

不発弾の処理時等における安全化対策等の検討結果

報 告 書（案）

《抜 粋》

平成27年3月

沖縄不発弾等対策協議会 専門部会 ワーキングチーム

目 次

はじめに	1
ワーキングチーム名簿	1
1. 不発弾が爆発した際の周辺への影響について	2
1-1 シミュレーションによる弾殻破片飛散計算	2
1-1-1 計算条件	2
1-1-2 シミュレーション結果	5
1-2 建物における対策	9
1-3 避難範囲低減の可能性(参考資料)	17

関係資料

- A. シミュレーション・データ A1～A23
- B. 振動測定結果図表 B-1～B-3
- C. 収集資料 南風原町字新川地内不発弾処理作業資料 C-1～C-18
 不発弾安全化処理事例（写真等） C-19～C-28
- D. 用語解説 D-1～D-4
- E. 学術資料収集及びデータ収集結果 E1～E5

はじめに

沖縄県は、第二次世界大戦において激しい艦砲射撃、砲爆撃を受け、地上戦闘の場となったため、戦後 69 年を経過した今日でも、不発弾等の発見件数は依然として高い水準にある。これらの不発弾等は、地中に埋没して年月が経過しているものの、その殺傷力、破壊力は全く変わりなく、極めて危険であり、県民の生命と生活を脅かすものとなっている。

近年、不発弾の処理に際し、これまでの処理スキームに収まらない専門的知見が必要なものの、現場の経験にて処理せざるを得ない事案が発生したことを受け、不発弾が爆発した際の周辺への影響、工事振動が不発弾に与える影響について検討を行い、避難区域内に避難困難者がいた際の対策、代表的な建設機械の振動限度を提案するとともに、確認探査や工事実施に際しての安全化対策についてとりまとめた。

ワーキングチーム名簿

国立沖縄工業高等専門学校 校長	伊東 繁 座長
琉球大学 工学部 環境建設工学科 助教	神谷 大介
立命館大学 総合理工学部 特任教授	早川 清
琉球大学 工学部 環境建設工学科 准教授	原 久夫
内閣府 沖縄総合事務局 開発建設部 企画調整官	
陸上自衛隊 第十五旅団 第 1 補給整備班長	
沖縄県 知事公室 防災危機管理課長	
沖縄県 土木建築部 技術管理課長	

1 不発弾が爆発した際の周辺への影響について

平成 23 年 9 月、南風原町サマリヤ人病院の敷地で発見された不発弾処理をする際、避難区域内に避難困難者がいる中で、爆発時にどのようなリスクがあるか整理することができないまま、不発弾の安全化処理を行うこととなった。

このため、避難区域内に避難困難者がいるようなケースでの不発弾の安全化処理の際に、科学的・専門的知見に基づく安全対策を検討するため、不発弾が爆発した際の周辺への影響について、不発弾の諸元データに基づきシミュレーションを実施し、爆発による粒子の速度分布や飛散物等の影響を把握し、不発弾処理時に不発弾が爆発した場合のライナープレートによる有効性等について科学的に分析する。

更に、不発弾の安全化処理時においては、避難区域内では住民等の全員避難が大前提であるが、避難困難者が避難区域内にいる中での建物への防護策について、過去に実施した対策の有効性等を科学的に検証し、建物内の避難のあり方、避難に当たっての留意事項をとりまとめる。

なお、本報告書において、避難困難者とは、現在、居室している建物から避難先の建物に移動することによって生命の危険を伴う人（例えば重病人等）を指す。

1-1 シミュレーションによる弾殻破片飛散計算

1-1-1 計算条件

(1) 弾殻破片飛散の検討方法

不発弾が爆発した際の弾殻破片飛散については、数値シミュレーションを用いて、以下の条件で計算することとした。

(2) 検討対象の不発弾の種類

沖縄県内で不発弾処理時に避難対象となる不発弾のうち、5 インチ砲弾、50kg 爆弾、125kg 爆弾、250kg 爆弾、500kg 爆弾の 5 種類を選定した。

(3) 砲爆弾の諸元

既往資料¹⁾より、対象 5 弾種について砲爆弾の諸元（爆薬重量、外殻の重量・材質特性・寸法・肉厚等）を検討した結果を表 1-1(a)、(b)に示す。

表 1-1 砲爆弾の諸元

(a) 5 インチ砲弾

弾 種	5 インチ砲弾			
	5-inch A.A. Common			
		Mk 31 Mods 1-11	Mk 34 Mod 10	Mk 35 Mods 1-12
使 用 砲		5"/38	5"/38	5"/38
全 体 長	弾 頭 信 管 含 む	52.58cm	52.58cm	52.58cm
	弾 頭 信 管 含 ま ず	42.23cm	43.69cm	43.75cm
弾 底 直 径		12.62cm	12.62cm	12.63cm
弾 底 ～ 弾 帯 距 離		6.17cm	6.17cm	6.17cm
弾 帯 幅		5.72cm	5.72cm	5.72cm
定 心 部 直 径		12.66cm	12.66cm	12.66cm
外 殻 肉 厚		1.00cm	1.00cm	1.00cm
外 殻 材 質		鋼鉄	鋼鉄	鋼鉄
爆 薬		Exp. D, Comp. A	Exp. D, Comp. A	Exp. D, Comp. A
爆 薬 重 量		3.29kg	3.29kg	3.29kg
全 体 重 量		25.00kg	25.03kg	25.03kg
爆 薬 / 全 体 重 量 比		13.16%	13.14%	13.14%
弾 薬 包		Mk 5	Mk 5	Mk 5

(b) 50kg 爆弾、125kg 爆弾、250kg 爆弾、500kg 爆弾

弾 種	50kg 爆弾	125kg 爆弾	250kg 爆弾	500kg 爆弾
	100lb G.P. AN-M30A1	250lb G.P. AN-M57A1	500lb G.P. AN-M64A1	1000lb G.P. AN-M65A1
全 体 長	91.44cm	115.32cm	144.27cm	170.43cm
弾 体 長	73.66cm	91.44cm	114.30cm	134.87cm
弾 体 直 径	20.83cm	27.69cm	36.07cm	47.75cm
外 殻 肉 厚	0.41cm	0.69cm	0.76cm	1.27cm
外 殻 材 質	鋳鉄	鋳鉄	鋳鉄	鋳鉄
尾 翼 長	24.77cm	30.73cm	35.31cm	46.99cm
尾 翼 幅	27.94cm	37.85cm	48.01cm	64.52cm
尾 翼 重 量	1.59kg	2.72kg	5.58kg	9.75kg
爆 薬	TNT	TNT	TNT	TNT
爆 薬 重 量	25.85kg	58.51kg	121.11kg	253.10kg
全 体 重 量	52.16kg	117.93kg	238.14kg	449.06kg
爆薬／全体重量比	49.6%	49.6%	50.9%	56.4%

