RIIS-RR-22-2 UDC 662.61:534.222

產業安全研究所研究報告

RESEARCH REPORT OF

THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

RR-22-2

管路の拡大による気体爆轟波の中断

(第2報)

―いくつかの炭化水素・酸素爆轟波について、管路 を三次元的に拡大した場合―

松井英憲

労働省産業安全研究所 MINISTRY OF LABOUR THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

管路の拡大による気体爆轟波の中断 (第2報)

―いくつかの炭化水素·酸素爆轟波について管路を 三次元的に拡大した場合*―

松井英憲**

Decaying of Gaseous Detonation by Expansion (Second Report)

----Experiments on Some Fuel-Oxygen Detonations in Circular Tubes-----

by Hidenori Matsui**

When a flammable mixture is ignited within a run of pipeline, the flame is often developed into a detonation, causing a very high pressure resulting in serious damages.

If the detonation once occurs, it is difficult to interrupt it only by the use of conventional flame arresters. However, there is a fact that the detonation can be decayed into the normal combustion wave by enlarging the pipeline dimension on the way.

From this, the author reported, in the first series of this experiments, the decaying properties of the detonation in the two-dimensional flat tubes for oxy-acetylene mixtures. There had still remained some questions to be solved. The first is that how the properties would be if the detonation proceeds and expands in the three dimensions. The second is whether the detonation decaying would depend on the expansion ratio of pipeline dimension or the I.D. of the driving pipeline.

In the present report, results of the experiments on gaseous detonations are introduced with $C_2H_2-O_2$, $C_2H_4-O_2$, $C_3H_8-O_2$, H_2-O_2 and Town gas- O_2 mixtures with certain initial pressures. The detonations were drived in a run of steel pipeline which is varied from 3/8 to 2 inches in nominal diameter. The flange-jointed expanded steel pipeline is 4 inches, however 2 or 8 inches ones are also used for comparison. The wave velocities were measured by ion-probe before and after the enlargement of pipelines, to determine the effect of initial pressure on detonation decaying. Piezo electric pressure transducers were used for measuring the pressures of the wave front in some experiments.

Main conclusions obtained are as follows;

(1) When the detonation wave was expanded into a larger volume, the pressure of the wave front and the velocity of it suddenly were decreased and the detonation was decayed into a combustion. The difficulty of decaying for the stoichiometric oxy-fuel mixtures was in the order of 2C₂H₂+5O₂, C₂H₄+3O₂, C₃H₈+5O₂, 2H₂+O₂, T.G+O₂.

^{*} 第5回安全工学研究発表会 (Dec. 1972) において発表

^{**} 化学研究部 Chemical Engineering Research Division

(2) The limit of pressure of detonation decaying (P_{decay}) depends on the gas mixture and the diameter of the driving pipeline (d), and is given by the following equation.

 $P_{decay} = K \cdot d^{-0.9}$, where K is constant for each gas mixture.

- (3) To obtain a complete decaying of detonation, it is required to enlarge the diameter of the pipeline at least by four times on the way. The larger the diameter of the expanded pipeline is, the slower the acceleration of the flame after decaying becomes. So the decaying distance glows longer.
- 2 -

1. 緒 言

爆轟(Detonation)は、衝撃波とそれに密着して続 く高速度化学反応(燃焼波)が一体となって未反応気 体中を超音速で伝播してゆく現象である^{1),2)}。 燃焼が 一度爆轟へ転移すれば、強い破壊力を伴って目にも止 まらぬ速さで反応が伝わってゆく。特に可燃性混合ガ スの存在する管路においては、いったん火炎が生ずる と、燃焼が伝播してゆく間に火炎は加速され、爆轟へ と発展することが考えられる。

この様な危険な状況は,工場の配管設備やガス溶断 設備,ガスを使用する実験室などにおいて,しばしば 起こりうることである。火炎が一度爆轟へ転移してし まうと,その阻止は通常の火炎防止器ではなかなか困 難である。生じた爆轟波を一時通常の火炎にまで減衰 させることができれば,爆轟の阻止は,より容易にな るであろう。

