

小型火薬庫の爆発実験について

(昭和32年8月19日受理)

浜野元継, 竹内不二雄, 伊藤清蔵, 高橋軍二

(通商産業省軽工業局無機化学課火薬班)

要 旨

この実験は火薬庫の爆発が周囲に及ぼす被害を実験的に調査し、火薬庫設計の資料を得ようとするものである。その予備実験として昭和31年8月、栃木県葛生町に三級火薬庫型式の鉄筋コンクリート造およびコンクリートブロック造各1棟づつを準備し、9月18日に爆発実験を行った。そして火薬庫の破壊状況、爆風衝動圧の強さおよび飛散物の散布状況を観測した。

目 次

- I. 実験の目的
- II. 実験の準備 (火薬庫の構造, 使用火薬類, コンクリート強度試験等)
- III. 実験の実施
- IV. 火薬庫の爆発後の状況について
- V. 爆発圧力(衝動圧)について
- VI. 爆発飛散物について
- VII. 結 び

I. 実験の目的

火薬庫の貯蔵量と保安距離については火薬類取締法施行規則に規定されて居り、何れも理論的根拠と経験とに基くものではあるが、一方火薬庫を実際に爆発させてその状況と影響を見ると言う実験は経費等の関係上諸外国でも余り実施されていない。火薬類の不測の爆発災害事故の実例に依る経験が重要な参考資料になっている。従って予め計画された状況と諸元のもとにこの種の実験を行うことは、技術上の基準の検討の上からも、又危害予防の実務具揚の上からも、有意義であると考えられるので、先づ第一の対象として三級火薬庫を採りあげ、

- 1° 火薬庫の周囲からの延焼に際して貯蔵された火薬類が安全な状態を維持出来るか、
- 2° 万一貯蔵された火薬類が爆発したとき、どんな影響を附近に及ぼすか、
- 3° 保安距離10mを基準にすれば万一の爆発に際してどんな火薬庫の構造が妥当であるか、
- 4° 火薬類貯蔵量はどの位が妥当であるか、またその量に対してはどの位の保安距離をとらせるべきか、土堤は如何にすべきか。

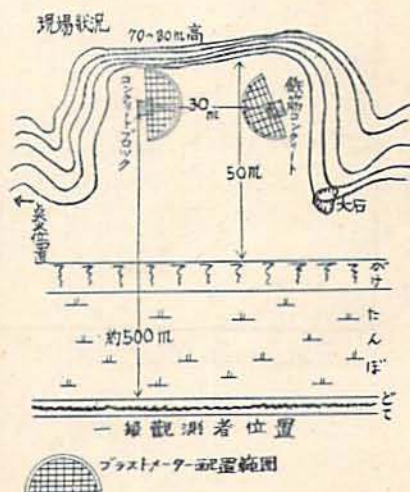
等を実験によつて知り度いと考へた。然し乍ら予算等の関係もあつて、1回にその目的を達する様な実験を行うことは出来ないので、取敢えず、予備実験的段階として、三級火薬庫に貯蔵中の火薬類が万一爆発した場合

- イ. 火薬庫の破壊状況
- ロ. 隔壁の効果
- ハ. 飛散物の形状及其の飛散状況
- ニ. 爆発の結果が附近に及ぼす影響について調査することとした。

II. 実験の準備

1° 場 所

栃木県安蘇郡葛生町郊外にある石灰石採石場跡を選定した。その理由はここは三方が70~80mの山に囲



図I 現場状況並ブラストメーター配置範囲

まれ、前方は約500mの間が田圃であつて他に保安物件がなく、かつ、約50m×50mの広さを有して居るので、直接観測にはやや地の利が不便であるが、一般観測及警戒連絡の点で優れていたからである。現場の略図を図Iに示す。

2° 測定の方法

主として目視観測によることとし、飛散物の飛散状況については、その主なるものについて原点(爆発地点)よりの方向と距離を巻尺により測定した(第VI項記述)。なお、爆発による衝動圧は、火薬庫の周囲に木柱を立て、これにとりつけた鉛板圧力測定器(以下“ブラストメーター”という。)で測定した(第V項記述)

