

水中せん孔爆破に伴う水中圧力波 (第1報) —無自由面爆破の基礎実験—

小川 輝繁*, 福山 郁生*, 伊藤 一郎**

海底で無自由面せん孔爆破を行なった場合に生ずる水中圧力波は地盤中を伝播してきた弾性波が水中へ透過することにより生ずる。本研究においては、爆発対象物としてモルタルブロックを用いたモデル実験を行ない、モルタルを伝播してきた直接P波が水中へ透過することにより生ずる水中圧力波について検討し、その特性を考察した。

1. 緒言

水中爆破を施工する場合、これに伴う水中圧力波について十分な検討をしておくことが必要である。水中爆発に起因する水中圧力波に関しては理論的にも実験的にも十分な検討がなされており、それらの結果が系統的にまとめられている¹⁾。そのため、水中爆破においてもこの結果を適用されることが多い。ところが、水中せん孔爆破と水中爆発では水中圧力波の発生メカニズムが異なるので、前者により生ずる圧力波についてもその発生をメカニズムや伝播特性等を明らかにする必要がある。

水底堆積土の下の岩盤を掘削する工法として、堆積土を残した状態で、せん孔、装薬して爆破する工法 (Overburden blasting method) があるが²⁾、この場合には無自由面爆破となる。この時の水中圧力波は地盤中を伝播してきた弾性波が水中へ透過することにより生ずる。弾性波には、爆源からの直接波 (P 波, S 波), 反射波 (P 波, S 波) および表面波があり、これらが作用し合って、複雑な波動が形成される。今回は直接 P 波が透過して生ずる水中圧力波に着目し、水槽実験によって、この波動の特性について検討したので報告する。

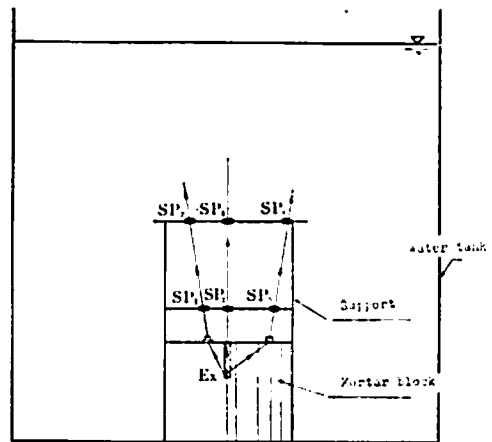
2. 実験方法

実験水槽 (3m×5m×3.5m) 内に設置したモルタルブロックを爆破対象岩のモデルとし、Fig.1 に示すように圧力計を配置して、水中圧力波の測定を行った。モルタルブロックは、水、セメントおよび砂を 1:2:4 の割合で配合し 1 カ月以上養生したもので、

弾性縦波速度 3,000m/S, 弾性横波速度は 1,900m/S, 密度は 1.85g/cm³ である。このブロックの直径は 120cm, 高さは 80cm の円柱型である。

爆源には Fig.2 に示すように、円柱型に圧填したテトリルペレット (密度 1.50g/cm³, 薬量 10g) を用いた。ブロックの上面から、その面に垂直に直径 22mm の装薬孔をせん孔し、爆薬を所定の位置に装填し、タンピングに急結モルタルを用いた。

圧力ピックアップ、電気石ゲージをブロック上部に組み立てた枠組の所定の位置に固定した。Fig.1 に示す弾性縦波が水中へ伝播するものとして、波動の入射角を 0°, 30° および 60° とした。ピックアップの信号はインピーダンス変換増幅器を通してトランジエン



