

Oral presentation | IV. Nuclear Plant Technologies : 401-3 Reactor Design, Construction and Examination of Nuclear Power Station, Aseismatic Design, Nuclear Ship

📅 Wed. Mar 12, 2025 3:40 PM - 4:35 PM JST | Wed. Mar 12, 2025 6:40 AM - 7:35 AM UTC 🏠 Room F(Zoom room 6)

[1F04-06] Plant Design

Chair:Daisuke Goto(GNF-J)

3:40 PM - 3:55 PM JST | 6:40 AM - 6:55 AM UTC

[1F04]

Analytical study on impact resistance of composite RC structures with different material layers

*Junji Tsujimura¹, Yukihiro Okuda², Akemi Nishida², Hiroshi Yamagata¹ (1. Nagaoka Univ. of Tech., 2. JAEA)

3:55 PM - 4:10 PM JST | 6:55 AM - 7:10 AM UTC

[1F05]

Study on protective design using multi layered structure against high speed projectile

*Daiki Takahashi¹, Hiroshi Yamagata¹ (1. Nagaoka Univ. of Tech)

4:10 PM - 4:25 PM JST | 7:10 AM - 7:25 AM UTC

[1F06]

Simplified fatigue analysis method for fragility evaluation of piping systems in seismic PRA

*Yohei Ono¹, Masato Nakajima¹, Michiya Sakai¹, Ryuya Shimazu¹ (1. Central Research Institute of Electric Power Industry)

4:25 PM - 4:35 PM JST | 7:25 AM - 7:35 AM UTC

Time reserved for Chair

異種材料積層型 RC 複合構造についての耐衝撃性の解析的検討

Analytical study on impact resistance of composite RC structures
with different material layers*辻村 潤二¹, 奥田 幸彦², 西田 明美², 山形 浩史¹¹長岡技術科学大学, ²日本原子力研究開発機構

新規制基準では飛翔体衝突対策が求められる中, 本研究では局部損傷低減を目指し, 異種材料を積層した RC 複合構造を提案する. 特に, 応力波の伝播を阻害する効果に着目し, 衝突解析を実施した. 異種積層材(RC+ゴム)では裏面剥離の大幅な低減が確認された.

キーワード: 異種積層材, 局部損傷, 斜め衝突, 数値解析

1. 緒言

新規制基準では, 飛翔体衝突事象に係る規制が新設され, 建屋等構造物では安全設計が求められている. 一般的な原子炉建屋に使用される鉄筋コンクリート(RC)構造では, 飛翔体衝突によって局部損傷が生じる. 応力波は, 材質が異なる不連続面では透過する波と反射する波が生じ, 材質の組み合わせによっては透過率を小さくすることが可能である^[1]. 本研究では, 局部損傷の要因となる応力波の伝播に着目し, 衝突時に RC 板中に伝播する応力波を阻害することで局部損傷の低減ができないかと考えた. それらを踏まえ, RC にゴムや鋼材等の異種材料を積層した異種材料積層型 RC 複合構造を考案し, 汎用衝突解析コード LS-DYNA を用いて衝突解析を実施する. 裏面剥離の様子を比較し, 防護性能について検証した.

2. 異種材料積層型 RC 複合構造の有限要素解析

本解析は, 原子力機構が過去に実施した衝突試験に基づいている^[2]. 板厚 120mm の RC 構造に対して約 2kg の剛飛翔体を衝突速度約 160m/s, 衝突角度 45° の条件で衝突させる基本モデルを①RC 板とした. このモデルに, ②異種積層材(RC+ゴム), ③異種積層材(RC+鋼板), ④鋼板付き RC 板(裏面)をモデル化した. ②, ③は RC の間に材質の異なる材料を挿入した, いわゆるサンドイッチ構造^[3]であり, 積層したゴム・鋼材の厚みは 8mm である. また, ④の鋼板の厚みは 4mm である.

