

金属キャスク落下時の瞬時漏えい量の計測技術の開発

背景

使用済燃料貯蔵用金属キャスクの輸送中の安全性に対する研究としては、落下事故を対象として、輸送規則で定められる落下要件に基づき、これまでに多くの試験や解析が実施されている。しかしながら、落下の際の衝撃荷重が作用することによる密封部のボルトの緩みやガスケットのずれを原因とした瞬間的な漏えい量の評価事例は少なく、万が一のハンドリング事故を想定した安全評価のソースターム決定に関する基礎データの蓄積が必要である。

目的

貯蔵施設内でのハンドリング事故を想定して、緩衝体を装着しない実物大金属キャスクを用いて落下試験(図 1)を実施し、瞬時の漏えい率計測、キャスク蓋変位計測を行い(図 2)、それらの関係および総漏えい量を求めることとする。

主な成果

実物大金属キャスク(直径約 2.5m、長さ約 5.5m、重さ約 120 トン)を用いて、2ケースの落下試験を行った。一つは、水平状態で 1m の高さから落下させる水平落下試験、もう一つは、水平状態で 1m の高さにし、後部トランニオンを回転中心とした回転衝突試験である。これらの試験を実施し、以下の知見が得られた。(表 1)

1. 水平落下時におけるトランニオンの床版への貫入量は 10~12cm であり、鉄筋まで到達した。また、回転衝突時におけるトランニオンの貫入量は約 5cm であり、鉄筋までは到達しなかった。
2. 落下試験における蓋の横ずれ量は、水平落下試験で最大 0.3~0.4mm(図 3)、回転衝突試験で最大 0.6~1mm であった。また、回転衝突試験では、一次蓋において、0.1mm の口開きが計測された。
3. 落下衝撃による蓋間ヘリウムの漏えい率をリアルタイムで計測した。落下試験時の瞬時漏えい率は、水平落下試験の一次蓋で $2.38 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ (図 4)、二次蓋で $2.85 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ (図 4)、回転衝突試験の一次蓋で $3.86 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 、二次蓋で $8.37 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ であった。なお、両試験とも試験前の漏えい率の値は、約 $1 \times 10^{-12} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ であった。また、計測された漏えい率を計測時間で積分することにより、総漏えい量を求めた。蓋間に充てんされているヘリウムの総漏えい量の初期値に対する割合は、水平落下試験で、 $9.61 \times 10^{-9} \%$ 、回転衝突試験で、 $8.45 \times 10^{-8} \%$ であり、ガスケットからの顕著な漏えいは無かった。

本研究は、経済産業省 原子力安全・保安院からの受託研究として実施したものである。

今後の展開

キャスクの落下試験解析を行い、蓋の横ずれおよび口開き挙動を試験結果と比較し、解析コードの整備を行った後、今回の試験条件よりも過酷な転倒事象についても解析を行う。また、今回用いたガスケットが未劣化ガスケットであることから、熱劣化させたガスケットを用いて蓋部スケールモデルによる試験を行うことにより、熱劣化ガスケットの評価をおこなう。

主担当者 地球工学研究所 バックエンド研究センター 上席研究員 竹田 浩文

関連論文 "Leakage Evaluation of Metal Cask during Drop Test", Proceedings of GLOBAL 2005 International Conference October 9-13, 2005, Paper No.575

4. バックエンド

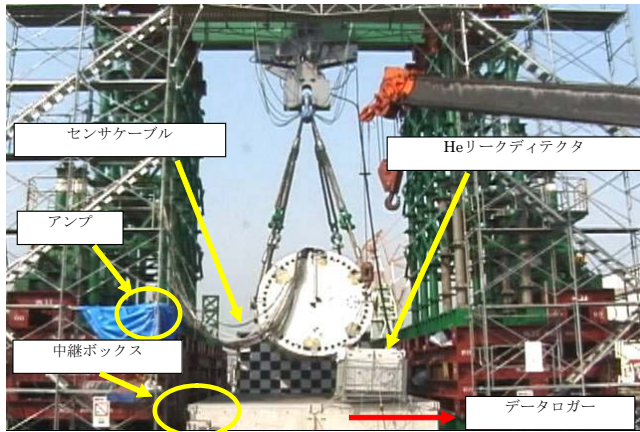


図1 水平落下試験の全貌

切り離し装置を用いて、キャスクを落下させた。また、Heリークディテクタは、キャスク落下時の衝撃を受けないように、クレーンで宙吊りにした。

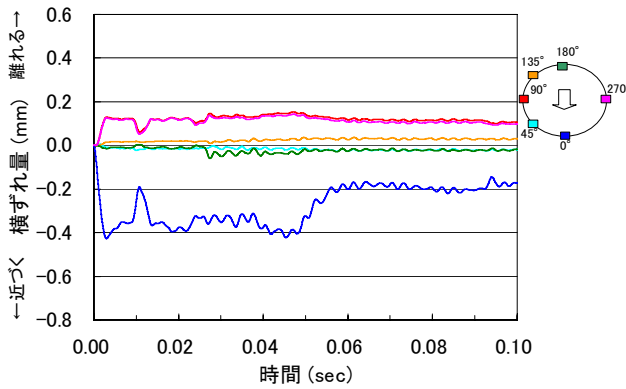


図3 一次蓋の横ずれ変位(水平落下試験)

