

第2編 露天採掘



発破孔のせん孔作業

第1章 露天採掘法

第1節 露天採掘法の概説

1 序説

露天採掘は、坑内採掘に比べ、高い生産性と実収率、作業環境と保安上の有利さ、操業の安定性と鉱石品位選別の容易さなど数多くの利点があり、広く世界各国で採用されている。近年、特に重機械の発達とともに大型化、高能率化が可能となり、その生産割合は著しく増大している。

表2.1 露天採掘法の分類

I 採掘法による分類	II 積込法による分類
1. すかし掘（下抜掘）法	1. 手積法
2. 傾斜面採掘法	2. 重力積法
3. 階段採掘（ベンチカット）法	3. 機械積法

2 傾斜面採掘法

露天採掘法の初期には、すかし掘法（下抜掘法）が行われ、落石、崩壊による災害が多発した。そのため、切羽面の安全な傾斜を保持するよう法的規制がなされ、図2.1および図2.2に示す傾斜面採掘法へ移行した。

我が国の鉱床は、山間の急峻な地形に多く、開鉱の際は傾斜面採掘法が最も容易で、昭和40年代まで広く採用された。しかし、傾斜面のため、崩壊、転石、墜落などの危険は避けられず、また天候の影響を強く受け、機械化が難しいなどの欠点がある。



図2.1 傾斜面採掘法

3 グローリホール法（図2.3参照）

グローリホール法は、傾斜面採掘における積込み、運搬の能率向上のため、シュートによる重力積法を取り入れた採掘法である。本法は、地表に開口した立坑を中心に、その周囲を漏斗状に採掘して行き、爆破された鉱石はすべて立坑に落下する。普通、立坑の下端に小割室を置いてグリズリを設け、大塊を小割りする（図2.4参照）。グリズリを通過した鉱石はその下の中間貯鉱槽に落ち、その下端に設けられたシュート口から鉱車などに積み込む。

グローリホール法は石灰石鉱山において全盛をきわめた時代があったが、傾斜面採掘法の欠点は免れず、階段採掘法に転換されていった。しかし、現在我が国の石灰石鉱山で広く採用されている立坑方式階段採掘法では、立坑をはじめ小割室、中間貯鉱槽および鉱石積出設備、水平運搬坑道などの主要地下施設の設計と施工法にグローリホール法で培われた技術と経験が生かされ、完成度の高いものになっている。

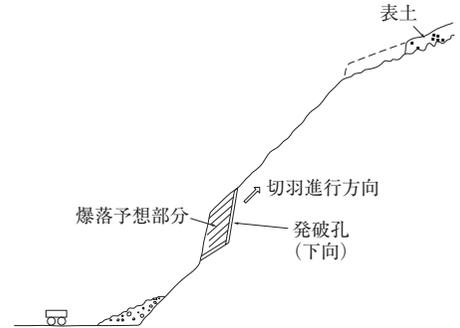


図2.2 傾斜面採掘法



図2.3 グローリホール法 (荊田鉱山, 昭和34年)

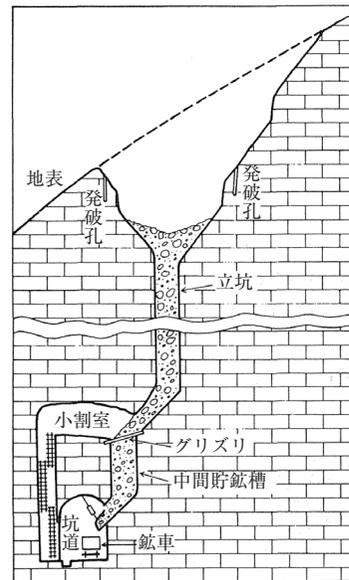


図2.4 グローリホール法

第2節 階段採掘法

1 階段採掘法

(1) 概要

階段採掘法とは、鉱床を1つあるいは数個の水平なベンチで採掘する方法で、ベンチカット法とも呼ぶ(図2.5参照)。本法は、諸外国では早くから広く採用されていたが、我が国で注目を浴びたのは、昭和30年代後半からである。その多くの長所が時代の要請に適合したため、本法への急速な転換が行われ、主要露天採掘鉱物である石灰石の鉱山では、昭和40年代末には階段採掘が100%近くを占めるに至った。このような急速な普及の背景は、次のとおりである。

・採掘量の増大 戦後の石灰石生産量の伸びは目ざましく，昭和20年の国内生産量460万tが，昭和48年には1億6千万tを超え，55年には1億9千万tに達した。この急激な増加に対応するためには，全面的に機械化が可能な階段採掘に頼らざるを得なかった。

・労働事情の逼迫 労働力補充の難しさからも，機械化による高い生産性が要求された。

・重機械類の発達 せん孔，積込み，運搬に使用される重機械類の著しい発達により，階段採掘の採用が容易となった。

・保安上に利点 監督官庁からも指導があった。

階段採掘法の長所，短所を取りまとめると，次のとおりである。

長 所

- ① 一般に採掘能率が高い。大型，高能率の機械採用により高い生産性をあげられる。
- ② 選別採掘が可能である。夾雑層の多い場合には特に有利である。
- ③ 天候，季節の影響が他の露天採掘法に比較し少なく，安定生産が可能である。
- ④ 採鉱実収率が大きい。
- ⑤ 切羽長に対する出鉱能力が大きい。すなわち，他の採掘法に比べ一回の爆破量を大きくとることができる。このため増産に対する弾力性も大きい。
- ⑥ 保安上優れている。作業面が平坦であり，ベンチの高さもあまり高くないので，崩壊，落石・転石，墜落などの災害は少ない。

短 所

- ① 重機械類の購入費が大きく，これらを含めた初期投資額が大きい。
- ② 重機械類の適正な保守管理が必要であり，その整備，修理体制が整っていないと行かない。

階段採掘法は，鉱物の採掘のみならず，骨材などの採石，埋立用土砂の採取など，土木工事方面にも広く採用されている。現在のところ，代わるべき方法は見当たらないので，今後も長く露天採掘の分野を独占して行くものと思われる。

(2) 階段採掘法の分類

1) ベンチの設定方式による分類

ベンチの設定は地形，鉱床賦存状態等により制約され図2.6に示す3種の形状がある。

2) 運搬方式による分類

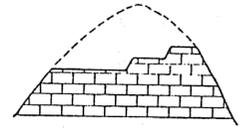
切羽から破碎プラントまでの運搬方式によって次の5つに分けられる（図2.7参照）。



図2.5 階段採掘法

① 道路方式（切羽から破碎プラントまで道路を設ける方式）

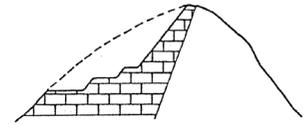
切羽から破碎プラントまで高低差があまりない場合、この間に運搬道路を設け、ダンプトラックにより直接運搬する。我が国の地形は一般に急しゅんであり、この方法によると、道路は非常に長く、多くのトラック台数を必要とする。地形がなだらかな場合、あるいは小規模な場合には有利である。初期投資が少なく、開発期間が短い利点がある。



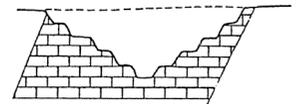
① 截頭式

② 立坑方式（切羽内もしくはその周辺に立坑を設ける方式）

切羽とプラントのレベル差が大きな場合は、この間のトラック運搬を省く目的で、この間に立坑（大坑井）を設け、切羽の鉱石はダンプトラック、ホイール式トラクタショベルまたはブルドーザによって運搬し、立坑に投入する。立坑底から抽出した鉱石は、立坑底に設けた1次クラッシャで破碎後、ベルトコンベアで坑外に運び出す場合と、鉱車などで坑外に搬出後、1次クラッシャにかける場合とがある。最近、前者の形が多い。



② 山腹式



③ ピット式

図2.6 階段採掘法のベンチ設定方式

③ グローリホール跡利用方式

立坑の代りにグローリホール跡を使用するもので、立坑方式の変形と考えればよい。階段採掘法導入初期は、グローリホール法からの移行が多く、グローリホール周辺を階段採掘で掘り、グローリホールに鉱石を投入する形が盛んに取られた。投入された鉱石はグローリホール斜面を転落するので、岩質により粉じんの発生が生じる欠点がある。

④ オープンシュート方式

鉱石をオープンシュートまたは崖面を使って押し落とし、破碎プラントレベルまで下げる方式で、下のレベルでは、ダンプトラックなどでプラントまで運ぶ。押し落とし中は下の積込作業ができず、また粉じんが発生する欠点がある。ベンチ造成時や切換時等臨時的に行われるが、継続的にはあまり行われぬ。

⑤ モービルクラッシングプラント方式

採掘中の切羽ベンチの近くに移動式破碎プラントを設け、切羽の鉱石はホイール式トラクタショベルを使ったロードアンドキャリー法により直接プラントのホッパに投入する。プラントにはタイヤ式、クローラ式あるいは油圧式の走行装置を備え、採掘ベンチの進行に伴い、移動することができる。プラントで破碎した鉱石は、シフトブルコンベアと称する伸縮自在で移設容易なベルトコンベアを使って切羽内を搬送し、さらに固定式ベルトコンベアに乗り継いで貯鉱場まで運搬する。

切羽からプラントまでの運搬距離が短いので、重機械類の設備台数が少なく高能率である。切羽と貯鉱場とのレベル差が大きい場合には立坑を設ける。プラントと立坑の間はシフトブルコン

ベアで連絡し、立坑底から坑外まではベルトコンベアで運び出す。坑底に1次クラッシャを備えた立坑方式と比べて、立坑の直径を小さくすることができるとともに坑底設備を簡単にできるので、設備投資が少なく、開発工期が短いという利点がある。

(3) 開発

1) 調査

① 測量

開発調査の手初めとして、地形図作成のための測量が必要である。地形図は地質調査、鉱量計算、開発計画立案に用いられ、それぞれの用途に適した精度と縮尺が要求される。近年ではGPS測量、GIS測量等も用いられている。

② 地質調査

露天採掘を行う鉱床は一般に地表に露頭があるので、地質調査は、地表調査を完全に行えばかなり目的を達せられる。しかし、規模の大きな計画の場合には、試すい（ボーリング）および弾性波探査などを実施し、鉱床を完全に把握しておくことが望ましい。また、山腹式やピット式のベンチを採用する場合、残壁安定解析のため鉱床および下盤の状況・岩盤物性等を把握しておく必要がある。地質調査の結果に基づき、鉱量計算および表土量計算を行う。鉱量計算については、JIS M 1003「石灰石鉱量計算基準」に計算基準が示されている。

③ 現地条件調査

開発計画立案に当っては、次の条件を調査する必要がある。

- ・ 現地の気象条件（特に降雨、降雪量）
- ・ 自然環境
- ・ 地形
- ・ 地質
- ・ 地理の状況
- ・ 公共物件（道路、公共施設、水源等）
- ・ 表土集積場の適地

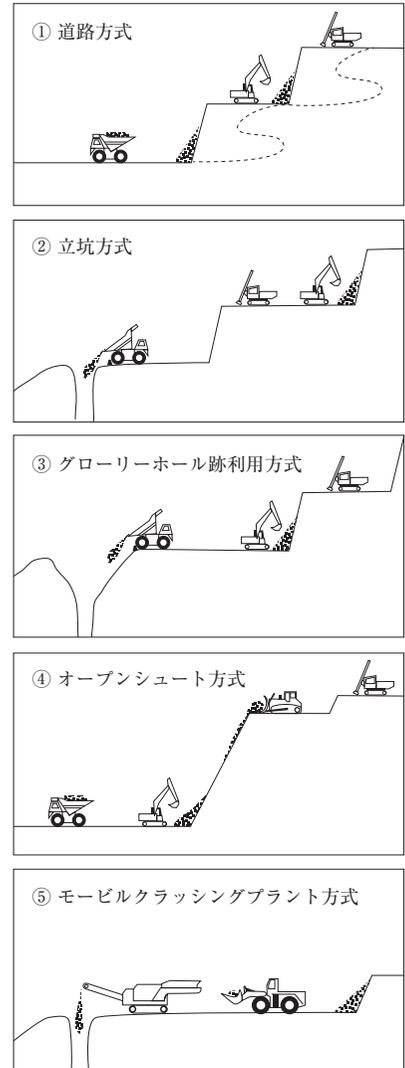


図2.7 運搬方式による階段採掘の分類

2) 階段採掘のレイアウト

① レイアウトの要素

計画に当って考慮しなければならない要素としては、採掘地区、破碎プラント、運搬ルート、集積場、サービス（登山）道路、付属施設などがあり、その判断の基準として、経済性、能率、作業の容易さ、保安、自然環境の保全、採鉱実収率、長期的見通しなどがある。

レイアウトは、操業開始後変更が難しいので、十分な検討の後に決定すべきである。

② 採掘区域とベンチの設定

露天採掘の開発計画に当っては、階段採掘法に限らず、採掘区域の決定がすべての基準であり、特に可採鉱量、品質、表土量、経済性を考慮して、また山腹式やピット式のベンチの場合、形成される残壁の安定解析結果を考慮して、採掘区域を決定する必要がある。

ベンチの設定は、普通山頂部から着手する。できれば、日当りの良い南向きが望ましい。

立坑方式の場合は、立坑の位置の選定が重要であり、採掘終了までの間を考慮して、運搬距離が最も短くなる中央部に決めるのが普通である。また、その位置の岩質の良否も重要な決め手であり、試すいにより調査することが望ましい。

③ 破碎プラントの設定

プラント位置は、採掘区域に最も近く、余裕あるスペースの求められる所が望ましい。

石灰石鉱山では、立坑底での坑内破碎方式をとる場合が多く、1次クラッシュのみならず2次クラッシュも坑内に据えている鉱山もある。この方法の長所は、

- a) 立坑底で破碎したものをベルトコンベアで坑外に運び出すので、運搬能率が高い。
- b) 坑内で破碎するため騒音、粉じんが外部に出ない、などである。

ただし、プラントや集じん機等の大形機械設備を坑内に搬入・設置するので、工事費が高い欠点がある。

モービルクラッシングプラント方式をとる場合には、採掘ベンチの進行に伴い、適当な時期にプラントおよびシフタブルコンベアを切羽内の別の位置に移設する作業がある。この移設期間中は出鉱が停止するので、前もって生産計画と移設計画（移設の時期、準備作業、所要日数など）を綿密に調整することが大切である。レベル差の関係で、モービルクラッシングプラントと立坑を組み合わせる場合には、採掘ベンチが下段に移る際のプラント移設の容易さを考慮して、立坑の位置を鉱体の端部に設けている鉱山もある。

④ 表土集積場

露天採掘では、表土および挟雑物集積場の確保が重要であり、それらを入れるに足る集積場用地を用意する。

⑤ サービス道路

階段採掘では、山頂部から実施する場合が多く、鉱石運搬の必要はなくても、重機械類、資材、人員の輸送のための登山道路を設けなければならない。採掘の実施による転石などの支障がない

位置を選定すべきである。急峻な地形の所では、一部を隧道としている。

⑥ 付属施設

付属施設には、重機械整備修理工場、火薬庫および火薬類取扱所、事務所、作業員詰所、資材倉庫および燃料油脂貯蔵庫、受変電所、場内通信施設などがあり、その配置を適宜考慮する。

(4) ベンチの形態

1) ベンチの高さ

ベンチ高さは、鉱石の性状、夾雑物の状態、せん孔機的能力、積込機械の大きさ、一次破碎機の大きさなどによって決める。現状では、一般に5~15 mであり、10 mが最も普通である。保安上からは低い方が望ましいが、あまり低過ぎると、せん孔機の能率低下、一発破当りの起砕量の減少、積込機械の頻繁な移動に伴う時間損失の増加、燃料費の増加、ベンチ造成のための生産準備費の増加などが生じる。せん孔機として現在最も多く使用されているクローラドリルの能率および積込機械の保安上の点から、10 m程度が適当であるが、最近大型せん孔機の採用が増え、積込、運搬機械も大型化しているので、ベンチの高さも若干高くなる傾向が見られる(図2.8参照)。

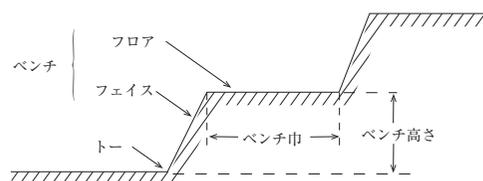


図2.8 階段採掘法のベンチ

2) ベンチ幅

ベンチ幅は、ショベルの積込作業とトラックの運搬作業とが十分に行われるに必要な広さを持たなければならない。フロア面の状況等により一概には決められないが、使用する積込機の大きさや掘削半径あるいは回転半径等を考慮して決定しなければならない。ダンプトラックでは回転半径は1.5倍以上が行動幅として必要である。一方爆破された鉱石はフロア上に崩落たい積するが、単列発破の場合、そのたい積幅はベンチ高さと同程度になる。従って、特別な場合を除いては、ベンチの所要最小幅は、ベンチ高さに積込運搬に必要な幅を加えたものとなる。一般にベンチの幅を広くとり過ぎるとベンチ段数が少なくなり、有効切羽長を減じて、切羽全体の生産能力が減少する。有効切羽長を十分にとり得る場合は、ベンチ幅を広くとっても問題はない。

(5) 階段採掘法の保安

1) 災害の防止

階段採掘法の長所の1つに、保安上の利点があることは既に述べた。すなわち、傾斜面採掘法の宿命ともいべき岩盤の崩壊、落石・転石、墜落による災害の危険は、階段採掘法によれば大幅に取り除くことが可能であり、これは石灰石鉱山事由別死亡者数統計からもうかがうことができる。昭和30年代においては、死亡災害の事由として、岩盤の崩壊、墜落、飛石・転石の3つが特に多く、全体の過半数を占めていたが、昭和40年代に入り階段採掘法が主流となるにつれて、運搬装置のためが1位となり、次いで岩盤の崩壊、墜落と続き、飛石・転石によるものはかなり減少している。

運搬装置の多くは重機のため、階段採掘法における災害防止では、重機による災害対策が1つの決め手である。

重機による一般的な災害とその対策について、次に述べる。

① ブルドーザ，トラクタショベル，ダンプトラックなどの横転・転落災害

重機運転中の災害としては最も多く、急坂路走行中は特に危険であり、死亡に結びつきやすい。対策は、通路の整備を完全にすること、機械の性能と通路条件などを考慮し、無理な運転とならぬよう作業基準を決めておくことなどである。運転ミスと考えられる場合も多いので、技量の習熟を図ることは当然であるが、運転時は運転員の体調を良好に保つよう留意する。

② 重機類にひかれ、接触することによる災害

重機の大型化に伴い運転員の死角範囲が拡大し、ダンプトラック、ホイール式トラクタショベルの後退時等にひかれることがある。また、車両類と建物の間に挟まれたり、ショベルのバケットに当たる場合もある。このため、歩行者や軽車両は、作業中の重機類に近寄らないことをまず考え、積込、走行、ダンプ箇所等には、できる限り立入らないようにする。

③ 整備，修理中の災害

修理中、ダンプトラックの荷台とシャーシに挟まれたり、ブルドーザの排土板やショベルバケットの落下により災害を起こすことがある。このため、整備、修理の際は、決められた安全措置を確実に実施する。また、クレーンからのつり荷の落下、機械の上からの転落、連絡不足による誤運転等、通常作業時以上に災害の危険があるので注意が必要である。

④ 飛石の防止

発破時の飛石の原因は、過装薬・てんそく（込物）等の不良であり、岩盤の亀裂、粘土目、空洞の存在等を予測できない際に起きることが多い。対策としては、せん孔中に岩盤の状態を良く把握し、異状があればそれに適した装薬を行うか、せん孔をやり直す、切羽の方向を飛石が生じても支障のない向きとすることなどである。小割発破の際も飛石の生ずることが多いが、過装薬とならぬよう注意が必要である。

人家や市街地の近くで小割作業や残壁処理などを行う場合は、発破箇所を飛石防止ネットで被う、火薬類の代りに静的破砕剤を使用する等飛石・転石災害の防止に細心の注意を払う。

2) 鉱害の防止

階段採掘法は、傾斜面採掘法に比べ、発破時の粉じんの発生が少ない、切羽の管理が容易であり発破の量・飛石の方向の調整が可能である、崩壊の危険が少ない等、鉱害防止の面でも優れている。発生する鉱害には、粉じん、水質汚濁、集積場、騒音振動、飛石、崩壊などが挙げられるが、採掘に直接関連する、粉じん、騒音振動、汚濁水について説明する。

① 粉じんの防止

階段採掘法による粉じんには、せん孔中に排出される練粉によるもの、発破時に発生するもの、ブルドーザで鉱石を下方に押し落す際のもの、ダンプトラックの走行時に生ずるものがある。

- ・せん孔中の練粉 せん孔機に装備した集じん機により処理されている。発破時の粉じんは、階段採掘の場合、特にひどいものではない。
- ・ブルドーザなどの鉱石押し時の粉じん 岩質により差はあるが、作業中継続的に発生するため、場合により散水を行う必要がある。
- ・トラックの走行時の粉じん 晴天続きの際などかなりひどいもので、これを防ぐには、路面を舗装するのが最も望ましい。道路としての使用期間、頻度、費用の点から舗装が不可能な場合には、散水車で散水を行うのが普通であり、粉じん抑制剤を使用すると効果が上る場合がある。

② 騒音、振動の防止

発生源には、せん孔機やショベル、ブルドーザなど重機械の運転音と、発破の際の騒音、振動がある。

最も問題となるのは、発破による騒音、振動であるが、その実態把握にも面倒な点が多く、対策としては、一発破の装薬量の規制、適性秒時差の設定、電子回路制御雷管発破の採用、発破時刻の限定などが行われる。

③ 汚濁水の防止

階段採掘法切羽からの流出水およびプラントからの流出水により発生する汚濁水がある。

石灰石鉱山では、主に降雨水は地下浸透により場外へ流出することは少ないが、道路等を通り場外へ流出することもあるので、沈殿池等を設置して汚濁水の流出防止に努める必要がある。

2 剥土・剥岩

(1) 概要

露天採掘で鉱物を採取するためには、目的とする鉱物の上部を覆っている表土を除去して鉱体を露出させる。表土は土状のものから粘板岩、砂岩などの岩質のものまで多様である。また、鉱床の在り方によっては、本来残壁となるべき部分を採掘可能にするため、その上部を被覆している比較的厚い岩層を除去する場合もある。

安全に鉱床を採掘するためには、切羽の採掘の進行に先行して剥土作業を行い、十分によく表土を除去する必要がある。少なくとも切羽頂端から10 m以上の範囲の表土は除去しておくことが望ましい。

表土の除去が遅れると、一般に次のような危険が予想される。

- ① 表土の崩壊による災害を引き起こす。
- ② 傾斜面採掘の場合、表土が切羽斜面に付着するため、採掘した鉱石が落下しないで斜面に残り、落石・転石による災害を引き起こす。
- ③ 同じく表土が切羽斜面に付着し、採掘した鉱石の落下状態が悪くなるため、斜面の傾斜を急にす。あるいは、表土が除去されないために、頂部の採掘を進めずに下方ばかり採掘するように

なって、切羽の傾斜が急になる。これが、岩盤の崩壊、浮石の落下などによる災害を引き起こす。

- ④ 表土が切羽斜面に存在すると作業者が滑りやすく、墜落による災害を引き起こす。
- ⑤ 立坑式階段採掘法では、表土が鉱石に混じるため立坑詰まりを起しやすくなり、この取り開け作業に伴う災害を引き起こす。
- ⑥ 同じく表土が混入することは、豪雨の際に立坑からの、あるいは貯鉱槽からの土石流突出による災害を起しやすくなる。

保安面では以上のような不安全状態を招来するばかりでなく、表土の混入により鉱石の品位を低下させ、また、積込運搬などその後の鉱石取扱いの能率を低下させるなど、生産面に及ぼす影響も大きく、かつ、これに伴う各種の災害の遠因ともなる。

やむを得ず除去が遅れた場合は、表土際に防止網、柵などを設けて、表土際の落石を防止する措置を講ずる必要があるが、このような状態にならないよう早期に剥土を心掛けることが肝要である。

1) 表土の性質

表土は粘着力と内部摩擦角とによりその土特有の安息角を持つ。土の粘着力は土粒子によって生じるこう着性によるもので、砂まじりの土ほど粘着力は小さく、真土、粘土の順に大きくなる。粘着力は、含水量によっても差異ができる。従って、表土の安息角は、含水量の増減に大きく影響される。水分による安息角の変化を例示すると、表2.2のようになる。

表2.2 含水量による土の安息角の変化

土の分類	安息角 [°]	摩擦係数	自然こう配	質量 [kg/m ³]	
粘土	乾燥	20 ~ 37	0.36 ~ 0.75	1 : 1.33 ~ 2.8	1500 ~ 1700
	水分少し	40 ~ 45	0.36 ~ 1.00	1 : 1.00 ~ 1.2	1700 ~ 1900
	水分多し	14 ~ 20	0.14 ~ 0.36	1 : 2.80 ~ 4.0	1800 ~ 2100
普通土	乾燥	20 ~ 45	0.36 ~ 1.00	1 : 1.00 ~ 2.75	1400 ~ 1700
	水分少し	25 ~ 45	0.47 ~ 1.00	1 : 1.00 ~ 2.14	1600 ~ 1900
	水分多し	15 ~ 20	0.27 ~ 1.00	1 : 1.73 ~ 3.73	1800 ~ 2100
砂	乾燥	27 ~ 40	0.51 ~ 0.84	1 : 1.20 ~ 2.0	1450 ~ 1700
	水分少し	30 ~ 45	0.58 ~ 1.00	1 : 1.00 ~ 1.7	1700 ~ 1800
	水分多し	20 ~ 30	0.36 ~ 0.58	1 : 1.20 ~ 2.8	1800 ~ 2000

表土は乾燥すれば粘り気を失ったさらさらした状態となり、亀裂も発達して崩落しやすくなる。また、長雨などのために含水量が増加すれば、いわゆる地盤のゆるみを生じ地すべり状態の崩壊を起しやすくなる。融雪、凍解も表土の状態を不安定にし、崩壊の原因となるものである。

鉱床被覆は、土質の表土のみとは限らず、粘板岩、輝緑凝灰岩などの岩層の場合もある。これらの岩層は、ほとんど風化を受けており脆弱なものが多い。採掘に発破を要するものであっても、き裂が

発達し浮石状態のものが多い。このような風化岩石は土質表土より粘着力が少ないため、外的影響により崩壊しやすい。乾燥すればき裂から崩落しやすくなり、冬季はき裂に浸透した水が凍結し、凍解により落石、崩落を起こしやすくなる。

2) 準備

剥土に際しては、表土の状態をよく調査してその実体を把握し、適応した除去方法をとることが大切である。調査対象として、次の諸事項が考えられる。

- ① 表土の種類、性質
- ② 表土の賦存状態（厚さ、分布など）および既存量
- ③ 表土と鉋床の接触面の状況
- ④ き裂、破碎帯、褶曲などの有無
- ⑤ 浸透水の状況

なお、石灰石の表土の場合は、ドリーネ（すり鉋状窪地）の発達とその状況を調査する必要がある。新たに剥土を行うときは、剥土予定の範囲よりかなり広範囲にわたって草木を伐採し、転落のおそれのある転石などはあらかじめ取り除いておく必要がある。

3) 剥土・剥岩作業

剥土はその土質に適応した安全な傾斜を保って行うようにしなければならない。

すかし掘りでは、下部を掘り取られた上部の土はほとんど粘着力のみで保持される不安定な状態にあるので、何の前兆もなく突然に崩壊する恐れがある。極めて危険であり、本法を採用すべきではない。

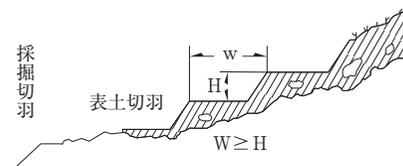


図2.9 剥土高さとの関係

剥土作業は上部より計画的に行い、切羽の高さは点検できる程度とする。表土が厚い場合、または上下に広範囲にわたり剥土を行う場合には、それに応じ中間に幾つかの段を設けて切羽を幾段かに分けて作業する。段の幅は高さと同様またはそれ以上とすることが望ましい（図2.9参照）。

岩層の場合には特に切羽の傾斜と高さに留意し、せん孔発破により採掘する場合であっても切羽の壁の高さはなるべく低くすべきであり、岩塊の崩壊、浮石の落下に対して安全な作業環境とすることが望ましい。切羽の上端は草木根をそのままにしておくと、その表層部の土石は崩壊しやすい。そのため、剥土作業に先立って草木根はよく除去しておく。地肌が長く大気にさらされている場合、粘着力による法面の表面部分は不安定となる。

土は含水量が増加すれば粘着力が失われる。従って、剥土切羽の崩壊を防止するため、水はけをよくすることが望ましく、山腹排水路などを設けることも効果ある措置である。

冬季には融雪・凍解、雨季には含水量の増加により、崩壊を起こす憂いがあるので、土の状態の変化をよく点検し、危険の恐れがある場合は剥土作業を中止することも考えるべきである。

