

爆破孔内での爆薬の爆速について (2)

若園吉一*・佐藤忠五郎**・佐々宏一***

中野雅司****・小川輝繁*

本研究は、ベンチカット爆破を行なっている爆破現場において、ANFO 爆薬およびスラリー爆薬を中心として数種の爆薬の爆破孔内爆速を、前報で述べた改良抵抗線法により測定してANFO 爆薬およびスラリー爆薬の爆破孔内爆速について検討したものである。

スラリー爆薬の水のある爆破孔内の爆速は、水のない爆破孔内における爆速に比べてやや低下することが明らかとなった。さらに ANFO 爆薬およびスラリー爆薬の爆破孔内における爆速は、新桐ダイナマイトの爆速に比べて不安定であることがわかった。すなわち、新桐ダイナマイトの爆速は起爆直後比較的高い値を示すが、その後低下して安定な爆速に落ちつく。しかしながら ANFO 爆薬および TNT スラリー爆薬の爆速については起爆後比較的高い値を示し、その後低下するという傾向については新桐ダイナマイトの爆速の傾向と同じであるが、その後の爆速値は不安定で振動するように変動しており、この傾向は ANFO 爆薬の方が著しいことが認められた。

1. 緒 言

スラリー爆薬や ANFO 爆薬のように伝爆性の悪い爆薬においては、ドートリッシュ法などを用いて実験室的に爆速試験を行なった結果では良好な成績が得られたとしても、爆破現場における爆破孔内では爆轟が中断するような例が見られる。このような例は、とくにスラリー爆薬に多く見られ、そのためわが国においてはスラリー爆薬を爆薬として実用化している例は少ない。そこで、爆破孔内における爆薬の爆轟状態を明確にすれば、上に述べた問題の解決策を探ることができるが、そのためには爆破孔内における爆薬の爆速の測定を行なう必要がある。たとえば、アメリカの Spencer 社の Technical Data には、ANFO 爆薬を使用して爆破するための装薬孔内における爆薬の配置が記載されているが¹⁾、これによれば起爆薬の他に伝爆薬あるいは導爆線が配置されており、これらを配置することにより ANFO 爆薬の伝爆性を補なっている。このように、伝爆性の悪い爆薬に対して、伝爆薬や導爆線を併用することにより、その欠点を補なうことはよく利用される方法であるが、この場合にも爆薬の爆破孔内における爆速は起爆薬、伝爆薬あるいは導爆線

の配置を考える場合の重要な資料となる。

さて、爆破孔内の爆速を測定するために、著者らは抵抗線法を現場測定に適するように改良した改良抵抗線法について、小規模実験および現場実験を行なつて検討した結果、この方法が実用可能と認め、その実験結果を前報²⁾に報告した。そこで、スラリー爆薬および ANFO 爆薬の爆破孔内における爆速について検討するために、ベンチカット爆破を行なっている爆破現場を利用して、改良抵抗線法によつてスラリー爆薬、ANFO 爆薬、粒状 TNT、新桐ダイナマイトおよびカーリットの爆破孔内の爆速を測定したので、その結果について報告する。

2. 実験方法

本実験において用いた爆速測定法は前報²⁾に説明した改良抵抗線法である³⁾。すなわち、Fig. 1 に示すように改良抵抗線プローブを爆破孔内の爆薬中に挿入し、このプローブに 100 mA に保たれた電流を流したままの状態にして、爆薬に点火する。爆轟面はイオン化しているので、上の状態では爆轟面でプローブが短絡され、爆轟面の進行にしたがつてプローブの電気抵抗は減少し、それに比例して電圧が変化する。そこで、この電圧変化をシンクロスコープにて測定すれば、爆速を求めることができる。

本実験は九頭竜川の長野ダムの原石山採石現場、利根川河口の鏡子漁港の導流堤堀削工事現場(海中爆破)