(4) シミュレーションの計算条件等

5種類の弾種ごとに、埋没状態4ケース（深度0m、0.5m、1.0m、2.0m）とライナープレート形状3ケース（図1-1参照）、合計35ケースについてシミュレーションを行った。形状1は現在用いているもので、形状2、3はそれぞれライナープレート出口に向かって狭めた形状のものとした。

なお、シミュレーションはライナープレートの形状により弾殻破片飛散距離にどのような変化があるか検討するために実施した。

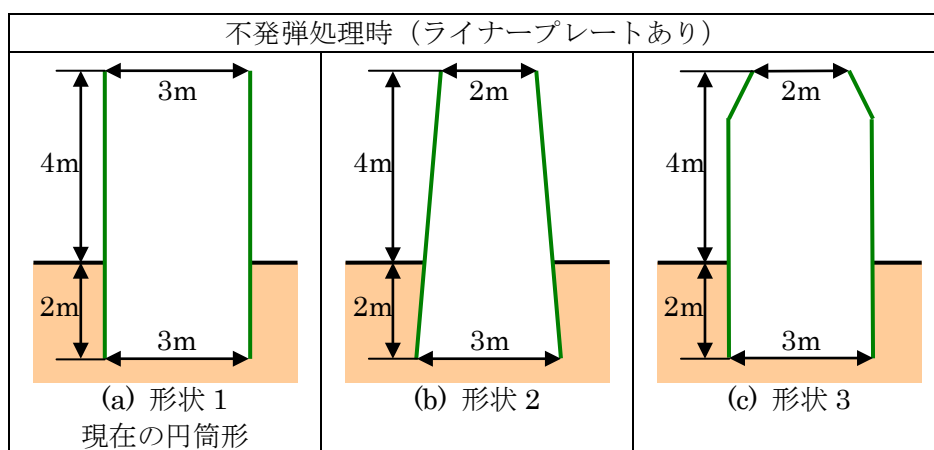


図1-1 ライナープレートの形状

(5) 対象土質

沖縄本島中南部に広く分布する島尻層群泥岩の風化土であるジャーガルとした。

(6) 動的特性データ取得

シミュレーションに対象土の動的特性データを得るために、ジャーガルのボーリングコア試料を用いて動的特性データを取得した。動的特性を得るための実験にはインピーダンスマッチング法を用い、ジャーガル土壌中の衝撃波伝播挙動を実験的に捉えることで、数値シミュレーションに必要なパラメータ値を算出した。

(7) シミュレーション手法

不発弾が爆発した際の周辺への影響を評価するため、(3)砲爆弾の諸元を用いて砲爆弾のモデル（3D-CADによる実形状のモデル化）を作成し、(6)ジャーガルの動的特性データを入力して、弾殻破片や土砂の飛散状況を詳細に計算して視覚的に表現できる粒子法的一种であるSPH（Smoothed Particle Hydrodynamics）法を用いて数値シミュレーションを行った。

しかし、弾殻破片や土粒子の挙動を数値シミュレーションによって詳細に把握しようとした場合、数百 m 遠方まで飛散すると考えられる弾殻破片の挙動を高い精度でシミュレーションすることは困難である。よって、SPH 法によって得られた爆発点近傍における弾殻粒子の座標と速度ベクトルを入力データとして、空気抵抗を考慮に入れた弾道計算によって高い精度で弾殻破片の飛散距離を求めることとした。なお、弾殻粒子とは、シミュレーションにおける弾殻破片の計算モデルをいう。

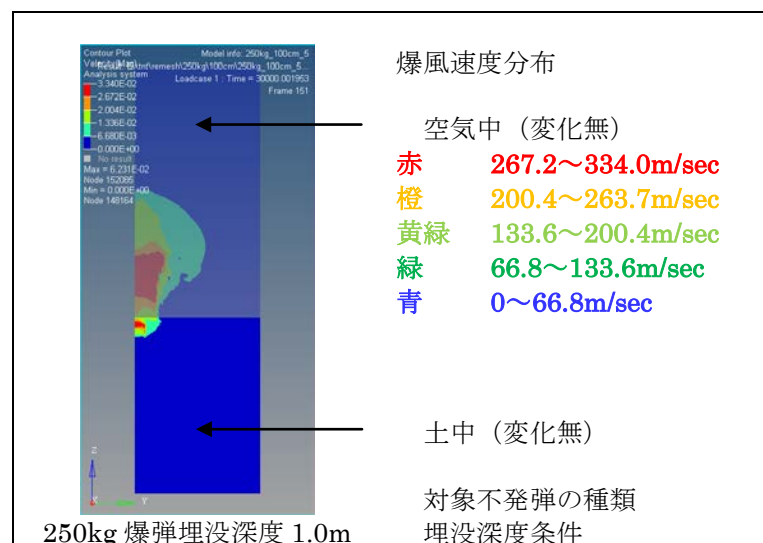
1-1-2 シミュレーション結果

(1) ライナープレートの有無による爆発時の爆風速度分布

ライナープレートによる不発弾処理時の安全対策の有効性について、検討対象とした 5 弾種のうち沖縄県内で発見数の多い 250kg 爆弾、50kg 爆弾、5 インチ砲弾の 3 弾種により、ライナープレートの有無による爆発時の爆風速度分布を図 1-2 に示す。ライナープレートが無い場合には、地表面上を半円状に爆風が広がる傾向を示し、特に埋没深度 0m の場合には真横方向へも拡散する傾向を示している。しかし、図 1-2 右列のようにライナープレートがあった場合には、爆発時の爆風がライナープレートの形状に沿って上方のみに拡散することが判った。

不発弾が爆発した際の周辺への影響としては、衝撃波、爆風、弾殻破片及び土砂の飛散が考えられる。図 1-2 より、不発弾処理時（ライナープレートあり）の場合、衝撃波や爆風は処理壕の近傍にしか影響を及ぼさないことがわかる。よって、不発弾処理時にライナープレートを設置することは、安全対策に有効であることが確認された。

