

第五 射撃場に係る鉛汚染対策について

1. 総論

(1) 概要

ここでは、射撃場の設置者等が、射撃場に係る鉛汚染問題を解消または未然防止するために実施する対策の概要、効果、留意事項を示す。対策の検討に当たっては、各射撃場の特徴や現状に関する情報を収集、整理し、各射撃場の状況に応じた対策方法を選定することが必要である。

また、鉛弾の回収といった対策に対しては、社団法人全日本指定射撃場協会、社団法人猟用資材工業会、日本火薬銃砲商組合連合会が助成制度を設けている（巻末資料B参照）。

なお、指定射撃場については、対策を実施するに当たり、指定を受ける際に都道府県公安委員会に提出した指定射撃場指定申請書（添付書類を含む。）の記載事項に変更が生じた場合には、速やかに記載事項変更届を各公安委員会に提出しなければならないことに注意する必要がある。

(2) 対策選定の目安

射撃場の現状や特徴を収集、整理した上で、当該射撃場において考えられる鉛汚染問題を生じる原因を整理し、その原因に応じた対策を講じることが重要である。

表5-1には、射撃場に係る鉛汚染対策として考えられる方向性を示し、対策の方向性に該当すると思われる対策を一覧表として示した。なお、「場内の鉛弾の量を減らす」ことは射撃場における鉛の発生源を除去するものであり、射撃場に係る鉛汚染問題の解消及び未然防止の双方において有効であると考えられる対策のため、二重枠に囲んで示した。

表5-1 射撃場に係る鉛汚染対策の方向性と対策

対策の方向性		対策																						
		鉛弾の回収	着弾範囲の整地	着弾範囲の舗装	着弾範囲のモルタル吹付け	着弾範囲へのシート敷設	鉛弾回収装置や土嚢の設置	ライフル射撃場における	着弾範囲への鉛吸着資材の敷設	着弾範囲における土壌 pH の調整	排水溝等の整備	流入した鉛弾の除去、回収	場内水面の解消(常時排水等)	溜樹、沈殿池等による排水制御	場外への排水の処理	水処理施設による雨水浸入防止工	ライフル射撃場における着弾範囲での	鉛弾着弾範囲の限定化	射撃方法の変更	飛散防止ネット、柵等の設置	地下水を經由した鉛の拡散防止(遮水壁の設置)	場内土壌等の移動の制約	鉛弾回収の障害となる植生の除去	
大分類	小分類																							
場内の鉛弾の量を減らす。 (鉛弾を回収しやすくすることを含む)		○	○	○	○	○	○											○	○				○	
①鉛弾からの鉛の溶出の抑制	・鉛が溶出しにくい環境とする			○	○				○								○							
	・鉛弾が表流水に入らないようにする	○										○					○	○						
	・鉛を含む土壌が表流水に入らないようにする			○	○	○											○							
	・溶出した鉛が表流水に入らないようにする								○								○							
②鉛(鉛弾、鉛を含む土壌、それらから溶出した鉛)の表流水への移行の抑制	・着弾範囲に表流水が滞留しないようにする(鉛弾との接触時間の短縮)			○	○								○				○							
	・溶出した鉛の地下拡散を防止する			○	○				○							○							○	
③溶出した鉛の地下水への移行の抑制	・地下水を經由した鉛の拡散を防止する																					○		
	・表流水に流入した鉛の場外への拡散の抑制																							
④表流水に流入した鉛の場外への拡散の抑制	・表流水に流入した鉛弾を除去する																							
	・表流水に流入した鉛を含む土壌を除去する																							
	・表流水に溶解した鉛を除去する								○								○							
⑤場外への鉛弾や鉛を含む土壌の散逸の抑制	・鉛弾の場外への飛散を防止する																		○	○				
	・表層土壌や鉛弾の移動を制限する	○		○	○	○																	○	

対策の方向性に適合すると思われる対策について、目安として○を付した。

2. 各対策の概要

(1) 鉛弾の回収

1) 概要

射撃場内に存在する鉛弾を回収し、場外にて適切に処理する方法である。場内から回収した鉛弾を適切に分別した場合は有価物として売却が可能であり、鉛金属の市況変動に左右されるものの経済的な対策となる可能性があり、鉛資源のリサイクルの観点からも有用である。

図5-1に鉛弾回収フローを示す。図5-1に示すように、鉛弾の回収方法には射撃場の状況（舗装の有無等）や場外処理方法等により、複数のパターンが考えられる。

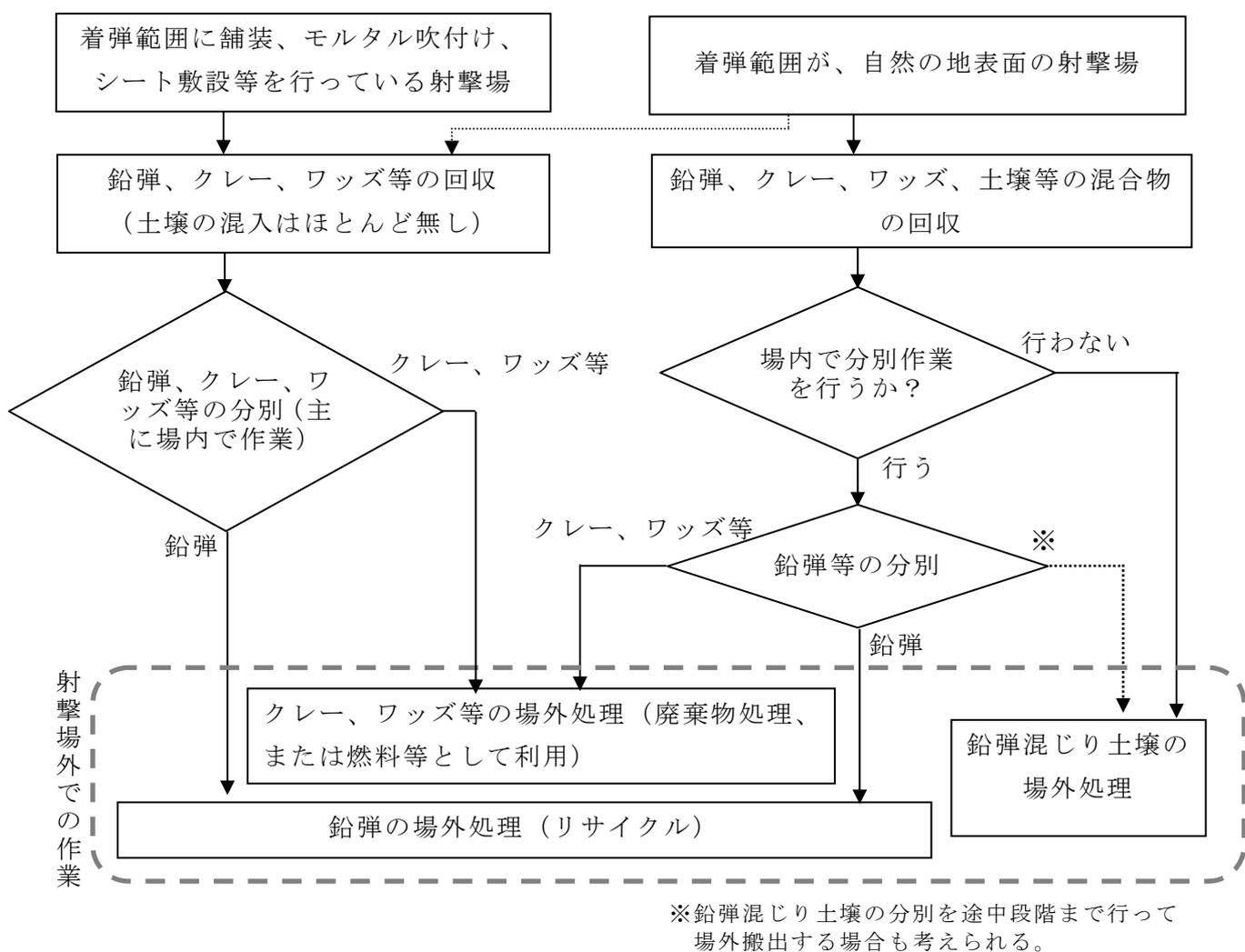


図5-1 射撃場における鉛弾回収フロー

① 鉛弾等の回収

鉛弾回収においては、射撃場において鉛弾の分別回収を考慮した対策（着弾範囲の舗装、モルタル吹付け、シート敷設を指す；以下同じ）を実施しているかどうかにより、回収方法や回収される鉛弾の状態が異なる。

