

215

導爆線の水中爆轟過程の光学観測と圧力計測

Optical Observation and Pressure Measurement of the Underwater Explosion of Detonating cord

正 伊東 繁 (熊大) 正 長野司郎 (熊大) ○濱田 亨 (熊大)

村田健司 (日本油脂) 加藤幸夫 (日本油脂)

S.Itoh · Kumamoto Univ.

K.Murata · NOF Co.

S.Nagano · Kumamoto Univ.

Y.Kato · NOF Co.

T.Hamada · Kumamoto Univ.

1. はじめに

著者等は、爆薬を水中で爆轟させ発生した衝撃波を利用した金属管の側壁への穴あけ、金属・非金属粉末の衝撃固化及び、アモルファス金属箔の爆発圧着、美術品・球殻の成型等の各種加工法を提案した。これらの加工法は、その加工目的に応じて水中衝撃波を収束させたり、圧力分布を加工対象に適するように制御する必要がある。

本研究では、導爆線 (日本カーリット(株)製 爆轟速度 6308m/s) を螺旋形状にして水中で爆轟させ、そこから発生する水中衝撃波を螺旋の中心に収束させることで高圧力を得ようと試みた。まず、高速度カメラを用いて水中衝撃波の収束過程を観測し、次に圧力変換器を用いて収束地点上部の圧力を計測した。

2. 実験方法

導爆線の水中爆轟によって発生した衝撃波がある一点に収束するように螺旋形状を幾何学的計算によって求めた。

Figure 1 に光学観測装置の概略図を示す。導爆線を螺旋形状にして PMMA の板 (250×200×5) に貼り付けた。それを水中に立て、高速度カメラ (HADLAND 社製 PHOTONICS790) で水中衝撃波の収束過程を撮影した⁽¹⁾。この時、フレーミング撮影のコマ間隔は 2 μ s、5 μ s で行った。また撮影には起爆点から螺旋の中心までの距離 (以下 r_1 と表示) 100mm、導爆線の長さ 400mm のものを使用した。

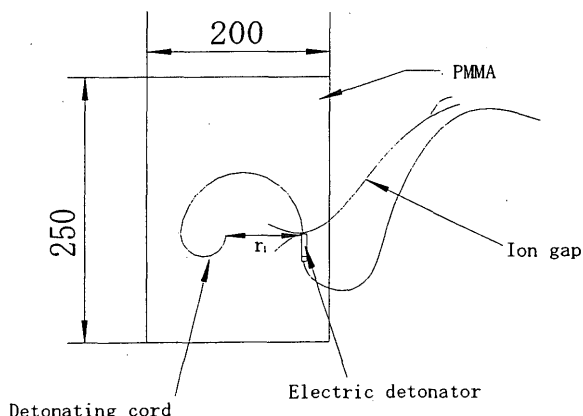


Figure 1. Optical observation device

Figure 2 に圧力計測装置の概略図を示す。圧力変換器と PMMA 板までの距離(Dh)が 272mm の時の螺旋型導爆線の圧力を VDF-TFE 圧力センサーで計測した⁽²⁾。また、導爆線を直線にして PMMA 板に貼り付けた時 (以後、直線型導爆線と記す。) の圧力も計測し、螺旋型の圧力と比較した。

次に、Dh=50mm の場合においては、本研究室で開発した弾性棒によるひずみから求める計測法⁽³⁾によって螺旋型導爆線の圧力を計測した。さらに直線型導爆線と円型導爆線 (これは、導爆線を半径 50mm の円状にして PMMA 板に貼り付けたものである。) の圧力もそれぞれ計測し、螺旋型の圧力と比較した。

