

# 角管の断面積の変化が衝撃波伝播に及ぼす影響

飛驒歩\*, 保前友高\*

Effect of changes in the cross-sectional area of a square tube  
on shock wave propagation

HIDA Ayumu\*,  
HOMAE Tomotaka\*

Effect of changes in cross-sectional area of a square tube on shock wave propagation was experimentally studied. The cross-sectional area was varied by PMMA blocks. The peak overpressure was mitigated to 30 % at the downstream of the blocks, when the ratio of cross-sectional area was 0.167.

キーワード 爆発, 衝撃波, 開口比, 圧力, 直管

## 1. はじめに

爆発とは、圧力の急激な増加に伴い熱、音、光などが発生する現象であり、非常に大きなエネルギーを有していることから、動力として利用したり、事故の被害の原因となったり、被害の拡大などの事象を引き起こしたりする。今回は、この非常に大きなエネルギーの一部である衝撃波に注目した。衝撃波とは、音速  $340.65 \text{ m/s}$  ( $15^\circ\text{C}$ )<sup>1)</sup> を超えて伝播する圧力波の総称で、媒質の圧縮性に起因する非線形現象であり、爆発による被害などの原因となるものである<sup>2)</sup>。従って、今日まで多様な研究が成されてきた。例えば、火薬庫内を想定した爆発実験<sup>3)</sup>などが挙げられる。また、直管内を伝播する衝撃波速度については伝播距離との関係が求められている<sup>4)</sup>。一方、管の断面積を途中で変化した場合の伝播挙動は必ずしも明らかではない。そのため、本研究では外部爆発による衝撃波が管内を伝播する際、管の断面積(開口比)を変化させることにより直管の下流側の衝撃波圧力の挙動にどのような影響を与えるのか調べることを目的とした。

## 2. 実験装置

本研究で使用した火薬は 1 個当たり質量  $0.01 \text{ g}$  以下の競技用紙雷管である。(EVERNEW 製、ミニ雷管、型番 EGA223)。日本工業規格<sup>5)</sup>によれば、成分配合比は塩素酸カリウム 72~77 %、赤リン 8 %以下、硫黄 15~20 %である。

実験装置の概略図を図 1、図 2 に示す。起爆は、落つい法によって行った。高さ  $450 \text{ mm}$  に内径  $18 \text{ mm}$ 、長さ  $400 \text{ mm}$  のパイプの上部が固定される様に、地面に見立てた鋼板に対して支柱を用いて垂直に固定した。パイプ上部から直径  $17.6 \text{ mm}$ 、長さ  $102 \text{ mm}$ 、質量  $143 \text{ g}$  の鋼製の棒をパイプ下部に設置した火薬に向かって落下させることにより起爆した。この際、管内に設置したセンサの測定値に鋼製棒落下の衝撃による振動が混在することを防ぐため、図 2 の点線四角で示すように  $5 \text{ mm}$  の隙間を設け、起爆に用いた鋼板と直管を設置した模擬地表面を接触させないようにした。

