

沖縄不発弾等対策協議会
専門部会 ワーキングチーム 報告書(案)《抜粋》

概 要

平成27年3月

目次

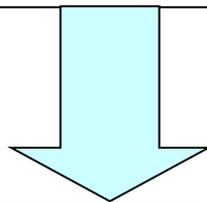
1. はじめに	1
2. 不発弾が爆発した際の周辺への影響について	
(1) 経緯と方針	2
(2) シミュレーションによる弾殻破片飛散計算	3
(3) 建物における対策	8
参考資料	12

1. はじめに

沖縄県内では不発弾等の発見件数は依然として高い。近年、不発弾の処理に際し専門的知見が必要で、現場の経験にて処理せざるを得ない事案が発生した。

ワーキングチームの検討項目

- ①不発弾が爆発した際の周辺への影響
- ②工事振動が不発弾に与える影響



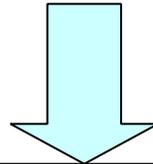
報告書作成

- ・避難区域内に避難困難者がいる際の対策
- ・代表的な建設機械の振動限度を提案

2. 不発弾が爆発した際の周辺への影響について

(1) 経緯と方針

平成23年9月、南風原町サマリヤ人病院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った。



①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、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した。

②不発弾の安全化処理時には避難半径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た。

(2)シミュレーションによる弾殻破片飛散計算

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

→数値シミュレーションを用いて計算

②シミュレーション計算条件等

1)計算数35ケース

5種類(500kg爆弾、250kg爆弾、125kg爆弾、

50kg爆弾、5インチ砲弾)の弾種毎に、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)の合計7ケースについて計算。

2)砲爆弾の諸元は米軍資料よりとりまとめた(巻末参考資料1参照)

3)対象土質は中南部に多いジャーガル(島尻層群泥岩風化土)のボーリングコアより動的特性データを取得

4)不発弾が爆発した際のライナープレート内の挙動については、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の一つであるSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法を採用

5)ライナープレートから外に飛散した弾殻破片の挙動(飛散距離)については、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り算出

