

簡易型 LSC による鋼板の切断と数値解析

田中 茂^{*1}, Greg Kennedy^{*2}, 外本 和幸^{*3}, 伊東 繁^{*4}

^{*1} 熊本大学工学部技術部, ^{*2} 熊本大学自然科学研究科,

^{*3} 熊本大学衝撃・極限環境研究センター, ^{*4} 沖縄工業高等専門学校

1. 概要

金属同士を超高速で衝突させると、その衝突点から高温・高圧の金属ジェットが発生する。LSC は、この金属ジェットを利用して、金属材料等の切断を行うものである。本研究では、銅板と爆薬を組み合わせて簡易型の LSC を作製した。その LSC の性能を評価するために、鋼板の侵徹試験と数値解析を行い、両結果に良好な一致が確認された。

2. 諸言

バングラディッシュやパキスタンの海岸には、世界中から多くの廃船が集まる。現地の住民は、簡単な道具を使用してそれらを解体している。廃船にはアスベストを含むものもあり、作業環境は劣悪である。LSC(Liner Shaped Charge)は、金属材料等を瞬間的に切断する目的で開発されたものであり、鉄塔や鉄橋の解体やロケット燃料タンクのロケット本体からの切り離し等に利用される。LSC は、金属材料と爆薬の組み合わせからなるものであり、爆薬の爆発によって金属同士が激しく衝突する仕組みになっており、その衝突点から高温・高圧の金属ジェットが発生する。その金属ジェットによって、部材の切断を行うものである。

しかしながら、LSC に関する研究論文は非常に少なく、特に実験と数値解析では、それらの結果に大きな違いを生じるとされている。本研究では、簡易型の LSC を製作し、その性能評価のために、侵徹試験と汎用解析ソフト Ls-Dyna を用いた数値解析を行ったので、その結果について報告する。

3. 実験

Fig.1 に、実験装置の概略を示す。簡易型 LSC は爆薬と銅板によって構成されている。銅板(100×150×2mm)は 1 辺が 50mm、内角が 90° になるように折曲げられ、厚み 10mm の爆薬がその上に設置される。爆薬には、火薬ジャパン製高性能爆薬 SEP(爆速:7000m/s、密度:1310kg/m³)、起爆には同社製 6 号電気雷管が用いられた。切断される材料には、軟鋼(300×300×20mm)を使用した。Fig.1 に示すように、LSC と軟鋼の間には間隙(Stand off distance)を設けており、それを 10,20,30mm と変化させて侵徹試験を行った。

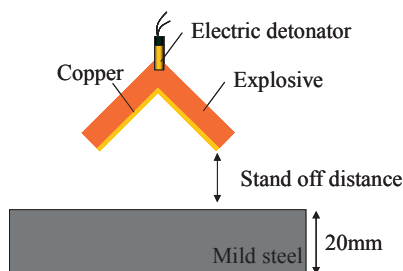
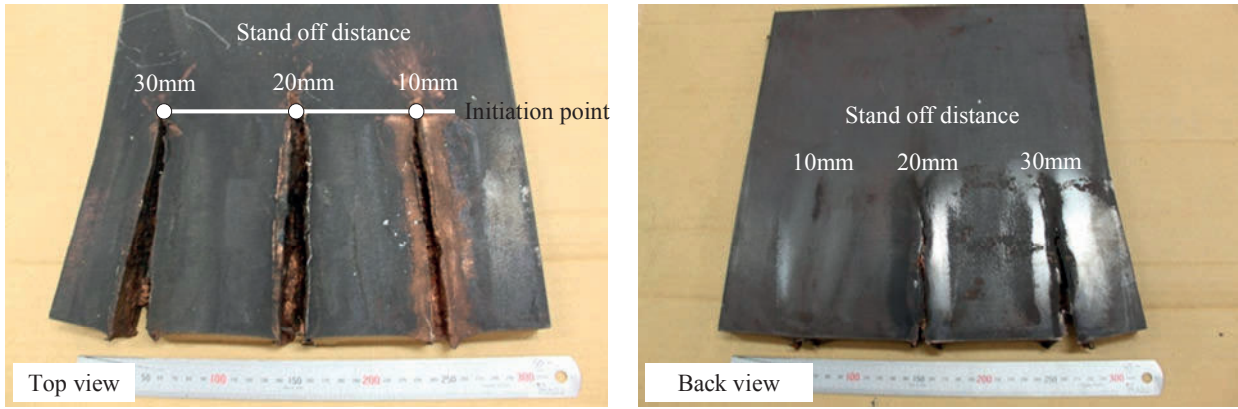


Fig.1 Schematic illustration of Experimental set up

4. 実験結果

試験後の軟鋼の外観写真を Fig.3 に示す。間隙が 10mm の条件では、軟鋼の表面に銅が衝突した形跡が確認された (Fig.3(a))。一部の銅が、銅同士の衝突より前に軟鋼の表面に衝突したものであり、不適切な間隙のため未成熟な金属ジェットによる侵徹が起こったと考える。その結果、侵徹深さは 13.7mm となった。間隙が 20,30mm の条件では、軟鋼の部分的な切断が確認された (Fig.3(b))。



