

爆破孔内での爆薬の爆速について (1)

伊藤一郎*・若園吉一**・佐々宏一*

中野雅司***・小川輝繁**・村主周治****

本研究は爆破孔内での爆轟状態を検討する資料を得るために、抵抗線法による爆速測定法を現場測定用に改良した方法（本論文では改良抵抗線法と称する）を用いて、各種爆薬の孔内爆速を測定してその結果を検討したものである。

そのために、まずドートリッシュ法と改良抵抗線法とを用いて数種の爆薬の爆速を測定し、その結果を対比して検討した。その結果、両測定法による測定値はよく一致することがわかり、改良抵抗法によっても十分な精度で爆速が測定できることを明らかにした。ついで石灰石鉱山のベンチカット爆破の現場において、改良抵抗線法により、TNT スラリー爆薬、および粒状 TNT の爆速を爆破孔内で測定した結果、これらの爆薬の爆速は起爆直後においてはかなり高い値を示すが、その後やや低下したのちに比較的安定した値に落ちつくことがわかった。

1. 結 言

爆薬の力を有効に利用して爆破作業を行なうためには、爆薬の威力ならびに破壊される岩盤の力学的性質を十分把握して適切な爆破設計がなされなければならない。ところで、爆薬の威力を示す最も重要な要素の一つは爆速であるが、現在のところ、この爆速値としてはドートリッシュ法によつて測定された値がふつうに用いられている¹⁾。ところが、実際の爆破孔あるいは薬室内で爆薬が爆轟したときの爆速はドートリッシュ法によつて求められる値とは必ずしも一致するものではない。したがつて、ドートリッシュ法によつて得られた値はある条件下での爆薬の爆速を相対的に比較するための意味しか持たない。そのため、爆破孔内における爆轟状態を明らかにするためには、爆破孔内における爆速値を測定する必要がある。とくにスラリー爆薬や ANFO 爆薬のように感度が鈍く、伝爆性の良くない爆薬は、爆轟中断などの爆轟性に関する問題点が多いので、爆破孔内での爆轟状態を明確にしておく必要がある。

さて、爆破孔内における爆速測定法としては技術的に可能な方法は爆薬の爆轟に伴うイオン化²⁾を利用する方法であるが、それらのうち現在使用されている

方法としてはイオン探針法および抵抗線法がある³⁾。われわれは抵抗線法による爆速測定法を現場測定用に改良した方法（佐々らによつて開発された測定法⁴⁾であつて、以下この論文においては改良抵抗線法と呼ぶことにする）を用い、スラリー爆薬を中心とした種々の爆薬の爆破孔内における爆速測定を行ない、孔内の爆轟状態を検討するための資料を得ることにした。そのために、まずドートリッシュ法と改良抵抗線法とを用いて種々の爆薬の爆速を同時に測定し、それらの結果を対比することによつて改良抵抗線法の精度を確かめた。そしてさらに、石灰石鉱山におけるベンチカット爆破の現場において改良抵抗線法による爆速の測定を行なつた。その結果について報告する。

2. 測定法の検討

2-1 測定法の原理

Fig. 1 に示すように、爆轟波の進行方向に平行に爆

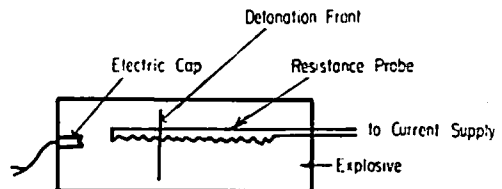


Fig. 1 Principle of the measurement of the detonation velocity by the resistance probe method

