

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1978

爆発および爆ごう抑止器の実用化に 関する研究（第2報） —爆ごう誘導距離に及ぼす管路条件の影響—

林 年 宏
松 井 英 憲

爆発および爆ごう抑止器の実用化に

関する研究(第2報)

—爆ごう誘導距離に及ぼす管路条件の影響**—

林 年 宏*・松 井 英 憲*

Research on Flame- and Detonation-Arresters (2nd Report)

—Effect of Pipe Layout on Detonation Induction Distance—

by T. HAYASHI* and H. MATSUI*

It has been well known that a flame originated in a long pipeline containing detonable gas mixture could transit to detonation after travelling some distance. The distance between a source of ignition and the point, where an transition of combustion wave to detonation occurs in the pipeline, is called "detonation induction distance" (D.I.D.). Although D.I.D. is known to be affected by such factors as the composition, temperature and pressure of gas mixture, and the length, diameter and smoothness of inner surfaces of pipeline in which the flame travells, available informations are not yet satisfactory from the practical standpoint of view.

This report describes about effects of pipe layouts on D.I.D. Experiments are carried out in 1-inch pipelines, in which the stoichiometric mixture of hydrogen-air or acetylene-air, their initial pressure being atmospheric, is ignited by a nichrome wire heater. Speeds of flame propagation are measured by ion-probe method; ion-probes are distributed along the pipeline with some 30 or 50 cm intervals. Average flame speed between two ion-probes is defined as the speed of flame at the mid point of those probes. Thus the relation between the distance from ignition source and the flame speed for each point can be obtained. Then, D.I.D. is arbitrarily defined as the distance between the ignition source and the point where flame speed attains 1,000 m/s on the distance-flame speed diagram.

Effects of following factors on D.I.D. are discussed;

length of the straight pipeline, up to 9 meters;

whether an ignition end and/or the other end are closed, partially closed or open to atmosphere;

direction of flame propagation, i. e. horizontal, upward or downward;

position of ignition source in the pipeline;

existence of such fittings as bend or tee near the ignition source;

existence of the spiral wire as an obstacle in the pipeline.

Discussions are also made whether detonation wave could be decayed when travelling through pipe fittings mentioned above.

* 化学研究部 Chemical Engineering Research Division

** 本研究の一部は第7回安全工学国内シンポジウム(1977.7.7)において発表した。

1. 緒 言

爆ごう（デトネーション）は、爆発性混合ガス中を火炎が伝播する形態のひとつであり、伝播速度と破壊力の大きいのがその特徴である。配管等の内部で混合ガスが発火すると、火炎は最初燃焼波として比較的ゆっくりと伝播するが、混合ガスの組成が爆ごう限界内にある場合には、ある距離を伝播したのち急速に伝播速度を増し、爆ごうへと転移する。筆者らは、管中の火炎伝播の阻止に関する研究の一環として、管路の拡大等による爆ごう波の中断や、金網等による爆ごう波の直接阻止について報告してきたが¹⁻³、火炎伝播の阻止は爆ごうへの転移以前のほうがはるかに容易であると考えられ、この意味では、爆ごうへ転移する前に火炎防止器（フレイム・アレスタ）により火炎を阻止することが好ましいが、そのためには管中における爆ごうへの転移に関するデータが必要である。

管中で生じた火炎が爆ごうへ転移するまでに伝播した距離は爆ごう誘導距離（Detonation Induction Distance, 以下 D. I. D. と略記することがある）と呼ばれており、これは混合ガスの種類・組成・温度・圧力、管の径と長さ、管内壁の状態（平滑度）などの影響を受けるとされているが³、実際の化学装置等の配管システムについては、このほかにも D. I. D. に影響すると考えられる因子を更に幾つか挙げることができる。

本報では、水素-空気およびアセチレン-空気それぞれの化学量論組成付近の混合ガスについて、室温・大気圧のもとで、呼び径1インチの管中における火炎伝播速度の変化を測定し、これに基づいて、管の長さ、管端の開放・閉塞、火炎の伝播方向、点火源の位置、管中の障害物、管路の途中の曲り（ベンド）やT形接続部（チー）の存在などが D. I. D. に及ぼす影響等について検討した。

2. 実 験

2.1 実験装置（爆発管）

実験に用いた爆発管は、呼び径1インチ（内径27.6 mm）の配管用炭素鋼管を加工したものである。直管についての実験には、両端フランジ付きで長さ1m^{*1}

^{*1} このような表現で示す長さは「約1m」というような概略値である。

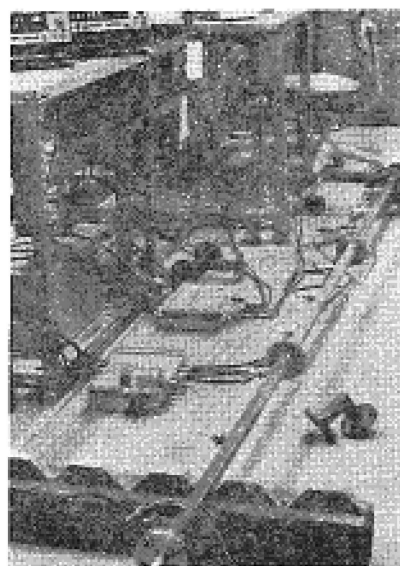


図1 爆発管の設置状態

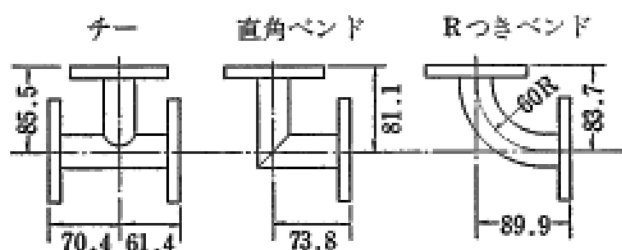


図2 継手類の形状および寸法 (mm)

