

令和 5 年度産業保安等技術基準策定調査研究等事業
(火薬類爆発影響低減化技術基準検討事業)
報告書

令和 6 年 3 月

公益社団法人 全国火薬類保安協会

目 次

第Ⅰ部 概要	1
第1章 実施報告	2
1.1 事業目的	2
1.2 事業内容	2
1.3 実施内容	2
第2章 委員会	3
2.1 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会 本委員会	3
2.2 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会 小委員会	4
2.3 委員会開催実績	4
第3章 検討結果の総括	5
第Ⅱ部 爆発影響低減化実験	6
第4章 爆発影響低減化実験（野外実験）	7
総論	7
実験の目的	7
実験項目及び概要	8
実験期日及び日程	9
実験場所	10
気象状況	14
4.1 爆発飛散物に関する実験	15
4.1.1 目的	15
4.1.2 実験方法	15
4.1.2.1 供試火薬類	15
4.1.2.2 L型擁壁試験体	18
4.1.2.3 計測項目	28
4.1.3 実験結果	34
4.1.3.1 爆発後の爆点の様子	34
4.1.3.2 飛散物計測結果	50
4.1.3.3 飛散物撮影結果	60
4.1.3.4 地盤振動計測結果	63
4.1.3.5 高速度カメラ撮影結果	75
4.1.3.6 騒音計測結果	85
4.2 窓ガラス破壊防止に関する実験	90
4.2.1 目的	90
4.2.2 実験方法	90
4.2.2.1 供試火薬類	90
4.2.2.2 窓ガラス試験体	90
4.2.3 実験結果	95
4.2.3.1 爆発後の爆点の様子	95
4.2.3.2 爆風圧計測結果	101
4.2.3.3 ガラス破壊の撮影結果	109
4.3 総合考察	114

第 5 章 爆発影響低減化実験（室内実験）	117
5.1 目的	117
5.2 実験方法	117
5.3 実験結果	119
5.4 室内実験結果のまとめと実験計画（野外実験）	127
5.5 爆発影響低減化実験（野外実験）結果に関する考察	127
5.6 まとめ	128
付録	130
2.A.1（付録 1） 委員会議事録	131
4.A.1（付録 2） 実験関連事項	144
4.A.2（付録 3） 野外実験記録写真	146
4.A.3（付録 4） 高速度カメラ撮影画像	170
4.A.4（付録 5） ガラス破壊の撮影画像	183
4.A.5（付録 6） 飛散物回収結果	199
4.A.6（付録 7） 飛散物撮影画像	246
4.A.7（付録 8） 漏斗孔検討	250
4.A.8（付録 9） 使用器材一覧	254
4.A.9（付録 10） L 型コンクリート擁壁試験成績書	256
5.A.1（付録 11） 室内実験参考資料	291

第 I 部

概要

第 1 章 実施報告

1.1 事業目的

火薬類（火薬、爆薬、火工品）は、その有する爆発・燃焼という危険性から、火薬類取締法において、製造、販売、貯蔵、運搬、消費その他の取扱いについて規制されている。

本事業では、火薬類に係る保安技術の進展に伴う保安技術基準の策定・改正、火薬類による事故原因の解析・再発防止対策の検討等の際に必要な科学的データの取得等の事業を実施し、火薬類による災害を防止し、公共の安全確保に資することを目的とする。

1.2 事業内容

火薬類取締法において、火薬類製造施設、火薬庫等の火薬類を取り扱う施設は、万一爆発した際の周囲への影響を低減させるため、構造基準への適合が求められるほか、周囲にある保護すべき家屋等の物件（保安物件）から一定の距離（保安距離）をとって設置しなければならないこととなっている。

一方、この保安距離は、人命保護に重点を置いて規定されたものであることから、火薬類関連施設で起こった過去の事故においては、少なからず周囲における影響がみられる。

このため、火薬類関連施設における万一の爆発の際にも周囲における影響を低減させることを目指し、採りうる措置を検討し、その効果について検証する。

1.3 実施内容

（1）火薬類による爆発影響低減化措置の調査

火薬類関連施設における万一の爆発の際にも周囲における影響を低減するための対策について、その効果を検討する。具体的には、以下の 2 テーマについて、爆発実証実験を行い、取得したデータを基に、技術的知見を取りまとめた。

① 爆風圧によるガラス破損への対策

過去の爆発事故等でも火薬類関連施設の周囲においてガラス破損がみられたが、このような被害が飛散防止フィルム等の対策により軽減され得るのか、爆発実証実験により確認した。

② 爆風により飛散する火薬類関連施設由来の飛散物への対策

これまで実施してきた爆発実証実験においては、それぞれ代表的な火薬庫を模した実験体について、万一の爆発の際にも重量飛散物の保安距離外への飛散が起こらないことを確認してきている。

しかしながら、近年行った実験において、爆薬近傍のコンクリート構造物由来の飛散物が保安距離近くまで飛散する事例が観測されたため、火薬類関連施設の大きさ及び爆薬の量による飛散物の大きさや飛散距離への影響を確認し、飛散物への対策について検討した。

（2）爆発実証実験の実施

爆発実証実験は、含水爆薬 1 kg、3.2 kg、10 kg 及び 32 kg を用い、爆薬量の 3 乗根に比例した大きさ及び距離に設置した L 型擁壁の爆発飛散物の飛散状況を計測した。また、含水爆薬 10 kg 及び 32 kg の飛散物実験と同時並行して、ガラス飛散防止フィルム有り・無しの窓ガラス及び爆風圧計を適当な距離に設置し、ガラス破壊状況及びその時の爆風圧を計測した。その他、地盤振動、漏斗孔の大きさ、騒音等のデータ、並びに高速度及び常速度カメラによる爆発状況及び擁壁の破壊状況等の映像データを取得した。

第2章 委員会

爆発衝撃等に関する学識経験者、土木、材料及び火薬特に煙火に関する専門家等を含む 19 名の委員から構成する火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会 本委員会を設置し、3 回開催した。また、本委員会の下に学識経験者等 15 名の委員で構成する小委員会を設置し、1 回開催した。

委員会では、爆発実証実験の計画の検討を行うとともに、実証実験の結果を踏まえ、爆発影響低減化に資する新土堤の構造、用いる資材及び傾斜の影響等について審議した。

2.1 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会 本委員会

(敬称略、五十音順)

新井 充	東京大学 名誉教授
伊藤 啓太	日本工機株式会社 白河製造所 研究開発部
大野 友則	大野防衛工学研究所
● 小川 輝繁	公益財団法人 総合安全工学研究所
奥永 一郎	株式会社ダイセル 播磨工場 共有センター
海沼 敏恭	防衛省 陸上自衛隊 陸上幕僚監部 装備計画部 武器・化学課 弾薬班
久保田 士郎	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門
須山 恭三	一般社団法人 日本建設業連合会 安全環境部
多田 達士	中国化薬株式会社 営業本部 化薬営業部
遠山 貴郎	防衛省 防衛装備庁 プロジェクト管理部 事業監理官付 宇宙・地上装備担当
鳴川 智士	防衛省 陸上自衛隊 陸上幕僚監部 装備計画部 武器・化学課 化学室
新関 弘晃	カヤク・ジャパン株式会社 環境安全品質保証本部
畑中 修二	公益社団法人 日本煙火協会 技術部
福田 光寿	日本カーリット株式会社 生産本部 赤城工場
藤原 和彦	日油株式会社 化薬事業部 企画室
松村 知治	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門
水書 稔治	東海大学 湘南校舎 工学部 航空宇宙学科
三宅 淳巳	横浜国立大学大学院 環境情報研究院
山本 雅昭	日本火薬工業会 技術部

● : 委員長

2.2 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会 小委員会

(敬称略、五十音順)

伊藤 啓太	日本工機株式会社 白河製造所 研究開発部
大野 友則	大野防衛工学研究所
奥永 一郎	株式会社ダイセル 播磨工場 共育センター
海沼 敏恭	防衛省 陸上自衛隊 陸上幕僚監部 装備計画部 武器・化学課 弾薬班
● 久保田 士郎	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門
須山 恭三	一般社団法人 日本建設業連合会 安全環境部
多田 達士	中国化薬株式会社 営業本部 化薬営業部
遠山 貴郎	防衛省 防衛装備庁 プロジェクト管理部 事業監理官付 宇宙・地上装備担当
鳴川 智士	防衛省 陸上自衛隊 陸上幕僚監部 装備計画部 武器・化学課 化学室
新関 弘晃	カヤク・ジャパン株式会社 環境安全品質保証本部
畑中 修二	公益社団法人 日本煙火協会 技術部
福田 光寿	日本カーリット株式会社 生産本部 赤城工場
藤原 和彦	日油株式会社 化薬事業部 企画室
松村 知治	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門
山本 雅昭	日本火薬工業会 技術部

●：委員長

2.3 委員会開催実績

令和5年 9月 26日	火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会	第1回本委員会
令和5年 10月 31日	火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会	第2回本委員会
令和6年 1月 18日	火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会	第1回小委員会
令和6年 2月 6日	火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会	第3回本委員会

第3章 検討結果の総括

火薬類関連施設の爆発飛散物に関する資料を得るため、含水爆薬 1 kg、3.2 kg、10 kg 及び 32 kg を用い、爆薬量でスケール化された（爆薬量の 3 乗根に比例した）大きさ及び距離に設置した L 型擁壁の爆発飛散物の飛散状況を計測した。また、含水爆薬 10 kg 及び 32 kg の飛散物実験と同時並行して、ガラス飛散防止フィルム有り・無しの窓ガラス及び爆風圧計を適当な距離に設置し、ガラス破壊及び飛散防止状況並びにその時の爆風圧を計測した。

爆発飛散物の飛散状況の計測結果から、飛散物の最大飛散距離は爆薬量の 0.145 乗に比例して大きくなる実験式を得ることができた。過去に、爆薬量でスケール化されたコンクリートボックス及び土堤前面擁壁に関する飛散物実験が平成 22 年及び平成 25 年に実施され、最大飛散距離が爆薬量のそれぞれ 0.138 乗及び 0.139 乗に比例するという実験式が得られている。今回、L 型擁壁についての実験式の爆薬量の指数が、これらとほぼ同等であるという結果が得られた意義は大きい。最大飛散距離の実験式が種々の形態の爆発飛散物に対して成立することが確認され、この実験式を適用すれば、過去のスケール化されていない飛散物実験結果であっても実規模の最大飛散距離を推定でき、また、今後行う飛散物実験も簡素化が可能になる。

また、飛散物解析から、重量飛散物は概ね仰角 10 度以下の角度で地面に沿って飛散し、軽量飛散物の飛散角度は最大 24 度であるという貴重な知見が得られた。さらに、飛散物の総個数はほぼ爆薬量に比例するという結果が得られたが、このことから飛散物の平均質量は爆薬量に係わらずほぼ一定と考えられるにもかかわらず、実験結果は平均質量は爆薬量の増加とともに増加している。飛散物の分布も含めて、過去の実験結果を合わせたさらなる解析の実施が期待される。

窓ガラスに関する実験結果から、一般的な窓ガラス（900 mm×900 mm、厚さ 3 mm）は、測定された爆風圧から、ピーク過圧が 24.2、10.6、5.66 kPa の爆風で割れ、ピーク過圧が 5.13、3.39 kPa の爆風で割れなかった。この窓ガラスの爆風による破壊の閾値は、本実験では 5.13～5.66 kPa となった。一方、この窓ガラスの 1/7.5 スケールの小型ガラス（120 mm×120 mm、厚さ 0.4 mm）は、ピーク過圧 19.1 kPa の爆風でも割れなかった。室内実験では、想定ピーク過圧約 14 kPa で割れたり、割れなかったりしている（爆薬量が違うので、爆風の正圧の持続時間が異なる）。スケール化についての考察及びさらなる実験の実施が望まれる。

さらに、一般的な窓ガラスの割れ方についても、ビデオカメラの映像から通常の動き（最初、爆点と反対側に動き、後に爆点側に動く）とは逆の動きをしていること、追加の室内実験からガラス固定台の背後がオープンであるとガラスが割れやすくなることが確認されている。これは、背後から回折して廻り込む衝撃波が影響していると考えられ、ガラス固定条件を変えたさらなる実験の実施が望まれる。

なお、飛散防止フィルムを貼った窓ガラスは、ガラスが破壊されてもフィルムの効果で殆ど一体として残っており、窓枠から外れても近傍に落下するだけであることが確認された。飛散防止フィルムがガラス飛散防止に大きな効果があることが明確に示された意義は大きい。

以上、本年度の爆発実証実験により貴重なデータを取得でき、技術基準策定のための資料を作成することができた。最後に、本実験に際しての、爆発影響低減化委員各位、関係団体からのご協力、特に寒いみぞれ混じりの雨の中、飛散物計測にご協力いただいた大学関係者及び陸上自衛隊の支援隊員に深く感謝し、御礼申し上げる次第である。

第 II 部

爆発影響低減化実験

第4章 爆発影響低減化実験（野外実験）

総論

実験の目的

通商産業省（現経済産業省）は、昭和36年以降、全国各地の陸上自衛隊演習場を借用して、火薬類の製造、貯蔵、消費等の保安技術基準を確立するための基礎資料を得るために、大規模な実験を実施してきた。本実験により得られた成果は、火薬類取締法に反映され、省令や告示の改正、保安行政上の指導のための資料として広く活用されている。また、実験の実施は、火薬類取扱者の保安意識の向上及び保安教育の実地体験としても大きな役割を果たしてきた。

平成14年度からは、社団法人全国火薬類保安協会（現公益社団法人全国火薬類保安協会）への委託事業として、火薬庫の保安距離見直し等に資する爆発影響低減化の研究を行っている。平成16年度から平成18年度までは、隔壁付き火薬庫の技術基準に関する実験、平成19年度から平成22年度までは、地下式火薬庫の技術基準、防爆壁の補強改良技術、爆発飛散物の影響評価に関する実験を行った。平成23年度から平成27年度までは、既存の土堤の性能評価及び土堤改良の検討、垂直土堤の防護性能等に関する実験、さらには地震による損傷の有無で爆発影響低減化効果を比較検討してきた。また、平成27年度から平成28年度まで、火薬類の爆発威力定量化に関する実験を行った。

近年、火薬類の貯蔵施設である火薬庫が、立地後の周辺環境の変化に伴い、保安距離や施設の能力の見直しが求められている。これを受けて、平成28年度から平成30年度までは、地中式火薬庫の保安距離に関する技術基準の検討を行った。令和元年度から令和3年度までは、煙火製造工場の火薬関連施設を対象とした爆発実証実験を実施し、周辺環境が変化した場合に応じた保安距離が確保できる新型防爆壁の位置及び構造等の技術基準を作成する上で必要となる爆発影響低減化に資するデータを取得した。また、令和4年度は、内面が垂直より緩傾斜の土堤に設ける擁壁の技術基準等に関する実験を行った。

本年度は爆発飛散物の影響評価、窓ガラスの破壊状況及びガラス飛散防止フィルムによる破壊防止効果について検討を行う。

実験項目及び概要

実験 No.1 爆発飛散物に関する実験

これまで実施してきた爆発実証実験においては、代表的な火薬庫を模した実験体について、万一の貯蔵火薬類の爆発の際にも重量飛散物の保安距離外への飛散が起こらないことを確認してきている。しかしながら、近年行った実験において、爆薬近傍のコンクリート構造物由来の飛散物が保安距離近くまで飛散する事例が観測されたため、火薬類関連施設の大きさ及び爆薬の量による飛散物の大きさや飛散距離への影響を確認し、飛散物への対策について検討する。そのため、含水爆薬 1 kg、3.2 kg、10 kg 及び 32 kg を用い、爆薬量でスケール化された大きさ及び距離に設置した L 型擁壁の爆発飛散物の飛散状況を計測する。また、爆風圧、地盤振動、騒音、衝撃波伝播状況等を、電氣的・光学的手法により計測する。

実験 No.2 窓ガラス破壊防止に関する実験

過去の爆発事故等でも 火薬類関連施設の周囲においてガラス破損がみられたが、このような被害がどの程度の距離まで波及するのか、またガラス飛散防止フィルム等の対策により軽減され得るのかを確認する。そのため、実験 No.1 の含水爆薬 10 kg 及び 32 kg の飛散物実験と同時並行して、ガラス飛散防止フィルム有り・無しの窓ガラス及び爆風圧計を適当な距離に設置し、ガラス破壊状況及びその時の爆風圧を計測する。

実験期日及び日程（実績）

実験期間 令和5年11月18日（土）～11月28日（火）

月 日	実験 No.	爆点	点火 時刻	実験項目名	薬種・薬量
11月18日（土）	準備（施設設置）				
11月19日（日）	準備（施設設置・爆点決定）				
11月20日（月）	準備（計測設備・施設設置）				
11月21日（火）	準備（計測設備）／実験会議				
11月22日（水）	No.1-3 No.2-1	U	10:29	爆発飛散物に関する実験 窓ガラス破壊防止に関する実験	EMX2 10 kg
11月23日（木）	No.1-2	U	10:02	爆発飛散物に関する実験	EMX2 3.2 kg
11月24日（金）	予備日				
11月25日（土）	No.1-4 No.2-2	U	10:21	爆発飛散物に関する実験 窓ガラス破壊防止に関する実験	EMX2 32 kg
11月26日（日）	No.1-1	U	9:49	爆発飛散物に関する実験	EMX2 1 kg
11月27日（月）	撤収				
11月28日（火）	<移動日>				

注）U：上爆点（今年度は上爆点のみ）

EMX2：含水爆薬（カヤクジャパン㈱砂川工場製アルテックス）

実験場所

陸上自衛隊矢臼別演習場（北海道野付郡別海町）の一部で実験を行った。

実験場広域図を図 4.0-1 に示す。

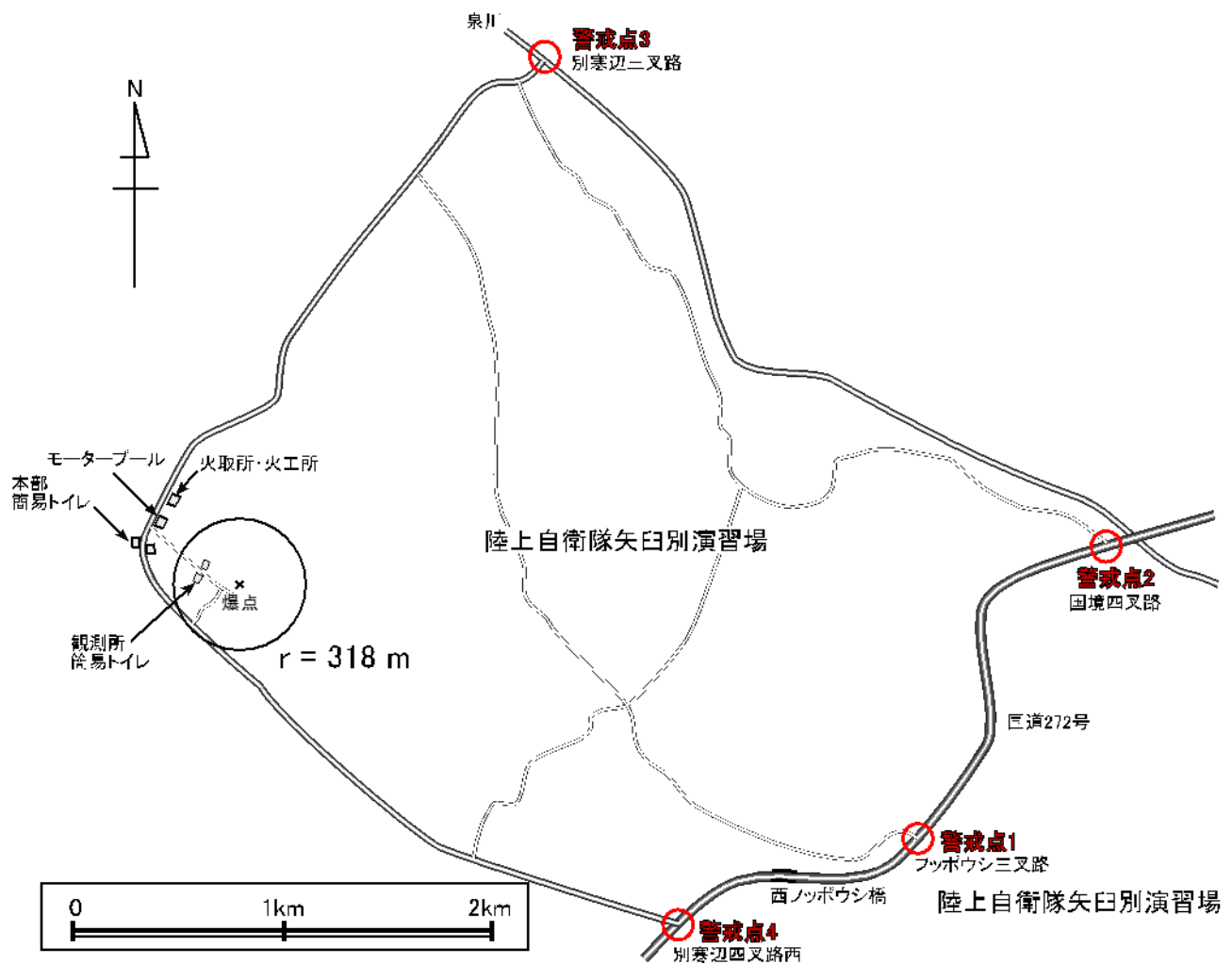


図 4.0-1 実験場広域図

保安距離

図 4.0-1 に保安距離を示す。原則として、保安距離は次式により算出した距離とする。

$$r = KW^{1/3}$$

ここに、 r ：保安距離（m）、 W ：同一実験において 1 回に爆発する火薬・爆薬の最大薬量（kg）、 K ：係数（ $K=100$ とする）である。本実験の最大薬量は上爆点で $W=32$ （kg）なので、上爆点からの保安距離は 318 m となる。図 4.0-1 に示された爆点を中心とする半径 $r=318$ （m）の円よりも内側を危険区域とする。

本部、観測所

図 4.0-1 に本部、観測所を示す。図 4.0-4 に本部、図 4.0-5 に観測所の写真を示す。本部、観測所はプレハブ（既製品レンタル）である。

火薬類取扱所（火取所）、火工所

図 4.0-1 に火薬類取扱所（火取所）、火工所を示す。図 4.0-6 にその写真を示す。

モータープール

図 4.0-1 にモータープールを示す。必要に応じて車両はそこへ退避しておく。

観測所の防護措置

観測所プレハブ（2 棟）は危険区域の内側であるため、観測所プレハブの前面にはそれぞれ防護壁を設置した。防護壁は、図 4.0-2 に示すように、爆点からプレハブを見たときにプレハブが完全に隠れる位置及び大きさとした。

なお、観測所 1 の天井には鉄板を敷き、高速度・常速度カメラ、風向風速計、放送設備等を設置した。

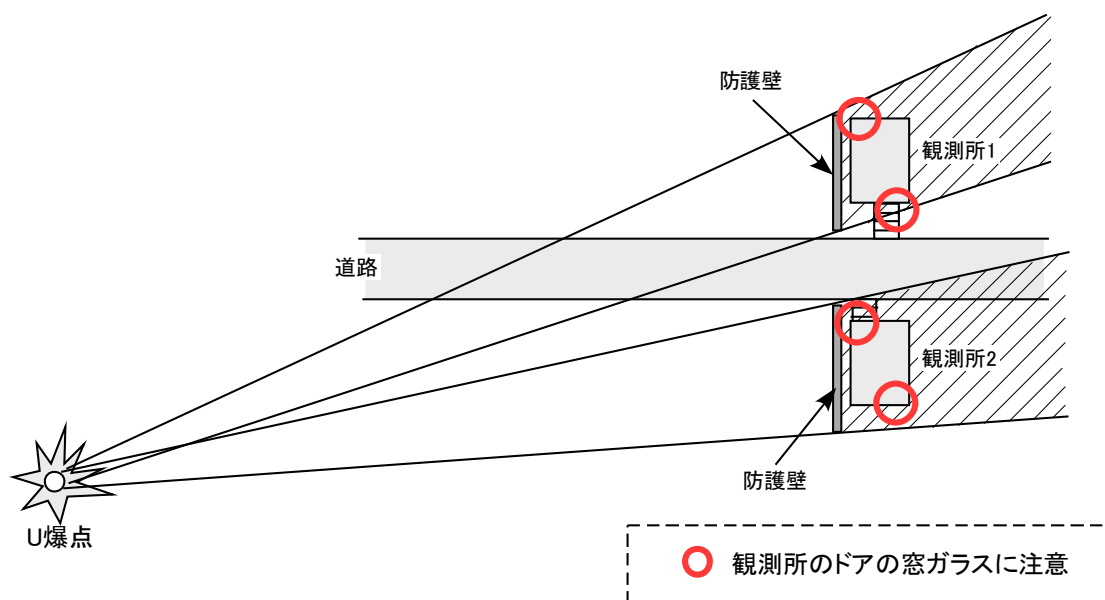


図 4.0-2 観測所の防護措置

実験レイアウト（全体）

図 4.0-3 に実験レイアウト（全体）を示す。観測所、爆点及び計測系の位置の概要を示す。

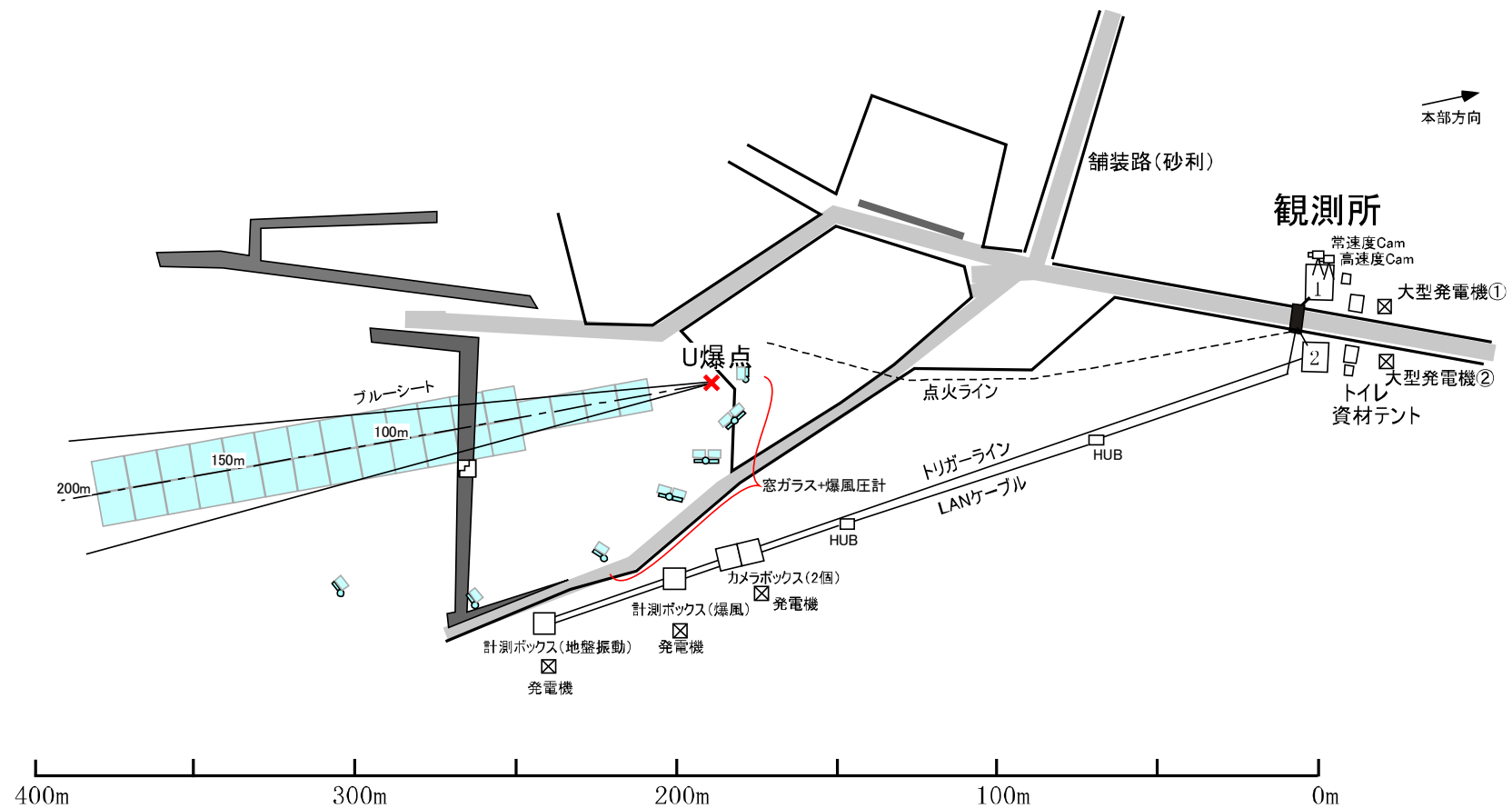


図 4.0-3 実験レイアウト（全体）



図 4.0-4 本部



図 4.0-5 観測所（左：第一観測所、右：第二観測所）



図 4.0-6 火薬類取扱所（左）と火工所（右）

気象状況

実験内容	実施日	点火時刻	天候	気温 ℃	湿度 %	気圧 hPa	風向・風速 m/s
No.1-1 爆発飛散物	11/26	9:49	晴	0.5	54.5	1008	西北西・2.0
No.1-2 爆発飛散物	11/23	10:02	曇	11.7	79.7	999	・0.0
No.1-3 爆発飛散物 No.2-1 窓ガラス破壊防止	11/22	10:29	晴	14.4	51.9	1003	北・1.4
No.1-4 爆発飛散物 No.2-2 窓ガラス破壊防止	11/25	10:21	晴	0.8	42.5	1001	西北西・4.5

4.1 爆発飛散物に関する実験

4.1.1 目的

これまで実施してきた爆発実証実験においては、代表的な火薬庫を模した実験体について、万一の貯蔵火薬類の爆発の際にも重量飛散物の保安距離外への飛散が起こらないことを確認してきている。しかしながら、近年行った実験において、爆薬近傍のコンクリート構造物由来の飛散物が保安距離近くまで飛散する事例が観測されたため、火薬類関連施設の大きさ及び爆薬の量による飛散物の大きさや飛散距離への影響を確認し、飛散物への対策について検討する。

4.1.2 実験方法

4.1.2.1 供試火薬類

表 4.1.2.1-1 に供試火薬類を示す。使用爆薬は含水爆薬で、厚紙等を利用して L/D（直径と高さの比）＝1 を目標とした円柱形に装薬する。図 4.1.2.1-1 に例として**実験 No.1-2** の爆薬の形状を示す。これを線爆発型の電気雷管 2 個と導爆線で起爆する。図 4.1.2.1-2 に導爆線と雷管の固定状況を示す。導爆線の先端から 30 mm 程度の位置に線爆発型の電気雷管 2 個を取り付け、反対側の端には短い導爆線を重ねる。導爆線を重ねた側を含水爆薬の内部に約 70 mm 程度押し込み固定する（図 4.1.2.1-1 を参照）。また、図 4.1.2.1-3 に爆薬と L 型擁壁の設置方向を示す。図 4.1.2.1-4 に実際の装薬・爆装状況を示す。

表 4.1.2.1-1 供試火薬類

実験 No.	並行 実験 No.	薬種	薬量 (kg)	導爆線	電気雷管 (個)	火薬の形状：円柱形（目標 値）	
						直径 ϕ × 高さ (mm)	密度 (kg/m ³)
1-1	—	EMX2	1	100 mm×2 本 40 mm×2 本	2	ϕ 100×107	1,191
1-2	—	EMX2	3.2	100 mm×2 本 40 mm×2 本	2	ϕ 155×152	1,116
1-3	2-1	EMX2	10	100 mm×2 本 40 mm×2 本	2	ϕ 225×215	1,170
1-4	2-2	EMX2	32	100 mm×2 本 40 mm×2 本	2	ϕ 331×323	1,155
合計			46.2	100 mm×8 本 40 mm×8 本	8		

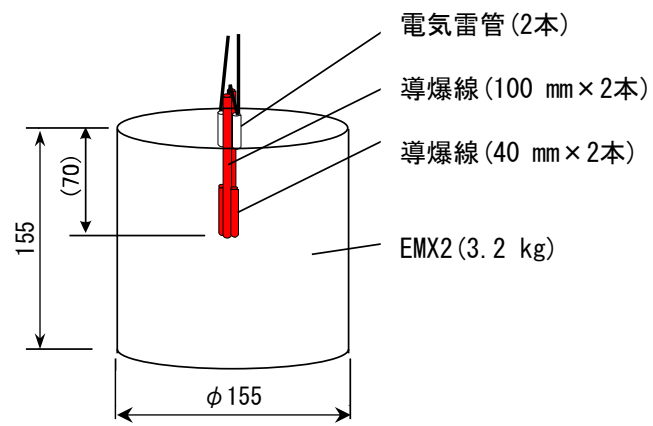


図 4.1.2.1-1 爆薬の形状 (実験 No.1-2 の例)

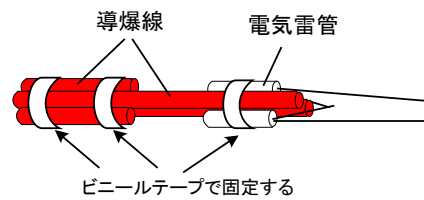


図 4.1.2.1-2 伝爆薬と雷管の固定方法

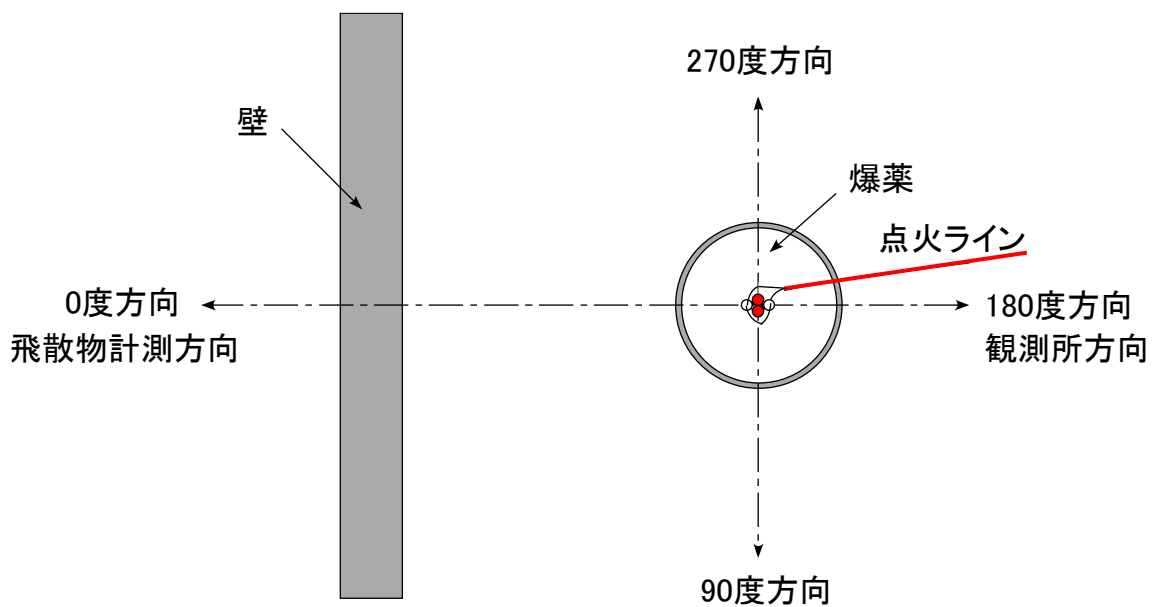
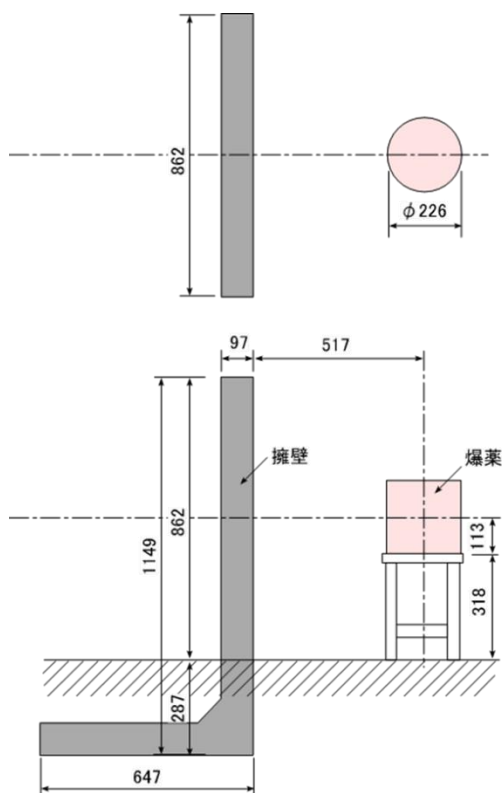
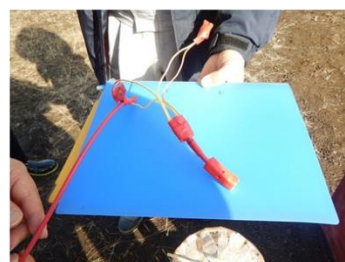


図 4.1.2.1-3 爆薬の設置方向



主爆薬	導爆線	電気雷管	主爆薬の形状 (直径×高さ、 mm)
EMX2 10 kg	280 mm (100 mm×2本 40 mm×2本)	2個	φ 226×226 ※計画値



装薬・爆装状況 (実験 No.1-3 & 2-1)



No.1-1 EMX2 1 kg



No.1-2 EMX2 3.2 kg



No.1-3 & 2-1 EMX2 10 kg



No.1-4 & 2-2 EMX2 32 kg

図 4.1.2.1-4 装薬・爆装状況 (爆装完了時)

4.1.2.2 L 型擁壁試験体

表 4.1.2.2-1 に L 型擁壁試験体の諸元をそれぞれ示す。L 型擁壁の設置距離、大きさ等は、すべて、使用する爆薬量の 3 乗根に比例する大きさとしている。L 型擁壁の大きさ及び配筋については、平成 21 年度火薬類の保安技術実験における飛散物実験の例を参考に決定した。なお、平成 21 年度実験では L 型擁壁をそのまま地盤面に直置きしたが、本年度は全体の高さの 1/4 を地中に埋めて実験する。L 型擁壁の設置状況を図 4.1.2.2-1～図 4.1.2.2-4 に示す。

また、L 型擁壁の配筋を図 4.1.2.2-5～図 4.1.2.2-8 に示す。鉄筋径についても、できるだけ爆薬量の 3 乗根に比例する大きさとした。L 型擁壁の配筋、ピッチ、かぶり厚等の諸元を表 4.1.2.2-2 にまとめる。

なお、L 型擁壁の地上に表れている部分は、表 4.1.2.2-1 の「着色」欄に示す色で着色する。実際の L 型擁壁を図 4.1.2.2-9 に示す。

表 4.1.2.2-1 L 型擁壁試験体の諸元

実験 No	薬量 kg	設置距離* mm	地上部の大きさ (幅×高さ) mm	壁厚さ mm	ハンチ幅 mm	全体の大きさ (幅×全高×奥行) mm	着色
1-1	1	240	400×400	45	60	400×533×300	なし
1-2	3.2	354	589×589	66	88	589×785×442	白
1-3	10	517	862×862	97	129	862×1149×647	赤
1-4	32	760	1270×1270	143	191	1270×1693×953	黄

*設置距離＝爆薬の中心から L 型擁壁表面までの距離

【参考】薬量の 3 乗根で除した値

1-2	3.2	240.2	399.7×399.7	44.8	59.7	399.7×532.7×299.9	—
1-3	10	240.0	400.1×400.1	45.0	59.9	400.1×533.3×300.3	—
1-4	32	239.4	400.0×400.0	45.0	60.2	400.0×533.3×300.2	—

表 4.1.2.2-2 L 型擁壁の配筋等

実験 No.	異形鉄筋			ピッチ mm	かぶり厚 mm	曲げ筋の曲率半径 mm
	呼び径	公称径 mm	質量 kg/m			
1-1	D4	4.23	0.110	120	22	40
1-2	D6	6.35	0.249	177	33	59
1-3	D10	9.53	0.560	259	48	86
1-4	D13	12.7	0.995	381	71	127

【参考】薬量の 3 乗根で除した値

1-2	D6	4.31	—	120.1	22.4	40.0
1-3	D10	4.42	—	120.2	22.3	39.9
1-4	D13	4.00	—	120.0	22.4	40.0

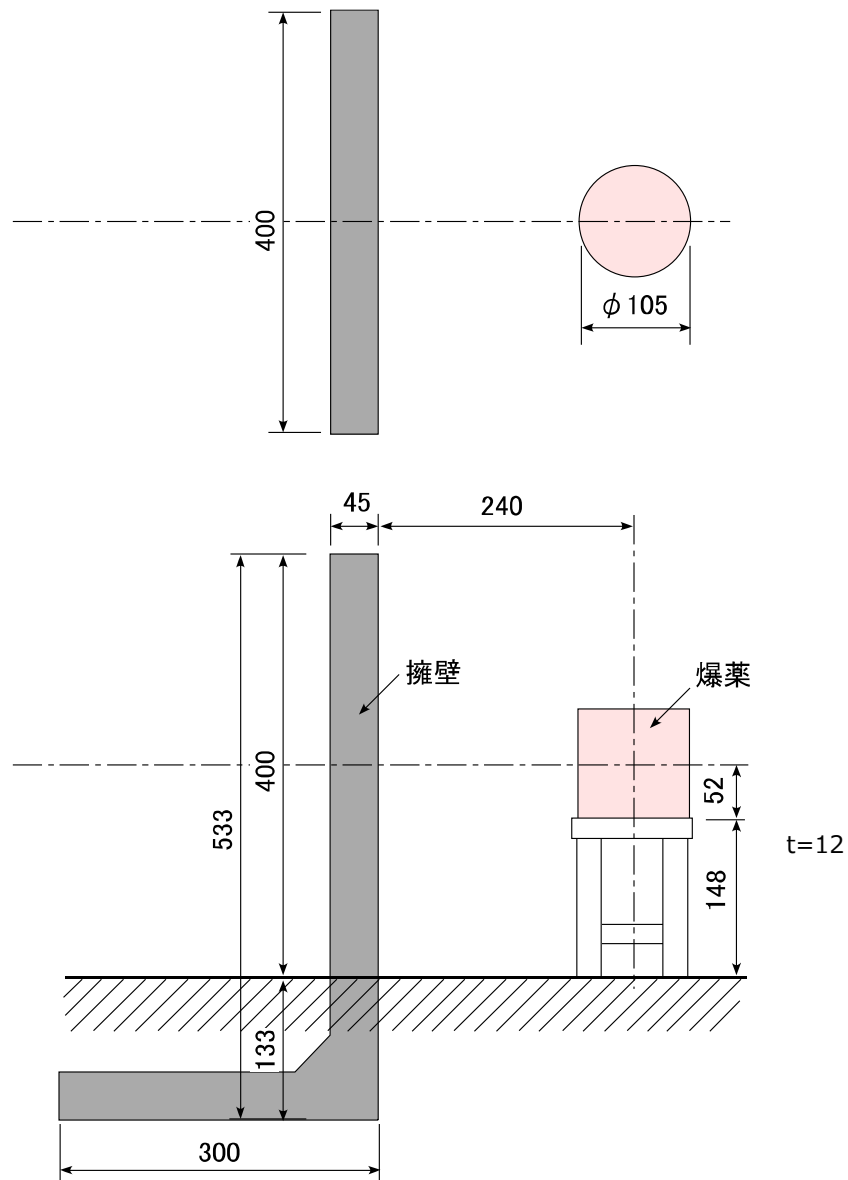


図 4.1.2.2-1 実験 No.1-1 擁壁設置状況

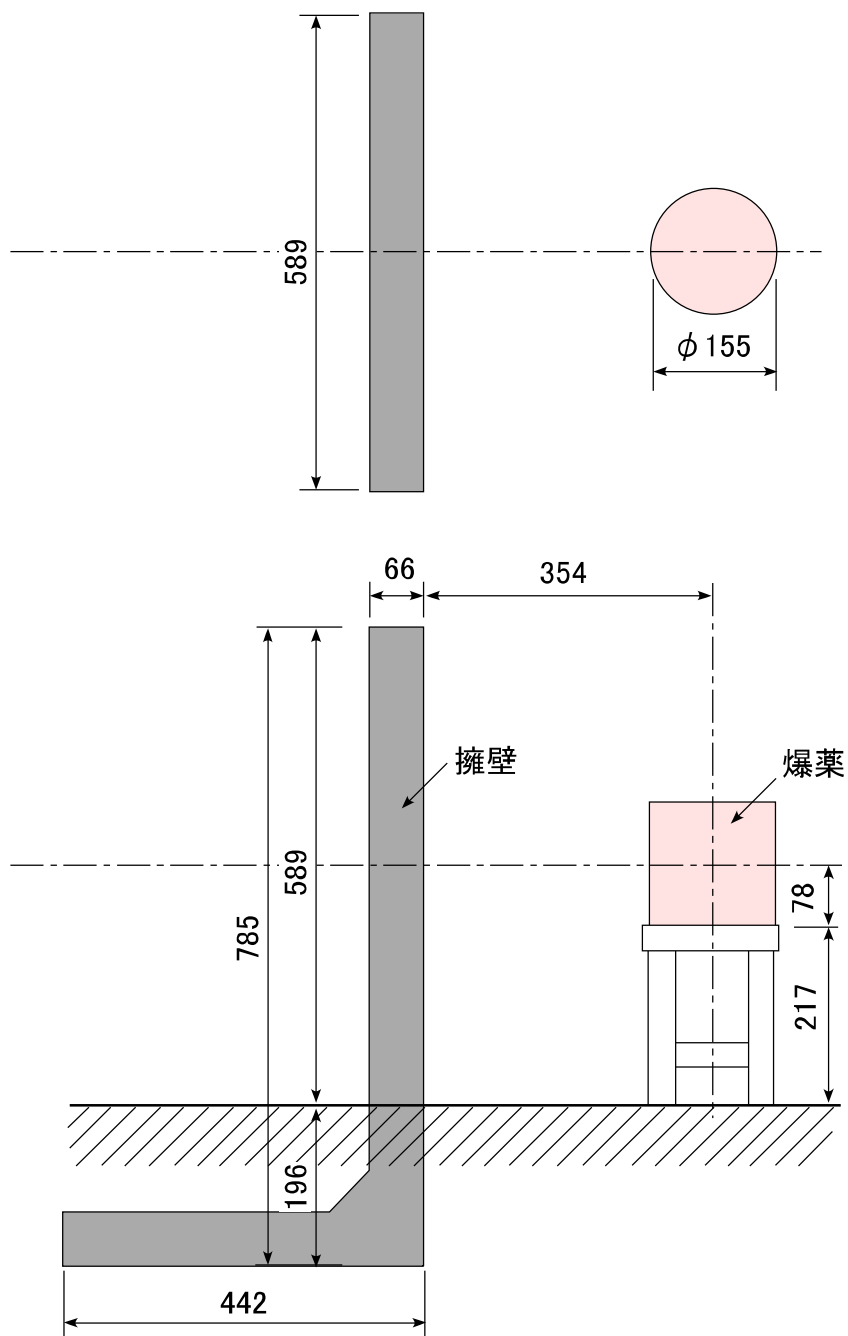


図 4.1.2.2-2 実験 No.1-2 擁壁設置状況

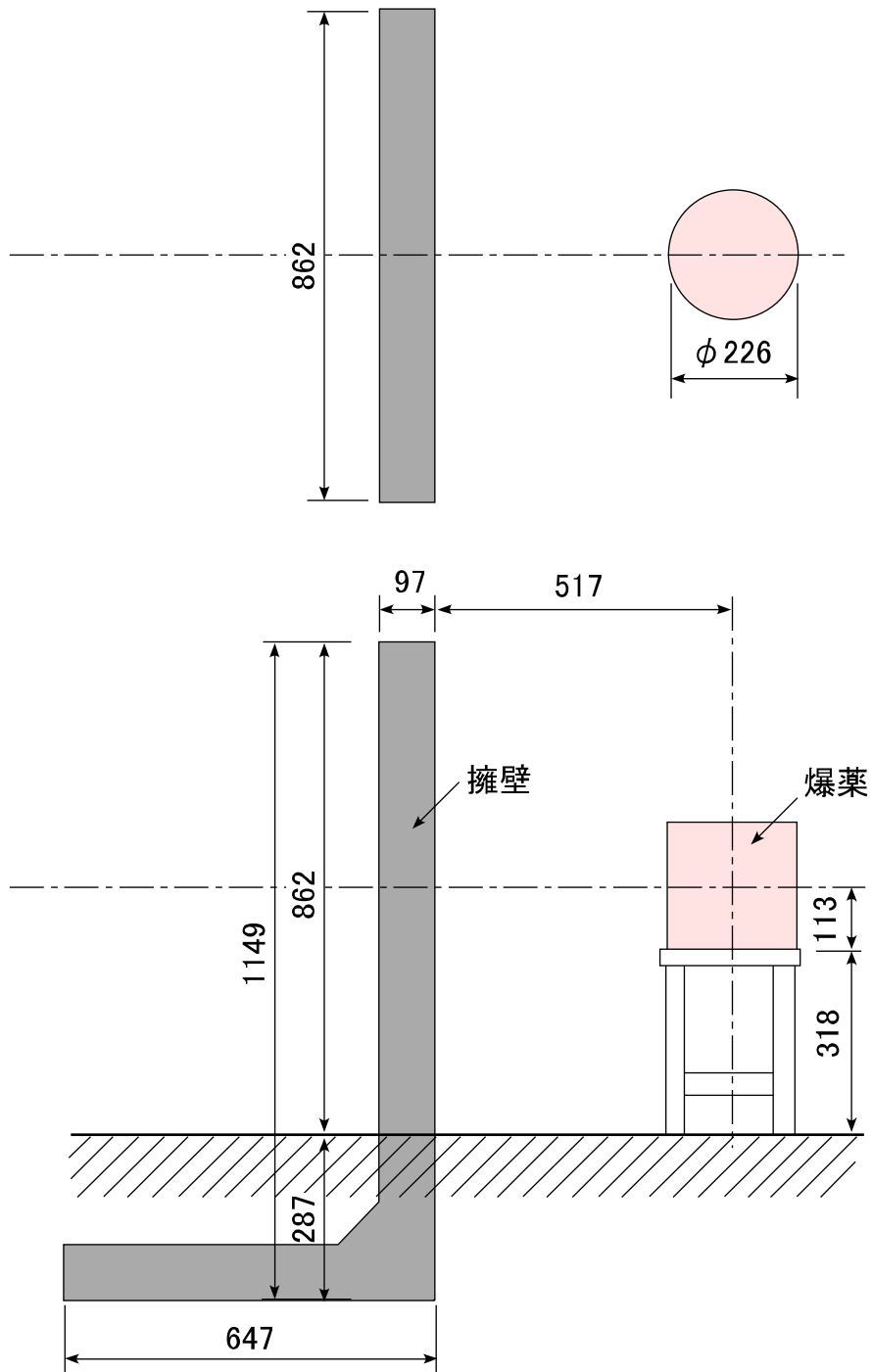


図 4.1.2.2-3 実験 No.1-3 擁壁設置状況

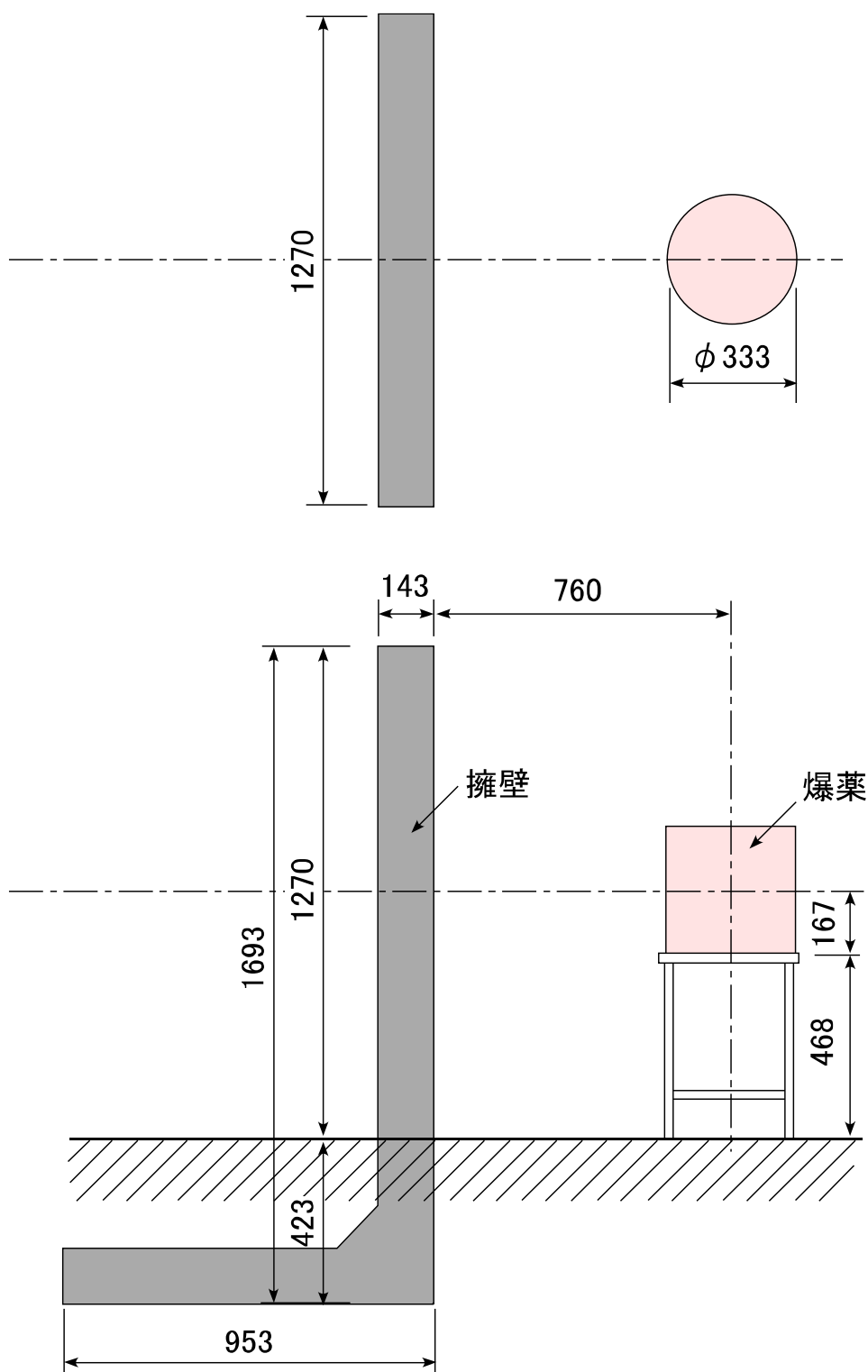


図 4.1.2.2-4 実験 No.1-4 擁壁設置状況

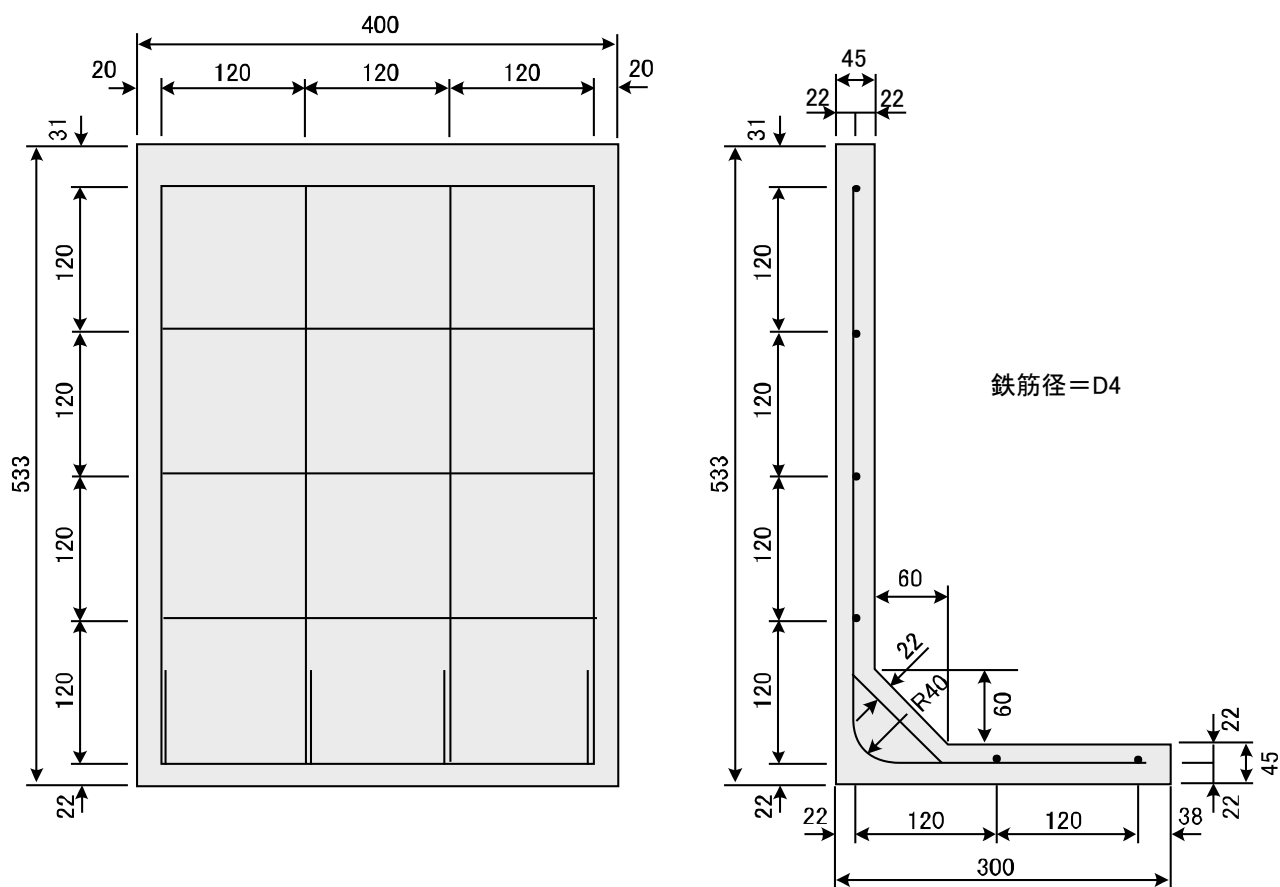


図 4.1.2.2-5 L 型擁壁配筋 (実験 No. 1-1)

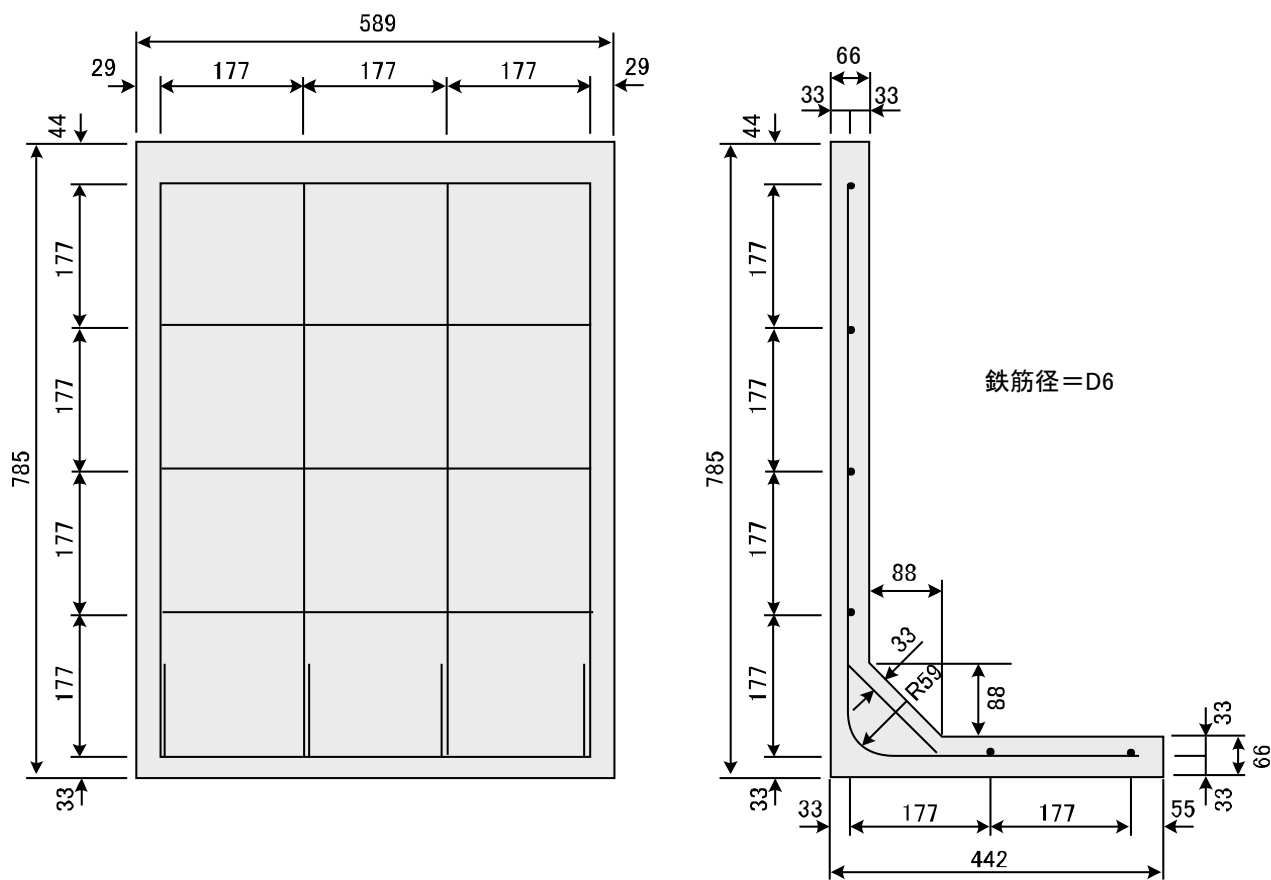


図 4.1.2.2-6 L 型擁壁配筋 (実験 No. 1-2)

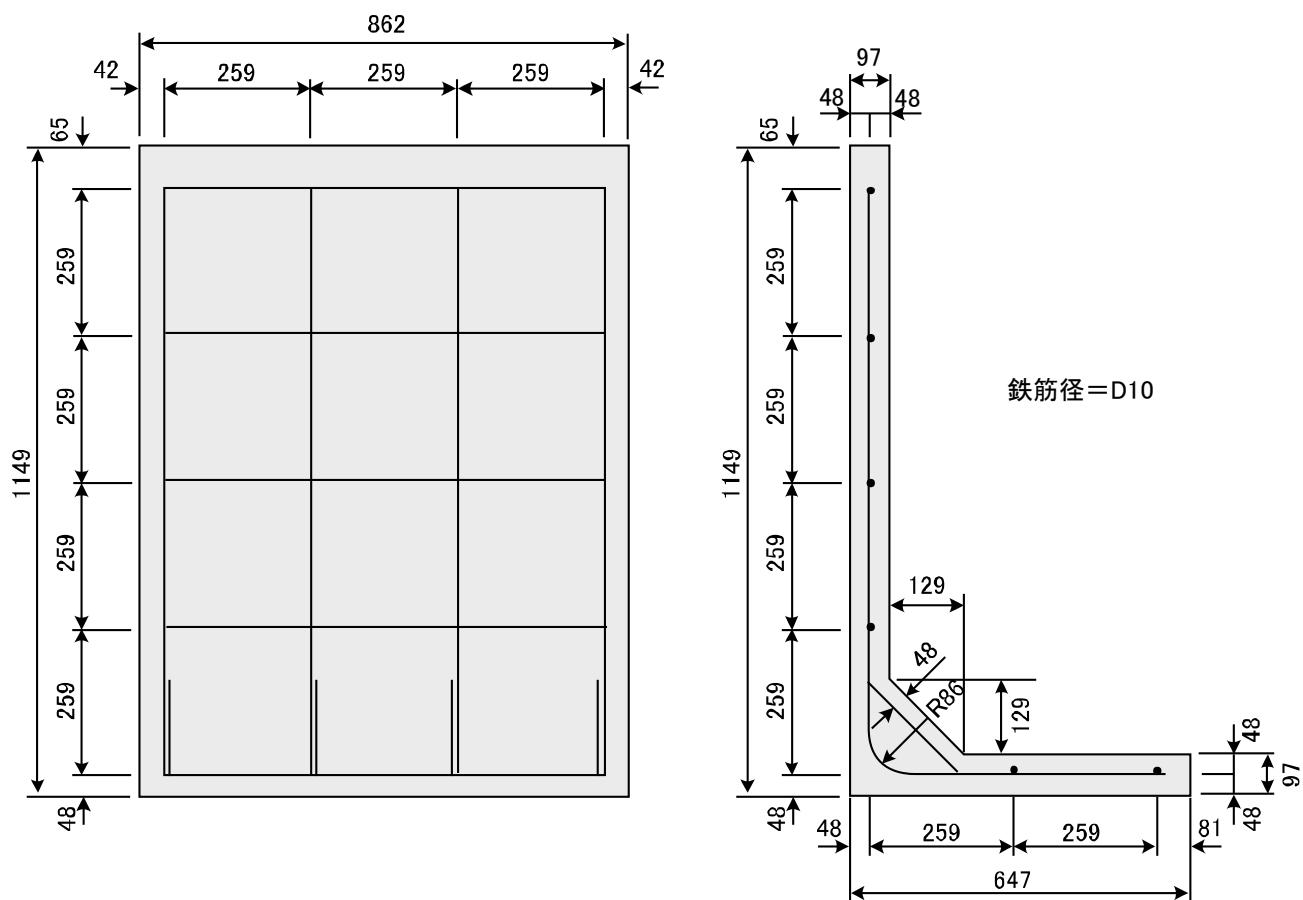


図 4.1.2.2-7 L 型擁壁配筋 (実験 No. 1-3)

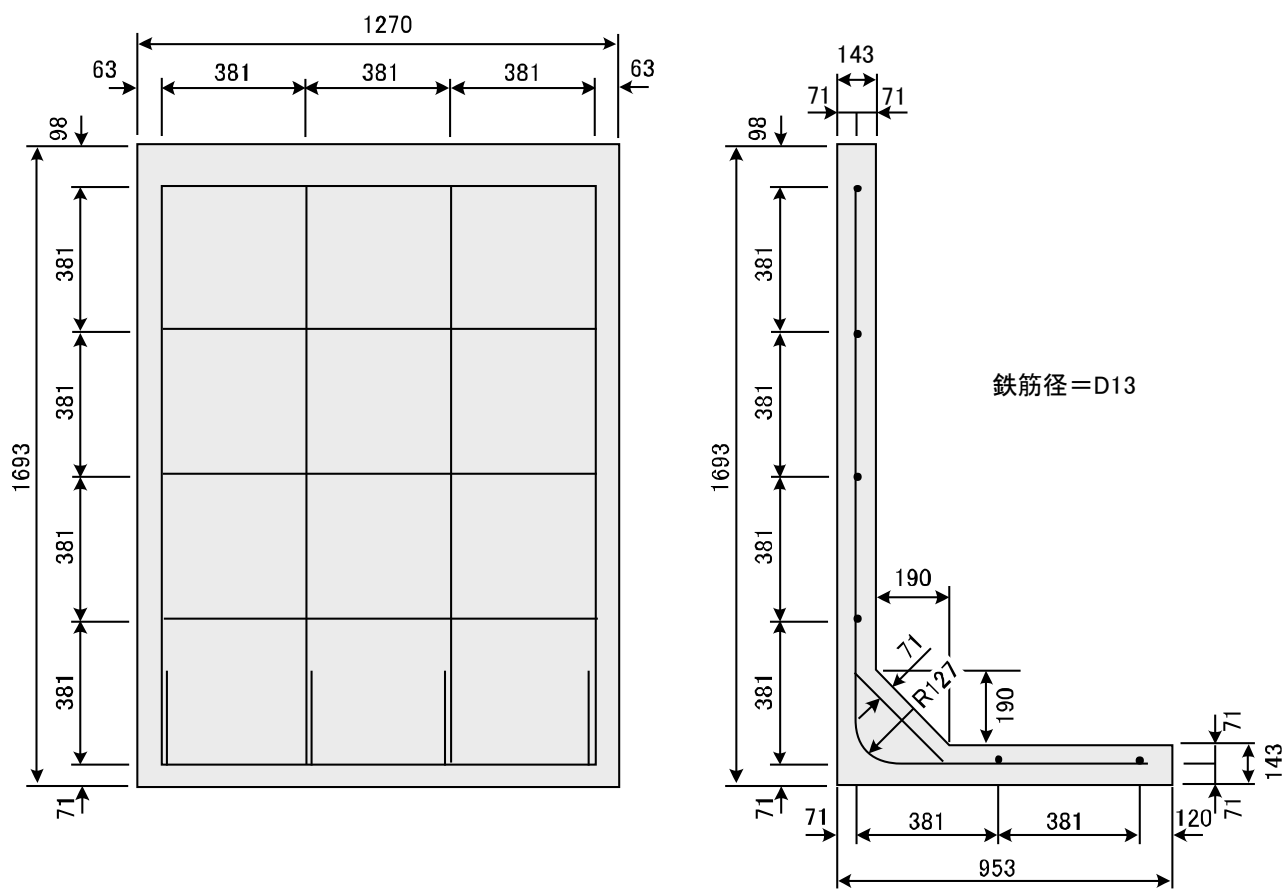


図 4.1.2.2-8 L 型擁壁配筋 (実験 No. 1-4)



図 4.1.2.2-9 実験場における L 型擁壁設置状況

4.1.2.3 計測項目

爆風圧計測、飛散物計測、地盤振動計測、常速度・高速度撮影、騒音計測を行う。

(1) 爆風圧計測

表 4.1.2.3-1 に爆風圧計の各 ch の距離を示す。図 4.1.2.3-1 に爆風圧計の設置状況と設置位置を示す。爆薬中心から、10.8、15.5、25.5、40.0、65.0、90.0、130 m の 7 点の距離で、爆点から見たときに互いに重ならない任意の方角（45～180 度の範囲を想定）に爆風圧計を設置する。また、地面の状態や、高速度カメラ計測に問題ない位置とする。爆風圧計は地面から高さ 1.0 m に専用のホルダー（整流板）で側圧を測定するように設置する。

表 4.1.2.3-1 爆風圧計の各 ch の距離

		ch1	ch2	ch3	ch4	ch5	ch6	ch7
	距離 m	10.8	15.6	25.5	40.0	65.0	90.0	130
	薬量 kg	換算距離	$m/kg^{1/3}$					
No.1-1	1	10.8	15.5	25.5	40.0	65.0	90.0	130
No.1-2	3.2	7.33	10.5	17.3	27.1	44.1	61.1	88.3
No.1-3	10	5.01	7.19	11.8	18.6	30.2	41.8	60.4
No.1-4	32	3.40	4.88	8.03	12.6	20.5	28.4	41.0

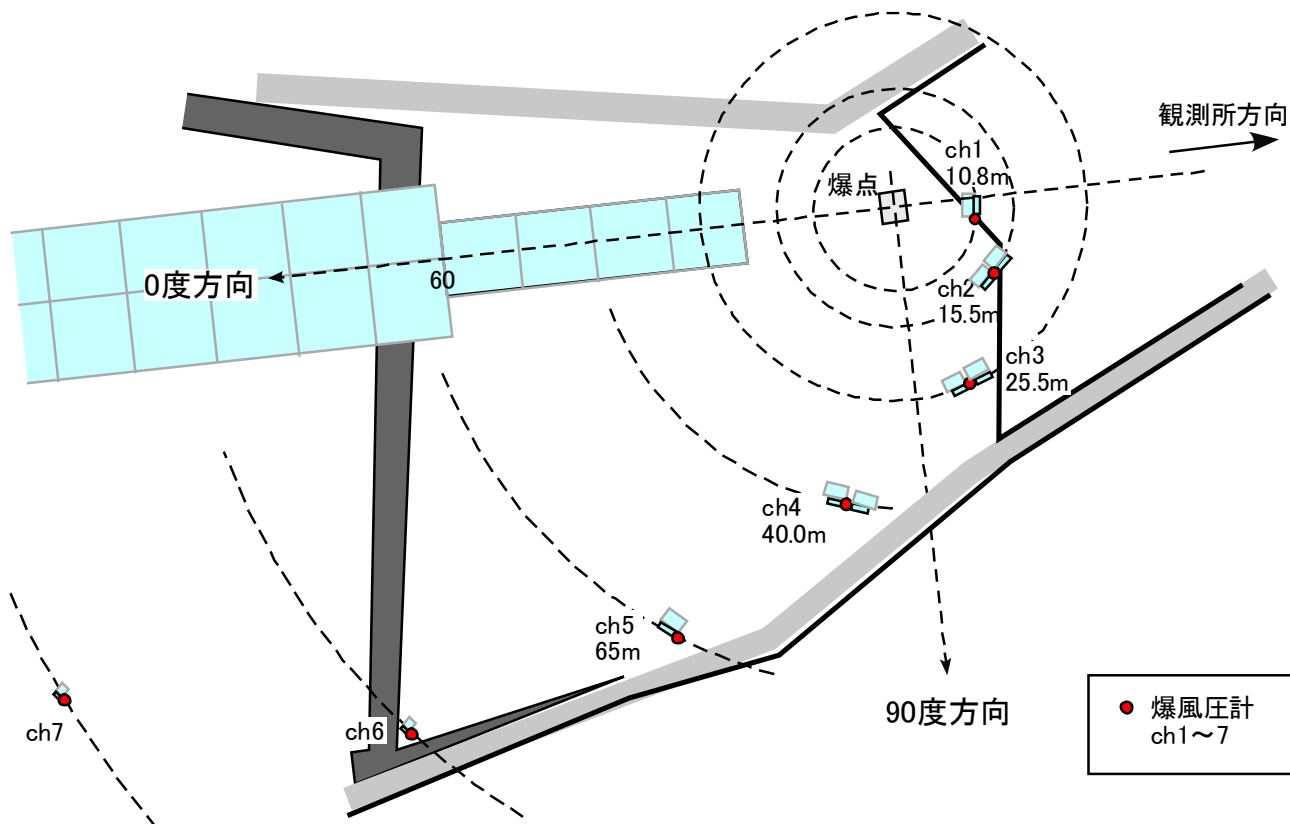


図. 4.1.2.3-1 爆風圧計の設置位置

(2) 飛散物計測

実験後の飛散物（L型擁壁の破片）の状況を計測する。回収を確実にするため、ブルーシート（10 m × 10 m）を敷設する。図 4.1.2.3-2 で番号付きの正方形はブルーシートを示す。また、回収領域を実験場の地図と重ねて描いたものが図 4.1.2.3-3 である。

回収領域は、ブルーシート上の爆点から 0° 方向（+X 方向）を中心に開き角 10°（片側 5°）以内、距離 20 m から 180 m までの範囲（60 m までは 10 m 幅、60 m 以遠は 20 m 幅）とする。質量 5 g 以上の飛散物を回収し、その位置（+X 方向及び+Y 方向の距離）と質量を計測する。ただし、飛散状況を見て、爆点に近い範囲は、各ブルーシート区画内の飛散物の総数と総質量を計測する。また、回収領域範囲外でも、明らかに爆発飛散物と判断できるものは計測する。図 4.1.2.3-4 に飛散物の回収用ブルーシート展開の様子を示す。

実験条件に応じて、爆点から 60～130 m の範囲を側方から 3 台、180 度方向遠方に 1 台カメラを設置して、飛散物の落下状況を撮影する。撮影は 240 fps の撮影速度を有する通常の高解像カメラを用いる。

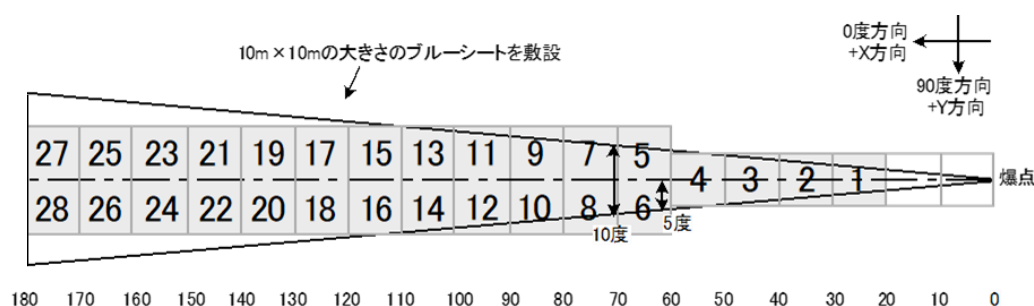


図 4.1.2.3-2 飛散物の回収領域

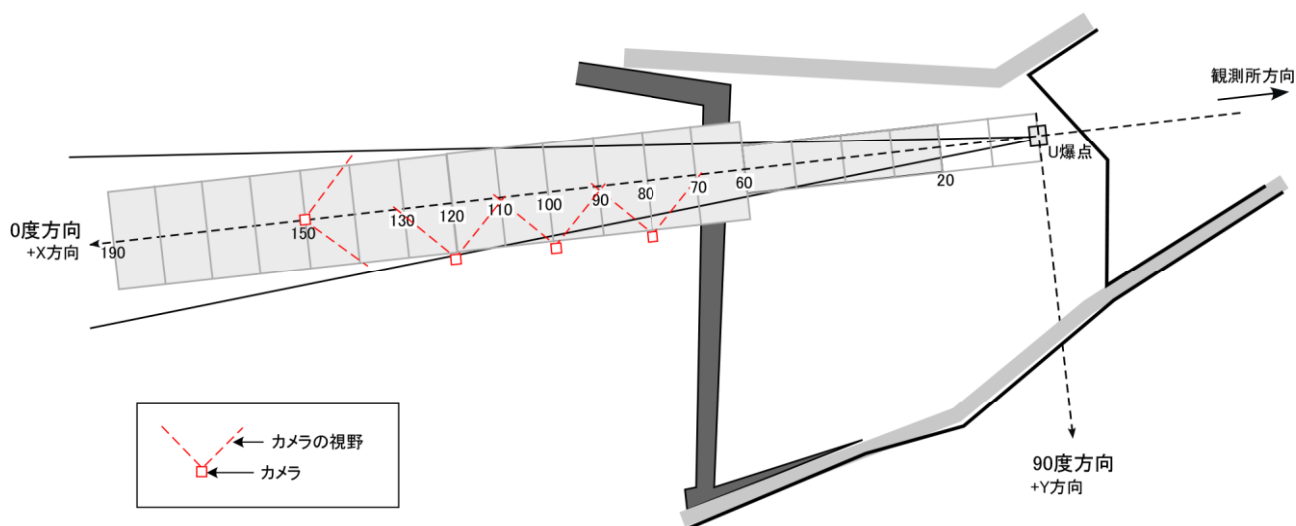


図 4.1.2.3-3 飛散物の回収領域（実験場内配置）



図 4.1.2.3-4 飛散物の回収用ブルーシート展開の様子

(3) 地盤振動計測

地盤振動（加速度又は速度）を計測する。表 4.1.2.3-2 に地盤振動計の距離及び換算距離を、図 4.1.2.3-5 に地盤振動計の設置位置を示す。図 4.1.2.3-6 に地盤振動計の設置状況と計測ボックス内の地盤振動計測機器設置の様子を示す。

表 4.1.2.3-2 地盤振動計（加速度計）の各 ch の距離

		ch1	ch2	ch3	ch4
	距離 m	7.9	12.7	25.4	50.8
	薬量 kg	換算距離	m/kg ^{1/3}		
No.1-1	1	7.9	12.7	25.4	50.8
No.1-2	3.2	5.4	8.6	17.2	34.5
No.1-3	10	3.7	5.9	11.8	23.6
No.1-4	32	2.5	4	8	16

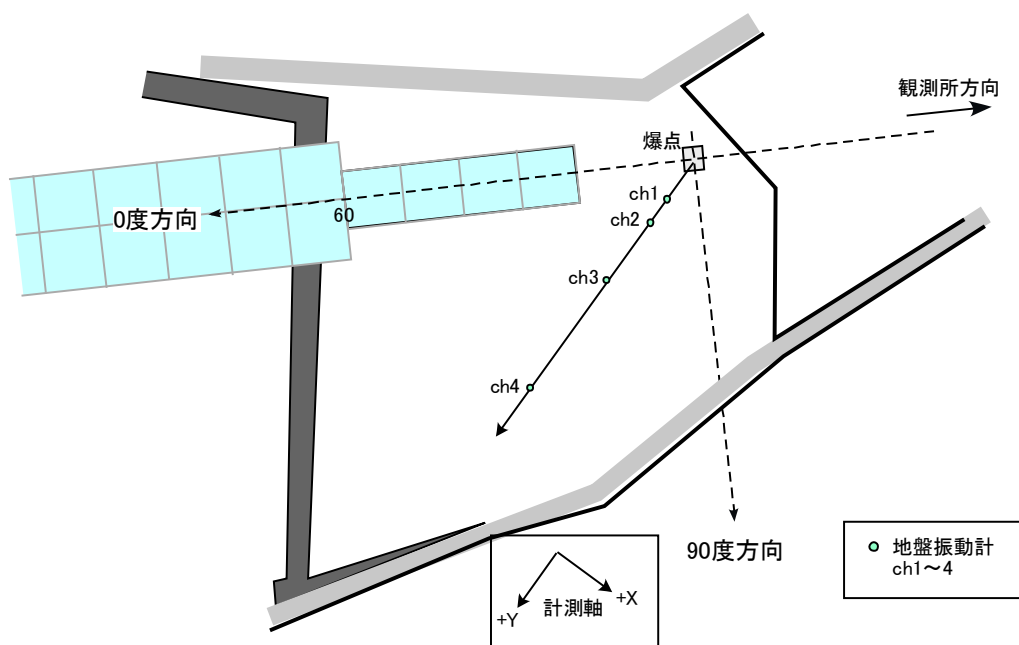


図 4.1.2.3-5 地盤振動計の設置位置



図 4.1.2.3-6 地盤振動計の設置状況と計測ボックス内の地盤振動計測機器

(4)高速度・常速度撮影

飛散物の飛散状況を観察するために高速度カメラによる撮影を行う。90 度方向の 2 棟のカメラボックスと観測所の屋根上に高速度カメラを設置した。カメラボックスの外観と観測所 1 の屋上 (270 度方向) への高速度カメラの設置状況を図 4.1.2.3-7 に示す。

表 4.1.2.3-3 に高速度撮影に使用した機材(カメラ及びレンズ)と撮影条件(撮影画素サイズ、撮影速度、露光時間、レンズ絞り値)を示す。



カメラボックス (90 度方向) 外観



観測所 1 の屋上 (270 度方向) に設置した高速度カメラ

図 4.1.2.3-7 高速度カメラの設置状況

表 4.1.2.3-3

観測位置	使用カメラ機材	撮影条件
観測所 1	Vision Research V640 Nikon AI Nikkor 135mm F2S	2560×1600 pix @ 1000 fps, 60 μs 135mm/f5.6–f8
カメラ Box1	Vision Research VEO640 Nikon AI Nikkor 24mm F2S	1920×1080 pix @ 1000 fps, 20–40 μs 24 mm / f5–f5.6
カメラ Box2	Vision Research V1210 Nikon AI Nikkor 85mm F1.4S	1280×800 pix @ 5000 fps, 40–50 μs 85 mm / f5.6–f8

また、爆点付近と、観測所にビデオカメラを設置し常速度撮影を行う。

(5) 騒音計測

マイクロフォンと騒音計を用いて爆発時の騒音を測定した。図 4.1.2.3-8 に測定位置を示す。観測所付近にマイクロフォンを、遠方の 2 点（別寒辺四叉路、国境四叉路）に騒音計を設置した。表 4.1.2.3-3 に爆点から計測位置までの距離を示す。

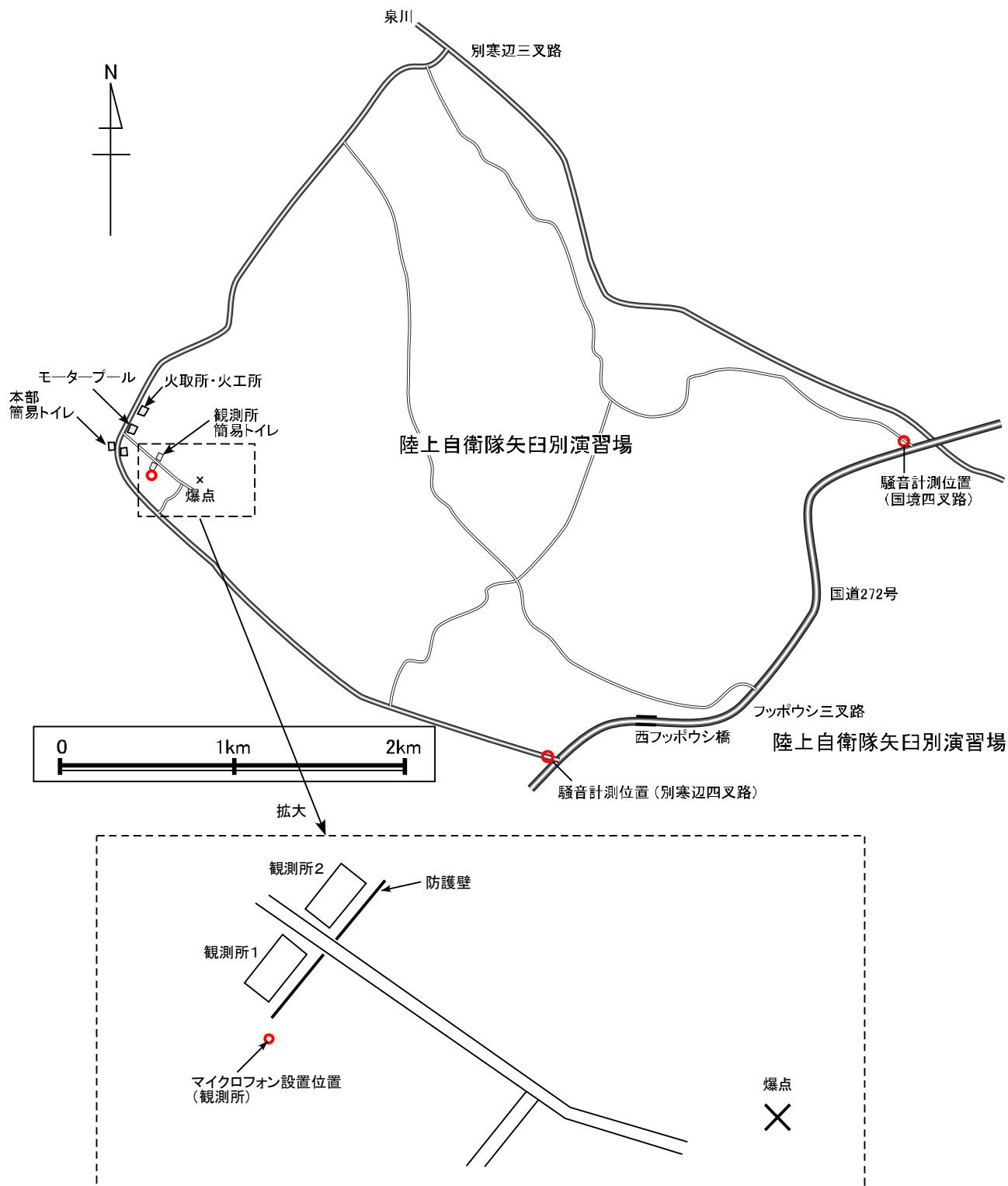


図 4.1.2.3-8 騒音計測点 No.1

4.1.3 実験結果

4.1.3.1 爆発後の爆点の様子（破壊状況計測）

(1) 漏斗孔の大きさ

実験後、爆点には漏斗孔が形成された。その直径、深さを計測した。

表 4.1.3.1-1 に実験ごとの漏斗孔の大きさを示す。漏斗孔の直径は 0 度方向と 180 度方向のライン、90 度と 270 度方向のラインを巻尺で地盤面高さ（GL=0）における直径を測定した。漏斗孔の深さは漏斗孔の最深部（＝爆点中心）と GL=0 で張った巻尺の距離（深さ）を測定した。

