

第2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形化、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。

露天採掘法では、表1. 14に示す採掘法と積込法を適宜組み合わせ用いる。

表1. 14 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

我が国の露天採掘法を、時代を追って挙げると、次のようになる。

- ① すかし掘，手積法：明治，大正より昭和の初期まで続いた。
- ② 傾斜面採掘，手積法：すかし堀から移り変り，昭和20年代前半まで主流を占めた。
- ③ 傾斜面採掘，重力積法（トンネル積法およびグローリホール法）：石灰石鉱山では，昭和20年代後半から30年代にかけて，グローリホール法が全盛を極めた。
- ④ 傾斜面採掘，機械積法：重機械類の発達により，昭和20年代後半から手積法に代わり増加した。
- ⑤ 階段採掘，機械積法：昭和20年代末より採用され，石灰石鉱山では，グローリホール法が逐次転換され，現在はほとんどこの方法によっている。

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、昭和の初期まで広く続けられた(図1. 4参照)。しかし、この方法では、切羽面が70°以上の急斜面となり、下部がえぐれて上部がオーバーハングの形となり、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

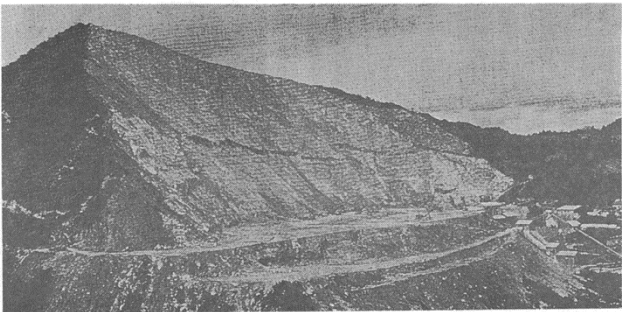


図 1.3 傾斜面採掘法

斜を保持するよう法的規制がなされ、図1.3および図1.5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、最近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。

傾斜面採掘法の長所および短所をまとめると次のとおりである。

長 所

- ① どんな地形、鉱床にも採用しやすい。特に我が国のような急しゅんな地形に適している。
- ② 開鉱費が少なく、また開鉱に要する期間が短い。従って小規模鉱床でも採算がとれる。
- ③ 爆破した鉱石は、運搬レベルまで自然落下するので、運搬コストは節減される。