のもの9本と、長さ10 cmの点火部分1個を用意し、管全長を2.1 mから9.1 mまで1 m毎に変化させた。図1に爆発管の設置状態を写真で示す。

管路に曲りや分岐を設ける場合には、図2に示す継手類を用いた。これらの継手類を含む爆発管の配置や管長は実験結果に併記するが、継手内部を火炎が伝播する距離は中心軸に沿った長さとして算出した。

爆発管の管端は、M28・ピッチ2の盲ネジを取付けた端フランジにより閉鎖し、この盲ネジを取外した状態を管端開放と呼ぶことにする。なお、管端の開口径を直径28 mmより小さくする場合には、管フランジと端フランジの間に所望の径の穴のあいたフランジをはさみこみ、点火直前に端フランジの盲ネジをはずして部分的開放状態とした。爆発管にはこのほか、点火用ヒータ、ガス送排用弁、イオン・ギャップなどの取付けネジが加工されている。

2.2 実験ガスおよび実験の手順

実験には30%水素-空気および8%アセチレン-

空気混合ガスを用いた^{*2}。これらのガスは最も爆ごうを生じやすく、また、ガス濃度はそれぞれ最も爆ごうへ転移しやすいと考えられる濃度である。なお、実験によってはいずれか一方の混合ガスのみを用いた。実験ガスはあらかじめ分圧法によって調整し、濃度は干涉計式ガス検定器により測定した。

毎回の実験に際しては、所定の状態に設置された爆発管中を 2 mmHg (絶対圧) 以下の真空とし、予混合ガスを大気圧まで満して点火する。管端を開放して点火する場合は、端フランジの盲ネジをはずしたあと速かに点火した。垂直管の上端を開放する際には、盲ネジをはずしたあとの開口部をプラスチック板で覆っておき、点火直前にこの板を取除いた。点火はニクロム線ヒータ (印加電圧 DC 3 V) により、点火位置は (一部の実験を除いて) 管端から 5 cm の管軸上とした。

実験は同一条件下で原則として 5 回繰返したが、実験の種類によっては最高 10 回まで行なった場合がある。

2.3 火炎速度の測定と爆ごう誘導距離の求め方

火炎速度の測定はイオン・ギャップ法⁶⁾によった。爆発管の壁には管軸に沿って 30~40 cm 毎にイオン・ギャップ (点火プラグを利用^{*3}) が取付けてあり、火炎の到達を検出して電気信号を発生させる回路に接続されている。この回路からの信号の時間々隔をカウンタで計測し、各イオン・ギャップ間の平均の火炎速度を求める。相隣り合う 2 点間の平均火炎速度を、その 2 点の中間における火炎速度とみなすことにすれば、点火源からの距離と火炎速度との関係をひとつの曲線として描くことができる。図 3 にはその例を示す。

このような速度変化図から D. I. D. を求める方法は他にもあるが^{*4}、本報においては火炎速度が 1,000 m/s に達した点を求め、この点と点火源との距離を D. I. D. と定めた⁷⁾ (図 3 の矢印参照)。なお、実際には毎回図 3 のような曲線を描くことはせずに、火炎速度が 1,000 m/s となる前後のふたつのプロット間の速度変化を直線で近似させて D. I. D. を求めた。

^{*2} これらのガスの化学量論組成は、水素 29.5%、アセチレン 7.72% である。

^{*3} 自動車用点火プラグ、AB-7 型、取付けネジ M18。

^{*4} 火炎速度が定常爆速と等しい値に達した点を爆ごう転移点とする考え方があがるが、その場合には転移点付近においてもっと短い間隔毎に速度を測定せねばならない。

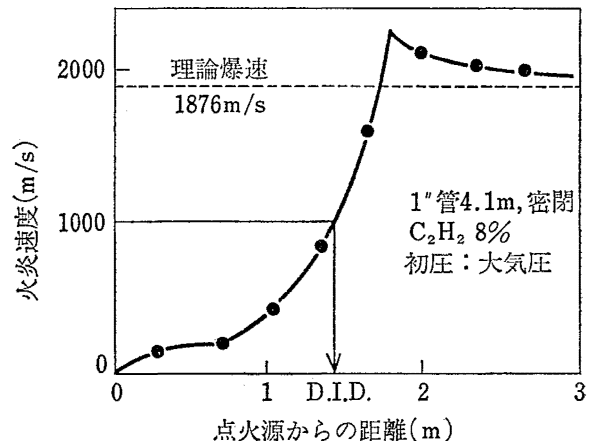


図 3 火炎速度の変化と爆ごう誘導距離 (D. I. D.) の求め方

3. 実験結果および考察

3.1 爆発管の長さおよび管端条件が D. I. D. に及ぼす影響

この実験は水素とアセチレンの両方について行った。爆発管の長さは最大 9.1 m とし、点火側管端 (点火端という) の開閉と反点火側管端 (反点火端という。また、点火端に対して他端ということがある) の開閉をそれぞれ組合せた 4 通りについて実験した。爆発管は水平に設置し、各管長について原則として 5 回ずつ D. I. D. を求めた。