過去の実験結果と比べて、今年度の結果は小さくなり、特に**実験 No.1-4** の漏斗孔は小さくなった。薬量 40 kg に対しては通常、漏斗孔深さ 800～1000 mm が予想される。これは実験当日気温が氷点下で、地表 100 mm 程度の深さまで地面が凍っていたため、爆発によって削られる量が減少したとみられる。

図 4.1.3.1-1～図 4.1.3.1-3 に**実験 No.1-1～1-3** の漏斗孔の写真を示す。

表 4.1.3.1-1 漏斗孔の大きさ

実験 No.	薬量 (kg)	漏斗孔の形状と直径 (mm) (0-180 度方向×90-270 度方向)	漏斗孔の深さ (mm)	実験順番
1-1	1	300×330	100	U 爆点 4 回目
1-2	3.2	950×1000	170	U 爆点 2 回目
1-3	10	1100×1000	230	U 爆点 1 回目
1-4	32	1800×1400	290	U 爆点 3 回目



図 4.1.3.1-1 漏斗孔の写真 **実験 No.1-1**



図 4.1.3.1-2 漏斗孔の写真 実験 No.1-2



図 4.1.3.1-3 漏斗孔の写真 実験 No.1-3



図 4.1.3.1-4 漏斗孔の写真 実験 No.1-4



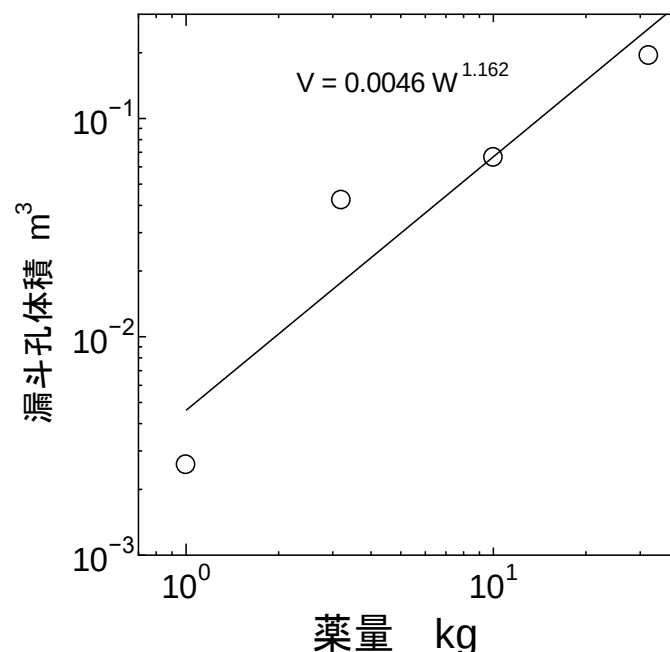


図 4.1.3.1-5 薬量と漏斗孔体積との関係

図 4.1.3.1-5 に薬量と漏斗孔体積との関係を示す。**実験 No.1-1～1-4** の漏斗孔データの漏斗孔深さと平均漏斗工直径をもとに漏斗孔体積をもとめ、累乗近似曲線を求めた。傾きを表す指数は 1.1 程度であり過去のデータと整合性があった。**実験 No.1-2** (薬量 3.2kg) の結果が他の実験番号の結果と比すると直線から離れている。他の実験ケースと比して大きめの漏斗孔が生成されたと見積もられる。後述するが、爆源近傍の重量飛散物、ならびに遠方への飛散物については、**実験 No.1-2** (薬量 3.2kg) の飛散距離が短い傾向にあった。

(2) 爆発後の様子

実験後、擁壁が細かく破片になって遠くまで飛散していた。ブルーシートに飛散した飛散物は、XY 座標距離、重さを計測した。その結果は飛散物計測結果に記した。ここでは爆点付近（ブルーシートまでの 20 m の範囲）の飛散物について述べる。また、ブルーシートを撮影した写真を掲載する。

図 4.1.3.1-6 に爆点付近の飛散物計測結果を示す。特に大きい飛散物を図にまとめた。その中で特に大きかったものは重さも測定し、図中に記載した。爆点から 20 m までの距離における重量飛散物は**実験 No.1-1** では 18 m 程度、**実験 No.1-3** と **No.1-4** では 15 m 程度に確認された。**実験 No.1-2** は傾向が異なり、飛散距離が 10 m 程度にとどまった。**実験 No.1-2** の飛散の傾向は他のケースと異なる結果であった。

爆発後の爆点の状況（破壊状況計測）まとめ

過去の実験結果と比べて、今年度の漏斗孔サイズは小さくなる傾向があった。実験日の気温が氷点下で、地表 100 mm 程度の深さまで地面が凍っていた影響が考えられる。**実験 No.1-2** (薬量 3.2kg) の結果が他の実験番号の結果と比較し大きい漏斗孔が生成された。爆点近傍の 20 m 程度までの重量飛散物の飛散傾向についても**実験 No.1-2** が異なり、飛散距離が他と比して短い。爆点から 20 m までの距離における重量飛散物は**実験 No.1-1** では 18 m 程度、**実験 No.1-3** と **No.1-4** では 15 m 程度に確認された。**実験 No.1-2** は飛散距離が 10 m 程度にとどまった。

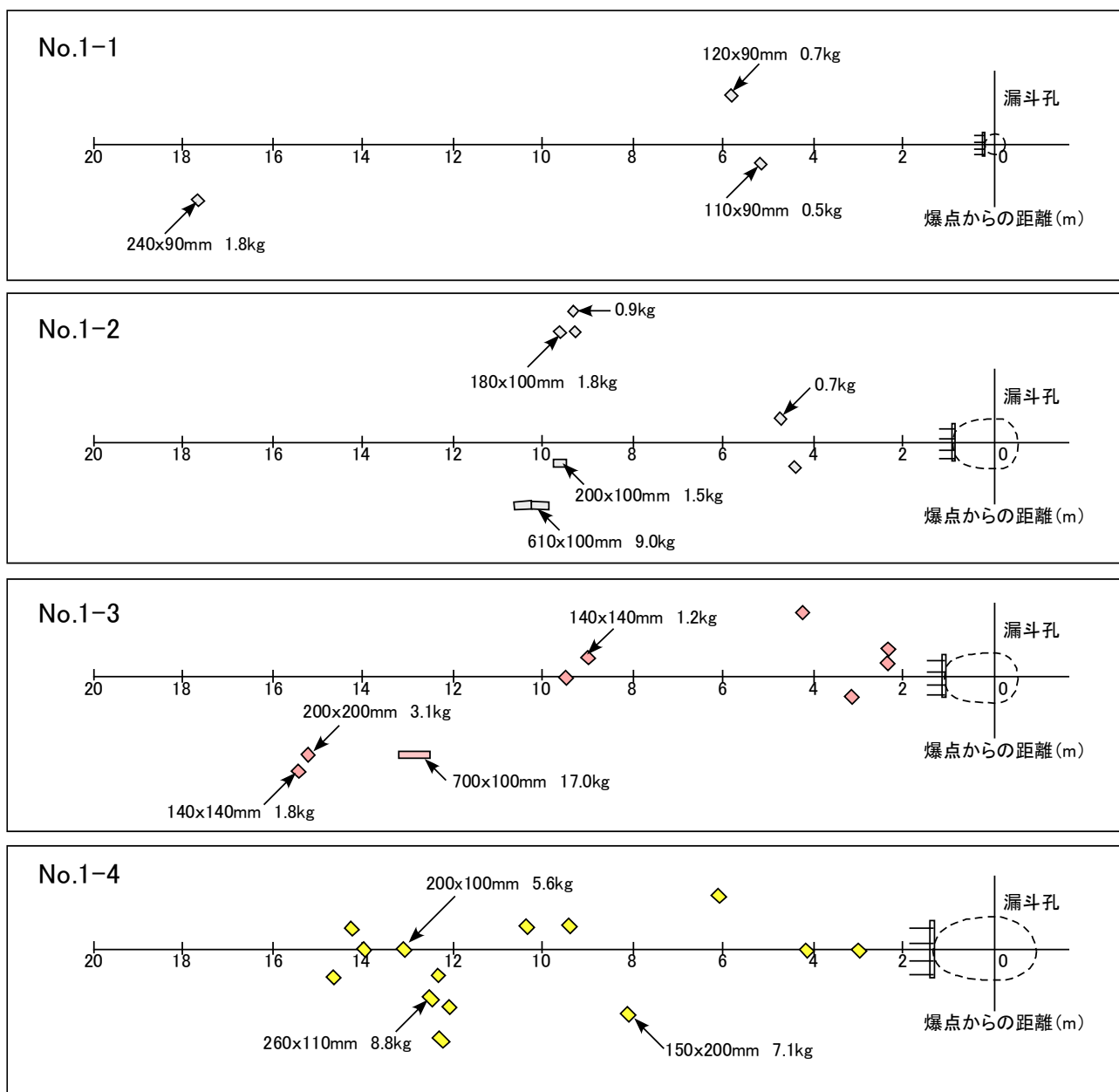


図 4.1.3.1-6 爆点付近の飛散物計測結果



5～10 m



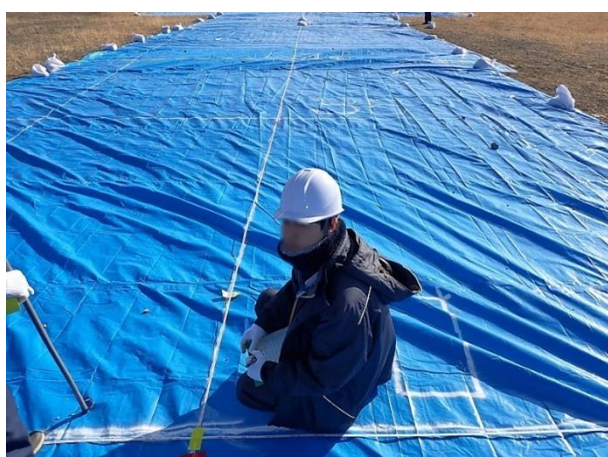
15～20 m



20～25 m



25～30 m



30～35 m



35～40 m

図 4.1.3.1-7 爆発後の様子 実験 No.1-1 (爆点近傍から 40m まで)



40～45 m



45～50 m



50～55 m



55～60 m



60～65 m



65～70 m

図 4.1.3.1-8 爆発後の様子 実験 No.1-1 (40 m～70m)



70～75 m



75～80 m



85～90 m

図 4.1.3.1-9 爆発後の様子 実験 No.1-1 (70 m～90 m)



5～20 m



15～20 m



25～30 m



30～35 m



35～40 m



40～45 m

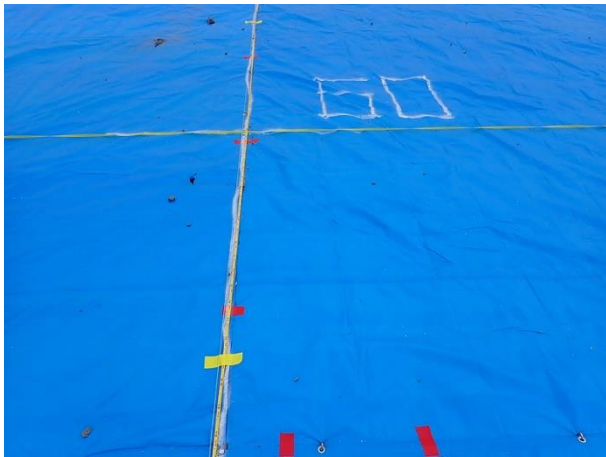
図 4.1.3.1-10 爆発後の様子 実験 No.1-2 (爆点近傍から 45 m まで)



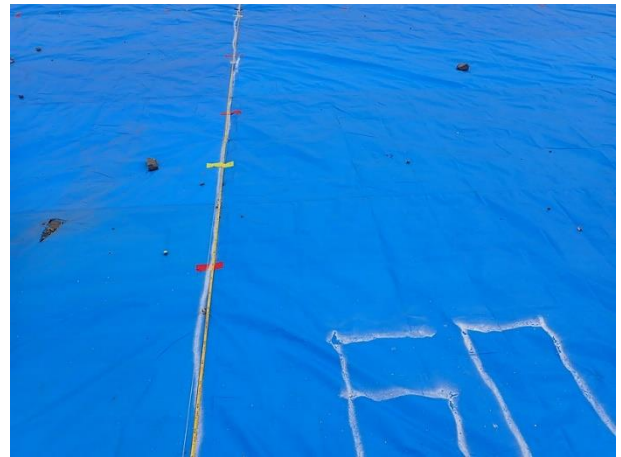
45~50 m



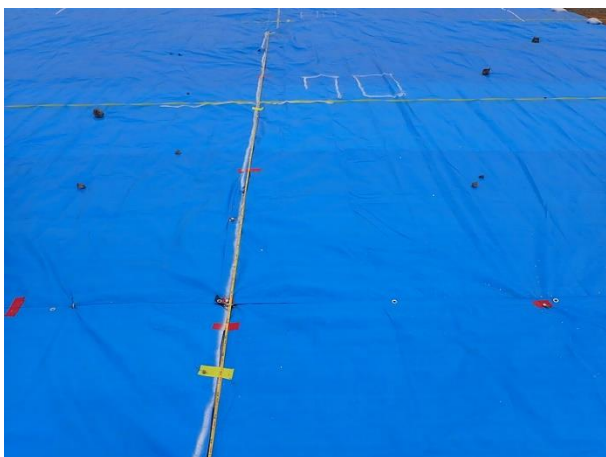
50~55 m



55~60 m



60~65 m



65~70 m



70~75 m

図 4.1.3.1-11 爆発後の様子 実験 No.1-2 (45 m~75 m)



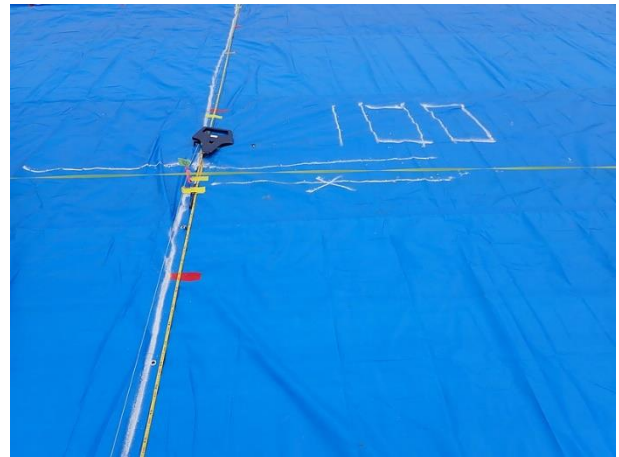
80～75 m



75～80 m



85～90 m



95～100 m

図 4.1.3.1-12 爆発後の様子 実験 No.1-2 (80 m～100 m)



0～5 m



10～15 m



15～20 m



25～30 m

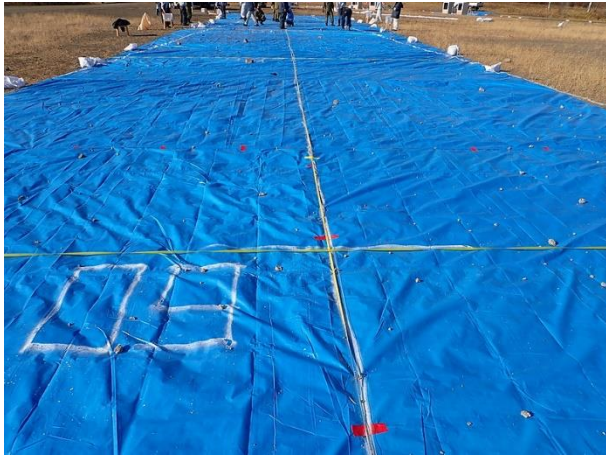


45～40 m

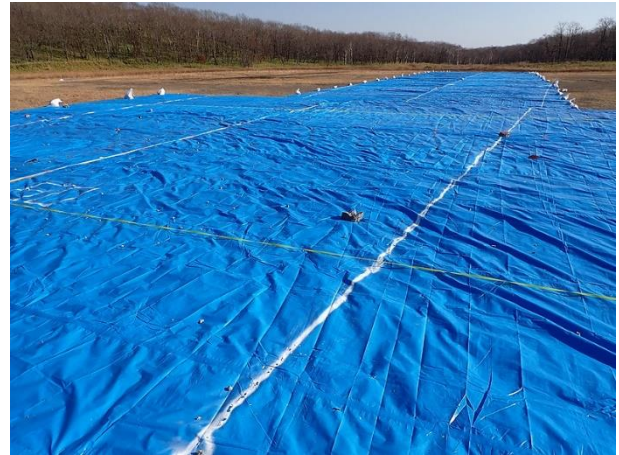


55～50 m

図 4.1.3.1-13 飛散物の写真 実験 No.1-3 (爆点近傍から 50 m まで)



60～55 m



60～65 m



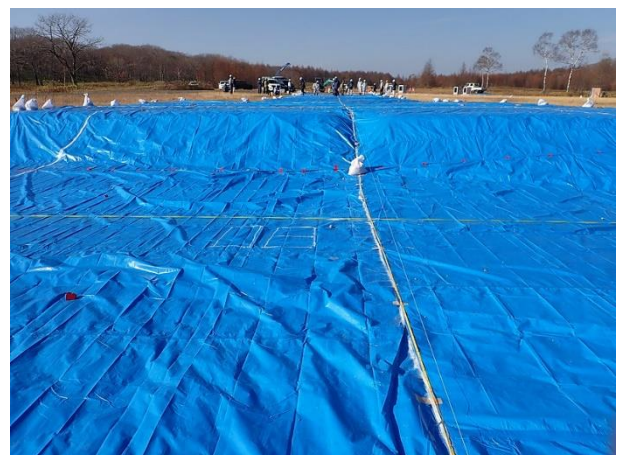
70～75 m



70～75 m



75～80 m



85～80 m

図 4.1.3.1-14 飛散物の写真 実験 No.1-3 (60 m～80 m)



90～85 m



95～90 m



95～100 m



105～100 m



115～110 m



120～125 m

図 4.1.3.1-15 飛散物の写真 実験 No.1-3 (90 m～125 m)



5～15 m



10～20 m



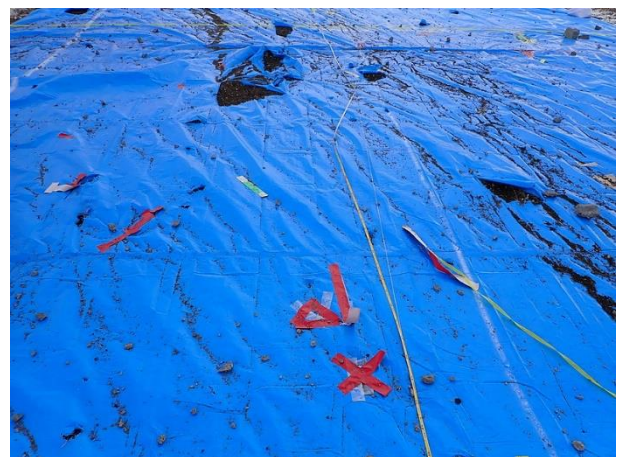
20～25 m



25～30 m

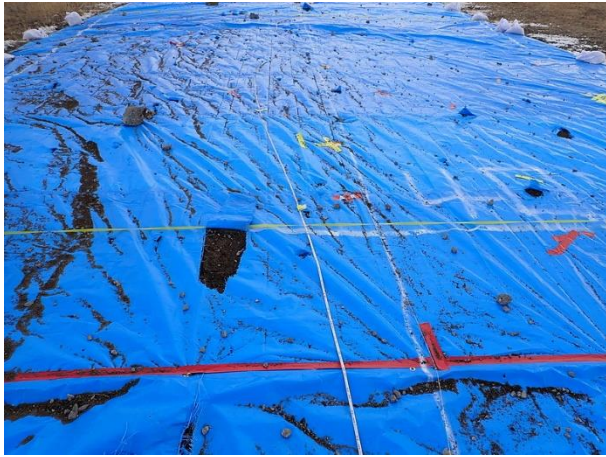


27～32 m

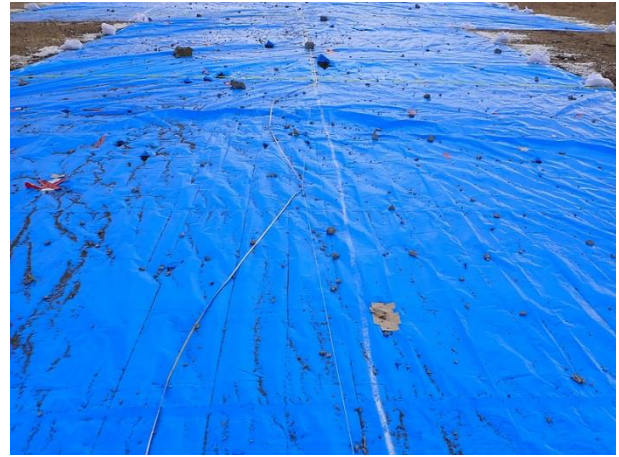


31～35 m

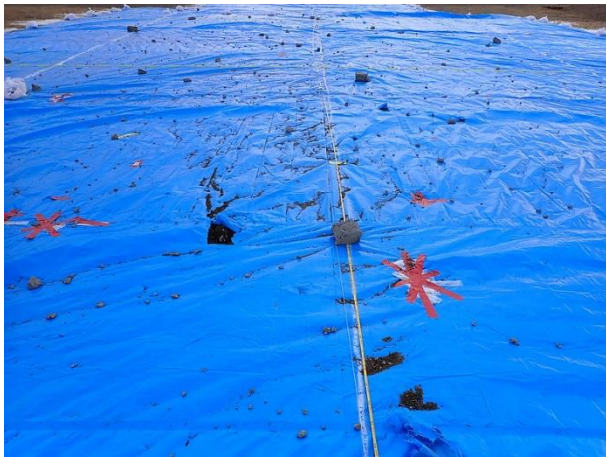
図 4.1.3.1-16 飛散物の写真 実験 No.1-4 (爆点近傍から 35 m まで)



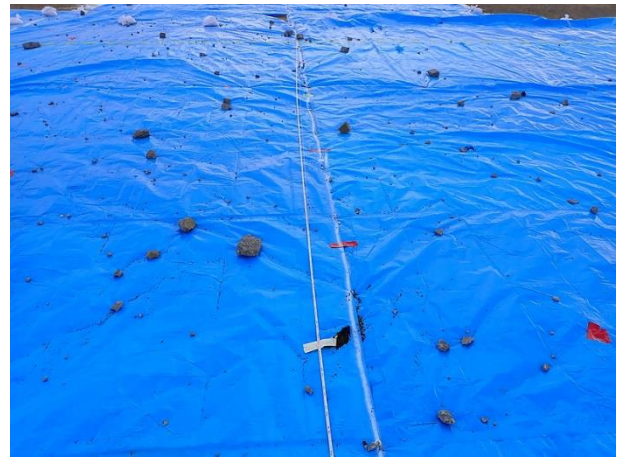
39～43 m



45～50 m



60～65 m



65～70 m



70～75 m

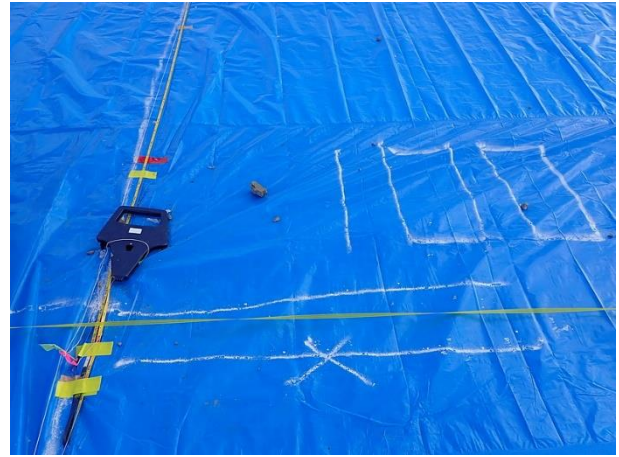


70～77 m

図 4.1.3.1-17 飛散物の写真 実験 No.1-4 (39 m～77 m)



80～100 m



100 m



110 m



120 m



125 m



120～110 m

図 4.1.3.1-18 飛散物の写真 実験 No.1-4 (80 m～110 m)

4.1.3.2 飛散物計測結果

実験 No.1-1～1-4において、擁壁から発生した飛散物(コンクリート破片)の状況を計測した。図 4.1.3.2-1 に想定していた飛散物の回収領域を示す。実験では、飛散物の回収を確実にするために、ブルーシート (10 m×10 m) を敷設した。

回収領域は、ブルーシート上の爆点から 0° 方向 (+X 方向) を中心に開き角 10° (片側 5°) 以内、距離 20 m から 180 m までの範囲 (60 m までは 10 m 幅、60 m 以降は 20 m 幅) とした。ブルーシート設置後に中心基準線と±5° 基準線を道路線引用スプレーで描写した。図 4-1-2-2-1 に飛散物回収領域と計測用の XY 軸方法を示す。回収する飛散物は、5 g 以上として、その位置 (X 方向及び Y 方向の距離) と重量を計測した。また、明らかに擁壁から発生した推定できる飛散物も領域外にあっても、回収計測した。

更に、他の実験による飛散物の混在を防止するために、実験のたびにブルーシート上を箒で掃きとった。また、点火前には、回収すべき大きな破片や石がブルーシート上や周辺にないことを確認した。擁壁に由来する飛散物を識別しやすくするために、擁壁の表面にペンキで塗装した。

実験 No.1-1：塗装なし

実験 No.1-2：白色

実験 No.1-3：赤色

実験 No.1-4：黄色

設置された試験体 (**実験 No.1-3**) を図 4.1.3.2-2 に示す。

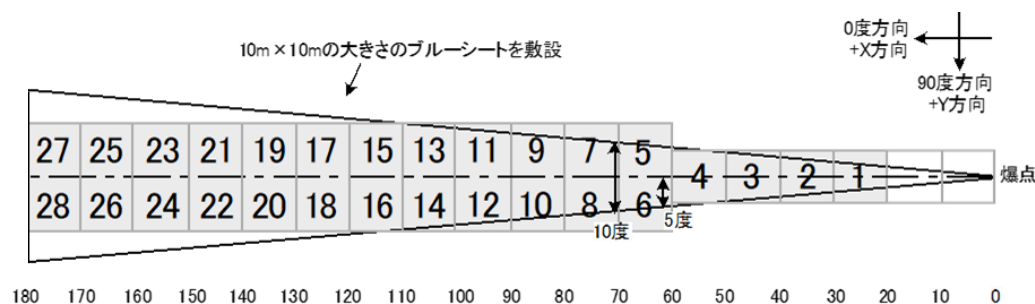


図 4.1.3.2-1 飛散物の回収領域



図 4.1.3.2-2 設置された実験前の試験体 (**実験 No.1-3** 擁壁)

図 4.1.3.2-3 に回収状況を示す。飛散物計測では、1 グループ 4～5 人で、それぞれ下記の担当を決めて計測した。以下に担当を示す。発生した飛散物が多い場合は、計測グループを増やして対応した。

- ① 飛散物特定と回収
- ② X 軸方向計測
- ③ Y 軸方向計測
- ④ 飛散物重量計測
- ⑤ X-Y 軸位置及び重量等記録（飛散物の色、特記事項）

飛散物の回収結果を表 4.1.3.2-1 に示す。実験のスケールが大きくなるほど、発生する飛散物の数量及び重量も多くなった。また、図 4.1.3.2-4 に実験後の擁壁の状況を示す。試験体の地上部分が飛散物となっているが、地下部を残存していることを示す。

実験 No.1-1 では、5 g 以上の飛散物を 86 個回収した。最大飛散距離は 88.3 m であり、最大重量は 522g であった。飛散物の重量中心と距離中心は 0° 方向であるが、想定していた 5° を越える飛散物も大量に発生した。また、回収した飛散物の総重量は、17,640 g であり、飛散した試験体上部コンクリート部分の 36.6%程度と推定され、多くは 20 m 以内か 5 g 以下の飛散物となったと推定できる。図 4.1.3.2-5 に**実験 No.1-1** で発生した飛散物の分布状況を示す。図 4.1.3.2-6 に距離に対する飛散物数分布と正規化累積破片数を図 4.1.3.2-7 に距離に対する飛散物重量分布と正規化累積破片重量を示すが、最大飛散距離まではほぼ均等に飛散していると思われる。**実験 No.1-1** では、重量中心と距離中心がずれているが、これは比較的重量のある飛散物は、遠方へ飛散したと思われるが、飛散した試験体上部コンクリート部分の 36.6%程度の回収であり、他の実験結果と比較することは難しく 20m 以内の多くの飛散物があると推定できる。

実験 No.1-2 では、5 g 以上の飛散物を 204 個回収した。最大飛散距離は 78.3 m であり、最大重量は 5,300 g であった。飛散物の重量中心と距離中心は 0° 方向であるが、想定していた 5° を越える飛散物も大量に発生した。図 4.1.3.2-8 に**実験 No.1-2** で発生した飛散物の分布状況を示す。図 4.1.3.2-9 に距離に対する飛散物数分布と正規化累積破片数を図 4.1.3.2-10 に距離に対する飛散物重量分布と正規化累積破片重量を示すが、最大飛散距離まではほぼ均等に飛散していると思われる。**実験 No.1-1** と比較して、左右 5° の基線を越える飛散物の発生が多くなっている。

実験 No.1-3 では、5 g 以上の飛散物を 783 個回収した。最大飛散距離は 116.9 m であり、最大重量は 5,080 g であった。飛散物の重量中心と距離中心は 0° 方向であるが、想定していた 5° を越える飛散物も大量に発生した。図 4.1.3.2-11 に**実験 No.1-3** で発生した飛散物の分布状況を示す。図 4.1.3.2-12 に距離に対する飛散物数分布と正規化累積破片数を図 4.1.3.2-13 に距離に対する飛散物重量分布と正規化累積破片重量を示すが、最大飛散距離まではほぼ均等に飛散していると思われる。

実験 No.1-4 では、5 g 以上の飛散物を 2007 個回収した。最大飛散距離は 135.5 m であり、最大重量は 17,220 g であった。飛散物の重量中心と距離中心は 0° 方向であるが、想定していた 5° を越える飛散物も大量に発生した。図 4.1.3.2-14 に**実験 No.1-4** で発生した飛散物の分布状況を示す。図 4.1.3.2-15 に距離に対する飛散物数分布と正規化累積破片数を図 4.1.3.2-16 に距離に対する飛散物重量分布と正規化累積破片重量を示すが、最大飛散距離まではほぼ均等に飛散していると思われる。

飛散物計測まとめ

表 4.1.3.2-2 に、飛散物の最大飛散距離実験結果、表 4.1.3.2-3 に重量飛散物の飛散距離を示す。実験結果から以下のことが明らかになった。

1. 試験体のスケールが大きくなると発生する飛散物の数と飛散距離は多くなる。爆薬量と飛散物の発生個数のグラフを図 4-1-3-2-15 に示す。爆薬量に比例して発生する飛散物の数が増加している。
2. スケールが大きくなると飛散物の平均重量が重くなり、危険な飛散物となる可能性が高い飛散物が多くなる。
3. 飛散物の分布は、全ての実験でほぼ 0° 方向に集中しているが、想定していた $\pm 5^{\circ}$ を越える飛散物も多数発生した。

飛散物の危険性に関しては、DDESB（米国国防省爆発安全委員会）では、危険破片密度を 600 平方フィート（ 56.7 m^2 ）あたり 1 個以下になると定義されている。危険物は、58 ft-lb（79 J）以上の衝撃エネルギーを持つ破片定義されているが、このエネルギーを持つ飛散物が多数発生していると推定できるが、参考データではあるが回収した飛散物から昨年度の報告書から弾道計算により飛翔距離から落下時の飛翔速度を推定した結果を表 4.1.3.2-4 と表 4.1.3.2-5 示す。図中の赤色で示す飛散物は、危険な飛散物と推定できるものである。画像解析結果から飛散物は、水平の高速度で飛散する飛翔体は、最大で数倍の速度となり、途中で落下してバウンドして遠方へ飛散する飛散物は低速度となることが明らかになり、飛散分の飛散位置（落下回収地点）から確定することは困難である。



図 4.1.3.2-3 飛散物の回収状況



図 4.1.3.2-4 実験後の試験体の状況

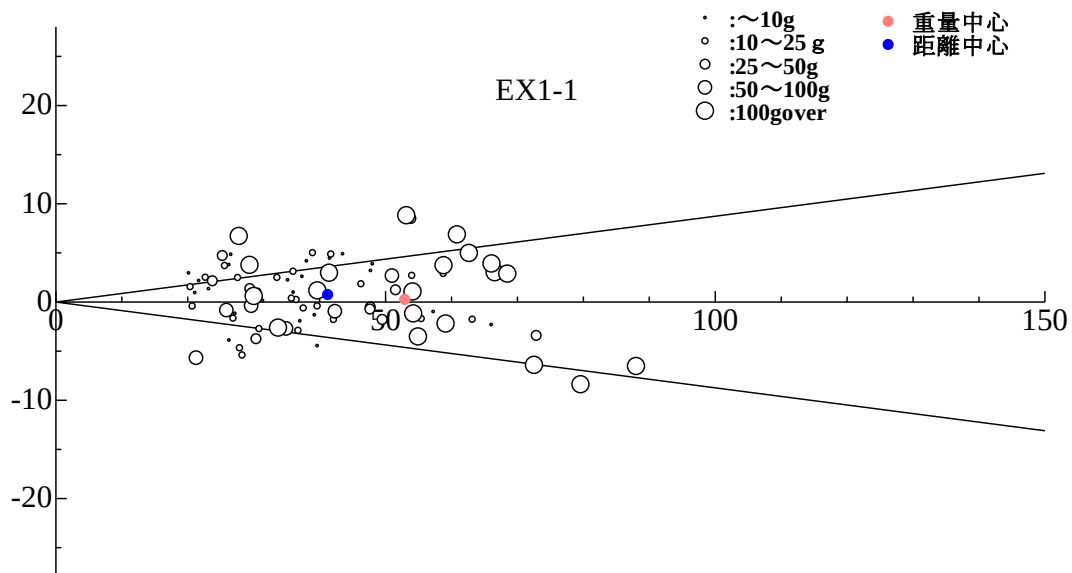


図 4.1.3.2-5 実験 No.1-1 実験の飛散物分布

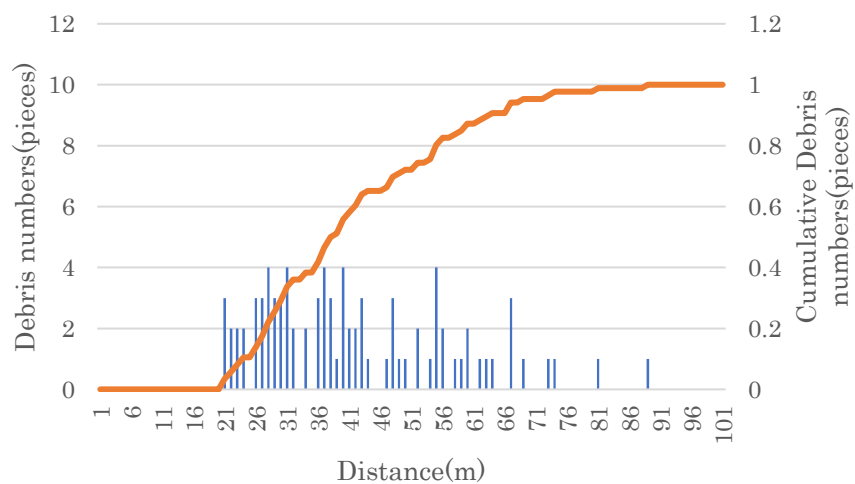


図 4.1.3.2-6 実験 No.1-1 の距離に対する飛散物数分布と正規化累積破片数

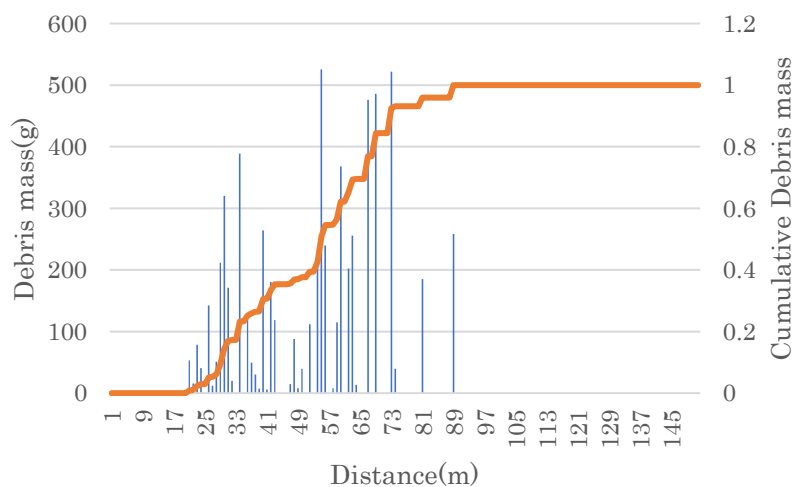


図 4.1.3.2-7 実験 No.1-1 の距離に対する飛散物重量分布と正規化累積破片重量

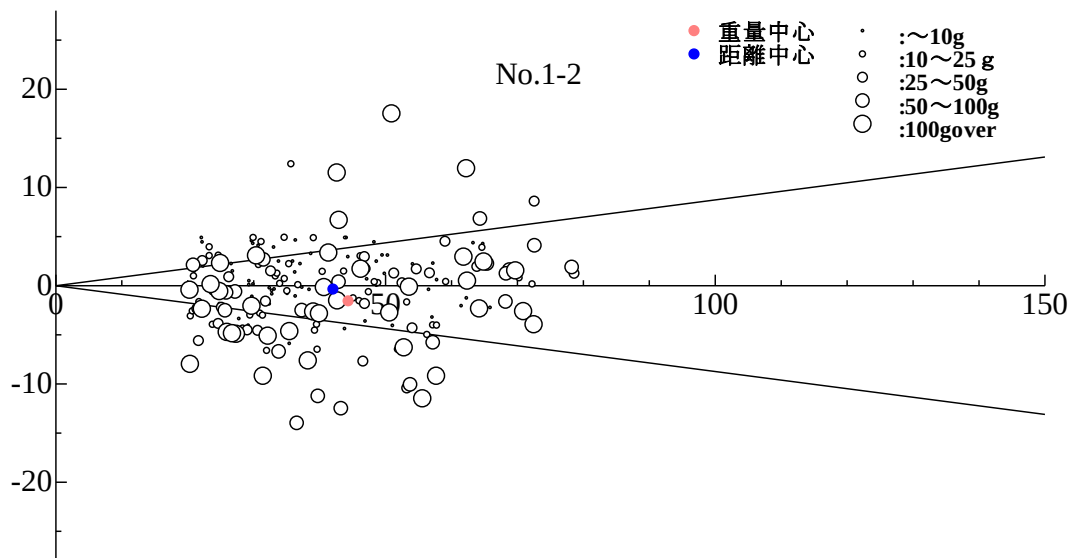


図 4.1.3.2-8 実験 No.1-2 の飛散物分布

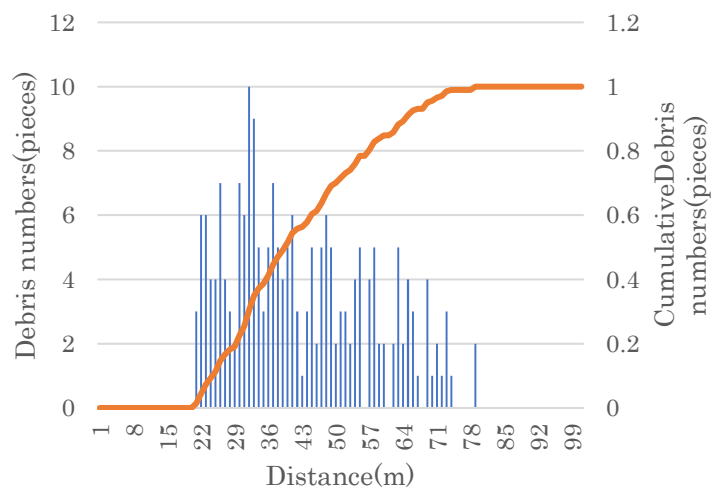


図 4.1.3.2-9 実験 No.1-2 の距離に対する飛散物数分布と正規化累積破片数

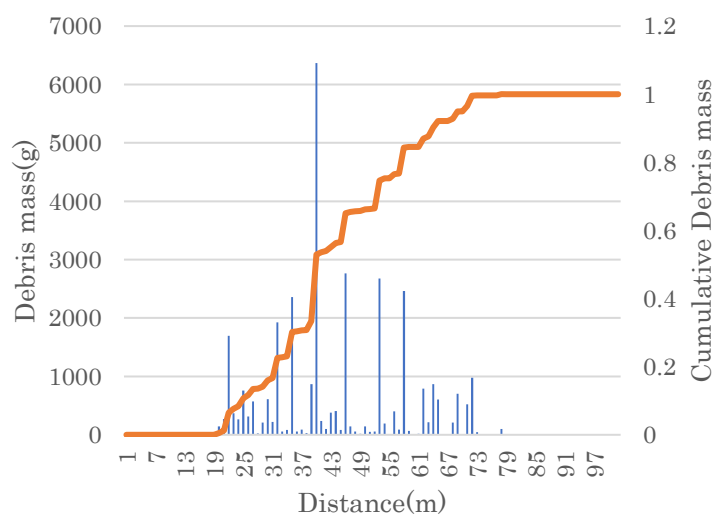


図 4.1.3.2-10 実験 No.1-2 の距離に対する飛散物重量分布と正規化累積破片重量

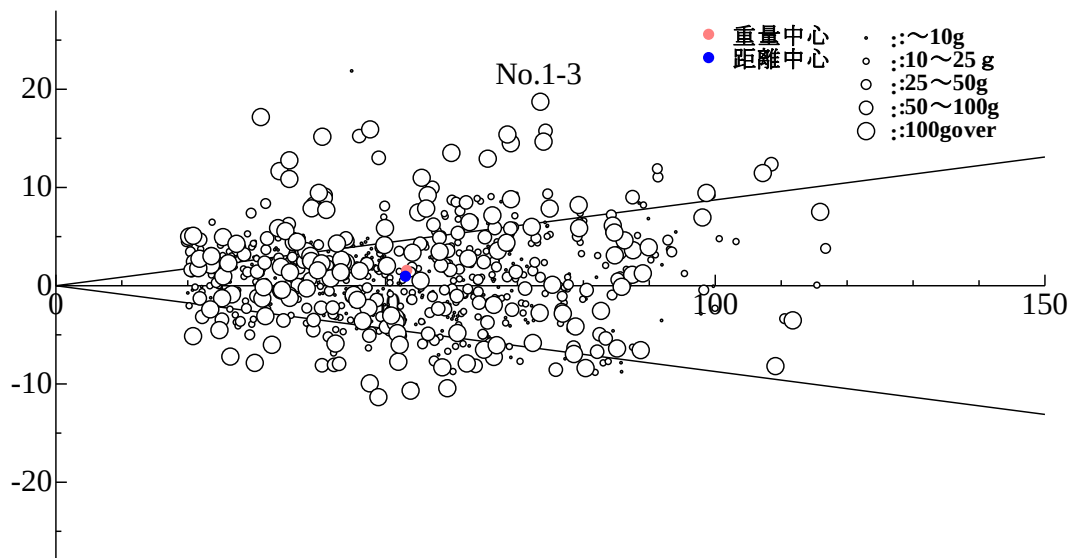


図 4.1.3.2-11 実験 No.1-3 の飛散物分布

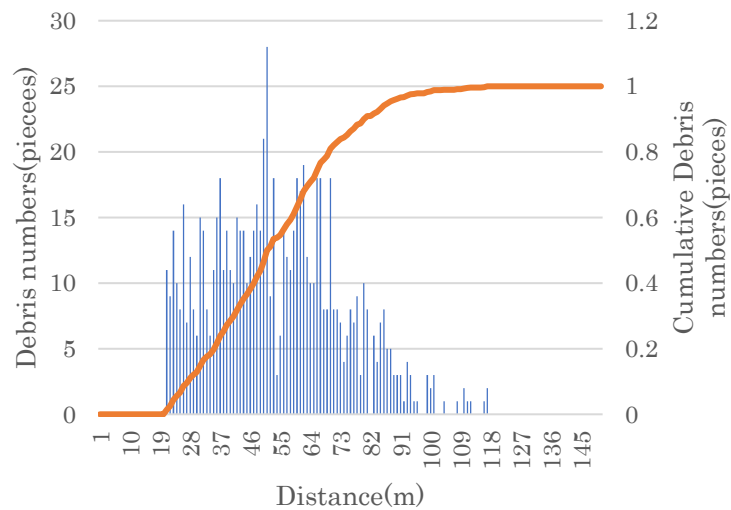


図 4.1.3.2-12 実験 No.1-3 の距離に対する飛散物数分布と正規化累積破片数

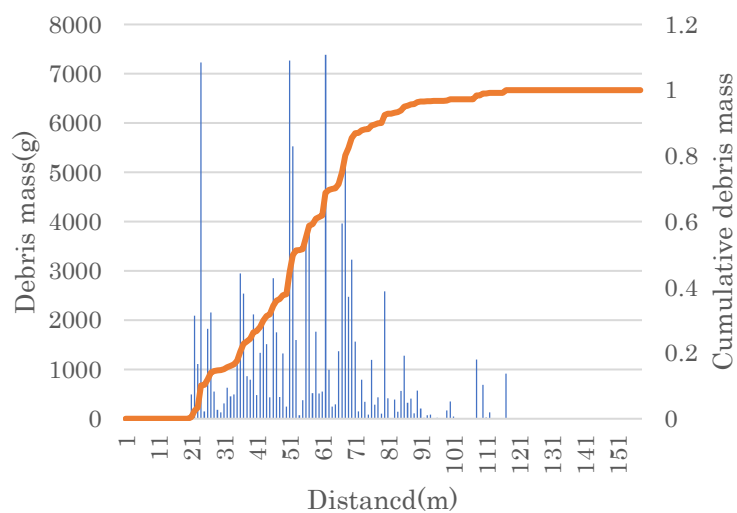


図 4.1.3.2-13 実験 No.1-3 の距離に対する飛散物重量分布と正規化累積破片重量

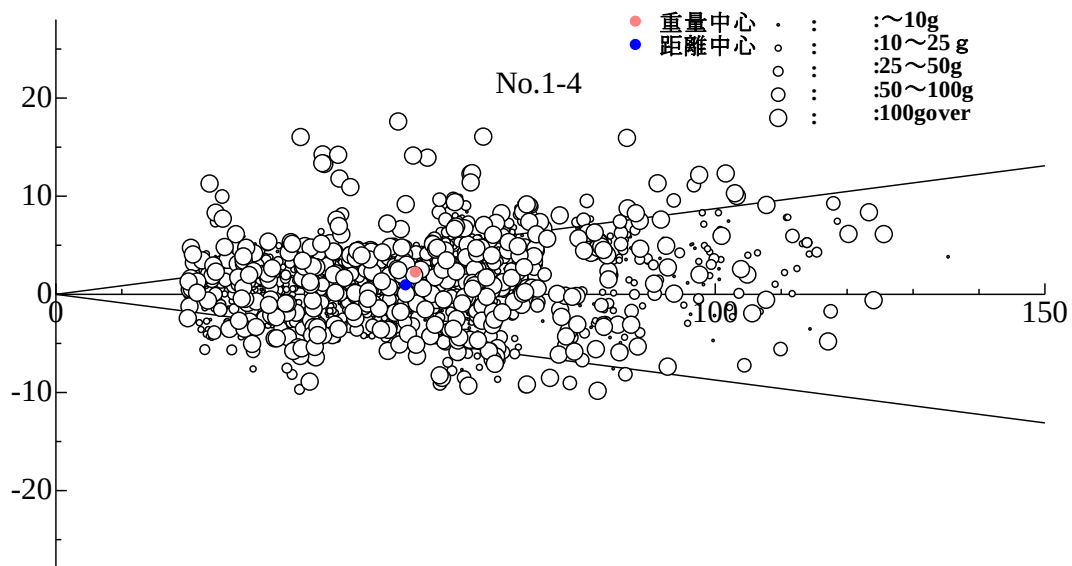


図 4.1.3.2-14 実験 No.1-4 の飛散物分布

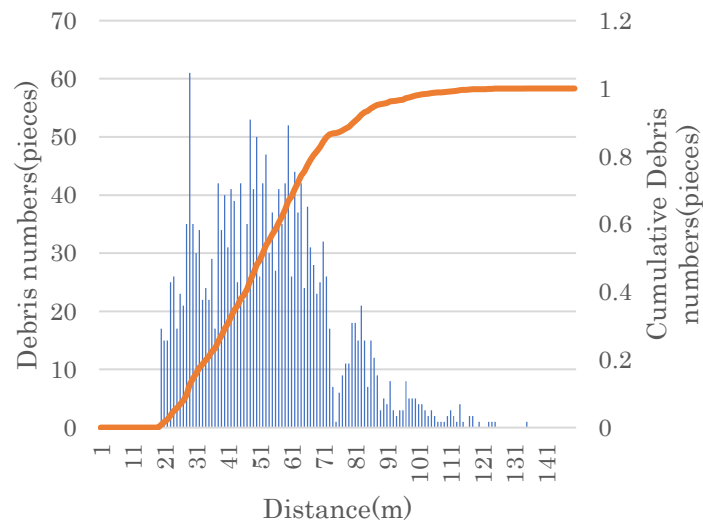


図 4.1.3.2-15 実験 No.1-4 の距離に対する飛散物数分布と正規化累積破片数

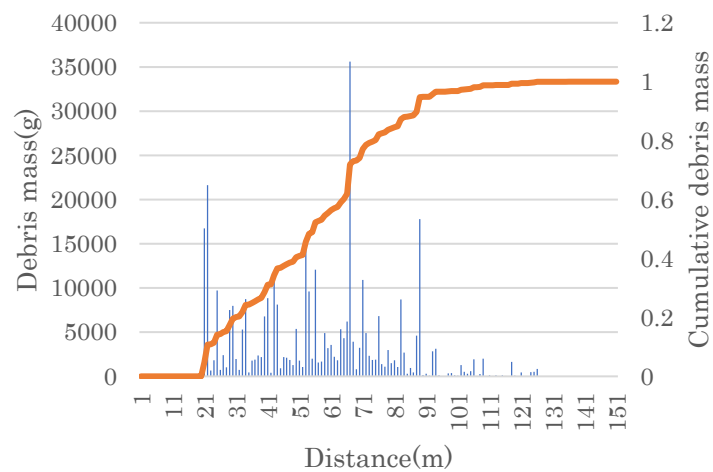


図 4.1.3.2-16 実験 No.1-4 の距離に対する飛散物重量分布と正規化累積破片重量

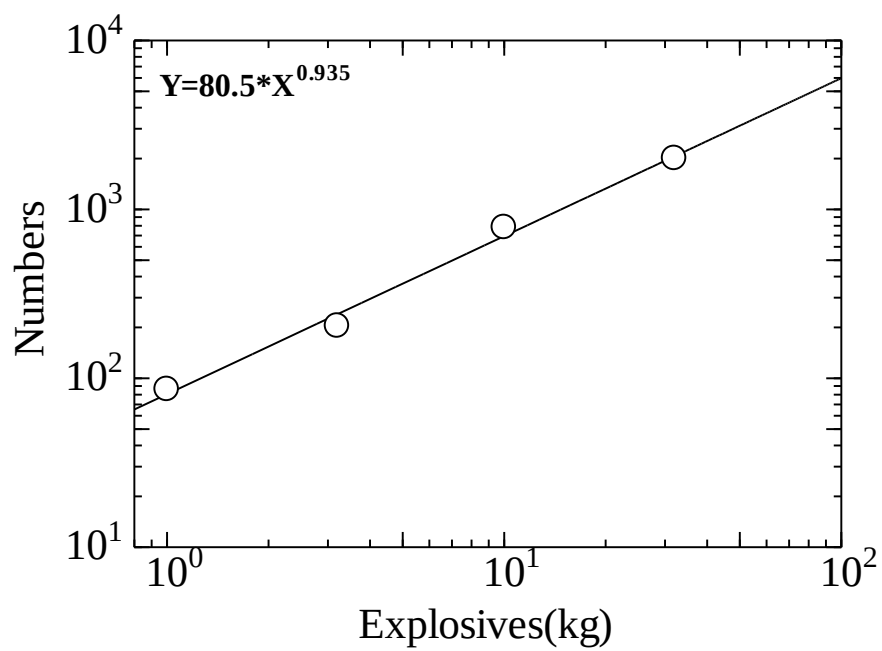


図 4-1-3-2-15 爆薬量と発生飛散物個数の関係

表 4.1.3.2-1 飛散物の回収状況

実験番号	地上部の大きさ		壁厚さ	破砕重量* (g)	発生数 (個)	回収総重量 (g)	平均重量 (g)	回収率 (%)
	幅(mm)	高さ(mm)	(mm)					
実験 No.1-1	400	400	45	17640	86	6451.3	75.0	36.6
実験 No.1-2	589	589	66	56097	204	32678.0	160.2	58.3
実験 No.1-3	862	862	97	176584	783	107510.0	137.3	60.9
実験 No.1-4	1270	1270	143	565080	2007	357963.6	178.4	63.3

表 4.1.3.2-2 飛散物の最大飛散距離

実験番号	距離中心		最大飛散距離 1		最大飛散距離 2		最大飛散距離 3	
	X(m)	Y(m)	距離(m)	重量(g)	距離(m)	重量(g)	距離(m)	重量(g)
実験 No.1-1	41.3	0.7	88.3	258.1	80.1	174.9	73	39.6
実験 No.1-2	42.1	-0.4	78.7	39.2	78.3	61.1	73.1	47.5
実験 No.1-3	53.1	0.9	116.9	33	116.2	880	115.5	14
実験 No.1-4	53.7	1.2	135.5	6.2	125.8	832	124.1	529

表 4.1.3.2-3 重量飛散物の飛散距離

実験番号	重量中心		最大重量物 1		最大重量物 2		最大重量物 3	
	X(m)	Y(m)	距離(m)	重量(g)	距離(m)	重量(g)	距離(m)	重量(g)
実験 No.1-1	53.0	0.2	72.9	522	68.6	486	33.9	375
実験 No.1-2	44.4	-1.6	40.1	5300	46.1	2703	22.4	2445
実験 No.1-3	53.3	1.5	67.2	5080	51.0	4940	61.0	4540
実験 No.1-4	54.6	2.2	118.4	17220	73.1	13800	73.2	12450

表 4.1.3.2-4 最大飛散物のエネルギー（参考データ）

実験番号	距離中心		最大飛散距離 1		最大飛散距離 2		最大飛散距離 3	
	X(m)	Y(m)	落下時速度 (m/s)	エネルギー (J)	落下時速度 (m/s)	エネルギー (J)	落下時速度 (m/s)	エネルギー (J)
実験 No.1-1	41.3	0.7	20.4	53.7	19.7	33.8	19.0	7.2
実験 No.1-2	42.1	-0.4	19.5	7.5	19.5	11.6	19.0	8.6
実験 No.1-3	53.1	0.9	23.0	8.7	22.9	231	22.8	3.7
実験 No.1-4	53.7	1.2	24.6	1.9	23.8	235	23.6	148

表 4.1.3.2-5 最大重量物のエネルギー（参考データ）

実験番号	重量中心		最大重量物 1		最大重量物 2		最大重量物 3	
	X(m)	Y(m)	落下時速度 (m/s)	エネルギー (J)	落下時速度 (m/s)	エネルギー (J)	落下時速度 (m/s)	エネルギー (J)
実験 No.1-1	53.0	0.2	19.0	94.3	18.6	84.3	15.5	45.1
実験 No.1-2	44.4	-1.6	16.1	683	16.6	372	14.5	256
実験 No.1-3	53.3	1.5	18.5	869	17.0	717	17.9	731
実験 No.1-4	54.6	2.2	23.1	4595	19.0	2497	19.0	2256

4.1.3.3 飛散物撮影結果

実験 No.1-1～1-4 において、擁壁から発生した飛散物（コンクリート破片）の状況を撮影した。飛散物測定で使用した、ブルーシートの横及び中央に、アクションカメラを設置し、飛散物の撮影を行った。6 台のアクションカメラを使用し、窓ガラスの破損と飛散物の測定を行った。アクションカメラの仕様を表 4.1.3.3-1 に示した。爆装直前に録画ボタンを押し、ショット後に撮影を停止した。アクションカメラの現場での設置状況を図 4.1.3.3-1 と爆点からの距離を表 4.1.3.3-2 にまとめた。なお、カメラは、図上では、爆点から 90° 方向に設置予定であったが、現場において、逆光であったため、270° 方向に実際は設置した。直射日光による熱暴走や小動物による持ち去りのため、一部データの取得ができなかった。取得できなかったデータは、表 4.1.3.3-2 に括弧書きで示した。

表 4.1.2.3-1 アクションカメラの仕様

製品名称	GoPro HERO12 GoPro Volta バッテリーグリップ
画素数	2704 x 1520 pixel
撮影速度	240FPS
サイズ	W71.8 x H50.8 x D33.6
重量	154g (本体 121g, バッテリー33g)
撮影時間	2 時間 (高ビット)、3 時間 (標準)
バッテリー持続時間	64 分

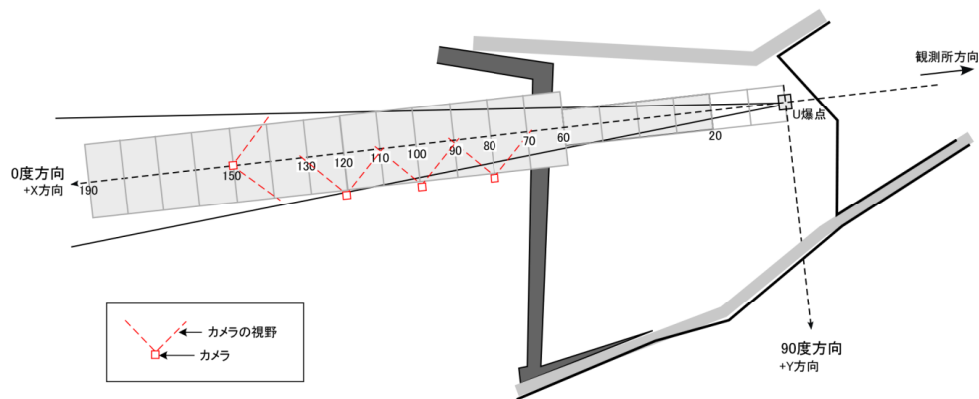


図 4.1.2.3-1 アクションカメラ設置状況

表 4.1.2.3-2 アクションカメラ設置位置

実験番号	薬量kg	GoPro1	GoPro2	GoPro3	GoPro4	GoPro5	GoPro6
No.1-1	1.0	50 m	50 m 正面	70 m	90m	110 m 正面	爆点
No.1-2	3.2	-	-	70 m	(90 m)	(110 m)	(110 m正面)
No.1-3	10	窓ガラス	窓ガラス	60 m	80 m	(100 m)	(120 m 正面)
No.1-4	32	窓ガラス	窓ガラス	130 m	110 m	90 m	140 m 正面

飛散物の飛散パターンは、放物線、ライナー、ゴロの3種類に分類される。**実験 No.1-3**(10kg)における、爆点から 60 m 地点での飛散物の飛散速度の測定を行った。カメラの横軸は、20 m とした。また、奥行方向の測定はできないことから、斜めに飛んだ場合、最大 9.6° ずれて飛ぶ場合がある。この場合は、実際の速度より、14%高速である。図 4.1.3.3-2 と図 4.1.3.3-3 に含水爆薬 10kg (**実験 No.1-3**) 60 m 地点での飛散速度解析の結果を示した。約 100 m/s で飛散してきた飛散物は、ライナーで地面に着地後にゴロとなって減衰し、70 m 付近では、20 m/s 程度まで低下しているがわかる。この結果は、高速度カメラによる飛散物の初速解析と近い値を示した。図 4.1.3.3-4 に含水爆薬 32kg (**実験 No.1-4**) 110 m 地点での飛散速度解析を示した。この地点では、飛散物はブルーシート上をゴロで転がっていくため、徐々に飛散速度が減速していく。110 m 付近では、8.1 m/s となっており、130 m で、停止することが予想される。破片の最大飛散距離の 130 m と一致する。110 m 付近での破片は、破片重量が 100 g とした場合は、3.3 J、1,000 g とした場合でも 32.8 J と推定される。



図 4.1.3.3-2 飛散物解析結果 (**実験 No.1-3** 爆点から 60 m 地点での飛散物挙動、4.136 秒と 4.155 秒)

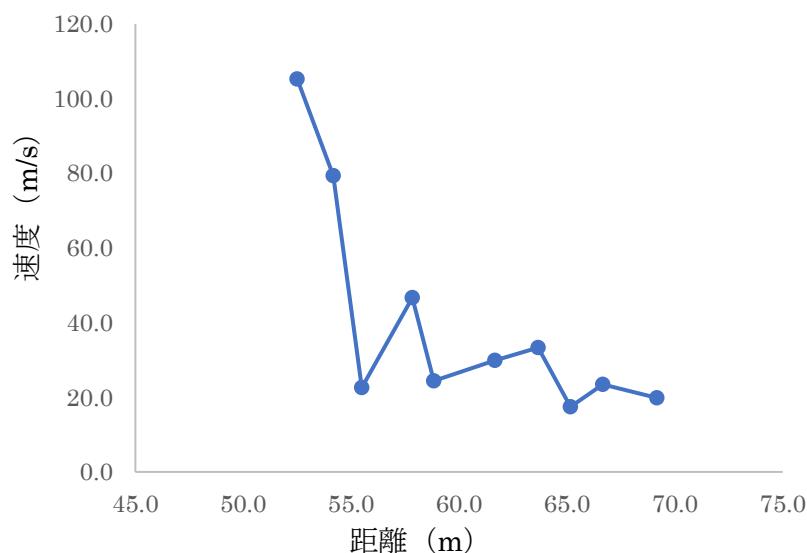


図 4.1.3.3-3 含水爆薬 10kg (**実験 No.1-3**) 60 m 地点での飛散速度解析

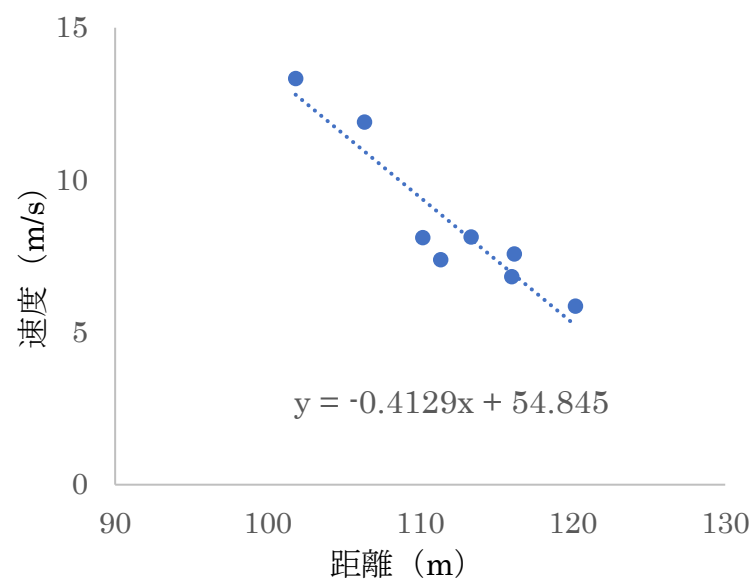


図 4.1.3.3-4 含水爆薬 32kg (実験 No.1-4) 110 m 地点での飛散速度解析

4.1.3.4 地盤振動計測結果

加速度センサーは圧電型の 3 軸加速度計 TEAC 612ZS（電荷出力型、感度 $0.16\text{pC}/\text{m}/\text{s}^2$ 、周波数応答 $f_c \sim 20\text{kHz}$ ）ならびに 707Z（電圧出力型）を用いた。加速度センサーの地盤への固定は、一本杭に平面皿を取付けた設置台としてアルミ製の治具（直径 20mm 、長さ 200mm の杭）を地盤にハンマーで打ち込み、そこにセンサーを接着固定した（図 4.1.3.4-1）。センサーからの出力は ch1~ch3 ではローノイズケーブル TEAC CL-601（ 1.5m ）で圧電型加速度計センサー用アンプ TEAC SA-611（最大振動数範囲 $0.2\sim 30\text{kHz}$ 、最大入力 100pC 、 $\pm 10\text{V}$ ）（図 4.1.3.4-2）に接続し、ch4 ではローノイズケーブル TEAC CL-206（ 1.5m ）で TEAC SA-630（最大振動数範囲 $0.2\sim 50\text{kHz}$ 、最大入力 10pC 、 $\pm 10\text{V}$ ）（図 4.1.3.4-3）に接続し増幅した上で同軸ケーブルにより信号を観測 BOX まで伝送し、観測 BOX に設置した高速データロガー MR8847-51（16 チャンネル、サンプリング 1MHz に設定）で電圧情報として記録した。



図 4.1.3.4-1 加速度センサー設置の様子



図 4.1.3.4-2 加速度センサーのアンプ TEAC SA-611

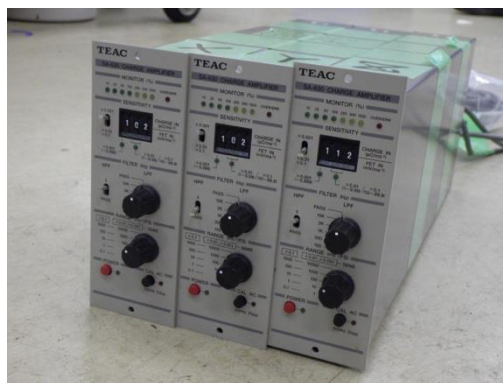


図 4.1.3.4-3 加速度センサーのアンプ TEAC SA-630

実験 No.1-1 から No.1-4 における各計測点で計測した振動加速度の波形を図 4.1.3.4-4～図 4.1.3.4-7 にそれぞれ示す。また、計測した加速度波形について、ベースラインや定常的に重畳されるノイズなどとの積分時の影響を取り除くためのローカットフィルタ付の積分を行い、速度成分に変換した速度波形を図 4.1.3.4-8、図 4.1.3.4-9、図 4.1.3.4-10、図 4.1.3.4-11 にそれぞれ示す。地盤振動は縦波（P 波）と横波（SH 波、SV 波）の 3 成分を有するが PPV の評価においてはいくつかの評価値が用いられている。

- ・ 振動の地表面垂直成分の最大値（ PPV_H ）
- ・ 3 方向の振動成分のうち最大となる（ピーク）成分の最大値
- ・ 3 方向の振動成分の（ベクトル）合成値の最大値（ PPV_{true} ）
- ・ 3 方向の各振動成分の最大値の二乗和平方根（SRSS: Square root of sum squares）

$$PPV_{SRSS} = \sqrt{PPV_x^2 + PPV_y^2 + PPV_z^2}$$

さらに、NATO AASTP-1¹⁾では、以下のように、水平成分と垂直成分の各振動成分の最大値の二乗和平方根が PPV として採用されている。

$$PPV_{NATO} = \sqrt{PPV_H^2 + PPV_V^2}$$

PPV_H = 水平方向の最大粒子速度

PPV_V = 垂直方向の最大粒子速度

たとえば、二乗和平方根による最大変位速度は、各成分において最大値が（その発現時刻に関係なく）採用されるため最も保守的な値として報告されている。人体や建物への影響の観点からの振動レベルの基準ではピークが最大となる成分の値が指定されている^{2),3)}。また、3 方向の振動成分の合成値の最大値は決まった時刻での合成ベクトルの最大値となるため、より正味の振動に近い値となる。今回の解析では上記の全ての PPV について算出を行いプロットしている。

実験 No.1-1 から No.1-4 それぞれについて、PPV を算出し、換算距離との関係を示したものを図 4.1.3.4-12 に示す。また、**実験 No.1-1 から No.1-4** の PPV_{true} の比較を図 4.1.3.4-13 に示す。なお、**実験 No.1-2** 及び **No.1-3** の ch2 ではセンサ不良やセンサの防護不良などの影響のためか、明らかに他の計測点と異なる傾向を示しており、妥当な計測ができていないと判断し、 PPV_{true} の評価からは除外した。

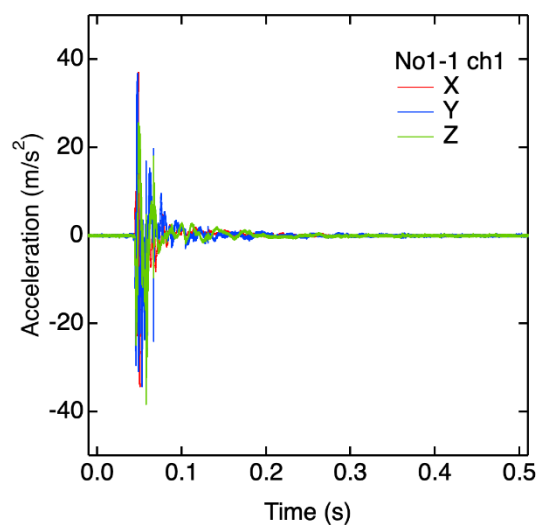
実験ごとに各 ch の換算距離が異なるが、図 4.1.3.4-13 を見ると、各実験結果は同様の減衰傾向を示しており、地上爆発による減衰予測式ではあるが、Westine による土質に関する振動の距離減衰効果⁴⁾と比較すると、土と硬岩の間に分布する減衰傾向であった。本結果は図 4.1.3.4-14 に示すように、過去の爆発影響低減化実験における地上爆発の実験結果^{5),6),7)}と同程度の傾向を示していることがわかる。

地盤振動計測まとめ

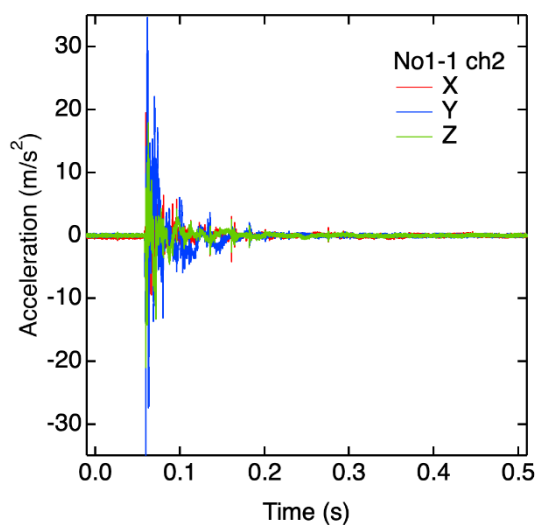
爆薬量 1 kg、3.2 kg、10 kg、32 kg に対する地盤振動（加速度）を計測した。PPV の値やその減衰傾向は、Westine による土質に関する振動の距離減衰効果における土と硬岩の間に分布し、過去の爆発影響低減化実験における地上爆発の実験結果と比較して、大きな差は認められなかった。

参考文献

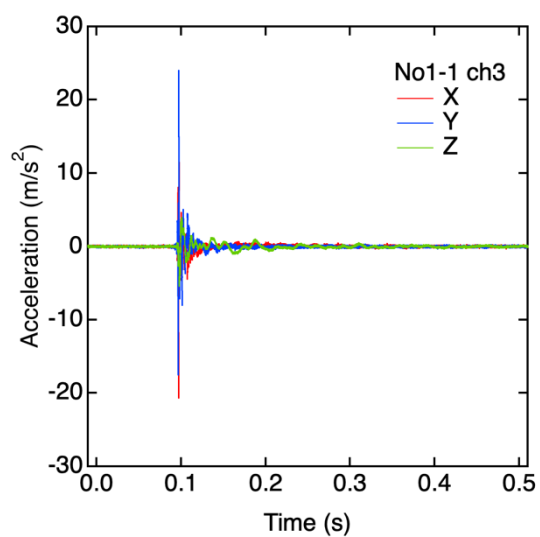
- [1] NATO AASTP-1, NATO Guidelines for the Storage of Military Ammunition and Explosives, Edition B, Version 1, December 2015.
- [2] BSI. BS 5228-2: 2009+ A1: 2014: Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites. Vibration. 2014.
- [3] DIN (GERMAN INSTITUTE FOR STANDARDIZATION); DIN 4150-3,. Structural vibration—Part 3: Effects of vibration on structures. 1999.
- [4] NATO AASTP-1, NATO Guidelines for the Storage of Military Ammunition and Explosives, May 2006.
- [5] 令和 4 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書
- [6] 令和 3 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書
- [7] 平成 28 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書



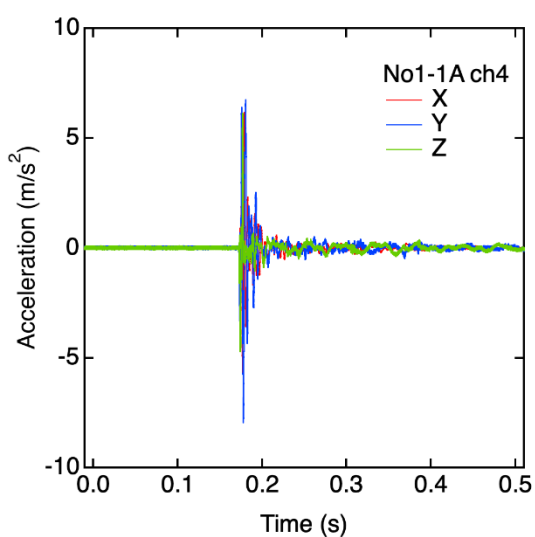
換算距離 7.9 (7.9 m)



換算距離 12.7 (12.7 m)

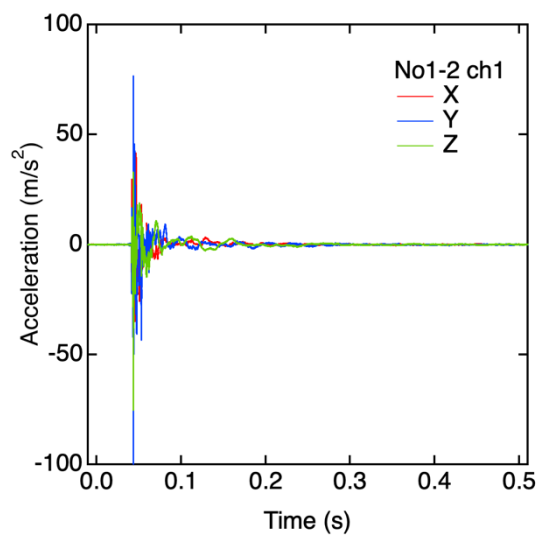


換算距離 25.4 (25.4 m)

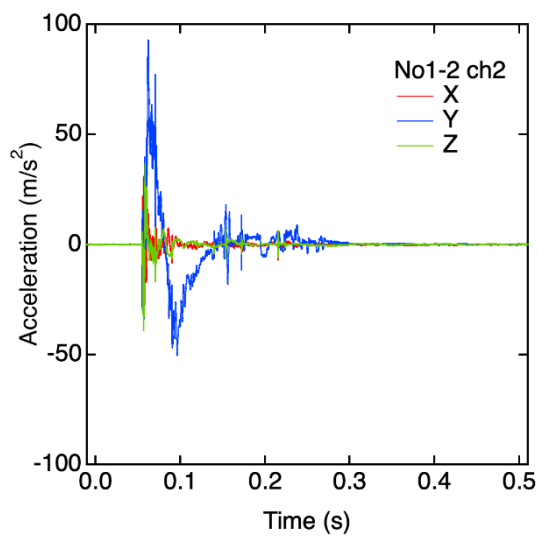


換算距離 50.8 (50.8 m)

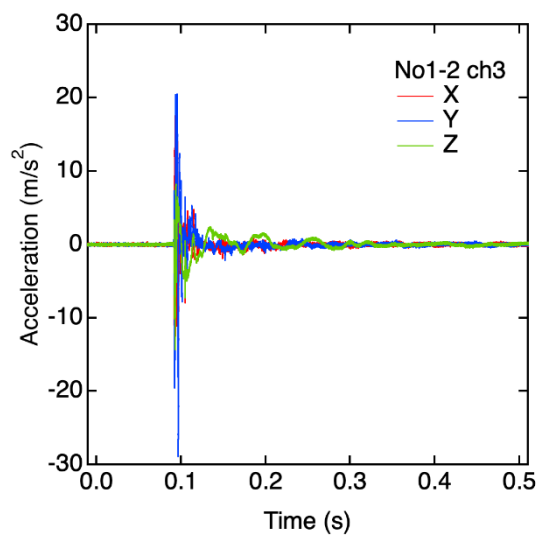
図 4.1.3.4-4 爆薬量 1 kg に対する地盤振動加速度(実験 No.1-1)



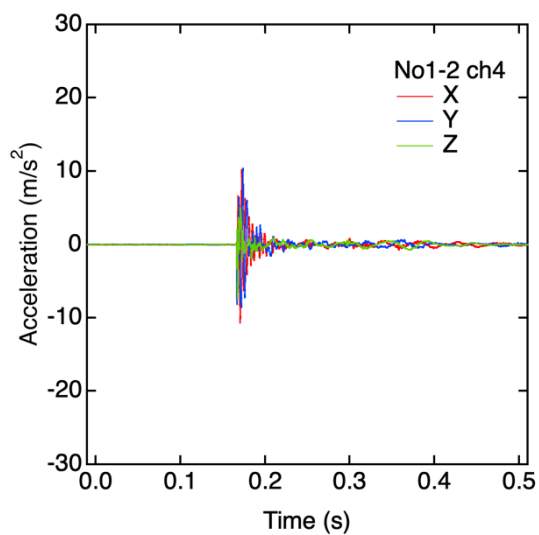
換算距離 5.4 (7.9 m)



換算距離 8.6 (12.7 m)

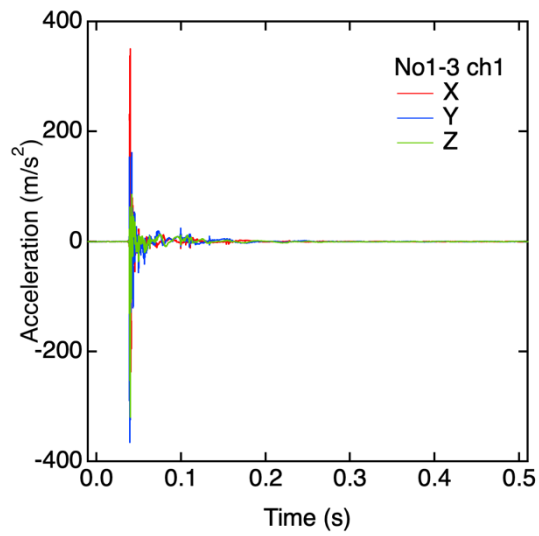


換算距離 17.2 (25.4 m)

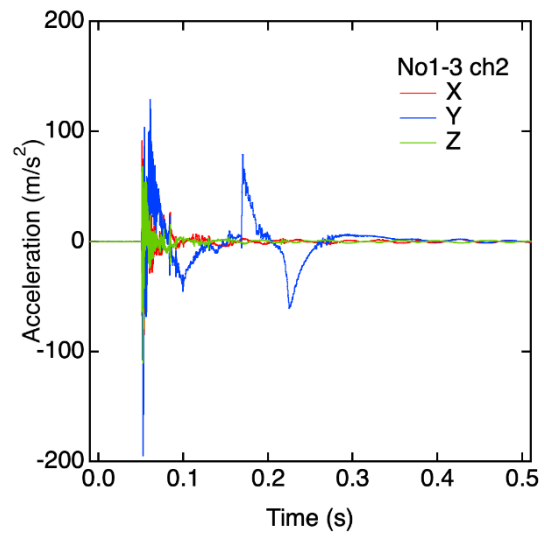


換算距離 50.8 (34.5 m)

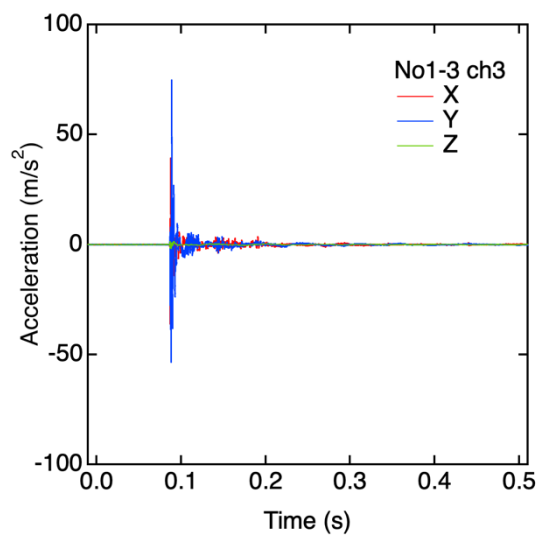
図 4.1.3.4-5 爆薬 3.2 kg に対する地盤振動加速度 (実験 No.1-2)



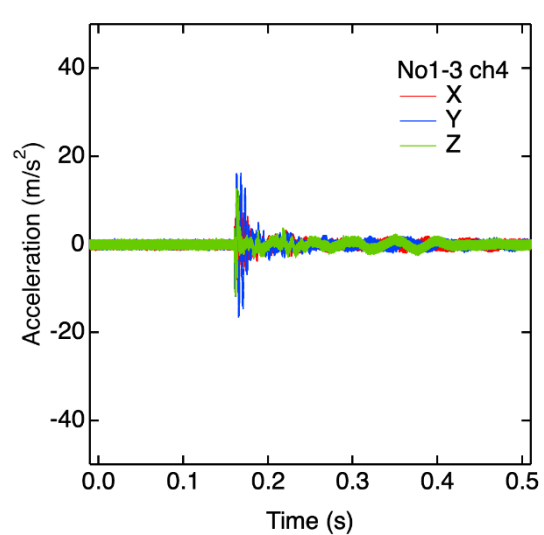
換算距離 3.7 (7.9 m)



換算距離 5.9 (12.7 m)

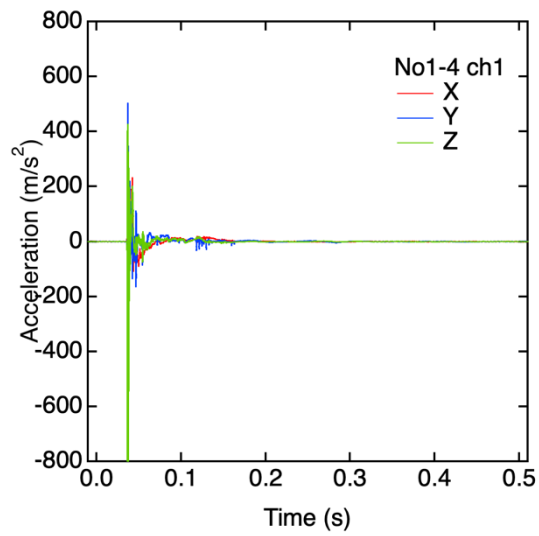


換算距離 11.8 (25.4 m)

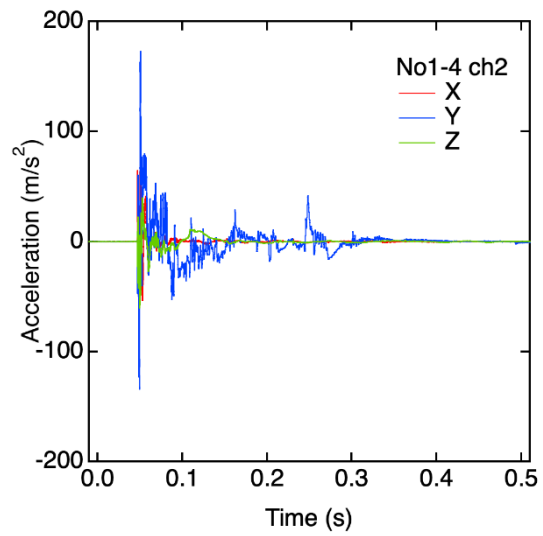


換算距離 23.6 (50.8 m)

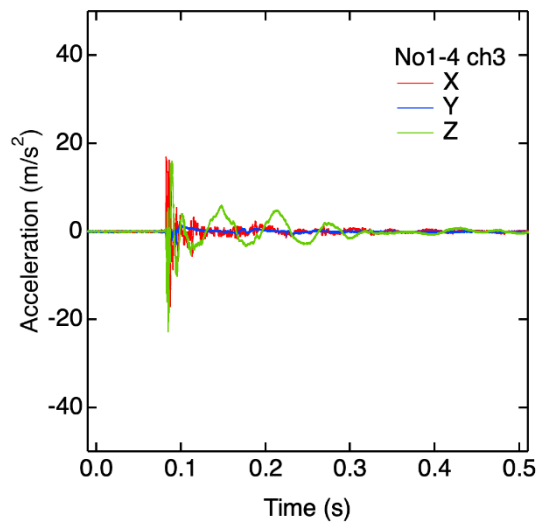
図 4.1.3.4-6 爆薬 10 kg に対する地盤振動加速度(実験 No.1-3)



