

装甲の運動エネルギー弾に
対する耐弾性試験方法

制定 平成 5年10月19日

改正 令和元年 6月24日

目 次

	ページ
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義	1
4 試験の種類	3
5 試験の原理	3
5.1 V50 耐弾限界試験, θ 50 耐弾限界試験	3
5.2 耐弾性評価試験	4
6 供試体	4
7 試験条件	5
7.1 試験計画	5
7.2 試験場の条件	5
7.3 安全に関する注意事項	5
7.4 環境負荷等に関する注意事項	5
8 試験用器材	6
8.1 試験用弾薬	6
8.2 弾丸速度測定装置	6
8.3 その他の試験用器材	6
9 試験方法	7
9.1 V50 耐弾限界試験	7
9.1.1 試験準備	7
9.1.2 試験実施	8
9.2 θ 50 耐弾限界試験	8
9.2.1 試験準備	8
9.2.2 試験実施	8
9.3 耐弾性評価試験	9
9.3.1 試験準備	9
9.3.2 試験実施	9
9.3.3 試験の有効性の評価	10
9.4 射撃後の処置	10

10	弾痕の判別	10
10.1	適正弾痕の判別	10
10.2	完全侵徹か部分侵徹状態かの判別	10
11	試験の記録	11
	関連文書	19
	附属書 1 V50 耐弾限界の測定手順	21
	附属書 2 θ 50 耐弾限界の測定手順	29
	解説	31

装甲の運動エネルギー弾に
対する耐弾性試験方法

制定 平成 5年10月19日

改正 令和元年 6月24日

1 適用範囲

この規格は、供試体の運動エネルギー弾を阻止する能力である耐弾性を求める試験方法について規定する。

2 引用規格

次に掲げる規格は、この規格に引用されることによって、この規格の一部を構成する。またこれらの引用規格は、その最新版を適用する。

- JIS H 4000 アルミニウム及びアルミニウム合金の板及び条
NDS Y 0001 弾薬用語
NDS Y 0002 火器用語（小火器）
NDS Y 0004 火器用語（射撃統制）
NDS Y 0005 火器用語（射撃）
NDS Y 0006 火器用語（弾道）
NDS Y 1208 火砲の弾丸速度測定方法
NDS Z 0011 装甲の耐弾性試験方法通則

3 用語及び定義

この規格に用いる主な用語及び定義は、NDS Y 0001、NDS Y 0002、NDS Y 0004、NDS Y 0005、NDS Y 0006、NDS Y 1208 及び NDS Z 0011 によるほか、次による。

3.1

耐弾限界

装甲の弾丸に対する阻止能力を相対的に評価する基準で、一般的には装甲が弾丸を受け止め、ちょうど貫通し、かつ弾丸に余力がない状態をいう。

3.2

V50 耐弾限界

耐弾性を判定する指標の一つであり、弾丸の撃速以外の供試体の材質、板厚及び撃角等を一定とした試験条件のもとで、ある一定弾数以上の射撃を行い、完全侵徹と部分侵徹の起こる確率がそれぞれ 50 %になる状態の撃速をいう。

3.3

θ 50 耐弾限界

耐弾性を判定する指標の一つであり、弾丸の撃角以外の供試体の材質、板厚及び撃速等を一定とし

た試験条件のもとで、ある一定弾数以上の射撃を行い、完全侵徹と部分侵徹の起こる確率がそれぞれ 50 %になる状態の撃角をいう。

3.4

耐弾性評価試験

装甲の弾丸に対する阻止能力を定量的に評価する試験をいう。

3.5

ウィットネスプレート

防護基準による完全侵徹と部分侵徹の判別に使用するため、供試体の後方に設置する薄板をいう。

3.6

シャッターギャップ

シャッターギャップとは、弾着時において急激に減速しようとする弾丸先端部と撃速を維持しようとする弾丸後端部との速度差を起因として弾丸内に発生する衝撃負荷によって、弾丸硬心の折損を含む粉砕あるいは弾丸消耗速度の増加を主たる阻止機構とする低靱性材料を用いた装甲が、弾丸硬心の粉砕あるいは弾丸消耗速度の増加が見込めない低い撃速下において、装甲の耐弾性が急激に低下する領域が現れる現象をいう。

なお、シャッターギャップは、図 1 に示すように複数の耐弾限界(Ballistic Limit)を有することが知られており、セラミック装甲の耐弾性試験を行う際に現れやすい。

3.7

透明装甲

透明かつ人員又は器材等を防護するものをいう。

3.8

ボアサイト

銃口に取り付けることで、銃身中央の延長線上の位置を裸眼もしくはテレビモニタ等で確認することができる照準具をいう。

3.9

レーザーボアサイト

銃口又は薬室に取り付けることで、銃身中央の延長線上の位置をレーザー光で確認することができる照準具をいう。

3.10

L/D

弾心の長さとの比をいう。

3.11

極限条件

極めて厳しい方向に試験条件を局限化したものをいう。

例 試験用弾薬 A と銃砲 B の組み合わせによる試験用弾丸の速度分布が既知であり、かつ正規分布に従う状態において、弾速平均 + 2 σ 以上の撃速を有効弾とした耐弾性試験を行うことで、試験用弾薬 A と銃砲 B の組み合わせによる射撃時において約 2.3 % の頻度で発生する極限

条件下における任意の阻止確率を確認するといった設定条件等。

3.12

クーボン試験片

耐弾性試験に最低限供しうる経済的な形状や大きさの供試体をいう。

例 装甲材料に用いる候補材料のスクリーニング等を行うために大量に調達する単純形状の試験板又は耐弾性試験に使用するため調達する構造の一部等。

3.13

MIL 規格等

米国防省が定めた規格及び仕様書並びにそれらの関連文書，米軍が定めた規格及び仕様書並びにそれらの関連文書，北大西洋条約機構が定めた規格及び仕様書並びにそれらの関連文書，その他海外国定規格及び公的規格，国内外業界団体等が定めた規格及び仕様書，社内規格及び仕様書のうち，耐弾性試験の試験計画及び評価基準を定める際に参考となる文書等をいう。

3.14

MIL-STD-810G

米国防省規格である MIL-STD-810G をベース文書とし，その後の制定された MIL-STD-810G Change 1 によって追記された，米国防省規格 MIL-STD-810G のことをいう。

4 試験の種類

試験の種類は，次による。

- a) V50 耐弾限界試験（アップアンドダウン法）
- b) V50 耐弾限界試験（ラングリエ法）
- c) θ 50 耐弾限界試験
- d) 耐弾性評価試験

5 試験の原理

5.1 V50 耐弾限界試験， θ 50 耐弾限界試験

試験の原理は，供試体に対して試験用弾丸を射撃し，その供試体の耐弾状況を 10.2 によって判別することで，完全侵徹及び部分侵徹を生ずる弾痕数の割合がそれぞれ 50 % になる試験用弾丸の撃速又は供試体の撃角を V50 耐弾限界（アップアンドダウン法又はラングリエ法）又は θ 50 耐弾限界として求める。

確率 50 % は，完全侵徹及び部分侵徹を適当に混在させるようなサンプリング方法を用いた統計的手法によって，試験用弾丸の撃速及び供試体の傾斜を変えながら射撃することによって求められる。

V50 耐弾限界試験（アップアンドダウン法）では，6 弾¹⁾の V50 耐弾限界を推奨するが，これが不可能な場合は 4 弾²⁾又は 2 弾³⁾の V50 耐弾限界としてもよい。 θ 50 耐弾限界は，発射薬量が調整できない場合又は撃速を変えるとヨーの発生が大きくなることが実証された試験用弾丸を用いる場合に使用する。

- 注¹⁾ 完全侵徹と部分侵徹の速度幅は、46 m/s 以下であること。6 弾は射撃に必要な弾の数ではなく、V50 を決定するために必要な弾数であり、通常 6 弾 V50 を決定するには 10 弾程度の射撃を要する。
- 2) 完全侵徹と部分侵徹の速度幅は、4 弾の場合 18 m/s 以下とするが、速度幅を変更した場合はその時の速度幅を記録しておくこと。
- 3) 完全侵徹と部分侵徹の速度幅は、2 弾の場合 15 m/s 以下とするが、速度幅を変更した場合はその時の速度幅を記録しておくこと。

5.2 耐弾性評価試験

試験の原理は、供試体に対して試験用弾丸を一定の条件（撃速及び撃角）にて射撃し、その供試体に生じた弾痕の状況を 10.2 に従って判別し、部分侵徹を生ずる弾痕の数が設定した信頼性の要件を満足するかどうかで評価する。

信頼性の要件の評価に必要な最大の有効弾数は、以下の二項分布を母数とした部分侵徹の信頼下限 (P_L) と信頼度 (β) の関係式によって求まる。

$$\sum_{i=s}^n {}_n C_i \cdot P_L^i (1 - P_L)^{n-i} = \varepsilon$$

- ここに、
- n : 有効弾数
 - s : 測定された部分侵徹の回数
 - ${}_n C_i$: 二項係数
 - P_L : 部分侵徹の信頼下限
 - β : 信頼度 ($\varepsilon = 1 - \beta$)

測定された部分侵徹の回数を $s = n$, $s = n - 1$, $s = n - 2$ としたときの耐弾性を評価するために必要な有効弾数の基準を表 1 に示す。また、Kneubuehl method を用い任意の阻止確率になる撃速を推定することで耐弾性能の評価を行っている例として、Diederer A.M. et al., Ballistic protection against armour piercing projectiles using titanium base armour. がある。

なお、徹甲弾とセラミック装甲のようなシャッターギャップが予測される組み合わせで耐弾性試験を行う場合、低速域で耐弾性が変化することも考慮し試験手順を検討する必要がある。また、MIL-STD-3038 によれば、セラミック装甲（複数のセラミックタイルで構成された装甲）の場合、命中位置によって耐弾性が変わる可能性があるため、図 2 に示すセラミックタイルの中心、端部、継目、マルチポイント（隣接するタイルが複数重なる点）といった多重被弾についての耐弾性の確認が必要である。

6 供試体

供試体は、次による。

- a) 供試体の形状は原則として平板又は治具等を介して固定可能なものとし、また、供試体の化学成分及び基本的な機械的性質等を事前に把握すること。
- b) V50 耐弾限界試験（アップアンドダウン法）で V50 耐弾限界を求める場合、供試体の大きさ及び数量は、6 弾の V50 耐弾限界が測定できるよう過去の実施例、試験用弾薬、試験方法の種類及び 10.2 を参考にして決定すること。
- c) V50 耐弾限界試験（ラングリエ法）で V50 耐弾限界を求める場合及び $\theta 50$ 耐弾限界を求める供

試体は、最低 12 弾を射撃するので、これに応じた供試体の大きさ及び数量を決定すること。

- d) 耐弾性評価試験の供試体は、表 1 で示す評価に必要な有効弾数を得ることができる、供試体の大きさ及び数量とすること。

7 試験条件

7.1 試験計画

試験計画は、NDS Z 0011 の 4.1 によるほか、次による。

- a) 射距離は、試験用弾丸のヨーが安定する距離以上とすること。

なお、小銃等用普通弾等では 10 m 以上、L/D が 10 以上の試験用弾丸では 200 m 以上とすることが望ましい。

7.2 試験場の条件

試験場の条件は、NDS Z 0011 の 4.2 による。

7.3 安全に関する注意事項

安全に関する注意事項は、NDS Z 0011 の 4.3 によるほか、次による。

- a) 供試体用架台の周囲に安全が確保される高さ及び幅に土のう等を積み上げることによって供試体及び試験用弾丸から生ずる破片等の飛散を防止することで、器材及び周辺への被害を防ぐこと。ただし、ドーム射だといった、設備としてその機能を有する施設を用いて試験をする場合はその限りではない。
- b) 斜射用の供試体用架台の設置の際には、試験用弾丸が跳飛しても試験場にとどまるよう供試体の傾斜面の取付け方向を決定すると共に安全を考慮した方向を決定すること。

7.4 環境負荷等に関する注意事項

使用時（保管・輸送を含む）の温度・湿度等の環境負荷及び／又は経時的負荷によって、供試体の耐弾性能を著しく低下させる非可逆的な変化を生じる可能性があり、環境要因に起因する耐弾性能を評価する必要があると判断される場合、通常の耐弾性試験に加えて、使用時の環境を考慮した環境負荷等を予め付加した供試体を用意し、当該環境の影響を確認するための耐弾性試験を行うこと。

なお、本項による耐弾性試験を実施した場合、負荷条件及び負荷方法を 11 e) 供試体概要に記録すること。

8 試験用器材

試験用器材は、NDS Z 0011 の 5 によるほか、次による。

8.1 試験用弾薬

試験用弾薬は、NDS Z 0011 の 5.3 (1) によるほか、次による。

- a) 発射薬量の調整等によって、撃速が調整できるものであること。
- b) 試験用弾丸の跳飛による人員等への被害を防ぐため、銃砲と共に用いることで遠隔射撃が行えること。
- c) 原則として、V50 耐弾限界試験（アップアンドダウン法）の場合は 6 弾の V50 耐弾限界を、V50

耐弾限界試験（ラングリエ法）及び θ 50 耐弾限界試験の場合は 12 弾の V50 耐弾限界及び θ 50 耐弾限界を測定できる数量を準備すること。

- d) 耐弾性評価試験の場合、表 1 で示す評価に必要な有効弾数を得ることができる数量を準備すること。
- e) 発射薬量と撃速の関係が不明の場合、その関係を確認するために必要な弾数を準備すること。
- f) 銃砲の特性及び測定装置の機能確認のため準備射撃が必要な場合、必要に応じ、その弾数を準備すること。