(a) 両端閉の場合

水素-空気では管長 3.1 m 以上で、アセチレン-空気では 2.1 m 以上で、いずれも常に爆ごうへ転移した。アセチレンの場合には、各管長について求めた平均の D. I. D. は 1.42~1.45 m の範囲にあり (全体の平均は 1.44 m)、爆ごうへ転移する場合においては D. I. D. は一定値をとり、火炎の伝播する管の全長には無関係であることが示された。水素については一部の管長に対する実験を省略したが、各管長における D. I. D. の平均値は 1.58~1.61 m (全体の平均は 1.59 m) となり、アセチレンの場合と同様に D. I. D. は管長によらない一定値となった。これらの結果を図 4-A に示した。

(b) 点火端閉、他端開の場合

水素、アセチレン、いずれのガスについても、管長 2.1 m 以上で常に爆ごうへ転移した。結果を図 4-B

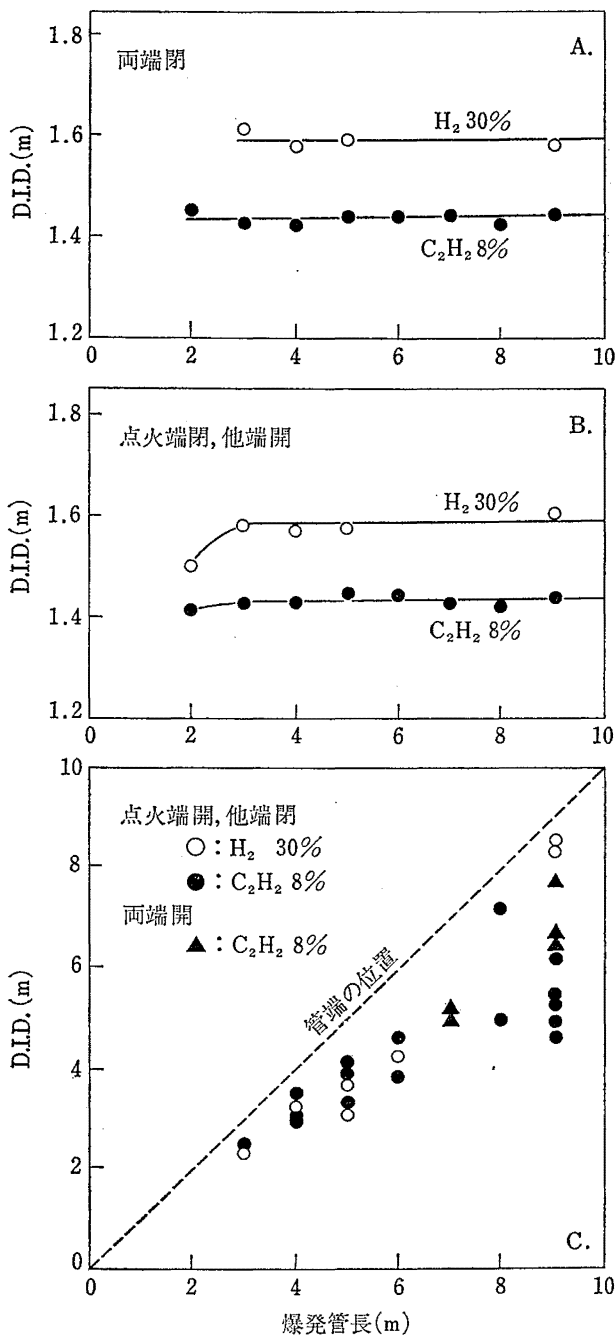


図4 爆発管の長さおよび管端条件が爆ごう誘導距離に及ぼす影響

に示す。アセチレンの場合には、実験全体を通じての最大値・最小値、各管長についての平均値の範囲、全体の平均値のいずれをとっても、両端閉の場合とまったく同じ D.I.D. が得られ、2.1 m 以上では管長の影響はないとみなしてよい。

水素については一部の管長での実験を略したが、管長が 3.1 m 以上では各管長についての平均の D.I.D.

は 1.57~1.61 m で、これらの範囲の管長に対する全平均値は 1.58 m となり、両端閉の場合と同じ結果である。しかし、管長 2.1 m における D.I.D. は 1.50 m であって、他の管長における値より小さい。この理由は次のように考えられる。

管長が D.I.D. より小であれば当然爆ごうは生じないが、管長が充分大きいときの D.I.D. が約 1.6 m であるのに比べれば、2.1 m という管長は爆ごうへの転移に要する限界に近い長さともみなすことができる。このような限界付近の条件下では火炎の初期伝播の様相がその後の過程に影響すると考えられるが、この点に関しては、火炎の前方に未燃ガスの流れを妨げる「絞り」(管路の縮小)があると火炎の軸方向速度の減速することが知られており⁸⁾、この実験の場合、反点火端閉のときは爆ごうへ転移しないが、反点火端が開放されていれば火炎速度の増加が速いため転移するという結果になる。一方、爆ごうへ転移するか否かの限界付近では転移する位置にバラツキの生ずることは避け難く、また、火炎速度の測定が連続的ではないため、測定区間のどこで急激な速度変化が生じたかによる D.I.D. の変動も起りうる。これらの結果、管長 2.1 m では D.I.D. が 1.39~1.57 m と測定され、他の管長の場合に比して平均の D.I.D. は小さくなった。なお、このことは、ある混合ガスについて D.I.D. の最小値を求めるに際しては、管端の開閉という因子のほかに爆発管の長さの影響も考慮せねばならないことを意味している。

