

真空爆発容器の耐爆性能

藤田 昌大* 河野 通博*
長野 司郎* 清田 堅吉**

容器内で 10 mmHg 以下の真空雰囲気中で爆発を行うことのできる直径 4 m の球容積を有する真空爆発容器が試作された。この容器について耐爆性能、特に容器内の真空度を高めることによって容器壁の応力や爆発騒音がどのように減少するかが実験的に求められた。実験は、真空度を変化させながら行われた。実験結果より得られた結論は次の通りである。

(1) 真空度が低い場合;

容器壁に対する圧力作用は中央に置かれた爆薬の爆発衝撃による対称な波として開始するが、容器がマンホール通路のような非対称な構造を含んでいるので、容器壁における反射の度毎に非対称となる。その非対称な圧力作用は容器壁の振動の非対称性を増幅し、それがひずみ増大の因となる。

(2) 容器内が 10 mmHg 以下の真空にされた場合;

圧力パルスが著しく減少し、しかも繰返される圧力波の減衰も大きい。そのために、ひずみは初期の数パルス以内で最高値に達する。その値は容器内が大気圧の場合に比べて、1/10以下である。爆発騒音レベルの低下は圧力パルスの減少の程度よりもさらに大きい。

1. 緒 言

爆薬はエネルギー放出速度が極めて高いので、比較的容易に超高圧状態を作り出すことができるという意味で重要なエネルギー源である。この優れた特性を活かして、各種の爆発加工法が開発され、研究が続けられている。しかし、爆薬が爆発する際には、大気中に衝撃波を発生し、大音響を発生するのに加えて、高速度の飛散物を生じる。爆発加工などを行う場合には、これらの危険あるいは被害が外部に及ばないように、防護策あるいは安全対策を講じることが先ず必要である。1つの方法として、人里離れた遠隔地や山中の谷間のように、危険あるいは被害の及ぶことの少ない場所を選んで実験を行う¹⁾。しかし、この場合にはすべての実験器材を運び込むことが必要であり、通常の研究室と異って不便なことが多い。また、試料が飛散し、紛失する恐れもなくはない。第2の方法として、鉄筋コンクリートなどで囲んだ密閉室²⁾あるいは密閉容器、あるいは一部が開放されている準密閉室などが利用される³⁾。遮音のためにこれらの室あるいは容器が覆土されることもある。この場合には、衝撃波あるいは飛散

物の防御を完全に行うことができる。このような室あるいは容器を利用する方法は2つの面から使用量が制限される。1つは室あるいは容器の強度的な面からの制限であり、もう1つは騒音・地盤振動などの公害的な面からの制限である。熊本大学衝撃エネルギー実験所にも厚さ 55 cm の鉄筋コンクリートで囲われた縦、横 8 m、高さ 6 m の内容積を有する爆発実験室がある⁴⁾。爆発騒音による生理的影響について、文献 6) に詳しい解説がなされているので、これに従って考えると、上述の爆発実験室における使用量を制限しているのは強度的な面においてではなく、むしろ騒音の面においてである。現段階での使用限度量は SEP 300 gr. としている。

密閉室あるいは密閉容器の内部を真空状態(数 mm Hg 程度)にしておけば、爆発の際に発生する衝撃波が著しく緩和され、したがって壁面の応力、外部へ伝わる爆発騒音などが大幅に軽減されるのではないかと期待される。この考えの下に、真空爆発容器が試作された。この試作容器に関して耐爆性能を知るために、爆発によって生じる容器内の空気振動と容器壁面の振動の関連、さらに容器内の真空度を高めることによって、壁面応力がどのように軽減され、爆発騒音がどのように減少するかについて実験を行った。その結果を

昭和51年2月17日受理

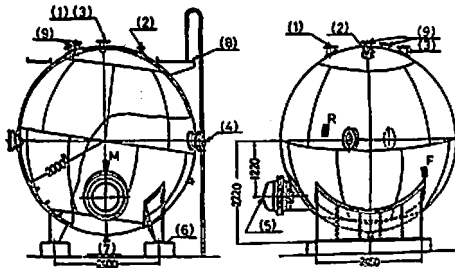
* 熊本大学工学部 | 〒860 熊本市爪袋2丁目39番1号

** 八代工業高等専門学校 | 〒866 八代市平山新町2627番地

ここに報告する。

2. 真空爆発容器の概略

試作した真空爆発容器の概略を Fig. 1 をに示す。容器本体は 19 mm 板厚の溶接構造用鋼板 SM 50 CSR を直径 4 m の球容積を持つように球殻の一部に成形した部品を溶接によって組立てたものである。容器の内面には全面にわたって、緩衝と防錆のために 10 mm 板厚のネオプレンゴムのライニングを施している。