昭和46年2月8日受理

* 京都大学工学部資源工学教室、京都市左京区吉田本町

** 横浜国立大学工学部安全工学教室、横浜市中区大岡2-31-1

*** 日本油脂(株) 武豊工場、愛知県知多郡武豊町

**** 日本国土開発(株) 大阪支店、大阪市東区北浜2-3

薬内に電気抵抗体を挿入しておくと、爆轟波面のイオン化により波面においては抵抗体が短絡されるために波面の進行に伴ない、抵抗体を含む回路の抵抗が減少する。そのため、この抵抗の時間的変化を測定できれば、爆轟波面の進行時間との関係すなわち爆速を求めることができる。実際の測定では、この抵抗に一定電流を流しておき、抵抗変化と電圧変化とが比例することを利用して、電圧の時間的変化を測定することにより爆速を求めるわけである。これが抵抗線法による爆速測定の原理である。ところが、爆破現場における測定では、測定装置は爆破点から離れた位置にあり、爆薬内に挿入された抵抗線プローブと測定装置とを結ぶ電線が長くなるためにその分布容量が大きくなる。そのために、爆轟波面の進行による抵抗変化に対して測定点における電圧変化の応答性が悪くなり、波形にひずみが生じやすくなる³⁾。とくに連続抵抗線プローブを使用した場合には、この波形のひずみを見きわめることは非常に困難である。そこで抵抗線プローブの抵抗を連続抵抗とせず、Fig. 2 に示すように抵抗体を一定間隔につなぎ合わせたプローブを使用すれば、測定される電圧変化は階段状となり、分布容量の影響を受けているかどうかを判定することが容易であるとともに、多少この影響を受けている場合でもそれに対する補正が可能となる。これが佐々らによつて開発された改良抵抗線法の原理である。

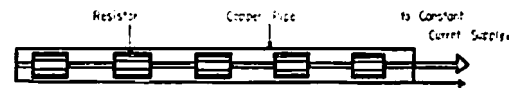


Fig. 2 Resistance probe

2-2 実験方法

実験装置の概要は Fig. 3 に示すとおりである。抵抗線プローブは、 10Ω の固定抵抗 8 個を 25 mm の間隔で直列につなぎ合わせ、その先端にシンクロスコープの同期用として 50Ω の抵抗を取り付け、これらを内径 5 mm の銅パイプの中に挿入し、水が入らないように、銅パイプの両端で密封したものである。この抵抗プローブを、Fig. 3 に示すように、ドートリッシュ法による鉄管爆速測定用の鉄管内に挿入し、改良抵抗線法とドートリッシュ法により同時に爆速が測定できるようにして測定を行ない、両者による測定値を比較することにした。その際抵抗線に流す電流は 100 mA の一定値に保ち、電圧変化はシンクロスコープで測定した。

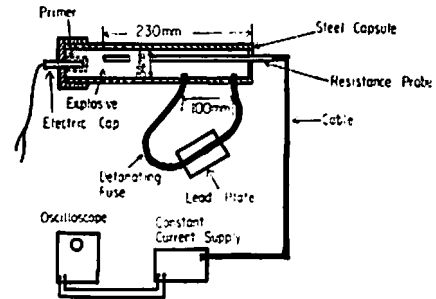


Fig. 3 Outline of the measuring arrangement

この実験に用いた爆薬は杉ダイナマイト、ANFO 爆薬、TNT スラリー爆薬および Al スラリー爆薬の 4 種類で、これらの爆薬の成分および比重は Table 1 に示すとおりである。

Table 1 Composition and specific gravity of the explosives

Explosives	ANFO		Sugi Dynamite		TNT Slurry		Al Slurry	
Composition (% by weight)	Prilled AN	94.5	Nitroglycerine	22~24	AN	44.5	AN	65
	Fuel Oil	5.5	Nitrocellulose	1~3	TNT	35	Al	7
			AN	65	H ₂ O	20	H ₂ O	25
			TNT	5	Gum	0.5	Gum	3
			Wood powder	2				
			Starch	1				
Specific Gravity	0.82		1.1~1.2		1.37		1.22	

2-3 実験結果および考察

改良抵抗線法によつて測定された電圧—時間曲線の一例は Fig. 4 に示すとおりである。Fig. 4 において横軸は時間軸、縦軸は電圧軸であり、階段状に現わ

れている波形の一段の長さは抵抗間隔に相当する長さ (25 mm) を爆轟波が通過するに要した時間を示している。したがって、この関係を利用すれば爆薬内の部分部分における爆速を求めることができるが、この実

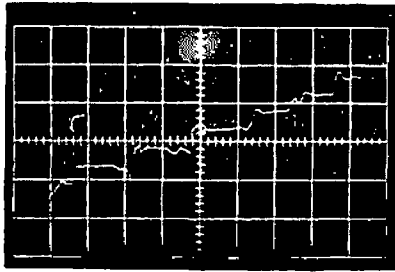


Fig. 4 An example of oscillograms (TNT スラリー) (Sweep Speed: 10 μ sec/div.)

