

キャスクのスラップダウン落下試験から得られた最新知見について

令和元年 9 月 4 日

長官官房 技術基盤グループ 地震・津波研究部門

1. 背景

「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（別紙参照）」及び「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（別紙参照）」は、BM 型輸送容器（輸送貯蔵兼用キャスク等）に対して、特別の試験条件下において、最大線量当量率及び放射性物質の漏えい量が基準を満たすことを要求している。

この特別の試験条件の一つとして、9m 落下試験がある。「車両運搬確認申請書、容器承認申請書及び核燃料輸送物設計承認申請書に添付する説明書の記載要領（別紙参照）」は、この 9m 落下試験について、垂直落下、水平落下、コーナー落下、傾斜落下（図-1 参照）試験後の輸送物の状況について説明するとともに、密封機能維持等への影響の観点から、それぞれの落下姿勢における最大損傷の状態と最大損傷を受ける条件について評価することを求めている。また、傾斜落下に対する評価においては、長尺^{*1}の輸送物の場合は、転倒による二次衝撃（スラップダウン落下、図-2 参照）について説明することも求めている。

*1：IAEA No. SSG-26 は、縦横比（長さ対直径）5 以上のキャスクを対象としている。

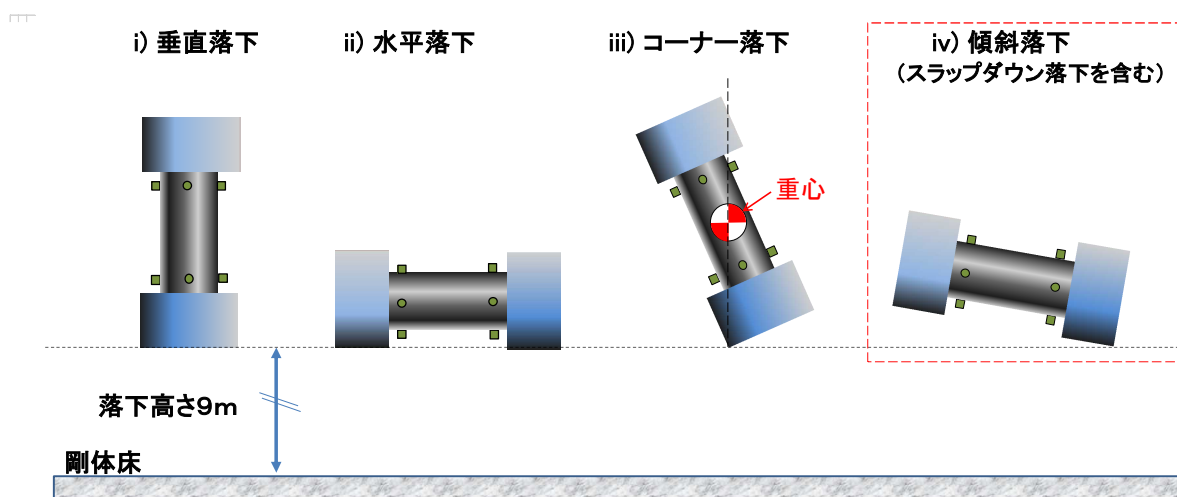


図-1 キャスクの落下姿勢

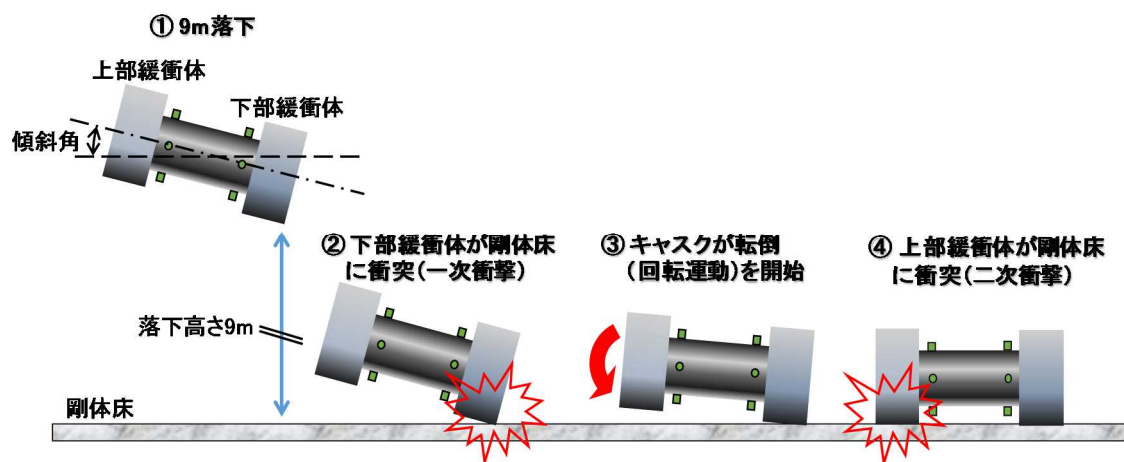


図-2 キャスクのスラップダウン落下の概念

一方、ドイツの連邦材料試験研究所 (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, BAM) は、短尺のキャスク (縦横比 : 2.3) に対して最大損傷が生じる落下姿勢に着目したスラップダウン落下試験を実施し、本体胴に作用する二次衝撃による加速度が一次衝撃加速度に対して約 2.2 倍大きくなることを報告している。

