

爆薬密度の成形爆薬効果に与える影響

米田仁章*, 田子義則*, 鹿住 孝*

爆薬の爆発現象を利用して、構造物を破壊する方法のひとつに成形爆発効果（ノイマン効果）を利用した破壊がある。成形爆薬効果とは、円錐形に成形した金属板（ライナー）を円錐外面から高爆速の爆薬で爆発圧縮すると、爆轟の衝撃圧力によりライナーの対称軸上に金属のジェットが発生し、前方にある金属などに穴をあける効果のことである。当報告では、爆薬密度とこの成形爆薬効果による鉄柱の侵徹量のバラツキについて検討を行った。

その結果、填薬密度が理論密度（TMD）に近いほどバラツキが小さくなることが確認されたので報告する。

1. まえがき

従来から、成形爆薬の侵徹長は使用する爆薬の爆轟圧力と関係することがわかっている。爆薬の爆速が、この爆轟圧力と比例関係にあり、侵徹長も爆速の速い爆薬を使用すれば大きくなることがわかっている。しかしながら、侵徹長のバラツキに対する報告はあまり見かけない。

当報告では、アルミ筒体にφ40の銅ライナーを組み

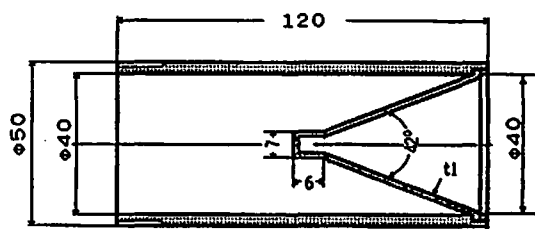
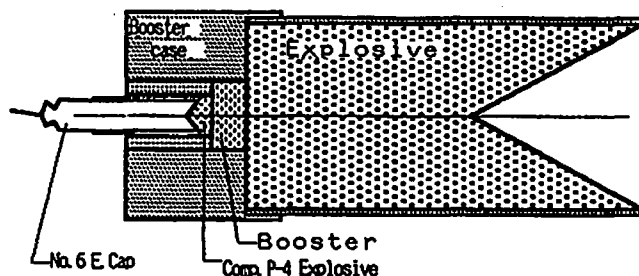


Fig. 1 Schematic of shaped charge structure.

Schematic of sample



Gap between booster and explosive.

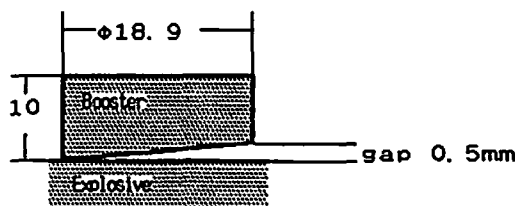


Fig. 2 Schematic of shaped charge used experiment planning method.

1993年4月2日受理

*日本工機白河研究所

〒961 福島県西白河郡西郷村大字長坂字土生

TEL 0248-22-3802

合わせた成形爆薬筒体と高性能プラスチック爆薬（PBX）を組み合わせて成形爆薬を作り、軟鉄でできた鉄柱に穴を穿ち、その穴の深さ（侵徹長）の推定結

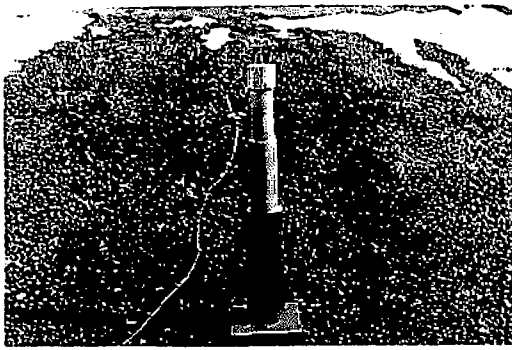


Fig. 3 Picture of test—set up for shaped charge experiment.

