

## スムーズ・ブラस्टィングに関する研究 (第3報)

## 実施上の問題点と1, 2の実施例

山口 梅太郎\*・下 村 弥太郎\*

## 1. はじめに

スムーズ・ブラस्टィングに関する研究(第1報)、(第2報)として<sup>1)2)</sup>、実験室における模型実験の結果と破壊機構に関する理論的考察について発表した。模型実験の結果からは、スムーズ・ブラस्टィングの設計上必要な要素が何であるかを知ることができた。また、破壊機構に関する理論的考察においては、結論として、スムーズ・ブラस्टィングに特有な亀裂の生成が、主として静的なガス圧によるものと考えるのが妥当であることを示した。しかしこれらを総合してみても、スムーズ・ブラस्टィングの実施のためには、まだいくつもの問題点が残されているように思われる。

さく岩方法や使用爆薬の問題とともに、爆破設計に限ってみても、最終的な実施方法は実地の研究を基礎に決定されなくてはならないであろう。

第3報は、第1, 2報の結果をもとにスムーズ・ブラस्टィングの実施上の問題点を考察し、1, 2の実施例を報告するとともに、その結果を検討するものである。なお、これらの実施例は、いずれも大成建設株式会社によって施工されたものであることを附記しておく。

## 2. 模型実験の結果と理論的考察の結論

模型実験により得られた結果のうち、スムーズ・ブラस्टィングを実施する上でとくに重要と考えられるのは

- 1) スムース・ブラस्टィングの1つのカテゴリーであるプレスブリッティングにおいては、デカップリングと孔間隔が重要な要素となる
  - 2) クッション・ブラस्टィングにおいては、上の2つの要素にさらに自由面までの距離、すなわち最小抵抗線を要素として加える必要がある
- である。セメント・モルタル・ブロックで6号雷管を用いて行なつた実験では、デカップリングが2前後以上、孔間隔がボア・ホールの直径の5~8倍で明瞭なプレスブリッティングが可能なこと、またこの条件に

さらに、孔間隔とほぼ等しい最小抵抗線長という条件が加えられれば、クッション・ブラस्टィングが行なえることが求められた。

そして、理論的な考察によつて、この場合の平滑な亀裂が静的なガス圧によつて形成されることが説明された。すなわち、平行に並んだ装薬孔の内壁に同時に作用する静的な圧力によつて、各孔を結ぶ線(面)上に生ずる応力集中がこの亀裂を発生させるものであることが、結論づけられた。ここでとくに重要なことは、スムーズ・ブラस्टィングの破壊の主作用がむしろ静的なものによると考えられることである。このことは、実際の爆破作業の上で、デカップリング指数を大きくとることによつておこるクッション作用や、低爆速で高いガス圧を生ずるような爆薬の使用を、考慮しなくてはならないことを示唆している。

## 3. 実施上の問題点

スムーズ・ブラस्टィングを実施するに当つて考慮すべき問題点の第1は、さく孔配置と薬量および爆破法に関するものであるが、とくに、プレスブリッティング孔やクッション孔の直径と、使用する爆薬に関する製造技術上の問題点も含まれる。第2はさく孔技術に関することであり、第3は諸作業との関連についてのものである<sup>3)</sup>。

第1の問題点のうち、爆破設計に関する部分は次節でさらに論ずるが、使用する装薬孔の直径と爆薬に関する部分はここで論じよう。スムーズ・ブラस्टィングにあつては、プレスブリッティング孔やクッション孔に、普通の直径の爆薬を分散して装填することも行なわれるが、孔径よりも小さい直径の爆薬を装填することが一般に行なわれる。すなわち、デカップリング指数2前後の直径の爆薬が用いられる。デカップリングを大きくとることの重要性は第2報の理論的考察で示されたが、実施にあつては次のような問題がある。

わが国では、さく岩機のビット径はアメリカやカナダのそれにくらべると小さく、30~40mmが多用されるため、直径25mmの普通の爆薬を使うとデカップリング指数は1に近いものになる。直径の小さい爆薬

昭和45年2月28日受理

\* 東京大学工学部資源開発工学科, 東京都文京区本郷 7-3-1

Table 1 Examples of

Construction	Category	Rock	Length	Spacing
			ft, cm	ft, cm
Niagara conduit	Pre-splitting	} Stratified dolomite, limestone, shale	~15	2
Pump shaft	Pre-splitting		~45	1
Inverawa tunnel	Cushion	Granite, phyllite	10	1.33
	Cushion	Granite, phyllite	10	1.33
Osumata No.2 conduit	Cushion	Slate	300	60
Toriyazaka road tunnel	Cushion	Grano-diorite	250	~70
Sarutoge rail tunnel	Cushion	Grano-diorite	210	60
Mitaki conduit	Cushion	Grano-porphry	250	50~60

\* Units of length used in this table are ft, in, cm and mm. Judge yourself.