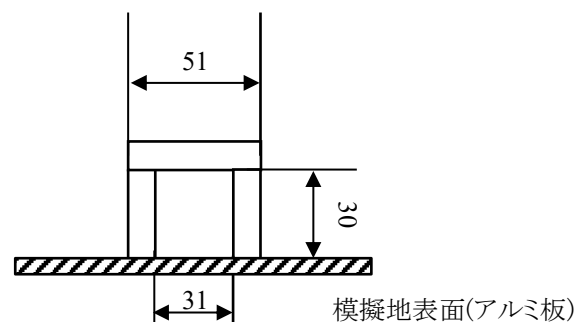


図 1 直管の断面図

\*商船学科

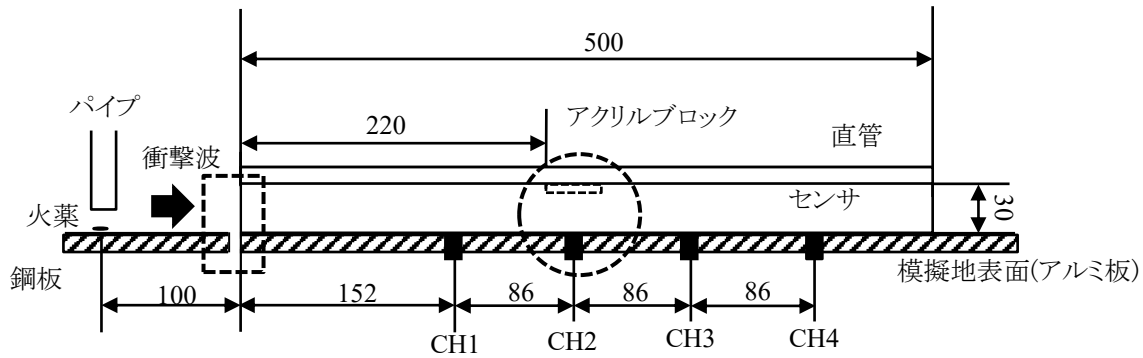


図2 実験装置

直管は厚さ 10 mm のアクリル板を用いて製作し、長さは 500 mm とした。床面は模擬地表面(アルミ板)とした。

実験は表 1 に記した通り 4 通り行った。各実験を 5 回ずつ行い、開口比の減少に伴う衝撃波強度の変化を調べた。開口比とは、直管の断面積に対する開口部面積の比率であり、本研究ではアクリルブロックを用いることで管の断面積を小さくした。

表 1 実験条件

実験の名称	アクリルブロックの枚数	開口比
0 枚	0 枚	1.000
2 枚	2 枚	0.667
4 枚	4 枚	0.333
5 枚	5 枚	0.167

図 3 は図 2 の点線円で囲まれた部分の拡大図である。開口比を調節するアクリルブロックは、厚さ 5 mm、30 mm×40 mm のアクリル板を重ねて用いた。図 3 の点線部はアクリルブロックを設置した箇所である。

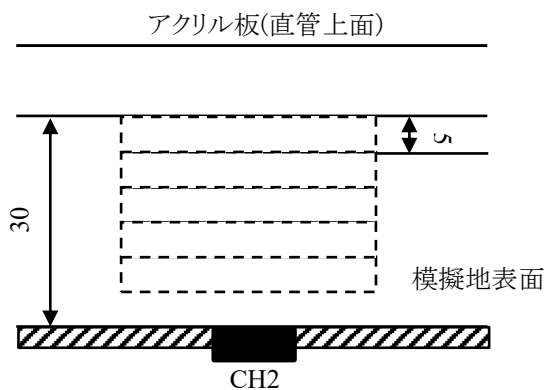


図 3 アクリルブロックの設置

4 つの圧力センサ(PCB PIEZOTRONICS;113B28) CH1: (252 mm)、CH2: (338 mm)、CH3: (424mm)、CH4: (510 mm)(爆薬からの距離)を感圧部が模擬地表面と同一平面になるように設置した。シグナルコンデショナー(PCB PIEZOTRONICS;MODEL 482C SERIESE)で増幅し、データロガー(GRAPHTEC;GL 980)で記録した。

計測値は 0.001 ms ごと 5000 個の電圧データとして得た。各センサの校正値(CH1:14.365 mV/kPa, CH2:14.96 mV/kPa, CH3:14.71 mV/kPa ,CH4:14.905 mV/kPa)を用いて圧力値に変換した。

### 3. 実験結果と考察

開口比1.000と開口比0.167の実験で得られた圧力波形を図4、図5に示す。時刻の0点は図が見やすくなるように設定した。各センサの圧力の0点を10 kPaずつずらして描き、各センサの圧力波形を明確にしている。

本研究で得られた圧力波形は、圧力の急峻な立ち上がりが確認できることや、伝播時間とセンサ間距離から求めた伝播速度が音速347.97m/s (実験時 27 °C)<sup>1)</sup>を上回る350m/s～360m/s程度であったことから衝撃波として伝播したと言える。