ガス爆轟波を細い管から急に太い管へ拡大させる と、爆轟波の中断が起ることは古くから知られてお り³⁾、このような管路拡大による爆轟の中断を利用し た爆轟抑止器は、一部の可燃性ガスに限定して実用化 がなされている。例えば、都市ガス・空気に対して、 管路の拡大部にクリンプトリボンと呼ばれる素子を取 り付けたものや⁴⁾、アセチレンの分解爆発に対して、 ラシツヒリングを充てんしたもの⁵⁾などがある。しか しながら、爆轟波の中断もしくは破壊の限界条件を支 配する因子が何であるかについては、Soloukhin らの 研究^{6),7)} があるが、いまだ、はっきりしていないのが 現状である。

前報⁸⁾ において、二次元的な薄い溝の中を通る爆 っ 波が、道幅の拡大によって、どのような特性を示すか を、低圧下のアセチレン・酸素混合ガスについて実験 を行い,その結果を報告した。そこでは,爆轟波の構 造が定常,一次元ではなく,非定常で三次元であるこ とと,これが爆轟中断の機構に大いに関連しているこ とが明らかになった。また,中断特性は,ガスの組成 と管路の拡大条件に依存することが判明した。工場等 での実際の配管はパイプ状のものがほとんどである。 そこで膨張を三次元に取って実験を行ってみる必要性 と,アセチレン以外のガス組成ではどのようになるか という点,および,中断の難易が拡大比によるのか, 管径の絶対値によるのかという疑問が残されていた。

これらの問題点を解決するために,ここでは各種内 径のガス管を用いて,いくつかの炭化水素・酸素混合 ガスについて,管路を三次元的に拡大した場合,すな わち管路の容積を急に増大した場合のガス爆轟波の中 断特性について調べ,爆轟波を破壊する条件を,さら に詳しく探ろうとしたものである。

2. 実験装置および方法

実験に使用した爆発管には、一般にガス管と呼ばれ る配管用炭素鋼鋼管を用いた。Fig.1 に示すように、 細管部は長さ約2mで、大きさを呼び径1/8、3/8、1、 および2インチの4種類に変化させた。それぞれの内 径は、6.5、12.7、27.6、および52.9mmである。こ れらを呼び径4インチ(内径105.3mm)、長さ1mの ガス管にフランジで接続し、管路の拡大部とした。一 部の実験では、拡大部が2インチおよび8インチ(内 径204.7mm)の場合についても検討した。

これらの管路には,波面速度を測定するためにイオ ンプローブを取り付けた。イオンプローブの回路は前 報⁸⁾に示したものと同一のものである。イオンプロー ブには,自動車用の点火プラグ*を用いた。 プローブ の配置は Fig.1 に示す。各プローブの間隔は,管路の





- 4 -

種類によって多少異なるが,大体(2)と(1)の間隔 は 30 cm,(1)と(I)の間隔は 40 cm,拡大部での 間隔は 20 cm である。さらに波面圧力の測定には,イ オンプローブと対称の位置でピエゾ圧力変換器を用い た。これらの出力は,いずれもメモリスコープ上に記 録して写真に撮り,計測を行った。

使用したガスは、市販のアセチレン、エチレン、プ ロパン、水素および都市ガスの5種類で、それぞれ酸 素との化学量論組成の混合ガスを用いた。都市ガス は、その組成から計算して、酸素と等モルの混合ガス を用いた。都市ガスの組成例を**Table1**に示す。都市 ガスの組成は、実験の間に多少の変動があり、Table 1に示したものとは厳密には一致していない。アセチ レンのみ酸素との混合組成をいくつか変化させて実験 を行った。これらのガスは、あらかじめ分圧によって 別の混合タンク内で調製し、一昼夜以上放置して自然 混合したものを用いた。ガス濃度は干渉計式ガス検定 器でチェックした。