4) 玉石および岩歯

表土中には大小の玉石（根無し石）が存在することが多い。玉石が現われた場合に、不用意に作業を進めると、これが不意に抜け落ち災害の原因となることがある。このため、玉石の下方に人が近づかないようにし、玉石状態をよく見極め、側方などの安全な位置から除去作業を行う。

石灰石の剥土では、表土（テラロサ）中には玉石も多い。時には高さ10 m以上に及ぶ巨大な犬牙石や、奇々怪々な形をした大小の岩歯が林立し、う余曲折したくぼみに土が深く食い込んでいる。土を除去するにつれて石灰石の岩塊が露出してくる。このため、表土に接している石灰石の部分は、通常犬牙状を呈した岩歯となっていると考えなければならない。

根のない玉石か突出した岩歯の頭部か見分けが困難な場合があるが、一見岩盤から突出しているようであっても、実は遊離している場合もしばしばある。この判断を誤ったため、岩塊の周囲の土を掘り起こしている際、岩塊が倒壊してり災した事例も少なくない。

(2) 剥土法

厚い表土あるいは鉱床を被覆する岩石層を除去する場合には、スクレーパ、ブルドーザ、ショベルとトラックなどの機械力により剥土（剥岩）を行う。

ブルドーザは、表土が厚く、地形が比較的緩やかで、表土集積場までの距離が近い場合に有効である。この場合にはブルドーザのみが用いられるが、ショベル、トラックと組み合わせて掘削、集土に使用することも多い。

ショベルおよびダンプトラックによる剥土は、階段採掘法の採用とともに広く用いられている。掘削の方法としては、ショベル自体で行うもの、ブルドーザ（リップを装着するが多い）によるもの、せん孔発破によるものがある。

最近、バックホー型の油圧ショベルが安全性と操作性に優れているため、広く使用されている。この方法が普及した背景として、次の点があげられる。

- ① 階段採掘法の実施により、ショベル、トラックなどの重機を容易に剥土現場に持ち込むことが可能になった。
- ② 鉱床の採掘と同様の機械を使用し、同様の採掘法により実施できる。
- ③ 他の方法に比べ、高能率である。

本法の欠点は、階段採掘法形式で行うため、剥土を完全に行おうとすれば廃棄すべき表土中に鉱石が混入することである。この対策には、剥土のベンチ高さをかなり低くとるのが普通である。一例として、剥土ベンチの高さは7.5 mとし、これを2段合せて15 mの採掘ベンチとしている鉱山がある。

第3節 発破工法（せん孔）・無発破工法（掘削）

1 発破工法（せん孔）

(1) せん孔作業

露天採掘では、通常は岩石に発破孔を開け、爆薬を装てんし、発破を行って採掘する。発破孔を開

けることをせん孔（穿孔）という。

ここでは小割作業とせん孔機械について説明する。なお、せん孔長・せん孔間隔等のせん孔規格の設計については、第3章火薬類および発破の項で記述する。

(2) せん孔機械

1) 概要

せん孔方法の原理には、次の2つがある。

- ・衝撃式（打撃式）せん孔 掘削刃物（ビット）に衝撃を与え、岩石を打撃してせん孔する。本方式は、最も古くから行われていた方法であり、手持ちタガネを鉄槌でたたくことによる手掘りと称するものがこれである。タガネの刃先が岩石をたたく位置を少しずつ変えるように、タガネを手で廻すが、これは孔を円形に保つためである。現在のさく岩機は、ほとんどこの原理による。石灰石鉱山では、油圧パーカッションドリル及びダウンザホールドリルが一般的に使用されている。
- ・回転式せん孔 ビットに押しつけ回転力を与え、岩石を切削することによりせん孔する。本方式は、大口径深掘用のボーリング機械に広く用いられている。発破孔用としては、主として炭鉱で、石炭または頁岩を対象として、スクリー式の圧気動および電動オーガ掘削機が使用されてきたが、石灰石鉱山でもロータリドリル等の大型回転せん孔機が使われている。

2) せん孔機

発破孔のせん孔用に用いられる小口径せん孔用のせん孔機について説明する。

発破孔用のせん孔機も、衝撃式と回転式がある。通常、衝撃式せん孔機をさく岩機という。使用動力は、かつては圧縮空気動が大部分であったが、最近は油圧動が主流である。

さく岩機は、その用途により、下向に適するものをシンカ（ハンドハンマ）、上向に適するものをストーパ、横向に使用するものをドリフタ、石炭など軟らかいものを突掘りするものをコールピックと呼ぶが、適当なサポータや乗駕装置（乗駕）に取り付ければどの方向にも使用できるので、これらの名称は便宜的なものといえる。露天採掘用さく岩機は、その乗駕装置も含めてハンドハンマ、レッグハンマ、クローラドリル、ロータリドリルと呼ぶ。また、大口径で長孔用機種を大型せん孔機と総称する。

① ハンドハンマ

シンカあるいはジャックハンマとも呼ばれ、最近ではまれに小割せん孔用に使用される。機体質量は12～30 kg程度、空気消費量は2～3 m³/minである。

② レッグハンマ（図2.10参照）

レッグドリルともいう。ハンドハンマにエアレッグと称するエアシリンダ式伸縮脚を取付けた、1 m前後の送りができる構造である。横向せん孔も上向せん孔もできる。最近では、まれに、小割せん孔や端縁処理に用いる。

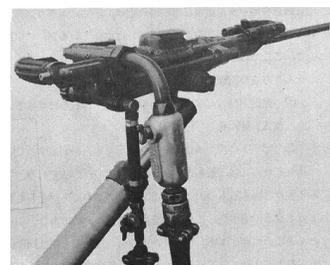


図2.10 レッグハンマ

③ クローラドリル（図2.11参照）

クローラタイプの自走可能なシャーシにブームおよびガイドシエルを取付け、ドリフタを搭載したもので、ドリフタの駆動、ブームの俯仰、旋回、ガイドシエルの俯仰、旋回、前後スライドなどの動作がすべて油圧で迅速に行われる油圧クローラドリルが主流となっている。

ドリフタは独立回転機構を備えたものが一般的である。階段採掘のせん孔作業に最も多く使用される機種であり、操作は1名で可能である。

最近の機種ではブロー用エアコンプレッサを内蔵し、ロッドの継ぎ足し回収作業をオペレータキャビンからレバー操作で行えるオートロッドチェンジャや、バグフィルタ形集じん機の装備など作業環境の改善も図られている。運転操作の簡易化のため、せん孔作業をプログラム化してコンピュータに記憶させた機種も出現している。

穿孔径は120 mm程度までのものが多い。

④ ダウンザホールドリル（図2.12参照）

ロッドの先端に打撃ハンマを取付け、ロッド上端の回転装置で回転を行うせん孔機械である。ロッドは打撃ハンマに回転と推力を与え、かつ、圧縮空気を送り込むだけで、ビットは常にハンマから直接打撃を受けるので、打撃損失がなく比較的深孔でもせん孔速度は落ちない。穿孔速度を高めるため、大形高压のコンプレッサを搭載しており、空気消費量は多いが、ハンマは孔底にあるので、打撃騒音が少ないなどの利点がある。

近年は、ロータリドリルがダウンザホールハンマを装着出来るようになっており、兼用される。

⑤ ロータリドリル（回転せん孔機）（図2.14参照）

ビットに強い推力と回転を与えてせん孔する機械。岩質が適当であれば、大きいせん孔速度が得られるので、我が国の石灰石鉱山でかなり採用されている。回転せん孔は、ビットが岩盤を切削することにより行われるので、その採用の可否は岩質により大きく左右される。ビット摩耗の点から、けい酸分（ SiO_2 ）含有量の多いものは不適とされる。



図2.11 クローラドリル



図2.12 ダウンザホールドリル



図2.13 ダウンザホールハンマ



図2.14 ロータリドリル及びトリコンビット

2 無発破工法

(1) 掘削作業

ある岩石が掘削しやすいか否かは、その岩石の強度、硬さ、韌性（脆性）によるほか、層理、節理、石目、き裂などの存在に影響されることが大きい。

機械力による掘削は、近年掘削機械の発達とともに広範に適用されている。また、ブルドーザにリッパと称する鋼製の爪を装着して岩盤を掘り起こすリッピング作業が広く行われており、ブルドーザの大型化とともに、発破に代わる採掘法として用いられている。

(2) 掘削機械

1) 掘削機械の種類

掘削機械には、主にはブルドーザ、バックホーによるものと、近年はサーフィスマイナ等の岩盤切削機もある。詳細は次節積込・運搬で記述する。

2) リッパ

大型ブルドーザの発達とともに、リッパによる掘削の領域が拡大している。リッパによる掘削をリッピングといい、リッピングによる施工をリッパ法またはリッパ工法という（図2.15参照）。

リッパ法の特徴は、軟岩等の岩石の条件が良ければ発破を行わずに採掘できることであり、発破による飛石や振動の問題を解決できるばかりでなく、能率よく、安いコストで操業できる場合が多い。

岩盤が強固で条件に合わない場合は採用できないが、プレバスタイングと称する弱装薬の発破を事前に行うことにより、リッパ法が有利となる場合もある。

リッパ採用可否の判定の際には、対象となる岩石に対するリッパの破碎能力すなわちリッパビリティを調べることとなる。リッパビリティの判定法としては、「岩石の種類と性状による判定」、「室



図2.15 リッパ工法

内岩石試験による判定」「現地弾性波試験による判定」、「実地掘削試験による判定」の4つがあり、必要に応じて実施する。

またリッパ作業に当り留意する事項は、下向きで自重を利用したり、石目に沿って実施することで作業効率が上がるが、作業時の速度及びリッパの本数等も調整することで作業の改善を図ることが望ましい。

作業量は、岩石の特性や作業方法、オペレータの技量などにより大きく変化する。作業量の計算を行うには、シャンクの貫入の深さ、リッピング間隔、作業速度を求めて、1時間当たり作業量を求める。

3) サーフィスマイナ（大形岩盤切削機）

サーフィスマイナは、自重を反力として、4つのクローラで走行しながら胴体中央部の切削用ドラムをアップカット（クローラと逆方向）で回転させ、ドラム外周面に螺旋状に配置した切削ビットによって連続的に岩盤を破碎する。本体は4つのクローラに装着したシリンダで支えられ、それぞれが独立して伸縮することで掘削深さや縦横断勾配を自由に変えることができる。また、切削幅は2.5 mで、一度に切削できる最大深さは35 cmとなっている。



図2.16 サーフィスマイナ

3 小割作業

鉱石の質によっては、発破後大塊が発生して、そのままでは積込作業に支障を来し、1次クラッシャの給鉱口に入らない場合も出てくる。このような大塊は、あらかじめ切羽で適当な大きさに割る必要があり、これを小割作業という。小割方法には、発破法によるもの、機械を用いるもの、静的破碎剤を用いるものがある。

1) 発破による小割

2次発破ともいい、せん孔機でせん孔し発破する方法と、爆薬を大塊の表面に乗せ、その上を粘土などで覆って発破する張付発破法（覆土発破法）がある。張付発破法は爆破効果が小さく、爆風等も大きく、大量の爆薬を消費するので、特にせん孔できない場合以外は行われない。

2) 機械による小割

機械による小割の利点は、発破退避のために他の作業を中断する必要がないことである。また、一般的に小割発破よりも高能率である。使用機械には、ロックブレーカとドロップボールがある。

① ロックブレーカ（図2.17参照）

ロックブレーカは、油圧駆動式のものほとんどである。本体質量は200 kgから5,000 kgで、打撃数は、毎分500～1,000回程度である。いずれも、油圧ショベルなどのバケットを取り外し、アーム先端に取り付けて使用するのが普通である。

② ドロップボール

クレーンを使用して、鋳鋼製のボールを鉬石の上に落として割る機械である。外国では古くから小割に使われて来たが我が国の使用例は少ない。

3) 静的破碎剤による小割

静的破碎剤とは、石灰系珪酸塩化合物などの膨張性セメント系の材料で、膨張性破碎剤あるいは緩性破碎剤ともいう。水との水和反応で膨張する圧力を利用して、岩石やコンクリートにき裂を発生させ破碎するもので、火薬類のような危険性がなく、飛石、騒音、振動、粉じん、ガスなどの公害を引き起こす恐れは全くない。使用方法は、粉末状の製品に水を加えてスラリー状にし、あらかじめドリルでせん孔した孔に流し込むだけでよく、数時間後にはその強力な膨張圧のため岩石が完全に破碎される。静的破碎剤の中には、使用する前に水中に5分間浸漬するだけでよいカプセル形のものもある。現場での混練作業が不要で、作業の簡易化、省力化が図られるほか、横孔や上向孔にも容易に充てることができるので、破碎工法の多様化にも対応できる。



図2.17 油圧式ロックブレーカ

4 ^{はぶち}端縁処理

我が国の露天採掘の主要鉬種は石灰石であるが、石灰石鉬床は地形が急峻な山岳地形に賦存することが多い。このため、階段式採掘法のうち、山の斜面に階段状にベンチを設ける山腹式や、山の頂上から水平にカットする山頂式がよく用いられる。本採掘法では、山腹周辺部に端縁が発生する。この端縁処理作業は、ベンチ展開をスムーズにする上で重要であり、また転落石を発生させないように安全な工法で処理しなければならない。ここでは、端縁処理工法と転落石防護施設に関して述べる。

(1) 処理工法

1) 弱装薬発破工法

ハンドハンマによるせん孔あるいはクローラドリルにより横孔せん孔を行い、装薬量を通常の本発破より減じた弱装薬発破によって、岩盤内に亀裂を生じさせ油圧ショベルにより採掘する。

2) 緩性破碎剤（静的破碎剤）工法

静的破碎材を水と混練後、あらかじめせん孔した岩盤に挿入し、発生する膨張圧によって岩石内部に亀裂を起こし破碎する。現在、粉末状（バルクタイプ）やカプセル化したものがある。

3) 割岩工法

割岩機のガイドセルにはせん孔装置とクサビ装置を搭載しており、この搭載せん孔終了後、せん孔装置をクサビ装置に置換し、クサビガイドを孔に挿入する。この時、クサビガイドが油圧で開いて割岩できる。

4) ブレーカ工法（図2.18参照）

本来、ブレーカは大塊石の小割機として鉬山に導入される例が多いが、大型油圧ショベルのベース

マシンに大型ブレーカを搭載し端縁処理を行う鉱山もある。ブレーカで端縁を処理した破砕石は、通常バックホーにより集石する。端縁の岩盤が硬岩の場合は、弱装薬発破工法を併用する。

5) その他

近年、油圧を利用した破砕機の発達は目ざましいものがあり、次々と大型化されている。

その中でも、被破砕物を上下または左右から圧縮して岩石を破壊する静的割機が注目されている。本機はビル解体等の機器であるが、小割作業の高能率化、騒音等の鉱害発生防止も目的として開発が進められており、近い将来更なる技術改良が進めば、静的破砕剤等の併用により、端縁処理への適用も可能と考えられる。

また、一部の鉱山ではバックホーに付けるアタッチメントタイプの回転掘削機も用いられており、落石等を防ぎながらの端縁処理には有効である。

(2) 転落石防止対策

端縁の地形あるいは岩盤中のき裂の方向によっては、上述の工法を用いても転落石が発生するケースが多く、転落石防護施設を設ける必要がある。その構造は転石防止の考え方により、剛構造と柔構造がある。現在、各鉱山において設置されている主な防護施設を次に示す。

1) 転落石防護柵

転落石防護柵は、固定式の永久転石防護柵と移動式の簡易転石防護柵に大別される。強固な固定式は、主として登山道や人家等に対する保護設備として設置し、移動式は、端縁処理に先立ち、転落石に備えて下方に数段設置する。移動式は、採掘に伴い、順次撤去・移動・設置を繰り返す（図2.19参照）。



図2.18 ブレーカ工法

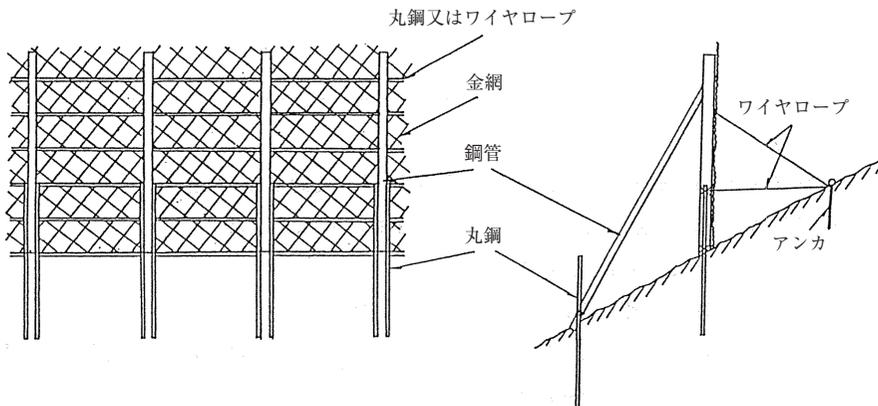


図2.19 転落石防護柵（移動式）

大塊石の直撃を受けた場合に、横に渡した丸鋼の緊結が弱いと、鋼管が倒れる恐れがあるため、この丸鋼（剛構造）をワイヤロープ（柔構造）にする場合もある。

2) 転落石防護ベンチ

転落石防護ベンチは端縁処理における転落石や飛石を止めるための施設である。ベンチ幅は、各鉱山、地形によって異なるが、一般的には5～10 mで、誘導ネットと併用する場合もある。

3) 漁網・ネットによる浮石止め

斜面に点在する浮石を漁網やネットで覆い、漁网上部をロックアンカで岩盤に固定する。また、ワイヤロープの緊結等により、浮石、飛石や抜け石の転落を未然に防ぐことができる（図2.20）。



図2.20 魚網・ネットによる浮石止め

第4節 積込・運搬

1 積込・運搬作業

露天採掘における積込・運搬は、坑内採掘の場合と比べると単純であるが、その生産経費に占める割合は大きく、重要さでは変わりがない。積込法は主として機械積みであり、また現在の運搬方法は、軌道運搬、重機械による運搬、ベルトコンベア運搬の3種で、ほとんどが重機械を用いる。

1) 軌道運搬

露天掘り初期のすかし掘りおよび傾斜面採掘の時代には、切羽からの運搬はほとんどが木製の小さな鉱車を使用する軌道運搬であり、手押か自走あるいは馬などで動かされていた。グローリホール法が採用されるに及んで一部坑内運搬が必要となったが、ほとんどが軌道運搬であった。階段採掘法に移り変わった現在ではまれではあるが、坑内に付随した運搬に、軌道運搬を用いている鉱山もある。

2) 重機械による運搬

階段採掘法では、露天の積込運搬に重機械を用いる。坑内採掘では、重機械による運搬をトラックレス運搬（無軌道運搬）と呼ぶが、露天採掘ではこのことばはあまり使わない。露天で使用する運搬機械は、ダンプトラック、ホイール式トラクタショベル（ホイールローダ）、ブルドーザ、モータスクレーパ等である。

ダンプトラック 積込機と組み合わせて最も広く使われている。

ホイール式トラクターショベル（ホイールローダ）ロードアンドキャリー法により150 m以下の距離で使用される。

ブルドーザ 100 m以下の場合に有利とされている。

モータスクレーパ 自ら掘削、積込み、運搬、捨土、敷ならしができる機械で大規模土工事に使用されるが、鉱山ではほとんど使用されない。

3) ベルトコンベア運搬

採掘切羽では、モバイルクラッシングプラントと立坑間、あるいは固定式ベルトコンベア間にシフトダブルコンベアを使用する以外、ベルトコンベア運搬はほとんど使用されない。

立坑底の破碎機から坑外への運搬には、主にベルトコンベアが使用されており、一部の鉱山では、立坑から立坑へあるいは立坑底から坑外の破碎プラントへ破碎前の大塊の鉱石を運搬する大塊ベルトコンベアが使用されている。

(1) ダンプトラックの積込・運搬作業

1) 積込作業能力の算定

積込機械の作業能力、つまり1時間当りの作業量を求める方法には、実測による方法と計算により予測する方法がある。実測による方法は、ストップウォッチを持って現場に出かけ、一定時間に行った作業量を測り、それを時間で割れば求められる。積込作業量は実際に秤で計る訳にはいかないから、普通はダンプトラックの台数で求める。

機械を購入する前にその能力を予測する場合などは、計算によって求める。現在では、コンピュータによるシミュレーションにより種々の検討が容易に行えるが、ここではその一般的方法を説明する。

① 作業量計算式

$$Q = \frac{3600 \times q \times f \times E \times K}{C_m} \dots\dots\dots (2.1)$$

ただし Q：積込機械の1時間当り作業量 [t/h]

q：バケット（またはディップ）の容量 [m³]

f：鉱石の比重・密度 [t/m³]

E：作業効率

K：バケット（またはディップ）の効率

C_m：積込1サイクルの所要時間 [s]

② 鉱石の重量 [f]

積み込む状態の鉱石1 m³当りの質量であり、石灰石では普通見かけ比重1.6 t/m³を使用する。作業量をm³/hで求める場合は、1として計算すればよい。

③ 作業効率 [E]

時間効率ともいい、機械が1時間に対しどれだけ有効な積込作業を行ったかの比率である。トラック待ちが多い場合などは当然低下する。一般には次の係数を使う。

作業が順調に進む場合 0.75～0.83 (45～50分)

作業が順調でない場合 0.60～0.75 (36～45分)

④ バケット (ディッパ) 効率 $[K]$

実際にバケットに入る量に対するバケット容量の割合。山積みによくえばバケット効率は1より大きくなる。一般には次の係数とする。発破後の原石 0.5～0.9, 普通土 0.8～1.0

⑤ 積込1サイクルの所要時間 $[C_m]$

1サイクルの所要時間は、機種および積込条件によって大きく異なる。パワーショベルの場合、サイクルタイムは、90°旋回として、1 m³程度の小型で20～25 s, 2 m³以上で 25～30 sである。

トラクタショベルの場合は、次の式により求められる。

$$C_m = ml + t_1 + t_2 \dots\dots\dots (2.2)$$

ただし m : 係数, クローラ式 $m = 2.0$, ホイール式 $m = 1.8$

l : 積込みの片道運搬距離 [m], 特に運搬距離を考えない場合 $l = 8$ m

t_1 : バケットで材料をすくい上げるに要する時間 [s]

クローラ式5～12 s, ホイール式6～20 s

t_2 : ギヤの入換え, 位置定め, 積込みおよびダンプトラック導入のための待ち時間 [s]

V形積込方法 $t_2 = 20$, I形積込方法 $t_2 = 12$ (V形積込方法: 図2.21参照)

⑥ 計算例

バケット容量6.9 m³のホイールローダで発破後の石灰石を積み込む場合の作業量を求める。

($f = 1.6$ $E = 0.75$ $K = 0.7$ $C_m = 52$ とする)。

$$\text{作業量} Q = \frac{3600 \times 5.9 \times 1.6 \times 0.75 \times 0.7}{52} = 401.3 \text{ [t/h]} \approx 400 \text{ [t/h]}$$

2) ダンプトラックと積込機の組合せ

ダンプトラックと組み合わせる積込機は、トラクタショベルおよび油圧ショベルであるが、積込機に対してどれ位の大きさのトラックを何台組み合わせるかは作業能率上重要なことである。一般的には、積込機の能力をフルに発揮させるため、トラックを多めに組み合わせるのがよいとされているが、双方に待時間が生じないような組合せが最良であり、また、コスト的に見た場合はトラックを少な目にした方が安くなる場合もある。現在では、使用する積込機・ダンプトラックの機種、運搬路データ(距離・傾斜・路面状況等)を基に、コンピュータによりシミュレーションを行い、最適な機種・台数・組合せの選定、能力、燃料消費、コストなどの検討を容易に行える。

トラックの組合せ台数は、次式で計算する。

$$N = \frac{b}{a} \dots\dots\dots (2.3)$$

ただし、 N : 所要トラック台数

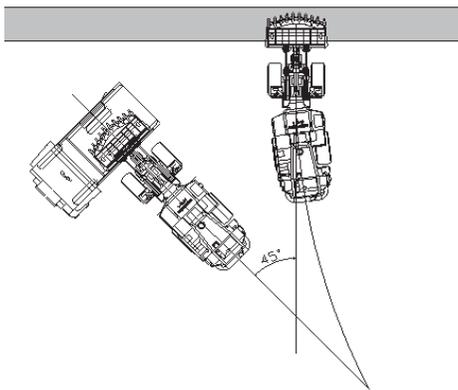
a : ショベルがトラック1台を積み込むに要する時間

b : トラックのサイクルタイム (積込, 走行, 荷空時間の合計)

トラクタショベルと組み合わせる場合, まず, ショベルのダンピングクリアランスおよびリーチに対しトラックの荷台が高過ぎないか検討する。次いで, トラック1台の積込みに要する時間, トラックの走行, 荷空けに要する時間のバランスからトラックの配置台数を検討する。トラックに3~5回の積込みで満載し得るショベルとの組合せが, 最も適当であるといわれている。

トラクタショベルの積込方式には, I形とV形があり (図2.21参照), 特別な場合, パスローディングの方法もある。一般にはI形方式が最も能率的である。V形方式はアーティキュレートタイプのホイール式ショベルでよく使われるが, クローラ式ショベルでは, 路面をいためるなどの理由でほとんど採用されない。大型のショベルとトラックでは, V形方式が安全であり, 能率も上がる。

【ホイールローダによる積込み作業】
■Vシェープロードイング工法 (V型)



■クロスローディング工法 (I型)

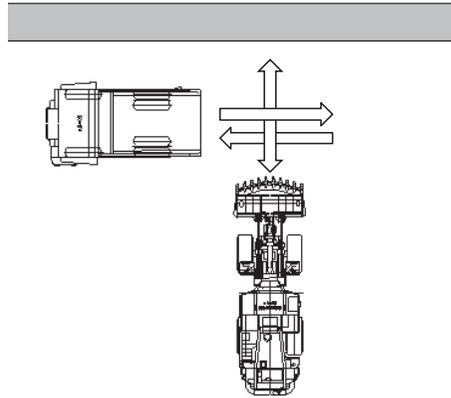


図2.21 トラクタショベルの積込方式

(2) ロードアンドキャリー法 (図2.22参照)

ロードアンドキャリー法とは, ホイール式トラクタショベルが荷をすくい込み, そのまま走行して運搬する方法で, 普通最大運搬距離が50~150 m程度の範囲で使用され, 100 m以内程度の運搬では最もコストの低い方法とされている。

1) ロードアンドキャリー法の作業内容

- ・ 主作業 すくい込みおよび方向変換, 運搬および帰りの走行, ダンピングおよび方向変換。
- ・ 付随作業 通路清掃, 大塊はね出し, 集石, 切羽処理 (根切り)。

付随作業は, できるだけブルドーザに行わせることが大切で, 特に爆落石が少なくなってきた時, 集石, 切羽処理を自ら行うと能率が低下する。ロードアンドキャリー法は, 普通大型のショベルで行うことが多いため, 重機購入価格が高く, これを最も能率的に使用することが要点となる。この



図2.22 ロードアンドキャリー法

ため路面を絶えず良好に維持することが必要である。

ロードアンドキャリー法による運搬距離と時間当りの作業量の関係を示す。図2.23に示す。

2) ロードアンドキャリー法の長所と短所

長 所

- a) 他の機械にわずらわされることなく、単独作業ができる。従って、稼働率が高い。
- b) 特に運搬距離が短い場合、高能率で、省力化につながる。

短 所

- a) 運搬容量の割に使用機械の購入価格が高い。従って、使用には適切な管理が必要である。
- b) 高速で走行するため、タイヤが発熱し破損しやすくなる。従って、タイヤの温度管理が必要である。

