

う。すなわち、自然発火によるも、点火によるも、一安全の面から考えて、温度が上ると低圧になつて可燃範囲が増大する現象は、十分に留意されなければならない。

参考文献

H. F. Coward and G. W. Jones; U. S. Bureau of Mines Bulletin 503 (1952).
 P. Laffitte and R. Delbourgo; Fourth Symp. Combustion p. 114 (1953) Williams and Wilkins.

Influences of Several Factors to the Inflammability Limits of Methane

Masashi Mochizuki

Influences of components, temperature and pressure to the inflammability limits of methane are studied.

The stereogram of these limits is obtained,

and the flammable peninsula of methane air mixture is found on arbitrary components.

(National Aeronautical Laboratory of Japan)

殉爆に関する研究

第V報：取扱感度について

渡辺定五・村口 実*

緒言

ダイナマイトの製造の機械化に際しニープマン機の回転板による摩擦或いはピストンヘッドによる機械的衝撃に対してダイナマイトは絶対に爆発する心配がないかどうか。ガデリウス式装填機或いはオスポーン機による爆薬の機械装填に際し取扱が安全であるかどうか。或いは、不発残留薬にビットを打撃した場合ダイナマイトの爆発事故はさけられないものかどうか。

これらの問題を扱うに当つては爆薬の感度を如何なる方法で研究するかを決める必要がある。

落槌試験に於ては試料の密閉強度¹⁾や薬厚によつて不爆点の落高が異なるので実際上の取扱感度としては試料の適当な薬厚を決めてかかる必要がある。しかし乍ら落槌試験を実際に近い条件で試験する事は困難であるから JIS 規格による落槌感度がどの様な意味をもつものか二、三の実験を試みた。

§ 1. 落槌試験の一つの現象

落槌試験において試料の薬厚を変化させた実験はこれまで多くの人々の研究がある。

今、試料を錫箔でつむ場合と裸薬を使用した場合或いは錫箔を試料の下におく場合と上におく場合とでは試験結果に大きな差がある。表1 この様な試験結果は落槌試験器特有のものであつて、実際の火薬取扱上には存在しないものであれば、落槌感度と実際の取扱感度とは対応しないことになるが、この点について

表 1-1 錫箔の影響

試料	ニトログリセリン		ジニトロ・エチル・ベンゾール		硝安		ナフタリン	
	綿薬	綿薬	綿薬	綿薬	硝安	硝安	ナフタリン	ナフタリン
試料 A	24	1.5	10.3	10.3	63.97	63.97	0.23	0.23

試料	試験回数	分解痕跡	部分爆発	完全爆発	分解率
イ) JIS 法	10	2	6	2	10/10
ロ) 裸薬	10	0	0	0	0/10
ハ) 錫箔, 下にしく	10	6	2	0	8/10
ニ) 錫箔, 上にのせる	10	0	0	0	0/10

ハンマー重量 2kg
 落高 100cm

昭和35年12月8日受理

* 日本油研株式会社試験工場, 愛知県知多郡武豊町

表 1-2 パラフィンの影響

ニトログ 縮 薬 ジニトロエチ
 試料 B リスリン 77.5 3.2 ルベンゾール
 19.3

試 料	試験回数	分解痕跡	部分爆発	完全爆発	分解率
JIS 法	10	0	2	8	10/10
裸 薬	10	0	0	0	0/10
箔箔にパラフィン塗布	10	3	0	0	3/10
皿の箔箔にパラフィン塗布	10	3	0	0	3/10
押えの箔箔にパラフィン塗布	5	0	1	4	5/5

ハンマー重量 2kg 落高 100cm

は今のところ明らかとなっていない。

落槌試験に使用する試料の調整に際し、JIS 法に定められた箔箔を使用した場合、裸薬を使用した場合、鋼柱の代りにアクリル樹脂板を用いた場合等について落槌試験を行った。