Table 1	A concentration of the major
	components of the town gas.
	都市ガスの組成例

H ₂	30.8%
CO	3.0
CH_4	36. 2
C_2H_4	1.8
CO2	4.6
O ₂	5.0
N ₂	18.6

これらの試料ガスを種々初圧において,各管路別に コンデンサーの容量放電により細管の管端で着火し た。着火条件は,2.4kV,4.7µFである。それぞれの 細管部には,長さ1mほどのスパイラル線を挿入する ことによって火炎を乱し,点火後,直ちに爆轟へ転移 するようにした。このようにして,それぞれの爆轟管 およびガス組成について,管路拡大前後の波面速度変 化を測定して,爆轟が中断したか否かを判定し,中断 開始圧力を決定した。点火時のガスの初圧は,ガス管 の強度上の制約から大気圧以下とし,大気圧よりも高 い中断開始圧力は,得られた実験式から推定した。

* これらの点火プラグは、単にイオンギャップとして利用したも のであり、点火源として使用したのではない。

3. 実験結果および考察

3.1 波面圧力の変化

Fig.2に管路拡大前後の圧力波形と、これに対応さ せたイオンプローブによる出力波形の例を示す。Fig. 2の(イ)は、爆轟が中断した場合で、波形(a), (b), は, それぞれ (a) が細管部の (1) の位置 (Fig. 1 参照), (b) が拡大部 (I) の位置におけるピエゾ による圧力波形である。波形(c)は火炎面の到達に よって立上りを示すイオンプローブの出力である。イ オンプローブの取り付け位置は、(2)、(1)、(Ⅰ)~(Ⅳ) の6カ所である。波形(a)の急激な圧力の立上りは, (c)の2番目のイオンプローブ(1)の出力に対応して おり,細管部での爆轟波の通過を示している。波形 (b)は拡大部の(I)での圧力変化を示しているが, (c)の3番目のピーク(I)の出力に示される火炎の 到達にもかかわらず, 圧力の急激な立上りは見られな い。これは管路の急な拡大によって、爆轟波面に断熱 膨張が起り、圧力と温度が急激に低下するため、燃焼 の反応時間が伸びて、衝撃波と燃焼波の分離が起る。 このため、爆轟波は一時中断して速度も落ち、通常の



²C₂H₂+5O₂, 3/8→4in., Pi=50mmHg, 0.2ms/div. (イ) In case of detonation decayed. 爆轟が中断した場合



2C₂H₂+5O₂, 3/8→4in., Pi=100mmHg, 0.1ms/div. (ロ) In case of detonation not decayed 爆轟が中断しなかった場合

Fig. 2 Oscilloscopic records of piezo gauges and ion-probes. ピエゾおよびイオンプローブによるメモリス コープの波形

火炎にまで減衰したことを示している。波形(b)に おいて、燃焼波が到達する以前に圧力のわずかな立上 りが見られるが、これは火炎と分離して減衰しつつ先 行する圧縮波によるものである。その後に現われてい る二つの圧力ピークは、爆轟の中断後、火炎が再び加 速して爆轟へ再転移した際の反射衝撃波(retonation wave)によるものと、さらにそれが拡大端で反射して 再びピェゾ素子へ到達したことを示している。

Fig.2 の(ロ)は、爆轟の中断が起らなかった時の (イ)と同様の波形である。このように中断が起らない 場合には、管路拡大後も爆轟波による圧力の急激な立 上り(波形(b))が(c)のイオンプローブ(I)の出 力と同時に見られる。イオンプローブの出力の時間間 隔は、プローブの距離の間隔に比例して現われ、波面 速度は終始定常な値であることを示している。

このように管路の拡大直後の圧力波形からも,爆轟 が中断したか否かを判定することができるが,本実験 では,もっぱらイオンプローブによる管路拡大前後の 波面速度変化の測定から,以下の方法で中断の判定を 行った。

3.2 爆轟中断の判定

プローブ(1)と(I)の間の波面速度に注目し、こ の部分を細管での定常な爆速部と拡大部での減衰部と に分割して考える。プローブ(2)~(1)から得られた 細管での定常な爆速値と、(1)~(I)間の平均波面速 度から、拡大端(0)と(I)の間の平均波面速度を計 算で求めた。