鉛弾の分別回収を考慮した対策を実施している射撃場では、土壌がほとんど混入することがなく鉛弾等を回収・分別することが可能である。回収された鉛弾、クレー、ワッズ等は場外に搬出され、例えば、鉛弾は資源として回収され、クレー、ワッズ等は廃棄物等として処理されることとなる。

一方、鉛弾の分別回収を考慮した対策を実施していない射撃場では、鉛弾等と土壌の混合物の状態での回収が行われる場合がほとんどである。

鉛弾や鉛弾混じり土壌を回収する方法としては、スコップやほうき等を用いて人力で回収する方法、バックホウ等の重機を用いる方法、エア圧力を利用した専用の機器で表層の土壌をほぐして回収する方法等がある。表5-2から表5-7に各回収方法の概要、留意点、作業状況や機器の写真を示す。

表5-2 人力（スコップ、ほうき等）による回収

概要	<ul style="list-style-type: none"> 鉛弾回収を考慮した対策（着弾範囲の舗装、モルタル吹付け、シート敷設等）の有無にかかわらず適用可能である。 ほうきやスコップ等を用いて人力で鉛弾等を回収する。 人件費以外の費用がほとんど不要。 重機等を準備する必要がないため、日常的に実施することが可能。
留意点	<ul style="list-style-type: none"> 人力だけで全ての鉛弾を回収することは困難。
<div data-bbox="539 528 1002 875" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="483 891 1121 929">人力回収道具の例（奥にあるのは送風機）</p>	

表5-3 送風機による集積・回収

概要	<ul style="list-style-type: none"> 舗装面、モルタル吹付け面に散乱した鉛弾等を、送風機を用いて集積させる。送風機は街路の枯葉掃除等に用いられているもので、人力で持ち運び可能なものを選定可能。 平坦部、凹凸箇所、法面部のいずれにも対応可能。 鉛は比重が大きいため舗装面の凹凸等によっては十分に集積できない場合もある。その場合、クレーやワッズ等の軽量物を送風機で吹き飛ばし、地面上に残った鉛弾を別途回収する、という方法も考えられる。
留意点	<ul style="list-style-type: none"> 広大な面積に対しては作業効率が悪いいため、他の方法との組合せが有効。
<div data-bbox="523 1509 1054 1906" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="719 1939 890 1977">送風機の例</p>	

表 5 - 4 エア圧力を利用した回収

概要	<ul style="list-style-type: none"> ・コンプレッサーから圧力を高めたエアを送り、専用ノズルから噴出させ地表面をほぐすことにより、地表面近くに埋没している鉛弾を回収しやすくする。この作業は、鉛弾分別回収を考慮した対策を行っていない射撃場に対して適用可能である。 ・ほぐした鉛弾混じり土壌をエア吸引パイプに掻き入れることで回収する。 ・重機が作業できないような急斜面や狭隘地でも、人が立ち入れれば作業可能。
留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模なコンプレッサーが必要で、エア配管も必要なため、日常的な回収作業には適用困難。



「エア圧力を利用した鉛弾混じり土壌の回収
 (左上は表層土壌をほぐしている状況、右下はほぐした鉛弾混じり土壌を
 吸引パイプに掻き入れている状況)

表 5 - 5 重機による回収（舗装面）

概要	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的には舗装面ではタイヤ走行型重機が適している。 ・舗装してある射撃場であれば、土壌が混じることなく鉛弾等を回収できる。
留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・吹付け斜面には適用困難。 ・舗装面で作業する際には、舗装を傷めないように、ゴムタイヤ式重機が必要。



鉛弾等回収に用いる重機の例
（舗装されている射撃場におけるタイヤ走行型重機の例）

表 5 - 6 ブルドーザー等の重機による回収（自然の地表面）

概要	<ul style="list-style-type: none"> ・一般的には、不整地ではクローラー走行型重機が適している。 ・土壌混じりの状態で鉛弾等を回収することになる。
留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・舗装や吹付けされていない範囲では土壌混じりでの回収になる。



鉛弾等回収に用いる重機の例
（クローラー走行型重機の例。地表面を掘削しているところ）

表5-7 スーパー（掃除機）による回収

概要	<ul style="list-style-type: none"> ・舗装されている射撃場の平坦部で適用可能である。 ・舗装面に散乱した鉛弾等を掃除機で回収する。ビル掃除や道路掃除で用いるスーパーを適用可能である。 ・平坦部の散乱物を効率よく回収できる。
留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的には、場内を舗装してある射撃場以外では適用困難である。 ・大型のスーパーの場合、狭隘部は回収できない。また地表面の凹凸にも対応できない場合がある。 ・鉛は比重が大きいため十分に吸引されない場合もある。クレーやワッズ等の軽量物をスーパーで回収し、地面上に残った鉛弾を別途回収する、という方法も考えられる。



スーパーの例

② 鉛弾等の分別

場内で分別作業を行う場合の分別方法や分別の程度については、使用する機械の能力、分別後の処理方法及び経済性、必要工期を考慮して決定することが考えられる。

鉛弾等を分別する方法としては、篩い分け、風力選別、磁力選別等がある。表5-8から表5-10に各分別方法の概要、留意点、機器の写真を、図5-2に分別機等を用いた作業状況の例を示す。

鉛弾等の場外処理は、場内分別の有無により対応の可否はあるものの、製錬技術保有会社、鉛弾回収業者、廃棄物処理業者等にて実施可能である。なお、廃棄物に該当するものを処理する場合は、廃棄物処理法に基づく処理等の許可を得ている業者に委託する必要がある。

場外処理に関する技術概要等は、巻末資料Gに示す。

表5-8 鉛弾と土壌等の篩い分け

概要	<ul style="list-style-type: none">・大粒径と小粒径のものを分別する。篩いの目は、例えば、40mm程度のもので「ワッズとクレーの混合物」と「鉛弾混じり土壌」に大きく分別し、更に3mm程度のもので「鉛弾を多く含む土壌」と「3mm以上の石など」に分別することが考えられる。・動力利用のものと、人力で動かすものがある。
留意点	<ul style="list-style-type: none">・粒径で大まかな分別は可能だが、鉛弾と同サイズのもの（砂やクレーのかげら等）は分別できないため、風力分別機や磁力分別機等との組み合わせが考えられる。



篩い分け機械の例

(いずれも動力利用のもの。左側は小型、右側は大型)

表 5 - 9 風力分別機

概要	<ul style="list-style-type: none"> • 混合物を風力で飛ばした場合に、一般的に比重が軽いものほど遠方に飛ぶことを利用して、鉛弾、クレー、ワッズ、土壌を分別する方法である。
留意点	<ul style="list-style-type: none"> • 一般的に機械が大型のため、日常的な小規模な回収作業には不適。ただし、小規模な機械も開発されつつある。 • 風力によりある程度の分別はできるが、完璧な分別は不可能。 • 磁力選別機と組み合わせることで分別能力を向上させることができる。

表 5 - 10 磁力分別機

概要	<ul style="list-style-type: none"> • 人工的に磁界を発生させることで、その磁界内に存在する鉛弾を反発させ遠方に飛ばす。(人工的に発生させた磁界と、その磁界によって鉛弾に発生する電流が反発し、鉛弾が飛ぶ) • 非金属である土壌等は飛ばないため、鉛弾の分別が可能。
留意点	<ul style="list-style-type: none"> • 一般的に機械が大型のため、日常的な小規模な回収作業には不適。ただし、小規模な機械も開発されつつある。 • 磁力選別機単独での適用は困難。風力分別機等と組み合わせることで分別能力を向上させることができる。