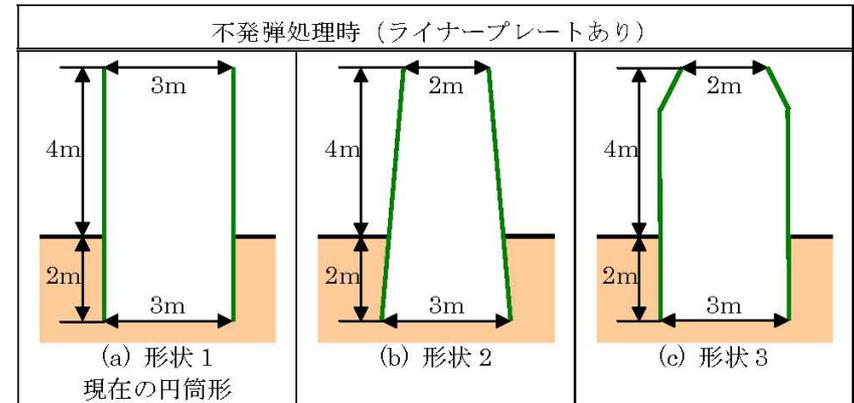


図1-1 ライナープレートの形状

③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

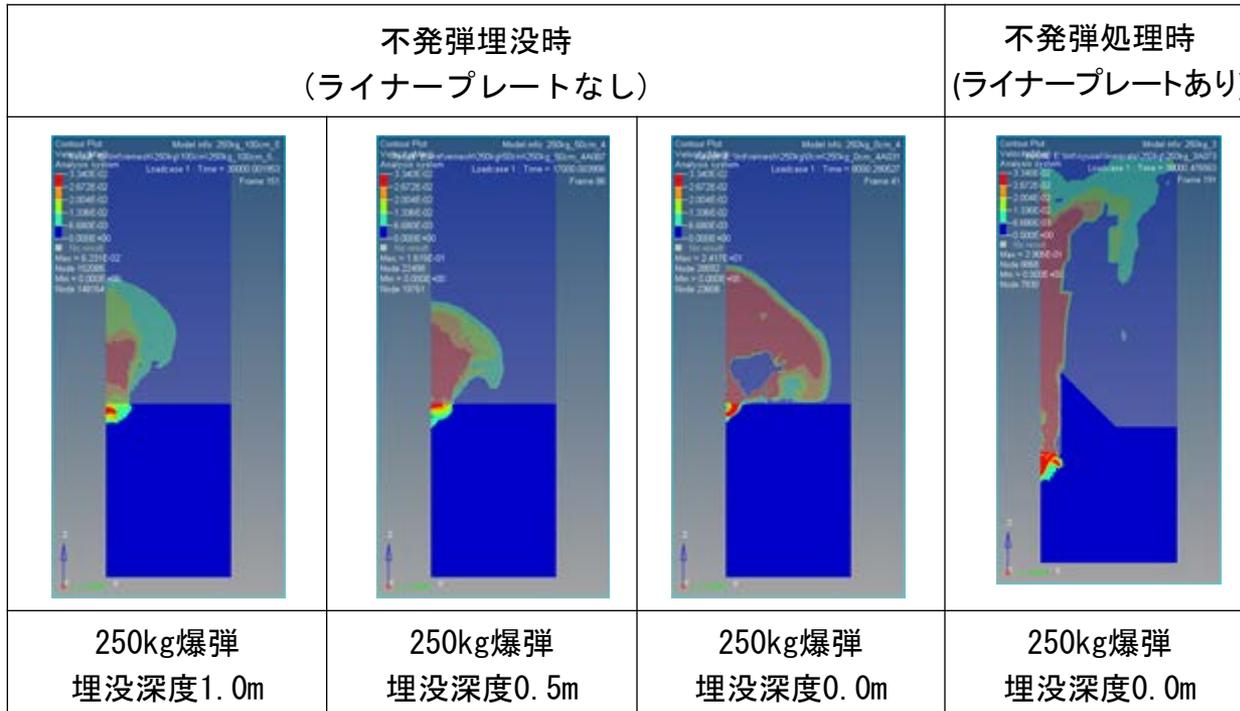


図1-2 ライナープレートの有無による爆発時の爆風速度分布

・結果

ライナープレートがあれば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
→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。

(2) 弾殻の最大飛散距離

弾道計算に当たっては、米国国防総省の爆薬安全委員会資料を参考にして、沖縄における弾道計算におけるパラメータを表1-1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。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の計算結果を次頁表1-2に示す。

表1-1 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

表1-2 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1-1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。

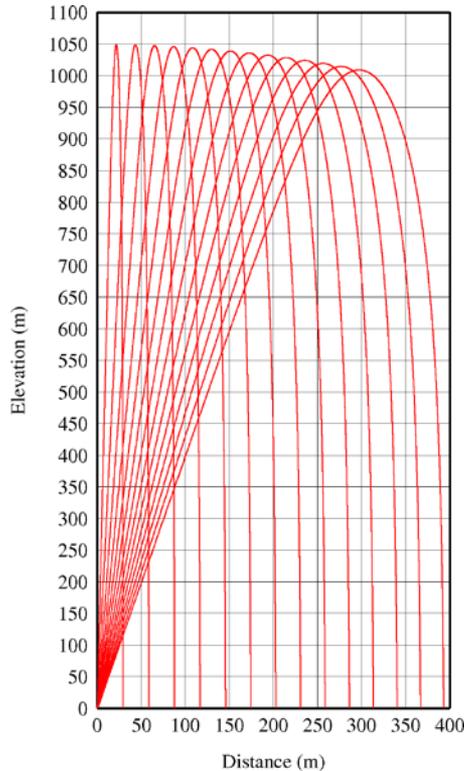
・結果

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。

(注)シミュレーション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、項目や数値の考え方により結果も変わってくることに留意する必要がある。