計算の方法は、(1)~(0)の距離を l_1 、(0)~(I)を l_2 、波面が(1)から(I)に到るまでの時間を(τ)とすると、細管部での爆速Dは(2)~(1)の測定から得られているので(1)~(0)に要する時間が分る。 τ からこれを引くと(0)~(I)の間時が分り、 l_2 をこれで割れば(0)~(I)の平均火炎速度vが求まるわけである。すなわち、 $v=l_2 \cdot D/(D \cdot \tau - l_1)$ 、となる。この速度が細管での爆速値の1/2以下になった場合に中断と定義した。実際には、管路の拡大比が4倍以上のときには、中断の判定に迷うような場合はほとんどなく、中断が起れば波面速度の減少は顕著であった。

3.3 爆轟中断開始圧力

爆轟の中断が起りうる最大の初圧を中断開始圧力と 定義する。これをそれぞれのガス組成,および各管路



Fig. 3 Limiting initial pressure of decay with smaller pipe diameters for various gas systems (logarithmic scales.) 細管径と中断開始圧力の関係

-	百百姓//		(mming)	· · ·	
Enlargement (in.) Gas system	1/8→4	3/8→4	1→4	2→8	2→4
$C_{2}H_{4}+3O_{2}$	750	410	200	100	40
C ₃ H ₈ +50 ₂	(1, 250)	700	340	185	60
2H ₂ +0 ₂	(2, 120)	(1, 150)	590	310	190
T.G+O ₂	above 760	above 760	above 760		300

 Table 2
 Limiting initial pressure of decay with different enlargements (mmHg).

 各管路別中断開始圧力 (mmHg)

について求めた結果を Fig.3 に示す。細管が2インチ の場合のみ8インチ管へ拡大した結果で,他はすべて 4インチ管へ拡大した場合の結果である。縦軸に爆轟 中断開始圧力,横軸に細管部の内径をとり,いずれも 対数目盛で表示している。

この図に見られるように、細管径が小さいほど中断 開始圧力は高く、細管の内径と中断開始圧力の間に は、いずれも直線関係があり、かつ、それぞれのガス 組成に共通して、その傾きが一定であることが分る。 この直線の傾きは約 -0.9 であることから、中断開始 圧力は、細管の内径におおむね反比例して高くなると いえるであろう。

この関係を式に示すと次のようになる。中断開始圧 力を P_{decay} , 細管の内径をdで表わすと,

$P_{decay} = K \cdot d^{-0.9}$

ここで, Kは各ガス組成に特有な定数である。この式 から, 各ガス組成について一つの実測値が求まれば, 任意の管路拡大による中断開始圧力を推定することが できる。

本実験では、大気圧以上の中断開始圧力を示す場合 についての測定がなされていないので、これらのいく つかを、この実験式から推定してみた。 $C_{3}H_{8}+50_{2}$ の 混合ガスについて、細管に 1/8 インチ管を使った場 合、中断開始圧力は 1.65 気圧 (1,250 mmHg) と推定 される。 $2H_{2}+O_{2}$ 混合ガスでは、3/8 インチ管を使え ば 1.51 気圧 (1,150 mmHg) まで、1/8 インチ管なら 2.79 気圧 (2,120 mmHg) まで中断しうることが推定 できる。

この図で、上側にあるガス組成ほど中断しやすいわ けであるが、都市ガス・酸素の等モル混合ガスについ ては、2インチから8インチに拡大した場合、中断開 ()内は実験式からの推定値
 T.G:Town gas

始圧力が大気圧に近いことが予測され、パイプの強度 上の危険性を考えて、実験を行わなかったので測定値 が得られていない。しかし、1インチから4インチへ 拡大した場合は、大気圧でも中断が起ったので、これ らの混合ガス中では最も中断しやすいことが分る。 アセチレン以外の混合ガスについての実測値、およ び推定値をまとめたものを Table2 に示す。