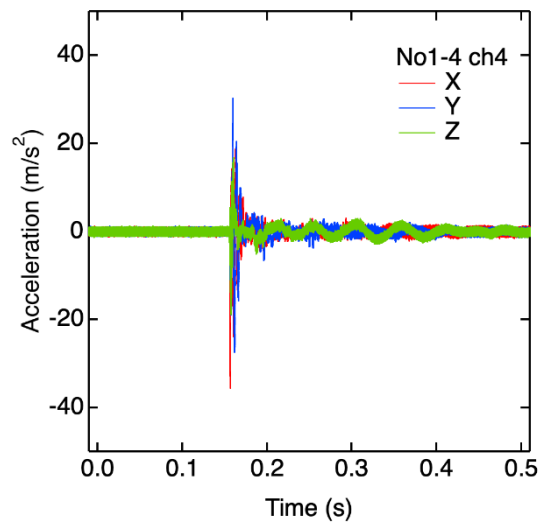
換算距離 2.5 (7.9 m)



換算距離 4 (12.7 m)



換算距離 8 (25.4 m)



換算距離 16 (50.8 m)

図 4.1.3.4-7 爆薬量 32 kg に対する地盤振動速度(実験 No.1-4)

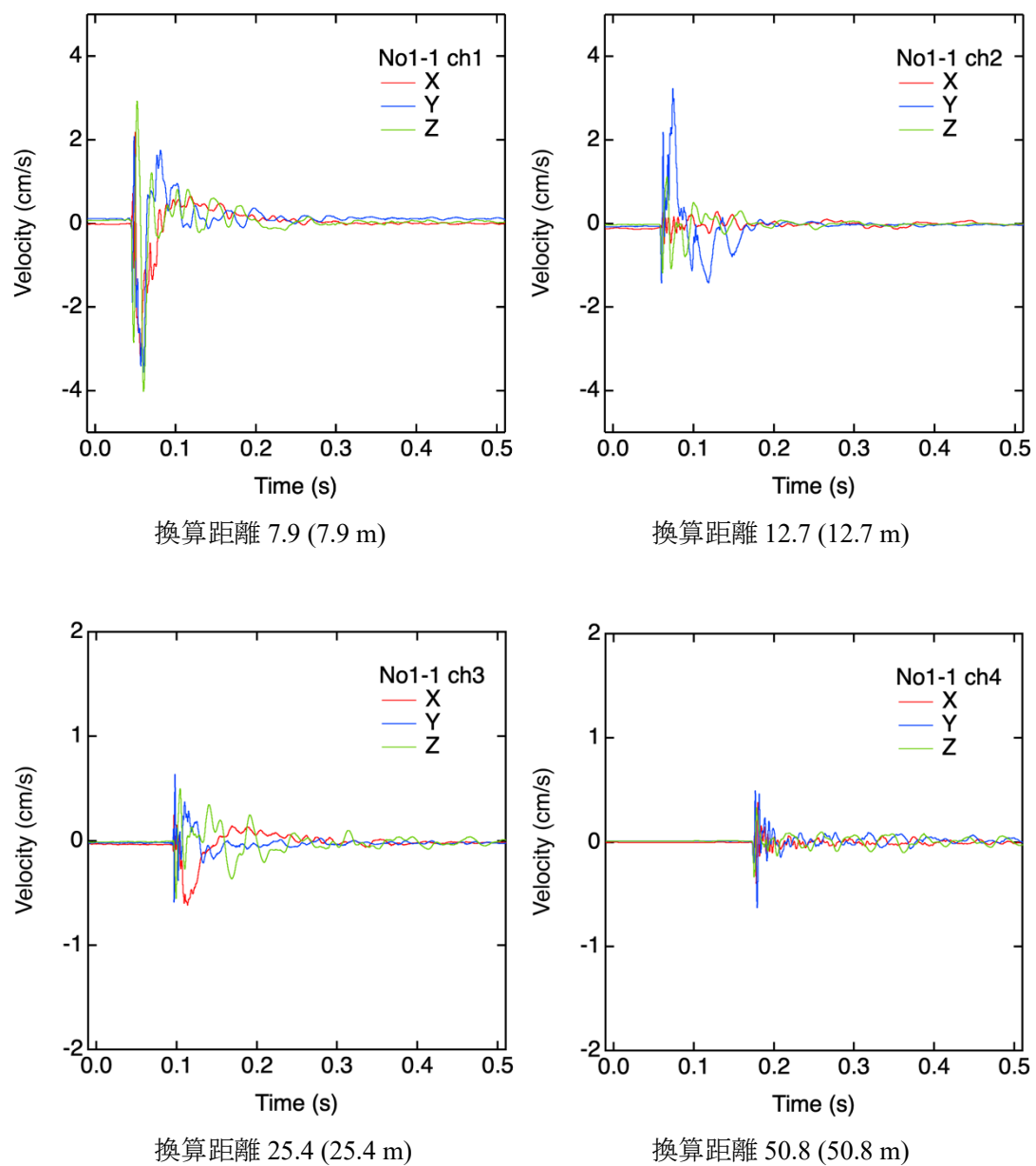
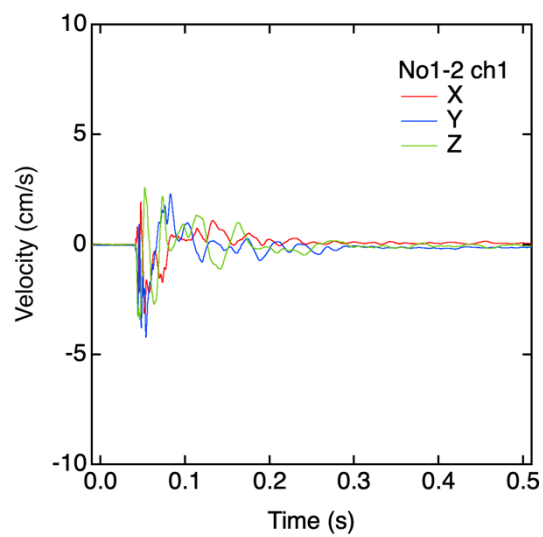
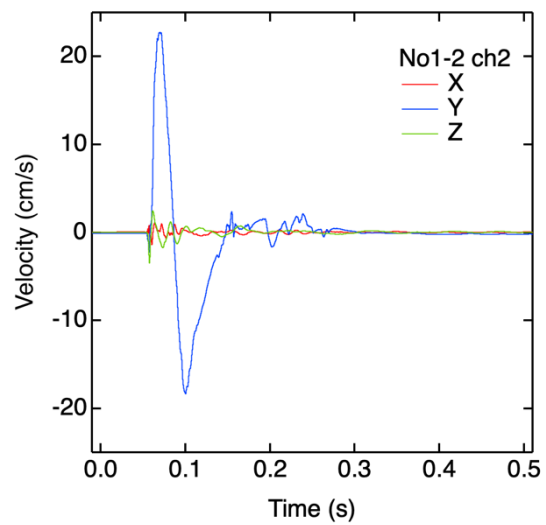


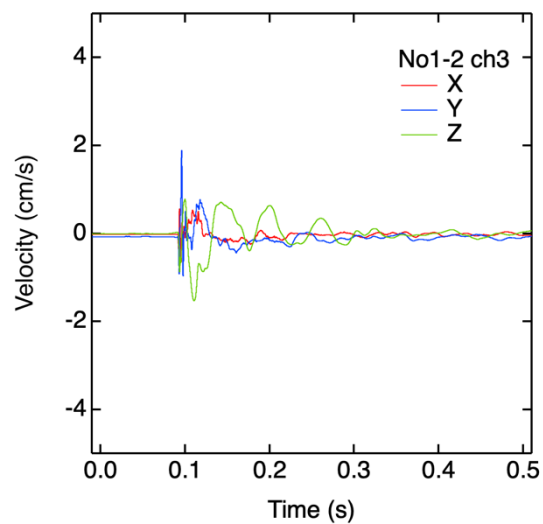
図 4.1.3.4-8 爆薬量 1 kg に対する地盤振動速度(実験 No.1-1)



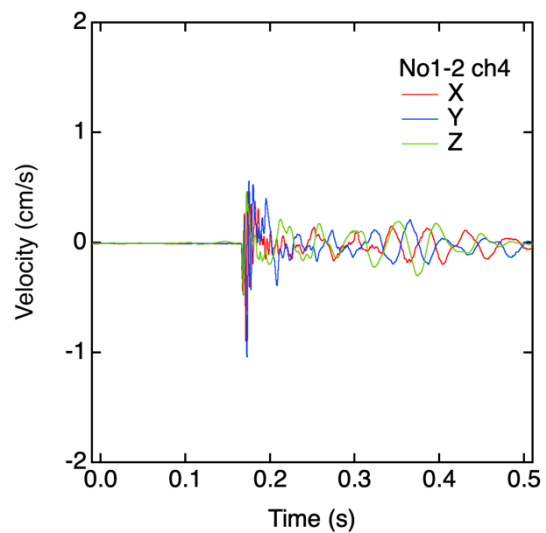
換算距離 5.4 (7.9 m)



換算距離 8.6 (12.7 m)

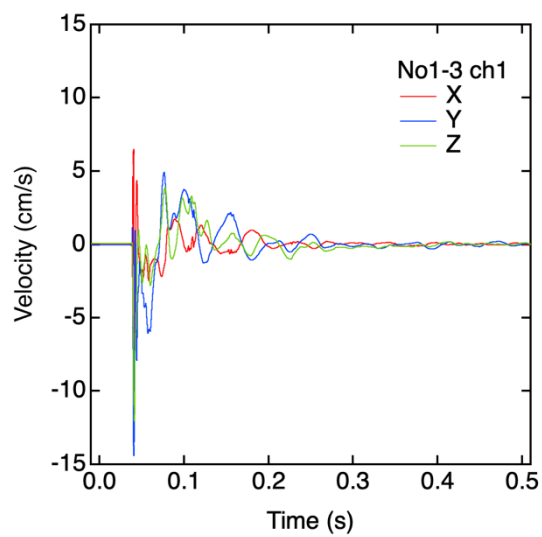


換算距離 17.2 (25.4 m)

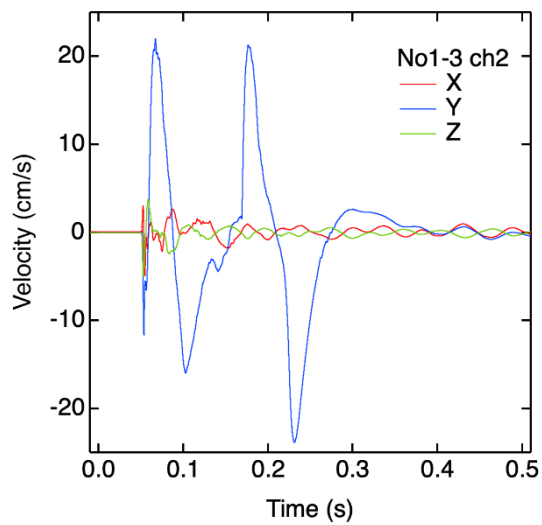


換算距離 50.8 (34.5 m)

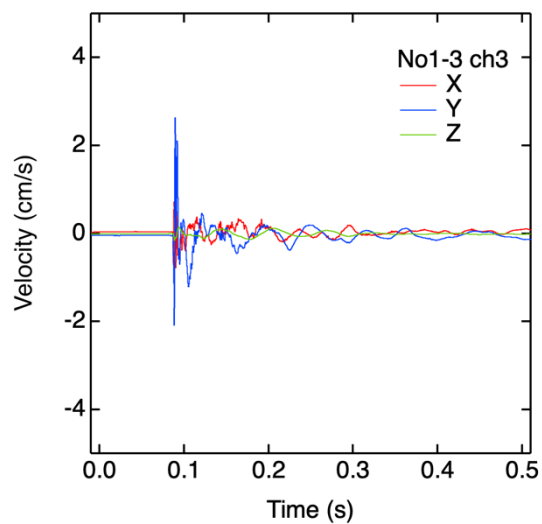
図 4.1.3.4-9 爆薬 3.2 kg に対する地盤振動速度 (実験 No.1-2)



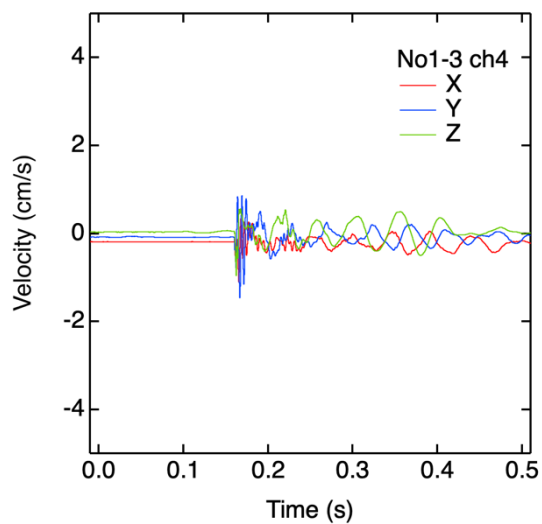
換算距離 3.7 (7.9 m)



換算距離 5.9 (12.7 m)



換算距離 11.8 (25.4 m)



換算距離 23.6 (50.8 m)

図 4.1.3.4-10 爆薬 10 kg に対する地盤振動速度(実験 No.1-3)

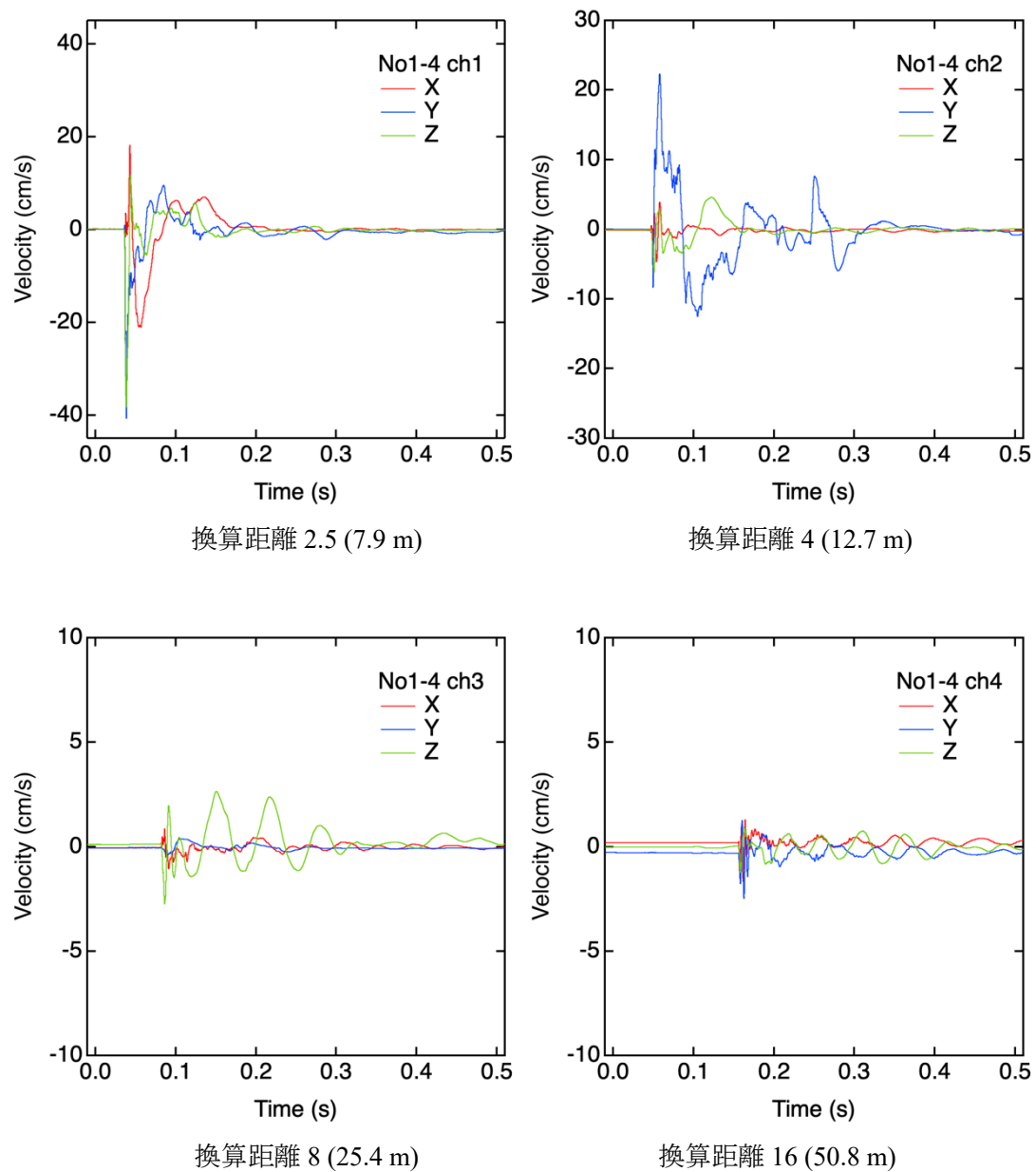
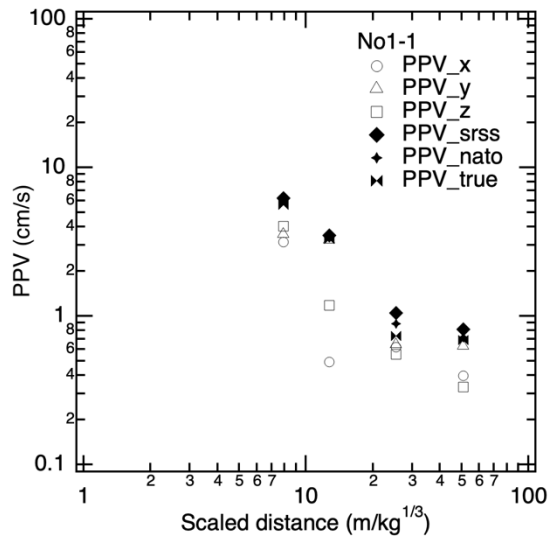
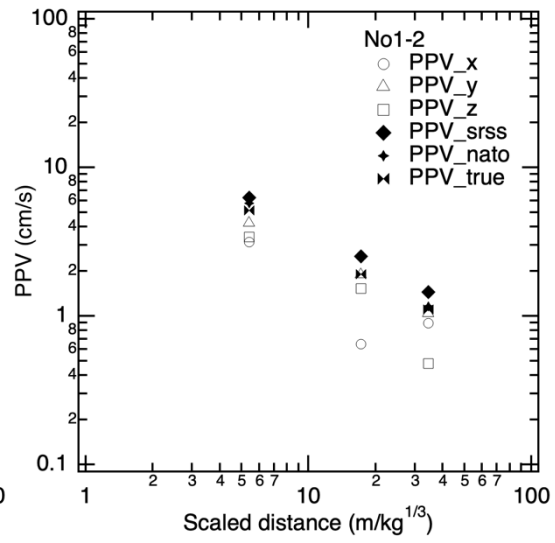


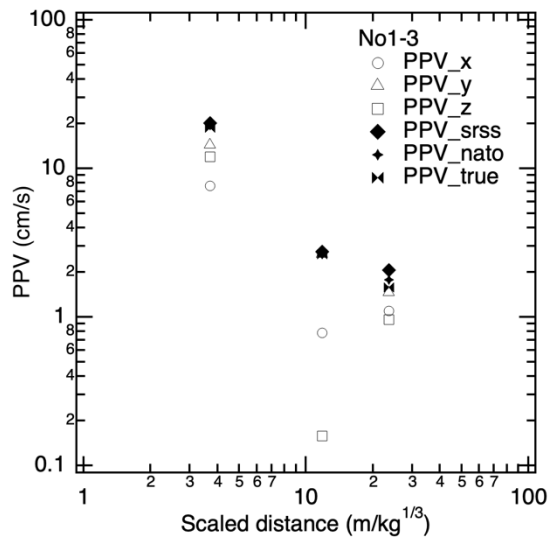
図 4.1.3.4-11 爆薬量 32 kg に対する地盤振動速度(実験 No.1-4)



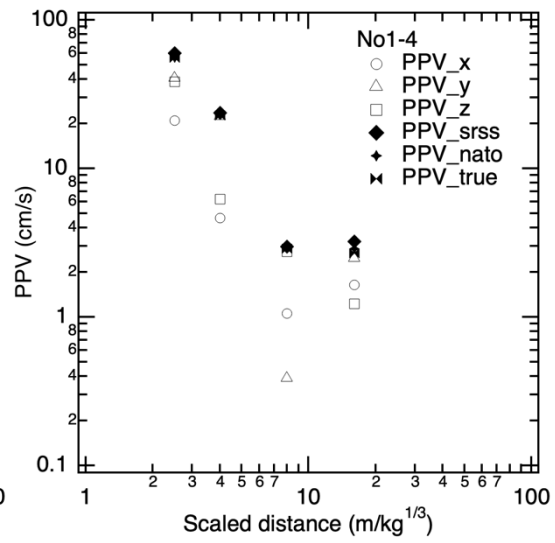
実験 No.1-1



実験 No.1-2



実験 No.1-3



実験 No.1-4

図 4.1.3.4-12 各実験における換算距離と最大変位速度(PPV_{SRSS})の関係 (実験 No.1-1～1-4)

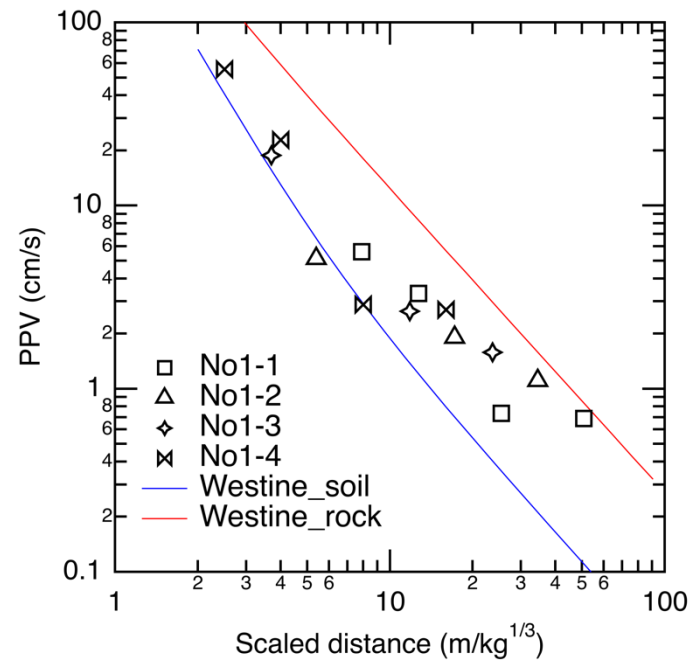


図 4.1.3.4-13 最大変位速度(PPV_{true})の比較

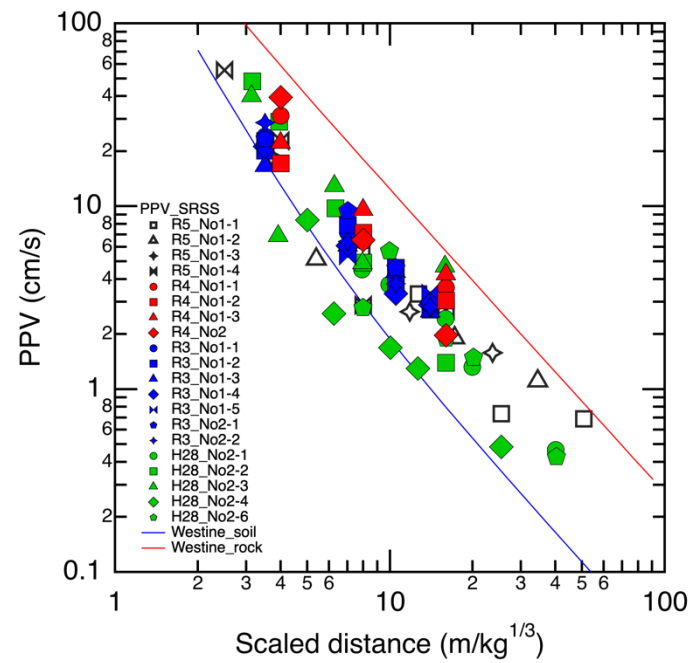


図 4.1.3.4-14 過去の実験との最大変位速度(PPV_{true})の比較

4.1.3.5 高速度カメラ撮影結果

爆発によって発生した衝撃波の伝播状況や飛散物の飛散状況等を観察するために、高速度カメラによる撮影を行った。高速度カメラの配置状況を図 4.1.3.5-1 に示す。

爆点及び擁壁が設置される基準方向から 180 度の方向となる観測所 1 の屋上に高速度カメラを設置し、爆発状況の全景を撮影した。図 4.1.3.5-1 (b)に示すように本撮影方向からは爆点を中心に擁壁が左右対称の配置となり、爆轟生成ガス及び衝撃波伝播挙動を観測する。

また、同じく 90 度方向となるカメラボックス Box1 及び Box2 に高速度カメラをそれぞれ設置した。図 4.1.3.5-1(c)に示すように本撮影方向からは爆点を中心に擁壁が左側に配置される構図となり、擁壁の存在による影響、特に擁壁からの飛散物の飛散挙動を観察する。カメラボックスから撮影する際には 20 mm 厚さの亚克力製窓を使用し、カメラボックス前面に土嚢を設置するなど飛散物の衝突からカメラを防護した。

撮影タイミングの制御には観測所 1 に設置したデジタル遅延パルス発生装置 (Berkeley Nucleonics 社製、BNC model 575-8ch.) を使用し、雷管起爆信号と同期した電気信号をトリガーパルスとして使用した。また、観測所 1 の屋上、カメラボックス 1、2 に常速度カメラを設置し、爆発状況の撮影を実施した。

図 4.1.3.5-2 に 180 度方向となる観測所 1 の屋上、及び 90 度方向となる 2 つのカメラボックスに設置した高速度カメラの写真を示す。

撮影位置

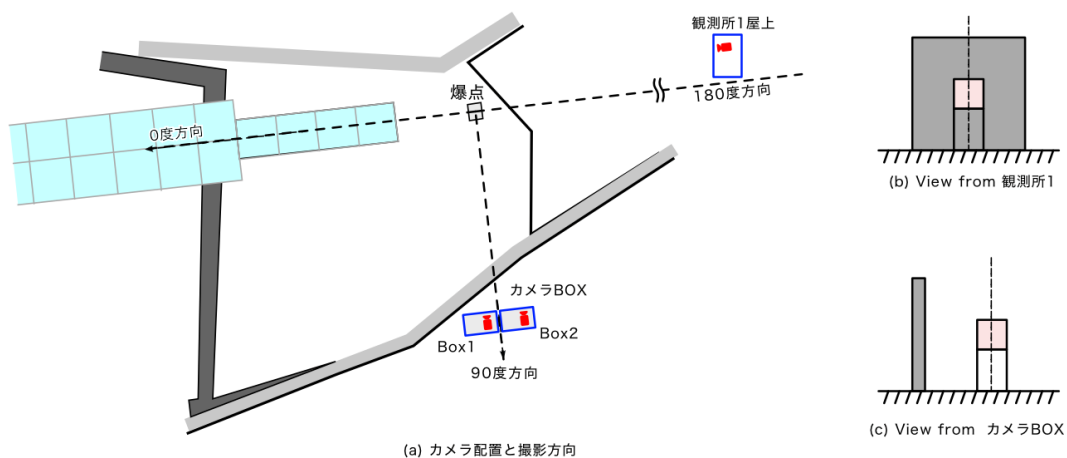


図 4.1.3.5-1 高速度カメラ配置と撮影方向

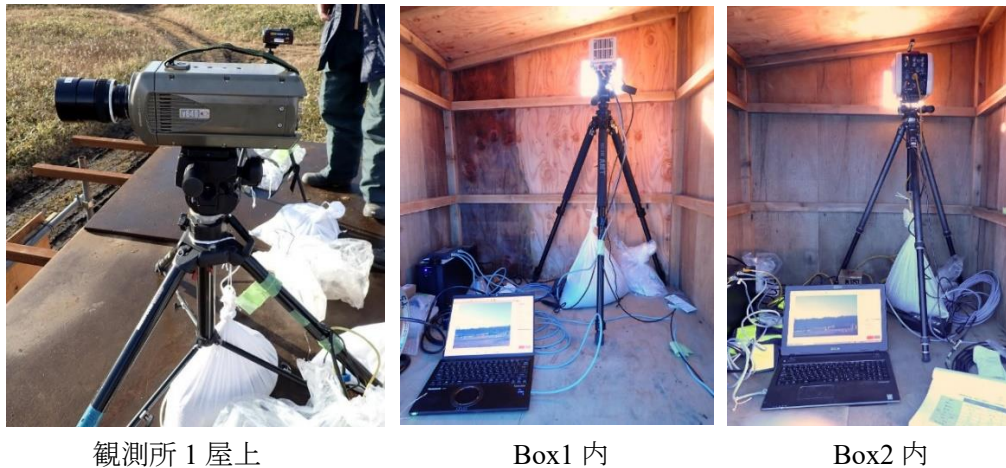


図 4.1.3.5-2 高速度カメラ配置状況

爆発状況の概要

実験 No.1-1 から No.1-4 の各実験における高速度カメラによる代表的なコマ撮り画像を図 4.1.3.5-3～4.1.3.5-5 に示す。

図 4.1.3.5-3 は、180 度方向となる観測所屋上から爆点を観察した爆発後 $t=5$ ms 程度までの初期過程の高速度撮影映像となる。画像としてほぼ左右対称の爆轟生成ガスの発達挙動となっており、また起爆後同じ経過時刻では薬量規模に応じてその発達規模が大きいことが分かる。

図 4.1.3.5-4 は、90 度方向となる観測ボックスから爆点を観察した爆発後 $t=5$ ms 程度までの初期過程の高速度撮影映像となる。爆点左側に擁壁を有した画像配置となるため、図 4.1.3.5-3 と比べ、爆轟生成ガスの左右対称とならず左側方向への発達が抑制された形状となる。衝撃波においても爆轟生成ガスから離脱した直後は左半分は半円状ではなく釣鐘状の衝撃波面が観測され、時間の経過による衝撃波伝播とともに半円状の形状に遷移していく様子が観察された。

図 4.1.3.5-5 は、同じく 90 度方向となる観測ボックスから爆点を観察した爆発後 $t=150$ ms 程度までの高速度撮影映像である。 $t=50$ ms あたりから爆轟生成ガスで隠れた中から飛散物群が 0 度方向となる画像左方面に飛散物が飛翔していく様子が観測された。



実験 No.1-1



実験 No.1-2



実験 No.1-3



実験 No.1-4

図 4.1.3.5-3 高速度撮影映像 180 方向 (左 : $t=1\text{ ms}$ 、中 : $t=2\text{ms}$ 、右 : $t=5\text{ ms}$)



実験 No.1-1



実験 No.1-2



実験 No.1-3



実験 No.1-4

図 4.1.3.5-4 高速度撮影映像 90 方向（左： $t=0.4$ ms、中： $t=1$ ms、右： $t=5$ ms）



実験 No.1-1



実験 No.1-2



実験 No.1-3



実験 No.1-4

図 4.1.3.5-5 高速度撮影による飛散物発生状況（左： $t=50$ ms、中： $t=100$ ms、右： $t=150$ ms）

爆轟生成ガスの膨張と衝撃波伝播

撮影した高速度撮影画像そのままでは、爆轟生成ガスの発達挙動は観察できるものの、衝撃波面の伝播挙動については、気象などの撮影条件の制限もあり、特に少量のショットでは衝撃波面の観察が困難であった。屋外の撮影で背景となる林と空の境界部など衝撃波の密度勾配による背景の歪みが観測しやすい部分など観測可能部が限定されたため、画像解析により衝撃波面の捕獲を試みた。解析には爆轟生成ガス及び衝撃波の発達が左右対称に撮影される 180 度方向の観測所からの撮影映像を用いた。

図 4.1.3.5-6 に爆轟生成ガスと衝撃波面の画像解析例を示す。画像解析は背景差分（Background Subtraction）手法にもとづく物体追跡アルゴリズムを適用して解析を行った。解析結果から算出した経過時間に対する爆轟生成ガス及び衝撃波の高さ及び幅の関係を図 4.1.3.5-7 に示す。

高さについては、爆薬は換算高さに基づき地表面から離して設置されているが、ここでは地表面からの高さを評価している。衝撃波については、幅を 2 で除算して半径にしたもの（図中白抜き□）は、衝撃波高さとはほぼ同じ履歴となり、おおよそ半球状に発達していることがわかる。

また、衝撃波半径の履歴がほぼ直線となる $t=10$ ms 後以降で傾きを評価して衝撃波伝播速度を評価した。その結果薬量 1 kg の実験 No.1-1 から薬量 34 kg の実験 No.1-4 にかけて 340～436 m/s 程度の衝撃波伝播速度が評価された。薬量が増えるに連れ高い衝撃波伝播速度が評価され、評価した時間区域では薬量が多いショットでは爆轟生成ガスから離脱した衝撃波がまだ音速まで落ちていない状態であることがわかる。また、衝撃波と爆轟生成ガスの履歴を比較すると、薬量の少ない方から起爆後 2～4 ms ほどで衝撃波が爆轟生成ガスから離脱していくこと、また衝撃波の離脱後は、爆轟生成ガスの膨張はほどなくして収まっていくことが分かる。

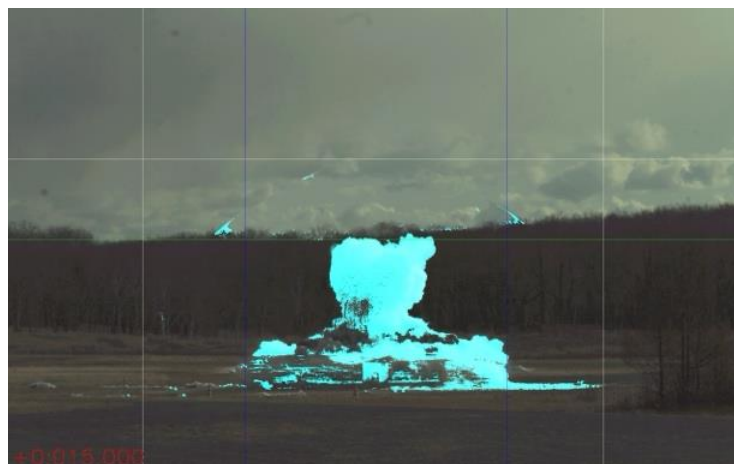


図 4.1.3.5-6 爆轟生成ガスと衝撃波面の画像解析例 (実験 No.1-4)

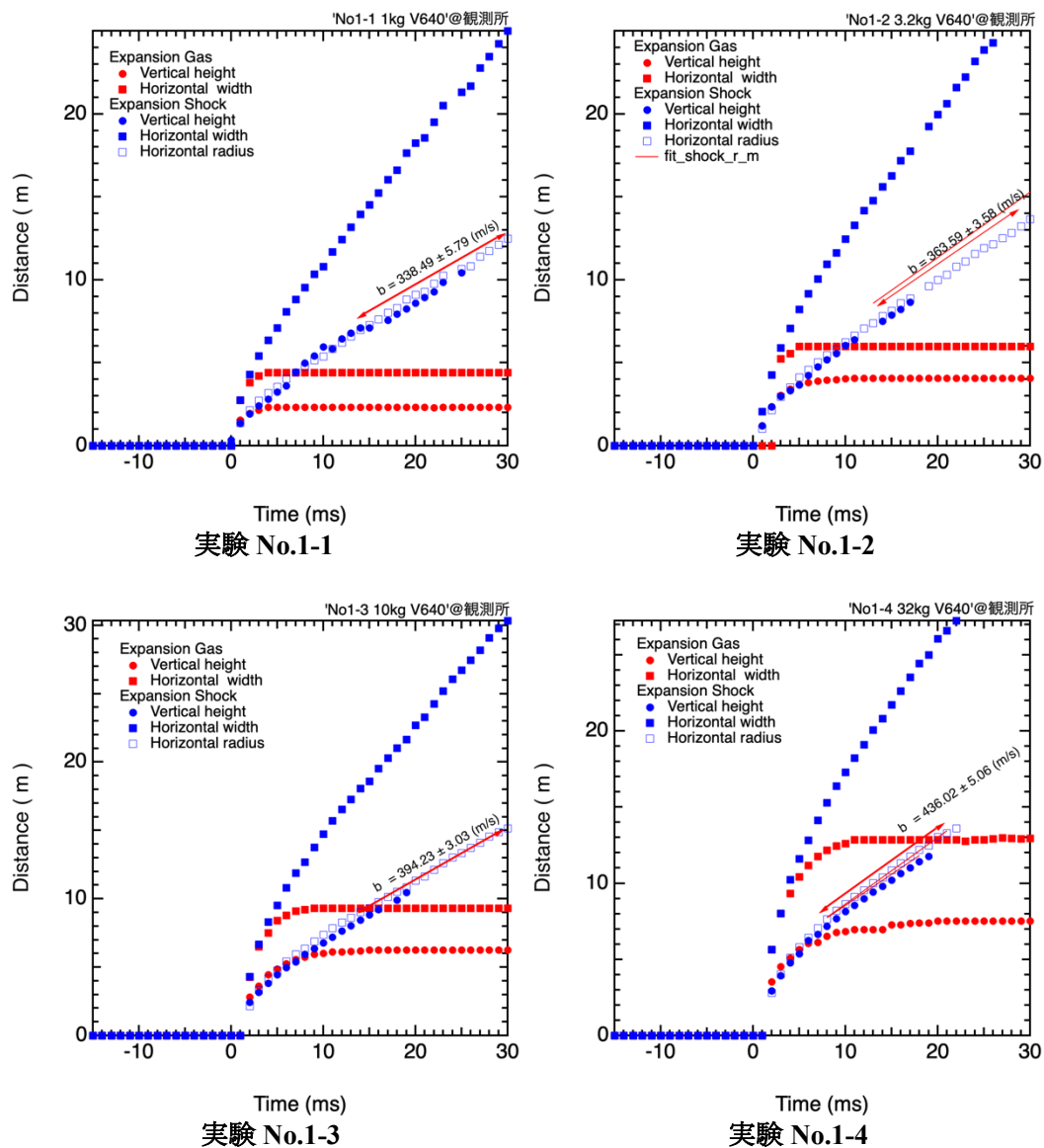
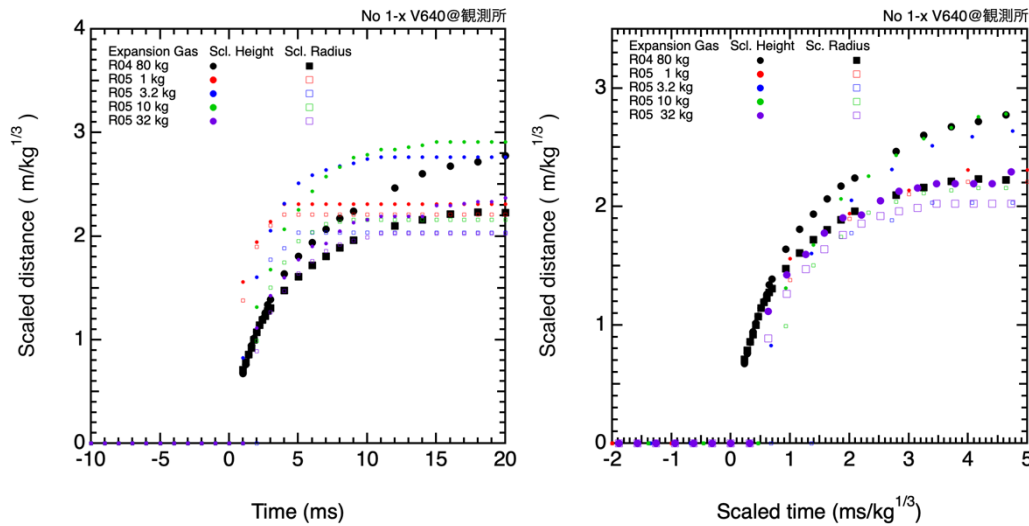


図 4.1.3.5-7 経過時間に対する爆轟生成ガス及び衝撃波の高さ及び幅の関係

令和4年度(R04)に実施した基準爆風圧**実験 No.2**（薬量 80 kg）の爆発生成に関する評価結果と本年度評価結果の比較を図 4.1.3.5-8 に示す。比較する薬量が異なるため、実時間-換算距離の関数と実時間を薬量の 1/3 乗で除した換算時間と換算距離の関係で整理した。実時間-換算距離の関係では、薬量 80 kg に対して薬量が少なくなるにつれて、爆轟生成ガスの高さ及び半径どちらも時間経過に対する換算距離の立ち上がりが早くなり、またガス膨張が収束する時間も早まる傾向がある。また、薬量 3.2~10 kg までの爆轟生成ガス高さについては、その到達距離は、R04 の爆轟生成ガス高さと同等になった。R04 では、80 kg の爆薬を換算高さではなく地表面近くに設置したため、地表面の反射影響が強く出ている。本年度についても、薬量が少ない場合は爆薬設置の実高さが地表面に近く、同じく地表面の影響が現れて R04 での換算高さに近くなった可能性がある。一方、爆薬 3.2~32 kg の爆轟生成ガス半径、32 kg の爆轟生成ガス高さについては、おおよそ R04 の半径と同様の履歴傾向を示す結果となった。換算時間と換算距離の関係で整理した場合、3.2 kg 及び 10 kg の爆轟生成ガス換算高さは R05 の換算高さに漸近し、その他の値についてはいずれも R05 の換算半径に漸近する傾向が見られた。



実時間-換算距離

換算時間-換算距離

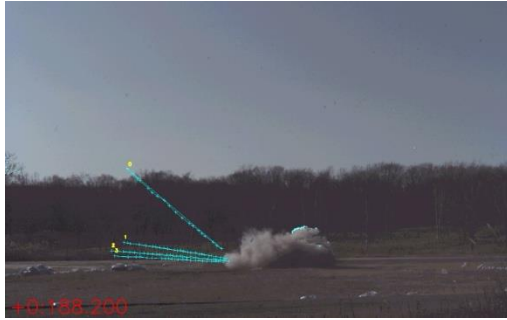
図 4.1.3.5-8 経過時間に対する爆轟生成ガスの高さ及び半径の関係

飛散物発生と飛翔挙動

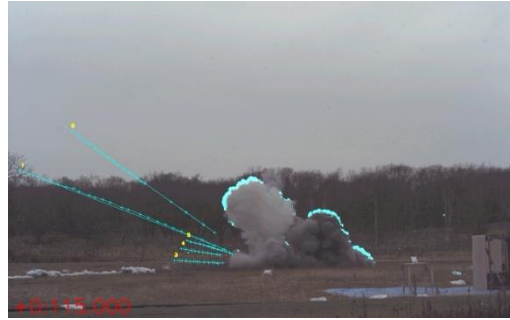
90 度方向からの高速度カメラの観察映像をもとに、飛散物の飛散挙動の画像解析を行った。地表面に対してある程度の角度を持って飛散する飛散物と、地表面に沿って低い飛翔角度で飛散する飛散物とに大別されることが映像から確認されたため、これらの飛散物のうち先頭を飛散するいくつかの特徴的な飛散物について飛散の軌跡を解析した。図 4.1.3.5-9 に画像解析例を示す。また、図 4.1.3.5-10～4.1.3.5-13 に**実験 No.1-1～1-4** までの飛散物画像解析結果をそれぞれ示す。衝撃波のすぐ後を追うように早い時間から飛翔する一部の飛散物は飛翔速度が 100 m/s 以上に達し、地表面に対して角度を持って（16～24 度）飛翔するものもあるが、映像から判断する限り軽量飛散物である。衝撃波から遅れて飛散する飛散物は、加速するまでに時間のかかる重量物になるが 50 m/s 以下の遅い速度になる。多くの飛散物は概ね 10 度以下で地平面に沿って飛散した。

高速度カメラ撮影まとめ

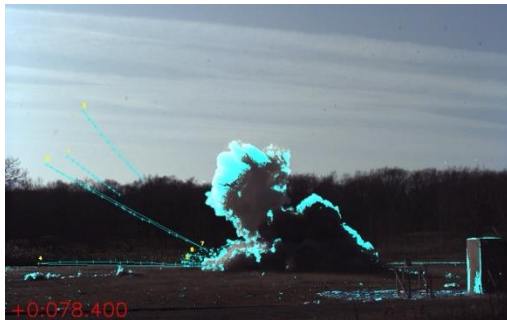
- ・爆点基準方向に関して 180 度及び 90 度方向から爆点での爆発現象を高速度カメラで撮影した。
- ・高速度カメラ映像から爆轟生成ガスの膨張と衝撃波伝播の様子を映像解析し、爆轟生成ガスの膨張高さ及び幅については R04 の 80 kg 基準爆発実験の結果と換算距離あるいは換算時間を用いて比較した。爆轟生成ガス高さについては、地表面からの爆薬高さの影響もあり R04 年度同様に爆轟生成ガス半径よりも高く評価された。薬量規模が 80 kg に近づくにつれ、R04 の実験結果に近づく傾向がみられる。薬量が少なくなるにつれ、早々に爆轟生成ガスの膨張は収束した。
- ・高速度カメラ映像から飛散物の飛散物発生時の飛散挙動を映像解析した。一部の飛散物は飛翔速度が 100 m/s 以上に達し、地表面に対して角度を持って（16～24 度以上）飛翔するものもあるが、映像から判断する限り軽量飛散物である。
- ・衝撃波から遅れて飛散する飛散物は、加速するまでに時間のかかる重量物になるが 50 m/s 以下の遅い速度になる。多くの飛散物は概ね 10 度以下で地平面に沿って飛散した。



実験 No.1-1



実験 No.1-2



実験 No.1-3



実験 No.1-4

図 4.1.3.5-9 飛散物映像解析例

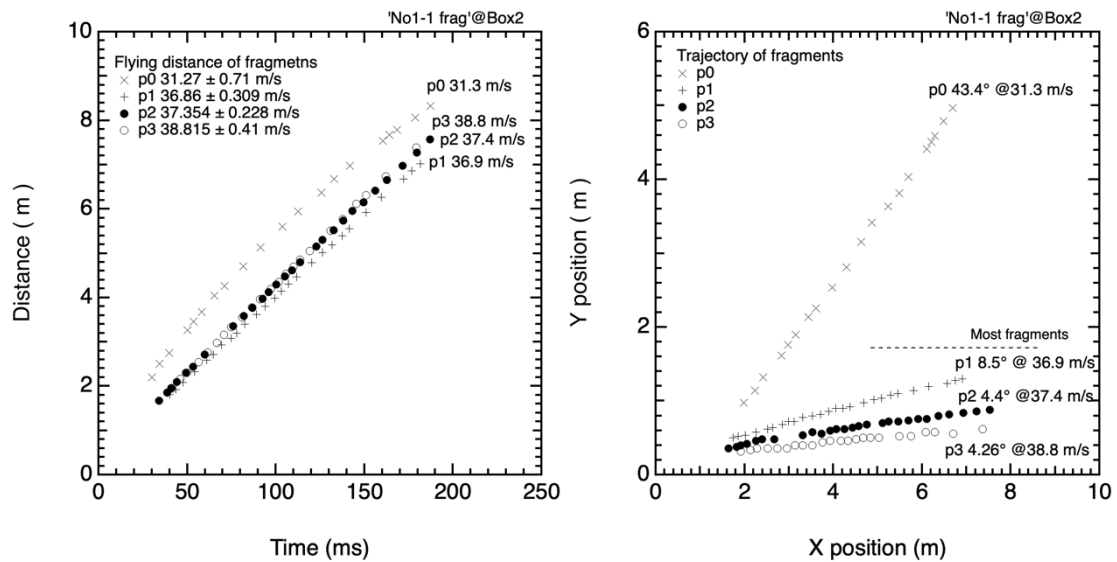


図 4.1.3.5-10 実験 No.1-1 飛散物解析結果 (左：飛散距離時間履歴、右：飛散軌跡)

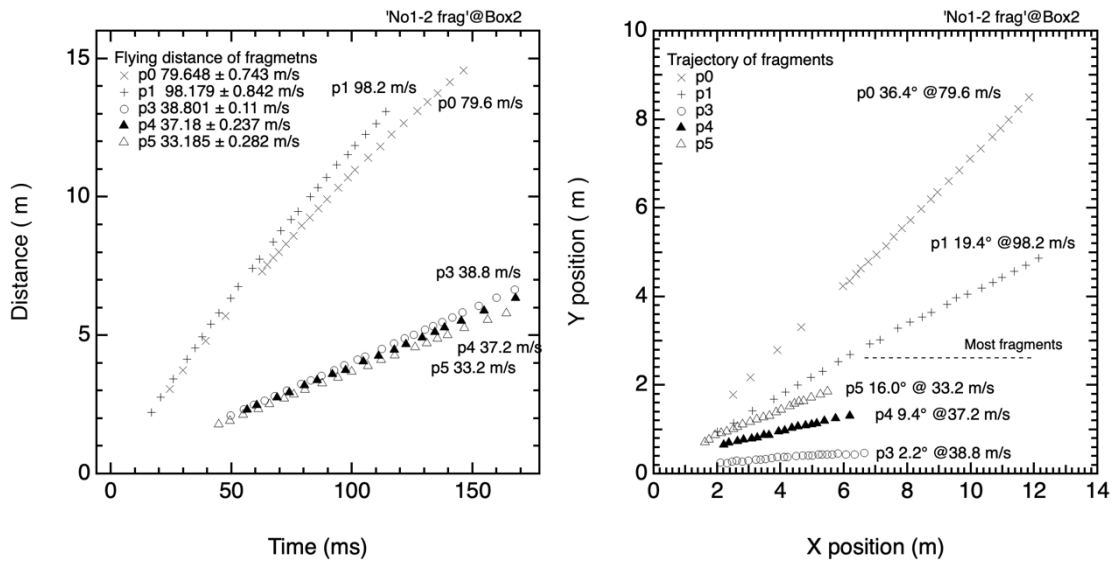


図 4.1.3.5-11 実験 No.1-2 飛散物解析結(左：飛散距離時間履歴、右：飛散軌跡)

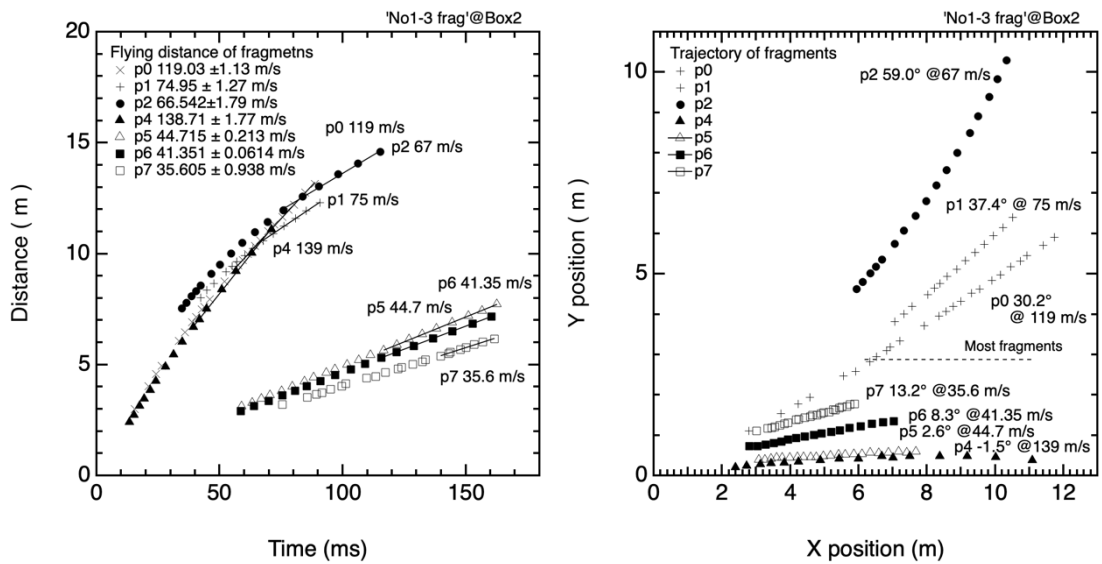


図 4.1.3.5-12 実験 No.1-3 飛散物解析結(左：飛散距離時間履歴、右：飛散軌跡)

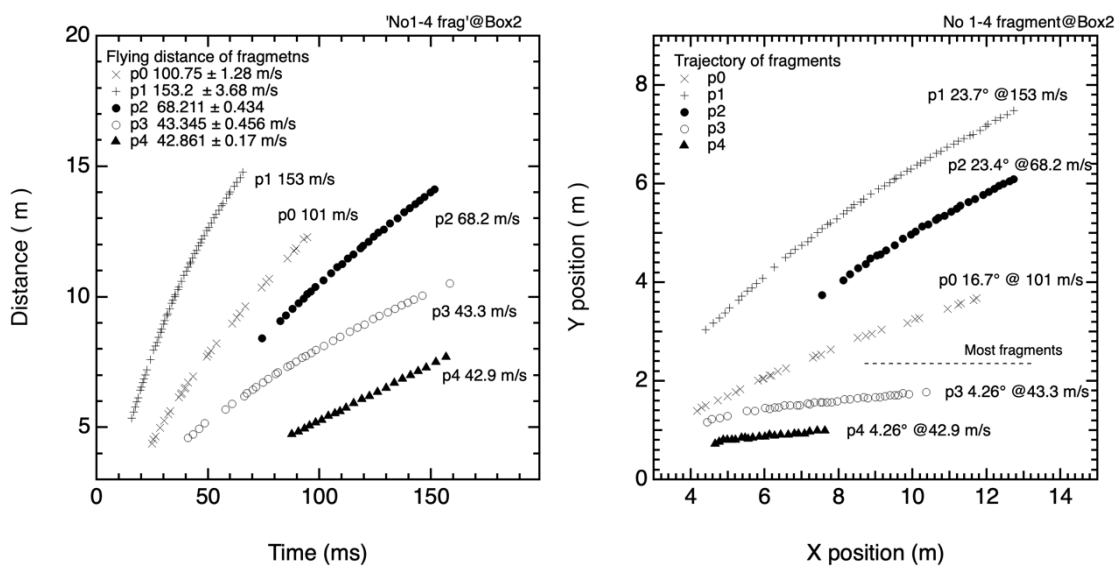


図 4.1.3.5-13 実験 No.1-4 飛散物解析結(左：飛散距離時間履歴、右：飛散軌跡)

4.1.3.6 騒音計測結果

表 4.1.3.6-1 に観測所付近で計測した騒音計測結果を示す。表 4.1.3.6-2 に遠方で測定した騒音計測結果を示す。**実験 No.1-1、No.1-4** の別寒辺四叉路 BK2250 による計測は機器不良により計測できなかった。表 4.1.3.6-2 に示した遠方の警戒点（爆点から 2.7 km 地点及び 4.2 km 地点）では騒音計で測定し、結果は爆発音が耳でわずかに確認できる程度であると共に、火薬学会が提唱している発破騒音の許容値 100 dB（A 特性、表 4.1.3.6-2 では LAeq）と比較して、大きく減衰した値であることが確認できた。

図 4.1.3.6-1 に観測所付近のマイクロフォンで測定した音圧波形を示す。それぞれの波形の振幅は、薬量が大きいかほど大きくなるものの、傾向は殆ど一致している。すなわち、音圧の到達後、10ms 程度でピーク圧となり、緩やかに減衰して負圧に転じる。負圧のピークの後には、緩やかにゲージ圧 0 に漸近していく。波長は薬量が大きいかほど大きくなる。

図 4.1.3.6-2、4.1.3.6-3 に別寒辺四叉路警戒点、図 4.1.3.6-4、4.1.3.6-5 に国境四叉路警戒点における騒音計 BK2250 で測定した音圧波形をそれぞれ示す。爆発の約 1 分前から爆発後まで記録した全体波形（図 4.1.3.6-2 と図 4.1.3.6-4）、爆発音の部分を拡大した波形（図 4.1.3.6-4 と図 4.1.3.6-5）を示した。横軸は時間（秒）で、全体波形では記録開始からの時間であり、拡大表示の波形では爆発直後の 1 秒間で表した。図 4.1.3.6-4 の全体波形には記録時間内にノイズが確認される。これは、記録中に付近を走る車の音、雨風の音など爆発音以外の音も含まれており、爆発音以外の影響を受ける。全体波形から**実験 No.1-2** と**No.1-3** についてはノイズが小さく、爆発音以外の影響が小さいと考えられる。

表 4.1.3.6-1 騒音計測結果 観測所脇

実験 No.	距離 m	薬種	薬量 kg	換算薬量 m/kg ^{1/3}	到達時間 ms	ピーク圧 Pa	音圧レベル* dB
No.1-1	192	EMX2	1	192	0.573	220	140.8
No.1-2	192	EMX2	3.2	130	0.553	410	146.2
No.1-3	192	EMX2	10	89	0.545	709	151.0
No.1-4	192	EMX2	32	60	0.556	1066	154.5

*：音圧レベルは計測したピーク圧（Pa）を $20\log(\text{Pa}/0.00002)$ で変換した値。

表 4.1.3.6-2 騒音計測結果 遠方での計測結果

別寒辺四叉路 2730 m				BK2250		NL-31			
実験 No.	薬種	薬量	換算距離	LZpeak	LCeq	LAeq	LAE	LAmaz	Lpk
		kg	m/kg ^{1/3}	dB	dB	dB	dB	dB	dB
No.1-1	EMX2	1	2730	-	-	59.2	77.3	81.3	98.9
No.1-2	EMX2	3.2	1853	106.2	-	52.6	74.1	66.5	105.3
No.1-3	EMX2	10	1267	116.6	-	51.2	68.0	73.6	115.3
No.1-4	EMX2	32	860	-	-	63.2	83.3	82.1	122.8

国境四叉路 4170 m				BK2250		NL-31			
実験 No.	薬種	薬量	換算距離	Lzpeak	LCeq	LAeq	LAE	LAmaz	Lpk
		kg	m/kg ^{1/3}	dB	dB	dB	dB	dB	dB
No.1-1	EMX2	1	4170	112.5	79.7	57.9	78.8	69.4	109.0
No.1-2	EMX2	3.2	2830	110.0	66.1	54.1	77.1	74.8	105.2
No.1-3	EMX2	10	1936	108.8	67.5	56.6	77.2	73.1	105.0
No.1-4	EMX2	32	1313	113.4	80.2	59.7	84.2	75.1	108.5

-：機器不良のため

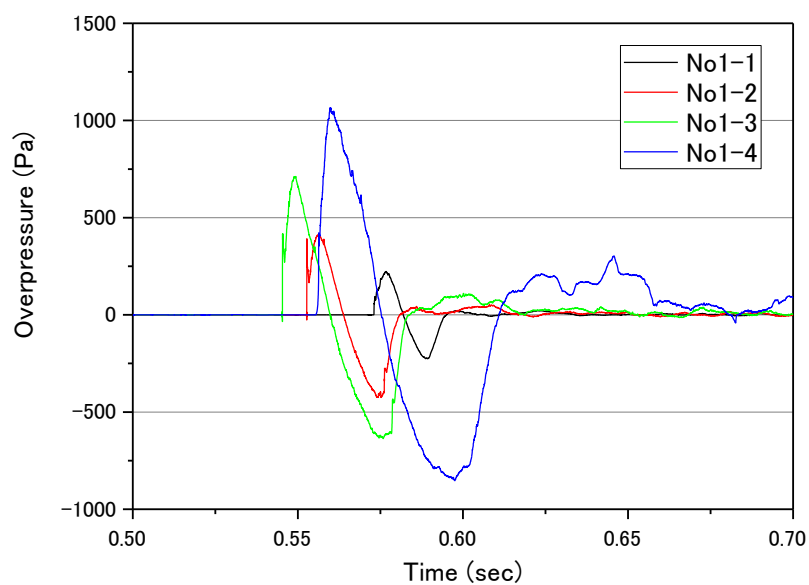
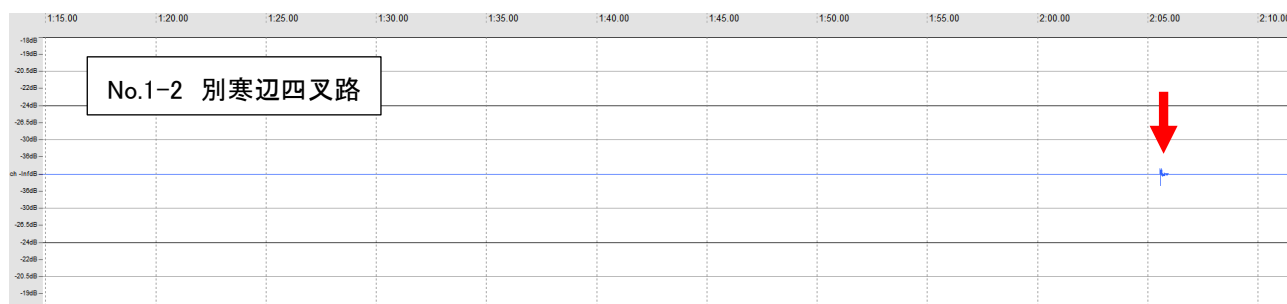
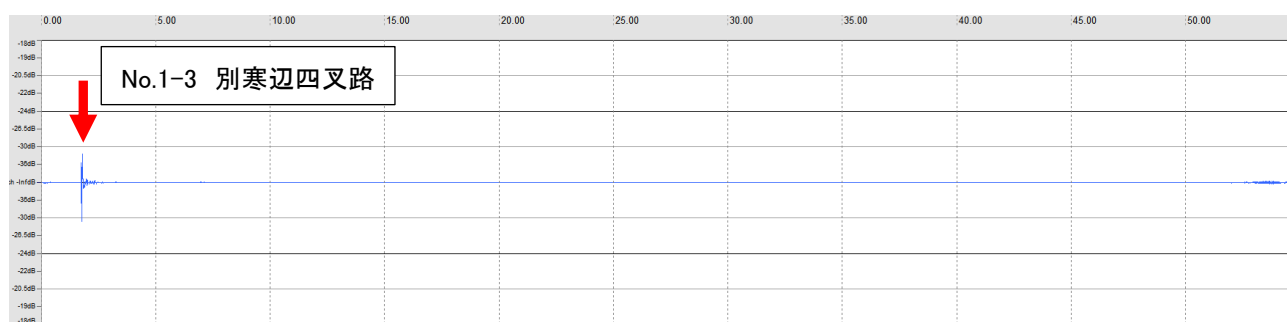


図 4.1.3.6-1 観測所で計測した音圧波形

No.1-1 別寒辺四叉路



No.1-2 別寒辺四叉路

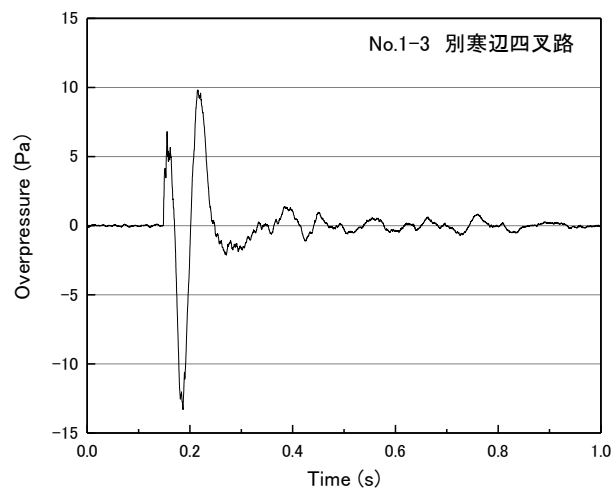
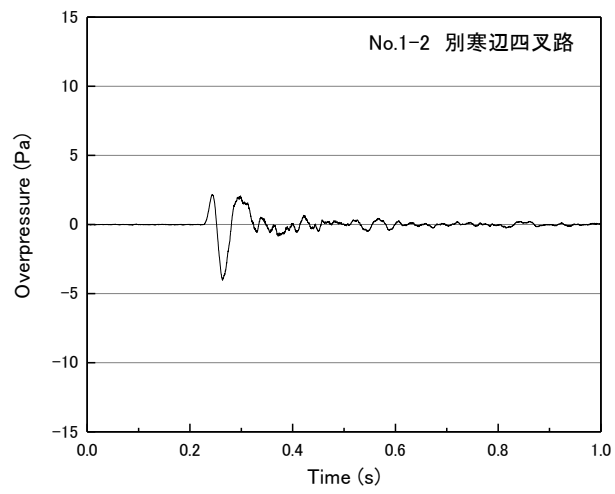


No.1-3 別寒辺四叉路

No.1-4 別寒辺四叉路

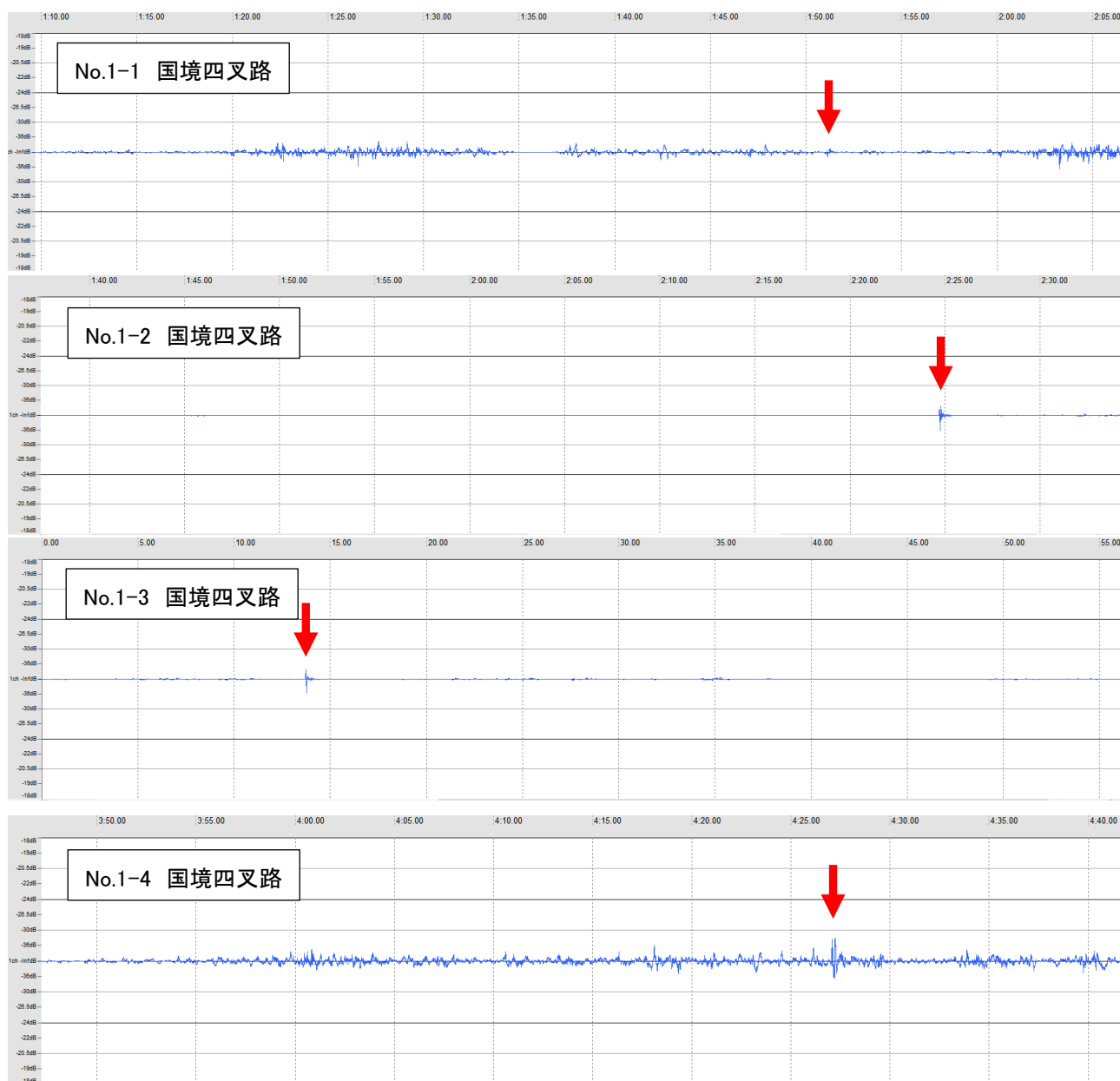
全体波形

図 4.1.3.6-2 別寒辺四叉路の騒音計 BK2250 で計測した音圧波形
(実験 No.1-1、No.1-4 は計測機器不調で未計測。)



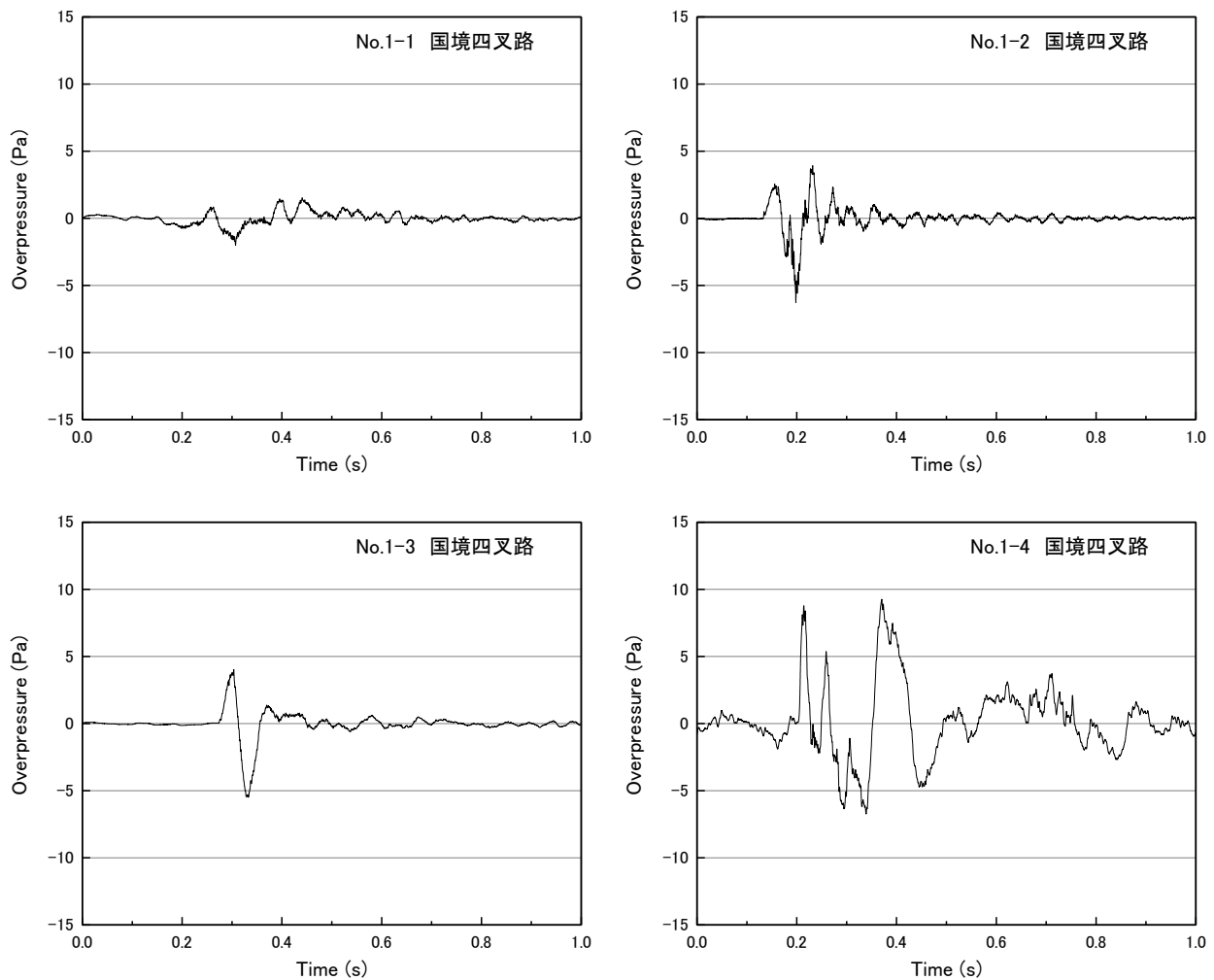
爆発音部分の拡大

図 4.1.3.6-3 別寒辺四叉路の騒音計 BK2250 で計測した音圧波形
(実験 No.1-1、No.1-4 は計測機器不調で未計測。)



全体波形

図 4.1.3.6-4 国境四叉路の騒音計 BK2250 で計測した音圧波形



爆発音部分の拡大

図 4.1.3.6-5 国境四叉路の騒音計 BK2250 で計測した音圧波形

騒音計測まとめ

- 遠方の警戒点（爆点から 2.7 km 地点及び 4.2 km 地点）では爆発音が耳でわずかに確認できる程度であり、火薬学会が提唱している発破騒音の許容値 100 dB（A 特性、表 4.1.3.6-2 では LAeq）と比較して、十分に減衰した値を確認した。
- 観測所脇（爆点から 192 m 地点）でマイクロフォンにより爆発音の騒音計測をおこなった。それぞれの波形の振幅は、薬量が大きいくほど大きくなるものの、傾向は殆ど一致しており、同じ形の波形が得られた。

4.2 窓ガラス破壊防止に関する実験

4.2.1 目的

過去の爆発事故等でも 火薬類関連施設の周囲においてガラス破損がみられたが、このような被害がどの程度の距離まで波及するのか、またガラス飛散防止フィルム等の対策により軽減され得るのかを確認する。そのため、**実験 No.1** の含水爆薬 10 kg 及び 32 kg の飛散物実験と同時並行して、ガラス飛散防止フィルム有り・無しの窓ガラス及び爆風圧計を適当な距離に設置し、ガラス破壊状況及びその時の爆風圧を計測する。

4.2.2 実験方法

実験 No.1 爆発飛散物に関する実験における**実験 No.1-3** 及び **No.1-4** と同時並行して、**実験 No.2-1** 及び **No.2-2** を実施する。そのため、爆風圧計測、地盤振動計測、常速度・高速度撮影、騒音計測については、**実験 No.1** の計測項目に示したとおりであり、ここでは省略する。

4.2.2.1 供試火薬類

供試火薬類は表 4.2.2.1-1 に示すとおりである(**実験 No.2** 関連部分だけを抽出して再掲)。爆薬の形状、起爆方法等は 4.1.2.1 節に示したものと同様である。

表 4.2.2.1-1 供試火薬類

実験 No.	並行実験 No.	薬種	薬量 (kg)	導爆線	電気雷管 (個)	火薬の形状：円柱形（目標値）	
						直径 ϕ × 高さ (mm)	密度 (kg/m ³)
2-1	1-3	EMX2	10	100 mm × 2 本 40 mm × 2 本	2	ϕ 225 × 215	1,170
2-2	1-4	EMX2	32	100 mm × 2 本 40 mm × 2 本	2	ϕ 331 × 323	1,155
合計			42	100 mm × 4 本 40 mm × 4 本	4		

4.2.2.2 窓ガラス試験体

(1) 窓ガラス試験体の種類と設置位置

図 4.2.2.2-1 に示すように、爆風圧計の脇に窓ガラス試験体を設置し、爆発によって窓ガラスが破壊されるか否かを調査する。また、窓ガラスが破壊された場合は、窓ガラス破片の飛散距離を計測する。

使用する窓ガラスは、一般住宅を想定して 900 × 900 mm、厚さ 3 mm とする。また、ガラス飛散防止フィルムを貼り付けたガラスも同時に設置して比較する。ガラス飛散防止フィルムは、JIS A5759:2016 衝撃破壊対応ガラス飛散防止フィルム GI-1（内貼り用）適合品で厚さ 50 μ m のものを使用し、窓ガラスの爆源と反対方向に貼り付ける。表 4.2.2.2-2 に窓ガラス試験体の種類と設置位置を示す。

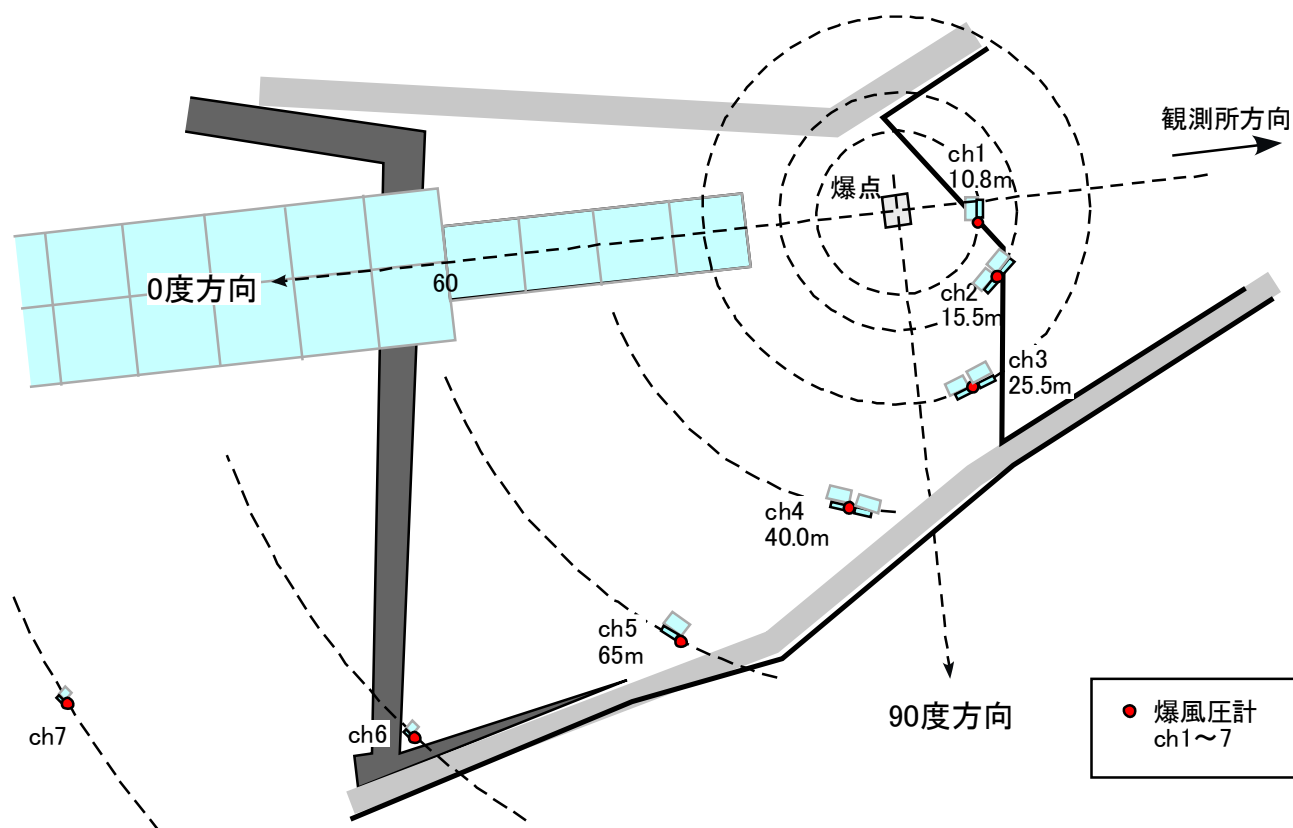


図 4.2.2.2-1 窓ガラス試験体及び爆風圧計の設置位置

表 4.2.2.2-2 窓ガラス試験体の種類と設置位置

実験 No.	薬量 [kg]	距離 [m]	10.8	15.5	25.5	40.0	65.0	90.0	130
No.2-1	10	ガラス	—	○	○	○	—	—	—
		フィルム貼付ガラス	●	●	●	—	—	—	—
		小型窓ガラス (0.4 mm)	—	—	○	○	○	○	—
		換算距離 [m/kg ^{1/3}]	5.01	7.19	11.8	18.6	30.2	41.8	—
		想定爆風圧* [kPa]	36.8	20.9	10.6	5.97	3.10	1.96	—
No.2-2	32	ガラス	—	—	○	○	○	—	—
		フィルム貼付ガラス	—	●	●	●	—	—	—
		小型窓ガラス (0.4 mm)	—	—	—	○	○	○	○
		換算距離 [m/kg ^{1/3}]	—	4.88	8.03	12.6	20.5	28.3	40.9
		想定爆風圧* [kPa]	—	38.5	17.8	9.73	5.28	3.39	2.02

*想定爆風圧 含水爆薬 EMX2 の TNT 換算率を 76%と想定して、Kingery 式から算出した爆風圧。

スケール則を考慮した小型窓ガラス（0.4 mm）を用いて、爆風圧とガラスの破壊状況の調査も実施する。薄いソーダガラスは 0.4 mm のものが市販されている。実スケールを地上式一級火薬庫（TNT40 トン）とすると含水爆薬の換算率も考慮して 32 kg の実験は概ね 11.8 分の 1 スケールになる。0.4 mm 厚ガラスの実験は実スケールで 4.72 mm 厚さのガラスで、一般的なガラス厚の範囲内にある。市販ガラスのサイズは 150×150×0.4 mm であり、これを基に小型窓ガラス（0.4 mm）台を製作する。設置位置は表 6.2-2 に示す。なお、0.4 mm 厚のガラスは、**実験 No.2** の実験で用いるガラス厚の 7.5 分の 1 スケールに相当し、事前に室内爆発実験を実施し設置位置を検討した。

(2) 窓ガラス試験体の設置方法

図 4.2.2.2-2 に示す窓枠付きガラス窓（ガラス 900×900×3 mm）を、図 4.2.2.2-3 のように台に取り付け、単管を用いて固定する。窓ガラス試験体と爆風圧センサーの位置関係を図 4.2.2.2-4 に示す。

また、図 4.2.2.2-5 に示す小型ガラス（0.4 mm）台は小型ガラスの中心が 1 m となるように図 4.2.2.2-6 の木製台上に設置する。木製台は単管等で固定する。



図 6.2-2 窓枠付きガラス窓の例（900 mm×900 mm×3 mm、市販品）

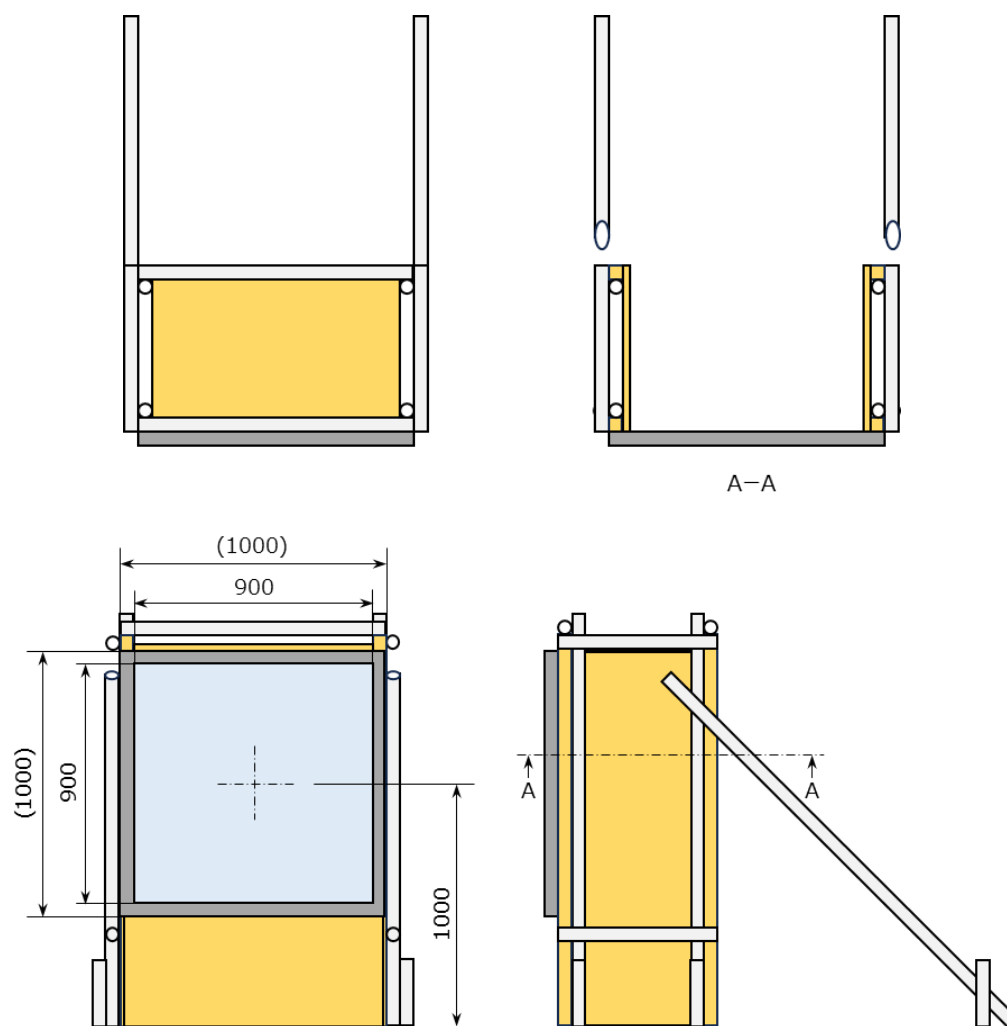


図 4.2.2.2-3 ガラス窓の固定方法

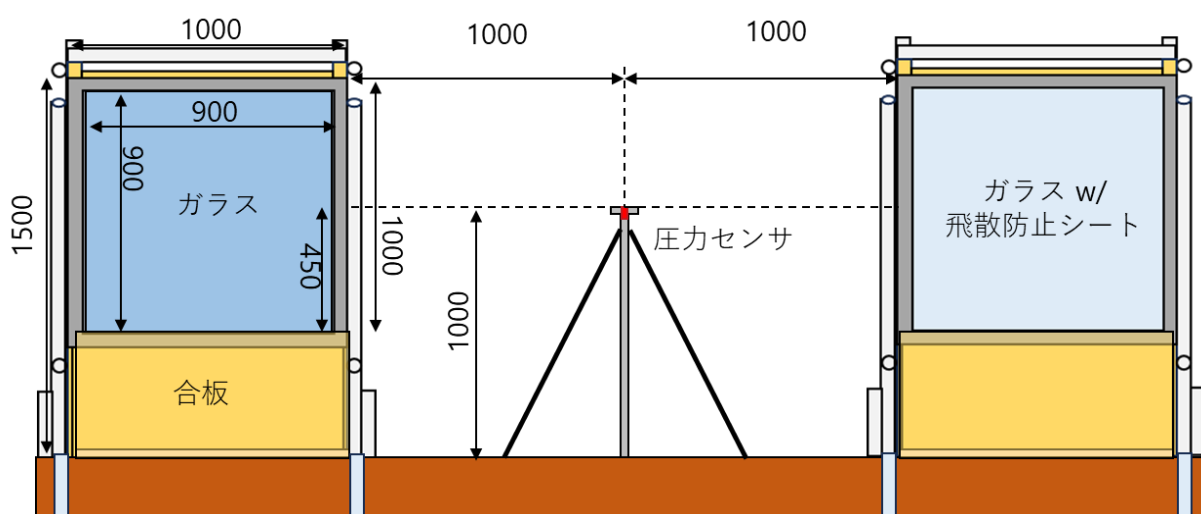


図 4.2.2.2-4 ガラス窓の設置位置と爆風圧センサーの位置関係（正面）

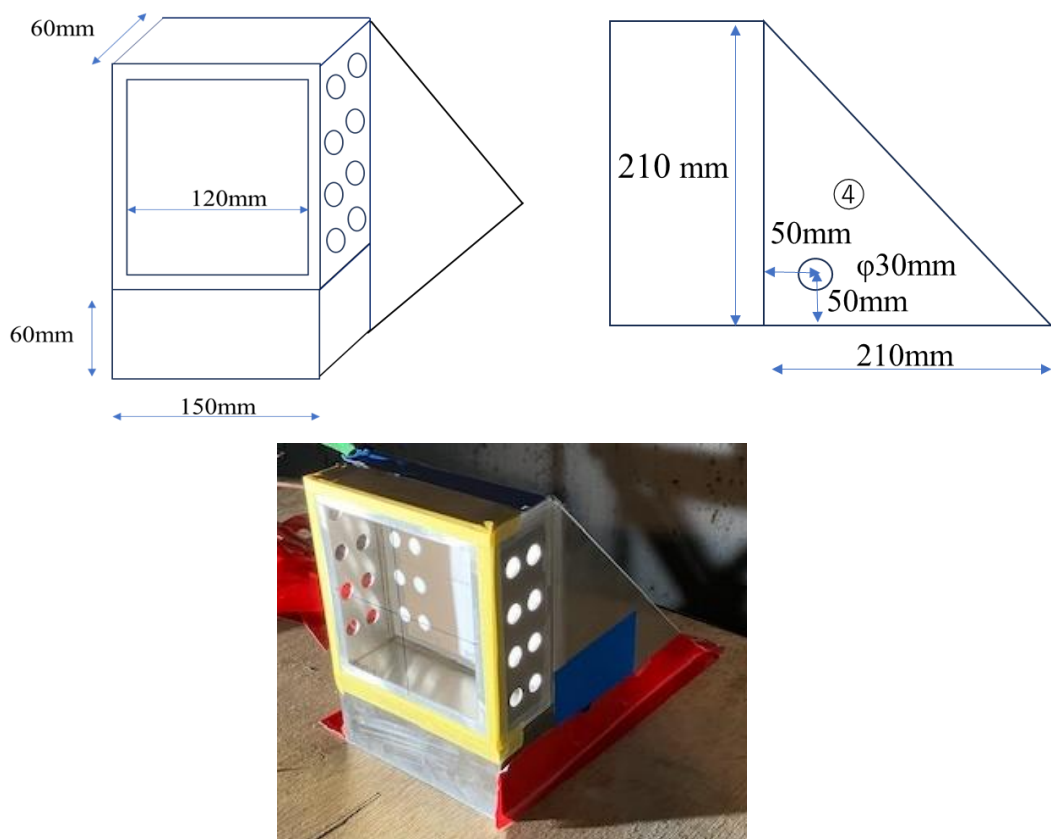


図 4.2.2.2-5 小型ガラス (0.4 mm) 試験体の概要図と室内実験における設置状況
前面が 120×120 mm で空いたアルミ製の箱にソーダガラス (150×150×0.4 mm) を装着