8.2 弾丸速度測定装置

弾丸速度測定装置は、NDS Y 1208 の 5 による。

8.3 その他の試験用器材

その他の試験用器材は、下記を参考として選定する。

- a) 照準具
 - 1) 象限儀
 - 2) 直接照準眼鏡
 - 3) ボアサイト
 - 4) レーザーボアサイト
- b) 発射薬量調整用器具
- c) 銃砲の冷却及び清掃用諸用具（整備用消耗品を含む）
- d) 角度測定装置
 - 1) セオドライト等
 - 2) 水準器
- e) ヨーカード
- f) 撮影装置
- g) ウィットネスプレート

JIS H 4000 の A2024PT3 の 0.5 mm 厚の板又は同等の材料特性をもつ 0.5 mm 厚の板。

なお、裸眼に対する防護を必要とする場合、約 25 μ m (1/1000 in. 相当) 厚のアルミ箔を用いること。

- h) 距離測定器具
- i) フラッシュライト等

ウィットネスプレートもしくは標的裏面の状態を判定するため補助的に用いる照明具。

9 試験方法

試験方法は、次による。

9.1 V50 耐弾限界試験

9.1.1 試験準備

試験準備は、次を基準とする。

a) 供試体の設置

- 1) 供試体と銃砲口との距離が、NDS Z 0011 の 4.1 (7) に指示された射距離になるように距離測定器具を用いて供試体設置位置を定めること。
- 2) 供試体用架台は、コンクリート台座にボルトで固定することが望ましいが、それが使用できない場合、堅固な地盤上に杭及び土のう等で固定すること。
- 3) 試験用弾丸によって引き起こされる衝撃負荷に対し、十分耐える強度を有するボルト、ハンドバイス等を用い、供試体を供試体用架台に固定すること。
- 4) セオドライト等の角度測定装置を用い、射線と供試体表面の法線とのなす角度を目標とする撃角に合わせること。

b) 試験用弾薬の準備

- 1) 試験用弾薬の形式、カラーコード、耐水塗装の色、製造番号及び製造年月日等の諸元を確認後、準備を行うこと。
- 2) 目標とする撃速を得るため、薬量調整器具を用いた発射薬量の調整等を行うこと。
- 3) 撃速を調整された試験用弾薬は、試験の要求に応じ、恒温槽を用い指示された温度、時間で保持すること。

c) 銃砲の設置

- 1) 銃砲架を、堅固な台座に確実に固定すること。
- 2) 銃砲を、銃砲架に確実に固定すること。
- 3) 車載された銃砲を用いる場合には、車両を堅固な地盤に設置すること。

d) 測定装置の準備

- 1) 距離測定器具を用いて、線的、箔的及び弾丸速度測定装置のセンサー部等を NDS Z 0011 の 4.1 (9) に指示された位置に設置し、結線を行うこと。
- 2) 完全侵徹か部分侵徹かを判別するため、射撃に際し、供試体の裏面から 150 mm の位置に供試体裏面と平行にウィットネスプレートを設置すること。ただし、過去の経験によって弾痕状況から完全侵徹か部分侵徹かの判別が容易な場合、ウィットネスプレートを省略してもよい。
- 3) 試験用弾丸のヨーを測定確認するため、飛しょう又は着弾姿勢が撮影できるよう撮影装置を設置するか、破片及び装弾筒の影響を受けない位置に、射線と垂直にヨーカードを設置すること。
- 4) 弾丸速度測定装置を設置し、動作確認を行うこと。

9.1.2 試験実施

試験実施は試験計画書及び工程表によって、試験統制者の統制のもと、次を基準に実施する。

a) 射撃

- 1) 試験統制者は、射撃工程に入る前に、試験場のすべての安全及び試験の準備完了を確認すること。
- 2) 試験用弾丸が供試体の照準点に命中するように照準具を用いて照準すること。2 発目以降も同様に適正弾痕となるように照準点を定め照準すること。線的又は箔的を用いて弾丸速度を計測する場合、照準終了後に線的又は箔的を設置し結線を行うこと。また、試験統制者は作業完了

を確認し、試験要員が退避するまで、工程を進めないこと。

- 3) 銃砲の安全装置が正規の状態にあることを確認し、準備した試験用弾薬を装填すること。
- 4) 試験統制者は装甲で防護された車載銃砲を使用し、安全が確認された位置で、銃砲操作員が乗車したまま射撃を行う場合を除き、全員が退避したことを確認すること。
- 5) 射撃は、試験統制者が再度安全を確認した後、試験要員全員が認識できる合図（サイレン等による注意喚起及びその後のカウントダウンの放送等によること。）によって指示し、防護された安全な場所から遠隔操作によって行う。ただし、銃砲操作員の安全が確認されている車載銃砲の場合、車両内から射撃してもよい。
- 6) 射撃後直ちに、試験用弾丸が正常に発射され、供試体に命中したことを射撃音及び監視カメラ等によって確認すること。

b) 射撃の手順

V50 耐弾限界を求めるための射撃の手順は、**附属書 1**による。

c) 撃速の測定

撃速の測定は、NDS Y 1208 の 6 による。

- 追記 1** 8.1 e) の場合及び砲身に摩耗が進行している場合、数発の準備射撃を行い、発射薬量と撃速の関係、発射薬量とヨーの関係及び照準点と弾着点の関係を求め耐弾限界測定精度の向上と試験の円滑な実施を図る。
- 追記 2** 8.1 f) のため、供試体に対する射撃を行う前に、必要に応じ、銃砲機能、測定装置の機能及び照準規正のため、準備射撃を行う。
- 追記 3** これらの準備射撃を供試体に対して実施した場合、この試験結果を耐弾限界試験データとして採用してもよい。

9.2 θ 50 耐弾限界試験

9.2.1 試験準備

試験準備は、9.1.1 による。

9.2.2 試験実施

射撃を含む試験実施は、工程表に従って、試験統制者の統制のもと、次を基準として実施する。

a) 射撃

射撃は、9.1.2 a) による。

b) 射撃の手順

θ 50 耐弾限界を求めるための射撃の手順は、**附属書 2**による。

c) 撃速の測定

撃速の測定は、9.1.2 c) による。

9.3 耐弾性評価試験

9.3.1 試験準備

試験準備は、9.1.1 による。

9.3.2 試験実施

射撃を含む試験実施は、工程表に従って、試験統制者の統制のもと、次を基準として実施する。

a) 射撃

射撃は、9.1.2 a)による。

b) 撃速の測定

撃速の測定は、9.1.2 c)による。

9.3.3 試験の有効性の評価

耐弾性評価試験が正常に行われるためには、次の評価基準を満たす必要がある。規定された評価基準を満たす場合“有効弾”，満たさなければ“無効弾”と判定する。

- a) 撃速（衝突速度） 設定された速度（平均値）から+15 m/s 又は、速度のばらつきの+3 σ の範囲を基準とする。また、必要に応じ極限条件又は MIL 規格等を利用して設定しても良い。
- b) 撃角 供試体を設置した角度（射線と供試体表面の法線とのなす角度）に対し $\pm 0.5^\circ$ の範囲
- c) ヨー 弾痕と弾丸が過剰に干渉することで侵徹長が変化しない範囲とし、 3° （L/D 10 以上の場合）又は 5° 以下を基準とする。
- d) 弾着位置 10.1 の適正弾痕の判別による。

9.4 射撃後の処置

- a) すべての安全を確認すること。不発射などの不測事態が発生した場合、NDS Z 0011 の 4.3 によって処置すること。
- b) 弾痕を確認し、照準の修正が必要な場合、照準具を用いて、修正を行うこと。
- c) 供試体が供試体架台に堅固に固定されているか、目標とする撃角に保持されているかを確認し、必要に応じ修正を行うこと。
- d) 弾痕の状況を、10.2 によって完全侵徹又は部分侵徹弾痕の判別を行う。判別の終了した弾痕はチョーク又はペンキ等で弾痕番号を記入する。また、次弾照準点のマーキングを行うこと。

10 弾痕の判別

10.1 適正弾痕の判別

適正弾痕とは試験データとして有効となる弾痕であり、かつ次の条件を満たすことを確認したのち、試験データとする。

- a) 弾痕と弾痕との間隔は、弾心直径の2倍以上とすること。ただし、弾痕の端部に、割れ、スポール及び裏面の膨らみ等がある場合はその最外周からの間隔とし、これらが無い場合、侵徹穴の最外周とすること。
- b) 供試体が、架台と重なって裏面を固定されていない範囲に命中していること。
- c) 当該の弾痕端部と他の弾痕までの間隔が弾心直径の2倍以上あり、その間に表裏ともに割れや膨らみがないこと。
- d) 当該の弾痕と板端部との間隔は、規定の間隔以上あること。適正弾痕の例を図3に示す。

10.2 完全侵徹か部分侵徹かの判別

弾痕を完全侵徹と部分侵徹に区別するもので、次の条件及び図4の状態を確認して判別すること。

a) 完全侵徹弾痕の条件

- 1) 試験用弾丸が供試体とウィットネスプレートの両方を貫通した場合。

- 2) 試験用弾丸の破片でウィットネスプレートに光がもれる穴又は亀裂ができた場合。
 - 3) 試験用弾丸の命中によって、供試体から発生した破片によってウィットネスプレートに光がもれる穴又は亀裂ができた場合。
- b) 部分侵徹弾痕の条件
- 1) ウィットネスプレートになんらの影響もない場合。
 - 2) 試験用弾丸の先端部が供試体を通過し、かつウィットネスプレートにへこみが生じているが、光がもれない場合。
 - 3) 試験用弾丸及び供試体によって破片が発生しているが、ウィットネスプレートになんらの影響もない場合。

11 試験の記録

試験の結果は、表 2、表 3 及び表 4 に示す記録表を参考に、次の事項を記録する。

- a) 試験名称（供試体の型式）
- b) 試験実施年月日
- c) 試験場所
- d) 供試体番号
- e) 供試体概要
- f) 天候・気温
- g) 測定者
- h) 撃角（°）又は目標弾速（m/s）
- i) 銃砲の種類・型式
- j) 試験用弾薬の名称・型式
- k) 100%発射薬量（g）又は発射薬量（g）
- l) 弾丸速度測定装置の種類・型式・精度
- m) V50 耐弾限界（m/s）又は θ 50 耐弾限界（°）又は有効弾速（m/s）
- n) 配置 [銃砲・検速的及び供試体間の距離（m）]
- o) 射撃試験データ [射順・時刻・撃速・完全侵徹弾痕と部分侵徹弾痕の判定・発射薬量又は撃角又は有効弾・無効弾の別]

表 1 一部分侵徹発生頻度の信頼下限 (P_L) 及び信頼度 (β) を得るための有効弾数

	β (%)	99	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
	P_L (%)	99	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
s=n	99	459	299	230	189	161	138	120	105	92	80	69
	95	90	59	45	37	32	28	24	21	18	16	14
	90	44	29	22	19	16	14	12	10	9	8	7
	85	29	19	15	12	10	9	8	7	6	5	
	80	21	14	11	9	8	7	6	5		4	
	75	17	11	9	7	6	5		4		3	
	70	13	9	7	6	5	4		3			2
	65	11	7	6	5	4		3			2	
	60	10	6	5	4		3			2		
	55	8	6	4		3			2			
	50	7	5	4	3		2					1
	s=n-1	99	662	473	388	337	299	269	244	222	202	184
95		130	93	77	67	59	53	49	44	40	37	34
90		64	46	38	33	29	27	24	22	20	19	17
85		42	30	25	22	19	18	16	15	13	12	11
80		31	22	18	16	14	13	12	11	10	9	
75		24	18	15	13	11	10	9		8	7	
70		20	14	12	10	9		8	7		6	
65		16	12	10	9	8	7		6		5	
60		14	10	9	8	7	6		5			4
55		12	9	8	7	6		5		4		
50		11	8	7	6	5			4			3
<p>注記 n : 有効弾数, s : 測定された部分侵徹の回数, β : 信頼度, P_L : 部分侵徹発生頻度の信頼下限</p>												

表 1 一部分侵徹発生頻度の信頼下限 (P_L) 及び信頼度 (β) を得るための有効弾数 (続き)

s=n-2	β (%)	99	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
	P _L (%)											
	99	838	628	531	471	427	392	361	335	310	288	268
	95	165	124	105	94	85	78	72	67	62	58	54
	90	81	61	52	46	42	39	36	33	31	29	27
	85	53	40	34	31	28	26	24	22	21	19	18
	80	39	30	25	23	21	19	18	17	15	14	
	75	31	23	20	18	16	15	14	13	12	11	
	70	25	19	16	15	14	13	12	11	10		9
	65	21	16	14	13	12	11	10	9		8	
	60	18	14	12	11	10	9		8		7	
	55	16	12	10	9		8		7		6	
	50	14	11	9	8		7		6			5

注記 n : 有効弾数, s : 測定された部分侵徹の回数, β : 信頼度,
P_L : 一部分侵徹発生頻度の信頼下限

表 4 - 耐弾性評価試験記録表 (例)

