

地中式火薬庫の爆発実験(第4報)

地盤の厚さと火薬庫間の距離について

蓮江和夫*, 岡 義夫*, 細川 広*,
宗正邦彦*, 中原正二*, 加藤清志*

地中式火薬庫の地盤の厚さと火薬庫間距離に関する現在の法規等の数値を見直すことを目的として、セメント・モルタルおよび鉄筋コンクリートにより作製したモデル火薬庫による爆発実験を行った。安全臨界距離として、地盤表面および隣接火薬庫に剥離が発生せず、また、隣接火薬庫に殉爆が発生しないことを条件とした。

現行法規等の数値は、本実験による剥離の生じない地盤の厚さおよび火薬庫間距離の臨界値と比較すると、モルタル製火薬庫の場合、約3倍の安全率を持ち、また、鉄筋コンクリート火薬庫の場合、火薬庫距離では6倍の安全率を持つ。殉爆の有無から判断すると、火薬庫間距離では12倍以上の安全率であった。

1. 序 論

近年、火薬庫の新設を計画しても、種々の事情から新しい用地の取得は非常に困難である。また、既存の火薬庫においては、周辺の開発や宅地化により、これまでの貯蔵量の維持が困難になるところも少なくない。本研究はこれらの隘路を打開する方法の一つとして、地中式火薬庫の地盤の厚さと火薬庫間距離に関する現在の法規等の数値を見直すことを目的としたものである。

地中式火薬庫の地盤の厚さについては、フランスの火薬類取締法規に規定されている数字を参考にして、火薬庫内で爆発が発生した場合の地盤の飛散物が地表上半径50m内に入るように計算した結果が、火薬類取締法施行規則第25条(以下規則という)に規定されている¹⁾。これを式で表すと、次のようになる。

$$D=4/3(W/g)^{1/3}-\alpha \quad (1)$$

ここに、 D は地盤の厚さ(m)、 W は爆薬量(kg)、 g は岩石係数で2であり、 α は補正係数である。しかし、 α の数値については明示がなく、爆薬量10gのオーダーから10tのオーダーまで一定値であるかどうか不明である。そこで一般的表示²⁾³⁾⁴⁾として用いられている(2)式を以下使用することにする。

$$D=KW^{1/3} \quad (2)$$

ただし、 K は常数である。

(2)式により計算すると、規則では、 $W=40,000\text{kg}$ の場合、 $D=29\text{m}$ であるから、 $K=0.85$ となる。

Odello²⁾によれば、(2)式で $K=0.2$ が住宅における衝撃、爆風を有効に減少できる最小厚さであり、 $K=0.8$ が地表面に爆風が発生しない厚さ、 $K=1.28$ がクレーターのできない厚さである。

火薬庫間距離については法規に規定はないが、殉爆を避け得る距離として、(2)式で D を火薬庫間距離(m)とした場合の $K=0.75$ を参考としている⁵⁾(以下参考値という)。この場合、地上式火薬庫の数値が地中式にもそのまま適用されている。

Odello²⁾は、地中式の火薬庫間距離について、 $K=0.52$ の場合、扉が効果的ならば殉爆は生起せず、また、 $K=0.6$ ならば、剥離飛散速度が小さく、殉爆は起こらないと報告している。

わが国では、1967年に通産省⁶⁾が地中式火薬庫の爆発実験(爆薬量75~200kg)を実施したが、地盤の厚さおよび火薬庫間距離の安全限界に関するデータは得られていない。

本研究は小型のモデル地中式火薬庫内で爆薬を爆発させ、地盤の厚さおよび火薬庫間距離の安全限界を求めることを目的とした。安全限界として、地盤および隣接火薬庫において剥離が発生しないこと、さらに隣接火薬庫において殉爆が発生しないことを条件とした。