- (1) To exhaust pipe line
- (2) To compressor
- (3) To vacuum pump
- (4) Windows for optical observation
- (5) Man hole
- (6) Base of concrete
- (7) Drain
- (8) Platform
- (9) Holes for electric cords

Fig. 1 Vacuum vessel for explosion tests

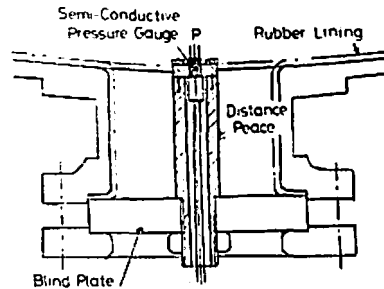
爆薬を中央にセットした後密閉し、真空ポンプによって 10 mmHg 以下に容器内を減圧して爆発を行うのを原則としている。そのために本容器は真空ポンプへ通じている。燃焼ガスを排出するために圧縮空気を送り込むが、そのために本容器はコンプレッサーと接続されており、排気のための管路の先端には換気扇が取り付けられている。実験器材を搬入搬出したり、実験者が出入りするためには、マンホールが容器のやや下部に設けられている。さらに光学的観測のための観測窓、電気的計測のためのコード取出口、衝撃大電流を導入するためのコード取入口が設けられて、各種の実験に適用できるように工夫されている。このように作られた本体は 2 本の脚によって支持され、鉄筋コンクリート支持台の上に防振マットを介して載せられている。支持台は床面との接続が切れているので、外部へ伝わる振動は小さい。この容器は普通の鉄筋コンクリート建物の内部に設置されている。

3. 実験方法

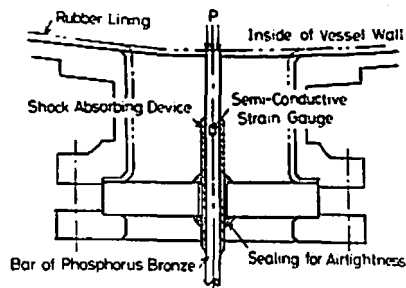
容器内部をあらかじめ決めておいた値まで真空ポンプによって減圧した状態で爆発を行い、(1)容器壁面の

受圧力、(2)壁面に生ずるひずみ、(3)爆発騒音レベルの計測を行った。爆薬としては SEP を球状に成形したものを、鉛直下方向に挿入した 6 号電気雷管によって起爆した。容器壁面の受圧力の計測には(a)豊田工機製の半導体型圧力計を用いる方法と(b)リン青銅棒の側面に半導体ひずみゲージを貼付して、棒端面の受圧力を棒内を伝ばするひずみ波形に変換して捕える方法の 2 通りを行った。圧力計は Fig. 2 に示すように(a)、(b)いずれの場合にも、観測窓用鏡筒を利用し、盲板および distance piece を用いて容器壁内面と同一面になるように取付けた。(a)の方法はダイヤモンドの変形を取り出す方法であるので、周波数特性が問題となり、定量的には信用しにくい。その点、(b)の方法の方が周波数特性を問題にする必要がなく、取付けその他の影響が生じにくいので、定量的に信頼できると思われる。そこで、圧力の繰返しの状況を知るために(a)の方法を用いたが、第 1 波に関して数値計算に用いる定量的に計測する場合には(b)の方法を採用した。後述の Fig. 5, Fig. 6 の波形は(a)の方法によるものであり、Fig. 8 の波形は(b)の方法によるものである。

容器各部のひずみは各所に貼付したひずみゲージによって捕え、電磁オシロによって記録し。ここでは、このうちマンホール近く(M)、脚取付部のコーナー近傍(F)および近くに大きな質量や極端な剛性