その他補助的用具(ガラス板、戸板)の若干を準備した(第IV項記述)。

3° 火薬庫の構造

火薬庫の構造については、取り敢えず、現在省令に

規定されて居る三級火薬庫の例にならつて表1の如く屋根厚、壁厚及隔壁の厚さのみに主点を置いて定めた。準備期日も少なかつたのでコンクリートの固まり方も完全でなかつたのと、薬量小さかつたため装填比重が大きくなつたので、普通以上に“強い爆破”になつた感がある。構造は鉄筋コンクリート造及コンクリートブロック造の2種とした。構造の詳細は図IIを参照せられたい。

なお、火薬庫は何れも、特に基礎打をせず、いわば、そのまま地上に設置した(置いた)様式である。

4° 使用火薬類

イ) 爆薬は黒カーリット(過塩酸アムモニウム75 珪素鉄16, 木粉6, 重油3) 22.5kg (1箱)を開函し、ターボリン袋入(32mm, 112.5g, 50本入)のまま積み重ねて爆薬側から起爆する場合には導爆線を巻いた。

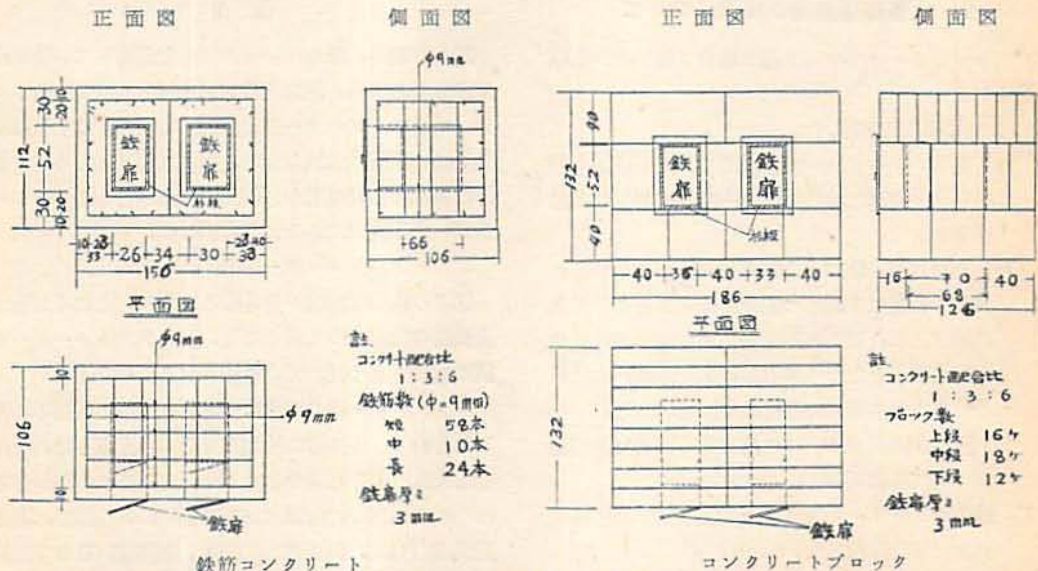
ロ) 工業雷管は6号雷管(添装薬0.45g, 点爆薬0.4g) 10,000個または2,000個を各100個入ボール箱のまま積み重ね、雷管側から起爆する場合には小箱と小箱の間に導爆線を置いた。

ハ) 起爆は瞬発電気雷管により鉄筋コンクリート造にあつては爆薬側から、コンクリートブロック造にあつては雷管側

表 1

項目 内容	屋根側壁及 隔壁の厚さ	鉄扉の 厚さ	薬室内容積	備 考
鉄筋コンクリート造	30cm	3mm	爆薬室 $d=0.218$ $52\text{cm} \times 66\text{cm} \times 30\text{cm} = 103\text{l}$ 雷管室 $52 \times 66 \times 26 = 89\text{l}$	黒カーリット 22.5kg 工業雷管 2,000ヶ 爆薬側から起爆
コンクリート ブロック造	40cm	3mm	爆薬室 $d=0.193$ $52 \times 68 \times 33 = 116\text{l}$ 雷管室 $52 \times 68 \times 36 = 127\text{l}$	黒カーリット 22.5kg 工業雷管 10,000ヶ 工業雷管側から起爆

