

# 微小試験による局所部材質評価技術

微小試験とは、文字どおり数mm程度のきわめて小さな試験片をもちいて、材料の機械的特性を評価する試験方法であり、溶接部などの局所領域の材料特性を評価する手法として注目されている。

本稿では、微小シャルピー試験およびSP(Small Punch)試験を中心に、当社の微小試験技術について紹介する。



## 微小試験とは

微小試験技術は、中性子照射および特殊環境下における材料強度特性評価法として発展してきた。現在、この技術は、原子力分野にとどまらず、広く利用されつつある。

たとえば、材料評価に必要な不可欠な機械的特性は通常、JISに準拠した引張試験、曲げ試験、抗折試験などで評価されているが、いずれも寸法数

10mm以上の試験片が必要である。いっぽう、微小試験では、数mmオーダーの試験片をもちいて試験をおこなうため、溶接熱影響部などの限定された微小な局所の機械的特性を評価することができる。また、構造体をほとんど傷つけることなく、構造材料の材質劣化診断が可能となる技術である。

1) 日本原子力学会：微小試験片材料評価技術の進歩、「微小試験片材料評価」技術研究専門委員会成果報告(1992年)

## 微小シャルピー試験

当社の微小シャルピー試験装置（本来は微小衝撃試験といわれ、シャルピー衝撃試験のミニチュア試験片をもちいた計装化シャルピー試験を示す）は、室蘭工業大学で開発<sup>2)</sup>された微小試験機を基に製作されたものである。

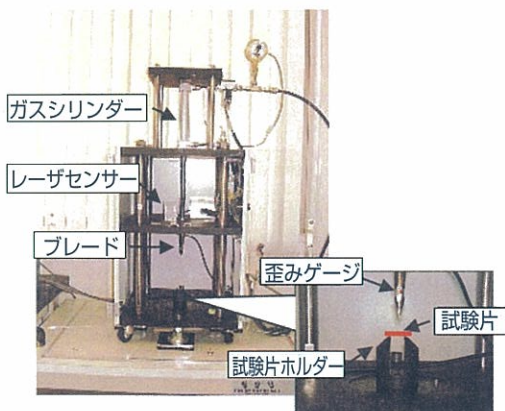
第1図に装置の概略を示す。圧縮ガスが充填されたシリンダーロッドの下部に取り付けられたブレードが、衝撃的( $1 \times 10^3$ mm/s)に垂直落下する。セットされた試験片は、ブレードの衝撃力を垂直に受け破壊される。このときの荷重は、ブレードに取り付けられた歪みゲージにより検出される。

また、ブレードの変位および速度は、反射板を利用したレーザ変位計によって計測され、アナライジングレコーダーにより、荷重-変位曲線（第2図）をえることができる。この荷重-変位曲線下の面積が衝撃吸収エネルギーに相当する。

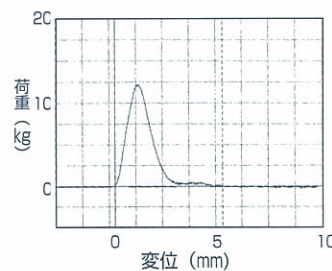
試験片の微小化に伴い、吸収エネルギーおよびDBTT (Ductile-Brittle Transition Temperature：延性-脆性遷移温度)に試験片形状依存性が現れる。第3図<sup>3)</sup>は試験片寸法とDBTTとの関係を示す。この図から、微小試験片でえられたDBTTから標準試験片で予想されるDBTTを推定することができる。三沢らの研究<sup>3)</sup>では吸収エネルギーの寸法効果についても報告されている。

2) A.Kimura et al. Mater.Sci.and Eng., A176(1994),p.425

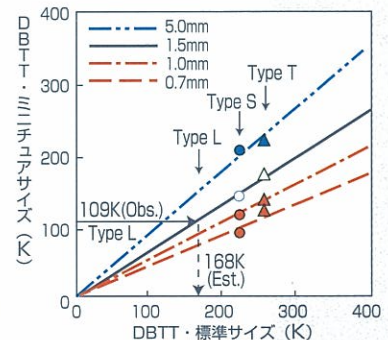
3) 三沢俊平ほか：鉄と鋼, vol.82(1996)No.8, p.707.



第1図 微小シャルピー試験機



第2図 微小シャルピーの荷重-変位曲線



第3図 試験片寸法とDBTTの関係<sup>3)</sup>

## 微小シャルピー試験の利点

シャルピー試験は、破壊に要したエネルギーを吸収エネルギーとして靱性評価する方法である。吸収エネルギーと温度の関係を求め、エネルギーの遷移現象をとらえるには、DBTTや、FATT(Fracture Appearance Transition Temperature：破面率遷移温度)がもちいられる。一般的な鋼の場合、低温側では脆性破壊を、高温側では延性破壊を起こす。

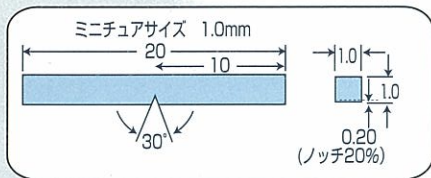
このような遷移現象は、bccやhcp構造を持つ金属、たとえば溶接構造用鋼などで顕著に現れるといわれている。ところが、溶接継手における溶接熱影響部などの局所的な材質評価を、標準衝撃試験片(JIS Z2202)でおこなおうとしても、破断時の亀裂が溶接熱影響部だけでなく、溶接金属や母材側へ進展し、狙った部位の局所的なDBTTやFATTが評価できない場合が多い。

E-1

E-2

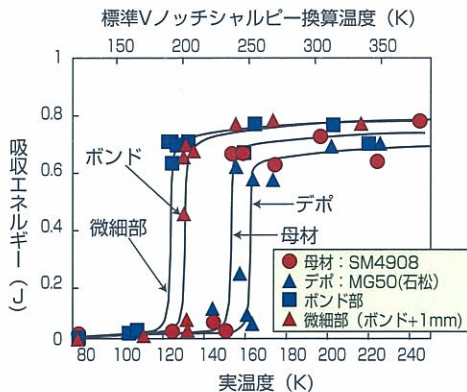
E-3





第4図 微小シャルピー試験片<sup>3)</sup>

4)横井浩一ほか：日本金属  
学会講演概要集、第123  
回秋期大会(1998),p88.