以下に図 1-2 に示すシミュレーションによる爆風速度分布の凡例を示す。速度は青から赤に変化するにしたがい値が増加する。



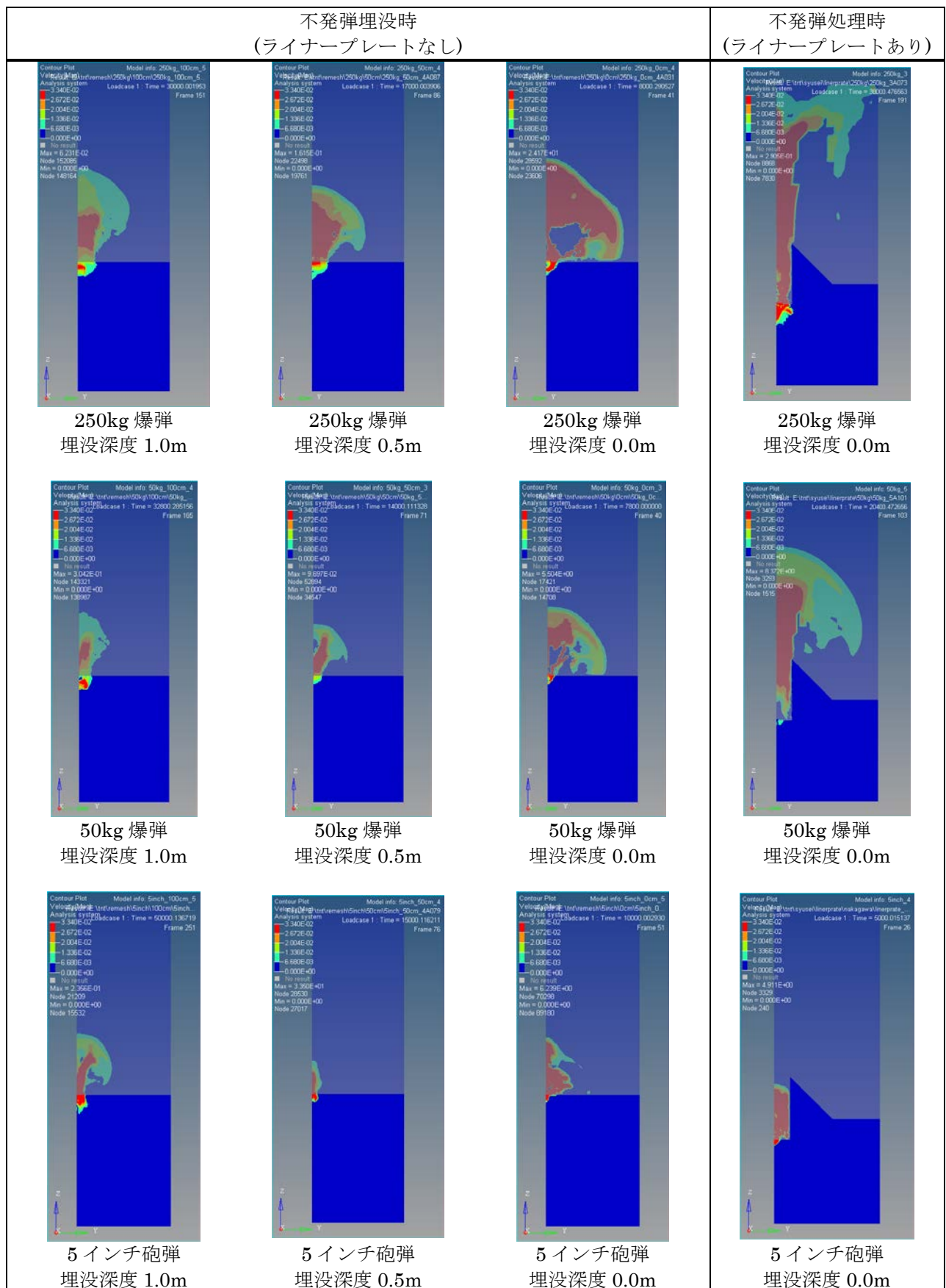


図 1-2 シミュレーションによる爆風速度分布

(2) 弾道計算におけるパラメータの設定

米国国防総省の爆薬安全委員会資料²⁾を参考にして、沖縄における弾道計算におけるパラメータを表 1-2 にまとめた。弾道計算におけるパラメータは、重力加速度と地表気温を那覇市における値としている。

表 1-2 弾道計算におけるパラメータ

砲爆弾	質 量 (kg)	底面積 (m ²)	初 速 (m/sec)	重力加速度 (m/sec ²)	地表気温 (°C)	空気抵抗 係数C _D
5 インチ砲弾	0.087	0.001036	1424	9.791	23.0	1.00
50kg 爆弾	0.045	0.000668	2665	9.791	23.0	1.00
125kg 爆弾	0.131	0.001361	2528	9.791	23.0	1.00
250kg 爆弾	0.194	0.001768	2625	9.791	23.0	1.00
500kg 爆弾	0.546	0.003525	2482	9.791	23.0	1.00

(3) ライナープレートの形状による弾殻破片飛散挙動

ライナープレートの形状を変えることによる弾殻破片飛散の影響を分析した。表 1-3 にシミュレーション及び弾道計算によって得られた弾殻破片の挙動に関する計算結果を示す。

表 1-3 不発弾処理時におけるシミュレーション結果と弾殻の最大飛散距離

砲爆弾	ライナープレート形状	弾殻粒子数			最大速度 (m/sec) ^{※3}	速度 倍率 ^{※4}	最大飛散距離 (m) ^{※5}
		総数	飛散 ^{※1}	非飛散 ^{※2}			
5 インチ 砲弾	形状 1	866	52	814	919	1.550	156
	形状 2	866	29	837	919	1.550	88
	形状 3	866	29	837	919	1.550	88
50kg 爆弾	形状 1	1763	66	1697	1427	1.868	166
	形状 2	1763	33	1730	1427	1.868	113
	形状 3	1763	33	1730	1427	1.868	113
125kg 爆弾	形状 1	5832	188	5644	1503	1.682	249
	形状 2	5832	126	5706	1503	1.682	179
	形状 3	5832	126	5706	1503	1.682	179
250kg 爆弾	形状 1	7337	265	7072	1636	1.605	283
	形状 2	7337	142	7195	1636	1.605	201
	形状 3	7337	142	7195	1636	1.605	201
500kg 爆弾	形状 1	14821	844	13977	1850	1.342	394
	形状 2	14821	396	14425	1850	1.342	292
	形状 3	14821	396	14425	1850	1.342	292

※1 飛散：処理壕の外側へ飛散する弾殻粒子の数を表す。

※2 非飛散：処理壕の外側へ飛散しない弾殻粒子の数を表す。

※3 最大速度：シミュレーション結果より得られた全弾殻粒子における最大の速度値を表す。

※4 速度倍率：最大速度を表 1-2 に示す「初速」の値に換算するために、各弾殻粒子の速度に掛けた値である。

※5 最大飛散距離：シミュレーション結果による弾殻粒子の座標と速度ベクトルより弾道計算にて求めた値である。

「最大飛散距離」は、処理壕の外側へ飛散する弾殻破片について、表 1-2 に示すパラメータを用いて、以下の仮定の下で弾道計算を行って求めた値である。

- ① 砲爆弾は処理壕の底面中心で爆発するものとし、弾殻破片がライナープレートで反射する場合、速度が低下し、飛散距離が減少することを踏まえて、弾殻破片はライナープレートで反射することなく、直線的な軌跡で放出されるものとする。
- ② ライナープレートには破壊や変形が生じないものとする。

図 1-2 に示すシミュレーション結果より、土砂も処理壕から遠方には飛散しないことが判る。したがって、以降は周辺に影響を及ぼす危険性が最も高い弾殻破片について検討することとする。