/											
試験名称						撃角 °					
試験年月日						銃砲					
試験場所						試験用弾薬					
測定者						発射薬量 g					
供試体番号						有効弾速 m/s					
供試体概要						弾丸速度測定装置の 種類・型式・精度					
天候						気温					
配 置											
射 撃 試 験 デ ー タ											
			有効弾数				完全侵徹				
発 数											
射順 No.	時刻	撃速 m/s	有効弾 ・無効 弾の別	判定	備考	射順 No.	時刻	撃速 m/s	有効弾 ・無効 弾の別	判定	備考
注記 有効弾・無効弾の別 有効弾・無効弾の判別は、9.3.3の試験の有効性の評価による。											

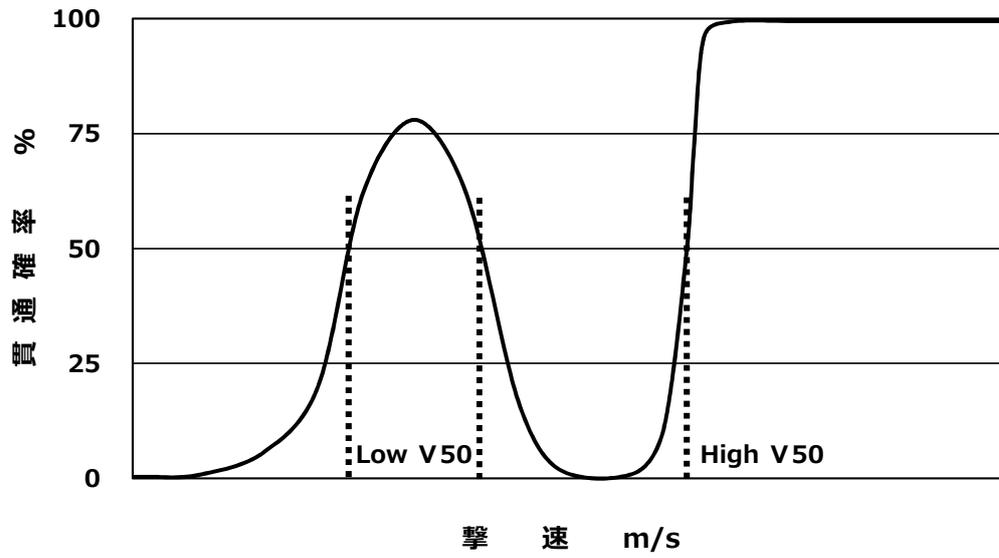


図1 - シャッターギャップ (複数のV50を伴う貫通確率分布) (例)

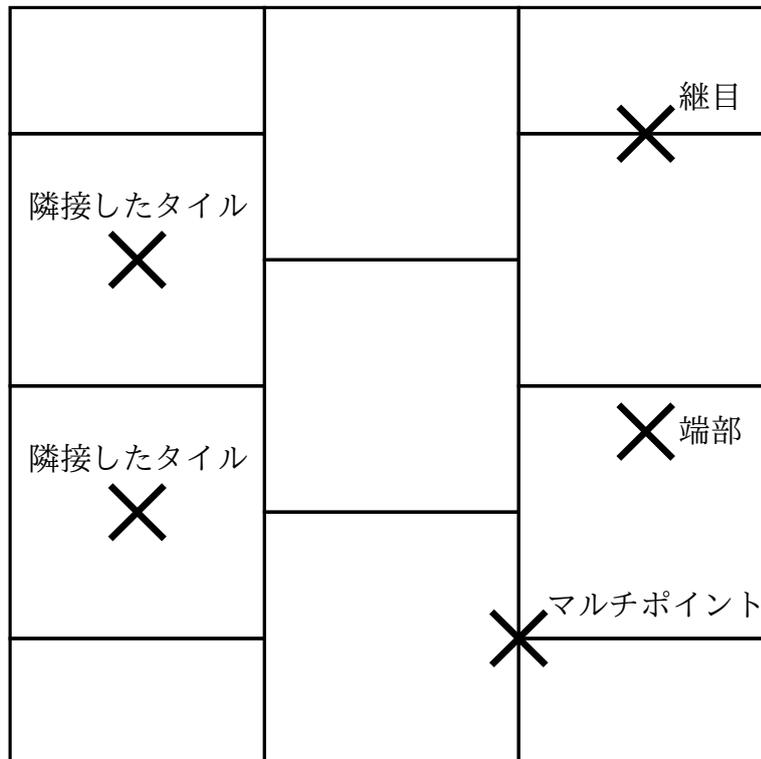


図2 - セラミック装甲 (複数のセラミックタイルで構成された装甲) に対し、耐弾性の確認を必要とする部位 (例)

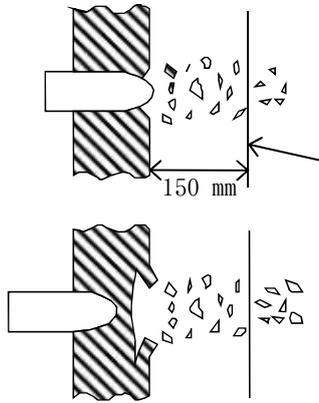
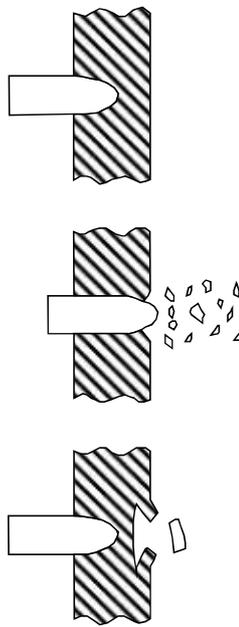
区 分	耐 弾 の 状 況
完全侵徹	 <p>ウィットネスプレートを通して光が漏れる場合。</p> <p>150 mm</p> <p>ウィットネスプレート</p> <p>ウィットネスプレートを通して光が漏れる場合。</p>
部分侵徹	 <p>ウィットネスプレートになんらの影響もない場合。</p> <p>弾丸の先端部が供試体を通過し、かつウィットネスプレートにへこみが生じているが光が漏れていない場合。</p> <p>ウィットネスプレートになんらの影響もない場合。</p>

図 4 - 完全侵徹と部分侵徹の判別

関連文書 : TOP 2-2-710 BALLISTIC TESTS OF ARMOR MATERIALS

- : MIL-STD-331A FUZE AND FUZE COMPONENTS, ENVIRONMENTAL AND PERFORMANCE TESTS FOR,
- : MIL-STD-3038 TEST METHODS FOR BALLISTIC DEFEAT MATERIALS
- : MIL-STD-810G DEPARTMENT OF DEFENSE TEST METHOD STANDARD - ENVIRONMENTAL ENGINEERING CONSIDERATIONS AND LABORATORY TESTS
- : MIL-STD-810G Change 1 DEPARTMENT OF DEFENSE TEST METHOD STANDARD - ENVIRONMENTAL ENGINEERING CONSIDERATIONS AND LABORATORY TESTS
- : NIJ Standard 0101.06 Ballistic Resistance of Body Armor
- : NIJ Standard 0108.01 Ballistic Resistant Protective Materials
- : Diederer A.M. et al., Ballistic protection against armour piercing projectiles using titanium base armour.

附属書 1

V50 耐弾限界の測定手順

1 適用範囲

この附属書は、V50 耐弾限界の測定手順について規定する。

2 V50 耐弾限界の測定手順

V50 耐弾限界の測定手順は、次による。

2.1 V50 耐弾限界試験（アップアンドダウン法）

附属書 1 図 1 を参照すること。

2.1.1 試験手順

（手順 1）過去の実績等から推定した供試体の耐弾限界撃速を初弾とする。初弾はこの撃速で射撃すること。

（手順 2）第 2 弾は、初弾が部分侵徹であれば、さらに 30 m/s 増速か、必要であれば、さらにそれ以上増速した撃速で射撃すること。

なお、初弾が完全侵徹であれば、さらに 30 m/s 減速か、必要であれば、さらにそれ以上減速し射撃すること。

（手順 3）第 3 弾以降は、部分侵徹から完全侵徹へ逆転又は完全侵徹から部分侵徹へ逆転するまで 30 m/s 増又は減速で射撃を継続すること。

（手順 4）部分侵徹から完全侵徹あるいはその逆へ逆転した場合、15 m/s 減又は増速の撃速で射撃し、46 m/s 以内に完全侵徹と部分侵徹が各 3 発発生するまで 6 弾以上の射撃を継続すること。耐弾限界は、この 6 発の撃速の平均値とする。

注記 1 供試体の大きさ又は弾薬数から射撃弾数が制限され、耐弾限界が測定できない場合、18 m/s の速度幅以内にそれぞれ 2 発の完全侵徹と部分侵徹が生じた時点で射撃を中止し、耐弾限界はこの 4 弾撃速の平均値として決定する。この場合は 4 弾による耐弾限界であることを明記すること。又は 15 m/s の速度幅以内にそれぞれ 1 発の完全侵徹と部分侵徹が生じた時点で射撃を中止し、耐弾限界はこの 2 弾撃速の平均値として決定する。この場合は 2 弾による耐弾限界であることを明記すること。

注記 2 供試体の大きさ又は弾薬数から射撃弾数が制限され、**注記 1** の 15 m/s 以内の速度幅にそれぞれ 1 発の完全侵徹と部分侵徹が生じなかった場合、耐弾限界は速度幅を広げて参考値として**注記 1**と同様に決定し、そのときの速度幅を付記すること。

2.2 V50 耐弾限界試験（ラングリエ法）

附属書 1 図 2 を参照すること。

2.2.1 全般的事項

供試体に対する試験用弾丸の撃速の上限及び下限を、予備試験結果及び過去の実績等から次のとおり設定する。ただし、銃砲内での停弾が発生することがないように下限撃速の設定には注意すること。

a) 上限撃速は、完全侵徹が起こる確率が非常に高い撃速とすること。

b) 下限撃速は、完全侵徹が起こらない確率が非常に高い撃速とすること。

2.2.2 試験手順

(手順1) 初弾を、上記の上限及び下限撃速の平均撃速で射撃すること。

(手順2) 第2弾は、初弾で供試体を完全侵徹した場合、初弾の撃速と下限撃速の平均撃速で射撃する。また、初弾が部分侵徹の場合、初弾の撃速と上限撃速の平均撃速で射撃すること。

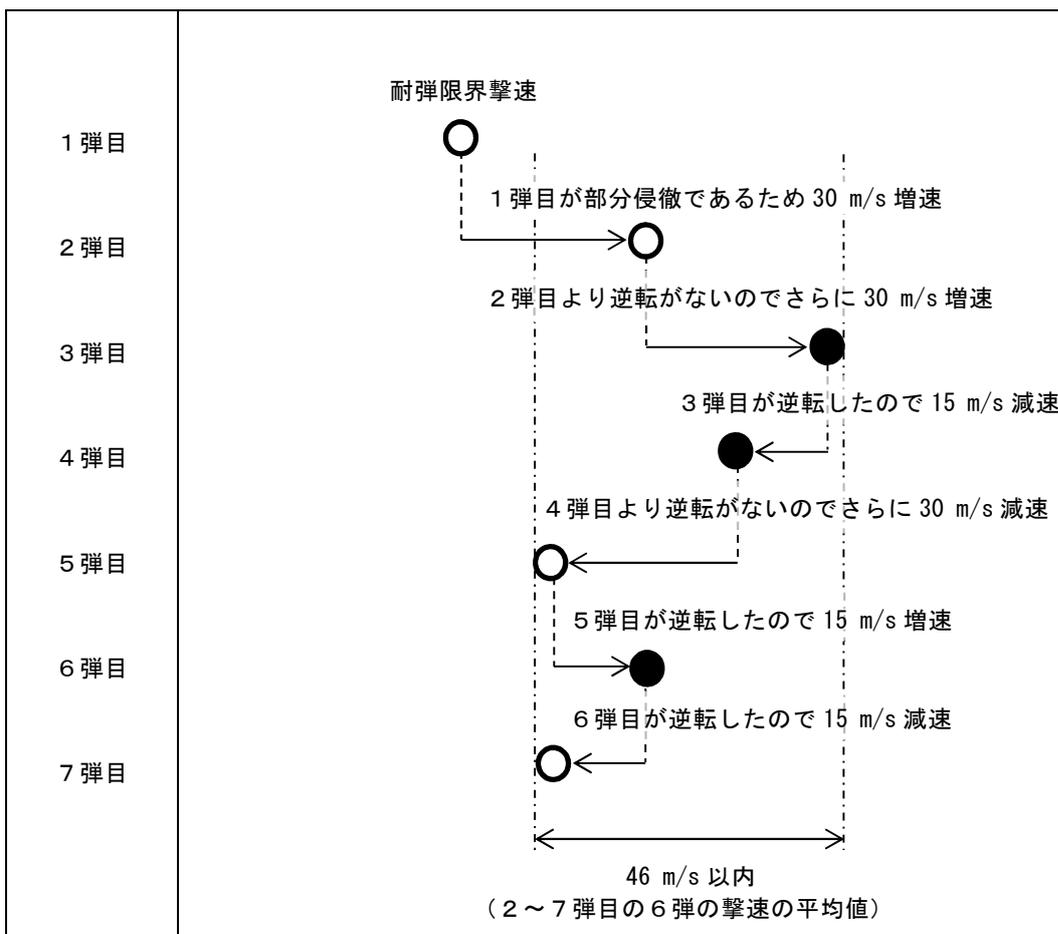
(手順3) 初弾と第2弾で逆の結果（初弾は完全侵徹、第2弾は部分侵徹又は初弾が部分侵徹、第2弾が完全侵徹）が生じた場合の第3弾は初弾と第2弾の平均撃速で射撃すること。2発とも部分侵徹の場合の第3弾は、第2弾の撃速と上限撃速の平均撃速で射撃すること。2発とも完全侵徹の場合の第3弾は、第2弾の撃速と下限撃速の平均撃速で射撃すること。