表 1, 表 2, の試験結果によれば

1) 試料の下に箔箔をおくときは、落槌試験の爆発率は高い値を示すが、箔箔を試料の上のせたものは裸薬と同じく爆発率は低い。

2) 箔箔皿にパラフィンを塗布すれば、爆発率は低下する。

表 1-3 JIS 法と裸薬の比較

薬 種	ニトログ		試 料 A		試 料 B	
	裸薬	JIS 法	裸薬	JIS 法	裸薬	JIS 法
分解率/落高						
20	3/20	1/20				
30	9/20	1/20				
40	8/20	3/20				
100			0/65	63/70	0/40	24/40

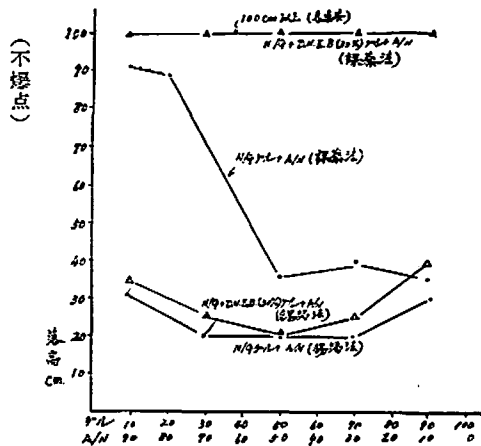


図 1 各種爆薬の落槌感度(不爆点)

3) 感度の鋭敏なニトログセルは裸薬と JIS 法では分解率に大きな差はないが、鈍感な爆薬 (試料 A, B) に対しては裸薬と JIS 法では分解率に大きな差が生ずる。即ち、鋭敏な爆薬に対しては試料の調整法によって落槌試験の分解率は影響されないが、鈍感な爆薬は試料の調整法の差異によって分解率は大きく変化する。-表 1-3, 及び図 1-

4) アクリル樹脂板の間に試料をはさむとき、平滑な面を使用したものに比べて粗雑な面を使用したものは不爆点は非常に小さい値となる。-表 2-

以上の実験から一般に工業用爆薬を使用した場合の落槌試験は試料の調整によって爆薬の感度が大きく変化することが分る。即ち、現行の落槌試験法は火薬類の衝撃感度の特性値を求めるには便利な方法であるがその値をそのまま実際の火薬取扱上に利用するには、必ずしも適当な方法ではない。

§ 2. 摩 擦 試 験

山田式摩擦試験器を使用した爆薬の摩擦感度は山田式の正式摩擦片を用いた場合ダイナマイトの感度は鋭敏であるが、摩擦片の材質を黄銅製とした場合には爆薬の摩擦感度は非常に鈍感となる。

即ち、金剛砂のような硬くてしかも粗な面で強く摩擦しなければニトログリセリンの含有量の多い膠質ダイナマイトでも摩擦感度はかなり鈍感である。

桜ダイナマイト、新桐ダイナマイト等はコランダム製の摩擦片を使用すれば発火するが、黄銅片を摩擦片とした場合は 1,333kg/cm² の荷重のもとで発火しない。これに対してヘキソゲン等の鋭敏な爆薬では黄銅片を摩擦片として使用しても容易に発火する。鈍感な爆薬は試験条件によって分解率に大きな影響をうけることは落槌試験の場合と同様である。

§ 3. 爆薬の衝撃試験

Dr. A. Berthmann²⁾ は、オスボン機の機械装填法によるダイナマイトの衝撃感度を研究した。

圧縮空気によってダイナマイトを射出し装薬室にむけて発射した時ダイナマイトが爆発しない為の最大射出速度を求めその速度に対するインパルスを計算した。そしてダイナマイトの衝撃感度はインパルスによって表示するのが適当であると述べている。表 4 は Berthmann の実験の 1 例である。この結果ではオスボン機の場合の臨界点におけるインパルスは落槌感度試験器の場合のインパルスの値の約 1/2 となる。

本研究第 4 報によれば、殉爆の様な微小時間に起こる現象に対しては爆薬の衝撃感度はハンマーのインパルスによって表示するよりは、むしろハンマーの衝撃圧力によって表示すべきであるが、取扱い感度の問題はどの様に考えるべきかについて、検討してみた。