昭和46年2月8日受理

* 横浜国立大学工学部安全工学教室、横浜市南区大岡2-31-1

** 鹿島建設(株)、東京都港区元赤坂1-2-7

*** 京都大学工学部理工学教室、京都市左京区吉田本町

**** 日本油断(株)武蔵工場、愛知県知多郡武豊町

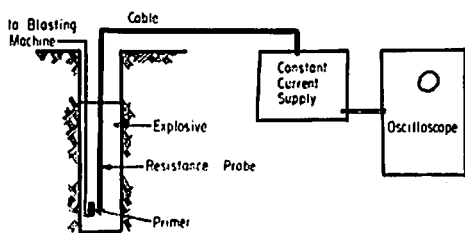


Fig. 1 Outline of the measuring arrangement

および矢作川の矢作ダムのダムサイト掘削工事におけるそれぞれのベンチカット爆破現場において行なわれた。それぞれの現場別に実験方法を説明する。

a) 長野ダムにおける実験

九頭川の長野ダム建設現場の原石山において、TNT スラリー爆薬を中心として、カーリットおよび粒状 TNT の爆破孔内における爆速測定を行なった。この

原石山は角礫凝灰岩よりなっており、ベンチカット爆破によって、掘削が行なわれている。さて、この現場では 250mm, 90mm, 75mm および 65mm の 4 種類の孔径の爆破孔における爆薬の爆速測定を行なった。すなわち孔径 250mm, 孔長 20m の垂直孔において、TNT スラリー爆薬, 粒状 TNT および併入カーリット (直径 120mm) の爆破孔内の爆速を、孔径がそれぞれ 90mm, 75mm および 65mm, 孔長が 7~8m の垂直孔内で TNT スラリー爆薬の爆速孔内を、孔径が 75mm, 孔長 7~8m の垂直孔内でスラリー爆薬の孔内爆速を測定した。なおこの場合、実験に使用したすべての爆破孔は湧水でみだされておき、そのためすべて水孔における試験であった。250mm 孔径の実験は昭和41年11月に、その他の実験は昭和42年4月にそれぞれ実施した。使用した爆薬の成分および各爆破孔の諸元を Table 1 に示す。

Table 1 Composition of the explosives and the conditions of experiment

(at Nagano Dam)

No.	1	2	3	4	5	6	7
Explosives	Carlit	Granular TNT	TNT Slurry	TNT Slurry	TNT Slurry	Granular TNT	TNT Slurry
Composition (% by weight)	AN 50	TNT 85	TNT 25	TNT 30	TNT 32	TNT 93~95 H ₂ O 5~7	TNT 32
	NH ₄ ClO ₄ 32	Al 10	AN 59.5	AN 49.6	AN 47.6		AN 47.6
	Ferro-silicon 8	H ₂ O 5	H ₂ O 15	H ₂ O 20	H ₂ O 20		H ₂ O 20
	TNT 5		Gum 0.5	Gum 0.4	Gum 0.4		Gum 0.4
	Heavy oil 2 MNT, 3 DNT						
Specific density (g/cc)	1.20	1.30	1.37	1.4	1.4	—	1.4
Weight (kg)	360.0	375.0	607.0	36	22.5	18.0	19.5
Primer		Tetryl 200g	Tetryl 300g	Tetryl 150g	Tetryl 90g	Tetryl 90g	Tetryl 90g
Hole diameter (mm)	250	250	250	90	75	75	65
Hole length (m)	20	19.6	19.7	8.1	7.0	7.5	8.4
Charge length (m)	9.0	7.2	9.1	4	4.0	4.5	4

b) 銚子漁港における実験

TNT スラリー爆薬の海水中における燃焼性について検討するために、利根川河口の銚子漁港における導流堤工事現場を利用して、TNT スラリー爆薬の海水中における爆破孔内の爆速測定を行なった。また参考のため新桐ダイナマイトの爆速も同様に測定した。この現場における爆破法は海中におけるベンチカットであり、爆破孔は孔径が 75mm, 孔長は約 6~7m の垂直孔である。そこで、実験に使用する爆破孔も工事用の爆破孔と同じものを使用した。使用した爆薬の成分

および各実験用爆破孔の諸元を Table 2 に示す、なお、実験は昭和42年8月に実施した。

c) 矢作ダムにおける実験

ANFO 爆薬の爆破孔内における爆速の測定を、矢作川の矢作ダム建設工事のダムサイト掘削工事現場において、昭和42年11月に行なった。なお、参考のために粒状 TNT の爆破孔の爆速も同時に測定した。この現場では、掘削される岩盤は花崗岩であり、爆破法はベンチカット法が採用されており、孔径が 75mm, 孔長は約 8m の爆破孔が使われている。なお、爆破孔

Table 2 Compositions of the explosives and the conditions of experiment
(at Choshi fishing port)