が作られることが望ましいのであるが、従来の爆薬は薬径が小さくすると性能が著しく低下し、また、装填密度が小さいと殉爆あるいは伝爆性も極端に悪くなる。

スウェーデンのグーリット、カナダのグザクテックスなどスムーズ・ブラスティング用に 15mm 位の直径で、爆速も比重も小さくしかも伝爆性の良い爆薬が開発されている。わが国の爆薬メーカーも研究をはじめており、只見川水系の大津岐発電所桧枝岐 2 号水路の開さくに用いられた SB 新桂爆薬などもその例であるが<sup>\*)</sup>、価格の点でかなり高価につき、その他いろいろの原因と重なって全体の爆薬費が割高となる。従来の爆薬をボア・ホール内に分散して装填し、あるいは AN-FO のような低比重爆薬を利用している現場もあるが、これにもいろいろ問題がある<sup>\*)</sup>。

安価で性能の高い、スムーズ・ブラスティング用爆薬の開発がとくに要望される。

第 2 の問題点であるさく孔技術は、スムーズ・ブラスティングの成否を左右する。スムーズ・ブラスティングでは、多数のボア・ホールを平行に等間隔にさく孔することが必要である。さく孔長さも、この平行度がくづれることによつて制限される。スウェーデンでスムーズ・ブラスティングが発達した背景には、コロマント方式やラダー方式のような高度のさく孔技術があつたからである、といつて良いだろう。こうしたさく孔技術や特別なジャンボーの設計が望ましい。

第 3 の問題点は、破碎度など積込みの問題で、周辺孔の本数増大によるさく孔時間の増加、その後の切羽の整備など関連した種々の問題に関するものである。

<sup>\*)</sup> AN-FO の伝爆性について小実験を行つたが、その結果は別に発表するつもりである。

#### 4. 爆破設計上の指針

以上実施上の問題点について述べたが、われわれにとつては爆破設計をどうするかがもつとも重大なことである。結論からいえば、依然として爆破設計は試行錯誤的に行なわれなくてはならないと考えている。しかしそれでは困るので、試行錯誤的にやるにしても、その最初のステップとして行なう実験の設計をしなくてはならない。われわれが 1, 2 報を通して行なつてきた研究も、そのために何等かの寄与を考えていたからであつた。

ここでは、そうした爆破設計の指針のようなものを、従来行なわれた実際例やわれわれの実験や理論的考察から得られたものに基づいて、考えてみることにする。

これまでの研究の結果から、スムーズ・ブラスティングの実施に当つて考えなくてはならない要素としては、デカップリング指数に関係してボア・ホールの直径と薬径、さらに使用する爆薬の種類、薬量あるいは装填密度、装薬法と起爆の方法、そして孔間隔と最小抵抗線の長さである。孔長、装薬長は長孔の爆破であるから、平面問題として取扱うことでこの場合考えないこととする。むしろ、すでに述べたように、さく孔技術によつて決まるものとしてよいだろう。

デカップリングと爆薬：Table 1 は外国およびわが国で成功したスムーズ・ブラスティングの例をまとめたものであるが<sup>\*)</sup>、デカップリング指数として、外国の例では 2、わが国の例では 1.19~1.57 となつている<sup>\*)</sup>。Inverawa トンネルにおける孔径が不明であるが、長

<sup>\*)</sup> その後入手した資料で、テネシー州の Bull Run 発電所工事で行なわれたものでは D.I.=2.75 である。

smooth blasting performance

Blast-hole*					Explosives
Burden	Diameter	Explosives diameter	D. I. **	Charge density	
ft, cm	in, mm	in, mm	—	—	
—	2 1/2	1 1/4	2.0	(0.32)***	40% extra gel.
—	2 1/2	1 1/4	2.0	(0.11)	40% Hercules gel.
1.66	—	1 1/8, 1	—	0.31, 0.43	Quarrex, winrox
1.66	—	7/8	—	0.21, 0.26	Tunnelite, Gelamex
80	31	19.7	1.57	(0.38)	SB-shin-katsura
~60	32	27	1.19	(0.60)	AN-FO
~50	32	27	1.19	(0.53)	Dynamite
70	32	19.7	1.57	(0.38)	SB-shin-katsura