(手順4) 3発射撃して、全弾完全侵徹又は全弾部分侵徹となった場合、新たに上限及び下限撃速を設定し、再度射撃すること。この場合、新たに上限及び下限撃速を設定する前に射撃した3発中の1発以上のデータをV50耐弾限界の最終計算に入れてもよい。

(手順5) さらに下記の順序に従って射撃を継続すること。

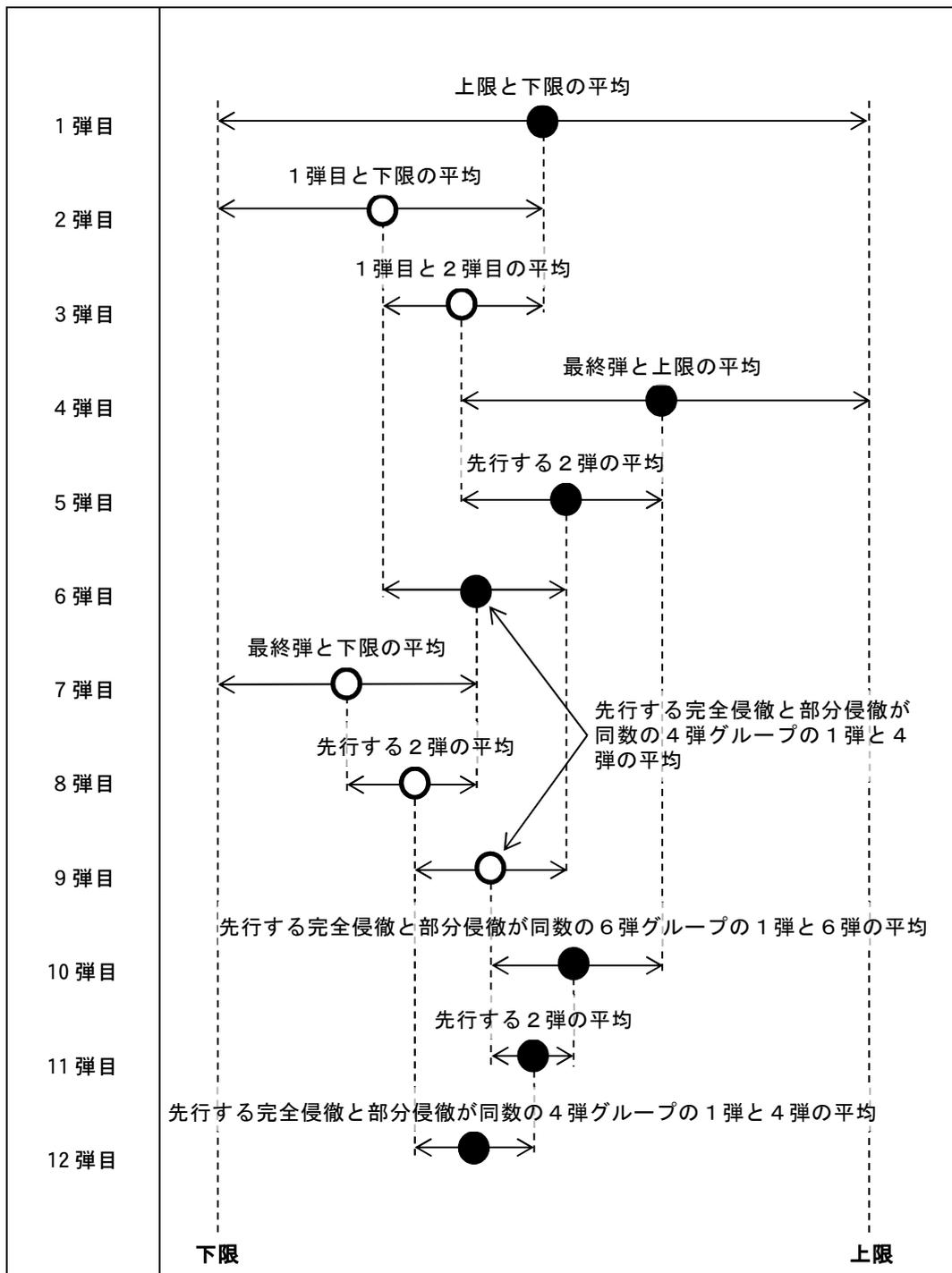
- a) 先行する2発で逆の結果の場合、(手順3)と同様に第3弾はその平均撃速で射撃すること。
- b) 先行する2発で逆の結果でない場合、先行する4発に着目する。完全侵徹、部分侵徹が同数の場合、次弾はこの4弾のグループの第1発目と第4発目の平均撃速で射撃すること。4弾のグループ中で完全侵徹、部分侵徹の数が同数とならない場合、先行する6弾のグループさらに8弾のグループと範囲を広げ、完全侵徹、部分侵徹の数が同じになるグループを選定すること。また、ここで求めたグループの第1弾の撃速と最終弾の撃速との平均撃速で射撃すること。
- c) 上記b)の条件が満たされず、最終弾が完全侵徹した場合、次弾は直前弾撃速と下限撃速の平均撃速で射撃すること。または、最終弾が部分侵徹した場合、次弾は直前弾撃速と上限撃速の平均撃速で射撃すること。
- d) 上記c)の条件が満たされない場合a)及びb)へ戻る。
- e) 5回連続して逆が起こるか、12発射撃するか、いずれか一方の現象が発生した時、耐弾限界試験を終了する。
- f) V50耐弾限界及びV50の標準偏差 σV を求める。

なお、標準偏差 σV 等を求めるコンピュータプログラムのフローチャートを附属書1図3に示す。



- : 完全侵徹
- : 部分侵徹
- : 着目する撃速の領域
- ↔ : 着目する撃速の領域

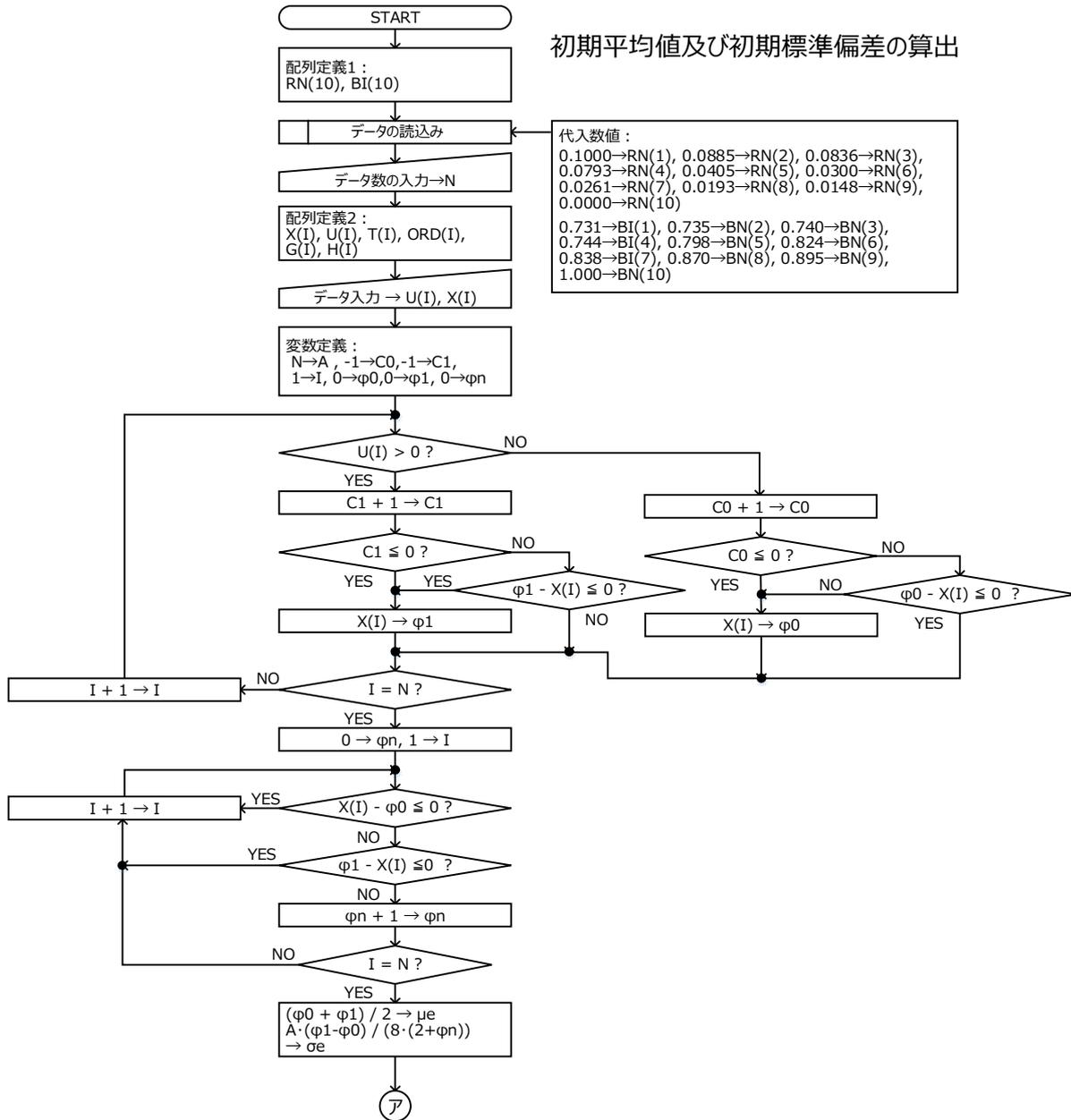
附属書 1 図 1 - V50 耐弾限界試験 (アップアンドダウン法) の測定方法 (例)



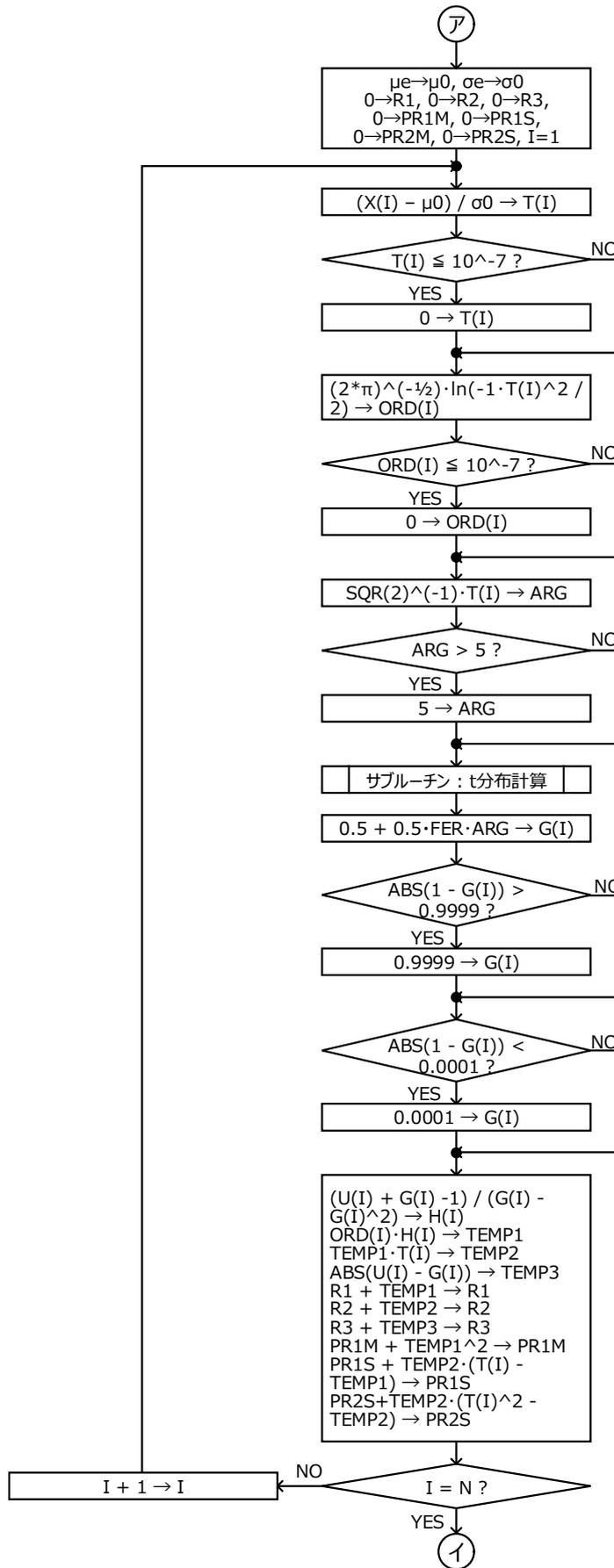
- 上限：完全侵徹が起こる確率が非常に高い撃速
- 下限：完全侵徹が起こらない確率が非常に高い撃速
- ：完全侵徹
- ：部分侵徹
- ↔：着目する撃速の領域