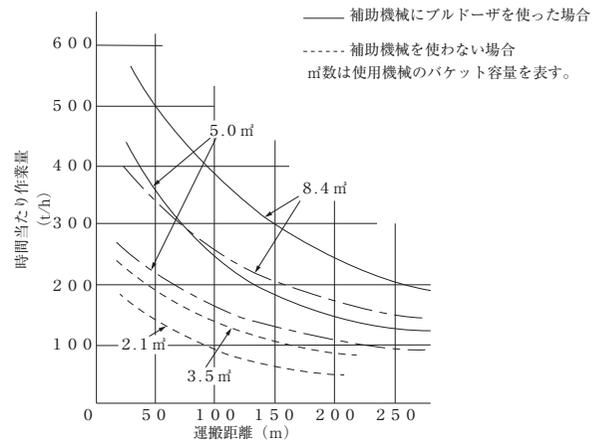


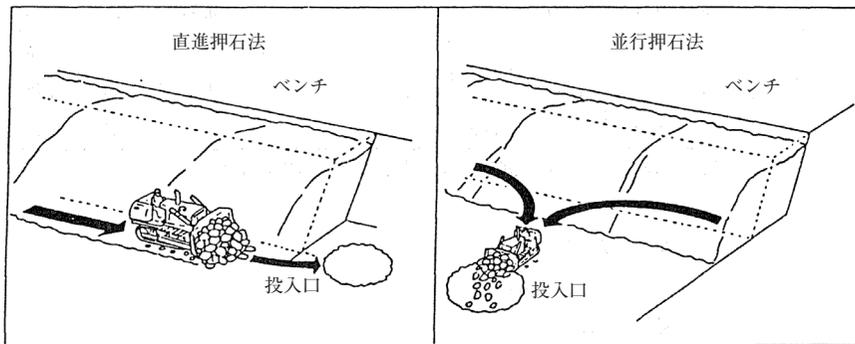
図2.23 ロードアンドキャリー法の時間当たり作業量

(3) ブルドーザによる運搬作業

ブルドーザは、掘削機械として使用することが多く、土砂や、爆砕した鉱石運搬でも使用する。

ブルドーザの運搬は、最大運搬距離100 m以内の範囲であるが、実際能率良く作業するためには、50 m以内とするのがよい。

露天採掘でブルドーザが運搬使用されるのは、切羽で爆破した鉱石を、立坑、グローリホール跡あるいは崖面まで押し落とす作業である。作業の進め方には、直進押石法と並行押石法がある(図2.24参照)。並行押石法では、面倒な根切り、まき出しなどの付随作業時間が20~25%を占めるのに対し、直進押石法では、約半分の10~12%で済み、その結果、作業量が25~30%増加するという例がある。



直進押石法は、常に投入口に向かってブルドーザが直線状に押石できるように切羽を設定してゆく。

並行押石法は、投入口と切羽が並行にあり、ブルドーザは旋回しながら押す必要がある。

図 2.24ブルドーザによる運搬作業方法

ブルドーザ押石でのベンチの幅と高さは、発破による起砕鉱石の広がり具合、ブルドーザの機幅などを考慮して決める必要がある。採掘切羽のベンチ幅はできるだけ広くとることが望ましい。この幅が狭いと、発破による起砕鉱石がベンチの幅一杯に広がって、ブルドーザでの押込み作業が困難となるばかりでなく、ブルドーザ転落の危険も伴う。

1) ブルドーザ作業能力の算定

ブルドーザの作業能力は、次式で算定する。

$$1\text{時間当り土工量} = Q \times f \times 60 \times E/C_m \text{ [m}^3\text{/h]} \dots\dots\dots (24)$$

Q : 排土板容量 [m³] 排土板が1回に押す土量を指し、排土板の幅を B [m]、高さ H [m] とすると、次式で求められる。

$$Q = 0.86BH^2 \text{ [m}^3\text{]} \dots\dots\dots (25)$$

f : 土量換算係数 土質により変化する係数である (表2.3参照)。

E : ブルドーザ作業効率 [%] 運転者の技能、現場条件などにより影響される。

普通作業では 75~85 %

押上その他困難な作業では 65~75 %

C_m : 往復所要時間 [min] 一定の距離作業を行い、後進して作業開始の位置まで戻るに要する時間で、次式で求める。

$$C_m = d/v_1 + d/v_2 + t \text{ [min]} \dots\dots\dots (26)$$

ここで、 d : 運搬距離 [m]

v_2 : 後進速度 [m/min]

v_1 : 前進速度 [m/min]

t : ギヤ入替時間 [min]

表2.3 各種土質の土量換算係数

土質	土の状況	換算すべき状態			土質	土の現状	換算すべき状態		
		(A)	(B)	(C)			(A)	(B)	(C)
砂	(A)	1.00	1.11	0.95	石灰石、砂岩その他軟岩を破碎したもの	(A)	1.00	1.65	1.22
	(B)	0.90	1.00	0.86		(B)	0.61	1.00	0.74
	(C)	1.05	1.17	1.00		(C)	0.82	1.35	1.00
普通土	(A)	1.00	1.25	0.90	花崗岩、玄武岩その他硬岩を破碎したもの	(A)	1.00	1.70	0.31
	(B)	0.80	1.00	0.72		(B)	0.59	1.50	0.77
	(C)	1.11	1.39	1.00		(C)	0.76	1.30	1.00
粘土	(A)	1.00	1.43	0.90	小割した石塊	(A)	1.00	1.75	1.40
	(B)	0.70	1.00	0.63		(B)	0.57	1.50	0.80
	(C)	1.11	1.59	1.00		(C)	0.71	1.24	1.00
砂利	(A)	1.00	1.13	1.03	爆破した岩石の大塊	(A)	1.00	1.80	1.30
	(B)	0.88	1.00	0.91		(B)	0.56	1.00	0.72
	(C)	0.97	1.10	1.00		(C)	0.77	1.33	1.00

注) (A) 自然状態のまま, (B) 掘り緩めた場合, (C) 締固めた場合

2) ブルドーザによる運搬の長所と短所

長所

- グローリホール法の残鉱採掘などのように運搬距離が短い (30~40 m) 場合, 高い能率をあげられる。
- 他の機種との連携なしに, 単独で作業し得る。従って, 稼働率をあげることができる。
- 切羽までの道路が急勾配でも通行が可能であり, 急峻な山頂部での採掘に適する。

短所

- 作業に熟練を要する。オペレータの技量が作業量に大きく影響する。
- ブルドーザの振動が激しく, オペレータの疲労が大きい。

(4) 運搬道路

運搬道路には, 鉱石, 原炭を選鉱・選炭プラントへ運搬するような半永久的に使用するものから, 採掘区域内の剥土運搬道路のように一時的なものまで種々あるが, いずれにしても重車両を大量に通過させることには変りない。

露天採掘の作業別コストから見ると, トラックが運搬手段の主体である場合は, 運搬関係の経費が30~40%を占め最も多い。道路管理の良否が大きく影響するので, 道路造成と維持には特段の意を要しなければならない。

1) 路線の選定

路線は、なるべく排水良好で地盤の堅固なところを選ぶとともに、ダンプトラックの運搬道路は見通しのきくことが大切なので、できるだけ直線的に設けるべきである。若干土岩の切取量が増えても、あえてこれを行わなければならない。

カーブは単一カーブとし、極力Sカーブを避け、カーブの曲線半径は使用するダンプトラックの回転半径に適したものとする。

運搬道路の勾配は上り、下りとも限度を10%（約6°）とし、かつ、なるべく激変を避けるようにする。カーブ箇所や、やむを得ず急勾配とさせざるを得ない箇所もあるので、一般的には平均勾配が8%（4~5°）程度以下になるよう路線を決定する。特に、運搬距離が長くなる場合には、トラック運行能率の面に大きく影響するので、この点の配慮が肝要である。ただ、最上段のベンチへの取付け道路などで、ブルドーザやクローラドリルの通行専用のものは、平均20%（約11°）局部的には30°程度まで許容される。

車線の幅員は、車幅に路肩および余裕を加えたもの（側溝は含まない）とするのが標準である（2車線の場合はこの倍となる）。

2) 路床の構築

路床（路盤ともいう）と道路表層の良否は、トラック運搬に当っては極めて重要な問題である。融雪期に長期間道路がぬかるみになったり、通常程度の降雨で路肩が崩れるようでは、到底正常な操業は維持できない。

岩質によっては、切り通したままの状態でも長期間使用に耐えられる場合もあるが、軟弱岩質地帯に設けたトラック運搬道路では、所要の路床構築が必要である。要は、できるだけ堅固な地盤に強固に路床を築くことであり、通常路床の厚さは、普通ダンプで30 cm以上、大型ダンプでは60 cm~1 mである。路床の材料は栗石、プレーカ硬^{はた}など現地でも最も安価大量に入手できるものを活用する。表層は土砂道の場合は砂、砂利、シャモットなどを敷き詰め、10 cm程度の厚さに転圧仕上げとする。

表層を舗装するか否かはいちがいには決められないが、常識的な基準としては、5年以上使用する道路では舗装道路の方が経済的であるとされている。これは、トラックの稼働率から見た場合、良好に維持管理されている土砂道では舗装道路に劣らないが、タイヤの寿命は舗装によって20~50%伸ばすことができ、燃料消費量も10~20%下げられるからである。

3) 走路の維持とトラック運行上の一般的注意事項

トラックが最大のスピードで、しかも足まわりの破損摩擦防止ができるよう、走路の造成維持を徹底することが、運搬コスト低減に是非とも必要である。

道路が地並より高い時は、き裂が入ると崩壊に繋がるので、き裂の徴候を見たら法面に捨硬をし、法面押えをして走路の崩壊を防止しなければならない。表層の不陸直し（凹凸の修復）は、主としてグレーダで行い、必要に応じ時折、砂利、シャモットなどを新たに敷き込み、転圧を行

う。また、散水車で随時散水を行い、粉じんの発生飛散防止をはかることも必要である。

また、排水溝もよく点検し、走路に水が溢れないよう、土砂を浚（さら）っていち早く修復する。特に、暗きょ入口のストレーナ詰まりや山肌からの転石落石類発箇所での側溝詰まりはよく起こるので、頻繁に点検すべきである。

路肩の崩壊あるいは山肌の落石などの恐れがある危険箇所については、運行の制限、危険標識の整備、関係者への周知徹底など、応急の措置を迅速、かつ、誤りなく講ずべきである。

土岩の捨て場、クラッシャ、選炭機への入口など、各方面からのトラック出入が多く、交通の錯そうする箇所には、必要に応じ信号機の設置や交通整理員、誘導員を配置することが望ましい。

なお、公道を使用する場合、積荷の土岩、石炭などの道路上への荷こぼれ散乱を極力起こさぬよう配慮するとともに、時折の清掃も必要である。鉱業用地から公道への出口付近にタイヤ洗浄設備を設け、公道を汚さぬよう配慮している事業所も増えてきており、これなどはいわゆるダンブ公害に対する住民感情を和らげ、事業の円滑な遂行のためにも好ましいことといえる。

露天鉱山における災害で、運搬関係の災害は、災害発生の数と程度で際立っている。トラック運行の面では、日常の始業点検並びに車両の定期点検整備等の事項についての社内の保安基準を設け、これに基づき関係者に対する教育を図る必要がある。

2 積込・運搬機械

(1) 積込・運搬機械

露天採掘における主な機械積込の機種は、パワーショベル、クローラ式トラクタショベル、およびホイール式トラクタショベルの3種である。

1) パワーショベル（図2.25参照）



図2.25 パワーショベル

パワーショベルという呼称は、かつては主としてワイヤロープの巻上げにより掘削を行うものを指していたが、最近では、自走し得る下部走行体（車体架構）の上に旋回する掘削装置（フロントアタッチメント）を備えた油圧ショベルを指している。

走行体には、クローラ式、ホイール式、トラック式（トラックのシャーシに上部旋回体を載せたもの）があるが、ほとんどがクローラ式である。

小型のパワーショベルは、通常フロントアタッチメントを取り替えることにより、種々の作業に使用可能であり、ショベル系掘削機と呼ぶ。

油圧ショベルは、バックホー形のアタッチメントを備えたバケット容量2～15 m³のものが一般的である。バケット容量がさらに大型で、積込の際には底蓋が開くボトムダンプ形のアタッチメントを備えたものもあり、特にローディングショベルと称する。鉱石すくい込みの際、ワイヤロープを使った

パワーショベルのディップは円弧に近い運動であるが、油圧ローディングショベルでは、数個の油圧シリンダを自動制御し、バケット底面をフロアに接したまま手前から前方に水平に押し込むことができるので、運転操作は容易で、作業者は比較的短期間のうちに習熟できる。

パワーショベルの長所

- ① 積込サイクルタイムが短く、バケット容量のわりには能力が大きい。
- ② ダンプトラックは一箇所に停止したままで積込みが可能である。
- ③ リーチが長く、切羽高所の浮石を落し得る。
- ④ 寿命（耐用時間）が長い。
- ⑤ ランニングコストが低い。
- ⑥ 掘削力が大きい。

パワーショベルの短所

- ① 機動性が悪く、足回りが弱い。従って、発破退避などで頻繁に動く必要のある所では能率が悪く、足回りの故障も多く、これが最大の欠点である。
 - ② 能力の割合には、購入価格が高い。
- 2) クローラ式トラクタショベル（図2.26参照）



図2.26 クローラ式トラクタショベル

クローラショベルまたはドーザショベル、あるいは単にトラクタショベルなどと呼ばれる。

ディーゼルエンジンを搭載した無限軌道式トラクタに、作業装置として油圧で操作するバケットを装着している。クローラ式であるからスリップが少なく、重心も低いため、小型でも掘削力があり、切羽のほか、剥土や剥岩のような整地が不完全な場所における積込機械として優れている。また、バケットを地盤に沿わせて走行すれば、ブルドーザの代りとなり、発破後の飛散した鉱石のかき集めにも使用できる。パワーショベルと異なり、バケットにより大塊の破碎はできないので、運転員は、1次クラッシャ給鉱口の大きさを考慮して、すくい込中出現する大塊をはねのけなければならない。ブル

ドーザと同じく乗り心地の悪いのが欠点の1つである。

バケットの容量は0.2～4.5 m³であるが、切羽での積込みには、1.4～3.0 m³程度が多い。バケット容量1.4 m³で全装備質量13 t、エンジン定格出力80 kW、3.2 m³で28 t、175 kW程度である。

3) ホイール式トラクタショベル（図2.27参照）

ホイールローダ、ショベルローダ、ペイローダ、タイヤ式フロントエンドローダなどと呼ばれる。クローラの代りに4輪のタイヤ付ホイールを備えており、露天採掘で広く用いられている。

最も大きな長所は、優れた機動性にあり、切羽間の移動や発破退避のための時間のロスが少ない。

また、切羽からプラントまでの距離が近い場合には、ロードアンドキャリー方式という自走運搬が可能であり、100 m程度の距離の場合は、最も有利な運搬法である。運転中の振動が少なく、乗心地の良いのも利点である。

欠点は、高タイヤコストで、タイヤ損傷摩耗防止にタイヤチェーンを装着することもある。

バケット容量は、国産品では1~20 m³、輸入品では30 m³まで使われている。バケット容量6 m³で約全装備質量45 t、エンジン定格出力300 kW、10 m³で93 t、500 kW程度である。

4) ブルドーザ (図2.28参照)



図2.28 クローラ型ブルドーザ

ブルドーザの基本的能力であるけん引力が自重により決まるためであり、機関出力は、普通第1速では、履帯(りたい：無限軌道、キャタピラ)がスリップするまでの十分な大きさを採る。我が国では運転整備質量2~90 t程度の機種が使用されている。

ブルドーザのアタッチメントには多くの種類がある。排土板を左右に振ることができるものをアングルドーザといい、最も一般的である。排土板の向きが車体に対し直角方向に固定され、前方への張り出しが少なくなっているものをストレートドーザといい、重掘削作業に適する。またストレート形で、特に大量処理に適するよう、排土板の両端を前方に少し折り曲げた形のをUドーザという。このほか、抜根用レーキドーザ、除雪用のスノープラウなどもある。ブルドーザの後部に取り付けるアタッチメントとしては、リッパが最も多く、他に、バックホー、クレーン、トウイングウインチなどがある。これらのアタッチメントは油圧により操作するのが普通である。

5) ダンプトラック (図2.29参照)

建設用(オフロード形)として用いる、一般的な形式のダンプトラックの機構を次に記す。

- ・ エンジン形式 すべて軽油を燃料とするディーゼルエンジン。



図2.27 ホイール式トラクタショベル

トラクタに付属装置(アタッチメント)として排土板(土工板)を取付けたものを、一般にブルドーザと呼ぶ。ブルドーザは露天採掘で広く用いられている。

クローラ型とホイール形に大別できるが、一般にはクローラ型が用いられる。

ホイール型をタイヤドーザと呼び、走行速度が速く、舗装路面を走行できる利点はあるが、軟弱地盤に弱く、発揮できるけん引力が小さいので、我が国



図2.29 ダンプトラック

- ・ダンプ方式 後方に荷をあけるリヤダンプ型が主流。
- ・バッセル形式 荷台は平底箱形とV形があるが、大型ではV形が多い。
- ・駆動方式 1軸後輪駆動で、軸距を短くし、回転半径を小さくしている。

積載量は、我が国鉱山では、昭和30年代は過半数が10～15 t級であったが、40年代に至り15～32 tが多く用いられ、現在では32～45 t積みが主流となっている。大型鉱山においては60 t～180 tのものが使われてお

り、外国では、大型でディーゼル発電機を備え、電動機駆動の360 t（ショートトン）ダンプもある。

(2) 積込・運搬機械の整備

積込・運搬機械に限らず、露天採掘に大型重機が数多く使用されており、これらの稼働率を上げるため、整備の重要性は一層増している。整備の目的は「機械を常に完全な状態に保つとともに、故障の徴候を早く発見することによって、故障を未然に防止し、あるいは故障をできるだけ小範囲に止めること」である。ここでは、一般的に必要とされる整備の概略を述べる。

1) 日常整備

日常整備とは、作業現場において、稼働期間中、機械の機能を保持するために行う手入れの総称であって、機械各部の清掃、点検、給油、調整、消耗部品の交換などが含まれる。これらの手入れは、定められた基準に従って毎日あるいは一定期間ごとに行わなければならないものがあり、通常、毎日整備、毎週整備、毎月整備というように区別している。

日常整備は、その作業内容が比較的単純であり、オペレータの責任において行われるものであるが、この良否が機械の稼働率、寿命にも大きく影響してくるので、確実に行うことが必要である。

整備の実施を確実にするためと機械の状況を記録に残す意味で、点検表（チェックシート）に結果を記録することが必要である。

① 毎日整備

通常、アワメータで5～8時間ごとに行う整備で、作業前（始業）点検と作業後（終業）点検がある。作業前点検は、エンジンのウォーミングアップ（暖機運転）を含め、点検を主として短い時間で行い、エンジンの燃料、潤滑油の点検、冷却水の点検、補給、ボルトなどのゆるみ・脱落の点検、水もれ・油もれの点検、エンジンの調子の点検などである。エンジンのウォーミングアップは、無負荷低速で5分以上、寒冷地では10分以上必要である。作業後点検では、エンジン停止前に5分程無負荷運転を行った後、点検のほか燃料補給、給油脂を行う。

② 毎週整備

アワメータで、30～60時間ごとに行うもので、毎日整備では手の届かぬ事項や、潤滑油の補給・

交換，クラッチ・ブレーキなどの調整，消耗部品の交換，機械の清掃などを行う。所要時間は機種によって異なるが，1～2時間程度，曜日を決めて，確実にすることが望ましい。

③ 毎月整備

アワメータで，120～240時間ごとに行う整備で，次の1か月間無故障で稼働できるよう完全に行う。あらかじめ日を決めて行うのが望ましいが，作業の繁閑を見計らい，実施している場合もある。所要時間は半日程度である。

2) 定期整備

定期整備とは，日常整備では実施できない部分の整備を主目的としたものである。定期整備の時期を判断するには，次の2つの方法がある。

- a) 機械各部の状況を検査して決める。
- b) 機械の稼働時間の一般的基準により決める。

定期整備は，機械の分解，計測，検査，修正，組立，調整を行うもので，完全に行うには，それだけの技術と設備を持った整備工場を必要とし，整備工場を持たない鉱山では，修理専門工場あるいはメーカー整備工場で行うのが普通である。この場合，できればオペレータも整備工場に同行し，自分の使用した機械の分解，組立状況を実習することが望ましい。

3) 潤滑と給油脂

重機械を取り扱うに当って，最も重要な管理の1つに潤滑管理がある。潤滑油の質が不適當であったり使用量が少な過ぎたりすると，機械の寿命を損ない，上質の油脂類を必要以上に使うことはコスト面では，かなり大きな損失である。定期的に潤滑油を採取し，含有金属粉を分析して摩耗箇所や摩耗の進行状況を把握することも行われている。

① 潤滑の目的

潤滑剤の使用目的は，機械の軸受，歯車などで発生する金属間の固体摩擦を潤滑剤の流体摩擦に変え，摩耗や焼付を防止し，摩擦によるエネルギー損失を防ぐことにある。

潤滑剤の効果をさらに細かく分けると，次のとおりである。

- ・ 減摩効果 金属と金属の接触摩擦を潤滑剤の内部摩擦（流体摩擦）に変えて摩耗を防止する。
- ・ 冷却効果 接触部分の発熱を，潤滑油を媒体として放散させ，冷却作用をする。
- ・ 応力の分散 ボールベアリングや歯車などの接触部は，点や線のような極めて小さな面積で荷重を受け，その圧力は非常に大きい。潤滑油は，圧力を分散し，実際の作用圧力を軽減する。
- ・ 密封効果 エンジンのシリンダとピストンの間の潤滑油は，その間の圧縮ガスの漏えいを防ぐ。
- ・ 防錆および防じん効果 金属面の錆を防止し，また，塵や埃の侵入を防ぐとともに洗い落とす。

② 潤滑油の種類

重機械類に使用する潤滑油には，エンジン油，ギヤ油，グリース，油圧作動油がある。重機械

類のディーゼルエンジンは過酷な条件で使われる場合が多いため、各種の添加剤を加えたヘビーデューティ（HD）タイプのディーゼルエンジン油を使用する。グリースにはその用途により、シャーシグリス、ホイールベアリンググリース、ウォータポンプグリースなどの名称があるが、すべての用途に適するマルチパーパスグリース（万能グリース）もある。

潤滑油は、異種のを混合してはならない。同種であっても、メーカーの異なるものは混ぜない方がよいとされている。使用潤滑油の種類が多いと管理が面倒になるのが、近年のエンジンオイル等は電子制御等を行なうため、各機械専用のものが増えており、各機械別に銘柄を管理する必要がある。

③ 給油脂上の留意点

- a) 油脂中に、水、塵や埃、異物などを混入させない。使用するジョッキやじょうごは良く洗った後使用し、給油口の蓋やレベルプラグを取る前には、周辺の泥、塵や埃を拭いとる。
- b) 潤滑油の交換は、運転終了直後のまだ液温が高く、塵や埃が攪拌されて油中に浮遊しているうちに排出して行く。排出の際は車体を水平にしておく。
- c) 潤滑油を交換する場合は、注入口のろ網、ブリーザ（空気抜孔）、ドレンプラグのマグネット（鉄くずを吸いつけるように磁石になっている）も清浄にする。エンジンオイルの場合は、交換と同時にオイルフィルタ（ろ過器）のエレメントも取りかえる。
- d) ボールベアリング、ローラベアリングに給脂する場合、グリースがベアリング空隙に一杯になるほど入れると、回転の抵抗を増し過熱することがある。ベアリングの場合は、その空隙の1/2～1/3程度入れるのが適当である。

3 モービルクラッシャ（図2.30参照）

移動式破碎プラントは、採掘ベンチの進行に伴い移動できるので、切羽から破碎プラントまでの運



図2.30 モービルクラッシャ

転距離を短くでき、少ない積込・運搬機械の台数で能率が上がる。

走行装置は、タイヤ式、クローラ式あるいは油圧式ある。また、積込・運搬は、ホイール式トラクタショベルによるロードアンドキャリア法あるいは油圧ショベルで、直接プラントのホッパに投入する方式が一般的である。

破碎プラントに使用する破碎機は、ジョークラッシャが一般的であるが、コーンやインパクトクラッシャを積載するものもある。石灰石鉱山では破碎処理量100～1,000 t/hで稼動しているが、今後さらに大型の破碎機が使用されよう。

4 立坑方式の地下施設

(1) 立坑

1) 位置の選定

次の個々の検討とこれらの総合的な判断から、最も合理的と考えられる位置を選定する。

- ① 採掘ベンチ切羽で、運搬に最適な位置
- ② 地下施設中で、運搬に最適な位置
- ③ 地下施設建設費の節減、建設中と操業時の保安と作業能力向上に適した岩盤良好な箇所

2) 立坑断面の径・寸法

立坑断面の形状は円または四角形であるが、円形断面が多い。立坑の径あるいは寸法が大きいほど大塊による立坑詰り等のトラブルが少ないが、建設工事の費用・保安面から限度がある。立坑へ投入する原石の最大サイズは、小割室のグリズリ間隔、クラッシャの給鉱口サイズ等から決定する。多くの石灰石鉱山では、立坑径・寸法として、原石最大サイズの4～5倍（4～6 m）を採用している。

3) 長さ

残壁や他の地下施設との位置関係から、立坑間に大塊BC坑道を取り、分割する例等もある。立坑長は各山の状況により大きな違いがあり、100 m～700 mの幅がある。

(2) 小割室

立坑底に大塊を処理する小割室を設けるのが一般的であるが、小割室がない鉱山もある。その場合には、グリズリがない小割室とほぼ同規模の減圧室を設け、立坑中の原石の荷重を積込・給鉱設備が直接受けないようにする。

一般的な小割室の構造を、図2.31に示す。

立坑底から小割室（または減圧室）までは傾斜角45～60°のシュートとなっており、シュートの小割室出口上部の突き出た部分を「アゴ」と呼んでいる。アゴによりグリズリ上にうまく原石が流れ出し、小割室での作業が安全、かつ、能率的に行える。従っ

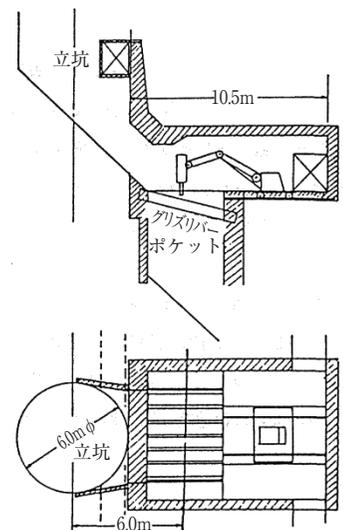


図2.31 小割室の構造

て、アゴの位置の設定とアゴの形状は重要なポイントである。最近では、アゴを岩盤のみで造らず、鋼材や鉄筋コンクリート等の構造物で造る、あるいは補強する例が多い。

(3) 破碎室

現在、立坑または中間貯鉱槽から、原石をエプロンフィーダやロールフィーダにより拔出し、破碎機に給鉱する方式が一般的である。かつては、フィンガーゲートやチェーンフィーダにより原石の流下を制御する方式が使用されたが、現在では一般的ではない。一次破碎機はジョークラッシャあるいはジャイレトリークラッシャが使われる例が多い。

(4) 坑道

坑道は、坑外から地下施設への通路である。資材運搬路、通勤路、通気坑、排水路であり、また、破碎室から坑外への鉱石の運搬路でもある。岩盤の悪い所は支保工を施すが、石灰石鉱山では素掘りの水平坑が一般的である。かつては、鉱車による運搬も行われたが、現在は、原石運搬はベルトコンベア、資材運搬、通勤等は自動車で行われる例が多い。

(5) 補助坑

普通、立坑には副（そえ）立坑または連立坑と呼ばれる立坑詰り（発破やエア、水の投入等）トラブル処理あるいは水抜き用の小断面の立坑が設けられるが、最近では、補助立坑を設けない例が多い。実際、立坑建設が完了し、操業を開始すれば、粉鉱や粘土分のたい積、主立坑壁の拡大により補助坑の使用が不可能となる場合が多い。

(6) 立坑方式の保安

1) 小割室の作業

小割室のグリズリ上で、大塊にせん孔・発破処理をする作業並びにグリズリ上でかみ合った原石をバール等で動かす作業は、現在ではほとんど行われなくなった。現在の石灰石鉱山では、小割室にテレビカメラを設置して、グリズリ上を監視しながら小割機を遠方操作し、小割あるいはかみ合った石を動かす方式が一般的である。このため、小割室の作業の安全性は著しく高くなった。

2) 立坑詰り

大塊のかみ合、粘土分の多い原石によるブリッジ現象等、種々の立坑詰りが生じる原因はある。これらの処理には、補助坑からの発破、投入口からの注水等の方法を探るが、非常に危険である。大量の宙吊り原石が落下する際、圧風等による危害が生じる恐れがあるので、人員の立坑付近への接近時には、十分連絡・安全対策を講じる。

第5節 岩盤崩壊の対策

1 崩壊の原因

(1) 崩壊モード

岩盤斜面の崩壊モードは、その生成機構から、次のように分類できる（図2.32参照）。

① 落石

斜面上の岩石が、風化や浸食凍結作用を受けてゆるみ、岩盤から分離して、落下する現象である。これは斜面傾斜が風化生成物の安息角より大きい場合に生じる。また、落石は斜面崩壊の前兆を示す場合も多いので注意する必要がある。

② 円形崩壊

斜面の一部が円形滑り面に沿って回転崩壊する現象である。土や均質な軟弱岩盤あるいは断層破碎帯のようにき裂が無数に発達した岩盤などにおいて見られる。一般に滑り面の下端は法尻(トウ部)を通る場合が多い。

③ ブロック崩壊

割れ目や節理等の発達した岩盤の場合に、初めに最も弱いブロックが破壊し、これが次々に波及して、ついには斜面全体に至る現象である。崩壊の初期には落石を伴うことが多い。