3.4 中断開始圧力に及ぼす拡大管径の影響

細管部の大きさは一定で、拡大管の径を変えたと き、即ち管路の拡大比を変えたときに、中断開始圧力 が影響を受けるかどうかについて検討した。アセチレ ン・酸素混合ガスについて、アセチレン濃度を変化さ せ、中断開始圧力との関係を各管路別に測定した結果 を Fig.4 に示す。縦軸の中断開始圧力のみ対数目盛で 表示してある。ここで、3/8 インチ管から4インチ管 へ拡大した場合と、同じ3/8 インチ管から2 インチ管 へ拡大した場合の結果を比較してみると、両者の中断 開始圧力にはほとんど差が見られないことが分る。す なわち中断の難易は管路の拡大比よりも、むしろ細管 部の絶対的な大きさに依存するといえる。

1/8 インチから4インチへ拡大した場合と, 1イン チから4インチへ拡大した場合の結果も同時にプロッ トしてあるが, この場合のデータの部分は前項の実験 式から推定した値を含んでいる。いずれもアセチレ ン・酸素の等モル付近の混合ガスが最も中断しにく く, これよりアセチレンが濃くなると, 急激に中断し やすくなることが分る。

Fig.3 に示した細管が2インチの場合の中断開始圧 力値は,拡大管が8インチであったが,これが4イン チの場合であると,中断開始圧は Table 2 に示したよ



Fig. 4 Limiting initial pressure of decay with different enlargements for C₂H₂-O₂ mix-tures. (Pressures on log scale.) 管路別アセチレン濃度と中断開始圧力の関係

うに各ガス組成共著しく低くなり,直線上に乗らない 値となった。これは、2インチ管から4インチ管へ拡 大した場合は,拡大比が約2倍しかなく,膨張による 効果が十分でないためと思われる。またこの場合に は、中断したか否かの判定も困難であった。このこと から、中断に要する管路の拡大は、少なくとも4倍以 上にしないと十分な効果が期待できないといえる。

3.5 波面速度変化に及ぼす圧力の影響

Table 3 および Fig. 5 にエチレン・酸素の化学量 論組成混合ガスについて,管路を 1/8 インチから4 イ ンチへ拡大した場合,初圧を変化させたときの管路拡 大前後の波面速度変化を示す。Table 3 は各プローブ 間の平均波面速度を示しており,Fig.5 は Table 3 か ら推定した連続的な波面速度変化を示している。Fig. 5 の方は縦軸に波面速度,横軸に拡大管の細管側の管 端をゼロとして,拡大管の距離が取られている。

初圧100mmHgでは、細管部を定常な爆速で伝播し てきた爆轟波は、管路の拡大後中断して波面速度が急 激に低下している。その後、徐々に加速して、約1,000 m/s 位の速度になったところで再び爆轟へと発展する ようである。この再転移直後は、オーパードライブし て、一時過大な爆速となり、その後、再び定常な爆速 で拡大管の中を伝播してゆく。初圧を 200mmHg,400 mmHg と上げてゆくと、中断後の火炎の加速は次第 に速くなり、爆轟へ再転移するまでの中断距離はだん だん短くなる。初圧750mmHg までは波面速度の急激 な低下が見られるが、760mmHg では、もはや中断は 起らず、管路の拡大後わずかに減速するのみで爆轟が 進んでゆくことが分る。細管部での爆速は、初圧が高 いほどわずかずつ速くなっている。他の混合ガス組成 および管路でも、みな、以上と同様の傾向を示した。

3.6 波面速度変化に及ぼす細管径の影響

拡大管の大きさは一定(4インチ)にしておき,細 管の径を変化させたときの波面速度変化が,管路拡大 前後でどのように変るかを検討した。Table4 に都市 ガス,水素およびプロパンの酸素との化学量論組成混 合ガスの大気圧における結果を示す。

Pi Deto. velo.		Flame velo. in wider pipe (m/s)				
(mmHg)	pipe (m/s)	0~10 cm	10~30 cm	$30{\sim}50\mathrm{cm}$	50~70 cm	
100	2, 115	135	660	680	2, 705	
200	2, 240	175	870	3, 110	2, 220	
400	2, 350	215	2, 500	2, 430	2, 325	
750	2, 390	290	3, 335	2, 430	·	
760	2, 405	2, 320	2, 500	2, 430	2, 410	

 Table 3
 Variation of wave velocity before and after the enlargement at different initial pressures.