まず、CH1では開口比1.000、開口比0.167とも圧力の立ち上がり、圧力低下は同じ挙動を示している。開口比0.167の時はCH1が圧力低下後、アクリルブロック(図2の点線円で囲まれた部分)によって反射した衝撃波がCH1で認められた(図5点線円で囲まれた箇所)。次にCH3、CH4は開口比1.000に比べ開口比0.167の時に明らかな圧力の低下が起こっている。特に、開口

比0.167では圧力の立ち上がりが明確ではなく、波形が割れている。

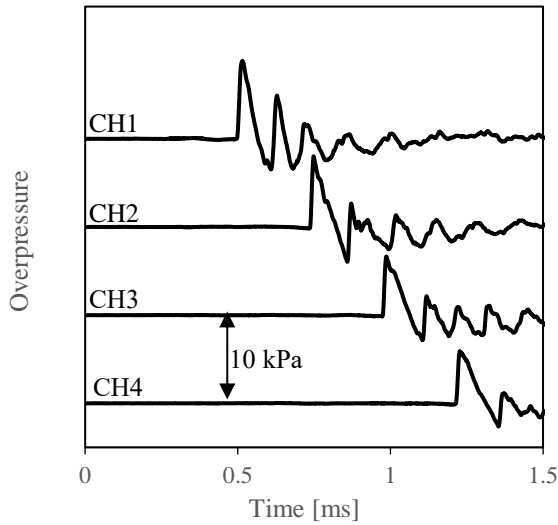


図4 0枚圧力波形 (開口比1.000)

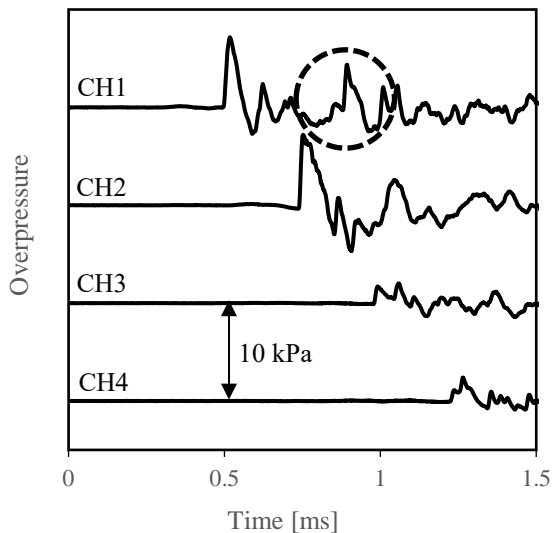


図5 5枚圧力波形 (開口比0.167)

圧力計測の結果を詳細に検討するためにピーク圧力を求めた。結果を図6に示す。ピーク圧力は、衝撃波がセンサに到達した時の立ち上がり波形の最小圧力と最大圧力の差とした。

図6は、全てのピーク圧力データの圧力と距離の関係を描いたものである。図6より、本研究で使用した火薬の起爆状況に起因し、管に入射した衝撃波のばらつきが最大40 %程度存在することがわかる。このため図6に示した各実験の圧力平均値を求め火薬から最も近いセンサ(CH1)で得られた圧力を1とすることで、実

験ごとの入射衝撃波圧力のばらつきの影響を無くし、衝撃波圧力の変化を明確にした。結果を図7に示す。ただし、入射する衝撃波の強さによって衝撃波圧力の減衰挙動が変化する可能性もある。本研究では、入射する衝撃波に衝撃波圧力の減衰挙動が依存しないと仮定する。以後の議論は図7を用いて行う。