験の目的はドートリッシュ法によつて得られた爆速の値と改良抵抗線法によつて得られたそれとを比較して後者の測定法の精度を検討することにあるので、改良抵抗線法においても、ドートリッシュ法による測定区間 100mm の部分の平均爆速を求める必要がある（以後この区間をドートリッシュ法測定区間と名づける）。このようにして、改良抵抗線法およびドートリッシュ法によつて得られたドートリッシュ法測定区間での爆速測定値を Table 2 に示す。Table 2 から明らかなように、改良抵抗線法による爆速測定値は薬種のいかんにかかわらず、ドートリッシュ法によるそれらとよく一致しており、両者の測定値間の差も 100 m/s 以内で実験誤差の範囲内である。したがつて、爆速測定法としてどちらの方法を用いても正しい爆速値が得られると考へてよい。

次に、各爆薬別に求めた起爆薬からの距離と爆速値との関係を Table 3 に示す。この表に見られるよう

Table 2 Detonation velocity measured by both the improved resistance probe method and the Dautrich's method

Explosives	Quantity of Explosive (g)	Quantity of Primer (Tetryl) (g)	Detonation Velocity (m/s)	
			Improved Resistance Probe Method	Dautrich's Method
Sugi Dynamite	300	—	5,720	5,800
	310	—	6,250	6,270
TNT Slurry	320	10	5,000	5,060
	320	10	5,130	5,190
	330	20	5,450	5,530
Al Slurry	300	—	3,820	3,900
	290	10	4,000	3,940
ANFO	205	20	2,710	2,790
	215	20	2,500	2,500
	230	20	2,530	2,510

Table 3 Relation between the distance from the primer and the detonation velocity

Distance from Primer (cm)	Detonation Velocity (m/s)			
	Sugi Dynamite	ANTO	TNT Slurry	Al Slurry
2.5 ~ 5.0	7,700	3,300	6,700	6,200
5.0 ~ 7.5	6,300	2,600	5,000	5,000
7.5 ~ 10	6,300	2,800	5,500	4,000
10 ~ 12.5	5,900	2,900	5,300	3,700
12.5 ~ 15.0	5,900	2,500	5,000	3,700
15.0 ~ 17.5	6,300	2,300	4,800	3,900
17.5 ~ 20	6,300	2,400	4,700	4,000

にいずれの爆薬においても、起爆点に至近のところでは高い爆速値を示しているが、その後やや爆速が低下した後比較的安定した値に落着いてきている。しかし ANFO 爆薬および TNT スラリー爆薬の爆速にみられる安定性はあまり良好ではない。

3. 現場実験

3-1 実験方法

階段掘によつて採掘している滋賀県下にある石灰石鉱山の採掘ベンチにおいて、粒状 TNT および TNT スラリー爆薬を対象として爆破孔内における爆速を改色抵抗線法によつて測定した。爆破孔は、Fig. 5 に示すように、孔径 70mm、穿孔角 65°~70° で下向に約 8m 穿孔したものである。起爆は測定の関係で孔底起爆とした。使用した爆薬の成分を Table 4 に示す。なお、この爆速測定に用いた抵抗線プローブは 10 Ω の固定抵抗 14 個を 25cm 間隔につなぎあわせたものである。したがつて、爆速値は 25cm 間隔の区間爆速として測定できることになる。

Table 4 Composition of the explosives

Explosives	TNT Slurry	Granular TNT
Composition (% by weight)	TNT 32	TNT 93~95
	AN 47.6	H ₂ O 5~7
	H ₂ O 20	
	Gum 0.4	

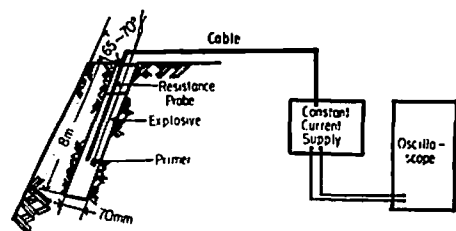


Fig. 5 Outline of the measuring arrangement

3-2 実験結果および考察

得られた測定結果を Table 5 に示す。また、Fig. 6 に測定波形の一例を示す。Table 5 に見られるようにこの現場測定の結果においても、前節に述べた鉄管爆速試験で得られた結果と同様の傾向が見られる。すなわち、起爆直後の爆速は比較的高くなっているが、その後一たん低下して、ふたたび回復し、比較の変動の少ない一定した値を示すようになっていく。しかし、上の場合に認められた爆速の安定性は必ずしも良好とはいえない。これは一般にスラリー爆薬が鈍感で伝爆性が悪いという性質をもつことに起因しているということも考えられるので、今後さらに検討を要する問題