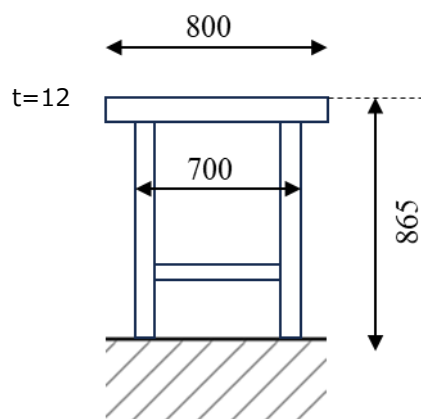


図 4.2.2.2-6 小型ガラス (0.4 mm) 試験体設置用木製台

4.2.3 実験結果

4.2.3.1 爆発後の爆点の様子（破壊状況計測）

表 4.2.3.1-1 にガラス破壊状況を示す。**実験 No.2-1** では、小型ガラス以外のすべてのガラスに破壊が確認された。図 4.2.3.1-1～図 4.2.3.1-3 にフィルム無しガラスの結果を示す。ガラスは全体が粉々になりフレームにも残らず、その殆どが前方に飛散した。左側の図中、ガラス窓枠前方のブルーシートに粉々になった破片の様子が確認される。**実験 No.2-1** では換算距離 18.6 までガラスは破壊し、過去の実験結果と比して遠方までガラス破壊が確認された。また、飛散距離については表 4.2.3.1-1 に示した。

図 4.2.3.1-1～図 4.2.3.1-3 にフィルム貼付ガラスの破壊状況写真を示す。図 4.2.3.1-4 は爆点からの距離 10.8 m（換算距離 5.03、爆風圧 37.26 kPa）に設置したもので、確実にガラスが破壊される距離で激しい爆風を受ける結果と表現できる。フィルム貼付ガラスは窓枠から離れているものの、窓枠のすぐ前方に落ちている程度の動きしかなく、かつ、フィルムの効果によりガラスは一体となって残っていた。ごく少数の小さなガラス破片が前後に飛散するにとどまった。フィルムの効果によりガラスの飛散量を大幅に低減できることが確認された。換算距離 7.2 と 11.8 m/kg^{1/3} の場合、上述のようにフィルムがない場合はガラス全体が粉々になって飛散するため窓枠にガラスが残存しない。一方、フィルム付きの場合は図 4.2.3.1-5 と図 4.2.3.1-3 に示した通り、ガラスは破壊するものの、一体として窓枠に残る。ガラス飛散の危険な状況を回避するために非常に有効な効果を確認できる。ごく少量のガラス飛散の距離については表 4.2.3.1-1 に示した。小型ガラスは、実験前後で変化なしであった（割れなかった）。図 4.2.3.1-1～4.2.3.1-7 に**実験 No.2-1** 実験後のガラス飛散状況を示す。

実験 No.2-1 の実験結果でフィルム無しの通常のガラスを換算距離 18.6 に設置したときにガラスが破壊することが確認されている。そのため、**実験 No.2-2** では、より遠方にフィルム無しガラスを設置した。実験の結果、ガラスに変化はなかった（割れなかった）。フィルム貼付ガラスは、換算距離 12.6 m/kg^{1/3} 以下では破壊されており、20.5 m/kg^{1/3} 以上では破壊されなかった。破壊したものでも**実験 No.2-1** 同様に、フィルムでガラスが保持されており、ガラスの飛散量は少なかった。小型ガラスは、実験前後で変化なしであった。図 4.2.3.1-8～4.2.3.1-13 に**実験 No.2-2** 実験後のガラス飛散状況を示す。

表 4.2.3.1-1 ガラス破壊状況

実験 No.	薬量	距離[m]	10.8	15.6	25.5	40.0	65.0	90.0
No.2-1	10	換算距離 [m/kg ^{1/3}]	5.0	7.2	11.8	18.6	30.2	41.8
		ガラス		前 8 m 後 4 m (写真 A)	前 8 m 後 2 m (写真 B)	前 3 m 後 1 m (写真 C)		
		フィルム貼付 ガラス	前 4 m 後 1 m (写真 D)	前 4.4 m 後 1 m (写真 E)	前 1.7 m 後 1 m (写真 F)			
		小型ガラス			割れなし (写真 G)	割れなし (写真 G)	割れなし	割れなし
No.2-2	32	換算距離 [m/kg ^{1/3}]			8.0	12.6	20.5	28.4
		ガラス					割れなし (写真 H)	割れなし (写真 I)
		フィルム貼付 ガラス			前 3 m 後 1 m (写真 J)	前 2.6 m 後 1 m (写真 K)	割れなし (写真 L)	
		小型ガラス			割れなし (写真 M)	割れなし (写真 M)	割れなし	割れなし

※表中の「前●m」はガラスが前方（爆点側）へ●m 飛散したことを意味する。

「後●m」はガラスが後方（爆点から遠ざかる方向）へ●m 飛散したことを意味する。



図 4.2.3.1-1 (写真 A) 実験 No.2-1 ガラス破壊状況 (15.5 m、換算距離 7.2)



図 4.2.3.1-2 (写真 B) 実験 No.2-1 ガラス破壊状況 (25.5 m、換算距離 11.8)



図 4.2.3.1-3 (写真 C) 実験 No.2-1 ガラス破壊状況 (40.0 m、換算距離 18.6)

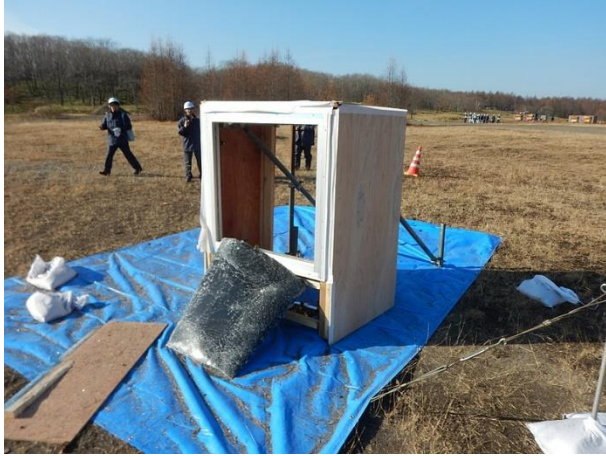


図 4.2.3.1-4 (写真 D) 実験 No.2-1 フィルム貼付ガラス破壊状況 (10.8 m、換算距離 5)



図 4.2.3.1-5 (写真 E) 実験 No.2-1 フィルム貼付ガラス破壊状況 (15.5 m、換算距離 7.2)



図 4.2.3.1-6 (写真 F) 実験 No.2-1 フィルム貼付ガラス破壊状況 (25.5 m、換算距離 11.8)



図 4.2.3.1-7 (写真 G) 実験 No.2-1 小型ガラス破壊状況 (割れなし)
(左 : 25.5 m 地点、右 40.0 m 地点)



図 4.2.3.1-8 (写真 H) 実験 No.2-2 ガラス破壊状況 (65.0 m、換算距離 20.5)
(割れなし)

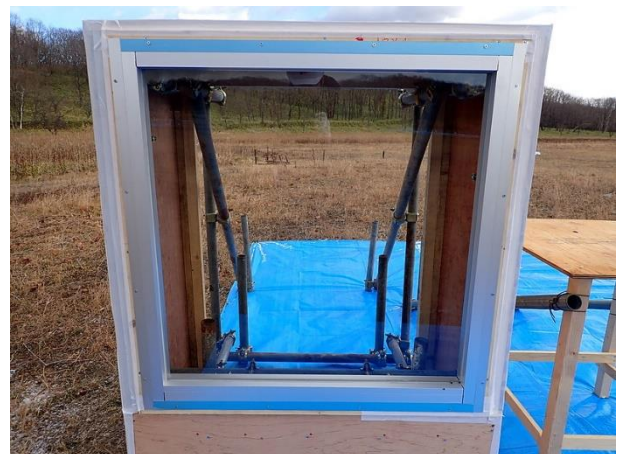


図 4.2.3.1-9 (写真 I) 実験 No.2-2 ガラス破壊状況 (90.0 m、換算距離 28.3)
(割れなし)



図 4.2.3.1-10 (写真 J) 実験 No.2-2 ガラス破壊状況 (25.5 m、換算距離 8.0)



図 4.2.3.1-11 (写真 K) 実験 No.2-2 ガラス破壊状況 (40.0 m、換算距離 12.6)



図 4.2.3.1-12 (写真 L) 実験 No.2-2 ガラス破壊状況 (65.0 m、換算距離 20.5) (割れなし)

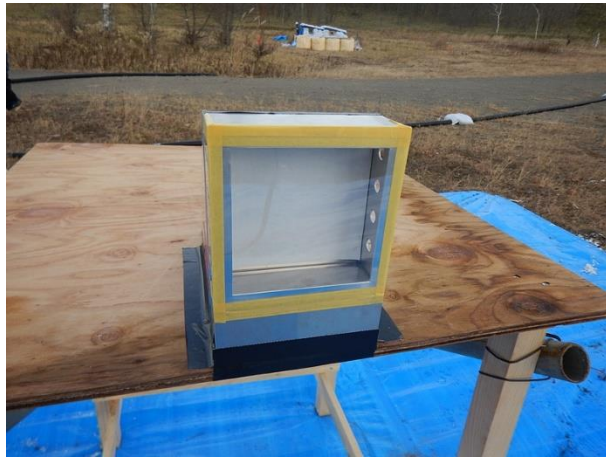


図 4.2.3.1-13 (写真 M) 実験 No.2-2 小型ガラス破壊状況 (左 : 25.5 m 地点、右 40.0 m 地点)
(割れなし)

破壊状況計測まとめ

フィルム無しの通常のガラスは換算距離 $18.6 \text{ m/kg}^{1/3}$ 以下で破壊し、過去の実験結果と比して遠方までガラス破壊が確認された。また、換算距離 $20.5 \text{ m/kg}^{1/3}$ 以上で破壊されなかった。一方、フィルム貼付ガラスは換算距離 $12.6 \text{ m/kg}^{1/3}$ 以下で破壊し、換算距離 $20.5 \text{ m/kg}^{1/3}$ 以上では破壊されなかった。フィルム貼付ガラスは激しい爆風を受けて、ガラスが破壊されてもフィルムの効果で殆ど一体として残っており、フィルム貼付ガラスが窓枠から外れてその近傍に落下する場合であってもその効果は確認された。本実験により、フィルムの効果によりガラスの飛散量を大幅に低減できることが確認された。

4.2.3.2 爆風圧計測結果

(1) 爆風の時間履歴

図 4.2.3.2-1～図 4.2.3.2-4 に**実験 No.2-1, No.2-2** の爆風波形を示す。

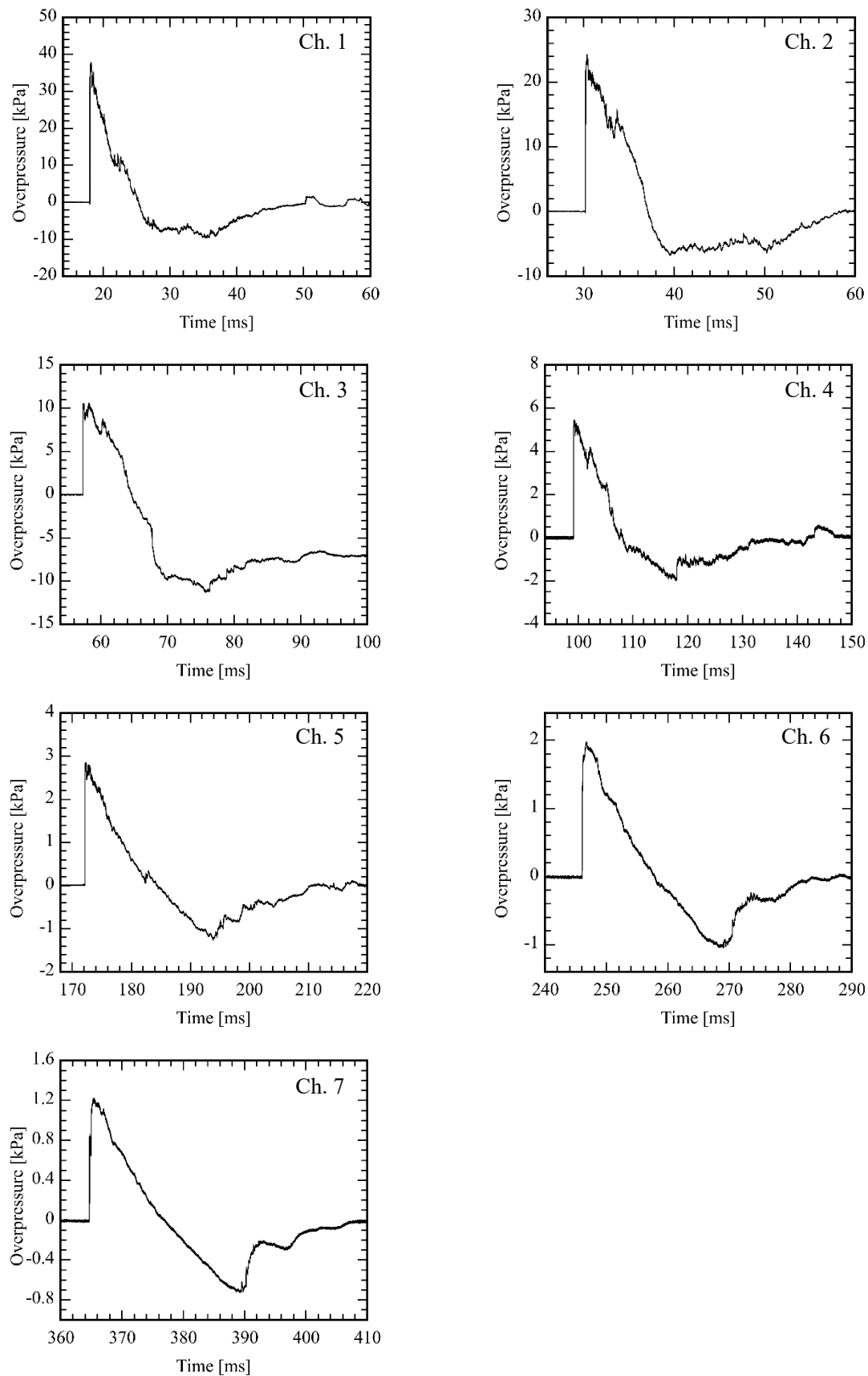


図 4.2.3.2-1 実験 No.2-1 (No.1-3) 爆風の時間履歴

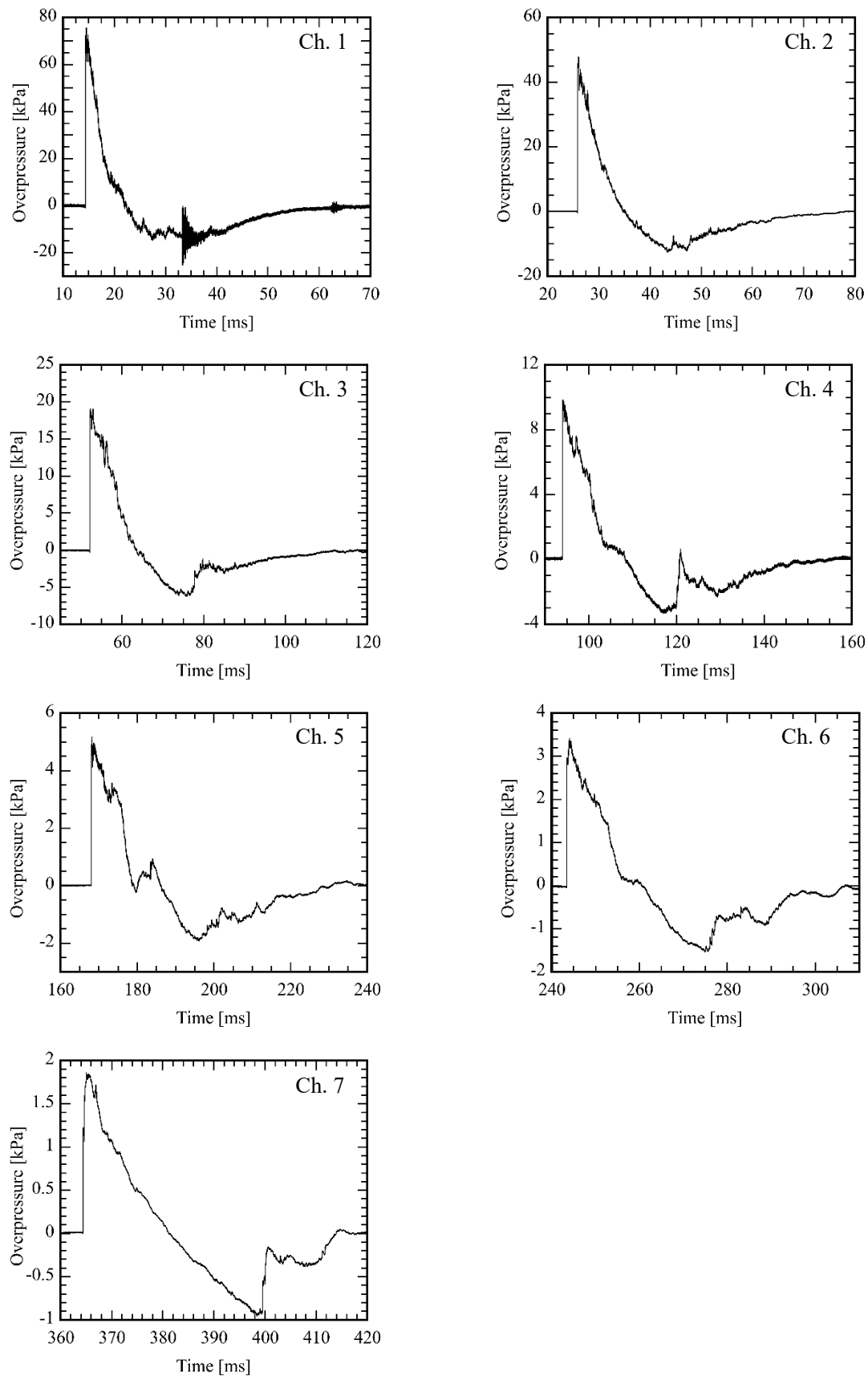


図 4.2.3.2-2 実験 No.2-2 (No.1-4) 爆風の時間履歴

実験 No.1-1, No.1-2 においても参考として爆風圧を計測した。図 4.2.3.2-3 と図 4.2.3.2-4 に実験 No.1-1, No.1-2 の爆風波形を示す。

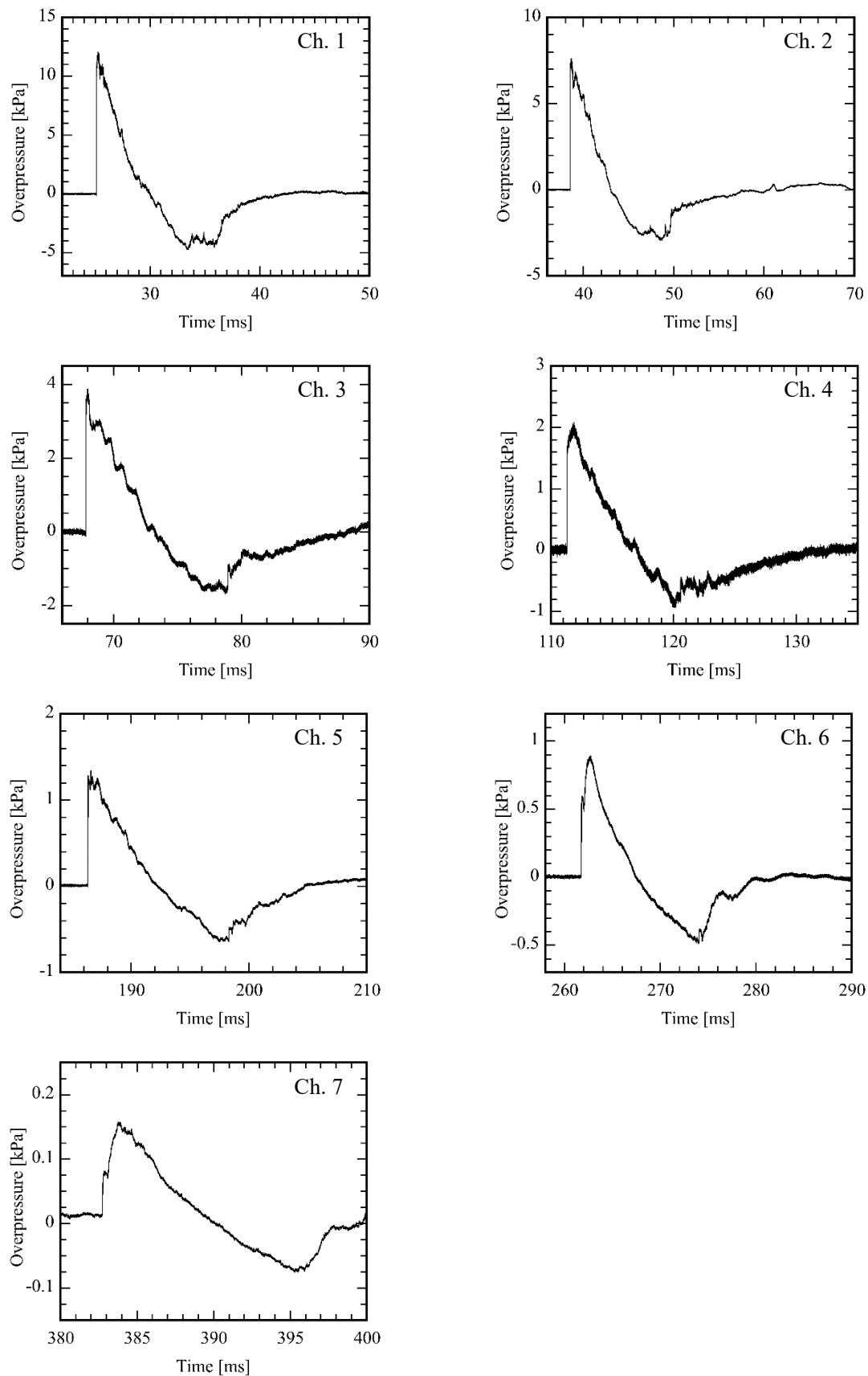


図 4.2.3.2-3 実験 No.1-1 爆風の時間履歴

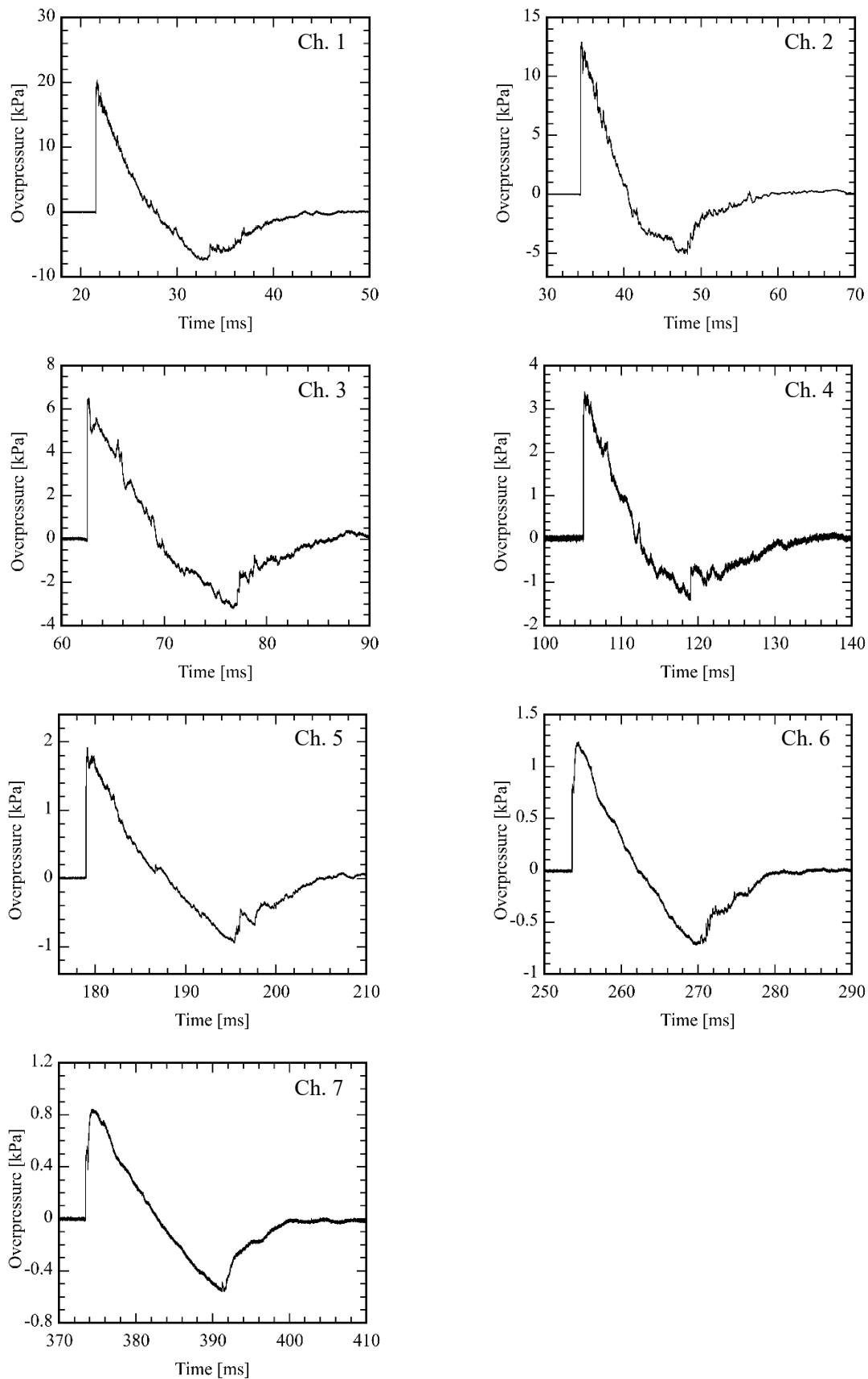


図 4.2.3.2-4 実験 No.1-2 爆風の時間履歴

(2) 爆風パラメータ

実験 No.2-1, No.2-2 の爆風パラメータ（ピーク静水過圧、正圧相インパルス、到達時刻、及び持続時間）を算出した結果を表 4.2.3.2-1 と表 4.2.3.2-2 に示す。**実験 No.2-1** の Ch.3 の圧力履歴は、負圧を観測した後に静水過圧が零に戻らなかった。

表 4.2.3.2-1 **実験 No.2-1 (No.1-3)** の爆風パラメータ

	距離 [m]	換算距離 [m/kg ^{1/3}]	ピーク静水過圧 [kPa]	正圧相インパルス [Pa s]	到達時刻 [ms]	持続時間 [ms]
Ch. 1	10.83	5.03	37.26	109.75	18.21	7.10
Ch. 2	15.56	7.22	24.23	88.35	30.35	6.73
Ch. 3	25.47	11.82	10.62	46.88	58.27	6.37
Ch. 4	40.03	18.58	5.46	24.73	99.34	8.33
Ch. 5	64.98	30.16	2.85	14.97	172.27	11.69
Ch. 6	90.02	41.78	1.82	11.30	246.70	11.09
Ch. 7	130.40	60.53	1.23	7.24	365.43	11.34

表 4.2.3.2-2 **実験 No.2-2 (No.1-4)** の爆風パラメータ

	距離 [m]	換算距離 [m/kg ^{1/3}]	ピーク静水過圧 [kPa]	正圧相インパルス [Pa s]	到達時刻 [ms]	持続時間 [ms]
Ch. 1	10.83	3.41	75.17	207.69	14.54	7.38
Ch. 2	15.56	4.90	46.72	169.67	25.98	8.73
Ch. 3	25.47	8.02	19.07	104.36	52.31	11.22
Ch. 4	40.03	12.61	9.76	54.15	93.98	14.38
Ch. 5	64.98	20.47	5.13	32.25	168.21	13.31
Ch. 6	90.02	28.35	3.39	24.28	244.05	15.36
Ch. 7	130.40	41.07	1.86	13.81	365.06	15.82

実験 No.1-1, No.1-2 の爆風パラメータ（ピーク静水過圧、正圧相インパルス、到達時刻、及び持続時間）を算出した結果を表 4.2.3.2-3 と表 4.2.3.2-4 に示す。

表 4.2.3.2-3 実験 No.1-1 の爆風パラメータ

	距離 [m]	換算距離 [m/kg ^{1/3}]	ピーク静水過圧 [kPa]	正圧相インパルス [Pa s]	到達時刻 [ms]	持続時間 [ms]
Ch. 1	10.83	10.83	11.38	23.95	25.27	4.58
Ch. 2	15.56	15.56	7.03	16.74	38.69	4.66
Ch. 3	25.47	25.47	3.24	9.35	67.99	5.44
Ch. 4	40.03	40.03	1.67	5.35	111.88	5.02
Ch. 5	64.98	64.98	1.16	3.78	186.58	5.97
Ch. 6	90.02	90.02	0.71	2.51	262.73	5.06
Ch. 7	130.40	130.40	0.15	0.58	383.76	6.40

表 4.2.3.2-4 実験 No.1-2 の爆風パラメータ

	距離 [m]	換算距離 [m/kg ^{1/3}]	ピーク静水過圧 [kPa]	正圧相インパルス [Pa s]	到達時刻 [ms]	持続時間 [ms]
Ch. 1	10.83	7.35	19.57	50.99	21.70	6.01
Ch. 2	15.56	10.56	12.04	37.29	34.49	6.04
Ch. 3	25.47	17.28	5.60	21.78	62.66	6.79
Ch. 4	40.03	27.16	3.39	11.88	105.22	7.14
Ch. 5	64.98	44.10	1.91	7.39	179.14	8.63
Ch. 6	90.02	61.09	1.24	5.39	254.45	7.94
Ch. 7	130.40	88.49	0.81	4.09	374.43	8.41

(3) 爆風パラメータの距離減衰

図 4.2.3.2-5 に**実験 No.2-1, No.2-2** 及び参考として計測した**実験 No.1-1, No.1-2** の各爆風パラメータを換算距離に対して示した。本年度の実験は基準爆発実験とみなして整理した。(a) ピーク静水過圧と(b) 換算正圧相インパルスについては、同薬種で行われた平成 26 年度～令和 4 年度野外実験の基準爆発のデータと合わせて、近似線を式 (1)~(3)で定義する。距離減衰式の定数を表 4.2.3.2-5 に示す。ここでピーク静水過圧 P [kPa]と正圧相インパルス I [Pa s]、 Z は薬量換算距離 [m/kg^{1/3}]である。

$$X = \log_{10}(Z) \quad (1)$$

$$\log_{10}(P) = a + b \cdot X + c \cdot X^2 \quad (2)$$

$$\log_{10}(I W^{1/3}) = l + m \cdot X + n \cdot X^2 \quad (3)$$

表 4.2.3.2-5 距離減衰式の定数

a	b	c	l	m	n
2.7725	-1.7802	0.1330	2.0625	-0.4563	-0.2354

ピーク静水過圧と換算インパルスの近似線の算出に用いたデータは以下の通り。

- ・平成 26 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書 **実験 No.4-1** (10 kg)
実験 No.4-2 (80 kg)
- ・平成 27 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書 **実験 No.2-2** (40 kg)
- ・平成 28 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討事業報告書 **実験 No.2-6** (10.32 kg)
- ・平成 30 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書 **実験 No.2-1** (5 kg)
- ・令和 2 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書 **実験 No.2-1** (15.49 kg)
- ・令和 3 年産業保安等技術基準策定研究開発等（火薬類爆発影響低減化技術基準検討事業）報告書 **実験 No.2-1** (15.49 kg)
- ・令和 4 年度産業保安等技術基準策定研究開発等事業（火薬類爆発影響低減化技術基準検討事業）報告書 **実験 No2** (80 kg)

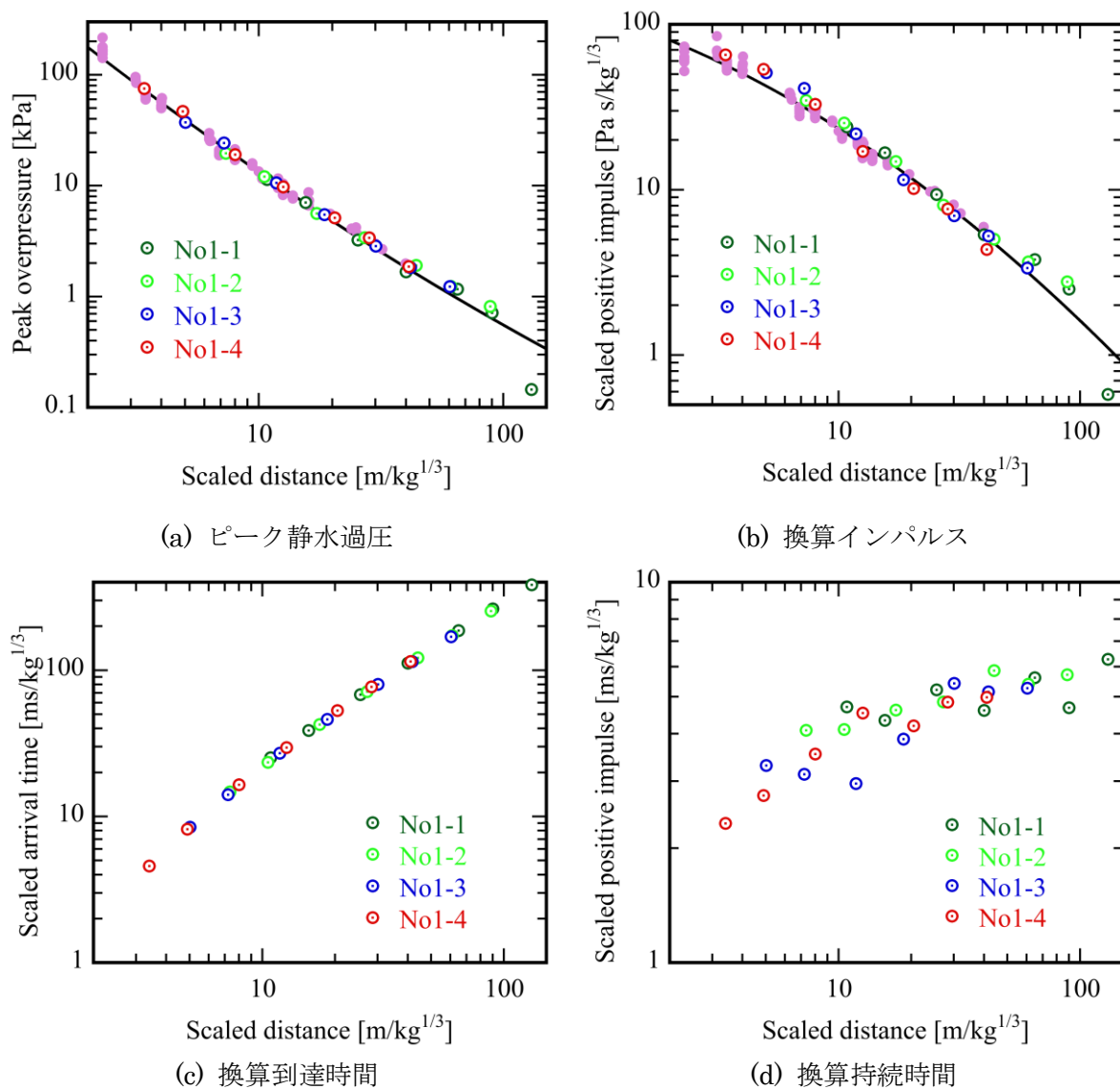


図 4.2.3.2-5 爆風パラメータの距離減衰の比較
(桃丸は過去の野外実験の爆風パラメータ)

爆風圧計測まとめ

ガラスが設置された地点における爆風パラメータを取得した。薬量の異なる**実験 No.2-1, No.2-2** 及び**実験 No.1-1, No.1-2** の結果を過去の爆発影響低減化実験で得られた結果と比較し、同等の爆風パラメータであることを確認した。

4.2.3.3 ガラス破壊の撮影結果

図 4.2.3.3-1 にガラス及びフィルム貼付ガラスの破壊状況の撮影結果を示す。ガラス・フィルム貼付ガラスに爆風が到達した画像を時刻 0 とし、爆風到達後の時刻を記載する。撮影速度 240 fps のため、画像間隔は 4.17 ms である。全画像は付録 5 を参照のこと。

(1) 実験 No.2-1 (10 kg) の撮影結果

距離 15.56 m (換算距離 $7.22 \text{ m/kg}^{1/3}$) の場合

爆風到達後 4.17 ms ではフィルム貼付ガラスが、8.33 ms でガラスが、それぞれ割れ始めた。ガラスは主に爆点側に飛散した。フィルム貼付ガラスのフィルム上に保持されたガラス片は、爆風到達後 16.67 ms までは爆点から遠ざかる方向に、その後は爆点側に運動した。

距離 25.47 m (換算距離 $11.82 \text{ m/kg}^{1/3}$) の場合

爆風到達後 12.50 ms までは、ガラス・フィルム貼付ガラスは振動した。爆風到達後 16.67 ms でガラス・フィルム貼付ガラスは割れた。ガラスは主に爆点側に飛散した。フィルム貼付ガラスのフィルム上に保持されたガラス片は、29.17 ms までは爆点側に、その後爆点から遠ざかる方向に運動した。

(2) 実験 No.2-2 (32 kg) の撮影結果

距離 40.03 m (換算距離 $12.61 \text{ m/kg}^{1/3}$) の場合

爆風到達後 8.33 ms でフィルム貼付ガラスは割れた。フィルム上に保持されたガラス片は 37.50 ms までは爆点側に、その後爆点から遠ざかる方向に運動した。

距離 64.98 m (換算距離 $20.47 \text{ m/kg}^{1/3}$) の場合

ガラス・フィルム貼付ガラスともに破損せず、振動した。

ガラス破壊の撮影まとめ

爆風を受けるガラスの挙動を爆点側からアクションカメラで撮影した。換算距離 $7.22, 11.82 \text{ m/kg}^{1/3}$ に置かれたガラスは主に爆点側に飛散した。フィルム貼付ガラスの上に保持されたガラス片は、換算距離 $7.22 \text{ m/kg}^{1/3}$ では爆点から遠ざかる方向に変位した後に爆点側に運動した一方、換算距離 $11.82, 12.61 \text{ m/kg}^{1/3}$ では爆点側に変位した後に爆点から遠ざかる方向に運動した。換算距離 $20.47 \text{ m/kg}^{1/3}$ に設置されたガラス・フィルム貼付ガラスはともに破損せず、振動した。



到達後 -4.17 ms



到達後 0 ms



到達後 4.17 ms



到達後 8.33 ms



到達後 12.50 ms



到達後 16.67 ms



到達後 20.83 ms



到達後 25.00 ms

図 4.2.3.3-1 実験 No.2-1 距離 15.56 m (換算距離 7.22 m/kg^{1/3})



到達後 -4.17 ms



到達後 0 ms



到達後 4.17 ms



到達後 8.33 ms



到達後 12.50 ms



到達後 16.67 ms



到達後 20.83 ms



到達後 25.00 ms

図 4.2.3.3-2 実験 No.2-1 距離 25.47 m (換算距離 11.82 m/kg^{1/3})



到達後 -4.17 ms



到達後 0 ms



到達後 4.17 ms



到達後 8.33 ms



到達後 12.50 ms



到達後 16.67 ms



到達後 20.83 ms



到達後 25.00 ms

図 4.2.3.3-3 実験 No.2-2 距離 40.03 m (換算距離 12.61 m/kg^{1/3})



到達後 -4.17 ms



到達後 0 ms



到達後 4.17 ms



到達後 8.33 ms



到達後 12.50 ms



到達後 16.67 ms



到達後 20.83 ms



到達後 25.00 ms

図 4.2.3.3-4 実験 No.2-2 距離 64.98 m (換算距離 20.47 m/kg^{1/3})

4.3 総合考察

実験 No.1 爆発飛散物に関する実験

火薬類関連施設の大きさ及び爆薬の量による飛散物の大きさや飛散距離への影響を確認し、飛散物への対策について検討するため、含水爆薬 1 kg、3.2 kg、10 kg 及び 32 kg を用いて全 4 回の実験を行い、爆薬量でスケール化された大きさ及び距離に設置した L 型擁壁から発生する爆発飛散物の飛散状況の計測に加え、爆風圧、地盤振動、衝撃波伝播状況等の爆発影響データを取得した。

なお、爆発飛散物に関する実験は、平成 22 年度及び平成 25 年度に、コンクリートボックスや土堤擁壁について行っており、それぞれの飛散物について、薬量と飛散物の最大飛散距離のスケール則（実験式）が得られている。

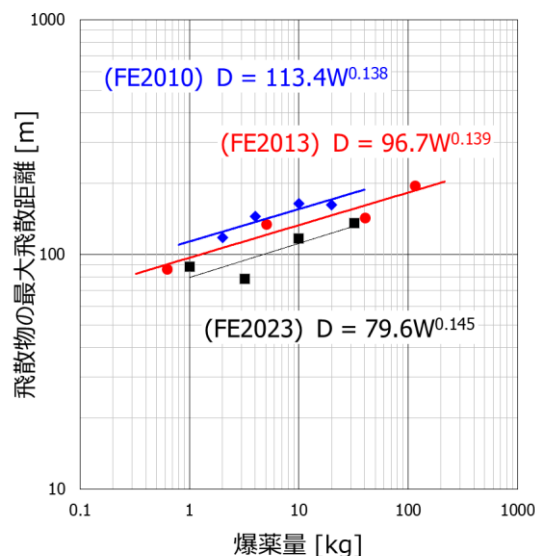
飛散物計測の結果からは、以下の知見が得られた。

1) 爆発後の爆点付近の飛散物

- ・爆点から 20 m までの距離における重量飛散物は**実験 No.1-1**では 18 m 程度、**実験 No.1-3**と**No.1-4**では 15 m 程度に確認された。**実験 No.1-2**は飛散距離が 10 m 程度にとどまった。

2) ブルーシート上及びその近傍で回収された飛散物について

- ・4 回の実験で回収された飛散物の最大飛散距離は、それぞれ、**実験 No.1-1**（含水爆薬 1 kg）では 88.3 m（重量 258.1 g）、**実験 No.1-2**（含水爆薬 3.2 kg）では 78.7 m（重量 39.2 g）、**実験 No.1-3**（含水爆薬 10 kg）では 116.9 m（重量 33 g）、そして、**実験 No.1-4**（含水爆薬 32 kg）では 135.5 m（重量 6.2 g）であった。
- ・試験体のスケールが大きくなると発生する飛散物の個数は多くなり、爆薬量と発生個数の対数グラフ上で直線的な関係がある事を確認した。
- ・スケールが大きくなると飛散物の平均重量が重くなり、危険な飛散物が多くなる。
- ・昨年度の報告書から弾道計算により飛翔距離から落下時の飛翔速度を推定した結果、危険なエネルギーを有する飛散物も確認された。しかし、飛散物の有するエネルギーは回収地点からのみ予測することは困難である。
- ・L 型擁壁から発生する飛散物について、過去のスケール則と比較すると以下のようになり、爆薬量 W (kg) と最大飛散距離 D (m) に関するスケール則（実験式）を得た。



爆薬量と最大飛散距離の関係

3) アクションカメラで観測された飛散物について

- ・【実験 No.1-3 (含水爆薬 10 kg)、爆点から 60 m 地点の飛散速度解析】低い角度を持って、爆点から 60 m 程度まで約 100 m/s で飛散してきた飛散物は、地面に着地した後に転がりながら減速した。70 m 付近では 20 m/s 程度になることが示された。
- ・【実験 No.1-4 (含水爆薬 32 kg)、爆点から 110 m 地点の飛散速度解析】飛散物はブルーシート上を転がりながら減速する状況が示された。110 m 付近の代表的な飛散物の速度は 8.1 m/s で、そのまま減速すれば 130 m 付近で停止すると予想され、実際 125.5 m の位置に飛散物が確認された。
- ・110 m 付近での飛散物が有するエネルギーを見積もると、その重量が 100 g と仮定した場合には 3.3 J、1000 g の場合でも 32.8 J と推定される。

地盤振動の測定結果は以下のとおりであった。

- ・換算距離 2.5 から 50.8 m/kg^{1/3} の範囲における最大振動速度 (PPV) の値を Westine*による土質に関する振動の距離減衰効果と比較すると、土と硬岩の間に分布する傾向が示された。また、この傾向は過去数年の計測結果と比較しても同等であった。

*NATO AASTP-1, NATO Guidelines for the Storage of Military Ammunition and Explosives, May 2006.

高速度撮影結果は以下のとおりであった。

- ・高速度撮影の結果からは、令和 4 年度と同様に爆轟生成ガスの高さ方向の膨張が、半径方向のそれを上回ることが示された。また、薬量の増加に伴い、令和 4 年度の実験結果に近づく傾向が認められた。
- ・100 m/s 以上の速度で、地表面に対して角度を持って(仰角 16～24 度以上)飛翔する飛散物がいくつか認められたが、それらは映像から判断する限り軽量飛散物である。
- ・衝撃波の伝播から遅れて飛散する飛散物は、加速するまでに時間のかかる重量物であり、それらは 50 m/s 以下の速度で概ね 10 度以下の角度で地平面に沿って飛散した。

爆風圧計測の結果については、**実験 No.2** に関する考察で記載する。

以上のことから、爆薬量と飛散物の発生個数は対数グラフ上で直線的な関係がある事を確認した。従来のコンクリートボックスや土堤擁壁由来の爆発飛散物に加えて、L 型擁壁から発生する爆発飛散物についても、薬量と最大飛散距離のスケール則が得られた。また、爆点の比較的近傍 (20 m 程度) では飛散物のうち軽量なものは 100 m/s 程度の速度で地表面に対して仰角 16～24 度以上で飛散し、重量物は 50 m/s 以下の速度で地表面に沿って飛散することが示された。飛散物が着地した後の挙動や速度の変化をアクションカメラで観測した。遠方 (爆点から 110 m 付近) での飛散物が有するエネルギーを見積もると、その重量が 100 g と仮定した場合には 3.3 J、1000 g の場合でも 32.8 J と推定される。今後、防爆壁や土堤擁壁等の飛散物安全性を検証する際に、本実験で得られた技術データや知見が有効活用されることを期待する。

実験 No.2 窓ガラス破壊防止に関する実験

ガラス飛散防止フィルム有り・無しの窓ガラス（900 mm×900 mm、厚さ 3 mm）と小型ガラス（120 mm×120 mm、厚さ 0.4 mm）及び爆風圧計を爆源から適切な距離に設置し、ガラスの破壊状況及びその時の爆風圧データを取得した。実験 No.1 の含水爆薬 10 kg 及び 32 kg の実験と同時並行で実施した。なお、窓ガラスの破壊防止に関する実験は、昭和 58 年度と 59 年度、そして平成 25 年度にも行っており、データを取得している。

爆風圧計測の結果からは、同薬種で行われた平成 26 年度～令和 4 年度の基準爆発実験のデータを用いて算出した近似線との比較において、今年度取得した換算距離 3.41 から 60.53 $\text{m/kg}^{1/3}$ までのピーク静水過圧や換算正相圧インパルスなどの爆風パラメータが同等であることが示された。

窓ガラス破壊状況の結果からは、以下の知見が得られた。

1) 窓ガラス破壊状況

フィルム無しの通常のガラスは換算距離 18.6 $\text{m/kg}^{1/3}$ 以下で破壊し、過去の実験結果と比して遠方までガラス破壊が確認された。また、換算距離 20.5 $\text{m/kg}^{1/3}$ 以上で破壊されなかった。一方、フィルム貼付ガラスは換算距離 12.6 $\text{m/kg}^{1/3}$ 以下で破壊し、換算距離 20.5 $\text{m/kg}^{1/3}$ 以上では破壊されなかった。

2) 飛散防止フィルムの効果について

フィルム貼付ガラスは激しい爆風を受けて、ガラスが破壊されてもフィルムの効果で殆ど一体として残っており、フィルム貼付ガラスが窓枠から外れてその近傍に落下する場合であってもその効果は確認された。本実験により、フィルムの効果によりガラスの飛散量を大幅に低減できることが確認された。

3) アクションカメラによる観測結果について

爆風を受けるガラスの挙動を爆点側からアクションカメラで撮影した。換算距離 7.22, 11.82 $\text{m/kg}^{1/3}$ に置かれたガラスは主に爆点側に飛散した。フィルム貼付ガラスの上に保持されたガラス片は、換算距離 7.22 $\text{m/kg}^{1/3}$ では爆点から遠ざかる方向に変位した後に爆点側に運動した一方、換算距離 11.82, 12.61 $\text{m/kg}^{1/3}$ では爆点側に変位した後に爆点から遠ざかる方向に運動した。換算距離 20.47 $\text{m/kg}^{1/3}$ に設置されたガラス・フィルム貼付ガラスはともに破損せず、振動した。

以上のことから、今年度の実験は、同薬種を用いた従来の実験と同程度の爆風威力であることが確認された。したがって、本実験は、基準爆風圧に関する実験とみなすことができると考えられる。また、窓ガラスの破損防止フィルムの効果が明確に示された意義は大きい。本実験の結果に基づく窓ガラス破損のしきい値は、従来の結果とは異なっていることから、今後、その理由を含めて詳細な検討が必要と思われる。

第 5 章 爆発影響低減化実験（室内実験）

5.1 目的

窓ガラス破壊防止に関する実験条件の検討、及び爆発影響低減化実験（野外実験）の補完を目的として、爆風を受けるガラスの破壊に関する室内実験を実施した。

5.2 実験方法

5.2.1 窓ガラス試験体

ガラスのサイズは $150 \times 150 \times 0.4$ mm のソーダガラス（平岡特殊硝子製作(株)製）を使用した。野外実験では 3 mm 厚のガラスを使用するため、野外実験のガラス窓に対して 7.5 分の 1 のスケールとなるように小型の窓ガラス枠を製作した。図 5-1 と図 5-2 に小型の窓ガラス枠概要と写真をそれぞれ示す。爆風を受けるガラス表面が野外実験の 7.5 分の 1 のスケールとなるように、前面が 120×120 mm で空いたアルミ製の箱にソーダガラスを装着した。

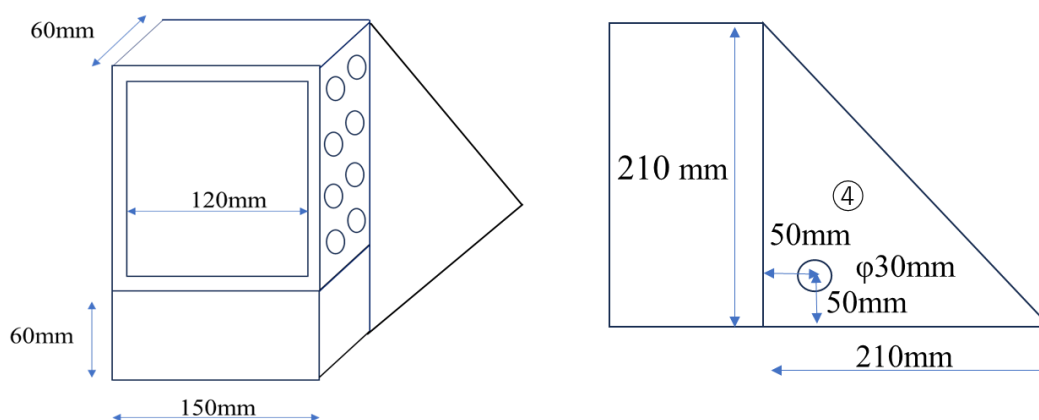


図 5-1 に小型の窓ガラス枠概要



図 5-2 に小型の窓ガラス枠の写真（ガラス装着）

爆薬は Composition C4 爆薬（以後 C4 爆薬）を使用した。実験は産業技術総合研究所つくばセンター中央事業所 5 群 の爆発ピット（高さ 8 m、直径 6 m の卵型の爆発室の上半分を使用）にて実施した。限られた空間での爆発実験であり、爆源から窓ガラス試験体の距離も 3 m 以下の設定となる。図 5-3 に室内実験の一例を示す。ピット内には合板（910×1820 mm 4 枚）とコンパネ（900×1800 mm 2 枚）を用いて地面を模擬し、その上に、小型ガラス試験体、爆風圧センサー（ICP® Pressure Sensor Model 137A23）を設置した。C4 爆薬はコンパネの上方にある柱から吊るし、コンパネからの距離を 12 cm とした。C4 爆薬の下にはコンパネの破損を防止するために、鉄板を配置した。爆風センサーは受圧面がガラス表面までの距離と一致するように配置した。爆発室の壁には観測窓が 3 か所あり、可能な範囲で高速度撮影も実施した。撮影には Phantom VEO 640L を用いた。

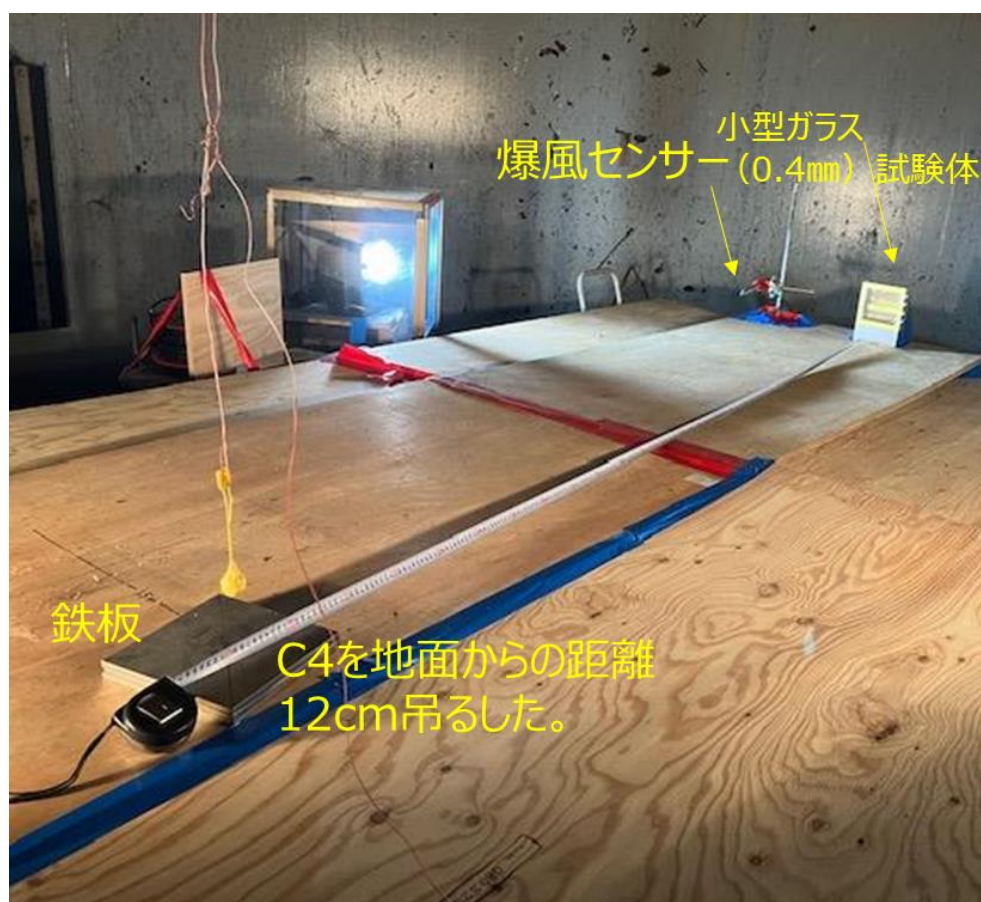


図 5-3 室内実験の様子の一例（C4 爆薬 14.5g 爆薬からガラス表面までの距離 2.8m）

野外実験では 10 kg と 32 kg でガラス破損防止実験を計画しており、7.5 分の 1 の薬量はそれぞれ、23.7 g 及び 75 g である。これと、爆発ピットの空間的な制限を踏まえ、25 g よりも小さい薬量により実験した。室内実験における薬量とガラス設置位置を表 5-1 に示す。薬量と窓ガラス試験体の設置位置を変化させて、ガラス破損の有無の条件について調査した。なお、C4 爆薬の量は EMX 薬量に換算して、換算距離を求めた。

表 5-1 薬量とガラス設置位置

実験番号	C4 (g)	換算 EMX 薬量 w (g)	距離 (m)	換算距離 (m/w ^{1/3})
No.R1	23.7	40.85	1.5	4.35
No.R2	23.7	40.85	2.78	8.06
No.R3	14.5	24.99	2.8	9.56
No.R4	7	12.07	2.7	11.75
No.R5	7	12.07	2.26	9.84
No.R6	3	5.17	1.7	9.81

5.3 実験結果

ガラスの破損状況の写真を図 5-4～図 5-7 に示す。図 5-4 のガラスはアルミ製の枠に 2 液混合型エポキシ接着剤にて固定した。結果は窓枠にガラスが残らず、粉々に飛散する破損状況であった。なお、同接着方法では接着部のガラスがアルミ枠から外れなくなり、アルミ製の枠の再利用が困難になること、ならびに、0.4 mm 厚で超小型のガラスの固定には紙テープによる接着でも十分であると判断し、紙テープ接着とした。C4 爆薬 23.7 g を使用した場合は、距離を 2.78 m ($K=8.06$) 離しても、ガラスの前面 120×120 mm の部分が殆ど残らない激しい破壊形態が確認された (図 5-5)。限られた空間でより長い換算距離を確保するため、薬量を減らした。

図 5-6 は C4 爆薬を 14.5 g とし、距離を 2.8 m ($K=9.56$) とした場合の破損状況であり、窓枠に比較的大きな破片が残った。ガラスが破損しない条件を見つけるために、距離は 2.7 m と同程度とし薬量を 7 g と減らして実験を行い、破損は無かった (No.R4)。同薬量で $K=9.84$ に窓枠を設置すると、図 5-7 のように窓枠に比較的大きな破片が残る破損形態が確認された (No.R5)。以上、ガラスの破損は 4 ショットで確認された。

さらに No.R5 (7 g $K=9.84$) から薬量を 3 g と減らして、同程度の換算距離に窓枠を設置した結果、破損は確認されなかった (No.R6)。実験条件とガラスの破損状況を表 5-2 にまとめた。150×150×0.4 mm のソーダガラスの内、爆発実験後、窓枠に接していない 120×120 mm の部分が完全破壊されて残らない場合を、完全破壊、窓枠に比較的大きなサイズのガラス片が残った場合を (残存有) と整理した。

図 5-4 実験 No.R1 (C4 爆薬 23.7g 距離 1.5m ($K=4.35$)) ガラスの破損状況



図 5-5 実験 No.R2 (C4 爆薬 23.7g 距離 2.78 m ($K=8.06$)) ガラスの破損状況



図 5-6 実験 No.R3 (C4 爆薬 14.5g 距離 2.8 m ($K=9.56$)) ガラスの破損状況



図 5-7 実験 No.R5（C4 爆薬 7 g 距離 2.26 m（K=9.84））ガラスの破損状況

表 5-2 実験条件とガラスの破損状況

実験番号	C4 (g)	距離 (m)	換算距離 (m/w ^{1/3})	破損状況	爆風ピーク圧 (kPa)
No.R1	23.7	1.5	4.35	有（完全破損）	48.4
No.R2	23.7	2.78	8.06	有（完全破損）	15.0
No.R3	14.5	2.8	9.56	有（残存有）	14.2
No.R4	7	2.7	11.75	無	11.3
No.R5	7	2.26	9.84	有（残存有）	14.4
No.R6	3	1.7	9.81	無	14.0

高速度撮影の結果を図 5-8～図 5-10 に示す。図 5-8 は**実験 No.R1** の結果で、点火後 3 ms でガラスの破損が確認され、わずか 0.5 ms 後には破損の範囲が広がり、その後、全体的に小さな破片となって爆風伝播方向と反対方向に激しく吹き飛ばされる様子が確認された。図 5-8 は**実験 No.R5** の結果であり、実験系の配置から、撮影が C4 の点火方向からとなったために、爆発の自発光の影響で点火後 8 ms でもハレーションが強く表れた。明確ではないが亀裂が発生しているように見える。8.5 ms ではガラス固定部下部に紙テープが破れた瞬間が撮影（図中 Pt）され、破壊がガラス全体に広がる前に、この部分が大きく動く。点火後 9 ms 程度からその上部が破壊され、最終的にはショット後の写真のように比較的大きい残存部が確認された。図 5-10 の**実験 No.R6** では破損は確認されなかったが、ガラス面全体の振動が確認された。

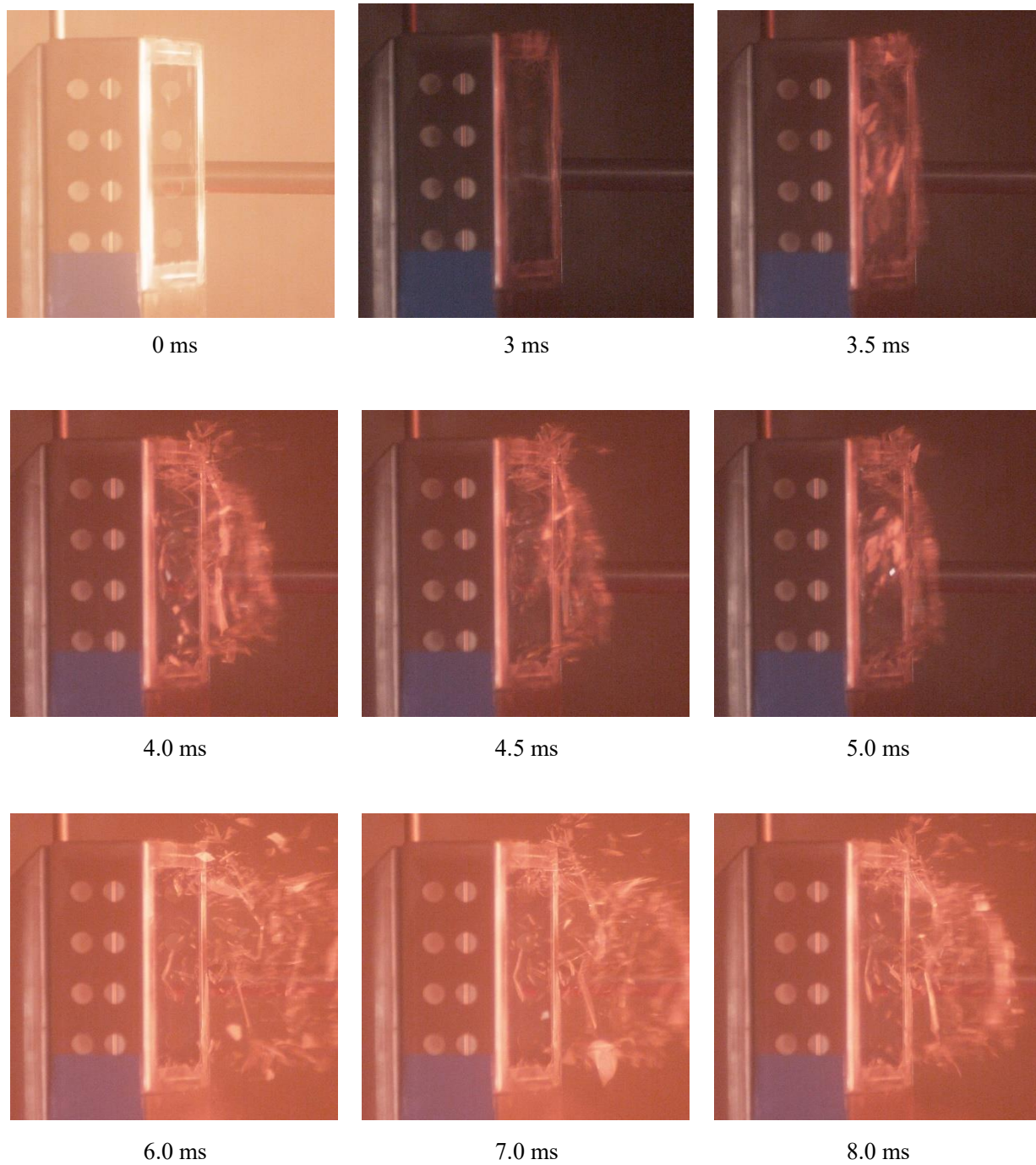


図 5-8 実験 No.R1 (C4 爆薬 23.7g 距離 1.5m ($K=4.35$)) ガラスの破損の高速度撮影結果

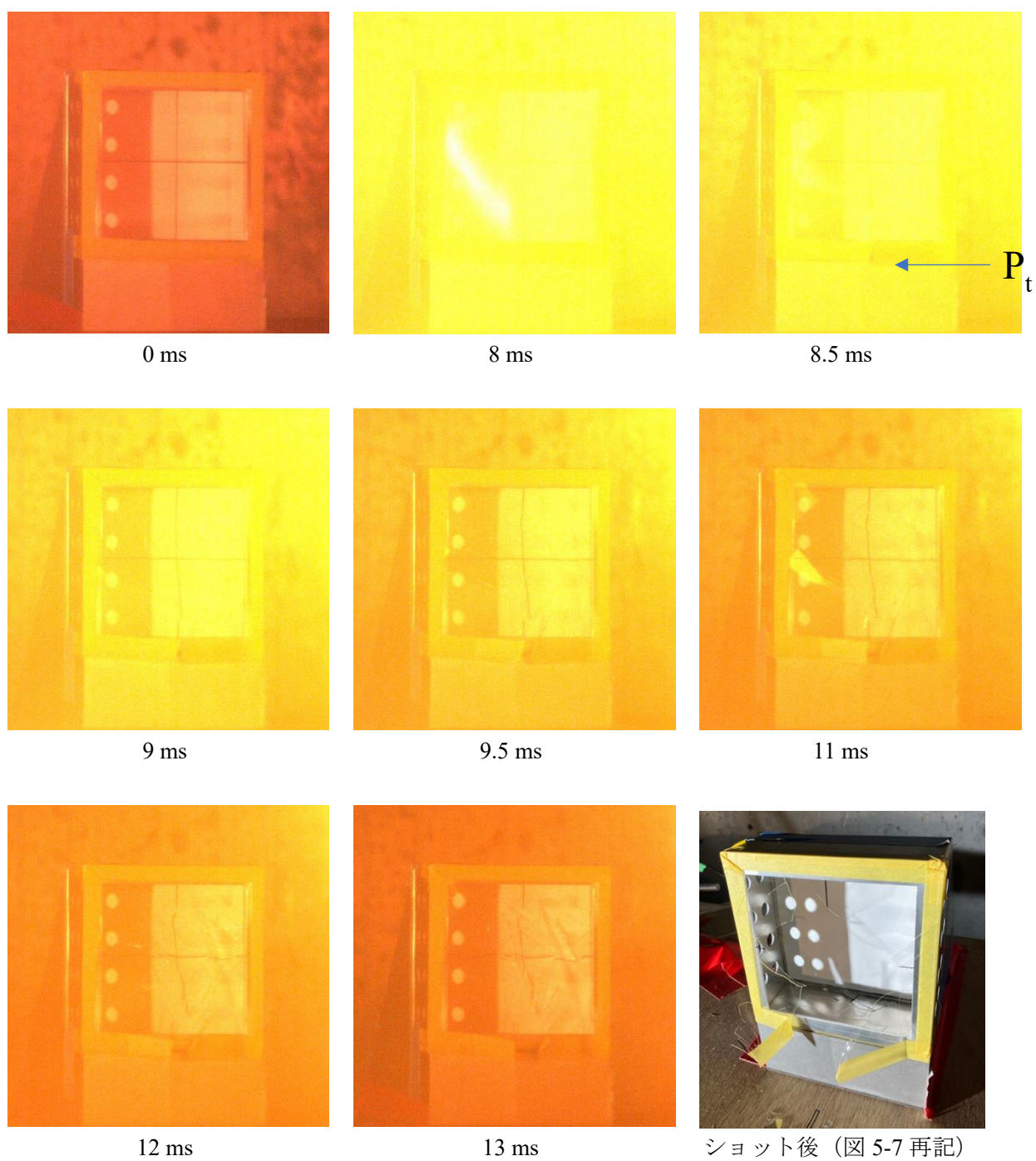
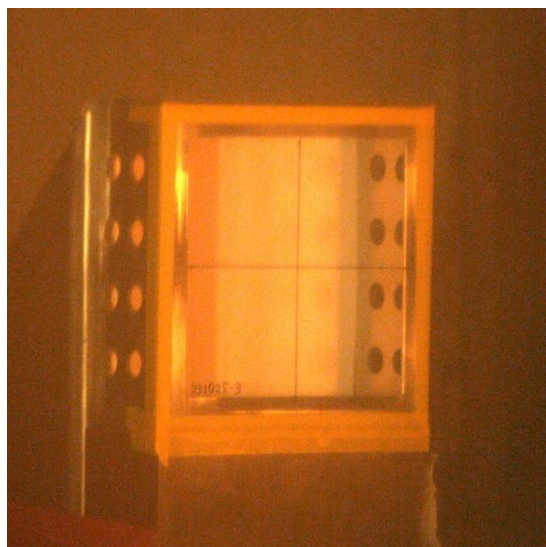
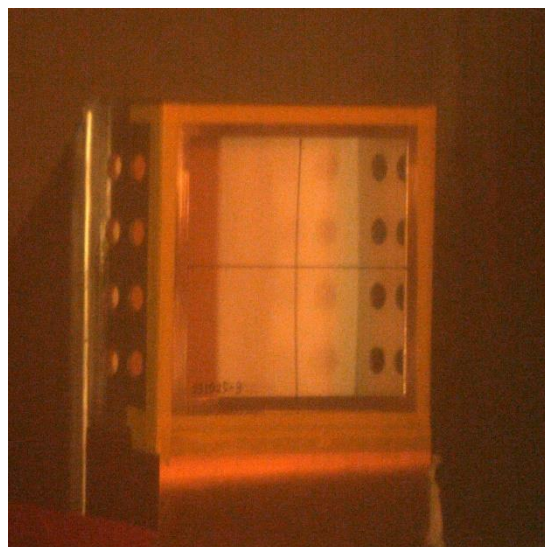


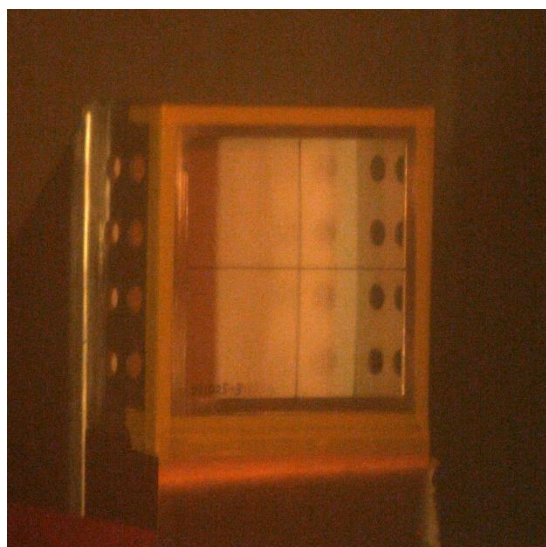
図 5-9 実験 No.R5 (C4 爆薬 7 g 距離 2.26 m (K=9.84)) ガラスの破損の高速撮影結果



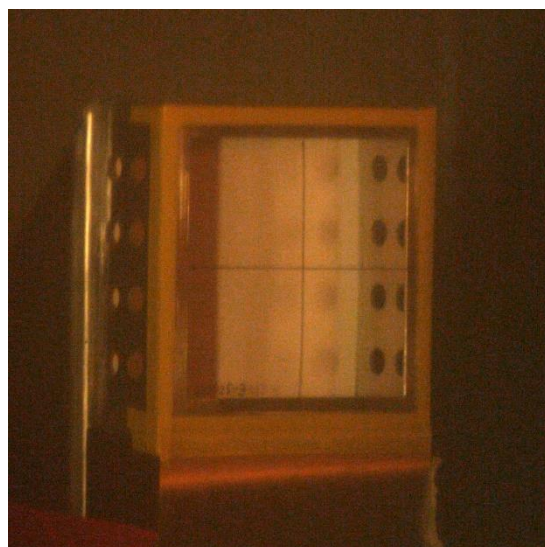
0 ms



4.5 ms



5 ms



5.5 ms

図 5-10 実験 No.R6 (C4 爆薬 3 g 距離 1.7 m ($K=9.81$)) ガラスの振動の高速度撮影結果 (破損無)

図 5-11 と図 5-12 はガラスの飛散状況を示す。同様の傾向がみられ、ガラス破片は殆ど爆風の進行方向とは逆方向なる。ガラス面後方には破片は確認されなかった。



図 5-11 実験 No.R3 (C4 爆薬 14.5g 距離 2.8 m ($K=9.56$)) ガラス破片の飛散状況

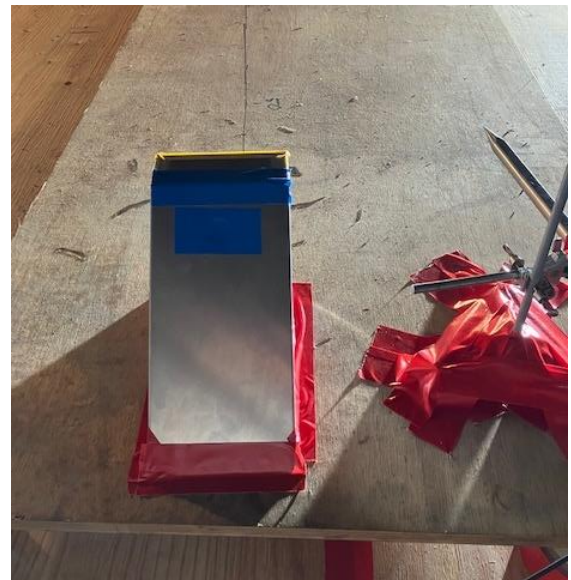
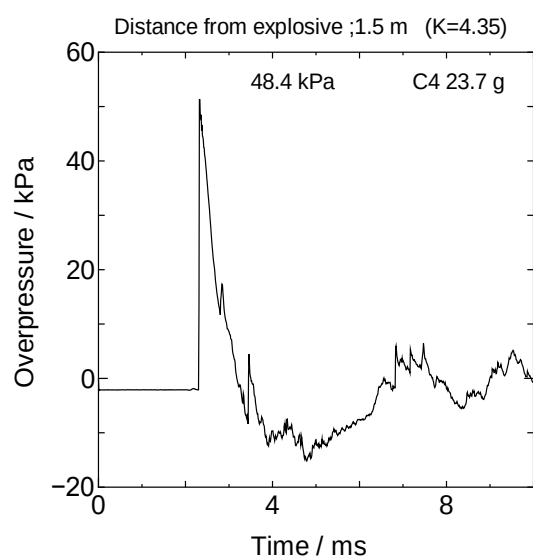
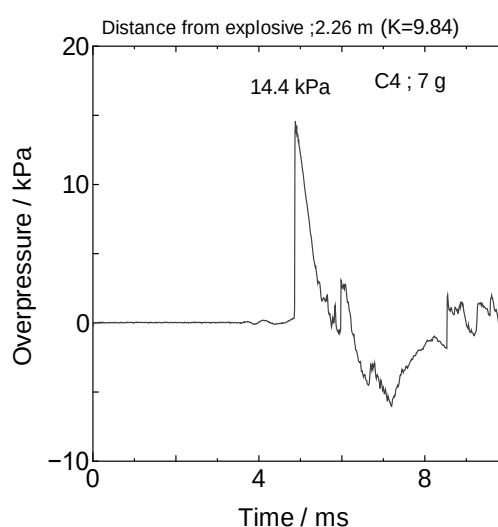


図 5-12 実験 No.R5 (C4 爆薬 7 g 距離 2.26 m ($K=9.84$)) ガラス破片の飛散状況

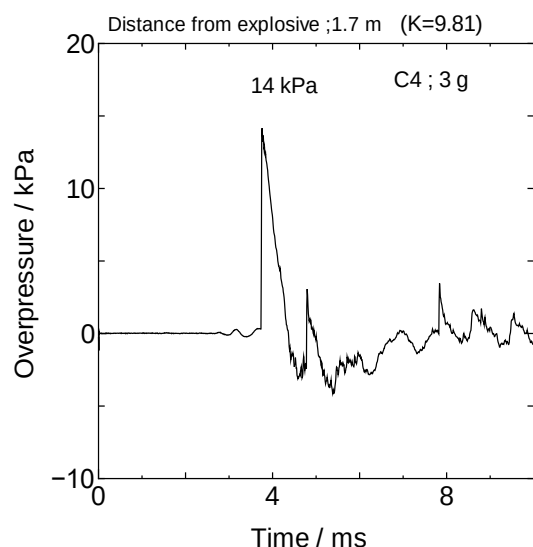
図 5-13 に爆風圧波形を示す。時間の原点は C4 爆薬の起爆時刻である。同図(a)と(b)はガラスが破損する条件の波形である。同図(a)は図 5-8 のガラス破損状況（高速度撮影結果）に対応し、激しい破損が確認された。時刻 3 ms では破損は殆ど確認されず 3.5 ms で全体的な破損が確認された。圧力波形が負圧に転じる時刻が 3.2 ms であり、顕著な破壊は負圧に転じた直後に確認されたことになる。図 5-13 (b)は図 5-9 のガラス破損状況に対応し、比較的大きな破片が残る割れ方をする。高速度撮影では時刻 8.5 ms にガラスの明確な亀裂が確認された。ハレーションにより明確ではないものの負圧が持続している 8.0 ms では亀裂はすでに発生しているように見える。これに対して負圧のピークは 7.2 ms であり、負圧により亀裂が発生していることが考えられる。図 5-13 (c)は図 5-10 で示した破損しない条件に対応し、同図(d)で換算距離は同じでピーク圧は同等であるがガラスが破損する場合としない場合の圧力波形を比較した。爆風波の立ち上がりから減衰過程まで両者の波形は殆ど一致しており、負圧がより大きくなり持続した方でガラス破損が起こった。



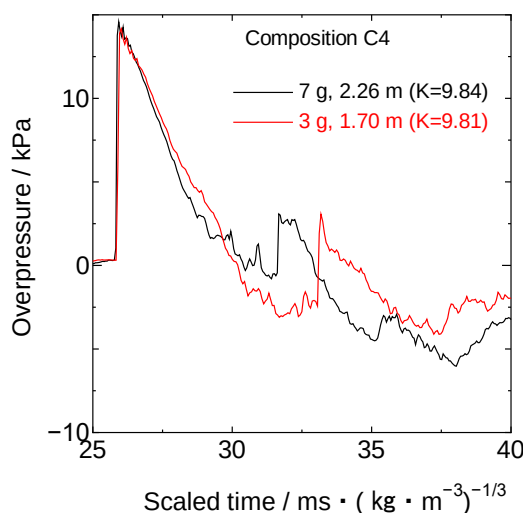
(a) No.R1 (C4 爆薬 23.7 g 距離 1.5 m (K=4.35))



(b) No.R5 (C4 爆薬 7 g 距離 2.26 m (K=9.84))



(c) No.R6 (C4 爆薬 3 g 距離 1.7 m (K=9.81))



(d) No.R5 と No.R6 との比較 (横軸は換算時間)

図 5-13 爆風圧波形 (圧力の時間履歴)

5.4 室内実験結果のまとめと実験計画（野外実験）

野外実験の 7.5 分の 1 のガラス（150×150×0.4 mm）を用いて野外実験（**実験 No.2-1**）の 10 kg 実験の概ね 7.5 分の 1 の薬量以下で室内実験を実施した。7.5 分の 1 程度の薬量では換算距離 9.56 m/kg^{1/3} 程度とれば、ガラス破損はあるものの激しい壊れ方をしない結果であった。爆発ピットの大きさの制限関係で薬量を減らして実験した結果、換算距離 10 m/kg^{1/3} 程度でガラスが破損しない結果となった。薬量を減らしていることを考慮すると**実験 No.2-1** ではガラス破損が起こるクリティカルな換算距離は 10 m/kg^{1/3} よりも大きい可能性が考えられる。

一方、平成 25 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書も参考にした。ガラス厚 2.7 mm 及び 5 mm でエマルジョン 40 kg の実験が実施されている。換算距離 K=12 m/kg^{1/3} でガラスの破壊は確認されず、K=8 m/kg^{1/3} でガラス破損が確認された。以上、室内実験結果及び過去の実験結果から**実験 No.2-2** も念頭に置いて実験計画を以下のようにした。

表 5-3 窓ガラス試験体の種類と設置位置

実験 No.	薬量 [kg]	距離 [m]	10.8	15.5	25.5	40
No.2-1	10	ガラス	—	○	○	○
		フィルム貼付ガラス	●	●	●	—
		換算距離 [m/kg ^{1/3}]	5.0	7.2	11.8	18.6
		想定爆風圧* [kPa]	36.8	20.9	10.6	6.0

*想定爆風圧 含水爆薬 EMX2 の TNT 換算率を 76%と想定して、Kingery 式から算出した爆風圧。

5.5 爆発影響低減化実験（野外実験）結果に関する考察

室内実験の結果より、換算距離 10 m/kg^{1/3} 程度にガラスが破損しないクリティカルな条件が存在すると予想した。しかし、野外実験結果（**実験 No.2-1**）では換算距離 18.6 m/kg^{1/3} においてもガラスは破損した。これは予測と異なるもので、どのような要因が関係しているのか室内実験で検討した。

室内実験は平成 25 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書を参考にしてガラスの固定台を設計した。平成 25 年度と令和 5 年度との違いは令和 5 年度ではガラスの飛散距離を測るために、ガラス固定枠の背面をオープンにしている。これに対して平成 25 年度ではガラス固定枠背面はクローズでガラスが後方に飛散しない設計になっていた。室内実験でも固定台の背面はクローズであり、違いは背面がオープンかクローズである。

図 5-14 に背面をオープンにした小型の窓ガラス枠の写真を示す。図 5-2 の小型の窓ガラス枠の写真に示した窓ガラス枠の固定台背面を切断してオープンとし、厚さ 1 mm のアクリル板を 3 枚用いて、枠の奥行方向を野外実験と同等とした。具体的には、ガラス面から枠の最後尾までの長さを野外実験の固定枠の 7.5 分の 1 の長さになるように 120 mm とした。

表 5-4 に追加実験の条件と破損状況を示す。薬量を 3 g と固定して、まずは背面クローズの条件では破損が起こらない距離 1.7 m にガラス面が来るように配置して、クローズの条件で 2 ショット実験し、いずれも破損無の結果が得られ再現性を確認した。同条件で背面をオープンとした結果、ガラスは完全破損した。さらに、距離を 2 m と離れた実験においてもガラスは破損した。1.7 m に対して到達する爆風のピーク圧は 2 割以上低くなる条件である。このことから背面をオープンとすることでガラスが破損しやすくなることが確認された。

