

温度勾配中を伝播する爆風に関する研究

Blast Wave Propagation through Temperature Gradient

○ 宇都宮剛 (東北大学流体研), 阿部淳 (東北大学流体研), 高山和喜 (東北大学流体研),

兵藤幸夫 (NASDA), 中村博行 (NASDA)

Go UTSUNOMIYA, Atsushi ABE and Kazuyoshi TAKAYAMA*

Yukio HYODO and Hiroyuki NAKAMURA**

*Shock Wave Research Center, Institute of Fluid Science, Tohoku University
2-1-1 Katahira Aoba, 980-8577, Sendai, JAPAN

**National Space Development Agency of Japan

It is important to investigate large-scale explosion caused by unexpected disaster for safety reasons. Some experimental and numerical research has been carried out on the features of blast wave generated in large-scale explosions by other laboratories around the world. Blast waves in reality are influenced by atmospheric conditions such as geographical features, temperature, wind and so on. However there are few studies regarding such effects. In order to verify these, Shock Wave Research Center started joint research with National Space Development Agency of Japan (NASDA). This paper reports the results of blast wave propagation process through temperature gradient visualized using double exposure holographic interferometry and numerical simulation with gravity source term. These preliminary results indicated that the blast wave attenuates in the pressure of temperature gradient. Efforts are currently underway to improve the spatial resolution in the optical setup used in the experiments.

1. はじめに

火薬・燃料貯蔵庫の爆発、火山噴火等、人為的事故や自然災害による大規模爆発はビルや家屋の構造物やそこに住む人々に甚大な被害を及ぼす。今日に至るまで世界中の様々な研究グループが爆発機構の実験的・数値的解明¹⁾⁴⁾を行ってきた。しかし大気中を伝播する爆風・衝撃波は温度分布、風、地形の影響を受けるにも関わらずそれらについての研究は実際のところあまり行われていない⁵⁾。1990年12月9日、米国ミズーリ州で起きたプロパン導管破壊に伴う可燃性蒸気雲の爆発事故では、ある特定方向のみ被害が大きかった、起爆地点から遠く離れた地点に被害が集中した、等の事象から上空に発生した温度逆転層と風向、現場地形の影響を受け圧力波が屈折し遠方にて収束したと結論付けられている⁶⁾。このことを鑑み、東北大学衝撃波研究センターと宇宙開発事業団では、ロケット射場等における保安技術基準を検討するための基礎データ取得を目的とし、爆風伝播に及ぼす大気状態の影響を解明するための共同研究を行ってきた。本稿ではその際行われた多目的爆発槽内に再現された温度勾配中を伝播する爆風の可視化結果ならびに数値計算結果について報告する。

3. 実験装置・方法

図1に1000mm×1000mm×700mm爆発槽を示す。この装置は内部を密閉できる構造になっており、上部板中心には爆薬を固定・起爆するための支柱が設置されている。起爆位置は上下方向に可動であるが今回は爆発槽中心に固定した。爆風伝播の様子を直径1mの大型シュリーレン鏡を用いて可視化するため側壁の前後は観測窓として1000mm×700mmの亚克力板を使用した。また内部壁面には多数のポートが設けられており様々な目的に利用可能である。今回は温度勾配を測定するためのシース型セ

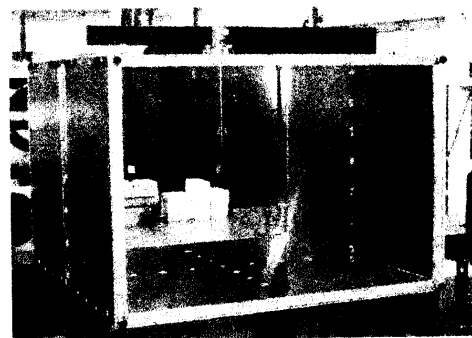


Fig.1 1000mm×1000mm×700mm Explosion Box.

ンサを左側壁面鉛直方向に100mm間隔で5個設置した。微小爆薬には10mgの AgN_3 ペレットを使用した。それを光ファイバーの一端に接着しもう一方からNd:YAGレーザを照射して起爆した。本来 AgN_3 ペレットの爆風形状は起爆直後レーザ照射位置の影響を受けるが、本実験での時間領域ではそれらの影響は無視できほぼ球状の衝撃波に成長することが確認されている⁷⁾⁸⁾。

温度勾配は袋詰した水と保冷材(CMC化合物)を底部に配してステンレス製のバットで覆い3時間程放置することによって作成した。

可視化は二重露光ホログラフィー干渉計法を用い、起爆後500, 750, 1000 μs 毎に計3回ずつ行った。

4. 実験結果及び考察

図2は3.3[K/m]の温度勾配が有る状態と温度勾配の無い状態で、起爆後1000 μs の可視化結果である。球状の先行衝撃波と二次衝撃波が伝播し上下壁面で反射する様子を確認できるが、爆風形状の相違を定性的に比較するのは困難であった。今回の温度勾配は実際の大気温度減