No.	1		2		3		4		5	
Explosives	TNT Slurry		TNT Slurry		TNT Slurry		Shin kiri dynamite		Shin kiri dynamite	
Composition (% by weight)	TNT	40	TNT	40	TNT	40	NG gel	29~33	NG gel	29~33
	AN	44.5	AN	44.5	AN	44.5	AN	58~66	AN	58~66
	H ₂ O	15	H ₂ O	15	H ₂ O	15	Wood powder	4~10	Wood powder	4~10
	Gum	0.5	Gum	0.5	Gum	0.5	starch	4~10	starch	4~10
Weight (kg)	17.0		19.0		18.4		8.25		8.25	
Primer	Pentolite 150g		Pentolite 150g		Pentolite 150g		—		—	
Hole diameter (mm)	75		75		75		75		75	
Hole length (m)	6.0		6.8		6.2		5.9		5.8	
Charge length (m)	3.6		4.0		4.0		2.25		2.25	

Table 3 Compositions of the explosives and the conditions of experiment
(at Yahagi Dam)

No.	1		2		3		4		5		6	
Explosives	ANFO		ANFO		ANFO		Granular TNT		Granular TNT		Granular TNT	
Composition (% by weight)	AN	94	AN	94	AN	94	TNT	93~95	TNT	93~95	TNT	93~95
	Fuel oil	6	Fuel oil	6	Fuel oil	6	H ₂ O	5~7	H ₂ O	5~7	H ₂ O	5~7
Weight (kg)	—		—		—		—		—		—	
Primer	Kozumite No. 2 750g		Kozumite No. 2 750g		Kozumite No. 2 750g		Kozumite No. 2 750g		Kozumite No. 2 750g		Kozumite No. 2 750g	
Hole diameter (mm)	75		75		75		75		75		75	
Hole length (m)	8		8		6.5		6		6		7.8	
Charge length (m)	3		3		3		2.7		2.5		5	

内には湧水は多い。そこで、この工事用爆破孔の一部を実験用に使用した。なお、ANFO 爆薬の装填法は流し込み装填とした。使用爆薬の成分ならび各実験孔の諸元を Table 3 に示す。

3. 実験結果および考察

測定された記録の代表的な例を Fig. 2 (TNT スラリー爆薬), Fig. 3 (粒状 TNT), Fig. 4 (ANFO) に示す。さらに、測定記録より得られた結果を Table 4,

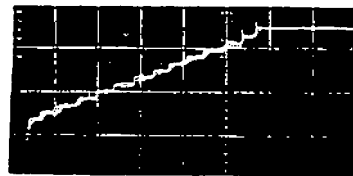


Fig. 3 An example of oscillograms (Granular TNT)
(Sweep speed : 100 μ sec/div.)



Fig. 2 An example of Oscillograms (TNT Slurry)
(Sweep speed : 100 μ sec/div.)

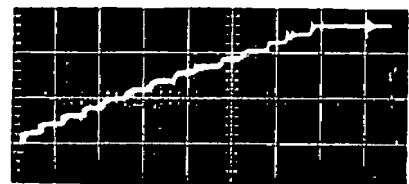


Fig. 4 An example of oscillograms (ANFO)
(Sweep speed : 100 μ sec/div.)

Table 5 および Table 6 に示す。すなわち長野ダムにおける実験結果を Table 4 に、銚子漁港における実験結果を Table 5 に、そして矢作ダムにおける実験結果を Table 6 に示してある。

さて、一般に TNT スラリー爆薬の限界薬径は大きいと云われており、たとえば AN: TNT: 水の比率が 65: 20: 15 の TNT スラリー爆薬の限界薬径は 4 インチとされている。今回の実験結果を検討するために Table 4 および Table 5 の TNT スラリー爆薬の爆速を比較すると、明らかに薬径の影響が見られている。すなわち、孔径 250mm の爆破孔に用いた TNT スラリー爆薬は TNT 含有量を他の TNT スラリー爆

薬より相当少なくしているにもかかわらず、測定された爆速値は逆に高い値を示している。とくに銚子漁港において使用した TNT スラリー爆薬は TNT 含有量が非常に高く 40% にも達しているが、測定された爆速値は 250mm 孔径の TNT スラリー爆薬の測定結果に及ばない。さらに 65mm 孔径の場合には TNT 含有量 32% としているが、約 2m で爆轟が中断している。このように、限界薬径が大きい爆薬である TNT スラリー爆薬の爆速は薬径の影響を強く受けることが認められる。したがって、TNT スラリー爆薬は径が大きい程効果的であるといえる。さて、スラリー爆薬の大きな特色の一つが耐水性にあるとされてい