薬室内は木板内張りである。



註
コンクリート配合比
1:3:6
鉄筋数(φ9mm)
短 52本
中 10本
長 24本
鉄扉厚さ
3mm

註
コンクリート配合比
1:3:6
ブロック数
上段 16ヶ
中段 18ヶ
下段 12ヶ
鉄扉厚さ
3mm

図II 火薬庫設計概要図

から之を行つた。

5° 使用コンクリートの強度試験

火薬庫に使用したと同一の配合及品質のコンクリートを火薬庫構築の日と同時に、円筒及角柱に成型し、之について圧縮強度と曲げ強度を試験した。結果は前者の圧縮強度が平均113kg/cm²、後者の曲げ強度が平均29.2kg/cm²、その圧縮強度が平均171kg/cm²であり、比重は約2.27kg/m³であつた。

III. 実験の実施

1° 実験の準備については既述のとおりである。

2° 準備完了前、即ち火薬類装填前に実験直接担当員以外の参加者、及一般見学者を原則として約500m離れた前方の土堤の縁迄待避させ、装填後約100m離れた山袖の蔭で発破器のスイッチを押した。

3° 合図はサイレン及手旗により行い、別に実験場所に掲げた青一白一赤の三色の旗で安全準備（一般待避）一爆発の報知とした。

4° 所要時間計画は大略次の様である。

	第 1 回	第 2 回
準備	12.30~13.00	14.30~15.00
爆発	13.00	15.00
測定、観察	13.15~14.30	15.15~16.30

5° 当日の天候は曇、なお、数日来、降雨が続いたため、コンクリートは相当湿潤であつた。

IV. 火薬庫爆発後の状況について

1° コンクリートブロック造の場合（雷管側から起爆）

- イ) 火薬庫は全壊した。
- ロ) 黒カーリットは一部が爆発し、大部分が爆燃し、また庫外に放出された一部が燃焼した形跡がある。
- ハ) ガラス戸、板戸（火薬庫外側壁からそれぞれ10mの位置に1枚づつ配置）は、ほとんど完全に破壊され、ガラス戸は枠2本を残して、ガラスは小破片となつて飛散し、また、板戸は板が小片となつて爆風の進行方向に飛散した。

ニ) 爆発衝動圧については第VI項に、また飛散物については第VII項に記述する。

2° 鉄筋コンクリート造の場合（爆薬側から起爆）

- イ) 火薬庫は全壊した。
- ロ) 工業雷管は完爆したものと認められた。

ハ) ガラス戸、板戸（火薬庫外側壁からそれぞれ30mの位置に1枚づつ配置）についてはガラス戸はガラスのみが破壊され、枠や棧は破壊されずに残存し、板戸は、約10度ほど後方に傾き、板が1枚外れたが、破壊されなかつた。ただ全面にわたり飛来破片による12~15個の貫通孔（径5mm~10mm位）があげられた。

ニ) 爆発衝動圧については第V項に記述する。

ホ) 屋根、側壁、及隔壁は、殆ど完全に粉砕されて飛散し、飛散半径の測定はできなかつたが、鉄筋、鉄扉等の飛散状況等については第VI項に記述する。

V. 爆発圧力（衝動圧）について

1° プラストメーターについて

爆薬の爆発が外界に支える影響、即ち爆発によつて生じた圧縮衝動が圧縮衝動波となつて大気中に伝播される。その波動面の圧力上昇を測定してこれに対応する衝動量を求め、薬量と距離作用の関係を知らしめ一助として図IIのような鉛板測圧器（プラストメーター）を使用した。