筆者は図2に示すように内径 28mm, 肉厚 3mm の鉄管の管底に新桐ダイナマイト 50g をのせ 130g の鋼鉄塊を投射させて爆薬の爆発性を調べた。表 5 -

表2 桜ダイナマイトの落槌試験

落高 (cm)	JIS Ⅲ		アクリル樹脂+新桐		アクリル樹脂+新桐	
	①アンビル	②試料	③鋼柱	④アクリル樹脂 (厚み 2mm)	③鋼柱	④アクリル樹脂 (厚み 2mm)
8	x x x x x					
9	x x x x x x x x x					
10	x x x'					
12	x'					
15						
18	x x x x x x △					
20	△					
25		x x x x x x				
30		x x x x x x x x x x				
33		x x x x x x △				
35		x △				

x .. 分解せず x' .. 分解痕跡 △ .. 部分爆発 ○ .. 完全爆発

表5の成績からピストンの速度が 86m/s では新桐ダイナマイトは爆発しない。新桐ダイナマイトはその組成からみて Ammon-Gelit 3 と類似した感度を示すものと考えてよい。今表4の実験値と表5の実験値とを比較してみる。

図2の実験で、ピストンの衝撃によつて新桐ダイナマイトが爆発しないときはピストンは新桐ダイナマイト中にめりこんで停止する。

ピストンの運動を次式で表わす。

$$v = v_0 e^{-at} \dots \dots \dots (1)$$

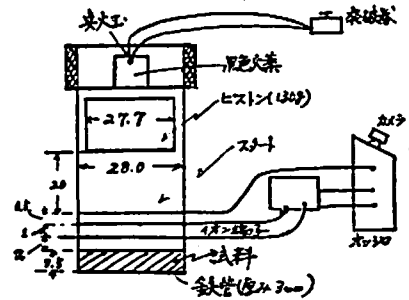


図2 ピストン衝撃によるダイマイトの感度

表3 摩擦試験器による不爆点の最大荷重

薬種	目盛	荷重 (kg/cm²)	不爆点の最大荷重 (kg/cm²)		
			珪砂なし	珪砂入	備考
ヘキソーゲン	8	785		x-(10)-x	<ul style="list-style-type: none"> 珪砂入の場合は80メッシュ通過100メッシュ止りの珪砂10粒(約0.7g)を試料に混入したものを使用 山田式の正式珪石片の場合 398kg/cm²
	9	866		x x x x x x x x x x	
	10	948		○ x' △	
	12	1,101	x-(10)-x	△ x'	
	13	1,175	x x x x x x x'		
	14	1,254	x x x' x'	785kg/cm²	
			1,101kg/cm²以上		
桜 (NG 50%)	12	1,101		x-(10)-x	<ul style="list-style-type: none"> 山田式の正式珪石片のみ 398kg/cm² 山田式正式珪石片+0.7mgの珪砂入 321kg/cm²
	15	1,333	x-(10)-x	x-(10)-x	
			1,333kg/cm²以上	1,333kg/cm²以上	
三竹	10			x x x x	山田式正式珪石片のみ 629kg/cm²
	12			x-(10)-x	
	14			x x x x x x x	
	15			x-(10)-x	
				1,333kg/cm²以上	
新桐	12			x-(10)-x	山田式正式珪石片のみ 629kg/cm²
	15			x-(10)-x	
				1,333kg/cm²以上	
一特白梅	15			x-(10)-x	山田式正式珪石片のみ 477kg/cm²
				1,333kg/cm²以上	

(x-(10)-x は10発共xの意味)

表4 各種試験法によるインパルス

薬 種	落 槌 試 験		
	Dynamit 1	Ammon-Gelit 1	Ammon-Gelit 3
不爆最大落高(臨界点) (cm)	10	40	40
ハンマー速度 (cm/s)	140	280	280
インパルス (kg/cm·s)	280	560	560

