

石膏への衝突クレーター形成後期における破片の弾性的放出

Elastic Ejection of Late Fragments Produced in Impact Craterings on Gypsum Targets

小野瀬 直美 [1]; 藤原 顕 [1]

Naomi Onose[1]; Akira Fujiwara[1]

[1] JAXA/ISAS

[1] ISAS

Onose and Fujiwara (2004) は石膏 target に対して 4 km/sec で直径 7 mm の Nylon 球を衝突させ crater 形成実験を行い、発生した破片の速度、target 表面からの放出時刻、そして破片の初期位置を高速度カメラの画像を用いて測定した。これらの破片は、その形状、放出時刻、速度、ならびに初期位置より、衝突の初期に放出される Spall 破片を中心とする「早期放出破片群」と、やや遅れて target 表面と垂直方向に数多く放出される「後期放出破片群」とに分けることができる。これらのうち、早期放出破片群に関しては Melosh (1984) の Spallation 理論を用いて説明が可能である。しかし、後期放出破片群の特徴である、大量の破片が、crater 中心にある楕円形の pit (深さ 24 mm、半径 13 mm) から、放出速度 12 m/s 以下で、衝突から 5 msec 以降に target 表面から垂直方向に放出されるという現象は、他の実験では報告されておらず、その放出メカニズムならびに放出時刻の遅さは Z-model (eg. Maxwell 1973, 1977) などの既存の理論で説明することは困難である。

衝突後の target を飛翔体の弾道を含む平面で切断すると、衝突により形成された crater と、それを取り囲む剪断破壊かつ圧密された石膏の層、さらにその外側に剪断破壊のみされた石膏の層が見られる。これらの剪断破壊された領域の外側には、数本の radial crack はあるが比較的ダメージが少なく hoop stress を支えることができる領域が存在する。これらの領域の境界は、元の target 表面から約 12 mm の深さの点を中心とするほぼ同心円状に分布している。したがって衝突により形成された等圧核の中心は target 表面から 12 mm の深さにあり、衝撃波はここから放射状に伝播し、中心から半径約 20 mm にある破壊強度を持つ領域と持たない領域の境界 (以後 SF 面と呼ぶ) において、石膏の圧縮破壊強度 (本実験の石膏では約 10MPa) まで減衰したと考えることができる。

本研究においては、後期放出破片群が crater を取り囲む比較的ダメージの少ない target 物質の衝突に対する弾性的な振る舞いによって放出された可能性を考える。衝突により発生した弾性波が SF 面に垂直外向きに作用することにより、SF 面よりも外側にある石膏は周方向に引っ張り応力を受け、弾性歪みが生じる。弾性波の通過後 SF 面に外力が加わらなくなると、target に加えられた周方向の弾性歪みの回復に伴い SF 面は中心に向かう速度を持ち、その内側に存在する剪断破壊された石膏を加速する。垂直衝突により target に形成された SF 面は、飛翔体の弾道に関して軸対称であり、上部の欠けた球面である。したがって、石膏粉に加えられる加速度のうち中心軸に向かうものは互いうち消し合い、残った target 表面に垂直な速度成分により石膏粉が放出され、後期放出破片群として測定されたとする。衝突時における Crater 底の弾性的回復は、カナダの Charlevoix crater の観測においても示唆されている (Dence 2004)。

本モデルでは、第一次近似として SF 面を代表する半径 20 mm の球形の空洞を持つ無限弾性体を考え、この球空洞の表面に内側から外側に向かって圧力 10 MPa、継続時間 3 μ sec の弾性矩形波が作用すると仮定し、SF 面の変位と速度を Green 関数を用いてもとめた。実際の crater 形成では SF 面の内側には剪断破壊された石膏の層が存在するが、本モデルでは単純化のため矩形波の通過後の SF 面を自由端と仮定した。石膏のヤング率を 2×10^9 Pa、ポアソン比を 0.25、密度を 0.92 g/cc とすると、弾性波の通過直後の SF 面の半径方向の速度は内向きに 1.2 m/s である。

SF 面で生じた内向きの速度は、剪断破壊された石膏の中を音速で伝わり、これが出口に通じる表面に達した時点で、石膏粉のうち表面に位置するものから順に放出されると考えられる。Teramoto et al. (2004) によると、粉体の音速は固体のそれと較べて粒径が小さくなるほど遅くなる傾向がある。彼らのデータを粒径、物質に関して外挿すると、5 μ m サイズの石膏粉の音速は約 25 m/s となる。よって、深さ 32 mm の SF 面で発生した上向き速度が、飛翔体の潜り込み深さ 9 mm まで伝わったと仮定すると、後期放出破片のうち最も表面に近い位置にあったものの移動開始時刻は 1 msec であり、これに各破片が動き始めた深さから target 表面まで移動するのに必要な時間を合わせると、後期群の遅い放出時刻を説明付けることができる。

References

- Dence, M. R. 2004. *Meteoritics and Planet. Sci.* 39, 267-286
Maxwell D. E. 1973. Cratering flow and crater prediction methods. 50p
Maxwell D. E. 1977. *Impact and Explosion Cratering*, 1003-1008
Melosh, H. J. 1984. *Icarus* 59, 234-260
Onose, N. and Fujiwara, A. 2004, *Meteoritics and Planet. Sci.* 39, 267-286
Teramoto, K. et al. 2004, *Proc. 37th Lunar and Planet. Symposium*, 255-258