(c) 点火端開, 他端閉の場合

アセチレンの場合は、管長 2.1 m では 5 回の実験で転移は見られず、3.1 m では 5 回のうち 1 回転移し、4.1 m 以上では常に転移した。水素の場合は、管長 2.1 m では転移せず、3.1~9.1 m の管長では 5 回のうち 1~2 回の割合で転移したが、転移の割合と管長の間には特に関係はなかった。転移が生じたときの D.I.D. は図 4-C に示すように管長とともに増大する傾向を示し、点火端閉の場合の D.I.D. に比して明らかに大きい値を示した。

管端開放での実験では、管端の開放から点火までの時間を毎回同じにすることができず、管端付近の混合ガス濃度の変動は避けられない。特に点火端開放の場合には、こうした濃度変動が火炎の初期伝播(したがって爆ごうへの転移)に影響することは考慮せねばならないが、爆ごうへ転移する可能性があるか否かとい

う観点からすれば、点火端閉の場合の結果からみて妥当な結果が得られたといえる。

（d） 両端開の場合

アセチレンについては、管長 2.1～6.1 および 8.1 m では5回の実験で転移はなく、7.1m では5回のうち2回、9.1m では5回のうち4回転移した。管長と D.I.D. の関係は図 4-Cに併記した。なお、水素については、管長を9.1m まで増しても転移は見られなかった。

実験結果からも予測できるように、点火端が開放されているか否かは管中の火炎伝播の様相を決定する重要な因子である。管の閉端で生じた火炎は燃焼ガス (burned gas) の膨張によって未燃ガスの方へ押し出され、火炎面の乱れとともに比較的速かに伝播速度を増し、爆ごうへ転移する。実験結果によれば、管長が3m 以上では反点火端の開閉は火炎の伝播に影響しないことになり、反点火端が閉塞されているか否かではなく、火炎前方にある充分な長さの気柱 (gas column) が存在することの意味の方が重要であるといえる。

一方、点火端が開放されているときには、閉端点火の場合とは大きく異なる挙動を示す。点火後の燃焼ガスは開放端から大気中に排出されるため、火炎を背後から支える推力がなく、火炎はある距離を伝播する間は定速である (uniform movement という)。したがって、たとえその後に加えられるにしても、閉端点火の場合より爆ごうへの転移が遅れることに疑問の余地はない。また、実験結果によれば、点火端開のときには反点火端閉の方が転移しやすいが、これは（点火端

閉のときには火炎背後に強い推力があるので反点火端の影響は少いが）火炎背後の燃焼ガスが自由に逃散し得る条件下では反点火端の閉塞により火炎の加速が促されることを示唆している。したがって、点火端開の場合に「管長の増すほど D.I.D. が大となる」という結果は、むしろ管長の大小ではなく、「反点火側管端に近づいたところで爆ごうに転移する」と述べる方が妥当であろう。

3.2 火炎の伝播方向が D.I.D. に及ぼす影響

本報での実験のほとんどは、水平に設置された爆発管を用いて行ったが、実在の配管系には管路が垂直な場合も多く、垂直管中での爆ごうへの転移についても明らかにしておく必要がある。火炎伝播速度は伝播方向の影響を受け、熱対流による浮力のため伝播方向が下方、水平、上方の順に伝播速度が大となるが、こうしたことが D.I.D. に直接的に影響するか否かが当面の関心事である。

この実験は水素とアセチレンの両者について、長さ 4.1m^{*5} の管を垂直に保持して行なった。下端点火（上方伝播）および上端点火（下方伝播）についての結果を、同じ管長で水平火炎伝播の場合の結果とともに表1に示す。表中「転移割合」とした数値は、分母が実験回数、分子はそのうち爆ごうへ転移した回数を示す。

D.I.D. および転移割合は、いずれのガスについても火炎の伝播方向に影響されなかった。比較的バラツキが大きい点火端開の場合でも、水平伝播の場合と同

表 1 火炎伝播方向と爆ごう誘導距離 (1" 管 4.1m ; D.I.D. の単位は m)

混合 ガス	管 端 条 件		上 方 伝 播			下 方 伝 播			水 平 伝 播		
	点 火 端	反点火端	平均値	最小値	転移割合	平均値	最小値	転移割合	平均値	最小値	転移割合
水 素 30%	閉	閉	1.49	1.42	4/4	1.53	1.52	3/3	1.58	1.57	5/5
	閉	開	1.53	1.52	4/4	1.57	1.52	5/5	1.57	1.53	5/5
	開	閉	3.64	3.58	2/6	3.53	3.15	3/7	3.20	3.20	1/5
	開	開	—	—	0/5	—	—	0/7	—	—	0/5
アセチ レン 8%	閉	閉	1.47	1.44	5/5	1.49	1.46	5/5	1.42	1.41	5/5
	閉	開	1.48	1.46	5/5	1.47	1.44	5/5	1.43	1.41	5/5
	開	閉	3.02	2.80	4/5	3.27	2.87	5/5	3.15	2.92	5/5
	開	開	—	—	0/5	—	—	0/5	—	—	0/5

