

研究成果報告書

研 究 題 目		使用済核燃料収納用キャニスタの貯蔵前後における衝撃破壊靱性評価法の確立	実 施 年 度 2018 年度
代 表 研 究 者	所 属	広島大学大学院工学研究科機械システム工学専攻	
	氏 名	岩 本 剛	印
<p>1. 研究の目的・背景</p> <p>背景：使用済み燃料は、コンクリートキャスク貯蔵において、キャニスタと呼ばれる容器に収納後、キャスク内に挿入された上で、輸送用容器に収納され、10年後に中間貯蔵を経て、更に50年後に再処理施設へ移送される。キャニスタ材料には、ハンドリング時の事故で想定される落下衝撃に耐えられる強度および破壊靱性特性を有することが要求される。上記の要求性能を評価するため、過去、静的負荷下における破壊靱性についての評価、およびその試験温度依存性の検討もなされている。これらを実機においてその経年変化を評価するため、スモールパンチ試験法が考案され、この試験法は原子炉実機の保守に役立つ可能性がある。しかし、落下衝撃破壊靱性については、明らかされておらず、評価の試みもなされていない。一般に、落下スピードが大きくなると材料は脆化する傾向にある。静的負荷下における破壊靱性値によるキャニスタの健全性は過大評価、危険側の設計になる。</p> <p>本研究の最終目標は、キャニスタ用材料の一種であるオーステナイト系ステンレス鋼の衝撃破壊靱性値を試験片レベルで評価し、実機から採取した微小試験片を用いて評価可能であり、中間貯蔵前後に継続的に実行可能な衝撃破壊靱性値測定試験法を確立する。</p> <p>そのために、まず、静的負荷下において、一般的に行われている3点曲げ試験片を用いた破壊靱性試験と板状の試験片を用いたスモールパンチ(SP)試験を衝撃負荷下において行うため、衝撃破壊靱性試験は試験片レベルの初期状態の材料を対象に行い、その結果に基づいて、実機から採取する微小試験片を用いた衝撃スモールパンチ試験法を、分割式ホブキンソン棒法を応用して考案し、実験を行う。</p> <p>各装置の妥当性を確認した後、実際にオーステナイト系ステンレス鋼 SUS 304 について、様々な温度において衝撃試験を行なう。キャニスタの温度は、収納燃料、冷却空気条件や貯蔵時間などに依存するため、想定される温度範囲において破壊靱性特性を把握することが重要である。これを踏まえて試験温度には 233K, 298K, 373K の 3 温度条件を選択し、各温度における破壊靱性値を測定する。その結果、衝撃破壊靱性値の温度依存性を明らかにする。さらに、衝撃試験だけでなく、当研究室保有の材料試験機、落錘型落下衝撃試験装置を用いて実験を行ない、破壊靱性値の負荷速度依存性を同時に評価する。</p> <p>さらに、すべての試験は有限要素法により、コンピュータの中でシミュレートする。一連のシミュレーションにより実験の妥当性を検討し、装置の改良に活用を試みる。</p>			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

図 1 に(a)衝撃試験中の変位速度の時刻歴，および(b)準静的及び衝撃試験から得られた外力-変位曲線を示す．なお，図(b)中，青線は準静的，赤線は衝撃試験の結果をそれぞれ示している．図(a)に示すように，変位速度は約 6 m/s から徐々に低下し，3 m/s に達した後減少する．この図(b)に示すように，衝撃試験の結果に注目すると，変位が約 1.2mm に達した後，曲線の傾きが水平になることが分かる．従って，外力が最大値を示した後，除荷曲線が現れるものと考えられる．また，外力-変位関係は準静的試験に比して，高い変位領域において大きな傾きを持ち，最大外力と最大変位は準静的の場合に比して，低下している．そのことから，SP 試験において，SUS304 材の加工硬化率は正，最大外力と最大変位は負の速度依存性を示すものとする．