である。

将来の爆破薬としては、保安上感度の鈍感な爆薬が望まれるが、スラリー爆薬や ANFO 爆薬にも見られるように鈍感な爆薬は伝爆性が悪く、爆破孔内で爆轟中断を生ずる恐れがある。そこで、このような爆破薬を使用する爆破作業を合理的にしかも安全に行なうためには、実際にこれらの爆薬を使用する現場において、あらかじめ爆破孔内での爆速測定を行ない、その結果にもとづいて爆薬の爆破孔内における爆轟状況を検討し、それらの結果を参考にして起爆薬および伝爆薬の配置を考慮するなどのことにより、爆薬の威力を最大限に利用することが必要と考える。

Table 5 Summary of the experimental results

Explosives	Detonation Velocity (m/s)				
Distance from Primer (cm)	Granular TNT	Granular TNT	TNT Slurry	TNT Slurry	TNT Slurry .
0~ 25	5,000	4,550	6,250	8,330	5,000
25~ 50	4,170	4,170	6,250	6,250	4,170
50~ 75	4,170	3,930	5,000	5,000	4,170
75~100	3,930	4,550	5,000	6,250	4,170
100~125	3,930	4,550	5,000	5,000	4,170
125~150	4,170	4,550	4,170	5,000	3,570
150~175	4,550	4,550	5,000	5,000	3,570
175~200	3,580	4,550	5,000	5,000	4,170
200~225	4,550	4,170	4,170	4,170	4,170
225~250	3,930	4,550	5,000	5,000	3,570
250~275	3,930	5,000	5,000	5,000	4,170
275~300	4,170	3,930	4,170	4,170	4,170
300~325	4,170	4,170	—	3,570	4,170
Average	4,060	4,360	5,000	5,000	4,060

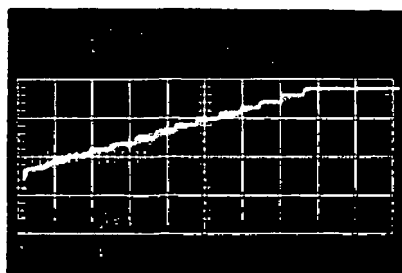


Fig. 6 An example of oscillograms (Granular TNT) (Sweep Speed : 10 μ sec/div.)

4. 結 言

この研究においては、まず改良抵抗線法による爆速測定法の精度を調べるために、数種の爆薬についてこの測定法とドートリッシュ法とによる爆速測定を同時

に行ない、その結果を対比して検討した。その結果、両測定法による測定値はかなりよく一致することがわかり、改良抵抗線法によっても十分な精度で爆速が測定できることを明らかにした。ついで石灰石鉱山のベンチカット爆破の現場において、改良抵抗線法により TNT スラリー爆薬および粒状 TNT の爆速を爆破孔内で測定した結果、これらの爆薬の爆速は起爆直後においてはかなり高い値を示すが、その後やや低下したのちに比較的稳定した値に落ちつくことがわかった。

最後に本研究における現場測定に際して多大の援助を与えられた住友セメント（株）多賀鉱山および中国化薬（株）の関係者の方々に感謝する。

文 献

- 1) 工業火薬協会：工業火薬ハンドブック、共立出版 pp. 358 (1966)

On the Detonation Velocity Measured in a Bore Hole (1)

by I. Ito*, Y. Wakazano**, K. Sasa*,

M. Nakano***, T. Ogawa** and

S. Suguri****

A specially designed resistance probe which was made of several resistors located along the axis of the probe at a constant spacing with each other and sealed tightly in a 5mm diameter copper tube was used to measure the detonation velocity of an explosive. From the results obtained in the laboratory experiments which were carried out for several explosives, it was shown that the detonation velocity measured by this method coincided fairly well with that measured by the standard Dautriche's method. From this fact, it was clarified that this method can be used to measure the detonation velocity of an explosive with a sufficient accuracy.

The detonation velocity of granular TNT and TNT slurry loaded in a 70 mm diameter bore hole drilled in a limestone were measured using this specially designed resistance probe. As the results, it was found that immediately after the explosive was initiated, detonation velocity was relatively high, but there after it decreased gradually and settled down at a comparatively constant value.

* Department of Mineral Science and Technology, Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto.

** Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering, Yokohama National University, Yokohama,

*** Nihon Oil & Fat Co. Ltd., Taketoyo Plant, Aichi.

**** Nihon country Development Co. Ltd., Osaka.