2. 実験方法

2.1 モデル火薬庫

昭和62年10月27日受理

*防衛大学校

〒239 横須賀市走水 1-10-20

TEL 0468-41-3810

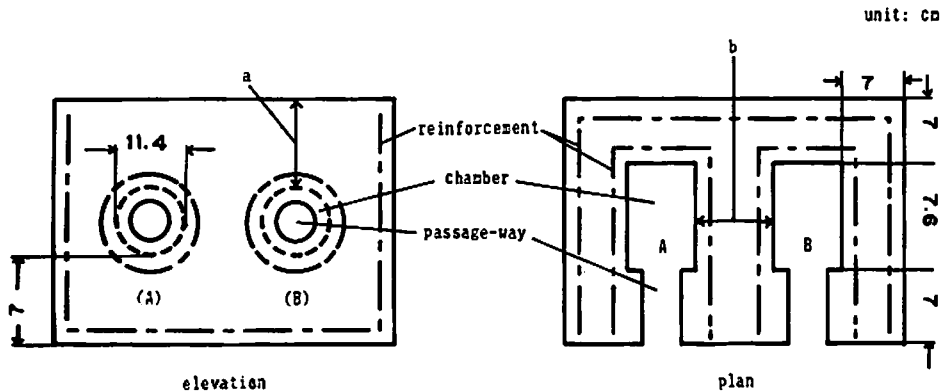


Fig. 1 Configuration of the underground magazine model
 a corresponds to depth of ground (3.4~10.8cm)
 b corresponds to distance between adjacent chamers (3.0~10.8cm)

Table 1 Dimensions of the model underground magazines in Fig. 1

No. of model underground magazine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depth of ground (cm)	3.4	4.1	8.6	5.1	8.6	4.3	6.5	8.6	10.8	8.6
Seperation distance between chamers (cm)	3.0	3.6	4.3	4.5	6.5	8.6	8.6	8.6	8.6	10.8

モルタルまたは鉄筋コンクリート(単鉄筋あるいは複鉄筋)でFig. 1のようなモデル火薬庫を作製した。鉄筋コンクリートについても実験した理由は、無筋コンクリートの強度が石灰岩程度の軟岩に相当するためである。モデル火薬庫は薬室、前室とも円筒形とし、断面積比は2.98で実験の火薬庫とはほぼ等しくした。地盤の厚さと薬室間距離はTable 1のように変えた。

セメントは普通ポルトランドセメントを、細骨材は10mmふるい全通、5mmふるい99.2重量%通過の川砂を使用した。モルタルの配合は水330kg/m³、セメント660kg/m³、砂1099kg/m³で、セメント砂比は1:1.67である。

鉄筋コンクリートの配筋には線径1mm(3メッシュ)の亜鉛引き針金を使用した。単鉄筋の場合には薬室側に配筋し、複鉄筋の場合には、さらに外側にも配筋した。

30Lのミキサーを練り混ぜに使用し、砂、セメントを3分間空練りし、水を加えてさらに2分間混合した。締め固めには棒状バイブレーターを使用した。打設後5日で脱型し、30日間水道水で湿潤養生し、次に室内で気乾養生した。実験時の材令は90~170日である。

モルタルの特性は、フロー値210~235、空気量1.33~1.65%、圧縮強度321~470kg/cm²、最大応力時縦歪は3800×10⁻⁶、初期接線圧縮ヤング率3.9×

10⁵kg/cm²、ポアソン比0.22、引張り強度38.8~39.2kg/cm²、等であった。

2.2 試料爆薬

試料爆薬にはコンポジションC-4を使用し、合成樹脂製サンプル円筒に密に充填(装填密度1.44g/cm³)し、起爆には6号電気雷管を使用した。爆薬はボール紙製の台座に乗せ、薬室の中心に位置するように設置した。

モデル火薬庫の剥離発生状況の観測実験では、試料爆薬はFig. 1のB側の薬室に装填し、殉爆実験では、同量の爆薬をA、B両側の薬室に装填した。なお、爆薬のTNT換算係数はコンポジションC-4 1.078、PETN 1.282とし、雷管添装薬量も爆薬量の計算に入れた。