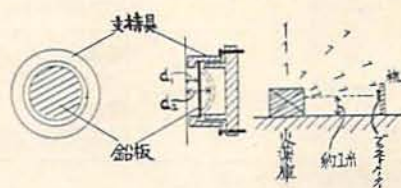


図 II

鉛板の凹み、即ち $d_2 - d_1 = \Delta d$ を測定して、予め作成された表から、圧力上昇 Δp を知るわけである。なお、プラストメーター取付要領は右のように火薬庫から適當の距離に木杭を立て、之に取付けるもので、高さは火薬庫設置地面から約1mの高さとし各メーターが同一水平面上にあるよう設置した。

2° プラストメーター配置

図Iの現場状況図からも分るように、それぞれ背面及側面の山が迫つて居ること、及プラストメーターの數に制限があつたので、鉄筋コンクリート造及コンクリートブロック造の場合について、それぞれ図Iに示したとおり、火薬庫の片側方面のみに配置した。その配置状況は図IVに示すとおりで、火薬庫の中心からそれぞれ5, 8, 10mの位置に、前正面(F.F'方向)、前側面(L.R'方向)、側面(S.S'方向)、後側面(B.B'方向)について設置した。ただ鉄筋コンクリート造の場合は

地形の関係で火薬庫扉正面方向に木杭をたてられなかつたので、その位置を左側に約20°振らせた。

なお、前述したとおり、鉄筋コンクリート造の場合は30m、コンクリートブロック造の場合は10mのところに、板戸及ガラス戸を設けたので、図Ⅳに方向のみを記入しておく。また図Ⅳで×印をつけた点では、後述するように、破損または凹みのため、測定値をとることが出来なかつた。

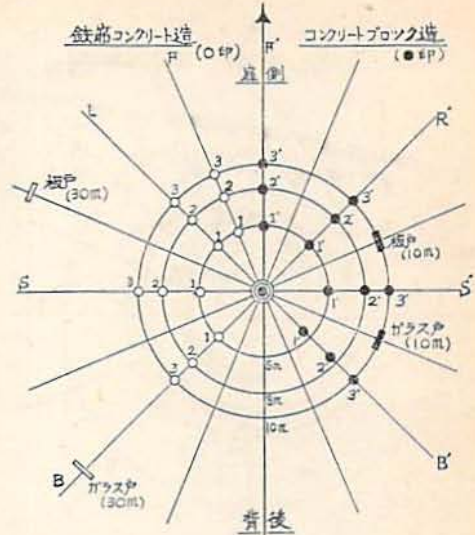
3° 測定結果について

測定された結果はそれぞれ次の表2に示すようである。

なお表中、とび、ぬけ、穴あきとあるのはそれぞれ、プラスチックが飛び、或は鉛板がぬけたり穴あきとなつて測定不能又は無意味のものである。

4° 測定結果についての考察

イ) プラスチックの位置が、地形の関係で制約されたこと、装填比重が高かつたため、火薬庫壁体飛散物が多かつたこと等によりプラスチックの破壊または鉛板の穴あきのものが多く、測定出来た数値