果を検討した。この結果から、填薬密度と侵徹長のバラツキには強い関係が存在することが判明した。つまり、爆薬の填薬密度と理論密度の比であるTMD比と侵徹長のバラツキにある相関性をみいだしたので以下に報告する。

2. 実験及び結果

今回の実験では成形爆薬用ライナーに銅（タフピッチ銅）を、（縦的）金属には軟鉄柱を用いた。Fig. 1

はこの試験に使用した成形炸薬試料の構造図である。爆薬を填薬する筒体の全長は120mm、内径は40mmである。ライナーは開口部内径40.0mm、角度42°のものを使用した。

使用した爆薬はPBX 3 種であり、組成、特性は次の通りである。

a) NS201

HTPB(hydroxy terminated polybutadiene):10%

HMX(cyclotetramethylene tetranitramine):90%

爆速8420m/s(p:1.710 g /cm³)

b) NS203

GAP(glycidyl azide polymer):13%

HMX:87%

爆速8490m/s(p:1.770 g /cm³)

c) PBXN106

BDNPA/F系Polyurethane:25%

(bis-dinitropropyl-acetal formal)

RDX(cyclotrimethylene trinitramine):75%

爆速7950m/s(p:1.650 g /cm³)

2.1 侵徹長のバラツキに關与する因子の総合評価

成形爆薬の侵徹長のバラツキに影響を及ぼすと考え

Table 1 Experiment factors for experiment planning method and their results.

No.	Planning factor				Penetrate depth (mm)	Density (%)
	A. Density rate	B. Gap	C. Cap holder	D. Explosive		
1	98.9 % over	none	Aluminum	NS201	241	99.1
2	98.9 % over	none	Aluminum	NS203	250	99.1
3	98.9 % over	none	Tape	NS201	231	99.1
4	98.9 % over	none	Tape	NS203	245	98.9
5	98.9 % over	existence	Aluminum	NS201	228	99.1
6	98.9 % over	existence	Aluminum	NS203	243	98.9
7	98.9 % over	existence	Tape	NS201	205	99.0
8	98.9 % over	existence	Tape	NS203	260	98.9
8	98.3 % under	none	Aluminum	NS201	223	98.3
10	98.3 % under	none	Aluminum	NS203	177	97.9
11	98.3 % under	none	Tape	NS201	220	98.3
12	98.3 % under	none	Tape	NS203	214	97.4
13	98.3 % under	existence	Aluminum	NS201	234	98.2
14	98.3 % under	existence	Aluminum	NS203	213	98.0
15	98.3 % under	existence	Tape	NS201	225	98.2
16	98.3 % under	existence	Tape	NS203	231	98.2

Table 2 Data of penetrating depth for NS201

Group	Size of embedded booster (mm)	Multiple number of stand off	Explosive density (g/cm ³)	TMD ratio (%)	Penetrating depth (mm)	Sample number
1	φ 15 h=20	3	1.716	99.0	259	1
			1.714	98.8	267	2
			1.727	99.6	272	3
2	φ 15 h=60	3	1.722	99.3	258	4
			1.727	99.6	273	5
			1.723	99.3	272	6
3	φ 15 h=20	1.8	1.717	99.0	227	7
			1.720	99.2	219	8
			1.717	99.0	223	9
4	φ 15 h=20	3	1.723	99.3	258	10
			1.723	99.3	247	11
			1.725	99.5	231	12
5	φ 15 h=20	3	1.726	99.5	234	13
			1.726	99.5	239	14
			1.730	99.8	242	15
6	not used	3	1.721	99.0	269	16
			1.724	99.2	240	17
			1.721	99.0	249	18
7	not used	2.5	1.691	97.5	219	19
			1.696	97.8	244	20
			1.721	99.0	232	21
			1.716	99.0	245	22
			1.715	98.9	254	23
			1.717	99.0	277	24
			1.718	99.1	265	25
8	φ 19 h=15	2.5	1.701	98.1	221	26
			1.704	98.3	198	27
9	not used	3	1.704	98.3	150	28
			1.703	98.2	187	29
			1.707	98.4	208	30

られる要因を組み合わせ、総合的に成形爆薬の効果に
関与する因子の影響度合いを調査した。

ここでは、爆薬の密度を実験因子Aとし、TMD比
99.0%以上と98.3%以下の2水準に分類した。因子B
はブースタと爆薬の間の隙間の有無を、因子Cには
ブースタを起爆する雷管の固定方法を取り、アルミカ
ップを使用して固定したものと、雷管にセロハンテ
ープを巻きつけてブースタカップに装着したものと比
較を行った。因子Dでは、爆薬の種類をNS201とNS203
の2水準とし、爆薬の違いによる相違を検討した。