2.3 剥離発生状況の観測

B側薬室に装填する爆薬量を変えて、コンクリートブロック上面および隣接薬室内壁における剥離発生の臨界距離を求めた。無筋、単鉄筋、副鉄筋のモデル火薬庫を地上に設置して実験したが、無筋で装填密度18.1kg/m³の場合については、左右両側面および後面を土中に埋めた場合についても実験した。実際の場合と同様、左右および後方には自由面がない状態にしたものである。なお、装填密度は現行火薬庫と同じ(18.1kg/m³)の場合(爆薬量TNT換算14.04g)とそれ以上の場合(爆薬量TNT換算19.41g~100.0g)とについて実験した。

Table 2 Scabbing of the model underground magazines by explosion (1)

No. of model underground magazine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Scaled depth of ground (m/kg ^{1/3})	0.141	0.170	0.356	0.211	0.356	0.178	0.269	0.356	0.448	0.356	
Scaled separation distance between chambers (m/kg ^{1/3})	0.124	0.149	0.178	0.187	0.269	0.356	0.356	0.356	0.356	0.448	
Scabbing of ground surface											
Concrete type	on the earth	×	×	○	×	○	×	×	○	○	○
	in the earth			○		○	×	○	○	○	
Scabbing of next chamber's wall											
Concrete type	on the earth	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○
	in the earth			×		○	○	○	○	○	○
Singly reinforced concrete type frame	×	○	○	○							
Doubly reinforced concrete type frame	○	○	○	○							

TNT equivalent weight of explosives : 14.04g Loading density : 18.1kg/m³

○ : Not Scabbed, × : Scabbed

2.4 殉爆実験

無筋型について薬室間距離を4.3cmとし、助爆薬および受爆薬ともにTNT換算300gまでについて実験した。

2.5 戸外爆風圧の測定

0.5または1.0mm厚の鉛板式プラストメータを庫外正面(出入口部)前方0.5~2.0mの位置に設置して最大反射過圧を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 剥離発生状況の観測

(1) 現行火薬庫と同じ装填密度(18.1kg/m³)の場合

現行火薬庫と同じ装填密度の場合の実験条件および地盤と隣接における剥離発生の有無をTable 2に示す。剥離を発生しない臨界地盤厚さは、無筋型で地表面に設置した場合には0.356m/kg^{1/3}、土中設置の場合では0.269m/kg^{1/3}となった。土中設置の方が安全である。現行法規の0.85m/kg^{1/3}は、それぞれ2.4倍および3.2倍の安全率を持っている。

隣接火薬庫の壁面に剥離が発生しない臨界火薬庫間距離は、無筋型では同様に地表面設置の場合には、0.356m/kg^{1/3}、土中設置の場合では0.269m/kg^{1/3}であった。単鉄筋型では0.149m/kg^{1/3}、複鉄筋型では0.124m/kg^{1/3}以下となっている。地中埋

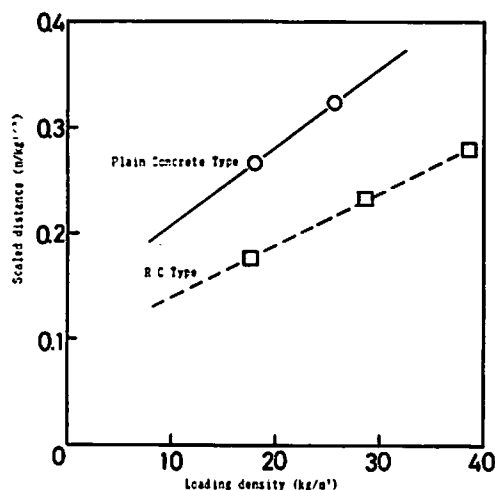


Fig. 2 Critical separation distance between the nearest chambers without scabbing