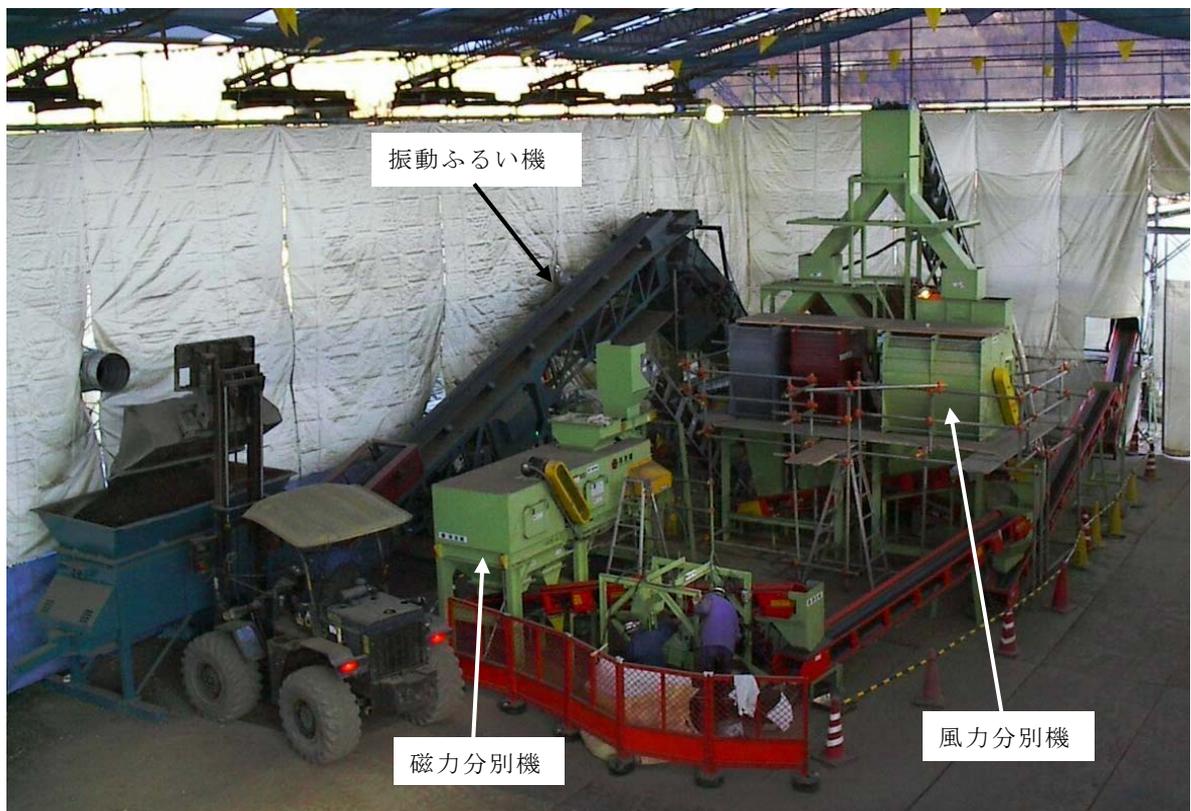


図 5 - 2 分別機等を用いた作業状況の例

2) 期待される効果

本対策は、射撃場における鉛の発生源である鉛弾そのものを回収する対策であり、鉛弾からの鉛の溶出の抑制、鉛弾由来の鉛の表流水への移行の抑制、鉛弾の場外への散逸の抑制といった効果が期待される。

3) 留意事項

- ・鉛弾の回収、分別の方法には様々なものがあり、これらの選択に当たっては、各射撃場の状況（舗装の有無等）、場外処理の方法及び経済性等を十分考慮する必要がある。
- ・鉛弾、土壌、クレー、ワッズ等をどの程度まで分別するかは、各射撃場の状況や場外処理先の受入状況等を確認した上で検討することが望ましい。一般的には、分別をより細かく行くと、分別作業に係る費用は上昇するものの、場外処理に係る費用は低減できる可能性がある。
- ・個別の対策方法に対する留意事項は、表5-2から表5-10に示したとおりである。

(2) 着弾範囲の整地

1) 概要

着弾範囲の地表面に凹凸が存在すると鉛弾の回収作業に支障をきたす場合がある。このため、鉛弾の回収効率を向上させるために、着弾範囲を整地する対策である。図5-3に着弾範囲の整地の例を示す。

なお、整地にあわせて植生の除去を行うことも考えられる。植生の除去については(14)に示す。

2) 期待される効果

本対策は、着弾範囲の地表面の凹凸を無くすことで、鉛弾の回収効率を向上させる効果が期待される。

3) 留意事項

- ・ 整地方法や整地形状等については、各射撃場の状況に応じて検討する必要がある。
- ・ 地盤面に適度な勾配をつけることで回収効率が向上することも考えられる。
- ・ 整地を行うことで、降雨時等に表層の土壌が流出しやすくなるよう注意する必要がある。
- ・ 鉛弾が存在したままで整地を行うと、地中深くに鉛弾を埋没させてしまい回収が困難になるおそれがあるため、整地範囲に存在する鉛弾は、あらかじめ回収しておく必要がある。



図5-3 場内の整地の例
(写真手前側を平坦に整地している)

(3) 着弾範囲の舗装（主に平坦部）

1) 概要

着弾範囲のうち平坦部をアスファルトまたはコンクリートで舗装する対策である。アスファルト舗装の状況の例を図5-4に、コンクリート舗装の状況の例を図5-5、図5-6に示す。

2) 期待される効果

本対策は、鉛弾が土壌に混入することを防止し鉛弾の回収を容易にすることで、鉛弾の回収効率を向上させる効果が期待される。

また、鉛が溶出した場合でも表流水の地下浸透を抑制することで溶出した鉛の地下方向への浸透防止の効果も期待される。

さらに、降雨時に鉛を含む土壌が場外に流出することを防止する効果もあわせ持つ。

なお、コンクリート舗装の場合は、鉛弾周辺をアルカリ環境とすることで鉛弾からの鉛の溶出を抑制する効果が期待される。

3) 留意事項

- ・危険な跳弾が発生するおそれ及び跳弾が場外に出るおそれがある範囲には舗装を行ってはならない。
- ・対策範囲については、事前に鉛弾を除去する必要がある。
- ・舗装によって降雨の地下浸透量が減少するため、状況によっては調整池を設置する必要がある。
- ・舗装面の排水に配慮した排水路をあわせて整備する必要がある。また、着弾範囲に表流水が滞留すると鉛弾が溶出することが懸念されるため、舗装面に水が滞留しないように設計施工する必要がある。
- ・舗装面に凹凸があると鉛弾が入り込むなどして回収が困難になる場合があるため、舗装面はできるだけ平滑に仕上げることが望ましい。
- ・長期的にはひび割れ等の損傷が生じるため、定期的に補修する必要がある。
- ・図5-6に示すように、舗装面に適切な緩勾配を設けることで鉛弾の回収効率が向上することも考えられる。



射座（写真の左奥から手前に向かって射撃を行う）

跳弾を考慮して射座近傍は舗装無し

図 5 - 4 場内平坦部アスファルト舗装の例



図 5 - 5 場内平坦部コンクリート舗装の例



射座（写真の奥から手前に向かって射撃を行う）

跳弾を考慮して射座近傍は舗装無し

図 5 - 6 舗装面に勾配をつけて鉛弾回収効率の向上を狙った例（舗装の中央部（人が立っている場所）を低くしている）

(4) 着弾範囲のモルタル吹付け（主に斜面部）

1) 概要

着弾範囲のうち斜面部にモルタルを吹付けする対策である。図5-7、図5-8に吹付け状況の例を示す。

2) 期待される効果

本対策は、鉛弾が土壌に混入することを防止し、鉛弾の回収を容易にすることで、鉛弾の回収効率を向上させる効果が期待される。

また、鉛が溶出した場合でも表流水の地下浸透を抑制することで溶出した鉛の地下方向への浸透防止の効果が期待される。

さらに、降雨時に鉛を含む土壌が場外に流出することを防止する効果も期待される。

なお、モルタル吹付けにより、鉛弾周辺の環境がアルカリ環境となることで、鉛弾からの鉛の溶出が抑制される効果も期待される。

3) 留意事項

- ・危険な跳弾が発生するおそれ及び跳弾が場外に出るおそれがある範囲には吹付けを行ってはならない。
- ・対策範囲については、事前に鉛弾を除去する必要がある。
- ・基本的には、対策範囲の植生を除去することになり、景観は変化する。
- ・吹付けによって、降雨の地下浸透量が減少するため、状況によっては調整池を設置する必要がある。
- ・表面排水に配慮した排水路設計とする必要がある。
- ・長期的にはひび割れ等の損傷が生じるため、定期的に補修する必要がある。
- ・落ち葉等が吹付け面にできるだけ入らないように、図5-14の吹付け部上部に示すような柵を設置することも考えられる。なお、この柵は鉛弾が飛散する範囲を限定する効果もあわせ持つ。
- ・吹付け背面の浸食を防ぐため、雨水等の浸入をできるだけ防止するように設計、施工することが望ましい。
- ・必要に応じて水抜き孔や目地を配置する必要がある。