④ 平面崩壊

節理、断層などの構造的不連続面あるいは連続した構造的弱面に沿ってせん断破壊を生じ、滑り落ちる現象である。岩盤崩壊の大部分は、これに属する。斜面の形状に対してこの連続した不連続面(弱面)の位置、方向、傾斜が不適当な場合に崩壊が生じる。また、斜面上あるいは斜面頂上背後における垂直な引張り裂の発生は、この崩壊を一層助長する。

⑤ くさび崩壊

2つの構造的な不連続面(弱面)が交差し、かつ、その交差線が斜面によって切られた場合に、この2つの不連続面に挟まれたくさび状の部分がせん断破壊し、滑り落ちる現象である。これは上述の平面破壊の組合せと考えることができる。

⑥ 転倒崩壊(トップリング)

斜面の奥の方に向かって急角度で傾斜した節理の発達している岩盤の場合に、節理によって分離した板状岩石が重力によって引張り破壊を起こし、斜面側に次々と倒れる現象である。

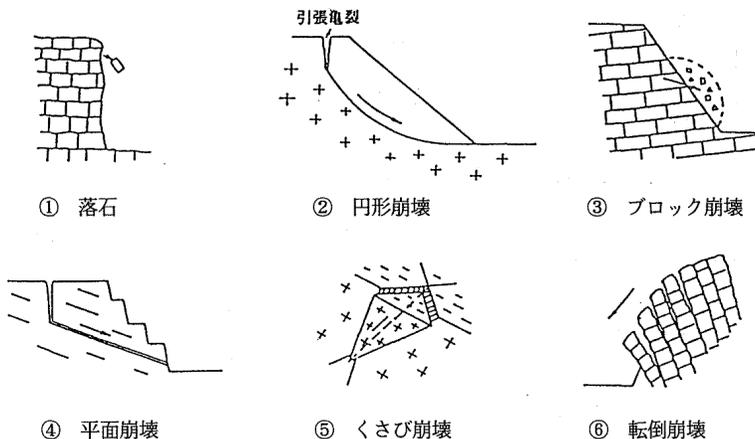


図2.32 岩盤斜面の崩壊モード

岩盤斜面の崩壊モードとして以上6つのモードが考えられるが、そのうち③、④、⑤の3つが重要であり、岩盤斜面崩壊の大部分がこれに属する。

岩盤斜面の崩壊は、主として岩盤内の構造的不連続面に基づく場合が多く、岩石自体の強度とはあまり関係がない。平面崩壊に対する斜面の安全率は、滑動岩盤ブロックの高さに反比例するので、いかなる斜面においても斜面トウ部を通る滑りが最も起こりやすい。なお、斜面トウ部には一般に応力の集中が見られる。ピット斜面が高くかつ急傾斜になるほど、この応力の集中度が増大する。

また、緩やかな斜面より急傾斜の岩石斜面の方が崩壊の危険性が高い。これは節理およびそれらの組合せが、不安定な方向で斜面により下透かしされる確率が、急傾斜の場合の方が高いからである。

(2) 基本的な崩壊機構

岩盤斜面の崩壊は、不連続面に沿ったせん断破壊（滑り）が大部分である。これは、物体が斜面上を滑る場合と同じように取り扱うことができる。

重量 W の岩塊が傾斜 β の斜面上にあるとし（図2.33参照）、粘着力を c 、内部摩擦角を ϕ とすると、岩塊がすべり落ちることが妨げるせん断抵抗（抵抗力）は、 $cA + W\cos\beta \cdot \tan\phi$ である。ここで、 A は岩塊の底面積である。岩塊を下向きに滑らせようとするせん断力（外力）は、 $W\sin\beta$ であり、外力と抵抗力とが等しい場合が、限界平衡の状態である。すなわち、

$$W \sin \beta = cA + W \cos \beta \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (2.7)$$

もし、 $C = 0$ ならば $\beta = \phi$ となる。

岩塊に水圧が作用している場合は次のように考えることができる。岩塊の上方の面に作用する水圧の合力を V （斜面に並行）、底面に作用する水圧の合力 U （斜面に直角）とすれば限界平衡状態の場合は次式のようなになる。

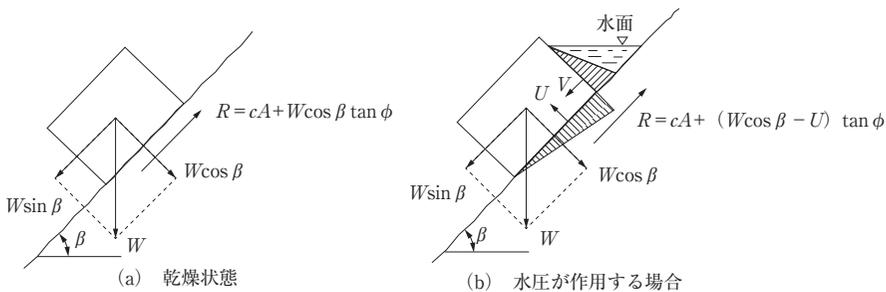


図2.33 岩盤斜面の抵抗力・外力の平衡状態

$$W \sin \beta + V = cA + (W \cos \beta - U) \tan \phi \dots \dots \dots (2.8)$$

この場合, 岩塊を下方に滑らせようとするせん断力 (左辺) は増加し, 滑りを妨げるせん断抵抗 (右辺) は減少する。従って, 水圧が存在すると岩盤斜面は乾燥状態のときに比べて不安定側に向かうことが分かる。

せん断抵抗 (抵抗力) とせん断荷重 (外力) との比を安全率Fと呼ぶ。すなわち,

$$F = \frac{\text{せん断抵抗 (抵抗力)}}{\text{せん断荷重 (外力)}} \dots \dots \dots (2.9)$$

従って, 水圧がある場合の安全率は,

$$F = \frac{cA + (W \cos \beta - U) \tan \phi}{W \sin \beta + V} \dots \dots \dots (2.10)$$

となる。

(3) 崩壊の原因

岩盤斜面の崩壊原因は, 地質など岩盤が本来有している特性 (素因) と, 降雨, 地震などの外的要因 (誘因) とに分けられる。

1) 崩壊の素因

① 地山の強度

硬岩からなる岩盤斜面では, 不連続線に沿ったせん断破壊 (滑り) がほとんどであるため, 地山の破壊はその崩壊にはあまり関与しない。これに対し, 軟弱岩盤やき裂が無数に発達した岩盤斜面では, 地山部分において崩壊する可能性があるため, 地山の強度が関係してくる。

② 地質構造上の不連続面

節理, 断層などの地質構造上の不連続面は, 地山の強度以上に斜面崩壊に影響を及ぼす。特に, 不連続面 (走行, 傾斜) と斜面 (走行, 傾斜) との組合せが大きな問題となる。

一般に, 不連続面の傾斜が斜面の傾斜と同じ方向にある場合を「流れ盤 (流れ目)」, また, この逆の場合, すなわち不連続が斜面から奥に向かって下向きに傾斜している場合を「受け盤 (差し目)」と呼んでいる (図 2.34参照)。

流れ盤は不連続面に沿って滑りを起こしやすく, しかも突発的なことが多い。しかし, 滑りの規模は不連続面の間隔にもよるが概して小さい。

一方, 受け盤は流れ盤に比べると比較的安定している。しかし, 風化の進行などにより崩壊が起ると, 大規模になることが多い。

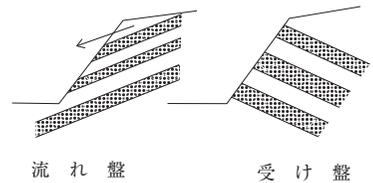


図2.34 地質構造上の不連続面と斜面の方向

2) 崩壊の誘因

① 発破振動

発破振動は、岩盤内部にき裂の発生あるいは既存き裂の開口などを誘発する。また、これらき裂開口などは、地下水などととも、風化促進の一因となる。

② 応力解放

斜面の掘削（切り取り）は、応力を解放することになる。この結果、不連続面における垂直応力の減少、せん断応力の低下、斜面安定性の低下を招く。また、応力解放による不連続面のゆるみやき裂の開口は、斜面内への水の浸透を増大させ、降雨時の地下水位の急激な上昇と斜面内の背面圧の上昇を招き、斜面の安定性に大きな影響を及ぼす。

③ 風化

地山や不連続面部分の風化が進行すると、それらの強度低下を招き、斜面は不安定側へ向かう。

④ 地下水

地下水は斜面崩壊の大きな誘因の1つである。すなわち、地下水位が高い場合や降雨などの地表水の浸透によって地下水位が急激に上昇した場合には、斜面内の水圧（背面圧）の上昇や不連続面のせん断抵抗の低下を招く。

⑤ 地震

地震は、岩盤斜面の力学的な劣化を促進するとともに、外力として斜面へ作用するため斜面崩壊の誘因となる。

2 対策工法

露天掘鉱山における斜面安定の目的は、岩盤を安定に保ちながら経済的効果を最大にするようにその傾斜を設計し、かつ斜面崩壊が起こらないようにして保安上並びに作業上のトラブル発生を防止することである。これには、露天掘作業期間中の刻々と変わる斜面（いわゆるベンチ）の安全と、終掘後の最終残壁の安全とが含まれる。

斜面は、一般に急傾斜にするほど、剥土比の低減と可採鉱量の増加をもたらす。その上、開発初期の剥土量を減らしてコストの縮減を図ることもできる。しかし、一般に急傾斜にするほど斜面の安全性は低下する。経済性を重んじる余り斜面崩壊を起こせば元も子もなくなる。従って、斜面崩壊や作業上の危険が防止できる範囲内で、斜面傾斜をできるだけ急にすることが一般に望まれる。ピットの全傾斜は、岩盤の悪いところで $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 、非常に硬い岩盤では 60° 以上になることも珍しくない。

(1) 地下水対策

① 斜面内の水抜き

潜在的な崩壊斜面付近の水圧を消散させ斜面を安定化するため、斜面に適当な間隔で水抜き孔を設ける。岩盤内部の地下水位を下げても極めて有効な方法である。斜面内の水抜きは垂直ボアホール、水平ボアホール、坑道などを用いて行う。

② 雨水の浸透防止

露天掘鉱山周辺から鉱山内への雨水の流入を極力抑えるため、雨水の集・排水路を設けること

や路面の舗装を行い、点検整備を行う。また、各ベンチからの雨水浸透を少なくするため、排水路の整備を行う。

(2) 地震対策

① 斜面の形状変更

斜面の傾斜を緩傾斜にする、ベンチ高さを低くする、犬走りの幅を広くする、あるいは斜面頂上部の岩石を除去することなどは、外力を減らすことになるので、地震対策となる。

② 発破方法の改善

斜面岩盤への影響を小さくし、しかも整形効果のあるプレスプリット発破法等の制御発破法の採用によって、岩盤内部のき裂の発生あるいは既存き裂の開口などを抑えることができるので、地震対策としても有効である。

③ 機械的補強

グラウト、アンカーボルト、モルタル吹付けなどによって、斜面を機械的に保護・補強する。また、コンクリート擁壁等で補強する方法もある。

(3) その他の対策

① 大型運搬機械に対する対策

近年、大型運搬機械が投入される機会が多くなったので、これに対する対策が必要である。

② 排水対策

台風や豪雨時の集中豪雨に対する排水対策も必要である。

③ 盛石（盛土）

残壁面に盛石を行なうことで、斜面及び残壁面の安定を図ることが出来る。

(4) 景観保全

露天採掘鉱山においては、採掘ベンチのレベルダウンに伴って、その周辺部には残壁の斜面が形成される。斜面は終掘後も永久に残り、鉱業権者はこれの管理責任の義務を負う。

鉱業の実施によって破壊された自然環境を、できるだけ自然に近い状態に復元するため、採掘残壁をはじめ登山道路の法面、表土集積場等においては植栽による緑化が行われている。

緑化の目的は、次の2つである。

- a) 雨水による浸食や洗掘等の自然崩壊に対する安定性の維持
- b) 景観の保持（改善）
- c) 自然環境の回復

緑化は植物の持っている自然の復元力を利用し、植物の遷移を促進するというのが考え方の基本になるが、このためには、次のような対処が必要である。

- a) 植物の発芽、成育に適する環境造成……………岩盤では客土、土壌流出防止
- b) 地域特性に応じた草木の選定……………現場周辺の自生植物
- c) 植生促進のための維持、管理……………乾燥防止、施肥、観察記録

3 維持管理

斜面安定に関する計測技術では、弾性波法や電気探査法による地質構造調査、孔内ひずみ計や傾斜計、水位計等による岩盤内部状態の把握、また、地表では光波測距儀等を利用した定点測定や精密伸縮計によるモニタリングシステム等が鉱山で実用化されている。

岩盤斜面がぎりぎりのところで安定を保っている場合には、豪雨などによる地下水圧の上昇、地震、発破などが引金となり、急激に崩壊を生じることがある。しかし、通常斜面が崩壊する場合には何らかの兆候がある。現在、斜面崩壊予知のモニタリングには、斜面変位の計測、斜面内に発生する破壊音の計測、引張り裂の監視や計測などがある。斜面変位の計測には、エキステンソメータ、光波距離計などが用いられ、近年ではGPSや合成開口レーダを用いたモニタリングも行われる。

残壁の管理は、主として保安係員の目視による定期点検が行われているが、斜面の変化、変形速度は非常に遅く、異常の早期発見には目視と並行して定期的な計器による観測が必要である。

4 安定解析

残壁の安定性を評価・予測するためには、実際の岩盤状態・挙動を正確に把握し、それらを考慮した合理的な解析手法を採用する必要がある。しかし岩盤は天然物であることから、その性質や構造を正確に評価することは不可能に近い、また、解析法としても、岩盤の全ての性状を考慮した方法が望ましいが、現状の解析技術や計測技術のもとでは、非現実的である。

従って、解析において岩盤をモデル化する場合には、許容可能な範囲で問題を単純化することが不可欠である。いずれの解析法も、問題に応じて理想化・単純化された条件下において成立するものである。従って全ての解析法に一長一短があること、万能な方法はないことに留意して対象する問題に応じた適切な解析法を選択することが必要である。

(1) 限界平衡解析

極限平衡解析法とも呼ばれ、剛体としての力の釣り合い、すなわちすべり面におけるせん断応力とせん断強度の極限釣り合い状態を考えることによって安定性を検討する手法である。これは比較的簡易な計算方法であること、地震時の影響や地下水の影響も簡単な過程のもとに組込むことが出来ること、計算に必要な入力値が後述する挙動解析法に比較して少ないことから広く求められている手法である。岩盤傾斜の崩壊形態の中で、限界平衡解析法が用いられるのは、平面すべり、楔状すべり、円弧すべりなどの斜面崩壊である。

(2) 有限要素法 (FEM) 解析

有限要素法では、解析対象を複数の部分領域 (要素) の集合からなる連続体と仮定し、個々の要素に対して成立する方程式をすべて重ね合わせ、集合体全体に対して成立する方程式を解くこととなる。

(3) 不連続体の数値解析法

岩盤の力学的挙動は節理や亀裂等の不連続面に大きく影響され、対象によっては連続体を仮定した解析では十分な精度の解が得られず、不連続性を仮定した解析が必要になることがある。

不連続性を仮定した解析法としては、等価連続体解析法やジョイント要素等を用いる方法が使われる。

第2章 火薬類および発破

第1節 火薬類

1 火薬類の概念

(1) 火薬類の定義

火薬類とは、利用価値のある爆発物であって、熱や衝撃などの外力を適正に作用させると急激な化学反応を起こし、熱量と多量のガスを発生して、圧力の上昇を起こす物質（一般に固体、液体）をいう。この化学反応は発熱酸化反応で、一度反応が始まると、連鎖的に反応を継続する。生成ガス量は初めの物質の体積に比し、きわめて大きな容積を占め、周辺に対し非常に大きな圧力となり、反応速度によっては衝撃的な破壊力となる。

(2) 爆発現象

急激な速度で起こる燃焼を爆発現象（爆発）といい、その速度のちがいによって爆ごう（爆轟：デトネーション）と爆燃（ノッキング）とに分ける。

- ・ 爆ごう 爆発速度が2,000～8,000 m/sの急激な化学反応を爆ごうといい、衝撃波と強力なガス圧を伴う（例：雷管起爆の爆薬）。
- ・ 爆燃 300 m/s程度と反応速度が遅く、衝撃波がほとんどなく、発生ガスによる圧力を主とする反応を爆燃という（例：発射薬）。
- ・ 燃焼 熱と光を伴う遅い酸化反応を燃焼という。

2 火薬類の分類

(1) 法令による分類

火薬類取締法第2条による火薬類の分類を簡単に示すと、次のとおりである。

- ・ 火薬 黒色火薬、無煙火薬などの如く、推進的爆発の用途に供されるもの。
- ・ 爆薬 起爆薬、硝安爆薬、カーリット、ダイナマイト、ニトロ化合物、液体酸素爆薬などの如く、破壊的爆発に使用されるもの。
- ・ 火工品 工業雷管、電気雷管、導火線などのように、火薬、爆薬を使用して、加工・製造したものの。

(2) 組成による分類

火薬の組成上、化合火薬類と混合火薬類に分けることができる（図2.35参照）。

3 鉱山用爆薬の種類と成分

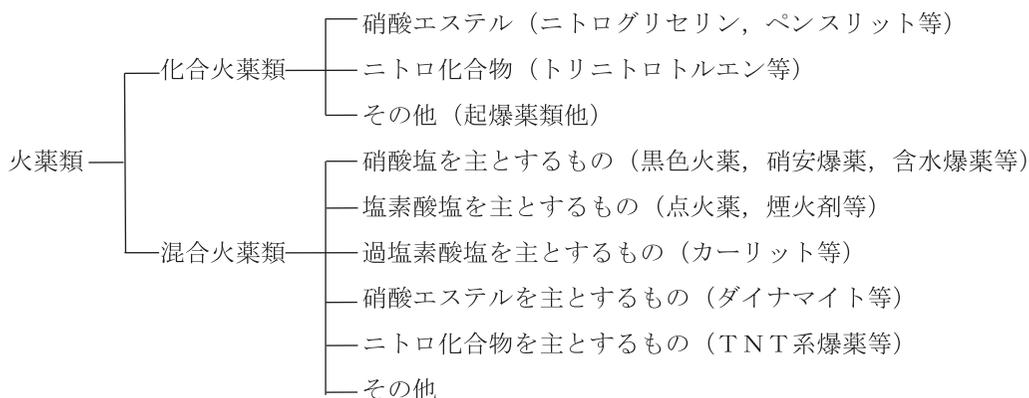


図2.35 組成による火薬類の分類

(1) 膠質^{こうじつ}ダイナマイト

膠質ダイナマイトは、綿薬でコロイド化（膠化）したニトログリセリン（NG）を基剤とした、可塑性のある爆薬である。鉱工業用には、桜ダイナマイト（NG約50%，硝酸カリ約40%）、桐ダイナマイト（NG30～50%，硝酸アンモニウムその他を含む。特桐，新桐，3号桐などの種類がある。）、榎ダイナマイトがある。しかし、近年ダイナマイトは使用されなくなり、平成28年3月末で国内におけるダイナマイトの製造を終了した。

(2) カーリット

過塩素酸塩を基剤とし、その含有量が10%を超える爆薬を、カーリットという。通常、過塩素酸アンモニウムを主成分とし、けい素鉄および重油、木粉などを加える。最も基本的なカーリットは、黒カーリットである。これは、爆発に際してCOを発生するので、坑外用に使用されている。

(3) 硝安爆薬

硝安爆薬は硝酸アンモニウムを主成分とし、鋭感剤としてニトログリセリン（NG）、トリニトロトルエン（TNT）、ジニトロナフタリンが添加されている。3号硝安爆薬、5号硝安爆薬、G硝安爆薬などの種類がある。

(4) 硝安油剤爆薬（ANFO爆薬）

硝酸アンモニウム（硝安）94%と軽油6%を成分とし、他の火薬類や鋭感剤を含まない。起爆時には、通常のダイナマイトや含水爆薬などの爆薬を起爆剤（プライマー）として用いる。

(5) 黒色火薬

黒色火薬は、硝石60～80%，硫黄10～20%，木炭10～20%を混合した粒状火薬で、爆燃するのを利用して、石材採取などの特殊な目的に使用する。

(6) 含水爆薬（スラリー爆薬およびエマルジョン爆薬）

含水爆薬とは、組成中に水を含む（含有率は通常8～15%）ことを特徴とし、スラリー爆薬とエマルジョン爆薬の2種類がある。成分には、水、硝酸アンモニウム、鋭感剤（アルミニウム、モノメチルアミンナイトレート、硝酸ヒドラジン等）、粘ちゅう剤、気泡剤、油剤、乳化剤等を含み、膠質またはゲル状である。衝撃、摩擦等に比較的安全であり、特に火炎では着火しにくい。耐水、耐湿性があり、水孔の使用に適し、後ガスは非常に優れており発煙量も少ない。

一般発破用、炭鉱用、耐熱用、スムーズブラスティング用等種々の製品がある。

(7) コンクリート破砕器

コンクリート破砕器は火薬類取締法では「火工品」に入り、発破による飛石、騒音、振動など周辺環境上、爆薬の使用ができない岩盤やコンクリートの破砕を目的に開発され、薬筒と点火具を一對として取扱う。ポリエチレン薬筒に入った粒状の可燃剤に、小型の電気雷管のような点火管を装着し電気点火する。この破砕薬は、密閉中で40～60 m/sの緩やかな速度で燃焼し、かつ高熱を発生してのガス圧で対象物を破砕する。

(8) 鉱山爆薬中の主な成分

① ニトログリセリン

工業用ニトログリセリンは、淡紅色、油状液体の三硝酸エステルで、比重1.6、凍結温度13.5℃。熱、打撃、衝撃、摩擦に極めて敏感で爆ごうする。常温では無臭で、わずかに刺激性の甘みがある。揮発ガスを吸入したり、皮膚に触れると、中毒を起こし、発熱、頭痛、めまいを発症する。

② ニトログリコール

ニトログリコールはニトログリセリンに混合してニトログリセリンの凍結温度を下げる。比重1.5、凍結温度-22℃。性質はニトログリセリンに似ているが、揮発性はニトログリセリンより大きく中毒しやすい。

③ 硝酸アンモニウム（硝安）

硝酸アンモニウムは比重1.73の白色結晶で取扱いの安全な硝酸塩であるが、爆発能力があり、鉱工業爆薬の主成分として使用される。過塩素酸アンモニウムとともに酸素供給剤でもある。貯蔵中に吸湿、固化しやすい。

④ 可燃性物質

酸素供給剤に対し可燃性物質として木粉、でんぷん、硫黄、けい素鉄、重油、軽油などが用いられる。

⑤ 鋭感剤

硝酸アンモニウムを主剤とする比較的鈍感な爆薬には、鋭感剤としてトリニトロトルエン（TNT）、ジニトロナフタリン（DNN）等のニトロ化合物等が添加される。また、含水爆薬の鋭感剤に、アルミニウム粉末、モノメチルアミンナイトレート（MMAN）等が用いられる。

4 鉱山用爆薬の性能

(1) 爆力

爆薬が爆発したとき出す爆破能力を爆力といい、その力は、動的作用（衝撃破砕効果）と静的作用（高圧推進効果）の2つに大別される。

動的作用は爆速に比例し、爆発の瞬間に衝撃波を生じて岩石などを破壊する作用であり、静的作用は発生する多量の高温・高圧ガスの膨張による推進的作用で岩石などを自由面方向にはね飛ばす作用である。爆速の大きなものは破砕効果が大きく、爆速の小さなものは推進効果が大きい。

動的破壊効果を測る試験方法には、爆速試験、猛度試験（ヘス、カストなど）等がある。また、静的推進効果の尺度には、鉛とう試験（トラウズル）、弾動振子試験、弾動きゅう砲試験等がある。

(2) 爆速

爆薬の一端に爆発が起こり、それが他端に伝わる速さを爆速といい、爆薬の薬包径、爆薬に加えられる圧縮度（周囲の圧力）、爆薬の仮比重などの影響をうける。仮比重の増加につれて爆速も増加するが、上りすぎると死圧（過圧）となって殉爆しなくなることがある（表2.4参照）。

表2.4 各種爆薬の爆速と猛度

項目	状態	爆速 [m/s]	猛度 [mm]
品名			
桜ダイナマイト	膠質	5,600 ~ 6,100	16 ~ 18
3号桐ダイナマイト	膠質	5,800 ~ 6,300	18 ~ 19
2号榎ダイナマイト	膠質	5,800 ~ 6,300	18 ~ 19
3号特白梅ダイナマイト	膠質	5,500 ~ 5,800	15 ~ 17
スラリー爆薬	ゲル状	4,000 ~ 5,500	13 ~ 20
エマルション爆薬	膠質	5,200 ~ 5,800	16 ~ 17
黒カーリット	粉状	4,100 ~ 4,600	
5号硝安爆薬	粉状	4,500 ~ 5,000	12 ~ 13
A N F O 爆薬	粉状	2,500 ~ 3,000	
E q S 爆薬	粉状	2,700 ~ 3,200	6 ~ 9

(3) 感度

爆薬を爆発させるためには、爆発するのに必要で最小のエネルギー（打撃・熱・摩擦・電気火花・火炎など）を与えなければならない。爆薬の種類によってこのエネルギーには大小があり、この爆発のしやすさ（爆発の原因的性能）を感度という。

① 殉爆

第一薬包が爆発したとき、空気その他の媒体を隔てた第二薬包が爆発する現象を殉爆という。

この試験方法には、砂上殉爆試験と密閉殉爆試験とがあり、実際の発破の爆薬は密閉状態なので、密閉殉爆試験がふさわしいが、要素が多く、一般には、砂上殉爆試験によっている。ニトログリセリンを含むダイナマイトの密閉殉爆は、砂上殉爆の5~10倍となり、ニトログリセリンを含まない爆薬は、せいぜい2倍程度である（表2.5参照）。

② 衝撃と摩擦

衝撃・摩擦のような機械的作用に対する爆薬の感度は、取扱い上、低いほど安全な爆薬といえる。

一般に、衝撃に対する感度は、落つい試験（試料約1 gを銅板上に置き、5 kgの鉄ついを落して行う試験）で測定し、不爆点を落高で示す（表2.6参照）。

摩擦に対する感度は、BAM式の摩擦試験機を用いて測定し、摩擦荷重で示す。

③ 耐火度

火薬類には黒色火薬や黒カーリットのように僅かな熱源ですぐ発火するものもあるし、反対に燃焼しにくいものもある。試験として、導火線の火炎で着火するものを、従来、可燃性爆薬としている。桐ダイナマイト、硝安爆薬は可燃性爆薬ではないが、石炭粉の混入率、炭粉の性質、発破などの条件によっては燃焼を起こす場合もある。

ANFO爆薬は、引火点50℃以上の油剤を使うので、夏期にはかなり引火しやすく、火気について十分な注意が必要である。

④ 耐熱性

一般のダイナマイトは高温下に長時間放置すると、ニトログリセリンが分解して、ついには自然発火する。安全をみて、爆薬は60~70℃以下の温度で使うことが望ましい。特に岩盤温度が高い場合は、特別の耐熱爆薬（例：140℃で24時間耐える爆薬）を使用しなければならない。

⑤ 起爆感度

雷こうのような起爆薬はわずかな熱源で爆ごうを起こすが、一般のダイナマイトや硝安爆薬は導火線の火炎だけでは爆発せず、6号雷管を使用して爆発を起こす。しかし、ANFO爆薬は、雷

表2.5 各種爆薬の砂上殉爆度

品名	項目	状態	砂上殉爆度 (薬径の倍数)
桜ダイナマイト		膠質	5~7
3号桐ダイナマイト		膠質	4~6
2号榎ダイナマイト		膠質	4~6
3号特白梅ダイナマイト		膠質	5~7
スラリー爆薬		ゲル状	2~4
エマルション爆薬		膠質	2~4
黒カーリット		粉状	4~6
5号硝安爆薬		粉状	2~4
ANFO爆薬		粉状	
EqS爆薬		粉状	4~6

表2.6 落つい試験結果

品名	不爆点 [cm]
ニトログリセリン	4以下
桜ダイナマイト	11~13
新桐ダイナマイト	16~20
硝安爆薬	40~50

管1本では爆発せず，近年は含水爆薬をプライマー（起爆剤）として使用する。

(4) 耐水性と吸湿性

1) 耐水性

爆薬（除，含水爆薬）は吸湿性の多少にかかわらず，水中では急速に吸水して性能が低下する。膠質系統の爆薬は，ニトログリセリンの保護で耐水性が高くほとんど猛度は低下しないが，粉状爆薬は，一般に耐水性が乏しい。近年，爆薬内部に特殊耐水剤を加えて耐水性を高めており，最近の硝安爆薬は比較的耐水性が良好である。ANFO爆薬，黒色火薬には耐水性がない（表2.7，表2.8参照）。