図Ⅳ プラスチック配置図

は約半数にすぎなかつたが、予備実験として、一応の傾向の推定はなし得ると思われる。

表2 爆発衝動圧の測定値

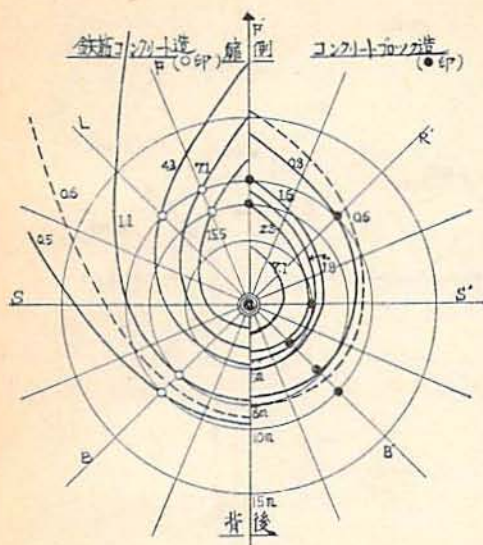
ブロック	方向	番号	火薬庫中心点からの距離 a (m)		備考	鉛板の凹み Δd (m/m)			圧力上昇 衝動量	
			a			d ₂ (m/m)	d ₁ (m/m)	Δd (m/m)	p (kg/cm ²)	i (kg/cm ²)
鉄筋コンクリート造	F	1	5.0		とび	×	10.10	×	×	×
		2	8.0		○	19.44	10.08	9.36	5.00	15.5
		3	10.0		○	16.92	10.04	6.89	2.87	7.10
	L	1	5.0		ぬけ	×	10.28	×	×	×
		2	8.0		ぬけ	×	10.02	×	×	×
		3	10.0		○	15.50	10.00	5.50	2.05	4.25
	S	1	5.0		とび	×	10.22	×	×	×
		2	8.0		穴あき	×	10.04	×	×	×
		3	10.0		穴あき	×	10.00	×	×	×
	B	1	5.0		ぬけ	×	10.14	×	×	×
		2	8.0		○	12.52	10.00	2.52	0.72	1.05
		3	10.0		○	11.49	10.00	1.49	0.38	0.45
コンクリートブロック造	F'	1	5.0		とび	×	10.00	×	×	×
		2	8.0		○	14.25	10.23	4.02	1.31	2.30
		3	10.0		○	13.87	10.50	3.37	1.04	1.55
	R'	1	5.0		穴あき	×	10.70	×	×	×
		2	8.0		穴あき	×	12.35	×	×	×
		3	10.0		○	13.02	10.83	2.15	0.59	0.80
	S'	1	5.0		○	14.00	10.06	3.94	1.28	2.20
		2	8.0		穴あき	×	10.47	×	×	×
		3	10.0		とび	×	11.03	×	×	×
	B'	1	4.5		○	13.81	10.32	3.49	1.10	1.80
		2	7.5		○	13.05	10.74	2.31	0.65	0.90
		3	10.0		○	12.57	10.31	2.26	0.63	0.85

註 1. 中心点からの距離については、小数以下二捨三入方式によつた。

ロ) 図Ⅴは、火薬庫中心(仮りに爆薬の中心とみなして)から、ある距離をへだてて衝動量(衝動密度)の等しい点を連ねたものである。換言すれば、爆薬の爆発によつて生じた衝動波の強さがこの線のような形で拡がり、減少して行くことを示す。但しプラスチック取付位置の高さにおける平面的表示である。

なお、測定値以外の中間の値については“衝動量(衝動密度)は距離の自乗に反比例して減少する”という考え方にもとづいて計算し補足したのものもある。図の左半分は鉄筋コンクリート造の場合、右半分はコンクリートブロック造の場合を表わしている。

ハ) 之についてみると
a) 爆風の強さは、



図V 衝動密度—距離関係図
(数字は衝動密度 i (kg/cm^2))

やはり火薬庫正面においてもつとも強く、つづいて側方および背面についてはさして強くない。

b) 鉄筋コンクリート造についての爆風の強さがコンクリートブロック造のそれより遙かに大きく、かつ又前方遠くおよんでいるのは、前者は爆薬、雷管ともに完爆したのに対して、後者は雷管は勿論完爆したが、爆薬は大部分が爆燃程度に留まり、一部は庫外に放出されてから燃えたことに起因するものとみられる

又一つには前者では構造がより強固であるため、完爆した爆薬が火薬庫を粉砕して、尚かつ充分な力を残したのに対し後者では、爆発の力がブロックをこわすこととその移動(推進)に使われたからと考えることができると思う。大きな飛散物(破片)は後者について特に多く、またコンクリートブロックの接合時間が短かかったことは爆発の力を押え切るには不充分だが適当な飛散物にこわれるには丁度よかつたとも思われる。

c) 図Vにおいては破線で示した線は衝動量(衝動密度)が丁度 $0.63\text{kg}/\text{cm}^2$ に当る点を連ねたものであるが、之は圧力上昇では $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ に相当するもので、ふ