これより、短尺のキャスクについて、スラップダウン落下の影響を確認する必要があるものと考えた。

なお、現行の設計承認に係る審査では、参考評価の位置付けで、審査対象となる短尺のキャスクについて、スラップダウン落下の影響を考慮している。

2. 地震・津波研究部門で実施している研究内容と本研究から得られた最新知見

地震・津波研究部門では、短尺キャスクのスラップダウン落下時の衝撃挙動に関する知見を拡充するための調査及び試験を実施するとともに、スラップダウン落下の影響評価手法の適用性の確認に係る研究を平成 29 年度から令和 2 年度まで実施している。

このうち平成 30 年度は、短尺のキャスク（縦横比：2.3）の 1/2.3 スケールモデル*2 を用いたスラップダウン落下試験を実施し、その衝撃挙動に係る各種データを計測した。

その結果、スラップダウン落下時の本体胴に作用する二次衝撃による加速度*3 は、一次衝撃加速度に対して約 2.5 倍大きくなった（図-3 参照）。よって、本試験条件（試験体形状、構造等）の範囲内においては、短尺のキャスクについても、スラップダウン落下の影響が大きいことが分かった。この結果から、上述の BAM の報告と同様の傾向であることを確認した。

*2：BAM 試験体と類似の構造かつ同じ縦横比（2.3）としているが、衝撃緩衝体等の構造には差異がある。

*3：密封機能維持に係る構造健全性評価に用いる作用荷重を算出する際の一成分である衝撃加速度に着目した。

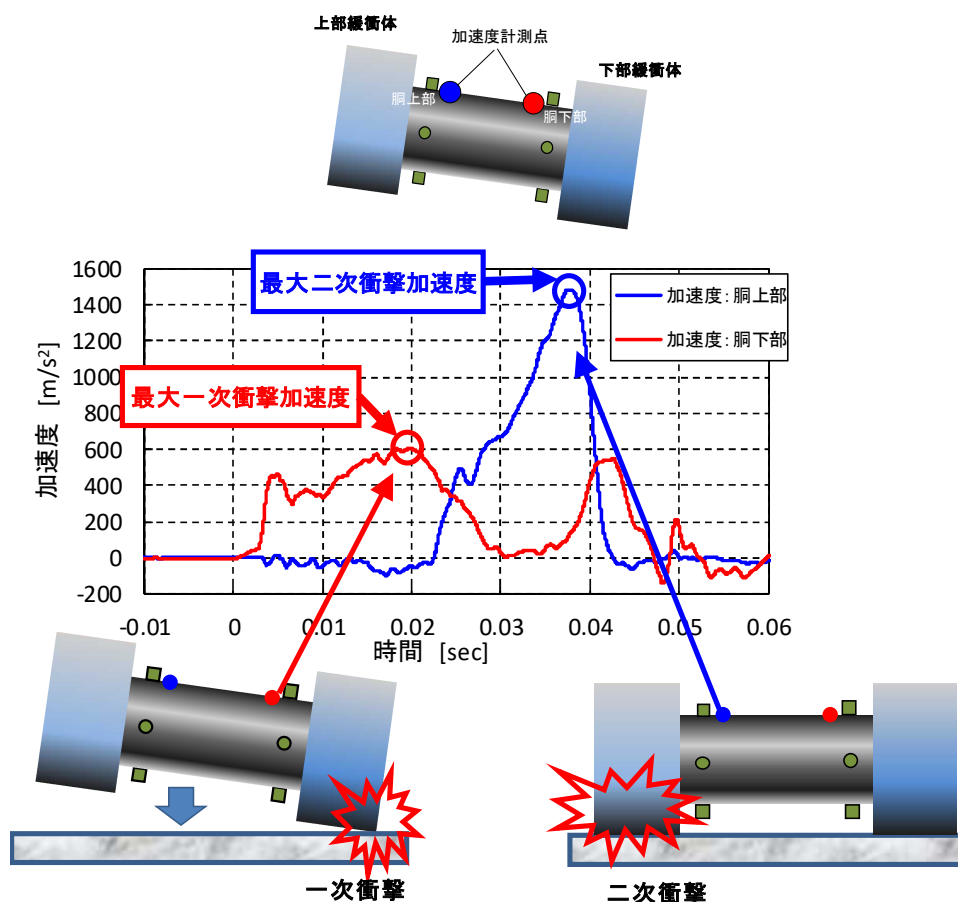


図-3 スラップダウン落下試験から得られたキャスクの胴上下部の加速度時刻歴

3. 今後の対応

地震・津波研究部門は、引き続き本プロジェクトを継続し、令和2年度までに、今回の試験結果の再現解析を実施して短尺キャスクのスラップダウン落下時の詳細な衝撃挙動を把握するとともに、今回の試験結果を用いて上述の参考評価で用いられている評価手法の保守性を検討する。