表2.7 新桐ダイナマイト（裸薬）の水中での猛度変化

水 中 時 間	0時間	6時間	24時間	72時間
猛 度 比 率	100 %	約90 %	約90 %	約85 %

表2.8 新桐ダイナマイトの水中での殉爆度変化

水 中 時 間	0時間	6時間	24時間	48時間	76時間	96時間
殉爆距離の比率	100 %	約100 %	約90 %	約60 %	約20 %	約0 %

2) 吸湿性

一般に，硝酸アンモニウムを含有する爆薬（除，含水爆薬）には，吸湿性があり，吸湿により諸性能が低下し，著しいときは，不発，残留の原因となる。特にANFO爆薬でプリル硝安を使用する場合は，吸湿性が強く，吸湿により爆速が低下し，水分9 %で不発となることがある。ニトログリセリンの含有量の多い膠質ダイナマイトは，比較的，吸湿性が小さいが，ニトログリセリンの含有量が少ないか，全く含まない粉状爆薬は，吸湿性が大きいので，通常，包装で防湿を行っている。

(5) 膠質ダイナマイトの凍結とニトログリセリンの浸出

膠質ダイナマイトは，凍結すると可塑性を失い，衝撃に対して敏感になり，雷管の装着時や薬包装填時などで無理な力が加わると，爆発して不慮の災害を起こす。凍結したダイナマイトは，融解作業が必要である。ダイナマイト貯蔵中に薬包からニトログリセリンが浸出して外部を汚染することがある。このようなときは，苛性ソーダのアルコール溶液を注いでニトログリセリンを分解し，ふきとる。

(6) 安全度と安定度

1) 安全度

炭鉱爆発のメタンガス，炭じんに対する安全性を安全度という。石炭鉱山では空気中にメタンガスや石炭の微粉末が混在して，爆発性混合物を形成するので，強力な爆薬では2次爆発を起こす恐れがある。

安全度に影響する項目に，薬径と発破数とがある。試験結果では薬径の大きいほど安全度は低下し，

単発発破は2孔斉発破よりも安全度が高い。

2) 安定度

火薬類の貯蔵上の安全性を安定度という。ニトロ化合物，黒色火薬などは，分解せず長年月保存できるが，ニトログリセリン・ニトロセルロースなどの硝酸エステルおよびこれらを含有しているダイナマイト類は自然分解を起こす。分解は温度の上昇によって激しくなり，ついには自然爆発を起こす。

火薬類取締法では，硝酸エステルおよび硝酸エステルを含有する火薬または爆薬は製造後1年以上，硝酸エステルを含まない爆薬は製造後3年以上を経過すると，年1回以上安定度試験を行うよう規定している。

(7) 発破後ガス

発破の後ガスとして酸素 (O_2)，炭酸ガス (CO_2)，窒素 (N_2)，水素 (H_2)，一酸化炭素 (CO)，塩酸ガス (HCl)，酸化窒素 (NO_x) などのガスが発生する。この中で CO ， NO_x などは有毒ガスであり，特にANFO爆薬は他の爆薬に比して CO ， NO_x の発生量が多くなるので，坑内で使用する時は注意する。一般に，坑内用爆薬は，酸素バランスを考慮して製造されているので，爆発による発生ガスは， N_2 ， CO_2 および H_2O (水蒸気) など人体に無害であるが，不完全爆発の場合には CO ， NO_x などの有毒ガスを発生する。このため，爆薬の使用に当っては，坑内用と坑外用をよく識別するとともに，装薬量を適正にして過装薬にならないよう留意する。

(8) 爆薬の選択

爆薬は，種類や製品によって成分・性能が異なり，また切羽条件や岩盤条件は鉱山・切羽により変化するから，爆薬選択にはこの両者を考慮しなければならない。特に石炭鉱山では保安確保上，坑内ガス，炭じんの発生状況，炭層条件などを十分把握し，適当な爆薬を選択する (表2.9参照)。

表2.9 爆薬用途一覧表

項目 品名	状態	最硬岩発破	硬岩発破	中硬岩発破	軟岩発破	長孔発破	通気不良切羽	大発破	小割発破
桜ダイナマイト	膠質	○	●	○			●		
新桐ダイナマイト	膠質	○	●	●	○	○		○	○
2号榎ダイナマイト	膠質		○	●	○	○	◎		
含水爆薬	膠質又はゲル状		○	○	○	◎	●		
ANFO爆薬	粉状			○	○			○	

◎：最適 ●：適している ○：十分使用できる

5 火工品の種類および構造

(1) 火工品の種類

鉱山で使用する主な火工品は、各種雷管、導火線、導爆線である。雷管は、工業雷管、電気雷管、電子雷管、導火管付雷管に分けられ、電気雷管には、瞬発電気雷管と段発電気雷管（DS、MS雷管）がある。

(2) 雷管の構造

1) 工業雷管

管体は銅、鉄あるいはアルミニウムなどの金属管体で、起爆薬はアジ化鉛、ジアゾジニトロフェノール（DDNP）などを、添装薬はテトリール、ペンスリットなどを主剤としている。

工業雷管（6号雷管）の構造を、図2.36に、主な雷管の寸法、装薬量を、表2.10に示す。

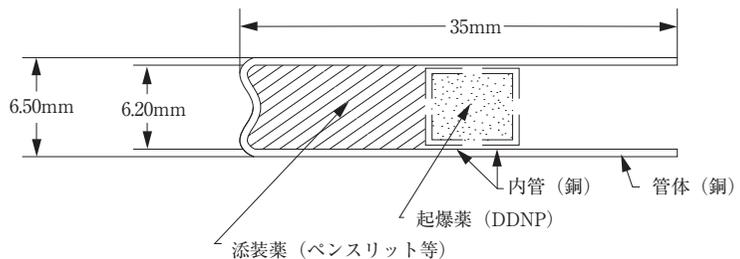


図2.36 工業雷管の構造

2) 電気雷管

一般に使用する電気雷管は6

表2.10 工業雷管の寸法および総装薬

	管 体			装 薬 量	
	内径 [mm]	外径 [mm]	管長 [mm]	起爆薬 [g]	添装薬 [g]
6号雷管	6.20	6.50	35	0.4	0.45
8号雷管	〃	〃	50	0.5	0.90

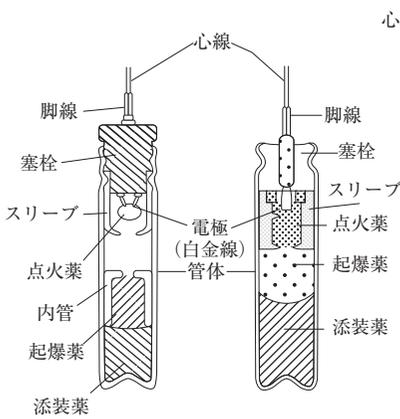


図2.37 瞬発電気雷管の構造

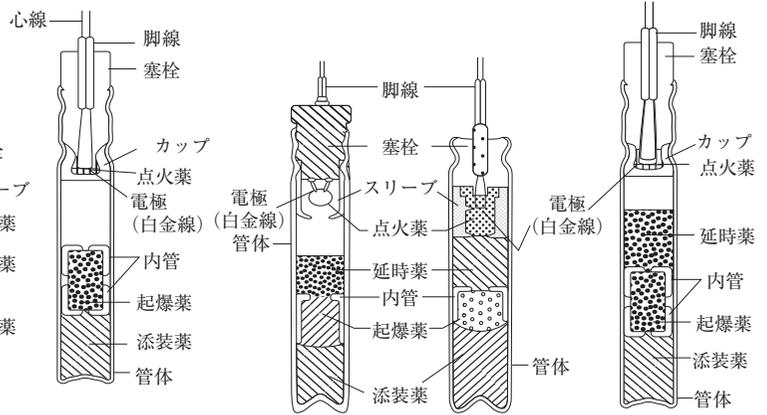


図2.38 段発電気雷管の構造

号電気雷管であり、瞬発電気雷管と段発電気雷管（DS電気雷管，MS電気雷管）とがある（図2.37，図2.38参照）。電気雷管は、金属管体に起爆薬と添装薬とを装填した原料雷管（工業雷管の場合と同様）に、電気点火装置および必要により（段発電気雷管の場合）延時装置を組み込んで、塞栓、脚線を取付けたものである。最近は、すべて耐静電気性（管体と脚線間において、2,000ピコファラッド、8キロボルトの静電気放電エネルギーにより発火しない構造）である。

電気点火装置は、電橋（白金線等）と点火薬とから成る。通电により電橋が発熱し、点火薬を発火させる。

延時装置は、過酸化バリウム、四三酸化鉛、クロム酸鉛等と金属または合金粉末等を組合せた、延時薬を造粒装填している。塞栓には合成樹脂またはゴム等を使用し、雷管内部を完全に密封して防水する。脚線の心線は、銅、鉄またはアルミニウムを用い、合成樹脂で被覆する。心線の径は0.4 mm以上とし、長さは2.4 m、3.0 m、4.5 m等がある。

3) 導火管付雷管

導火管付雷管は、外観上は電気雷管の脚線のかわりに導火管（細い中空のプラスチックチューブの内壁に微量の爆薬を塗布したもの）が取付けられているものである（図2.39参照）。

4) 導爆線の構造

導爆線は、 Pensilitt を麻糸などで被覆し、更にアスファルト、合成樹脂などで防水処置を施したもので、25および50グレン導爆線が市販されている。主として鉱山の火破爆薬起爆に用いる。

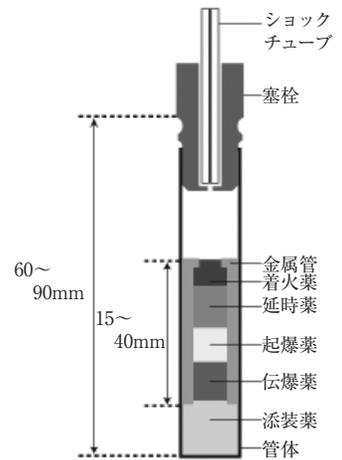


図2.39 導火管付雷管の構造

6 火工品の性能

(1) 雷管の性能

1) 起爆力

鉱山では、一般に6号雷管が使用されている。6号雷管の起爆力は、鉛板試験で4 mm鉛板を貫き、鈍性爆薬（TNT70%，タルク30%）を起爆する能力を持っている。

2) 耐水性

雷管の内部に水が入ると起爆力が低下し、不発の原因となる。なお電気雷管は、そく栓に合成樹脂またはゴムを用いているので、水圧0.1 MPaで60分程度なら使用できる。

3) 段発電気雷管の起爆時間精度

段発電気雷管の段数は2段から10段までを標準とし、1段は瞬発電気雷管とする。これは段発発破効果を左右するものであるが、精度維持には十分な起爆電流が必要である。

段発電気雷管の起爆時間精度を、表2.11に示す。

表2.11 段発電気雷管の起爆時間精度

DS電気雷管

段 数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
秒時差 [sec]	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.30

MS電気雷管

段 数	2	3	4	5	6	7	8	9	10
秒時差 [msec]	25	50	75	100	130	160	200	250	300

(2) 導爆線の性能

導爆線の主な性能は、下記のとおりで、雷管で起爆し大発破、長孔発破、水中発破に用いる。

- ① 爆速は5,000～7,000 m/sと高速・均一であり、励爆性がある。
- ② 水圧30 kPaに、3時間以上の耐水性を有している。

7 火薬類取扱上の一般的な注意

(1) 火薬類取扱所における管理

- ① 火薬類取扱所に存置する火薬類は、2作業日の使用見込量以上としない。
- ② 作業に関係のない者は立ち入らせない。
- ③ 境界のさくの内側においては、喫煙その他の火気の使用を禁止し、かつ発火または燃焼しやすいものを置かない。
- ④ 携帯用の灯火を用いるときは、安全な携帯用の電灯以外のものを使用してはならない。

(2) 火薬類の取扱い

- ① 火薬類は火気，高温場所および電気施設に近づけてはならない。また，くわえ煙草で取り扱ってはならない。
- ② 火薬類には打撃，摩擦，強圧を加えてはならない。特に，粉状爆薬は，強圧すると殉爆性が悪くなる。
- ③ 火薬類は長時間直射日光にさらしてはならない。
- ④ 火薬類は湿度の多い所に貯蔵してはならない。
- ⑤ 凍結ダイナマイトは，温水で融解して使用する。直接火気にあててはならない。
- ⑥ 硝酸アンモニウムを多く含有する爆薬は古くなると，固化して殉爆度が悪くなったり爆力が低下したりするから，手もみし柔らかくしてから使用する。

(3) 火工品の取扱い

1) 工業雷管

- ① 衝撃には特に注意する。
- ② 吸湿すると起爆力が低下し，不発の原因となるから注意する。

2) 電気雷管

- ① 衝撃については工業雷管と同様に，特に注意する。
- ② 電気雷管を，電線，モータ，電池，電鈴等の電気設備，レール，鉄管などに接触させない。
- ③ 脚線を強く引っ張らないこと。無理な力を与えると爆発することがある。

(4) 不発，残留および燃焼の原因

1) 爆薬に起因するもの

- ① ダイナマイトの凍結
- ② 爆薬の性能の低下

2) 雷管に起因するもの

- ① 吸湿
- ② 雷管の起爆力不足
- ③ 電気雷管の白金線ブリッジ切れ，あるいは内部抵抗の不同
- ④ 雷管と爆薬との密着不良

3) 装填不良に起因するもの

- ① 発破孔の掃除不十分
- ② 水孔
- ③ 粉状爆薬の死圧
- ④ 雷管の離脱
- ⑤ 電気雷管の脚線の損傷
- ⑥ 薬包間に異物の介在

- ⑧ 発破設計の不良
- 4) 電気点火器および発破母線に起因するもの
 - ① 母線の損傷または短絡
 - ② 接続の不良
 - ③ 点火器の不良
 - ④ 点火器の容量不良
- (5) 電気雷管の誤発

電気雷管は100 mA以上の電流が流れると爆発の可能性があるが、一方50 mA以下では絶対に発火しない、という仕様が定められている。しかし、電気品の故障の際には、漏えい電流や迷走電流で問題が生じることがある。発破母線の取扱い、漏えい電流の制限等十分気を配ることが必要である。

8 火薬類の廃棄

(1) 異状火薬類の判定

火薬類に異状が認められたときは、次の如き試験を行って、変質していないことを確認してから使用し、変質しているときは使用せず廃棄する。殉爆・燃焼・爆破試験は、安全な場所で、警戒人を配置するなど保安確保に十分配慮をして実施する。

- ① ダイナマイトのニトログリセリン滲出は、なめてみて甘い味がするかどうかによって判定する。
- ② ダイナマイトおよび硝安爆薬の固化または軟化は殉爆試験を行って判定する。
- ③ カーリット、黒色火薬が手でさわってしっとりしているときは、少量、燃して勢よく燃えるかどうかを見て判定する。
- ④ ANFO爆薬が固化しているときは木づちなどで軽くたたいて粉碎する。また、染色に濃淡があるときは油が分離しているので、手でかき混ぜて均一にする。
- ⑤ 雷管・電気雷管に吸湿の疑いがあるときは、爆発試験を行い、不発・半爆の有無を確認する。

(2) 火薬類の廃棄

火薬類に変質あるいは性能の低下が認められたときは、その火薬類は安全に廃棄する。

- ① 火薬または爆薬は、少量ずつ爆発または焼却する。ANFO爆薬、カーリット、黒色火薬などのように、硝酸塩、過塩素酸塩などの水溶性成分を主とする火薬・爆薬は、安全な水溶液として多量の水中に流して処理する。
- ② 凍結したダイナマイトは、完全に融解した後燃焼処理するか、500 g以下を順次爆発処理する。
- ③ 工業雷管、電気雷管は取り纏めて小包とし、新しい雷管をつけて土中に埋め、爆発処理する。
- ④ 導爆線は雷管で起爆処理する。
- ⑤ 爆発、燃焼処理を行う場所は、周囲に危害を及ぼさない安全な場所で、赤旗などの警標を掲げ、見張人を配置して通行を遮断するなどの措置を講ずる。
- ⑥ 順次、廃棄処分を行うときは、火薬類を安全な箇所と隔離し、爆発処理する箇所は隔離箇所か

ら十分な安全距離をとる。

- ⑦ 燃焼処理は風の少ない日を選び、点火は風下から行い、焼却中は近よらない。また、前回燃焼の残火に注意する。

第2節 発破

発破は、火薬類を使用して岩盤などの被爆破物を破壊する作業である。発破の設計では、次のような条件を考慮する必要がある。

(1) 発破の形状・規模

- ① 自由面の大きさとその数
- ② 爆破生成物の破碎大きさ
- ③ 最小抵抗線、孔長
- ④ 発破孔数

(2) 岩石の性状

- ① 岩石の硬度、韌性
- ② 岩石の岩目などの構造

(3) 火薬類の性能

- ① 火薬類の選択
- ② 装薬量

(4) 発破方法

- ① 斉発
- ② 段発
- ③ 時差

(5) 発破箇所周辺的环境

- ① 振動
- ② 騒音
- ③ 保安物件との距離

1 発破理論

(1) 自由面と最小抵抗線

均質な岩盤中に、爆薬を球状に密閉装填して起爆した場合を想定する。爆薬は爆発の瞬間に多量のガスと高熱を生じ、強大な圧力と衝撃が周辺岩盤に作用する。中心部は粉碎され、その周辺は大小の塊

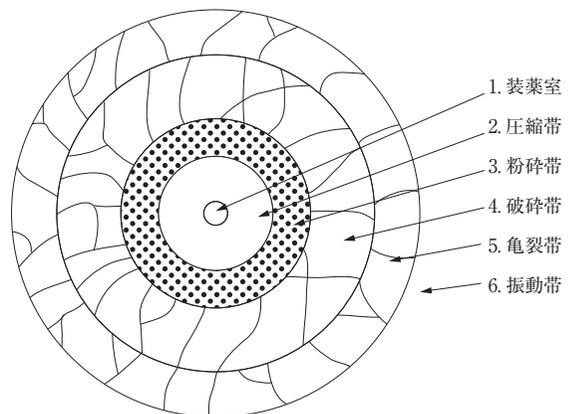


図2.40 爆薬の威力圏

に破碎され、さらにその外側は亀裂を生じ、それ以上に遠い岩盤は、わずかに振動する。この爆破力の影響する範囲を爆薬の威力圏という（図2.40参照）。

実際は、岩盤にせん孔して、爆薬を円筒状に装薬し、込物をして起爆する。この場合、抵抗の小さい方向に爆破作用が働く。せん孔の底部方向は岩盤が続き、ほとんど無限に近い抵抗であるから、破碎は抵抗の小さく空間のあるせん孔口側に及ぶ。このように、爆発による破碎は、せん孔口元の空気に接している面側にのみ行われる。この面を自由面といい、装薬の中心部から自由面へ、最も抵抗の小さい最短距離を最小抵抗線という。ベンチ採掘における自由面と最小抵抗線、図2.41に示す。この場合、自由面はせん孔口側と切羽面側の2つである。

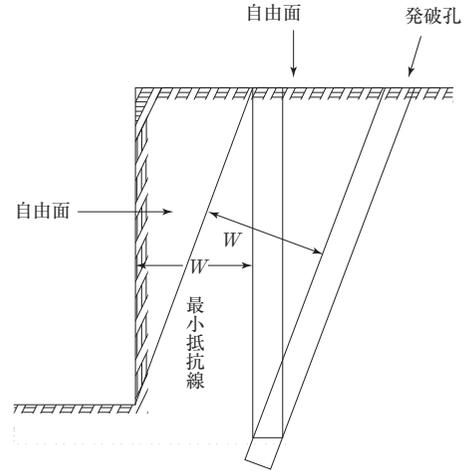


図2.41 ベンチ採掘における自由面と最小抵抗線

(2) 漏斗孔とハウザー公式

自由面1である平坦で均質な床面（岩盤）をせん孔し、ある深さ（最小抵抗線： W ）の位置に、火薬を装填し（装薬量： L ）、込物を込めて発破したとする（図2.42参照）。発破により、床面（岩盤）は、図2.43-1のように破碎される。破碎ズリをとり除くと、図2.43-2のように、自由面を底面とする円錐形のじょうご形となる。このじょうご形を漏斗孔（クレータ）という。

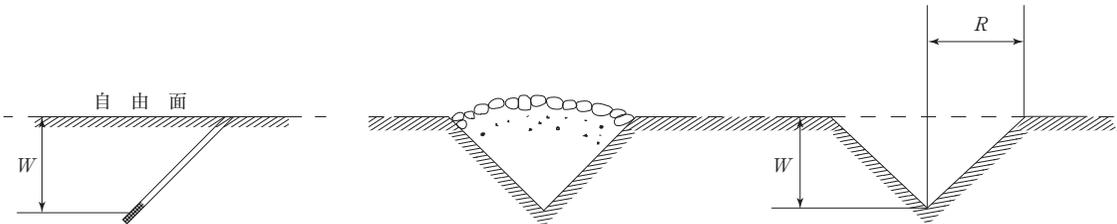


図2.42 発破前のせん孔状態

図2.43-1 発破後の破碎状態

図2.43-2 発破後の床面図

この最小抵抗線の長さ W 、爆破の結果形成された漏斗孔の半径 R の関係から、装薬量 L が適正であったかどうか判定できる。

- ① $W = R$ のときは標準装薬発破でクレータの頂角がほぼ直角になり、発破効果がもっともよく保安上も良好である。
- ② $W > R$ のときは弱装薬発破でクレータの頂角は鋭角となり、ときには空吹きとなる。保安上も危険であり、発破効果も悪く、爆薬の浪費につながる。
- ③ $W < R$ のときは過装薬発破でクレータの頂角は鈍角となり、被爆破物は粉碎され爆薬の浪費

である。 R/W を漏斗指数 (n) という (図2.44参照)。

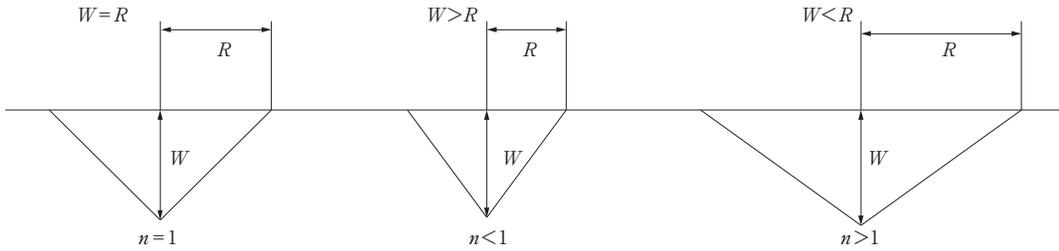


図2.44 発破後の床面状態の比較

標準装薬発破で破碎した漏斗孔の体積 V は、 $V = (1/3) \pi R^2 W$ であるから、標準装薬の場合 $R = W$ を代入すると $V = (1/3) \pi R^2 W \approx 1.05 W^3 \approx W^3$ となって、漏斗孔の体積は最小抵抗線の3乗に比例する。

$n = 1$ の標準装薬の漏斗孔では、破碎量と装薬量は比例するから、次のハウザー公式が得られる。

ハウザー公式

$$L = CW^3 (= g \cdot e \cdot d \cdot f(n) \cdot W^3) \dots \dots \dots (2.11)$$

- L : 装薬量 [kg] d : てん塞係数 $C = g \cdot e \cdot d \cdot f(n)$: 発破係数
- g : 岩石抗力係数 $f(n)$: 漏斗指数の関数
- e : 爆薬威力係数 W : 最小抵抗線 [m]

ハウザー公式 $L = CW^3$ は、1自由面発破における漏斗孔の容積を表わすと考えてよい。従って、岩石と火薬の条件が一定であれば、火薬量は破碎容積に比例することとなり、単位容量当りの装薬量は一定である。さらに、ベンチ採掘における2自由面発破の場合は、ベンチの高さを H とすれば $L = C \cdot W^2 \cdot H$ と考えることができ、また、孔間隔を D とすれば $L = C \cdot D \cdot W \cdot H$ と考えることができる。

表2.12 各種岩石の岩石抗力係数 (g)

岩 種	g [kg/m ³]	岩 種	g [kg/m ³]	岩 種	g [kg/m ³]
硬珪石	3.3	花崗岩	2.1	石灰岩	1.6
硬角閃岩	2.9	閃緑岩	2.1	砂岩	1.4
珪岩	2.7	片麻岩	2.1	頁岩	1.3
硬石灰岩	2.5	安山岩	1.8	凝灰岩	1.3
硬砂岩	2.3	片岩	1.7	明礬岩	1.0

1) 岩石抗力係数 (g)

標準爆薬 ($e = 1$) を用い、完全に込物を込めた場合 ($d = 1$)、岩石 1 m³ を爆破するのに必要な標

準装薬量である。各種岩石の岩石抗力係数 (g) の例を、表2.12に示す。

2) 爆薬威力係数 (e)

ある爆薬を標準として、他の爆薬の発破効力を決めた係数である。日本ではニトログリセリン60%の桜ダイナマイトを標準として、各種爆薬の爆薬係数を、表2.13のように定めた。

3) てんそく係数 (d)

装薬孔に爆薬を装填した後、せん孔の空げきに粘土、砂、水などを込める。これが十分であるほど爆薬の爆破効果がよくなる。通常、込物が完全な場合を、 $d = 1$ とする。込物の発破効果に対する影響は、表2.14のように大きい。

表2.13 各種爆薬の爆薬威力係数 (e)

爆薬種別	動的係数	静的係数	総合係数(e)
桐ダイナマイト	0.85	0.75	0.85
桜ダイナマイト60%	1.00	1.00	1.00
梅ダイナマイト	1.52	1.35	1.45
カーリット	2.04	0.82	1.30
硝安爆薬	2.15	1.39	1.40

表2.14 装薬孔てんそく係数 (d)

条 件	d	
適当に深い装薬孔の場合	込物完全 込物不完全 込物せず	1 $1 < d < 1.25$ 1.25
装薬のみ装薬孔内にある場合	盛土する 盛土せず	1.5 2.0
外部装薬の場合	多くの場合	$2.0 < d < 9$

4) 漏斗指数の関数 ($f(n)$)

$f(n)$ は漏斗指数 $n (= \frac{R}{W})$ の値、つまり漏斗孔の形によってきまる関数であり、一般にダンブランの式が使われる。この場合の各 n の値に対する $f(n)$ の値は、表2.15に示すとおりである。

$$f(n) = (\sqrt{1+n^2} - 0.41)^3 \dots\dots\dots (2.12)$$

標準装薬の場合は、 $R = W$, $n = \frac{R}{W} = 1$ となり、 $f(n) = 1$ となる。

表2.15 漏斗指数 n と関数 $f(n)$ の関係

n	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.75	2.0
$f(n)$	0.36	0.42	0.52	0.66	0.83	1	1.26	1.52	1.86	2.25	2.70	4.14	6.09

(3) 漏斗試験 (クレータ・テスト)

漏斗試験 (クレータ・テスト) とは、岩盤に1自由面発破を行い、形成された漏斗孔を厳密に調査し、その結果を利用してその岩盤の標準爆薬量を決定する試験である。

いま、図2.45示すせん孔を行って、新桐ダイナマイト0.25 kgを装薬し、粘土の込物を込めて発破し

たところ、図のような漏斗孔が形成されたとする。

漏斗試験条件と結果

使用爆薬量 (L_k) 0.25 kg
 装薬長 0.195 m
 せん孔長 (l) 0.710 m
 せん孔角度 (Q) 30°
 漏斗孔半径 (R) 0.48 m
 最小抵抗線 (W)

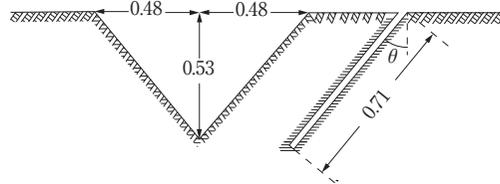


図2.45 漏斗試験図

$$\begin{aligned} &= (\text{せん孔長} - \text{装薬長}/2) \times \cos \theta \\ &= (0.710 - 0.195/2) \times \cos 30^\circ \\ &= 0.530 \text{ [m]} \end{aligned}$$

\therefore 漏斗指数 (n) $= R/W = 0.48/0.53 \doteq 0.9$ ($R < W$ より, 本漏斗孔発破は弱装薬である)

表2.15より, $n = 0.9$ のとき, 漏斗指数の関数 $f(n) = f(0.9) = 0.83$

このときの標準装薬量 (L_s) を求める。標準装薬量では $n = 1$ であり, 表より $f(n) = 1$ となる。従って, $L_s/L_k = f(1) / f(0.9)$ となる。

$$\therefore L_s = L_k \times f(1) / f(0.9)$$

ここに $L_k = 0.25$ [kg], $f(1) = 1$, $f(0.9) = 0.83$

$$\therefore L_s = 0.25 \times 1/0.83 \doteq 0.301 \text{ [kg]}$$

これより, 最小抵抗線0.530 mのときの標準装薬量は0.301 kgとなる。

2 せん孔

露天採掘の発破は, ほとんどがせん孔による密閉発破によって行われる。その目的は, 最小の装薬量で最大の発破効果をあげることである。ベンチ発破における装薬量は, 最小抵抗線, ベンチ高さ, せん孔間隔などによって左右されるから, これらを実際上決定するせん孔は, 発破効果を決定する重要な要素である (図2.46参照)。