Table 4 The detonation velocity measured (at Nagano Dam)

No.	1	2	3	4	5	6	7
Explosives	Carlit	Granular TNT	TNT Slurry	TNT Slurry	TNT Slurry	Granular TNT	TNT Slurry
Hole diameter (mm)	250	250	250	90	75	75	65
Detonation Velocity (D. V.) (m/s)	[0~3.5m] 4,000	[0~2m] 5,500	[0~3m] 5,200	[0~1.2m] 4,300	[0~0.6m] 5,860	[0~0.6m] 5,900	[0~0.6m] 5,440
	[3.5~7m] 5,000	[2~4m] 6,000	[3~6m] 5,700	[1.2~3.6m] 3,800	[0.6~1.2m] 5,720	[0.6~1.8m] 5,500	[0.6~1.8m] 5,100
[] Distance from primer		[4~6m] 6,000	[6~8m] 5,400		[1.2~1.8m] 4,700	[1.8~4.2m] 5,100	[1.8~2.1m] 4,900
					[1.8~3.3m] 3,350		[2.1~2.4m] 1,940
							[2.4~] No Detonation
Average D. V. (m/s)	4,500	5,000	5,400	4,000	4,500	5,300	4,370

Table 5 The detonation velocity measured (at Choshi fishing port)

No.	1	2	3	4	5
Explosives	TNT Slurry	TNT Slurry	TNT Slurry	Shin kiri Dynamite	Shin kiri Dynamite
Distance from primes					
0~ 30cm	7,630 m/s	7,200 m/s	1,250 m/s	7,650 m/s	7,600 m/s
30~ 45	3,900	3,850	1,250	5,850	5,680
45~ 60	5,850	5,520		5,050	5,020
60~ 75	4,670	4,630		5,650	5,450
75~ 90	4,900	4,800	No Detonation	5,030	5,220
90~ 105	4,900	5,820		5,050	5,040
105~ 120	5,880	4,850		4,940	4,880
120~ 135	4,530	4,420		4,650	4,600
135~ 150	4,530	4,550		4,730	4,700
150~ 165	4,400	4,350		4,650	4,540
Average D. V.	4,910	4,726		5,540	5,470

Table 6 The detonation velocity measured

(at Yahagi Dam)

No. Explosive Distance from prmer	1	2	3	4	5	6
	ANFO	ANFO	ANFO	Granular TNT	Granular TNT	Granular TNT
0~ 18cm	5,840 m/s	4,600 m/s	5,940 m/s	5,460 m/s	5,460 m/s	5,110 m/s
18~ 36	3,270	3,360	3,860	3,900	4,370	3,640
36~ 54	4,090	3,180	3,170	4,300	4,370	4,010
54~ 72	3,410	4,060	3,130	4,550	3,800	4,090
72~ 90	3,410	3,490	3,700	4,090	4,370	3,900
90~108	2,730	3,120	3,290	4,810	4,720	4,090
108~126	4,090	3,490	3,850	5,110	4,370	4,420
126~144	3,090	3,560	3,900	3,720	4,480	3,900
144~162	3,480	3,010	2,960	4,090	4,260	3,900
162~180	3,480	3,640	4,120	4,090	—	4,090
180~198	2,640	3,010	4,400	4,090	—	—
198~216	3,810	4,060	2,270	3,900	—	—
216~234	2,980	3,120	3,540	—	—	—
Average D. V.	3,690	3,570	3,480	4,360	4,260	3,900