\*\* Decoupling index, \*\*\* Not exact

さ 10ft の穿孔から考えると、少くとも 1 1/2 ~ 1 3/4 イチはあるだろうから、D. I. (デカップリング指数) は 1.5 ~ 2.0 程度になっているであろう。わが国の 1.19 ~ 1.57 にくらべれば大きい値である。装填比重も同様な関係になっているが、鳥谷坂トンネル、猿峠トンネルの場合には、AN-FO やデッキチャージの形となつてコンテナに入つたダイナマイトを使用しているので、必ずしも直接の比較は行なえない。

第 1 報に報告したセメント・モルタルのブロックにおける雷管の実験では、D. I. として 2 前後の場合がもつとも良い結果を与えており、理論的考察によつても D. I. を大きくとることが重要で、それによつて効果的なスムーズ・プラスティングが達成できることが

示された。もちろん D. I. を極端に大きくすることはできない。

U. Langefors 等の示した例 (Table 2) では<sup>9)</sup>、D. I. は 2 ~ 4 となつている。なおこの表の中で、Gurit の直径は 15mm 前後と考えられる。

わが国の場合は、先に述べたように、小直径で伝爆性の高い爆薬が安価に得られないこと、小孔径のさく孔が多いことなどから、D. I. としては、限界があるが、1.5 位は欲しいものである。

使用する爆薬の種類、薬量などは岩石の種類、破断面の平滑度すなわち孔間隔などによつて決定されるべきだが、わが国では、デカップリング指数によりある程度決つてしまう。薬量は分散装薬や込物の使用に

Table 2 Smooth blasting and presplit blasting (after U. Langefors and B. Kihlström).

Drill hole diameter		Concentration of charge		Charge units*	Smooth blasting		Presplitting	
d		l			E	V	E	
mm	in	kg/m	lb/ft		m		m	ft
30	1 1/2			Gurit	0.5	0.7	0.25~0.	1 ~ 1 1/2
37	1 1/2	0.12	0.08	Gurit	0.6	0.9	0.30~0.5	1 ~ 1 1/2
44	1 3/4	0.17	0.11	Gurit	0.6	0.9	0.30~0.5	1 ~ 1 1/2
50	2	0.25	0.17	Gurit	0.8	1.1	0.45~0.70	1 1/2 ~ 2
62	2 1/2	0.35	0.23	Nabit 22 mm	1.0	1.3	0.55~0.80	2 ~ 2 1/2
75	3	0.5	0.34	Nabit 25 mm	1.2	1.6	0.6 ~ 0.9	2 ~ 3
87	3 1/2	0.7	0.5	Dynamite 25 mm	1.4	1.9	0.7 ~ 1.0	2 ~ 3
100	4	0.9	0.6	Dynamite 29 mm	1.6	2.1	0.8 ~ 1.2	3 ~ 4
125	5	1.4	0.9	Nabit 40 mm	2.0	2.7	1.0 ~ 1.5	3 ~ 5
150	6	2.0	1.3	Nabit 50 mm	2.4	3.2	1.2 ~ 1.8	4 ~ 6
200	8	3.0	2.0	Dynamite 52 mm	3.0	4.0	1.5 ~ 2.1	5 ~ 7

\* It no special charges are available dynamite taped on detonating cord to a concentration 1 kg/m (lb/ft) can be used.

より加減することも考えられる。装薬量は、装填密度として0.5以下をとることが一般のようである。

理論的考察の結論から、ガス圧による静的効果が主たる破壊の要素であるとすると、これに適した爆薬の開発が望まれる。AN-FOのような低爆速、低比重爆薬の利用は当然考えられるであろう。

点爆法としては、斉発またはMS起爆でなくてはならない。

込物の使用は、ガス圧の効果を考慮すれば必要であるが、われわれの実験からは、はっきりした結論は得られなかつた。従来文献では必要なものとされている<sup>3)</sup>。