蓋とフランジの隙間は、0°側(落下側)に0.4mm狭まった。また、180°側に変化は無く、90°および270°側に約0.1mm膨らんだ。

表1 加速度、蓋変位および漏えい率のまとめ

項目	水平落下試験		回転衝突試験	
	試験結果	備考	試験結果	備考
落下方向の平均化速度	本体胴中央部	約50G	本体中央下部、落下方向	約16G
	蓋中央部	約16G	一次蓋中央、落下方向	約48G
床版への貫入量	100mm程度		50mm程度	
一次蓋	横ずれ*	約0.4mm	約0.6mm	
	口開き	口開き側への有意な変化なし	約0.11mm	
	ボルト軸応力	—	—	
二次蓋	横ずれ**	約0.4mm	約0.6mm(45°方向) 約1mm(0°方向)	0°、180°方向はフランジと衝突
	口開き	口開き側への有意な変化なし	変化なし	
	ボルト軸応力	変化なし	約50MPaの増加	
最大漏えい率	一次蓋	$2.38 \times 10^{-10} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	落下から22秒	$3.86 \times 10^{-9} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$
	二次蓋	$2.85 \times 10^{-9} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	落下から34秒	$8.37 \times 10^{-9} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$
6時間後の漏えい率	一次蓋	$1.52 \times 10^{-11} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	B.G.※ $8.42 \times 10^{-12} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	$4.91 \times 10^{-10} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$
	二次蓋	$7.90 \times 10^{-12} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$	B.G.※ $4.17 \times 10^{-11} \text{Pa}\cdot\text{m}^4/\text{s}$	$2.64 \times 10^{-10} \text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$
総漏えい量/初期ヘリウム量	$9.61 \times 10^{-8} \%$		$8.45 \times 10^{-8} \%$	

* 一次蓋の初期クリアランス:1mm
** 二次蓋の初期クリアランス:0.5mm
※ バックグラウンド(落下試験前の値)

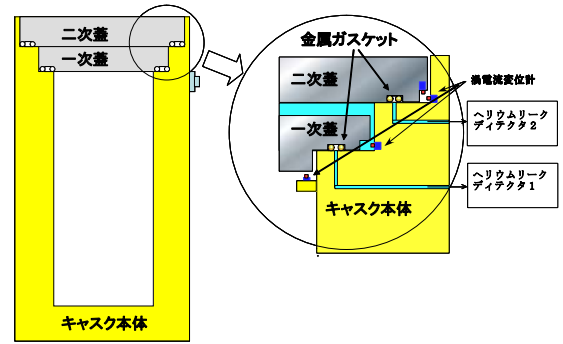


図2 計測箇所

蓋間には、4気圧のヘリウムを充てんし、落下衝撃により、ガスケット内に漏えいするヘリウムの漏えい率を二台のHeリークディテクタをもちいて計測した。また、蓋のずれ量測定には、渦電流変位計を使用した。

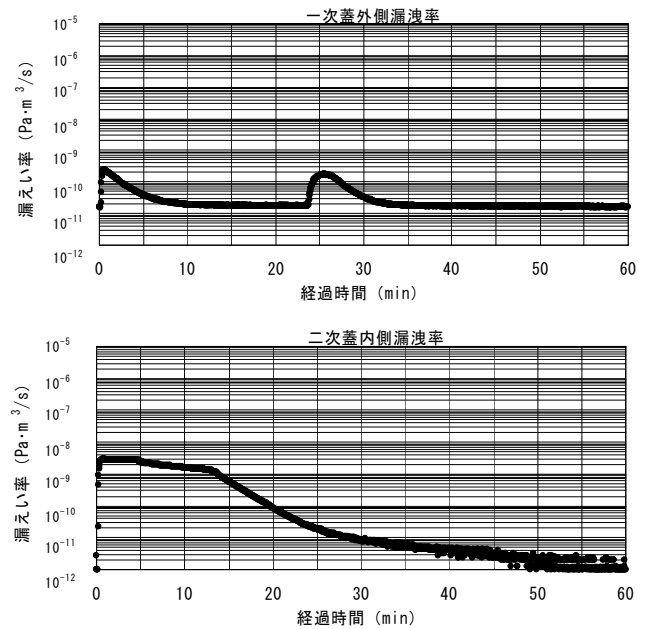


図4 漏えい率の時間履歴(水平落下試験)

漏えい率は、一次蓋では、落下直後に一桁上がり、20分後にも一桁上がった。二次蓋では、3桁上がり、高い状態が約1時間継続した。しかし、双方とも一時間後には、バックグラウンドレベルに戻った。

水平落下試験、回転衝突試験ともに、ガスケットからの顕著な漏えいは無かった。