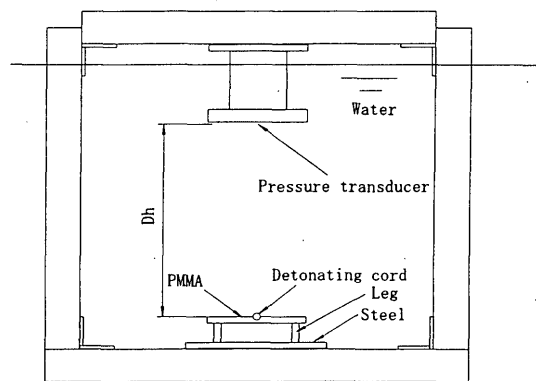


Figure 2. Pressure measurement device

2. 結果及び考察

螺旋型導爆線が水中で起爆した時の衝撃波の伝播過程を Figure3 のフレーミング写真で示す。これは、コマ間隔 2 μ s で撮影したものである。十字で示される箇所が螺旋の中心、白のラインが水中衝撃波を表す。この図をみると水中衝撃波の前方に PMMA 中を伝播する衝撃波が先行しているが、水中衝撃波は、導爆線の爆轟が終了すると同時に螺旋の中心に収束している。

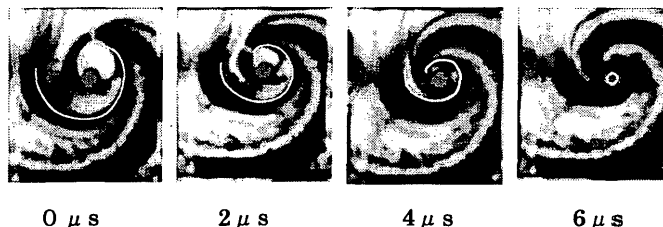
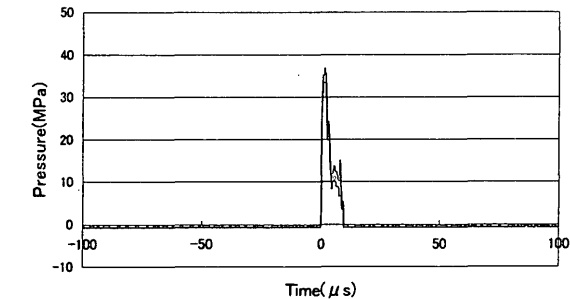


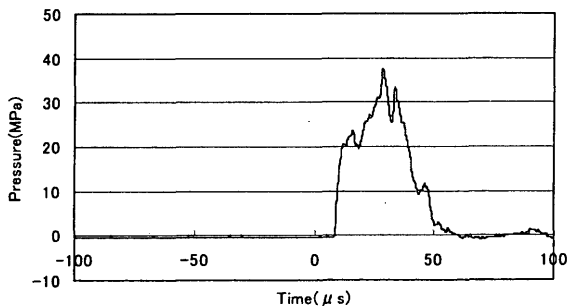
Figure 3. Framing photograph

Figure 4 の (a)、(b) に VDF-TFE 圧力センサーで計測した Dh=272mm の場合の圧力波形を示す。(a)、(b) で使用した導爆線の長さは、250mm である。縦軸は水中衝撃波の圧力値、横軸は時間を示している。ここで (a) と (b) の波形を比べてみると (a) は、衝撃波作用時間が約 10 μ s あるのに対して、(b) は、衝撃波作用時間が約 40 μ s となった。Table1 は、直線型と螺旋型の最大圧力 Pmax と Impulse (力積) を示す。Table1 から最大圧力 Pmax は、

螺旋型でも直線型でも35~40MPaと多少の誤差はあるが、ほとんど同じ値を示す。また、Impulseにおいて同じ導爆線の長さでは、螺旋型の方が直線型よりほぼ5倍程度も大きくなっている事が分かる。また、螺旋型だけで比較すると導爆線が長くなるにつれて Impulse も大きくなっている。