つう程度の木造日本家屋を全壊させるに足るものと言われる。一方実線で示した円の一つは中心から10mの半径で囲まれた範囲である。之でみると、今回の実験の例では鉄筋コンクリート造の場合前側面から前面にかけては約25mから約40mの範囲迄は家屋が破壊される程度の作用を及ぼすが、コンクリートブロック造の場合は前側面か前面にかけて約10m~約15mの範囲迄しか爆風の直接破壊作用は及ばないと言える。然し乍ら破片の飛散については、これらの結果とは全然別であることは言うまでもない。また今回のコンクリートブロック造の場合、爆薬は恐らく完爆せず然も一部は庫外で燃えたであろうことを忘れてはならない。

ニ) 前項の結果だけからみると、三級火薬庫について

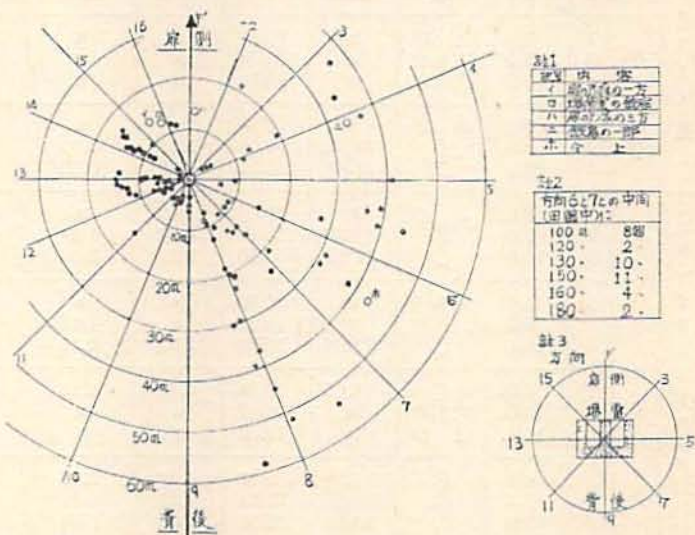
a) 火薬庫の壁の構造は、土堤がない場合については、出来る限り厚く徹丈に、即ち充分爆発圧力に耐える様にしなければならないものかどうか。

b) 保安距離を10~15mにとる場合には火薬庫(出入口)前面には防爆壁を設けたらその影響がどうか。

c) 破片の飛散に対してどのような考慮を払う必要があるか。

以上の諸点が問題である。

* 今回の実験で明かな様に、装填比重が高い場合にはいわゆる発破と同様の効果をもつわけであるから装填比重を下げることで即ち薬室容積を出来るだけ大きくすること、並にこれと同時に何らかの形で爆発圧力の逃げ道をこしらえる(放爆式)、例えば、屋根のみを



図VI コンクリートブロック造爆発飛散物状況図(縮尺 1/100)

軽量の物質で震う等の手段が必要なのかもしれない。勿論盗難防止、火災の延焼という問題があるから、今回の結果だけで結論を出すわけには行かないが、少なくとも次回にはこの様な考えを入れた構造のものについて、実験を行つてみたいと考えている。

VI. 爆発飛散物の飛散状況

1° コンクリートブロック造の場合

イ) 雷管室の部分

約10cm大以上のコンクリート片の飛散状況は、図VIに示すとおりである。

⑤～⑧の方向は約60m～100mの範囲は急斜面で測定できなかった。

なお100m以上の田圃の中にも相当数のコンクリート片が飛散した。

鉄屑の一部と認められるものが2個発見された。

ロ) 爆薬室の部分

10m～15mの範囲に多数のコンクリート片が飛散しているが、これは山の斜面が火薬庫に非常に接近しているため、飛散半径が15mに制約されたものであると考える。この方向(左前方、山側)のコンクリート片は比較的大きく、大きなものは殆んどブロックそのまままで破壊されていないものもあつた。