ライナープレートの形状変更による弾殻破片の飛散挙動は表 1-3 より、形状 1（現在の円筒形）に対して、形状 2 及び形状 3 では飛散する弾殻粒子数が 33～53%減少し、弾殻破片の飛散距離も 26～44%縮小することが判明し、形状 2 及び形状 3 で飛散する弾殻粒子数は同数となった。

弾殻破片や土砂の飛散状況を詳細に計算して視覚的に表現できる SPH 法によるシミュレーションを行った結果、ライナープレート内で弾殻粒子が跳ね返ると急激に飛散速度が減少することが判明した。仮にライナープレート内で跳ね返った弾殻粒子がライナープレート外部に飛散しても最大飛散にはならないため、跳ね返った弾殻粒子は非飛散として区分した。処理壕より飛散する弾殻粒子数は上部開口部の口径面積のみに依存することから、形状 2 と形状 3 における飛散する弾殻粒子数は同数となった。

一方、SPH 法によりライナープレート内での弾殻破片の挙動を詳細にシミュレーションした場合、同様の精度をもって遠方までの飛散挙動をシミュレーションで計算することは技術的に困難であることから、シミュレーション結果より得られた弾殻粒子の座標と速度ベクトルより、弾道計算にて弾殻破片の最大飛散距離を算出した。よって、弾殻破片の最大飛散距離についても形状 2 と形状 3 は同距離となった。

また、ライナープレートの口径を上方ほど小さくすることにより、爆風の速度や圧力が変化し、これらが弾殻破片の速度に影響を及ぼす可能性が考えられるが、シミュレーションの結果より、ライナープレートの形状を変更しても、弾殻破片の速度（表 1-3 最大速度）と比較すると爆風の速度（5 頁図 1-2 凡例）がかなり低速であることから、弾殻破片の速度には変化が生じないことが判った。

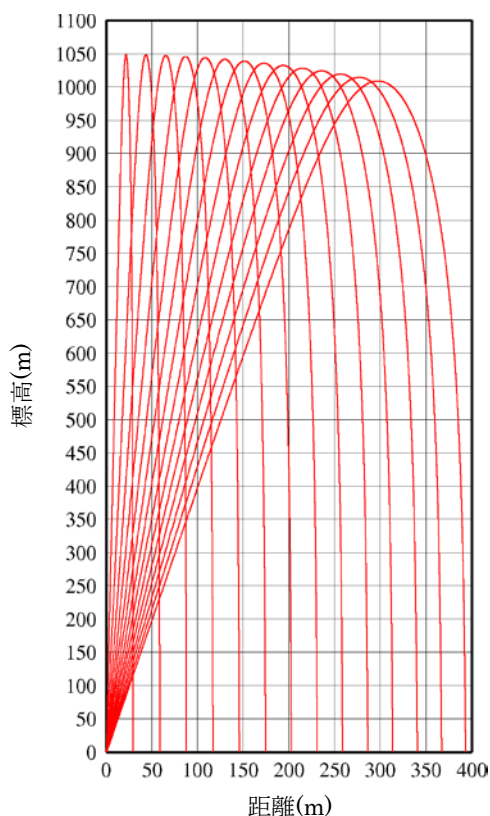
ただし、弾殻破片の最大速度に変化がないため、危険であることには変わりがなく、実際の現場では運用面や費用等において、更なる課題を整理していく必要がある。

これらシミュレーション結果は、机上において影響範囲を把握するための手段であって、実際の影響範囲が結果と同様になるとは限らず、計算条件により結果も変わってくることに留意する必要がある。

1-2 建物における対策

(1) 周辺建物への弾殻破片飛散の特徴

不発弾の安全化処理時においては、避難区域内では住民等の全員避難が大前提であるが、避難区域内に避難困難者がいた場合の対策として、弾道計算によって弾殻破片の飛散軌跡を描き、建物における被害の考え方を整理した。



500kg 爆弾の最大弾殻破片の計算条件
初速 2482m/sec、質量 546g、断面積 35.25cm²
図 1-3 弾殻破片の飛散軌跡図

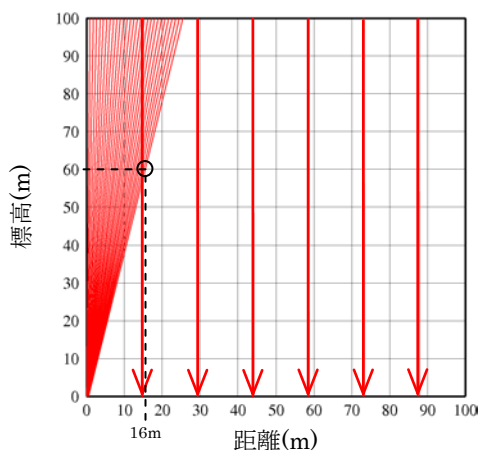


図 1-4 爆発点付近拡大図

射出角：76.0～89.5°、0.5° 間隔

爆発点から離れた地点における建物の被害について検討するにあたって、まず不発弾処理時の弾殻破片の飛散挙動を計算する上で、以下の仮定を行った。

- ① ライナープレート及び盛土には破壊や変形が生じないものとする。
- ② 砲爆弾は処理壕の底面中心で爆発し、弾殻破片はライナープレートで反射することなく、放出されるものとする。
- ③ 弾道計算には空気抵抗を含める。

以上の仮定の下で、ライナープレートの高さを 6.0m（地上 4.0m、地下 2.0m）、直径を 3.0m（図 1-1(a)参照）として、最も飛散距離が大きい 500kg 爆弾の最大破片の飛散軌跡を表 1-2 のパラメータを用いて求めた軌跡図が図 1-3 である。横軸は爆発点からの水平距離、縦軸は標高で、標高 0m を地表面にとっている。爆発点からの射出角の範囲は 76～89°、間隔は 1°としている。弾殻破片の飛散挙動に関する特徴は、以下のとおりである。

- ① 図 1-4 に示す様に弾殻破片は爆発点（距離 0m、標高 -2m）から赤線に沿ってほぼ上方に飛散し、爆発点から距離約 16m 以遠では、高さ 60m を超える（黒丸参照）。よって、超高層建築物でなければ、距離 16m 以上離れた建物では、弾殻破片は赤矢印のようにほぼ真上から落下してくる。
- ② ライナープレートがあることにより、弾殻破片の射出角が高角度に限定されるため、弾殻破片の着地速度は射出角が変化してもほとんど一定の値を示す。最も大きい 500kg 爆弾の最大破片の着

地速度は約 50.4m/sec になる。

(2) 弾殻破片の衝突による建物への影響

不発弾処理時について、前述した弾殻破片の飛散挙動に基づけば、爆発点から離れた地点にある建物における被害に関して、以下のように推測することができる。

- ① 弾殻破片はほぼ真上から落下してくるため、最も被害が生じる可能性が高いのは建物の屋根である。
- ② 同じ質量をもつ弾殻破片の着地速度は爆発点からの水平距離が変わってもほぼ一定値を示すため、建物の被害程度は爆発点から離れるほど低減するわけではない。むしろ、爆発点から離れた地点に質量が大きく、高速度の弾殻破片が落下してくる可能性がある。
- ③ 弾殻破片の質量が大きく、その速度が速いほど建物の被害は大きくなると考えられ、この条件に該当するのは、対象 5 弾種のうち 500kg 爆弾の最大破片である。