附属書 1 図 2 - V50 耐弾限界試験（ラングリエ法）の測定方法（例）

このフローチャートは、MIL-STD-331A FUZE AND FUZE COMPONENTS, ENVIRONMENTAL AND PERFORMANCE TESTS FOR, APPENDIX I, Sample Analysis By H.J.Langlie from Publication No.U-1792 (Aeronautic) A Reliability Test Method for One-Shot Itemの記述に従って作られたAPPENDIX 2のプログラムを基に作成した。

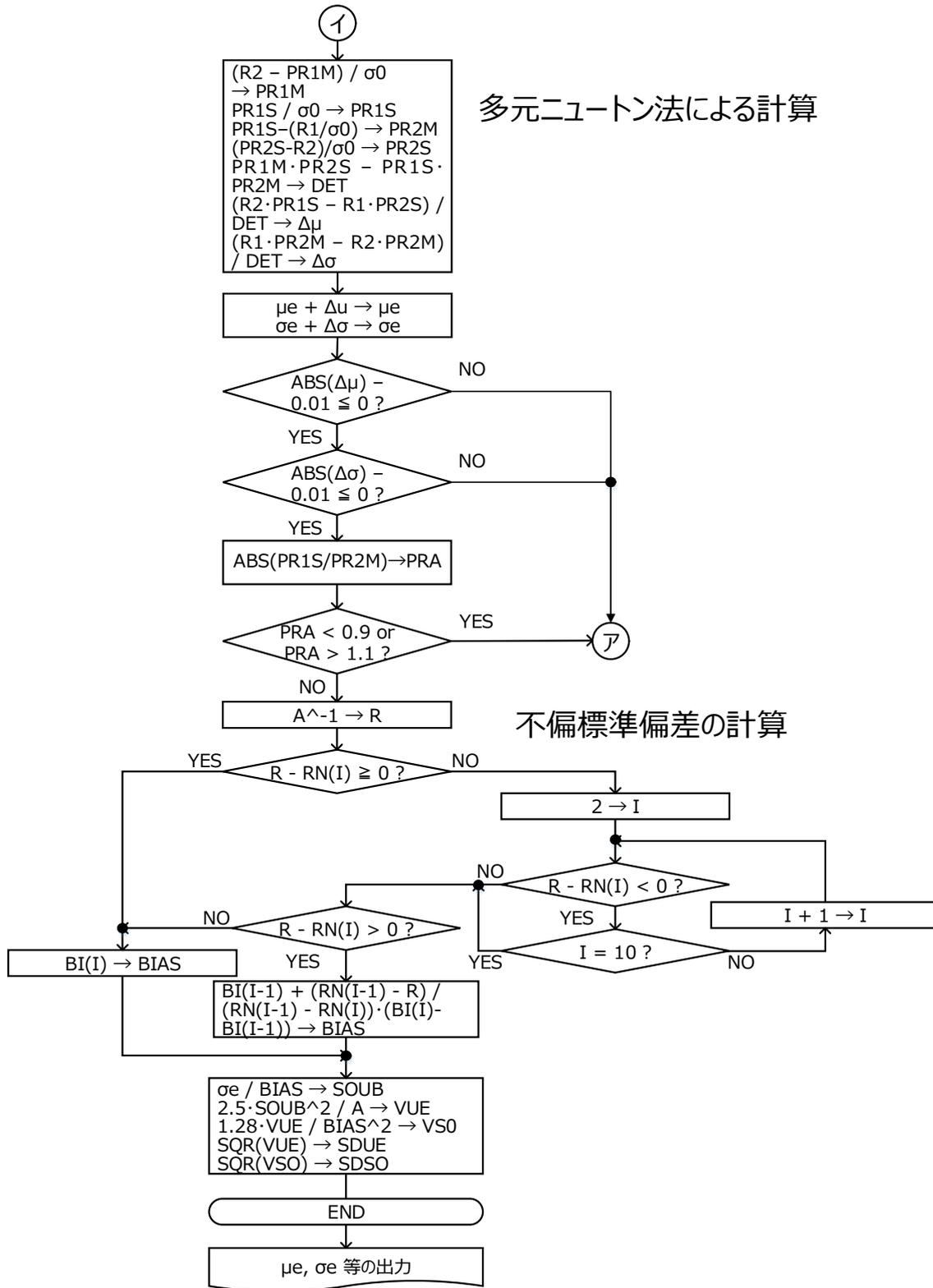


附属書 1 図 3 - V50 耐弾限界試験 (ラングリエ法) 及び
θ 50 耐弾限界試験標準偏差計算用フローチャート (例)

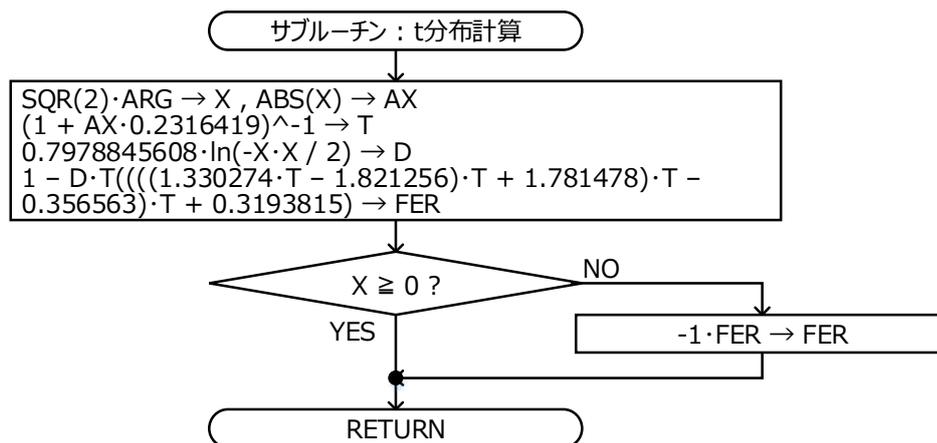


最尤法による最尤推定量
の算出

附属書 1 図 3 - V50 耐弾限界試験 (ラングリエ法) 及び
θ 50 耐弾限界試験標準偏差計算用フローチャート (例) (続き)



附属書 1 図 3 - V50 耐弾限界試験 (ラングリエ法) 及び
 θ 50 耐弾限界試験標準偏差計算用フローチャート (例) (続き)



記号の説明

・初期平均値及び初期標準偏差の計算

- RN (10) : かたより係数
- BI (10) : かたより係数
- N : 試験繰り返し数
- X (I) : 資料パラメータ
- U (I) : 試験結果 (完全侵徹 = 0, 部分侵徹 = 1)
- μ_0 : 初期平均値
- σ_0 : 初期標準偏差
- I : 計算繰り返し回数

・最尤法による最尤推定量の計算

- T (I) : 正規化された試料パラメータ
- ORD (I) : 正規分布の確率密度
- G (I) : 正規分布の面積 g
- H (I) : U (I) によるパラメータ h
- TEMP1 : g h
- TEMP2 : t g h
- TEMP3 : | U (I) - G (I) |
- R1 : $\sum g h$
- R2 : $\sum t g h$
- R3 : $\prod | U (I) - G (I) |$
- PRIM : $\sum (g h)^2$
- PR1S : $\sum t g h (t - g h)$
- PR2S : $\sum t g h (t^2 - t g h)$
- HINV : $1/h$

・多元ニュートン法による計算

- PR1M : $[\sum t g h - \sum (g h)^2] / \sigma_0 \rightarrow P \mu$
- PR1S : $\sum t g h (t - g h) / \sigma_0 \rightarrow P \sigma$
- PR2M : $[\sum t g h (t - g h) - \sum g h] / \sigma_0 \rightarrow q \mu$
- PR2S : $[\sum t g h (t^2 - t g h) - \sum t g h] / \sigma_0 \rightarrow q \sigma$
- DET : $p \mu \times q \sigma - p \sigma \times q \mu$
- μ_e : 修正平均値
- σ_e : 修正標準偏差

・不偏標準偏差の計算

- SOUB : 不偏標準偏差
- VUE : 試料平均値の分散
- VSO : 不偏標準偏差の分散

・t分布の計算

- FER : t分布の確率

附属書 2

θ 50 耐弾限界の測定手順

1 適用範囲

この附属書は、θ 50 耐弾限界の測定手順について規定する。

2 θ 50 耐弾限界の測定手順

θ 50 耐弾限界の測定手順は、次による。

附属書 2 図 1 を参照すること。

2.1 全般的事項

供試体に対する撃角の上限及び下限を、予備試験結果及び過去の実績等から次のとおり設定する。

- a) 上限撃角は、完全侵徹が起こらない確率が非常に高い撃角とすること。
- b) 下限撃角は、完全侵徹が起こる確率が非常に高い撃角とすること。

2.2 試験手順

(手順 1) 初弾を、上記の上限及び下限撃角の平均撃角で射撃すること。

(手順 2) 第 2 弾は、初弾で供試体を完全侵徹した場合、初弾の撃角と上限撃角の平均撃角で射撃すること。また、初弾が部分侵徹の場合、初弾の撃角と下限撃角の平均撃角で射撃すること。

(手順 3) 初弾と第 2 弾で逆の結果(初弾は完全侵徹、第 2 弾は部分侵徹又は初弾が部分侵徹、第 2 弾が完全侵徹)が生じた場合の第 3 弾は初弾と第 2 弾の平均撃角で射撃すること。2 発とも部分侵徹の場合の第 3 弾は、第 2 弾の撃角と下限撃角の平均撃角で射撃すること。2 発とも完全侵徹の場合の第 3 弾は、第 2 弾の撃角と上限撃角の平均撃角で射撃すること。

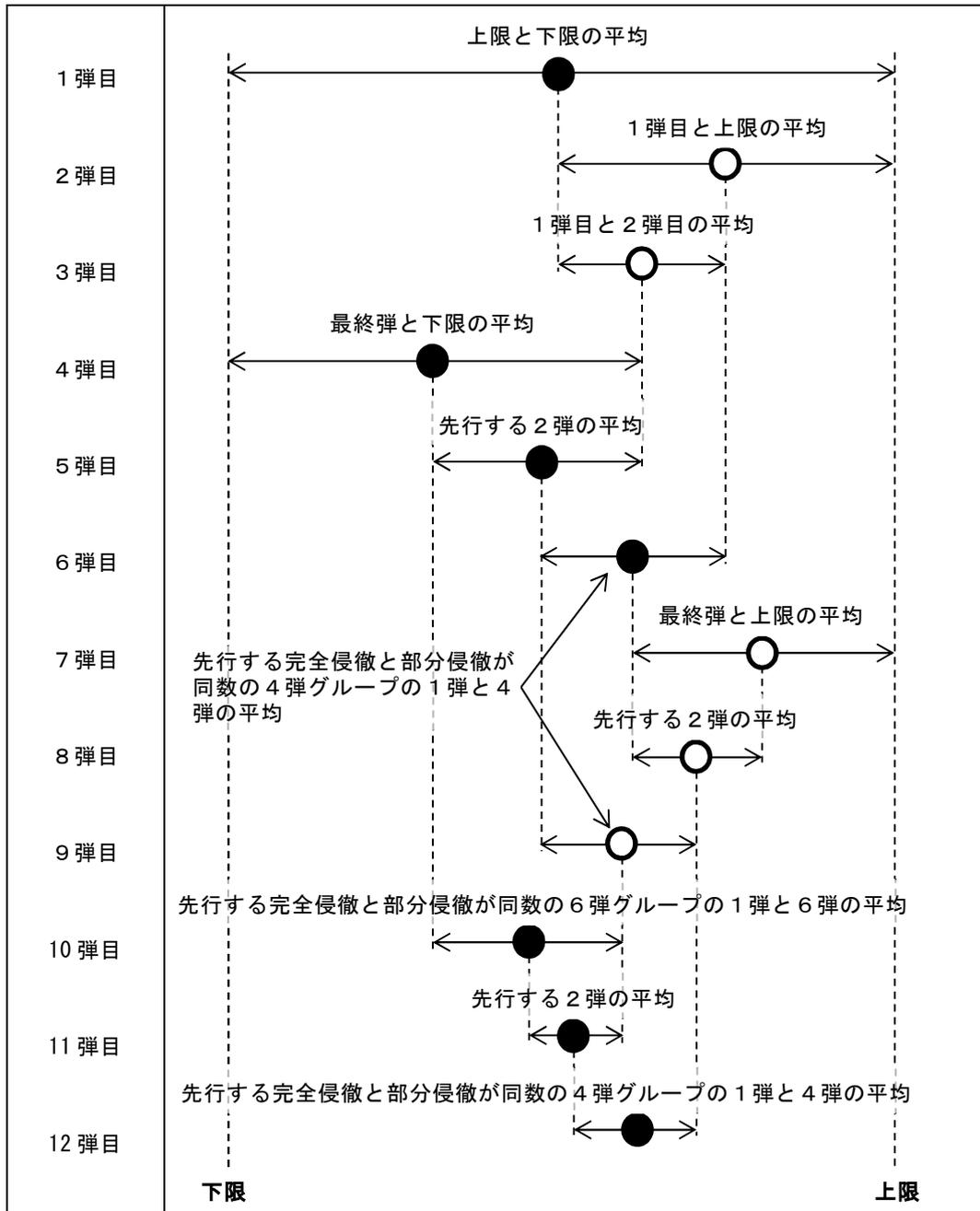
(手順 4) 3 発射撃して、全弾完全侵徹又は全弾部分侵徹となった場合、新たに上限及び下限撃角を設定し、再度射撃すること。この場合、新たに上限及び下限撃速を設定する前に射撃した 3 発中の 1 発以上のデータを θ 50 耐弾限界の最終計算に入れてもよい。