薬 種	衝 撃 試 験		
	Dynamit 1	Ammon-Gelit 1	Ammon Gelit 3
薬 室 圧 力 (at)	3	8	12
速 度 (m/s)	52	69	86
インパルス (kg/cm·s)	138	225	298

表5 爆薬の衝撃感度

黒色火薬の 薬量 (g)	ピストン速 度 (m/sec)	爆 発 状 況	爆発率	インパルス (kg/cm·s)
2	5	×××	0/3	11
5	86	×××	0/3	186
10	120	○△△	3/3	260
20	135	○○○	3/3	293

×：不発 △：△半爆 ○：完爆

とおけば

$$\frac{dv}{dt} = -\alpha v^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$-m \frac{dv}{dt} = Dv^2$$

とすれば

$$\alpha = \frac{D}{m} \dots\dots\dots(3)$$

又ピストンに加わる外力は次式であらわされる。

$$-m \frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} K_D A \rho v^2 \dots\dots\dots(4)$$

- m：ピストンの質量 130g
- v：ピストンが新桐ダイナマイト中を X_{cm} 進んだ時の速度
- v₀：ピストンが新桐ダイナマイトに衝突する時の速度
- K_D：ドラッグ係数
- A：ピストンの断面積
- ρ：新桐の密度

(3), (4) 式から

$$\frac{m}{D} = \frac{2m}{K_D A \rho} \dots\dots\dots(5)$$

固体に対しは K_D は 2~4 の値を求するからここではその中間値 3 とする。

$$\frac{m}{D} = \frac{2 \times 130}{3 \times \frac{2.77^2 \times 3.14}{4} \times 1.45} = 9.96$$

∴ α = 0.1

(2) 式から

$$\frac{dv}{dt} = -0.1v^2$$

ピストンにより新桐ダイナマイトの受ける衝撃圧力 P は

$$P = \frac{130 \times 0.1v^2}{2.77^2 \times 0.785}$$

.....(6)

新桐ダイナマイトの受ける最大衝撃圧力 P_{max} はピストンが新桐ダイナマイト

に衝突する瞬間であるから、この時の速度 v は v₀ に等しい。従つて (6) 式から

不爆点の

$$P_{max} = \frac{130 \times 0.1 \times (8600)^2}{2.77^2 \times 0.785} \approx 160 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$$

半爆点の

$$P_{max} = \frac{130 \times 0.1 \times (12000)^2}{2.77^2 \times 0.785} \approx 200 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2$$

JIS 法による落槌試験において新桐ダイナマイトの 50%爆発点におけるハンマーの衝撃圧力は、本研究第 4 報に報告した方法により計算すれば、1,700~2,000 kg/cm² となる。新桐ダイナマイトが爆発するための衝撃圧力は落槌試験器から求めた値 (1,700~2,000 kg/cm²) と (6) 式から求めた値 (204 kg/cm²) との間には大きな違いがある。

そもそも落槌感度は次の条件によつて大きく左右される。即ち

- 1) 表 3 の結果から平滑なアクリル樹脂を使用したものと、粗雑な面を使用したものでは不爆点におけるハンマーの運動量は (2~3) : 1 となる。
- 2) Berthmann¹⁾ によれば、落槌試験の試料の密閉強度を変化させる事により、密閉度の小さいものと密閉度の大きいものでは、臨界点におけるハンマーインパルスは約 2 : 1 である。
- 3) Bowden, Yoffe²⁾ は落槌試験においてニトログリセリン液の中に気泡を含ませた場合と含ませない場合は感度に大きな差がある。
- 4) F. Eirich³⁾ の研究によれば 5.4m/s のハンマーと 50m/s の弾丸による衝撃試験を比較し、爆薬を爆発させるに必要なエネルギーは衝撃速度の早いものは遅いものに比して小さい。