砲爆弾の爆発によって生じる弾殻破片は、質量が大きいものは数が少なく、質量が小さいものは数が多くなる。(1)の結果より、質量の大きな少数の弾殻破片が遠距離に落下し、質量の小さい多数の弾殻破片が近距離に落下することになる。

以上の建物の被害予測に基づき、コンクリート構造物（無筋）の壁に弾殻破片が垂直に衝突した場合の被害程度について検討した。

飛翔体がコンクリート構造物に衝突した際の主な局部破壊現象は、図 1-5 に示すように、表面破壊、裏面剥離及び貫通に分けられる。

表面破壊における飛翔体の貫入長を「貫入深さ」、裏面剥離を生じさせないための最小板厚を「裏面剥離限界厚」、そして貫通させないための最小板厚を「貫通限界厚」という。

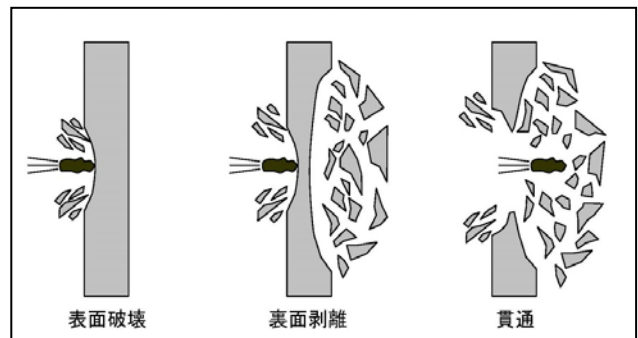


図 1-5 弾殻破片衝突によるコンクリート構造物の局部破壊現象

これらの諸量を評価するための計算式は多数提案されているが、ここでは最も広く利用されている修正NDRC式³⁾を用いて評価することとした。

最も建物への被害が大きくなると考えられる 500kg 爆弾の最大破片（質量 546g、断面直径 6.70cm、着地速度 50.4m/sec）に対して、建物コンクリート（無筋）の圧縮強度を 24MPa と仮定して、貫入深さ、裏面剥離限界厚及び貫通限界厚を計算した結果を表 1-4 に示す。

表 1-4 弾殻破片に対するコンクリートの貫入深さ、裏面剥離限界厚及び貫通限界厚

先端形状に関する係数	貫入深さ (cm)	裏面剥離限界厚 (cm)	貫通限界厚 (cm)	備 考
1.00	1.31	9.05	3.99	先端形状：球状
1.14	1.40	9.57	4.24	先端形状：鋭角

500kg 爆弾の最大破片、コンクリートの圧縮強度 24MPa の場合

建物のコンクリート板厚に関して、弾殻破片の貫入の際に最も厚くなるのは裏面剥離限界厚で、約 10cm になる。なお、鉄筋コンクリートにおける裏面剥離限界厚や貫通限界厚は、無筋コンクリートに比べてより小さな値になると考えられ、この約 10cm という限界厚は安全側の値であると言える。

避難区域内にあるコンクリート製の建物内に避難困難者がいる場合には、上記の限界厚以上のコンクリート厚がある場合、下の階に移動するとともに、窓から離れた位置に退避できるのであれば、弾殻破片による影響は小さくなると考えられる。ただし、厚さ 10cm 以上のコンクリート建物の安全を保障するものではない。

一方、沖縄県の木造建物の屋根に使われている瓦については、その強度が不明のため、弾殻破片に対する被害程度を推定することは困難であるが、瓦とそれを固定している漆喰を含めた屋根全体の強度はコンクリートよりも低いと考えられる（図 1-6 参照）。


	構造	木造建物	厚さ 10cm 以上のコンクリート製の建物
	避難	全員避難	安全確保のため全員避難

図 1-6 建物による避難のあり方

以上のように、不発弾処理時の場合について、爆発点から離れた地点における弾殻破片の衝突による建物への影響を推定したが、これらの結果は、ライナープレートや盛土に破壊や変形が生じず、弾殻破片の射出角が高角度に限定されるという仮定の下に導かれたものであり、また、これらの計算において風の影響を加味していない。これらの仮定等が成り立たない場合には、爆発点の近傍にある建物の側壁に弾殻破片が飛散してくる可能性もある。

以上の仮定も含め、不発弾の安全化処理時においては、避難区域内では住民等の全員避難が大前提であり、原則として個々の建物内に避難することは認められない。

(3) 建物開口部への補助的な対策

ライナープレートを用いて不発弾の安全化処理を行う場合、ライナープレートに破壊や変形が生じなければ、高角度で上方に飛散する弾殻破片は16m以上離れた建物では真上から落下すること(9頁①参照)より、避難困難者が残らざるを得ない建物の開口部に補助的な対策を考えた。参考になる資料として各都道府県で定めている火薬類消費計画書における危害予防の方法、サマリヤ人病院の避難対策例などが考えられる(表1-5)。火薬類消費計画書は飛石に関する対策であり、サマリヤ人病院の避難対策例は科学的根拠に基づいて実施したものではないが、建物開口部への補助的な対策を検討するにあたって、これら事例を参考にして検討することとした。

表 1-5 防護対策例

火薬類消費計画（危害予防の方法）		サマリヤ人病院事例	
対象物	防護資材名	対象物	防護資材名
土中発破	防爆シート、防爆マット、 たたみ、こも俵	ドア	コンパネ、たたみ
		ガラス窓	コンパネ、たたみ、 カーテン
飛石防止	防護柵、飛石防止柵		

上記事例を参考にし、有効と考えられる建物開口部（ドア、ガラス窓）等の防護策を検討した結果を表1-6に示す。

表 1-6 防護策及び設置箇所

開口部	防護策	設置箇所	注意点
ドア	コンパネ、たたみ	弾殻破片や爆発の衝撃によりドアやガラス窓の破損防止が可能な位置	緊急時に誰でも取り外しができる固定方法を選択
ガラス窓	コンパネ、たたみ、カーテン 防爆シート、飛散防止フィルム		

不発弾の安全化処理時においては、避難区域内では住民等の全員避難が大前提であるが、避難困難者が建物内に残った場合は、ドアやガラス窓（開口部）へ近づかないことを基本とする。