(1) せん孔径

せん孔能率を決定する主要要素の1つに, せん孔径がある。一般に, せん孔径が小さいほどせん孔能率は向上する。これに反して, 爆薬の径が小さくなると, 爆速は低下し発破効果も減少する。

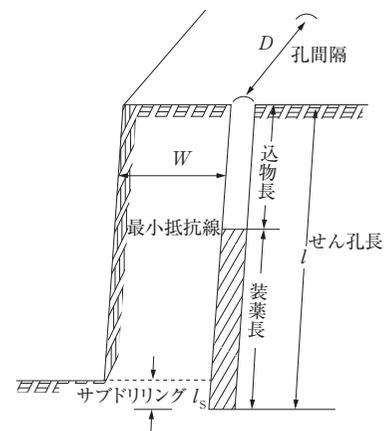


図2.46 せん孔

最近では、ビット径が大形化し、せん孔径が大きくなったために、爆速が大きくなり、最小抵抗線、せん孔間隔を広げて、せん孔本数を少なくできるようになった。反面、最小抵抗線を大きくするということは、大塊の発生が多くなりやすい。また一般に、岩石の破壊は爆破の際発生する衝撃波による場所が大きいので、せん孔径に対して薬径が小さく、また装填に間隙があるような部分装填のときは、直接岩石内に衝撃波が発生せず発破効果が悪い。従って、せん孔径はせん孔能率と発破効果の両面から検討して、総合コストを最小とすることが必要である。

(2) せん孔長 l

せん孔長を決める要素は、せん孔径、一発破の進行長、切羽の高さである。せん孔長には特に枠はないが、ベンチカットのような場合は、サブドリリング (l_s) を最小抵抗線の0.3倍以上掘ることが常識とされている。これを行わないと、十分根切れが行われない。

(3) せん孔間隔 D

ベンチ発破の場合には、最小抵抗線と孔間隔の決定が大きな要素となる。一般にせん孔間隔は、集中装薬の場合は最小抵抗線の1.0～1.3倍にとり、ベンチ発破のような長装薬の場合には、1.0～1.4倍にとるのが普通である。

(4) せん孔時の注意事項

- ① 岩盤などの自然条件がその都度変化するから、前回発破の実績を考慮して、岩質、節理、き裂、断層などに注意し、必要な修正を行う。
- ② せん孔角度に十分注意し、適正な最小抵抗線にする。
- ③ 前回の発破孔あるいは孔じりを利用してはならない。
- ④ 特に前回発破の残留爆薬、残留雷管の有無について入念な検査を行う。
- ⑤ せん孔を終った孔は、練粉と泥水をキューレンやブローパイプで装填前に掃除・排出する。

(5) せん孔設計

せん孔設計は、変動する岩盤などの諸条件のなかで最適せん孔の基準を定め、発破効果を高い水準で維持する目的で行う。しかしせん孔、発破条件の要素はきわめて多様であり、かつ、岩盤などの自然条件は常に変化するから、せん孔基準を決定するまでは、試験せん孔、試験発破を繰返し行うことが必要である。また、せん孔設計はあくまで基本であり、変動する諸条件に応じ、その都度必要な修正を行うことが大切である。

1) 条件の設定

せん孔設計の準備段階として、多くの要素のうち比較的固定できる条件をあらかじめ決定し、決定した条件は切羽で維持する。固定要素として、次のようなものがある。

① せん孔手段

使用せん孔機、使用ビット、ビット径（孔径）、チップ角度

② 切羽条件

岩質（断層、亀裂、岩目など）、ベンチ高さ、切羽長、湧水の有無

③ 火薬類

使用爆薬，薬径，薬長，薬包当重量，使用雷管（脚線長，瞬発，段発—MS，DS），火工品など

④ 発破

発破方法（電気発破，非電気式発破，導爆線発破），発破器，テスト類（電気抵抗，漏電流，静電気）

⑤ その他

込物の材質，込め方など，付近の保安物件，飛石の防止法

2) 発破係数Cの決定

クレータ・テストはかなり困難な実験であり，発破係数は各鉱山特有の値であることから，経験値を修正して求めることが多い。理想的には，クレータ・テストを繰返し行って，岩質に対する $L = CW^3$ における発破係数Cを決定する。

本節1 (1) のクレータ・テストの結果を岩質Aに対する第1回クレータ・テストとすると，最小抵抗線 $W = 0.53$ mに対し，標準装薬量 $L = 0.301$ kgであるから，

$$\begin{aligned} L &= CW^3 \text{より} \\ C_1 &= L_1/W^3 = 0.301/0.53^3 \\ &= 2.02 \text{ となる。} \end{aligned}$$

同様なクレータ・テストを W と L を変化させて行い，それぞれ標準装薬量を求め， $C_2C_3C_4\cdots C_n$ を求める。 C_n の平均・分布などから，岩質Aに対するCAを決定する。

3) 設 計

せん孔設計を行うに当って，あらかじめ検討しなければならない事項は，与えられた切羽条件（ベンチ高さ，ベンチ幅，切羽長），岩質，発破規模（起砕鉱量，破碎粒度），発破孔の配列，発破方法等である。これらは生産規模，積込方法，運搬方法，破碎設備の能力等の条件によって決定されるが，環境条件（保安物件などの有無）によって左右される場合があり，これらを考慮に入れてせん孔設計を行う。せん孔において最も重要な因子は，最小抵抗線である。この値を決定するには，いろいろの公式を応用して現場テストを行い，初期の値を求めるのが望ましい。

各孔の最小抵抗線，孔間隔およびベンチ高さが決定されると，装薬量は，テスト結果による $L = CDWH$ により計算される。

ここで得られたせん孔設計に基づいてせん孔，装薬，発破を行った後，切羽での実績を検討する。これを繰り返し行い，所要の修正を実施して，最終的にその岩質に対するせん孔設計基準として確立させる。通常これらの試験は，特別な切羽を用意せず，運営切羽を利用することが望ましい。

(6) 階段採掘法におけるせん孔

1) さく岩機

階段採掘法で使用するさく岩機は、一般に大型である。主なものは、ドリフタを搭載したクローラドリル、ロッドの先端に打撃ハンマを設けロッドは回転を伝えるだけの機構のダウンザホールドリル、回転機構だけによるロータリドリルなどである。移動方式には、人力運搬形と車輪やクローラによる自走形がある。

2) 垂直せん孔法

従来、図2.47に示す垂直せん孔法による発破が行われていたが、ベンチトウ部のバックブレイクが大きいこと、切羽面が立っているため安全性に欠けることにより、現在はあまり用いられていない。しかしながら、同一のHに対して l が少ないことや、せん孔方向を他の孔と調整する必要がないこと等のメリットがある。

3) 傾斜せん孔法

本法は、最近の階段採掘せん孔発破の主流で、ベンチトウ部の発破効果が良く、バックブレイクも少ない。また、切羽面に傾斜がついており、崩壊の恐れが少ない（図2.48参照）。

① ビット径

径60～300 mmのものが採用されている。生産規模、積込機、粗砕機の大小、岩盤、鉱床、地形などによりせん孔規格とビット径が決まる。国内の石灰石鉱山では、60～250 mm程度であるが、ダム工事現場では径300 mmのビットを使用している例がある。

② 孔長

せん孔長は、ベンチの高さによって決まるが、ベンチの高さは、5～15 m程度に設定されることが多い。これは、能率向上と保安面の向上が目的である。孔長は普通、ベンチ高さより10～20% (+ 0.3 W以上) 深くする。これをサブドリリングと呼ぶ。サブドリリングを行うことで、フロア以下の部分まで爆破作用がおよび、発破後、フロアを平坦にしやすい、積込み能率や次の発破効率が向上する。従って、

$$l = (H/\sin \theta) + 0.3 W \quad \text{または} \quad l = \{H/\cos (90 - \theta)\} + 0.3 W \dots \dots (2.13)$$

となる。

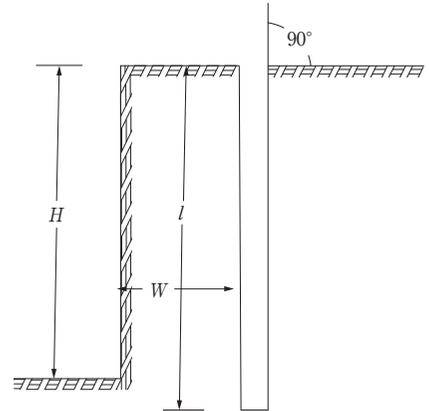


図2.47 垂直せん孔法

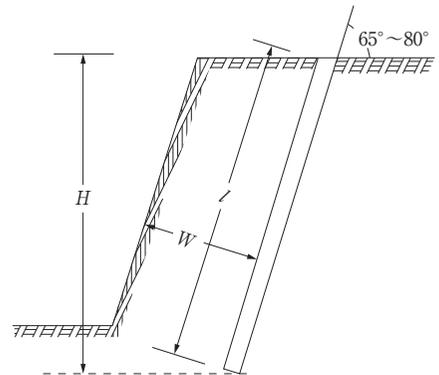


図2.48 傾斜せん孔法

③ 最小抵抗線

ベンチカットの場合、最小抵抗線の大きさは種々条件に応じて決める。ハウザーの公式や変形式を使う場合もあるが、明確ではないため、従来の経験によって求めるのが望ましい。計画を単純化するため、葉径をベースとし、最小抵抗線： $W = (30 \sim 60) \times d$ と見積る方法もある。

④ 孔間隔

一般に、最小抵抗線の1.0～1.4倍とする。石灰石鉱山では、1.5～8.5 mの範囲である。

⑤ 孔列数

1列、2列、あるいはそれ以上の場合がある。単列発破はベンチ高さが大きいときに有利で、多列発破はベンチ高さが6～12 m程度のときに有利である。この場合、2列目から後の列の最小抵抗線を短くすると起爆後の状況がよい。また、孔の位置を千鳥にする方が、発破効果がよく、小割が少なくなる。

4) 水平せん孔法

この方法は、岩質が軟弱であって下向きせん孔が困難である時に使い、部分的にベンチの作成段取りや不良岩の処理を行う場合は、3～5 mの水平せん孔を併用する（図2.49参照）。

5) トウホール（地ならし孔）せん孔法

下向きせん孔による発破では、踏前の凹凸が生じ、ショベル等による積込作業を困難にする場合は、トウホールを入れて路面の修正を行う。一般に、トウホールせん孔法は孔荒れが多く、下向きせん孔法に比べて能率が低い（図2.50参照）。

我が国石灰石鉱山における階段採掘法のせん孔規格を、表2.16に示す。

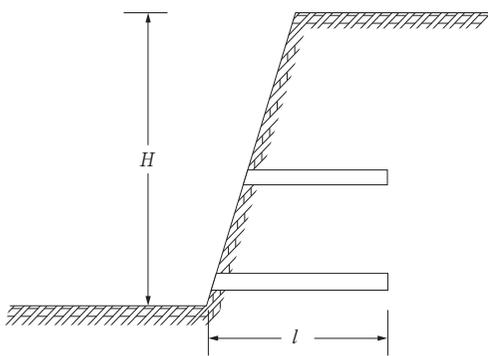


図2.49 水平せん孔法

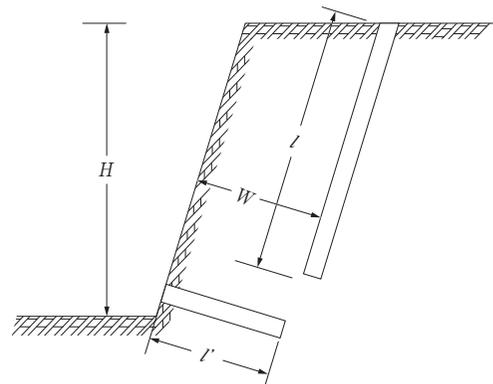


図2.50 トウホールせん孔法

表2.16 我が国石灰石鉱山における階段採掘法のせん孔規格

項目	ベンチ高さ5 m 位の鉱山における 事例	ベンチ高さ10 m 位の鉱山における 事例	ベンチ高さ15 m 位の鉱山における 事例	生産規模60万t/年 以上の鉱山における 平均せん孔規格
ベンチ高さ	5 m	10 m	15 m	10.3 m
孔 間 隔	1.5 ~ 4.0 m	2.5 ~ 4.5 m	7.5 ~ 8.5 m	4.5 m
最小抵抗線	1.5 ~ 3.5 m	2.3 ~ 4.2 m	5.2 ~ 7.0 m	4.1 m
孔 深	5.5 ~ 6.0 m	11.0 ~ 11.3 m	18.0 m	11.2 m
孔 径	60 ~ 95 mm	95 ~ 115 mm	115 ~ 250 mm	101 mm
せん孔傾斜	75 ~ 80度	65 ~ 70度	70度	70.5度

(7) 発破方法

1) 斉発発破

2孔以上の起爆を同時に行うことを斉発発破とい
い、各孔の装薬量は同じで、単独発破よりも多量の
起破ができる。図2.51のA・Bを、各々単独で発破
するとC部分は残るが、A・Bを斉発発破するとC部
分も起破される。斉発発破には、通常、瞬発電気雷
管を使うが、導爆線を使うこともある。

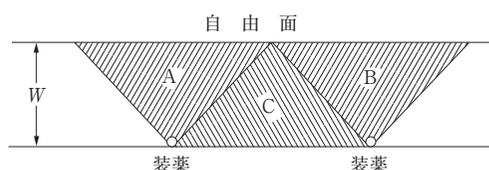


図2.51 斉発発破の破壊状況

2) ミリセコンド発破

ミリセコンド発破は、MS電気雷管を使用して、斉発効果を持ちながら、段発発破の長所を兼ね備
えた発破方法で、次のような特徴を持っている。

- 発破による振動や爆破音が小さい。
- 破砕面がきれいで、浮石が少ない。
- 隣接発破孔への影響がない。またカット・オフもない。
- 岩石が適度に破砕され、飛散距離も小さい。
- 粉じん量が少ない。

3) 長孔発破

通常、孔長が最小抵抗線の2倍以上の発破を長孔発破という。
自由面は2つ以上で、ベンチ発破、サブレベル採掘法などに利
用されている。

図2.52に示す発破において、関与する抵抗は、AB面の引張
応力、底面BCでのせん断応力、およびBC面での摩擦抵抗の3
つが考えられ、発破エネルギーはこれらの抵抗にまさる大きさ

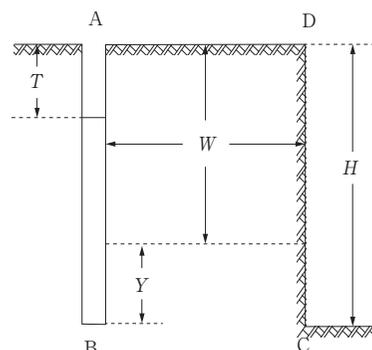


図2.52 長孔発破模式図

が必要である。この場合、装薬は3抵抗の荷重中心以下に行わなければならない。荷重中心の位置は岩石強度、孔探、最小抵抗線などによって変化する。荷重中心の位置まわりのモーメントのつり合い式を求め、整理すると(2.14)式になる。

なお、薬量の算定式には、 $L_1 = eW^3$ 、2自由面のときは、 $L_2 = 2W \times W/2 \times H$ を用る。また、せん孔間隔は1.3 W以下が適当である。

$$Y = \frac{H}{2} \times \frac{\text{引張り応力}}{\text{引張り応力} + \text{せん断応力} + \text{摩擦抵抗}}$$

$$= \frac{H}{2} \times \frac{T \times H}{T \times H + S \times W + \Delta \times g \times W \times H \times R} \dots\dots\dots (2.14)$$

ここで、Y：孔底から荷重中心までの距離 [m]

H：孔深 [m]

W：最小抵抗線 [m]

R：岩石のBC面での摩擦係数（一般に0.65）

T：引張応力 [Pa]

S：せん断応力 [Pa]

Δ ：岩石の密度 [kg/m³]

g：重力加速度 [m/s²]

4) 坑道式発破

坑道に多量の爆薬を装填する方法で、一発破で数千トン、数万トンの岩石や鉱石を採掘する場合に用いる。この発破は、使用する爆薬量が多く、一発破当りの起さい量も莫大である。従って、過・弱装薬で生ずる損害も大きく、大きな災害になりやすいので、最近ではほとんど採用されない。

5) その他の発破

① 制御発破（コントロールブラスティング）

トンネル周壁や露天切羽残壁等の壁面保持のために、制御発破が採用されている。

これは、目的とする部分だけの破壊を行い、破壊せずに残したい部分へ発破の力が及ばないように制御しようとするものである。

プレスプリット・ブラスティング（PSB） 主に、露天切羽における残壁面の保護のために行われる発破方法で、破壊計画線の背部の岩盤に余分の破壊・亀裂を生じさせないように、本発破の前に、計画線に沿ってあらかじめ発破により亀裂を入れておく。

亀裂を入れるだけであるから、本発破に比べて爆薬量も少なく、孔間隔も狭く、デカップリング指数（＝発破孔直径/爆薬の直径）を大きくとることが普通である。

石灰石鉱山では、孔間隔1 m程度で、導爆線に0.1～0.2 kg/mの爆薬を装着するケース、専用の含水爆薬（10 mもの × 0.3 kg/m）のケース、制御発破用コードを使用するケースが多い。

スムーズ・ブラスティング 岩盤の仕上がり壁面を滑らかにする発破で、主にトンネル周辺の仕上り壁面で採用されている。仕上り面の発破孔に爆薬を低密度で装填し、最後に点火する。

② ワイドスペースブラスティング (WSB)

せん孔間隔を拡げ逆に抵抗線を小さくすることにより、破碎ズリを細かくかつ比較的均一にする多列式発破法の一種である。ベンチ発破の場合は、従来からせん孔間隔を抵抗線長の1.0~1.5倍に取っている。すなわち、岩質、せん孔径および使用爆薬種により取り得る最大抵抗線長 (W) を決め、せん孔パターンをその1.0~1.5倍としている。

WSB法は、抵抗線長 (W) × せん孔間隔 (D) (すなわち、平面的には1孔当りの受け持つ破碎面積) を従来法と同じ大きさにとりD/Wの比を4~8倍と、いままでの常識に比べ非常に大きくとるせん孔パターンにし、掘削m³当りの火薬量およびせん孔長は変えない。2~3列以上の多列発破とすることが一般的である。ただし、2列目、3列目は、1列目と同じ規格を取る場合と、更にD/Wを大きく取る場合がある。

③ 小割発破

小割機の発達等により小割発破の頻度は減ってきたが、発破で大塊を破碎する方法として、せん孔発破、張付け発破、蛇穴発破がある。

爆薬量の算定式 $L = CD^2 \dots\dots (2.15)$

ここに L: 爆薬量 [g]

C: 発破係数 (表2.17参照)

D: 岩石径 [cm]

コンクリートおよび鋼材の発破

爆薬量の算定式 $L = CA \dots\dots (2.16)$

ここに L: 爆薬量 [g]

C: 発破係数 (表2.18参照)

A: 裁断面積 [cm²]

ただし、コンクリートは一般に壁の厚さの1/3~1/2の長さにせん孔するので、上記算定量の1/8~1/10の薬量でよい。また、壁の厚さをh[m]とすれば、 $L = 0.4h^3$ でもよい。

6) 特殊な起爆システム

ここでは、最近各鉱山で採用されることが多くなった、ガス導管起爆法、導火管付雷管起爆法および、MBSについて述べる。

起爆方式の分類を、図2.53に示す。

表2.17 小割発破の発破係数 (C)

小割の方法	Cの数值
せん孔法	0.007 ~ 0.02
蛇穴法	0.05 ~ 0.07
張付け法	0.15 ~ 0.20

表2.18 コンクリート-鋼材の発破係数 (C)

発破方式	Cの数值	
	コンクリート	鋼材
せん孔法	0.25 ~ 0.5	—
覆土法	2.5 ~ 5.0	10 ~ 15

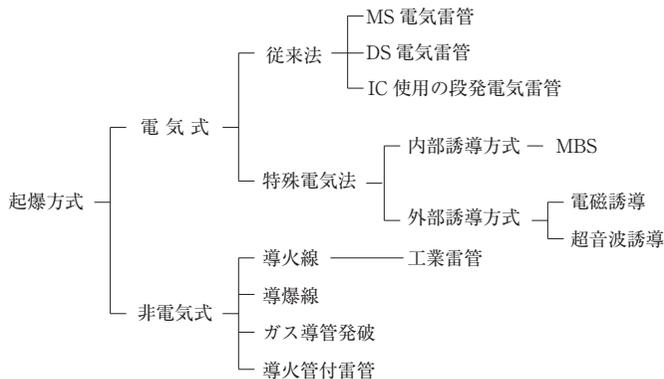


図2.53 起爆方式の分類

① ガス導管発破システム

現在、日本国内では殆ど使用されなくなった。ガス導管発破システムは非電気式の起爆法であるため、静電気・雷・迷走電流・漏えい電流等に対して安全である。電気雷管の脚線、補助線、発破母線の代わりに、2本の細いプラスチックのチューブで回路を作り、この中に送り込んだ混合ガスの爆発により起爆する。

発破回路は、コネクタの接続で形成され、この回路に専用のガス供給装置から酸素と燃料ガスを所定の混合比で送り込み、専用発破器のスパークで点火する。混合ガスの爆発反応速度は2,500 m/sで発破回路チューブ内を進行し、ガス導管雷管を起爆する。

ガス導管システムには、次のような長所・短所がある。

長所 ・発破直前に燃料ガスをチューブに通すので、不慮の着火の恐れがない。

・ガスを通してチェックすることにより、回路の導通確認ができる。

・チューブ長の調整で、極短秒時差の設定が可能であり、発破振動抑制に活用できる。

短所 ・専用の点火器、テスト等が必要である。

・発破後、プラスチックチューブが残る。

② 導火管付雷管システム

導火管付雷管非電気式爆轟^{ばくごう}システムも、非電気式であるため、静電気・雷・迷走電流・漏えい電流等に対して安全である。雷管とチューブが一体化されたもので、電気雷管の脚線の代わりに、断線等の恐れのない外径3 mm、内径1.5 mmのプラスチックチューブ内壁に微量の爆薬 (HMX + AL0.02 g/m) が塗布されている。チューブの端末を点火器で起爆すると、極めて小さな爆轟波がチューブ内を伝播し、先ずコネクタのミニ雷管を起爆する。ミニ雷管の爆発により、爆轟波が次の導火管付雷管またはコネクタへ伝播し、順次起爆していく。

導火管付雷管システムには、次のような長所・短所がある。

- 長所**
- ・結線が容易で単純であるため、作業能率が良い。
 - ・専用点火器のほか、工業雷管、電気雷管による点火も可能である。
 - ・チューブ長の調節で、極短秒時差の設定が可能であり、発破振動抑制に活用できる。
 - ・雷管の使用種類が少なく、無限に近い段差が設定できる。
- 短所**
- ・導通テストができないため、結線のチェックは目視に頼らざるを得ない。
 - ・発破後プラスチックチューブが残る。

③ MBS (Electro Magnet Induction Blasting System)

ガス導管発破システムや導火管付雷管とは異なり、起爆方式は特殊電気法による電気式である。ただし、電氣的に絶縁被覆された電気雷管を使用し、専用のトランスコアを介して電磁的に接続された電気雷管を起爆するため、漏えい電流・迷走電流・静電気等に対して安全である。特に、使用の簡便さと結線接続部のリーク防止効果があるため、金属鉱山で採用されてきている。このような電磁誘導の原理を応用した特殊電気法による起爆方式は、遠隔制御による外部誘導方式が可能であるため、本四連絡橋の水中における基礎掘削工事にも採用された。

ガス導管発破および導火管付雷管起爆法の使用概念を、図2.54および図2.55に示す。

3 発破作業

(1) 電気発破用機器

電気発破用機器には、各種発破器、テスト、漏えい電流検知器などがあり、いずれも発破作業の成否、保安の確保に重要な役割を持つ。

1) 発破器

電気発破器の具備すべき性能は、次のとおりである。

- ・確実に所要電圧を短時間に放出すること。
- ・絶縁性が高いこと。
- ・軽量、小形で携帯に便利であること。
- ・炭鉱の坑内で使用するものはメタン・炭じんに安全なこと。

発破器には発電機式、コンデンサ式、トランジスタ式などがある。最近では、乾電池を電源とし、充電器にコンデンサ、昇圧部にトランジスタ・コンバータ・ユニットを使用した、昇圧・充電して高電圧を放出する形式の発破器が多い。

図2.56の50発がけ発破器は定格放電電圧240 V、コンデンサ容量30 μ F、図2.57の100発がけ発破器は定格放電電圧850 V、MPコンデンサ容量10 μ Fで、ともに炭鉱用耐圧防爆構造の検定品である。

2) テスタ (導通試験器)

テスタには、乾電池を電源とし回路抵抗値を直読できるものと、回路に流れる短絡電流を1 mA以下に規制して単に発破回路の導通を検査する光電池式の2種類がある。ともに小形・軽量で、絶縁性も高く、ほとんどが検定合格品である。

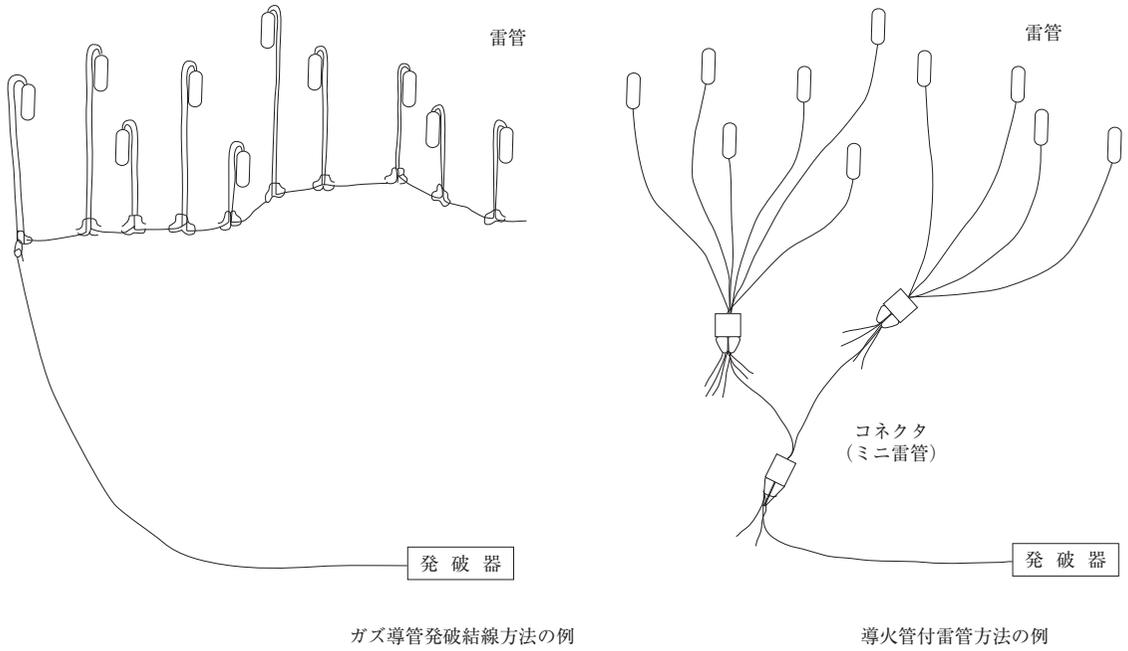


図2.54 ガス導管発破および導火管付雷管起爆法の使用概念図

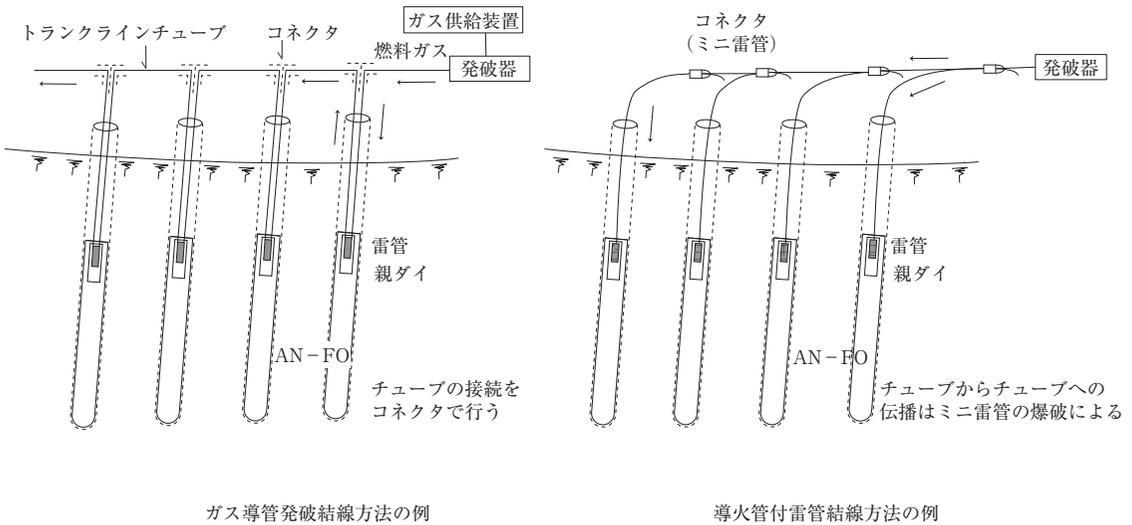


図2.55 ベンチカットにおけるガス導管発破および導火管付雷管の使用概念図

3) 漏えい電流検知器

切羽の漏えい電流検知を行う機器で、漏えい電流の加熱が起す微電流をメータ部で表示する。

100 mA以上の場合は赤色で表示し、危険範囲であることを示す。

4) 保守・検査

電気発破用機器は乾燥した場所に保管し、定期的に検査や乾電池の交換を行う。検査は、乾燥したほこりの少ない部屋で行う。

- ・発破器の検査 電池の異状の有無、ネオンランプの異状の有無、各部の湿気、ごみ付着などを検査する。故障している場合は、分解せずに直ちに製造元に修理を依頼する。

- ・テスト 標準抵抗器を測定し、所定の抵抗値を指示するか確認する。誤差範囲は $\pm 2\%$ 以下。

(2) 発破準備

1) 火薬類の受領

発破に使用する火薬類は、発破請求票に火薬類の種類・数量その他所定事項を記入して火薬類作業監督者^{注)}に請求し、火薬類取扱所または火薬類受渡場所で受領する。その際、下記事項を確実に実行する。注) 規則第四十三条第一項の表の第一号に定められる火薬類の存置、受渡し、運搬及び発破に関する作業に係る作業監督者を「火薬類作業監督者」という。

