衝撃波により誘起された微粒子層内の圧力波

Shock induced pressure waves in a particle bed

○学 金田剛之(富山県大・院), 正 見上博, 正 坂村芳孝(富山県大・工), 正 鈴木立之
Takeyuki KANADA, Hiroshi MIKAMI, Yoshitaka SAKAMURA and Tateyuki SUZUKI
Toyama Prefectural University, Kosugi, Toyama 939-0398

Key Words : Shock Waves, Particle Bed, Pressure Waves

1. はじめに

衝撃波と微粒子層との干渉に関する研究は、粉塵爆発や粉体の衝撃圧縮等に関わり、安全工学上、加工工学上からも重要な課題である。

堆積した微粒子層上を平面衝撃波が伝播する際に、微粒子層下で入射衝撃波背後の圧力の数倍に達する異常高圧が発生することが報告されている^{(1),(2)}。後に衝撃波が堆積した微粒子層に垂直に入射する場合の微粒子層下で発生する異常高圧について研究が行われた⁽³⁾。最近の研究⁽⁴⁾で、微粒子層の深さについて研究が行われた。最近の研究⁽⁴⁾で、微粒子層の深さについて研究が行われた。

本研究では、縦型の衝撃波管を用いて管端に堆積させた微粒子層に垂直に平面衝撃波を入射させる実験を行い、管端及び側壁の圧力を測定した。粒径と微粒子層の深さを変化させて実験を行うことにより、微粒子層内を伝播する圧力波に及ぼす影響を調べた。

2. 実験装置及び方法

図1は本実験で用いた縦型衝撃波管(高圧部: 円管, 内径 27.6 mm, 低圧部: 矩形管 縦 20 mm × 横 20 mm)の概略を示したものである。

Fig. 1 Experimental setup.

衝撃波管端と側壁の圧力及び衝撃波マッハ数 M_s を測定するため圧力センサー $T_1 \sim T_5$ が取り付けられている(図1(b)). 低圧部にある試験部の管端には微粒子層を図1(b)のように設置し

た。微粒子層とは球形粒子を堆積させたものである。本実験で用いた球形粒子はセラミック(NORITAKEカンパニー社製)及びイオン交換樹脂(オルガノ社製)である。これらの粒子の特性を表1に示す。

Table 1 Physical properties of the spherical particles.

Model name	Material density ρ_p (g/cm ³)	Bulk density ρ_c (g/cm ³)	Mean (standard diameter deviation) d_p (mm)
R1	1.0	0.64	0.49 (0.05)
R2	1.2	0.73	0.66 (0.07)
C1	3.5	2.0	0.77 (0.04)
C2	3.5	2.0	1.32 (0.06)

M1, M2 : Ion-exchange resin

M3, M4 : Ceramic

実験は微粒子層の深さを変化させて行い、微粒子層と圧力センサー T_1 が接触しているときの圧力と、微粒子層と圧力センサー T_1 との間に金網(厚さ 0.3 mm, 開き目 0.26 mm)を設置することによって粒子と圧力センサーとの接触を断ち金網を通して気体の圧力を測定した。入射衝撃波マッハ数は $M_s = 1.33 \pm 0.01$ で、作動気体として空気を用いた。試験部の初期圧力及び初期温度は、それぞれ大気圧、室温である。

3. 実験結果及び考察

図2はモデルR2、微粒子層の深さ30 mmのときの管端の圧力センサー T_1 で得られた圧力と側壁の圧力センサー T_4 で得られた圧力を示している。横軸は入射衝撃波が圧力センサー T_4 の設置位置に到達した時刻を原点としている。 T_1 は圧力センサー T_1 と微粒子層との間を金網で覆ったときの圧力を、 T_1 は金網が無いときの圧力を示している。 T_1 と T_4 はいずれもAと記された位置で同時に立ち上がっている。その後、 T_1 はBと記された位置で上昇速度が急に大きくなり、Cと記された位置で反射衝撃波背後の圧力を上回る最大値に達している。 T_1 と T_4 は同時に立ち上がっているが、 T_1 は気体圧力であるから、立ち上がりAは微粒子層内の気体中を伝播してきた圧力波(A波)が圧力センサー T_1 に到達して生じたものであると考えられる。また、立ち上がりBは T_1 には見られないことからA波とは異なる圧力波(B波)の到達を示すものと考えられる。