Fig. 2に実験試料の概要をしめす。Fig. 3に試料
と軟鉄柱をセットした写真を示す。この時のスタンド

オフは塩ビパイプ製であり、その倍率は3（ライナ
ー径の倍率：3×40mm）であった。

Table 1は実験因子、水準と結果の一覧表である。
この表より、成形爆薬効果の威力に対しては、爆薬の
密度（A）、爆薬の密度とPBXN5ブースタ（フッ
ソ系樹脂：バイトン4.5%、HMX95.5%：爆速8800
m/s）～爆薬間の隙間（A×B）、爆薬の密度と爆薬種
（A×D）、雷管固定方法と爆薬種（C×D）の交互作用
が危険率1%で有意であることがわかった。つまり、
この実験計画の実験因子すべてが殺傷威力に影響を及
ぼしており、次のことがわかった。

1) 爆薬の密度が理論密度に対して99%以上と、98.3

Table 3 Data of penetrating depth for NS203 and N106

Group	Explosive	Multiple number of stand off	Explosive density	TMD ratio (%)	Penetrating depth (mm)	Sample number
10	NS203	3	1.788	99.5	>280	31
			1.788	99.5	275	32
			1.787	99.5	277	33
11	NS203	2.5	1.748	97.3	239	34
			1.780	99.1	237	35
			1.751	97.5	208	36
			1.741	96.9	197	37
			1.749	97.4	228	38
			1.754	97.7	245	39
			1.779	99.1	245	40
			1.769	98.5	183	41
12	N106	2.5	1.647	97.7	188	42
			1.641	97.4	237	43
13	N106	3	1.648	97.7	265	44
			1.653	98.1	265	45
			1.647	97.7	251	46

%以下では平均して20mm以上の侵徹威力差が生じる。

- 2) 爆薬のTMD比が大きい場合は、ブースタと爆薬の隙間の影響が侵徹威力に現れるが、小さい場合は密度による威力低下がブースタと爆薬の隙間が引き起こす威力低下を越えてしまうため、この影響が現れてこない。
- 3) NS203は密度が小さくなると侵徹長の低下がはっきり現れるが、NS201の場合は顕著な侵徹低下を示さない、つまりNS201が侵徹長のバラツキが大きい。

参考に、NS202 (BDNPA/F系polyurethane 10%, HMX 90%, 爆速8630m/s)を使用した結果を下記に示す。

密度	TMD比	侵 徹
1.818	99.1%	262mm
1.815	98.9%	268mm
1.817	99.0%	263mm

この結果より、NS201、NS203以外のPBXも、その密度が理論密度に近づくと侵徹長のバラツキが小さくなることわかる。

2.2 成形爆薬侵徹長とTMD比の関係解析

成形爆薬効果による鉄柱侵徹長のバラツキは、填薬密度をTMD比に近づけることにより小さくなること

がわかった。ここではNS201、NS203、PBXN106の3種類の爆薬を使用した填薬密度と侵徹長のバラツキについて調べた。このとき、起爆用のブースタはPBXN5を起爆表面に接して使用し、一部試料はPBXN5ブースタを爆薬の中に埋め込んで使用した。PBXN5ブースタは、NS201に比べ爆速が高く、また起爆感度も高い成形爆薬試料を塩ビパイプで作ったスタンドオフパイプの上にセットした後、六号電気雷管で起爆を行った。

Table 2はNS201を用いて行った侵徹長評価試験の結果を示す。この試験では、爆薬にブースタを埋め込んだものと、そうでないものを比較し、爆薬とブースタとの界面が侵徹威力にどのように影響を与えるかについても同時に検討した。

Table 2の中で、グループ1～6とグループ8はブースタを埋め込んだもので、侵徹長の結果より、ブースタのサイズにかかわらず、鉄柱の侵徹長は各グループ毎にほぼ揃っていることがわかる。ただし、ブースタを埋め込んだ試料のTMD比は、ほとんどが99%以上をしめしており、TMD比と侵徹長との関係についても考慮する必要がでてきている。ここで各グループ間のスタンドオフ倍数は一定では無く、侵徹長そのものを同じレベルで評価はできない。

