



Title	経年実機プラントの韌性評価のための超小型破壊韌性試験法に関する研究
Author(s)	柳沢, 栄一
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/44741
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、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	柳 洋一
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 18235 号
学位授与年月日	平成 16 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	経年実機プラントの韌性評価のための超小型破壊韌性試験法に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 南 二三吉 (副査) 教授 豊田 政男 教授 座古 勝 教授 西本 和俊

論文内容の要旨

石油精製プラントや化学プラントなど既設プラントの経年化が進む中、その健全性確認の上で引き続き供用するニーズが増大しており、経年実機プラントの破壊韌性値を評価して、供用下の脆性破壊を防止することの重要性がますます高まっている。本論文は、このような背景から、実機から採取できる程度の小型試験片を用いて、実機元厚材の破壊韌性値を把握する手法を開発することを目的としている。研究のポイントは、小型試験片での塑性拘束の低下をいかに少なくするかにあり、そのために小型試験片の疲労予き裂の両側に硬質部を形成し、き裂先端の評価対象母材部との強度的なミスマッチによって塑性拘束を増大する方法を提案している。この方法により、超小型試験片でも実機元厚材と同様の脆性破壊を再現できることを実証し、ワイブル応力クライテリオンによって超小型試験片から実機元厚材の破壊韌性値を評価できることを示すとともに、提案した超小型破壊韌性試験法の実機プラントへの適用性について検討を行っている。

本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章は緒言であり、本研究の背景と従来の小型破壊韌性試験法の問題点、及び、研究目的について述べている。

第 2 章では、小型試験片において実機元厚材なみの塑性拘束を得るために、疲労予き裂の両側に硬質部を形成して、評価対象である母材部との強度的なミスマッチによって塑性拘束を増大する方法を提案するとともに、この方法による塑性拘束増大のための制御因子について 3 次元 FEM 解析によって検討し、母材と硬質部の強度比、及び、硬質部と疲労予き裂との距離が重要な役割を果たすことを明らかにしている。

第 3 章では、超小型試験片の具体的な作製方法について検討を行っている。実機からの採取試片寸法をなるべく小さくするために、小試片を補助部材に接合すると同時に硬質部を形成する方法を採用し、そのための熱源形態として CO₂ レーザ溶接が実用的であることと、高エネルギー密度接合によって母材への熱影響部が小さいことから、硬質部を疲労予き裂に十分に近づけられることを述べている。

第 4 章では、作製した板厚 5 mm 及び 2.5 mm の超小型試験片を用いて破壊韌性試験を実施し、レーザ溶接硬質部による塑性拘束によって、実機元厚試験片と同様の脆性破壊を超小型試験片において再現できること、及び、破壊韌性値の板厚効果もかなり小さくなることより、提案した超小型試験片の拘束増大法の有効性を検証している。

第 5 章では、Beremin モデルに基づくワイブル応力を導入して、超小型試験片で測定される破壊韌性値の意義について考察している。超小型試験片では、硬質部による塑性拘束によって応力多軸度が実機元厚試験片よりも大きくな

りうる反面脆性破壊発生のプロセスゾーンの寸法が元厚試験片よりも必然的に小さくなる。このような特性をもつ超小型試験片の脆性破壊時の限界ワイブル応力は、実機元厚試験片の限界ワイブル応力とほぼ等しくなることを明らかにし、このワイブル応力クライテリオンによって、超小型試験片の韌性試験結果から実機元厚材の破壊韌性値が予測できることを述べている。

第6章では、提案した超小型試験法の実機プラントへの適用性について検討している。長期間使用された石油精製装置を例にとって、試験片の採取位置と採取法を具体的に検討し、それに基づいて実機より小試片を実際に採取してCO₂レーザ溶接によって超小型試験片を作製し、脆性破壊を再現する手順を検証している。

第7章では、本研究で得られた結果を総括している。

論文審査の結果の要旨

石油化学プラントなどの既設プラントの経年化が進む中、その健全性確認の上で引き続き供用するニーズが増大しており、経年実機材の破壊韌性値を評価して脆性破壊を防止することの重要性がますます高まっている。本研究は、実機から採取できる程度の小型試験片を用いて、実機元厚材の破壊韌性値を評価する手法を開発することを目的としたもので、小型試験片での塑性拘束の低下を、疲労予き裂近傍に設けた硬質部による変形拘束で補い、それによって実機元厚材と同様の脆性破壊を再現する手順を提案している。この方法で得られる破壊韌性値は、ワイブル応力で評価すると実機元厚試験片とほぼ同じとなり、この特性に基づいて、超小型試験片の破壊韌性試験結果から実機元厚材の破壊韌性値が推定できることを示している。

本論文での主たる着目点と得られた結論をまとめると、次のようなである。

- (1)提案の超小型試験片で実機元厚試験片と同様の脆性破壊が再現できるメカニズムは、評価対象である母材部と硬質部との強度的ミスマッチによる塑性変形拘束にあり、硬質部の存在によってき裂先端からの塑性変形の進行が抑制され、き裂先端近傍の応力多軸度が増すことが重要な役割を果たしている。
- (2)超小型試験片の塑性拘束増大を支配する因子は、①母材部と硬質部との強度比、②硬質部のき裂先端からの距離の二つで、大きな塑性拘束を得るには、硬質部は母材部よりも降伏応力で2倍以上必要で、かつ、硬質部をき裂先端になるべく近づけることが望ましい。
- (3)このような超小型試験片を実現するには、実機から採取できる試片の寸法が限られていることを考えると、小試験を補助部材に接合すると同時に硬質部が形成できること、及び、接合による熱影響部寸法がなるべく小さいことが必要で、接合法としては高エネルギー密度溶接が最適で、CO₂レーザ溶接が実用的である。
- (4)CO₂レーザ溶接によって作製した厚さ5 mm並びに2.5 mmの超小型試験片を用いて破壊韌性試験を実施し、実機元厚試験片と同様の脆性破壊を再現できることを実証している。本手法によれば、通常の破壊韌性試験で経験される破壊韌性値の板厚効果はかなり小さくなる。
- (5)超小型試験片では、硬質部による塑性拘束によって応力多軸度が実機元厚試験片よりも大きくなりうる反面、脆性破壊発生のプロセスゾーンの寸法が元厚試験片よりも必然的に小さくなる。このような特性をもつ超小型試験片の脆性破壊限界をワイブル応力で評価すると、実機元厚試験片とほぼ同じ値の限界ワイブル応力となる。このワイブル応力クライテリオンによって、超小型試験片の破壊韌性試験結果から、任意厚さの実機元厚材の破壊韌性値を評価することができる。

以上のように、本論文では、実機プラントの破壊韌性値を実性能にほとんど影響を与えない小試片を実機から直接採取して評価する手法について検討し、硬質部による塑性拘束を利用することで実機元厚材と同様の破壊モードを小型試験片において再現でき、その破壊限界ワイブル応力は実機元厚材とほぼ等しくなることから、小型試験片の韌性試験結果から実機元厚材の破壊韌性値を評価できることを示している。ここで提案された超小型破壊韌性試験法は、数多くの既設プラントの経年劣化診断及び寿命予測に適用できることが期待され、その成果は、構造強度評価工学、あるいは構造生産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。