# 福島第一原子力発電所の燃料デブリ分析・廃炉技術に関わる研究・人材育成 (17) 損傷力学解析による模擬燃料デブリの圧縮強度の評価

Research and human resource development for analysis of fuel debris and decommissioning technology of Fukushima Daiichi nuclear power plants

(17) Evaluation of compressive strength of simulated fuel debris by damage mechanics analysis

\*寺西 正輝 1,桑水流 理 1

1福井大学

模擬燃料デブリの圧縮破壊強度に対する空隙率の影響をイメージベース有限要素解析により検討した. 鋳造材の巣を仮想的な燃料デブリの欠陥とみなし,その連続断面画像を用い,空隙率の異なる複数の解析モデルを作成した. 損傷力学モデルを導入し, UO<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の圧縮破壊強度を有限要素解析で評価した. **キーワード**:燃料デブリ,二酸化ウラン,圧縮強度,空隙,損傷力学モデル,有限要素解析

## 1. 緒 言

福島第一原子力発電所における核燃料デブリを安全に取り出すために、一定の大きさに分割して、確実に 輸送する必要があるため、デブリの機械的性質の把握が重要である.デブリは一度溶融し、固化しているた め、多数の凝固欠陥を含んでいると予想される.そこで本研究では、共晶 UO<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の圧縮強度に及ぼす空隙 率の影響を損傷力学解析により明らかにする.

#### 2. 損傷力学解析

実際のデブリの空隙は不明であるため、模擬凝固欠陥としてアルミニウム合金ダイカストの鋳巣の3次元 画像[1]を使用した.画像は連続研磨面の光学顕微鏡画像である.そこから直径670µm,高さ700µmの円柱 形に画像を切り抜き、空隙率の異なる8つの有限要素モデルを作成した.これを上下から剛体板で挟み、下 部の剛体板を固定し、上部の剛体板を移動させ、圧縮した。剛体板と試験片の接触は摩擦係数0.1とした.解 の発散防止のため解法には動的陽解法を用いた。剛体板の速度は初速度0mm/sから線形に増加させ、開始か ら0.71 s以降0.007 mm/sで一定とした.公称ひずみ速度は最大0.01 sec<sup>-1</sup>となる.共晶UO2-B2O3の超微小硬 度試験の結果に基づき、ヤング率は260.7 GPa、ポアソン比は0.3、降伏応力は405.6 MPaの弾完全塑性体と した[2].脆性破壊を模擬するために、損傷開始時の相当塑性ひずみを10<sup>-5</sup>とし、損傷開始直後に要素が除去 されるように設定した.有限要素解析にはAbaqusを使用した.

# 3. 数值解析結果

図1に空隙率6.5%のモデルの破断前後の相当 応力分布を示す.表面の空隙近傍に応力集中が 生じ,そこを起点として水平方向に損傷が一気 に広がり,材料が脆性的に破断した.図2に破壊 強度と空隙率の関係を示す.圧縮試験で得られ た圧縮破壊強度[3]を併せて示す.損傷力学解析 では脆性破壊を概ね再現できており,実験の破 壊強度と近い結果となった.ただし,空隙率3% の実験結果は解析結果に比べ,大幅に強度が高 かった.この試験片の高さの断面直径に対する 比が 0.25 であり,破壊強度を過大評価したため

と推察される.一方,空隙率0%の解析結果は降伏応力より低く なっており,矛盾している.これは画像からモデルを作成した ため,形状不正が生じ,応力集中が発生したためである.なお図 中に示した回帰曲線により,共晶 UO<sub>2</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の圧縮破壊強度を概 ね推定できる.

## 謝 辞

本研究は、文部科学省の英知を結集した原子力科学技術・人 材育成推進事業による委託業務として、国立大学法人福井大学 が実施した平成30年度「福島第一原子力発電所の燃料デブリ分 析・廃炉技術に関わる研究・人材育成」の成果の一部である. 参考文献

桑水流理,他,日本機械学会論文集A編 77 (2011), 1046-1050.
川上有都,他,日本原子力学会 2018 年秋の大会 (2018), 1D03.
Yusufu, A., *et al.*, Journal of Nuclear Materials 499 (2018), 175-181.

\* Masaki Teranishi<sup>1</sup> and Osamu Kuwazuru<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Fukui



(a) 破断直前(b) 破断直後図1モデル1(空隙率 6.5%)の相当応力分布