Ex : Explosion source
SP : Pressure gauge
—→— : Propagation path of wave

Fig. 1 Test apparatus

昭和52年4月22日受理

*横浜国立大学工学部安全工学科 〒233 横浜南区大岡2-31-1

**京都大学工学部資源工学科 〒606 京都市左京区吉田本町

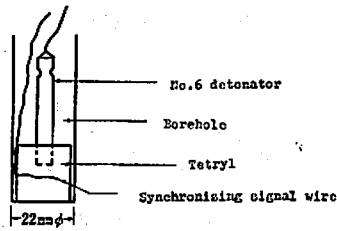
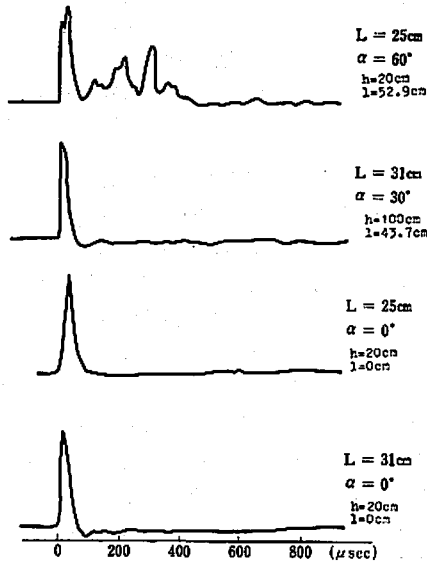


Fig. 2 Pressed tetryl as explosion source



- L : Length of path of the least resistance
- d : Incident angle
- h : Distance of pressure gauge from surface of mortar block
- l : Horizontal distance of pressure gauge from explosion source

Fig. 3 Examples of pressure wave form

トレコーダ (Biomation 802) に記憶させ、X-Y レコーダに記録した。

3. 実験結果および考察

3.1 圧力波の伝播経路

最小抵抗線長 L が 10cm 以上では漏斗孔が生じないので、今回は L を 10cm~31cm として漏斗孔の生じない場合の水中圧力波について検討した。

Fig. 3 には圧力波形状を示した。記録の掃引開始点は爆源として使用したテトリルに巻いた導線が切断した時間であるから、この時刻から擾乱開始までの時間は波動がそれぞれの測点まで伝播する時間とほぼ等しいと考えられる。

Fig. 4 は音響理論による伝播経路を示したものである。0-C間、0- SP_I 間、0- SP_{II} 間の波動の伝播

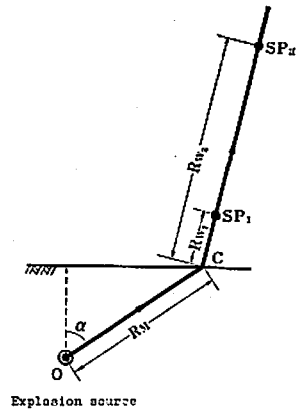


Fig. 4 Propagation path of pressure wave

時間をそれぞれ tR_M , tR_1 , tR_2 とする。 SP_I 点、 SP_{II} 点における測定記録について掃引開始時刻から擾乱開始までの時間を求め、これらをそれぞれ tR_1' , tR_2' とすると、次式が成り立つ

$$tR_1 = tR_1' + t_e, \quad tR_2 = tR_2' + t_e \quad (1)$$

ここで、 t_e は爆発の瞬間から導線が切断するまでの遅れ時間である。

これより、 SP_I - SP_{II} 間の波動の伝播速度 $W.V.$ は次式によって与えられる。

$$W.V. = \frac{R_{W2} - R_{W1}}{tR_2 - tR_1} = \frac{R_{W2} - R_{W1}}{tR_2' - tR_1'} \quad (2)$$

tR_1' , tR_2' の実測値を(2)式に代入して得られる $W.V.$ の平均値は 1,430m/S、標準偏差は 37m/S であった。この値は水中音波の伝播速度と一致しており、この波動が SP_I から SP_{II} に向かって伝播しているという仮定に矛盾しない。一方、 tR_M は次式によって与えられる。

$$tR_M - t_e = tR_2' - \frac{R_{W2}}{W.V.} = tR_1' - \frac{R_{W1}}{W.V.} = tR_M \quad (3)$$

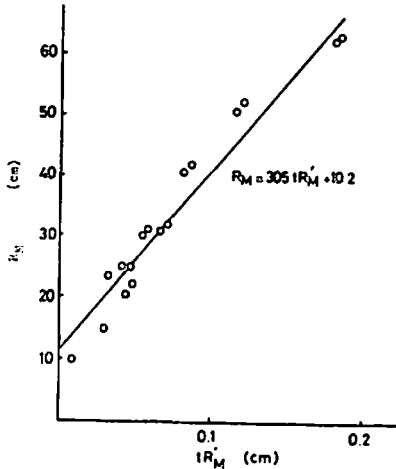
ここで、 tR_M は導線が切断してから波動が C 点に達するまでの時間である。