(3) 建物における対策

① 周辺建物への弾殻破片落下の特徴



(a) 500kg爆弾
質量546g、断面積35.25cm²、
初速2482m/s

図1-4 弾殻破片の飛散軌跡図

避難半径内に避難困難者がいた場合の対策として、シミュレーション結果を用いて弾殻飛散距離計算による弾殻飛散軌跡(図1-4)を描き、建物における被害の考え方を、最も飛散距離が大きく質量や速度も大きな500kg爆弾の弾殻破片モデルで検討

- 1) 図1-5に示すように爆発点から距離16m程度以遠では弾殻破片はほぼ真上から落下。
- 2) 計算の結果、初速が同じであれば、弾殻破片の質量が大きいほど、最高到達点の高度及び飛散水平距離は大きくなる傾向。

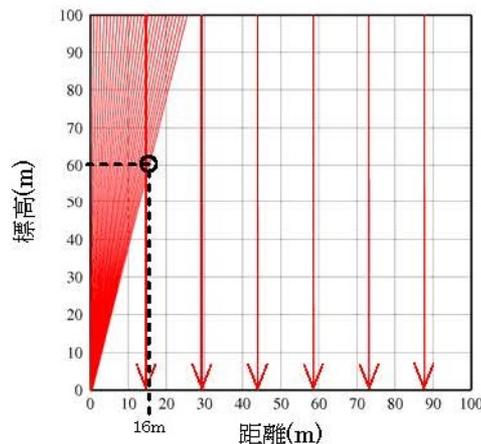


図1-5 爆発点付近拡大図
射出角: 76.0~89.5°、0.5° 間隔

- 3) ライナープレートにより、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。最も弾殻破片が飛散する500kg爆弾の最大破片の着地速度は、50.4m/secになる。

②弾殻破片の衝突による建物への影響

弾殻破片飛散により、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50.4m/sec)によるコンクリートの局部破壊について修正NDRC式※で計算した結果、表1-3に示す様に、建物内に弾殻破片の影響を及ぼすコンクリート厚は裏面剥離限界厚(図1-6参照)で約10cm未満となり、一般的なコンクリート住宅の場合は影響を受けないと考えられる。また、瓦屋根は強度は不明ではあり、弾殻破片の影響を受けるおそれがある。

但し、不発弾の安全化処理時においては、避難半径内では住民等の全員避難が大前提

※修正NDRC式

米国の国防研究委員会(National Defense Research Committee)により提案された、飛翔体がコンクリート板に衝突した場合の局部破壊(表面破壊、裏面剥離、貫通)を評価するための計算式であり、貫入深さ、裏面剥離限界厚、貫通限界厚が求められる。

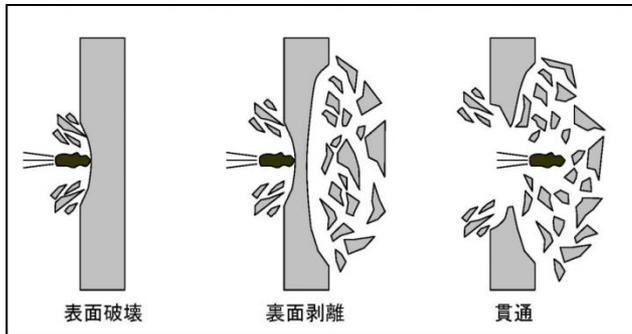


図1-6 弾殻破片衝突によるコンクリート構造物の局部破壊現象

表1-3 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

③建物開口部への直接的な対策

不発弾の安全化処理時においては、避難半径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、窓ガラスや開口部には近づかないことを基本。

建物開口部への直接的な対策方法を、火薬類の飛石防止策やサマリヤ人病院での事例を分析し、有効と考えられる対策をとりまとめた。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。