設の効果、鉄筋の効果が明白に示された。なお、現行参考値の0.75m/kg^{1/3}は安全率がそれぞれ2.1倍、2.8倍、5.0倍、6.0倍である。

(2) 装填密度を変えた場合

装填密度を変えた場合の実験条件と結果をTable 3に示す。また、剥離の発生しない臨界火薬庫間距離と装填密度との関係はFig. 2のように

Table 3 Scabbing of the model underground magazines by explosion (2)

No. of model underground magazine	7	5	8	9	3
TNT equivalent weight of explosive (g)	19.41	21.84	30.19	30.19	100.0
Loading density (kg/m ³)	25.0	28.2	38.9	38.9	129
Scaled depth of ground (m/kg ^{1/3})	0.242	0.303	0.276	0.336	0.185
Scaled separation distance between chambers (m/kg ^{1/3})	0.320	0.232	0.276	0.276	0.036
Scabbing of ground surface					
Concrete type	×	×	×	×	×
Scabbing of next chamber's wall					
Concrete type	○	×		×	×
Singly reinforce concrete type frame		×	×		
Doubly reinforce concrete type frame		○	×		

○ : Not scabbed, × : scabbed

Table 4 Sympathetic detonation in the nearest chambers of the model underground magazines

TNT equivalent weight of explosive (g)	14.04	100	300
Loading density (kg/m ³)	18.1	129	387
Scaled separation distance between chambers (m/kg ^{1/3})	0.178	0.093	0.064
No. of no-go / No. of samples	0/1	0/1	0/3

No. of the model underground magazine : No. 3 (concrete type)

なる。装填密度が増すと、臨界火薬庫間距離は増す傾向がある。また無筋型より鉄筋コンクリート型の方が臨界換算距離は小さくなり、鉄筋の効果が示された。

3.2 隣接火薬庫における殉爆

殉爆実験の条件および結果を Table 4 に示す。

300g の場合について述べると、火薬庫は長径 10cm 以下の小片に破壊されたが、回収残薬量は受爆薬量の 86~91% で全て焦げた跡がなく、砂上の漏斗孔が一つであったことから、殉爆は起こらなかったと推定し

た。この結果から、現行参考値の安全率は 3 乗根則を用いると、約 12 倍以上となる。なお、装填密度は現行火薬庫の約 21 倍である。

3.3 戸外爆風風圧

鉛板プラストメータで測定した戸外爆風圧と火薬庫入口からの換算距離の関係を Fig. 3 に示した。実験式は次のように表わされる。

$$P = 39.0(D/W^{1/3})^{-2.52} \quad (3)$$

ここで、 P は最大反射過圧 (kg/cm²)、 D は火薬庫入口から測定点までの距離 (m)、 W は TNT 換算爆薬量

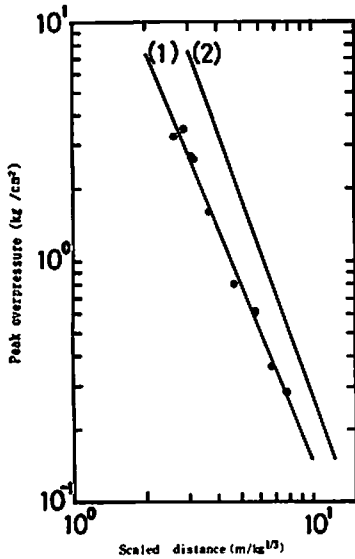


Fig. 3 Peak overpressure versus scaled distance
 (1) experimental data
 (2) reference 7

(kg)である。第2報⁷⁾のプラストメータによる爆薬の爆風値と比較すると、かなり小さくなった。今回は前室が短かったので、庫外で爆風が急速に広がったためであろう。以上の実験は小規模ではあるが、第1報⁸⁾、第2報⁷⁾の結果と矛盾するところはない。しかし、さらに大規模な実験を行い、詳細に検証することが必要である。