(a) Semi-conductive pressure gauge



(b) Bar-type pressure gauge

Fig. 2 Attaching methods of pressure gauges

の変化のない標準的な箇所 (R) の3つの位置におけるひずみ波形を代表的な例として取上げる。M, F, Rのゲージの貼付位置は Fig. 1 に示している。

爆発騒音は Fig. 3 に示すように、容器を設置している建物の窓およびシャッターを閉じた状態にして、シャッターを開けて、容器中心から 16.5 m 離れた室外において、地上 1 m の所にマイクロフォンを設置して、A特性で計測した。この場合、マイクロフォンで捕えた騒音は容器の外壁面から発した直接音ばかりでなく、建物内部の壁やその他の室内の物体からの反射音が重畳して捕えられているので、残念ながら本容器の遮音効果を定量的に捕えた結果とは言えない。ここでは結果を定性的に述べるに止める。

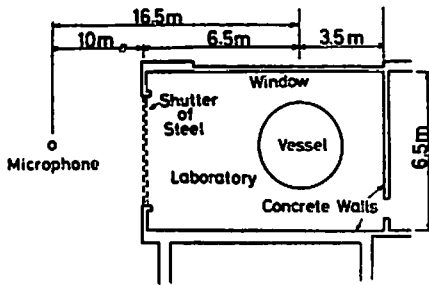
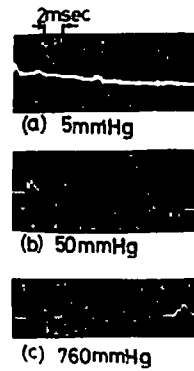


Fig. 3 Position of microphone for measurement of explosive noise from vessel

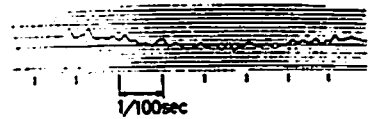
4. 実験結果および考察

容器の初期内圧を 760 mmHg (大気圧), 50 mmHg, 5 mmHg の3通りに変化させて、100 gr. のSEPを爆発させた時の壁面における受圧力の波形を Fig. 4 に示す。初期内圧の減圧の程度(真空度)を高めるにつれて、受圧力はピークの値、力積共に減少しているのが判る。しかも初期内圧 5 mmHg の場合には、大気圧の場合などに比べて、繰返して生ずる圧力波の減衰が著しい。Fig. 5 は容器内圧を 100 mmHg にして 100 gr. の SEP を爆発させた場合の受圧力の波形を電磁オシロによって記録したものである。圧力計の特性のために、容器内の温度変化に伴って零レベルが変動し、圧力波はその零レベルの変動の大きな周期の波にのった形で捕えられている。波形を見れば判るように、第1波と第2波はほぼ類似した波が反復しているが、それ以降の波形では、規則正しい反復はなされていない。大きな振幅と小さな振幅の波が入り乱れ、周期および波形が不規則に変化しながら繰返されている。初期の圧力波はほぼ一様な球対称の発散波であると思われるが、マンホールの通路部をはじめとして、各種バルブ取付部における鏡筒部などの容器形



Explosive charge weight : 100 gr.

Fig. 4 Changes of pressure waves dependent on changes of evacuated pressures in the vessel



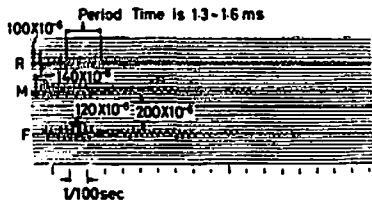
Explosive charge weight : 100 gr.

Evacuated pressure in vessel : 100 mmHg

Fig. 5 Pressure wave in the vacuum vessel

状の非対称な存在のために、何度も反射を繰返している間にそれらの空気振動の非対称な要素影の響が累積されて、圧力作用は一様性を失い、このような不規則な振動波形を生ずるようになるものと推察される。

Fig. 6 は容器内圧を 5 mmHg にして薬量 1 kg を爆発させた場合のひずみ波形の代表的な例である。上から Fig. 1 に示す R (標準的な位置), M (マンホール近傍), F (脚取付部コーナー近傍) の位置におけるひずみ波形である。容器内圧が 5 mmHg の場合には Fig. 4 において見られるように圧力波の減衰が大きいので、第2波以降の圧力波の作用が小さい。したがって Fig. 6 の波形はいわば第1波の圧力作用によって生ずる容器の固有振動波形と考えることができる。圧力作用の不均一の影響は小さいと思われる。Fの波形では脚取付部によって変位が抑制されているので、他所と異なった値となっているが、RとMの波形について言えば、第1のピークの値は約 100×10^{-6} で大差ない。今、球対称の球殻容器が球対称の圧力を受けたと考えて、ひずみの見積りを行ってみよう。このような問題について容器壁面の板厚方向(半径方向)の応力波の伝ばつまり断面内で応力が不均質に分布していることを考慮して解析する^{7,8)}のが厳密であるが、ここでは圧力波形が急峻でなく、板厚に比べて作用時