開口部の防護策として調達や設置・撤去が可能で、飛散する弾殻破片等に対して有効と考えられるコンパネやたたみを用いるべきと思われる。なお、飛散する弾殻破片は主に上方から落下すると考えられるが、飛散する弾殻破片の大きさや数、形状は不明であることから、コンパネやたたみの強度で弾殻破片飛散を全て防ぐことは困難な可能性もあり、14頁以降で示す「(4) 建物内の避難のあり方」である「不発弾処理地点から3枚以上のコンクリート壁を隔てている部屋」に移動することを基本としたうえで表1-6の防護策を補助的な対策として実施する。また、現場条件によっては防爆シートやカーテンを設置することにより、窓ガラスが破損した場合の飛散被害を減らす効果も期待できる。更に、窓ガラスに対する飛散・脱落防止対策として、飛散防止フ

フィルムを貼り付けることも考えられる。しかしながら、個々の現場状況に応じて適切な対策を総合的に検討する必要がある。

※防護策の設置方法

防護策に用いるコンパネやたたみは、次頁図 1-7 に示す様にドアや窓ガラスの外側（不発弾処理壕側）に設置する。これらは、万が一、不発弾が爆発した場合に、爆風や土砂、弾殻破片飛散等の影響を防止または減少させるために設置するもので、建物内で最も弱い開口部（ドアやガラス窓）を防護することを目的とする。また、2 次避難など緊急避難の必要が生じた場合を想定してコンパネやたたみを固定する器具等を誰でも解除できるような取り付け方が必要である。

(4) 建物内の避難のあり方

不発弾の安全化処理時においては、避難区域内では住民等の全員避難が大前提であるが、避難困難者が避難区域内にいた場合には、避難する建物や部屋等を選定するに当たり、個々の現場状況に応じて適切な対応を総合的に検討する必要がある。

① 避難困難者の把握

自治体より区長等を通じて近傍の建物に居住する住民、病院の患者や老人施設の高齢者より、避難困難者人数及び位置を報告してもらい、その資料を基に居住建物構造等を調査し、対策全体計画の基礎資料とする。

② 避難する建物や部屋を選定条件（図 1-7(1)、(2)、(3)参照）

避難困難者が建物内に残る場合は、できる限り以下の条件に沿って避難する部屋を選定する。

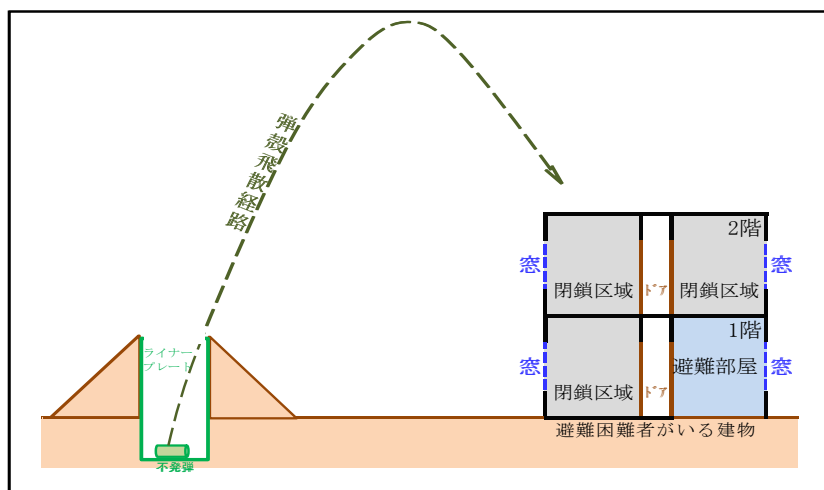


図 1-7(1) 避難部屋選定模式図（断面図）

- ・ コンクリート壁で2方向以上囲まれた部屋
- ・ 不発弾処理地点から3枚以上のコンクリート壁を隔てている部屋
- ・ 家具や窓から離れた避難が可能な広さ
- ・ 2次避難を考慮し原則は1階に避難
- ・ 開口部が少なく、開口部にガラス窓が少ない部屋
- ・ 開口部がある場合は処理壕と建物や壁が斜交する部屋