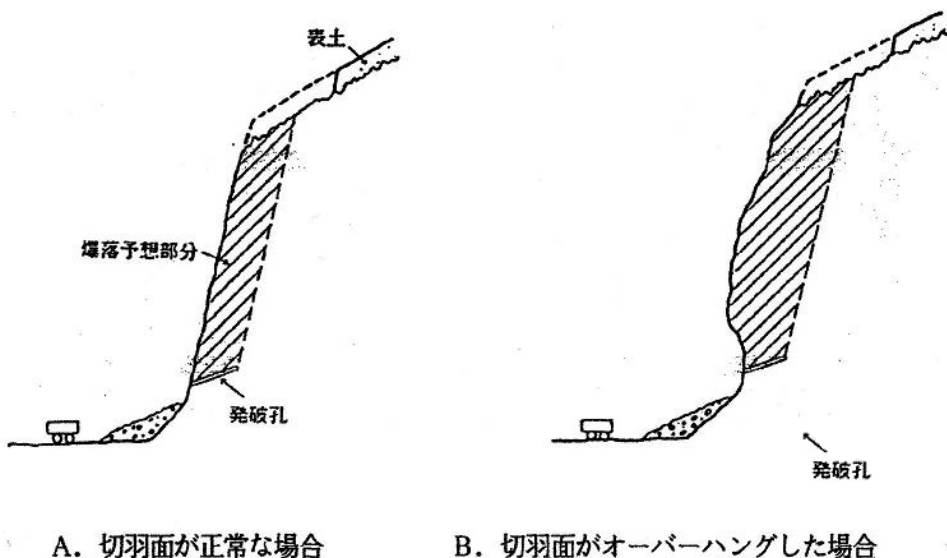


図 1.4 すかし掘法（下抜掘法）

短 所

- ① 崩壊、転石、墜落などの危険が大きく、十分な保安管理が必要である。
- ② 降雨、降雪により作業が不可能となるなど、天候の影響を受けやすい。
- ③ 切羽が傾斜面であるため機械化が難しく、せん孔発破作業の能率が低い。
- ④ 切羽作業は労力に頼る面が多く、作業員の確保が難しい。
- ⑤ 発破時、鉱石の落下により粉じんの発生が多い。

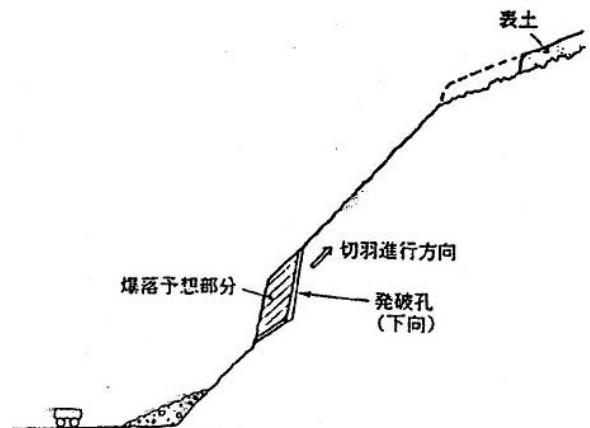


図 1.5 傾斜面採掘法

3 グローリホール法 (図1.6参照)

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



図 1.6 グローリホール法 (苅田鉱山, 昭和 34 年)

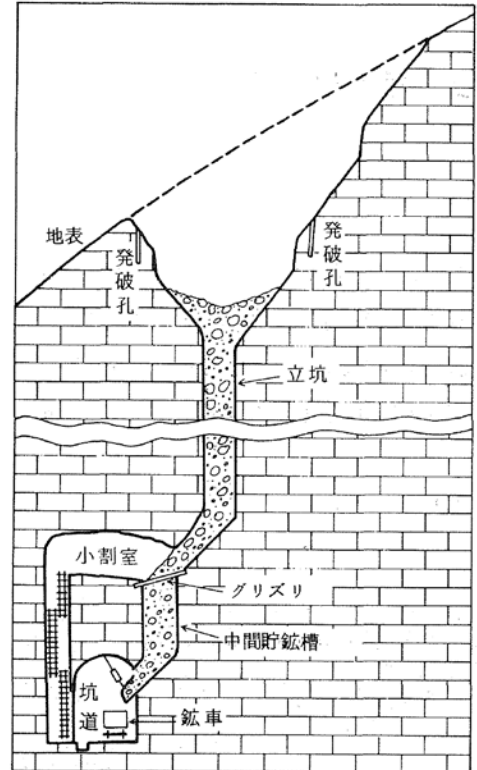


図 1.7 グローリホール法

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1.7参照）。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。

本法の長所と短所は、次のとおりである。

長 所

- ① 積込運搬作業が採掘作業と全く離れた坑内で行われるため、落石、崩壊による災害がなく、保安上優れている。
- ② 積込位置が固定する（1箇所の積込口で延べ数10万～数100万 t の鉱石を処理）ので、積込口の機械化ができ、積込能率は極めて高い。
- ③ 運搬区間が一定のため、エンドレスロープ巻、機関車運搬などで大型鉱車が採用でき、運搬能率が高い。

- ④ 積込運搬作業が坑内で行われ、天候に影響されることが少ない。
- ⑤ 漏斗および立坑内に大量の貯鉱ができるため、積込運搬作業が採掘作業の影響を受けることなく安定して行える。