 波面速度変化への圧力の影響

 $C_2H_4 + 3O_2$, 1/8 in. $\rightarrow 4$ in.

- 7 --



- **Fig. 5** The wave velocity profile before and after the enlargement at different initial pressures for stoicihometric C₂H₄-O₂ mixture. 管路拡大前後の波面速度変化
- Table 4Variation of wave velocity before and after the enlargements
with the different diameters of smaller pipe at the atomospheric
pressure.
波面速度変化への細管径の影響

(イ) T.G+O₂

Enlargement Deto. velo.		Flame velo. in wider pipe (m/s)				
(in.)	pipe (m/s)	0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm	50~70 cm	
1/8→4	2, 210	145	835	765	3, 325	
3/8→4	2, 230	295	575	1,165	3, 030	
$1 \rightarrow 4$	2, 285	630	850	1, 135	2, 530	
$2 \rightarrow 4$	2, 330	1, 995	2, 380	2, 300	2, 350	

 $(=) 2H_2 + O_2$

Enlargement	Deto. velo.	Flame velo. in wider pipe (m/s)				
(in.)	pipe (m/s)	0~10 cm	10~30 cm	$30{\sim}50\mathrm{cm}$	50~70 cm	
1/8→4	2,710	190	1, 555	3, 145	2, 945	
3/8→4	2,790	365	800	3, 335	2, 860	
$1 \rightarrow 4$	2, 880	2, 555	2, 985	2, 820	2, 860	
2 →4	2, 910	2, 850	2, 915			

((n) C₃H₈+50₂

Enlargement	Deto. velo.	Flame velo. in wider pipe (m/s)				
(in.)	pipe (m/s)	0∼10 cm	10~30 cm	30~50 cm	$50{\sim}70\mathrm{cm}$	
$1/8 \rightarrow 4$ $3/8 \rightarrow 4$ $1 \rightarrow 4$ $2 \rightarrow 4$	2, 325 2, 355 2, 380 2, 425	200 1, 950 2, 285 2, 395	1, 480 2, 410 2, 410 2, 410 2, 440	2, 355 2, 410 2, 410 2, 405	2, 325 2, 300 2, 380 2, 375	

Pi: Atomospheric pressure

- 8 ---

Table 4 の (イ) に示す都市ガスの場合, 細管部で の爆轟速度は, 管路が小さいほど低くなっている。こ れは管壁による抵抗が管が小さいほど大きくなるため である。管路拡大直後の波面速度は, 中断が起った場 合には急激な低下を示すが, この最低速度は細管が小 さいほど低くなる。しかしながら, その後の火炎の加 速は, 細管が 1/8, 3/8, 1インチのそれぞれの間に大 きな差は見られず, いずれも拡大管の 50~70 cm 付近 で爆轟へ再転移している。再転移の位置は, オーバー ドライブによる過大な爆速値が測定されることから推 定できる。2インチから4インチへ拡大した場合は, もはや中断は起っていない。

Table 4 の(ロ)に示す水素の場合,細管が 1/8,3/8 インチでは中断が起っており,拡大管の 30~50 cm の 間で爆轟へ再転移している。1インチおよび 2 インチ では中断は起っていない。Table 4 の(ハ)のプロパ ンになると,中断が起るのは細管が 1/8 インチの場合 だけで,その他の細管径では中断は起らないことが分 る。エチレンおよびアセチレンの酸素との当量組成混 合ガスでは,1/8 インチの細管を用いても,大気圧で は爆轟を中断させることはできない。

3.7 波面速度変化に及ぼす拡大管径の影響

細管の大きさを固定して,拡大管の大きさを変えた ときの波面速度変化の相異について検討した。**Table** 5 は,都市ガス,水素,プロパンについて,3/8 イン チから4インチ管へ拡大した場合と2インチ管へ拡大 した場合の比較を行ったものである。初圧はいずれも 大気圧である。