- ① 火薬類の請求量は、請求者が当日使用する見込量（1作業時間）を超えない。
- ② 請求する火薬類の種類は、あらかじめ定められたものである。
- ③ 受領するとき、火薬類の種類・数量を確認するとともに、異状の有無を点検する。
- ④ 火薬類を使用する作業に従事させるときに施される教育を受けた者（以下、「発破作業担当者」という。）以外が、火薬類を請求・受領してはならない。
- ⑤ 受領した火薬類の紛失・盗難について注意する。

2) 火薬類の携帯

火薬類を携帯するときは、次の事項を遵守する。

- ① 携帯容器は、布、合成樹脂など電気不良導体で作られ、外部からの衝撃に耐え、内部に鉄類が現れておらず、火薬・爆薬・導爆線と火工品とを隔離して収納できるものを使用する。
- ② 携帯容器には火薬類以外のものを入れてはならない。
- ③ 携帯する火薬類の量は、1作業時間の使用見込量を超えない。
- ④ 携帯容器には、「火薬」などの標識を付け、施錠する。
- ⑤ ケージまたは車両に乗るときは、専用のケージまたは車両を用いる。積卸しは、原動機、バケッ

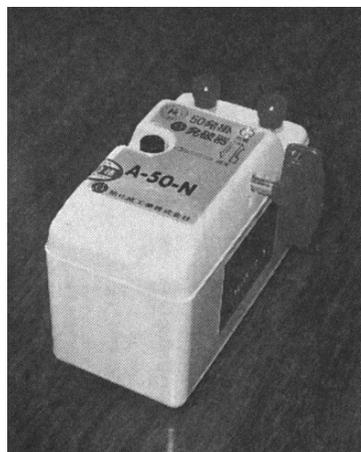


図2.56 50発がけ発破器



図2.57 100発がけ発破器

トの運行等を止めてから行う。

- ⑥ 携帯容器を身辺から離すときは、盗難防止の処置をとり、容器から遠ざかってはならない。
- ⑦ 電気雷管を携帯しているときは、配線、移動電線など電気施設に容器が触れないよう注意し、置くときは、それらの施設から1 m以上離れた落石の恐れのない安全な場所を選ぶこと。
- ⑧ 喫煙・火気取扱いを行ってはならない。
- ⑨ 常時火気を取り扱う場所、発火性・引火性物質の蓄積場所へは接近しない。

3) 切羽での保管

切羽での火薬類の一時保管は落石の恐れのない乾燥した箇所の木箱などに収容し、かつ盗難防止の措置を講ずる。

4) 発破用器材

雷管装着棒、込棒（ともに木製）、キューレンまたはブローパイプを準備・点検するとともに、電気発破器、テスト、発破母線、ANFO装填器などの異常の有無をあらかじめ検査する。また込物（アンコ）、電気発破用補助線を十分な量準備する。なお、電気発破の場合、発破器のハンドル（キー）は、当該発破作業担当者が常時携行して不測の事故を防止する。

5) 切羽片付

せん孔に使用したさく岩機ビットなどの機具は、発破の影響を受けない安全な箇所に保管する。また、切羽近くの運搬機器や車両は、発破による損傷を被らないよう、十分な距離を取り処置する。移動できない機器で、発破飛散ズリの影響を受ける恐れがある場合は、必要な防護措置を取る。

6) 発破警戒

発破による災害は、ほとんどの場合、死亡などの重大災害となり、かつ、り災者は他人である場合が多い。従って、発破警戒は特に厳重・確実に行わなければならない。

- ① 火薬類作業監督者は作業前に、あらかじめ、当日の発破時間、発破箇所について作業員全員に周知させる。特に外来者は、個別に行動を確認するとともに発破時間、発破箇所を周知徹底させる。
- ② 発破作業担当者は、あらかじめ見張人を指定し、発破時間、警戒位置、発破終了の連絡方法などの打合せを行う。発破箇所に通じる主要道路などへ見張人を配置し、見張人はあらかじめ決められた発破終了の連絡があるまでは、みだりに警戒位置を離れてはならない。
- ③ 露天採掘場などにおいては、発破の影響は隣接の鉱山や付近の田畑、道路などの交通機関にも及ぶので、これらに対する連絡および警戒は厳重にする。
- ④ 発破作業担当者は、点火に先だって、あらかじめ配置した見張人、立入禁止設備を点検し、点火することを告げて危険のないことを確認してから点火すること。この時発破器のハンドル（キー）は必ず携行する。
- ⑤ 発破作業担当者は、発破が終了し危険がないことを確認して、見張人に発破終了を連絡するとともに警標を撤去する。

7) 発破孔の点検・掃除

発破孔の点検・掃除が不十分な場合、薬包間の岩片介在や薬包の吸湿が発・残留の原因となる。

- ① キューレンまたはブローパイプで孔内のくり粉・岩片・水分を排除する。
- ② 掃除した発破孔を込棒で点検し、くり粉などが無いことを確かめる。
- ③ 孔内が荒れているときは、掃除直後に込棒を孔底まで押し込み、装填までそのままにする。

8) 漏えい電流の測定

電気発破で、発破箇所近辺に電車線などの電気施設があるときは、あらかじめ漏えい電流や迷走電流を測定する。測定には、漏えい電流検知器を用い、岩盤と鉄管、岩盤とレール、鉄管とレール、岩盤と岩盤などの電圧、電流を測定する。直流で100 mA以上の電流を検知した場合は、危険状態とみなし、電気発破は中止する。

(3) 装 填

1) 装填準備

装填に先立って、下記の点検および準備を行う。

- ① 各発破孔の最小抵抗線、孔深を点検し、各孔装薬量をあらかじめ決めておく。
- ② 携行した火薬類の種類、数量を再点検し、所要量を確認する。電気雷管は他社製品との混用を絶対に行ってはならない。
- ③ 込物の数量を確認する。
- ④ 雷管装着爆薬（親ダイ）を準備し、安全な箇所に保管する。
- ⑤ ANFO装填器のアースを確実にとる。
- ⑥ せん孔時に空洞等があった箇所については、あらかじめその対策を講じる。

2) 親ダイの作り方

- ① 爆薬への雷管装入は図2.58の様に行う。
- ② 含水爆薬に雷管を装入するときは図2.59の如く、導火線の場合（a）は薬包の腹に装入し、電気雷管の場合（b）は脚線で薬包のまわりに結びつける方法も行われている。

3) 薬包の装填

薬包の装填は、薬包間に空隙を作らないように慎重に行う。

- ① 発破孔の位置、孔深、最小抵抗線を再確認し、木製込棒で薬包1本ごとに押し込む。
- ② 粉状爆薬は薬包を破らないように、また、強く押すと粉薬が固まり爆破効果を減ずるから適当な力で押し込む。
- ③ 各発破孔に予定の薬包数を装填してから、最後に親ダイを装入する。
- ④ 導火線発破のときは、雷管取付口を手前にし導火線を片手で支えて静かに押し込む。
- ⑤ 雷管脚線の被覆が破れないように、また、電気雷管の段数を間違えないように確認する。
- ⑥ ANFO装填は静電気を帯びぬよう慎重に行う。
- ⑦ 水孔は、防水の措置を講じるか、耐水性のある爆薬を使用する。

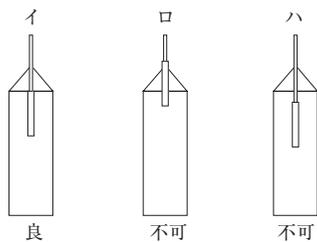


図2.58 雷管装着爆薬
(親ダイ) の作り方

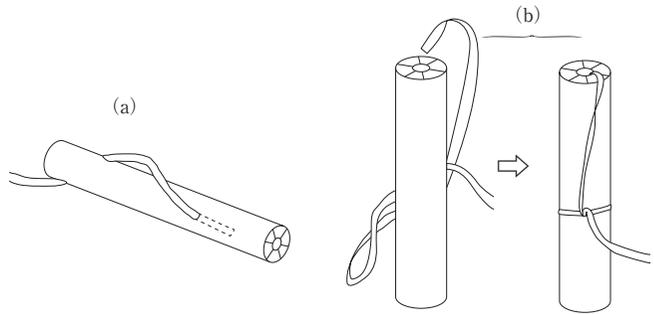


図2.59 含水爆薬への雷管装入法

- ⑧ 空洞のある孔は、ポリエチレンチューブ（導電性のものが好ましい）等により、過装薬とならないよう措置を講ずる。

4) 込物

込物は、一般に粘土、砂などを使用し、横孔装薬時はポリエチレン袋に入れて装入する。粘土の硬さは孔の中に押しつけるとつぶれる程度がよく、袋入りの砂、岩粉も、ある程度袋に余裕のある方が使いやすい。

- ① 初めの1本は静かに押し込み、次第につき固め回数を多くして強くこめるようにして薬包面を完全に密閉する。
- ② つき固めるときに導火線を痛めないよう、また電気雷管の脚線を巻きこまないよう手で軽く緊張しながら行う。
- ③ 各発破孔にもれなく込物を装入する。忘れると空吹きすることがある。

5) 荒れ孔の装填

あらかじめ装填する薬包、親ダイ、込物を用意し（電気雷管の段数に注意）、込棒を抜いた直後に手早く薬包、親ダイ、込物の順で当該発破孔ごとに装填する。要領は前記2), 3)と同様であるが、手早く行う必要があるのでより注意しなければならない。

6) 後片付け

装填が終了したら、残った火薬類の種類と数量を確認し、携帯用容器に収納して安全な箇所に保管する。込棒、残った込物も所定の場所に片付ける。

(4) 結線

1) 結線方法

電気雷管の結線方法には直列式、並列式、直並列式の3種類があるが、発破器を点火源とするときは、直列式が次の点で優れている。

- ① 結線方法が簡単で誤りが少ない。
- ② 結線不良が1箇所あっても導通しないから全孔点火せず、部分的不発が防止できる。

- ③ 結線の不具合いで回路に大きい抵抗を生じて、テストで直ちに発見できる。
- ④ 並列結線は大電流が必要であるが、直列結線は計算上 1 A、安全率をみて、2~3 A以上の電流でよい。

2) 直列式

直列結線は、隣り合せの電気雷管の脚線を次々と結線し、両端の電気雷管脚線のうち1本と母線とを結線する方法である（図2.60参照）。

- 長所**
- ・ 結線の誤りが少ない。
 - ・ 不発のときの調査が容易である。
 - ・ 母線と脚線との短絡が起こらない。
 - ・ 電気発破器で点火できる。

- 短所**
- ・ 電気雷管の抵抗を統一しなければならない。抵抗の大きいものは、先に爆発する。
 - ・ 雷管形式、脚線長を同一にしなければならない。

3) 並列式

並列結線は、各電気雷管の脚線をそれぞれ母線に直結する方法である。

- 長所**
- ・ 電気雷管の抵抗が少し位ばらついても影響しない。
 - ・ 大型発破に利用される。

- 短所**
- ・ 結線に誤りを生じやすい。
 - ・ 結線もれや電気雷管不良のものがあれば、それだけが不発となる。
 - ・ 線と脚線の短絡が起こりやすく、メタンガスや炭じんの発生箇所には採用できない。

4) 直並列式

いくつかの直列結線群を並列に結線したもので、図2.61のように結線し、電灯線や動力線により大量に斉発する。斜・立坑などの大断面で断面の中央、左右、上下と区画的に直列結線したものをさらに並列結線する方法である。

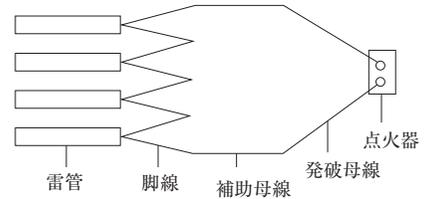


図2.60 電気雷管結線（直列方式）

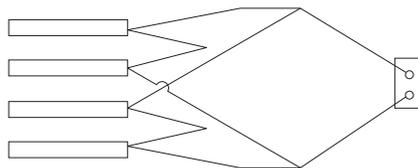


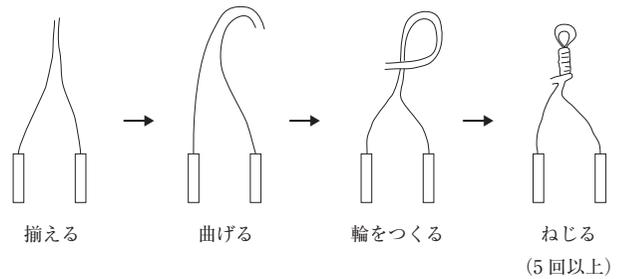
図2.61 電気雷管結線（直並列方式）

5) 結線作業

結線作業の不備は、結線抵抗の増大、短絡、電流の漏えいとなって不発を生ずる原因となるから、各作業は、決められた手順に従って確実に行わなければならない。

① 脚線の結線

- ・脚線をほどいてよごれを除き、錆は紙ヤスリなどでみがいて結線抵抗の増加を防止する。
- ・脚線の結び方を、図2.62に示す。
- ・結線部は岩盤などに触れないように処置し、電流の漏えいを防止する。湧水の多い切羽では結線部を絶縁テープで被覆する。



② 補助線の結線

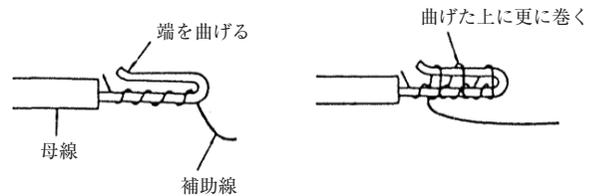
脚線の結線が終了したら、発破母線が傷つかない位置まで補助線を延長して、その末端をそれぞれ脚線結線の両端に結線する。

- ・補助線と脚線との結線は、図2.62と同じく、各々の末端はよくみがいて結ぶ。
- ・結線部は互いにずらし、絶縁テープを巻き、短絡、接地を防止する。
- ・延長した補助線を損傷しないように注意する。

図2.62 脚線の結び方

③ 発破母線の結線

発破母線と補助線の結線は、図2.63のように行う。この場合、結線部位置を互いにずらして短絡を防止するとともに、接地しないよう留意する。



6) 発破母線

発破母線は、綿ゴム、合成樹脂などで被覆・絶縁された機械的に強力な電線で、2心1線の場合と単心2線の場合がある。いずれの場合も、常に発破によるズリの飛散を避ける十分な長さ（30m以上）を保持することが大切である。使用中に損傷して漸次短くなりやすいので注意を要する。

発破母線の使用では、次点の注意が必要である。

- ① 発破母線は、絶縁度が良好で、銅線の太さは径1 mm以上が望ましい。
- ② 発破母線は、結線の前に必ず導通試験を行う。
- ③ 発破母線の電気雷管脚線または補助線への脚線側の心線は、常に長短不揃いとし、短絡による不発・ガス炭じんへの着火を未然に防止する。
- ④ 発破母線は電線路、その他の充電部または帯電の恐れが多い軌道、鉄管類から隔離し、かつ、浮石などに対し安全な位置に布設する。
- ⑤ 発破母線の点火器に接続する側の末端は、点火するとき以外は常に短絡させておく。

7) 結線時の一般的注意事項

- ① 発破器により点火するときは、原則として直列結線とする。

- ② 結線抵抗はできるだけ小さくするよう努める。
- ③ 短絡防止の措置をとる。
- ④ 裸部接地，浸水，金属に結線部が触れることは絶対に避ける。特に，水の多い発破箇所では電流の漏えいを少なくする。
- ⑤ 発破時には，次項に留意する。
- ・出力の十分な発破器を使用する。
 - ・発破母線から漏えいしないよう，絶縁被覆の完全なものを使用する。
 - ・結線部は絶縁物で被覆する。
 - ・脚線は，ピンホールのないビニール脚線を使用する。

(5) 導通試験と所要電圧の算出

導通試験は，装填・結線を完了した発破電気回路の最後の点検機会である。確実に実施し，異常が認められたときは，その原因を確かめて必要な処置を取る。

1) 導通試験

- ① 導通試験は，発破電気回路に電流が流れるから，発破に対して安全な点火位置で行う。なお，通電電流1 mA以下の光電池式テスタを使う場合は，切羽で導通試験を行ってもよい。
- ② 実験抵抗値と計算値との誤差は10 %以下とする。10 %以上のときは，再点検が必要である。
- ③ 発破電気回路の抵抗の測定は，発破母線が短絡した端末をほどこき，テスタの端子に確実に取り付けて，目盛を読みとり記録する。測定が終了すれば，発破母線の端末は短絡する。

電気雷管，補助線，発破母線の抵抗を，各々表2.19，表2.20および表2.21に示す。

2) 所要電圧の計算式

直列，並列，直並列ごとの所要電圧計算式を，次に示す。

- ① 電圧・電流・抵抗の関係式 $E = I \times R \cdots \cdots (2.17)$

E ：電圧（V：ボルト）， I ：電流（A：アンペア）， R ：抵抗（ Ω ：オーム）

表2.19 電気雷管の抵抗

脚線長 [m]	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
白金線付標準抵抗 [Ω]	0.97	1.04	1.11	1.17	1.24
公差 [Ω]	± 0.1				

表2.20 補助線の抵抗

長さ [m]	10	20	30	40	50
抵抗 [Ω]	1.11	2.23	3.35	4.47	5.59

表2.21 発破母線の抵抗

種類	線径	単線1 mの抵抗 [Ω]	複線50 mの抵抗 [Ω]	複線100 mの抵抗 [Ω]
銅線径1.016 [mm]	1.024	0.021	2.1	4.2

$$\textcircled{2} \text{ 直列結線の場合} \quad E = I \times (R_0 + mR) \cdots \cdots (2.18)$$

$$\textcircled{3} \text{ 並列結線の場合} \quad E = nI \times (R_0 + R/n) \cdots \cdots (2.19)$$

$$\textcircled{4} \text{ 直並列結線の場合} \quad E = nI \times (R_0 + mR/n) \cdots \cdots (2.20)$$

I : 電気雷管1個に対する点火電流

R_0 : 発破電気回路中、電気雷管以外の総抵抗

(補助線の抵抗 + 発破母線の抵抗 + 点火器の内部抵抗)

m : 直列雷管数, n : 並列雷管または回路数

⑤ 前記の直接結線の計算式から、次のことがいえる。

- ・抵抗 (R) は電気雷管数に伴って増加する。
- ・電圧 (E) も同様である。
- ・電流 (I) は変りがない。
- ・電気発破器を使用してよい。

⑥ 同様に、並列結線の場合、次のことがいえる。

- ・抵抗 (R) は電気雷管1個の抵抗を雷管数で除したものになるから、かなり減少する。
- ・電圧 (E) は、電気雷管当りの電流を維持するためには大幅に増大する。
- ・電流 (I) は雷管数に伴って増加する。
- ・電灯線を利用しないと電流が足りない。

3) 所要電圧の計算例

例1 : 次の条件で電気発破を行うとき、① 直列結線の所要電圧、② 並列結線の所要電圧所要電圧を計算せよ。

電気雷管数 : 20個 (点火電流 : 1 A, 抵抗 : 1.52 Ω/個), 補助線 : 20 m複線 (抵抗 : 0.36 Ω/m), 発破母線 : 100 m (抵抗 : 0.05 Ω/m), 電気発破器の内部抵抗 : 18Ω

解答

$$\textcircled{1} \text{ 直列結線} \quad E = I (R_0 + mR) \text{ で}$$

$$R_0 = 0.36 [\Omega/\text{m}] \times 20 [\text{m}] \times 2\text{本} + 0.05 [\Omega/\text{m}] \times 100 [\text{m}] + 18 [\Omega] = 37.4 [\Omega]$$

$$m = 20, R = 1.52 [\Omega/\text{個}], I = 1 \text{ Aを代入して,}$$

$$E = 1 \times (37.4 + 20 \times 1.52) = 67.8 \text{ V}$$

$$\textcircled{2} \text{ 並列結線} \quad E = nI (R_0 + R/n) \text{ で}$$

$$R_0 = 0.36 [\Omega/\text{m}] \times 20 [\text{m}] \times 2 + 0.05 [\Omega/\text{m}] \times 100 [\text{m}] + 18 [\Omega] = 37.4 [\Omega]$$

$$n = 20, R = 1.52 [\Omega/\text{個}], I = 1 \text{ Aを代入して,}$$

$$E = 20 \times 1 (37.4 + 1.52/20) = 749.52 [\text{V}]$$

上記計算例のように、結線の条件が全く同じでも、並列結線の方が10倍以上の電圧が必要で、通常の発破器では電圧不足のため、電灯線等を使用しないと電流不足となることがある。

4) 導通不良の場合の調べ方

- ① 抵抗が無限大のときは、断線であるから次の順序で調べる。
- ・発破母線の断線かどうか調べる。補助線を離し、発破母線を短絡して導通試験を行う。
 - ・次に補助線の断線かどうか調べる。補助線と脚線を離し、補助線の切羽側を短絡し、補助線と発破母線を結線して導通試験を行う。
 - ・最後に電気雷管の断線かどうか調べる。電気雷管の結線した脚線を2分して、一方を補助線に接続して点火位置で導通試験を行う。導通がなければそのグループに不良があることがわかるから、そのグループを更に半分に分けて前同様の試験を行い、導通の有無を見る。
- ② 抵抗測定値が、計算抵抗値の許容範囲の上限（計算値 × 1.1）と無限大との間にあるときは、結線抵抗が増加しているなので、結線部を点検し不良結線部の錆やよごれを除き再度結線する。
- ③ 測定値が計算値の許容範囲の下限（計算値 × 0.9）を下回るときは、脚線どうしの短絡であるから発破電気回路を点検する。
- ④ 測定値が更に小さいときは、母線あるいは補助線の短絡である。

5) 導通不良の場合の処置

① 発破母線、補助線が断線の場合

不良部分を切り捨て、心線を約5 cm現わし、紙やすりなどでよくみがいて心線をねじ合わせ、絶縁テープを巻いた後点火位置で導通試験を行って修理結果を確認する。

② 発破母線、補助線の結線不良の場合

不良結線部をほどいて両心線をよくみがき、断線の場合と同様の処置をとる。

③ 脚線が断線の場合

切羽に露出している部分の断線のときは、再結線を行う。孔中での断線のときは、込物をぬきとり新しい親ダイを装填して結線し直す。

(6) 点 火

1) 警 戒

「第2節 発破 3 発破作業 (2) 発破準備 6) 発破警戒」を参照。

2) 点 火

導通試験完了後、下記事項を確認してから、当該の火薬類作業監督者、または発破作業担当者自らが発破母線の端末をほどき、発破器の端子に接続して、携帯していたハンドル（キー）で点火する。点火後は母線の端末をねじ合わせて短絡させる。

3) 電 源

「第2節 発破 3 発破作業 (1) 電気発破用機器 1) 発破器」を参照。

(7) 発破後の処置と異状発破

1) 発破後の点検

火薬類作業監督者、発破作業担当者は、発破後、次の点検・処置を行う。

① 発破警戒の解除

見張人に発破の終了を連絡し警標を撤去する。

② 残火薬類の返還

残った火薬類は、速やかに火薬類取扱所または火薬類受渡場所を介して火薬庫へ返還する。

③ 再点火防止のための処置

発破作業担当者は、発破切羽の点検に当たる前に、万一の不発に備え、再点火防止の処置を取る。

- ・電気点火法の場合は、発破母線を点火器から切り離し、その端を短絡させて、かつ、再点火防止の措置を取る。
- ・ガス導管点火法の場合は、ガス導管内の爆発性ガスを不活性ガスで完全に置換し、かつ、再点火防止の措置を取ってから、5分以上経過後に点検を行う。
- ・その他の点火法の場合は、再点火防止の措置を取ってから、15分以上経過後に点検を行う。

2) 不発、残留の処置

点検で不発、残留を発見したときは、次のいずれかによって処置する。

① 不発火薬類が孔中に残ったとき

- ・不発孔から0.6 m（石炭鉱山では0.4 m）以上の距離を取って平行孔をせん孔し、この孔に新たに装填して殉爆させる。火薬類は、鈍感な爆薬でも、せん孔中のビットが触れると爆発する可能性が大きい。この種の災害は多く発生しているため、特に慎重に行う。
- ・不発孔からゴムホースの水流または圧縮空気で込物、火薬類を流し出して回収する。ただし、ANFO爆薬は圧縮空気では回収してはいけない。
- ・不発孔からゴムホースの水流、または圧縮空気で込物を流し出した後、新たに親ダイを装填し、再点火して殉爆させる。

② 不発火薬類が行方不明のとき

不発火薬類が隣接孔の爆破で飛び出した可能性があったり、前記の平行孔再発破で殉爆の確認ができず、不発火薬類が起砕ズリに混入した恐れのあるときは、適当な表示をし、直ちに保安統括者または保安管理者に報告する。

③ 発破作業担当者が不発、残留の処置ができないとき

発破作業担当者は、当該発破箇所では交替者に引き継ぐか、または不発孔に標識などを付けて明示し、かつ、柵囲などの危険防止措置を行って交替者に引き継ぐ。

3) 異状発破

装填火薬類に不発、残留、空発、燃焼が生じ、期待した破碎効果が得られなかった発破をいう。

① 不 発

装填した爆薬が爆発しない場合をいう。不発のときは、不発孔として発破後も残っていることが多いので、発破後点検では比較的発見しやすい。

② 残 留

装填した爆薬の一部が爆発し、一部が残る場合をいう。不発と異なり爆発しているの、発破後点検では発見しにくい。残留薬包にバケットツースやせん孔ビットが当たり災害となる可能性がある。

③ 空 発

装填した爆薬が孔から吹き出し爆発することをいい、次のようなときに空発が起こる。

- ・装薬量に対し最小抵抗線が大きく、弱装薬となって込物が吹き出る。
- ・過装薬で負荷は僅少な爆力で起砕され、残った大部分の爆力が無負荷で爆発する。
- ・込物が詰められていない場合や不十分な場合。

④ 燃 焼

爆薬が爆発せずに燃えることをいう。最近では、爆薬もよくなり装填方法も確実にってきているので燃焼はまれである。燃焼は発煙するので、すぐ発見できる。ただし、燃焼途中で爆発することがあり、また可燃性ガスに着火する危険があるから注意を要する。燃焼が起こったときは、その状況を詳細に調査し、メーカーに連絡して打合せ、対策を講ずる。

(8) ANFO爆薬による発破

ANFO爆薬による発破は、装填のとき静電気を発生する。また、発破の後ガスは、往々にしてNO_xガスを発生する。静電気は微粒子の摩擦、衝突で発生するので、発生した静電気は、蓄積させず、小さな電圧のうちに放電させることが大切である。NO_xガスは、空発、残留など異状発破のときに発生しやすい。ANFO爆薬を使用する発破箇所では、必要な通気量の確保が大切である。

1) ANFO爆薬の吸湿

ANFO爆薬は硝安94%、油剤6%のときに最大爆速となり、油剤が6%以下になると爆速は急速に低下する。油剤が分離した場合（色に濃淡がつく）は、よく混合する。

プリル硝安は吸湿しやすく、吸湿すると、爆速が急速に低下し、水分9%以上では不発になることがある（図2.64参照）。従って、貯蔵中に吸湿しないよう留意し、また、水の多い切羽で使用するときは十分な防水対策を講じる。

