

高速飛来物の衝突事象に対する金属キャスクの安全性検証

背 景

重要な原子力施設への航空機衝突に対する安全性評価が、米国やドイツで活発に実施されている。しかし、これらの報告事例には、衝突による荷重時間曲線の設定条件や安全性評価方法等の技術的詳細が公開されていない。一方、我が国では近年、外部人為事象に関する安全性に関連して、空からの脅威に対する一般公衆の懸念が高まっており、これらの事象における金属キャスク(使用済燃料を貯蔵するための金属製の乾式容器)の挙動に関する知見を得ておく必要がある。

目 的

金属キャスクに民間航空機のエンジンが衝突する場合を想定し、衝撃荷重を受ける金属キャスクの密封性能を、数値解析および金属キャスクの縮尺モデルを用いた衝突実験により評価する。

主な成果

1. 設定荷重の算定

エンジンが衝突する場合の荷重時間曲線は、これまで、国内外を含め公開情報が非常に乏しい状況にあった。そこで、剛性の高い航空機エンジンが貯蔵施設を貫通して侵入する場合を想定し、民間航空機(ボーイング 747)のエンジンが、IAEA(国際原子力機関)輸送規則航空輸送物要件における速度 90m/s で貯蔵施設の最も壁厚の薄い部分(85cm)に衝突した場合の残留速度を、文献調査で得られた残留速度評価式より算出した(60m/s)。さらに、エンジンを詳細にモデル化し、速度 60m/s で剛体壁に衝突させた場合の荷重時間曲線を算定した(図 1)。

2. 数値解析による実機金属キャスクの密封性能の評価

算定した荷重時間曲線を用いて、金属キャスク蓋部中央で垂直にエンジンを衝突させる垂直衝突と、胴部上方で水平に衝突させる水平衝突を対象として、汎用解析コード LS-DYNA により衝撃解析を実施した(図 2)。その結果、垂直衝突では、二次蓋フランジ面に塑性領域が発生し密封性能が喪失するが、一次蓋に塑性領域は発生せず健全であり、また、水平衝突では、いずれの蓋も塑性領域は発生せず健全であることが明らかとなった。

3. 縮尺金属キャスクによる水平衝突に対する衝撃実験

加熱により経年劣化を促進して付与した蓋密封ガスケット構造を有する縮尺金属キャスクモデル(縮尺比 2/5)を用いて、高速飛来物(直径 50cm、質量 316kg)による水平衝突試験(衝突速度 57m/sec)を行い、衝撃荷重載荷時の金属キャスクの蓋や本体各部の変位量、および蓋密封ガスケットの漏洩率の測定を行った(図 3)。その結果、蓋密封ガスケットの漏洩率は $10^{-5}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{sec}$ 以下であり、飛来物の衝突による蓋部の損傷が金属キャスク内部の負圧維持に影響を及ぼすことはないことを明らかにした。

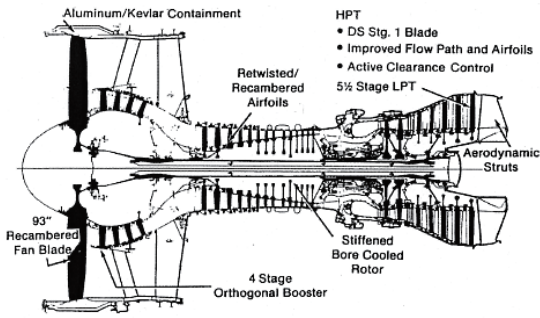
本研究の一部は、経済産業省 原子力安全・保安院からの受託研究として実施したものである。

今後の展開

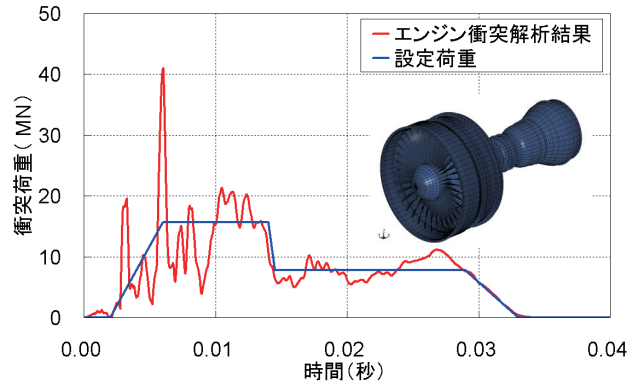
実物大金属キャスクを用いて高速飛来物の鉛直方向からの垂直衝突試験を行い、密封性能の評価を行う。