このような場合には、爆轟中断開始圧力は、両者の

間にほとんど差のないことを3.4ですでに示したが, 管路拡大後の波面速度変化には,両者の間に相異が見 られる。細管での爆速は両者とも管径が等しいので, ほとんど差がないのは当然であるが,中断が起った場 合,拡大管での火炎の加速は,拡大管が2インチの方 が4インチの場合よりはるかに速く,いわゆる中断距 離が短くなる。これは爆轟誘導距離が,管径が小さい ほど短いという従来の結果と一致している。このこと は,管径が小さいほど,未然ガス内の圧縮波の壁から の反射による影響や,壁による未然ガスの乱れの影響 が大きくなるため,爆轟へ転移しやすくなるものと考 えられる。

3.8 理論爆速と実測値

一次元爆轟理論により、C-J 面(反応完了面)での 化学平衡を仮定したときの理論爆速を、それぞれのガ ス組成について初圧を変えて計算を行った。計算のプ ログラムは Gordonの 方法⁹⁾を用い、当所の計算機シ ステム FACOM 230/35 を使用して計算した。これら の計算値を **Table**6 に示す。

一般に初圧が大気圧付近では、理論値と実測値は良 く一致するが、初圧がそれより低くなるほど、理論値 と実測値の差が大きくなるようである。これは、低圧 になるほど、爆轟波の非定常性、非一次元性が実際の 爆速に大きく影響してくるためと思われる。

実際の管中の爆轟速度は、壁面抵抗のために、管径 によってかなり影響を受ける。都市ガス・酸素の等モ ル混合ガスの爆速の管径による影響を Fig.6 に示す。 初圧は 50 mmHg から大気圧までの範囲である。理論 爆速値は破線で示した。この図から分るように、爆速

0	Enlargement	Deto. velo.	Flame velocity in wider pipe		wider pipe (n	n/s)
Gas system	(in.)	pipe (m/s)	0~10 cm	10~30 cm	30~50 cm	50~70 cm
T.G+0 ₂	3/8→4 3/8→2	2, 230 2, 235	295 660	575 2, 040	1, 165 2, 325	3, 030 2, 325
$2H_2 + O_2$	$ \begin{array}{c c} 3/8 \rightarrow 4 \\ 3/8 \rightarrow 2 \end{array} $	2, 790 2, 785	365 760	800 2, 985	3, 335 2, 780	2, 860 2, 740
$C_{3}H_{8}+5O_{2}$	$ \begin{array}{c} 3/8 \rightarrow 4 \\ 3/8 \rightarrow 2 \end{array} $	2, 355 2, 370	1, 950 2, 270	2, 410 2, 355	2, 410 2, 380	2, 300 2, 380

 Table 5
 Variation of wave velocity before and after the enlargements with different diameters of larger pipe at the atomospheric pressure.

 波面速度変化への拡大管径の影響

Pi: Atomospheric pressure

Table 6 Calculated values of detonation velocity at various initial pressures. (m/s).



- 10 -

は管径が小さいほど低くなり,初圧が低いほど,理論 爆速からのずれが大きくなることが分る。他のガス組 成について同様の検討を行った結果では,爆轟の中断 が起りやすい組成ガスほど,爆速への管径の影響が大 きいことが分った。

Fig.7 にアセチレン濃度と爆速の関係を示す。初圧 一定(300 mmHg)で、実測値は 3/8 インチ管におけ る値である。これによると、理論値と実測値の差は、

最も中断しにくい組成であるアセチレン 50% の濃度 で最も小さく,中断しやすい組成になるほど,この差 が大きくなっている。このことからも,爆轟の非定常 性は理論値からのずれとして表われてくるのではない かと思われる。

