



Title	シャルピー衝撃靶性からCTOD破壊靶性の予測に関する 破壊力学的アプローチ
Author(s)	高嶋, 康人
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48639">https://hdl.handle.net/11094/48639</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	高嶋 康人
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 21576 号
学位授与年月日	平成 19 年 9 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科生産科学専攻
学位論文名	シャルピー衝撃韌性から CTOD 破壊韌性の予測に関する破壊力学的アプローチ
論文審査委員	(主査) 教授 南二三吉 (副査) 教授 豊田政男 教授 小溝 裕一 教授 座古 勝

### 論文内容の要旨

本研究では、シャルピー衝撃韌性と CTOD 破壊韌性の対応関係を理論的に導く手法について検討し、そのための手段としてワイブル応力概念を用い、構造用鋼の脆性破壊発生限界評価に適用した。

第 1 章では、シャルピー衝撃韌性と静的試験で得られる破壊韌性値の相関関係に関する従来の研究とその問題点をまとめ、本研究の目的を述べた。

第 2 章では、ワイブル応力概念をシャルピー衝撃韌性の解析に適用するにあたり、破壊韌性試験片と動的負荷を受けるシャルピー試験片の応力場特性の違いを FEM 解析によって把握し、脆性破壊起点と応力場の対応関係を検討することでワイブル応力の定義に関わる破壊プロセスゾーンを明確にした。

第 3 章では、この破壊プロセスゾーンの定義に基づいて求められる破壊限界ワイブル応力分布が切欠き/き裂といった試験片形状の違いや負荷速度の違いによらず一定であることを確認し、動的負荷が作用するシャルピー試験片の脆性破壊発生限界の評価に対するワイブル応力概念の適用性を明らかにした。

これらの結果をふまえ、評価対象とする破壊様式を延性き裂の発生を伴わない脆性破壊となるモードに限定し、シャルピー衝撃試験と CTOD 破壊韌性試験でそのような破壊様式となる温度域について鋼材の機械的性質の影響を含めて相関関係を評価する手法の確立に取り組んだ。

第 4 章では、延性き裂発生条件とワイブル応力概念を用いた脆性破壊発生条件の両者を用いてシャルピー衝撃試験と CTOD 破壊韌性試験の遷移温度(本論文では延性き裂の発生と同時に脆性破壊を呈する温度)の対応関係を導く手法を提案し、シャルピー試験片の遷移温度  $T_i^{\text{Charpy}}$  と鋼材の延性き裂発生限界ひずみを求めることで破壊韌性試験片の遷移温度  $T_i^{\text{CTOD}}$  を予測できることを示した。

第 5 章では、提案した手法を用いてシャルピー試験片と破壊韌性試験片の遷移温度の相関関係に及ぼす機械的性質の影響を解析的に検討し、両試験片の遷移温度差を支配する機械的性質を明確化した。

このようにして得られた知見をもとに、第 6 章では、両試験片の遷移温度差評価式を鋼材の機械的性質の影響を含めて導く工業的手法を構築した。これは降伏応力  $\sigma_Y$  と相当塑性ひずみが 2 % となるレベルにおける相当応力の値  $\sigma_{\text{flow}}$  ならびにシャルピー衝撃試験の遷移温度  $T_i^{\text{Charpy}}$  の 3 つのパラメータから遷移温度差  $\Delta T_i (= T_i^{\text{Charpy}} - T_i^{\text{CTOD}})$  を予測するもので、その適用性について従来の実験データを用いて検証し、降伏応力 300 MPa 級から 800 MPa 級ま

での構造用鋼に対して適用できることを確認した。

第7章では、本研究で得られた結論をまとめ、全体を総括した。

## 論文審査の結果の要旨

シャルピー衝撃試験は構造用材料の破壊靶性を評価する試験法として工業的に広く用いられている。通常は、試験で得られる吸収エネルギーや延性・脆性遷移温度を指標として、材料破壊靶性の比較評価がなされるが、経験的相関式を介して、吸収エネルギーを破壊力学試験で得られる限界 CTOD や限界 K 値に換算し、構造要素の破壊安全性評価に適用されることも多い。しかし、この経験式は自ずと鋼種や鋼材強度レベルなど適用範囲が限られている。本研究は、構造用鋼の脆性破壊を対象として、シャルピー試験での吸収エネルギーから限界 CTOD を理論的に予測する手順、および、この予測手順の適用限界を鋼材特性と関係づけて導く工学的手順を開発することを目的としている。本論文での主たる着眼点と結論をまとめると以下のようである。

- (1) シャルピー衝撃試験と CTOD 破壊靶性試験では、試験片形状・厚さの違い、歪速度の違いから、き裂/切欠き先端近傍の応力場が大きく異なるが、脆性破壊はいずれも、負荷の増加につれて応力が増加する高応力域から発生している。このことより、シャルピー衝撃試験と CTOD 破壊靶性試験の脆性破壊駆動力は、き裂/切欠き先端近傍の応力除荷領域を除いた塑性域内の応力を脆性破壊への重みを考えて積分して得られるワイル応力で評価できる。
- (2) 一方、シャルピー衝撃試験と CTOD 破壊靶性試験において、延性き裂が発生する条件は、試験片形状の違い、歪速度の違いによらず、き裂/切欠き底での局所歪（相当塑性歪）一定の条件で与えられる。
- (3) これらの事実をふまえ、シャルピー試験と CTOD 破壊靶性試験の遷移温度差（本論文では延性き裂の発生と同時に脆性破壊を呈する温度を遷移温度と定義）を理論的に導く評価手順を導出し、遷移温度差  $\Delta T_i = T_{i\text{Charpy}} - T_{i\text{CTOD}}$  ( $T_{i\text{Charpy}}$  : シャルピー試験の遷移温度、 $T_{i\text{CTOD}}$  : CTOD 試験の遷移温度) は、鋼材の強度レベルが高いほど、降伏比（=降伏応力/引張強さ）が低いほど、 $T_{i\text{Charpy}}$  が高いほど、延性き裂発生限界歪が大きいほど、負の値となりその絶対値が大きくなることを示すとともに、構造用鋼の破壊靶性試験によって本評価手順の有効性を検証している。
- (4) こうして決定された遷移温度以下の低温域では、ワイル応力を介して（脆性破壊限界ワイル応力は材料特性とされることにより）、シャルピー吸収エネルギーから限界 CTOD を予測できる。
- (5) さらに、遷移温度差評価式を 4 支配因子（鋼材の強度レベル、降伏比、 $T_{i\text{Charpy}}$ 、延性き裂発生限界歪）の関数として簡便化し、降伏応力が 300 MPa から 800 MPa までの構造用鋼に対して、シャルピー試験の遷移温度  $T_{i\text{Charpy}}$  から CTOD 試験の遷移温度  $T_{i\text{CTOD}}$  を推定できるように工業化している。

以上のように、本論文は、工業的試験法のシャルピー衝撃試験で得られる脆性遷移温度  $T_{i\text{Charpy}}$  から破壊力学試験である CTOD 試験の脆性遷移温度  $T_{i\text{CTOD}}$  を予測できる手順を与え、この遷移温度以下の低温域ではワイル応力クリティカルによって、シャルピー吸収エネルギーから限界 CTOD を推定できることを示している。ここで開発された方法は、小型材料試験としてのシャルピー衝撃試験の結果から構造要素の破壊安全性評価に適用できる破壊指標を導くもので、材料強度評価工学、あるいは、構造・材料設計工学など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。