るので、実験結果より TNT スラリー爆薬の耐水性について検討する。ところが本実験においては水孔（水のたまっている爆破孔）および海水中の爆破孔において TNT スラリー爆薬の爆速を測定したので、かれ孔（水のない爆破孔）におけるスラリー爆薬の爆速測定データがない。そこで、前報¹⁾にて報告した石灰石鉱山における TNT スラリー爆薬の爆速測定結果をかれ孔のデータとして使用することにする。石灰石鉱山における結果では、TNT 含有量 32% の TNT スラリー爆薬の 70mm 孔径の爆破孔内における平均爆速は、4,000 m/s および 5,000 m/s であった。この結果と比較するための水孔におけるデータとしては、長野ダムの 75mm 孔径の爆破孔で行なつた実験結果が最適である。そこでこの両者を比較すると、やはりかれ孔における爆速の方が水孔におけるものより大きいことがわかる。また銚子漁港における測定データと石灰石鉱山の測定結果を比較すると、ほぼ同程度の爆速測定値が得られているが、TNT 含有量を考慮すると、TNT スラリー爆薬の爆速は海水中においてはやや低下すると判断してよい。このように本実験において使用した TNT スラリー爆薬は水あるいは海水中においてはやや爆速が低下するようである。そもそもスラリー爆薬の耐水性は成分中ののり剤に左右されることは周知の事実である。ところで、わが国における TNT スラリー爆薬の現場試験では、水孔の試験において TNT スラリー爆薬が不完爆となる例が多い。この場合、その原因としては上に述べたようにのり剤に問題

があることが考えられる。ところが、銚子漁港における実験結果において見られるように、同一種のスラリー爆薬を用いても一方は不完爆となり、他方は完爆している例もしばしば見受けられる。実験結果によれば完爆した場合においても水の影響で爆速が低下しているようであるが、それ程大きな低下ではないので、不完爆の原因はのり剤ではないと考えた方がよい。するとスラリー爆薬の爆破孔内への装填に懸点があつたことが考えられる。すなわち、水孔の中では浮力のため、スラリー爆薬の中に水が介在し、それが原因で爆轟中断となることがあると思われる。

さて、爆薬の爆轟状態について検討する資料とするために、起爆後爆薬の爆速がどのように推移するかを明確にする必要がある。本実験では TNT スラリー爆薬、粒状 TNT、ANFO 爆薬および新桐ダイナマイトの爆破孔内における爆速測定を行なつたが、いずれの爆薬についても、起爆点の至近のところではかなり高い爆速となつており、その後爆速は低下して、やや安定した値に落ちつく傾向が見られる。ただし 250mm 孔径の爆破孔における実験ではブローブの抵抗間隔が長いために細かい区間爆速が得られなかつたので、上に述べたような傾向について確認することができなかつた。そのためカーリットについては爆破孔内における爆速の推移の詳細なデータは本実験では得ていない。ところで、各爆薬の爆破孔内における爆速の状態をわかりやすくするために、比較的細かい区間の爆速を測定した。銚子漁港および矢作ダムの結果から求めた起

爆点からの距離と爆速との関係を Fig.5 (TNT スラリー爆薬), Fig.6 (粒状 TNT), Fig.7 (ANFO 爆薬), Fig.8 (新桐ダイナマイト) に図示した。Fig.8 からわかるように、新桐ダイナマイトの爆破孔内の爆速は起爆点至近における高爆速の部分とすれば、爆速値は一定値となっており、データ数は少ないが 2

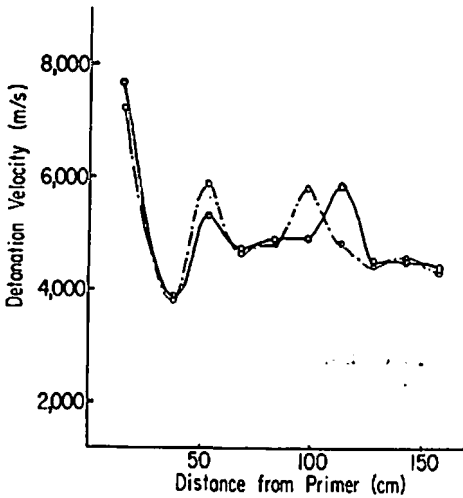


Fig. 5 Relation between the detonation velocity and the distance from primer (TNT Slurry)

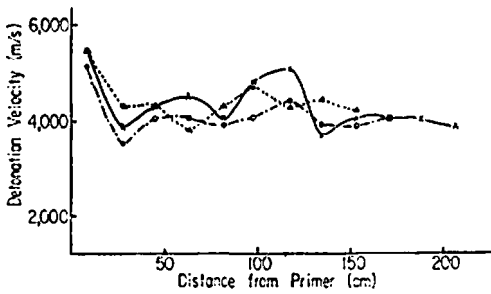


Fig. 6 Relation between the detonation velocity and the distance from primer (Granular TNT)