5. 結 言

管路の容積を急に拡大した際の、爆轟波の中断特性 について実験した結果、次のことが明らかになった。

- 管中の気体爆轟波は、そのガス組成および初圧 に応じて、管路を急に拡大することによって、一 時的に中断させうる。実験に使用した量論ガス組 成では、中断の難易の序例は次のようである。中 断しにくいものから順に、2C₂H₂+5O₂、C₂H₄+ 3O₂、C₃H₈+5O₂、2H₂+O₂、T.G+O₂.
- 2) 爆轟中断開始圧力は,拡大比ではなく,細管の 絶対径に依存する。これは次の実験式で与えられ る。P_{decay}=K·d^{-0.9},すなわち,中断開始圧力 は細管径に,おおむね反比例するといえる。
- 3) 中断に要する管路の拡大は、少なくとも4倍以 上にしないと十分な効果が期待できない。拡大管 が大きいほど中断後の火炎の加速も遅く、中断距 離が長くなる。

実験はおもに酸素との当量組成混合ガスについて行

ったが、ここで注意しなければならない点は、爆轟の 速度や波面圧力は化学量論組成付近の濃度で最大値を 示すとは限らないということと、爆速または波面圧力 が大きい混合ガスの方が、それが小さい混合ガスより 中断しにくいとは一概にいえないということである。 むしろ爆轟波の非定常性が最も中断に関係する要素で あろうと思われる。

現在,一般に使用されている火炎防止器において も,消炎素子を取付ける部分を,流量抵抗を少なくす るために拡げた形のものが見られるが,このことは, 本実験の結果から,爆轟を減衰させるのに有効な方法 であることが確認された。ガス組成が空気との混合ガ スの場合には,かなり高い圧力でも爆轟を中断させう るであろうことが予測される。この爆轟中断の特性 を,どのように爆轟抑止器へと応用しうるかが,今後 の課題である。

(48.6.13 受理)

文 献

- 1) B. Lewis and G. von Elve, "Combustion, Flames and Explsion of Gases", (1961), Academic Press, N.Y.
- 2) 疋田, 秋田, "燃焼概論", (1971), コロナ社
- 3) P. Laffitte, Compt. rend., 179, 1394 (1924)
- 4) 難波桂芳他訳,"化学プロセスの災害防止 2", 79 (1971),共立出版
- S. M. Kogarko, A. G. Lyamin, V. A. Mikhailov, Khimich. Promyshlenost, 47, 923 (1971)
- 6) R. I. Soloukhin, 工業火薬, 28, 95 (1967)
- R. I. Soloukhin, K. W. Ragland, Combustion and Flame, 13, 295 (1969)
- 8) 松井, 産業安全研究所研究報告, RIIS-RR-20-5 (1972)
- 9) F. J. Zelezink, S. Gordon, NASA TN D-1454 (1960)

產業安全研究所研究報告 RIIS-RR-22-2
昭和48年11月30日 発行
発行所 労働省産業安全研究所
〒 108 東京都港区芝5丁目35番1号 電話(03)453
印刷所 新日本印刷株式会社

.

•

•

UDC 662.61:534.222 管路の拡大による気体爆 み 波の中断(第2報) ----いくつかの炭化水素・酸素爆 み 波について,管路を三次元的に拡大した場合-----松井英憲 産業安全研究所報告

RIIS-RR-22-2, 1~11 (1973)

種々内径のガス管を用いて,アセチレン,エチレン,プロパン,水素および都市ガスと 酸素の混合ガスについて,管路を途中で拡大した場合の爆轟波の中断特性について実験を 行った。

イオンプローブ法によって管路拡大前後の波面速度変化を測定し、爆轟中断開始圧力を 決定した。爆轟中断開始圧力は、ガスの組成および細管部の管径に依存することが明らか になった。

(表6, 図7, 参9)

\bigcirc

UDC 662.61:534.222

Decaying of Gaseous Detonation by Expansion (Second Report)

Research Report of Research Institute of Industrial Safety.

RIIS-RR-22-2, 1~11 (1973)

Gaseous detonations in $C_2H_2-O_2$, $C_2H_4-O_2$, $C_3H_8-O_2$, H_2-O_2 and Town Gas- O_2 systems were initiated in the narrow part of the steel pipe whose diameter was enlarged at the half way of it.

The wave velocities before and after the enlargements were measured by ion-probe method to determine the limiting initial pressure of detonation decaying.

It was found that the limiting pressure depended on the gas system and the diameter of the narrow part of the pipe.

(6 Tables, 7 Figures, 9 References)