2) ANFO爆薬装填による爆速の変化

ANFO爆薬は、その粒子が小さいほど爆速が高くなる（表2.22参照）。装填機によるANFO爆薬の圧気装填では、プリル硝安粒子は圧縮空気によって粉碎され、爆速が高くなる効果をもたらす。しかし、静電気の発生を考慮すると、急速な装填は避けるべきである。

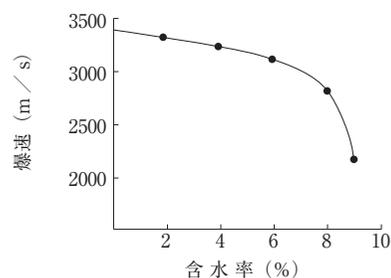


図2.64 含水率と爆速度の関係

表2.22 ANFO爆薬の粒度と爆速

粒度 [μ m]	平均粒径 [mm]	爆速 [m/s]
2000 ~ 2380	2.0	2,600
1190 ~ 2000	1.4	2,780
840 ~ 1190	1.0	3,000
500 ~ 840	0.7	3,480

3) ANFO爆薬使用上の注意事項（特に静電気）

① 一般的注意事項

- ・服装は木綿のように吸湿性の高い作業服，下衣，靴下を着用し，安全靴は，半導電性のある静電気用のものを着用する。
- ・静電気測定器で静電気の帯電を測定し，もし静電気があれば，帯電箇所を補助線で接地して，静電気を逃がす。その後，再度測定して静電気がないことを確認する。
- ・爆薬取扱中は喫煙してはならない。また，裸火も使用しない。

② 発破準備での注意事項

- ・薬包に電気雷管を装着（親ダイ作り）する前に，両手を岩盤に付けて身体の静電気を逃がす。
- ・親ダイ作りは，ANFO装薬切羽や静電気を帯電しやすいゴムホース，ビニールパイプ，風管あるいは電線，鉄管，レールなど電気の流れ易いものから，適当な距離を取った安全な所で行う。
- ・親ダイ作り作業中も，体に静電気を発生することがあるので，ときどき両手を接地する。
- ・爆薬，電気雷管は，静電気を帯電しやすいゴムホースやビニールパイプから離れた場所に存置する。

③ 圧気式装填機による装填作業の注意事項（表2.23参照）

④ 流し込み装填作業の注意事項

- ・流し込みはゆっくり行う。また親ダイに電気雷管を使用する場合は逆起爆，中間起爆は避けること。防水上ポリエチレンなどの袋でカートリッジにして装填するときは，特に時間をかけて静かに装填する。

⑤ 親ダイ装入の注意事項

- ・装填機，空気ホースなど静電気が帯電しやすいものは切羽から片付けて隔離すること。
- ・ANFO爆薬装填後5分位は時間を置き，その間電気雷管，プライマは装填箇所近づけたり，取り扱ったりしない。
- ・装填作業後，体についたANFO爆薬の吹き戻りは，エアブローで吹き払わない。必ず両手を接地して，体の静電気を逃がす。
- ・逆起爆，中間起爆による電気雷管を使用した親ダイの装入は，危険が大きいの避ける。
- ・親ダイの装入は木製込棒で行い，装填用ホース，塩化ビニール，ポリエチレンなど電気絶縁性の高いものは使用しない。

⑥ 結線作業の注意事項

- ・脚線や補助線を取り扱うときは線をしごかない。特に防水手袋を着用したときは注意する。
- ・脚線，補助線端末の裸線部，各結線部は，必要に応じて絶縁テープを巻いて絶縁する。
- ・結線が終れば，なるべく早く点火する。

⑦ 不発・残留の処置（本節3（7）発破後の処理と異状発破 2）不発，残留の処置を参照）

表2.23 圧気式装填機による装填作業の注意事項

対 象	注意事項
装填機	a) 使用前後によく点検し，また，清掃する。 b) 装填作業中に発生する静電気をにがすため確実に接地する。 c) 接地はルール，鉄管，常設の電気接地系統に直接繋いだり，その近くを取らない（迷走電流流入の防止）。
装填用ホース	a) 静電気を消散でき，迷走電流の流入を防止できるもの（電気抵抗 107 Ω /m 以下，104 Ω /m 以上）を使用する。 b) 表面を静電気防止加工したものは，古くなると電気抵抗値が高くなりやすいため使用しない。 c) 鉄線コイル入りは，断線・錆・折れ等により接続が不良になりやすい。 d) たとえ同材質のホースでも，継ぎ足したものは使用しない。 e) 濡したり，汚したり，泥をつけたりしないようにする。 f) ホースの長さは，装填する孔の孔深より 60 cm 以上長くして使用する。 g) ホースのコントロールバルブは，急激な開閉操作を避ける。 h) 装填中のホース先端は，常に孔底や装填面から約 20 cm 位の位置に保ち，ANFO の吹き戻りを防止する。
その他	a) ANFO 爆薬を装填するときは，静電気が逃げにくいので，装填は十分時間をかけてゆっくり行う。 b) ANFO 爆薬装填用のポリエチレンチューブは，導電性あるいは帯電防止形のものを使用することが望ましい。

4 発破災害

発破災害には，次のような特性がある。

- ① 発生頻度は高くないが，一度発生すると重傷または死亡の重大災害となる。
- ② 災害の原因のほとんどはオペレーション・ミスである。

従って，一瞬の油断や不注意による手順の省略が重大災害に繋がる。発破災害の防止には，常に決められた手順で火薬類を取り扱い，発破作業を行うことが大切である。

(1) 発破災害の分類

1) 不発および残留による災害

- ① 不発，残留の点検が不十分のため，残留爆薬にせん孔ビットをくりあてる。
- ② 不発，残留は，点検で分っていたが，せん孔不良でくりあてる。
- ③ 不発，残留の点検はしたが発見できず，くりあてる。

2) 退避遅延による災害（導火線発破で多く発生）

- ① 点火具不良のため，点火時間に手間どって退避遅延

- ② 連絡不十分，退避通路不良により退避遅れ
- 3) 装填中の災害
 - ① 込棒不良のため爆発
 - ② 雷管の異状圧迫のため爆発
 - ③ 導通試験中に爆発
 - ④ 迷走電流による爆発
- 4) 早期接近による災害
 - ① 完爆したと誤認して接近したため
 - ② 錯覚による接近のため
 - ③ 待機時間を短縮して接近したため
- 5) 退避場所不適當による災害
 - ① 退避場所の位置，構造が不良であったため
 - ② 退避場所は適當であったが退避状態が不良であったため
- 6) 警戒不完全による災害
 - ① 警戒区域の設定を誤ったため
 - ② 警戒方法を誤ったため
 - ③ 警戒解除の方法を誤ったため
 - ④ 貫通発破で反対側（貫通側）の警戒不良のため
 - ⑤ 点火直前の警戒確認を忘れたため
- 7) 火薬類携帯運搬中の災害
 - ① 携帯中に引火した（通電または火が入った）ため
 - ② 火薬類以外のものを一緒に収納したため
- 8) 凍結ダイナマイト融解中の災害
 - ① 融解方法不良のため
 - ② 融解設備不良のため
- 9) 電気雷管結線中の災害
迷走電流，静電気などによる暴発など
- 10) その他の原因による災害
ズリとり中に，残留爆薬に打ちあてたため

(2) 発破災害の防止

1) 退避遅れによる災害防止

この災害は，導火線発破のときに起こるもので，無理な点火が原因である。

点火回数を少なくし，多数のものに点火する場合には，TSコードを使用する。また発破時計などにより点火の際の時間経過を確認する。

2) 不発残留爆薬による災害防止

点火後、不発または不発の恐れのある時には電気点火法の場合は発破母線を点火器から取り離し、その端を短絡する。

再点火できないようにしてから、ガス導管点火法の場合はガス導管内の爆発性ガスを不活性ガスで完全に置換し、かつ、再点火できないようにしてから5分以上、その他の場合は点火後15分以上経過した後でなければ、火薬類装填箇所付近に近寄らない。

① 不 発

不発処理は困難であり、処置を誤ると災害が起こるので、慎重に行う。

② 残 留

不発とは異なり、爆音を発しており気付かない場合がある。そのため、次のさく孔では、絶対に孔尻を利用しない。万一の場合に備え、最近では含水爆薬を使用し、安全性を高めることが多く採用されている（本節3 発破作業（7）発破後の処置と異状発破 2）不発、残留の処置を参照）。

3) 取扱い上の不注意による災害

この災害の大部分は、火薬類についての知識が浅いか、あるいは軽視し過ぎたために起こる。保安教育の徹底を期する外に方法はない。

4) 早期接近のための災害防止

完爆と誤認したり、錯覚によって発破箇所早く近づき災害を起こした例があるので、十分注意しなくてはならない。

5) 警戒不良のための災害防止

発破の警戒は、特に重要である。採掘場内はもちろんのこと、隣接鉱山や付近の田畑、道路に対しても厳重な警戒が必要である。

6) 退避不良のための災害防止

発破現場の状況並びに方法によって、退避の位置を選定すべきであるが、その選定を誤った場合に起きている。従って、飛石の危険のない安全な位置で、かつ発破振動による上部からの落石にも安全な位置を選定すべきである。

7) 雷による災害の防止

雷による災害は、雷管や火薬類または結線回路への直撃による暴発よりも、雷によって脚線や発破結線回路に発生する誘導電流による暴発が多い。このため、最近ではガス導管雷管システムや導火管付雷管システムが採用されるようになった。その他の方法では、導火線または導爆線により発破を行うべきである。やむを得ず電気雷管による発破を行う場合には、襲雷を予知し、いつでも退避できる体制を取り、退避時には電気雷管の脚線や発破結線回路の両端は開いておくことが重要である。

(3) 飛石による災害の防止

飛石による災害は、火薬類の消費中に発生する災害のうち最も大きな割合を占めるものであるから、発破の実施に際しては、飛石防止に十分な注意を払い、災害の発生を未然に防がなければならない。

飛石の種類は一般に次の三つに大別することができる。

① 過装薬飛石

装薬量が多過ぎて飛び出すのが原因である。

② 鉄砲飛石

弱装薬で荷が重過ぎるため岩石を破碎せず発破孔からガスと込め物が吹き出し、孔口付近の岩石を吹き飛ばすのが原因である。込め物が不十分な場合にも発生する。

③吹き出し飛石

岩盤の亀裂、断層、空洞など岩盤の弱い部分からガスが噴出し、思わぬ箇所から飛石が発生する。

飛石を防止するためには、上記原因を考慮し、各現場に則した対策を実施する必要がある。作業手順は同じであっても岩盤条件や湧水の有無等が日々変化することを考慮して、その都度確認しなければならない。

5 発破による環境問題

最近、発破による環境問題が社会的に大きく取り上げられるようになってきた。これは効率の向上をはかった発破の大規模化、住宅地域や構造物の近くで発破を行う機会の増加等による。問題となるのは先述の飛石に加え、発破振動、発破音（低周波音）が挙げられる。

1) 発破振動

一般的に発破振動の持続時間は数十ms～数秒である。微小振動も含めると数十秒～数分続くこともある自然の地震動と比較すると、非常に短い持続時間である。また発破振動は、その周波数は高いことが特徴であり、一般的に地震の卓越周波数は数Hzであるが、発破振動は数十Hz～数百Hzである。このため発破振動と地震動では構造物や人体への影響が異なる。

発破振動は基本的に火薬量と切羽からの距離によって決定される。しかし距離はほとんどの場合変更できない条件であるから、その対策は先ず火薬量すなわち段当たりの薬量を削減することが一般的である。

2) 発破音（低周波音）

発破音は日常接している音とは異なり一過性で、しかも衝撃的である。短いものは1秒以下、長くても10数秒程度である。また、100 Hz以下の低い周波数の音を多く含み、距離減衰しにくいので遠くまで影響する。この低周波音による影響と考えられるのが、圧迫感や振動感、睡眠への影響など「人体への影響」と、がたつきなどの「建具への影響」である。

発破音の軽減対策は、以下のとおりである。

- ・ 岩盤からの入射応力削減として、制御発破の実施、抵抗線の拡大
- ・ 面音源の縮小として、段発発破の採用、段数の増加、せん孔径及び孔間隔、抵抗線の縮小
- ・ 波動干渉を利用する対策として、DS雷管、MS雷管、IC雷管の使用

第3章 表土集積場

1 表土集積場

従来、鉱山保安法上、金属鉱山等では「たい積場」、石炭鉱山では「集積場」と称していたが、実態上、処分方法に違いがないことから平成16年の法改正において「集積場」という表現に統一された。

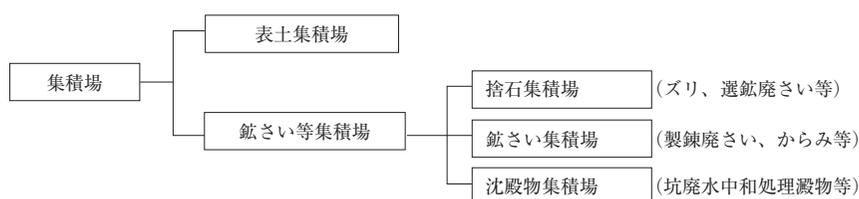


図2.65 集積場の分類

表土とは、金属、非鉄金属、石灰石および耐火粘土などの採掘に伴い、除去を必要とする土および岩石を交えたものを総称することばで、鉱床を被覆しているものに限らず、その周囲にあるものも含まれる。表土、粘土、岩石を含むが、外見がいわゆる土状のものと考えてよい。

表土集積場に集積される表土の中には、多かれ少なかれズリが混入しているのが普通である。ズリの混入が著しく多い場合には、捨石集積場と概ね同様と考えるよい。

鉱業の実施に伴って、廃棄処置しなければならない表土が多量に発生し、鉱山の付近に置かれるので、場所の選定、集積の方法、土留構造物の設計が適切でない場合は、降雨などの影響によって流出し、災害並びに鉱害を発生する恐れがある。このため、鉱山保安法、鉱山保安法施行規則では、表土集積場を認可施設として取り扱っており、技術上の設計基準として、通商産業省環境立地局の「表土集積場建設基準」が昭和57年に制定され、平成17年には鉱山保安法改正に伴う技術指針（内規）として新たに制定（内容は昭和57年改正時のものと同じ）された。

その後、平成23年の東日本大震災では、鉱山の集積場においても、集積場集積物が流出し、一部民家や河川、鉄道、田畑への流入被害が発生したことを受けて、平成24年に「鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令の技術指針（内規）」が制定された。

(1) 表土の性質

石灰石鉱床の表土を構成している土粒子の平均真比重は2.7前後であり、粘土鉱山の表土では2.5位のものもある。単位体積質量すなわち現場密度は、含水量や縮まりの程度により相当な変動があつて、1.3～2.0 t/m³、平均1.7 t/m³程度である。含水比も5～50%と広く変化していて、普通20～30%である。また表土の粒径2 mm以下の分についての三角座標による分類によれば、粘土質ローム、シルト質ロームまたは砂質ロームに属するものが多い。

なお、表土の主な化学成分はけい酸、アルミナ分、鉄分であつて、その50%以上がけい酸である。

(2) 崩壊防止施設

崩壊防止施設には、排水施設、かん止施設、斜面保護施設がある。

1) 排水施設

谷間に表土集積場を設ける場合には、上流から流入する沢水、山腹水などを沢水排水路、山腹水路などの施設によって排除し、できるだけ表土集積場内に流入させないようにする。

沢水排水路は、表土集積場外の地山に設ける。十分な通水能力があり、その内部を点検できるようにする。上流部に水路の閉塞を防止するため、土砂止め、流木止めなどの設備を備える。

山腹水路は、集積面に近接して設け、山腹に降った雨水を集積場内に流入させないように山腹水をよく捕集することができ、水が浸透、流入することの少ない構造とする。

表土集積場の中に降った雨水や、集積場の下底からの湧水を排除する施設として、表面排水路や「めくら溝」も必要である。表面排水路を設けることが困難で、鉤害を生ずる恐れがある場合には、場内に貯留施設や処理施設を設ける。表土集積場の下底もしくは土留施設の下底の湧水、または浸透水を排除するためには、めくら溝を設置する。

斜面を洗掘した濁った雨水を処理するため、沈殿池を設ける場合もある。

詳細は本節2表土集積場建設基準（抜粋）を参照されたい。

2) かん止施設

土留施設は、臨時の目的で設ける場合を除き、原則として永久施設とし、基礎地盤に対し許容支持力以上の荷重を与えず、集積物に接して設ける。集積物の崩壊を防ぐ施設としては、杭柵、土留石垣、よう壁などがあり、既に述べたズリ集積場の場合と概ね同様である。

上記の土留石垣、よう壁のほかには土、ズリ、コンクリートなどによるかん止堤を構築し、これによって表土の崩壊、流出を防止することもある。

3) 斜面保護施設

集積した表土の斜面は、降雨によって洗掘されることが多く、その濁水が下流耕地に流入すると、鉤害の原因となる。斜面の保護工には、斜面に階段工を施して流水の水勢を減殺する方法や、斜面に芝付または植栽を施し、植物の根によって地表を緊結させ、またはズリ等で斜面を被覆して雨水による表面浸食を防ぐ方法などがある。

(3) 集積の場所および集積方法

表土は鉤車、コンベア、ダンプトラックなどによって集積場に運搬し、集積される。

既存の集積場は、その半数が山腹、残りの約半数が谷間、残余が平地その他である。集積場の地山の傾斜は20～35°が半数以上である。また、谷間に設けた集積場に、大容量のものが多。

集積物の崩壊または流出を防止するため、できるだけ集積物の締固めを行う必要がある。締固めは集積物のせん断強度

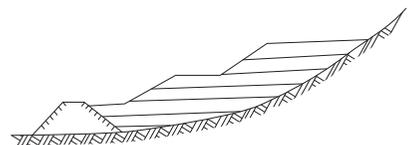


図2.66 水平層状集積法の例

を高めるばかりでなく、雨水などの集積物への浸透を防止し、集積場内の間げき水圧の上昇を防ぐとともに、雨水による集積面の洗掘を防止する効果もある。

集積方法には、概ね次の方法がとられている。

1) 水平層状集積法

① 表土を水平層状に積み上げていく集積法をいい、図2.66のような形態をとる。

② 表土を厚さ1 m以内にまき出して、ブルドーザ等でその上面を十分（JIS A 1210による最大乾燥密度の85 %以上の締固度となる程度）に締め固める。
集積物が土と粒径75 mmを超える岩石との混合物にあっては、岩石のみを集めないで土が岩石と岩石の間の空げきを十分満たすように集積するものとする。

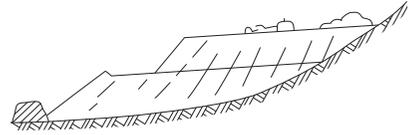


図2.67 まき出し集積法

2) まき出し集積法

集積面の水平部分を拡張していく集積法をいい、図2.67のような形態をとる。

次のような場合に採用できる。

- 下流側に採掘跡地等があって、地形的に集積物の流出による鉱害の発生の恐れが極めて低い場合。
- 集積途中および集積終了跡において、集積物の流出を防止するため十分堅固なかん止施設を設ける場合。
- 集積物が粒子同士のかみ合いがよい粗粒土および礫から成り、自由排水性を有する場合。

3) 投下集積法

表土を採掘跡地等のくぼ地の上部から投下して行く集積法をいう（図2.68参照）。

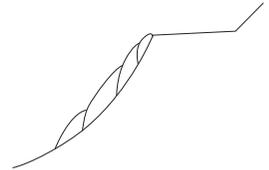


図2.68 投下集積法

表土を上部から投下するだけで、締め固めが行われないので、集積物のせん断強度が低い。また、集積面の整形も行えないため、集積物の安定度が極めて低い。従って、本法は、採掘跡、ドリーネ（石灰石台地にできる窪地）等、地形的に集積物の流出の恐れがない場合に限って行う。

投下集積を行う場合には、地山の壁が、集積物の崩壊または流出時の圧力に耐えられる厚さを有することを確認する必要がある。

2 表土集積場建設基準

表土集積場建設基準の一部を参考までに抄記する。

なお、この基準の適用範囲は、金属、非金属または石灰石鉱業に係る表土集積場であり、次の各号の一に該当するものの設置または変更の工事をする場合の一般的な基準である。集積場の建設基準は過去に発出した通達で、現在は技術基準第33条に示され、その詳細は技術指針第25章に明記されている。

- ① 地盤面からその直上の集積面までの鉛直高の最大値が10メートル以上のもの。
- ② 集積物の高さが15メートル以上のもの。
- ③ かん止施設の高さが5メートル以上のもの。
- ④ 前3号に掲げるもののほか、保安のため必要があると認められるもの。

(1) 位置の選定

表土集積場の位置を選定するときは、次によるものとする。

- ① 下流側近傍に人家、重要な構築物等が存在しないこと。ただし、やむを得ない事由がある場合であって、保安上支障がないと認められる場合は、この限りでない。
- ② 土石の流入が少ないこと。
- ③ 山崩れ、地すべり、雪崩等のおそれが少ないこと。
- ④ 集水面積の大きな谷を締めきる位置でないこと。
- ⑤ 基礎地盤が適切なものであること。

(2) 排水施設

1) 場外水排除施設

沢水、山腹水などは沢水排水路、山腹水路などを設けて排除し、できるだけ集積場内に流入させないようにすること。ただし、山腹水路については、地形上設置が困難と認められる場合、または集水面積が極めて小さい場合は、これを設けないことができる。

2) 沢水排水路

- ① 流量に対し余裕のある構造とすること。
- ② 堤体外の地山に設けること。
- ③ 地形上前号の規定によることができない場合には、基礎地盤を切り込み堅固な構造とし、かつ、その内部を検査できるようにすること。
- ④ 流木、土石等による閉そくを防止するため、上流部に土砂止め、流木止め等適切な施設を設けること。

3) 山腹水路

- ① 流量に対し余裕のある構造とすること。
- ② 集積場の周囲になるべく接近して設けること。
- ③ 山腹水をよく捕集することができる構造とすること。
- ④ 雪崩または土砂流入のおそれのある箇所には、適切な保護施設を設けること。

4) 場内水排除施設

- ① 集積物の上を流下する水を安全に排除するため、適切な表面排水路を設けるものとする。
- ② 集積場内の湧水および集積物の含有水を排除するため、暗きょまたはめくら溝を設けるものとする。
- ③ ②の暗きょおよびめくら溝には集積物の流出を防止するため、ろ過層による被覆等の適切な措

置を講じなければならない。

5) 暗きょ

- ① 流量に対し余裕のある構造とすること。
- ② 外力に対し堅固な構造とすること。
- ③ 原則として基礎地盤を切込んで設けること。
- ④ 有害な不等沈下が生じない位置および構造とすること。
- ⑤ 基礎地盤を切込んで設ける場合にあつては、側面を埋め戻し、練固めを十分に行うこと。
- ⑥ 基礎地盤上に設ける場合にあつては、原則として側面を盛土し、練固めを十分に行うこと。
- ⑦ 周辺が洗掘されないよう必要な措置を講ずること。
- ⑧ 鉄筋コンクリートによる暗きょを設ける場合であつて、浸透水が鉄筋を腐食する成分を含む恐れがある場合には、無筋の状態を外力に耐え得る構造とする。

6) 流入水量

- ① 降水量は、少なくとも100年に1回あると考えられる最大降水量をとること。
- ② 前号の降水量は、集水区域を代表すると考えられる降水観測所の長期にわたる降水観測資料に基づき算出する。ただし、集水区域を代表する長期にわたる降水観測資料がない場合は、近傍の降水観測所の長期にわたる降水観測資料から推定した降水量をもって代えることができる。
- ③ 降水量から流入水量を求めるに当たって降水量と流入水量との関係が実測から相当の精度をもって求められる場合にはそれによるものとし、その他の場合には次式による。

$$Q = \frac{1}{3.6} f \cdot r \cdot A \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

ここに、 Q ：流入水量 [m^3/s] A ：集水面積 [km^2]

f ：集水区域からの流出係数0.8とする。

r ：流達時間内の平均降雨強度 [mm/h]

- ④ 集水区域の状況によっては、土砂流を考慮すること。

(3) かん止施設

1) かん止施設的设计要件

- ① 基礎地盤に対し許容支持力以上の荷重を与えないこと。
- ② 自重および外力に対し安定であること。
- ③ 集積物の含有水を排除するために適している構造であること。
- ④ 浸潤線が下流側のり面に現れないこと。
- ⑤ 基礎地盤および堤体中に貫孔作用を生じないこと。
- ⑥ のり面が雨水によって洗掘されないこと。
- ⑦ 築堤材料および集積物が集積場外に流出しないこと。
- ⑧ 築堤材料が飛散しないこと。

2) 石塊かん止堤

築堤材料としての石塊は次の性質を有するものとする。

- ① 堅硬なこと。
- ② 風化し難いこと。

3) 土かん止堤

築堤材料としての土は次の性質を有するものとする。

- ① せん断強度が大であること。
- ② 多量の有機物を含まないこと。
- ③ 多量の粘土を含まないこと。

4) コンクリートかん止堤（表土集積場においては、重力式擁壁に相当する）

高さ5メートル以上のコンクリートかん止施設の設計は、次によるものとする。

- ① 底面における基礎地盤の応力が当該基礎地盤の許容支持力以下であること。
- ② コンクリートかん止施設に係る安定解析は、転倒および滑動について行う。
- ③ コンクリートかん止施設の安定度は転倒について1.50以上、滑動について1.20以上とする。
- ④ 場内水を排水するため、壁面3平方メートル以内ごとに水抜孔を設けること。

5) 石積よう壁

よう壁の材料としての石材（割石、間知石および間知石形のコンクリートブロック）をいう。以下同じ）は次の性質を有するものとする。

- ① 堅固なこと。
- ② 風化し難いこと。

6) コンクリートよう壁

コンクリートよう壁の設計は、次によるものとする。

- ① 土圧などによってよう壁の各部に生ずる応力度がよう壁の材料である鉄筋、またはコンクリートの許容応力度を超えない。
- ② よう壁の転倒に対する抵抗モーメントは、外力による転倒モーメントの1.5倍以上である。
- ③ 滑動に対する抵抗力は、よう壁に働く外力の水平分力の1.2倍以上であること。
- ④ 土などによってよう壁の地盤に生ずる応力度が当該地盤の許容応力度を超えないこと。

ただし、基礎杭を用いた場合においては、土圧などによって基礎杭に生ずる応力が基礎杭の許容支持力を超えないこと。

- ⑤ よう壁背面の排水をよくするため、よう壁面3 m²以内ごとに内径が5 cm以上の水抜孔を設けること。またよう壁の背後には容易に集水できるよう、壁の全長にわたり水平な栗石層を設けること。

(4) 安定解析

技術基準省令第33条第6号に規定する「崩壊又は地滑り等が発生しない安定度を有している」とは、

次に掲げる要件を満たしていることをいう。ただし、鉱山保安法施行規則（平成16年経済産業省令第96号）第31条に規定する特定施設以外の集積場にあつては、現地の状況等に応じ適宜準用するものとする。

- ① 集積場の安定解析は、原則として円形滑り面法により行うこと。
- ② 安定解析による集積場の安定度は、1.20以上であること。
- ③ ②に規定する「集積場の安定度」とは、滑り面を円弧と仮定して、次に掲げるいずれかの安定解析式によって算出される安全率のうち、最小の値をいうものとする。また、安定解析は原則として中央断面（かん止施設の中央を通り、かん止施設の軸に鉛直な面をいう。）について行うものとする。

1) 入力地震動設定

入力地震動の設定に当たっては、あらかじめ集積場周辺において過去発生した地震に関する情報や周辺に分布する活断層やプレート境界等の情報について、文献資料等により十分な調査を行い、その結果に基づき最も大きな影響を及ぼす可能性のある内陸型及び海洋型の双方について検討する。

2) 耐震性能評価方法

① 二次元有限要素法（FEM）による地盤内応力時刻歴の算定

二次元FEMによる常時並びに地震時の応力～変形解析結果を重ね合わせることで応答地盤内応力の時刻歴を求める。

② 液状化判定

上記地震時の地盤内応力を用いて地盤内の液状化安全率（FL）を算定した結果を用いて液状化判定を行う。

③ すべり安全率の時刻歴の算定

液状化すると判定された地盤内範囲について低減させた地盤定数と応答地盤内応力の時刻歴を用いてすべり最小安全率の時刻歴を求め、安全率が地震動中に常に1.0以上であることを確認する。

④ 液状化を考慮した地震時変形・滑動解析

地震動中に一時的に安全率1.0を確保できないが、平均的には1.0を確保できている場合は、滑動量算定による下流への影響を評価するものとする。耐震性能を満足すると判断する滑動量の上限は、集積場の規模と下流への影響度合いを勘案して個別に判断する。なお、より実現象に近づけるため、地震時の地盤内過剰間隙水圧の挙動を考慮することができるものとする。ただし、この場合には、地盤定数の低減は行わないものとする。