孔間隔：孔間隔を大きくすることはさく孔作業の上からは望ましいが、スムーズ・プラスティングの立場では小さいことが必要である。でき上つた平面の平滑度(unevenness)や曲線部の関係もあり、また、プレスブリッティングであるのか、クッション・プラスティングであるのかによつても異なるであろう。

われわれの実験結果では、プレスブリッティングの場合、孔間隔はボア・ホールの直径の5~8倍であり、クッション・プラスティングの場合もこの値で成功している。従来の実験例では、プレスブリッティングで、ボア・ホールの直径の4~10倍、クッション・プラスティングで10~20倍となつている。

でき上つた平面の平滑の度合を、U. Langefors等はunevennessという語で表現しているが<sup>3)</sup>、孔間隔が大きくなれば当然平滑度は悪くなる。この関係はFig. 1に示されるが、平滑度は岩石の種類、性質、最小抵抗線の長さにも関係すると述べている。

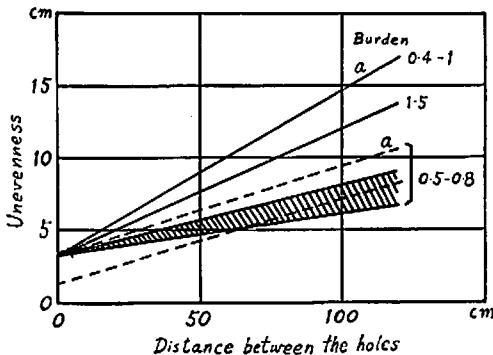


Fig. 1 Average unevenness of the rock contour as a function of the hole distance, the burden and the size of charge. Unbroken lines refer to site A; broken lines to site B which, contrary to A, has exceptionally homogeneous rock. Curves a, large over charge; other curves, correct charge.

(After U. Langefors and B. Kihlström)

最小抵抗線長：クッション・プラスティングの場合には、プレスブリッティングにおいて考慮しなければならない要素に、さらに最小抵抗線の長さを考慮することが必要である。

われわれが6号電気雷管を用いてセメント・ブロックで行なつた実験では、孔間隔Eと最小抵抗線長Vとは、略等しい

$$E \approx V$$

の関係が求められている。これに対して、U. Langefors等は

$$E < V$$

で、とくに

$$E \leq 0.8V$$

を奨めており、 $V < E$ となつてはいけないと述べている。

Table 2やTable 1のアメリカにおける実際例ではたしかにそうなつているが、鳥谷坂トンネルや猿峠トンネルの例では $E > V$ となつている。 $E \geq V$ とすることはたしかに良くないが、試験設計の最初のステップとしては $E = V$ として良いように思われる。

もちろん、最小抵抗線長が岩質や孔間隔E、あるいは使用する爆薬などに関係することを忘れてはならない。

#### 5. 1, 2の実施例

最近行なわれたスムーズ・プラスティングによる、コンクリート破壊の事例2つに多少関係し、好結果を見た資料を入手した。上述の設計指針とも関連するので触れておこう。1つは函館本線神居トンネル導坑側壁のコンクリート削りとり工事であり、他の1つは東電鹿島作業所南防波堤掘り壊し工事におけるものである。なお、神居トンネル導坑側壁工事については、これに先立つて行なわれた実験の報告が工業火薬協会誌Vol. 30, No. 2, 1969に伊藤功一、和田満純両氏によつて報告されている<sup>3)</sup>。参考に供されたい。

神居トンネル導坑側壁のコンクリートはつとり工事：延長2,200mある神居トンネルの掘さく工事は、地質状況に応じて中央導坑先進上半リングカット工法と側壁導坑先進上半リングカット工法により行なわれているが、その一部で工法および巻厚等決定のために側壁導坑1本を貫通点まで到達させ、地質状況を正確に把握する作業が行なわれた。

この地質は葉片状塊状蛇紋岩、黒色片岩などであり、上述の側壁導坑が作られた地点では、導坑がはるかに先進したため覆工がついて行けず、縫返しを行ない側壁コンクリートを打設した。アーチ覆工、インバート・コンクリート打設までには数ヶ月を要するので、インバートを入れる施工を行なつた。しかし最終

的には、その工事区間において最大 50cm 程度側壁が押し出されたため、巻厚 75cm の  $\frac{1}{3}$  にあたる 25cm の厚みをはつとり、修復することに決定した。

このはつとり工事を発破で行うことが考えられ、導爆線によるスムーズ・プラスティングが実施され、好結果を得た。実施に先立つて行なわれた試験の成績を示すと Table 3 となるが、この資料をもとに発破設計がなされ、実行された。