← この射撃場では、
吹付け斜面の上部に柵
が設置されている。

図 5 - 7 場内斜面部モルタル吹付け状況の例 1



図 5 - 8 場内斜面部モルタル吹付け状況の例 2

(5) 着弾範囲へのシートの敷設

1) 概要

着弾範囲にシートを敷設する対策である。平坦部、斜面部双方に適用可能である。シート敷設の例を図5-9に示す。

2) 期待される効果

本対策は、鉛弾が土壤に混入することを防止し、鉛弾の回収を容易にすることで、鉛弾の回収効率を向上させる効果が期待される。

シートには透水性のものと不透水性のものがあり、不透水性の場合には、表流水の地下浸透を抑制することで、鉛の地下方向への浸透を防止する効果も期待される。

さらに、降雨時に鉛を含む土壤が場外に流出することを防止する効果もできる。

3) 留意事項

- ・対策範囲については、事前に鉛弾を除去する必要がある。
- ・シートの材質にもよるが、舗装やモルタル吹付けに比べて初期費用が安価となる可能性がある。
- ・樹木を残してシート敷設することも可能だが、その場合、落ち葉や枯れ枝等が鉛弾を回収するにあたっての妨げになる場合がある。樹木を残す場合でも、シート敷設の障害となるため、事前に低木や下草は除去する必要がある。
- ・急斜面にシートを敷設した場合、人の歩行が困難となり、鉛弾の回収に支障をきたす場合がある。
- ・不透水性のシートを敷設した場合、降雨の地下浸透量が減少するため、状況によっては調整池を設置する必要がある。
- ・透水性シートの場合、施工前の地下浸透量を維持でき、調整池の追加設置が不要である。ただし、鉛を含む水の地下浸透は防止できない。
- ・紫外線により劣化する可能性があるため、そのような劣化が生じにくい材質の選定も重要である。また、寒冷地では凍上により破断することがある。
- ・長期的には破損、損傷が生じるため、定期的に補修する必要がある。



図5-9 シート敷設の例

(6) ライフル射撃場における鉛弾回収装置や土嚢の設置

1) 概要

ライフル射撃場において、標的の背面に鉛弾を回収できる装置または土嚢等を設置する対策である。図5-10に示すような金属製の回収装置を設置している事例や、標的の背面に積み上げた土嚢を定期的に交換している事例等がある。

2) 期待される効果

本対策は、回収装置等を用いて、射撃場における鉛の発生源である鉛弾を回収することで、鉛弾の回収効率を向上させる効果が期待される。

3) 留意事項

- ・ 跳弾による危険が生じないように設置しなければならない。
- ・ 標的を大きく外れた鉛弾は回収できない。鉛弾回収装置に入らずに後方に逸脱する鉛弾への対策を行う必要がある。



図5-10 ライフル射撃場における鉛弾回収装置の例

(7) 着弾範囲への鉛吸着資材の敷設

1) 概要

着弾範囲のうち平坦部に、鉛吸着資材を敷設する対策である。図5-11、図5-12に鉛吸着資材敷設のイメージを示す。

鉛吸着資材としては、自然に存在する土壌の中から、黒ボク土といった鉛吸着性能に優れた土を利用することが考えられる。また、鉛の吸着性能が優れた資材も市販されており、対策効果や経済性等を勘案して、鉛吸着資材を選定する必要がある。

2) 期待される効果

本対策は、場内の鉛弾から鉛が溶出した鉛を鉛吸着資材に吸着させることで、鉛の地下方向への浸透を防止する効果が期待される

3) 留意事項

- ・ 国立環境研究所にて行われた土壌や資材の鉛吸着性能を確認した試験の結果は巻末資料Aのとおりである。
- ・ 鉛吸着資材を敷設する際の厚さとしては、鉛弾等の回収により表面が攪乱されることを考慮すると、20cm程度が望ましい。
- ・ 鉛吸着資材の吸着容量には限界があるため、定期的に吸着資材の入換え、追加等を行うことが考えられる。
- ・ 黒ボク土のような天然資材が入手できない場合には、鉛の吸着性能が優れた市販の資材を購入することが考えられる。その場合には、前者を敷設する場合に比べて、一般的に費用が高くなることが考えられる。
- ・ 舗装がひび割れした時に鉛成分の地下浸透を防止するために、図5-12に示すように舗装直下に鉛吸着資材を敷設することも考えられる。

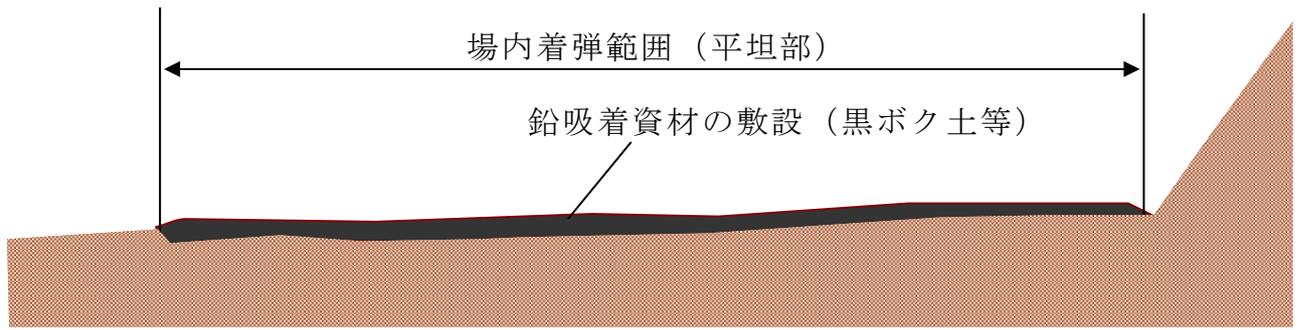


図 5 - 1 1 鉛吸着資材敷設のイメージ (舗装なしの場合)

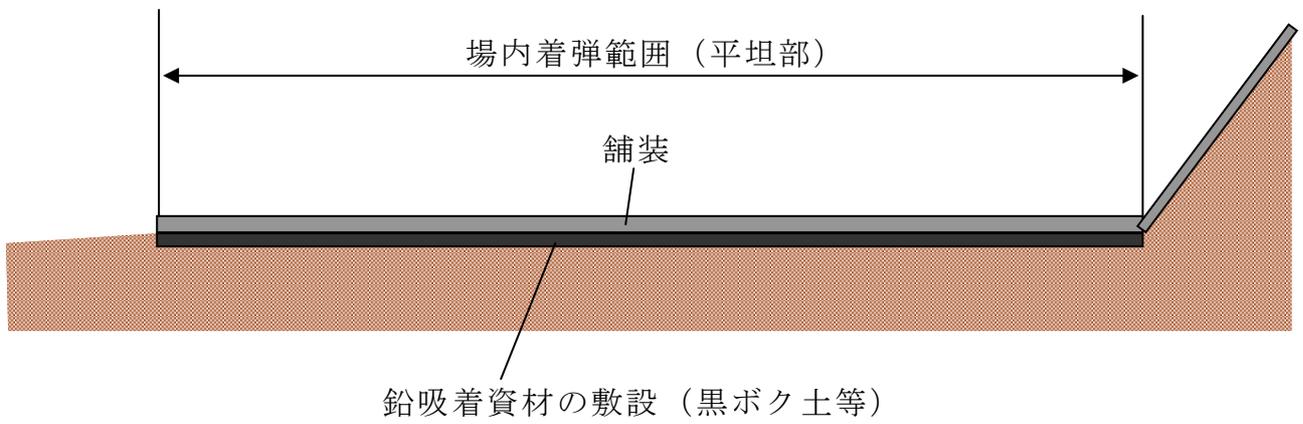


図 5 - 1 2 鉛吸着資材敷設のイメージ (舗装ありの場合)

(8) 着弾範囲における土壌 pH の調整

1) 概要

鉛弾からの鉛溶出を抑制するため、着弾範囲に資材を散布し土壌 pH を調整する対策である。この場合の資材としては、石灰が考えられる。図 5-13 に資材散布のイメージを示す。

2) 期待される効果

本対策は、鉛弾から鉛が溶出しにくい土壌 pH を維持することで、鉛弾からの鉛の溶出を防止する効果が期待される。

3) 留意事項

- ・ 資材の効果を維持するために、定期的に資材を添加することが考えられる。
- ・ pH の範囲は、6.0~8.0 程度を目標とすることが望ましい。
- ・ 石灰を過剰に散布すると、pH が上記の適正な範囲を超え、鉛弾からの鉛の溶出を抑制する効果が低下するため、散布にあたっては、pH をモニタリングしながら適切な量を散布する必要がある。