一方、実験結果について tR_M と R_M との関係を求め、その結果を Fig. 5 に示した。さらに、最小自乗法を用いて、この関係を整理すると、次式が得られる。

$$R_M = 305tR_M + 10.2 \quad (4)$$

$$(R_M : \text{cm}, \quad tR_M : \text{ms})$$

(4)式における係数 (305cm/ms = 3,050m/S) はモルタル中の波動の伝播速度を示すが、この値はこの実験に用いたモルタル中での弾性縦波の速度とほぼ一致している。以上より、水中圧力波の初動はモルタル内を伝播してきた弾性縦波が音響理論に従って水中に透過したものであることがわかる。



R_M : Distance between O and C
 tR'_M : Time between trigger signal and arrival time of pressure wave

Fig. 5 Relation between R_M and tR'_M

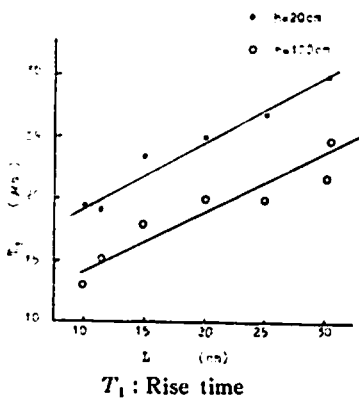


Fig. 6 Relation between T_1 and R_M

Table 1 Rise time of the first pressure pulse

α	0°		30°		60°	
	0	20 100	20 100	20 100	20 100	20 100
10.0	—	18 13	40 45	50 25		
11.5	—	17 15	— —	40 38		
15.0	—	24 18	42 42	— —		
20.0	—	25 20	42 38	46 35		
25.0	—	28 20	38 35	46 40		
30.0	—	30 22	— —	— —		
31.0	31	— 25	42 40	— —		

Note

α : Incident angle
 h : Height of a gauge from the top of a mortar block
 L : Length of line of the least resistance

Table 2 Pulse width

(Unit μ S)

α	h (cm)					
	0°		30°		60°	
	0	20 100	20 100	20 100	20 100	20 100
L (cm)						
10.0	—	65 60	80 86	120 120		
11.5	—	80 90	— —	90 120		
15.0	—	75 60	100 110	100 100		
20.0	—	80 75	95 100	90 110		
25.0	—	80 80	85 70	— —		
30.0	—	75 80	— —	— —		
31.0	80	— 60	130 130	— —		

3.2 圧力波形の特徴と圧力の距離減衰

入射角が 0°, 30° および 60° の場合についての波動を測定したが、このように入射角が大きい時は、Fig. 3 から明らかなように、初動のパルスの圧力値が最も大きいことがわかる。初動のパルスの立ち上がり時間（擾乱が始ってからピーク圧に達するまでの時間） T_1 の値を Table 1 に、パルス幅 T_2 の値を Table 2 に示す。また、Fig. 6 に入射角が 0° の場合について、立ち上がり時間と最小抵抗線長 L ならびにモルタル面からの垂直距離 h との関係を示した。この結果、パルス幅は L あるいは h の値が変化してもほぼ一定であるが、立ち上がり時間は L が大きい程、また h が小さい程大きい傾向が見られる。このことは、立ち上がり時間はモルタル中の伝播距離が長くなるにつれて長くなるが、水中の伝播距離が長くなると短くなることを示している。この点について簡単に定性的な考察を行ってみる。圧力波や応力波が強大な時、その伝播速度は圧力（あるいは応力）の値が大きい程大きい。そのため、波動が進行するにつれて立ち上がり時間は短くなるようにするが、衝撃波ではその性質が強くあらわれている。一方、媒質は粘性をもっているため、波動の伝播中にエネルギーロスが生ずるが、このロスの大きさは高周波のもの程大きい。そのため、高周波成分の減衰が大きくなり、波動の立ち上がり時間は波動の進行に従って長くなるようにする。今回の実験では、モルタル中を伝播する時は後者の性質が強くあらわれ、水中を伝播する時には前者の性質が強くあらわれたものと考えられる。