以上の点から、落槌試験のデータは同一試料に対して試料の調製或いは試験条件の変化によつて大きく変動するから落槌試験において、爆発の臨界点における

ハンマーの衝撃圧力を既述の 204kg/cm² に接近させる事は可能であろう。

従つて落錘試験の感度を以つて實際上の火薬取扱感度を議論する場合は火薬取扱上で考えられる操作条件を落錘試験の試験条件に入入れる必要がある。

Berthmann および筆者の行つた実験はオスポーン機の操作上実際の火薬取扱上おこりうる条件であるがこれらの実験と従来行つて来た落錘試験とでは衝撃圧力では1桁の差がある。インパルスについても同様の事が云い得る。

即ち、JIS 法による落錘試験は必ずしも厳格な感度試験の条件ではないという考え方をもつことが必要である。炭酸爆薬の検定試験に合格した爆薬を使用しても坑内ガスの爆発事故が根絶しないのに似ている。

この様な考え方からすれば(6)式から算出した値と落錘試験から計算した値が一致しないのは落錘試験の条件が適切でなかつたためであつて試験条件を適切な方法で行えば両者の値は一致するであろう。

§ 4. 穿岩機のピットの運動

穿岩機による不発残留薬の爆発事故は依然としてその跡を絶たない。

穿岩機の試験には一般に TY-24, ASD-25 を使用するが本実験では TY-24 ライトドリフターを使用した。ロッド及びピットは一体として運動するものとして軸方向の運動速度を測定した。

1) ストロポによる方法

日本油脂東橋豆実験坑道において花崗岩を穿孔する時のロッドの運動をストロボフラッシュ(発光回数 150~200 回/秒)により 16mm ボレックスに撮影した。

この場合フィルムのロッドの移動距離から算出された速度はロッドの前進するときか後退するときか不明であり、加速度は+か-か判別出来ない。又同一画面に3本以上のロッドが映像される時は相隣接するロッドの移動に(1/150秒~1/200秒)の時間を費したと考へてロッドの速度及び加速度を算出した。

起動時の空気圧力 (atm)	6	5
運転中の空気圧力 (atm)	5	4
ロッドの最大速度 (m/s)	3.53	3.33
ロッドの最大加速度 (m/s ²)	300	441
ロッド衝撃面の圧力 (dyne/cm ²)	14.6 × 10 ⁶	21 × 10 ⁶

2) ファスタックスによる方法

ファスタックスカメラにより 50cm × 50cm × 50cm のコンクリートブロックに穿孔する時のロッドの運動を 800~1,500 駒/秒で撮影した。

起動時の空気圧力 : 7atm

表 6 残留爆薬のさく岩機による爆発率

方法	ハンマー	ハンマー	ドリフター
乾 式	塊状 2/33 6.0%	0/9 0	3/34 8.8
	粉状 7/30 23.3%	1/19 5.2	15/33 45.4
湿 式	普通水 0/20 0%	0/11 0	0/35 0
	普通水 5/37 13.5%	0/9 0	11/42 26.2
計	塊状 2/53 3.8%	0/20 0	3/69 4.3
	粉状 12/67 17.9%	1/28 3.6	34/149 22.8
計	14/120 11.7%	1/48 2.1	37/218 17.0

運転中の空気圧力 : 6atm

ロッドの最大速度 : +5.33m/s

ロッドの最大加速度 +2.51km/s

ロッドの衝撃面の圧力 122 × 10⁶ dyne/cm²

1) と 2) は測定条件が異なるが測定値に大きな差がある。ロッドの運動は滑らかでなく不規則であるために 1) のように 1/150秒~1/200秒の時間間隔で速度或いは加速度を求める場合と、2) のように 1/800秒~1/1000秒の時間間隔でロッドの運動を測定する場合とでは大きな差が生ずる。

不発残留薬にピットを打ちつけた場合については、三井鉱山神岡鉱業所に於ける研究がある。

表 6 は実験の 1 例である。

落錘試験等の衝撃試験では爆薬が衝撃をうけてから爆発するまでの時間おくれは 1M.S. 以下であるからハンマーの加速度を求める時の単位時間は 1M.S. 以下でもさしつかえない。又、ロッドの受圧面を薬包断面積と等しいと仮定したが実際にはかなり小さい値をとり得るからロッドによる衝撃圧力は 122 × 10⁶ dyne/cm² よりかなり高い値を示すものと考えられるから(6)式によれば衝撃圧力は 200 × 10⁶ dyne/cm² で新桐ダイナマイトが爆発するから、さく岩機の衝撃によつて爆薬の爆発することはさけられないと考える。