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 白井 孝治

関連報告書 「航空機衝突時の使用済燃料貯蔵施設の耐衝撃性評価 ― 衝撃荷重を受ける金属キャスクの密封性能に関する数値解析的評価 ―」 電力中央研究所報告: N07040



GE 製 CF6-80C2 型ターボファンエンジン
 (直径約 2.7m, 長さ約 4.3m, 重量約 4.4ton)



ボーイング 747 型旅客機エンジン相当の剛な飛来物が IAEA の航空輸送要件相当の衝突速度 (90m/s) で壁厚 85cm 程度の貯蔵施設に衝突した場合、既往の残留速度評価式より、施設内へのエンジンの進入速度は 60m/s となった。エンジン部の荷重時間曲線については、エンジン部が剛壁に衝突する際に剛壁に発生する荷重より定めた。

図 1 検討の対象とした民間航空機エンジンと設定した衝撃荷重

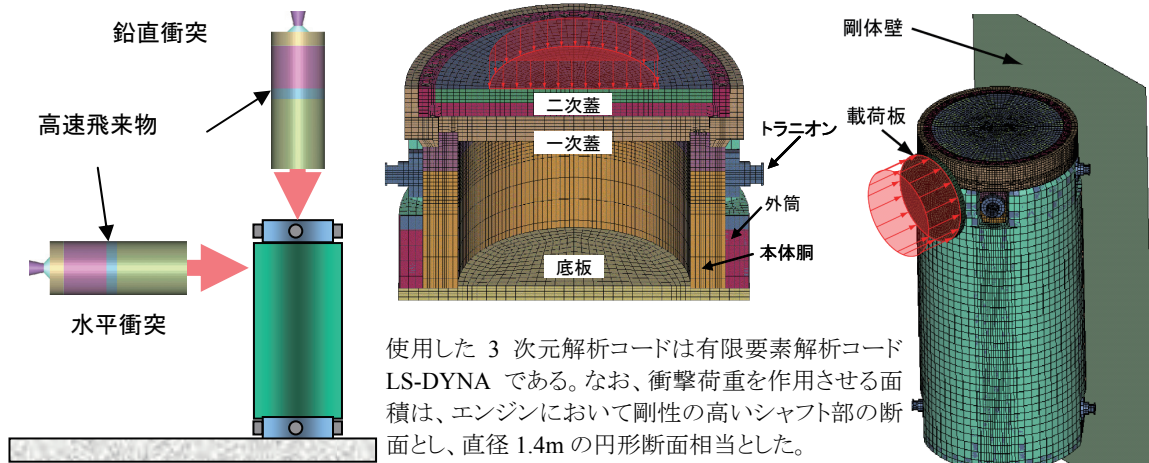
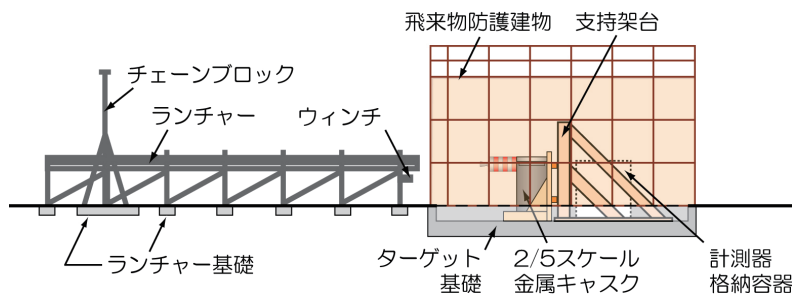


図 2 金属キャスクに対する高速飛来物の衝突事象に対する評価モデル



本装置は、内部に充填された推進薬により、飛来物 (直径 50cm, 質量 316kg) が誘導するランチャー上を加速しながら進み、所定の速度 (実測値 57m/sec) で支持架台に取付けられた縮尺金属キャスクモデルに水平に衝突する仕組みとなっている。衝撃荷重載荷中のキャスクの蓋や本体各部の変位量、蓋密封ガスケットの漏洩率等の測定を行った。その結果、蓋密封ガスケットの漏洩率は $10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下であった。



図 3 縮尺金属キャスクモデルを用いた水平衝突に対する衝撃実験概要