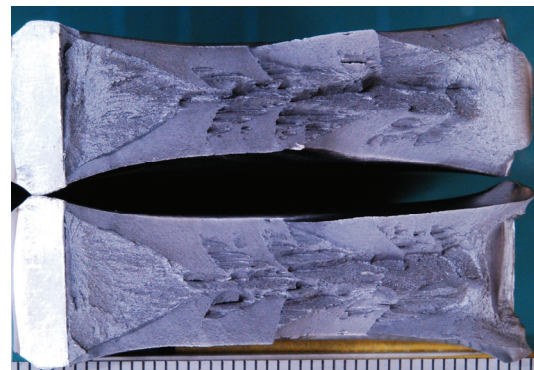


Fig.3 picture of AHM

Table.1 Test Conditions

Sample number	A5	A6	A7	A8
Test Type	Dynamic	Q.static	Q.static	Q.static
Test temperature(°C)	-20	-80	-60	-40

3. 異常破面の生成メカニズム

3.1 異常破面とは

異常破面とは通常の切り欠き底からの脆性破面とは異なり、打撃部側から発生する脆性破面のことである[3]。Fig.4 の破面の模式図の打撃部側(写真右側)の Ab(Abnormal fracture)が異常破面を指す。

3.2 実験概要

供試鋼-2 を用いて様々な試験温度の下、落重試験を行う。破壊した試験片のうち、異常破面が発生した試験片の破面を SEM 観察を行い、異常破面の発生点を探す。具体的には、異常破面はへき開面であり、へき開面の放射状の流れを SEM 写真で逆に辿ることで起点を探す。また、マイクロ組織の違いが異常破面の生成にどのような影響を与えるかを調べるために、供試鋼-2 はマイクロ組織の異なる 4 鋼種が各 3 本ずつの合計 12 本となっている。Table.2 にまとめた。

3.3 結果

異常破面は中心偏析を持たない CB と持つ CBS に見られた。このことから中心偏析の有無はセパレーション形成に関係ないといえる。次に、異常破面の SEM 観察を行った結果、異常破面の起点は、切り欠き底側にある、異常破面近傍のセパレーションであることがわかった。

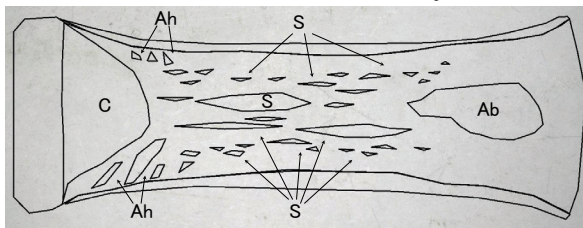


Fig.4 Reproduced figure of separation

Table.2 Feature of micro structure of test steel-2

鋼種名	マイクロ構造	中心偏析
B	粗粒ベイナイト	×
CB	粗粒ベイナイト	×
CBS	細粒ベイナイト	○
CFB	粗粒フェライト+ベイナイト	×

4. セパレーションの生成メカニズム

4.1 セパレーションとは

Fig.4 の様に破面に対して鉛直方向の平面を形成する破壊形態である。セパレーションの破壊面は脆性破面であるが、破面垂直方向から見ても観察できないため、延性破面率の計算に考慮しない。

4.2 実験概要

上述した供試鋼-1 の破面を観察すると、Dynamic で破壊した A5 と Q.static で破壊した A6 ~ A8 では、セパレーションの分布が異なる。前者は板厚中心部にのみ発生するが、後者は破面全体に生じる。この原因は、破壊形態間の破面形態の違いが生み出す、異なる板厚方向(Z 方向)の応

力の大きさが原因であるとし、有限要素法(FEM)を用いて試験片に作用する応力を計算し検証した。

4.3 結果

破面形態が、Q.static では板面に垂直な面(flat)を持ち、Dynamic では板面と 45° 傾いた面(shear)を持つことを考慮して FEM の計算を行った。Fig.6 は切り欠き底付近の Z 方向の応力を破面形態によって比較したグラフである。Fig.6 を見ると flat 面の方が Z 方向の応力が大きく、また、板厚中心部ほど応力が高い。これは、観察した破面のセパレーション分布と対応する。故に、セパレーション発生のためには、板厚方向の応力が高くなる必要があることがわかった。

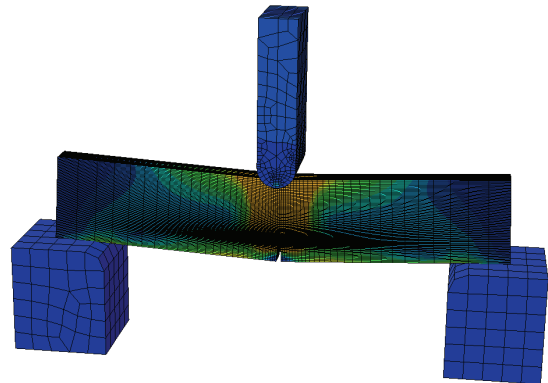


Fig.5 FEM model

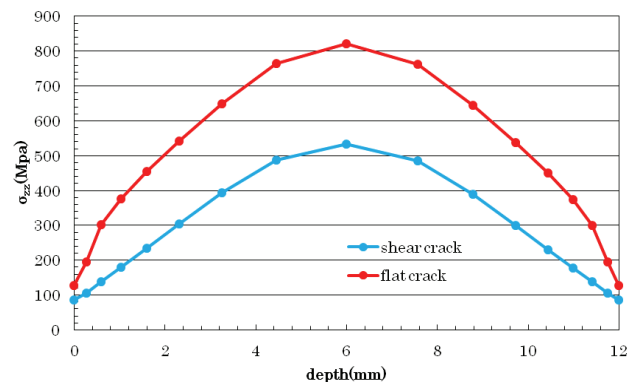


Fig.6 σ_{zz} distribution

5. 参考文献

- [1] American Petroleum Institute, 'Recommended Practice for Conducting Drop-Weight Tear Tests', February 1996
- [2] R.Muraoka, N.Ishikawa, S.Endo, "EVALUATION FOR ABNORMAL FRACTURE APPEARANCE IN DROP EIGHT TEAR TEST WITH HIGH TOUGHNESS LINEPIPE", June 2002, Oslo, Norway, OMAE2002-28183.
- [3] Kjell Olav Halsen, Espen Heier, Det Norske Veritas, "DROP WEIGHT TEAR TESTING OF HIGH TOUGHNESS PIPELINE MATERIAL", IPC04-0609, October 2004.