衰率 $6 \sim 7 \times 10^{-3} [\text{K/m}]$ と比べて非常に大きかったが、高々数百 mm 範囲内での可視化だったので両者の相違が大きく現れなかったと考えられる。また各可視化結果にはノイズとみられる干渉縞を多く確認できる。これは光学系が大規模で光路内気体非一様性が積分されてホロフィルム上に結像したためと考えられる。今後これらの不具合を改善するとともに、圧力測定・スケール則⁷⁾を用いて、定性的かつ定量的に現象を評価する必要がある。

5. 数値計算

支配方程式には二次元軸対称 Euler 方程式を用いた。これに初期状態を保持するため重力項を加えた。計算は支配方程式を有限体積法で差分し TVD 条件を付加した WAF 法⁸⁾で数値流束を評価した。計算領域は半径 5km 高度 5km の円筒領域とし、計算格子は一辺 5m の正方形を用いた。爆発は TNT 爆薬 30t に相当する高圧領域を上空 1.5km の地点に仮定した。大気状態は $6 \times 10^{-3} [\text{K/km}]$ の温度減衰率を持つ温度勾配を仮定し、それに対応する密度及び圧力は状態方程式から求めた。

図 3 に温度勾配が有る場合と無い場合の爆風伝播過程（等密度線図）を示す。重力項を加えたことで温度勾配による密度分布は衝撃波伝播後も比較的変動せず、爆風伝播に影響を与えていると考えられるが、実験結果同様爆風形状に大きな違いを認めることはできなかった。そこで爆心から地上 1km, 2km, 3km 地点の圧力履歴より読み取った過剰圧と距離の関係（図 4）、爆風伝播時間と距離の関係（図 5）で比較すると、温度勾配が有ると過剰圧は全体的に強く爆風伝播時間は爆心に近いほど遅くなる傾向がみられた。しかしその差は微小であり単純な温度勾配のみの影響は非常に弱いと考えられる。

6. まとめ

温度勾配中を伝播する球状衝撃波の様子を可視化した。その影響を確認することはできなかった。可視化上の問題点もあるので今後改善の必要がある。また数値計算結果からは温度勾配の影響を確認することはできたがその違いは微小であった。

引用文献

- 1) E. Timofeev et al.: Proc. Symp. *Computational Fluid Science* (1999) 61.
- 2) T. Saito et al.: *J. Volcanology and Geothermal Research* (2000) .
- 3) T. Mizugaki et al.: 衝撃波シンポジウム講演論文集 (2000) 349.
- 4) K. Ohashi et al.: Proc. 23th *ISSW* (2001)
- 5) A. Abe et al.: 衝撃波シンポジウム講演論文集 (2001) 255.
- 6) Y. Nakano et al.: 高圧ガス 10 (1973) 41.
- 7) G. F. Kinney & K. J. Graham: *Explosive Shocks in Air* (Springer Verlag, 1985) 231.
- 8) Toro E.F.: *Riemann Solvers and Numerical Method for fluid Dynamics 2nd edition* (Springer Verlag, 1999) .



Fig.2 Visualization of propagating blast wave:
(Left) Normal condition; (Right) Temperature gradient:

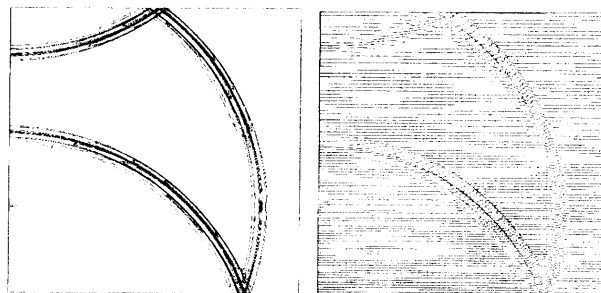


Fig.3 Numerical results:
(Left) Normal condition; (Right) Temperature gradient:

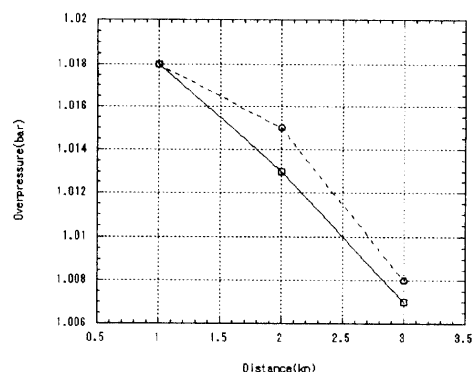


Fig4 Overpressure profile:
(—) Normal condition; (-----) Temperature gradient:

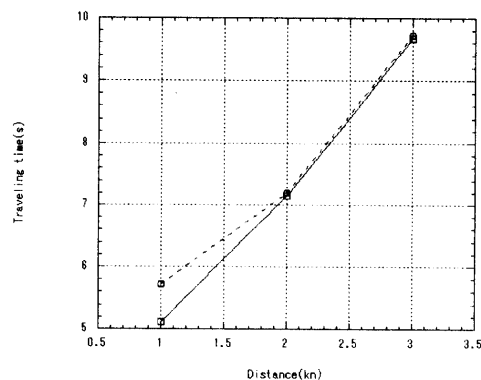


Fig.5 Propagation time profile:
(—) Normal condition; (-----) Temperature gradient: