

重点課題 - リスクの最適マネジメントの確立

使用済燃料の長期貯蔵管理技術の開発

背景・目的

再処理施設の稼働遅れ等により使用済燃料の中間貯蔵は時間的調整手段として重要な役割を担っている。これまでに金属キャスクによる貯蔵は実用化されているが貯蔵技術の多様化および経済性等の観点からコンクリートキャスクの実用化が期待されている。また、放射性物質輸送の需要の増加に対応し、緩衝体材料として従来使用されてきた木材に替わる新規緩衝体の開発が望まれている。

本課題ではコンクリートキャスク貯蔵の実用化のため、コンクリートキャスクで使用済燃料を収納する金属キャニスタの健全性に対して懸念される溶接部の応力腐食割れ(SCC)に関して、対策技術や非破壊検査による欠陥検出方法を確立するとともに、関連する学会規格・標準等を整備する。また、放射性物質輸送容器に用いる新規緩衝体の開発に向け、発泡ウレタン材の適用性を試験・評価する。

主な成果

1 ショットピーニングによるSCC発生防止対策の検証

キャニスタ溶接部のSCC発生防止に有効と考えられる残留応力改善処理としてジルコニアショットピーニング(ZSP)*の適用を検討している。実径大キャニスタ(SUS304L製)を用いてZSP処理を行った結果、溶接部近傍の引張残留応力が深さ約0.7mmまで圧縮応力となり応力状態が改善された(図1)。ま

た、実機環境(温度50℃、相対湿度35%)よりも厳しい条件(温度80℃、相対湿度35%)で2000時間以上のSCC試験を実施した結果、未処理の溶接部近傍には100 μ m以上のき裂が多数発生していたが、ZSP処理を施した箇所にき裂の発生は認められず、その有効性が確認された[N12023]。

2 SCC対策に向けたキャニスタ表面付着塩分計測技術の開発

塩分はSCCの発生要因となることから、キャニスタへの付着塩分量をレーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)により計測する技術を開発している。LIBSを採用することで精度の高い計測が期待できる一方、レーザー照射により金属表面に引張残留応力が生じSCC発生に影響を与える可能性がある。そのため、キャニスタ候補材SUS304Lの試験片に塩分計測時の典

型的な条件でレーザー照射を行い、その影響を調べた。照射後の照射点における引張残留応力は深さ65 μ m程度までの範囲にあり、引き続行った腐食試験により発生したSCCと思われるき裂の深さが10~40 μ mとキャニスタの肉厚12.7mmに対して極めて微小であることから、レーザー照射の影響はほとんどないことがわかった(図2)[H12003]。

3 コンクリートキャスクの日本機械学会規格[蓋溶接部非破壊検査方法]への提案

これまで当所で検討してきた金属キャニスタの蓋溶接部非破壊検査方法に係わる試験研究や当所に設置した専門家による委員会での検討結果に基づき、日本機械学会「使用済燃料貯蔵施設規格、JSME S FB1-

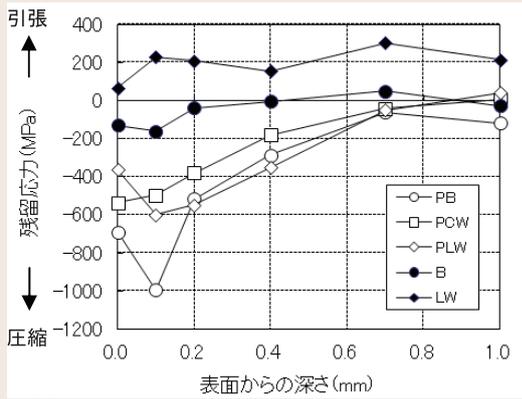
2003」の改訂案を提案した。提案ではキャニスタの使用可能材料をオーステナイト系ステンレス鋼と二相ステンレス鋼に大別した上で、鋼種毎に必要な非破壊検査を提案している(表1)。

4 輸送容器における新型緩衝体の開発

現在、緩衝体に用いられている木材の代替材料として硬質発泡ウレタン(rigid polyurethane foam、以下R-PUF)に着目し、密度、変形速度、試験温度をパラメータとした圧潰特性試験による応力-ひずみ特性の材料データベースを構築した。さらに、

R-PUFを用いた緩衝体を取り付けた輸送容器縮尺試験体を用いて規則要件に則った落下試験を実施した。その結果、輸送容器に発生する応答加速度は設計上で想定した値を下回り、R-PUFの緩衝体への適用性を確認した(図3)[N12020]。

* ジルコニアの小粒を機器部材に打ち付け圧縮残留応力を付与する金属表面処理法。



<凡例>
 ZSP処理:PB(母材)、PCW(周溶接部)、PLW(長手溶接部)
 ZSP処理なし:B(母材)、LW(長手溶接部)

図1 ショットピーニングによる残留応力改善効果

実径大キャニスタを製作し、試験体の溶接部近傍にジルコニアショットピーニング (ZSP) 処理による残留応力改善処理を実施した。溶接後、表面にグラインダ処理を施したままでは1mm深さまで一様に引張応力が生じているが、ZSPにより残留応力改善処理を施すことで表面から0.7mmの深さまで圧縮応力となっており、ZSP処理の有効性を確認した。

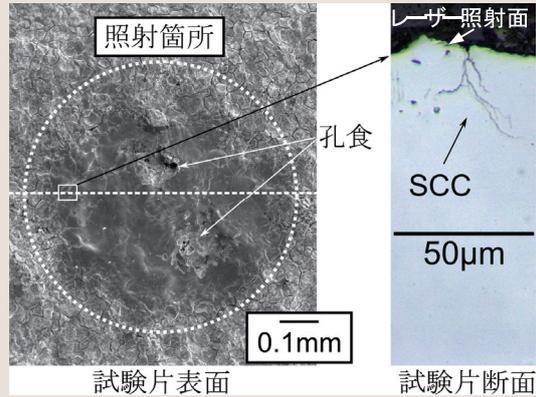


図2 パルスレーザー照射された試験片の腐食試験後の様子

パルスレーザー光 (波長532nm、パルス幅10ns) を照射した箇所に人工海水を滴下し、SCCが発生する環境条件下に試験片を設置した。その結果、孔食およびSCCと思われるき裂が観察されたがき裂深さは極めて小さく、レーザー照射の影響はほとんどないことがわかった。

表1 キャニスタ密封容器の蓋溶接部非破壊検査の記載内容改訂案の概要*

材料種類 ^{a)}	懸念される溶接割れ	浸透探傷試験 (PT) ^{b)}	超音波探傷試験 (UT) ^{c)}	備考
オーステナイト系ステンレス鋼	高温割れ	要 [規定強化 ^{d)}]	不要 ^{e)}	<ul style="list-style-type: none"> 応力低減係数の設定根拠である 1/4tw 毎の検査間隔を要求 (tw: 溶接厚さ) 本文改訂
二相ステンレス鋼	低温割れ	要 [規定強化 ^{d)}]	要 ^{f)}	<ul style="list-style-type: none"> 未溶融部起因の低温割れ排除を目的とする UT の要求 UT 検査を新規事例規格で規定

a) 既往規格の対象材料を、溶接に対して懸念される割れを考慮して2つの鋼種に分け、各々に適切な非破壊試験を適用した。

b) 溶接層表面に指示薬を浸透し、拭き取り後の指示模様により、表面に存在する欠陥を検出する方法

c) 溶接部に当たった探触子から出される超音波の反射波の性状から内部に存在する欠陥を検出する方法

d) PT検査間隔を小さくし、同じ溶接厚さでも現行の規定より検査回数を増やすようにする

e) 懸念される割れはPTで検出できる

f) 懸念される割れはPT後に進展する可能性もあることからUTも要求する

※当所から日本機械学会へ提案

図3 縮尺試験体による落下試験

発泡ウレタン製緩衝体を取り付けた輸送容器の1/3縮尺試験体を用いて設計要件である9m高さから剛体床への落下試験を実施した。落下試験時に発生した最大加速度は、設計時の加速度を下回っており、緩衝体として十分な性能を有していることが確認された。