§ 5. 結 び

以上の実験結果を表 7 にまとめた。

Table 7 Comparative sensitiveness to percussion

	Experimental Method	Impulse of impact (kg/cm·s)	Pressure of impact (dyne/cm ²) × 10 ⁻⁶	Substance
A. Berthmann	(Blasrohr-versuche)	298		Ammon-Gelit 3
	Drop hammer test	560		
T. Watanabe	TY-24 drifter	260	122	"Shingiri" Ammonium gelatine dynamite
	Apparatus (as can be Seen in Fig.2)	260	200	
	Drop hammer test	1,240	1,700~2,000	

落槌試験器から求めたインパルスの値がベルトマン氏による Ammon-Gelit 3 と筆者の新桐とは大きな差があるが、これは両者の試験条件が異なること及び、ベルトマン氏の計算ではハンマーの反撥エネルギーを無視して計算していることが主なる理由である。ベルトマン氏の薬包射出試験と筆者の図2による衝撃試験は衝撃速度が大同小異でインパルスの値が近似している。TY-24 のドリフターによるビットのインパルスがこれら前二者の衝撃試験器のインパルスに近いのは衝撃速度が小さくてもドリフターのビットの衝撃は反復衝撃のため一回きりの衝撃よりも小さいインパルスで爆薬は爆発するために衝撃速度が小さくてもインパルスの値が小さくてもよいものなのか、或いはビットの断面を薬包の断面と同じと考える仮定が間違いであつてビットの断面としては実際はそれより小さい値を示し、従つてインパルスとしては落槌試験の場合の 1,240kg/cm·s に近似した値を示しているかについては不明である。

ビットの衝撃による爆薬の爆発性について実験室的な研究が進められなければ上述の問題は説明されない。いずれにせよ衝撃速度の類似した場合はインパル

スによつて爆薬の感度を醸造する事が可能である。しかし乍ら、鋭敏な爆薬の衝撃感度はその試験条件の影響は少ないが、新桐ダイナマイト、竹ダイナマイトのように、日常我々が使用する爆薬の衝撃感度は、衝撃の条件、試料の調整によつて大きく変動するから画一的落槌試験法だけで取扱ひ感度の安全性を保証することは適当でない。

文 献

- 1) Berthmann & Käufer: Nobel Hefte 19 105~111 (1953).
- 2) Dr. A. Berthmann & Dr. H. Käufer: Nobel Hofte Mai 1954 61.
- 3) Bowden, Yoffe: Nature 157 105 (1947). Proc. Roy. Soc. A188 291 (1947).
- 4) F. P. Bowden & F. Eirich: Council Sci Ind. Resear. 167 44 (1943).
- 5) Powell & Ubbelohde: Phil. Trans. Poy. Soc. A241 (1949).
- 6) Hollias & Marrison: Can. J. Chem. 31 746 (1953).

The Sensitivity of Explosives to Mechanical Impact

T. Watanabe and M. Muraguchi

1. In the falling hammer impact test the explosion efficiency is greatly influenced by whether the test piece of explosives is wrapped with a thin tin-foil or not. The degree of the influence depends on the sorts of explosives. (as seen in Fig. 1)

2. In the researches of A. Berthmann⁽²⁾, Powell & Ubbelohde⁽⁵⁾ and Hollies & Marrison⁽⁶⁾, the percussion sensitiveness is chiefly determined by the momentum of the drift in the limited range of velocities of drifts.

The effect of the reduction in the velocity of impact is to decrease the probability of detonation at the range of velocities from 1m/s to 120m/s.

3. The percussion sensitiveness may be partially due to the velocity of the drift and partially due to the mass of explosives.

Therefore, when we discuss the safety in dealing the explosives the conditions of the impact test must be matched with the actual conditions.