(手順 5) さらに下記の順序に従って射撃を継続すること。

- a) 先行する 2 発で逆の結果の場合、(手順 3)と同様に第 3 弾はその平均撃角で射撃すること。
- b) 先行する 2 発で逆の結果でない場合、先行する 4 発に着目する。完全侵徹、部分侵徹が同数の場合、次弾はこの 4 発のグループの第 1 発目と第 4 発目の平均撃角で射撃すること。4 弾のグループ中で完全侵徹及び部分侵徹の数が同数とならない場合、先行する 6 弾のグループさらに 8 弾のグループと範囲を広げ、完全侵徹、部分侵徹の数が同じになるグループを選定すること。
ここで求めたグループの第 1 弾の撃角と最終弾の撃角との平均撃角で射撃すること。
- c) 上記 b) の条件が満たされず、最終弾が完全侵徹した場合、次弾は直前弾撃角と上限撃角の平均角で射撃すること。または、最終弾が部分侵徹した場合、次弾は直前弾撃速と下限撃速の平均撃角で射撃すること。

- d) 上記 c) の条件が満たされない場合、a) 及び b) へ戻る。
- e) 5回連続して逆が起こるか、12発射撃するか、いずれか一方の現象が発生した時、耐弾限界試験を終了する。
- f) $\theta 50$ 耐弾限界及び $\theta 50$ の標準偏差 $\sigma \theta$ を求める。

なお、コンピュータプログラムを作成する上で必要となるフローチャートは附属書1の図3による。



上限：完全侵徹が起こらない確率が非常に高い撃角

下限：完全侵徹が起こる確率が非常に高い撃角

●：完全侵徹

○：部分侵徹

↔：着目する撃速の領域

附属書2図1 - $\theta 50$ 耐弾限界試験の測定方法 (例)

装甲の運動エネルギー弾に 対する耐弾性試験方法 解説

この解説は、本体に規定した事柄及びこれに関連した事柄を説明するものであり、規格の一部ではない。

1 制定の経緯

この規格は、平成5年に制定された。当初の経緯を以下原文のまま引用する。

この規格は試験目的に対し、運動エネルギー弾に対する装甲の相対的な耐弾性を判定するための試験方法を規定したもので、評価基準及び判定基準を規定するものではない。

なお、この規格原案は、防衛庁技術研究本部第1研究所第2部耐弾システム研究室より、社団法人日本防衛装備工業会に平成2年度から3年度にわたって行われた委託により作成された。社団法人日本防衛装備工業会は、関係者による委員会を組織し、これまでの試験実績、TOP及びMIL等を参考にして、規格原案の作成を行った。

2 改正の趣旨

この規格は、平成5年に制定されたが、20年以上を経過し、耐弾性評価の考え方の多様化や環境条件への考慮が必要となったため、改正するものである。

改正内容としては、測定手順として現行規格では $\theta 50$ 耐弾限界試験の項目のみに記載されていたラングリエ法の適用範囲をV50耐弾限界試験にも広げ、装甲の弾丸に対する阻止能力を定量的に評価する試験として耐弾性評価試験を追加するとともに、環境条件によって耐弾性能が変化する可能性のある材料を使用した装甲に対する環境負荷等について規定した。

3 主な項目の説明

以下、補足説明が必要な部分について解説する。(本体の項目番号による。)

解説表1－各項の説明

項目番号	項目	説明
1	適用範囲	この規格は、試験の準備や注意事項等を含め、装甲の運動エネルギー弾に対する耐弾限界を測定する標準的な方法について規定したものである。 なお、この規格は、NDS Z 0011 装甲の耐弾性試験方法通則 と併用されなければならない。
3	用語及び定義	この規格における用語は、“装甲の運動エネルギー弾に対する耐弾性試験方法”の範囲内で、普遍性のある用語を定義したものであるが、NDS Z 0014 装甲の破片等に対する耐弾性試験方法 8.1 破片模擬弾射撃試験に対しても適用される。
3.11	極限条件	この例のように、高確率に撃速が中央弾速+ 2σ 以上になるよう、発

項目番号	項目	説明
3.11 (続き)		射薬量等を調整した試験用弾薬を調達することで、極限条件の効率的な試験を行う事もあり得る。ただし、シャッターギャップ領域を把握している又は実用上問題ないことが確認できている場合に限る。
4	試験の種類	V50 耐弾限界試験及び θ 50 耐弾限界試験の2種類に、装甲の弾丸に対する阻止能力を定量的に評価する耐弾性評価試験を新たに追加した。
5	試験の原理	
5.1	V50 耐弾限界試験, θ 50 耐弾限界試験	<p>TOP 2-2-710 によれば、運動エネルギー弾の射撃試験における V50 耐弾限界の測定手順としてアップアンドダウン法、ラングリエ法、レベルサンプリング法及びプロビットデザイン法がある。この規格では、これらのうち我が国及び米国において、これまで耐弾性試験で最も多く実施されてきたアップアンドダウン法及びラングリエ法を採用した。</p> <p>また、アップアンドダウン法には、速度幅 46 m/s 以内に完全侵徹と部分侵徹が各 3 発発生するまで、6 弾以上の射撃を継続する 6 弾耐弾限界と、同様に速度幅 18 m/s 以内に完全侵徹と部分侵徹が各 2 発発生する 4 弾耐弾限界、速度幅 15 m/s 以内に完全侵徹と部分侵徹が各 1 発発生する 2 弾耐弾限界がある。この規格では、6 弾耐弾限界を推奨するとし、供試体の大きさ、使用できる弾薬数等の理由から射撃回数が制限され、6 弾耐弾限界が不可能な場合に、4 弾または 2 弾の耐弾限界を適用できることとした。</p> <p>V50 耐弾限界及び θ 50 耐弾限界の測定手順を、附属書 1 及び附属書 2 にそれぞれ示した。</p> <p>θ 50 耐弾限界は、V50 耐弾限界が得られない場合の補助的な手段として規定することとした。装甲の耐弾性を求めることを目的とした試験では、供試体について、ある特性の知れた弾丸に対し、ある撃角でどの程度の撃速に耐えられるかを求めることが目的であり、θ 50 耐弾限界はあくまで補助的なデータでしかないためである。</p> <p>そのため、θ 50 耐弾限界の測定手順は、TOP 2-2-710 ではラングリエ法を用いている。V50 耐弾限界の場合と同様のアップアンドダウン法を採用しなかったのは、V50 耐弾限界のアップアンドダウン法の速度幅に替わる角度幅を設定できないためである。</p> <p>また、θ 50 耐弾限界を求めた場合の V50 耐弾限界への換算は、TOP 2-2-710 に記載される換算図表及び、その換算図表を数値化したものを SI 単位系に換算した数値に基づき再度グラフ化した解説図 1によって可能</p>

項目番号	項目	説明
5.1(続き)		<p>である。</p> <p>なお、シャッターギャップが発生しうる組み合わせに対する撃速下限の設定については、解説表 1 9.1.2 b)を参照すること。</p>
5.2	耐弾性評価試験	<p>装甲の耐弾性を評価するための撃速及び有効弾数について記載した。有効弾数は、表 1を基準として供試体に必要とされる部分侵徹発生頻度の信頼下限 (P_L) 及び信頼度 (β) から選択するものとした。また、日本の開発事情に合わせて、有効弾数のうち2発目まで完全侵徹が生じた場合でも使用できるものを作表した。参考として、MIL-STD-3038 で規定されている脅威の情報及び試験用弾丸の射撃に使用する火器の情報、防弾規格の比較を解説表 2～解説表 4に掲載した。</p> <p>また、任意の阻止確率になる撃速については、V50 耐弾限界及びその標準偏差から、以下に示す Kneubuehl method を用いて推定することができる。</p> $P(Vt) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \int_{-\infty}^{Vt} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{V-V50}{\sigma} \right)^2} dV$ <p>ここに、</p> <p>P : 撃速 V_t における試験用弾丸の阻止確率 --</p> <p>σ : 既知の V50 耐弾限界取得時における標準偏差 m/s</p> <p>V50 : 既知の V50 耐弾限界 m/s</p> <p>V_t : 撃速 m/s</p> <p>例として、Diederer A.M. et al., Ballistic protection against armour piercing projectiles using titanium base armour.がある。</p> <p>なお、推定した撃速を用いて耐弾性評価試験を実施する場合、V50 耐弾限界取得時における射撃条件のうち、撃速以外を変更してはならない。また、推定した撃速の精度を上げたい場合、V50 耐弾限界測定時における V50 耐弾限界判定のための有効弾数を増やすことで、危険率をできる限り減らすことが必要である。</p>
6	供試体	<p>基本的に6弾のV50 耐弾限界を求めることができる大きさ及び数量が必要となるが、弾丸の径及び銃砲の命中精度並びに供試体の特性等から、それらを規定することは困難なので、過去の実施例などを参考にして決定することにした。</p> <p>なお、完成された鉄帽及び防弾チョッキ等の供試体の形状及び数量については、仕様書等の要求事項によって決定することが望ましい。</p>

項目番号	項目	説明
d) d) (続き)		表 1 に示す有効弾を得ることができる供試体の大きさ及び数量に、9.3.3 で“無効弾”と判定されるものも予め想定して供試体を準備する必要がある。ただし供試体を幾つ準備するかを規定することは困難なので、過去の事例などを参考にして決定することとした。
7	試験条件	
7.1	試験計画	
a)		L/Dが 10 以上の試験用弾丸では、ヨーが大きいと弾丸の後部が侵徹孔に接触し、侵徹威力が損なわれる恐れがあるため、ヨーを 3 ° 以下にする必要がある。 なお、ヨーが安定する射距離は、過去の実例などを参考に 200 m 以上とした。
7.3	安全に関する注意事項	NDS Z 0011 装甲の耐弾性試験方法通則 の 4.3 の注意事項によるほか本規格に固有とされる注意事項について記載した。
7.4	環境負荷等に関する注意事項	米国の軍用規格では、MIL-STD-810G 等で、装備品が運用寿命期間（ライフサイクル）に曝されるであろう環境負荷の全貌（Life Cycle Environment Profile）を反映した耐環境試験を規定している。そこでは工場出荷から兵站保管・兵站輸送・戦術保管・戦術輸送等を経て運用に至る装備品のライフサイクルにおいて、装備品が受ける温度・湿度・気圧・水（塩水を含む）・振動・衝撃・電磁気ノイズ等の環境負荷を考慮し、その直接効果・経時的累積及び／又は反復・組み合わせ等の影響を評価する手法及び実験室的試験方法が規定されている。 当該規格等を参照し、負荷条件等を決定することが望ましい。
8	試験用器材	この規格では、耐弾性試験に用いる銃砲を含む全ての試験用器材に対して、その基準や精度は、個々に管理する規定があるものなどはそれらに委ねることとし、本規格の中では、特に規定しなかった。これは、試験用器材として用いるものが多岐にわたるため、統一的に本規格の中で規定することが困難なためである。 なお、その他の試験用器材は、試験条件や人手の難易度によって自由に選定できるように、現時点で使用実績のあるものを列記した。
8.1	試験用弾薬	
a)		薬量調整及び試験用弾薬のかん合を含む組立て行為は、火工品の製造にあたるため、当該試験用弾薬の製造が許可された製造施設において実施す

項目番号	項目	説明
a) (続き)		<p>る必要がある。そのため、使用する試験用弾薬の製造が許可された製造設備を持たない試験場等で耐弾性試験を実施する場合、装填薬量の異なる複数種の試験用弾薬の完成弾を使用しかつ適切に射距離を変える又は試験用弾薬の完成弾を恒温槽に入れ冷却することで撃速を下げる等といった、火工品の消費行為の一環¹⁾から逸脱しない範囲の事前準備を行うことで撃速を調整する必要がある。撃速を調整する方法については試験場等の責任者と事前に取り決めたうえ、必要な仕様の試験用弾薬を調達すること。</p> <p>注¹⁾ 火薬類取締法及び火薬類取締法施行規則の厳密な解釈においては、火工品の仕様に規定されていない温度で調温した場合、火工品の消費行為の一環という枠から逸脱する恐れがあるため、試験用弾薬の開発元、カタログ等から仕様を調査すると共に、試験場等の責任者と相談し、どのような方法で撃速を変えることが可能かについても調整すること。</p>
d)		<p>表 1 に示す有効弾を得ることができる弾数に、9.3.3 で“無効弾”と判定されるものも予め想定して試験用弾薬を準備する必要がある。ただし試験用弾薬を幾つ準備するかを規定することは困難なので、過去の事例などを参考にして決定することとした。</p>
e)		<p>試験用弾薬については解説表 1 8.1 a) を参照すること。</p>
8.3	その他の試験用器材	
d)	角度測定装置	
1)	セオドライト等	<p>小口径弾薬等を用いた比較的射距離の短いものにおいては、レーザー墨出し器（オートレーザーやラインレーザー、オートラインレーザーと呼ばれることがある。）、水糸と水準器又はオートレベル等の組み合わせをもって代用してもよい。ただし、その際の設置条件も同様に記録に残すこと。</p>
2)	水準器	<p>必要な精度が保たれるものを用いることとし、規格上では水準器の精度については規定しない。ただし、適切に校正がなされたものを使用すること。また、適切な精度のオートレベルを使用しても良い。</p>
g)	ウィットネスプレート	<p>0.5 mm 厚のアルミ板は、主に軍服を着た人員への損傷及び素肌への損傷を模擬した物である。しかしながら防弾ガラス等の透明装甲を介し外部を視認中に被弾するような場面が想定される場合、特に裸眼に対する防護を考慮する必要がある。そのため MIL-STD-3038 では、人員の裸眼被害を想定した薄いウィットネスプレートによる試験を規定している。</p> <p>なお、MIL-STD-3038 においては裸眼被害を想定したウィットネスプレ</p>