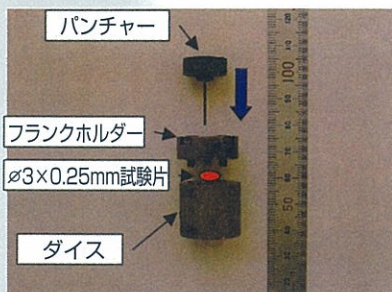


第5図 局部的靱性評価例<sup>4)</sup>

いっぽう、微小シャルピー試験では、試験片サイズが1.0×1.0×20mm程度(第4図)であり、評価したい部位だけで破断させることができるため、DBTTおよびFATTの局所的評価が可能である。溶接部の局所的靱性評価をおこなった例<sup>4)</sup>を第5図に示す。

母材部、デポ、ボンドおよび微細部(ボンドから1mm)でDBTTに変化が見られる。ボンド部および微細部でDBTTが低温側にシフトする現象は、組織微細化によるものと推定される。

## E-4 SP試験



第6図 SP試験用治具

SP試験は、第6図に示すような治具にセットした試験片に押し込み荷重を加えたときの、荷重-変位曲線から、材料の破壊特性を調べる方法として開発された。現在では、原子炉材料の照射損傷や、高温構造機器材料の長時間使用による材質

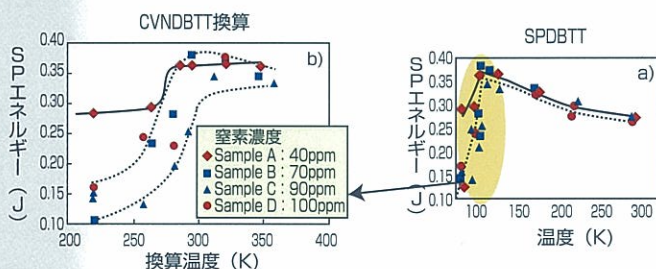
劣化診断などの評価に利用されている。試験片は一番小さなもので、φ3×0.25mmの円板型試験片を使用する。

第6図の治具に固定された試験片は、パンチャーにより張り出し状態の破壊を起こす。このときの荷重をロードセルで、変位をクロスヘッドの移動量で検出し、荷重-変位曲線をえる。えられた荷重-変位曲線の積分値は、SPエネルギーと言われ、SP試験に於ける塑性変形エネルギーを意味する。

## E-5 SP試験の利点

5)松下啓ほか：日本機械  
学会論文集(A編),vol.55  
(1989),p.515

SP試験では、微小シャルピー試験と同様に、延性-脆性遷移温度 (SPDBTT) がえられる。



第7図 SPDBTTをCVNDBTTに換算した例<sup>7)</sup>  
(SPDBTT=0.35・CVNDBTT)

6)Joo Y.H.et al.,  
Proc.SMIIRT(1991).  
7)横井浩一ほか：  
R&D神戸製鋼技報,  
vol.49(1992)No.2,p.48.

これまでの研究<sup>5),6)</sup>により、標準シャルピー衝撃試験(CVN)でえられる遷移温度(CVNDBTT)とSPDBTTに良い相関関係がえられることが分かっており、SP試験により、CVNDBTTを推定することが可能となった。

$$SPDBTT = a \cdot CVNDBTT \quad \text{..... (1)}$$

$$a = 0.35(\text{変形速度} = 3.3 \times 10^{-3} \text{mm/s})$$

$$a = 0.45(\text{変形速度} = 3.3 \text{mm/s})$$

$$a = 0.54(\text{変形速度} = 8 \times 10^3 \text{mm/s})$$

(1)式に示すように、係数  $a$  は速度依存性を持っている。第7図にCVNDBTTへの換算例<sup>7)</sup>を示す。

## E-6 その他の微小試験

上記の試験以外にも、微小引張試験、微小硬さ試験などがある。

微小引張試験は、試験片全長20mm、幅5mm程度の試験片をもちいて引張試験をおこなう。降伏応力に対する試験片板厚の影響や、引張強さ、均一伸びとアスペクト比(試験片平行部の板厚と幅の比)の関係などの諸問題が残っているが、評価方法の一つとして利用されている。

微小硬さ試験では、従来の微小硬度計に加えて、本年度に新規導入した「ナノインデントXP/DCM:MTS Systems Corporation製」により、さらに微細組織領域(数μm)あるいは薄膜における

硬度、弾性率などの材料特性評価技術にも取り組んでいる。

微小領域における材料特性評価技術は、大型構造物の材質劣化診断や、変質部、改質部などの局所的特性をえるために必要不可欠な技術である。微小試験により、従来の標準試験片では評価できなかった、新たな知見が見出される可能性は十分ある。

[エレクトロニクス事業部 物理解析部 表面・構造解析室 材料評価Gr. 三宅修吾]