表1-4 防護策および設置箇所

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		

③建物開口部への直接的な対策

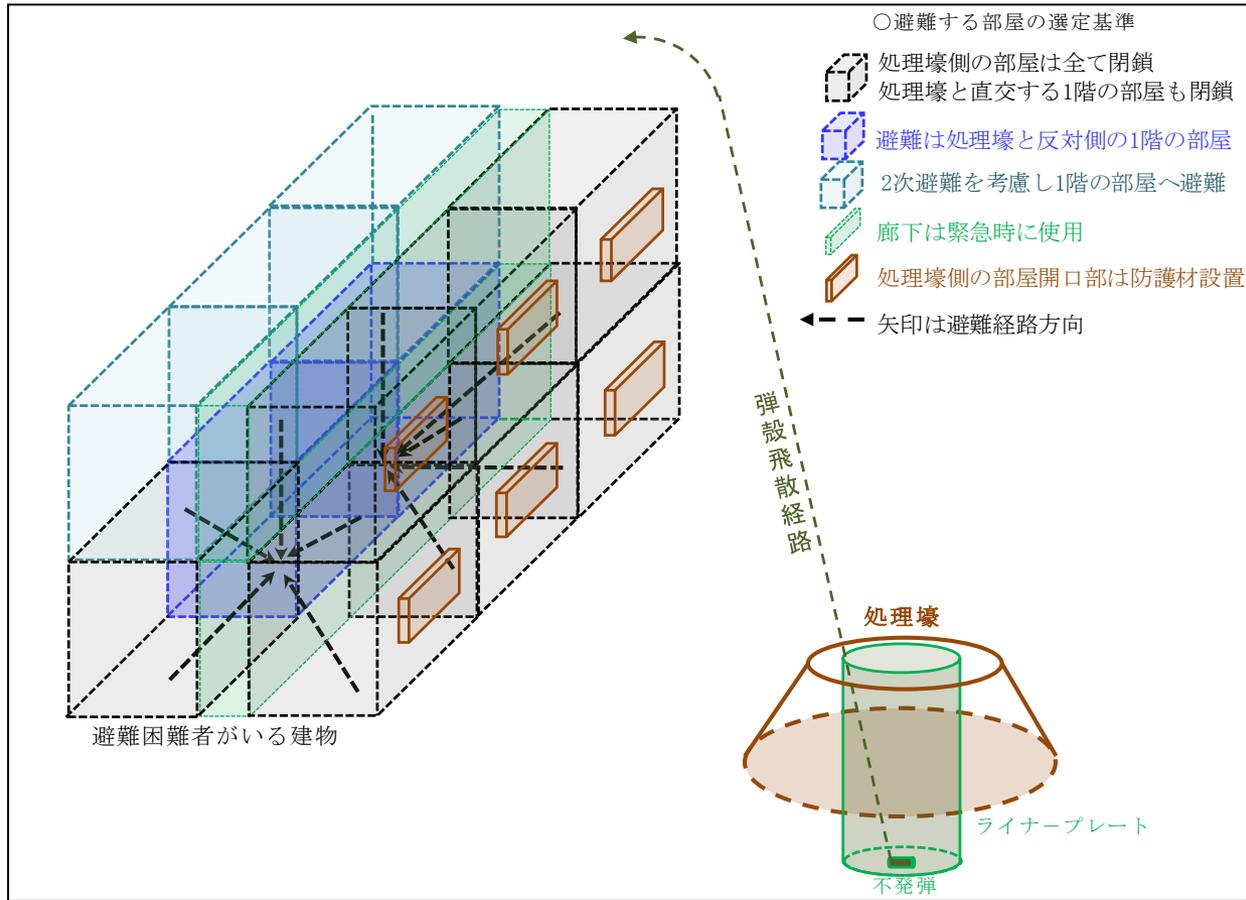


図1-7 避難部屋選定模式図(鳥瞰図)

- 避難部屋の条件
- ・2次避難が可能な1階で、処理壕と反対側の部屋
 - ・廊下または開口部など避難路を確保できる
 - ・処理壕側の開口部に防護材設置が可能

表1-5 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消火装置（消火器）、避難器具
緊急時連絡体制、方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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）

表-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%