以上

特別の試験条件に関する規則等

核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（昭和五十三年十二月二十八日総理府令第五十七号、令和元年六月二十八日（令和元年原子力規制委員会規則第二号））

（BM型輸送物に係る技術上の基準）

第六条 BM型輸送物に係る技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

- 三 原子力規制委員会の定めるBM型輸送物に係る特別の試験条件の下に置くこととした場合に、次に掲げる要件に適合すること。
- イ 表面から一メートル離れた位置における最大線量当量率が十ミリシーベルト毎時を超えないこと。
- ロ 放射性物質の一週間当たりの漏えい量が原子力規制委員会の定める量を超えないこと。

核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示（平成二年科学技術庁告示第五号、平成三十年六月八日（原子力規制委員会告示第四号））

（BM型輸送物に係る特別の試験条件）

第十六条 規則第六条第三号の原子力規制委員会の定める BM 型輸送物に係る特別の試験条件は、別記第五に掲げる条件とする。

別記第五（第十六条関係） BM型輸送物に係る特別の試験条件

- 一 第二号の条件の下で核燃料輸送物が最大の破損を受けるような順序で次のイ及びロの条件の下に順次置くこと。
- イ 九メートルの高さから落下させること。ただし、その重量が五百キログラム以下、比重が一以下、かつ、収納する核燃料物質等が特別形核燃料物質等以外のものであって、当該核燃料物質等の放射能の量が A_2 値の千倍を超えるものにあつては、これに代えて、重量が五百キログラム、縦及び横の長さが一メートルの軟鋼板を九メートルの高さから当該核燃料輸送物が最大の破損を受けるように水平に落下させること。
- ロ 垂直に固定した直径が十五センチメートルであり、長さが二十センチメートルの軟鋼丸棒であつて、その上面が滑らかな水平面であるものに一メートルの高さから落下させること。

二 次の条件の下に順次置くこと。

イ 摂氏三十八度の環境に表面温度が一定になるまで置いた後、摂氏八百度の環境に三十分間置くこと。この場合において、別記第四第一号に定める輻射熱を負荷しつつ、設計上最大となる内部発熱率があるという条件とすること。

ロ 摂氏三十八度の環境で別記第四第一号に定める輻射熱を負荷しつつ、設計上最大となる内部発熱率があるという条件の下で冷却すること。ただし、人為的に冷却してはならない。

三 深さ十五メートルの水中に八時間浸漬させること。

備考 第一号及び第二号の条件の下には、この順序で置くものとする。

車両運搬確認申請書、容器承認申請書及び核燃料輸送物設計承認申請書に添付する説明書の記載要領（平成 23・03・07 原院第 8 号、平成 23 年 6 月 1 日）

A. 6 特別の試験条件 本節では特別の試験条件下における輸送物の状態を記載する。

A. 6. 1 強度試験・落下試験Ⅰ（9 m 落下時）又は強度試験・落下試験Ⅲ（動的圧潰時）

解析、原型試験及び（又は）モデル試験等について説明する。落下試験の標的の材質、構造、仕上げ等について説明する。落下試験Ⅲの場合は落下物の材質、構造及び寸法についても説明する。

(a) 解析モデル

実物と解析モデルとの違いを比較し、モデルが妥当であることを説明する。結果を証明する計算、落下エネルギーの吸収、衝撃時の局部変形及び衝撃力、強度部材における応力及び歪に対する輸送物の対応性、温度勾配、熱膨張、圧力及びその他の負荷の組合せによる影響等について説明する。

(b) 原型試験

方法、手順及び落下試験の標的上への輸送物落下方向を説明する。落下試験Ⅲの場合は輸送物の落下試験台上の姿勢を説明する。収納物の代替物について説明する。変形状況等試験結果について説明し、写真を添付する。

(c) モデル試験

寸法及び材料を示した図面を添付する。モデルと原型とについて違いを量的に比較し、説明する。縮尺率、相似則、衝撃速度、落下エネルギー、最高衝撃加速度、最大変形量等について説明する。

A. 6. 1. 1 垂直落下

垂直落下の輸送物に対する影響について説明する。

A. 6. 1. 2 水平落下

水平落下の輸送物に対する影響について説明する。

A. 6. 1. 3 コーナー落下

コーナー落下の輸送物に対する影響について説明する（落下点はコーナーと重心とを結ぶ直線上にあること）。

A. 6. 1. 4 傾斜落下

試験又は上記 A. 6. 1. 1～A. 6. 1. 3 の結果により評価を行う。長尺の輸送物の場合は転倒による二次衝撃について説明する。

A. 6. 1. 5 結果の要約

各落下試験後の輸送物の状況について説明する。各落下方向での損傷を要約して記載し、最大損傷の状態と最大損傷を受ける条件とについて評価する。