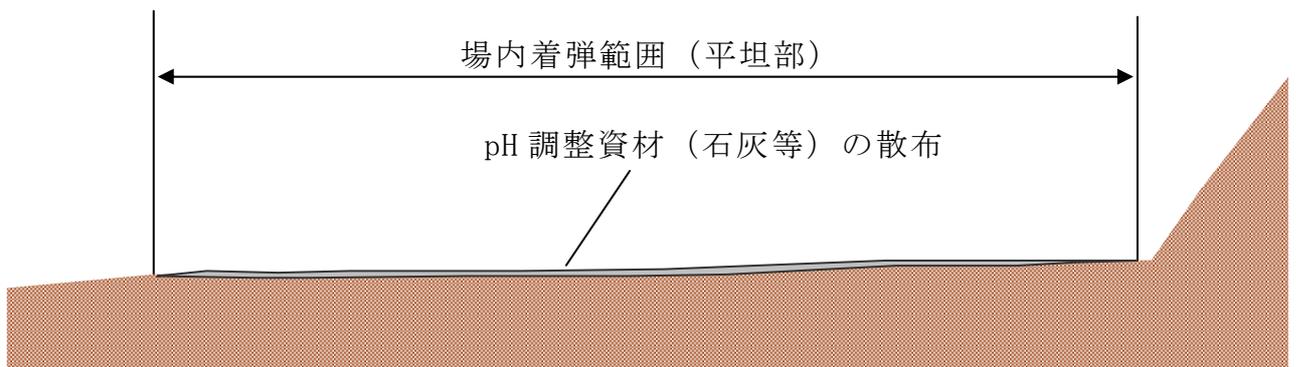


図 5-13 pH を調整する資材散布のイメージ

【備考】

本ガイドラインに関連して、国立環境研究所ではリン酸を散布することにより鉛弾からの鉛の溶出を抑制できないか検討を行ったが、リン酸による鉛溶出抑制は土壌の pH が 6.0 以上では効果が無いか、かえって溶出しやすくなることが判明した。このため、鉛弾からの鉛溶出抑制対策としては、リン酸を散布するよりも、石灰散布により pH を上記の範囲に維持する方が望ましいと考えられる。

【参考1】 石灰質資材の散布について

土壌のpHを調整するための石灰散布は、あらかじめ土壌pHおよび中和石灰量を求めて行うことが望ましい。

しかし、おおよその石灰施用量の目安として、土壌pHを1上げるためには、有機物含量に富み土性が埴壤土程度の場合に60～90 g/m²程度（炭酸カルシウムの場合）と考えられる。従って、土性が粗い場合や有機物含量が低い場合は石灰施用量を適宜減らす必要がある。一方、土性が細かく粘質な場合は適宜増量する必要がある。また、この値は表層3cm深程度を調整する場合の目安であり、土壌をある一定の深さまで攪拌しつつ散布するような場合には、散布量を適宜増量する必要がある。さらに、巻末資料Aにもあるとおり、石灰の過剰施用により土壌pHが大きくアルカリ側に傾いた場合、特に有機物含量が高い土壌では、鉛の可溶化が促進されるおそれがあるため、注意が必要である。

その他の石灰質資材を用いる場合には、炭酸カルシウム所要量から各資材のアルカリ度を用いて換算した所要量を散布する。特に、消石灰や生石灰などはアルカリ分が多いため、炭酸カルシウムでの散布量にくらべ3～4割程度を減量するとともに、急激な土壌pHの上昇が生じないように注意する必要がある。

【参考2】 土壌pHの測定方法（ガラス電極法）

pH測定に最も一般的に用いられている「ガラス電極法」について

①分析試料の調整

土壌pHは未風乾新鮮土または風乾土について測定するが、なるべく未風乾新鮮土を用いて、採土後、大きな土壌団粒はつぶして2mmのふるいを通し礫や植物遺体を除去したものについて速やかに測定するのが望ましい。

②操作

- ・未風乾新鮮土の乾土10g相当量または風乾土10%を50mL程度のポリ製もしくはガラスビーカーに量りとり、水25mLを加えてかき混ぜるか振とうして1時間以上放置する。
- ・pH計のガラス電極はあらかじめ蒸留水で洗浄した後、市販の標準液を用いて補正処理を行っておく（通常pH4.01とpH6.86等）。最後に再度、蒸留水で洗浄する。
- ・試料は、測定前に再度軽くかき混ぜて懸濁状態とし、ガラス電極の薄膜部を静かに液中に浸し、30秒以上経過してpH計の表示が安定したらpH値を読み取る。値は小数点以下1桁まで読み取る。
- ・測定後は電極を蒸留水でよく洗い、乾燥しないようにして保存する。

③注意事項

泥炭質な土壌のように、土壌溶液比が 1 : 2.5 では測定できない場合は適宜水量を多くする。その場合は、その旨を記載しておく。

出典：「土壌環境分析法、土壌環境分析法編集委員会編、博友社、1997年」

【参考 3】中和石灰量（緩衝曲線法）

中和石灰量とは土壌 pH を目標 pH に到達させるために必要とする炭酸カルシウム所要量の事を指す。農地等で示されている石灰質資材施用量の目安は過去の測定例や経験的な事例を踏まえたものであり、経験的事例が稀な射撃場での施用の場合、中和石灰量の値を一度は求めておくことが望ましい。同じ土壌 pH でも土性や有機物含量、粘土鉱物の種類など土壌構成成分の違いで、目標 pH に到達させるための中和石灰量は異なる。

① 分析試料

土壌試料は 2 mm のふるいを通させた風乾試料を用いる。

② 操作

- 50mL 容のふた付のスチロールびんに風乾土を乾土あたり 10% 相当量入れ、炭酸カルシウム (CaCO_3) 粉末を 0、10、25、50、75、100mg 加え、それぞれに水 25mL を加え、よくかき混ぜてから室温で 24 時間静置する。
- 静置後さらに 5 時間振り混ぜて、土壌と炭酸カルシウムをよく反応させた後、細口のガラス管などを通じてエアーコンプレッサーにより毎分 2 L 程度の割合で 2 分間空気を土壌懸濁液に吹き込み過剰の二酸化炭素を追い出す。
- 通気後、ガラス電極法により、直ちに土壌懸濁液の pH を測定する。
- 加えた炭酸カルシウムの量と土壌 pH の関係をグラフにし、目標とする土壌 pH (pH 6 以上) に到達させるために必要な炭酸カルシウム量をグラフから読み取る。

③ 算出方法

- 10 a あたりの所要炭酸カルシウム量は次式により算出される。

$$\begin{aligned}\text{炭酸カルシウム所要量} &= W_s \times x \times 1000\text{g}/10\text{g} \times 10^{-6} \text{ kg mg}^{-1} \\ &= 10^{-4} \times W_s \times x = 10 \times x \times d \times b \text{ kg ha}^{-1}\end{aligned}$$

- ただし、 x は緩衝曲線から読み取った炭酸カルシウム必要量 (mg $\text{CaCO}_3/10\text{g}$ 乾土) を示す。 W_s は中和する土壌重量で次式により求められる。

$$\begin{aligned}W_s \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} &= 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times d/100\text{cm} \text{ m}^{-1} \times 103 \text{ L m}^{-3} \times b \\ &= 105 \times d \times b \text{ kg ha}^{-1}\end{aligned}$$

- ただし、 b は土壌のかさ密度 (kg L^{-1})、 d は酸性を中和する土壌の深

さ (cm)。この値は緩衝曲線の作成に用いた炭酸カルシウム (CaCO₃、アルカリ分56%) を用いた計算値であり、他の資材を用いる場合には次式によりその資材のアルカリ分に応じて換算する。

$$\text{資材所要量 (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{炭酸カルシウム所要量 (kg ha}^{-1}\text{)} \times 56\% / \text{資材のアルカリ分 (\%)}$$

④ 注意事項

- ・前期操作において通気を行わないと二酸化炭素の影響で測定される平衡 pH が低くなり、その結果中和石灰量が過大に算出されるため、場内の土壌 pH が目標よりも高くなる。すなわち、必要以上の石灰散布を行うことになる。
- ・粒状炭酸カルシウムや消石灰は反応が穏やかであるため、急速な土壌の酸性中和を目的とする場合は、粉状の製品を用いて土壌と混和する。

出典：「土壌環境分析法、土壌環境分析法編集委員会編、博友社、1997年」

(9) 場内表流水を經由した鉛の拡散防止

i 排水溝等の整備

1) 概要

排水溝等を整備して、表流水の場外への排水経路を確保する対策である。排水溝の例を図5-14に示す。

2) 期待される効果

本対策は、着弾範囲への降雨や湧水等で発生した表流水の滞留を防ぐとともに場外へ速やかに排出し、鉛弾が水に接触する時間を短くすることで、鉛弾からの鉛の溶出を抑制する効果が期待される。

また、溶出した鉛が地下に浸透することを防止する効果も期待される。

3) 留意事項

- ・排水溝が着弾範囲にある場合はその中に鉛弾が落下するため、流入した鉛弾の定期的な除去、回収（次頁参照）や、排水溝への蓋を設置といった対策を講ずることも重要である。
- ・射撃場外への排水については、鉛濃度の定期的なモニタリングが必要である。