爆風が枠の背面に到達し、擾乱が音速で枠内を戻りガラス面に到達する時間を概算すると、高速度撮影で確認されたガラス破損の時刻よりも前になり、擾乱はガラス破損に影響を及ぼしている可能性が示唆される。その影響による詳細なメカニズムの解明にはさらなる検討が必要である。

5.6 まとめ

令和 5 年度の野外実験の実験条件設定のため、野外実験使用されるガラスの 7.5 分の 1 ($150 \times 150 \times 0.4$ mm) の薄いソーダガラスを用いてガラス破損と実験条件の関係について調査した。その結果、令和 5 年度の野外実験 No.2-1 の実験ではガラス破損が起こるクリティカルな換算距離は $10 \text{ m/kg}^{1/3}$ よりも大きい可能性が示唆された。室内実験と平成 25 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討報告書も参考にし、実験条件設定した。

令和 5 年度の野外実験の結果は、上述の予測と異なったために、さらに原因を調査した。実験条件の違いは、室内実験と平成 25 年度の実験ではガラス窓枠の背面がクローズであるのに対して、令和 5 年度はオープンであった。室内実験でクローズの条件で薬量を固定 (3 g) して、ガラス破損が起きない距離 (1.7 m) を複数回の実験で再現性も含めて確認した。同条件で、背面をオープンとすることで破損することを確認し、さらに距離を離し 2 m としてもガラスは破損した。このことから背面をオープンとすることでガラスが破損しやすくなることが確認された。

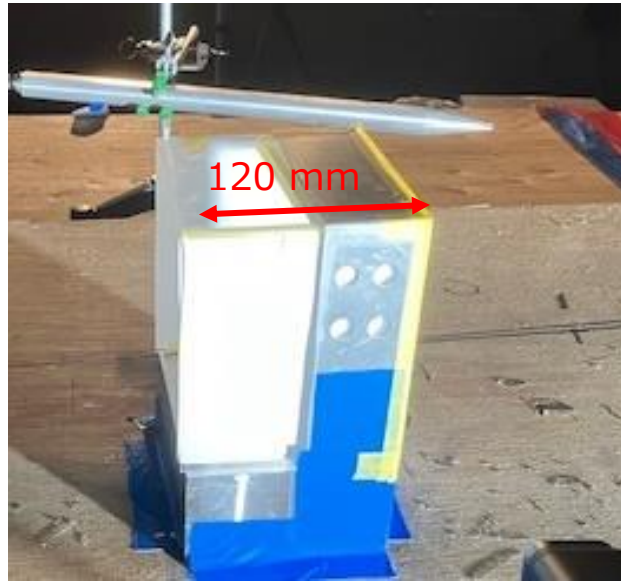


図 5-14 背面をオープンにした小型の窓ガラス枠

表 5-4 追加実験の条件と破損状況

実験番号	C4 (g)	距離 (m)	換算距離*	ガラス固定枠	破損状況	圧力 (kPa)
No.R12	3	1.7	9.81	背面クローズ	破損無	15.5
No.R13	3	1.7	9.81	背面クローズ	破損無	14.5
No.R14	3	1.7	9.81	背面オープン	完全破損	14.5
No.R15	3	2.0	11.55	背面オープン	破損	11.7

* 換算距離は C4 爆薬をエマルジョン薬量換算して求めた換算距離

付録

2.A.1（付録 1）委員会議事録

開催されたすべての委員会議事録を記す。

令和 5 年 9 月 26 日 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会 第 1 回本委員会
 令和 5 年 10 月 31 日 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会 第 2 回本委員会
 令和 6 年 1 月 18 日 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会 第 1 回小委員会
 令和 6 年 2 月 6 日 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会 第 3 回本委員会

2.A.1.1 令和 5 年度 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会（第 1 回本委員会） 議事録

火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会（第 1 回本委員会） 議事録

日 時：令和 5 年 9 月 26 日（火）13:30～15:30

場 所：中央区八丁堀区民館 6 号室

出席者：対面参加 14 名、リモート参加 20 名、書面参加 4 名、計 38 名（敬称略、順不同）

委 員：小川輝繁、新井 充、三宅淳巳*、水書稔治*、大野友則、海沼敏恭**、鳴川智士**、
 遠山貴郎**、久保田士郎、松村知治*、須山恭三**、山本雅昭、畑中修二*、福田光寿*、
 山田隆宏*、新関弘晃、藤原和彦*、奥永一郎*

オブザーバ（経済産業省）：池田秀俊*、川邊真理、矢野 寿

（産総研）：岡田 賢*、丹波高裕*、佐分利 慎*、高橋良堯*、高柿大輔*、杉山勇太*、
 緒方雄二*

（工業会）：後藤浩司* （日本工機）伊藤啓太*

事務局（全火協）：川崎勝樹、遠藤秀雄、飯田光明、中塚漢二*、山口潤仁*、尾田博幸、柳田一也、
 廣崎義一

（注） *：リモート参加（テレビ会議システムによる参加）

**：書面参加（事前送付した資料に対する意見、質問等の提出）

【配付資料】

資料 1-1 委員会 委員名簿

資料 1-2 令和 5 年度火薬類爆発影響低減化技術基準検討事業 実施計画書

資料 1-3 令和 5 年度 火薬類保安技術実験計画書（案）

資料 1-4 令和 5 年度 室内実験について（案）

1. 開会

配布資料の確認後、事務局より当委員会の開会がなされた。

2. 挨拶

全火協 川崎専務理事より、「経産省との契約が例年より遅くなり、これから実験準備に入っていく。野外実験まで 2 か月を切ったが、抜け、漏れがないようにしたい。」旨の挨拶があった。

3. ご挨拶

経済産業省商務流通保安グループ 鉦山・火薬類監理官付 池田火薬類保安対策官より、「爆発実験を通じて適切なデータをもとに基準の見直しをしていく。実験においては安全を確保しつつ、事業の推進にご協力願いたい。」旨の挨拶があった。

4. 令和 5 年度委員紹介、委員長選出

リモート参加および対面参加の委員、オブザーバからそれぞれ自己紹介があった。

本委員会の委員長として小川委員を、小委員会の委員長として久保田委員（産総研）を、それぞれ推薦したい旨の提案が事務局からなされ、全会一致で承認、選任された。

小川委員長から「実験が中心になるが、特に安全に注意し、事業が成功裏に終わるようお願いしたい。」旨の挨拶があった。以後の司会進行は事務局から小川委員長に移された。

5. 実施計画書（仕様書）について

資料 1-2 に基づいて事務局から事業概要が説明された。経済産業省との契約締結が遅れ、9 月 19 日となったこと、従来は翌年 2 月末であった契約の最終日が今年度は 3 月 14 日に変更されたこと、の補足説明があった。質疑は特になかった。

6. 野外実験計画（案）等について

資料 1-3 および追加資料 1～3（未配布、本議事録に添付）に基づいて久保田委員から野外実験計画の案が説明された。室内実験の結果によって表 6-2-2 の位置関係は見直すこともありうる、地盤振動計の設置位置についてはセンサ No.1 のときに付け足す可能性があること、の補足説明があった。主な質疑は以下のとおり。

- ・ 資材の検討中だが、若干寸法の変更があり得る。窓ガラスの固定において、爆風に対する固定を木の枠とする計画だが、単管（鉄パイプ）を 1m 以上地面に打ちつけて固定する方法に変更する可能性がある。今週、現地事前調査で調整する。（事務局からの補足）
- ・ 資料 14 ページ、No.1-1 の L 型擁壁に用いる鉄筋は、スケール則に則って鉄筋は D4 を用いる計画だが、D4 は一般に流通しておらず北海道では入手できないため、D6 を使わざるを得ない状況である。（事務局）
- ・ 爆発飛散物に関する実験と並行して窓ガラスに関する実験が行われるが、L 型擁壁の飛散物の影響がない試料配置と考えてよいか。（水書委員）→ 爆発飛散物計測の系がガラス窓の爆風に影響を及ぼさない配置になっているかどうかという質問か。（久保田委員）→ チャンネル 1 は L 型擁壁の反射圧の影響を受けるような気がする。（水書委員）→ チャンネル 1 だけではなくすべて影響を受けるが、窓ガラスが割れるときの圧力がいくらかを把握すればよい。地表面に何も無いときの爆風に比べると、反射波のインパルスが影響するかもしれないが、その影響はそれほど大きくないと考えられる。（事務局）→ 了解した。（水書委員）
- ・ 室内実験はガラスの厚みが薄いものがないので、野外実験はフィルムの有無の効果の評価にとどめることにしたとの理解でよいか。（水書委員）→ そのとおり。（久保田委員）
- ・ ガラスは割れて飛散するが、後片付けを安全に行う方策を考えているか。（水書委員）→ 平成 25 年には、今回の案で無事に回収できた。ガラスの後方に破片回収用の箱が取り付けられており、手前に戻ってきた破片も 5m×5m 程度のブルーシートに収まった。（久保田委員、追加資料 4 参照）
- ・ 窓枠の設置において単管を用いるのは、窓ガラスが剛性の物体に固定された状態とするためか。（水書委員）→ そのとおり。窓枠を固定した板自体が動き出すまでにガラスの破壊が終わっているものと考えられるが、板が動き出すのを抑えたい。木枠を埋めるよりも金属パイプの方が強固で頑丈になると思われる。（事務局）→ 了解した。（水書委員）→ ガラスの破片回収については、後方にブルーシートを敷いて何 m まで飛散したかを計測するので、片付けも簡単になるものと思う。（事務局）

大野委員からは事前に質問表が提出されていたが、本件について主に以下のような意見が交わされた。

- ・ 想定している火薬庫は煙火火薬庫ではなく、代表的な火薬庫（地上式一級火薬庫等）を想定している。代表的な火薬庫の本体が重量飛散物になることはないことは、過去の実験で確認されている。火薬庫本体の近くに置かれた構造物が重量飛散物になることはあり得る。L 型擁壁は

架空の壁である。(事務局) → 壁の作り方がラフで、破片が飛散しやすい構造になっている。

(大野委員) → 評価方法をきちんとすることも重要。(久保田委員) → 飛散物が飛ばないようにすることが大事ではないか。(大野委員) → スケール則をきちんと確認する(1/7 乗根説の妥当性検証) ことは大事。(久保田委員)

- ・ 飛散物を飛ばさないような対策と、飛散物が飛んだときの対策の二つがあるが、今回は後者に重点を置いている。保安距離を変えることだけが目的ではない。対策(例えばフィルム貼付)として住民に情報を提供することも大切。ただし、フィルムを貼ったら効果(意味)があると言えるが、貼ることを強制することはできない。(経産省)
- ・ 危険物(飛散物)に対する対策を考えるうえで、例えば実験で 10m 飛散した場合、実際の対策をどのようにするのか。それを考えるためのルールを実験で求めようとするのが今回の目的である。(事務局)

小川委員長から、「大野委員にも意見はあると思うが、飛散物に関するスケール則をはっきりさせるための実験と理解していただいて、計画を進めることとしたい。今年度の実験結果を見て、次回の計画に反映させたい。」とのまとめがなされ、実験計画を案どおり進めることが確認された。

7. 室内実験計画について

室内実験計画について資料 1-4 および追加資料 5 に基づき久保田委員から説明がなされた。次のような補足説明があった。

- ・ 資料 1-4 では厚さ 0.4mm の円形(φ 150mm) ガラス板を用いる計画だが、その後の調査で四角(150mm×150mm×0.4mm) のガラス板があることがわかったので、それを用いる。
- ・ 0.4mm 厚のガラスは発注済みである。
- ・ 閉空間(爆発ピット)で実験を行うので、反射波の影響が懸念される。そのため、試料の設置位置と距離関係について再考することもありうる。
- ・ 四角のガラス板を嵌めこんだボックスが飛ばされないように三角形のアルミブロックで固定する。後方からの反射波の影響も排除できる。
- ・ このガラス板試料を野外実験でもセットすると、1/10 スケールの実験ができる。

主に次のような意見、質疑があった。

- ・ 箱の後方をステンレスのブロックとした場合、質量が大きすぎるのではないか。(事務局)
- ・ ガラス窓の割れは、爆風(衝撃波)のピーク圧だけによるものではない。薬量が大きくなるとインパルスが効いてくる。薬量 1000 倍でインパルスは 10 倍になる。(事務局)
- ・ 薄いガラスを用いた試料を野外実験に追加するのは意味がある。箱の固定方法は単管を打ち込む等検討する。箱を何個置くのかはいつ決まるか。第 2 回の委員会で実験計画をフィックスするが、それまでに間に合うか。(事務局) → 室内実験で決定できる。室内実験の結果を踏まえて第 2 回委員会で審議いただきたい。(久保田委員)

8. その他

今後のスケジュールについて、事務局から説明がなされた。

次回(第 2 回)本委員会は、10 月 31 日(火) 13:30 から開催することが決まった。

以上

2.A.1.2 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会（第 2 回本委員会） 議事録

火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会（第 2 回本委員会） 議事録

日 時：令和 5 年 10 月 31 日（火）13:30～14:50

場 所：中央区八丁堀区民館 6 号室

出席者：対面参加 12 名、リモート参加 20 名、書面参加 4 名、計 36 名（敬称略、順不同）

委 員：小川輝繁、新井 充*、三宅淳巳*、水書稔治、大野友則、海沼敏恭**、鳴川智士**、
遠山貴郎**、久保田士郎、松村知治*、須山恭三、山本雅昭*、畑中修二*、福田光寿*、
伊藤啓太*、多田達士*、新関弘晃**、藤原和彦*、奥永一郎*

オブザーバ（経済産業省）：池田秀俊*、矢野 寿

（産総研）：岡田 賢*、丹波高裕*、佐分利 慎*、高橋良堯*、緒方雄二*

（工業会）：後藤浩司* （現地建設会社）：吉川克義

事務局（全火協）：川崎勝樹、遠藤秀雄、飯田光明、中塚漢二*、山口潤仁*、尾田博幸、柳田一也、
廣崎義一*

（注） *：リモート参加（テレビ会議システムによる参加）

**：書面参加（事前送付した資料に対する意見、質問等の提出）

【配付資料】

資料 2-1-1 火薬類保安技術実験計画書（案）

資料 2-1-2 室内実験 窓ガラス破壊防止に関する実験

資料 2-2 点火技術基準（案）

資料 2-3 危害予防規程（案）

資料 2-4 班別作業マニュアル（案）

資料 2-5 緊急連絡網（案）

資料 2-6 実験組織（案）

資料 2-7 新型コロナウイルス感染症対策について(案)

1. 開会

出席者確認ののち、事務局より当委員会の開会がなされた。

2. 実験計画書（案）等の変更案の説明および検討

資料 2-1-1 に基づいて、久保田委員から実験計画の変更点を中心に説明がなされた。主な質疑は以下のとおり。

- ・ 補足だが、前回の計画書には小型ガラスの架台はなかった。新たに 4 台追加をお願いしたい。その固定は、爆風を受ける後方の足を単管 2 本で固定し、これに架台をワイヤ（番線）を括り付けることでどうか。（事務局）→ 承知した。（現地建設業者）
- ・ L 型擁壁には色を付ける必要はないと考えていたが、産総研緒方氏から今朝、色を付けた方がよいとの意見があった。（事務局）→ 昨年は着色していたが、今年はどうするのかの確認の意図であった。（緒方）→ 昨年度は色付きコンクリートとしたが、今年通常コンクリートを打設済み。表面に色を付けることはできる。（事務局）→ 実験後に破片を探す際に分かりやすいというのが着色の理由である。（緒方）→ L 型擁壁のサイズが 4 つあるが、4 色必要か。一つはナチュラル（着色なし）でよいか。（現地建設業者）→ 一番小さい（400×400 mm）を着色なしとし、ほかは赤、青、黄で着色する。（事務局）→ 了解。（現地建設業者）

【注記：会議後、青はブルーシートと同色であることから、白に変更された。】

- ・ 飛散物の落下状況を観察するカメラが図に示されているが、この点線は画角を示すのか。（委員長）→ はい。各カメラがブルーシート中央の 20m の範囲を撮影する意図である（久保田

委員) → カメラが近すぎないか。飛散物が直撃するおそれがある。(委員長) → 実際には、もう少し後ろにずらして設置する。(久保田委員)

- ・ 前回の委員会で小型ガラスの話はあったのか。意味がよく理解できない。3 mm のガラスと 0.4 mm のガラスで、破壊する圧力に違いがあった場合はどちらを信頼すればいいのか。(大野委員) → 小型ガラスの話はしている。スケール則に沿った方が正しいと考える。同じ圧力になる場合でも、薬量 40 kg と 40 トンではエネルギーが 1000 倍違う。この実験の目的は、ガラスにシートを使った(貼った)ときにどれくらい破壊防止できるかにある。(久保田委員)
- ・ 10 kPa だとほとんど割れる。圧力とガラスの割れを示す既往のデータにはガラスの厚さが書かれていない。今回は 3 mm のガラスで実験が行われるが、3 mm だと割れるが、5 mm だと割れないよいようなデータが欲しい。(大野委員) → 大野先生のと時の実験では 5 mm のデータが得られている。それと比較することができる。(事務局)
- ・ 3 mm のガラスはアルミサッシのフレームに固定されているが、0.4 mm のガラスは紙テープ貼りでの固定である。それで問題ないのか。(大野委員) → 室内実験のデータで説明したい。(久保田委員)

資料 2-1-2 に基づいて、久保田委員から室内実験の結果が説明された。主な質疑は以下のとおり。

- ・ 同じ換算距離でも薬量を減らすとガラスが割れなくなるが、インパルスが影響するのか。(水書委員) → そのとおり。(事務局)
- ・ ガラスが割れるとガラス破片が外に出ていくことを確認している。(水書委員) → ショック(衝撃波)の負圧で吸い出されるものと思われる。(事務局)
- ・ ガラス板を当初エポキシ接着剤でフレームに貼ったが、あとで取れなくなった。紙テープで十分強度があるので、それで固定した。(久保田委員)
- ・ ガラスが割れるメカニズムについてだが、ガラスがたわんで割れるのか。ショック(衝撃波)による破壊かあるいは歪による破壊か。(水書委員) → 圧力が高いところはショックで割れる。ギリギリのところはたわみによる歪が主因と思われ、インパルスが効いてくる。(事務局) → 試料 No.3-1(薬量 3 g、換算距離約 10)の動画を見るとよくわかる。圧力が高いとガラスは完全に割れる。(久保田委員)

小川委員長から、「以上の議論をもって実験計画書は承認された」とのまとめがなされた。

3. 点火技術基準等の確認

点火技術基準、危害予防規程、班別作業マニュアル、緊急連絡網、実験組織等について、昨年度からの主な変更点が説明され、確認された。

- ・ 点火技術基準(資料 2-2)：爆点は昨年度と同じであるので、基本的に変更点はない。(松村委員)
- ・ 危害予防規程(資料 2-3)：爆点からの保安距離が 318 m になった以外、大きな変更はない。(事務局)
- ・ 班別作業マニュアル(資料：10 ページ「火薬類取扱保安責任者等」において、火薬類取扱副保安責任者および火薬類を取り扱う必要のある者が変更になっている。(事務局)
- ・ 緊急連絡網(資料 2-5)：支援隊長(佐々木一尉)が決まったが、その連絡先(携帯電話番号)および産総研の夜間連絡先を追記する。(事務局)
- ・ 実験組織(資料 2-6)：副技術責任者が変更になった。現地建設業者が決まったので、設備班長、副班長を追記する。(事務局)

4. 火薬類従事者の確認

班別作業マニュアルで触れられたとおり。

5. その他

- ・ 新型コロナウイルス感染症対策（資料 2-7）について、事務局から説明があった。
- ・ ガラスの取扱い（取り付け、破片の片づけ）は危険なので、設備班に限ることとしたい旨の説明が久保田委員からあった。班別作業マニュアルには記されていないが、産総研の野外実験計画書にはその旨が記載されている。現地建設業者は了承した。
- ・ 計画書 10 ページ、装薬台の天板の厚さは 36mm ではなく 12 mm でよい。（事務局）
- ・ ホテルマルエーでの 11/23（祝日）の夕食は用意できることが判明した。当日、ホテルでの夕食を希望する方は 11/21 の実験会議の折に事務局まで連絡をいただきたい。（産総研には別途連絡済み。）（事務局）

以上

2.A.1.3 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会（第 1 回小委員会） 議事録

火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会（第 1 回小委員会） 議事録

日 時：令和 6 年 1 月 18 日（木）13:30～15:45

場 所：中央区八丁堀区民館 6 号室

出席者：対面参加 12 名、リモート参加 15 名、書面参加 4 名、計 31 名（敬称略、順不同）

委 員：大野友則、海沼敏恭**、鳴川智士**、遠山貴郎**、久保田士郎、松村知治*、須山恭三、
山本雅昭*、畑中修二*、伊藤啓太**、多田達士*、新関弘晃、藤原和彦*、奥永一郎*

オブザーバ（経済産業省）：池田秀俊

（産総研）：岡田 賢*、丹波高裕*、高橋良堯*、杉山勇太*、緒方雄二*

（総安研）：小川輝繁 （横国大）：三宅淳巳* （工業会）後藤浩司*

事務局（全火協）：川崎勝樹、遠藤秀雄、飯田光明、中塚漢二*、山口潤仁*、尾田博幸、柳田一也、
廣崎義一

（注） *：リモート参加（テレビ会議システムによる参加）

**：書面参加（事前送付した資料に対する意見、質問等の提出）

【配付資料】

資料-1 令和 5 年度火薬類保安技術実験結果報告（速報）

資料-2 爆発影響低減化実験（室内実験）一窓ガラス破壊防止に関する予備・補足実験一

資料-3 爆発影響低減化技術基準検討事業の残された課題

1. 開会

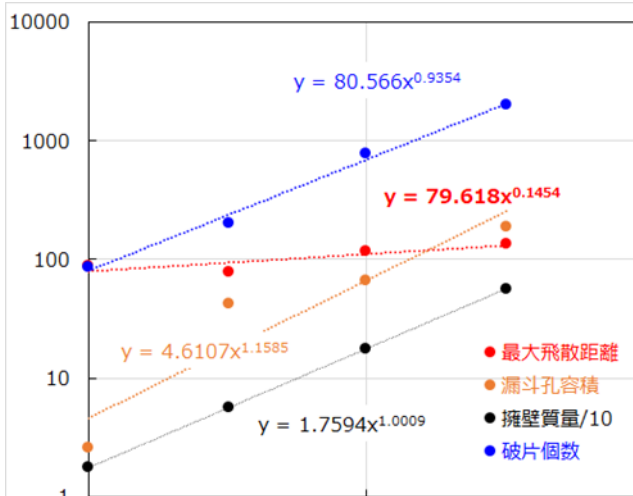
出席者確認ののち、事務局より当委員会の開会がなされた。

2. 令和 5 年度火薬類保安技術実験結果概要（中間）報告

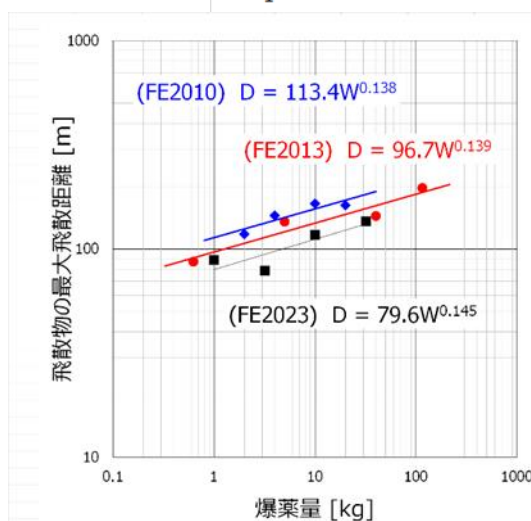
資料-1 に基づいて、久保田委員長はじめ産総研メンバー（松村、丹波、高橋、緒方、岡田各氏）から実験結果の説明がなされた。主な質疑は以下のとおり。なお、配布された資料のうち爆風圧関連の資料（74 ページ以降）においては、換算距離は、含水爆薬量に TNT 換算率 0.76 を乗じて算出した TNT 換算距離である。（たとえば、75 ページの換算距離 $7.91\text{m/kg}^{1/3}$ は TNT10kg とした場合は $7.22\text{m/kg}^{1/3}$ に、76 ページの換算距離 $12.95\text{m/kg}^{1/3}$ は TNT10kg とした場合は $11.82\text{m/kg}^{1/3}$ となる。）

- ・ ガラスの破壊防止に関する実験で用いられたガラスの厚さは 3 mm（前回（平成 25 年）は 5 mm）、小型窓ガラスでは 0.4 mm だった。本日の時点では結果の速報であり、これからまとめられるとは思いますが、非常に興味深い。過去の建物被害と爆風圧の関係では、10 kPa でほとんどのガラスは割れる、と書かれている。5 kPa は一般的なガラスが割れる圧力とされている。今回は 5 kPa で割れていないなど、これまでのデータと異なるところがあるが、それをどのようにまとめるのか。（大野委員）→ No.1-3 では 5 kPa で割れた。No.1-4 では割れていない。スケールが合っていない（3 mm の厚さは実スケール）ことが考えられる。（久保田委員長）→ これまではガラスの厚さとか大きさの情報がないので、爆風圧とガラスの破壊は参考でしかった。（大野委員）→ 小型スケールでのガラス 0.4 mm の厚さは実スケールでは約 5 mm に相当する。今回の実験では、厚さ 5 mm のガラスが窓枠にきちんと取り付けられていれば 5 kPa では割れない、というデータが取得されたと考えている。（久保田委員長）→ どういうふうにまとめていくのか関心がある。爆発事故があった場合の鑑定において、ガラスが割れたかどうか、その情報をもとに爆発薬量を推定していくが、今回のデータは有用ではないか。今回はサイズの影響と厚さの影響が両方入っているので、それらをもとに検討していくことは有用ではないか。（大野委員）

- ・ 高速度カメラ撮影で、爆轟生成ガスの大きさがどのようになっているか、スケール則で整理して検証してほしい。(事務局)
- ・ 飛散物の計測と爆風圧の計測を同時に行うのは大変だと思うが、今後どの方向にもっていくのか、どのように使うのか。例えば、コンクリート擁壁の破壊は鉄筋の影響や強度の影響、爆発の位置によっても変わるだろうし、破片の飛散も違うかもしれない。そこまでやるのか。(大野委員) → 今回の実験の距離であれば、強度まではやらなくてよいと思う。薬量によってどういうスケール則が成り立っているかが一番の焦点である。(久保田委員長) → 理学的な見方と工学的な見方は違う。飛散物防止対策としてデータが使えるかどうか、工学的な視点で見たい。(大野委員)



- ・ 今回のデータを解析すると右上図のようになる(横軸は薬量)。この中で最も重要なのは最大飛散距離である。最大飛散距離を薬量との関係で見ると、最大飛散距離は薬量の0.145乗の傾きで増えていく(3乗根則であれば、飛散距離は薬量の0.33乗となるはず)。



- ・ 過去のデータ(右下図のボックス(青)と土堤の前面の擁壁(赤))では最大飛散距離と薬量は0.14乗くらいの傾きであった。今年の結果(L型擁壁、黒)が同じ傾向を示すのかが今年度の目的であったが、過去のデータと整合することが確認された。スケール則の高さ(縦軸の位置)は、爆薬と擁壁との距離、鉄筋の太さや擁壁の厚み等で決まるが傾きは同じ。これまでの実験とは違う構造の飛散物を見たい場合は、スケール則に則った実験を一つ行えば、その高さ(縦軸の位置)が決まるので、同じ傾き(0.14乗)の線を引くことにより、飛散物の最大飛散距離がわかる。実スケールの薬量40トンの場合、飛散物の距離がどのくらいか推定することができる。(事務局)
- ・ 飛散物の最大飛散距離は初速により大きな影響を受けるが、初速は何で決まるか。破壊の挙動で決まるので、薬量とあまり相関しないのかもしれない。(小川氏)
- ・ 破片速度32 m/sという値があったが、破片が人体に当たったときに致命傷を与えるエネルギーを80 Jとすると、そのようなエネルギーとなる破片の大きさ(質量)と速度を超えないためにはどうするか、という問題が起きてくるのではないかと。(大野委員) → 32 m/sという速度は爆原から近い距離での速度であり、距離が離れると速度は小さくなる。(久保田委員長)
- ・ 書面参加の伊藤委員から質問がある。窓ガラス破壊防止に関する実験において、資料・2の室内実験では、爆風によりガラスが破壊される際、その破片の飛散方向はすべて爆風の進行方向

と逆との報告がある。野外実験では、市販窓枠にはめ込まれた状態で板ガラスの破壊が確認されているが、資料-2の小スケール実験と同様の破片飛散挙動を示したのか。(事務局) → 野外実験でも手前側にガラス破片が飛んだ。最初の衝撃波で破壊されて、負圧により手前に引き張り込まれたものと思われる。(久保田委員長、事務局)

- ・地盤振動(資料 40 ページ)で、最大振動速度(PPV)が Westine の硬岩のラインよりも大きいところがある。(事務局) → 39 ページの計算式のように、 x, y, z すべてのピークの合成である。同時刻ではない。同時刻におけるピークも計算できるので、それに置き換えることもできる。その場合、PPV は若干下がる。(高橋氏) → 別の時間のピークを合成しているのか。次の本委員会までに、これが正しいかどうか確認してほしい。(事務局)
- ・GoPro の映像(資料 61 ページ～)は、1 画面に 1 映像としてほしい。(事務局)

3. 令和 5 年度室内実験(窓ガラス破壊防止に関する予備・補足実験)報告

資料-2 に基づいて、久保田委員長から室内実験の結果が説明された。主な質疑は以下のとおり。

- ・ピーク(最初の正相の圧力、三角波)でガラスが割れているのか。(事務局) → ピークで割れは見えない。(久保田委員長)
- ・GoPro で破片速度を算出しているが、画角は角度を示しているはずで、20 m の位置における画角か。(畑中委員) → ご指摘のとおりで、破片が飛んでいるところが 20 m とは限らない。真中を通ったところの破片速度を測るべきで、奥側は異なる。正確性に欠けるかもしれない。(岡田委員) → 20 m (真ん中)はいいと思うが、外れたものについては、破片分布を見てどのくらいの距離かわかるかもしれないので、そういうアプローチをしてみてもいい。(久保田委員長) → 確認する。(岡田委員)
- ・ガラスが割れるのは、ガラスの固有振動に関係があるのか。ガラスメーカー(専門家)の意見を聞いてみてはどうか。(畑中委員) → ガラスの割れ方は、衝撃波で割れるときはモードや振動速度は関係ない。ただし、割れるか割れないか圧力の違いが非常に微妙なところもあるので、同じ圧力でも振動モードの違いによって割れる可能性は否定できない。(久保田委員長) → 振動がいくつか関わっているような場合がありそうなので、専門家の知見を活かしてはどうかと思う。衝撃波でガラスが割れる現象を可視化できたことは興味深い。(畑中委員)
- ・圧力-時間のヒストリーがあるが、インパルスはどう考えるのか。(三宅委員) → 室内実験では、同じピーク圧力でも薬量が違えば、割れる場合と割れない場合とがある。再現性があるかどうかを確認して、インパルスがどう違うか比較できる土壌に入ったかと思う。(久保田委員長) → 海外の報告もあると思うので、それらを参考に考察してほしい。(三宅委員)

4. 爆発影響低減化技術基準検討事業の残された課題

資料-3 に基づいて、事務局から残された課題(次回以降のテーマにつながる)の説明がなされた。主な質疑は以下のとおり。

- ・(6)について。小型のガラスの考え方はなかった。小型ガラスを用いれば面積と厚み、薬量があればよいので、広い範囲のデータが得られるのではないか。(久保田委員長) → 持続時間をどうするか考える必要がある。(事務局)
- ・優先順位をつけるのか。(大野委員) → その必要はない。議論を参考に、経産省が決めていく。(事務局)
- ・(15)については、飛散物の飛散距離が短くなるのはわかるが、保安距離は爆風圧に基づいて決められる。日本の火薬庫の場合は、飛散物は土堤で止められることが前提となっている。(事務局)
- ・(16)については、このような特別な火薬庫は 1 棟か 2 棟しかないと思われる。シミュレーションによって特則承認を受けることで対応できるのではないか。(事務局)

- ・ (13)については、粉状爆薬は含水爆薬の1割ほどしか市場に出回っていないが、工業会の要望でもあるので、実施してはどうか。(事務局)
- ・ (11)のアンカー設置は、よいテーマではないか。(事務局)
- ・ (10)のバルクエマルジョンやヘビーANFOについては、経産省がOKといえよ。バルクエマルジョンはすでにOKのはず。ヘビーANFOは、サイトミキシングOKとか、特定硝酸アンモニウム系爆薬に入るという解釈を経産省から出してもらえばそれで十分で、その際に経産省が実験データを求めるかどうかは課題。(事務局)
- ・ (7)は現在、地中式火薬庫の保安距離を決めようとしているが、前方の保安距離が大きくなる場合が出てくる。その場合にこのテーマが助けになる。その意味では、このテーマは意義がある。(事務局)
- ・ 防衛省の立場で言うと、長距離射程のミサイルを導入しようとしている。既存の自衛隊の火薬庫に収まりきらず、新規の火薬庫が必要となるが、場所がない。(3)、(5)、(7)をやることで打開できないかと考える。これらをやっていただきたい。(3)はほぼ終わっているのか。(大野委員) → そのとおり。ただし、薬室が破壊されないものについてである。それよりも(7)をやった方が地中式火薬庫を救える。(事務局)
- ・ (2)については、推進薬と爆薬の比率をパラメータとするのか。(大野委員) → 比率ではなく、爆薬の薬量が重要である。このテーマについては防衛省も実験を行っていると言っている。JAXAにとって有利になることが考えられるが、(2)の"or"以下の条件が相当する。
- ・ ご意見はあくまでも参考とさせていただく。予算も厳しい。政策が特定の業界や団体に有利ではなく、広範囲に有益であることが重要だと考えている。(経産省)

5. その他

事務局から今後のスケジュールについての説明があった。

- ・ 2月6日に第3回本委員会を開催する。1月22日の週に開催案内を送付する。
- ・ 3月4日に産総研の確定検査を実施する。
- ・ 3月14日が契約最終日であり、データ等を経産省に提出予定。
- ・ 3月21日に実績報告を提出予定。

以上

3.A.1.4 令和4年度 火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会（第3回本委員会） 議事録

火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会（第3回本委員会） 議事録

日 時：令和6年2月6日（火）13:30～15:40

場 所：中央区八丁堀区民館6号室

出席者：対面参加14名、リモート参加16名、書面参加4名、計34名（敬称略、順不同）

委 員：小川輝繁、新井 充、三宅淳巳*、水書稔治*、鳴川智士**、遠山貴郎**、久保田士郎、
松村知治*、須山恭三、山本雅昭、畑中修二*、福田光寿*、伊藤啓太*、多田達士、
新関弘晃**、藤原和彦*、奥永一郎**

オブザーバ（経済産業省）：池田秀俊、矢野 寿

（産総研）：岡田 賢*、丹波高裕*、佐分利 慎*、高橋良堯*、杉山勇太*、緒方雄二*

（工業会）：後藤浩司*

事務局（全火協）：川崎勝樹、遠藤秀雄、飯田光明、中塚漢二*、山口潤仁*、尾田博幸、柳田一也、
廣崎義一

（注） *：リモート参加（テレビ会議システムによる参加）

**：書面参加（事前送付した資料に対する意見、質問等の提出）

【配付資料】

資料-3-1 令和5年度火薬類保安技術実験結果報告（案）

資料-3-2 爆発影響低減化実験（室内実験）（案）

資料-3-3 爆発影響低減化技術基準検討事業の残された課題

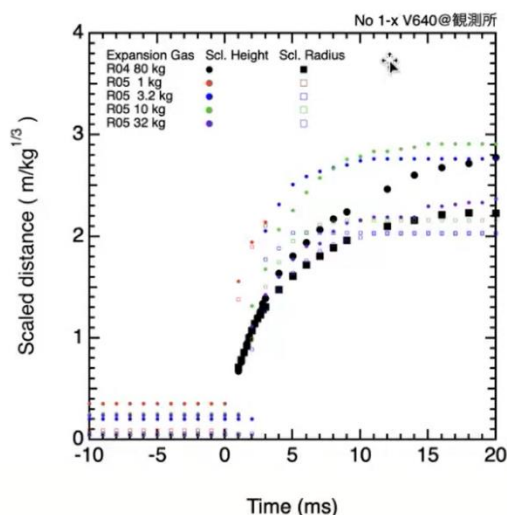
資料-3-4 （付録2）実験関連事項（事業報告書用添付資料）

1. 開会挨拶

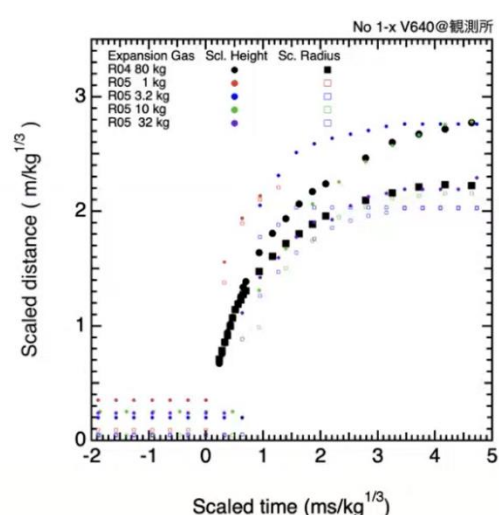
出席者確認ののち、事務局より当委員会の開会がなされ、全火協 川崎専務理事から挨拶が述べられた。

2. 令和5年度火薬類保安技術実験結果報告

資料3-1に基づいて、久保田委員はじめ産総研メンバー（松村委員、佐分利、高橋、緒方、岡田、丹波の各氏）から実験結果の説明がなされた。主な質疑は以下のとおり。



実時間-換算距離

換算時間(s/kg^{1/3})-換算距離

- ・ 高速度カメラの結果（28 ページ）で、薬量で換算した爆轟生成ガスの大きさが一定にならないということか。（事務局）→ 28 ページの図はカメラボックスから見た爆轟生成ガス（火炎半径）の大きさだが、観測所から見た図（次ページ参照）を掲載すべきだった。左側の図は実

時間に対する火炎半径と火炎高さを示したものの。それを見ると、薬量が増えるにつれて 80 kg のデータ（令和 4 年度野外実験）に近づく。換算時間で整理（右側の図）しても同じ傾向である。薬量小さいと爆轟生成ガスの成長が早いうちに止まってしまうのでそのプロットが消えてしまうが、傾向としては薬量が大きくなると 80 kg のデータに近づく。（佐分利氏）→ 爆轟生成ガスの火炎の高さはどうか。また、半径は薬量が変わっても大体同一の値とみてよいのか。（事務局）→ 薬量 10kg、32kg は大体近い値になっていると思う。（佐分利氏）→ これまでの定性的考え方では、これらのプロットは薬量が違って同じカーブに乗ると考えてきたがそうではないのか。（事務局）→ 薬量が大きくなるとそのようになるが、薬量小さいとずれる。（佐分利氏）→ 了解した。（事務局）

- ・ 30, 31 ページの図で、大きな飛散物がゼロ点（原点）に行かないのは、最初に加速される時間があるからか。加速される間は、下に凸の放物線になると思われるが。（事務局）→ そのとおり。（佐分利氏）→ 爆轟生成ガスで押されて加速される間は下に凸の曲線で飛ぶが、その後ほぼ一定速度で飛ぶ間は重力が効いてくるので上に凸の放物線になると理解してよい。（事務局）→ その理解でよい。（久保田委員）→ ゼロに戻るのではなく水平になる。（佐分利氏）
- ・ 飛散物（破片）の角度が上がらないで 16～24 度くらいの角度になっているとのこと。速度の大きなものが角度が小さいのか。（小川委員長）→ そのとおり。（佐分利氏）
- ・ 飛散物の角度と速度の関係はどのようになっているのか。（小川委員長）→ 角度と速度の関係は 31 ページの右の図にある。（事務局）→ 遠くまで飛んだ飛散物は減速し、その速度は極めて小さい。GoPro（アクションカメラ）の観測では速度は落ちている。（久保田委員）
- ・ 31 ページの図で、原点（L 型擁壁）ではどのようになるのか。L 型擁壁の上部分の高いところから飛んでいるように見える。計測の都合でこのようになるのか。（畑中委員）→ 飛散物のスタートは爆轟生成ガスで見えないが、どのくらいの高さにあるのかは映像の逆解析でわかる、という理解である。（佐分利氏）→ 擁壁の上側が壊れているのかと思った。（畑中）
- ・ 30, 31 ページの図で、原点は両軸ともゼロにした方がわかりやすい。（事務局）
- ・ 70 ページの図で、初速 54.8m/s はどのようにして見積もったのか。（事務局）→ 図にある回帰式で求めた。数式は余計なので削除してよい。（岡田氏）→ 破片 1 個を追跡した結果か。（事務局）→ そのとおり。（岡田氏）→ 68 ページの図にある距離 55m くらいの点 2 つはどういうことか。（事務局）→ 地面に着地したもの。（岡田氏）→ 図の縦軸は速度(m/s)、横軸は距離(m)である説明を追記してほしい。破片が転がって距離が延びている。（久保田委員）
- ・ 41 ページのデータは極めて重要だ。発生個数と破片重量の爆薬量との関係をそれぞれ両対数とした図を追加した方がよい。漏斗孔の体積も重要。これらのデータをざっと見たところ、破片個数は薬量に比例し、過去と同じパターンである。漏斗孔の体積は薬量の 1.1 乗くらいに比例し、過去の経験則に合っていると思う。（事務局）→ 最大飛散距離と薬量の図も同様か。（久保田委員）→ そのとおり。（事務局）

小川委員長から、「以上の議論を報告書にまとめてほしい。ほかに気づいたことがあれば、久保田委員に早めに連絡してほしい。」とのまとめがなされた。

3. 令和 5 年度産総研室内実験結果報告

資料 3-2 に基づいて、久保田委員から室内実験の結果が説明された。主な質疑は以下のとおり。

- ・ 背面から衝撃波が回折して窓ガラスが破壊されていることはないか。（事務局）→ 背面（枠）に衝撃波が到達してガラスに届く。何らかの擾乱があるのは確か。均衡が乱されている。（久保田委員）
- ・ ガラスが膨らんで割れている。室内実験では、ガラスが割れるときは押し込まれて割れるの

か、引っ張られて割れるのか。(水書委員) → ガラスが振動するので手前に引っ張られたときに割れるようだ。衝撃波の回折がどのように影響しているのかわからない。(久保田委員)

- ・背面がないときは渦ができて、箱自体の剛性が弱くなったのか。(水書委員) → 室内実験ではそれはない。(久保田委員) → 野外実験でもそれはない。ガラスの固定枠はかなり頑丈な構造である。(事務局)
- ・吸い出される力が強まって割れるのか。(水書委員) → それも一因と考えている。17 ページの図で、ガラスが割れるのは 6ms くらい (E のタイミング)。(久保田委員) → 窓ガラスを固定している枠に衝撃波が届くのが X1 で、回折して窓ガラスに届くのが X2 だから、回折波でガラスが割れているのはなさそう。(事務局) → 擾乱が届く時間とガラスが割れる時間は合っている。(久保田委員) → 室内実験での距離は 1.7m か。(水書委員) → そのとおり。ガラス固定枠の背面を取る (オープンにする) と割れる。13 ページの図でアクリルの枠がないと割れない。回折波の擾乱が影響しているのかもしれない。(久保田委員)
- ・これらの実験で何を見たいのか。(新井委員) → 野外実験で換算距離 12 や 19 ではガラスは割れないはずだったが割れてしまった。想定と異なる要因を検討するためである。(久保田委員) → 背面をなぜつけたのか。(小川委員長) → 大野先生の設計 (平成 25 年) を参考にした。建物は通常、(ガラスの) うしろは塞がっている。(久保田委員) → 今後も検討してほしい。(小川委員長)

4. 令和 5 年度実験を踏まえた課題

資料 3-3 にまとめられた課題について、事務局から以下のような補足説明があった。

- ・小委員会で検討した結果を本委員会で議論していただく。
- ・事務局から推薦した課題は次の (6)～(13)。(16) は貫通型の地中式火薬庫に関するもので、防衛省によればその保有棟数がそれなりにあるとのこと。
 - (6) 爆風と危害度の関係の整理
 - (7) 爆風圧の減衰に及ぼす地形の影響
 - (11) 土堤へのアンカーブロック設置
 - (13) 粉状爆薬の爆薬換算量の見直し
 - (16) 入口が前後にある火薬庫の保安距離の低減

以下のような質疑があった。

- ・限られた予算で何ができるかを考えていきたい。(経産省)
- ・個人的な希望として、(7) が重要と考える。一般の化学物質や工場で事故が起きた場合、重要なデータとなり、波及効果も大きい。(三宅委員) → 火薬以外に他にも利用してもらえるというのでそれも考慮してほしい。(小川委員長)

5. 最終報告書の提出について

資料 3-4 に基づいて、事務局から説明があった。その他の主な質疑は以下のとおり。

- ・「残された課題」は最終報告書に載せるのか。(経産省) → 載せない。(事務局)
- ・ISEM が 11 月 18 日の週に開催が予定されている。産総研はホストとして会議の運営に当たらなければならないので、野外実験はその間を避けるようにしてほしい。(久保田委員) → 陸自北部方面総監部からの口頭による情報では、来年度の野外実験で矢臼別演習場を使用できるのは、今年と同じ期間 (11 月中旬から 12 月初旬) のようだ。(事務局) → 野外実験は ISEM の開催時期を外すよう是非考慮してほしい。(小川委員長) → 承知した。(経産省)

以上

4.A.1（付録 2）実験関連事項

4.A.1.1 実験宿舎

「ホテル マルエー温泉本館」

住所：〒086-1121 北海道標津郡中標津町西 1 条北 3 丁目 3 番地

電話：0153-73-3815 FAX:0153-72-5088

4.A.1.2 実験要員の輸送

宿舎と実験場間の実験要員の輸送には、全火協調達の大型バス及びレンタカーを使用した。

4.A.1.3 実験資材等の調達

爆発飛散物及び窓ガラス破損に関する実験の設計は産総研、使用した資材は、主に全火協が調達した。

主な資材調達及び実験支援等の契約相手方を次に示す。

島影建設株式会社	L 型擁壁試験体及び窓ガラス試験体の製作・設置・撤去、放送設備等のレンタル（設置及び撤去含む）、警戒・総務要員の派遣、カメラボックス、装薬台、掲示板等の製作・設置・撤去、各種機材のレンタルとブルーシート、土嚢袋等消耗品の調達
共成レンテム株式会社	プレハブ棟、トイレのレンタル（設置及び撤去含む）
中国化薬株式会社	電気雷管（EBW RP-501）
カヤク・ジャパン株式会社	含水爆薬（アルテックス）、導爆線
ダイナテック株式会社	試験試料（含水爆薬、導爆線、雷管等火薬類）の一時貯蔵及び運搬、及び火工所、火薬類取扱所のレンタル（設置及び撤去含む）
株式会社レントシーバー	通信機器のレンタル（GDR3500 セット）
株式会社共和電業	風向風速計のレンタル
千代田測器株式会社	測量計（トータルステーション等）のレンタル
有限会社アルファ商事	各種燃料（重機、発電機、暖房及び車両燃料等）
株式会社旭観光バス	送迎用バスの貸し切り
株式会社日産カーレンタルソリューション	移動用車両（ワゴン車）のレンタル

4.A.1.4 火薬類

実験に使用した火薬類は、次により調達、貯蔵及び運搬を行った。

(1) 電気雷管

電気雷管は中国化薬（株）より調達し、同社吉井工場（群馬県）からダイナテック（株）釧路支店の火薬庫に運搬されたのち一時貯蔵され、実験当日に使用する量がダイナテック（株）により実験場に搬入された。

(2) 含水爆薬、導爆線

含水爆薬（アルテックス）及び導爆線は、カヤク・ジャパン（株）より調達し、同社砂川工場からダイナテック（株）釧路支店の火薬庫に運搬されたのち一時貯蔵され、実験当日使用する量がダイナテック（株）により実験場に搬入された。

4.A.1.5 協 力

(1) 陸上自衛隊北部方面総監部

陸上自衛隊北部方面総監部と経済産業省北海道産業保安監督部との間で締結された「令和 5 年度経済産業省火薬類保安技術実験の協力に関する現地協定」に基づき、人員・機材の輸送、給電・給水、警戒及び消防、実験本部等の設営、実験環境の整備、実験装置の設営等の協力に対して支援部隊が編成され、積極的な支援が得られた。

(2) 地元官公庁等

地元役場等による住民への広報、各町のホームページ掲載等の協力が得られた。

(3) 火薬関係団体及び企業

火薬関係団体及び火薬類製造会社等の積極的な協力、また、地元企業等の協力が得られ、その結果、実験に必要な供試火薬類、試験体、プレハブ関係、放送設備、各種機材、重機、用役等の手配等が計画通りなされた。

4.A.1.6 実験計画検討会議等

保安技術実験に際し、火薬類爆発影響低減化技術基準検討委員会等を開催し、データ収集のための実験を安全かつ円滑に遂行するための詳細な検討がなされた。また、9 月 27 日から 9 月 28 日にかけて、陸上自衛隊北部方面総監部をはじめ地元関係自治体等に対し、保安技術実験実施に係る挨拶及び事前説明を行った。

また、実験時の作業内容の調整のため、9 月 27 日に陸上自衛隊北部方面総監部装備部装備課を通じて別海駐屯地業務隊管理科を訪問し、担当者に支援内容の説明・調整等を行った。

4.A.1.7 実験参加者数

11 月 18 日～27 日の実験参加者は、延べ約 330 名（支援部隊、準備期間中の地元業者は除く。）であった。

4.A.2（付録 3）野外実験記録写真



実験場（本部高台から観測所や爆点方向を眺めた様子）



本部



観測所



観測所 1



観測所 2



火取所・火工所



点火装置



放送設備



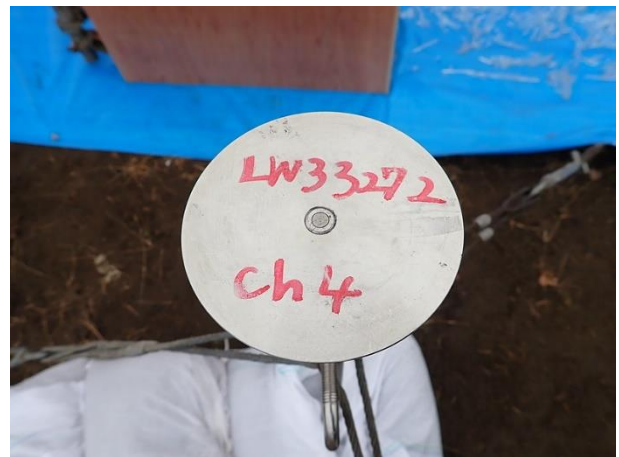
風向風速計



温湿度計・風向風速指示器



爆風計測架台



爆風センサー受圧面



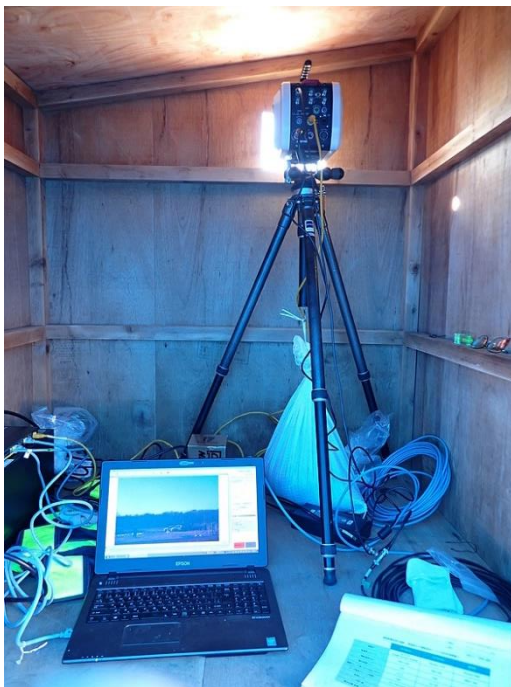
爆風計測ボックス



計測ボックス内の爆風計測機器



カメラボックス（90度方向）外観



カメラボックス内の高速度カメラ（2台）



観測所1の屋上（270度方向）に設置した高速度カメラ



地盤振動計とアンプボックス



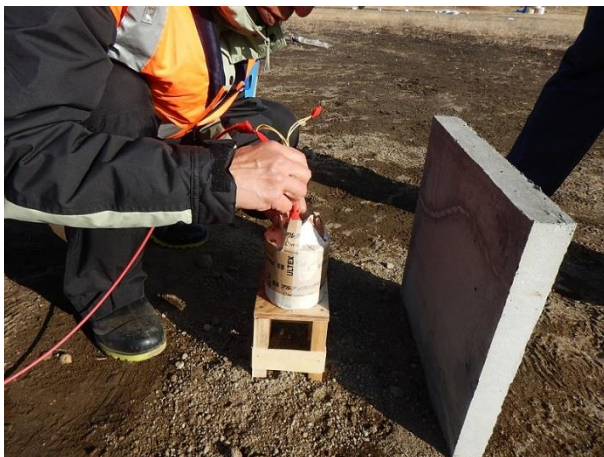
計測ボックス内の地盤振動計測機器



騒音計測マイクロフォン



No.1-1 試験体設置状況



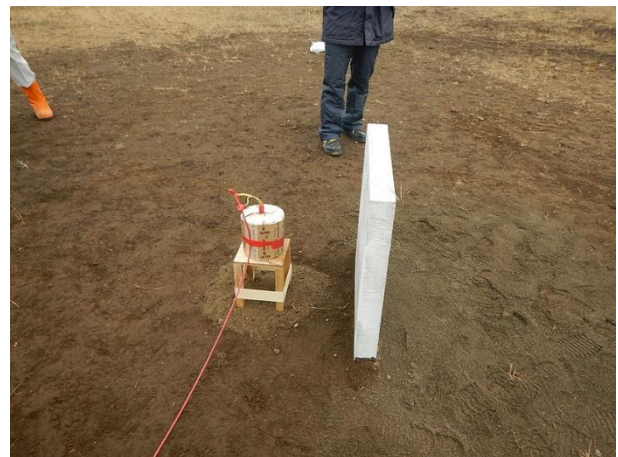
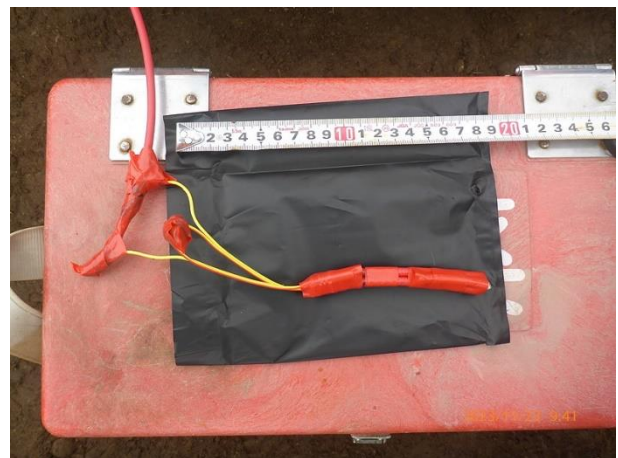
No.1-1 装薬・爆装状況



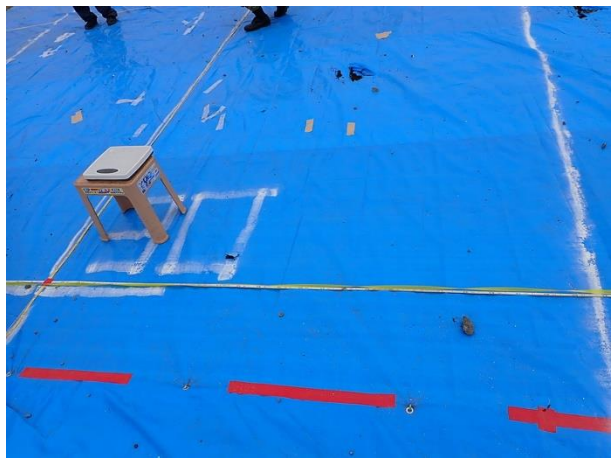
No.1-1 点火後の様子



No.1-2 試験体設置状況



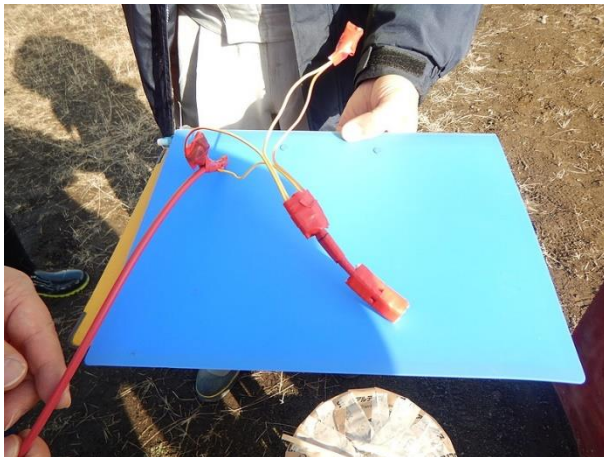
No.1-2 装薬・爆装状況



No.1-2 点火後の様子



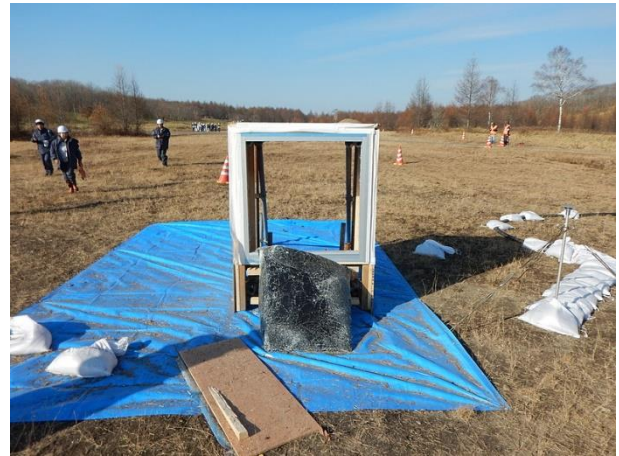
No.1-3 試験体設置状況



No.1-3 装薬・爆装状況



No.1-3 点火後の様子



No.2-1 (No.1-3) 窓ガラス破壊状況 ①10.8 m
フィルム有り



No.2-1 (No.1-3) 窓ガラス破壊状況 ②15.5 m
左：フィルム無し、右：フィルム有り



No.2-1 (No.1-3) 窓ガラス破壊状況 ③25.5 m
左：フィルム無し、右：フィルム有り



No.2-1 (No.1-3) 窓ガラス破壊状況 ④ 40.0 m
フィルム無し



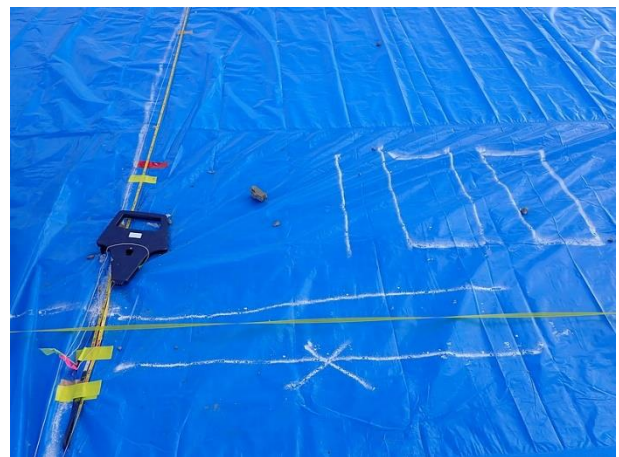
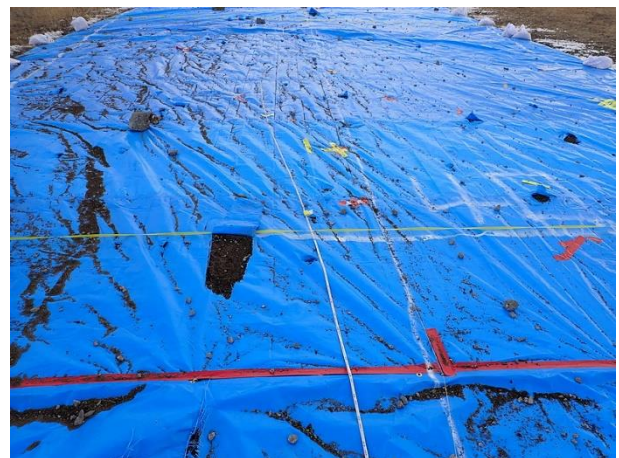
No.2-1 (No.1-3) 窓ガラス破壊状況 ④ 40.0 m
小型ガラス



No.1-4 試験体設置状況



No.1-4 装薬・爆装状況



No.1-4 点火後の様子



No.2-2 (No.1-4) 窓ガラス破壊状況 ①25.5 m
フィルム有り



No.2-2 (No.1-4) 窓ガラス破壊状況 ②40.0 m
フィルム有り



No.2-2 (No.1-4) 窓ガラス破壊状況 ③65.0 m
左フィルム無し、右フィルム有り



No.2-2 (No.1-4) 窓ガラス破壊状況 ④90.0 m
フィルム無し、小型ガラス

4.A.3（付録 4）高速度カメラ撮影画像

【資料集】

令和 5 年度 矢臼別野外実験
高速度撮影画像

実験 No.1-1 (観測所、V640)



点火前キャリブレーション



0.886 ms



5.9 ms



10.9 ms



50.9 ms



100.9 ms



500.9 ms



1000.9 ms

実験 No.1-2 (観測所、V640)



0.392 ms



2.392 ms



5.457 ms



10.457 ms



50.457 ms



100.457 ms



500.457 ms



1000.457 ms

実験 No.1-3 (観測所、V640)



0.026 ms



2.026 ms



5.0 ms



10.0 ms



50.0 ms



100.0 ms



500.0 ms



1000.0 ms

実験 No.1-4 (観測所、V640)



0.244 ms



2.244 ms



5.2 ms



10.2 ms



50.2 ms



100.2 ms



500.2 ms



1000.2 ms

実験 No.1-1 (カメラボックス、VEO640)



点火前キャリブレーション



0.734 ms



5.7 ms



10.7 ms



50.7 ms



100.7 ms

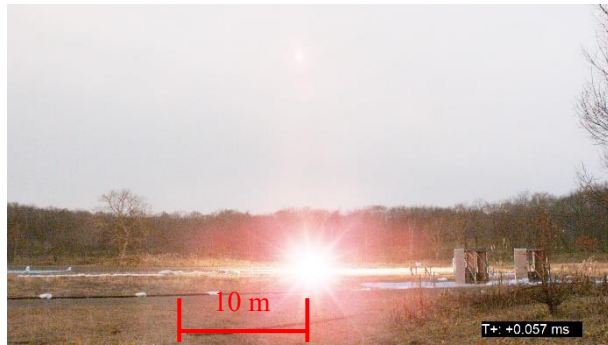


500.7 ms



1000.7 ms

実験 No.1-2 (カメラボックス、VEO640)



0.057 ms



2.057 ms



5.1 ms



10.1 ms



50.1 ms



100.1 ms



500.1 ms



1000.1 ms

実験 No.1-3 (カメラボックス、VEO640)



0.894 ms



2.894 ms



5.9 ms



10.9 ms



50.9 ms



100.9 ms

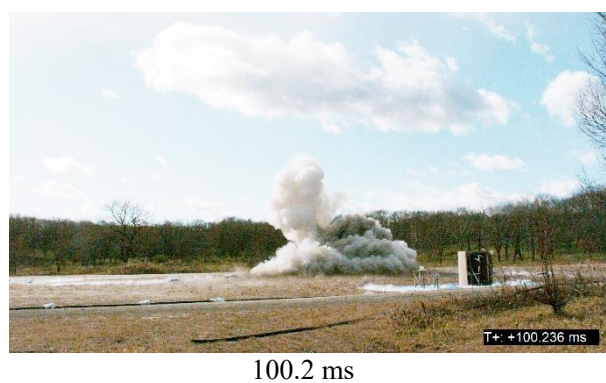
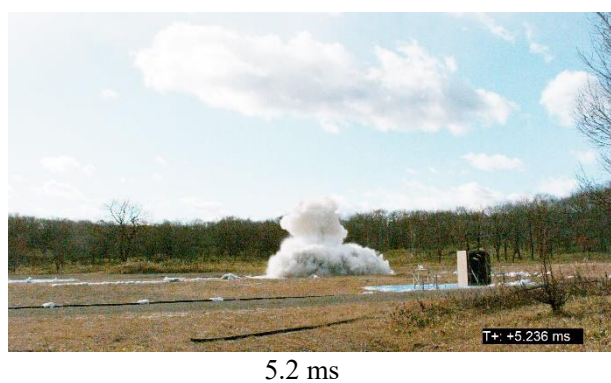
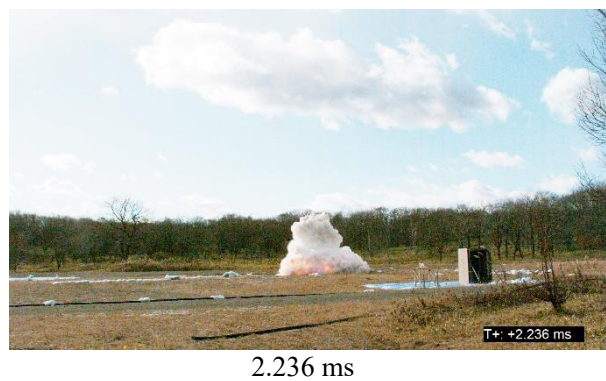
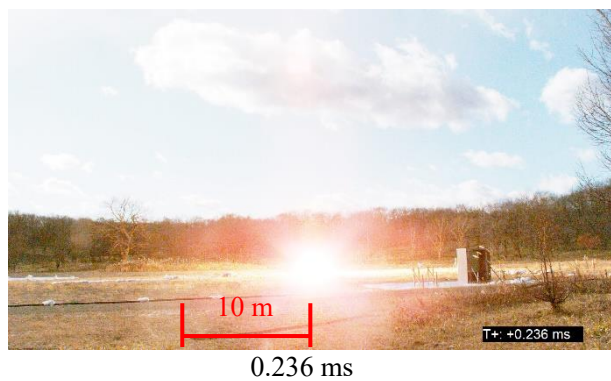


500.9 ms



1000.9 ms

実験 No.1-4 (カメラボックス、VEO640)



実験 No.1-1 (カメラボックス、V1210)



点火前キャリブレーション



0.368 ms



0.768 ms



1.168 ms



2.168 ms



4.168 ms

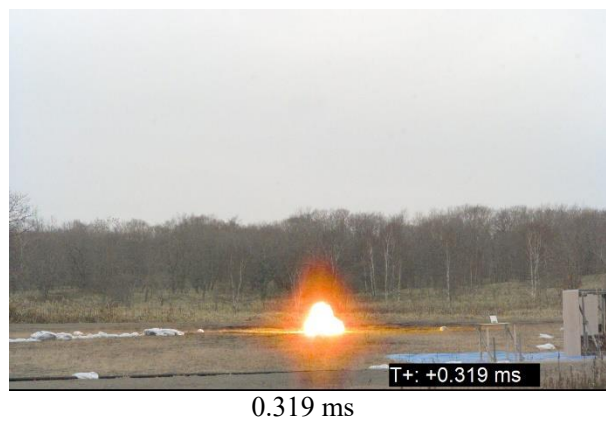
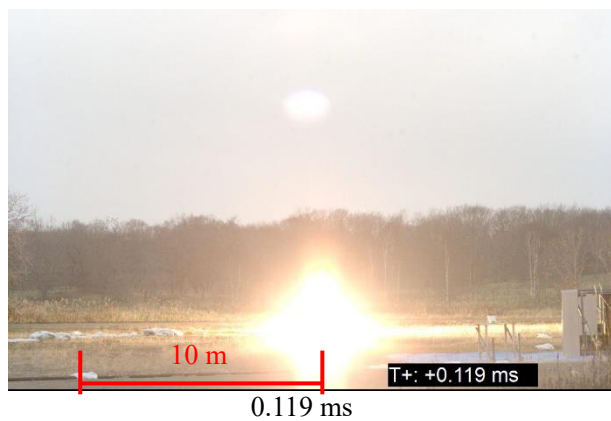


10.168 ms

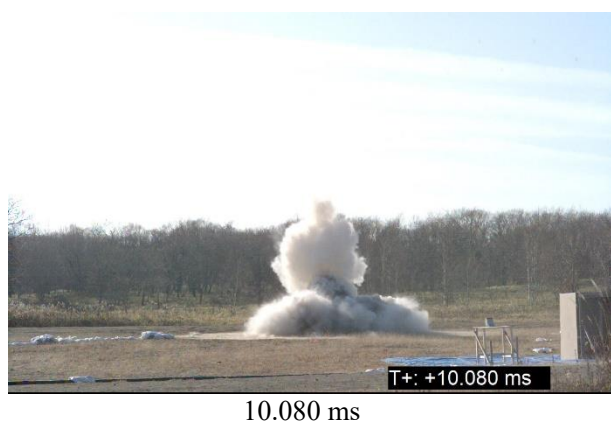
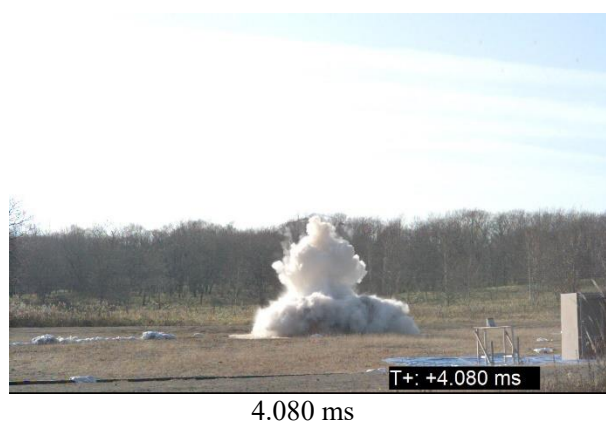
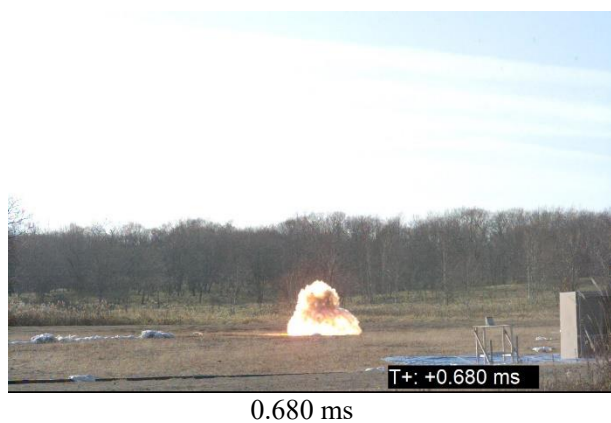
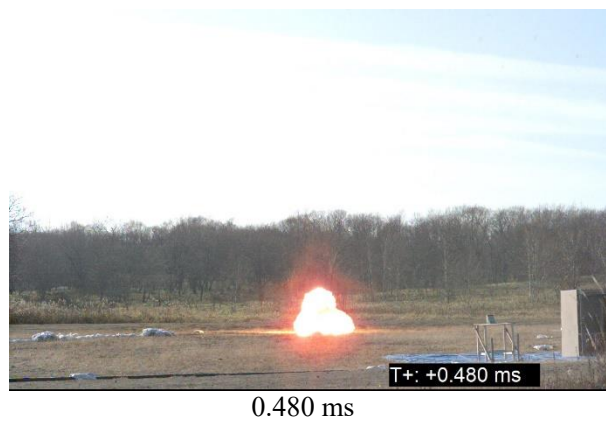
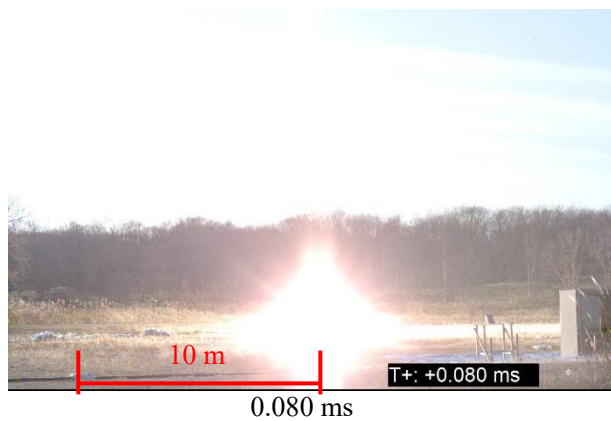


20.168 ms

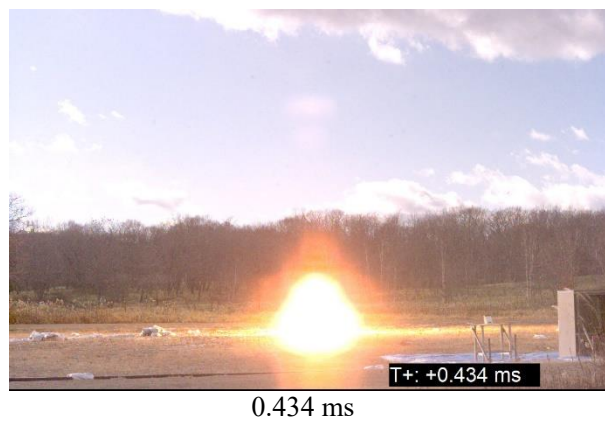
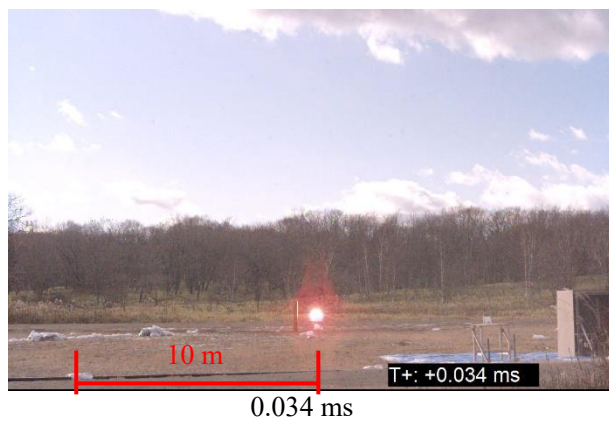
実験 No.1-2 (カメラボックス、V1210)



実験 No.1-3 (カメラボックス、V1210)



実験 No.2 (カメラボックス、V1210)



4.A.4（付録 5）ガラス破壊の撮影画像



到達後 -4.17 ms



到達後 0 ms



到達後 4.17 ms



到達後 8.33 ms



到達後 12.50 ms



到達後 16.67 ms



到達後 20.83 ms



到達後 25.00 ms

図 4.A.4-1 実験 No.2-1 距離 15.56 m（換算距離 7.22 m/kg^{1/3}）(1)



到達後 29.17 ms



到達後 33.33 ms



到達後 37.50 ms



到達後 41.67 ms



到達後 45.83 ms



到達後 50.00 ms



到達後 54.17 ms



到達後 58.33 ms

図 4.A.4-2 実験 No.2-1 距離 15.56 m (換算距離 $7.22 \text{ m/kg}^{1/3}$) (2)



到達後 62.50 ms



到達後 66.67 ms



到達後 70.83 ms



到達後 75.00 ms



到達後 79.17 ms



到達後 83.33 ms



到達後 87.50 ms



到達後 91.67 ms

図 4.A.4-3 実験 No.2-1 距離 15.56 m (換算距離 $7.22 \text{ m/kg}^{1/3}$) (3)



到達後 98.83 ms



到達後 100.00 ms



到達後 104.17 ms



到達後 108.33 ms



到達後 112.50 ms



到達後 116.67 ms



到達後 120.83 ms



到達後 125.00 ms

図 4.A.4-4 実験 No.2-1 距離 15.56 m (換算距離 $7.22 \text{ m/kg}^{1/3}$) (4)



到達後 -4.17 ms



到達後 0 ms



到達後 4.17 ms



到達後 8.33 ms



到達後 12.50 ms



到達後 16.67 ms



到達後 20.83 ms



到達後 25.00 ms

図 4.A.4-5 実験 No.2-1 距離 25.47 m (換算距離 $11.82 \text{ m/kg}^{1/3}$) (1)



到達後 29.17 ms



到達後 33.33 ms



到達後 37.50 ms



到達後 41.67 ms



到達後 45.83 ms



到達後 50.00 ms



到達後 54.17 ms



到達後 58.33 ms

図 4.A.4-6 実験 No.2-1 距離 25.47 m (換算距離 $11.82 \text{ m/kg}^{1/3}$) (2)



到達後 62.50 ms



到達後 66.67 ms



到達後 70.83 ms



到達後 75.00 ms



到達後 79.17 ms



到達後 83.33 ms



到達後 87.50 ms



到達後 91.67 ms

図 4.A.4-7 実験 No.2-1 距離 25.47 m (換算距離 11.82 m/kg^{1/3}) (3)



到達後 98.83 ms



到達後 100.00 ms



到達後 104.17 ms



到達後 108.33 ms



到達後 112.50 ms



到達後 116.67 ms



到達後 120.83 ms



到達後 125.00 ms

図 4.A.4-8 実験 No.2-1 距離 25.47 m (換算距離 11.82 m/kg^{1/3}) (4)



到達後 -4.17 ms



到達後 0 ms



到達後 4.17 ms



到達後 8.33 ms



到達後 12.50 ms



到達後 16.67 ms



到達後 20.83 ms



到達後 25.00 ms

図 4.A.4-9 実験 No.2-2 距離 40.03 m (換算距離 12.61 m/kg^{1/3}) (1)



到達後 29.17 ms



到達後 33.33 ms



到達後 37.50 ms



到達後 41.67 ms



到達後 45.83 ms



到達後 50.00 ms



到達後 54.17 ms



到達後 58.33 ms

図 4.A.4-10 実験 No.2-2 距離 40.03 m (換算距離 12.61 m/kg^{1/3}) (2)



到達後 62.50 ms



到達後 66.67 ms



到達後 70.83 ms



到達後 75.00 ms



到達後 79.17 ms



到達後 83.33 ms



到達後 87.50 ms



到達後 91.67 ms

図 4.A.4-11 実験 No.2-2 距離 40.03 m (換算距離 $12.61 \text{ m/kg}^{1/3}$) (3)



到達後 98.83 ms



到達後 100.00 ms



到達後 104.17 ms



到達後 108.33 ms



到達後 112.50 ms



到達後 116.67 ms



到達後 120.83 ms



到達後 125.00 ms

図 4.A.4-12 実験 No.2-2 距離 40.03 m (換算距離 12.61 m/kg^{1/3}) (4)



到達後 -4.17 ms



到達後 0 ms



到達後 4.17 ms



到達後 8.33 ms



到達後 12.50 ms



到達後 16.67 ms



到達後 20.83 ms



到達後 25.00 ms

図 4.A.4-13 実験 No.2-2 距離 64.98 m (換算距離 20.47 m/kg^{1/3}) (1)



到達後 29.17 ms



到達後 33.33 ms



到達後 37.50 ms



到達後 41.67 ms



到達後 45.83 ms



到達後 50.00 ms



到達後 54.17 ms



到達後 58.33 ms

図 4.A.4-14 実験 No.2-2 距離 64.98 m (換算距離 20.47 m/kg^{1/3}) (2)



到達後 62.50 ms



到達後 66.67 ms



到達後 70.83 ms



到達後 75.00 ms



到達後 79.17 ms



到達後 83.33 ms



到達後 87.50 ms



到達後 91.67 ms

図 4.A.4-15 実験 No.2-2 距離 64.98 m (換算距離 20.47 m/kg^{1/3}) (3)



到達後 98.83 ms



到達後 100.00 ms



到達後 104.17 ms



到達後 108.33 ms



到達後 112.50 ms



到達後 116.67 ms



到達後 120.83 ms



到達後 125.00 ms

図 4.A.4-16 実験 No.2-2 距離 64.98 m (換算距離 $20.47 \text{ m/kg}^{1/3}$) (4)

4.A.5（付録 6）飛散物回収結果

表4.A.5-1-01 から表4.A.5-4-29 に回収した全ての飛散物データを示す。回収した飛散物は、5g以上で、20mより遠くへ飛散したものの。

No： 飛散物の番号、飛散距離が小さい順から並べて番号づけした

x： X 軸（基準線0 度方向）に飛散した距離（m）

y： Y 軸（基準線0 度方向から-5 度の方向）に飛散した距離（m）、基準線を0として、左側を+、右側を-としてある。

r： 飛散距離。飛散物を回収した地点の爆点からの距離 $\sqrt{X^2 + Y^2}$ (m)

w： 飛散物質量（g）

備考：主に飛散物の着色の有無

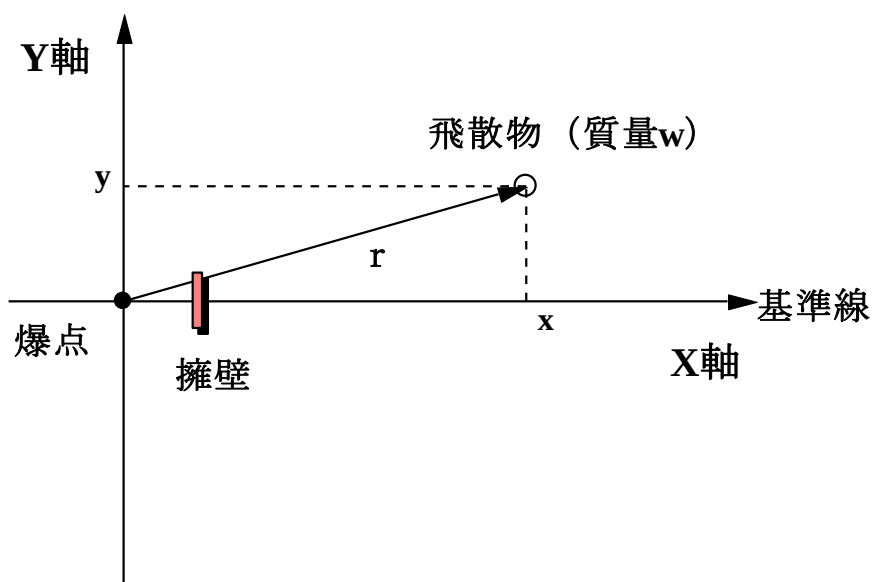


表 4.A.5-1-01 飛散物回収結果 (実験 No.1-1)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1	20.2	2.9	20.4	9.6	無	36	35.8	0.3	35.8	18.9	無
2	20.4	1.5	20.5	20.2	無	37	36.1	0.9	36.1	7.2	無
3	20.8	-0.5	20.8	23.5	無	38	36.1	3.1	36.2	10.2	無
4	21.2	0.9	21.2	9.4	無	39	36.5	0.2	36.5	14.5	無
5	21.7	2.1	21.8	6.2	無	40	36.8	-3.0	36.9	17.6	無
6	21.3	-5.7	22.1	65.9	無	41	37.1	-2.0	37.1	6.1	無
7	22.7	2.5	22.9	12.4	無	42	37.4	2.6	37.5	8.2	無
8	23.2	1.3	23.3	8.7	無	43	37.6	-0.7	37.6	15.8	無
9	23.8	2.1	23.9	32.0	無	44	38.1	4.1	38.3	7.4	無
10	25.3	4.4	25.7	6.3	無	45	39.3	-1.4	39.3	6.8	無
11	25.3	4.7	25.8	43.6	無	46	39.0	5.0	39.3	16.9	無
12	25.7	3.7	25.9	18.2	無	47	39.7	-0.5	39.7	21.0	無
13	25.9	-0.9	26.0	74.1	無	48	39.7	1.1	39.8	211.1	無
14	26.3	3.8	26.6	6.6	無	49	39.7	-4.5	40.0	8.1	無
15	26.3	-3.9	26.6	5.6	無	50	40.9	0.6	40.9	6.0	無
16	27.0	-1.7	27.0	19.4	無	51	41.5	2.9	41.6	173.6	無
17	26.6	4.8	27.0	8.8	無	52	41.6	4.4	41.8	6.9	無
18	27.2	-1.2	27.3	7.5	無	53	41.8	4.8	42.1	22.2	無
19	27.6	2.4	27.8	15.3	無	54	42.2	-1.8	42.2	11.2	無
20	27.9	-4.7	28.3	21.1	無	55	42.4	-1.0	42.4	76.0	無
21	27.8	6.7	28.6	173.8	無	56	43.6	4.9	43.8	9.1	無
22	28.3	-5.5	28.8	16.5	無	57	46.3	1.8	46.4	14.4	無
23	29.5	1.3	29.5	27.1	無	58	47.7	-0.8	47.7	41.7	無
24	29.5	3.7	29.7	212.1	無	59	47.8	-0.6	47.8	38.5	無
25	29.7	-0.4	29.7	81.2	無	60	47.8	3.2	47.9	7.8	無
26	30.1	0.6	30.1	105.8	無	61	48.1	3.8	48.2	8.1	無
27	30.4	-3.8	30.7	42.2	無	62	49.6	-1.8	49.6	39.7	無
28	30.7	1.0	30.7	11.0	無	63	51.1	2.6	51.1	68.0	無
29	30.8	0.5	30.8	12.2	無	64	51.6	1.2	51.6	43.8	無
30	30.9	-2.8	31.0	12.7	無	65	53.2	8.8	54.0	216.4	無
31	31.4	0.1	31.4	7.3	無	66	54.1	2.7	54.1	10.3	無
32	33.6	2.4	33.7	13.8	無	67	54.2	1.0	54.2	294.1	無
33	33.8	-2.7	33.9	375.0	無	68	54.3	-1.2	54.3	186.5	無
34	35.0	-2.8	35.1	92.8	無	69	53.9	8.4	54.6	34.5	無
35	35.2	2.2	35.3	6.6	無	70	55.0	-3.6	55.1	227.2	無