*5 防音構造の実験施設の寸法上許される最大値である。水平管の長さを 9.1m までとしたのも同じ理由による。

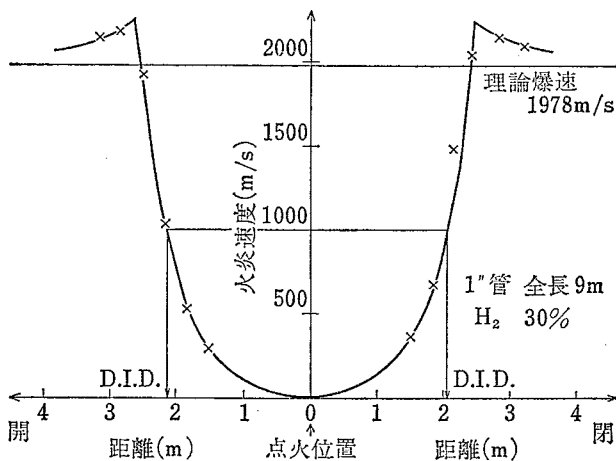


図5 管路の中央部で点火したときの火炎速度の変化の例

表2 管路の中央部で点火したときの爆ごう誘導距離 (1" 管全長 9m, 水素 30%)

一方の管端	D. I. D. (m)*		他方の管端
閉	-2.05	+1.96	閉
開	-2.19	+2.07	開
閉	-2.07	+1.98	開
開	-2.13	+1.98	閉

* 点火源の位置をゼロとし、一方の管端側への距離をマイナス、他方の管端側への距離をプラスとしてある。

様の結果を得た。管長は1種類であるが、3.1の結果からみて管長の影響は少いであろう。たとえば燃焼限界濃度の決定に際しては火炎伝播方向が影響するとされているが、燃焼速度の大きい水素やアセチレンの化学量論組成の混合ガスについては、爆ごうへの転移過程は火炎伝播方向に関係しないものと推定される。

3.3 管路の中央部で点火したときのD. I. D.

前節までは管端点火の場合について述べたが、管路の途中で点火された火炎が両方向へ伝播するときの挙動については、ほとんど報告されていないようである。ここでは水素を実験ガスとし、水平に設置された長さ9mの爆発管を用い、管のほぼ中央部で点火したときのD. I. D. を求めた。図5は、一端が開、他端が閉のときの火炎速度の変化を示す例である。また、表2は両管端の開閉の組合せについてD. I. D. を求めた結果である(表の値は3回の測定の平均値である)。

管端の開閉・閉塞にかかわらず、点火後の火炎は両端に向かって同じ速度変化で伝播し、いずれも点火位置から約2mの地点で、常に爆ごうへ転移した。この

表3 管路に長さ70cmのスパイラル線を障害物として挿入したときの爆ごう誘導距離 (1" 管 9.1m, 水素 30%)

点火源からスパイラル線までの距離 (m)		管端条件		D. I. D. (m)	転移割合
先端	終端	点火端	反点火端		
4.05	4.75	開	閉	4.37~4.43	2/2
		開	開	4.36~4.72	4/6
2.05	2.75	開	閉	2.28~2.83	5/5
		開	開	2.65	1/5
0.05	0.75	開	閉	0.58~0.74	3/6
		開	開	—	0/5
		閉	閉	0.33	1/1
		閉	開	0.32	1/1

ような速度変化の仕方は点火端閉の場合の特徴と同じであり、管路の途中で点火は管の閉塞端で点火した場合に近い条件を与えるものと推定されるが、D. I. D. は点火端閉のとき(約1.6m)よりやや大きい。管路の中央部で生じた火炎が両端へ向って伝播する際には、火炎背後の燃焼ガスが互いに押し合うため、そこにひとつの壁面が存在するかの如き状態が生ずると考えられるが、この壁は圧縮性の気柱であるため、そこで反射される圧縮波は壁がフランジである場合よりも弱められ、これが理由となって点火端閉の場合に比して爆ごうへの転移が遅らされるのであろう。

なお、表2のD. I. D. の値は点火源の両側について若干異なるが、これは管路の状態(管内壁の平滑度、イオン・ギャップの取付け位置など)が点火源に関して厳密に対称的ではないことによるものであろう。

3.4 管路の障害物の影響

管路に障害物があると火炎面が乱され、火炎面積が増大するため伝播速度は大となる。それ故、火炎が生じてからある状態に加速されるまでに要する伝播距離は障害物がない場合よりも小となるはずであり、爆ごうへ転移し得る条件のもとではD. I. D. も(障害物がない場合に比して)減ずることが予測される⁹⁾。

ここでは障害物のひとつの例として長さ70cmのスパイラル線^{*6}を用い、水平に設置された長さ9.1m

^{*6} このスパイラル線は、直径2.5mmの針金を外径13mmのパイプの外側に巻きつけたあと、パイプを抜き去って得られるもので、針金の巻き数は67である。管中に固定するには、針金の一端を管接続部のフランジ間にはさみこんだ。

の爆発管の途中にこれを挿入したときの D.I.D. を求めた。障害物による爆ごう転移促進効果を明らかにするには、既に行ったうちの比較的転移しにくい条件下での実験結果と比べるのが分り易いので、実験ガスとしては水素を用い、点火端は主として開放で実験した。結果を表3に示す。