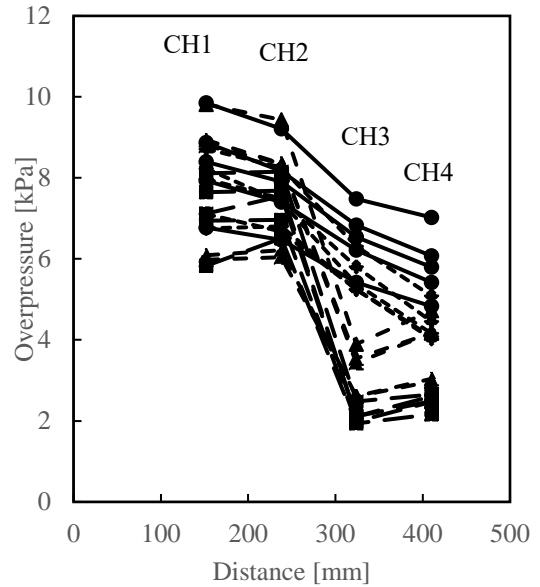


図6 圧力と距離の関係

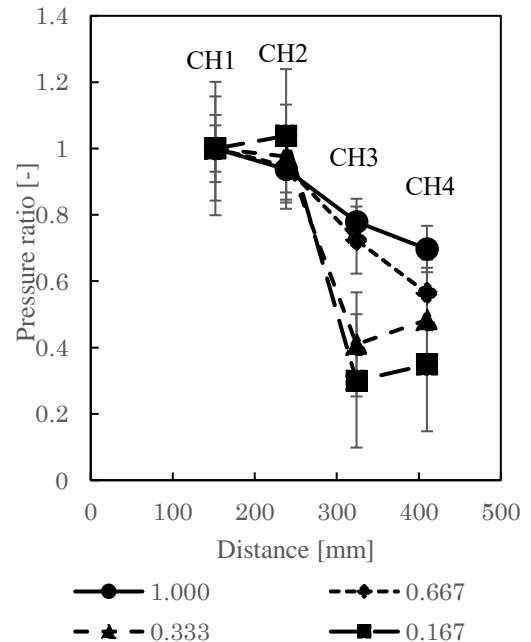


図7 圧力と距離の関係

開口比1.000の時は、伝播距離に応じて圧力の減

衰が生じ、CH4では30 %程度圧力が減衰した。開口比0.667においても開口比1.000と同様の圧力減衰であったが、CH4の圧力はCH1の50 %減衰した。

開口比0.667では圧力の急激な減衰が発生していないことから開口比60 %程度では開口比による影響が顕著には表れなかったと言える。

開口比0.333、開口比0.167では明らかに開口比による影響を受けた。最も顕著に影響が表れている箇所はCH2とCH3の圧力差である。開口比0.333は60 %程度、開口比0.167は70 %程度減衰している。CH2の位置には図2で示したようにアクリルブロックを設置した箇所であり、図3より開口比0.333以下に開口比を小さくした箇所を衝撃波が通過することで急激な圧力減衰が生じることがわかった。

以上の議論より、開口比0.333、開口比0.167はCH2(爆点より338 mm)からCH3(爆点より424 mm)に衝撃波が伝播する際、60 %から70 %程度の圧力低下を伴うことから、開口比を減少させた箇所ではなく再度開口比が大きくなった後、圧力減衰が発生したことがわかる。CH2の圧力はCH1の圧力と同程度であるため、開口比が半分以下の実験では、圧力がCH1=CH2>CH3となっている。開口比0.667では、開口比1.000と最小圧力に差はあるものの、圧力減衰の経過が似ているため開口比による影響は小さいと考えられる。従って、開口比0.333では開口比の影響が大きく、開口比0.667では小さい。さらに図7より開口比0.667と開口比0.333ではCH2、CH3の圧力減衰の経過が異なっているため、この2つの開口比の間に開口比による影響が明確に表れるしきい値が存在することがわかった。

#### 4. おわりに

開口比を小さくした部分を設けると、この箇所を衝撃波が通過することによってピーク圧力が急激に減少することがわかった。これは、爆発による被害の対策や爆発の被害範囲の減少に有効な知見である。

#### 5. 参考文献

- 1) 社団法人 日本音響学会 新版 音響用語辞典 日本音響学会編 コロナ社 (2003)
- 2) 中山泰喜, 改訂版 流体の力学, 養賢堂 (2003)
- 3) 中山良男, 松永猛裕, 飯田光明, 田中克己, 日本火薬学会学会誌vol.5, 275~283 (1998)
- 4) 渋谷堯, 磯部俊郎, 日本鋳業会誌, 99, 1144, 11-15 (1983)
- 5) 日本工業規格 K4853 (1994)