

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	金 秉 俊 (Kim Byungjun)
論文題目	Development of small specimen test technique for evaluation of fracture toughness of the structural materials for advanced nuclear systems (先進原子力システム用構造材料の破壊靱性評価のための微小試験片技術開発)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、低放射化フェライト鋼 (RAFS) の核融合模擬環境下における材料の変形破壊挙動予測ならびに軽水炉の高経年化に伴う圧力容器鋼 (RPVS) の監視試験に必要な破壊靱性評価のための微小試験片技術の開発に関する研究成果をまとめたもので、7章からなっている。</p> <p>第1章は序章である。</p> <p>第2章および第3章では、現行の軽水炉 RPVS (A533B鋼) の健全性評価のための監視試験法について検討している。従来、監視試験の対象となっている RPVS の母材や溶接金属に対しては再生試験片法が適用可能であり、監視試験片の欠乏は問題とはならないが、溶接熱影響部 (HAZ) 監視試験片に対しては、再生試験片法が適用できないため、軽水炉の高経年化に際し、HAZ 部の監視試験の在り方が問題になっている。そこで、第2章では、実機を模擬した圧力容器鋼溶接部の衝撃特性における試験片切欠部位依存性をサイズの異なる衝撃試験片 (標準、1/2、1/3 および 1.5mm サイズ) を用いて調べた結果、不純物リン (P) 濃度の低い鋼材の場合 ($P < 0.03\text{wt.}\%$) は、いずれのサイズの試験片においても、監視試験法で義務付けられている切欠位置を HAZ 部に持つ試験片が最も靱性に優れており、さらに切欠部位依存性は試験片サイズに依存しないことを明らかにした。一方、不純物 P 濃度の高い鋼材の場合は、P の粒界偏析による粒界脆化が発現し、靱性の低下が顕著となること、および切り欠き位置依存性に関しては、HAZ 部の靱性が最も低くなることを明らかにした。すなわち、かつて HAZ 部が監視試験の対象として定められたのは、その当時の鋼材の多くが不純物 P を高濃度に含んでいたためと指摘した。</p> <p>第3章では、中性子照射材に対して上記と同様の検討結果をまとめ、中性子照射 (中性子照射量: $8 \times 10^{19}/\text{cm}^2$、照射温度: 290°C) 材においても、上記の結果と同様の結果が得られており、微小試験片技術が照射材にも適用可能であることを確認した。</p> <p>以上の結果から、我が国で製造された不純物 P 濃度の低い ($P < 0.03\text{wt.}\%$) 圧力容器鋼においては、溶接熱影響部の監視は母材あるいは溶接金属の監視で代替可能であること、および軽水炉 RPVS (A533B鋼) の健全性は微小試験片を用いて監視することが可能であると結論した。</p>			

第4章は、核融合炉ブランケット第一候補材料と目されているRAFS (F82H鋼) の破壊靱性評価における試験片サイズ影響に関する研究をまとめたもので、サイズの異なる(標準、1/2、1/4サイズ)コンパクトテンション(CT)試験片を作製し、マスターカーブ(MC)法の適用性について検討した。いずれのサイズの試験片を用いた場合でも現行のMC法では、F82H鋼の延性脆性遷移挙動を表記するMCを得ることはできなかったが、現行のMC法に改良を加えることで、参照温度を合理的に決定することに成功した。さらに、改良型MC法によれば、参照温度は試験片サイズに依存しないことが判明し、F82H鋼の破壊靱性評価に1/4CT微小試験片を用いた改良型MC法を適用することが可能であると結論した。

第5章では、照射硬化を模擬するため、異なるレベルの冷間加工を施した低放射化フェライト鋼の破壊靱性と衝撃特性を異なるサイズのCT試験片およびCVN試験片を用いて評価した。冷間加工度の増加に伴い、衝撃試験においては、延性脆性遷移温度は上昇するが、CT試験片を用いた破壊靱性試験においては反対の傾向を示すことが明らかとなった。破断面観察や組織観察の結果に基づき、CT試験で観察された加工硬化による靱性の向上は、予亀裂導入時の二次亀裂の発生に伴う平面応力状態領域の形成によると説明した。また、CT試験における参照温度に及ぼす加工硬化の影響については、試験片サイズ依存性がほとんど認められず、F82H鋼の加工硬化材の靱性評価に微小試験片技術を用いたMC法を適用することが可能であることを示した。

第6章では、核融合環境下において重要な核変換ヘリウム の粒界析出に伴う粒界脆化の評価におけるMC法の適用性について検討するため、粒界脆化模擬材を作製し、粒界脆化が発現する場合の破壊靱性をMC法により評価した。その結果、リン(P)の添加により、粒界脆化が発現し、破壊様式が粒界破壊の場合の延性脆性遷移温度および参照温度は、いずれの場合も上昇し、その上昇量はP濃度の増大とともに増加することが判明した。異なるサイズ(1/2CTおよび1/4CT)の試験片で得られた参照温度は、P濃度の増大とともにその差が小さくなり、粒界脆化による靱性の劣化を微小試験片により評価することが可能であることを示した。

第7章は、結論である。

以上、本論文は、核融合炉や原子炉の構造材料に及ぼす中性子照射の影響を評価するために不可欠な微小試験片技術の開発に関する研究を行い、破壊靱性評価のための微小試験片技術に関する重要な基礎的知見が得られており、学術上および実際上の貢献が期待される。

よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年2月22日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、低放射化フェライト鋼(RAFS)の核融合模擬環境下における変形・破壊挙動予測ならびに軽水炉の高経年化に伴う圧力容器鋼(RPVS)の監視試験に必要な微小試験片技術の開発に関する研究成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

現行の軽水炉RPVSの監視試験法では、母材や溶接金属に対しては再生試験片法が適用可能であり、監視試験片の欠乏は問題とはならないが、熱影響部監視試験片に対しては再生試験片法は適用できないため、溶接熱影響部の監視試験の在り方が問題になっている。そこで、実機を模擬したRPVS(A533B鋼)溶接部の衝撃特性における試験片切欠部位依存性をサイズの異なる衝撃試験片(標準、1/2、1/3および1.5mmサイズ)を用いて調べた結果、中性子照射の有無に関わらず、不純物リン(P)濃度の低い鋼材の場合($P < 0.03\text{wt.}\%$)は、熱影響部に相当する試験片は、最も靱性に優れており、さらに切欠部位依存性は試験片サイズに依存しない事を明らかにした。これにより、我が国で製造された不純物P濃度の低いRPVSにおいては、溶接熱影響部の監視は母材あるいは溶接金属の監視で代替可能であると結論した。

次に、核融合炉ブランケット第一候補材料と目されているRAFS(F82H鋼)に対して、異なるサイズ(標準、1/2、1/4サイズ)のコンパクトテンション(CT)試験片を作製し、マスターカーブ(MC)法の適用性について検討した結果、現行のMC法に改良を加えることで、参照温度を合理的に決定することに成功した。さらに、改良型MC法によれば、参照温度は試験片サイズに依存しないことが判明し、RAFSの破壊靱性評価にMC法を適用することが可能であることを示した。

また、照射影響を模擬するため、異なるレベルの冷間加工度と異なるP添加量の鋼材を製造し、破壊靱性と衝撃特性を種々のサイズの試験片を用いて評価した結果、これらの評価に微小試験片技術が適用可能であることを示した。

以上、本論文は、核融合炉や原子炉の構造材料に及ぼす中性子照射の影響を評価するために不可欠な微小試験片技術に関する重要な基礎的知見を与えており、学術上および実際上の貢献が期待される。

よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年2月22日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降