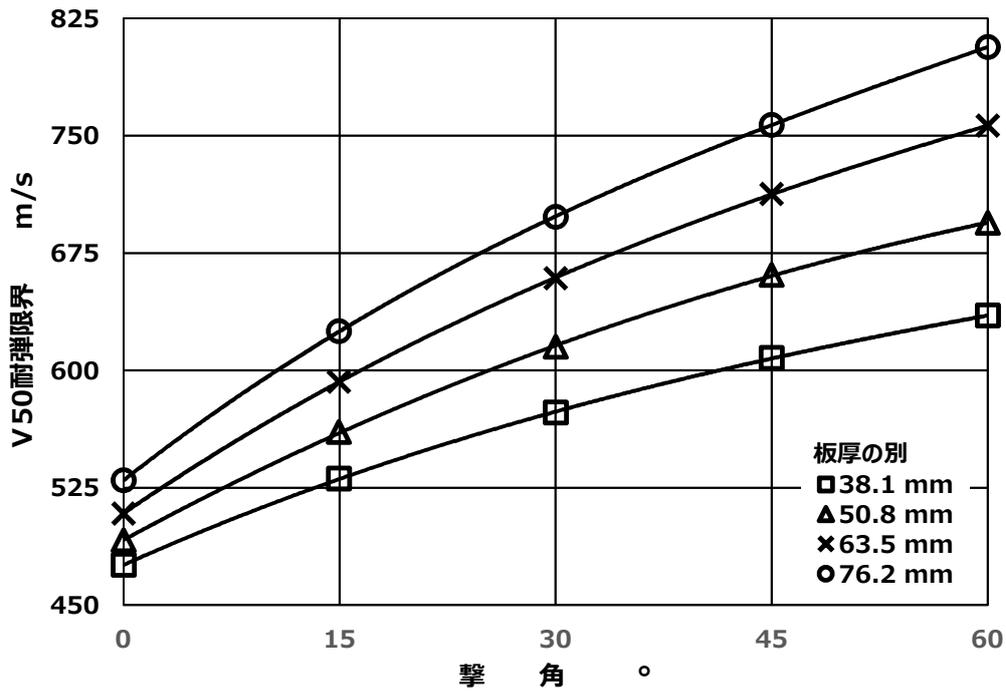
項目番号	項目	説明
g) (続き)		ートの厚さを $25 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ と規定しているが、ウィットネスプレートの例として家庭用アルミ箔をあげていること及び国内での入手性を考慮し、裸眼被害を想定したウィットネスプレートの材質については規格化しないこととした。
h)	距離測定器具	レーザー測距装置及び受信機、メジャー、杭等の地点指示用品、水糸、ノギス等のスケールを想定している。 なお、野外においてはセオドライト及びレーザー測距装置等が一体化されたトータルステーション等をもって替えることができる。
i)	フラッシュライト等	ウィットネスプレート又は標的裏面の状態を判定するために用いるためのものであり、観察者の目にダメージを与えるような過度な出力のものは用いない。 なお、NIJ Standard 0108.01:1985 Ballistic Resistant Protective Materialsによれば、60 Wの白熱光源（JIS C 7501 一般照明用白熱電球によれば、定格初光束が850 lmである。）をウィットネスプレートの状態を判定するための補助光とする規定があるため、その光源に近い特性を有するものを選定し、判定のための補助光として使用するのが望ましい。
9	試験方法	
9.1	V50 耐弾限界試験	
9.1.1	試験準備	
a)	供試体の設置	例えば、高硬度防弾板を供試体とし普通弾を射撃する場合において、 解説図2 で示すように、供試体表面で座屈した試験用弾丸が四方に飛散することで、飛散経路上にある計測用ケーブルの切断及びプレートキャリア等の固定具を破壊することがあるため、予め防護手段を講じること。
2)	ボルト	弾着によって衝撃荷重を受ける固定用ボルトは 解説図3 に示すように、独特の破壊挙動を起こし、脱着作業に支障を来たすことが多いため、かん合部のうちの3周程度の全周ねじ又はボルト頭部根元の軸で衝撃負荷を受け破断すると仮定し、安全率を取入れた十分な強度を有するボルトを選定すること。また架台や固定具等を設計する際、ボルトと架台等のかん合部、ボルト頭部又は軸の破断及びかん合部の変形によって、供試体の分解、取外し及び交換作業の効率が低下する機構や構造はできるかぎり採用しない。
3)	ボルト、ハンドバ	使用するボルトは、 解説表1 9.1.1 a) 2) を参照すること。また、Cクランプは弾着時に拘束が緩み、しばしば供試体やクランプが架台から脱落

項目番号	項目	説明
	イス等	するため、予め供試体の脱落防止策を用いて、供試体を固定すること。
4)	セオドライト等	解説表 1 8.3 d) 1)を参照すること。
b)	試験用弾薬の準備	
1)		<p>12.7 mm までの試験用弾薬は弾丸先端に配したカラーコード、プッシャー、装弾筒及び試験用弾丸それぞれに配したカラーの組み合わせ及び試験用弾薬の形状によって弾種をある程度識別できることから、MIL-STD-709D w/Change 1 (MIL-STD-709D をベース文書とし、その後制定された MIL-STD-709D Change 1 によって改訂された MIL-STD-709D のことをいう。)を用い試験用弾薬の判別を行うこと。ただし小銃弾用弾薬は弾丸の長さ、リムの有無等にもとづく相違が多岐にわたるため、特に注意して判別すること。</p> <p>なお、本改正時において調達を開始しはじめた国産の非鉛化弾については、既存弾薬と侵徹威力に関し完全な互換性があるという確認がとれていないため、既存弾の代替品として使用しないこと。そのため、12.7 mm までの試験用弾薬の受領及び使用時においては、解説図 4 に示す薬きょう底部の耐水塗装色が、緑色（国産非鉛化弾指定色）ではないことを確認して使用すること。ただし、要求性能として当該非鉛化弾に対する抗堪が求められている場合、その限りではない。</p>
2)		解説表 1 8.1 a)を参照すること。
d)	測定装置の準備	
1)		<p>本規格制定時においては、旧防衛庁技術研究本部第 1 研究所第 2 部で行われた耐弾性試験における実績を反映した。12.7mmM2AP から 20mmAPDS までの小口径弾丸の撃速を測定する場合、撃速測定点は供試体表面より 1 m から 13 m の位置、線的等の検速の間距離は 1 m から 5 m、銃砲から供試体までの距離は 10 m から 90 m で行ってきた。一方、25mmAPDS から 120mmAPDSFS までの中口径から大口径弾丸の場合、撃速測定点は供試体前方 20 m から 40 m、線的等を使用する場合の検速の間距離は 20 m から 40 m、砲から供試体までの距離は 200 m の位置で行ってきた。また、中口径から大口径弾丸の場合、銃砲から供試体の間に多数のスカイスクリーンを配置して、各区間における平均弾速を算出し、最小二乗法によって供試体表面での撃速を算出する方法も行われてきた。さらに、制定後から現在に</p>

項目番号	項目	説明
1) (続き)		<p>においては小口径弾丸から大口径弾丸に対し、火砲弾薬用検速装置が計測の正確性、計測の容易性等から多用されるようになってきた（ただし、減口径弾の計測を行う場合、プッシャー及び装弾筒の飛しょう速度も同時に計測される可能性があるため、誤計測に注意すること。）。以上の経緯から、本改正では測定方法の多様性を鑑み NDS Y 1208 に規定される方法を採用することとし、撃速の詳細な測定方法は規定しなかった。</p>
3)		<p>飛しょうする弾丸にヨーが発生した場合、耐弾限界の決定に重大な影響をおよぼす。特に装甲への撃角が 30° を超えた場合、弾丸の 3° 以上のヨーは許容できないということが TOP 2-2-710 APPENDIX D に記述されている。$\theta 50$ 耐弾限界試験では、30° 以上の撃角で射撃を実施することが非常に多いので、発射薬量とヨーの関係を各試験用弾薬について把握しておくことが必要であるが、現状ではこれらのデータの蓄積が少ないため、この規格ではヨーの範囲は規定しないこととし、準備射撃で、撮影装置又はヨーカードを準備し、ヨーを確認するにとどめた。</p>
9.1.2	試験実施	<p>9.1.2(C)の追記 1, 2, 3 に記載される準備射撃は、射撃試験では一般にウォーマと呼ばれている射撃であり、本試験の前に射撃することによって砲身を温め、その後の本試験の条件が一定になることを狙っているが、耐弾性試験における準備射撃は、照準規正、試験用器材等の機能確認と発射薬量と撃速及びヨーの関係を求めるために行っている。したがって「ウォーマ」ではなく「準備射撃」とした。また、試験用器材等の機能が予め正常であることが明確な場合はこの準備射撃は省略が可能であることから、「必要に応じ」行うこととした。</p>
a)	射撃	
2)		<p>線的又は箔的を用いる場合、弾丸の通過時において線的又は箔的との物理的干渉によって弾道が変化し、照準点と異なる場所に弾着することがしばしばある。そのため溶接箇所やラチス空隙等、ピンポイントで存在する脆弱な部位に対する試験を、線的又は箔的を併用して行う際は、予備射撃又はウォーマ弾を用い、弾着傾向を事前に把握したうえ、照準点を修正すること。</p> <p>なお、弾道変化をできる限り減らすため、技術的に必要な場合を除き、線的又は箔的による弾速の計測を行わないことが望ましい。</p>

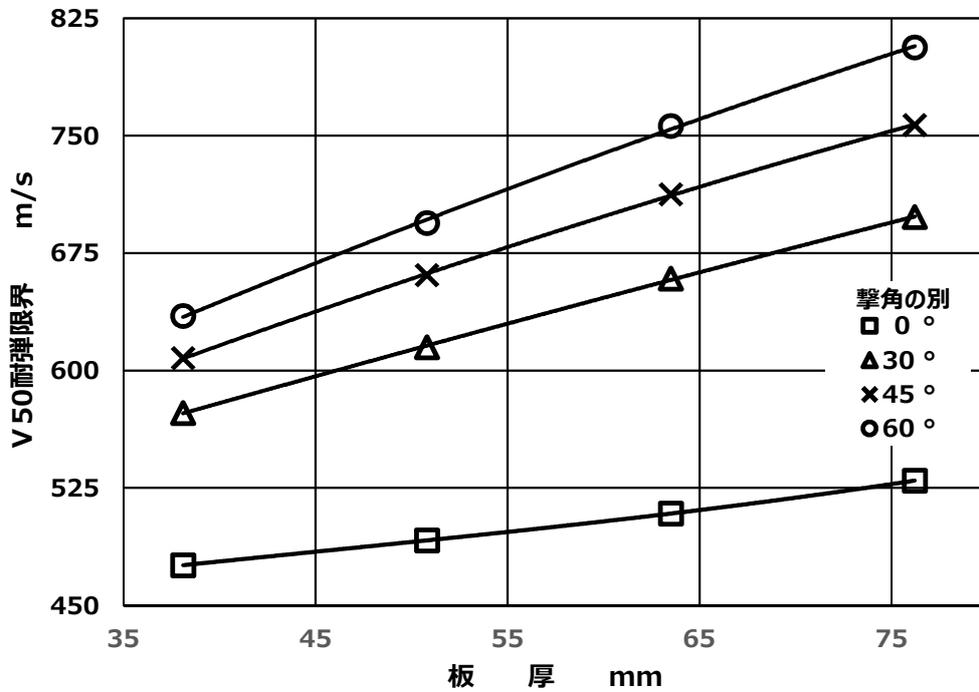
項目番号	項目	説明
b)	射撃の手順	<p>附属書1 V50 耐弾限界の測定基準</p> <p>1 全般的な事項</p> <p>例えば、セラミック装甲と徹甲弾といった、シャッターギャップが生じやすい組み合わせでV50 耐弾限界の測定を行う場合、クーポン試験片を用いた予備射撃又は数値シミュレーション等によるシャッターギャップ特性の事前把握につとめたうえ撃速下限をあらかじめ定める又はシャッターギャップが発生しにくい構造を採用したうえ測定を行うこと。また、シャッターギャップに対する事前対策を講じていたが、射撃試験中に意図しない速度域でシャッターギャップが発生したと判じた場合、試験を速やかに中断し、協議及び調整を行った上で、試験の続行又は試験中止の決定を行うこと。</p>
b) (続き)		
9.3	耐弾性評価試験	
9.3.1	試験準備	
a)	供試体の設置	解説表1 9.1.1 a)を参照すること。
2), 3)	ボルト、ハンドバイス等	使用するボルトは、解説表1 9.1.1 a) 2)を参照すること。
4)	セオドライト等	解説表1 8.3 d) 1)を参照すること。
b)	試験用弾薬の準備	
1)		解説表1 9.1.1 b) 1)を参照すること。
2)		解説表1 8.1 a)を参照すること。
9.3.2	試験実施	
a)	射撃	
2)		解説表1 9.1.2 a) 2)を参照すること。
9.3.3		試験の有効性の評価
a)	撃速（衝突速度）	撃速の有効範囲について、海外の防弾規格等(MIL-STD-3038, NIJ Standard 0101.06, NIJ Standard 0108.01)を調査したが、規格毎に異なり、かつその根拠が示されていないため、本規格では、過去の実例などから、設定された射距離の平均存速に対し+15 m/s 又はばらつき $+3\sigma$ の範囲を基準とした。ただし、MIL規格等に適合する必要がある装備品について