Table 3 Smooth blasting at the side-wall (concrete) of the Kamui pilot tunnel

Detonating fuse used	5.1 m
No. of bore-holes	6
Bore-hole depth	0.5 m
Area blasted	$1.75 \times 0.5 = 0.87 \text{ m}^2$
Volume blasted	$0.21 \text{ m}^3$
Hole spacing	0.25 m
Burden	0.25 m
Total charge	0.12 kg
Charge per hole	0.02 kg
Charge used for $1 \text{ m}^3$	0.57 kg
Total drilling length	6.8 m
No. of bore-hole per $1 \text{ m}^2$	6.8
Detonating fuse used per $1 \text{ m}^2$	5.9 m

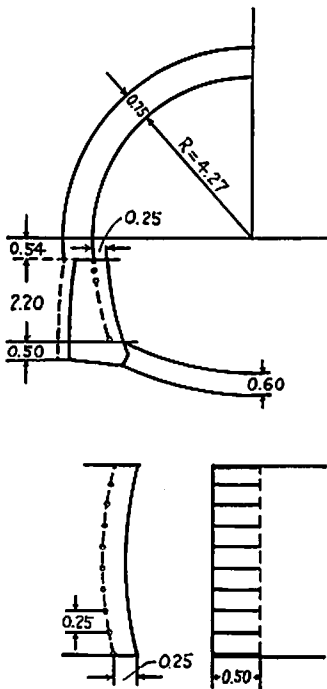


Fig. 2 Smooth blasting at the side-wall (concrete) for the Kamui pilot tunnel

試験では、押し出された壁の側面から図のように直径 38mm のビットで、平行に最小抵抗線長 25cm、間隔 25cm で 50cm の深さのボア・ホールを 6 本穿孔し、外径 5.5mm の第 2 種導爆線（芯葉の PETN 量約 2.8 g）を折り曲げて 2 重にして挿入し、起爆した。もちろん導爆線は全て結線してあるので斉発となる。結果は多少過萎葉気味であつたが、壁面は写真のようにきれいに切斷され、残つた壁には亀裂はまったく生じなかつた。（Fig. 2, Fig. 3 参照）

同時に試験された多数の垂直なボア・ホールによる叩き発破にくらべて、この方法では、穿孔面が狭いた



Fig. 3-a Results of the Kamui pilot tunnel

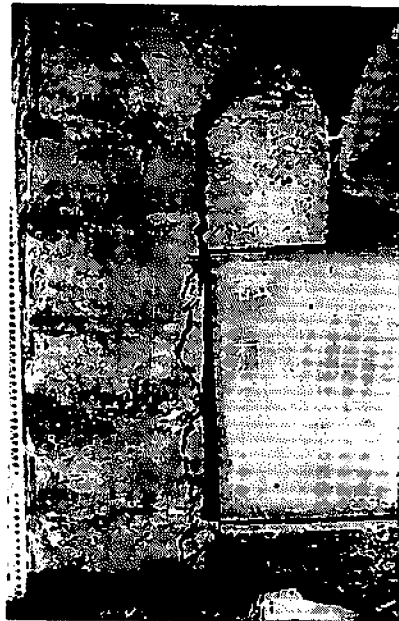


Fig. 3-b Results of the Kamui pilot tunnel

めに穿孔が難かしい、やや過装薬であつたなどの欠点はあつたが、能率が大なこと、安価であるという利点が示された。

この例では、デカップリングを大きくとれば、導爆線でもスムーズ・プラスティングが可能なが示されたが、この場合のV-E比は1ということになる。鹿島港南防波堤コンクリート破砕試験：最近、鹿島港にある東京電力南防波堤の取り壊し工事が行なわれ、特殊な爆薬を使用したスムーズ・プラスティングが行なわれた。44年8月に防波堤の一部を試験として破壊したときの成績を示そう。試験は、図のように堤防の一部6×12.5m、コンクリート高さ約1mの部分で、数種の爆薬を用いて行なわれた。(Fig. 4 参照)