爆薬室の扉は変形して略正面12m～13mの位置に、又扉取付用アングルの2つに破壊されて略同距離の位置に飛散した。

2° 鉄筋コンクリート造の場合

屋根、側壁、隔壁は各室とも粉砕されて飛散し、その飛散半径を測定することができなかった。

鉄筋は曲つたり、折れたりして約15mの範囲に飛散した。

鉄屑は、一部熔融変形して飛散したと認められるもの2個を発見しただけで残部は発見できなかった。扉取付用アングルの一部が2個発見され、残部は発見できなかった。

VII. 結 び

以上、昨年行つた実験の結果について記述したが、何分、ただ1回だけの実験であるから、この結果からすぐに結論をだすことは出来ない。

できるだけ理想に近い三級火薬庫の構造上の基準を実験によつて見出すためには尚少くとも2,3回の実験が必要であろう。本省に於てこの実験を行うには予算に限りがあるので早急に多数の実験を試みて早期に結論を出すことが困難であるから、この実験を都道府県その他に於て単独に行われる機会があつたら実験の進め方に一貫性を持たせるため、予め計画について連絡して載けたら幸である。

幸にして実験によつて満足できる結論に到達すれば或いは規則の基準も改正できるものと考えられる。

本実験は前軽工業局斎藤正年局長並に前無機化学課藤田課長の理解ある配慮によつて実施の運びに至つたものであり、またその実施に当つては栃木県亀田技師の並ならぬ協力を得た。なお東大火薬学教室、日本産業火薬会、各火薬製造会社、栃木県葛生町当局および同地火薬協会の好意と後援を受けた。ここに記して感謝の意を表す。(昭和32年8月)

Field Experiment on Magazines Explosion

By M. Hamano, F. Takenouchi, S. Itō and G. Takahashi.

(Explosive Department, Inorganic chemistry Section,
Light Industry Bureau, M.I.T.I.)

In order to examine how the surroundings will be damaged in case of an accidental explosion of a magazine, this field experiment was projected, primarily from the viewpoint of safety under a certain condition previously prepared, as to how the magazine structure, storage

quantity of explosives and safety distance are related one another. In this test, the explosion was initiated inside the magazine.

The experiment was tried this time, as it were, in a stage of preliminary test. To this end, there have been built two

small "third class" magazines, one being of reinforced concrete structure and the other concrete block structure, consisting of two storage rooms separated by a partition wall, one for industrial explosives and the other for blasting caps, electric detonators etc. These two magazines were constructed according to the provisions of the current Explosive Control Law governing structure and storage quantity of a third class magazine. The magazine of the former type storing 22.5 kgs of industrial explosives and 2,000 pieces of blasting caps was initiated from on the explosives, while the latter storing 22.5 kgs of industrial explosives and 10,000 pieces of industrial blasting caps was done from on the blasting caps; thereby damaging effects of explosion was measured (by blast meters) and condition of missile hazards was observed. The reinforced concrete magazine was perfectly crushed out while the concrete block one was crushed into somewhat larger missiles, both of which in other words were totally destroyed though there was a slight difference in extent.

From the result of this test, the followings seem desirable.

1. Loading density must be lowered, viz. the volume of storage room must be as large as possible.

2. To make an outlet of damaging effect; for example, desirable is so-called explosion exposure structure in which walls on the three sides are made stout while the front side and the roof are of light material structure.

Conducting a series of further tests, we intend to establish technical standard regarding storage of explosives by getting informations as given hereunder.

1. To make such structure as to keep stored explosives in safety free from any fire hazard from the surroundings.

2. To make minimum the damage which will be given over to the surroundings in case of accidental explosion.

3. To make such structure as to perfectly protect against thieves.

4. To re-examine the relation between storage quantity of explosives and safety distance for that quantity.