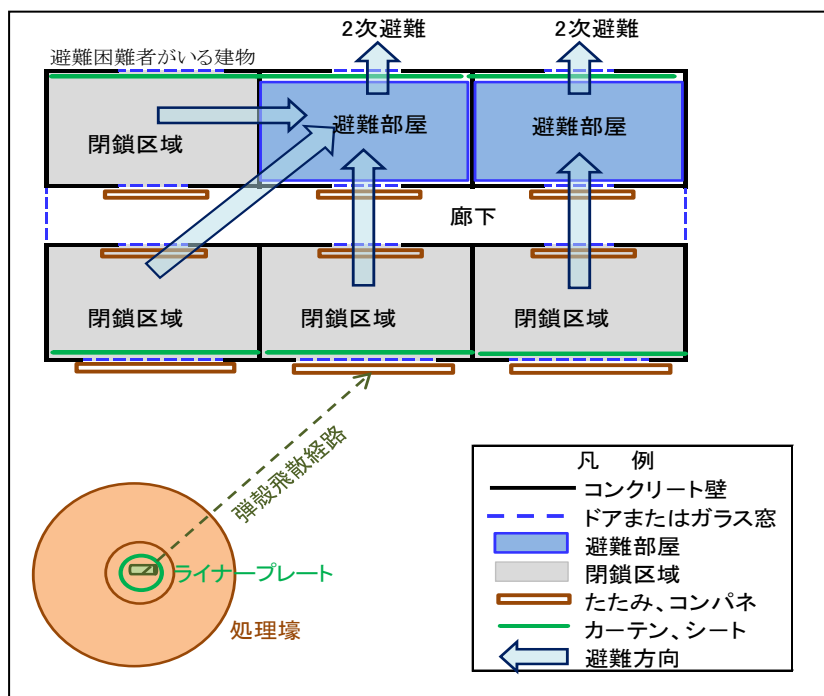


図 1-7(2) 避難部屋選定模式図（平面図）

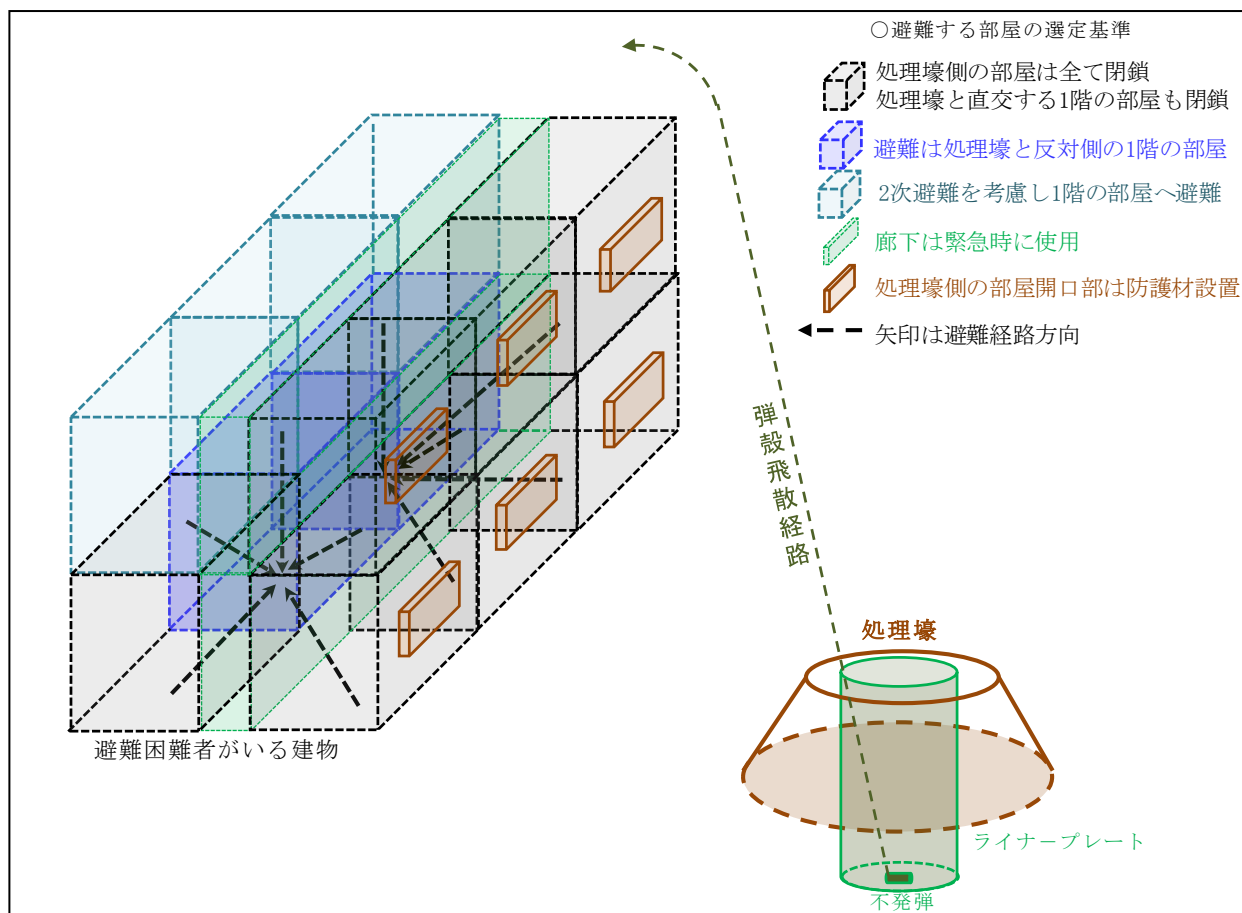


図 1-7(3) 避難部屋選定模式図（鳥瞰図）

(5) 建物内避難困難者が残った場合の留意事項

避難困難者の対応は以下の事項に留意する。

表 1-7 避難対策の留意事項

項 目	留意事項
対応又は準備作業の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ 避難困難者の安全が確保できるように担当医師や看護師に協力を求めて対応及び装備を準備 ・ 不発弾処理時間（数時間）を踏まえた準備と対策を実施 ・ 不発弾処理完了後の復旧について手順を確認
緊急時の避難経路	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時の避難経路の障害物除去 ・ 緊急時に避難困難者の症状に合わせた移動方法（ストレッチャー等）による十分な広さや段差等の障害物に対する対策 ・ 緊急避難完了までの概算時間を算出
出入り口の解錠	・ 避難完了後、扉やドアの施錠を解錠（2 次避難経路含む）
医師、看護師、設備、薬品	・ 避難困難者の容体の変化に対応
必要の応じた設備の強化	・ 消火装置（消火器）、避難器具
緊急時連絡体制、方法	・ 避難中及び避難終了後に、対策本部と直接連絡が取れる無線機や建物内電話、放送などを確保
トイレ、食事	・ 長時間の安全化処理が想定される場合は、トイレや食事を確保
準備や対策の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対策を講じた各種準備について、チェックリストによる目視確認 ・ 避難完了時の確認
その他（安全化処理時）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 避難する建物に遮音材を設置する ・ ライナープレート周囲に緩衝材を設置する ・ 心理的負担の軽減策（耳栓を装着する等）

1-3 避難範囲低減の可能性（参考資料）

避難範囲低減の可能性について以下に記載するが、これらの事項についてはワーキングチームにおいて技術的な議論や裏付けを行っていないため参考までに示す。

(1) ライナープレート高さを変更

図 1-8 に示す様にライナープレートの高さ H を A から B に変えた場合、避難半径 Z (m)「 $= X$ (m) $- Y$ (m)」の縮小の可能性はある。