Table 3はNS203、N106を用いて行った威力評価

Table 4 Penetrating data and classification of TMD by it's magnitude

Explosive	Group	Explosive density (g/cm ³)	Density ratio for TMD	Classification	Penetrating depth (mm)	Mean	Depth ratio for means	Sample number
NS 201	1	1.716	99.0	A	259	266.0	97.3	1
		1.714	98.8	B	267		100.3	2
		1.727	99.6	A	272		102.3	3
	2	1.722	99.3	A	258	267.6	96.4	4
		1.727	99.6	A	273		102.0	5
		1.723	99.4	A	272		101.6	6
	3	1.717	99.0	A	227	223.0	101.8	7
		1.720	99.2	A	219		98.2	8
		1.717	99.0	A	223		100.0	9
	4	1.723	99.4	A	258	246.0	104.9	10
		1.723	99.4	A	247		100.4	11
		1.725	99.5	A	231		101.6	12
	5	1.726	99.5	A	234	238.0	98.3	13
		1.726	99.5	A	239		100.4	14
		1.730	99.8	A	242		101.6	15
	6	1.721	99.3	A	269	252.7	106.5	16
		1.724	99.4	A	240		95.0	17
		1.721	99.3	A	249		95.8	18
	7	1.691	97.5	C	219	248.0	88.3	19
		1.696	97.8	C	244		98.4	20
		1.721	99.3	A	232		93.5	21
		1.716	99.0	A	245		98.7	22
		1.715	98.9	B	254		102.4	23
		1.717	99.0	A	277		111.7	24
		1.718	99.1	A	265		106.9	25
	8	1.701	98.1	C	221	209.5	105.5	26
		1.704	98.3	C	198		94.5	27
	9	1.704	98.3	C	150	181.6	82.6	28
		1.703	98.2	C	187		103.0	29
		1.707	98.4	C	208		114.5	30
NS 203	10	1.788	99.5	A	280	277.3	101.0	31
		1.788	99.5	A	275		99.2	32
		1.787	99.5	A	277		99.9	33
	11	1.748	97.3	C	239	222.8	107.3	34
		1.780	99.1	A	237		106.4	35
		1.751	97.5	C	208		93.4	36
		1.741	96.9	C	197		88.4	37
		1.749	97.4	C	228		102.3	38
		1.754	97.7	C	245		110.0	39
		1.779	99.1	A	245		110.0	40
		1.769	98.5	B	183		82.2	41
N 106	12	1.647	97.7	C	188	212.5	88.5	42
		1.641	97.4	C	237		111.5	43
	13	1.648	97.7	C	265	260.3	101.8	44
		1.653	98.1	C	265		101.8	45
		1.647	97.7	C	251		96.4	46

試験の結果である。この実験では、ブースタは埋め込まず、炸薬の表面中心にブースタを設置する方法で起

爆を行った。

グループ10では、炸薬のTMD比が99.5%で填薬さ

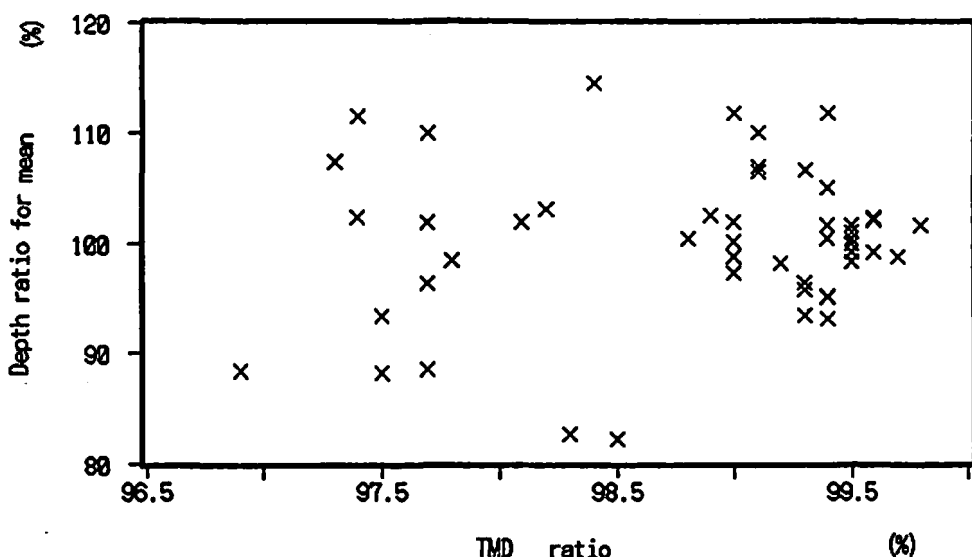


Fig. 4 Relation between TMD ratio and penetrating depth ratio.