裏面の剥離片飛散の様子及び最大主ひずみのコンター図を

図 1 に示す. 同図から, ②は大幅な裏面剥離の低減が確認できる. また, 最大主ひずみについては, ②は構造全体に広がって分布しており, 構造全体で衝突時の負荷を受け止めることにより裏面剥離の低減に寄与しているものと考えられる. また, ④は裏面剥離しているものの裏面に装着した鋼板が剥離片の飛散を抑制している.

3. 結論

RC 構造と異種材料積層型 RC 複合構造で衝突解析を実施し裏面の剥離片飛散の様子及び最大主ひずみの分布について比較した. 異種積層材では積層する材料により大幅な裏面剥離の低減が実現可能と考えられる. さらに, 発表では, 応力波の透過率についても言及する予定である. また, 今後の課題として, 貫通限界も含めた局部損傷の低減及び異種材料の組み合わせについてさらなる調査・検討をおこない, 防護性能の向上を目指す.

参考文献

- [1]. 石川信隆, 大野友則, 藤掛一典, & 別府万寿博, 「基礎からの衝撃工学」第 1 版, 森北出版, p.136 (2008).
 [2]. Okuda, Y., et al, “Experimental study on scabbing limit of local damage to reinforced concrete panels subjected to oblique impact by projectile with semispherical nose”, Mechanical Engineering Journal, Vol.10, No.3, 2023.
 [3]. 上田多門, & 塩屋俊幸, 「鋼コンクリート系サンドイッチ構造」, コンクリート工学, 30 巻(1992)5 号.

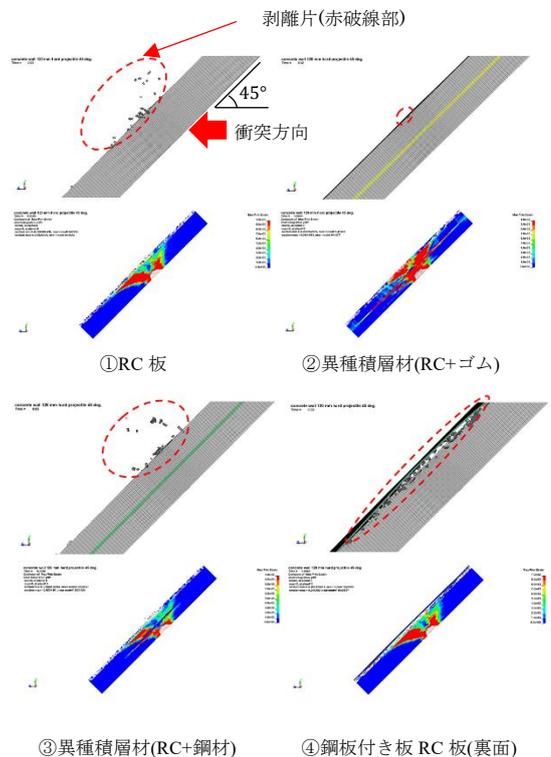
*Junji Tsujimura¹, Yukihiro Okuda², Akemi Nishida² and Hiroshi Yamagata¹¹Nagaoka Univ. of Tech., ²Japan Atomic Energy Agency.

図 1 剥離片飛散の様子と最大主ひずみの分布

高速飛翔体に対する多層構造による防護設計の検討

Study on protective design using multi-layered structure against high-speed projectile

*高橋大輝¹, 山形浩史¹

¹長岡技術科学大学大学院工学研究科

原子力規制庁は新規制基準で原発建屋に対する航空機衝突への対策を要求している。そこで本研究では建屋天井に航空機が斜めに衝突した場合に着目し、衝突角の変化による鉄筋コンクリート(RC)の損傷への影響を調査した。また本研究で提案する多層構造の有効性を調査し、一定の防護効果が確認された。

キーワード：多層構造、斜め衝突、数値解析、鉄筋コンクリート(RC)

1. 緒言

原子力規制庁は新規制基準の中で航空機衝突への対応を要求しており、建屋天井に対しては航空機が斜めに衝突すると想定される。既往研究では鉄筋コンクリート(RC)構造物は衝突角が浅いほどひずみが減少することが示された^[1]。そのため垂直衝突に比べてRCの局部損傷が低減する可能性がある。また斜め衝突に対する最適な防護設計によってRCの局部損傷をさらに低減できると考え、本研究では多層構造による防護設計を提案する。多層構造はRCに金属板を設置したもので、衝突時にこれが動き飛翔体を逸らすことでRCへの損傷が低減できると考えた。本研究では衝突角の変化による影響と低衝突角における多層構造の有効性を調査した。