既に述べたように、点火端開、反点火端閉で障害物のない場合には、5回の実験のうち2回しか転移せず、そのときの D.I.D. は8mを越えていたが、スパイラル線を挿入し、かつその位置が点火源から2m以上離れていれば常に爆ごうへ転移するようになった。また、反点火端開のときには、障害物なしではまったく転移が見られなかったものが、スパイラル線の位置次第によっては転移が生ずるようになり、転移する割合はスパイラル線が点火源から離れるほど大きくなる傾向にあった。これらのことから、スパイラル線の挿入によって爆ごうへの転移が促進されることに疑問の余地はない。また、D.I.D. が無障害物の場合に比して大きく減少することも明らかである。点火端開で、スパイラル線の先端が点火源から4および2mのときには、反点火端の開閉による D.I.D. の差はほとんどないが、これは、反点火端の開閉よりもスパイラル線の存在の方が火炎伝播に強く影響することを示唆している。

次に留意すべき点はスパイラル線の位置と D.I.D. の関係である。爆ごうへ転移した場合については、D.I.D. はいずれもスパイラル線の先端と終端の中間の位置（中心からやや終端によった地点）に相当する。これは、火炎がスパイラル線に到達したところで急激な加速が生じ、スパイラル線を去るときには既に爆ごうへ転移してしまっていることを意味する。表3には比較のために点火端閉のときの結果も併記したが、この場合の転移は更に早められることが分る。いずれにせよ、この実験で用いたスパイラル線については、「障害物のところで転移が起る」ということになる。両端開で、スパイラル線が点火源の近傍にあるときは、火炎はそこで加速されはするが爆ごうへ転移するまでには至らず、障害物を通過したあとは無障害の両端開放管中での挙動に戻るため、転移は生じないのである。

これらのことから、同じ障害物が管路の途中に存在するにしても、その位置により火炎伝播に及ぼす影響が異なると考えなければならず、火炎が発生した直後

ではこれを加速させる効果は小さく、未燃ガスがある程度流動した時点でスパイラル線に遭遇するほうが爆ごうへの転移を促進させる効果が大きいとみられる。

3.5 管端の開口径がD.I.D.に及ぼす影響

前節までは、管端開といえは開口部の径が管内径に等しいことを意味したが、管端が部分的に開放されている場合の火炎伝播がどのようになるかは興味ある問題である。ここでは、管端の開口径が D.I.D. にどう影響するかを知るため、水平に設置された長さ 4.1m の管を用い、点火端の開口径を種々に変えたときの D.I.D. をアセチレンについて求めた。結果を図6に示す。反点火端は全面開放または閉塞としたが、点火端の開口径が 6mm 以下では反点火端の開閉に無関係に D.I.D. は等しくなり、かつその値は点火端閉の場合の D.I.D. に近い値となった。つまり、1インチ管では点火端に径 6mm 程度以下の開口があっても、火炎伝播の挙動は点火端閉の場合と大差ないことになる。

開口径が増すと D.I.D. も増大し、反点火端開のときは開口径 16mm 以上では5回の実験で転移は生じなかった（3.1 で述べたように両端全開のときには転移は生じていない）。反点火端閉の場合には、開口径の増大による D.I.D. の増加の割合は小さく、開口径 25mm では点火端が全面開放の場合とほぼ同じとな

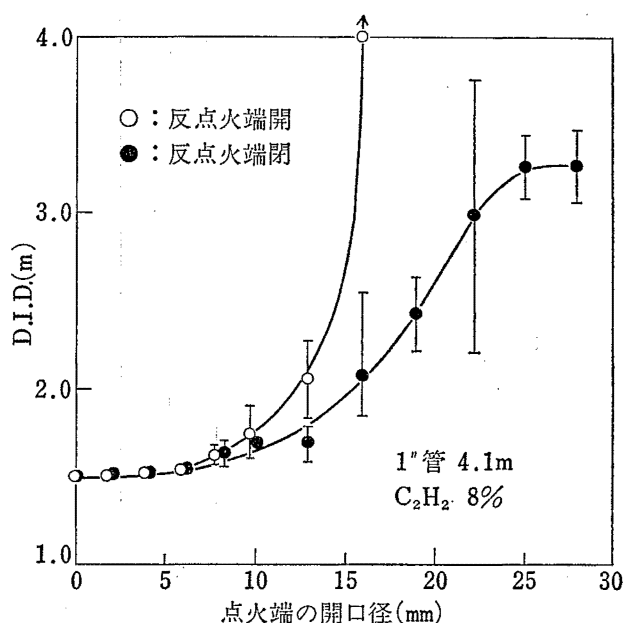


図6 点火端の開口径が爆ごう誘導距離に及ぼす影響

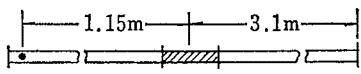
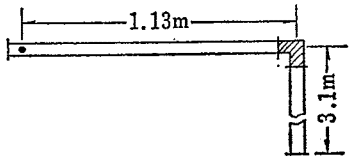
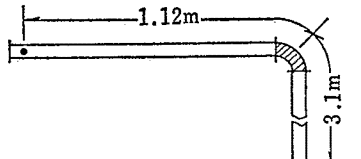
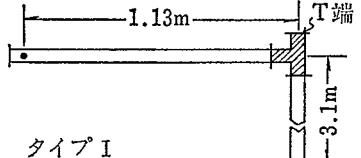
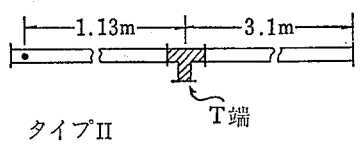
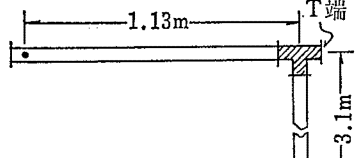
った。