Fig. 7 において、爆源 O から伝播してきた球面波が水中へ透過して生じた波動の波面の曲率は方向によって異なる。たとえば、O、H を通り紙面に平行な平面と波面と交わる曲線の曲率半径を R_θ' (θ 方向の曲率半径)、C、SP を通り紙面に垂直な平面と波面と交

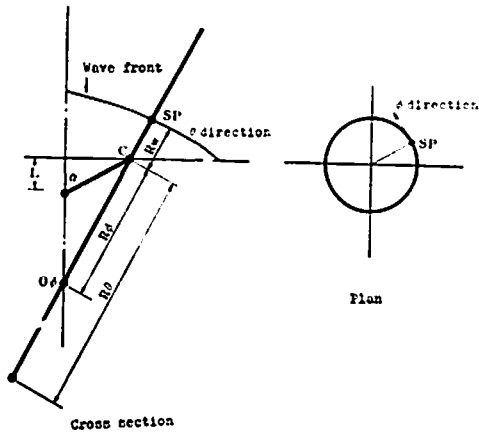
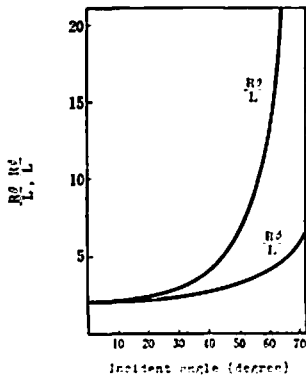


Fig. 7 Pressure wave front



R_θ, R_ϕ : Radius of curvature

Fig. 8 Relation between R_θ/L or R_ϕ/L and incident angle

わる曲線の曲率半径を R_ϕ' (ϕ 方向の曲率半径) とすると、図に示す経路すなわち $O-C-SP$ を通る波動について $R_\theta = R_\phi' - R_W$ および $R_\phi = R_\phi' - R_W$ は次式によって与えられる。

$$\left. \begin{aligned} R_\theta &= \frac{L}{n} (1 + \tan^2 \alpha)^{1/2} (1 + \tan^2 \alpha - n^2 \tan^2 \alpha) \\ R_\phi &= \frac{L}{n} (1 + \tan^2 \alpha)^{1/2} \end{aligned} \right\} (4)$$

ここで、 α : 入射角、 n : 屈折率、 L : \overline{OH} の長さ R_θ および R_ϕ は入射角 α の関数であるから、 R_θ/L あるいは R_ϕ/L との関係を示すと Fig. 8 のようになる。

Fig. 4 に示すように、波動の伝播経路上の 2 点に圧力計を設置したが、これらの圧力測定結果より、波動の伝播経路上における圧力の距離減衰を求めることができる。ここで、波面の θ 方向ならびに ϕ 方向の曲率の中心をそれぞれ O_θ, O_ϕ とし、これらの点を仮想波源とした時の距離減衰指数は次式によって与えられ

る。

$$\left. \begin{aligned} \gamma_\theta &= \frac{\ln P_{II} - \ln P_I}{\ln(R_\theta + R_{W1}) - \ln(R_\theta + R_{W2})} \\ \gamma_\phi &= \frac{\ln P_{II} - \ln P_I}{\ln(R_\phi + R_{W1}) - \ln(R_\phi + R_{W2})} \end{aligned} \right\} (5)$$