表 4.A.5-1-02 飛散物回収結果（実験 No.1-1）

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
71	55.5	-1.8	55.5	12.3	無
72	57.3	-1.0	57.3	7.7	無
73	58.8	2.9	58.9	14.0	無
74	58.9	3.7	59.0	100.8	無
75	59.2	-2.3	59.2	368.0	無
76	60.9	6.8	61.3	202.4	無
77	62.7	4.9	62.9	255.5	無
78	63.2	-1.8	63.3	13.4	無
79	66.1	-2.4	66.1	9.0	無
80	66.2	3.9	66.3	331.0	無
81	66.6	3.0	66.7	136.2	無
82	68.6	2.8	68.6	486.0	無
83	72.6	-6.5	72.9	522.0	無
84	72.9	-3.5	73.0	39.6	無
85	79.7	-8.4	80.1	184.9	無
86	88.1	-6.6	88.3	258.1	無

表 4.A.5-2-01 飛散物回収結果 (実験 No.1-2)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1	20.4	-0.5	20.4	120.9	無	36	27.4	-5.0	27.8	152.0	無
2	20.5	-3.1	20.7	12.1	無	37	27.8	-3.4	28.0	5.8	無
3	20.8	-2.6	20.9	12.3	無	38	28.4	-4.4	28.7	16.0	無
4	21.0	0.9	21.0	11.5	無	39	29.4	0.1	29.4	5.7	無
5	20.9	2.1	21.0	65.4	白	40	29.4	0.5	29.4	8.9	無
6	21.1	1.5	21.1	7.5	白	41	29.1	-4.6	29.5	49.0	無
7	21.5	-2.4	21.6	39.6	白	42	29.3	-4.1	29.5	10.0	無
8	21.8	-1.7	21.8	17.0	無	43	29.5	-3.0	29.7	17.0	無
9	20.4	-8.0	21.9	129.6	白	44	29.8	-2.1	29.8	116.0	無
10	22.2	-2.4	22.4	1600.0	白	45	29.8	-1.1	29.8	5.0	無
11	21.7	-5.7	22.4	48.8	白	46	30.0	0.1	30.0	9.6	無
12	22.3	2.5	22.4	26.1	白	47	29.8	3.9	30.0	14.3	白
13	22.4	2.0	22.5	6.8	無	48	30.0	4.5	30.3	7.1	白
14	22.1	4.9	22.7	6.6	無	49	30.0	4.3	30.3	6.0	無
15	22.3	4.4	22.7	8.8	無	50	29.9	4.9	30.3	20.2	無
16	23.3	3.0	23.5	16.2	白	51	30.5	3.0	30.6	537.0	白
17	23.6	0.1	23.6	342.0	白	52	30.8	2.1	30.9	15.5	白
18	23.8	-0.7	23.8	11.5	無	53	30.7	-4.6	31.0	37.8	白
19	23.8	-4.0	24.2	20.7	無	54	30.8	4.1	31.0	7.3	無
20	24.9	-0.6	24.9	227.3	白	55	31.0	-2.9	31.1	10.2	無
21	24.7	3.1	24.9	12.4	無	56	31.1	-4.5	31.4	6.4	白
22	24.9	-1.9	24.9	5.0	無	57	31.2	4.4	31.5	23.8	無
23	24.7	-3.9	25.0	40.2	白	58	31.4	-3.1	31.6	20.7	無
24	25.0	2.3	25.1	491.0	白	59	31.6	2.6	31.7	77.3	白
25	25.1	2.5	25.2	6.2	白	60	31.6	-1.5	31.7	5.2	白
26	25.2	-2.3	25.3	38.0	無	61	31.9	-1.6	31.9	33.5	白
27	25.7	-2.6	25.9	78.6	無	62	32.5	-0.3	32.5	8.2	無
28	25.8	-2.4	25.9	19.7	無	63	32.5	-1.9	32.5	6.0	白
29	25.9	-0.7	25.9	86.0	無	64	32.2	-5.2	32.6	720.0	白
30	26.3	0.9	26.3	36.8	白	65	32.7	1.5	32.7	30.1	白
31	26.0	-4.8	26.4	260.0	無	66	32.0	-6.7	32.7	20.8	白
32	26.7	2.2	26.7	6.0	無	67	32.7	1.2	32.8	6.6	白
33	26.9	1.5	26.9	8.4	白	68	31.5	-9.2	32.8	1120.0	白
34	26.8	-4.9	27.2	365.0	無	69	32.8	-0.5	32.8	7.1	無
35	27.3	-0.7	27.3	56.0	無	70	32.8	-0.9	32.8	7.1	無

表 4.A.5-2-02 飛散物回収結果 (実験 No.1-2)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
71	33.2	-0.4	33.2	5.8	白	106	40.0	-2.9	40.1	5300.0	白
72	33.1	3.9	33.3	8.6	白	107	39.7	-6.5	40.2	14.5	白
73	33.4	0.9	33.4	12.9	無	108	40.4	0.1	40.4	14.2	白
74	33.6	1.2	33.6	18.7	無	109	40.5	1.4	40.5	15.0	白
75	33.9	2.5	33.9	8.0	白	110	40.6	-0.3	40.6	5.8	無
76	34.0	0.2	34.0	12.0	白	111	40.7	-0.2	40.7	1020.0	白
77	33.9	-6.8	34.5	60.3	白	112	39.8	-11.3	41.4	54.5	白
78	34.7	0.7	34.7	11.5	白	113	41.3	3.6	41.5	18.6	白
79	34.7	4.9	35.0	19.5	無	114	41.4	3.3	41.5	165.4	無
80	35.1	-0.6	35.1	22.3	無	115	42.7	-1.6	42.8	100.5	白
81	35.2	-0.8	35.2	5.5	無	116	43.0	0.4	43.0	76.5	無
82	35.4	2.2	35.5	11.2	無	117	43.0	6.6	43.5	291.3	白
83	35.5	-4.7	35.8	2300.0	白	118	43.7	1.4	43.7	10.4	無
84	35.5	-5.9	36.0	9.6	白	119	43.9	-4.4	44.1	7.5	白
85	36.0	2.5	36.1	6.7	白	120	43.9	4.9	44.2	8.9	無
86	36.3	1.3	36.3	5.9	白	121	42.7	11.5	44.2	374.0	白
87	36.4	-1.1	36.4	7.9	白	122	44.1	4.9	44.4	7.8	無
88	36.4	4.6	36.7	6.8	無	123	44.4	2.9	44.5	8.6	白
89	36.7	0.2	36.7	8.2	無	124	43.3	-12.5	45.1	60.0	白
90	36.8	0.1	36.8	10.4	無	125	45.2	-1.3	45.2	22.2	白
91	37.1	2.2	37.2	7.8	白	126	46.1	1.8	46.1	6.5	白
92	37.4	-0.2	37.4	6.0	無	127	46.1	-1.6	46.1	11.0	白
93	37.4	-2.6	37.5	56.3	無	128	46.2	3.0	46.3	15.7	無
94	37.4	-2.5	37.5	5.1	無	129	46.3	1.7	46.3	2703.0	白
95	35.7	12.4	37.8	15.6	白	130	46.9	-1.9	46.9	26.6	無
96	38.2	-2.2	38.3	6.4	無	131	46.9	2.9	47.0	43.7	白
97	38.5	-0.4	38.5	7.8	無	132	47.0	1.7	47.0	27.2	無
98	38.7	-2.4	38.8	6.7	白	133	47.0	-3.7	47.1	5.1	無
99	38.7	3.2	38.9	5.4	白	134	47.2	0.6	47.2	7.4	白
100	38.3	-7.7	39.1	132.9	白	135	46.7	-7.7	47.3	45.0	白
101	36.6	-14.0	39.2	80.1	白	136	47.5	-0.7	47.5	12.5	白
102	39.1	-2.7	39.2	620.0	白	137	48.4	0.4	48.4	15.4	白
103	39.1	4.8	39.4	11.3	無	138	48.3	4.4	48.5	8.4	無
104	39.3	-4.6	39.6	10.5	無	139	48.7	0.0	48.7	8.4	無
105	39.6	-4.0	39.8	12.6	無	140	48.7	2.4	48.7	9.4	無

表 4.A.5-2-03 飛散物回収結果 (実験 No.1-2)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
141	48.9	0.3	48.9	12.3	白	176	61.9	2.9	62.0	146.0	無
142	49.6	3.1	49.7	9.1	白	177	62.0	2.6	62.0	9.6	白
143	49.9	1.2	49.9	8.2	無	178	62.2	0.1	62.2	6.1	無
144	50.4	3.1	50.5	6.3	白	179	62.3	-1.3	62.4	8.0	白
145	50.5	-2.4	50.6	17.4	無	180	62.4	0.5	62.4	620.0	無
146	50.7	-2.8	50.7	121.8	白	181	62.3	11.9	63.4	211.0	無
147	51.2	-2.7	51.3	15.8	白	182	63.4	4.3	63.5	5.8	無
148	51.1	-4.1	51.3	9.6	無	183	63.9	1.9	64.0	39.8	無
149	51.3	1.2	51.3	26.8	白	184	64.3	-2.4	64.3	728.0	白
150	51.9	-6.5	52.3	20.1	白	185	64.4	6.8	64.8	88.8	無
151	52.6	0.2	52.6	34.7	無	186	64.7	3.9	64.8	11.5	無
152	52.8	-6.3	53.2	505.0	白	187	64.8	4.2	65.0	8.0	無
153	53.3	-1.7	53.3	16.3	白	188	65.0	2.4	65.0	525.0	白
154	53.6	-0.2	53.6	940.0	白	189	65.5	2.2	65.5	72.0	無
155	51.0	17.5	53.9	1217.0	白	190	65.9	-2.3	66.0	5.8	無
156	54.2	2.2	54.2	5.5	無	191	68.3	-1.7	68.3	54.6	無
157	54.1	-4.4	54.3	41.6	白	192	68.4	1.2	68.4	75.4	無
158	53.3	-10.5	54.3	36.5	白	193	68.5	-1.8	68.5	24.2	白
159	53.8	-10.1	54.7	82.8	白	194	68.9	1.6	68.9	53.3	無
160	54.8	1.7	54.8	27.4	無	195	69.8	1.5	69.8	700.0	無
161	56.4	-5.0	56.6	22.4	白	196	70.0	-3.0	70.1	5.5	無
162	56.6	-0.4	56.6	6.6	無	197	70.3	0.8	70.3	11.1	無
163	56.8	1.3	56.8	46.5	無	198	71.0	-2.7	71.0	520.0	白
164	55.7	-11.5	56.8	327.0	白	199	72.3	0.1	72.3	20.2	無
165	57.1	-3.3	57.2	8.3	無	200	72.5	-4.0	72.7	899.0	白
166	57.3	2.2	57.3	9.2	無	201	72.7	4.1	72.8	56.3	無
167	57.2	-4.1	57.4	10.7	白	202	72.6	8.6	73.1	47.5	無
168	57.2	-5.8	57.5	50.1	白	203	78.3	1.9	78.3	61.1	無
169	57.8	0.6	57.8	8.9	無	204	78.7	1.2	78.7	39.2	無
170	57.8	-4.1	58.0	15.6	無						
171	57.8	-9.2	58.5	2445.0	白						
172	59.2	0.4	59.2	24.2	無						
173	59.1	4.5	59.3	40.8	無						
174	61.5	0.1	61.5	8.0	白						
175	61.5	-2.1	61.6	7.5	白						

表 4.A.5-3-01 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1	20.1	-0.8	20.1	5.6	無	36	23.2	1.6	23.3	13.9	無
2	20.3	-2.1	20.4	15.6	無	37	23.4	-0.1	23.4	11.0	無
3	19.9	4.4	20.4	38.7	赤	38	23.5	-2.5	23.6	3180.0	赤
4	20.3	2.2	20.4	7.9	無	39	23.6	-1.3	23.6	6.9	無
5	20.0	4.4	20.5	25.0	赤	40	23.6	2.1	23.7	129.9	赤
6	20.5	1.6	20.6	82.0	無	41	23.6	2.1	23.7	154.9	無
7	20.7	1.3	20.7	25.3	赤	42	23.7	1.0	23.7	18.3	赤
8	20.3	4.1	20.7	13.1	無	43	23.6	3.1	23.8	90.2	赤
9	20.8	-0.5	20.8	8.4	無	44	23.7	3.0	23.9	3620.0	赤
10	20.5	3.4	20.8	45.1	赤	45	23.8	3.2	24.0	29.9	無
11	20.3	4.9	20.9	226.5	赤	46	24.4	0.3	24.4	31.4	無
12	20.9	2.4	21.0	61.9	無	47	23.8	6.4	24.6	20.4	赤
13	21.2	-0.2	21.2	12.9	無	48	24.8	-0.1	24.8	24.2	赤
14	21.2	-0.2	21.2	5.7	無	49	24.7	2.2	24.8	12.7	無
15	21.3	1.5	21.4	23.6	無	50	24.9	-0.1	24.9	11.3	無
16	20.9	-5.2	21.5	1020.0	無	51	24.5	4.5	24.9	8.4	無
17	21.4	-1.6	21.5	9.3	無	52	24.9	0.3	24.9	13.0	無
18	20.9	5.0	21.5	340.0	赤	53	25.0	0.4	25.0	28.9	無
19	21.6	1.5	21.7	19.8	無	54	25.0	1.4	25.0	17.2	無
20	21.7	1.7	21.8	600.0	無	55	25.2	-0.4	25.2	5.3	無
21	21.9	-1.4	22.0	62.2	無	56	24.9	-4.6	25.3	360.0	赤
22	21.9	2.7	22.0	803.0	赤	57	25.3	-1.3	25.3	935.0	無
23	21.9	-3.3	22.1	6.0	無	58	25.2	1.8	25.3	5.2	無
24	22.2	-0.2	22.2	6.7	無	59	25.0	-4.4	25.4	16.7	無
25	22.3	-0.7	22.3	7.7	無	60	25.1	4.1	25.4	10.8	無
26	22.3	-0.7	22.3	16.0	無	61	25.3	-3.5	25.5	89.2	赤
27	21.9	4.6	22.3	8.3	無	62	25.5	0.9	25.5	140.8	無
28	22.1	3.7	22.4	10.9	無	63	25.6	1.3	25.6	41.4	赤
29	22.3	-3.2	22.5	67.5	赤	64	25.4	3.0	25.6	19.3	赤
30	22.0	4.6	22.5	63.0	赤	65	25.8	-0.7	25.8	10.5	無
31	22.0	4.6	22.5	6.4	無	66	25.4	4.9	25.9	110.0	無
32	22.2	4.6	22.6	8.6	赤	67	25.9	0.8	25.9	8.6	赤
33	22.7	2.0	22.8	30.7	無	68	25.9	0.9	25.9	24.3	無
34	22.3	4.8	22.8	16.0	無	69	26.0	2.2	26.0	11.1	赤
35	23.1	-2.9	23.3	6.0	無	70	26.3	2.2	26.3	1916.0	赤

表 4.A.5-3-02 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
71	26.5	0.3	26.5	5.9	無	106	30.1	4.2	30.3	11.6	無
72	26.5	-2.5	26.6	19.5	無	107	30.1	2.8	30.3	6.7	無
73	26.4	3.4	26.6	10.4	無	108	30.3	1.8	30.4	8.8	無
74	26.8	-0.9	26.8	165.2	無	109	30.4	0.3	30.4	18.7	赤
75	26.7	3.0	26.9	14.7	無	110	30.5	-1.1	30.5	58.6	無
76	27.0	-1.4	27.0	10.4	赤	111	30.2	4.0	30.5	5.7	無
77	27.2	-1.2	27.2	15.3	無	112	29.7	7.3	30.6	39.5	赤
78	27.2	1.7	27.3	9.0	無	113	30.6	1.4	30.6	60.8	赤
79	27.3	-3.0	27.5	10.5	無	114	30.3	4.5	30.6	7.0	無
80	26.6	-7.3	27.5	189.0	無	115	30.5	2.7	30.7	24.6	無
81	27.4	1.8	27.5	5.1	赤	116	30.5	2.9	30.7	8.6	無
82	27.4	2.9	27.6	8.6	無	117	31.0	1.4	31.0	20.7	無
83	27.5	-3.8	27.7	11.2	無	118	31.1	0.2	31.1	19.1	無
84	27.7	-0.5	27.7	10.5	無	119	31.2	1.2	31.2	10.2	赤
85	27.5	4.2	27.8	277.3	赤	120	30.3	-7.9	31.3	128.8	赤
86	27.7	2.6	27.8	10.4	無	121	31.3	-0.6	31.3	9.0	無
87	27.7	3.0	27.9	5.5	無	122	31.4	-1.4	31.4	107.6	赤
88	27.7	-4.2	28.0	20.7	無	123	31.4	1.1	31.4	8.0	赤
89	28.0	-3.9	28.3	5.0	赤	124	31.4	1.6	31.5	16.2	赤
90	28.1	-3.7	28.3	31.8	無	125	31.6	-0.2	31.6	132.5	赤
91	28.6	0.9	28.6	15.2	無	126	31.5	-3.4	31.7	46.6	赤
92	28.5	1.7	28.6	11.0	無	127	31.6	2.7	31.7	9.3	赤
93	28.4	3.9	28.7	11.7	無	128	31.8	-1.4	31.8	29.4	無
94	28.6	3.1	28.8	68.4	無	129	31.8	2.3	31.8	74.4	赤
95	28.9	-1.6	28.9	14.1	赤	130	31.9	0.4	31.9	20.0	無
96	29.0	-2.4	29.1	27.5	無	131	31.9	-3.2	32.0	303.0	赤
97	29.2	1.3	29.2	26.8	無	132	31.9	3.6	32.1	31.1	赤
98	29.3	2.8	29.5	8.6	赤	133	32.0	4.3	32.2	9.4	無
99	29.2	5.2	29.6	11.7	赤	134	32.2	-2.4	32.3	15.5	無
100	29.5	-5.1	29.9	45.7	赤	135	32.4	-3.1	32.5	11.6	無
101	29.8	2.1	29.9	8.5	無	136	32.1	4.8	32.5	66.2	赤
102	29.8	-4.0	30.1	18.7	無	137	32.7	-1.9	32.7	9.2	無
103	29.8	3.9	30.1	11.3	無	138	32.8	2.6	32.9	8.3	無
104	30.1	-3.5	30.3	22.9	赤	139	31.9	8.3	33.0	49.2	赤
105	30.0	4.2	30.3	6.3	赤	140	32.9	-6.1	33.4	382.0	赤

表 4.A.5-3-03 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
141	33.4	0.7	33.4	7.0	無	176	36.0	2.9	36.1	29.6	赤
142	33.3	3.6	33.5	5.4	無	177	36.0	3.4	36.2	11.4	無
143	33.5	3.8	33.7	5.9	無	178	36.3	0.1	36.3	11.6	無
144	33.8	-0.5	33.8	42.2	赤	179	36.4	-0.5	36.4	29.7	赤
145	33.9	2.8	34.0	38.6	無	180	36.2	4.4	36.4	236.9	無
146	33.8	3.6	34.0	9.1	無	181	36.2	4.0	36.4	8.2	無
147	33.8	4.8	34.1	10.1	無	182	36.4	1.8	36.4	17.1	無
148	34.3	-0.6	34.3	156.0	無	183	36.7	0.2	36.7	35.0	赤
149	34.3	1.6	34.3	24.7	無	184	36.3	5.2	36.7	8.8	無
150	33.8	5.8	34.3	307.0	赤	185	36.8	0.0	36.8	52.0	赤
151	34.2	1.9	34.3	236.4	無	186	36.8	0.0	36.8	5.6	無
152	34.4	-0.5	34.4	314.0	赤	187	36.8	-1.4	36.9	20.9	無
153	34.3	5.0	34.7	9.5	無	188	36.7	4.4	36.9	1960.0	無
154	34.6	-3.6	34.8	70.4	無	189	37.0	0.0	37.0	8.7	無
155	34.6	5.2	34.9	7.5	無	190	37.1	1.7	37.1	49.1	無
156	35.1	0.0	35.1	7.4	無	191	37.0	2.3	37.1	18.6	無
157	35.2	-0.1	35.2	42.1	無	192	35.5	10.8	37.1	308.0	赤
158	34.9	5.5	35.3	1033.0	赤	193	37.1	4.0	37.3	6.6	無
159	35.4	2.5	35.4	19.2	赤	194	37.3	3.8	37.5	49.5	赤
160	35.3	2.9	35.4	5.5	無	195	37.5	0.4	37.5	13.6	無
161	35.6	-1.4	35.6	14.3	無	196	37.5	0.6	37.5	7.9	赤
162	35.6	-1.3	35.6	249.6	赤	197	37.6	2.4	37.7	60.3	無
163	35.6	-0.9	35.6	67.8	赤	198	35.5	12.7	37.7	336.0	赤
164	35.6	1.3	35.6	279.5	赤	199	37.6	5.1	37.9	7.1	赤
165	31.2	17.1	35.6	1007.0	赤	200	37.7	4.8	38.0	5.8	無
166	35.7	-1.3	35.7	11.0	無	201	37.7	4.9	38.0	9.7	無
167	35.7	1.1	35.7	7.6	無	202	38.1	-0.3	38.1	121.0	無
168	35.8	-3.1	35.9	10.1	赤	203	38.1	-2.4	38.2	26.4	無
169	34.0	11.6	35.9	122.5	赤	204	38.1	3.5	38.2	107.2	無
170	35.4	6.2	35.9	71.8	赤	205	38.1	-3.9	38.3	23.7	無
171	36.0	1.8	36.0	33.2	赤	206	38.4	-0.2	38.4	8.0	無
172	36.0	2.3	36.0	6.2	無	207	38.4	-4.0	38.6	19.5	無
173	36.1	-0.5	36.1	11.6	無	208	38.6	0.6	38.6	74.0	無
174	36.1	1.5	36.1	48.9	無	209	38.6	0.5	38.6	7.1	無
175	35.9	3.3	36.1	13.8	赤	210	38.7	0.4	38.7	8.6	無

表 4.A.5-3-04 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
211	38.7	3.0	38.8	127.8	赤	246	41.8	0.7	41.8	274.4	赤
212	38.8	2.5	38.9	140.3	赤	247	41.1	7.7	41.8	148.2	赤
213	38.8	2.5	38.9	109.6	無	248	41.8	2.7	41.9	9.7	無
214	38.8	-4.0	39.0	8.9	無	249	41.0	8.9	41.9	94.9	赤
215	38.8	4.4	39.0	7.7	無	250	42.0	0.9	42.0	13.4	無
216	39.0	-3.6	39.2	33.8	赤	251	41.0	9.2	42.0	72.4	赤
217	39.2	-3.6	39.3	76.1	無	252	42.0	-2.7	42.0	16.1	赤
218	39.1	-4.6	39.4	43.6	無	253	42.1	-2.3	42.1	89.6	赤
219	39.1	-4.6	39.4	70.0	無	254	42.1	-2.9	42.2	25.1	無
220	39.4	-3.9	39.5	12.8	赤	255	42.2	4.0	42.4	15.2	無
221	38.9	7.8	39.7	118.7	無	256	42.4	-1.0	42.4	6.1	無
222	39.8	1.5	39.8	1740.0	赤	257	42.6	-3.2	42.7	19.1	無
223	39.9	0.3	39.9	5.4	無	258	42.5	-4.5	42.8	14.4	赤
224	39.7	4.2	39.9	7.9	無	259	42.2	-6.9	42.8	23.2	無
225	39.1	8.3	40.0	55.7	無	260	42.7	4.2	42.9	1494.0	赤
226	40.1	-0.9	40.1	5.2	無	261	42.9	1.4	42.9	9.0	無
227	39.9	4.1	40.1	46.0	赤	262	42.9	0.8	42.9	12.3	無
228	40.2	-0.1	40.2	20.4	赤	263	42.5	-6.0	42.9	256.6	赤
229	40.2	-0.2	40.2	8.3	無	264	43.0	1.9	43.1	14.2	無
230	39.9	4.5	40.2	5.0	無	265	42.3	-8.1	43.1	71.6	赤
231	40.4	2.2	40.4	267.2	赤	266	40.5	15.1	43.2	111.9	赤
232	40.3	-2.3	40.4	52.8	無	267	43.3	1.3	43.3	728.0	無
233	40.6	-0.8	40.6	5.1	赤	268	43.2	-3.3	43.3	11.4	無
234	40.7	-3.1	40.8	9.5	無	269	43.3	1.4	43.4	8.0	無
235	41.0	-2.4	41.0	7.2	無	270	43.4	2.6	43.4	207.6	赤
236	40.0	9.4	41.1	560.0	無	271	43.4	-2.1	43.5	11.1	無
237	40.5	-8.2	41.3	65.3	無	272	43.4	-2.1	43.5	5.0	無
238	41.4	-2.3	41.4	7.9	無	273	43.6	2.3	43.7	201.5	無
239	41.5	1.2	41.5	9.6	無	274	43.8	1.0	43.8	26.8	無
240	41.5	2.0	41.5	39.7	無	275	43.8	-0.8	43.8	5.9	無
241	41.5	2.0	41.5	7.6	無	276	43.0	-8.0	43.8	86.1	赤
242	41.4	3.4	41.5	5.6	赤	277	43.7	-4.8	43.9	24.3	無
243	41.5	2.5	41.6	34.0	無	278	44.1	2.3	44.1	180.8	無
244	41.6	-0.6	41.6	43.2	無	279	44.1	0.5	44.1	11.4	無
245	41.4	-5.3	41.7	29.5	赤	280	44.1	-0.4	44.1	5.0	赤

表 4.A.5-3-05 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
281	44.1	-2.9	44.2	5.8	無	316	47.2	1.3	47.3	9.4	無
282	44.1	4.8	44.3	88.6	赤	317	47.2	1.9	47.3	13.7	無
283	44.3	1.9	44.4	8.7	無	318	47.3	2.1	47.3	57.3	赤
284	44.3	4.5	44.5	64.8	無	319	47.2	3.0	47.3	8.7	無
285	44.5	1.5	44.6	12.8	無	320	47.1	4.4	47.3	6.2	無
286	44.7	-1.3	44.7	46.5	無	321	47.4	0.9	47.4	11.2	無
287	44.8	-3.6	44.9	11.6	無	322	47.5	-2.3	47.6	167.7	無
288	44.8	4.3	45.0	20.4	無	323	47.5	3.3	47.6	8.4	無
289	45.1	-2.1	45.2	7.6	無	324	47.4	4.8	47.6	6.6	無
290	45.3	-1.0	45.3	124.4	赤	325	47.6	2.5	47.7	6.6	無
291	45.4	-1.1	45.4	7.2	赤	326	47.9	-1.7	47.9	5.7	赤
292	45.2	4.0	45.4	9.7	無	327	47.9	-0.3	47.9	5.3	無
293	45.6	-1.1	45.6	16.0	赤	328	47.6	-5.2	47.9	78.1	無
294	45.6	1.3	45.6	9.1	無	329	47.5	-6.4	47.9	11.3	赤
295	45.6	3.0	45.7	5.8	無	330	48.0	-3.7	48.1	5.5	無
296	45.8	-1.5	45.8	2620.0	赤	331	47.9	3.7	48.1	7.9	無
297	45.7	-2.0	45.8	5.3	無	332	48.0	2.8	48.1	6.6	無
298	45.7	2.1	45.8	15.0	無	333	48.1	1.7	48.1	5.9	無
299	45.7	-4.4	45.9	7.1	無	334	48.0	-4.8	48.2	33.3	無
300	46.0	1.4	46.0	8.8	無	335	48.2	-3.1	48.3	6.8	無
301	46.0	1.5	46.0	17.9	無	336	48.3	0.5	48.3	7.7	無
302	46.0	1.7	46.0	11.3	無	337	46.1	15.2	48.5	74.0	赤
303	46.2	-0.3	46.2	14.4	無	338	48.6	2.0	48.6	9.9	無
304	46.2	1.5	46.2	216.4	赤	339	47.7	-10.0	48.7	1060.0	赤
305	46.3	-2.2	46.4	7.1	無	340	48.7	1.4	48.7	7.0	無
306	46.6	-0.6	46.6	11.9	無	341	48.8	-1.5	48.8	68.5	無
307	46.4	4.3	46.6	8.1	無	342	48.8	1.7	48.8	22.9	赤
308	46.7	-0.7	46.7	5.5	無	343	48.9	-0.6	48.9	9.3	無
309	46.6	-3.0	46.7	5.9	無	344	49.1	1.4	49.1	15.0	無
310	46.5	4.2	46.7	5.8	無	345	49.2	-1.2	49.2	7.1	無
311	46.6	-3.7	46.8	1420.0	無	346	49.1	2.5	49.2	6.0	無
312	46.8	-2.0	46.8	12.9	無	347	49.1	-4.7	49.3	12.1	赤
313	46.8	2.3	46.8	8.4	無	348	49.2	3.2	49.3	16.0	無
314	46.9	2.5	47.0	10.4	無	349	49.3	3.8	49.4	30.0	無
315	47.3	-0.3	47.3	33.6	無	350	49.4	1.8	49.4	23.7	無

表 4.A.5-3-06 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
351	49.4	-3.2	49.5	37.5	無	386	50.7	-2.5	50.7	17.5	無
352	49.3	4.3	49.5	8.0	無	387	50.6	-4.0	50.7	41.0	無
353	49.5	1.6	49.5	6.1	無	388	50.7	-0.6	50.7	5.3	無
354	49.5	-2.9	49.6	5.9	無	389	50.8	0.7	50.8	10.6	赤
355	49.5	2.8	49.6	9.1	赤	390	50.8	0.2	50.8	11.5	無
356	49.7	-0.4	49.7	8.6	無	391	50.8	-0.9	50.8	15.6	無
357	49.6	4.0	49.7	6.1	無	392	50.9	2.3	50.9	5.5	無
358	49.8	-3.6	49.9	5.1	無	393	51.0	-3.1	51.0	4940.0	赤
359	49.9	1.5	49.9	6.4	無	394	50.8	-4.5	51.0	54.9	赤
360	49.9	1.5	49.9	7.0	無	395	51.1	1.4	51.1	6.3	無
361	49.8	1.5	49.9	7.2	無	396	51.4	-2.9	51.5	11.7	赤
362	49.8	2.2	49.9	11.1	無	397	51.5	-3.5	51.6	9.6	無
363	49.8	2.5	49.9	11.1	赤	398	51.6	-3.8	51.7	229.1	無
364	49.8	2.5	49.9	7.7	赤	399	51.6	-3.3	51.7	194.9	無
365	50.0	1.1	50.0	11.4	無	400	51.6	-4.9	51.8	33.6	無
366	49.9	-2.0	50.0	6.4	無	401	51.7	-4.6	51.9	45.6	赤
367	49.9	-2.8	50.0	6.8	無	402	52.0	0.2	52.0	9.0	赤
368	49.9	3.0	50.0	5.9	無	403	51.9	-4.9	52.1	229.3	赤
369	45.0	21.8	50.0	6.9	赤	404	52.2	1.4	52.2	11.0	無
370	50.0	3.6	50.1	15.8	無	405	52.1	-3.1	52.2	12.3	無
371	49.9	4.1	50.1	162.2	無	406	52.1	-3.6	52.2	9.1	無
372	50.0	4.1	50.2	25.4	無	407	52.2	3.5	52.3	42.0	無
373	50.0	4.7	50.2	10.3	赤	408	52.3	0.1	52.3	9.0	無
374	50.3	2.0	50.3	615.0	赤	409	52.1	-3.7	52.3	76.1	無
375	50.3	2.4	50.3	9.7	無	410	52.1	-5.8	52.4	38.8	無
376	50.0	5.8	50.3	3500.0	無	411	52.4	-2.2	52.4	18.0	無
377	49.0	-11.4	50.3	2360.0	赤	412	52.5	3.5	52.6	10.8	無
378	49.8	6.9	50.3	17.1	赤	413	52.2	-6.1	52.6	680.0	赤
379	47.8	15.9	50.3	151.2	赤	414	52.0	-7.8	52.6	320.0	赤
380	50.2	-4.3	50.3	96.9	赤	415	52.2	-5.9	52.6	37.7	赤
381	50.3	-2.5	50.4	8.5	無	416	52.7	0.5	52.7	18.0	無
382	50.5	-2.0	50.5	7.6	無	417	52.6	-3.2	52.7	16.9	無
383	50.6	2.1	50.6	40.6	無	418	52.5	-5.2	52.8	47.0	無
384	50.0	8.1	50.6	30.8	赤	419	52.9	-0.7	52.9	13.8	赤
385	49.1	13.0	50.7	75.0	赤	420	53.1	-3.5	53.2	9.7	無

表 4.A.5-3-07 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
421	53.8	-1.6	53.8	14.7	無	456	57.1	-0.9	57.1	10.3	無
422	53.9	1.3	53.9	45.0	赤	457	56.5	9.2	57.2	324.0	無
423	54.1	1.8	54.1	31.9	赤	458	57.2	-1.2	57.2	26.4	無
424	54.1	-1.5	54.1	25.1	無	459	57.2	3.4	57.3	9.2	赤
425	54.2	-0.8	54.2	19.0	無	460	57.3	-0.7	57.3	6.9	赤
426	54.2	3.3	54.3	285.0	赤	461	57.4	2.9	57.5	18.0	無
427	54.4	-1.0	54.4	10.0	無	462	57.4	6.2	57.7	50.2	赤
428	54.7	-4.0	54.8	6.8	赤	463	57.7	2.6	57.8	19.7	無
429	53.9	-10.8	55.0	3040.0	赤	464	57.5	-5.6	57.8	41.1	無
430	55.1	1.7	55.1	10.5	無	465	57.9	-2.4	57.9	8.9	無
431	55.2	0.8	55.2	27.5	赤	466	57.5	-7.7	58.0	43.2	無
432	55.3	-0.7	55.3	6.0	無	467	57.9	4.2	58.1	8.8	赤
433	55.4	0.4	55.4	344.0	無	468	57.2	9.9	58.1	93.0	赤
434	55.3	4.2	55.5	68.2	無	469	57.8	5.5	58.1	46.3	無
435	55.1	7.4	55.5	105.9	無	470	58.1	-2.0	58.1	13.0	無
436	55.4	-3.5	55.5	6.8	無	471	58.1	-2.4	58.1	64.9	無
437	55.5	-0.3	55.5	15.5	無	472	58.3	4.8	58.4	66.0	無
438	55.6	-1.3	55.6	7.0	赤	473	58.3	3.4	58.4	1300.0	赤
439	54.7	-10.2	55.6	7.5	赤	474	58.5	2.0	58.5	69.0	無
440	55.7	0.4	55.7	22.2	無	475	58.4	-5.3	58.6	11.9	赤
441	55.6	-3.7	55.7	17.8	無	476	58.4	-5.2	58.6	9.2	無
442	55.7	-1.1	55.7	8.6	無	477	58.1	-7.1	58.6	5.5	無
443	55.7	-6.0	56.0	34.8	無	478	58.5	5.0	58.7	30.5	無
444	55.9	-3.8	56.0	9.0	無	479	58.7	-4.7	58.9	6.0	無
445	56.1	4.2	56.2	13.0	無	480	58.9	1.6	59.0	11.0	無
446	56.1	3.9	56.3	8.6	無	481	59.2	3.4	59.2	15.3	赤
447	56.2	3.9	56.3	13.4	無	482	59.2	2.2	59.2	49.0	無
448	56.1	-5.8	56.3	20.7	赤	483	59.1	-2.5	59.2	55.3	無
449	55.6	10.9	56.6	118.3	赤	484	58.7	-8.4	59.3	130.0	無
450	56.7	1.4	56.7	7.1	無	485	58.8	-7.9	59.3	8.6	無
451	56.3	7.8	56.8	3600.0	赤	486	59.0	7.3	59.4	22.3	赤
452	56.6	-5.0	56.8	80.0	赤	487	59.5	-1.7	59.5	9.1	無
453	56.8	2.8	56.9	8.0	無	488	59.1	7.0	59.6	13.3	無
454	56.8	-2.8	56.9	32.0	無	489	59.6	1.0	59.6	6.7	無
455	57.0	-1.4	57.0	7.1	赤	490	59.5	-3.3	59.6	9.1	無

表 4.A.5-3-08 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
491	59.7	1.3	59.7	8.5	無	526	60.8	8.5	61.4	45.7	無
492	59.6	3.5	59.7	69.6	赤	527	61.1	6.7	61.5	14.1	無
493	59.8	2.3	59.8	22.1	赤	528	60.1	13.5	61.6	4540.0	赤
494	59.9	1.6	59.9	64.2	無	529	61.6	-2.9	61.7	11.5	赤
495	59.8	-2.0	59.9	6.3	無	530	61.4	7.5	61.8	49.5	赤
496	59.5	-6.7	59.9	13.0	無	531	61.9	1.6	61.9	5.5	無
497	60.1	4.0	60.2	12.7	赤	532	61.9	0.5	61.9	8.5	無
498	60.1	4.0	60.2	6.5	無	533	61.9	-2.7	62.0	16.3	無
499	60.2	-3.5	60.2	8.0	無	534	62.1	2.9	62.1	11.0	無
500	60.2	-0.9	60.2	18.0	赤	535	61.8	-6.0	62.1	15.1	無
501	60.2	-0.4	60.2	28.7	無	536	62.1	-0.9	62.1	12.6	無
502	60.4	0.4	60.4	11.4	無	537	62.1	-1.0	62.1	10.3	無
503	59.5	-10.5	60.4	270.0	赤	538	62.0	5.9	62.2	7.9	無
504	60.5	1.6	60.5	23.5	無	539	62.0	5.7	62.3	9.1	無
505	60.4	-3.1	60.5	9.8	無	540	62.6	-0.4	62.6	44.9	無
506	60.5	-2.8	60.6	9.6	無	541	62.7	-0.2	62.7	9.0	無
507	60.6	-1.1	60.6	5.2	無	542	62.6	2.7	62.7	156.0	無
508	60.5	-4.9	60.7	13.4	無	543	62.3	8.4	62.9	88.6	無
509	60.7	-0.7	60.7	15.6	無	544	62.4	-8.0	62.9	609.0	赤
510	60.2	8.7	60.8	34.0	無	545	63.0	2.2	63.0	11.2	赤
511	60.8	-1.8	60.8	19.0	無	546	62.9	3.7	63.0	19.7	無
512	60.3	-8.8	60.9	10.3	無	547	62.8	6.4	63.1	134.9	無
513	60.9	-1.1	60.9	55.7	無	548	62.8	-6.2	63.1	9.6	赤
514	60.5	8.3	61.0	5.6	赤	549	63.1	2.1	63.1	13.6	無
515	60.7	-6.2	61.0	11.6	無	550	63.2	-0.8	63.2	8.5	無
516	60.9	-3.5	61.0	6.7	無	551	63.3	0.8	63.3	16.6	無
517	61.0	-3.2	61.1	8.9	無	552	63.5	-1.1	63.5	6.6	無
518	61.1	4.3	61.2	12.3	無	553	63.5	-1.2	63.5	13.8	無
519	61.0	-4.9	61.2	2494.0	赤	554	63.9	0.4	63.9	14.1	無
520	61.3	0.6	61.3	19.7	無	555	63.7	6.6	64.0	14.5	赤
521	61.3	1.6	61.3	40.4	無	556	64.1	0.6	64.1	30.6	赤
522	61.1	5.3	61.3	62.8	無	557	64.1	-3.2	64.2	12.6	無
523	61.1	-5.4	61.3	16.8	赤	558	64.2	-0.7	64.2	36.1	赤
524	61.2	-4.1	61.3	21.7	無	559	64.1	3.4	64.2	10.5	無
525	61.3	3.3	61.4	10.7	無	560	64.3	-1.8	64.3	72.9	赤

表 4.A.5-3-09 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
561	63.8	-8.2	64.3	75.0	赤	596	66.4	7.1	66.8	5.6	無
562	64.0	8.8	64.6	10.9	赤	597	65.6	12.9	66.8	104.3	赤
563	64.6	1.9	64.6	9.8	赤	598	66.5	-7.3	66.9	152.6	無
564	64.7	0.8	64.7	15.7	無	599	66.9	1.9	66.9	38.2	無
565	65.0	2.4	65.0	76.3	無	600	66.7	5.8	66.9	77.1	赤
566	64.8	-5.0	65.0	31.7	赤	601	67.0	-1.4	67.0	11.0	無
567	64.8	-5.2	65.0	17.5	無	602	67.0	2.3	67.0	6.3	無
568	65.0	-1.0	65.0	6.3	無	603	67.0	4.4	67.1	19.5	無
569	64.5	8.5	65.1	10.3	無	604	67.0	-6.1	67.2	5080.0	赤
570	64.9	4.7	65.1	14.5	赤	605	67.2	-0.2	67.2	5.0	無
571	65.2	-1.9	65.2	10.3	無	606	67.2	2.5	67.2	5.0	無
572	65.2	-3.5	65.2	22.7	無	607	67.1	3.5	67.2	236.2	赤
573	65.2	4.9	65.3	81.8	無	608	67.7	-1.3	67.7	13.1	無
574	65.2	-5.0	65.4	12.8	無	609	67.6	8.5	68.1	5.6	無
575	65.0	-6.6	65.4	933.0	赤	610	68.3	-3.9	68.4	22.2	無
576	65.3	4.7	65.4	10.4	無	611	68.3	-3.3	68.4	7.4	無
577	65.3	5.0	65.4	32.1	無	612	68.4	1.6	68.4	5.9	無
578	65.4	3.5	65.5	13.9	赤	613	68.3	4.3	68.4	6.6	無
579	65.6	-1.5	65.6	7.9	無	614	68.5	-1.2	68.5	14.0	赤
580	65.6	-3.8	65.7	74.4	無	615	68.6	0.8	68.6	32.1	赤
581	65.7	4.0	65.8	5.8	無	616	68.4	4.3	68.6	2380.0	無
582	65.6	6.3	65.9	7.0	無	617	68.9	3.8	69.0	20.7	無
583	65.8	-5.3	66.0	6.8	無	618	68.9	3.7	69.0	16.9	無
584	66.1	-6.1	66.3	52.7	赤	619	68.9	3.2	69.0	6.7	無
585	66.3	0.6	66.3	10.0	無	620	69.0	-4.2	69.1	6.8	無
586	66.3	1.1	66.3	13.3	無	621	68.9	-6.3	69.1	17.8	無
587	66.5	-2.0	66.5	197.8	無	622	68.9	5.4	69.1	7.3	無
588	66.5	0.4	66.5	6.7	無	623	69.2	-0.6	69.2	7.0	無
589	66.6	0.6	66.6	6.2	無	624	69.3	-2.5	69.3	56.3	無
590	66.6	2.4	66.6	27.3	赤	625	69.1	5.2	69.3	13.9	無
591	66.3	-6.6	66.6	5.1	無	626	69.0	5.8	69.3	83.0	赤
592	66.7	-1.3	66.7	20.0	無	627	69.2	5.4	69.4	23.7	無
593	66.1	9.0	66.7	15.1	赤	628	69.4	1.7	69.4	7.2	無
594	66.3	7.1	66.7	3220.0	赤	629	69.1	-7.4	69.5	7.4	無
595	66.6	6.3	66.8	5.5	無	630	69.5	2.2	69.5	5.0	無

表 4.A.5-3-10 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
631	69.5	5.9	69.7	35.0	赤	666	74.6	6.0	74.8	7.1	無
632	69.1	8.7	69.7	2840.0	赤	667	74.7	6.1	74.9	10.0	赤
633	69.8	0.6	69.8	23.5	無	668	75.1	5.2	75.2	14.7	無
634	69.9	1.3	69.9	50.6	無	669	74.7	9.3	75.3	44.2	無
635	69.7	7.1	70.1	11.2	無	670	75.3	0.1	75.3	16.9	無
636	68.6	15.3	70.3	1261.0	赤	671	75.4	0.0	75.4	480.0	赤
637	70.0	9.3	70.6	8.7	赤	672	75.0	7.8	75.4	104.9	無
638	69.1	14.4	70.6	237.2	赤	673	75.0	8.0	75.4	7.4	無
639	70.6	1.6	70.6	9.0	無	674	74.1	14.6	75.5	166.0	赤
640	70.7	-1.8	70.7	11.4	無	675	73.6	18.7	75.9	363.0	赤
641	70.7	2.6	70.8	8.0	無	676	74.4	15.7	76.0	58.0	赤
642	70.5	-7.8	70.9	18.0	赤	677	75.9	-8.6	76.4	53.2	無
643	71.0	-2.8	71.0	13.2	無	678	76.5	-0.1	76.5	21.1	無
644	71.0	1.0	71.0	23.5	無	679	76.6	-2.9	76.7	45.6	無
645	71.3	-0.4	71.3	58.0	無	680	76.6	-3.9	76.7	11.7	無
646	71.3	-1.9	71.4	20.0	無	681	76.8	-2.6	76.8	57.5	無
647	71.3	-3.5	71.4	8.9	無	682	76.9	-1.1	76.9	40.2	無
648	71.5	1.9	71.5	6.5	無	683	77.0	-2.9	77.0	284.0	赤
649	71.5	-5.9	71.7	6.3	無	684	77.2	-0.2	77.2	23.6	無
650	71.7	-3.8	71.8	9.2	無	685	77.2	-1.8	77.2	19.2	赤
651	72.2	-2.1	72.3	7.5	無	686	77.5	-0.2	77.5	15.7	無
652	72.2	4.2	72.3	15.4	無	687	77.7	0.8	77.7	22.1	無
653	72.4	1.5	72.4	35.6	無	688	77.7	-0.4	77.7	13.6	無
654	72.3	5.9	72.5	134.0	赤	689	77.3	-7.5	77.7	8.0	無
655	72.5	-3.6	72.6	8.5	無	690	77.8	0.1	77.8	40.3	無
656	72.4	-5.9	72.7	540.0	赤	691	77.9	1.1	77.9	5.1	無
657	72.7	2.3	72.8	48.6	無	692	78.1	-4.5	78.2	12.9	無
658	72.9	4.8	73.1	46.6	無	693	78.4	-4.3	78.5	6.5	赤
659	73.2	4.3	73.3	16.7	無	694	78.6	-6.4	78.9	80.8	無
660	73.5	-2.8	73.5	240.4	無	695	78.9	-4.2	79.0	116.5	赤
661	73.6	0.8	73.6	37.0	無	696	78.7	-7.0	79.0	173.0	無
662	74.2	2.3	74.2	18.2	無	697	79.2	5.0	79.3	39.8	無
663	74.3	-0.9	74.3	22.2	無	698	79.4	5.0	79.5	7.9	無
664	74.3	6.4	74.5	6.8	無	699	79.5	5.8	79.7	1284.0	赤
665	74.6	5.0	74.8	16.6	無	700	79.6	4.4	79.7	11.1	無

表 4.A.5-3-11 飛散物回収結果 (実験 No.1-3)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
701	79.4	8.2	79.8	910.0	赤	736	85.6	3.3	85.7	68.6	無
702	79.6	6.6	79.8	11.6	赤	737	85.9	-0.2	85.9	500.0	無
703	79.8	3.2	79.9	15.5	赤	738	85.8	-7.9	86.2	6.1	無
704	79.6	7.3	79.9	13.8	無	739	85.9	-8.8	86.3	10.0	無
705	80.0	-1.4	80.0	18.2	無	740	86.3	4.6	86.4	252.2	無
706	80.0	6.2	80.2	12.5	無	741	86.6	1.6	86.6	24.1	無
707	80.2	-0.7	80.2	8.2	無	742	86.6	0.1	86.6	30.2	無
708	80.1	5.5	80.3	5.5	無	743	87.5	1.1	87.5	222.1	無
709	80.2	6.5	80.4	10.7	無	744	87.6	3.6	87.7	159.8	赤
710	80.5	-1.4	80.5	9.0	無	745	87.7	0.8	87.7	5.9	赤
711	80.6	-0.5	80.6	76.5	赤	746	87.8	3.5	87.8	10.0	無
712	80.4	-8.5	80.9	273.7	赤	747	87.6	-6.3	87.8	11.9	赤
713	82.1	0.8	82.1	5.7	無	748	87.6	9.0	88.0	91.0	無
714	82.3	3.0	82.3	15.2	赤	749	88.3	5.1	88.4	12.6	無
715	81.9	-8.9	82.4	13.1	無	750	88.6	8.4	88.9	7.4	無
716	82.2	-6.8	82.5	58.5	無	751	88.8	-6.6	89.0	272.9	赤
717	82.6	-5.0	82.7	57.6	無	752	89.1	1.2	89.1	278.6	赤
718	82.8	-2.6	82.8	240.0	赤	753	89.2	8.2	89.6	18.6	無
719	83.1	-5.3	83.3	35.2	無	754	90.0	3.9	90.1	176.3	赤
720	83.1	-7.9	83.5	17.0	無	755	90.0	6.8	90.2	7.6	無
721	83.5	2.0	83.5	10.5	無	756	90.3	2.6	90.4	25.0	無
722	83.5	-5.4	83.6	76.3	無	757	91.0	3.1	91.1	16.5	無
723	84.0	5.4	84.1	12.1	無	758	92.0	2.1	92.0	6.7	無
724	83.9	-7.8	84.2	24.2	無	759	92.0	-3.6	92.0	6.7	無
725	84.5	-1.0	84.5	35.5	無	760	91.3	11.9	92.1	29.0	赤
726	84.3	7.2	84.6	25.9	無	761	91.4	11.0	92.1	27.3	赤
727	84.6	-4.7	84.7	7.6	無	762	92.9	4.6	93.0	28.8	無
728	84.6	6.1	84.8	225.3	赤	763	93.2	3.7	93.2	17.2	無
729	84.9	3.0	84.9	231.1	無	764	93.5	3.4	93.6	35.4	無
730	84.8	5.4	85.0	352.0	赤	765	94.1	5.4	94.3	7.3	無
731	85.3	0.6	85.3	67.9	赤	766	95.4	1.2	95.4	17.4	無
732	85.3	3.0	85.4	38.9	無	767	97.9	-2.9	98.0	5.9	無
733	85.2	-6.5	85.4	206.0	無	768	98.2	6.9	98.4	132.4	無
734	85.3	4.9	85.5	5.7	無	769	98.4	-0.5	98.4	29.9	無
735	85.7	0.9	85.7	40.9	無	770	98.8	9.4	99.2	340.0	無

4.A.5-3-12 飛散物回収結果（実験 No.1-3）

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
771	99.8	-0.1	99.8	6.8	赤
772	99.6	9.1	100.0	10.4	赤
773	100.1	-2.4	100.1	12.5	無
774	100.7	4.7	100.8	19.0	無
775	103.3	4.4	103.3	15.1	無
776	107.3	11.4	107.9	1200.0	赤
777	108.6	12.3	109.3	92.5	赤
778	109.2	-8.3	109.5	593.0	赤
779	110.6	-3.4	110.7	26.7	赤
780	111.9	-3.6	111.9	126.9	赤
781	115.5	0.0	115.5	14.0	赤
782	116.0	7.5	116.2	880.0	赤
783	116.8	3.7	116.9	33.0	無

表 4.A.5-4-01 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1	20.2	-0.1	20.2	25.0	黄	36	22.2	2.4	22.3	65.4	無
2	20.2	0.0	20.2	11.0	無	37	22.1	-3.7	22.4	12.1	黄
3	20.2	-0.1	20.2	14.0	黄	38	22.2	-3.7	22.5	7.7	黄
4	20.1	-2.5	20.3	12450	黄	39	22.5	1.2	22.5	13.0	黄
5	20.2	1.2	20.3	1700.0	黄	40	22.3	3.4	22.5	268.0	黄
6	20.3	0.2	20.3	8.0	無	41	22.7	-1.4	22.8	23.5	黄
7	20.4	-1.3	20.4	560.0	黄	42	22.8	1.2	22.8	34.0	無
8	20.4	0.4	20.4	380.0	黄	43	22.8	-1.3	22.8	17.6	無
9	20.4	1.4	20.4	14.0	無	44	22.9	0.8	22.9	23.0	無
10	20.5	0.2	20.5	9.0	黄	45	22.7	2.6	22.9	6.7	無
11	20.5	1.6	20.6	19.0	黄	46	22.8	1.4	22.9	32.0	黄
12	20.5	1.4	20.6	9.0	黄	47	22.8	2.4	23.0	78.0	黄
13	20.6	1.6	20.6	960.0	黄	48	22.8	2.8	23.0	14.0	無
14	20.7	0.5	20.7	560.0	黄	49	23.0	0.9	23.0	9.0	無
15	20.6	-3.0	20.8	8.0	無	50	23.1	-0.5	23.1	13.9	無
16	20.9	0.8	20.9	9.0	無	51	23.1	-1.0	23.1	11.7	無
17	20.8	-2.4	20.9	10.0	無	52	23.0	-2.8	23.1	15.6	黄
18	20.9	0.8	21.0	7.0	無	53	23.1	-1.0	23.1	17.7	無
19	20.6	4.7	21.1	820.0	黄	54	23.2	-0.7	23.2	840.0	黄
20	21.2	0.6	21.2	20.0	無	55	22.9	-4.1	23.3	10.8	無
21	21.2	0.6	21.2	6.0	無	56	22.9	4.1	23.3	16.0	無
22	21.2	0.0	21.2	9.0	無	57	23.2	2.6	23.3	5.7	無
23	21.0	3.2	21.3	108.3	無	58	23.3	1.9	23.4	130.0	黄
24	20.9	4.0	21.3	3720.0	黄	59	23.4	-0.8	23.4	36.5	無
25	21.3	-0.2	21.3	11.2	無	60	22.7	-5.7	23.4	27.9	黄
26	21.3	1.9	21.3	78.0	無	61	23.1	3.7	23.4	8.3	無
27	21.5	0.1	21.5	15200	黄	62	23.2	-3.7	23.5	10.0	無
28	21.5	1.2	21.6	1560.0	黄	63	23.3	-3.5	23.5	5.4	無
29	21.7	0.6	21.7	7.0	無	64	23.6	-0.9	23.6	10.3	黄
30	21.7	-0.5	21.7	21.3	無	65	23.5	-2.7	23.7	6.2	無
31	21.8	1.3	21.8	22.0	無	66	23.7	1.8	23.7	32.0	無
32	21.9	0.6	21.9	40.0	無	67	23.4	-4.3	23.8	21.1	無
33	22.0	0.7	22.0	39.0	無	68	23.7	2.3	23.8	7.0	無
34	21.9	-3.0	22.1	23.0	無	69	23.8	1.3	23.8	64.0	無
35	22.3	-0.9	22.3	6.5	無	70	23.6	3.5	23.8	9.3	無

表 4.A.5-4-02 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
71	23.8	1.9	23.9	89.0	無	106	25.1	-1.4	25.2	12.1	無
72	23.8	1.8	23.9	420.0	黄	107	25.2	1.3	25.2	60.0	無
73	24.1	-0.6	24.1	11.1	無	108	25.2	2.5	25.3	78.0	無
74	24.1	-1.5	24.1	9.2	無	109	25.2	2.5	25.3	31.0	無
75	24.1	-1.5	24.1	18.8	無	110	24.3	7.3	25.3	36.5	黄
76	24.0	2.9	24.1	670.0	無	111	25.6	-0.1	25.6	8.2	黄
77	24.2	-0.4	24.2	15.1	無	112	24.3	8.3	25.7	160.0	黄
78	23.8	-4.5	24.2	24.8	無	113	25.7	0.0	25.7	23.1	黄
79	24.3	-0.1	24.3	78.3	黄	114	25.7	-1.3	25.7	9.3	無
80	24.4	-0.6	24.4	10.0	無	115	25.8	1.4	25.8	82.0	無
81	24.4	1.1	24.4	13.0	無	116	23.4	11.2	26.0	1100.0	黄
82	24.1	-4.0	24.4	79.3	黄	117	26.0	-1.5	26.0	6.7	無
83	24.4	1.2	24.4	9.0	無	118	25.6	4.7	26.0	22.0	無
84	24.4	-1.3	24.4	6.3	無	119	26.1	0.4	26.1	18.6	無
85	24.4	0.5	24.4	5.0	無	120	25.9	-3.3	26.1	20.2	黄
86	24.4	2.2	24.5	8660.0	黄	121	25.7	4.8	26.1	380.0	無
87	24.4	0.8	24.5	5.0	無	122	26.2	-1.4	26.2	9.7	無
88	24.5	0.8	24.5	13.0	黄	123	26.1	-2.9	26.2	12.2	黄
89	24.5	0.8	24.5	12.0	黄	124	26.1	-2.9	26.2	7.1	無
90	24.3	3.8	24.6	5.3	無	125	26.1	-2.9	26.3	23.9	無
91	24.4	3.6	24.7	7.0	無	126	25.9	4.3	26.3	84.0	無
92	24.7	1.4	24.7	20.0	無	127	26.3	0.8	26.3	10.7	無
93	24.5	3.6	24.7	5.6	無	128	26.3	-1.4	26.3	9.9	無
94	24.8	-0.6	24.8	11.7	無	129	26.1	3.5	26.4	106.0	無
95	24.8	-0.6	24.8	5.5	無	130	26.3	1.6	26.4	23.0	無
96	24.9	1.7	24.9	9.0	無	131	26.3	2.1	26.4	80.0	黄
97	24.9	-0.2	24.9	7.5	無	132	25.4	7.7	26.5	194.0	無
98	24.9	1.7	25.0	7.8	無	133	26.4	-3.6	26.6	216.0	無
99	24.9	1.7	25.0	10.0	無	134	26.8	-0.8	26.8	10.5	黄
100	24.9	2.8	25.0	42.5	黄	135	26.8	0.5	26.8	16.3	無
101	25.0	-1.6	25.1	90.8	黄	136	26.9	-0.1	26.9	5.2	無
102	25.1	-1.1	25.1	20.5	無	137	26.9	-0.2	26.9	5.8	無
103	24.9	3.5	25.1	19.7	無	138	26.9	-0.1	26.9	34.1	無
104	25.1	-1.1	25.1	13.6	黄	139	27.0	0.0	27.0	30.1	無
105	25.1	-1.1	25.1	37.4	黄	140	26.7	-3.9	27.0	8.9	無

表 4.A.5-4-03 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
141	27.0	0.8	27.0	71.0	無	176	28.5	0.2	28.5	8.9	無
142	27.1	0.1	27.1	22.1	無	177	28.2	-4.4	28.5	15.3	無
143	27.1	-1.6	27.1	26.1	黄	178	28.5	0.6	28.5	340.0	無
144	25.3	9.9	27.2	52.0	無	179	28.6	0.6	28.6	14.8	無
145	27.2	2.0	27.2	66.0	無	180	28.6	1.0	28.6	5.4	無
146	27.1	-3.8	27.3	23.7	無	181	28.6	-0.5	28.6	84.0	無
147	27.3	1.3	27.4	13.9	無	182	28.6	1.2	28.6	15.1	無
148	26.8	-5.7	27.4	29.7	黄	183	28.6	1.3	28.6	11.7	無
149	27.5	-2.1	27.6	6.1	黄	184	28.5	-3.7	28.7	11.2	無
150	27.6	1.7	27.7	19.0	無	185	28.7	1.6	28.8	12.2	無
151	27.4	-3.6	27.7	34.5	黄	186	28.8	1.1	28.8	10.9	無
152	27.6	2.4	27.7	30.0	無	187	28.6	3.4	28.8	150.0	無
153	27.7	1.0	27.7	72.0	無	188	28.5	3.8	28.8	660.0	無
154	27.8	1.7	27.8	200.0	無	189	28.6	3.1	28.8	147.0	無
155	27.7	3.1	27.9	136.0	無	190	28.8	-0.5	28.8	247.0	黄
156	27.9	1.2	27.9	11.5	無	191	28.6	3.4	28.8	6.5	無
157	27.7	3.1	27.9	20.0	黄	192	28.8	1.7	28.9	13.2	無
158	27.7	3.2	27.9	97.0	無	193	28.7	-3.3	28.9	5.5	無
159	27.8	3.0	28.0	57.0	無	194	28.7	-3.6	28.9	370.0	黄
160	27.8	3.0	28.0	12.5	無	195	28.8	3.0	29.0	7.9	無
161	27.9	-2.8	28.0	4300.0	黄	196	28.8	3.0	29.0	8.1	無
162	27.8	3.2	28.0	6.2	無	197	28.9	3.6	29.1	23.0	無
163	27.4	6.1	28.1	290.0	黄	198	28.9	3.7	29.1	14.0	無
164	28.1	-0.6	28.1	11.7	無	199	29.2	-1.0	29.2	194.5	無
165	28.1	-0.5	28.1	5.2	無	200	28.6	5.9	29.2	5.6	無
166	28.2	0.7	28.2	7.1	無	201	28.8	4.8	29.2	43.6	無
167	28.1	2.2	28.2	18.0	無	202	29.1	-2.8	29.3	6.2	無
168	28.2	-0.6	28.2	9.6	無	203	29.0	3.7	29.3	95.0	無
169	28.3	-0.5	28.3	633.0	黄	204	29.3	-0.5	29.3	13.6	黄
170	28.2	2.2	28.3	20.0	無	205	29.3	-0.5	29.3	40.0	黄
171	28.2	-2.5	28.3	20.6	無	206	29.3	-0.5	29.3	18.2	黄
172	28.3	-0.5	28.3	10.9	無	207	29.3	-0.6	29.3	8.0	無
173	28.4	-0.5	28.4	12.0	無	208	29.3	-0.3	29.3	16.3	黄
174	28.3	1.7	28.4	12.4	無	209	29.3	-0.3	29.3	5.7	黄
175	28.4	-0.2	28.4	11.8	無	210	29.3	2.2	29.3	6.9	無

表 4.A.5-4-04 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
211	29.0	4.7	29.3	520.0	無	246	29.7	1.2	29.7	11.7	無
212	29.3	1.9	29.3	32.0	無	247	29.8	-1.0	29.8	7.5	無
213	29.3	-0.3	29.3	14.6	無	248	29.7	-2.7	29.8	16.4	無
214	29.4	-0.2	29.4	55.8	無	249	29.8	-1.7	29.9	73.2	無
215	29.4	1.1	29.4	13.9	無	250	29.7	-2.7	29.9	5.9	無
216	29.4	-0.6	29.4	11.4	無	251	29.9	-0.8	29.9	17.0	黄
217	29.4	1.6	29.4	8.7	無	252	29.8	-1.9	29.9	14.0	無
218	29.4	1.9	29.5	6160.0	無	253	29.6	4.1	29.9	15.9	無
219	29.5	-0.8	29.5	19.9	無	254	29.9	-0.6	29.9	6.9	無
220	29.4	2.4	29.5	12.7	無	255	29.5	5.0	29.9	10.2	無
221	29.5	-0.9	29.5	10.2	無	256	29.7	-4.1	30.0	5.8	無
222	29.5	0.1	29.5	18.0	無	257	29.7	4.6	30.0	39.0	無
223	29.5	2.0	29.5	13.9	無	258	29.9	2.3	30.0	14.6	無
224	29.5	2.0	29.5	9.0	無	259	30.0	1.3	30.0	6.3	無
225	29.5	1.0	29.5	11.7	無	260	30.0	0.7	30.1	18.5	無
226	29.5	1.1	29.5	8.2	無	261	30.1	2.3	30.1	460.0	無
227	29.5	-0.8	29.5	7.4	無	262	30.1	-1.0	30.2	45.5	無
228	29.5	1.3	29.5	10.9	無	263	30.1	2.5	30.2	11.1	無
229	29.5	0.8	29.5	7.3	無	264	29.9	-5.1	30.3	147.2	黄
230	29.5	-1.6	29.5	6.0	無	265	30.3	0.4	30.3	11.6	無
231	29.5	-1.4	29.6	8.7	無	266	30.3	1.3	30.4	5.8	無
232	29.6	-0.8	29.6	13.3	無	267	30.4	1.2	30.4	29.1	無
233	29.5	-2.1	29.6	5.5	無	268	30.3	2.3	30.4	12.6	無
234	29.6	0.9	29.6	7.9	無	269	30.3	2.5	30.4	6.5	無
235	29.6	1.0	29.6	11.1	無	270	30.2	4.1	30.4	136.2	無
236	29.5	1.9	29.6	6.4	無	271	30.3	2.7	30.4	23.0	黄
237	29.6	1.6	29.6	14.8	無	272	30.5	-0.8	30.5	230.0	無
238	29.5	-2.9	29.6	130.0	無	273	30.5	1.0	30.5	6.7	無
239	29.5	2.4	29.6	9.5	無	274	30.4	-2.8	30.5	21.0	無
240	29.6	1.4	29.6	40.0	無	275	30.0	-5.8	30.6	86.4	無
241	29.6	1.1	29.6	44.0	無	276	30.5	2.6	30.6	9.9	無
242	29.6	2.0	29.6	8.9	無	277	30.6	1.4	30.6	5.0	無
243	29.4	-4.2	29.7	8.4	無	278	30.5	2.6	30.6	6.1	無
244	29.5	3.4	29.7	7.9	無	279	30.5	-3.4	30.6	400.0	黄
245	29.7	-2.1	29.7	10.4	無	280	30.7	-1.0	30.7	21.0	無

表 4.A.5-4-05 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
281	30.7	-1.4	30.7	5.6	無	316	31.8	-2.3	31.8	61.6	無
282	30.5	3.7	30.7	14.4	無	317	31.8	-1.6	31.8	5.6	無
283	30.5	3.7	30.7	14.4	無	318	31.8	-3.2	31.9	13.5	無
284	30.3	5.1	30.7	5.9	無	319	31.8	-2.8	32.0	11.4	黄
285	30.7	-0.9	30.7	36.2	無	320	31.9	1.8	32.0	52.6	無
286	30.7	-1.7	30.8	30.0	無	321	32.0	0.2	32.0	7.4	無
287	30.7	2.9	30.8	53.1	無	322	31.9	-2.9	32.0	11.4	無
288	30.7	2.2	30.8	13.3	無	323	32.0	-0.7	32.0	5.6	無
289	30.8	-1.6	30.9	5.3	無	324	31.9	2.1	32.0	41.5	無
290	30.8	2.5	30.9	24.7	無	325	31.9	2.5	32.0	36.2	無
291	30.0	-7.7	31.0	20.7	黄	326	31.9	3.8	32.1	11.3	無
292	31.0	-2.5	31.1	60.0	無	327	32.0	3.5	32.2	25.1	無
293	31.1	1.1	31.1	10.3	無	328	32.2	-1.1	32.2	5.3	無
294	31.1	1.4	31.1	46.4	無	329	32.2	2.5	32.3	10.6	無
295	30.9	4.4	31.2	11.7	無	330	32.2	2.1	32.3	173.4	無
296	31.2	0.4	31.2	7.6	無	331	32.2	-2.4	32.3	17.3	無
297	31.0	3.8	31.2	16.9	無	332	32.3	-0.6	32.3	6.1	無
298	31.0	4.1	31.2	8.1	無	333	32.2	-3.3	32.4	8.3	黄
299	31.1	3.9	31.3	22.2	無	334	32.4	-1.2	32.4	3340.0	黄
300	31.3	1.1	31.3	11.1	無	335	32.3	-3.2	32.4	13.5	無
301	31.2	3.3	31.4	5.6	無	336	32.4	1.4	32.4	116.8	無
302	31.4	1.8	31.4	13.1	無	337	32.5	0.7	32.5	60.9	無
303	31.3	2.6	31.4	6.5	無	338	32.5	-1.2	32.6	15.2	無
304	31.3	-3.3	31.5	9.2	無	339	32.6	-0.2	32.6	12.3	無
305	31.5	-1.2	31.5	13.5	無	340	32.2	5.1	32.6	66.6	黄
306	31.3	3.4	31.5	8.9	無	341	32.5	3.2	32.6	10.6	無
307	31.4	2.2	31.5	97.3	無	342	32.7	-0.6	32.7	200.0	無
308	31.5	1.6	31.5	11.7	無	343	32.6	-2.2	32.7	22.0	無
309	31.6	-0.1	31.6	7.5	無	344	32.6	3.2	32.7	8.0	無
310	31.6	0.0	31.6	11.9	黄	345	32.7	-1.9	32.7	9.7	無
311	31.3	4.4	31.6	17.0	無	346	32.3	5.3	32.7	480.0	黄
312	31.6	-0.6	31.6	58.9	無	347	32.6	3.7	32.8	11.4	無
313	31.7	-0.5	31.7	6.6	無	348	32.8	-1.4	32.8	6.8	無
314	31.6	-2.4	31.7	66.5	無	349	32.8	0.5	32.8	89.9	無
315	31.8	0.2	31.8	17.2	無	350	32.8	-2.2	32.8	382.0	黄

表 4.A.5-4-06 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
351	32.7	-2.7	32.8	34.8	無	386	33.9	4.9	34.3	14.9	無
352	32.8	-1.5	32.9	5.7	無	387	34.3	-2.0	34.3	18.3	黄
353	32.8	-2.1	32.9	24.0	無	388	34.3	0.0	34.3	8.2	無
354	32.8	2.6	32.9	15.4	無	389	34.2	-3.5	34.3	84.4	無
355	32.9	2.6	33.0	6200.0	無	390	34.3	-2.6	34.4	7.8	無
356	32.9	-3.2	33.0	12.6	黄	391	34.4	0.2	34.4	14.8	無
357	32.8	3.7	33.0	6.5	無	392	34.3	-1.5	34.4	6.7	無
358	33.0	-2.3	33.1	48.1	無	393	34.4	-2.7	34.5	5.1	無
359	33.2	0.4	33.2	6.9	無	394	34.4	-2.8	34.5	35.5	無
360	33.2	0.6	33.2	11.6	無	395	34.5	1.2	34.6	12.9	無
361	33.3	-0.5	33.3	85.6	無	396	34.5	2.7	34.6	15.5	無
362	33.3	-0.6	33.3	6.5	無	397	34.6	-2.4	34.6	29.9	無
363	33.3	2.0	33.4	38.8	無	398	34.7	1.8	34.8	7.0	無
364	33.4	-0.5	33.4	8.6	無	399	34.8	1.9	34.9	17.9	無
365	33.6	0.6	33.6	5.6	無	400	34.9	1.6	34.9	43.0	無
366	33.6	-0.1	33.6	8.6	無	401	35.0	-1.0	35.0	685.0	無
367	33.3	-4.6	33.6	208.2	黄	402	35.0	1.9	35.0	48.7	無
368	33.5	-2.4	33.6	488.0	黄	403	34.8	-3.5	35.0	21.8	無
369	33.7	1.4	33.7	15.9	無	404	35.0	1.0	35.0	13.9	無
370	33.8	1.3	33.8	5.9	無	405	35.1	0.4	35.1	15.5	無
371	33.8	0.4	33.8	29.2	無	406	35.0	3.0	35.1	8.3	無
372	33.8	1.9	33.8	14.6	無	407	35.2	-2.0	35.2	198.8	無
373	33.9	1.2	33.9	9.9	無	408	35.2	-1.0	35.2	218.7	無
374	33.8	2.9	33.9	8.1	無	409	35.1	-4.0	35.4	5.0	無
375	33.9	-0.8	33.9	17.5	無	410	35.2	-4.0	35.4	26.6	無
376	33.6	-4.6	33.9	1480.0	黄	411	35.2	-4.0	35.5	17.2	無
377	33.8	3.3	34.0	26.0	無	412	35.5	-0.9	35.5	16.3	無
378	34.0	1.2	34.0	31.4	無	413	35.3	-4.4	35.6	148.7	黄
379	33.7	4.3	34.0	5.5	無	414	35.3	5.2	35.6	24.3	黄
380	34.0	1.1	34.0	8.1	無	415	35.4	4.2	35.7	136.5	黄
381	34.0	0.8	34.0	14.4	無	416	35.6	3.1	35.7	35.0	無
382	34.0	-1.5	34.0	6.0	無	417	35.5	-4.0	35.8	12.9	無
383	33.9	-3.5	34.1	9.3	無	418	35.8	-1.9	35.8	27.4	無
384	34.1	1.6	34.1	10.2	無	419	35.7	-3.0	35.9	39.3	無
385	34.2	2.1	34.3	5.5	無	420	35.6	4.4	35.9	19.4	黄

表 4.A.5-4-07 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
421	35.1	-7.6	35.9	39.3	黄	456	37.3	-2.2	37.4	9.2	無
422	35.9	-2.0	35.9	8.4	無	457	37.5	1.6	37.5	112.3	黄
423	36.0	-0.1	36.0	10.1	無	458	37.5	1.2	37.5	70.6	無
424	36.0	1.7	36.0	9.0	無	459	37.6	1.1	37.6	16.5	無
425	36.0	0.5	36.0	16.3	無	460	37.1	-5.8	37.6	56.3	黄
426	35.9	-2.9	36.1	9.7	無	461	37.4	-3.6	37.6	58.3	黄
427	35.7	-4.9	36.1	11.0	無	462	37.5	-3.5	37.6	13.2	無
428	35.7	5.3	36.1	220.8	黄	463	37.6	-2.0	37.6	24.7	無
429	36.0	3.3	36.1	20.8	無	464	37.5	3.4	37.7	480.0	黄
430	36.1	-3.0	36.2	7.0	無	465	37.2	-6.4	37.7	186.5	黄
431	36.0	-4.0	36.2	6.8	無	466	37.7	1.4	37.7	23.2	無
432	36.1	-3.0	36.2	11.1	無	467	37.4	-5.6	37.8	675.0	黄
433	36.2	2.5	36.3	19.1	無	468	37.8	2.8	37.9	158.8	黄
434	35.9	5.1	36.3	560.0	黄	469	37.9	2.7	38.0	6.1	無
435	36.3	0.5	36.3	13.6	無	470	37.8	-4.0	38.0	23.9	無
436	36.2	-3.0	36.3	12.8	無	471	37.9	-2.0	38.0	7.5	無
437	36.3	-2.0	36.4	7.8	無	472	38.0	-1.7	38.0	18.4	無
438	36.3	-2.9	36.4	49.1	無	473	37.8	-4.0	38.1	17.4	無
439	36.5	1.3	36.5	12.3	無	474	38.0	-2.3	38.1	6.3	無
440	36.5	-1.9	36.6	122.9	無	475	38.1	0.8	38.1	9.7	無
441	36.1	-5.8	36.6	609.0	黄	476	38.0	3.4	38.1	13.3	無
442	36.5	2.6	36.6	18.0	無	477	38.1	1.4	38.1	16.5	無
443	36.6	-0.9	36.6	14.2	無	478	38.1	1.3	38.1	14.0	無
444	36.6	-3.0	36.7	8.3	無	479	37.9	4.9	38.2	112.6	黄
445	36.8	-2.0	36.8	13.1	無	480	38.1	-2.4	38.2	17.2	無
446	36.8	2.5	36.8	21.7	無	481	37.0	-9.8	38.3	26.5	黄
447	35.9	-8.2	36.8	37.8	黄	482	38.3	-0.7	38.3	24.1	無
448	36.7	-2.9	36.9	7.3	無	483	38.3	2.7	38.4	10.9	無
449	36.8	1.8	36.9	9.1	無	484	38.3	-2.3	38.4	7.0	無
450	36.9	0.7	36.9	8.5	無	485	38.3	2.4	38.4	19.8	無
451	36.9	-0.9	36.9	14.2	無	486	38.4	-0.5	38.4	15.8	無
452	36.8	4.2	37.1	100.2	黄	487	38.3	2.5	38.4	41.8	無
453	37.1	-2.5	37.2	15.6	無	488	38.4	-2.3	38.5	11.6	無
454	36.8	-5.5	37.2	331.0	無	489	38.5	0.0	38.5	31.2	無
455	37.2	1.6	37.2	10.8	無	490	38.4	-3.0	38.5	7.6	赤

表 4.A.5-4-08 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
491	38.5	2.5	38.5	93.6	黄	526	39.4	1.1	39.4	12.0	無
492	38.6	1.2	38.6	80.0	無	527	39.5	1.2	39.5	5.1	無
493	38.6	1.3	38.6	16.2	無	528	39.5	1.9	39.5	13.2	無
494	38.5	3.2	38.6	66.2	無	529	39.3	-3.7	39.5	37.7	黄
495	38.7	1.2	38.7	600.0	黄	530	39.5	-2.3	39.6	7.0	無
496	38.7	1.2	38.7	36.3	無	531	38.6	-9.0	39.6	149.4	黄
497	38.7	1.5	38.7	52.8	黄	532	39.6	2.7	39.7	133.1	黄
498	38.7	1.4	38.8	7.7	無	533	39.4	-5.4	39.7	3960.0	黄
499	38.8	0.2	38.8	10.0	無	534	39.6	-3.8	39.7	14.8	無
500	38.7	0.9	38.8	320.0	黄	535	39.2	-6.4	39.8	117.7	黄
501	38.7	1.7	38.8	8.2	無	536	39.8	-0.4	39.8	33.4	無
502	38.8	0.2	38.8	14.1	無	537	39.7	-2.6	39.8	29.4	黄
503	38.8	1.2	38.8	42.4	黄	538	39.8	-1.8	39.8	21.4	無
504	38.7	2.6	38.8	37.2	無	539	39.7	3.7	39.8	24.8	無
505	38.8	1.9	38.8	35.8	黄	540	39.8	1.4	39.8	13.5	無
506	38.8	-0.6	38.8	12.2	無	541	39.9	-0.4	39.9	6.7	無
507	38.9	-0.9	38.9	98.4	黄	542	39.8	-3.4	39.9	705.0	無
508	38.8	-2.7	38.9	109.3	黄	543	39.9	1.8	39.9	9.9	無
509	38.7	3.3	38.9	48.6	無	544	39.9	-0.4	39.9	10.7	無
510	38.7	-3.9	38.9	44.3	無	545	39.9	2.4	40.0	6.6	無
511	38.7	4.7	39.0	205.0	黄	546	40.0	-1.8	40.0	12.4	無
512	39.0	1.3	39.0	9.7	無	547	40.0	1.2	40.0	10.6	無
513	39.0	1.9	39.0	7.6	無	548	40.0	2.4	40.0	9.6	無
514	38.9	3.7	39.0	53.3	無	549	39.8	-4.2	40.0	5240.0	黄
515	39.0	-0.7	39.0	172.3	無	550	39.5	-6.5	40.0	170.3	黄
516	39.0	1.1	39.1	6.0	無	551	39.8	-4.4	40.1	37.4	無
517	39.0	2.8	39.1	226.3	黄	552	40.0	-3.1	40.1	84.1	黄
518	38.9	-4.3	39.2	426.0	黄	553	40.2	0.3	40.2	5.0	無
519	39.1	2.7	39.2	10.7	無	554	40.2	1.8	40.2	9.5	無
520	39.2	1.0	39.2	13.5	無	555	40.2	1.1	40.2	14.5	無
521	39.2	-1.5	39.2	167.5	無	556	40.0	4.1	40.2	87.4	黄
522	39.1	3.7	39.2	41.7	無	557	40.2	2.0	40.2	13.0	無
523	39.1	3.5	39.3	8.9	無	558	40.2	-2.9	40.3	11.3	無
524	39.3	0.1	39.3	13.2	無	559	40.3	-0.1	40.3	5.3	無
525	39.2	-3.4	39.3	110.0	黄	560	40.1	-4.4	40.3	19.5	無

表 4.A.5-4-09 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
561	40.3	-0.1	40.3	35.8	無	596	41.3	1.5	41.3	15.6	無
562	40.3	1.8	40.4	17.0	黄	597	41.3	-2.3	41.4	5.2	無
563	40.4	0.3	40.4	48.2	無	598	41.3	2.2	41.4	6.8	無
564	40.2	-4.6	40.4	20.0	無	599	41.4	0.1	41.4	6.5	無
565	40.3	3.3	40.4	9.1	無	600	41.4	-0.4	41.4	10.1	無
566	40.2	4.5	40.4	24.6	無	601	41.4	2.4	41.5	5.7	無
567	40.5	-0.9	40.5	58.8	黄	602	41.3	3.6	41.5	10.1	無
568	40.5	0.5	40.5	9.6	無	603	41.4	2.3	41.5	5.3	無
569	37.2	16.0	40.5	295.0	黄	604	41.5	-0.6	41.5	6.4	無
570	40.5	2.1	40.5	19.6	無	605	41.7	-1.8	41.7	17.8	無
571	40.6	0.9	40.6	75.2	無	606	41.7	1.7	41.7	21.1	黄
572	40.4	3.7	40.6	6.2	無	607	41.7	1.1	41.7	6.5	無
573	40.6	1.3	40.6	7.7	無	608	41.8	1.1	41.8	11.7	無
574	40.6	0.8	40.6	5.3	無	609	41.8	-1.3	41.8	11.0	黄
575	40.4	4.5	40.7	23.9	黄	610	41.7	3.7	41.8	15.6	無
576	40.7	0.3	40.7	5.7	無	611	41.9	-0.3	41.9	7.3	無
577	40.4	5.1	40.7	1860.0	黄	612	41.8	-1.9	41.9	5.2	無
578	40.7	0.3	40.7	9.9	無	613	41.8	2.6	41.9	22.8	無
579	40.7	0.6	40.7	8.1	無	614	41.9	-1.9	41.9	5.4	無
580	40.3	6.3	40.8	22.6	無	615	41.9	-2.8	42.0	9.8	無
581	40.8	-0.8	40.8	15.0	無	616	42.0	0.8	42.0	6.8	無
582	40.8	-0.3	40.8	6.6	無	617	41.7	5.2	42.0	108.5	黄
583	40.8	1.4	40.9	24.7	無	618	41.8	4.0	42.0	54.7	無
584	40.7	-4.2	40.9	490.0	黄	619	42.0	0.5	42.0	12.3	無
585	40.8	3.3	41.0	7.8	無	620	42.1	0.1	42.1	12.5	無
586	40.8	3.7	41.0	27.8	無	621	42.1	1.0	42.1	5.1	無
587	40.9	3.4	41.0	15.6	無	622	42.1	1.1	42.1	5.3	無
588	41.0	2.4	41.1	27.4	無	623	42.1	-1.3	42.1	10.2	無
589	41.1	1.0	41.1	23.5	無	624	42.0	2.9	42.1	5.8	無
590	41.1	-2.0	41.2	7.8	黄	625	42.2	0.0	42.2	49.0	無
591	41.0	3.4	41.2	6.7	無	626	42.1	2.2	42.2	7.8	無
592	41.2	-2.0	41.2	6.0	無	627	42.1	1.7	42.2	5.4	無
593	41.2	-0.8	41.2	5.8	無	628	42.2	0.0	42.2	6.3	無
594	41.2	-1.7	41.2	5.7	無	629	42.2	-1.7	42.2	14.2	黄
595	41.2	3.0	41.3	74.5	無	630	42.2	-1.3	42.2	10.9	無

表 4.A.5-4-10 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
631	42.1	3.3	42.2	18.3	無	666	43.1	-0.9	43.1	7.9	無
632	42.0	-4.2	42.2	345.0	黄	667	43.0	3.4	43.1	8.4	無
633	42.2	2.0	42.3	110.4	黄	668	43.1	0.5	43.1	10.1	無
634	42.3	0.2	42.3	10.2	無	669	43.1	-2.7	43.2	8.5	無
635	42.2	4.3	42.4	169.3	黄	670	43.3	-0.1	43.3	58.0	無
636	42.3	3.1	42.4	5.9	無	671	43.2	2.8	43.3	9.3	無
637	42.2	4.4	42.4	5.7	無	672	42.7	7.5	43.3	1340.0	無
638	42.5	0.1	42.5	9100.0	黄	673	43.2	-3.1	43.3	7.5	無
639	42.3	3.9	42.5	12.0	無	674	43.4	0.6	43.4	5.1	無
640	42.2	4.6	42.5	8.9	無	675	43.4	2.9	43.5	7.9	無
641	42.4	-3.2	42.5	117.3	黄	676	43.4	3.3	43.5	5.5	無
642	42.5	0.5	42.5	25.1	無	677	43.4	3.2	43.5	20.1	無
643	42.5	-1.9	42.5	10.5	無	678	43.4	3.8	43.6	11.9	無
644	42.5	-2.0	42.5	7.7	無	679	43.0	6.9	43.6	5080.0	黄
645	42.6	-0.4	42.6	11.2	無	680	43.6	1.0	43.6	6.3	無
646	40.5	13.3	42.6	499.0	黄	681	43.5	4.0	43.6	42.2	無
647	42.4	4.6	42.6	11.2	無	682	43.6	2.2	43.6	7.7	無
648	42.5	4.0	42.7	13.0	無	683	43.6	-2.5	43.7	33.4	無
649	42.6	-3.2	42.7	61.8	無	684	43.7	-0.8	43.7	5.4	黄
650	42.6	2.3	42.7	80.2	無	685	43.7	2.4	43.7	9.3	無
651	42.7	2.2	42.7	7.2	無	686	43.7	0.6	43.7	5.3	無
652	42.8	-0.3	42.8	8.6	黄	687	43.7	0.4	43.7	17.6	無
653	42.5	4.5	42.8	10.5	無	688	43.6	3.6	43.8	18.9	無
654	42.7	2.1	42.8	32.9	無	689	43.7	-1.2	43.8	15.4	無
655	42.8	0.9	42.8	27.5	無	690	43.7	2.6	43.8	9.1	無
656	40.8	13.2	42.9	356.0	黄	691	43.8	-1.4	43.8	8.8	無
657	43.0	0.7	43.0	17.9	無	692	43.4	6.0	43.8	117.4	無
658	40.6	14.2	43.0	128.0	黄	693	43.9	1.6	43.9	209.1	無
659	42.7	4.5	43.0	15.9	黄	694	43.8	-3.1	43.9	11.6	無
660	42.9	3.4	43.0	9.4	黄	695	43.9	2.4	43.9	6.2	無
661	42.8	-4.7	43.0	16.3	無	696	43.8	3.4	44.0	8.3	無
662	42.9	-3.5	43.0	5.5	無	697	43.9	3.8	44.0	12.2	無
663	42.8	4.5	43.1	40.0	無	698	44.0	-1.7	44.1	22.1	無
664	43.0	-3.6	43.1	788.0	無	699	44.2	-1.0	44.2	38.8	無
665	43.1	-1.0	43.1	5.4	無	700	44.1	3.2	44.2	19.9	無