ただし、処理壕の設置にあたり、土質条件（地盤の硬軟、地下水位の有無）や浅い深度での不発弾処理を行う場合の敷地広さ、費用対効果等の検証が必要である。

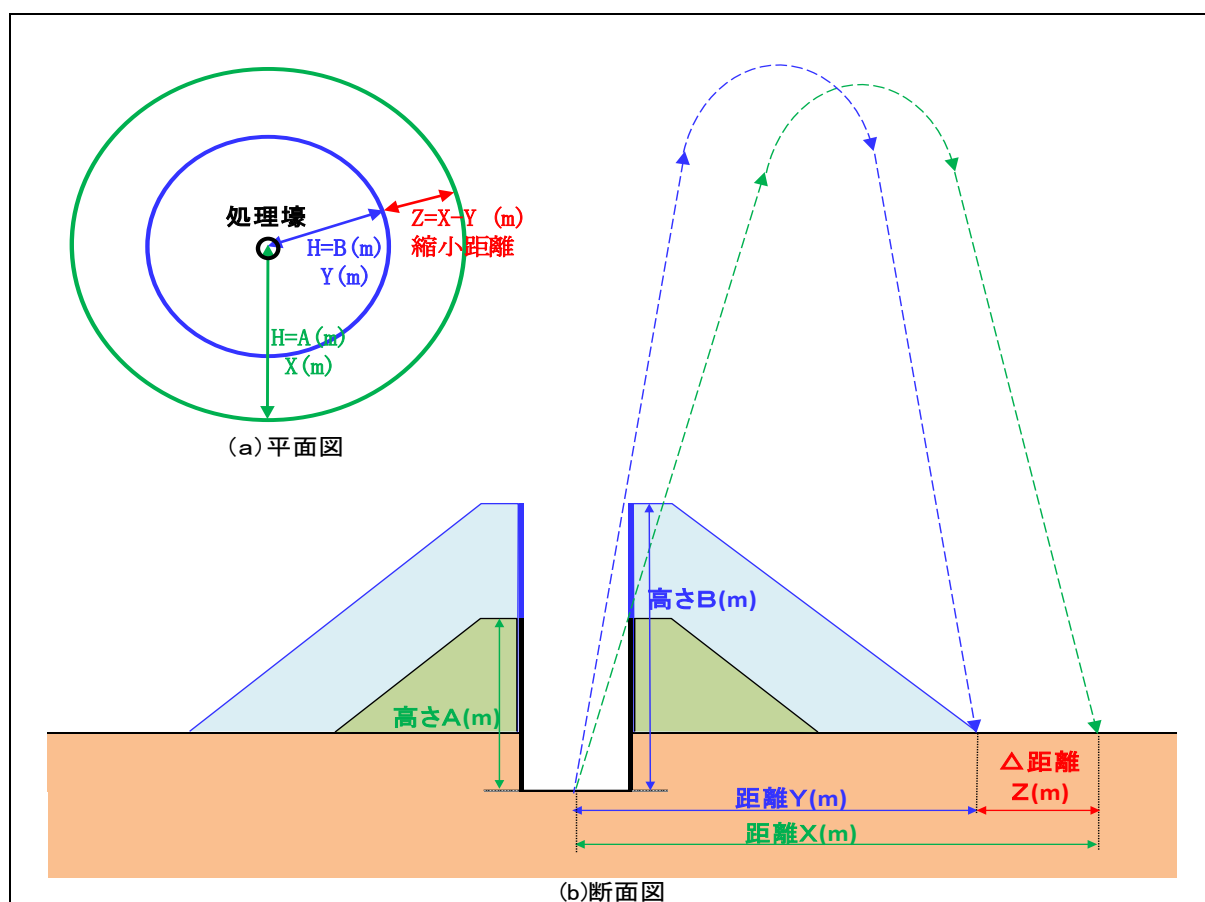


図 1-8 ライナープレートの高さ ($H=A,B$)と弾殻破片の最大飛散距離 (X,Y)

(2) ライナープレート開口部における弾殻破片飛散防止装置の設置

金網による弾殻破片飛散防止対策の模式図を図 1-9 に示す。これにより不発弾処理作業環境（明るさ）や緊急時の退避路等は確保できるが、弾殻破片飛散防止性能や製作及び設置・撤去の費用対効果の検証が必要となる。

また、金網により弾殻破片が跳ねて、低角度で周辺へ飛散する可能性等の懸念事項もある。

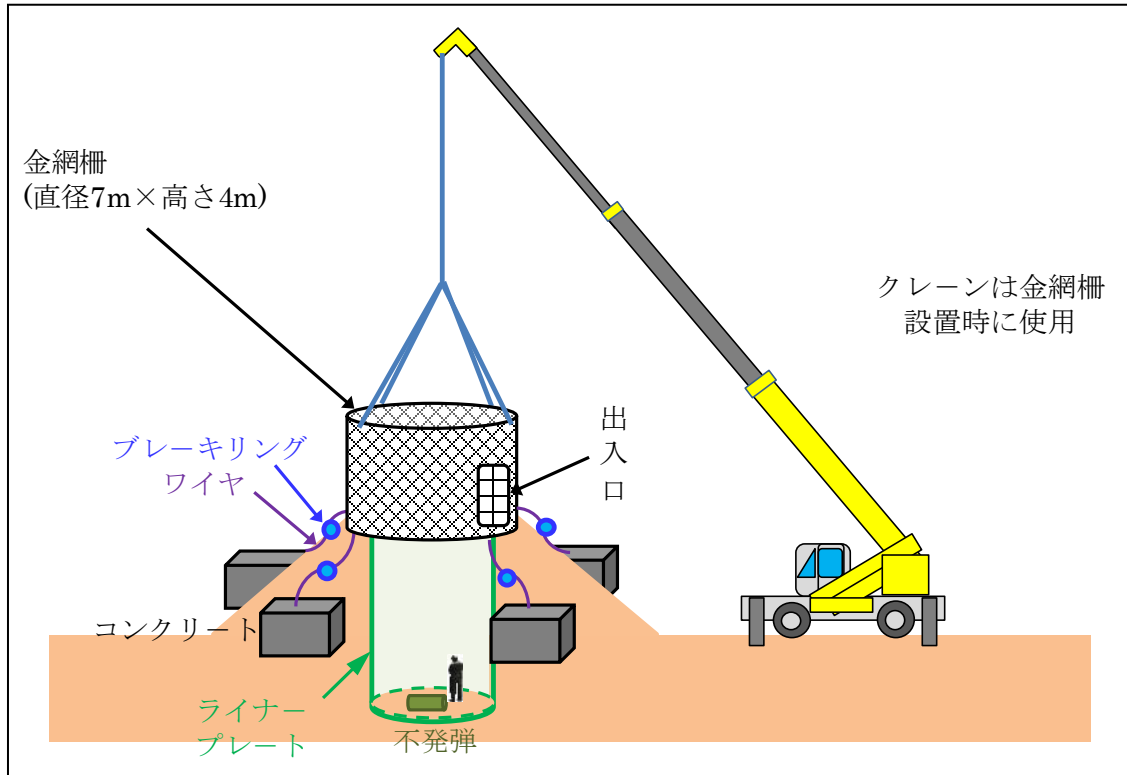


図 1-9 弾殻破片飛散防止対策イメージ

(3) 耐爆容器を用いて砲弾等処理する方法

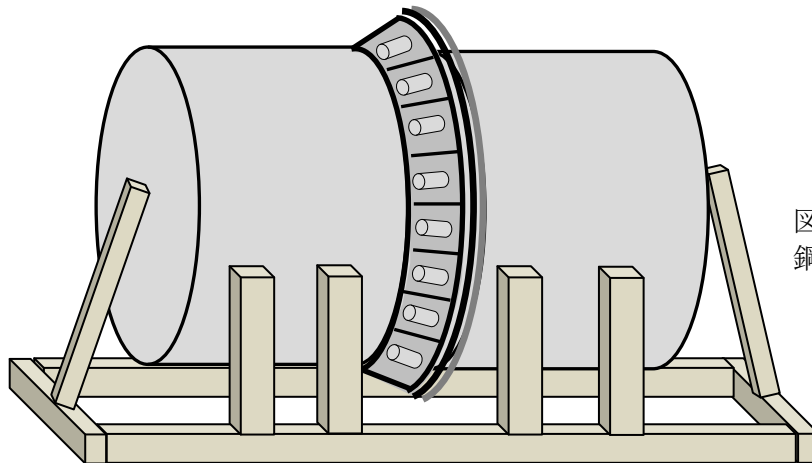


図 1-10
鋼製耐爆容器のイメージ

耐爆容器（図 1-10）を用いることで、迅速な安全化処理、大幅な事務処理が削減になる可能性はあるが、安全性や耐久性などの様々な課題について検討する必要がある。

参考文献

- 1) Navy Department Bureau of Ordnance (1947) : U.S. Explosive Ordnance, Ordnance Pamphlet 1664, Vol.1, 304p. (本文 2 頁 24 行目)
- 2) Department of Defense Explosive Safety Board (2012) : Methodologies for calculating primary fragment characteristics, Technical Paper No.16, Revision 4, 209p. (本文 7 頁 2 行目)
- 3) 火薬学会爆発物探知専門部会 (2010) : 爆発物探知ハンドブック, 172p. (本文 10 頁 27 行目)