これらのことから、反点火端閉のときは、点火端の部分的開放は点火端閉と点火端開との中間の挙動を与えることが分った。反点火端開のときには、点火端が開ではもちろんのこと、部分的に開放されていても（開口径がある限界以上となれば）爆ごうへは転移しないとみなすことができる。

3.6 管路の途中にベンドやチーがある場合の挙動

管路の途中にベンドやチーなどの継手類のない配管は存在し難い。本節では、代表的な二、三の継手（図2）に関して、これらが爆ごうへの転移にどう影響するか、あるいは、爆ごうへ転移したあとの火炎伝播の

表 4 管路の継手類が爆ごうへの転移に及ぼす影響（1 インチ管，30% 水素-空気，初圧は大気圧）

継手の種類	点火源と継手の位置関係 （●は点火源）	管端条件**	通常 の 転 移		転 移 遅 延	
			割 合*	D. I. D. (m)	割 合*	D. I. D. (m)
直 管		両 端 閉	6/6	1.60～1.89	0/6	—
直 角 ベンド		両 端 閉	2/7	1.52～1.53	5/7	2.09～2.20
Rつぎ ベンド		両 端 閉	4/5	1.52～1.84	1/5	2.08
チ ー	タイプ I 	全 端 閉	1/5	1.79	4/5	2.10～2.21
		T 端のみ開	3/6	1.69～1.83	3/6	2.15～2.23
	タイプ II 	全 端 閉	5/5	1.75～1.81	0/5	—
		T 端のみ開	1/6	1.79	5/6	2.12～2.23
	タイプ III 	全 端 閉	3/5	1.74～1.80	2/5	2.10～2.13
		T 端のみ開	0/7	—	0/7	転移ナシ***

* 直管の場合についていえば、6 回の実験を行ったが、その 6 回のすべてが図 7 のパターン A の速度変化を経て爆ごうへ転移し、パターン B の転移は見られなかったことを示す。

** 点火端開についても実験したが、この場合には他の管端条件の如何にかかわらず転移は見られなかった。これらの結果は表には示していない。

*** 火炎が継手の中央部から約 2m を伝播したのちでも火炎速度が 2.000m/s をこえないときは転移ナシとしたが、継手からあとの距離が充分大きければいずれ転移すると考えられる。

様相がこれらの継手によってどのように変化するかについて、水素-空気混合ガスを用いて実験した。

3.6.1 爆ごうへの転移に及ぼす影響

既に3.1節で示したように、点火端閉の直管中では管の全長が3m以上であればD.I.D.は2m未満であるから、このような配管系において爆ごうへの転移に及ぼす影響をしらべるためには、継手の位置が点火源から2m以上離れていては無意味である。したがって実験では、継手は点火源から約1.05mのところ position する接続フランジ間に挿入した。また、継手からあとの管の長さは約3mとした。継手の種類、点火源との位置関係などは表4の左側欄に示した。なお、比較のために、真直な短管(長さ約20cm)を継手の一種として扱った。継手の前後における火炎速度の変化の例を図7に示す。

図のパターンAは先に示した図3の速度変化のパターンと同じであり、これをここでは便宜上「通常の転移」と呼ぶことにする。一方、パターンBは、継手を過ぎたあと火炎速度の増加が一旦ゆるやかとなり(場合によってはやや減速することもある)、そのあと再び加速するという変化を示し、このような挙動は継手が存在することによるとみられ、パターンAとは異なるものと考えなければならない。このパターンを「転移遅延」と呼ぶことにするが、この種の速度変化は管路に多孔板を挿入したときの挙動とよく似ている⁷⁾。

ところで、パターンAとBが大きく異なるのは火炎速度が1,000m/sを越えるあたりからであり、2.3節の定義にしたがって火炎速度が1,000m/sとなる点を基にしてD.I.D.を求めれば、両者のD.I.D.の差はあまり大きくはならない。しかし、先に定義したD.I.D.は、火炎速度が次第に増加し、1,000m/sを過

ぎた直後には2,000m/s台の速度に達するという通常の転移のパターンを前提としたものであり⁷⁾、パターンBの場合にそのまま適用してD.I.D.を求めてよい性質のものではない。そこで、両者の差異を明確にさせるために、実験ガスに対する理論爆速(1,978m/s)にほぼ等しい2,000m/sという値に火炎速度が達した点をD.I.D.と(本節に限り)再定義することにする。この場合には、図3からもわかるように、最初に2,000m/sを越える測定点が速度変化曲線のどの部分に相当するか(つまり、曲線の立上りの途中か下降の途中か、あるいはピーク付近なのか)を明確に定めることはできない(このことは、D.I.D.を求める基準値として2,000m/sではなく1,000m/sを選んだ主な理由でもある)が、ここでは立上り部分における2,000m/sをはさむふたつの測定点を直線で結び、この直線が2,000m/sを切る点を求め、この点と点火源との距離をD.I.D.とした。

各種の継手と管端条件についてD.I.D.を求めた結果を、爆ごうへの転移のパターン別に表4に示した。この結果は点火端閉の場合であるが、転移に及ぼす影響という観点からすれば三つのグループに分類される;すなわち、通常の転移(直管およびタイプIIのチーで全端閉の場合:これらはいずれも管路が真直である)、転移しない場合(タイプIIIのチーでT端閉:つまり、火炎の最初の伝播方向に開口部のある場合)、および転移遅延の生ずることのある場合、である。ここでは管路が真直か、または直角に曲がる場合のみを対象としたが、後者については、ゆるやかにカーブして曲がるほうが転移が遅らされにくいと考えられる。転移遅延の生じうる場合については、継手の種類や、特にチーの場合には管路に対するチーの位置関係が、転移遅延を生ずる割合に関係するとみられるが、これについて論ずるには更に実験が必要であり、ここでは、継手の種類や位置関係によっては爆ごうへの転移が遅らされることはあるが、「継手によって転移が促進される」とは考えられない」と結論するにとどめる。