項目番号	項目	説明
		ては、必要に応じその値を参考に設定しても良いこととした。
b)	撃角	過去の事例などを参考に設定した。
c)	ヨー	飛しょうする弾丸に大きなヨーが発生した場合、耐弾性の評価に大きな影響を及ぼすが、ヨーと侵徹威力の関係を把握していないので、この規格では、ヨーの範囲を規定しないこととし、準備射撃などで撮影装置又はヨーカードを準備し、ヨーを確認するにとどめた。
9.4	射撃後の処置	
10	弾痕の判別	
10.1	適正弾痕の判別	<p>MIL-A-12560D (MR) の 20.1 によれば、適正弾痕は「弾丸がヨーやタンブリングなしで装甲に衝突し、当該の弾痕が板端、穴、クラック、スポール部から 7.62mmM2AP から 37mmAP の場合、試験弾の 2 直径分以上、また、50mmAP より大きい試験弾の場合、1 直径分以上離れており、その間が乱されていないことが必要である」とされている。</p> <p>現在、我が国において硬鋼を弾心とする運動エネルギー弾は、5.56mmAP から 12.7mmM2AP のみで口径 20 mm 以上は減口径弾である。したがって減口径弾については参考となる MIL 規格等がなく、独自に適正弾痕の規定が必要になり、これまで行われた試験データから減口径弾の弾痕について調査した結果、各弾痕間で割れ、膨らみなどによって乱されていない部分が弾心直径の 2 倍以上であれば相互に影響を受けないと考えられるので、前述の MIL 規格等を考慮し、適正弾痕を規定した。</p>
10.2	完全侵徹か部分侵徹状態かの判別	米国の Army 基準、Navy 基準そして防護基準が TOP 2-2-710 にそれぞれ規定されている。この規格では過去の実績と判定基準の統一されたデータの蓄積を目的とし、防護基準を完全侵徹と部分侵徹弾痕の判別のため採用した。
11	試験の記録	<p>この規格では、表 2 から表 4 に示した様式を参考にして、各試験の結果を記録し、耐弾限界を表わすことを定めている。</p> <p>この様式は、旧技術研究本部第 1 研究所第 2 部において、過去の耐弾試験に用いられてきたものを採用した。</p>



注記 このグラフは TOP 2-2-710 に記載された換算図表を数値化し、作成した

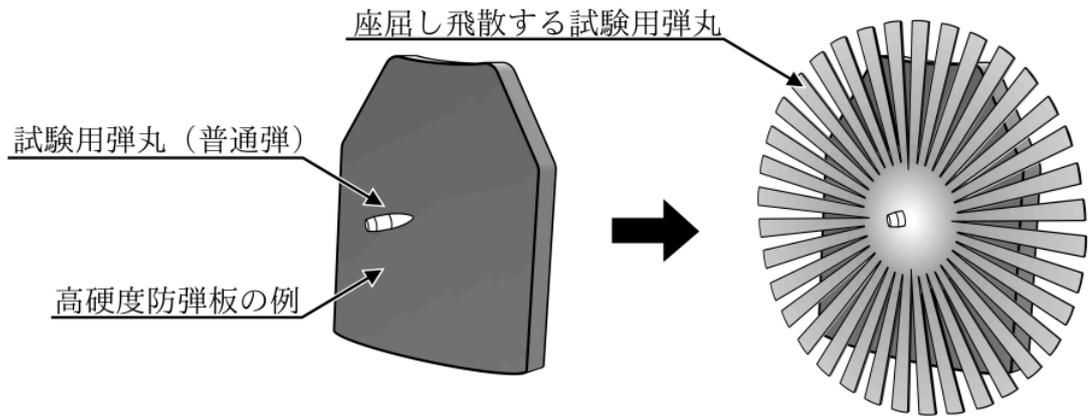
a) 実験データによる耐弾限界撃角曲線



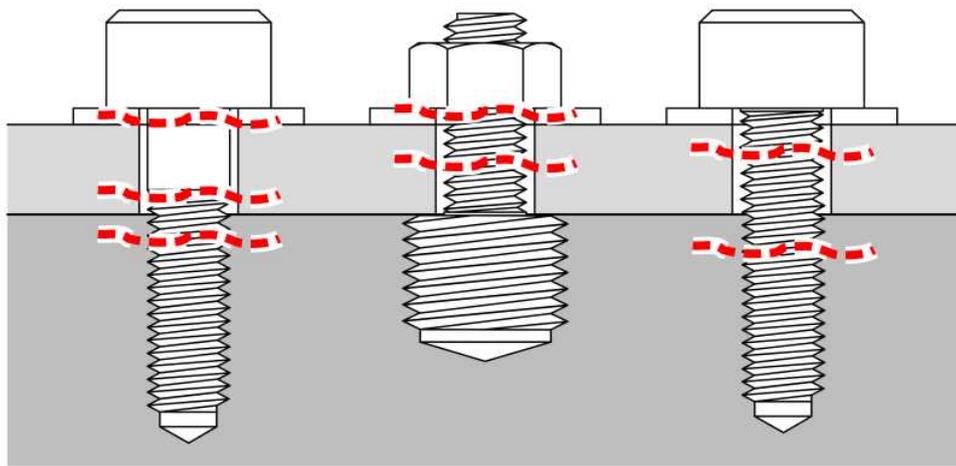
注記 このグラフは a) 図に使用したデータを元に作成した

b) a) 図から換算した曲線

解説図 1 - θ 50 耐弾限界の V50 耐弾限界への換算

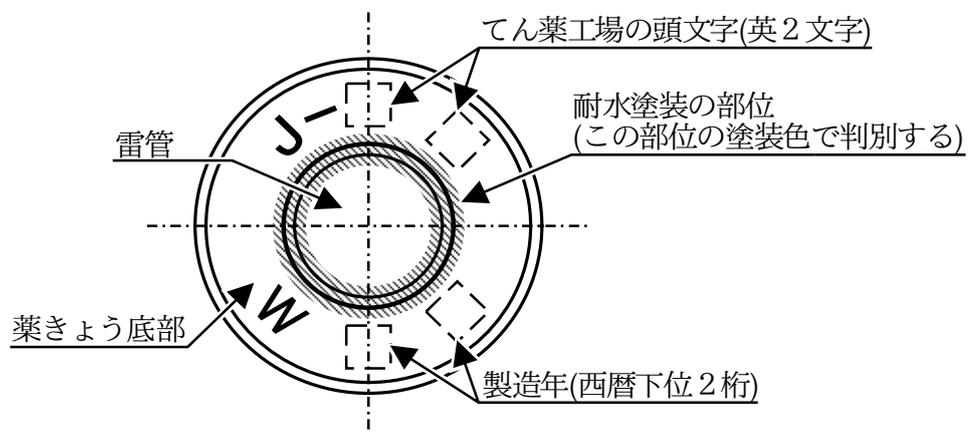


解説図 2 - 試験用弾丸が座屈し飛散する例



注記 破線は着弾時に発生する衝撃荷重により大変形または破断しやすいボルト等締結部を示す。

解説図 3 - 弾着時において破壊されやすいボルト締結部分の例



解説図 4 - 国産非鉛化弾識別用確認部位

解説表 2 - MIL-STD-3038 で規定される脅威

脅威の別		試験用弾薬			
タイプ	クラス	口径×弾長 mm	名称	弾重 g	撃速 m/s
I	A	9×19	M882	8.0±5 %	385±9.1
II	A	11×41	.44Magnum SWC Gas Checked	15.55±5 %	426±9.1
III	A	7.62×39	Type PS M67	8.0±5 %	700±9.1
	B		API BZ M43	7.8±5 %	715±9.1
IV	A	5.45×39	5N7	3.2±5 %	915±9.1
	B		7N22 AP	3.7±5 %	887±9.1
V	A	5.56×45	M855	4.0±5 %	950±9.1
	B		M995 WC AP	3.4±5 %	1 030±9.1
VI	A	7.62×63	M2	9.8±5 %	880±9.1
	B		AP M2 ¹⁾	10.8±5 %	878±9.1
VII	A	7.62×51	M80	9.6±5 %	838±9.1
	B		AP M993	8.3±5 %	910±9.1
VIII	A	7.62×54R	Type LPS	9.7±5 %	865±9.1
	B		Type B32 ²⁾	10.0±5 %	854±9.1
IX	B	12.7×108	API B32	48.0±5 %	853±9.1
X	A	12.7×99	M33	42.9±5 %	887±9.1
	B		MK263 AP	48.6±5 %	887±9.1
X I	B	14.5×114	API B32	64.0±5 %	914±9.1
X II	B	20×102	M53	102±5 %	1 030±9.1
X III	B	23×152	API-T BZT	187±5 %	1 000±9.1
X IV	B	25×137	APDS-T M791	149±5 %	1 344±9.1
X V	B	30×113	M789 HEDP	229±5 %	805±9.1
X VI	B	30×165	BT	400±5 %	880±9.1
X VII	B	30×173	APFSDS-T ³⁾	235±5 %	1 385±9.1

注¹⁾ 日本においては M2AP と呼称される。
²⁾ 7.62×54R B32(7-BZ-3) のことである。
³⁾ 撃速及び弾重から MK268 APFSDS-T と思われる。

解説表 3 - MIL-STD-3038 で規定される試験用弾丸の射撃に使用する火器

脅威の別		試験用弾薬		使用火器
タイプ	クラス	口径×弾長 mm	名称	
I	A	9×19	M882	M9
II	A	11×41	.44Magnum SWC Gas Checked	S&W Model 29
III	A	7.62×39	Type PS M67	AK-47
	B		API BZ M43	
IV	A	5.45×39	5N7	AK-74
	B		7N22 AP	
V	A	5.56×45	M855	M16
	B		M995 WC AP	
VI	A	7.62×63	M2	M1 Garand
	B		AP M2 ¹⁾	
VII	A	7.62×51	M80	FN FAL
	B		AP M993	
VIII	A	7.62×54R	Type LPS	PKM, Dragonuv
	B		Type B32 ²⁾	
IX	B	12.7×108	API B32	DShK
X	A	12.7×99	M33	M2 BMG
	B		MK263 AP	
X I	B	14.5×114	API B32	KPV
X II	B	20×102	M53	M61 Vulcan
X III	B	23×152	API-T BZT	2A14
X IV	B	25×137	APDS-T M791	M242
X V	B	30×113	M789 HEDP	M230
X VI	B	30×165	BT	GSh-30-1
X VII	B	30×173	APFSDS-T ³⁾	GAU-8
<p>注¹⁾ 日本においては M2AP と呼称される。 ²⁾ 7.62×54R B32(7-BZ-3) のことである。 ³⁾ 撃速及び弾重から MK268 APFSDS-T と思われる。</p>				

解説表 4 - 防弾規格の比較

MIL-STD-3038					他の防弾規格	
脅威の別		試験用弾薬		使用火器	NIJ Standard 0101.06	UL752
タイプ	クラス	口径×弾長 mm	名称			
I	A	9×19	M882	M9	II A	1, 6
II	A	11×41	.44Magnum SWC Gas Checked	S&W Model 29	III A	3
III	A	7.62×39	Type PS M67	AK-47		
	B		API BZ M43			
IV	A	5.45×39	5N7	AK-74		
	B		7N22 AP			
V	A	5.56×45	M855	M16		
	B		M995 WC AP			
VI	A	7.62×63	M2	M1 Garand		4
	B		AP M2 ¹⁾			
VII	A	7.62×51	M80	FNFAL	III	5, 8
	B		AP M993			
VIII	A	7.62×54R	Type LPS	PKM, Dragonuv		
	B		Type B32 ²⁾			
IX	B	12.7×108	API B32	DShK		
X	A	12.7×99	M33	M2 BMG		10
	B		MK263 AP			
X I	B	14.5×114	API B32	KPV		
X II	B	20×102	M53	M61 Vulcan		
X III	B	23×152	API-T BZT	2A14		
X IV	B	25×137	APDS-T M791	M242		
X V	B	30×113	M789 HEDP	M230		
X VI	B	30×165	BT	GSh-30-1		
X VII	B	30×173	APFSDS-T ³⁾	GAU-8		

注¹⁾ 日本においては M2AP と呼称される。
注²⁾ 7.62×54R B32(7-BZ-3) のことである。
注³⁾ 撃速及び弾重から MK268 APFSDS-T と思われる。

4 規格原案調査・作成作業委員会の構成

この規格は、防衛装備庁陸上装備研究所弾道技術研究部終末効果・防護研究室が主管となり、次に示す一般社団法人日本防衛装備工業会会員等の協力によって改正規格原案（案）を作成したものである。

装甲の運動エネルギー弾に対する耐弾性試験方法の規格原案調査・作成作業委員会

	所属
(委員長)	三菱重工業株式会社
(委員)	株式会社小松製作所
	ダイキン工業株式会社
	東洋紡株式会社
	日本工機株式会社
	株式会社日本製鋼所
	有識者（三菱長崎機工株式会社）
(事務局)	一般社団法人日本防衛装備工業会