Explosive charge weight : 1 kg
 Evacuated pressure in vessel : 5 mmHg
 R : Standard position
 M : Near the man hole
 F : Near the corner of supporting foot
 Fig. 6 Strain waves on the vessel wall

間が十分に長いこと、そして容器の直径に比べて板厚十分小さいことを考えて、薄肉球殻と見なし、板厚を通じて応力は一様であるとして取扱うことにする。球対称の圧力負荷 $P=P(t)$ を受けた薄肉球殻の釣合方程式は次式で表わされる。

$$\frac{d^2 U_r}{dt^2} + \frac{\sigma_{\theta}}{\rho r} = \frac{P(t)}{\rho h} \quad (1)$$

ここで、 U_r は球殻要素の半径外方向の変位、 σ_{θ} は面内膜力、 r は時刻 t における要素の半径座標であるが、 U_r が r に比べて十分に小さいので、 $r=a$ (a はの球殻初期半径) と見なすことにする。 ρ は球殻要素の密度、 h は板厚である。本容器の場合、ネオプレンゴムのライニングがあるので、運動の際にはその分だけ質量が増加されたようにふるまうと思われる。そこで、これを考慮して

$$\left. \begin{aligned} \rho &= (\rho_s h_s + \rho_n h_n) / h_s \\ h &= h_s \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

で表わされる ρ 、 h を相当質量、相当板厚として用いることにする。ここで、 ρ_s 、 h_s はそれぞれ軟鋼板の密度と質量であり、 ρ_n 、 h_n はそれぞれネオプレンゴムの密度と質量である。平面応力状態と考えると、応力-ひずみ関係は次式で与えられる。

$$\epsilon_{\theta} = U_r / a = (1-\nu)\sigma_{\theta} / E \quad (3)$$

ここで ν は鋼板のポアソン比、 E は鋼板のヤング率である。これを(1)式に用いれば、次式が得られる。

$$\frac{d^2 U_r}{dt^2} + \frac{2}{\rho a^2} \frac{E}{1-\nu} U_r = \frac{P(t)}{\rho h} \quad (4)$$

固有角周波数 ω は(5)式より計算できる。

$$\omega = \sqrt{\frac{2}{\rho a^2} \frac{E}{1-\nu}} \quad (5)$$

$E=2.09 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $\nu=0.285$, $\rho_s=7.95 \times 10^{-6} \text{ kg s}^2/\text{cm}^4$, $\rho_n=1.30 \times 10^{-6} \text{ kg s}^2/\text{cm}^4$, $h_s=1.9 \text{ cm}$, $h_n=1.0 \text{ cm}$, $a=200 \text{ cm}$ として計算すると $\omega=4114$

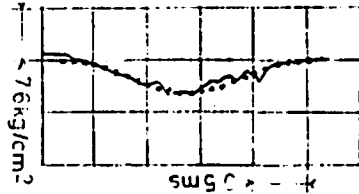
rad/s が得られる。これより固有周期を求めると、 $\tau=1.53 \text{ mill sec.}$ であるが、Fig. 6 の R 波形の振動周期 1.3~1.6 mill sec. (ひずみ波形の周期は僅かながら変動していると同じ程度の値であり、(1), (2), (4) 式の考え方が妥当であることを示している。ひずみの絶対値を求めるには $P(t)$ の関数を知らなければならない。Fig. 7 における実線は容器内圧 5 mmHg、薬量 1 kg の時の受圧力波形 (シンクロスコープ上のオシログラム) をトレースしたものである。計算を簡単にするために、これを点線で示したような余弦関数で近似することにする。近似式は次の通りである。

$$P=2.3(1-\cos 2800t) \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (6)$$

