



## 溶接部からの不安定破壊防止のための破壊靱性評価の問題点

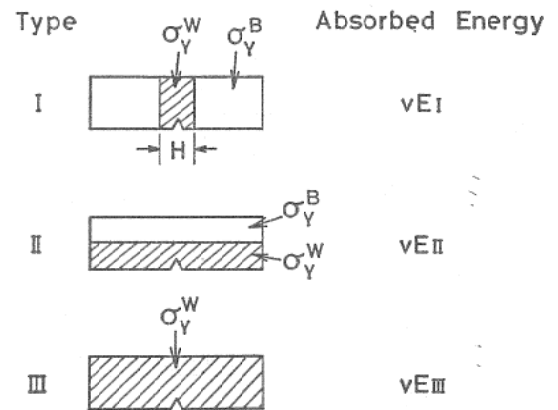
豊田 政男\*

溶接構造物の構造安全性を確保することの重要性はいうまでもない。最近の LPG, LNG 等の大型プラントや大型の発電プラントを見ると、不安定破壊の可能性をなくすることが不可欠な必須条件という極端な議論さえなされることがある。過去の経験から、破壊事例には溶接部が主要な役割を果たしてきたことも事実であり、溶接部の破壊抵抗の確保に注意が払われている。しかし、これまでの破壊靱性要求は多くは経験的手法に根拠を置いていたが、最近のような苛酷な使用条件を想定し、従来に比して特殊な材料、かつ高エネルギー密度溶接法などが適用されるようになると、従来から用いていた靱性評価法をそのまま適用するのみでよいか問題が残る。

とくに、溶接部に存在する巨視的な不均質は、均質材に対して開発された従来の靱性試験を用いることに、いくつかの問題を生じさせる。すなわち、溶接部に対する靱性試験さらには、その評価法のあり方が問われているといえる。ここでは、最近の研究の現状をふまえて、靱性評価に関する 2, 3 の問題指摘を試みる。

### 溶接部のシャルピ衝撃吸収エネルギーの意義

シャルピ試験は、その簡便さから工業的には古くから用いられ、靱性の点からの材料選定にはそれなりの役割を果たしてきた。シャルピ試験は、従来からも指摘されているように必ずしも特性試験でない。したがって、時に靱性指標として意義が問われることもある。シャルピ吸収エネルギーは、当然ながらシャルピ試験片内の変形のひろがり方に依存するので、溶接部のよう



	Overmatching	Undermatching
Type	$\sigma_Y^W > \sigma_Y^B$	$\sigma_Y^W < \sigma_Y^B$
I	$H \leq 6\text{mm}$	$vE_I < vE_{III}$
	$H \geq 6\text{mm}$	$vE_I \approx vE_{III}$
II	$vE_{II} > vE_{III}$	$vE_{II} < vE_{III}$

図1 母材と溶接金属の強度が異なる継手のVノッチシャルピ試験吸収エネルギーの意義。  
Type I, II: 溶接金属に切欠きをもつ場合、Type III: 全溶接金属試験片の場合

に強度の不均一が存在する場合には、その不均質割合の影響を受ける。著者らは既に鋼の電子ビーム溶接継手を対象とし、溶接部の硬化が著しいものでは、見かけ上のシャルピ吸収エネルギーが過大評価されることを示した<sup>1)</sup>。図1は、溶接金属部に切欠きを付して得られるシャルピ吸収エネルギーが、母材と溶接金属の強度差でどのように変化するかをまとめたものである。この図に示すように、吸収エネルギーは必ずしも切欠き底の靱性を代表するものでなく、強度の不均一の影響を大きく受けることもあることがわかる。

### 不均質材におけるシャルピ吸収エネルギーと破壊発生靱性の相関

破壊力学的手法の発達に伴い、破壊靱性指標

\* 豊田政男 (Masao TOYODA), 大阪大学, 工学部, 溶接工学科, 佐藤研究室, 助教授, 工博, 溶接力学

としても種々のものが提案され、例えば、先在するき裂からの不安定破壊の発生限界として、き裂先端での変形の代表量であるき裂開口変位 (COD,  $\delta$ ) や、ストレッチ・ゾーン幅 (SZW) などが用いられ、現実の構造物での靱性要求にも取り入れられている。