短 所

- ① 傾斜面採掘法であるため、転石、崩壊、墜落などの危険が多く、機械化が難しい。
- ② 採掘から運搬に至る途中での、夾雑物などの選別は不可能である。
- ③ 立坑、運搬坑道の掘削、積込設備などに要する開鉱費が多額であるため、小規模の鉱床には採用できない。本法が採用されるのは塊状鉱床か厚い層状鉱床であり、鉱脈や薄い層状鉱床には、その形態上からも適用は難しい。
- ④ グローリホールの立坑と立坑の間には、畝^{うね}鉱と称する採掘できない部分が残る、本法のみでは採鉱実収率が低い。

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、傾斜面採掘方法の欠点は免れず、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。

第2節 階段採掘法

1 階段採掘法

(1) 概 要

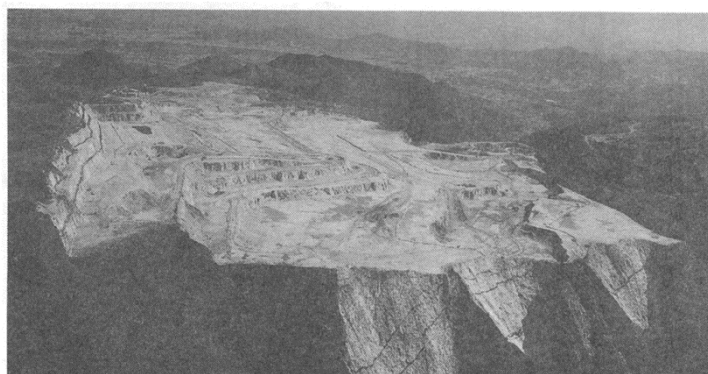


図 1.8 階段採掘法

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1.8参照)。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 採鉱実収率が大い。
- ⑤ 切羽長に対する出鉱能力が大い。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也大い。
- 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い、これらを含めた初期投資額が大い。
- 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なければならない。

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

次の3種の形状がある(図1.9参照)。

- ① せつ(截)頭式(山の頂部から水平にカットする方式)
残壁が残らず保安上有利であり、下段に進行するに従って採掘範囲が拡大する利点もある。
- ② 山腹式(山の片斜面に階段状にベンチを設ける方式)
我が国の鉱床は山岳地帯に賦存することが多いため、このタイプのベンチが多い。残壁が残るのが欠点である。初めせつ頭式であっても途中から残壁を残す形になるものが多い。また隣接鉱山との協調採掘が行なえないあるいは採掘ペースが合わない場合にも、このタイプのベ