ここで、 γ_θ : O_θ を仮想波源とした時の距離減衰指数

γ_ϕ : O_ϕ を仮想波源とした時の距離減衰指数

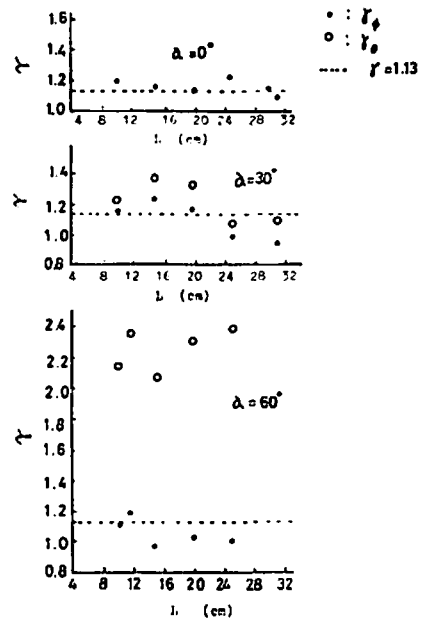
P_{II} : SP_{II} 点における圧力値

P_I : SP_I 点における圧力値

なお、距離減衰指数は、仮想波源からの距離が R である点における圧力値を P として $P = P_0 \cdot (1/R)^\gamma$ なる式が成立するとした時の γ の値である。ただし、 P_0 は $R=1$ での圧力値を示す。実験より求めた距離減衰指数 γ と L との関係を示す Fig. 9 の点線は $\gamma=1.13$ を表わすが、この値は球面波の場合の距離減衰指数である³⁾。 $\alpha=0^\circ$ では、圧力波面は球面波となるので、 $\gamma_\theta = \gamma_\phi$ となり、その値はほぼ 1.13 に等しい。 $\alpha=30^\circ$ の γ_θ と γ_ϕ の値は、ばらつきが大きい、ほぼ 1.13 に等しいと見なすことができる。 $\alpha=60^\circ$ になると、 γ_θ と γ_ϕ の差が大きくなり、 γ_ϕ の値が 1.13 に近い値である。

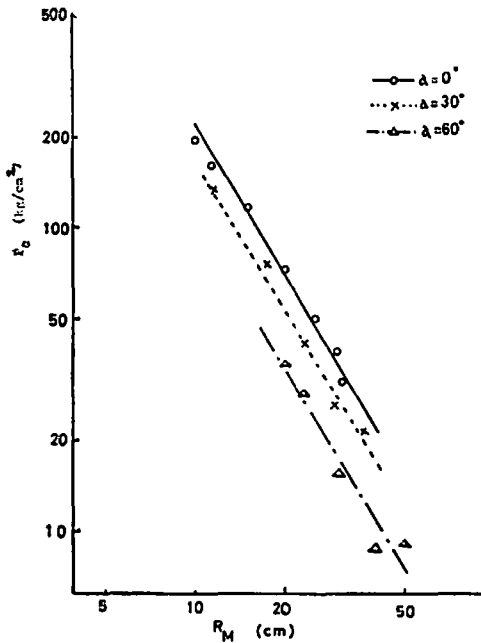
3.3 透過圧力値

R_θ, γ_θ ならびに R_ϕ, γ_ϕ を使って、水の境界面上の点 C における水中圧力波の圧力値 P_c を(6)式によって求め、これとモルタル中の波動の伝播距離 R_M と

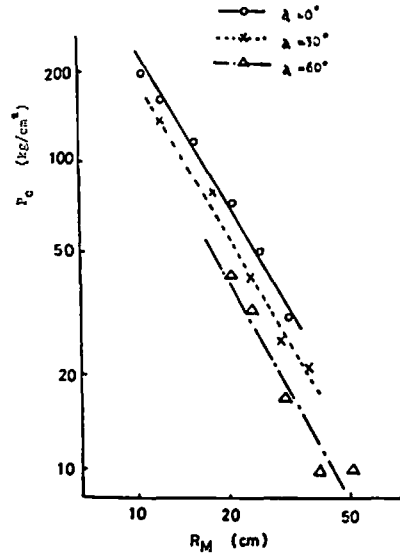


γ : Attenuation exponent

Fig. 9 Relation between γ and L



(Imaginary wave source : O_ϕ point)
 Fig. 10(1) Relation between P_c and R_M



(Imaginary wave source : O_θ point)
 Fig. 10(2) Relation between P_c and R_M

の関係を Fig.10 に示した。

O_ϕ を仮想波源とした場合 :

$$\left. \begin{aligned} P_c &= P_I \left(\frac{R\phi + R_{w1}}{R\phi} \right) r_\theta \\ &= P_{II} \left(\frac{R\phi + R_{w2}}{R\phi} \right) r_\phi \\ O_\theta \text{ を仮想波源とした場合} \\ P_c &= P_I \left(\frac{R\theta + R_{w1}}{R\theta} \right) r_\theta \\ P_{II} &= \left(\frac{R\theta + R_{w2}}{R\theta} \right) r_\theta \end{aligned} \right\} (6)$$