表 4.A.5-4-11 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
701	44.1	3.3	44.2	21.1	無	736	45.3	1.7	45.3	9.2	無
702	43.5	8.1	44.2	51.2	黄	737	45.4	0.5	45.4	29.9	無
703	44.2	2.9	44.3	18.6	無	738	45.4	2.0	45.4	15.8	無
704	44.2	3.7	44.3	25.4	黄	739	45.4	1.1	45.4	13.2	無
705	44.3	3.2	44.4	10.9	無	740	45.4	-1.8	45.4	15.5	無
706	44.3	-2.1	44.4	21.4	黄	741	45.5	0.1	45.5	153.3	黄
707	44.5	-2.1	44.5	5.3	無	742	45.5	1.7	45.5	20.8	無
708	44.5	1.8	44.5	13.3	無	743	45.4	2.4	45.5	22.3	無
709	44.5	2.3	44.6	20.3	無	744	45.5	-2.5	45.6	119.2	黄
710	44.5	-2.0	44.6	23.0	無	745	45.6	-0.4	45.6	7.5	無
711	44.4	3.8	44.6	21.3	黄	746	45.4	4.6	45.6	27.5	黄
712	44.6	-0.9	44.6	10.7	無	747	45.6	1.9	45.6	20.2	黄
713	44.5	3.3	44.6	73.1	黄	748	45.4	4.7	45.6	44.4	黄
714	44.6	-2.0	44.6	11.4	無	749	45.6	-2.2	45.7	32.2	無
715	44.6	1.0	44.6	6.0	無	750	45.7	-1.4	45.7	8.1	無
716	44.5	4.3	44.7	32.6	無	751	45.7	-1.2	45.7	42.8	無
717	43.1	11.7	44.7	320.0	黄	752	45.6	3.6	45.7	274.4	黄
718	44.6	3.0	44.7	8.3	無	753	45.6	4.0	45.7	17.6	無
719	44.8	1.6	44.9	9.1	無	754	45.7	-1.6	45.7	39.4	無
720	44.8	3.9	44.9	102.8	黄	755	45.8	0.3	45.8	6.5	無
721	45.0	0.0	45.0	12.1	無	756	45.7	3.5	45.8	5.4	無
722	45.0	1.1	45.0	9.0	無	757	45.7	-3.7	45.9	53.9	無
723	45.0	1.8	45.0	6.1	無	758	45.9	1.7	45.9	8.2	無
724	45.0	2.0	45.0	81.1	黄	759	45.8	-2.2	45.9	45.3	無
725	45.0	0.1	45.0	9.5	無	760	45.9	-0.7	45.9	33.9	無
726	45.0	1.1	45.1	14.6	無	761	45.9	-1.0	45.9	9.8	無
727	45.1	1.2	45.1	12.7	無	762	45.9	-1.0	45.9	15.6	無
728	45.1	-0.9	45.1	9.2	無	763	45.9	2.8	46.0	11.7	無
729	45.1	-0.9	45.1	37.8	無	764	45.8	4.4	46.0	460.0	無
730	45.1	0.1	45.1	48.5	無	765	44.8	10.9	46.1	460.0	黄
731	45.2	-0.4	45.2	48.7	黄	766	46.0	3.1	46.1	23.1	無
732	42.9	14.2	45.2	364.0	黄	767	46.1	1.7	46.2	42.7	無
733	45.2	1.6	45.2	10.3	無	768	46.0	4.8	46.3	27.1	無
734	45.2	-1.9	45.2	401.0	黄	769	46.2	2.8	46.3	17.1	無
735	45.1	3.7	45.3	27.5	無	770	46.2	4.5	46.4	9.2	無

表 4.A.5-4-12 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
771	46.3	3.4	46.4	36.5	無	806	47.4	-3.5	47.5	8.1	無
772	46.5	3.9	46.6	800.0	黄	807	47.3	-4.3	47.5	5.9	無
773	46.6	-2.6	46.6	5.4	無	808	47.6	-0.6	47.6	41.2	無
774	46.7	1.2	46.7	29.7	黄	809	47.5	2.8	47.6	7.0	無
775	46.6	3.4	46.7	11.3	無	810	47.7	0.4	47.7	108.5	無
776	46.6	3.5	46.7	12.6	無	811	47.6	3.7	47.8	7.5	黄
777	46.7	2.2	46.8	6.4	無	812	47.8	0.4	47.8	7.6	無
778	46.7	-0.8	46.8	11.1	無	813	47.8	1.0	47.8	15.6	無
779	46.8	-0.8	46.8	14.2	無	814	47.8	0.0	47.8	27.2	無
780	46.9	-1.5	46.9	69.7	無	815	47.7	3.5	47.8	189.9	無
781	46.9	1.7	46.9	10.7	無	816	47.7	3.3	47.8	5.0	黄
782	46.8	3.1	46.9	12.4	無	817	47.7	3.2	47.9	18.2	無
783	46.9	1.7	47.0	5.3	無	818	47.8	3.2	47.9	27.1	無
784	46.9	-1.3	47.0	14.4	黄	819	47.9	0.2	47.9	24.8	無
785	47.0	-0.3	47.0	14.0	無	820	47.8	4.4	48.0	111.4	無
786	46.8	3.9	47.0	7.6	無	821	47.8	4.6	48.1	13.0	無
787	46.8	-4.3	47.0	10.9	黄	822	47.8	4.6	48.1	9.9	無
788	47.0	2.4	47.0	57.3	無	823	48.0	2.6	48.1	24.7	無
789	47.0	-2.3	47.1	6.4	無	824	47.9	4.3	48.1	132.6	黄
790	46.9	4.3	47.1	112.8	黄	825	48.1	0.7	48.1	5.0	無
791	46.9	4.1	47.1	7.1	無	826	48.1	2.2	48.2	167.6	無
792	46.9	-4.3	47.1	8.0	無	827	48.1	2.1	48.2	9.6	無
793	47.0	3.5	47.1	47.6	黄	828	48.0	4.0	48.2	22.7	黄
794	46.9	4.4	47.1	7.4	黄	829	48.2	1.5	48.2	6.0	黄
795	47.1	1.4	47.2	7.1	無	830	48.2	1.5	48.2	7.1	無
796	47.3	-2.0	47.3	26.6	無	831	48.0	4.7	48.2	7.3	無
797	47.3	-1.8	47.4	20.2	無	832	48.1	-3.3	48.2	70.7	無
798	47.4	-1.0	47.4	232.0	黄	833	48.2	1.5	48.2	7.1	無
799	47.2	3.9	47.4	82.9	黄	834	48.1	-4.3	48.2	17.1	無
800	47.4	-0.5	47.4	340.0	黄	835	48.2	1.5	48.3	5.3	無
801	47.2	4.6	47.4	12.9	黄	836	48.2	-1.0	48.3	122.0	黄
802	47.4	1.6	47.5	10.5	無	837	48.0	4.6	48.3	54.3	無
803	47.5	0.2	47.5	294.5	黄	838	48.2	1.3	48.3	5.0	無
804	47.5	0.3	47.5	32.6	無	839	48.3	0.8	48.3	6.0	無
805	47.5	2.0	47.5	8.9	無	840	48.1	-4.3	48.3	6.0	黄

表 4.A.5-4-13 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
841	48.3	1.4	48.3	10.4	無	876	48.9	3.8	49.0	9.1	無
842	48.3	-1.2	48.3	5.5	無	877	49.0	0.3	49.0	19.0	無
843	48.3	-0.7	48.3	10.2	無	878	49.0	0.4	49.0	9.3	無
844	48.1	4.6	48.3	34.7	無	879	49.1	1.3	49.1	54.5	無
845	48.3	-2.1	48.3	11.5	無	880	49.0	2.8	49.1	25.3	無
846	48.3	-2.0	48.3	7.1	無	881	49.0	-2.3	49.1	5.3	黄
847	48.3	2.2	48.3	22.3	無	882	49.1	-1.5	49.1	5.0	無
848	48.3	-2.9	48.3	8.5	無	883	49.1	-1.5	49.1	298.0	無
849	48.3	-2.4	48.4	7.0	無	884	49.2	1.0	49.2	8.4	無
850	48.3	3.0	48.4	7.9	無	885	49.2	1.0	49.2	5.2	黄
851	48.4	-1.0	48.4	11.4	無	886	49.2	0.8	49.2	13.4	無
852	48.2	4.0	48.4	5.7	無	887	49.2	0.7	49.2	8.0	無
853	48.4	-1.7	48.4	10.8	無	888	49.2	2.6	49.2	27.0	無
854	48.3	3.5	48.5	13.4	無	889	49.2	-1.7	49.3	18.3	無
855	48.5	1.0	48.5	67.0	無	890	49.3	-3.6	49.4	61.0	無
856	48.4	-2.1	48.5	6.2	無	891	49.3	4.3	49.5	33.3	無
857	48.5	-0.8	48.5	40.0	無	892	49.5	-1.3	49.5	28.5	無
858	48.5	-1.2	48.5	7.3	無	893	49.4	-3.2	49.5	14.3	無
859	48.5	-1.8	48.5	9.2	無	894	49.4	-3.3	49.5	8.7	無
860	48.4	-2.8	48.5	5.1	無	895	49.4	-3.7	49.5	230.0	黄
861	48.6	0.9	48.6	10.6	無	896	49.5	1.3	49.5	3300.0	黄
862	48.6	0.5	48.6	7.0	無	897	49.5	3.1	49.6	32.0	黄
863	48.4	4.0	48.6	17.8	無	898	49.5	3.1	49.6	12.4	無
864	48.6	-2.0	48.6	6.2	無	899	49.6	-1.3	49.6	26.6	無
865	48.4	4.6	48.6	31.4	黄	900	49.5	4.4	49.7	14.1	無
866	48.5	4.1	48.6	8.7	無	901	49.6	1.3	49.7	9.3	無
867	48.7	0.6	48.7	10.5	黄	902	49.5	-3.9	49.7	16.1	無
868	48.8	0.6	48.8	5.9	無	903	49.7	-2.5	49.7	6.6	無
869	48.8	0.5	48.8	8.9	無	904	49.7	-0.8	49.7	16.0	無
870	48.8	-0.7	48.8	5.6	無	905	49.7	2.9	49.7	14.4	無
871	48.9	1.8	48.9	12.3	無	906	49.6	4.2	49.8	880.0	黄
872	48.8	3.3	48.9	21.9	無	907	49.7	4.3	49.9	9.9	無
873	49.0	0.5	49.0	8.5	無	908	49.8	-2.6	49.9	7.9	無
874	49.0	1.8	49.0	20.4	無	909	49.7	4.3	49.9	6.5	無
875	49.0	0.3	49.0	24.1	無	910	49.9	-0.8	49.9	50.1	黄

表 4.A.5-4-14 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
911	49.9	-1.4	49.9	8.7	無	946	50.4	4.1	50.5	27.8	無
912	49.9	-0.7	49.9	10.2	無	947	50.6	0.7	50.6	182.0	無
913	49.8	4.3	49.9	8.6	無	948	50.5	3.6	50.6	50.5	無
914	49.8	-3.6	50.0	5.0	無	949	50.6	-0.5	50.6	10.0	無
915	49.9	-2.5	50.0	18.4	無	950	50.2	-6.1	50.6	45.3	黄
916	50.1	-0.5	50.1	20.1	無	951	50.5	-3.7	50.6	156.6	黄
917	50.0	-1.7	50.1	6.0	無	952	50.6	-2.1	50.6	10.4	無
918	50.1	0.8	50.1	10.2	無	953	50.6	-3.1	50.7	5.1	無
919	50.0	4.3	50.1	5.2	無	954	50.7	-0.6	50.7	96.2	無
920	50.1	-1.4	50.1	8.4	無	955	50.6	-3.1	50.7	11.5	無
921	50.1	1.4	50.1	24.0	無	956	50.4	-5.8	50.8	201.8	黄
922	50.0	-4.1	50.2	24.1	無	957	50.7	1.9	50.8	143.0	無
923	50.1	2.4	50.2	8.8	無	958	50.7	-3.8	50.8	93.5	無
924	50.2	0.4	50.2	5.7	無	959	50.8	0.2	50.8	13.3	無
925	50.2	1.2	50.2	8.4	無	960	50.4	7.2	50.9	189.0	黄
926	50.2	2.1	50.2	5.5	無	961	50.9	1.1	50.9	7.0	無
927	50.2	2.1	50.2	7.8	無	962	50.9	-0.8	50.9	25.6	無
928	50.3	1.2	50.3	5.6	無	963	50.9	-1.0	50.9	12.2	黄
929	50.2	-3.3	50.3	26.5	無	964	50.8	4.8	51.0	177.7	無
930	50.2	2.0	50.3	6.2	無	965	51.0	2.9	51.0	8.9	無
931	50.3	1.2	50.3	11.1	無	966	51.0	-0.9	51.1	9.6	無
932	50.3	1.2	50.3	5.2	無	967	51.0	3.6	51.1	9.3	無
933	50.3	-0.4	50.3	5.3	無	968	51.1	-4.0	51.2	14.5	無
934	50.3	-0.7	50.3	10.0	無	969	51.1	-3.4	51.2	25.3	無
935	50.3	0.9	50.3	16.0	無	970	51.2	2.9	51.2	18.1	無
936	50.3	1.9	50.3	11.0	無	971	51.2	3.6	51.3	14.5	無
937	50.1	-4.4	50.3	48.9	無	972	51.3	2.0	51.3	10.4	無
938	50.3	1.8	50.4	8.1	無	973	51.3	0.4	51.3	36.0	無
939	50.3	1.8	50.4	7.0	無	974	51.3	2.0	51.3	10.0	無
940	50.2	4.3	50.4	102.2	無	975	51.3	3.3	51.4	10.0	無
941	50.2	4.0	50.4	16.5	黄	976	51.4	2.9	51.4	51.0	無
942	50.4	0.6	50.4	13.0	無	977	51.5	2.2	51.5	12.6	黄
943	50.4	1.0	50.4	12.6	無	978	51.4	3.6	51.6	7.3	無
944	50.5	-0.1	50.5	10.2	無	979	51.5	-1.9	51.6	170.0	無
945	50.5	0.0	50.5	10.5	黄	980	51.3	5.0	51.6	85.4	無

表 4.A.5-4-15 飛散物回収結果（実験 No.1-4）

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
981	51.6	1.6	51.6	6.3	黄	1016	52.6	1.9	52.6	266.0	無
982	51.4	4.0	51.6	9.2	無	1017	52.6	1.7	52.7	35.0	黄
983	51.5	4.0	51.6	7.4	無	1018	52.6	3.4	52.7	37.7	無
984	51.4	4.6	51.6	113.3	黄	1019	52.5	5.0	52.7	45.6	無
985	51.7	0.3	51.7	22.0	無	1020	52.5	4.8	52.7	10.3	無
986	51.8	2.2	51.9	9.4	無	1021	52.5	4.9	52.7	10.5	無
987	51.9	-1.9	51.9	14.8	無	1022	52.5	4.9	52.7	38.0	無
988	51.9	2.6	51.9	10.0	無	1023	52.6	4.7	52.8	340.0	無
989	51.9	2.6	51.9	206.0	無	1024	52.8	1.7	52.8	6.3	無
990	51.9	2.1	52.0	9.9	無	1025	52.7	-3.5	52.8	8.4	無
991	52.0	2.3	52.0	7.9	無	1026	52.4	6.6	52.8	178.9	無
992	52.0	2.7	52.0	30.0	無	1027	43.2	30.5	52.8	56.5	無
993	52.1	2.4	52.1	#####	黄	1028	52.7	-4.1	52.9	8.4	無
994	52.0	3.1	52.1	8.2	無	1029	52.8	3.3	52.9	160.0	無
995	52.0	3.1	52.1	48.0	無	1030	52.9	0.7	52.9	10.6	無
996	52.1	2.7	52.1	32.0	無	1031	52.9	-1.8	52.9	37.0	無
997	52.2	1.9	52.2	6.2	無	1032	53.0	1.2	53.0	34.0	無
998	52.1	-2.8	52.2	24.7	無	1033	52.8	-4.5	53.0	25.3	無
999	52.2	2.6	52.2	5.1	無	1034	53.0	1.0	53.0	15.0	無
1000	52.2	-2.1	52.2	17.4	無	1035	52.9	4.1	53.0	42.4	無
1001	52.2	1.9	52.3	15.0	無	1036	53.1	0.5	53.1	5.3	無
1002	52.3	0.1	52.3	11.0	無	1037	53.0	-2.9	53.1	99.6	無
1003	52.3	0.2	52.3	32.0	無	1038	53.0	3.2	53.1	7.5	無
1004	52.1	-4.3	52.3	11.7	無	1039	53.0	4.4	53.2	5.3	無
1005	52.2	3.7	52.3	6.8	無	1040	53.2	0.4	53.2	9.3	無
1006	52.3	2.2	52.3	10.0	無	1041	53.2	0.0	53.2	5904.0	黄
1007	52.3	2.4	52.4	11.0	無	1042	53.2	0.9	53.2	7.6	無
1008	52.4	-0.8	52.4	18.2	無	1043	53.1	4.3	53.2	9.4	無
1009	52.4	1.6	52.4	32.0	無	1044	53.2	0.9	53.2	31.0	無
1010	52.4	-1.9	52.4	188.1	黄	1045	53.2	1.2	53.3	7.7	無
1011	52.4	1.4	52.5	12.0	無	1046	53.2	3.3	53.3	24.1	黄
1012	52.2	-5.2	52.5	239.2	無	1047	53.1	4.8	53.3	51.7	無
1013	52.3	3.9	52.5	12.9	無	1048	53.2	4.0	53.3	88.0	無
1014	52.5	1.1	52.5	14.0	黄	1049	53.3	0.0	53.3	88.0	無
1015	52.5	3.7	52.6	10.0	無	1050	53.3	1.9	53.3	5.2	無

表 4.A.5-4-16 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1051	53.3	3.0	53.3	274.0	黄	1086	54.1	1.0	54.1	5.7	無
1052	53.4	2.1	53.4	18.7	無	1087	54.0	3.7	54.1	22.4	無
1053	53.3	-3.1	53.4	27.2	無	1088	54.1	2.2	54.1	13.7	無
1054	53.4	2.3	53.5	41.4	無	1089	54.1	1.9	54.1	22.3	無
1055	53.4	3.4	53.5	5.3	無	1090	54.2	-2.7	54.2	8.2	無
1056	53.5	0.5	53.5	7.5	無	1091	54.2	-3.2	54.3	65.1	黄
1057	53.5	1.2	53.5	7.6	無	1092	54.4	2.5	54.5	13.2	無
1058	53.5	1.0	53.5	7.8	無	1093	54.4	1.9	54.5	740.0	無
1059	53.4	4.0	53.5	12.5	無	1094	54.5	0.9	54.5	13.5	無
1060	53.6	-0.5	53.6	14.5	無	1095	54.4	3.5	54.5	23.5	無
1061	53.5	-1.6	53.6	23.6	無	1096	54.5	3.3	54.6	17.1	無
1062	53.5	-2.2	53.6	20.1	無	1097	54.5	2.4	54.6	16.4	無
1063	53.6	1.0	53.6	9.6	無	1098	54.7	1.4	54.7	13.4	無
1064	53.5	3.6	53.6	11.6	無	1099	54.7	2.6	54.7	8.1	無
1065	53.5	3.6	53.6	7.0	無	1100	54.8	0.7	54.8	8.7	無
1066	53.6	2.1	53.6	24.2	無	1101	54.8	-1.0	54.9	168.1	無
1067	53.5	-4.1	53.6	2043.0	黄	1102	54.7	4.2	54.9	71.1	黄
1068	53.6	-1.7	53.7	20.5	無	1103	54.9	-1.0	54.9	13.0	無
1069	53.6	2.9	53.7	33.1	無	1104	52.0	17.6	54.9	603.0	黄
1070	53.7	0.5	53.7	19.5	無	1105	54.9	0.6	54.9	11.7	無
1071	53.7	2.2	53.8	6.6	無	1106	54.7	4.5	54.9	12.7	無
1072	53.6	4.3	53.8	8.3	無	1107	54.7	4.5	54.9	5.6	無
1073	53.8	0.6	53.8	8.7	無	1108	54.7	4.5	54.9	5.3	無
1074	53.8	-1.8	53.9	18.7	無	1109	54.8	4.9	55.0	21.9	無
1075	53.9	-0.8	53.9	14.2	無	1110	54.7	-5.2	55.0	7320.0	黄
1076	53.7	4.4	53.9	10.8	無	1111	55.0	1.4	55.0	19.9	無
1077	53.9	-0.6	53.9	6.5	無	1112	55.0	-0.8	55.0	5.5	無
1078	53.2	9.1	53.9	440.0	無	1113	55.0	0.4	55.0	19.7	無
1079	54.0	-0.6	54.0	24.3	無	1114	54.9	4.0	55.0	6.1	無
1080	54.0	-0.5	54.0	14.4	無	1115	54.9	4.0	55.1	11.5	無
1081	54.0	-0.6	54.0	22.5	無	1116	55.1	-0.2	55.1	72.2	無
1082	54.0	-2.6	54.0	8.9	無	1117	55.1	1.0	55.1	29.8	無
1083	54.0	1.0	54.0	6.5	無	1118	55.1	0.8	55.1	9.1	無
1084	54.0	2.0	54.0	19.0	黄	1119	55.2	-0.2	55.2	6.4	無
1085	54.1	0.0	54.1	5.7	無	1120	55.1	2.6	55.2	85.7	無

c 表 4.A.5-4-17 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1121	55.2	0.2	55.2	18.9	黄	1156	56.2	3.1	56.3	27.5	黄
1122	55.2	2.2	55.2	5.7	無	1157	56.3	-4.3	56.5	19.9	無
1123	55.1	4.0	55.2	6.6	無	1158	56.3	4.1	56.5	95.6	黄
1124	54.9	-6.4	55.2	3440.0	黄	1159	56.5	2.9	56.5	10.7	無
1125	55.2	2.7	55.3	8.5	無	1160	56.5	2.9	56.5	22.6	無
1126	55.2	3.3	55.3	9.2	無	1161	56.4	-4.2	56.6	45.4	無
1127	55.3	-0.9	55.3	81.2	無	1162	56.4	4.3	56.6	25.8	黄
1128	55.3	4.1	55.4	8.2	無	1163	56.6	2.4	56.6	30.1	無
1129	55.4	2.5	55.5	241.0	黄	1164	56.6	2.9	56.6	18.2	無
1130	55.4	2.4	55.5	82.1	黄	1165	56.7	-0.9	56.7	72.3	無
1131	55.6	1.4	55.6	11.2	無	1166	56.7	0.1	56.7	20.5	無
1132	55.4	4.4	55.6	8.1	無	1167	56.6	4.0	56.7	12.7	黄
1133	55.5	3.6	55.6	5.2	無	1168	56.7	3.9	56.8	7.7	無
1134	55.6	-0.5	55.6	11.9	無	1169	56.8	0.6	56.8	35.2	無
1135	55.5	4.3	55.6	9.1	無	1170	56.8	-0.8	56.8	21.2	無
1136	55.6	1.4	55.6	33.2	無	1171	56.9	1.9	56.9	22.1	無
1137	55.7	2.3	55.7	25.6	無	1172	56.9	-2.3	57.0	19.6	無
1138	55.7	-1.0	55.7	13.4	無	1173	56.9	-4.3	57.0	110.7	無
1139	55.7	-1.0	55.7	6.1	無	1174	57.0	-0.6	57.0	7.1	無
1140	55.7	-1.0	55.7	10.4	無	1175	57.1	-0.1	57.1	117.0	無
1141	55.7	1.0	55.7	34.3	黄	1176	57.1	3.9	57.2	10.2	無
1142	55.5	4.7	55.7	5.0	無	1177	57.2	1.6	57.2	20.3	無
1143	55.7	2.3	55.7	9.5	無	1178	57.3	0.4	57.3	30.3	無
1144	55.8	0.6	55.8	361.0	無	1179	57.2	4.6	57.3	5.0	無
1145	55.9	0.4	55.9	5.0	無	1180	57.3	-1.0	57.3	7.6	無
1146	56.0	0.7	56.0	6.5	無	1181	57.1	5.3	57.3	95.8	無
1147	55.9	3.1	56.0	14.2	無	1182	57.2	4.8	57.4	21.5	黄
1148	55.9	2.9	56.0	7.6	無	1183	57.3	3.1	57.4	14.4	無
1149	56.0	-1.5	56.0	19.2	無	1184	57.4	1.2	57.4	19.3	無
1150	55.9	4.4	56.0	6.8	無	1185	57.3	3.1	57.4	14.5	無
1151	54.3	14.1	56.1	420.0	黄	1186	57.4	-2.5	57.4	6.7	無
1152	56.0	2.4	56.1	14.0	黄	1187	57.3	4.5	57.4	22.0	無
1153	56.1	-1.6	56.2	549.0	黄	1188	57.3	4.8	57.5	6.4	無
1154	56.1	-2.7	56.2	7.0	無	1189	57.3	4.7	57.5	29.1	無
1155	56.2	1.1	56.2	12.0	無	1190	57.3	4.7	57.5	11.2	無

表 4.A.5-4-18 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1191	57.3	5.0	57.5	136.6	黄	1226	58.1	1.7	58.1	18.4	無
1192	57.5	-1.7	57.5	15.2	無	1227	58.1	1.9	58.1	6.9	無
1193	57.5	-1.5	57.6	47.8	無	1228	58.2	-0.7	58.2	6.7	無
1194	57.6	0.5	57.6	31.2	無	1229	58.1	5.0	58.3	12.9	無
1195	57.4	-4.4	57.6	10.9	無	1230	58.3	-2.4	58.4	49.2	無
1196	57.4	-4.4	57.6	13.7	無	1231	58.4	-1.7	58.4	7.1	無
1197	57.6	1.7	57.6	104.0	無	1232	58.2	4.4	58.4	53.6	無
1198	57.6	-0.7	57.6	20.4	無	1233	58.4	-3.7	58.5	13.7	無
1199	57.6	1.4	57.6	9.5	無	1234	58.3	5.8	58.5	24.4	黄
1200	57.6	2.0	57.7	14.8	黄	1235	58.6	0.8	58.6	38.8	無
1201	57.6	-3.2	57.7	201.1	無	1236	58.5	-2.7	58.6	6.9	無
1202	57.5	4.6	57.7	16.1	無	1237	58.6	-3.7	58.7	33.2	無
1203	57.8	-0.4	57.8	9.0	無	1238	58.7	-1.7	58.7	5.5	無
1204	57.8	-0.7	57.8	106.0	無	1239	58.6	-2.9	58.7	5.2	無
1205	57.5	5.6	57.8	78.2	黄	1240	58.7	2.5	58.8	575.0	黄
1206	57.8	0.6	57.8	37.6	無	1241	58.2	8.3	58.8	55.6	無
1207	57.8	2.4	57.8	14.7	無	1242	58.5	6.3	58.8	26.0	無
1208	57.9	-0.7	57.9	15.4	無	1243	58.8	-0.7	58.8	7.4	無
1209	57.9	-0.5	57.9	30.3	無	1244	58.8	1.7	58.9	6.1	無
1210	57.9	2.1	57.9	9.2	無	1245	58.3	-8.3	58.9	440.0	無
1211	57.8	4.5	57.9	168.7	黄	1246	58.9	-0.6	58.9	1162.0	黄
1212	57.9	2.4	57.9	7.9	無	1247	58.9	-0.2	58.9	21.6	無
1213	57.9	0.7	57.9	13.4	無	1248	58.8	3.1	58.9	10.4	無
1214	57.8	-4.2	58.0	10.8	無	1249	59.0	0.1	59.0	8.7	無
1215	57.9	3.3	58.0	40.4	無	1250	58.3	9.4	59.0	21.3	黄
1216	57.9	-2.4	58.0	9.6	無	1251	58.3	9.6	59.1	65.3	無
1217	57.9	3.3	58.0	13.1	無	1252	58.4	-9.2	59.1	81.3	無
1218	58.0	2.3	58.0	56.5	無	1253	58.9	5.2	59.1	28.4	無
1219	57.9	-4.3	58.0	6.5	無	1254	58.3	9.6	59.1	18.4	黄
1220	58.0	2.8	58.1	23.3	無	1255	58.9	-4.9	59.1	63.5	無
1221	58.1	1.2	58.1	12.3	無	1256	59.1	-1.0	59.1	31.1	無
1222	58.0	2.3	58.1	7.8	無	1257	59.2	1.8	59.2	17.4	無
1223	58.1	-0.9	58.1	8.8	無	1258	59.2	1.1	59.2	9.5	無
1224	56.5	13.9	58.1	380.0	無	1259	59.0	-4.6	59.2	14.4	無
1225	57.9	4.7	58.1	1745.0	黄	1260	59.2	1.1	59.2	39.6	無

表 4.A.5-4-19 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1261	59.1	4.4	59.3	133.1	無	1296	59.9	5.1	60.1	14.1	無
1262	59.2	2.8	59.3	44.8	無	1297	60.1	2.6	60.2	13.1	無
1263	58.7	-8.6	59.3	123.1	無	1298	60.0	5.0	60.2	13.2	無
1264	59.2	-3.5	59.3	52.3	無	1299	60.2	-1.5	60.2	11.7	無
1265	59.3	1.3	59.3	24.4	黄	1300	60.2	-1.5	60.2	14.5	無
1266	59.2	-5.1	59.4	51.0	無	1301	60.2	-0.9	60.2	6.4	無
1267	59.3	3.7	59.4	17.2	無	1302	60.2	-1.9	60.2	9.0	無
1268	59.3	3.2	59.4	7.3	無	1303	60.2	-0.3	60.2	41.2	無
1269	59.3	3.4	59.4	1793.0	無	1304	60.2	2.1	60.2	22.9	無
1270	59.2	5.2	59.4	29.9	無	1305	60.1	-4.0	60.2	9.9	無
1271	59.4	1.3	59.5	101.6	黄	1306	60.2	0.1	60.2	7.9	無
1272	58.8	9.1	59.5	43.4	無	1307	60.2	-2.7	60.2	8.7	無
1273	59.4	3.1	59.5	11.6	無	1308	60.1	-4.0	60.3	25.3	無
1274	59.4	2.8	59.5	5.4	無	1309	60.0	5.8	60.3	13.2	無
1275	59.4	-3.3	59.5	19.8	無	1310	60.3	1.8	60.3	8.1	無
1276	59.4	3.8	59.5	6.7	無	1311	60.3	2.5	60.4	45.3	無
1277	59.6	-1.3	59.6	14.2	無	1312	60.3	3.5	60.4	9.7	無
1278	59.5	2.9	59.6	18.6	黄	1313	60.4	-1.4	60.4	30.0	無
1279	59.5	3.9	59.6	7.8	無	1314	60.4	0.1	60.4	22.6	無
1280	59.3	6.3	59.6	46.1	無	1315	60.3	3.8	60.4	8.1	無
1281	59.2	7.6	59.7	58.3	無	1316	60.4	-0.3	60.4	9.8	無
1282	59.6	-3.7	59.7	65.9	無	1317	60.4	0.4	60.4	11.9	無
1283	59.7	-3.6	59.8	5.5	無	1318	60.4	-1.4	60.4	13.3	無
1284	59.7	-3.6	59.8	5.9	無	1319	60.4	-1.4	60.4	9.1	無
1285	59.7	1.8	59.8	32.2	無	1320	60.4	-3.6	60.5	380.0	無
1286	59.8	1.1	59.8	14.5	無	1321	60.5	-0.7	60.5	11.7	無
1287	59.7	4.1	59.8	10.3	無	1322	60.1	7.1	60.5	8.6	無
1288	59.8	1.6	59.8	9.9	無	1323	60.6	1.7	60.6	11.9	無
1289	59.8	-3.5	59.9	19.5	無	1324	60.4	4.9	60.6	7.4	無
1290	59.5	-7.0	59.9	30.6	無	1325	60.6	-0.1	60.6	11.2	無
1291	59.9	2.2	60.0	12.9	無	1326	60.5	-4.3	60.7	7.9	無
1292	60.0	1.5	60.0	6.6	無	1327	60.7	1.0	60.7	7.0	無
1293	60.0	-1.9	60.0	39.3	無	1328	60.5	4.8	60.7	12.5	無
1294	59.9	3.6	60.0	9.3	無	1329	60.2	-7.9	60.7	30.6	無
1295	60.1	-0.3	60.1	85.1	無	1330	60.7	-0.3	60.7	23.7	無

表 4.A.5-4-20 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1331	60.1	9.1	60.8	41.5	無	1366	61.9	0.7	61.9	23.6	無
1332	60.8	-1.1	60.8	9.3	無	1367	61.9	0.1	61.9	15.9	無
1333	60.8	1.0	60.8	13.2	無	1368	61.9	0.7	61.9	17.4	無
1334	60.8	2.3	60.8	940.0	黄	1369	61.9	3.8	62.0	27.5	無
1335	60.6	5.6	60.9	8.7	無	1370	61.4	-8.6	62.0	8.5	無
1336	60.9	-0.2	60.9	57.9	無	1371	62.0	-0.6	62.0	6.9	無
1337	60.8	4.0	60.9	22.3	無	1372	62.1	-0.4	62.1	168.3	無
1338	60.9	2.1	60.9	21.8	無	1373	62.1	-0.2	62.1	9.5	無
1339	60.9	-2.6	60.9	360.0	無	1374	61.3	9.8	62.1	22.4	無
1340	60.8	3.7	60.9	9.1	無	1375	61.7	7.7	62.2	10.3	無
1341	60.6	6.6	60.9	1020.0	黄	1376	61.7	7.5	62.2	8.4	無
1342	60.9	-2.4	61.0	9.0	無	1377	61.7	-7.8	62.2	9.5	無
1343	61.0	3.9	61.1	20.2	無	1378	62.0	4.6	62.2	11.8	無
1344	60.4	9.7	61.1	75.0	無	1379	62.0	4.2	62.2	92.5	無
1345	61.1	3.4	61.2	7.7	無	1380	62.1	3.4	62.2	57.8	無
1346	60.7	7.9	61.2	14.4	無	1381	61.5	9.4	62.2	16.5	無
1347	60.8	6.8	61.2	686.0	黄	1382	62.1	2.9	62.2	5.7	無
1348	61.2	-1.3	61.2	13.2	無	1383	62.1	4.1	62.3	19.3	無
1349	61.1	-4.8	61.3	111.4	無	1384	62.3	0.3	62.3	17.6	無
1350	61.0	-6.0	61.3	101.9	無	1385	62.3	-0.8	62.3	17.1	無
1351	61.2	3.7	61.3	6.5	無	1386	62.1	6.1	62.4	5.3	黄
1352	61.2	3.4	61.3	17.5	無	1387	62.2	5.1	62.4	21.8	無
1353	60.6	9.3	61.3	496.0	黄	1388	62.2	-4.5	62.4	121.2	無
1354	61.2	4.4	61.3	9.1	無	1389	62.4	-1.2	62.4	59.3	無
1355	61.3	-4.4	61.4	149.4	無	1390	62.1	6.7	62.4	304.0	無
1356	61.2	5.3	61.4	44.0	無	1391	62.4	-2.6	62.4	6.5	無
1357	61.6	-0.5	61.6	33.9	無	1392	62.4	1.9	62.5	5.0	無
1358	61.5	-3.3	61.6	6.7	無	1393	62.5	-0.4	62.5	126.6	無
1359	61.3	-6.5	61.6	21.5	無	1394	62.5	-0.5	62.5	62.1	無
1360	61.6	-0.7	61.6	9.3	無	1395	62.5	1.1	62.5	100.0	無
1361	61.0	9.2	61.7	39.6	無	1396	62.4	3.7	62.5	115.0	無
1362	61.7	-1.0	61.7	201.3	無	1397	62.6	-2.0	62.6	5.2	無
1363	61.7	3.3	61.7	23.2	無	1398	62.0	-8.6	62.6	64.5	無
1364	61.3	7.6	61.8	15.8	無	1399	62.3	6.7	62.7	7.1	無
1365	61.8	2.2	61.9	7.2	無	1400	62.7	-2.1	62.7	9.6	無

表 4.A.5-4-21 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1401	62.7	-2.6	62.7	7.6	無	1436	63.6	2.5	63.7	119.0	無
1402	62.7	-1.1	62.7	16.0	無	1437	63.6	4.2	63.7	9.7	無
1403	62.6	5.0	62.8	102.3	無	1438	63.7	1.9	63.7	10.7	無
1404	62.8	2.0	62.8	30.0	黄	1439	63.7	2.0	63.7	8.9	無
1405	62.8	-1.5	62.8	18.1	無	1440	63.7	-1.8	63.7	87.4	無
1406	62.6	-6.1	62.9	32.6	無	1441	63.8	2.6	63.8	9.0	無
1407	62.7	-4.5	62.9	14.0	無	1442	63.8	-1.8	63.8	66.7	無
1408	62.8	-3.1	62.9	7.7	無	1443	63.8	2.3	63.8	6.5	無
1409	62.8	-3.5	62.9	9.2	無	1444	63.9	0.4	63.9	6.1	無
1410	62.9	-1.8	62.9	6.7	黄	1445	63.7	5.1	63.9	9.5	無
1411	62.3	9.0	62.9	31.9	黄	1446	63.8	-2.3	63.9	57.2	無
1412	62.9	2.2	62.9	50.3	無	1447	63.9	2.3	63.9	13.4	無
1413	62.4	8.3	63.0	8.7	無	1448	63.9	0.8	63.9	12.6	無
1414	62.8	-5.6	63.0	20.1	無	1449	63.9	0.5	63.9	10.4	無
1415	62.6	7.2	63.0	55.7	無	1450	63.0	11.3	64.0	191.7	黄
1416	63.0	1.8	63.1	10.8	無	1451	63.9	4.6	64.0	1107.0	黄
1417	63.0	2.7	63.1	7.6	無	1452	64.0	-1.0	64.0	70.4	無
1418	62.9	-4.7	63.1	146.4	無	1453	64.0	-3.1	64.0	23.9	無
1419	63.1	1.3	63.1	68.1	無	1454	63.9	5.0	64.1	5.8	無
1420	63.1	1.5	63.1	10.1	無	1455	64.0	4.1	64.1	209.2	無
1421	63.0	5.2	63.2	14.2	無	1456	63.0	12.2	64.2	152.3	無
1422	63.2	2.1	63.2	8.9	無	1457	64.1	-3.9	64.2	6.5	無
1423	63.2	-2.9	63.3	13.1	無	1458	64.1	3.1	64.2	21.0	無
1424	63.3	1.1	63.3	233.0	黄	1459	64.2	-2.3	64.2	20.2	無
1425	63.3	1.5	63.3	12.3	無	1460	64.2	-1.8	64.2	27.9	無
1426	63.3	0.5	63.3	2700.0	黄	1461	64.0	5.5	64.2	38.0	無
1427	62.7	-9.4	63.4	157.2	黄	1462	64.2	0.0	64.2	18.2	無
1428	63.3	3.9	63.4	22.4	無	1463	64.2	3.8	64.3	11.2	無
1429	63.4	-0.8	63.4	81.4	無	1464	64.1	-4.8	64.3	956.0	黄
1430	63.3	-4.6	63.4	16.4	無	1465	64.3	-1.3	64.3	51.7	無
1431	63.2	5.8	63.5	12.8	無	1466	64.2	-3.2	64.3	12.0	無
1432	63.5	3.2	63.5	86.0	黄	1467	64.0	-6.4	64.3	16.6	無
1433	63.5	-3.0	63.6	7.1	無	1468	64.3	1.3	64.3	7.7	無
1434	63.6	0.9	63.6	1200.0	黄	1469	63.2	12.3	64.4	161.3	黄
1435	63.5	3.6	63.6	18.4	無	1470	64.4	0.8	64.4	6.7	無

表 4.A.5-4-22 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1471	64.4	1.5	64.4	6.7	無	1506	65.5	-1.9	65.5	6.5	無
1472	64.4	1.5	64.4	13.1	無	1507	65.1	7.5	65.5	13.7	無
1473	64.2	5.7	64.5	14.0	無	1508	65.5	-3.0	65.6	6.4	無
1474	64.2	5.7	64.5	13.9	無	1509	65.6	2.0	65.6	9.3	無
1475	64.4	3.9	64.5	52.3	無	1510	65.6	4.1	65.7	10.5	無
1476	64.4	3.9	64.5	6.5	無	1511	65.4	6.3	65.7	18.2	無
1477	64.6	-0.5	64.6	6.2	黄	1512	65.6	5.1	65.7	9.8	無
1478	64.6	-1.8	64.6	21.3	無	1513	65.8	0.7	65.8	9.3	無
1479	64.6	2.7	64.6	27.2	無	1514	65.6	6.4	65.9	12.2	無
1480	64.6	2.5	64.6	26.0	無	1515	65.9	2.3	65.9	19.6	無
1481	64.6	2.4	64.7	12.6	無	1516	65.9	2.6	66.0	7.4	無
1482	64.7	2.1	64.7	20.6	無	1517	65.9	-2.8	66.0	49.8	無
1483	64.7	-1.5	64.7	20.1	無	1518	65.9	3.1	66.0	10.5	無
1484	64.7	-2.8	64.8	142.6	無	1519	65.8	-5.9	66.0	176.0	黄
1485	64.3	-7.5	64.8	10.9	無	1520	65.9	-5.9	66.1	143.0	黄
1486	64.6	4.7	64.8	189.0	黄	1521	66.1	0.6	66.1	16.3	無
1487	64.8	-1.3	64.8	140.4	無	1522	66.1	-2.2	66.1	6.3	無
1488	64.9	-1.4	64.9	12.7	無	1523	66.0	-4.3	66.1	79.7	黄
1489	64.9	1.5	64.9	452.0	黄	1524	66.2	0.3	66.2	192.0	無
1490	64.9	0.7	64.9	16.6	無	1525	66.2	0.9	66.2	8.8	無
1491	64.8	5.0	64.9	11.2	無	1526	66.2	-1.6	66.2	12.5	無
1492	65.0	-0.8	65.0	64.7	無	1527	66.3	0.9	66.3	397.0	黄
1493	65.0	-0.8	65.0	14.1	無	1528	66.1	5.4	66.3	55.2	無
1494	65.0	4.7	65.2	7.6	無	1529	66.3	-1.1	66.3	15.2	黄
1495	65.0	4.7	65.2	8.5	無	1530	65.9	7.1	66.3	6.5	無
1496	65.1	3.4	65.2	11.1	無	1531	66.2	3.4	66.3	16.5	黄
1497	65.3	-0.5	65.3	50.7	無	1532	66.2	3.9	66.3	35.1	無
1498	65.3	2.2	65.3	10.4	無	1533	66.2	3.9	66.3	1012.0	無
1499	65.2	-4.5	65.4	21.2	無	1534	66.2	3.9	66.3	13.4	無
1500	65.3	-2.1	65.4	6.7	無	1535	66.2	3.9	66.3	7.3	無
1501	65.0	7.0	65.4	2280.0	黄	1536	66.2	3.9	66.3	6.1	無
1502	65.4	1.7	65.4	2160.0	黄	1537	66.3	-0.1	66.3	5.9	無
1503	65.3	-3.5	65.4	9.4	無	1538	66.3	-3.2	66.4	339.0	黄
1504	65.4	-0.3	65.4	1439.0	黄	1539	66.4	-1.9	66.4	447.0	無
1505	65.5	0.7	65.5	12.9	無	1540	66.1	6.6	66.4	26.4	無

表 4.A.5-4-23 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1541	66.4	0.8	66.4	520.0	黄	1576	67.5	4.2	67.6	7.3	無
1542	66.5	0.7	66.5	11.5	無	1577	67.1	-8.7	67.7	18.6	無
1543	66.5	0.7	66.5	7.3	無	1578	67.7	0.6	67.7	106.2	無
1544	66.5	-2.2	66.6	17.8	黄	1579	67.5	-4.5	67.7	50.8	無
1545	66.6	-0.8	66.6	14.9	無	1580	67.5	-6.8	67.8	37.3	無
1546	66.4	5.1	66.6	16.5	無	1581	67.8	-1.9	67.8	1980.0	黄
1547	66.6	3.1	66.6	65.0	黄	1582	67.9	-1.8	67.9	16.7	無
1548	66.6	-2.7	66.6	1080.0	黄	1583	67.9	-1.8	67.9	98.5	無
1549	66.4	6.0	66.7	17220	黄	1584	67.9	1.2	67.9	251.0	黄
1550	66.4	-6.7	66.7	175.0	無	1585	67.7	5.8	68.0	27.2	無
1551	64.9	16.0	66.8	13340	黄	1586	68.0	0.1	68.0	46.3	無
1552	66.8	-3.9	66.9	16.8	無	1587	67.7	6.8	68.0	35.9	無
1553	66.9	-1.9	66.9	24.5	無	1588	68.0	3.5	68.1	11.6	無
1554	66.9	-3.7	67.0	10.4	無	1589	68.0	3.5	68.1	8.9	無
1555	66.9	-3.6	67.0	20.8	無	1590	67.9	6.0	68.2	63.9	無
1556	67.0	-0.9	67.0	12.3	黄	1591	67.7	8.2	68.2	114.2	無
1557	66.7	-7.2	67.1	438.0	黄	1592	67.9	-6.0	68.2	90.6	無
1558	67.1	2.3	67.1	16.0	無	1593	67.8	7.3	68.2	11.5	無
1559	67.1	-1.9	67.1	6.3	無	1594	68.2	3.6	68.3	40.0	無
1560	66.9	-6.4	67.2	166.0	無	1595	68.3	0.0	68.3	12.4	無
1561	67.1	4.2	67.2	14.5	無	1596	68.2	2.5	68.3	6.7	無
1562	67.2	1.4	67.2	8.5	無	1597	68.2	4.6	68.3	14.1	無
1563	66.9	7.2	67.2	252.6	無	1598	68.2	6.3	68.5	10.2	無
1564	67.0	-5.6	67.3	108.7	無	1599	68.2	6.3	68.5	6.1	無
1565	67.2	3.3	67.3	45.8	無	1600	68.2	6.3	68.5	45.1	無
1566	67.0	-6.4	67.3	50.5	無	1601	68.4	4.4	68.5	40.2	無
1567	67.0	-5.7	67.3	63.1	無	1602	68.4	-4.4	68.5	8.1	無
1568	67.2	4.5	67.3	16.5	無	1603	68.6	0.0	68.6	7.7	無
1569	67.3	0.0	67.3	20.9	無	1604	68.4	5.6	68.6	10.4	無
1570	67.3	1.6	67.3	23.4	無	1605	68.7	0.5	68.7	5.7	無
1571	67.2	4.0	67.3	14.3	無	1606	68.7	3.5	68.8	25.6	無
1572	67.1	6.2	67.4	9.6	無	1607	68.7	4.4	68.8	100.0	無
1573	67.4	-2.0	67.4	24.6	黄	1608	68.7	4.5	68.9	6.8	無
1574	67.5	3.0	67.5	9.1	無	1609	68.9	1.3	68.9	7.2	無
1575	67.3	5.6	67.5	28.3	無	1610	68.9	1.3	68.9	7.3	無

表 4.A.5-4-24 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1611	68.9	2.9	68.9	6.7	無	1646	70.3	1.2	70.3	16.1	黄
1612	68.9	2.6	68.9	17.6	無	1647	70.4	0.8	70.4	7.2	無
1613	68.8	5.3	69.0	399.0	黄	1648	70.2	5.4	70.4	17.9	無
1614	68.8	4.8	69.0	69.0	無	1649	70.4	1.3	70.4	6.6	無
1615	68.8	7.2	69.2	48.1	無	1650	70.2	-5.5	70.4	21.2	黄
1616	69.2	2.4	69.2	97.1	無	1651	70.4	1.9	70.5	23.6	無
1617	69.2	1.6	69.2	307.0	黄	1652	70.5	2.0	70.5	47.4	無
1618	69.2	0.2	69.2	7.7	無	1653	70.4	3.9	70.5	660.0	黄
1619	69.2	-2.3	69.3	10.9	黄	1654	70.6	-0.5	70.6	97.3	無
1620	69.3	0.1	69.3	15.7	無	1655	70.2	8.1	70.7	29.4	黄
1621	69.3	2.4	69.3	8.7	無	1656	70.7	0.0	70.7	156.0	黄
1622	69.3	2.5	69.4	6.7	無	1657	70.2	8.8	70.7	11.1	無
1623	69.3	2.4	69.4	43.6	無	1658	70.7	-1.2	70.7	91.3	無
1624	69.3	-2.2	69.4	36.0	無	1659	70.7	0.0	70.7	154.0	黄
1625	69.5	-2.1	69.5	36.6	無	1660	70.7	-0.1	70.7	7.5	無
1626	69.6	0.0	69.6	5.6	無	1661	70.7	-0.1	70.7	13.2	無
1627	69.3	6.3	69.6	12.1	無	1662	70.8	-1.1	70.8	700.0	黄
1628	69.6	-0.8	69.6	1960.0	黄	1663	70.8	-1.1	70.8	32.5	無
1629	69.6	4.8	69.7	19.2	無	1664	70.9	-0.1	70.9	14.2	無
1630	69.8	3.3	69.8	12.7	無	1665	70.8	3.6	70.9	114.5	無
1631	69.5	6.7	69.8	11.2	無	1666	70.9	0.0	70.9	2760.0	無
1632	69.7	-4.6	69.8	24.2	無	1667	70.4	9.3	71.0	8.2	無
1633	69.9	-0.1	69.9	20.1	無	1668	70.5	7.8	71.0	12.4	無
1634	69.9	2.3	69.9	31.1	無	1669	71.0	1.7	71.0	34.5	無
1635	69.9	1.3	70.0	34.5	無	1670	71.0	0.6	71.0	37.2	無
1636	69.7	-6.1	70.0	28.8	黄	1671	71.0	-0.1	71.0	7.8	無
1637	69.8	6.0	70.0	9.2	無	1672	70.8	5.9	71.1	6.4	無
1638	70.0	3.5	70.0	11.3	無	1673	70.7	7.5	71.1	6.4	無
1639	70.1	3.1	70.2	10.2	無	1674	70.7	7.7	71.1	6.3	無
1640	70.2	-0.1	70.2	24.5	無	1675	70.8	7.3	71.1	6.4	無
1641	70.2	0.4	70.2	9.4	無	1676	71.1	2.7	71.2	1160.0	黄
1642	70.2	2.5	70.2	8.1	無	1677	71.2	0.6	71.2	15.7	無
1643	70.3	0.8	70.3	14.3	無	1678	71.2	0.6	71.2	5.4	無
1644	70.2	3.1	70.3	10.3	無	1679	71.2	0.2	71.2	7.6	無
1645	70.2	4.8	70.3	5780.0	黄	1680	71.2	0.2	71.2	27.8	黄

表 4.A.5-4-25 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1681	70.9	7.4	71.2	35.0	黄	1716	72.8	1.9	72.8	7.4	無
1682	71.3	0.2	71.3	2900.0	黄	1717	72.8	4.1	72.9	17.1	無
1683	71.2	4.9	71.4	76.3	無	1718	72.9	3.3	72.9	52.3	無
1684	71.4	0.5	71.4	7.9	無	1719	72.8	4.6	73.0	108.1	黄
1685	71.4	0.8	71.4	76.9	黄	1720	73.0	3.5	73.0	6.3	黄
1686	71.4	3.4	71.4	59.3	黄	1721	73.0	2.1	73.1	17.3	無
1687	71.0	8.4	71.4	157.6	黄	1722	73.1	-1.2	73.1	95.8	無
1688	71.3	4.7	71.5	52.3	黄	1723	73.1	-1.2	73.1	17.8	無
1689	71.1	8.3	71.5	20.1	無	1724	73.2	0.5	73.2	920.0	黄
1690	71.6	3.2	71.6	64.9	無	1725	72.9	5.9	73.2	37.0	無
1691	71.7	3.4	71.8	57.3	無	1726	72.9	5.9	73.2	18.9	無
1692	71.3	-9.4	71.9	50.2	無	1727	73.0	6.1	73.2	263.3	無
1693	72.0	2.8	72.1	23.2	無	1728	73.1	3.5	73.2	33.1	無
1694	71.5	9.1	72.1	560.0	無	1729	73.3	-0.9	73.3	90.8	黄
1695	71.5	-9.3	72.1	352.8	黄	1730	73.2	4.4	73.3	54.7	無
1696	71.6	9.2	72.2	24.4	無	1731	73.4	3.0	73.5	13.3	無
1697	71.9	7.3	72.2	217.2	無	1732	73.5	-1.2	73.5	16.3	無
1698	72.3	0.6	72.3	169.0	無	1733	73.4	3.0	73.5	24.3	無
1699	72.1	7.9	72.5	50.7	無	1734	73.6	0.4	73.6	14.7	無
1700	72.5	1.9	72.5	6.8	黄	1735	73.5	7.3	73.9	117.7	無
1701	72.5	1.9	72.6	5.4	黄	1736	73.9	-2.8	74.0	5.6	無
1702	72.6	1.7	72.6	6.4	無	1737	73.9	6.1	74.1	21.9	無
1703	72.6	2.6	72.6	30.2	黄	1738	73.9	6.0	74.2	41.2	黄
1704	72.1	9.1	72.7	77.4	黄	1739	74.2	2.0	74.2	96.7	無
1705	72.6	1.7	72.7	42.1	無	1740	74.0	6.7	74.3	107.6	無
1706	72.6	2.6	72.7	73.0	黄	1741	74.2	5.8	74.4	27.1	無
1707	72.7	1.7	72.7	6.4	黄	1742	74.6	5.6	74.8	1600.0	黄
1708	72.6	3.8	72.7	386.0	無	1743	75.0	-8.6	75.5	6800.0	黄
1709	72.7	1.8	72.7	56.5	無	1744	76.1	0.0	76.1	340.0	無
1710	72.7	1.7	72.7	14.3	無	1745	76.6	-1.6	76.6	109.1	黄
1711	72.7	0.0	72.7	25.2	黄	1746	76.4	-6.2	76.6	256.3	黄
1712	72.2	8.9	72.7	52.7	無	1747	76.6	-1.6	76.7	13.5	無
1713	72.8	1.7	72.8	15.2	無	1748	76.8	-2.4	76.8	275.8	黄
1714	72.8	0.6	72.8	16.1	無	1749	76.5	8.0	76.9	372.0	黄
1715	72.8	1.5	72.8	44.5	黄	1750	76.9	-5.9	77.1	60.9	黄

表 4.A.5-4-26 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1751	77.2	0.0	77.2	9.5	無	1786	80.0	4.5	80.2	6.2	無
1752	77.3	-0.3	77.3	25.3	黄	1787	80.1	-4.0	80.2	6.9	無
1753	77.3	-0.2	77.3	158.4	黄	1788	79.9	6.7	80.2	15.6	無
1754	77.4	-0.2	77.4	72.4	黄	1789	79.9	-6.8	80.2	93.3	無
1755	77.5	-4.4	77.6	573.0	黄	1790	80.1	4.5	80.3	14.3	無
1756	77.5	-5.1	77.7	22.7	無	1791	80.2	4.4	80.3	1460.0	無
1757	77.5	-5.3	77.7	145.1	黄	1792	80.3	-4.0	80.4	33.9	黄
1758	77.6	-4.0	77.7	13.3	無	1793	80.1	7.5	80.5	70.0	無
1759	77.9	-3.8	78.0	209.1	黄	1794	80.1	7.6	80.5	25.3	黄
1760	78.1	-5.5	78.3	21.3	無	1795	80.3	7.6	80.6	19.2	無
1761	78.2	-4.4	78.3	14.8	無	1796	80.5	6.7	80.8	29.5	無
1762	78.4	-0.3	78.4	1147.0	黄	1797	80.5	6.7	80.8	12.6	無
1763	78.3	-4.4	78.4	59.0	黄	1798	80.6	6.4	80.8	7.6	無
1764	78.4	-0.3	78.4	5.1	無	1799	80.8	6.2	81.0	184.2	無
1765	78.0	-9.1	78.6	82.6	無	1800	80.5	9.3	81.1	26.1	無
1766	78.6	-0.3	78.6	22.1	無	1801	80.6	9.5	81.2	82.1	黄
1767	78.7	-0.3	78.7	22.4	無	1802	80.9	6.6	81.2	11.6	無
1768	78.7	-0.2	78.7	14.2	無	1803	80.9	6.6	81.2	15.2	無
1769	78.7	-5.9	78.9	1383.0	黄	1804	81.1	4.3	81.2	11.5	無
1770	79.1	-0.2	79.1	312.0	無	1805	81.2	4.3	81.3	10.9	無
1771	79.2	-3.1	79.2	434.0	黄	1806	81.3	-3.4	81.3	6.6	無
1772	79.1	7.3	79.4	31.3	黄	1807	81.2	4.2	81.4	300.0	無
1773	79.1	6.7	79.4	9.9	無	1808	81.3	4.3	81.4	166.8	無
1774	79.2	6.0	79.4	25.2	無	1809	81.2	7.6	81.5	14.2	無
1775	79.3	5.9	79.5	11.6	無	1810	81.5	4.2	81.6	21.7	無
1776	79.4	5.6	79.6	560.0	無	1811	81.5	4.2	81.6	18.8	無
1777	79.6	-1.2	79.6	9.3	無	1812	81.6	4.1	81.7	7.5	無
1778	79.8	0.2	79.8	15.7	無	1813	81.7	-1.1	81.7	8.2	無
1779	79.9	0.2	79.9	48.2	黄	1814	81.7	4.1	81.8	77.8	無
1780	79.7	5.6	79.9	19.7	無	1815	81.8	-3.0	81.8	12.1	無
1781	80.1	0.2	80.1	17.0	無	1816	81.8	4.0	81.9	30.5	無
1782	80.0	-3.3	80.1	5.8	無	1817	81.9	-2.8	82.0	18.6	無
1783	80.0	4.4	80.1	36.4	無	1818	81.8	6.2	82.0	6440.0	黄
1784	80.0	4.6	80.1	9.5	無	1819	81.9	6.1	82.1	19.1	無
1785	80.0	4.4	80.1	8.0	無	1820	82.0	-5.7	82.2	158.6	無

表 4.A.5-4-27 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1821	82.3	4.8	82.4	25.4	無	1856	83.9	3.9	84.0	10.9	無
1822	82.3	4.6	82.4	15.8	無	1857	83.9	5.3	84.1	10.4	無
1823	82.3	4.7	82.4	318.0	黄	1858	84.1	1.6	84.1	23.4	無
1824	82.4	4.8	82.6	55.9	無	1859	84.1	-4.5	84.3	6.5	無
1825	82.5	5.2	82.7	299.0	無	1860	84.3	1.9	84.3	60.4	無
1826	82.5	5.3	82.7	109.4	無	1861	84.2	5.9	84.4	11.1	無
1827	82.6	5.1	82.8	20.0	無	1862	84.3	3.0	84.4	5.7	無
1828	82.7	5.0	82.8	23.9	無	1863	84.4	-1.3	84.4	9.0	無
1829	82.8	-1.2	82.8	54.5	無	1864	84.5	1.2	84.5	9.5	無
1830	82.3	-9.9	82.8	640.0	黄	1865	84.6	-1.7	84.7	10.1	無
1831	82.8	4.8	82.9	484.0	黄	1866	84.7	0.1	84.7	16.2	無
1832	82.8	4.7	83.0	7.5	無	1867	84.7	3.3	84.8	15.4	無
1833	82.9	4.7	83.0	16.0	無	1868	84.6	-7.7	85.0	8.5	黄
1834	83.0	0.1	83.0	18.5	無	1869	85.3	-3.2	85.4	630.0	黄
1835	82.9	5.0	83.0	54.4	無	1870	85.5	3.4	85.6	18.2	無
1836	83.1	-3.0	83.1	84.6	無	1871	85.6	3.7	85.6	11.5	無
1837	83.0	5.8	83.2	14.2	無	1872	85.6	-6.0	85.8	207.7	黄
1838	83.1	4.5	83.2	54.0	黄	1873	85.7	-5.0	85.9	8.1	無
1839	83.1	5.0	83.2	9.7	無	1874	85.8	5.1	86.0	60.3	無
1840	83.2	-3.4	83.3	783.0	無	1875	85.8	4.5	86.0	12.8	無
1841	83.2	4.5	83.3	505.0	黄	1876	85.7	7.4	86.0	90.2	無
1842	83.3	-1.6	83.3	20.9	無	1877	85.9	5.3	86.0	38.0	無
1843	83.2	4.6	83.3	77.0	無	1878	85.8	6.2	86.0	53.2	黄
1844	83.3	-4.0	83.4	17.7	無	1879	85.8	6.8	86.0	32.3	無
1845	83.3	3.9	83.4	54.0	無	1880	85.8	6.7	86.1	14.3	無
1846	83.4	4.6	83.5	12.3	無	1881	86.0	4.5	86.1	20.8	無
1847	83.4	-3.0	83.5	65.5	黄	1882	86.1	4.5	86.2	34.5	黄
1848	83.4	4.9	83.6	8.2	無	1883	86.1	-5.8	86.3	29.1	黄
1849	83.7	3.9	83.8	254.0	黄	1884	86.3	-4.4	86.5	19.8	無
1850	83.7	4.2	83.8	64.9	黄	1885	86.3	6.0	86.5	6.0	黄
1851	83.9	1.5	83.9	326.0	黄	1886	86.3	7.0	86.5	8.3	無
1852	83.9	2.3	83.9	253.0	黄	1887	86.6	3.5	86.6	9.2	無
1853	84.0	-1.0	84.0	39.3	無	1888	86.5	5.5	86.6	17.4	黄
1854	84.0	1.4	84.0	41.7	黄	1889	86.5	-8.2	86.9	51.0	無
1855	83.9	2.3	84.0	19.7	無	1890	86.8	6.0	87.0	10.1	無

表 4.A.5-4-28 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1891	87.0	1.4	87.0	10.8	無	1926	92.7	2.0	92.7	8.8	無
1892	86.8	8.7	87.2	2700.0	無	1927	92.5	7.6	92.8	9.9	無
1893	87.2	5.8	87.4	6.5	無	1928	92.7	4.9	92.8	360.0	無
1894	87.3	-3.2	87.4	1680.0	無	1929	92.9	2.7	92.9	1280.0	黄
1895	87.3	4.7	87.4	6.2	無	1930	92.9	2.6	92.9	5.9	無
1896	87.4	-1.8	87.4	61.6	無	1931	92.9	-7.4	93.2	247.0	無
1897	87.1	8.5	87.5	50.3	無	1932	93.9	0.0	93.9	2860.0	無
1898	87.7	-0.2	87.7	6.1	無	1933	93.9	1.8	93.9	8.2	黄
1899	87.8	1.1	87.8	12.8	無	1934	93.8	9.5	94.3	54.1	無
1900	87.5	7.9	87.8	13.8	無	1935	94.7	4.2	94.8	48.4	無
1901	87.9	-0.1	87.9	29.7	無	1936	95.3	-1.2	95.3	10.6	無
1902	86.7	15.9	88.1	6040.0	黄	1937	95.9	1.1	95.9	7.8	無
1903	87.9	6.5	88.2	26.2	無	1938	95.9	-3.0	96.0	10.1	無
1904	88.1	8.2	88.4	#####	無	1939	96.4	-2.1	96.4	5.1	無
1905	88.4	4.0	88.4	17.5	無	1940	96.4	5.0	96.6	7.3	無
1906	88.3	-5.4	88.5	149.7	無	1941	96.7	5.1	96.8	5.2	無
1907	88.7	3.5	88.7	41.9	無	1942	97.0	4.6	97.1	5.1	無
1908	88.7	-4.0	88.8	29.6	無	1943	96.9	11.1	97.5	87.5	黄
1909	88.6	-5.6	88.8	14.9	無	1944	97.6	-0.5	97.6	29.0	無
1910	88.7	4.6	88.8	107.8	無	1945	97.6	1.9	97.6	15.5	無
1911	88.6	7.4	89.0	116.7	無	1946	97.6	-1.1	97.6	5.4	無
1912	89.1	-1.3	89.1	15.6	黄	1947	97.6	3.3	97.7	10.4	無
1913	89.8	3.6	89.9	28.5	無	1948	97.7	2.0	97.7	162.0	黄
1914	89.9	3.3	90.0	11.6	無	1949	97.9	-0.6	97.9	10.5	無
1915	90.7	2.9	90.8	32.0	黄	1950	98.3	0.9	98.3	9.2	無
1916	90.8	2.9	90.8	12.6	無	1951	97.7	12.1	98.4	342.0	黄
1917	90.8	1.0	90.8	154.0	無	1952	98.1	8.3	98.5	10.2	無
1918	90.9	0.0	90.9	87.0	無	1953	98.5	4.9	98.6	10.1	無
1919	91.5	1.4	91.5	43.0	無	1954	98.4	7.1	98.6	10.8	無
1920	91.7	3.6	91.8	6.2	無	1955	98.9	4.6	99.0	20.7	無
1921	91.8	1.5	91.8	8.7	無	1956	99.3	1.8	99.3	17.3	無
1922	91.7	4.7	91.9	6.1	無	1957	99.3	4.2	99.3	12.1	無
1923	91.4	11.3	92.0	1040.0	黄	1958	99.5	3.0	99.5	45.3	黄
1924	91.9	7.6	92.2	105.2	黄	1959	99.8	-4.8	99.9	5.5	無
1925	92.2	5.6	92.4	5.0	無	1960	99.9	3.6	100.0	29.5	無

表 4.A.5-4-29 飛散物回収結果 (実験 No.1-4)

No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考	No.	x(m)	y(m)	r(m)	w(g)	備考
1961	100.0	-2.2	100.0	8.7	無	1996	114.4	4.0	114.4	16.3	無
1962	100.7	2.5	100.7	8.0	黄	1997	114.5	-3.6	114.5	7.0	無
1963	100.7	1.5	100.7	7.8	無	1998	115.5	4.2	115.6	47.5	無
1964	100.6	8.3	100.9	13.8	無	1999	117.2	-4.9	117.3	1564.0	無
1965	101.0	3.5	101.0	11.3	無	2000	117.6	-1.8	117.6	76.6	無
1966	100.8	6.5	101.0	10.7	無	2001	118.0	9.2	118.4	62.8	無
1967	100.9	6.2	101.1	9.9	無	2002	118.6	7.4	118.8	13.9	無
1968	101.1	5.9	101.2	1247.0	黄	2003	120.3	6.1	120.5	433.0	無
1969	102.3	-1.4	102.3	11.9	無	2004	123.4	8.3	123.7	461.0	無
1970	102.1	7.4	102.4	8.8	無	2005	124.1	-0.7	124.1	529.0	無
1971	101.7	12.3	102.4	472.0	無	2006	125.7	6.1	125.8	832.0	無
1972	102.7	-2.3	102.7	13.2	無	2007	135.4	3.8	135.5	6.2	無
1973	103.1	10.2	103.6	137.8	無						
1974	103.7	0.0	103.7	32.5	無						
1975	103.4	10.0	103.8	107.5	黄						
1976	104.0	2.5	104.0	514.0	無						
1977	104.5	-7.3	104.8	82.0	無						
1978	105.0	2.0	105.0	348.0	無						
1979	105.0	3.9	105.1	14.8	無						
1980	105.7	-2.0	105.7	1554.0	黄						
1981	106.5	4.2	106.6	17.8	無						
1982	106.9	-1.8	106.9	20.5	無						
1983	107.8	-0.6	107.8	240.8	黄						
1984	107.9	9.0	108.2	1984.0	無						
1985	109.2	1.0	109.2	17.4	無						
1986	110.0	-5.6	110.1	83.9	無						
1987	110.6	2.2	110.6	14.0	無						
1988	110.9	7.8	111.2	12.0	無						
1989	111.1	7.8	111.4	24.5	黄						
1990	111.8	0.0	111.8	13.1	無						
1991	111.8	5.9	112.0	99.4	無						
1992	112.5	2.6	112.5	17.3	黄						
1993	113.3	5.1	113.4	14.6	無						
1994	114.0	5.2	114.1	47.5	黄						
1995	114.0	5.2	114.1	43.3	無						

4.A.6 (付録 7) 飛散物撮影画像

写真1 含水爆薬 10kg (No.1-3) (60m) 飛散速度解析 (ライナー →ゴロ)



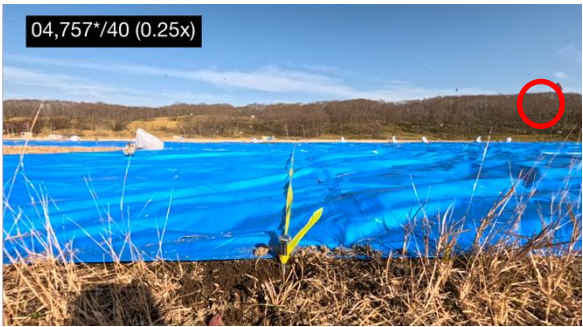


表 1 含水爆薬 10kg (No.1-3) (60m) 飛散速度解析 (ライナー →ゴロ)

画像番号	時間 s	破片位置 mm	飛散距離 m	速度 m/s
			50	
1	4.136	3	50.5	
2	4.155	15	52.5	105.3
3	4.176	25	54.2	79.4
4	4.235	33	55.5	22.6
5	4.285	47	57.8	46.7
6	4.326	53	58.8	24.4
7	4.421	70	61.7	29.8
8	4.481	82	63.7	33.3
9	4.567	91	65.2	17.4
10	4.631	100	66.7	23.4
11	4.757	115	69.2	19.8

写真 2 含水爆薬 32kg (No.1-4) (110m) ゴロ

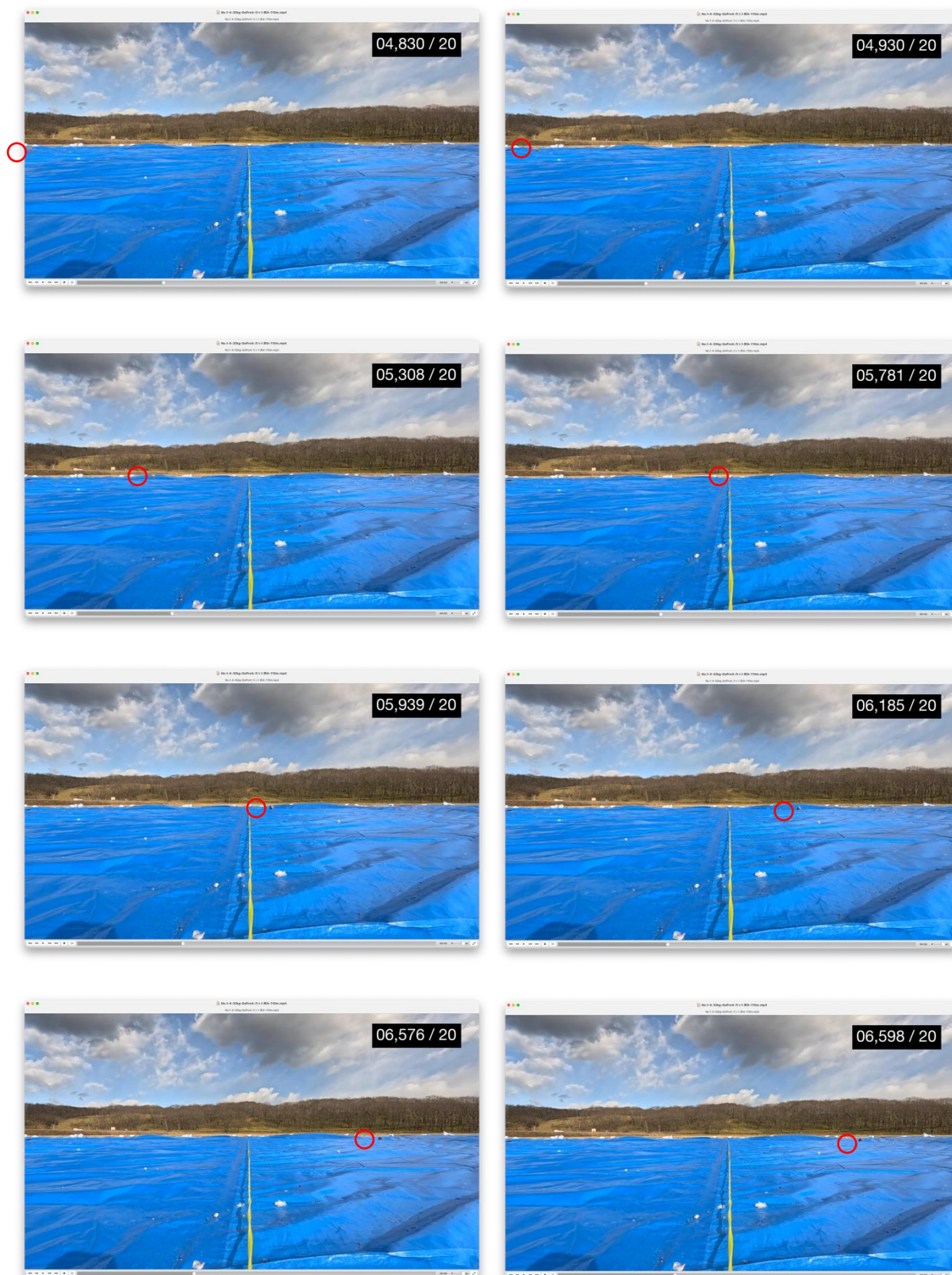




表 2 含水爆薬 32kg (No.1-4) (110m) ゴロ

画像番号	時間 s	破片位置 mm	飛散距離 m	速度 m/s
1	4.571		100.0	
2	4.83	3	100.5	
3	4.93	8	101.8	13.3
4	5.308	35	106.3	11.9
5	5.781	58	110.2	8.1
6	5.939	65	111.3	7.4
7	6.185	77	113.3	8.1
8	6.576	93	116.0	6.8
9	6.598	94	116.2	7.6
10	7.281	118	120.2	5.9

4.A.7（付録 8）漏斗孔検討

実験ごとの漏斗孔の大きさとして、縦横方向の直径、孔深さを現場計測した。また、平均漏斗孔直径をもとに、漏斗孔体積を見積もっている。

漏斗孔形状は漏斗形状あるいはすり鉢状の形状となっており、直線的に構成される形状ではないため、精密な形状計測が容易でないこと、また野外実験では限られた実験スケジュールのなかでショット後の状況観察に時間をかけることが難しいことから精密測定を難しくしている。

漏斗孔形状及び漏斗孔体積の見積り精度向上の観点から、現場撮影写真データをもとに画像処理し、いわゆる写真測量（Photogrammetry）にもとづいた対象物の 3 次元形状の復元を試みた。

三次元測量

使用した写真は各実験後の漏斗孔まわりの現場状況を撮影した写真群である。

写真測量の手順は、三次元形状復元の技術である多視点ステレオ写真測量（SfM-MVS: Structure from motion - Multi-View Stereo）によるカメラ撮影位置／姿勢と特徴点群の位置推定、および高密度点群の生成の手順で構成される。

撮影に使用したカメラ特性としての内部パラメータ(焦点距離、画素情報、レンズ歪み等)、撮影時の外部パラメータ（カメラの撮影位置と姿勢）の推定を行う。

撮影した画像中の特徴量として特徴点の抽出を行い、各画像間での特徴点について、エピポーラ幾何学に基づいてマッチングを行い、さらにマッチングした特徴点(タイポイント)に対して三角測量に基づいて三次元位置を推定する。推定された特徴点の疎点群をもとに、MVS により各特徴点間の三次元位置を補間してより高精度・高密度な物体形状復元を行う。

解析対象

本年度実験 No.1-3 (薬量 10 kg)と No.1-4 (薬量 32 kg)、さらに令和 4 年度のショット後の状況記録写真から No.1-2 (薬量 82 kg) について、三次元測量に必要な最小限の写真データセットが揃えられたため、薬量 10 kg、32 kg 及び 80 kg のケースについて三次元回復を試みた。

表 4A-7-1

実験 No	薬量(kg)	写真点数(枚数)
R5 No.1-3	10	41
R5 No.1-4	32	37
R4 No.1-2	80	33

本来写真測量では精度を得るには数百枚ほどの写真点数を使用すべきであるが、ここでは本手法による漏斗孔評価の可能性を目的として検討をすすめた。

解析手法

写真データからの三次元回復の実際の作業は、基本的には前述の処理フローとなるが、ここではより高度で複雑な処理技術を適用できる専用の写真測量ソフトウェアを使用して解析を行なった。解析にあたり、実寸法を評価するための基準点が必要となる。使用するデータは写真測量を目的に撮影した写真データではないため、位置情報の基準となる評定点などは配置されていない。ここでは写真に記録されているショット後の擁壁残留物等の代表寸法をもとに座標情報を与えた。

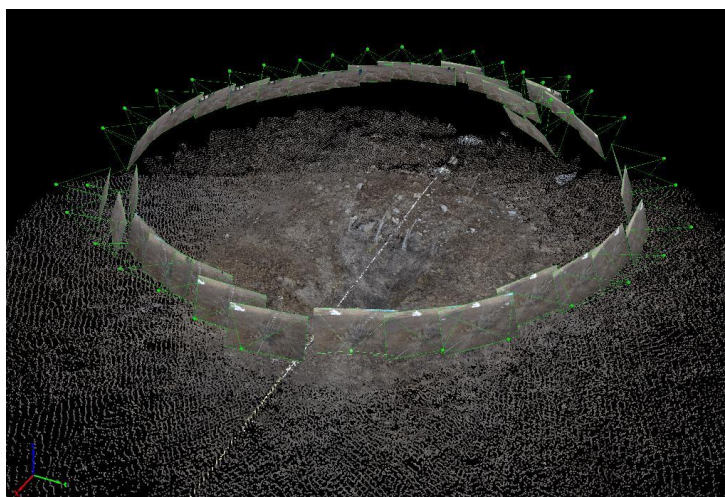


図 4.A.7-1 処理中のカメラ配置推定と漏斗形状点群データ

漏斗形状

写真測量で三次元回復した漏斗形状は obj ファイル形式の CAD ファイルとして出力した。出力した CAD ファイルは、三次元 CAD に読み込み、CAD 上で形状確認と、漏斗部の体積評価を行なった。

図 4.A.7-1 に各実験番号ごとの三次元回復図として、上面図、漏斗部に水埋めをした場合の斜視図、180 度方向から見た側面図、下：270 度方向から見た側面図を示す。

側面図に示した漏斗口寸法は、報告書本文で報告されている漏斗孔の大きさを示している。これより、回復した三次元形状はおおよそ実寸法通りで回復していると判断できる。一方、270 度方向から見た側面図を見ると、本年度実施の実験では、漏斗孔は爆薬設置位置直下に形成されるすり鉢状の形状だけでなく、擁壁手前でも小さな漏斗孔を形成している傾向が見られる。これは擁壁で爆風が抑制され反射することにより形成されるものと思われる。表 4.A.7-2 には CAD で評価した漏斗孔体積を示す。評価された体積についても、本章で報告している数値を支持する値となっている。

以上により、今後は三次元回復することを前提に準備を行い、実験後の写真観察を行えば、限られた作業時間でも漏斗形状の精密な検討が行えることが期待できる。

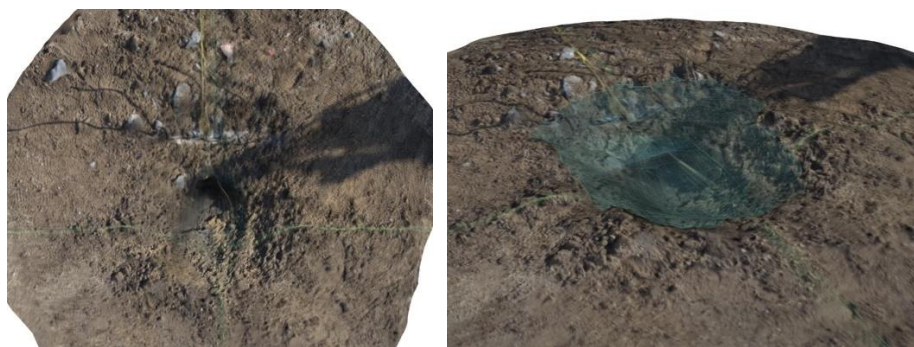


図 4.A.7-2 R5 No 1-3(10 kg) 三次元回復画像 (左：上面、中央：斜視 漏斗部水埋処理)

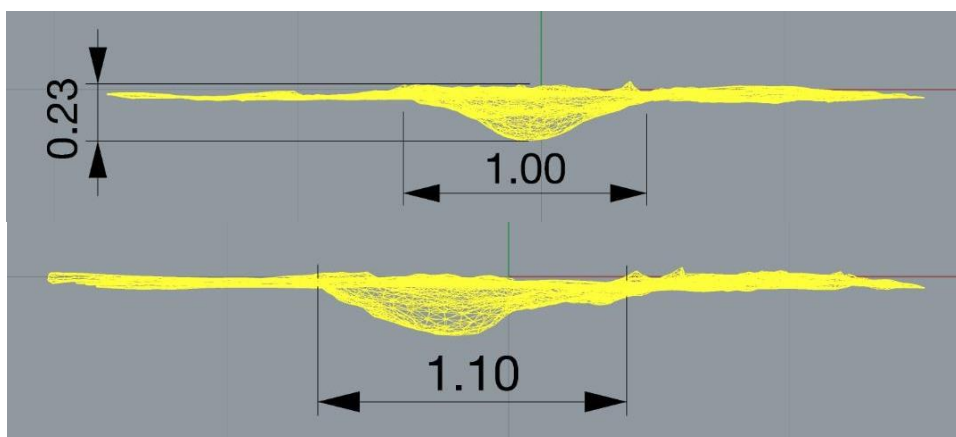


図 4.A.7-3 R5 No 1-3 (10 kg) 漏斗部側面 (上：180 度方向から、下：270 度方向から)



図 4.A.7-4 R5 No 1-4 (32 kg) 三次元回復画像 (左：上面、中央：斜視 漏斗部水埋処理)

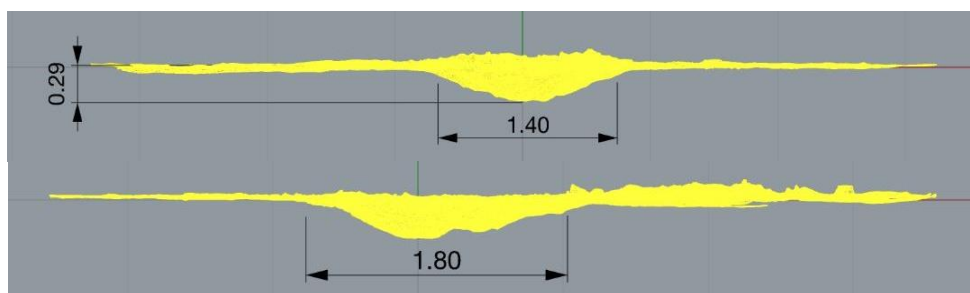


図 4.A.7-5 R5 No 1-4 32 kg 漏斗部側面 (上：180 度方向から、下：270 度方向から)

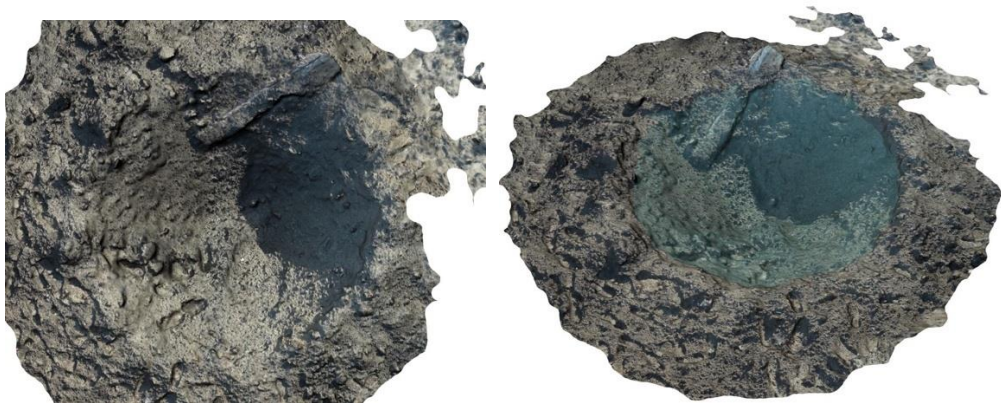


図 4.A.7-6 R4 No 1-2 (80 kg) 三次元回復画像（左：上面、中央：斜視 漏斗部水埋処理）

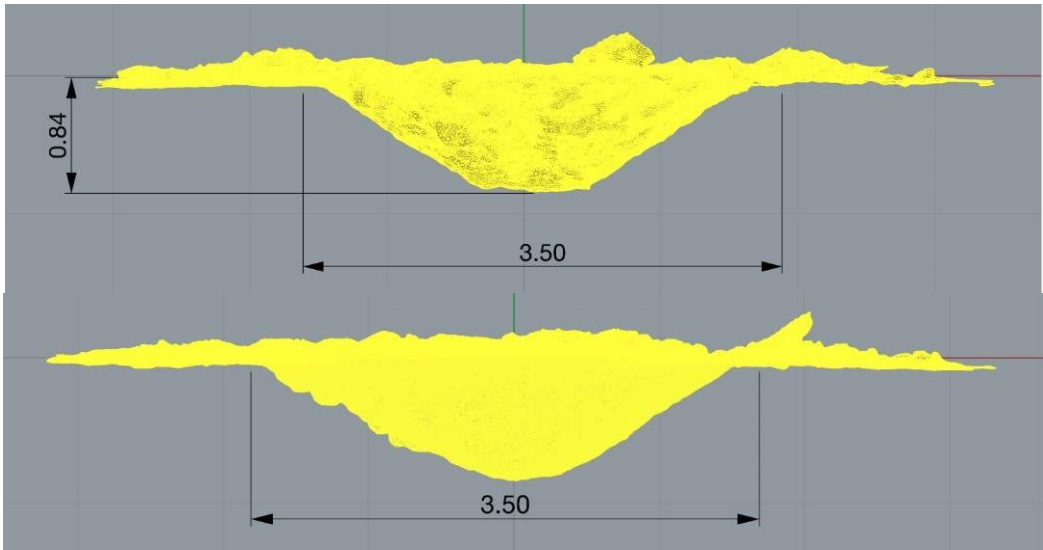


図 4.A.7-7 R4 No 1-2 80 kg 漏斗部側面（上：180 度方向から、下：270 度方向から）

表 4A-7-2

実験番号	薬量	評価体積
R5 No 1-3	10 kg	0.0534 m ³
R5 No 1-4	32 kg	0.219 m ³
R5 No 1-2	80 kg	2.95 m ³

4.A.8（付録 9）使用器材一覧

実験で使用した機器の一覧を表 4.A.8-1 から表 4.A.8-5 に示す。

表 4.A.8-1 使用機器類（観測所）

機器名称	メーカー	型番	仕様
発破器	TELEDYNE RISI	FS-43	使用電力(W) : 100 充電電圧(V) : 4000
パルス発生器	Berkeley Nucleonics	BNC575	Delay:0 to 99.999999999 seconds with 1 ns resolution Width:10 ns to 99.999999999 seconds with 1 ns resolution Accuracy:1 ns+0.0001xtime Timebase:10 MHS,25 ppm crystal oscillator RMS Jitter:1 ns Trig Delay:Ext.Trig to 0<250 ns
デジタルオシ ロスコープ	横河電機	DL750	形式:プラグインモジュール スロット数:8 ロジック入力:16 (8bit*2) 最大レコード長 2.5 MW/Ch トータル 50 M Word 最高サンプルレート:10 MS/s
ウェザーステ ーション（温 湿度、気圧計）	Technoline	WS9032	Indoor and outdoor temperature Pressure display Dew point Humidity:1% to 99% (resolution 1%)
風向風速計	大田計器	30-T	測定範囲 風速 : 0.4m/s ~ 70m/s 風向 : 0~ 540° Shift 24 分割-16 方位 精度 風速 : 6m/s 以下のとき±0.3m/s、6m/s 超過の とき±5%（気象庁規格）