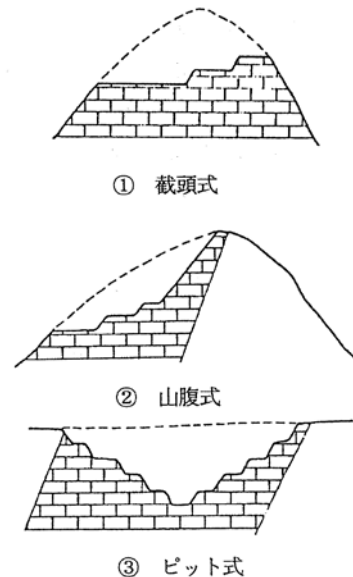


図 1.9 階段採掘法のベンチ設定方式

ンチとなることが多い。

③ ピット式（平坦な地形の鉱床をすり鉢状に掘り下がる方式）

我が国では適用例が少ない。

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1.10参照）。

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。

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。最近では、前者の形が多い。

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

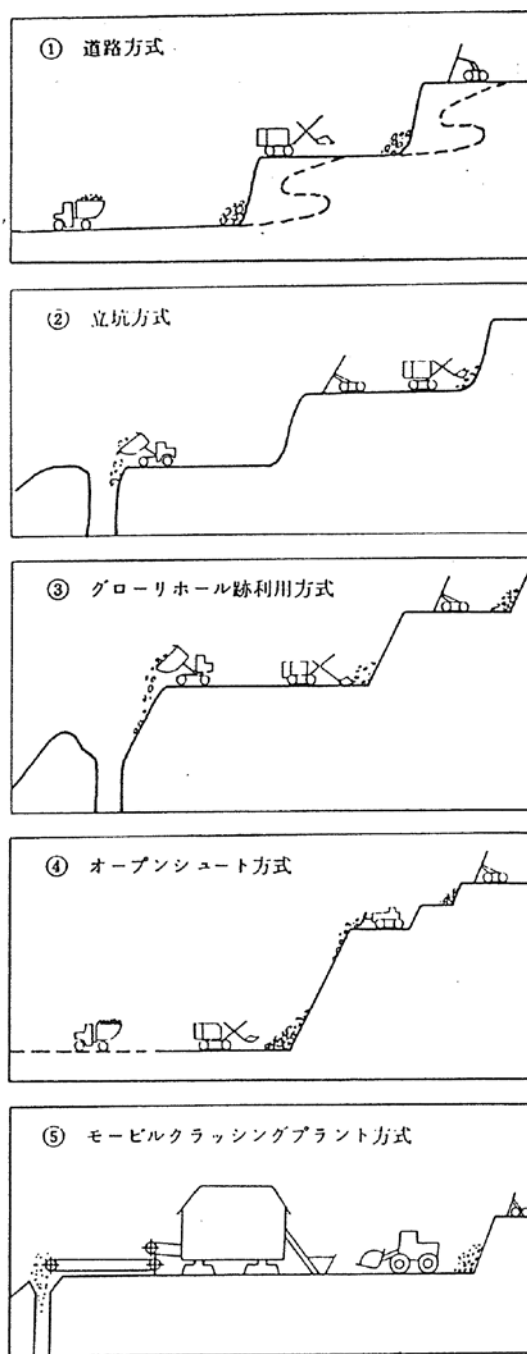


図 1.10 階段採掘法の運搬方式

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ない。

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ヨベルを使ったロードアンドキャリイ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、シフタ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タ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。

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、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）、表土たい積場の適地などを調査する必要がある。

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、表土たい積場、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次クラッシャのみならず2次クラッシャ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ダ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 表土たい積場

露天採掘では、表土および夾雑物たい積場の確保が重要であり、それらを入れるに足るたい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5～15mであり、10m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、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、10m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、ベンチの高さも若干高くなる傾向が見られる(図1.11参照)。

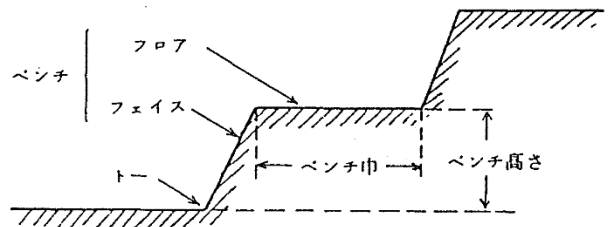


図 1.11 階段採掘法のベンチ

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し積るが、単列発破の場合、その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えるべき岩盤の崩壊、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、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。

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、捨土（表土）たい積場、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、飛石について説明する。

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繰粉によるもの、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。

- ・ せん孔中の繰粉 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落とし時の粉じん 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、デシセコンド発破・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 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 剥土・剥石

(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、テラロサのごとく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。これらの作業が剥土作業である。

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10m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る。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こしやすくなり、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

る災害を起こしやすくなる。

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。乾燥した状態では粘着力は失われ、ある含水量で最大となり、これより含水量が増加するにつれて著しく減少する。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1.15のようになる。

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こしやすくなる。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。

表 1.15 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 ²)
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

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 表土と鉱床の接触面の状況
- 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(すり鉢状窪地)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ことが肝要である。