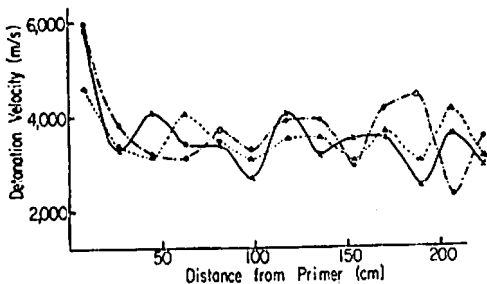


Fig. 7 Relation between the detonation velocity and the distance from primer (ANFO)

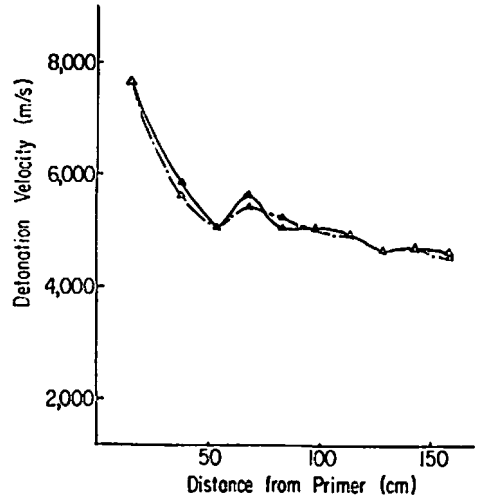


Fig. 8 Relation between the detonation velocity and the distance of primer (Shin Kiri Dynamite)

度の実験での再現性がよいので、新桐ダイナマイトは安定な爆轟状態になっていたことがわかる。ところが、他の3種類の爆薬の爆速は新桐ダイナマイトの爆速と比較すると安定性が悪く、それらの爆轟状態が不安定であることを示している。とくに ANFO 爆薬の爆速はかなり不安定で、爆轟波が波打つように進行しており、その振幅は後になる程大きくなっている。このように、爆破孔内における爆薬の爆轟状態は薬種によってかなりの差が認められた。

4. 結 言

この研究においては、まず本実験に用いた TNT スラリー爆薬の爆速は水孔や海水中においては、かれ孔における場合よりやや低下することが認められた。また TNT スラリー爆薬は限界薬径が大きいためか薬径による影響を強く受ける。ついで、TNT スラリー爆薬、粒状 TNT、ANFO 爆薬、および新桐ダイナマイトの爆破孔内における爆速が起爆点から爆轟波が進行するにしたがつてどのようになるかを調べた。その結果、これらの爆薬の爆速は起爆点直後においてかなり高い値となるが、その後低下して、やや安定した値に落ちつくことがわかった。また新桐ダイナマイトの爆速は安定しているが、他の種の爆薬とくに ANFO 爆薬の爆破孔内における爆速はかなり不安定であることが明らかとなった。最後に本実験を行なうに当たり、多大の御援助を与えられた鹿島建設(株)土木工務部、九頭竜川出張所、矢作川出張所および銚子作業所の関係者の方々に感謝する。

文 献

- 1) Spencer Chemical Co. : Technical Data, Sept.

- (1960)
2) 伊藤, 若園, 佐々, 中野, 小川, 村主: 爆破孔内
での爆薬の燃速について (1), 工火協誌, 32, 1
(1971)

- 3) 佐々, G.Laroque: 抵抗法による燃速測定につ
いて, 工火協誌, 27, 4 (1956)
4) 若園, 佐藤: 爆破, pp.250 (1970)

On the detonation velocity measured in a bore hole (II)

by Y. Wakazono*, C. Sato**, K. Sassa***,
M. Nakano**** and T. Ogawa*

The detonation velocities of five kinds of explosives, TNT Slurry, granular TNT, carlit, ANFO and Shin kiri dynamite loaded in 250 mm, 90 mm, 75 mm or 65 mm diameter bore hole drilled in the rock, measured by means of the improved resistance probe method. As the results, the followings were found,

- 1) The detonation velocity of TNT slurry loaded in a 250 mm diameter bore hole was higher than that in a 90 mm diameter bore hole or below.
- 2) Slight decrease in detonation velocity of TNT slurry loaded in a wet bore hole due to water was observed.
- 3) The detonation velocity of Shin kiri dynamite was kept at a comparatively constant value in a 75 mm diameter bore hole as comparison with that of ANFO, TNT slurry or granular TNT.

* Department of Safety Engineering, Faculty of Engineering, Yokohama national University, Yokohama.

** Kajima Construction Co. Ltd., Tokyo.

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

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