3.6.2 継手類による爆ごうの中断

管路に多孔板を挿入した場合については、多孔板の孔の径と数がある範囲内にあれば、これらの多孔板により爆ごうへの転移が遅らされ、また、爆ごう波が多孔板に入射するとその直後に一時的に爆ごう波としての特性を失う(中断する)ことがわかっているが⁷⁾、この事実と3.6.1の結果とから類推すれば、継手類を

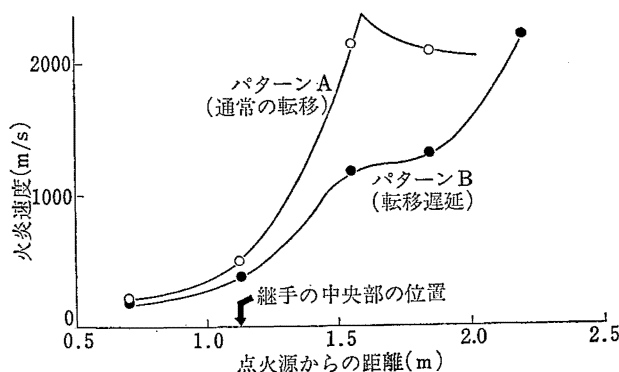


図7 管路に継手のある場合の火炎速度の変化の例(表4の直角ベンドの場合)

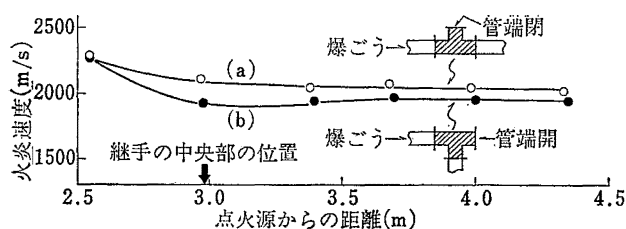


図 8 爆ごうの伝播に及ぼす継手の影響

通過するに際して爆ごうの一時的な中断が生じうると考えられた。ここでは表 4 の直管を除く各継手について、中断が生ずるか否かを実験的に確認した。

この実験では、表 4 の略図における反点火側管端（管端から約 10 cm のところ）で点火し、約 3 m の距離を伝播して爆ごうへ転移したあとに継手を通るようにした。また、継手からあと（表 4 の図では点火源側）の管長を 1 m 増し、継手からあとの火炎速度を重点的に測定した。図 8 は速度測定結果の例である。継手の部分における火炎速度が 2,000 m/s 未満となったのは図の (b) の場合のみで、他の四つの場合には (a) のパターン の速度変化を示した。(a) の曲線は管路に継手が存在しない場合のパターンと同じである。(b) のほうは火炎速度が減少してはいるが、その度合が僅かであることから推測すれば、継手の部分でごく一時的に減速したにすぎず、爆ごうが中断したとはみなしがたい。換言すれば、爆ごうに転移してしまったあとでは、管路にベンドやチーがあっても（さらには、チーの一端が大気に開放されていたとしても）、爆ごうを著しく弱める働きはしないと考えるべきである。従来、たとえば図 8 (b) の場合のような配管系において、チーの開放端を弱い破裂板で覆っておき、この部分から爆ごうを大気中へ放散させれば管路が曲ってからあとの火炎が弱められるので、そこで火炎防

止器を用いて火炎の伝播を阻止できるのであろう、と考えられているようであるが、実験結果からも明らかのように、こうした考え方は必ずしも適切ではない。（これらの継手が短かい間隔で連続する場合の爆ごう中断効果は、期待できるかもしれない。）

4. 結 言

1 インチ管中において、管路の種々の条件が爆ごう誘導距離に及ぼす影響を、30% 水素-空気および 8% アセチレン-空気混合ガスについてしらべたところ、幾つかの実用上有益な知見を得た。これらの結果は、管中を伝播する火炎を爆ごうへ転移する以前に阻止するための火炎防止器の設置方法や、爆ごうへの転移を抑制する方法、爆ごう抑止器の開発などに利用できるものとする。

（昭和 52 年 10 月 3 日 受理）

参 考 文 献

- 1) 松井, 産業安全研究所研究報告, RIIS-RR-20-5 (1972)
- 2) 松井, 同上, RIIS-RR-22-2 (1973)
- 3) 林, 同上, RIIS-RR-23-3 (1974)
- 4) 林, 同上, RIIS-RR-23-5 (1975)
- 5) 疋田, 化学と工業, 16, (4), 451 (1963)
- 6) 林, 安全工学, 13, (6), 360 (1974)
- 7) 林, 産業安全研究所技術資料, RIIS-TN-76-6 (1977)
- 8) H. Guénoche, "Nonsteady Flame Propagation (Edited by G.H. Markstein)", p.171, Pergamon Press (1964)
- 9) 疋田ら, 高圧ガス, 6, (6), 408 (1969)

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-77-5

昭和 53 年 2 月 1 日 発行

発行所 労働省産業安全研究所
東京都港区芝5丁目35番1号
電話 (03) 453 - 8 4 4 1 番 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

郵便番号 108