ところで、均質材ではこれらの破壊発生指標とシャルピ吸収エネルギーの間には何らかの相関

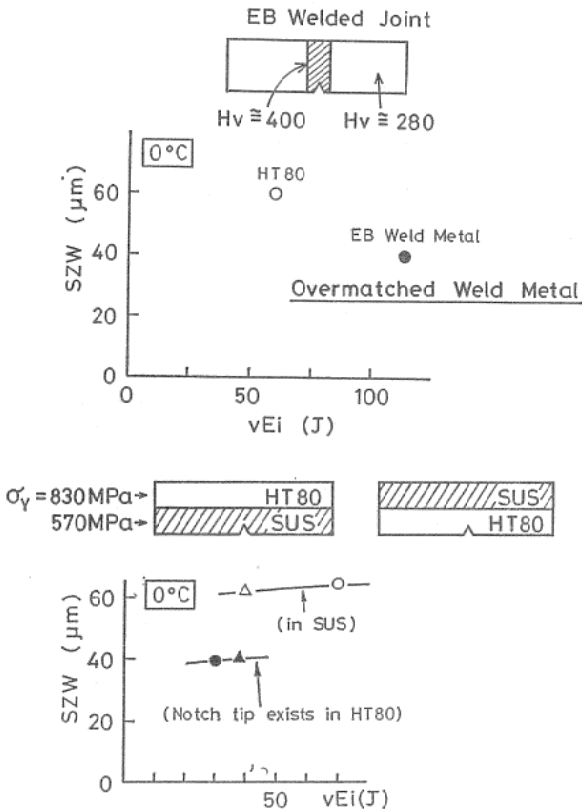


図2 不均質材におけるシャルピ吸収エネルギーとSZWの相関

関係のあることが示されているが、溶接部のような巨視的不均質をもつ材では、前項の結果から予想されるように、吸収エネルギーは必ずしも限界 COD や SZW とは良い相関が見られないことが考えられる。図2は<sup>2)</sup>、電子ビーム溶接部のように溶接部の強度が母材に比べて著しく高いようなものや、クラッド鋼から採取したき裂進行方向に材質の不均一をもつものの場合の、吸収エネルギーとSZWの相関をみたものである。図のように吸収エネルギー  $vE$  は破壊発生抵抗と一対一の線形関係にない。

一般に、発生指標は、き裂先端近傍の靱性分布の最小値支配型である<sup>3)</sup>のに対して、吸収エネルギーは、き裂近傍や破面を形成している材質の平均的な特性を示すといえる。したがって、溶接部のシャルピ試験で破壊性能を評価しようとするときにはこの点に十分な注意を払うことが重要といえる。

不均質材の靱性試験法の問題点

従来の破壊靱性試験法の多くは、前述のように均質材に対して開発されたもので、溶接部へは単純に適用されているに過ぎない。したがって、時に、評価の仕方に問題を生じる可能性がある。

例えば、最近エネルギープラントとして注目されている LNG タンクには 9% Ni 鋼が用いられることがある。その場合、これまでの溶接継手では、母材よりも低強度な 70% Ni 系の溶接材料が用いられ、いわゆる軟質溶接継手が適用さ

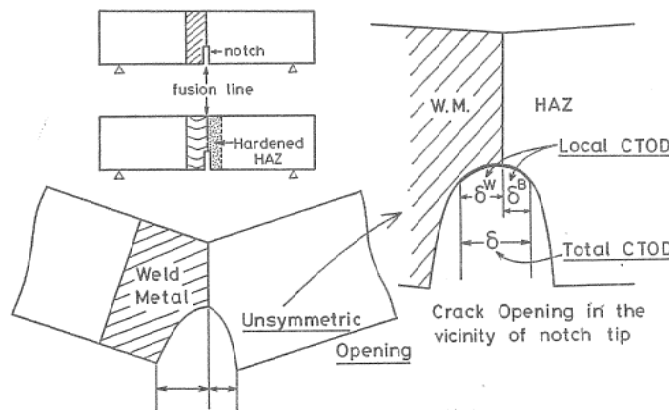


図3 強度の急変部に切欠きをもつ材の非対称開口変位と局部 COD の定義。

れている。この場合に、溶接ボンド部の靱性を把握する目的で、ボンド切欠きの靱性試験を実施した場合、図3に模式的に示すように、強度の不均一のために変形は当然ながら非対称になり、き裂開口量などは各部で異なる。この場合、COD 試験において均質材では成功しているような全体の巨視的な変形から換算して求められる量(全開口変位量)では、き裂先端近傍の各部分の応力やひずみの変形状態量の大ききの指標とはならないことが予想される。著者らは、このような観点から、9% Ni 鋼溶接継手を対象とするときの局所的な変形量を指標とし、それを算定するための新しい手法の提案<sup>4)</sup>や、その一般化への試み<sup>5)</sup>を発表している。