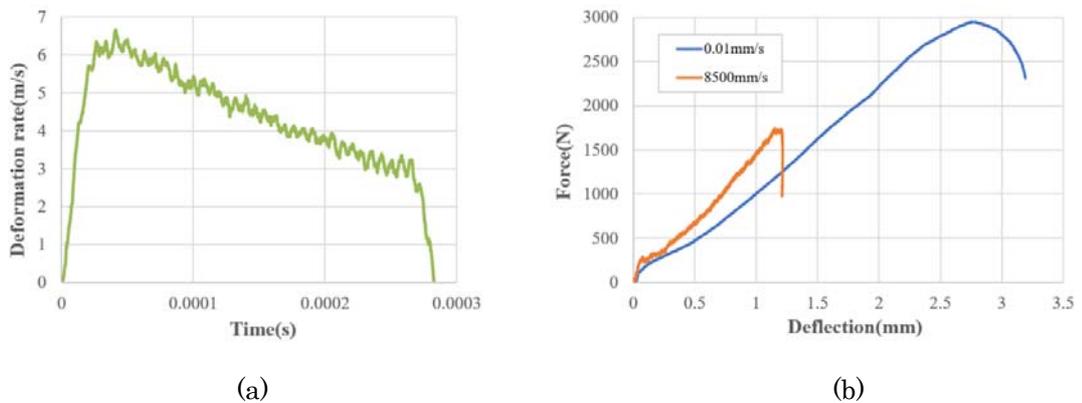


Fig. 1 (a) Time history of deformation rate and (b) force-deflection curve at various rate

図 2 に，SHPB 法を用いた衝撃 SP 試験後回収した，試験片上部における顕微鏡写真を示す．なお，この図(a)は最小幅を示す箇所，(b)はそれを拡大した写真である．この図に示すように，本試験法で得られた試験片において，平滑な破面ではなく，破面全体にディンプルが存在していることが観察可能である．

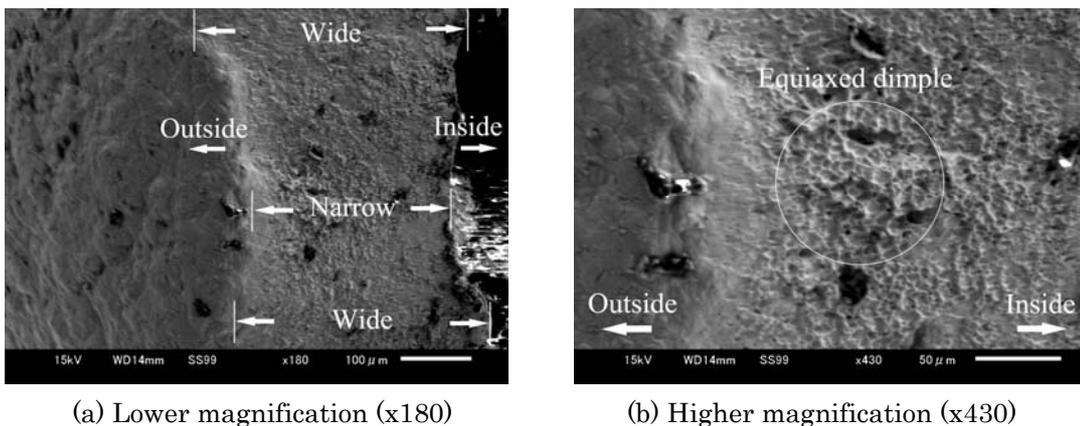


Fig.3 Micrographs of upside of the specimen from SHPB test in different magnification rate

なお，装置製作と試験を遂行し，妥当性を確認した．ただし，試験温度の変化やシミュレーションはまだ遂行中である．従って，申請時の計画に対して 85%の達成度である．

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

使用状況について以下の表に示す。なお、金額は万円単位で表し、千の位にて四捨五入している。

費目	品名	申請時の計画	実績
設備備品費	ひずみアンプ(共和電業製 CDV700A) 1台	0	30
消耗品費	試験片一式	40	20
	ひずみゲージ式	19	12
	応力棒一式	11	18
謝礼金	研究補助	80	70
計		150	150

概ね計画通りに使用したが、研究遂行途中でひずみアンプが一台故障したため、本支出から賄っている。これは他の予算から支出を予定しており、申請時には記載していた物品である。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

今後は、マルテンサイト相、ならびに損傷に密接に関係するボイドの分布を調査し、破壊の起点とき裂進展挙動に及ぼすマルテンサイト変態ならびに損傷の影響を検討する。また、マルテンサイト変態がエネルギー吸収特性に多大な影響を及ぼすことが考えられることから、それらを定性的、定量的に評価を試みる。

衝撃スモールパンチ試験は、本研究により確立されたものとする。従って、さらなる研究により、実用化を目指した信頼性の向上を図る。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

1. 陳 清源, 岩本 剛, 衝撃スモールパンチ試験による SUS304 鋼の破壊様式における速度依存性評価, 日本機械学会 M&M2018 材料力学カンファレンス 講演論文集, (2018), 講演番号 OS0729, CD-ROM

2. 陳 清源, 岩本 剛, 様々な速度下におけるスモールパンチ試験による SUS304 の破壊様式評価, 日本機械学会中国四国支部第 57 期総会・講演会講演論文集, (2019), 講演番号 040, CD-ROM

本成果は論文にまとめ, H31 年度中に著名な海外の雑誌に投稿する予定である.