れており、侵徹長の差も10mm以内に揃っている。

ただし、試料番31は設置した280mmの標的柱を貫徹したので、侵徹長を280mmとして扱った。

グループ11は、TMD比が96.9%から99.1%までの範囲のものである。このグループの中で爆薬の密度と侵徹長の間の相関係数は0.235であり、まったく相関性が無いことがわかる。つまり、爆薬の密度及び、爆速と侵徹長の間に相関性は見られず、爆速以外の要因で威力バラツキが生じていることがわかる。

グループ12, 13はN106に対するデータである。グループ13は侵徹長がまとまっているが、グループ12は2つのデータに差がみられる。

Table 4はTMD比をその大きさに合わせA, B, Cの3つに分類し、侵徹長をそのグループ毎の平均侵徹長との百分率で示したところの平均比の一覧表である。ここで、AはTMD比が99%以上、Bは99%未満～98.5%以上、Cは98.5%未満のものとした。

ここで、TMDの算出根拠の数値を下記に示す。

HMX	真密度	1.905 g/cm ³
RDX	真密度	1.820 g/cm ³
HTPB	真密度	0.960 g/cm ³
GAP	真密度	1.300 g/cm ³
ニトロバインダー	真密度	1.380 g/cm ³

これより

N106	TMD	1.685 g/cm ³
NS202	TMD	1.835 g/cm ³
NS201	TMD	1.734 g/cm ³
NS203	TMD	1.796 g/cm ³

となる。

Table 4よりA, B, C各群の平均比の平均と標準偏差を計算した結果、A群の平均は101.21、標準偏差は4.42、B群の平均は98.3、標準偏差11.83、C群の平均は99.1、標準偏差9.50であった。各群の平均値がほぼ100%になるのは当然だが、A群の標準偏差がB群、C群に比べ極めて小さくなっていることがわかる。このことは、爆薬密度がTMD比から離れるほど、成形爆薬効果による軟鉄柱への侵徹長のバラツキが大きくなることを示している。

Fig. 4はTable 3のTMD比と侵徹長平均比の関係をプロットしたものである。これをみても、TMD比が高くなるほど、その威力バラツキが収斂してきていることがわかる。

次に、A群の中でブースタを埋め込んだもの（A-I群）と、そうでないもの（A-II群）との比較を行ったところ、A-I群の標準偏差は3.11、A-II群の標準偏差は5.56であった。このことからブースタを埋め込むと侵徹威力のバラツキが小さくなることが分かる。

3. まとめ

成形爆薬の填薬密度と侵徹長のバラツキの関係が明らかになった。今回使用したPBXでは、成形爆薬の侵徹長のバラツキは爆薬のTMD比が大きいと小さくなっている。つまり、成形爆薬の侵徹長のバラツキを一定値に押えるためにはその填薬密度を理論密度の99%近傍以上にしなければならない。

今後は、爆薬の填薬状態が成形爆薬効果にどのよう

に影響を及ぼして行くか調べる予定である。

Influence of explosive density for shaped charge effect

by Jinsho YONEDA*, Yoshinori TAGO*, and Takashi KAZUMI*

It is recongnized that shaped charge is very useful to destroy the construction. When conical thin copper liner is pressed by high pressure of detonating high explosive, metal jet is generated on the axis of metal liner. This jet flies in the front direction and penetrates target material.

In this report, we investigated the relation between explosive density and penetrating depth deviation of shaped charge. It is found that the deviation of penetrating depth is minimized when explosive density becomes close to TMD.

(*Shirakawa Research & Development Center, Nippon Koki Co., LTD., Nishigo-mura, Nishi-shirakawa-gun, Fukushima 961, Japan.)

工 業 火 薬
第54巻 第4冊 通巻 272号



1993年8月25日印刷
1993年8月31日発行 (隔月刊)

定価：国内 1,500円
海外 2,000円 (送料込み)

発行所 社団法人 工業火薬協会
会長 福山郁生

〒103 東京都中央区日本橋2-3-21
(群馬ビル) 日本火薬工業会内
電話 03 (3271) 6715~7
FAX 03 (3271) 7592
振替東京8-146724

西部支部

〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1
九州工業大学工学部物質工学科
応用化学コース内

電話 093 (871) 代表 1931 内線 446
5831

編集兼発行人 福山郁生
編集部 東京大学工学部反応化学科

〒113 東京都文京区本郷7-3-1
電話 03(3812)2111 内線7291, 7292, 7383
FAX 03(5800)6871

印刷所 (有) 石川印刷
〒162 東京都新宿区河田町7番7号
電話 03 (3351) 3111 (代)
FAX 03 (3351) 3113

The Industrial Explosives Society, Japan

President : Ikuo Fukuyama

c/o Japan Explosives Industry Association
2-3-21 Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo 103, Japan

Phone : 03-3271-6715~6717

FAX : 03-3271-7592