(a) (b)
Fig.2 Recovered mild steel of top view (a) and back view (b)

5. 数値解析

実験結果との比較を行うために、汎用解析ソフト Ls-Dyna を用いて数値解析を行った。解析時間短縮のために、解析問題は3次元から2次元に変更された。解析手法としては、SPH法 [1] を用いた。SPH法は、格子をノードに置き換えて解析を行う方法で、通常の解析方法では解析困難な大変形を伴う解析においても安定した計算を行う事が出来る。Fig.3 には数値解析モデルを示しているが、間隙を 10,20,30mm と変化させた3種類の数値解析を行った。状態方程式としては、金属材料にはユゴニオに基づく Mie-Gruneisen [2,3] を、爆薬には JWL 状態方程式 [4,5] を適用した。他の解析条件を Table 1 に示す。

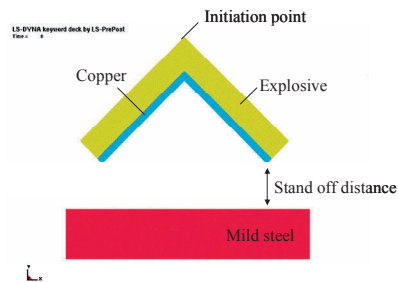


Fig.3 Numerical simulation model applied for this analysis

Table 1 Other conditions of numerical simulation

Analysis method	SPH (Lagrange type, mesh free)
Equation of state	Mie-Gruneisen (metal), JWL (explosive)
Material model	Elastic plastic hydro (metal), High explosive burn (explosive)
Element number	82446
CPU time	32hrs 5mins
Dimension	2D

6. 数値解析結果

Fig.4 に示すように、銅同士の激しい衝突によって銅の大変形が起こり、衝突点からは金属ジェットが発生している様子が確認出来る。Fig.5 では、金属ジェットによる軟鋼の侵徹が確認できる。Fig.5 (a)に示すように、間隙 10mm の条件で

は、侵徹深さが 15.7mm となり、実験結果とは 2mm の誤差を生じた。間隔 20,30mm の条件では、Fig.5 (b) (c)に示すようにおよそ 20mm の侵徹深さとなり、実験結果と良好な一致を示した。

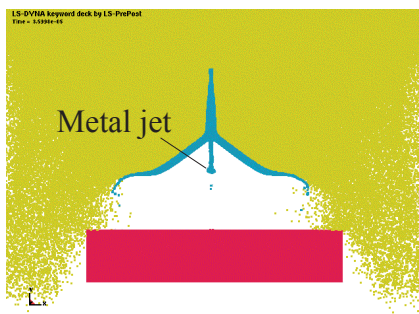


Fig.4 Appearance of flying copper and metal jet generated from collision point

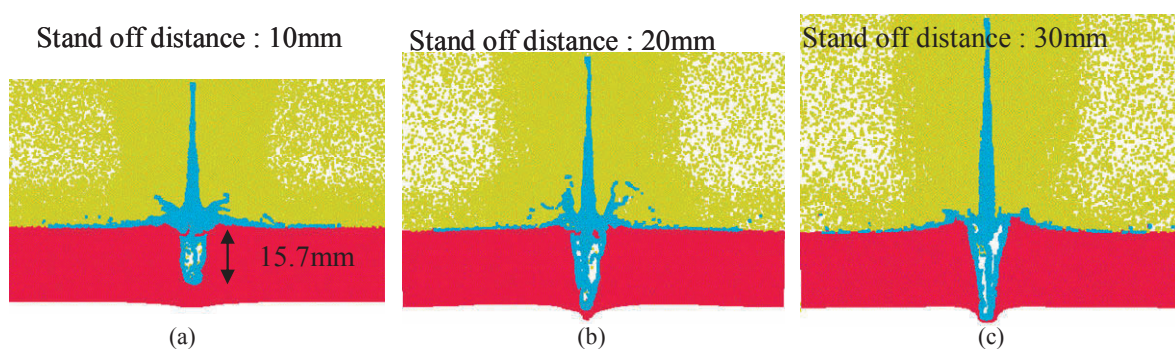


Fig.5 Penetration depth by changing the stand off distance, (a)10mm, (b) 20mm and (c) 30mm

本研究は、日本学術振興会奨励研究 2010 の補助を受けて行われたものである。

7. 参考文献

- [1] Vishal Mehra, Shashank Chaturvedi, High velocity impact of metal sphere on thin metallic plates:A comparative smooth particle hydrodynamics study. *Journal of Computational Physics*. 212, (2006), 318–337
- [2] S. P. Marsh, *LASL Shock Hugoniot Data*, University of California Press. (1980)
- [3] R. Kinslow, *High-Velocity Impact phenomena*, Academic, New York. (1970)
- [4] J. W. Kury, H. C. Horning, E. L. Lee, J. L. McDonnel, D. L. Ornellas, M. Finger, F. M. Strange and M. L. Wilkins, *Metal Acceleration by Chemical Explosives*, 4th symposium on Detonation, (1956), A 109-120
- [5] E. L. Lee, H. C. Horning and J. W. Kury, *Adiabatic Expansion of High Explosive Detonation Products*, UCRL-50422, TID-4500,UC-4, (1968)