不均質材の破壊力学の確立の必要性

これまで例示してきたように、溶接部に注目するとき、それがもつ巨視的な不均質性の存在を無視できない場合がある。ここで取り上げた破壊靱性試験の問題のみならず、継手としての破壊性能を考える上でも、不均質性の影響に十分な注意を払う必要がある。その場合、従来の破壊力学的な取り扱いとは異なる手法の確立が必要であろう。

例えば、図4は80キロ鋼を母材とし、降伏応力が40, 60kg/mm<sup>2</sup>であるような軟質溶接材料をもつ継手のボンド部に切欠きを入れて引張った場合のき裂先端近傍での母材と溶接金属部の塑性ひずみ分布を示したものである<sup>5)</sup>。この図に示すように、高強度側では、隣に低強度な材が接合されていることによって、ひずみ集中の程度が同じ荷重レベルでの均質材よりも明らかに小さくなっている。これは、均質材の破壊力学では予想されない事実である。

このように、溶接部の破壊性能を把握し、より適切な靱性評価を行うためには

「不均質材の破壊力学」

の体系的な確立が必要といえよう。

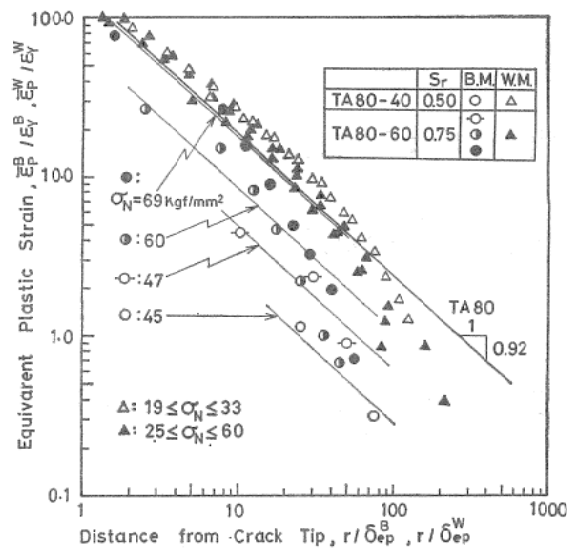
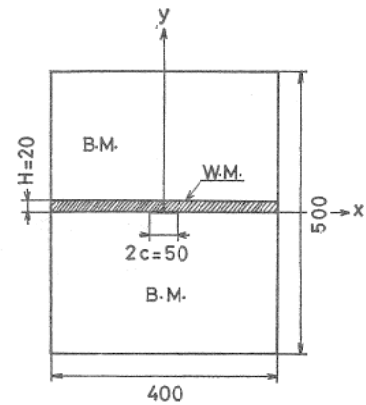


図4 切欠きをもつ軟質溶接継手が引張り荷重を受ける場合のき裂先端近傍の相当塑性ひずみ分布。σ<sub>N</sub>: ネット応力, r: き裂先端からの距離, δ<sub>ep</sub><sup>B</sup>, δ<sub>ep</sub><sup>W</sup>: 母材, 溶接金属側の局部 COD。

参考文献

- 1) 佐藤邦彦, 豊田政男他: 溶接学会誌, 51(1982), No. 8, p.679.
- 2) 佐藤邦彦, 豊田政男: IIW Doc. X-1031-83
- 3) 豊田政男, 佐藤邦彦: 関西造船協会誌, 179 (1980), No.12, p. 75.
- 4) 有持和茂, 豊田政男, 佐藤邦彦他: 溶接学会誌, 52 (1983), No. 2. p. 148
- 5) 佐藤邦彦, 豊田政男, 豊田政男他: 溶接学会誌, 52 (1983), No. 2. p. 154