表 4.A.8-2 使用機器類（爆風計測）

機器名称	メーカー	型番	仕様
ピエゾ圧力 素子	PCB	113B28	≦500kHz,100mV/psi
		102M256	≦250kHz,200mV/psi
ラインドラ イバー	H-TECH	Triple mode 30222	利得×0.5,×1,×2, ×5,×10
アンプレシ ーバー	H-TECH	mode 30310	Wide band low noise ultra-high isolation instrumentation receiver
波形記憶装 置	Tasler	LTT184/8	方式 : AD 変換によるデジタルデータ記憶 サンプリング間隔 : 最高 500 ns 以上 垂直分解能 : 16 bit チャンネル数 : 8 Ch(同時サンプリング) メモリ : 128 MB 以上

表 4.A.8-3 使用機器類 (高速度カメラ撮影)

機器名称	メーカー	型番	仕様 (撮影時の設定)
高速度カメラ	Vision Research 社	Phantom VEO640	画素数: 1920 (横) × 1080 (縦) 画素、撮影速度: 1000 コマ/秒
高速度カメラ	Vision Research 社	Phantom v1210	画素数: 1280 (横) × 800 (縦) 画素、撮影速度: 5000 コマ/秒
高速度カメラ	Vision Research 社	Phantom v640	画素数: 2560 (横) × 1600 (縦) 画素、撮影速度: 1000 コマ/秒

表 4.A.8-4 使用機器類 (地盤振動測定関係)

機器名	製造元	型番	仕様
圧電型加速度ピックアップ	TEAC	612ZS	感度 (pC/m/s^2) 約 $0.035 \pm 20\%$ 横感度 (max) 5% 静電容量 $580\text{pF} \pm 20\%$ (ケーブル 3m 付) 補償温度範囲 $-50^\circ\text{C} \sim 160^\circ\text{C}$ 周波数応答 ($\pm 3\text{dB}$) $f_c \sim 20,000\text{Hz}$ 共振周波数 約 60kHz 使用最大加速度 (m/s^2) $\pm 100,000$ 耐衝撃性 (peak) (m/s^2) 100,000
	TEAC	707Z	感度 (mV/m/s^2) 約 $10 \pm 10\%$ 横感度 (max) 5% 基底ノイズ(max) 20uVrms 補償温度範囲 $-20^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 周波数応答 ($\pm 3\text{dB}$) $3 \sim 5,000\text{Hz}$ 共振周波数 約 10kHz 使用最大加速度 (m/s^2) ± 150 耐衝撃性 (peak) (m/s^2) 10,000
チャージアンプ	TEAC	SA-611	圧電型加速度トランスデューサ 入力(max) 10000pC (電荷入力) / $\pm 10\text{V}$ (電圧入力) 定電流 0.5mA , 4mA , 24DVC 感度設定範囲 $0.03 \sim 999(\text{pC/m/s}^2 \text{ or } \text{mV/m/s}^2)$ 定格出力 $1\text{V} \pm 1.5\%$ 周波数特性 $0.2 \sim 30\text{kHz}$ (H.M) $0.2 \sim 10\text{kHz}$ (L)
	RION	UV-15	振動計ユニット入力(max) 100000pC (電荷入力) / $\pm 24\text{V}$ (電圧入力) 感度設定範囲 $0.1 \sim 99.9 (\text{pC/m/s}^2 \text{ or } \text{mV/m/s}^2)$ 定格出力 $1\text{V} \pm 2\%$ 周波数特性 $1 \sim 15\text{kHz}$ (ACC, $\pm 5\%$) $3 \sim 3\text{kHz}$ (VEL, $\pm 5\%$)
データロガー	HIOKI	8861-50	メモリハイコーダ(高分解能ユニット 8957 使用時) 最高サンプリング速度 2MS/s 分解能 16bit 測定レンジ $5\text{m} \sim 12\text{V/DIV}$ 確度 $\text{DC} \pm 0.2\% \text{ f.s.}$ 周波数特性 $\text{DC} \sim 200\text{kHz}$

表 4.A.8-5 使用機器類

名称	メーカー	台数	仕様、性能
NL-31	リオン (株)	2	A 特性 ($28 \sim 130\text{dB}$)、C 特性 ($33 \sim 130\text{dB}$)、平坦特性 ($38 \sim 130\text{dB}$)、演算 ($L_p, L_{eq}, L_e, L_{max}, L_{min}, L_N$)
377C10	PCB PIEZOTRONICS 社	3	Mic.Diameter $1/4\text{inch}$, Sensitivity 1.0mV/Pa , Frequency $< 3\text{Hz} \sim 60\text{kHz}$, Dynamic range $28 \sim 165\text{dB}$
BK 2250 Hand held analyzer	BK 社	2	ダイナミックレンジ: 120dB 、最大: 140dB 、Z(平坦)特性($3 \sim 20\text{kHz}$)、演算 ($L_{Aeq}, L_{Ceq}, L_{CE}, L_{AE}, L_{Zpeak}, L_{AFmax}, L_{ASmax}, L_{CFmax}, L_{CSmax}$ など 30 以上)
PC FFT アナライザ FP4/OR24J	OROS 社	2	入力チャンネル数: 4, 入力電圧レンジ $1\text{mV} \sim 31.6\text{V}$ 、ダイナミックレンジ: 90dB 、分析周波数レンジ: $1 \sim 40\text{kHz}$ 、分析機能: クロススペクトラム、伝達関数、位相差、コヒーレンス関数、ボード、ベクトル表示、三次元分析

4.A.9（付録 10）L 型コンクリート擁壁試験成績書

試 験 成 績 報 告 書

L 型 コ ン ク リ ー ト 擁 壁

令和5年度火薬類保安技術実験爆発影響低減実験

発注者： 一般社団法人 全国火薬類保安協会 様

施 工： ■ ■ ■ 株 式 会 社

コンクリート製品配合種類

株式会社

配合 No.	製 品 名	設計 基準 強度 N/mm ²	材 齢 日	スラ ン プ cm	空気量 %	W/C %	セメント 量 kg/m ³	セメント の 種類	上段－粗骨材：下段－細骨材					混和剤 の種類
									最大 寸法	産 地	粗粒率	密 度	アルカリ 骨材 反応	
1	鉄筋コンクリート管 1 種・2 種 (φ 600 以上)	32	14	12	4.5	43.0	382	N	20	忠 類	6.72	2.62	無	A E 減水剤
	台付管 (φ 450・600)													
	V型側溝 2 種 (低側壁型) (320・425)								2.5	大楽毛	2.57	2.60	無	
	私設・公共丸掛 (φ 600 以上)、他													
	空気弁工 φ 600													
舗装用普通平板、他*														
2	鉄筋コンクリート管 1 種・2 種 (φ 600 以下)	32	14	12	4.5	44.2	412	N	10	忠 類	5.94	2.62	無	A E 減水剤
	台付管 (φ 300)、													
	私設・公共丸掛 (φ 450)								2.5	大楽毛	2.57	2.60	無	
	U形側溝 (240)、V型側溝 (240)													
	上ぶた式U形側溝本体 (240 以下)													
	上ぶた式U形側溝蓋 (1 種 300 以下)													
	塩ビ防護管、便槽本体、メーカ-筐網													
	法止ブロック、L型積ブロック H300、他													
5	水道用品、丸・角底板、基礎板、	24	14	10	4.5	51.0	314	N	20	忠 類	6.72	2.62	無	A E 減水剤
	ハウス東石、東石、道路中心標、													
	根固ブロック、転落防止柵基礎ブロック、								2.5	大楽毛	2.57	2.60	無	
	基礎ブロック (600×600×600 未満)、他													
6	上ぶた式U形側溝本体 (300 以上)	28	14	10	4.5	46.5	347	N	20	忠 類	6.72	2.62	無	A E 減水剤
	上ぶた式U形側溝蓋 (1 種 450 以上・2 種 240 以上)													
	U形側溝 (300 以上)								2.5	大楽毛	2.57	2.60	無	
	V型側溝 (300 以上)、皿型側溝、													
	片面歩車道境界A、地先境界A													
	緑石類、建築用緑石、舗装止緑石、他													
	R C P 蓋類、私設・公共丸掛蓋													
	樹類、樹蓋類、壁類、他													
L型積ブロック H500、L・T型擁壁、他														
7	案内標識ブロック、端末基礎ブロック	24	14	8	4.5	51.0	295	N	40	忠 類	7.93	2.62	無	A E 減水剤
	大型視線誘導標基礎ブロック													
	防雪柵基礎ブロック								2.5	大楽毛	2.57	2.60	無	
	基礎ブロック (600×600×600 以上)、他													

コンクリート圧縮強度試験成績書

 株式会社

製 品 名				規 格			
特注 L 型擁壁 実験No.1-1				W45/300×L400×H533			
特注 L 型擁壁 実験No.1-2				W66/442×L589×H785			
配 合 の 設 計 条 件							
設計基準強度 (N/mm ²)		28		配合強度 (N/mm ²)		38.4	
粗骨材の最大寸法 (mm)		20		セメントの種類による記号		N	
スランプの範囲 (cm)		10±2.5		空気量の範囲 (%)		4.5±1.5	
塩化物量 (kg/m ³ 以下)		0.30		アルカリシリカ反応抑制対策の方法の記号		A	
材 齢 (日)		14					
示方 配合	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			セメント	水	細骨材 陸砂	粗骨材 砕石20	混和剤
	46.5	45.8	347	161	814	972	2.78
試 験 結 果							
No.	採取年月日	試験年月日	材齢 (日)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)	
1	2023. 10. 27	2023. 11. 10	14	294	37.4	37.5	
2				286	36.4		
3				303	38.6		
供試体寸法		φ 10×20		供試体養生方法		製品同一養生	
判 定 基 準				設計基準強度以上であること。			
判 定				合 格			
試験及び検査方法： J I S A 1 1 0 8 による							
添付資料：材料試験表							
		セメント	2023	年 10 月 度			
		骨 材	2023	年 10 月 度			
		混 和 剤	2023	年 7 月 度 ～ 12 月 度			
		(ヤマソー02NLP)					

釧根地区コンクリート製品組合統一様式

コンクリート圧縮強度試験成績書



株式会社

製 品 名				規 格			
特注 L 型擁壁 実験No.1-3				W97/647×L862×H1149			
特注 L 型擁壁 実験No.1-4				W143/953×L1270×H1693			
配 合 の 設 計 条 件							
設 計 基 準 強 度 (N/mm ²)		28		配 合 強 度 (N/mm ²)		38.4	
粗 骨 材 の 最 大 寸 法 (mm)		20		セメントの種類による記号		N	
ス ラ ン プ の 範 囲 (cm)		10±2.5		空 気 量 の 範 囲 (%)		4.5±1.5	
塩 化 物 量 (kg/m ³ 以下)		0.30		アルカリシリカ反応抑制対策の方法の記号		A	
材 齢 (日)		14					
示方 配合	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			セメント	水	細骨材 陸砂	粗骨材 碎石20	混和剤
	46.5	45.8	347	161	814	972	2.78
試 験 結 果							
No.	採取年月日	試験年月日	材齢 (日)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	平 均 値 (N/mm ²)	
1	2023. 10. 19	2023. 11. 02	14	283	36.0	35.0	
2				264	33.6		
3				277	35.3		
供試体寸法		φ10×20		供試体養生方法		製品同一養生	
判 定 基 準				設計基準強度以上であること。			
判 定				合 格			
試験及び検査方法： J I S A 1 1 0 8 による							
添付資料： 材料試験表							
		セメント	2023	年 10 月 度			
		骨 材	2023	年 10 月 度			
		混 和 剤	2023	年 7 月 度 ～ 12 月 度			
		(ヤマソー02NLP)					

釧根地区コンクリート製品組合統一様式

セメント試験成績表

2023 年(令和 5 年) 10 月度

種 類 品質		普通ポルトランドセメント JIS R 5210				早強ポルトランドセメント JIS R 5210				高炉セメント B 種 JIS R 5211			
		J I S 規格値	試 験 成 績			J I S 規格値	試 験 成 績			J I S 規格値	試 験 成 績		
			平均値	標準偏差	最大値 (最小値)		平均値	標準偏差	最大値 (最小値)		平均値	標準偏差	最大値 (最小値)
密 度 g/cm ³		—	3.16	—	—	—	3.14	—	—	—	3.04	—	—
比表面積 cm ² /g		2500以上	3260	61	—	3300以上	4660	71	—	3000以上	3750	50	—
凝 結	水 量 %	—	27.1	—	—	—	30.3	—	—	—	28.0	—	—
	始 発 h-min	60min以上	2-07	—	(2-00)	45min以上	1-39	—	(1-35)	60min以上	2-48	—	(2-40)
	終 結 h-min	10h 以下	3-49	—	4-00	10h 以下	3-01	—	3-10	10h 以下	4-35	—	5-50
安 定 性		パ ッ ト 法	良	良	—	良	良	—	—	良	良	—	—
圧縮強さ N/mm ²	1 d	—	—	—	—	10.0 以上	26.5	1.18	—	—	—	—	—
	3 d	12.5 以上	27.9	1.11	—	20.0 以上	50.0	1.17	—	10.0 以上	20.3	0.70	—
	7 d	22.5 以上	44.4	1.26	—	32.5 以上	60.8	1.26	—	17.5 以上	35.8	1.32	—
	28 d	42.5 以上	64.4	1.33	—	47.5 以上	69.4	1.27	—	42.5 以上	63.2	1.27	—
水 和 熱 J/g	7 d	—	320	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	28 d	—	387	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
化学成分 %	酸化マグネシウム	5.0 以下	2.11	—	2.24	5.0 以下	1.95	—	2.06	6.0 以下	3.61	—	3.95
	三酸化硫黄	3.5 以下	2.10	—	2.17	3.5 以下	3.00	—	3.04	4.0 以下	2.15	—	2.27
	強 熱 減 量	5.0 以下	2.45	—	2.60	5.0 以下	1.05	—	1.33	5.0 以下	1.86	—	1.95
	全アルカリ	0.75 以下	0.46	—	0.49	0.75 以下	0.49	—	0.52	—	—	—	—
	塩化物イオン	0.035以下	0.022	—	0.023	0.02 以下	0.011	—	0.013	—	0.016	—	—

備 考

試験方法は JIS R 5201、JIS R 5202、JIS R 5203 及び JIS R 5204 による。
28d 圧縮強さ及び 28d 水和熱は前月度の値を示す。

全アルカリの最大値のうち直近 6 ヶ月の最大の値

普通ポルトランドセメント 0.50 %

早強ポルトランドセメント 0.52 %

高炉セメント B 種

ベースセメントの全アルカリ 0.46 %

高炉スラグの分量 40～45 %

お問い合わせその他のご連絡先

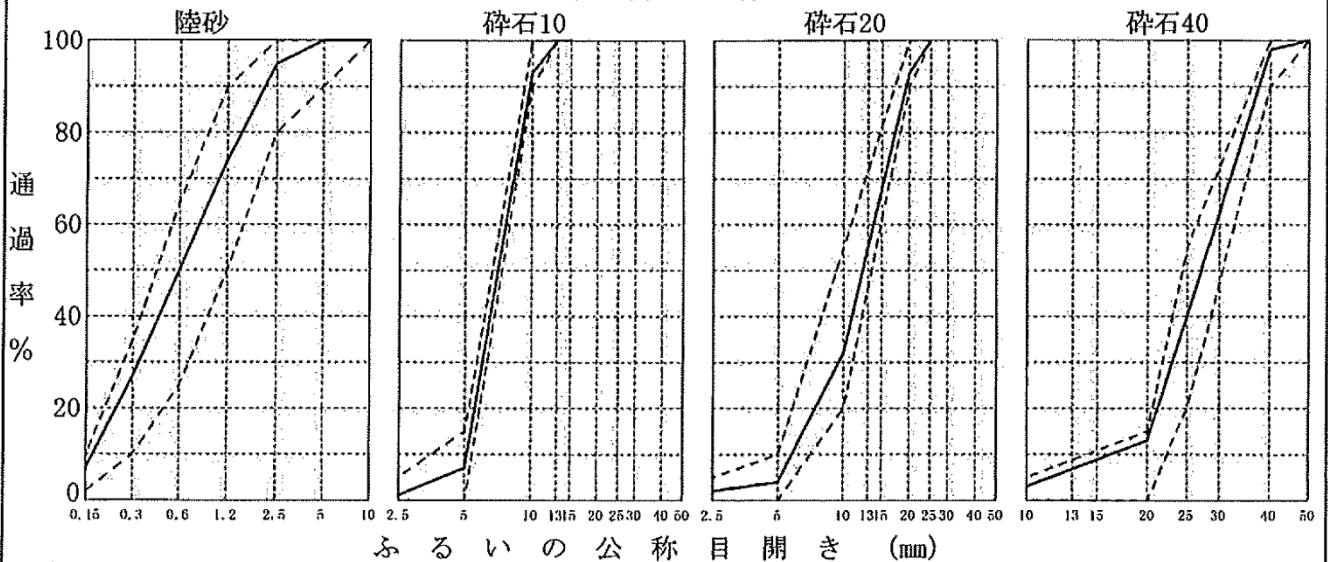
9/29

■ 骨 材 試 験 成 績 書 ■

2023年 10月度

産地品名		骨材名称				検 印 欄				
骨材①	大楽毛産	陸砂				Q	M	R	係	
骨材②	忠類産 1005	砕石10								
骨材③	忠類産 2005	砕石20								
骨材④	忠類産 4020	砕石40								
試験項目		骨材①	骨材②	骨材③	骨材④	ふるい分け試験 (通過率%)				
最大寸法 (mm)		2.5mm	10	20	40	ふるい (mm)	陸砂	砕石10	砕石20	砕石40
表乾密度 (g /cm ³)		2.61	2.62	2.62	2.61	150				
吸水率 (%)		2.19	2.37	2.35	2.40	100				
単位容積質量 (kg/L)		1.64	—	—	1.55	80				
微粒分量 (%)		0.5	1.0	0.8	0.7	60				100
粘土塊量 (%)		0.00	—	—	—	50				98
実積率 (%)		—	—	—	60.6	40				
有機不純物 (標準色よりも)		淡い	—	—	—	30			100	40
塩化物量 ※1 (%)		0.000	—	—	—	25			93	13
安定性 ※1 (%)		0.5	1.7	1.0	1.5	20				
すりへり減量 ※1 (%)		—	18.2	15.2	18.6	15	100	100		
粒形判定実積率 (%)		—	60.3	60.5	—	13	93	7	32	3
アルカリ骨材反応 ※2		A	A	A	A	5	100	1	4	
						2.5	95		2	
						1.2	74			
						0.6	50			
						0.3	27			
						0.15	7			
						粗粒率	2.47	5.99	6.69	7.86

粒 度 曲 線



備考:

※1については、年1回骨材業者が外部試験機関に依頼した試験結果とする。

※2については、年2回骨材業者が外部試験機関に依頼した試験結果とする。

※砕石1005については、年1回自社が外部試験機関に依頼した試験結果とする。

2023年7月 ～ 2023年12月度 コンクリート用化学混和剤 (JIS A 6204) 試験結果報告書

御中

種 類 AE減水剤 標準形 I種
商品名 ヤマソー02NL-P (50%)

1. コンクリートの試験結果

項 目		JIS A 6204 による規定値	形式評価試験値		性能確認試験値	
フレッシュー コンクリート	減 水 率 %	10以上	15	✓	15	✓
	ブリーディング量の比 %	70以下	47	✓	—	
	ブリーディング量の差 cm ³ /cm ²	—	—		—	
	凝結時間の差 始 発 分	-60 ~ +90	+ 45	✓	+ 50	✓
	終 結 分	-60 ~ +90	+ 45	✓	+ 40	✓
硬化コン クリート	経時変化量 スラング cm	—	—		—	
	空気量 %	—	—		—	
	圧縮強度比 材齢 1日	—	—		—	
	% 材齢 2日 (5℃)	—	—		—	
	材齢 7日	110以上	130	✓	126	✓
	材齢 28日	110以上	115	✓	118	✓
	長さ変化比 %	120以下	99	✓	—	
	凍結融解に対する抵抗性 (相対動弾性係数 %)	60以上	95	✓	—	

注記 1. 1 m³当たりの化学混和剤の使用量形式評価試験 3.00 kg/m³ , 性能確認試験 3.00 kg/m³

注記 2. 性能確認試験は6か月ごとに1回実施し、この表に表示している試験値は、2023年 5月
の試験結果である。ただし、圧縮強度の性能確認試験は1年に1回実施し、この表に表示している
試験値は、2022年 12月の試験結果である。

注記 3. この表に表示している形式評価試験は、2021年 5月に []
で実施した試験結果である。

2. 塩化物イオン (Cl⁻) 量及び全アルカリ量

項 目	JIS A 6204に よる規定値	形式評価試験値	化学混和剤中の 含有量	性能確認試験 1 m ³ 当たりの化学 混和剤の使用量	試験値
塩化物イオン (Cl ⁻) 量	0.02 kg/m ³ 以下	0.00 ✓ kg/m ³	0.01 %	3.00 kg/m ³	0.00 kg/m ³ ✓
全アルカリ量	0.30 kg/m ³ 以下	0.02 ✓ kg/m ³	0.6 %	3.00 kg/m ³	0.02 kg/m ³ ✓

注記 1. 性能確認試験は6か月ごとに1回実施し、この表に表示している試験値は、2023年 5月の試験結果である。

注記 2. この表に表示している形式評価試験は、2021年 5月に []
で実施した試験結果である。

3. その他の項目

項 目	規 格 値	試 験 値
密度 (g/cm ³ , 20℃)	1.04 ~ 1.08	1.06 ✓

注記 この表に表示している試験値は、2023年 5月の試験結果である。

6/2

検 査 写 真

L 型 コ ン ク リ ー ト 擁 壁 作 成 寸 法 検 査

工 期： 令和5年 1 1 月18日～令和5年 1 1 月 28日

発注者： 一般社団法人 全国火薬類保安協会 様

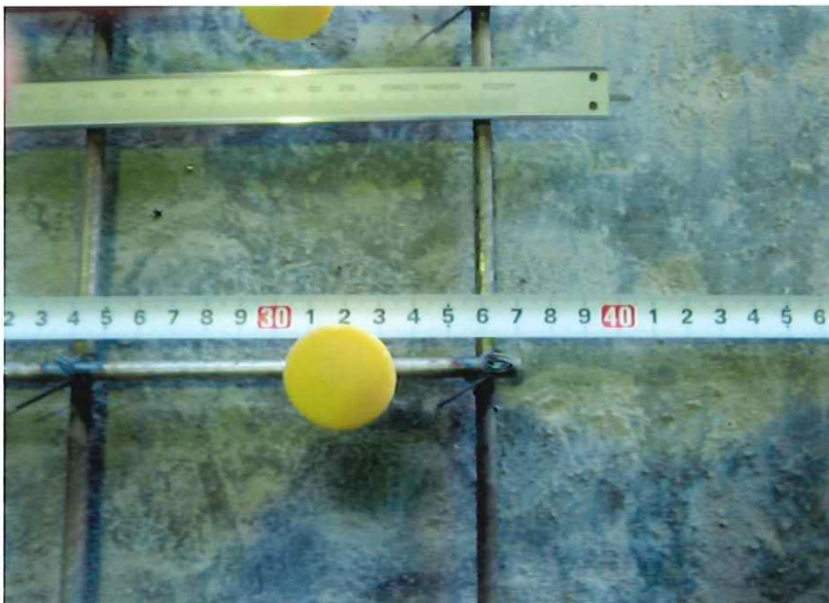
施 工： ■ ■ ■ ■ 株 式 会 社

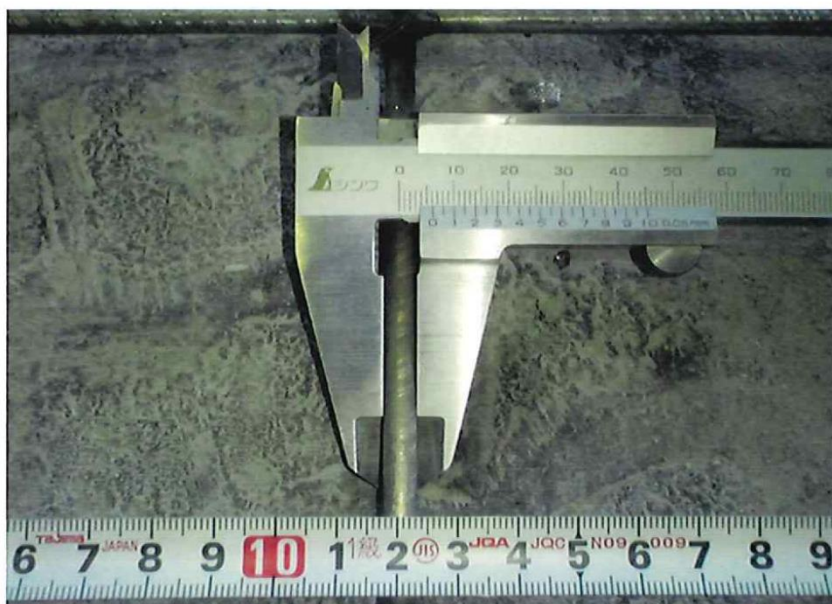


L型コンクリート擁壁

実験No.1-1

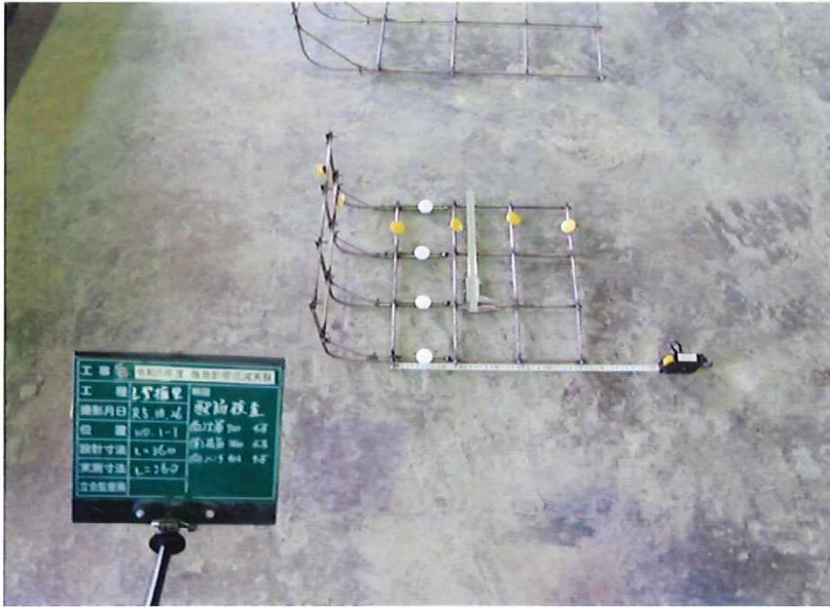
鉄筋寸法検査





L型コンクリート擁壁
 実験No.1-1
 鉄筋寸法検査





L型コンクリート擁壁

実験No.1-1

鉄筋寸法検査

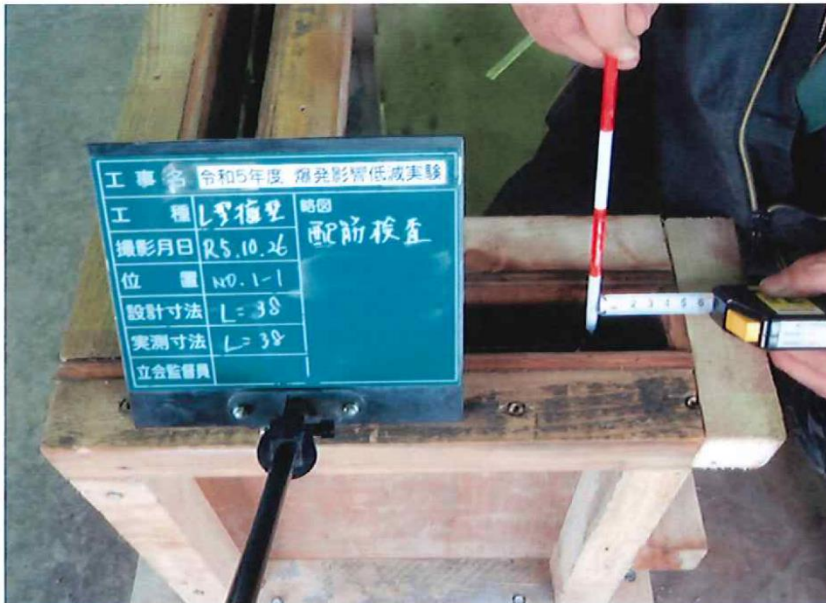




L型コンクリート擁壁

実験No.1-1

鉄筋寸法検査

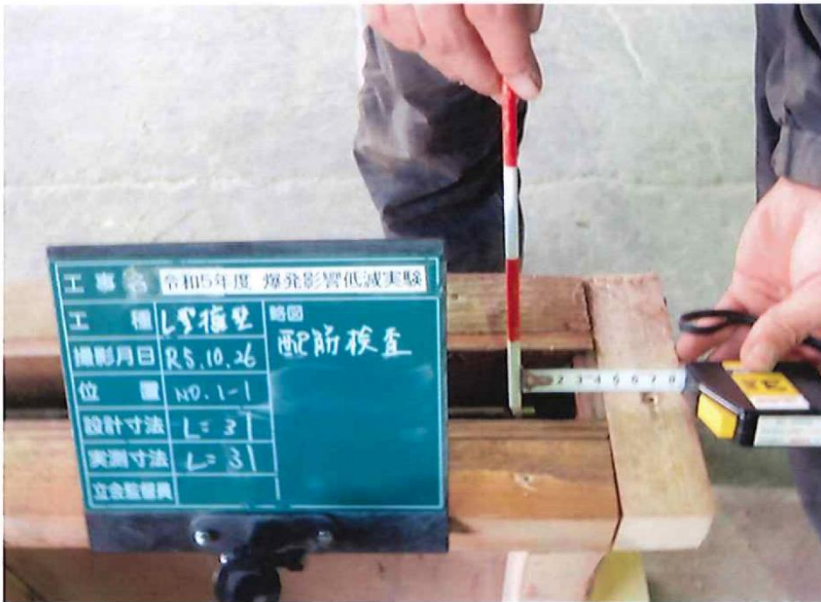


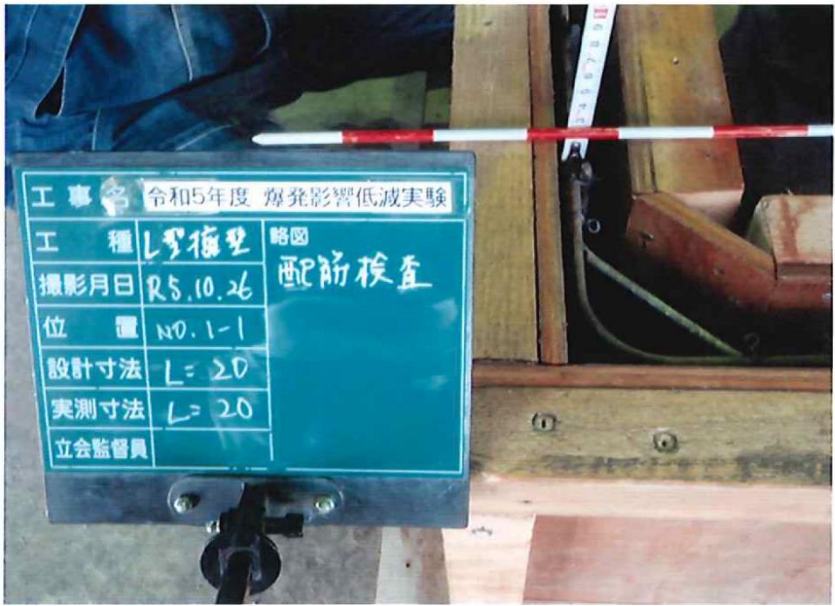


L型コンクリート擁壁

実験No.1-1

鉄筋寸法検査

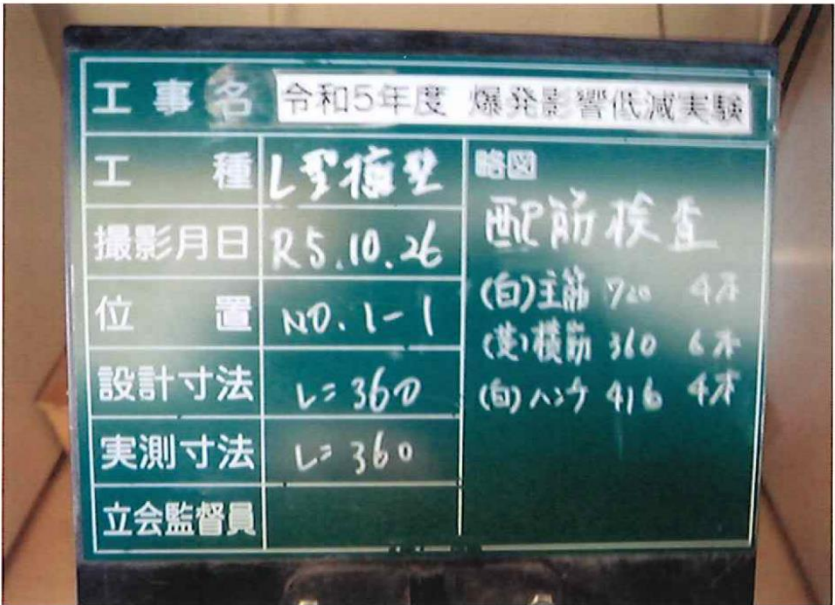




L型コンクリート擁壁

実験No.1-1

鉄筋寸法検査

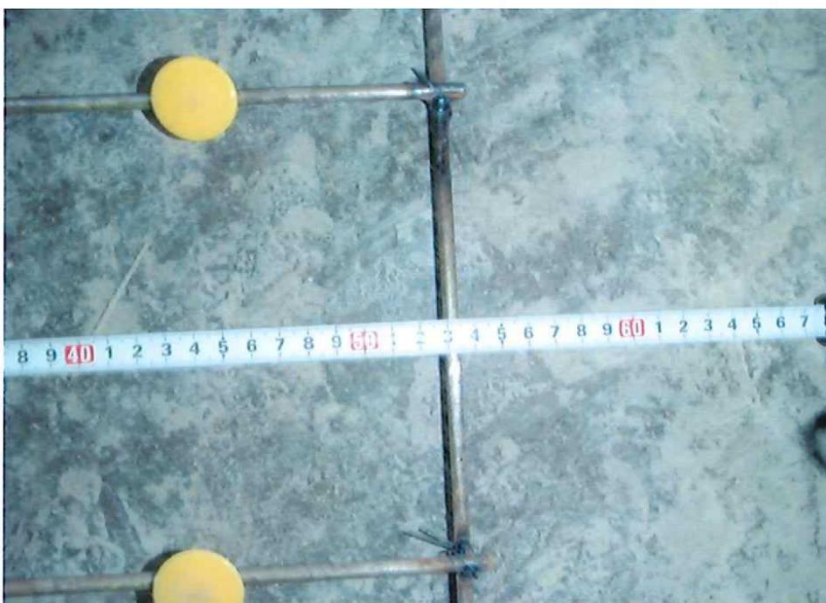


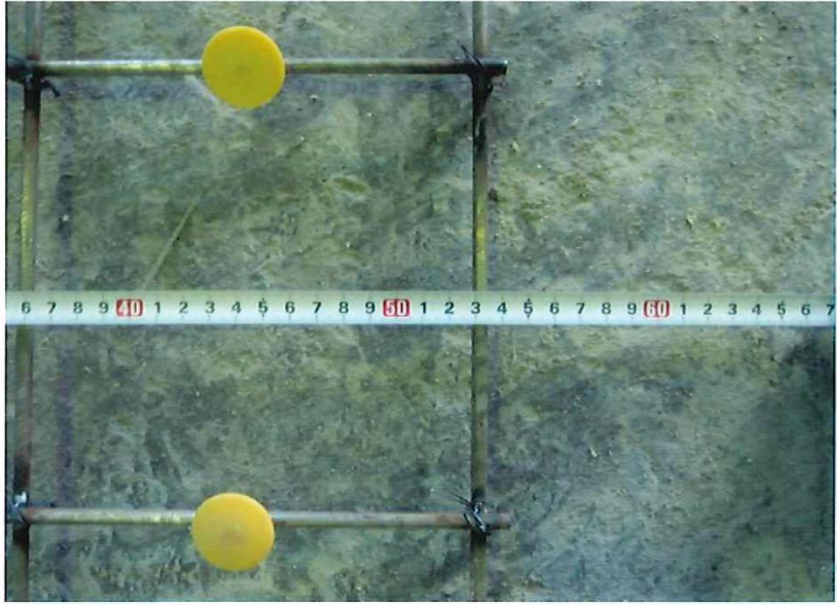


L型コンクリート擁壁

実験No.1-2

鉄筋寸法検査

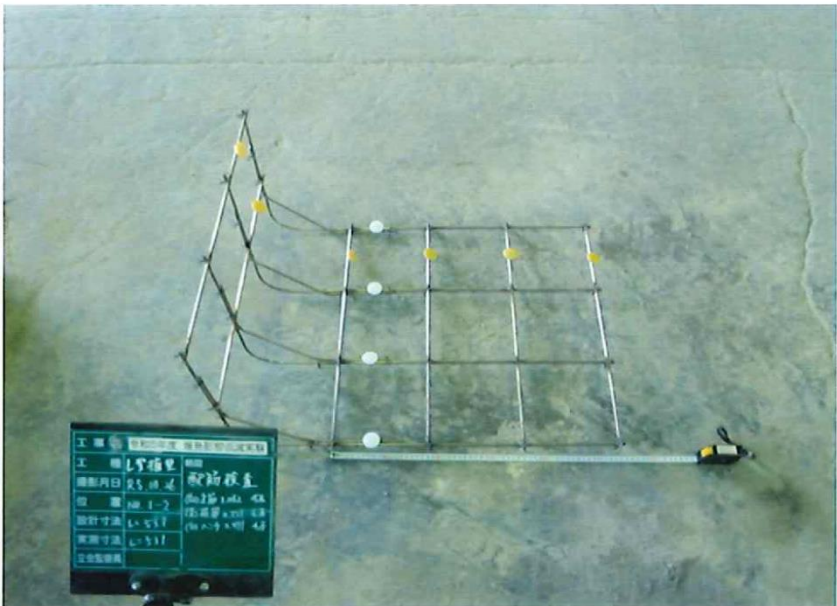


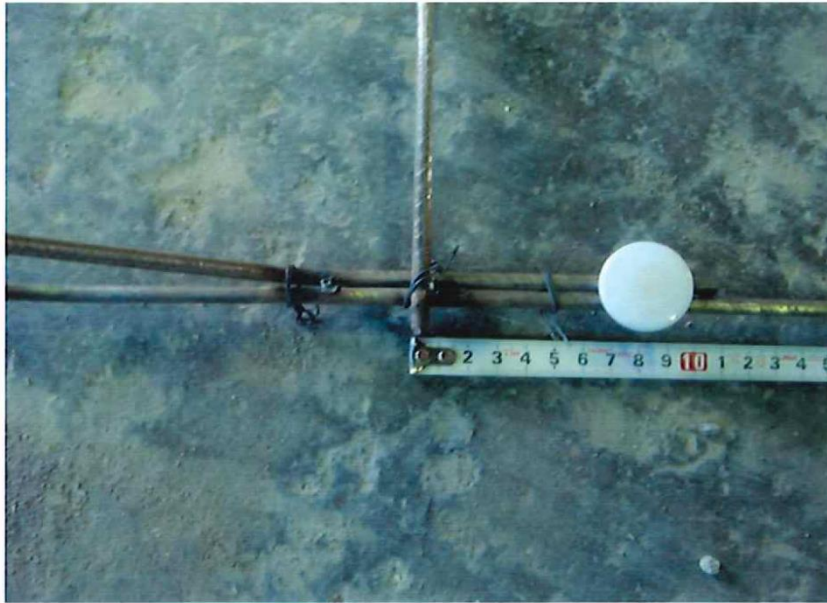


L型コンクリート擁壁

実験No.1-2

鉄筋寸法検査

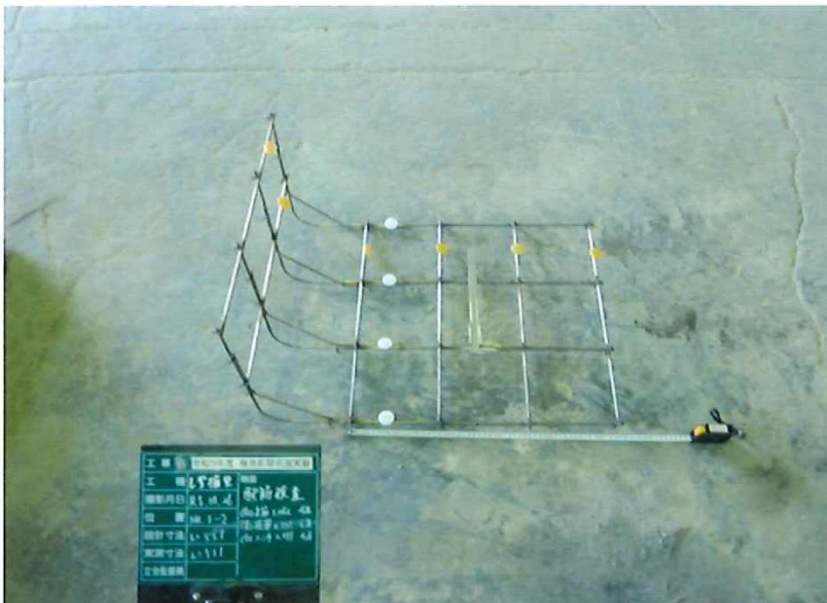


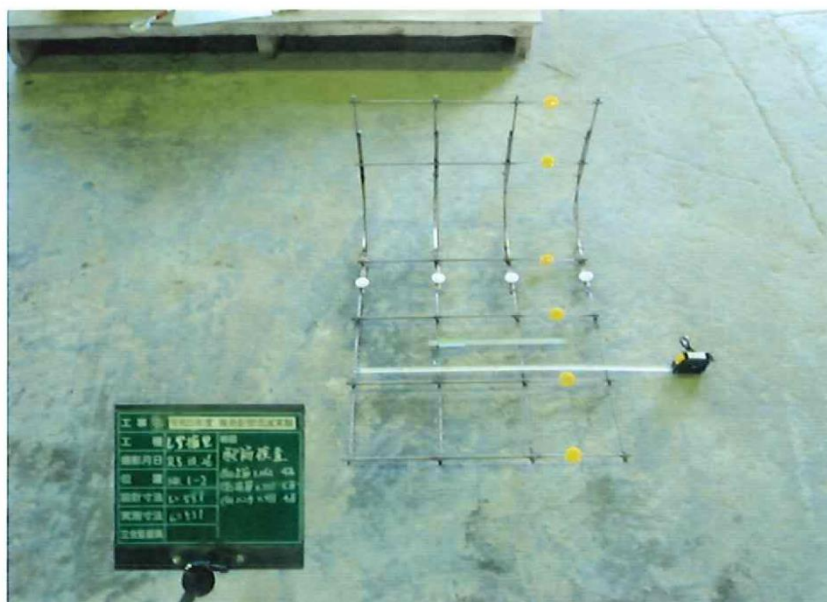


L型コンクリート擁壁

実験No.1-2

鉄筋寸法検査

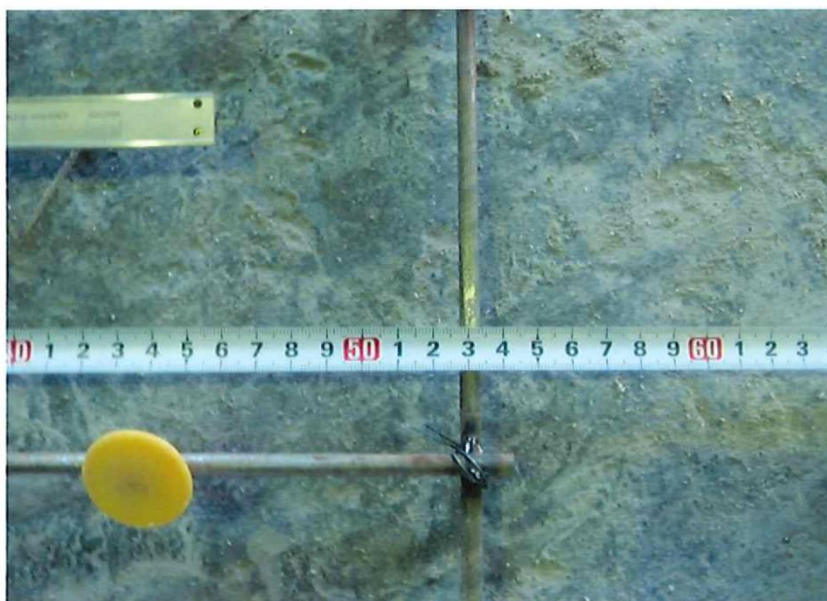
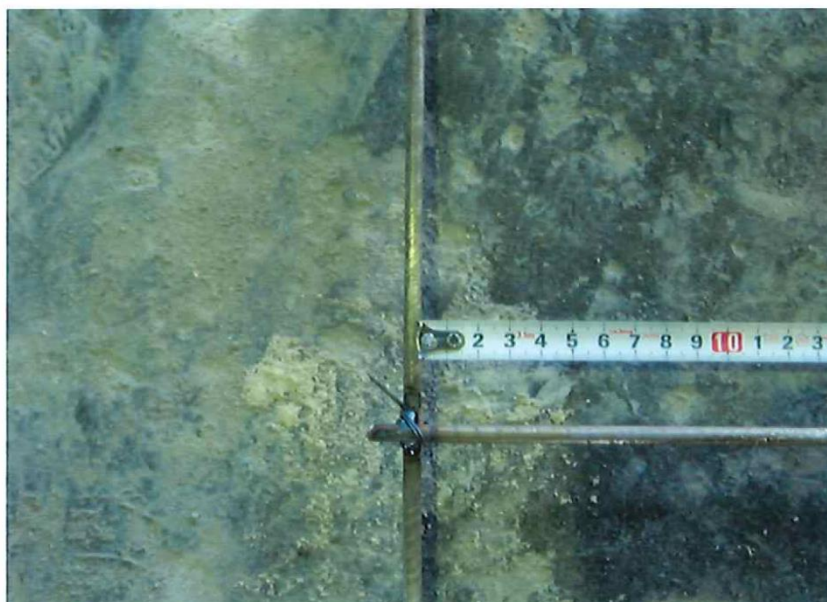




L型コンクリート擁壁

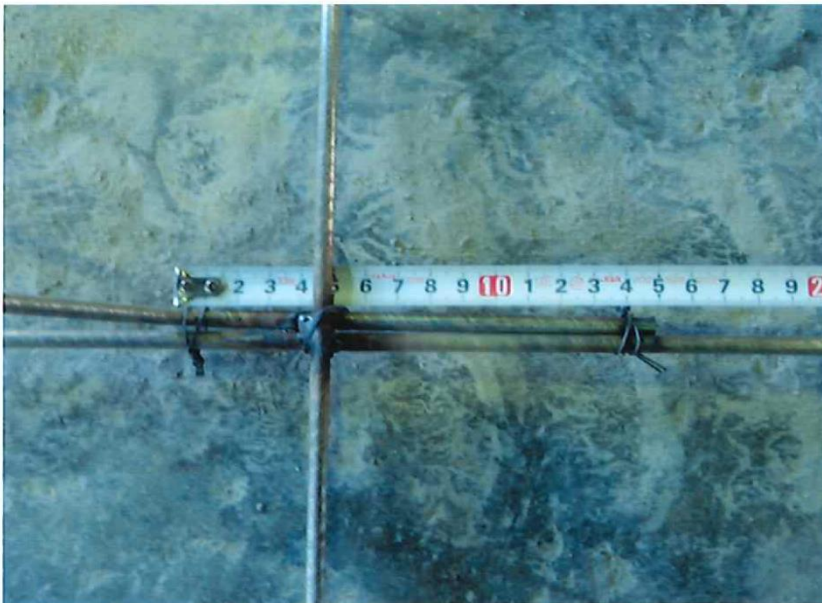
実験No.1-2

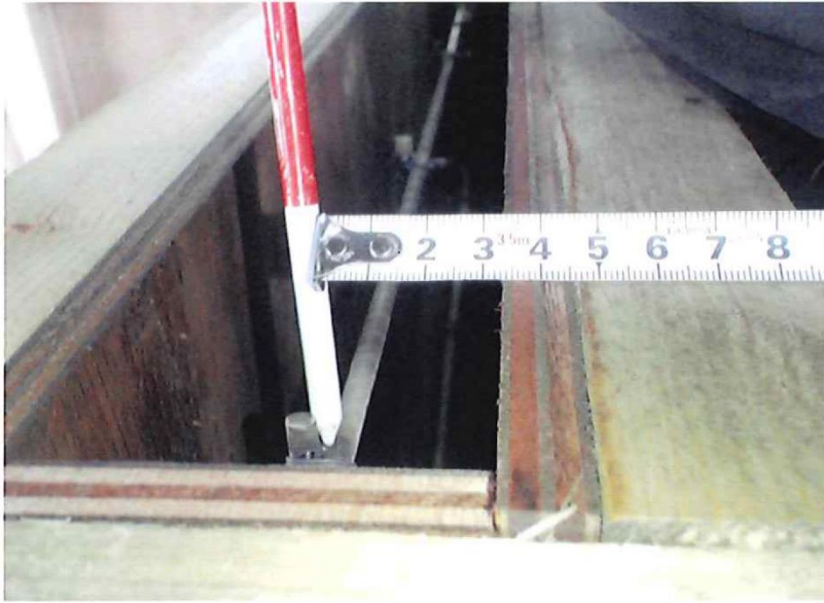
鉄筋寸法検査





L型コンクリート擁壁
実験No.1-2
鉄筋寸法検査





L型コンクリート擁壁

実験No.1-2

鉄筋寸法検査





L型コンクリート擁壁
実験No.1-2
鉄筋寸法検査





L型コンクリート擁壁
実験No.1-2
鉄筋寸法検査

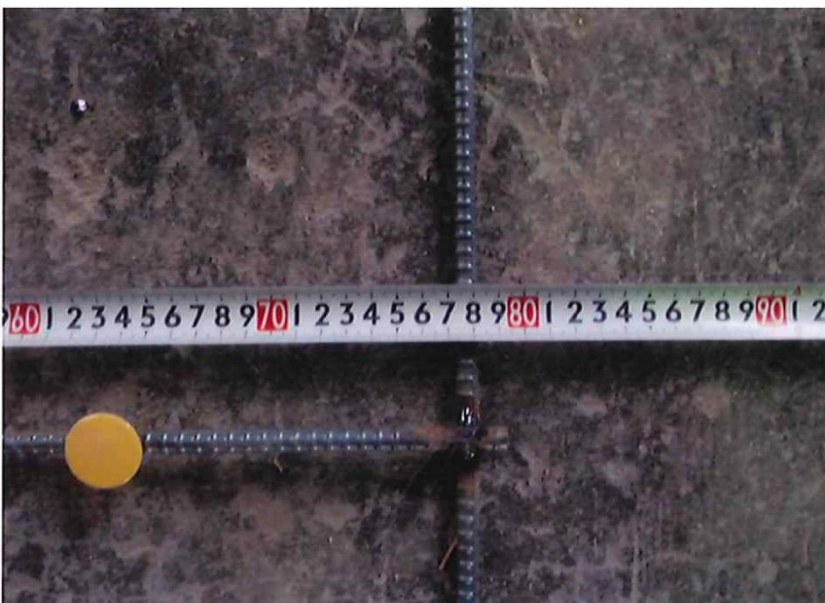
工事名	令和5年度 爆発影響低減実験	
工種	L型擁壁	略図
撮影月日	R5.10.26	配筋検査
位置	NO.1-2	(白)主筋 1062 4本
設計寸法	L=531	(黄)横筋 531 6本
実測寸法	L=531	(白)ハシ 471 4本
立会監督員		



I型コンクリート擁壁

実験No.1-3

鉄筋寸法検査

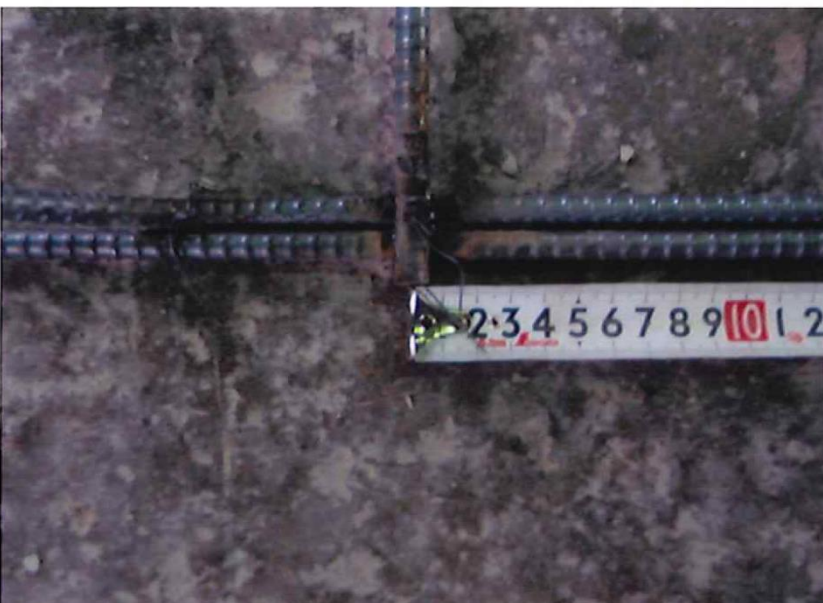


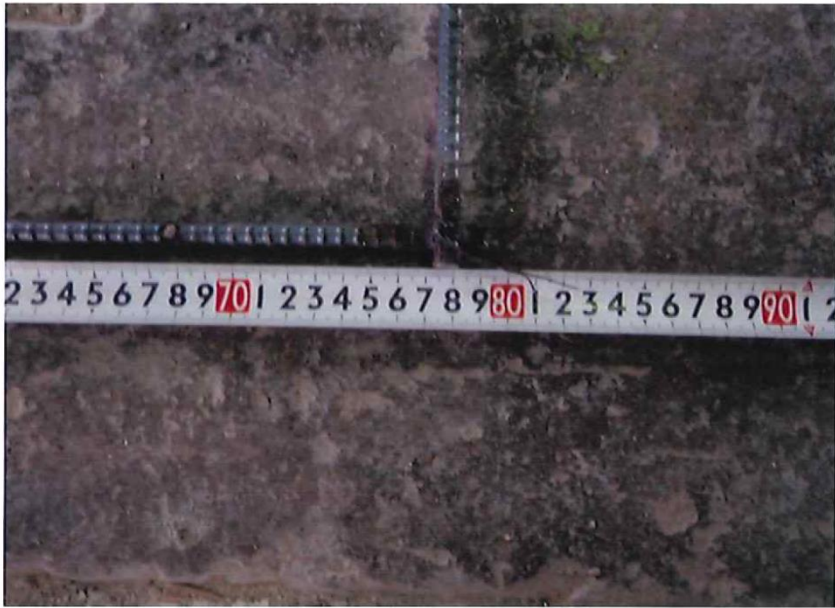


L型コンクリート擁壁

実験No.1-3

鉄筋寸法検査

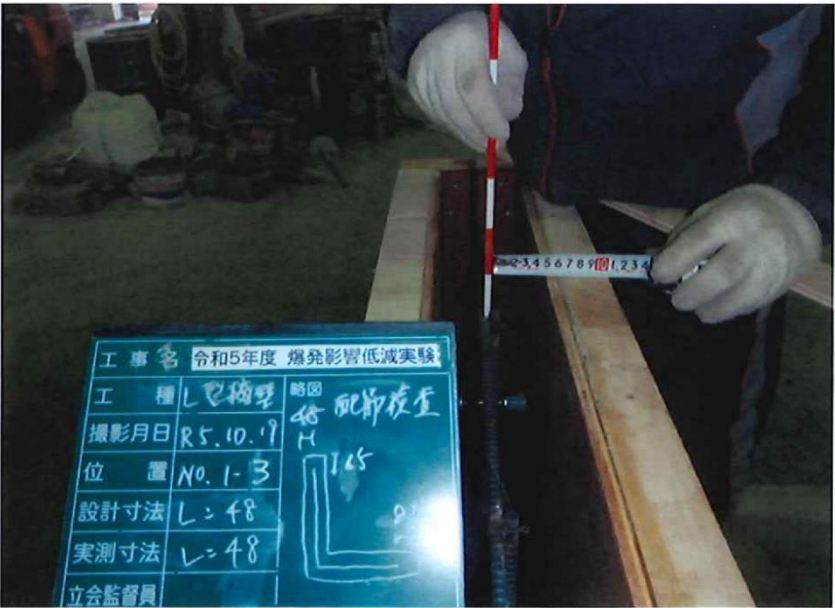




L型コンクリート擁壁

実験No.1-3

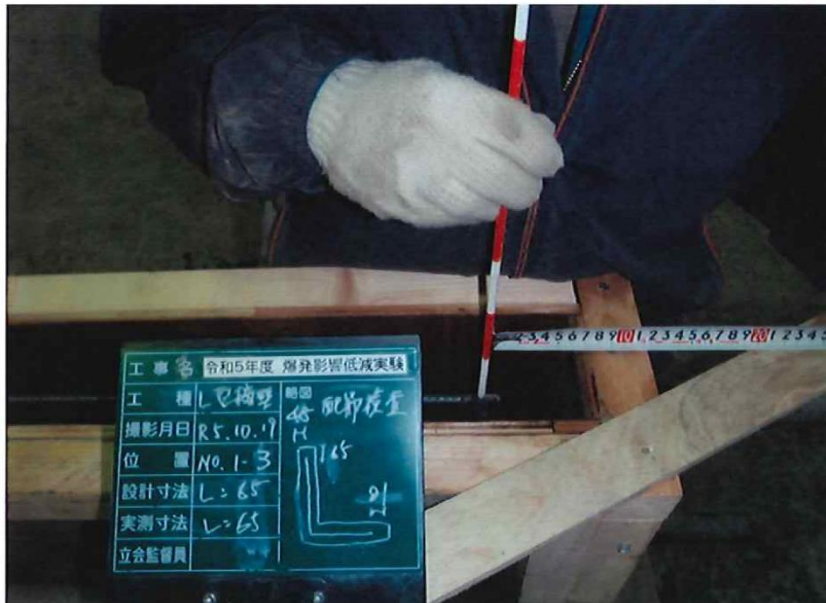
鉄筋寸法検査

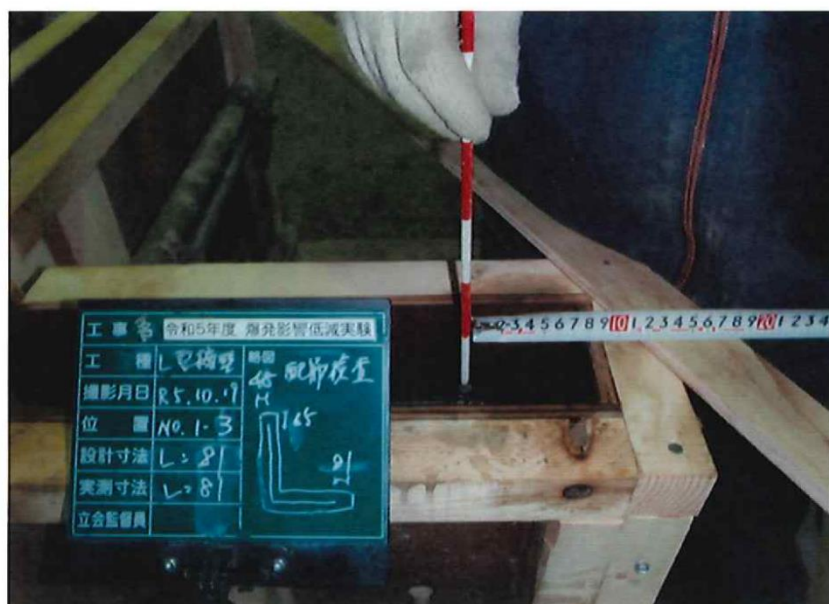


工事名	令和5年度 爆発影響低減実験		
工種	L型擁壁	略図	配筋検査
撮影月日	R5.10.19	48	H
位置	No. 1-3	145	
設計寸法	L=48		
実測寸法	L=48		
立会監督員			



L型コンクリート擁壁
実験No.1-3
鉄筋寸法検査

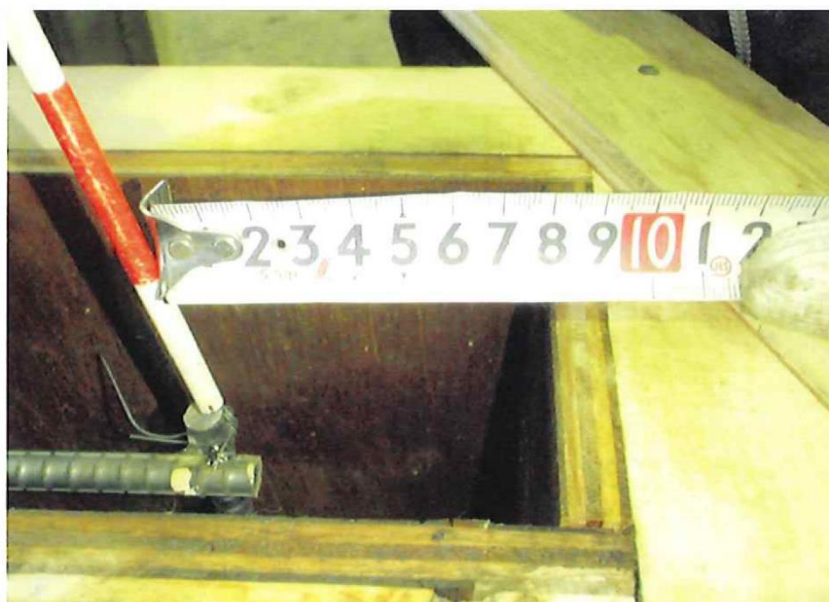




L型コンクリート擁壁

実験No.1-3

鉄筋寸法検査

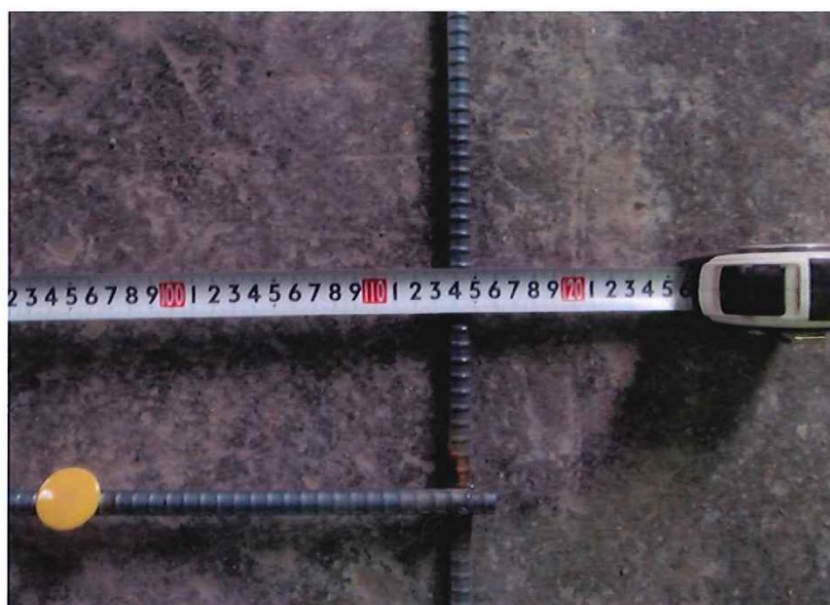




L型コンクリート擁壁
実験No.1-3
鉄筋寸法検査

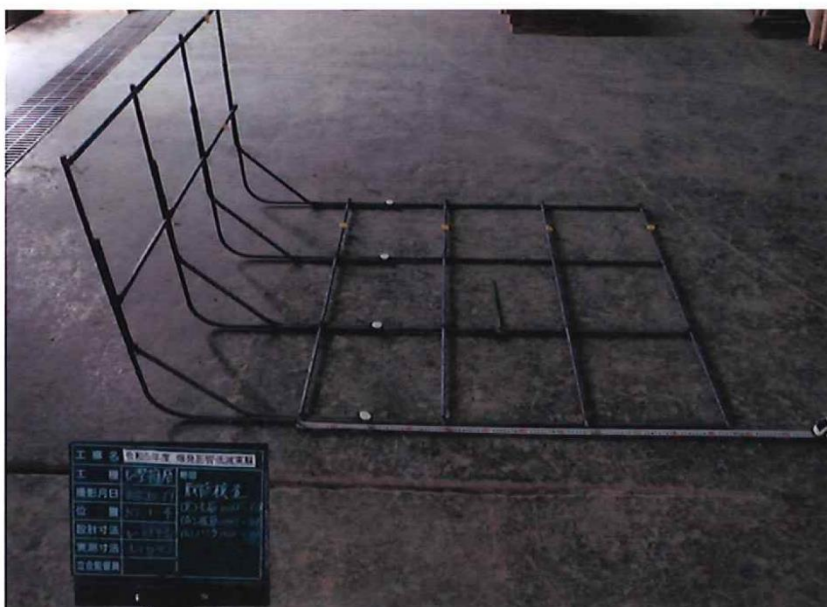


L型コンクリート擁壁
実験No.1-4
鉄筋寸法検査



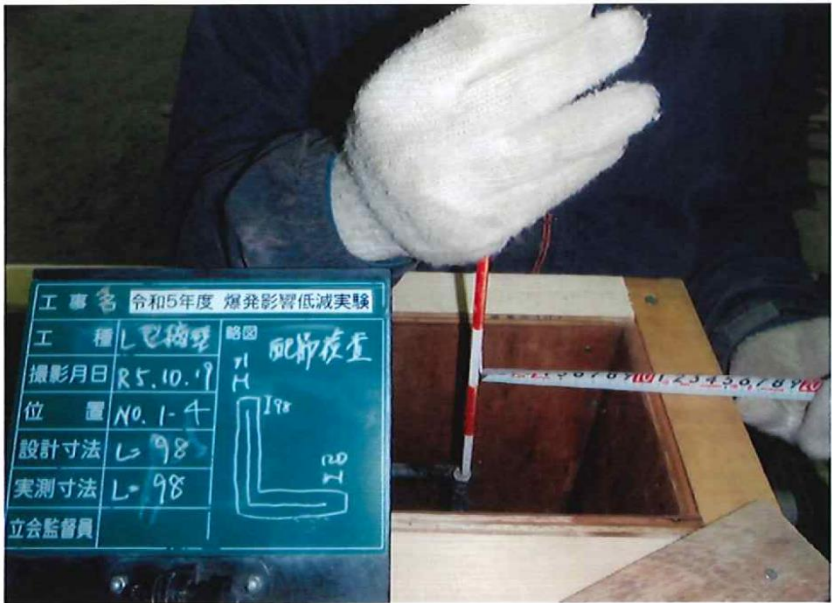


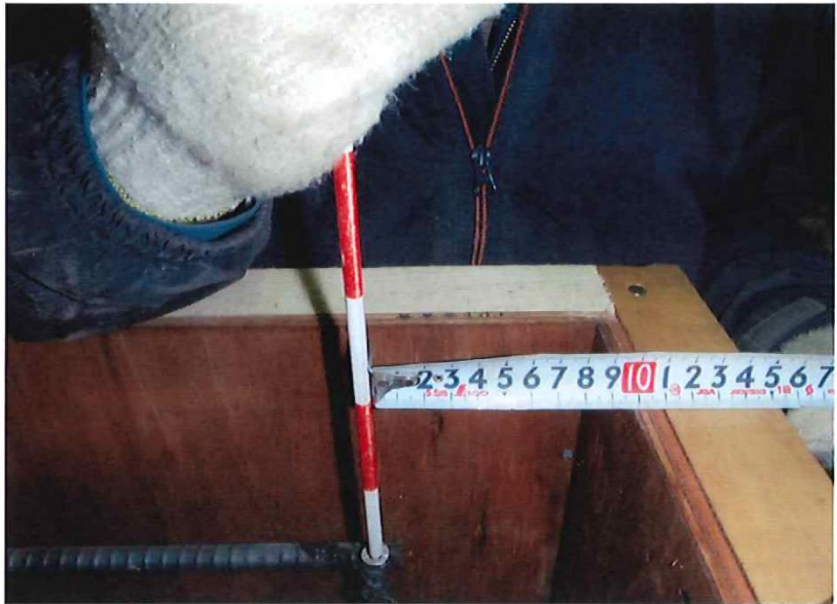
L型コンクリート擁壁
実験No.1-4
鉄筋寸法検査





L型コンクリート擁壁
実験No.1-4
鉄筋寸法検査

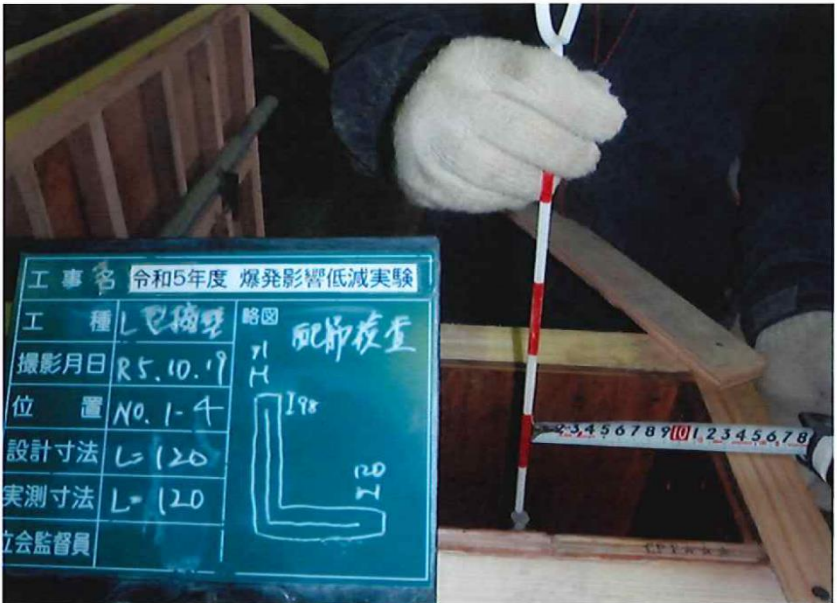




L型コンクリート擁壁

実験No.1-4

鉄筋寸法検査





L型コンクリート擁壁

実験No.1-4

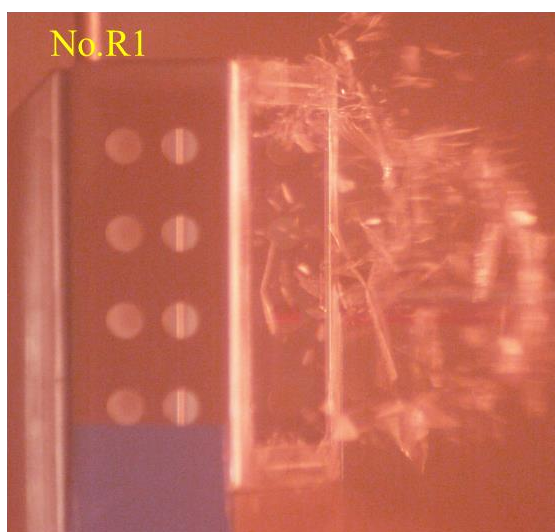
鉄筋寸法検査



工事名	令和5年度 爆発影響低減実験	
工種	L型擁壁	略図
撮影月日	R5 10.19	配筋検査
位置	No.1-4	(面)主筋2286 4本
設計寸法	L=1143	(底)横筋1143 6本
実測寸法	L=1143	(面)ハチ1020 4本
立会監督員		

5.A.1（付録 11）室内実験参考資料

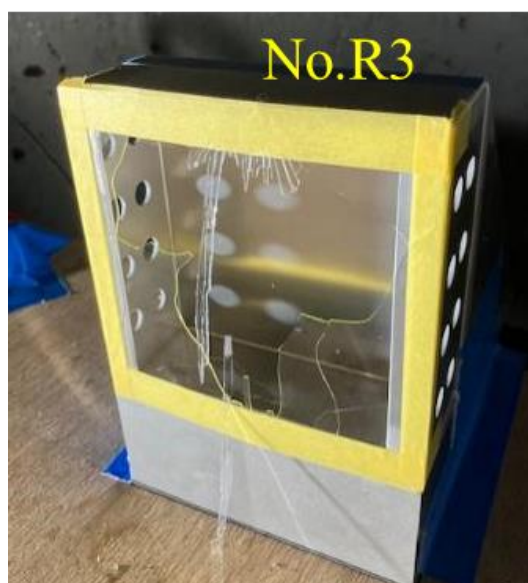
室内実験におけるガラスの破損状況写真を記す。



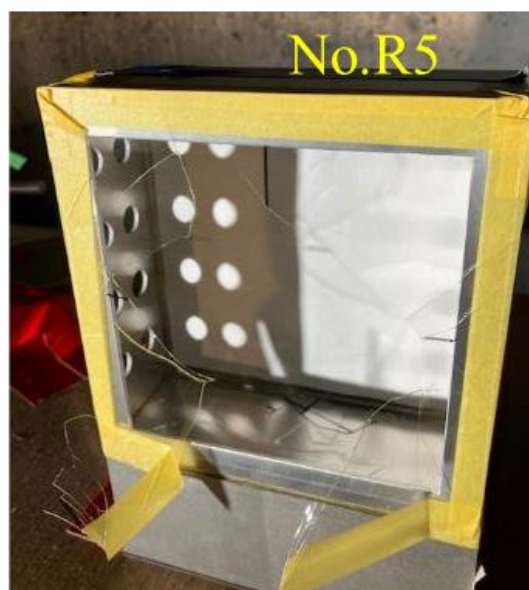
(a) 完全破損 C4 23.7g 距離 1.5 m



(b) 完全破損 C4 23.7g 距離 2.78 m



(c) 残存有 C4 14.5 g 距離 2.8 m



(d) 残存有 C4 7.0 g 距離 2.26 m

図 5.A.1-1 ガラスの破損状況写真（背面クローズ）



No.R15



No.R16

(c) 残存有 C4 14.5 g 距離 2.8 m

(d) 残存有 C4 7.0 g 距離 2.26 m

図 5.A.1-2 ガラスの破損状況写真（背面オープン）

野外実験(No.2-2)換算距離12.6

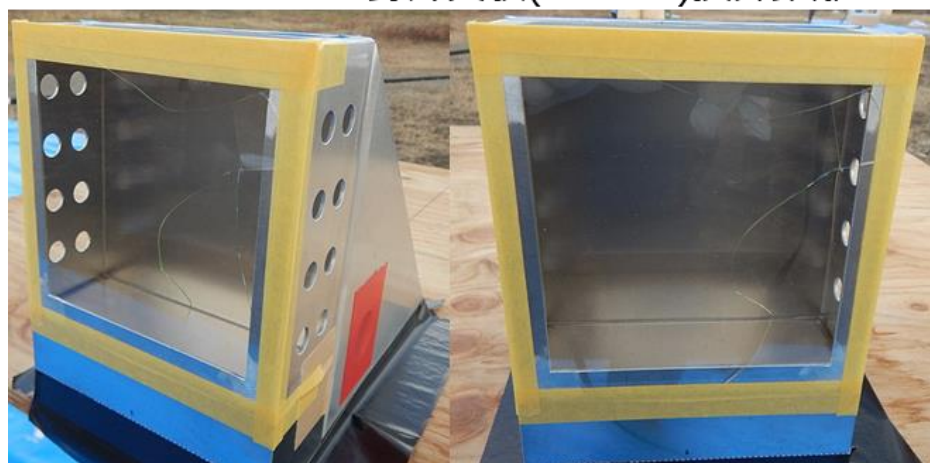


図 5.A.1-3 ガラスの破損状況写真（参考 R5 野外実験 No.2-2 EMX32kg 距離 40m）

室内実験で測定された爆風圧波形を記す。

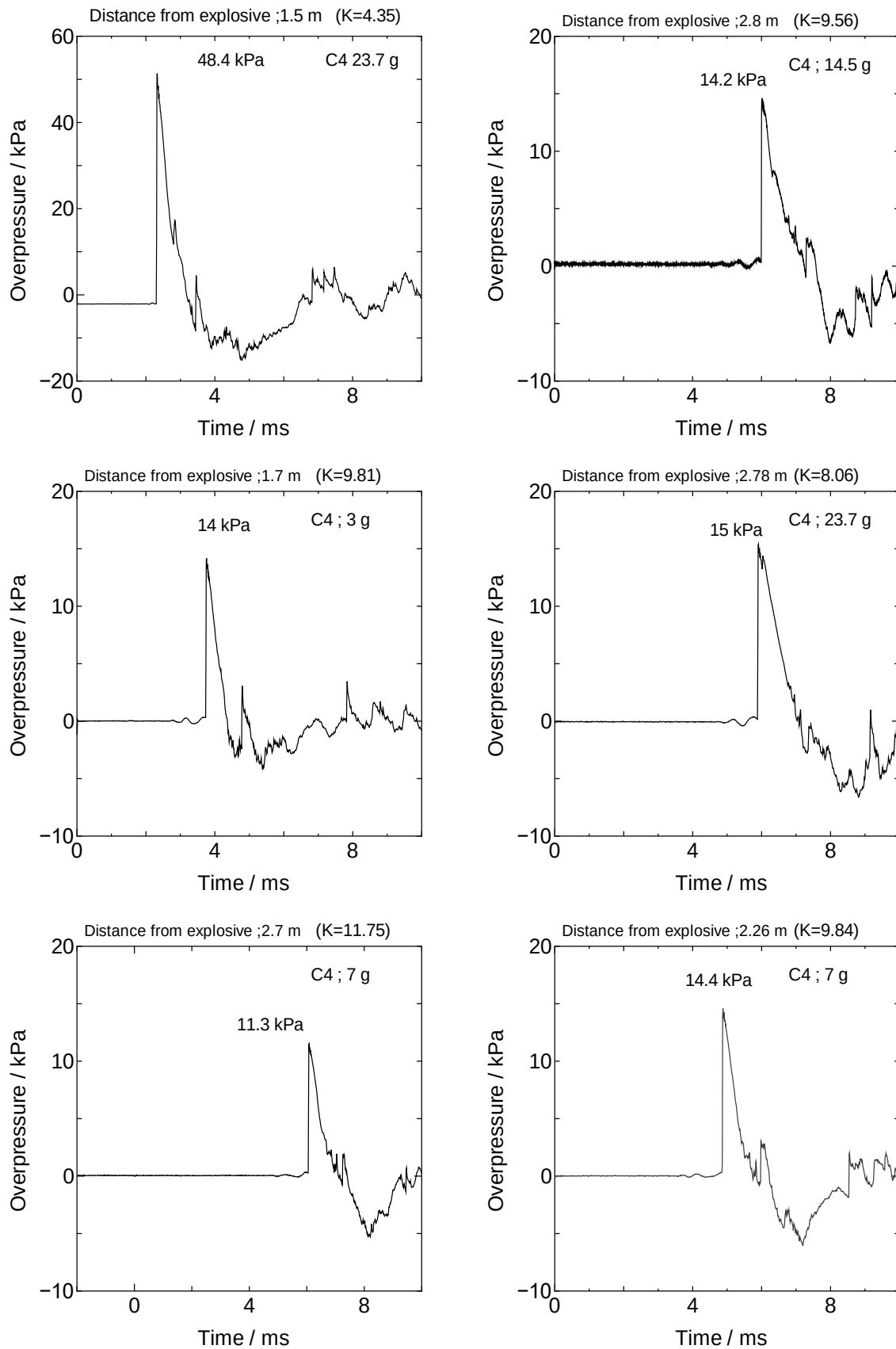


図 5.A.1-4 室内実験で測定された爆風圧波形（次ページに続く）

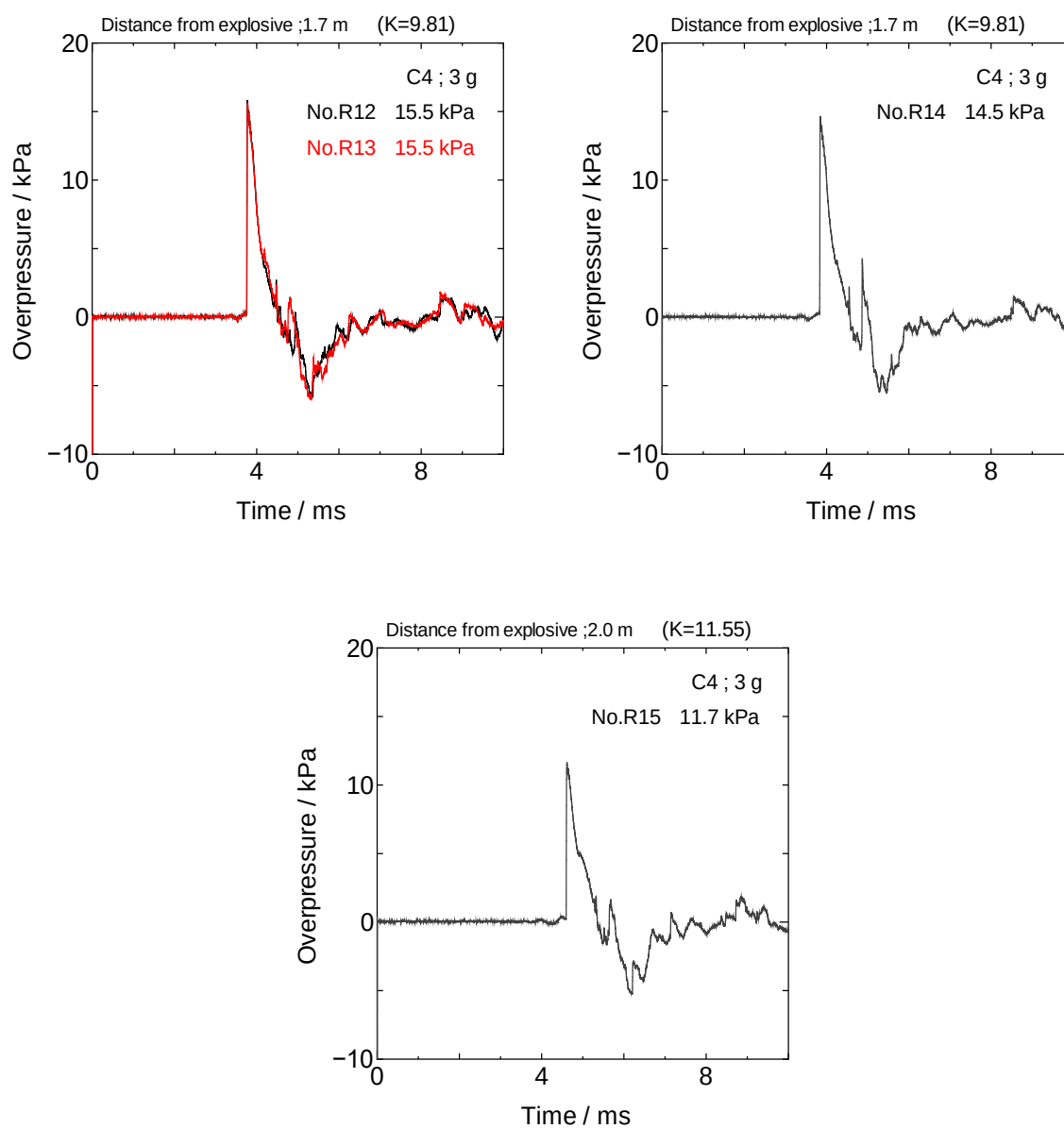
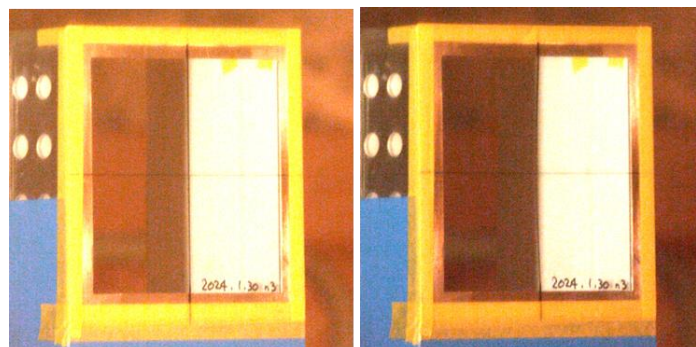


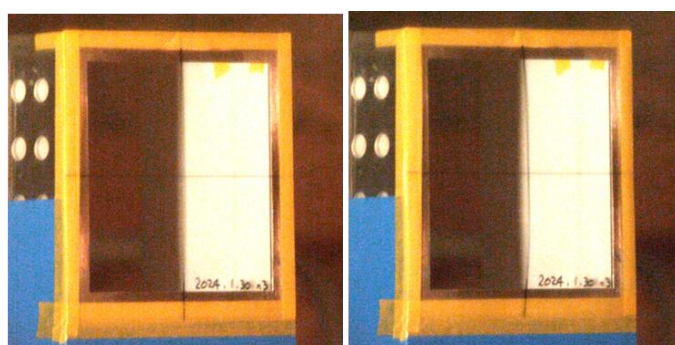
図 5.A.1-4 室内実験で測定された爆風圧波形

室内実験における高速度撮影結果を記す。



0(点火)

4.5ms(奥にへこむ.動き始めは4ms)
爆風到達3.75ms



5ms(手前に引張られている)

5.5ms(手前に膨らむ)



6.0ms(全体にひび)

8.0ms

図 5.A.1-5 室内実験で撮影されたガラス破損状況（背面オープン、C4 3 g 距離 1.7 m）



0(点火)

5.5ms(奥にへこむ.動き始めは5ms)
爆風到達4.6ms



6.5ms(6msから手前に
引張られ始める)

7.0ms(下部に亀裂)



7.5ms(全体にひび,
下部の方が多い)

8.0ms

図 5.A.1-6 室内実験で撮影されたガラス破損状況 (背面オープン、C4 3 g 距離 2.0 m)