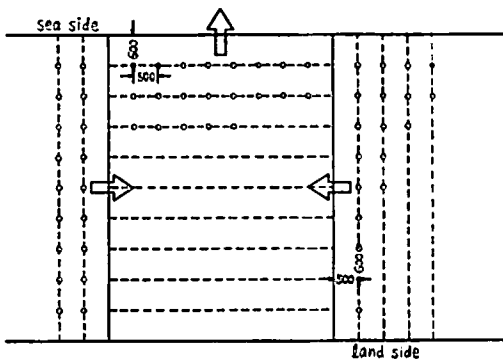


Fig. 4 Smooth blasting on the Tokyo Electric South Pier, the Kashima harbor

保安物件は 附近にはないが、距離 32m のところで PC 道路橋が施工されており、陸上の掘削が行なわれていた。東電側より火薬の使用に対して制限を受け、使用実施にあつては十分な安全性が要求されていた。また、発破作業と平行して他の作業を実施することも予定されていた。したがつて、飛散、騒音、振動をできるだけ抑えることが必要であり、破砕されたコンクリートの運搬の点からも、できるだけ飛散せず、ブロック状の大塊として破砕されることが望ましいことであつた。

この試験のために、とくに大成建設と日本油脂とが合同で開発した TN-10、TN-17 火薬 (仮称) を使用したが、同時に CCR<sup>\*</sup>、SLB<sup>\*</sup>、NB<sup>\*</sup> などの最近市販されるようになった公害防止用の爆薬も試験された。TN-10、TN-17 はいづれも爆速 2300m/s で、直径 10mm および 17mm のものであつた。

試験の主たる目的は 前述したようなことであつた

<sup>\*</sup> 最近火薬製造各社が開発販売している都市発破用の一種のガス発生剤の製品名、たとえば CCR はコンクリート・クラッカーの略称。

が、具体的には

1) 飛石、振動、爆音の調査および CCR 等との比較

2) デカップリング効果を得るために直径 32mm 孔を使用した場合の、適性装薬、適性パターン

の検討

であつた。試験条件、試験結果を Table 4、Table 5 にまとめたが、適性装薬、適性薬量の場合には、写真にみられるような結果を得た。飛散もなく、騒音も 50m の距離で 70 ホーン以下、振動は附近で作業中の機械の振動より小さかつた。ただ場合によると、小破片が上方に飛散することがあつた。この場合、タンピングは海砂であつた。



Fig. 5-a Results of the Kashima harbor



Fig. 5-b Results of the Kashima harbor

とくにこの試験において、同一のパターンで同じ薬量であつても、薬径が小さく (10mm)、薬長が長くなる方が破断面が綺麗に仕上がるのがわかつたが、これまでの考え方を裏付けるものであると思つている。

CCR、SLB 等の都市発破用火薬では、所期の目的を達成することがむづかしいと考えられる結果が得られた。とくに、鉄砲となる場合がしばしばみられた。理由としては、弱装薬であつたのではないかと考えられること、タンピングに使用した急結モルタルのタン

Table 4 Smooth blasting on the Tokyo Electric South Pier, Kashima harbor - 1

Test No.	Explosives				Bore-hole				No. of bore-holes	Charge		Blast-ing method	Results
	* Name	Diameter	Length	Weight	Diameter	Length	Burden	Spacing		Weight	Weight		
		mm	mm	g	mm	mm	mm	mm		g/hole	g/m <sup>3</sup>		
1	TN-17	17	170	50	32	600	600	500	8 × 1	50	134	simul.	5 or 6 large lumps, few of them jumped 7 or 8 m high
2	TN-17	17	140	40	32	600	700	500	8 × 1	40	107	simul.	Not jump, a crack along bore-holes, moved 50 cm
3	TN-17	17	170	50	32	600	700	500	8 × 2	50	134	delay	Many cracks, not jump
4	TN-17	17	170	50	32	600	700	500	8 × 4	50	134	delay	Many cracks, small fragments, jumped up to 20 m
5	TN-10	10	300	30	32	700	400	500 ~600	9 × 1	30	112	simul.	Several 0.2~0.5 m <sup>3</sup> lumps, moved 1 m
6	TN-17	17	170	50	32	700	500	600	9 × 1	50	150	simul.	same as the above
7	TN-10	10	490	50	32	750	500	600	9 × 1	50	150	simul.	same as the above
8	TN-17	17	170	50	32	700	500	600	9 × 2	50	150	delay	Many 10~20 cm dia. fragments, severals jumped up to 20 m