図5-14 排水溝の例

ii 流入した鉛弾の除去、回収

1) 概要

排水溝の途中に鉛弾等を回収するための網や堰を設置し、場内表流水に流入した鉛弾を早期に除去する対策である。図5-15に鉛弾を回収するための網の例を示す。

2) 期待される効果

本対策は、表流水に流入した鉛を回収することで、表流水を経由して鉛が場外に拡散することを防止する効果が期待される。

3) 留意事項

- ・ 網等にたまった鉛弾等は定期的に回収する必要がある。
- ・ 網は、たまった鉛弾によって、人力で持ち上げることが困難な重量となる場合があり、その場合には、網を持ち上げるためのクレーン等が必要となる。図5-16にそのようなクレーンの例を示す。



図5-15 排水溝に設置された鉛弾を回収するための網の例



図5-16 網を持ち上げるクレーンの例

iii 場内水面の解消（常時排水等）

1) 概要

場内の池や水路等の水面に蓋をする、又は、場内の池を常時排水するなどして、表流水に鉛及び鉛弾が流入することを防止する対策である。池を常時排水している状況例を図5-17、場内の池を地下構造とした例を図5-18に示す。

2) 期待される効果

本対策は、鉛弾の表流水への接触を防止することで、鉛弾からの鉛の溶出や、鉛の表流水への移行を抑制する効果が期待される。

3) 留意事項

- ・場内の池を常時排水していても豪雨時等には水が滞留する場合があるため、定期的に鉛弾を回収することが望ましい。
- ・斜面の途中で鉛弾の落下を止める方法では、鉛弾が留まった場所に水が滞留すると鉛が溶出するため、できるだけ水が滞留しない構造にするとともに、定期的に鉛弾を回収することが望ましい。



図5-17 池の常時排水状況の例



図5-18 場内の池（調整池）を地下構造とした例
（中央のコンクリート部が地下水槽になっている）

iv 溜桝、沈殿池等による排水制御

1) 概要

場内の表流水の排水経路に溜桝や沈殿池等を設置することで排水中から鉛（鉛弾、鉛を含む土壌）を除去し、射撃場外への鉛の拡散を防止する対策である。沈殿池の例を図5-19、図5-20に示す。

2) 期待される効果

本対策は、表流水に流入した鉛弾や鉛を含む土壌を除去することで、表流水を経由して鉛が場外に拡散することを防止する効果が期待される。

また、降雨時に鉛を含む土壌が表流水とともに流れ込んだ際にも、それらを沈殿させ場外への拡散を防止する効果が期待される。

3) 留意事項

- ・既設の調整池がある場合には、当該施設を本頁にある沈殿池としても利用して、排水中から鉛を含む土壌等を除去することも考えられる。
- ・池の沈殿物等は定期的に掃除・回収することが望ましい。なお、回収された沈殿物等は適切に処理する必要がある。
- ・射撃場外への排水については、鉛濃度の定期的なモニタリングが必要である。



図5-19 沈殿池の例

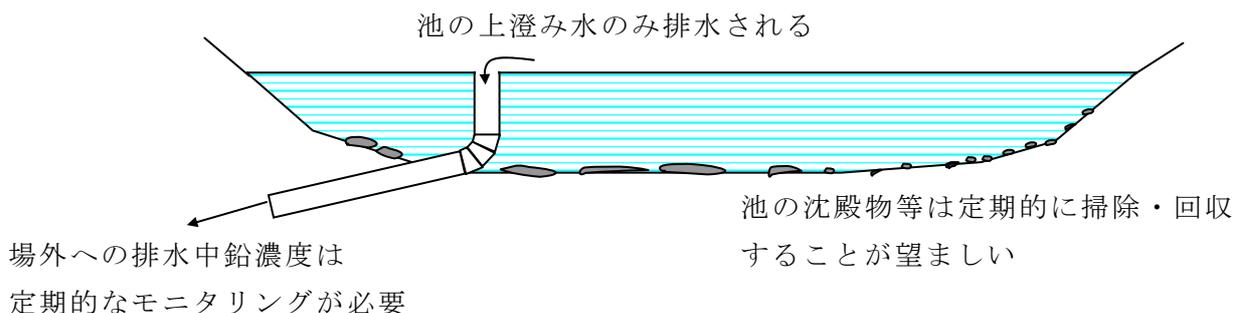


図5-20 沈殿池の例（模式図）

v 水処理施設による場外への排水の処理

1) 概要

射撃場外へ排出される表流水を処理して水質を改善する対策である。対策としては、水処理プラントを設置するほか、排水路中に鉛吸着資材（ゼオライト等）を設置する方法がある。

図5-21に水処理プラントの例を、図5-22に水処理フローの例を示す。

また、図5-23には鉛吸着資材を設置した例とともに、鉛吸着資材を利用した水質浄化装置による排水処理の結果もあわせて示す。この事例では、原水に比べて処理水の鉛濃度が低下していることがわかる。

2) 期待される効果

本対策は、表流水に溶解した鉛や鉛を含む土壌等を除去することで、表流水を經由して鉛が場外へ拡散することを防止する効果を持つ。

3) 留意事項

- ・対策効果を確認するため、処理後の水について、鉛濃度を定期的を確認することが必要である。
- ・水処理プラントでは、薬剤等を定期的に補充・交換する必要があることから、相応の維持管理コストがかかる。
- ・鉛吸着資材を設置した場合でも、鉛の吸着容量に限界があり、鉛吸着資材を定期的に交換する必要があることから、相応の維持管理コストがかかる。
- ・これらの施設から排出される汚泥や使用済みの吸着資材といった廃棄物については、適切に処理する必要がある。



図5-21 水処理プラントの例

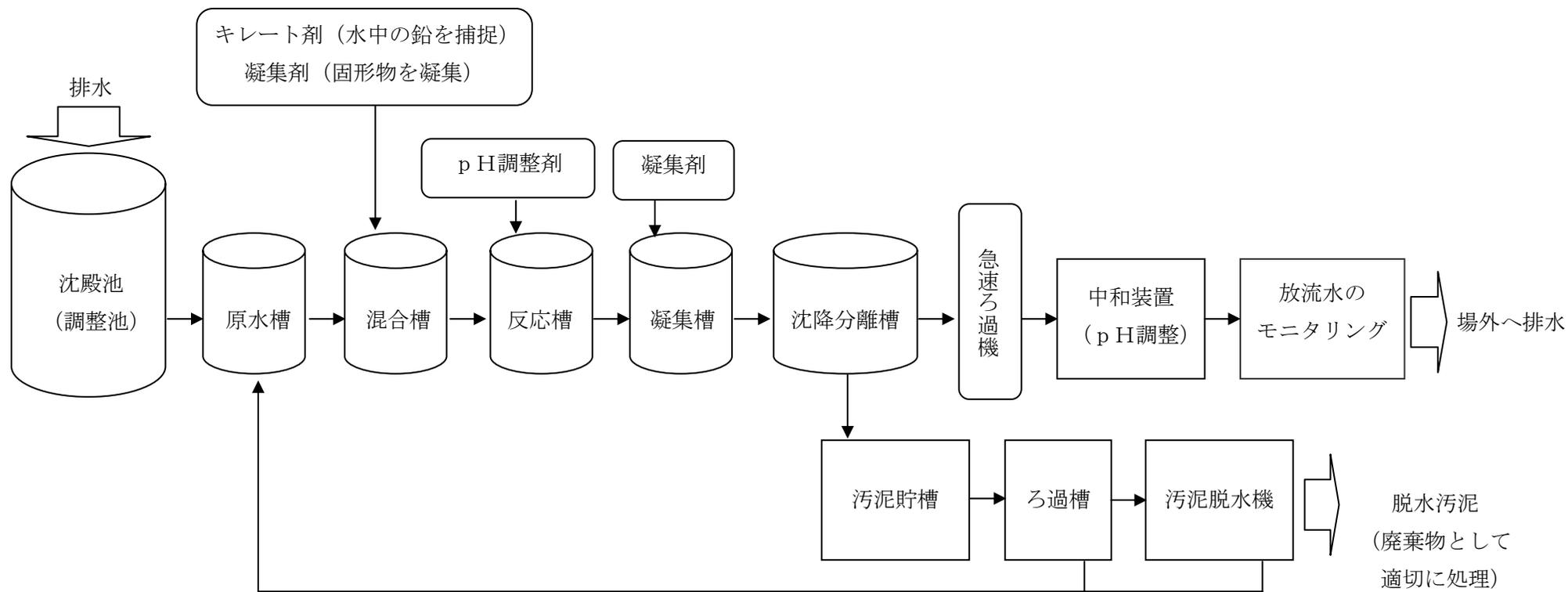
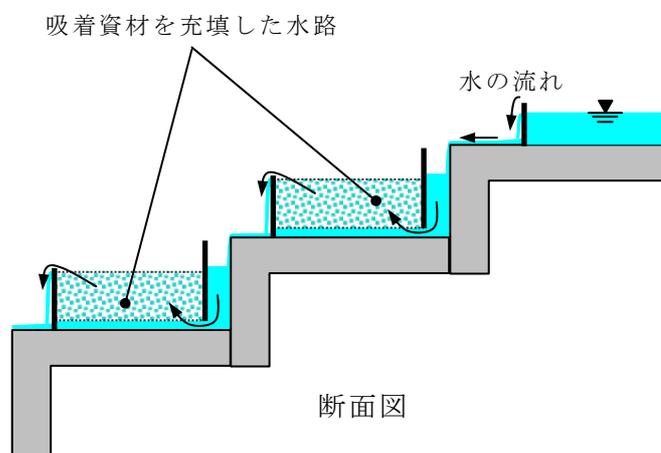