これを(3)式に用い、初期条件として $(U_r)_{t=0}=0$, $(\dot{U}_r)_{t=0}=0$ を用いると、 U_r の時間的变化を表わす式として次式が得られる。

$$U_r=7.29 \times 10^{-3} \cos 4100t - 15.63 \times 10^{-3} \cos 2800t + 8.34 \times 10^{-3} \text{ (cm)}$$

(この計算においては有効数字を合わせるために、壁面振動の固有角周波数を $\omega=4100 \text{ rad/s}$ とした)



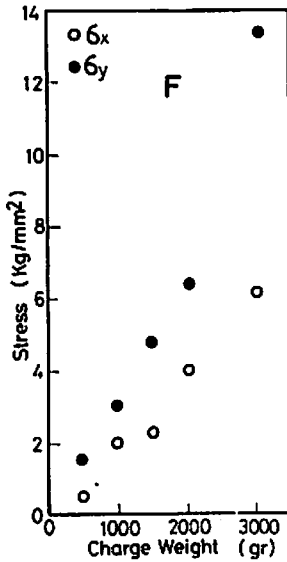
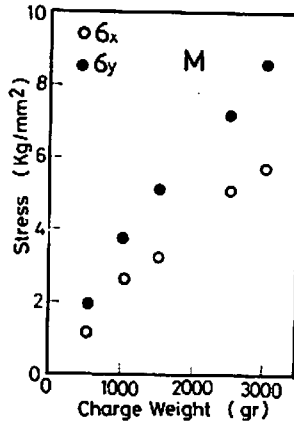
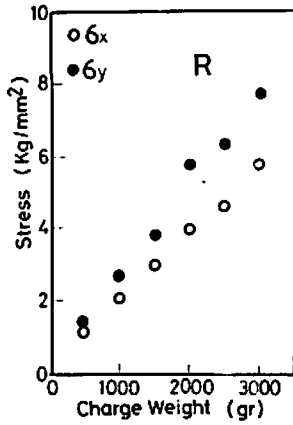
Explosive charge weight : 1 kg
 Evacuated pressure in vessel : 5 mmHg
 Real line : An observed pressure wave
 Dotted line : An approximate curve

Fig. 7 An observed pressure wave by bar-type pressure gauge and approximate curve to it.

これより U_r の最大値を求め、最大ひずみを求めると次の通りとなる。

$$\begin{aligned} (\epsilon_{\theta})_{\max} &= (U_r)_{\max} / a = 26.32 \times 10^{-3} / 200 \\ &= 131.6 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

さて、Fig. 6 の R 波形における第 1 波のピーク値は約 100×10^{-6} である。容器隙はネオプレンゴムのライニングが施されていて、緩衝効果があるので、Fig. 7 より幾らか緩和された圧力が作用していることを考え合わせると計算値は第 1 波に関して良い近似を与えていると思われる。この結果は圧力の作用がほぼ 1 回に限られるような問題では概略の見積りを計算によって行なうことが可能であることを示している。



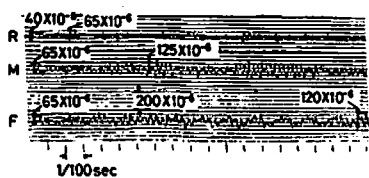
Evacuated pressures in vessel : 5 mmHg

Fig. 8 Increases of stress on the vessel wall dependent on increases of explosive charge

さて、Rでは第1波において最大振幅に達した後、減衰しているのに対して、MおよびFではむしろ第2波ないし第10波において最大振幅に達している。この図の場合、この値はRの最大振幅に対してMでは1.4倍、Fでは1.2倍であった。Fig. 8は容器内圧5mmHgの場合について薬量変化に対する最大応力（ひずみを換算）の値をプロットしたものである。 σ_x は緯線方向、 σ_y は経線方向の応力である。図から判るように、薬量にはほぼ比例して応力が増大しているが、場所によって増大の傾向は異なっている。RおよびMでは大きな薬量において比例値よりやや減少しているが、Fではむしろ比例値より増大している。そしてMおよびF共にRより大きい。これらの場所では、近傍に大きな質量であるマンホールや極端に剛性の異なる脚が取付けられていて壁面の運動が抑制されている。Fig. 6の波形より第1波では球対称に近い波形