\* TN : Taisei-Nichiyu test explosives \*\* 8 × 1 : 8 holes, 1 row

Table 5 Smooth blasting on the Tokyo Electric South Pier, Kashima harbor - 2

Name	Explosives		Bore-hole			No. of boreholes	Charge		Results
	Weight	Diameter	Length	Burden	Spacing		Weight	Weight	
	g	mm	mm	mm	mm		g/hole	g/m <sup>3</sup>	
SLB-II	30	32	600	400	400	10	1	6~7	8 holes in series were not effective, hair crack between 2 holes
NB-3	15	32	600	400	400	4	1	6~7	hair crack between 4 holes
NB-3	15	32	700	400	400	8	2	12~13	crack along the holes
CCR-30	30	32	600	400	400	10	1	6~7	hair crack between 6 holes in series, not effective in 4 holes

ピング効果が不充分であつたこと。あるいは装薬長が小さ過ぎたと考えなくてはならないこと、などが挙げられる。

この例では、デカップリング指数は1.9乃至3.2、 $V-E$ 比0.7~1.3 ( $E/V$ )、装薬比重0.13~0.37で成功している。これらの数字は、前節爆破設計上の指針で述べたいくつかの数値に合致している。また、経済的な問題はともかくとして、薬径10~17mmの爆薬の作成が可能であることを示している。

#### 6. おわりに

スムーズ・ブラスティングを実施するにあたって考慮すべき問題点について論じ、爆破設計を行なう際の指針を与えた。そして、最近行なわれたスムーズ・ブラスティングの実施例を述べて、設計上の指針の立場から考察を行なった。

結論としては、スムーズ・ブラスティングの爆破設計は試行錯誤で決めなくてはならないが、その最初のステップとして行なう実験の設計指針として、次のことが得られた。

- 1) デカップリング指数として、1.5~4程度の値をとることが望ましい。使用する爆薬によつて、1.5以下の値をとらなくてはならない場合にも、D.I.をできるだけ大きくとり、装薬を分散して使用するようにする。
- 2) 装薬密度はD.I.などとも関係するが、今日使用されている爆薬では0.5以下としたらよい。
- 3) 孔間隔 $E$ はなるべく小さくとることが望ましいが、最小抵抗線長にほぼ等しい長さとする。

以上である。

爆薬としてどのような爆薬であることが望ましいかなど、まだまだ問題点は多いが、よりよいスムーズ・ブラスティング用の爆薬が開発され、さらに、爆力をコントロールして使用する爆破法が、ますます発展することを希望する次第である。

おわりに、貴重なデータを与えられた、大成建設株式会社土木部技術室の各位、とくに和田満徳氏に深く感謝の意を表したい。

#### 文 献

- 1) 山口梅太郎、下村弥太郎：スムーズ・ブラスティングに関する研究（第1報）、工業火薬協会誌、117号、昭和42年11・12月号、459~467頁
- 2) 山口梅太郎、下村弥太郎：スムーズ・ブラスティングに関する研究（第2報）、工業火薬協会誌、125号、昭和44年3・4月号、71~76頁
- 3) 山口梅太郎：スムーズ・ブラスティング、日本鉱業会誌、昭和41年6月号、525~532頁
- 4) 山口梅太郎、栗田正男：スムーズ・ブラスティングを用いた坑道掘進、日本鉱業会誌、昭和42年11月号、1363~1366頁
- 5) 山口梅太郎：余振り防止のためのスムーズ・ブラスティング、ダム日本、No.286、昭和43年8月
- 6) U. Langefors and B. Kihlström: Rock Blasting, John Wiley & Sons, 1963, p. 310
- 7) 同上, p. 311
- 8) 伊藤功一、和田満徳：導爆線によるコンクリートの爆破試験、工業火薬協会誌、128号、昭和44年9・10月号、315~317頁

---

### Study of Smooth Blasting III

#### Practical Discussion and Examples of the Application

by U. Yamaguchi and Y. Shimomura

This is the third and the final report on the study of smooth blasting which is being carried out for gathering information to perform the technique.

In this report, of the factors required to design smooth blasting were discussed, based on the authors' investigations and several performances of this technique.

Followings are recommendations for designing the first trial of smooth blasting:

- 1) Decoupling index is desired to be 1.5 to 4.
- 2) Charge density under 0.5 is also desirable.
- 3) The hole spacing is roughly equal to the burden.

The complete design of this technique should be finally decided by trial and error method.

(Dep. Resource Development Engineering, Univ. of Tokyo)