4. 結論

モデル地中式火薬庫の臨界地盤の厚さと臨界火薬庫間距離を求める実験を行い、次の結論を得た。

- (1) モデル火薬庫の両側面と後面を地中に埋設して自由面を無くすると、臨界値は小さくなる。モルタル、単鉄筋、複鉄筋の順に臨界値は小さくなり、安全性がより高くなることがわかった。
- (2) 現行の装填密度 18.1kg/m^3 において、現在の法規の地盤の厚さは、剥離の有無により判断すると、モルタル製火薬庫で地表面設置の場合、2.4倍、同じく地中埋設の場合で3.2倍の安全率を有することがわかった。

現在の火薬庫間距離に関する参考値は、モルタ

ル製(無筋)で地表面設置と地中埋設、鉄筋コンクリート製で単鉄筋と複鉄筋の場合、それぞれ安全率は2.1倍、2.8倍、5.0倍、6.0倍となった。

- (3) 装填密度が大きくなると、剥離を生じない臨界火薬庫間距離は大きくなる。この場合も、コンクリートより鉄筋コンクリートの方が安全である。
- (4) 殉爆の有無による臨界火薬庫間距離の実験結果では、現在の参考値は12倍以上の安全率をもつ。

なお、本実験は小規模であるから、さらに大規模での検証実験が必要である。

本実験の実施に当たって、陸上自衛隊吉井野薬支処研究室に機器等の援助を賜り、実験では防衛大学校本科学士山元辰也氏及び新開正則氏の、報告の作成については同校研究科学生足立哲彦氏の協力を受けた。また、本研究は第15回火薬工業技術奨励会の研究助成金によって行うことができた。付記して謝意を表する。

文 献

- 1) 日本産業火薬会資料編集部，全国火薬類保安協会共編，「火薬類取締法令集の解説」，208(1980)
- 2) R. J. Odello, Origins and Implications of Underground Storage Regulations, The 19th Explosives Safety Seminar, 1161 (1980)
- 3) A. J. Jensen, History and Present Activities of the Klotz-Club and General Comments on Underground Ammunition Storage in Rock, Minutes of the Twenties Explosives Safety Seminar, 1241 (1982)
- 4) B. E. Vretblad, Model Tests for Underground Ammunition Storage Facilities, *ibid*, 1271 (1982)
- 5) 日本産業火薬会資料編集部，全国火薬類保安協会共編，「火薬類取締法令集の解説」，201(1980)
- 6) 通産省化学工業局，同工業技術院，昭和42年度滋賀県(饗庭野)における爆発実験報告，43(1968)
- 7) 中原正二，元場昭夫，加藤慎一，地中式火薬庫の爆発実験(第2報)構造体外の応答，工業火薬，46(4)，219(1985)
- 8) 倉持二郎，藤本一男，高根沢吉夫，中原正二，地中式火薬庫の爆発実験(第1報)構造体の応答，工業火薬，46(4)，207(1985)

Explosion Tests in Model Underground Magazines(N)

On Depth of Ground and Distance between Adjacent Chambers

**by Kazuo HASUE*, Yoshio OKA*, Hiroshi HOSOKAWA*,
Kunihiko MUNEMASA*, Shoji NAKAHARA*
and Kiyoshi KATOH***

Explosion tests in model underground magazines were carried out to inspect the depth of ground and the distance between adjacent chambers defined by the Japanese laws and regulations.

In this paper, the distances that scabbing does not occur on the ground surface or on the wall of the adjacent chamber of the magazine models, or sympathetic detonation does not take place in the adjacent chamber were studied.

The depth of ground and the distance between adjacent chambers defined by the laws and regulations were three times larger than the distances of concrete magazine models for the scabbing tests.

The distance between adjacent chambers defined by the laws and regulations was more than twelve times larger than the distance obtained for the sympathetic detonation tests.

(*The National Defence Academy, 1-10-20, Hashirimizu, Yokosuka-shi,
Kanagawa-ken, 239, Japan)