であるが、次第に非対称の振動要素の影響が大きくなって、その場所固有の振動に移行して行くと同時に、それに伴う運動の位置的な変化によって応力が集中的に増大するように推察される。Fの波形においてその傾向は著しい。応力軽減のために骨材ヤリブを取付けて部分的な補強を行なうことがあるが、動的な負荷の場合、その附近での極端な剛性の変化がその近傍での応力を集中的に高める懸念があるので、応力軽減の効果はあまり期待できないことをこの結果は暗示している。

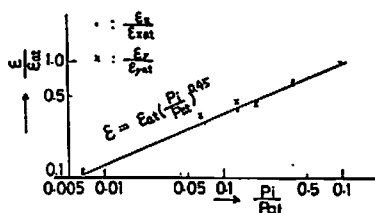
Fig. 9は容器内圧が大気圧の状態、薬量80gr.を爆発させた場合のひずみ波形である。Fig. 6と比較すれば判るように、ビートが一層顕著になり、MおよびFの波形ではかなりの時間を経過した後にひずみが最大振幅に達している。この場合には圧力波の減衰が小さいので、時間の経過と共に非対称かつ不規則と



Explosive charge weight : 80 gr.
Initial pressure in vessel : 760 mmHg
Fig. 9 Strain waves on the vessel wall

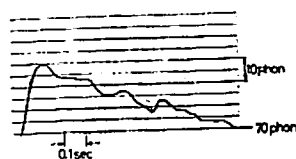
なる圧力波が繰返し作用する。この作用を受けて容器振動の非対称が累積され、このように応力が増幅するように推察される。文献 7), 8) の球対称弾性応答問題を含め、衝撃荷を受ける軸対称殻の弾性応答に関する解析は数多くなされている。9), 10) 多くの場合、衝撃圧が一様に負荷される場合が取上げられ、しかも作用が1ステップ状か、1パルスとされる。前述のように内圧を真空にした場合には、近似的に1パルスと見なし得るので、解析結果は妥当な情報を与え得るが、容器内における空気あるいは他の流体が含まれる問題では、作用が反復して繰返されしかも、それが次第に非対称となるので、1パルスの問題とは結果が異って来ることを考えておかなければならない。このように、容器の初期内圧を減じておくことは、壁面に作用する圧力波の大きさを減じるという効果に加えて、圧力波の減衰が大きいために、容器壁面のビートを軽減するという効果によってひずみを減少させる。しかもひずみ波の継続時間が著しく短縮されるので、寿命の点でも有利である。Fig. 10 は容器の初期内圧の変化に対して最大ひずみ振幅の値を初期内圧が大気圧 (760 mmHg) の場合の最大ひずみに対する比率で表わしたものを両対数グラフ上にプロットしたものである。図のようにほぼ直線にのっており、本容器の場合初期内圧を減ずるとその0.45乗に比例して最大ひずみが減少するとの結果となった。

Fig. 11 は(a)容器内圧 5 mmHg において薬量 1000 gr. を爆発させた場合および(b)容器内圧大気圧 (760 mmHg.) において薬量 60 gr. を爆発させた場合の爆発音のA特性騒音レベル波形である。図から判るように、最高レベルはほぼ同程度であるが、継続時間は(b)の方が長い。波形において、いくつかの波が重畳しているのが見られるが、これは容器を設置している室のコンクリート壁からの反射音と推察される。(a)の波形においては第1ピークが最高レベルであるのに対して、(b)の波形では、むしろ第2ピークの方が最高レベルとなっている。(b)の場合、容器振動の継続時間が長く、しかも Fig. 9 に見られるように、減衰の割合が

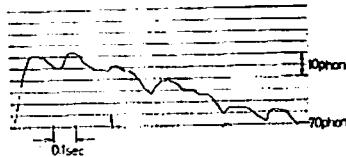


ϵ/ϵ_{at} : Ratio of peak strains at evacuated pressure to that real atmosphere
 P_i/P_{at} : Ratio of evacuated pressure in vessel to real atmosphere

Fig. 10 Reducation rates of peak strain on the vessel wall dependent on degrees of initial evacuated pressure in the vessel.



