

## 自己評価報告書

平成23年4月1日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2011

課題番号：20560079

研究課題名 (和文) 機械構造要素の爆発破壊機構と機能保全構造に関する研究

研究課題名 (英文) EXPLOSIVELY DRIVEN FRAGMENTATION AND DAMAGE REDUCTION MEASURES FOR STRUCTURAL COMPONENTS

研究代表者

廣江 哲幸 (HIROE TETSUYUKI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：90218826

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・材料力学

キーワード：破壊、爆発、剥離、分裂破片、スポール、Vノッチ、2重管

## 1. 研究計画の概要

(1) 独自に開発した PETN 爆薬の制御起爆技術を適用し、円筒、球殻、円環の基本構造要素 (ステンレス鋼、アルミ合金製) を一様高速膨張させ、その分裂破壊挙動を把握するとともに既存分裂モデルの拡張・適用についても検討する。

(2) 爆発飛散破片による近接機器の損傷を防ぎ機能保全するために爆発円筒の外側に外筒を同軸設置し破片の飛散防止効果について実験・解析を行い、飛散防止のための限界壁厚の評価法について検討する。

(3) 衝撃波が入射する壁の反射自由表面で発生する剥離破壊 (スポール) について、PETN の制御起爆で生成した平面爆轟波を平板 (ステンレス鋼、アルミ合金製) に入射させることで再現し、実験・解析によってこのタイプの損傷を防止するための表面構造を提案する。

## 2. 研究の進捗状況

(1) 爆発膨張時のひずみ比  $\alpha(\varepsilon_z/\varepsilon_\theta)$  が 1, 0, -0.5 である球殻、円筒、円環 (リング) の分裂挙動について主として SUS304 材を中心に研究した。その結果、円筒と球殻については Grady の分裂モデルに衝撃波通過による材料の機械強度特性変化を考慮することで分裂挙動特性を概略評価できた。理想的な負荷の実現が難しい円環については 3 種類の負荷実験を行って Grady モデルに基づく分裂エネルギーを求めた結果、ひずみ速度の遅い理想負荷では大きなエネルギー値となり、断面変形を伴う負荷では小さな値を示すなど、要素による特異な挙動が把握できた。

(2) 破片飛散防止構造として A5052・2 重壁

円筒 (内筒・29Di-3t-100L、外筒・94Di-3t-100L) および SUS304・2 重壁円筒 (内筒・28Di-3t-100L、外筒・94Di-3t-100L) を対象とし、内部装填する円柱状 PETN の径  $\phi$  を各々 8, 16, 29mm および 16, 22, 28mm と変化させながら破片飛散防止効果の実験・解析を実施した。その結果、 $\phi: 8\text{mm}(A5052)$ ,  $16\text{mm}(SUS304)$  では外筒が内筒の爆発破片の飛散を完全に防止したが、それ以上の薬径では外筒も分裂破壊し、その挙動は円筒の一様膨張・分裂挙動とは著しく異なることが判明した。そこで、飛散防止の新破壊モデルとして、高速円柱の平板貫徹モデルの拡張・適用を試みた結果、A5052、SUS304 の両実験ともに良好に適用することができ、外筒の飛散防止限界厚さ概略推定の可能性を示した。

(3) 自由表面に V ノッチ列加工することで爆発衝撃波の反射に起因する剥離破壊を軽減し機能保全できるかについて SUS304 材、A2024 材平板 (50mm×50mm×20mm) を対象として実験・解析を行った結果、両材料とも溝加工形状を変えることで破壊防止に有効な形状の存在を確認し、寸法マップで防止ゾーンが表現できる見通しを得た。

## 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

研究の残り期間は 1 年であるが、(1)～(3)項目ともに主要課題について難関事項の解決策を得ており、補足と追加の確認実験などを残している状態である。

#### 4. 今後の研究の推進方策

- (1) 既存の分裂モデルに要素の特性を加味した補正項を追加することで基本構造要素に対応できる分裂破壊モデルを提案する。確認と要素の結合部に対する知見を得るために、全ての要素を含む構造体の爆発実験を行う。
- (2) 飛散防止評価の指針を得ているので、内筒と外筒を異材料として評価し、実験で適応性を確認したい。
- (3) 新表面構造によるスポール評価マップを作成し有用性を確認済みであり、最近得た新たな破壊防止機構のアイデアに対しての追試を考えている。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Tetsuyuki Hiroe, Kazuhito Fujiwara, Hidehiro Hata, Kiyotake Tsutsumi, Takuya Igawa and Wataru Yamashita, Explosively Driven Fragmentation Behavior for Structural Components and Shutterproof Effect of Wall Doubling, Materials Science Forum, 673, 191-196, 2011, 査読有
- ② T. Hiroe, K. Fujiwara, H. Hata, M. Yamauchi, K. Tsutsumi and T. Igawa, Explosively Driven Expansion and Fragmentation Behavior for Cylinders, Spheres and Rings of 304 Stainless Steel, Journal of Materials Science Forum, 638-642, 1035-1040, 2010, 査読有
- ③ T. Hiroe, K. Fujiwara, H. Hata, H. Takahashi, Deformation and fragmentation behavior of exploded metal cylinders and the effects of wall materials, configuration, explosive energy and initiated locations, International Journal of Impact Engineering, 35, 1578-1586, 2008, 査読有
- ④ Tetsuyuki Hiroe, Kazuhito Fujiwara, Hidehiro Hata, and Kenjiro Watanabe, Mechanical changes in metals caused by transmission of explosive shock waves and a consideration to fragmentation energy in cylinder explosions, Science and Technology of Energetic Materials, 69, 99-107, 2008, 査読有
- ⑤ Tetsuyuki Hiroe, Kazuhito Fujiwara, Hidehiro Hata, and Keisuke Sashima, Experimental and numerical study on dynamic buckling of 304 stainless steel cylinders impacted by explosively driven flyer plates, Science and Technology of Energetic Materials, 69, 76-81, 2008, 査読有

[学会発表] (計3件)

- ① Tetsuyuki Hiroe, Damage Reduction of Explosively Driven Spallation by Machining V-Notch Rows on the Surfaces of 304 Stainless Steel Plates, 7<sup>th</sup> International Symposium on Impact Engineering, July 4-7, 2010, Sofitel Victoria Hotel, Warsaw, Poland.
- ② T. Hiroe, Explosively Driven Expansion and Fragmentation Behavior for Cylinders, Spheres and Rings of 304 Stainless Steel, International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials, August 26, 2009, Martim Hotel, Berlin, Germany
- ③ K. Nakasato, The effect of slanting Side surfaces on spall fracture behavior of metallic plates induced by explosive shock waves and its application to novel plate structures for damage reduction, September 11, 2008, Kumamoto, Japan