微粒子層の深さを変化させて実験を行うことによって、A波とB波の波動線図を作ることができる(図3, 4)。時間の原点は微粒子層界面に入射衝撃波が到達した時刻である。図3より、A波は同じ材質の微粒子層内を伝播するとき、粒径の大きい方が速く微粒子層内を伝播することがわかる。しかしながら、材質が異なると粒径の大きい方が速く伝播するという傾向は見られない。一方、図4より、B波は微粒子層の深さが小さいときは本実験で用いた微粒子層内をほぼ等しい速度で伝播しているが、微粒子層の深さが大きくなると粒径の大きい微粒子層内を速く伝播していることがわかる。

図5に圧力が最初に極大(図2のCに対応)となる時刻と微粒子層の深さとの関係を示す。時間の原点は入射衝撃波が微粒子層界面に到達した時刻である。この図より、材質が同じ微粒子層なら、粒径の大きい方が早く極大値に達している。しかしながら、材質の異なるR2とC1を比べるとR2の方が粒径が小さいにも関わらず早く極大値に達している。これはB波の伝播機構において、粒径とは別の要因にも依存していることを示唆している。

図6はモデルC1, $d=60$ mmのときの圧力センサー $T_1 \sim T_3$ で測定された圧力及び $d=10$ mmのときの圧力センサー T_1 で測定された圧力を示している。時刻の原点は図3と同じである。図中の p_s は反射衝撃波背後の圧力を示しており、圧力波形において波線で示されるのは微粒子層と圧力センサーとの間に金網を設置した場合の圧力であり、実線は金網を設置しない場合の圧力である。この図より、金網を設置していないときの圧力において、微粒子層界面からの距離がほぼ等しい T_3 ($d=60$ mm)と T_1 ($d=10$ mm)とを比較すると T_3 ($d=60$ mm)は異常高圧は発生しているものの、 T_1 ($d=10$ mm)のような高いピーク値をとらない。金網を設置したときの圧力では異常高圧は発生しておらず、微粒子層が深くなるほど、圧力上昇速度は緩やかになっていることがわかる。

4. 結論

微粒子層に垂直に入射させ、粒径と微粒子層の深さを変化させて実験を行い、微粒子層内を伝播する圧力波に及ぼす影響を調べ、本実験条件の範囲内で、以下の結論を得た。

1. A波は同じ材質の微粒子層内を伝播するとき、粒径の大きい微粒子層内を速く伝播する。
2. B波は微粒子層の深さが大きくなると粒径の大きい微粒子層内を速く伝播する。
3. 微粒子層と圧力センサーが接触しているときの側壁での圧力は、異常高圧は発生するものの高いピーク値をとることはない。

参考文献

- (1) Adachi, T. and Suzuki, T., Proceedings of the 14th International Symposium on Shock Tube and Waves, Sydney, (1983), 19-22.
- (2) Suzuki, T. and Adachi, T., Proc. 13th Int. Sym. on Space Tech. Sci., (1984), 211-219.
- (3) 榊田創, 林光一, 平成4年度衝撃波シンポジウム講演論文集, (1993), 655-660.
- (4) Jiang, J., Ph. D. dissertation of Ben-Gurion University of the Negav, (1996).

Fig. 2 Pressure traces obtained for $d=30$ mm, $d_p=0.66$ mm.

Fig. 3 Wave diagram for the wave A propagating in the layer.

Fig. 4 Wave diagram for the wave B propagating in the layer.

Fig. 5 Peak pressure time vs. particle bed depth.

Fig. 6 Pressure traces obtained for $d=60$ mm, $d_p=0.77$ mm.