(a) Explosive charge weight : 1 kg
Evacuated pressure in vessel : 5 mmHg



(b) Explosive charge weight : 60 gr.
Pressure in vessel : 760 mmHg

Fig. 11 Explosive noise level waves

非常に小さい。その結果、反射音の重畳によって第1ピークを超えるような現象が生じるのだと推察される。容器壁面の発生応力から言えば、大気圧における 80 gr. の爆発と 5 mmHg における 1,000 gr. の爆発がほぼ匹敵しているのに対して、騒音の面から言えば、大気圧における 60 gr. の爆発と 5 mmHg における 1,000 gr. の爆発が匹敵している。真空度を高め、容器の非対称振動を軽減しておくことは、騒音軽減の意味でより大きな効果を有していると言える。

5. 結論

試作した真空爆発容器に関して容器内圧を減ずることによる壁面応力、爆発騒音の軽減効果特性についての実験結果を報告した。結論は次の通りである。

- (1) 密閉容器内で爆発を行なう場合には、爆発による衝撃波が先ず壁面に達するが、壁面からの反射波が中央に収束し、第2、第3の圧力波が生じる。本容器の場合、本体の大部分は球対称に製作されているが、一部にマンホールのような非対称の構造を含ん

でいる。反射を繰返しているうちに、この非対称性が累積されて容器内面に対する圧力波の作用が非対称となっていく。

- (2) 容器内圧を十分に減じておけば、圧力波の減衰が大きくなり、第2波以降の値が第1波に比べて小さくなる。その場合には、1パルスの作用とみなした概算値が適用できると思われた。
- (3) 容器内圧を減ずれば、その0.45乗に比例して壁面ひずみが減少すると結果が得られた。一方、薬量を増加すれば、薬量にほぼ比例してひずみが増大する傾向があったが、近くに大きな質量が取付けられた箇所や剛性が極端に変化している箇所ではひずみ集中があり、壁面振動のモードも異なっている。そして薬量増加に対するひずみ増大の傾向も異なっていた。
- (4) 容器内圧の減圧の程度が大きくない場合には、繰返される圧力波の減衰が小さく、その作用は次第に非対称性を帯びて来る。この非対称な圧力作用が容器振動の非対称性を増幅し、壁面ひずみを増大させる。したがってひずみ振幅が最大値に達するのは壁面振動の初期においてではなく、かなりの時間を経過した後である。
- (5) 爆発騒音については、容器内圧を減ずることによって、壁面ひずみの場合よりいくらか大きい程度に軽減することができる。容器内圧 5 mmHg で薬量

1 kg を爆発させた時の爆発騒音は大気圧の場合の 60 gr. の爆発と同程度であった。さらに容器を設置した室の状態によって異なるが、室壁面からの反射の重畳があるので、その点からも容器振動の減衰の大きいことが有利となることが判った。

おわりに

本研究は昭和48、49年度日本産業火薬学会奨励金を得て行なったものである。容器は日立製作所笠戸工場で作られた。さらに爆薬は旭化成より提供を受けた。また、本研究を行なうに当たって、当時の大学院生田上、岩尾、園田君の協力を得た。併せて深甚な謝意を表する。

文 献

- 1) 川村・丸井・北尾・伊藤・若園：工業火薬，29，6，69
- 2) 中川：日本物理学会誌，29，5
- 3) 正田：工業火薬，26，6，330
- 4) 山本：工業火薬，29，1，76
- 5) 清田・藤田：安全工学，13，1
- 6) 名和：工業火薬，24，5，281
- 7) 鈴木：日本機械学会論文集，32，236，551
- 8) 松本・宇治橋：日本機械学会論文集，38，307，446
- 9) 竹岡・村瀬：日本機械学会論文集，40，337，2556
- 10) Kalnins, A. : Trans. ASME, Ser. E, 31, 3, 467

Performances for explosion proof of a vacuum vessel for explosion tests

. M. Fujita*, M. Kono*, S. Nagano* and K. Kiyota**

A closed spherical shell vessel of 4 meters in diameter has been manufactured in trial, in which explosion tests are usually done in vacuum atmosphere of less than 10 mmHg. The performances for explosion proof of this vessel, especially the effects of evacuating its container, or reducing stresses in the vessel wall and explosion noises from it, were examined experimentally. Experiments were done at the several vacuum degrees in the vessel.

Experimental results show the following facts.

When the vessel is evacuated, stresses in the vessel wall decrease in proportion to the 0.45th power of the initial pressure in the vessel and the reduction of explosion noise level is more remarkable than that of stresses.

(*Kumamoto University **Yatsushiro College of Technology)