(a) 直線型



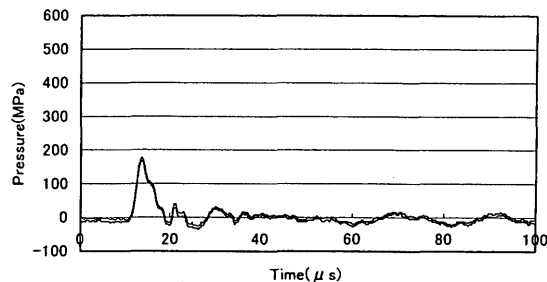
(b) 螺旋型

Figure4. Pressure waveforms

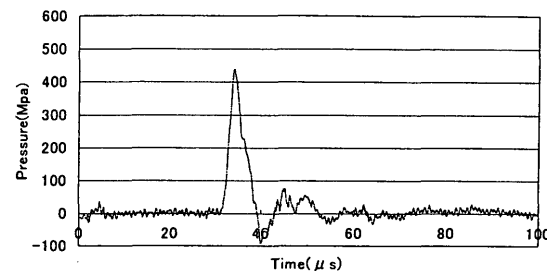
Table1 Maximum pressure and Impulse

パターン	直線	螺旋	螺旋	螺旋
導爆線長さ(mm)	250	250	300	400
Pmax(MPa)	36.8	37.5	40.4	34.3
Impulse(Pa · s)	161.0	889.5	998.7	1225.0

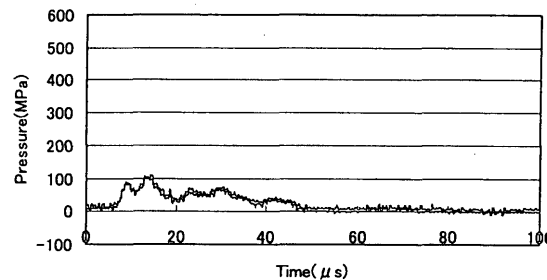
次に、Figure5 の(a)~(c)に弾性棒のひずみから計測された圧力波形を示す。Dhは50mmである。また、(a)~(c)の導爆線の長さは250mmである。直線型、円型と螺旋型を比較すると螺旋型の最大圧力 Pmax が大きいことが分かる。Table2に Pmax と Impulse を示す。Pmax において、同じ導爆線の長さで比較した場合、直線型が176.5MPa なのに対して螺旋型は539.3MPa と約3倍の圧力値を示している。これは、水中衝撃波が平面的に収束するように螺旋ジグが作られているために螺旋の中心(収束点)と圧力変換器との距離が短いほどよく収束するという結果を示している。円型の Pmax は、109.3MPa となり、同じ導爆線長さの直線型より小さい値を示した。これは、直線型の場合、導爆線の垂直方向50mmの位置に圧力変換器があるのに対して円型の場合は、円の中心から垂直方向50mmの位置に圧力変換器があり、結果、直線型の方が導爆線と圧力変換器の距離が短くなったために生じたと思われる。Impulse は、同じ導爆線長さ(250mm)の直線型と螺旋型を比較した場合、螺旋型がほぼ3倍大きくなった。また円型の場合は、水中衝撃波が収束していないために2121.9Pa · sと大きなものとなった。



(a) 直線型



(b) 螺旋型



(c) 円型

Figure5. Pressure waveforms

Table2 Maximum pressure and Impulse

パターン	直線	螺旋	螺旋	円
導爆線長さ(mm)	250	250	400	250
Pmax(MPa)	176.5	439.4	539.2	109.3
Impulse(Pa · s)	620.8	1587.9	2253.2	2121.9

4. おわりに

圧力を計測する距離(Dh)を近づけることによって収束した水中衝撃波の Pmax 値や Impulse 値を正しく計測できる事が明らかになった。また、Dh を変えることで圧力の Pmax を上昇させたり、Impulse を大きくすることが可能であることが分かった。よって今後、3次元的に水中衝撃波を収束させることによってより高い収束した圧力が期待される。

〈参考文献〉

- (1) 伊東繁、灘光陽、長野司郎、藤田昌大、火薬学会誌「導爆線の水中爆ごうにより発生した水中衝撃波について」、58-5(1997)
- (2) 村田健司、高橋勝彦、加藤幸夫、村井幸一、火薬学会誌「フッ素系高分子を利用した水中衝撃波測定用圧力センサーの開発」、57-6(1996)
- (3) 伊東繁、長野司郎、火薬学会誌「孔あけ加工装置の圧力特性」、61-1(2000)