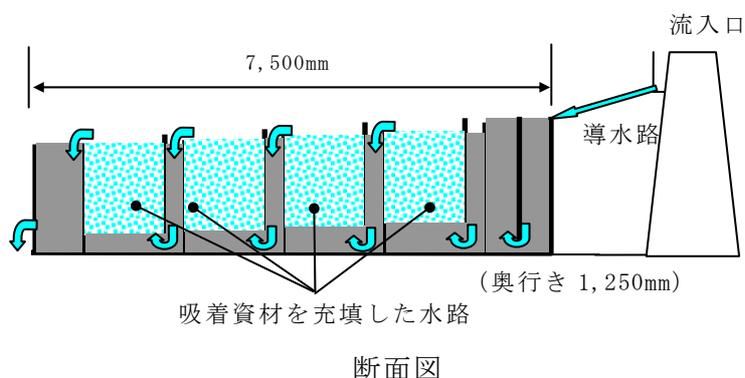
図5-22 鉛を含む排水処理設備の処理フローの例

■ 設置状況の例 1

写真奥が斜面の下側



■ 設置状況の例 2



表：鉛吸着資材（人工ゼオライト）による水処理の結果

原水 (mg/L)	処理水 (mg/L)
< 0.005	< 0.005
0.010	< 0.005
0.023	< 0.005
0.036	0.007
0.009	< 0.005

図 5 - 2 3 鉛吸着資材設置例

(10) ライフル射撃場における着弾範囲での雨水浸入防止工

1) 概要

ライフル射撃場において、鉛弾と雨水が接触することを防止する対策である。具体的には以下のような対策が考えられ、必要に応じて組み合わせて実施することが考えられる。施工の例を図5-24に示す。

- ・ライフル射撃場の着弾範囲を屋根で覆う。
- ・着弾範囲に表流水が流入することが無いように排水溝を設置する。
- ・着弾範囲の地盤をコンクリート舗装とし、雨水の地下浸透を防止する。
- ・跳弾の危険性が無いように適切なバックストップを設置する。
- ・未使用時にはバックストップをシート養生する。

2) 期待される効果

本対策は、ライフル射撃場において場内に存在する鉛弾が降水や表流水と接触することを防止することで、鉛弾からの鉛の溶出を防止する効果が期待される。

また、着弾範囲を屋根で覆うことで、降雨時に鉛を含む土壌が流出することを防止する効果も期待される。

3) 留意事項

- ・跳弾による危険が生じないように設置しなければならない。

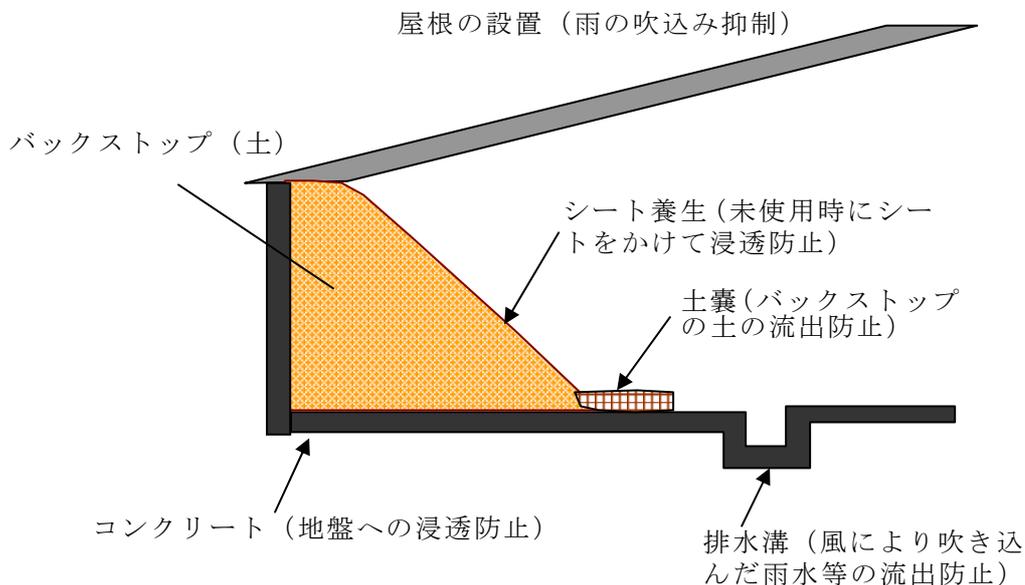


図5-24 ライフル射撃場における着弾範囲での雨水浸入防止工の例

(11) 鉛弾着弾範囲の限定化措置

i 飛散防止ネット、柵等の設置

1) 概要

鉛弾の着弾を防止したい箇所（例えば、表流水といった場内の水域や鉛弾の回収が困難な植生地等）の手前に飛散防止ネットや柵等を設置し、鉛弾の着弾範囲を限定化する対策である。飛散防止ネットの設置例を図5-25に、柵の設置例を図5-26に示す。

2) 期待される効果

本対策は、鉛弾の着弾範囲を限定することで、鉛弾の回収効率を向上させる効果が期待される。

また、場内の表流水といった水域への鉛弾の着弾を防止することで、鉛の溶出や、表流水を経由した鉛の拡散を防止する効果も期待される。

3) 留意事項

- ・飛散防止ネットや柵等は、危険な跳弾が発生するおそれのある範囲には設置しない。
- ・飛散防止ネットや柵等は、風雨等の影響で倒壊することのないように設計施工する必要がある。
- ・飛散防止ネットや柵等に当たり落下した鉛弾は、定期的に回収することが望ましい。
- ・飛散防止ネットや柵等を設置することで、国際競技ルールに抵触する場合がある。



図 5 - 2 5 飛散防止ネットの設置例

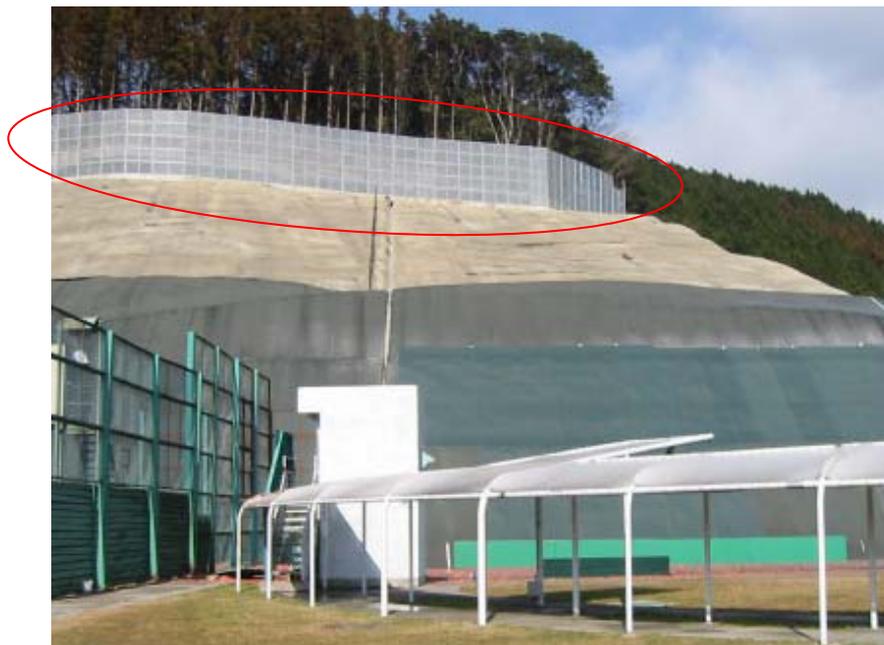


図 5 - 2 6 柵の設置例

ii 射撃方法の変更

1) 概要

射撃方法の変更を行うことで、鉛弾の着弾範囲を限定化する対策である。

図5-27に、射撃方法の変更の例を示す。この例では、スキート射撃の1番7番8番の射台からの射撃を行わないことで、遠方への着弾の防止を狙っている。

射撃方法の変更を行う場合には、射撃場の状況を勘案し、射撃場設置者等や競技者の判断や合意に基づき、安全性を確保できることを確認する必要がある。

2) 期待される効果

本対策は、鉛弾の着弾範囲を限定することで、鉛弾の回収効率を向上させる効果が期待される。

3) 留意事項

- ・射撃ルール の範囲内において、競技者が合意できる方法で変更を行う必要がある。
- ・社団法人全日本指定射撃場協会では、図5-27に示す競技方法を「コンパクトスキート」と称して普及活動を行っている。
- ・国際競技ルールには適合しない。