Fig.10 に示した関係を最小自乗法により整理すると、それぞれ次式が得られる。

O_ϕ を仮想波源とした場合 :

$$\left. \begin{aligned} P_c &= 10.0 \times 10^3 \times R_M^{-1.658} \quad (\alpha = 0^\circ) \\ P_c &= 8.32 \times 10^3 \times R_M^{-1.652} \quad (\alpha = 30^\circ) \\ P_c &= 7.65 \times 10^3 \times R_M^{-1.759} \quad (\alpha = 60^\circ) \\ O_\theta \text{ を仮想波源とした場合} \\ P_c &= 10.0 \times 10^3 \times R_M^{-1.658} \quad (\alpha = 0^\circ) \\ P_c &= 6.83 \times 10^3 \times R_M^{-1.625} \quad (\alpha = 30^\circ) \\ P_c &= 4.40 \times 10^3 \times R_M^{-1.625} \quad (\alpha = 60^\circ) \end{aligned} \right\} (7)$$

これらの式において、 P_c および R_M の単位はそれぞれ

$$\frac{1}{E_P(\alpha)} = \frac{\rho_M}{2\rho_W} \left\{ \left(1 - \frac{2}{M_1^2} \sin^2 \alpha \right) \left(\frac{M_2^2 - \sin^2 \alpha}{1 - \sin^2 \alpha} \right)^{1/2} + \frac{4 \sin^2 \alpha (M_1^2 - \sin^2 \alpha)^{1/2} (M_2^2 - \sin^2 \alpha)^{1/2} + \rho_W M_1^2}{M_1^2 - 2 \sin^2 \alpha} \frac{\rho_M}{\rho_M} \right\} \quad (8)$$

$$M_1 = \frac{C_{LM}}{C_{TM}}, \quad M_2 = \frac{C_{LM}}{C_{LW}}$$

れ kg/cm^2 および cm である。この結果、 R_M の指数はほぼ一致しており、ばらつきは測定誤差によるものと見なされる。そこで、指数を -1.658 に揃えて再整理すると、(7')式が得られる。

O_ϕ を仮想波源とした場合 :

$$\left. \begin{aligned} P_c &= 10.0 \times 10^3 \times R_M^{-1.658} \quad (\alpha = 0^\circ) \\ P_c &= 7.77 \times 10^3 \times R_M^{-1.658} \quad (\alpha = 30^\circ) \\ P_c &= 5.45 \times 10^3 \times R_M^{-1.658} \quad (\alpha = 60^\circ) \\ O_\theta \text{ を仮想波源とした場合} \\ P_c &= 10.0 \times 10^3 \times R_M^{-1.658} \quad (\alpha = 0^\circ) \\ P_c &= 7.54 \times 10^3 \times R_M^{-1.658} \quad (\alpha = 30^\circ) \\ P_c &= 4.98 \times 10^3 \times R_M^{-1.658} \quad (\alpha = 60^\circ) \end{aligned} \right\} (7')$$

これより、入射角 α が大きくなるに従って R_M の係数は小さくなるのがわかるが、これはモルタル中から水中へ波動が透過する時の透過率が α に依存していることによるものと考えられるので、この点について検討してみる。弾性体と考えているモルタル内を伝播してきた応力波が水との境界面に達すると、水中への透過波とモルタル内へ戻る反射縦波および反射横波を生じ、この際の透過波と入射波の圧力振幅の比を透過率と呼ぶ。ここで、境界面に垂直な方向の両媒質の変位は等しく、境界面に作用する両媒質の直応力も等しく、かつ境界面に作用するせん断応力は零であるという境界条件を与えて、弾性理論より透過率 $E_P(\alpha)$ を誘導すると、(8)式が得られる。