2. 方法

図1に実験の概要を示す。直径10mmの鋼球(SUJ2製)を100m/sでターゲットの表面中央に向けて斜めに射出し、RC板の損傷を観察した。ターゲットはW/C40%のセメントミルク製の150×150×18mmの直方体で、中間面に金網を挿入しRC板を疑似的に再現したものを使用した。さらに多層構造の実験においては、RC板の上に厚さ0.5mmのA5052製の板を1枚重ねた2層構造と2枚重ねた3層構造で実験を行った。また解析ソフトLS-DYNAを用いた再現解析でセメントの内部エネルギーの時刻歴を調査した。

3. 結果

図2に衝突角10°における単層構造の表面の損傷とその再現解析の結果を示す。鋼球の貫入による損傷が確認され、損傷個所の形状が両者ともに飛翔体の運動方向(図の右から左方向)に長く形状に一定の一致が見られた。また、解析の方が表面の損傷範囲と深さが大きく、保守的な解析ができていたことが確認された。そのため再現解析は一定の有効性を確認できた。図3に再現解析におけるセメントの内部エネルギーの時刻歴を示す。衝突角が浅くなるほど内部エネルギーが減少する傾向にあった。内部エネルギーは物体の変形や破壊によって吸収されたエネルギーなので、これが小さいほど物体の変形や破壊が小さくなることを示している。また、衝突角10°でRC単層構造と2層構造及び3層構造を比較すると層の数を増やすことでさらに内部エネルギーが減少しており、多層構造による防護設計が一定の有効性を持つことが示された。

参考文献

[1] Belal et al., "Global damage evaluation of a dry storage structure subjected to postulated aircraft crashes", Progress in Nuclear Energy 156 (2023) 104554

*Daiki Takahashi¹, and Hiroshi Yamagata¹

¹Nagaoka University of Technology

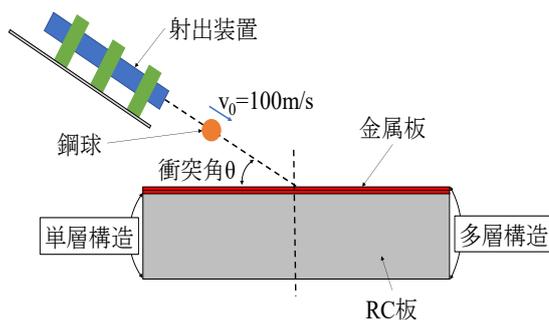


図1 実験の概要

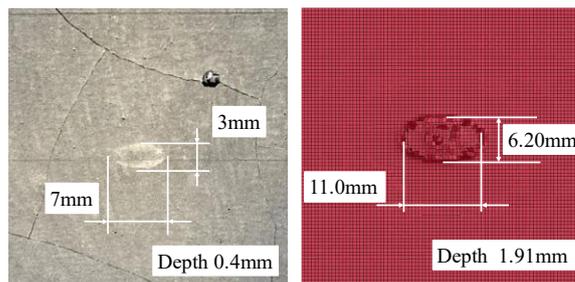


図2(a) 実験結果

図2(b) 解析結果

図2 RC単層におけるセメント表面の損傷
(衝突角10°)

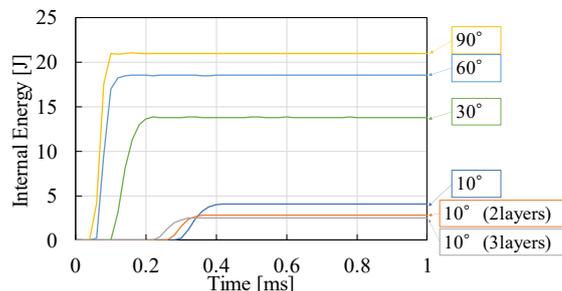


図3 セメントの内部エネルギーの時刻歴