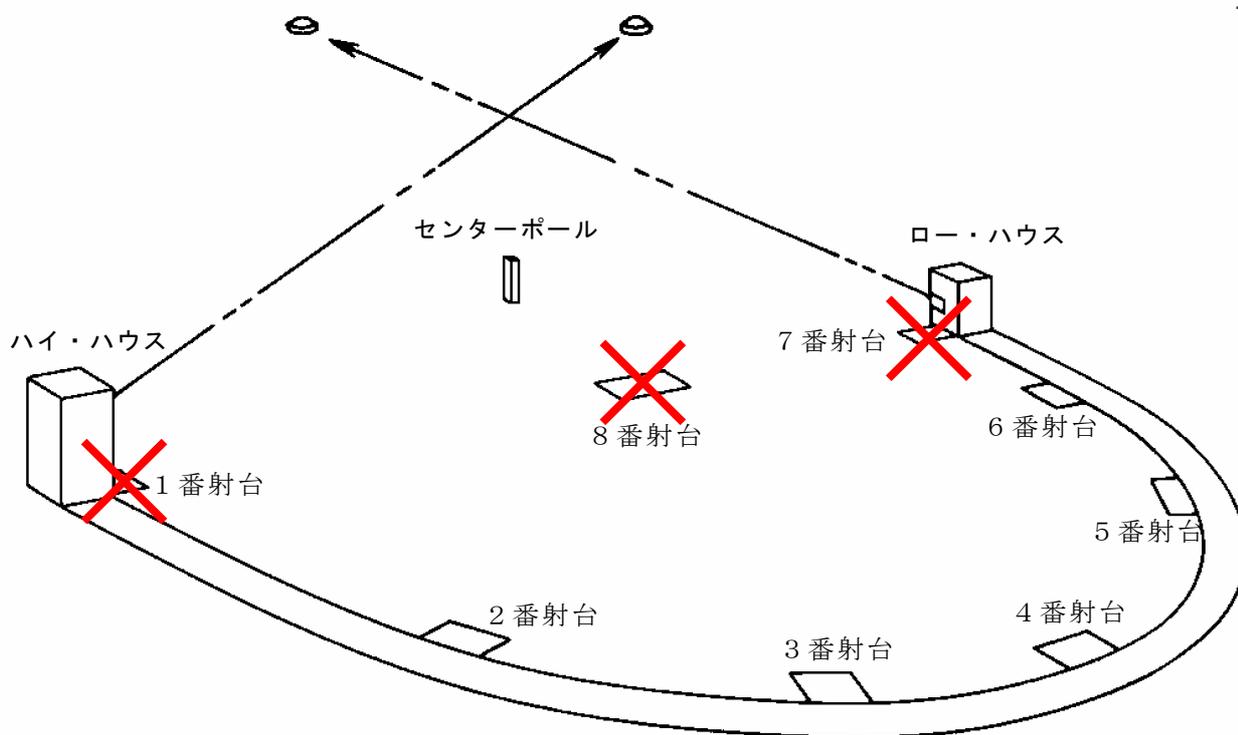


図5-27 射撃方法の変更の例

(スキート射撃の1番7番8番の射台からの射撃を行わないことで、鉛弾の飛散範囲を限定する)

(出典:「散弾銃 射撃教本 初心者用、社団法人全日本指定射撃場協会」に加筆)

(12) 地下水を経由した鉛の拡散防止（遮水壁の設置）

1) 概要

射撃場の敷地内もしくは敷地境界に矢板等の遮水壁を設置することで、射撃場内の地下水が場外に流出することを制限する対策である。図5-28に鋼矢板の設置状況の例を示す。

2) 期待される効果

本対策は、射撃場内の地下水が場外に流出することを防止することで、地下水を経由した射撃場外への鉛の拡散を防止する効果が期待される。

3) 留意事項

- ・ 遮水壁を設置することで地下水の流動が阻害され、場合によっては下流側の井戸枯れや上流側での地盤の湿潤化等が生じる可能性がある。



図5-28 遮水壁（鋼矢板）の設置状況の例

(13) 場内土壌等の移動の制約

1) 概要

射撃場の斜面部等の表層部に土砂流出防止のための壁等を設置することで、射撃場内の鉛を含む土壌が降雨時等に場外に流出することを防止する対策である。図5-29に土砂流出防止の壁の設置イメージを、図5-30に鉛弾等を吹付け法面の途中で堰き止める構造の例を示す。

2) 期待される効果

本対策は、射撃場内の表層に存在する鉛弾及び鉛を含む土壌が降雨時等に場外に流出することを防止することで、場外へ鉛弾や鉛を含む土壌が拡散することを防止する効果が期待される。

3) 留意事項

- ・土砂流出防止の壁は、土圧や水圧等に配慮した設計施工を行う必要がある。
- ・壁により水溜りが生じると鉛が溶出する可能性があるため、排水等を適切に行えるよう留意する必要がある。

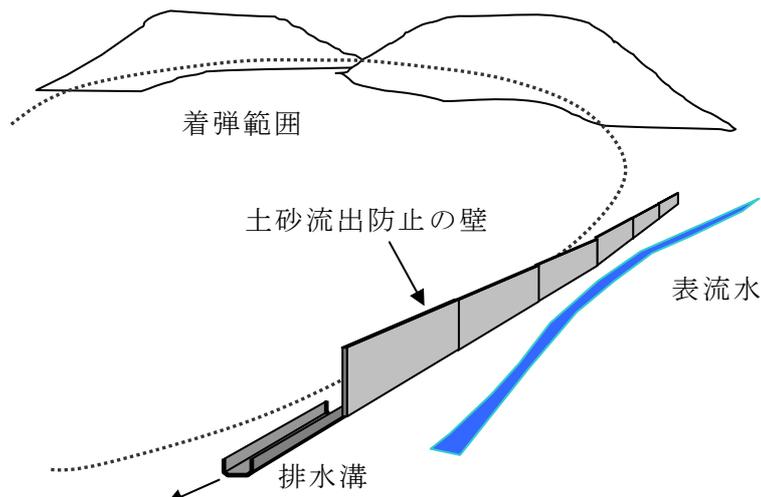


図5-29 土砂流出防止の壁の設置イメージ



図5-30 鉛弾等を吹付け法面の途中で堰き止める構造の例

(14) 鉛弾回収の障害となる植生の除去

1) 概要

着弾範囲の植生を除去し、鉛弾の回収を容易にする対策である。図5-30に着弾範囲の斜面部の植生を除去した状況の例を示す。

根や地下茎が地下深くまで発達する植物は、鉛を含む水を地下方向に導入させるおそれがあるため、撤去することが望ましい。例えばイタドリのように単年性で根が発達する植物の場合、根が枯れた跡に沿って鉛弾が地中深くに進入することもあるため、そのような植物は着弾範囲からできるだけ撤去することが望ましい。

また、竹のように水平方向に根を発達させる植物の場合には、地表面近くに発達した根が鉛弾回収の障害になることが考えられるため、着弾範囲からできるだけ撤去することが望ましい。

2) 期待される効果

本対策は、着弾範囲の植生を除去し、鉛弾の回収を容易にすることで、鉛弾の回収効率を向上させる効果が期待される。

また、根や地下茎が地下深くまで発達する植物を除去した場合には、溶出した鉛の地下方向への浸透を防止する効果も期待される。

3) 留意事項

- ・ 植生の除去を行うことで、降雨時等に表層の土壌が流出しやすくなる場合もあるため注意する必要がある。
- ・ 着弾範囲以外では、植生が存在することで土砂の流出を防止できる可能性もある。着弾範囲以外の植生の取り扱いについては、各射撃場の状況に応じて検討することが必要である。
- ・ 植物の中にはソバのように鉛を比較的良く吸収することが確認されているものもあるが、射撃場に係る鉛汚染対策として実用化できる段階ではなく、今後の研究が待たれる。当該研究の内容は、巻末資料Hに示す。