ここで、 ρ_W ：水の密度、 ρ_M ：モルタルの密度

C_{LM} ：モルタル中の弾性縦波の伝播速度

C_{TM} ：モルタル中の弾性横波の伝播速度

C_{LW} ：水中での音速

(8)式にそれぞれ $\rho_W=1.0\text{g/cm}^3$ 、 $\rho_M=1.85\text{g/cm}^3$ 、 $C_{LW}=3,000\text{m/S}$ 、 $C_{TW}=1,900\text{m/S}$ および $C_{LW}=1,430\text{m/S}$ の値を代入して $E_P(\alpha)$ の値を求めると、 $E_P(0^\circ)=0.422$ 、 $E_P(30^\circ)=0.352$ 、 $E_P(60^\circ)=0.189$ となる。モルタルと水との境界面上での爆源直上の点 H に入射する弾性縦波の σ_r (爆源を中心とした球面の直応力成分) の正のピーク値を σ_M とすると、この点における水中圧力波の大きさ P_c は $\sigma_M \times E_P(0^\circ)$ となる。この P_c の値は(7')式の $\alpha=0^\circ$ 場合に得られた値に相当するので、 σ_M は次によって与えられることになる。

$$\sigma_M = \frac{P_c(\alpha=0^\circ)}{E_P(0^\circ)} = 23.7 \times 10^3 \times R_M^{-1.058} \quad (9)$$

(9)式は無限のモルタル中でテトリル 10g が爆発して生ずる弾性縦波の伝播式でもある。すなわち、爆源から R_M の距離での弾性縦波の σ_r の正のピーク値は σ_M となる。そこで、 $\alpha=30^\circ$ および 60° における界面 C での透過波の圧力 P_c はそれぞれ $\sigma_M \times E_P(30^\circ)$ および $\sigma_M \times E_P(60^\circ)$ となり、これらの式はそれぞれ次式によって与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha=30^\circ \text{ の時: } P_c &= 8.34 \times 10^3 \times R_M^{-1.058} \\ \alpha=60^\circ \text{ の時: } P_c &= 4.48 \times 10^3 \times R_M^{-1.058} \end{aligned} \right\} (10)$$

(10)式と(7')式を比較するとほぼ一致しているが、このことは(7')式での係数の相違が透過率の差異によることを裏付けている。

このように、モルタル中を伝播してきた直接 P 波が水中へ透過して生ずる水中圧力波は、 α が大きくなるにつれて急激に減衰する。そのため、今回の実験での測点のように、 α があまり大きくない領域では直接 P 波の透過により生じた圧力波が卓越するが、 α が大きくなるとこの波動が減衰して小さくなるので、表面波、底層からの反射波、屈折波などの波動によって生ずる圧力波が卓越するようになるものと考えられる。

直接 P 波による圧力波が卓越する領域での水中圧力波のピーク圧 P_S は、近似的に次式によって求められる。

$$P_S = P_c \left(\frac{R_0'}{R_S'} \right)^2, \quad P_c = \sigma_c \cdot E_P(\alpha) \quad (11)$$

(11)式において、 R_0' 、 R_S' はそれぞれ波面の曲率の中心から界面上の C 点までの距離および測点までの距離であり、 σ_c は C 点での入射応力波の応力最高値である。ただし、波面は球面ではないので、曲率の中心は方向によって異なるが、今回の実験結果によれば、曲率の中心を O_p とすれば、 r の値はほぼ 1.13 となる。

4. 結 言

今回は、海底で無自由面せん孔爆破を行った場合に生ずる水中圧力波について、爆破対象物としてモルタルを用いた基礎実験を行い、モルタル中を伝播してきた直接 P 波が水中へ透過して生ずる圧力波についての検討を行った。その結果、次の点が明らかになった。

(1) 今回の実験では、モルタルと水との界面へ入射する直接 P 波が入射角 60° 以内で入射する場合について、水中へ透過して生じた波動の伝播経路上での水中圧力波について検討したが、この領域での水中圧力波は、この P 波の透過により生じた波動が主体となっていることが確認された。

(2) 圧力波の波面の曲率の中心は方向によって異なり、一定しないが、直接 P 波の透過により生じる波動の伝播経路に沿った方向での圧力は ϕ 方向の曲率の中心からの距離のほぼ 1.13 乗に反比例するので、この関係を用いて圧力の近似値を推算することができる。

(3) 水中圧力波の立ち上り時間は、今回の実験の範囲内では爆源からモルタルと水との界面までの距離が長くなるにつれて大きくなり、測点が界面から離れる程短くなる傾向が認められた。

終りに、本研究は財団法人総合安全工学研究所水中発破の安全性の検討委員会の指導で行ったもので、種々の御助言を頂いた委員各位に感謝する。また、御協力を頂いた本州四国連絡橋公団関係者に感謝する。

文 献

- 1) たとえば、R.H.Cole : Underwater Explosion, Princeton University Press (1948)
- 2) 本州四国連絡橋公団 : 南北備讃瀬戸掘削試験工事報告書
- 3) R.H.Cole : Underwater Explosion, Princeton University Press, p.242 (1948)

A Study on Pressure Waves Caused by Underwater Borehole Blasting (1)

—Underwater Pressure Waves Caused by Overburden Blasting—

by Terushige Ogawa*, Ikuo Fukuyama* and Ichiro Ito**

The underwater pressure waves caused by overburden blasting have been studied by carrying out model experiments using mortar blocks. They are the transmitted waves from the elastic waves propagating through the ground. The predominant component of the underwater waves traveling through the path whose incident angle on the mortar surface is less than 60 degrees results from transmission of elastic P-wave. A simple method of estimating the maximum pressure of the wave is proposed. The longer the length of the least resistance or distance from the surface of mortar is, the longer the rise time of the transmitted wave of P-wave is.

(*Faculty of Engineering, Yokohama National University, 2-31-1 Ooka Minami-ku, Yokohama, Japan. **Faculty of Engineering Kyoto University, Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto, Japan.)

ニュース

黒色火薬の代替品

1976年8月発行の“狩猟タイムズ”に黒色火薬の代替品についての記述がある。黒色火薬に近似した代替品が開発され、その特性もそのまま、欠点の少ないものができるようになった。その商品名は“PYRODEX”と呼ばれ、Dan. Pawlak という煙火の研究者が発明したものである。

多くの実験、組成の変更により、現在の製品は黒色火薬に置換えることができ長い間、探し求めたものが現われたことになる。この、代替品は口装銃のライフルにも安全に使用でき、優れた性能をもっている。例えば、黒色火薬に比べ銃身が汚れない。この点では無煙火薬（これは口装銃に使用すると危険である）よりもよい。

それよりも、読者にとって大きな関心は火薬局が試験の結果、火薬よりもむしろ火焰性固体推進薬として分類していることである。これは黒色火薬ではできない一般の運送業者でも取扱うことができ、また、特別の資格がなくても受け渡しができることになる。

“PYRODEX”は肉眼では黒色火薬のように見え、ピカピカ光って黒色である。拡大して見ると形

状は円形で、多面ではない。燃やすと白煙が出て、黒色火薬のような匂いがある。

黒色火薬の FFFg の性能によく似ており、煙火業者や狩猟家にも興味のあることであろう。

explosives and pyrotechnics

January 1977 岩武

国際会議ニュース

今年西独等で開催されるシンポジウム等について御知らせします。発表申込み期限は過ぎていると思いますが、出席される分は差支えないでしょう。

(水島)

Analysenmethoden für Treib und Explosivstoffe, 22-24 Juni 1977 Institut für Chemie der treib- und Explosivstoffe 7507 Pfinztal-Berghausen bei Karlsruhe, B. R. D.

Sensitivity and Propagation 会議 Juni 16. 17 1977 Empa. Swiss

Loss Prevention Symposium Sept. 1977 Empa Swiss

Unconfined Explosions, Aug. 29, 30 1977 Sweden

Nitrocellulose, Organic Peroxides Sept. 5-9 1977 FRG. B. R. D.