3) 剥土・剥石作業

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。

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

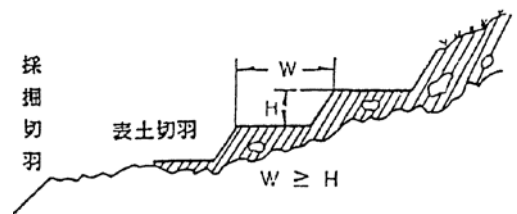


図1.12 剥土高さとの関係

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1.12参照）。

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を望みたい。切羽の上端は草木根をそのままにしておくと、芝付と称するかぶりの状態になりやすく、また、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の安定は期されない。

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10m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、うね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多いが、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、表土たい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（リップを装着する場合が多い）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7.5mとし、これを2段合せて15mの採掘ベンチとしている鉱山がある。

第3節 せん孔・掘削

1 せん孔

(1) せん孔作業

露天採掘では、採掘対象の岩石によりブルドーザによるリッピングあるいはショベル等による地山掘削により採掘が可能であるが、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) 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、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に行われない。

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1.13参照）

ロックブレーカは、油圧駆動式のものがほとんどである。本体質量は200kgから5,000kg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。

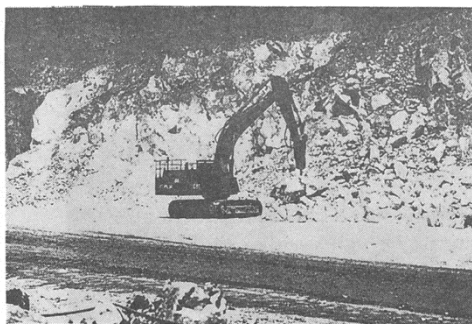


図 1.13 油圧式ロックブレーカ

② ドロップボール

クレーンを使用して、鋳鋼製のボールを鉋石の上

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。ボールの形状は、球形、梨実形、円筒形など種々あり、重量は2～4 tの場合が多い。この方法は岩質により有利な場合もあるが、大塊を平坦地に置かねばならず、運転に熟練を要する。

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分間程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。

(3) せん孔機械

1) 概 要

発破孔のごとく比較的小口径で浅い孔のせん孔をさっ孔（削孔・鑿孔, Drilling）と呼び、地質調査や地下水、温泉などの汲み上げ、石油、天然ガスの採取などに用いる深く大口径のせん孔をボーリ

ング (Boring) と呼ぶ。この区別は必ずしも明確でないで、ここではすべてせん孔ということばを用いる。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。ボーリング機械も最初のは衝撃式であり、現在は、丸鋼または鋼管のロッドを上下させる棹式ボーリング機械およびタガネを綱の端につけて綱を上下させる綱式ボーリング機械が使用されている。
- ・ 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、スクリュース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、石灰石鉱山でも大型の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浅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、最近で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に取り付けられ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12~30kg程度、空気消費量は2~3m³/minである。

② レッグハンマ (図1.14参照)

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。ドリフタの役目 (横向せん孔) もストーパの役目 (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。

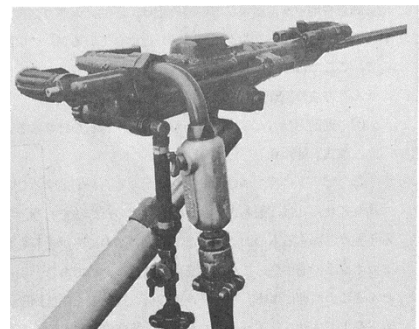


図 1.14 レッグハンマ

③ ドリフタ (図1.15参照)

機体をガイドシエルに取付け、本来は、コラムやライトポットに乗駕して横向せん孔に使用するさく岩機であったが、現在では、ジャンボ、クローラドリルの搭載機として使われる。

機体重量が30～40kg程度のものをライトドリフタ、これより重いものをヘビードリフタと呼ぶが、200kgを越すものもある。

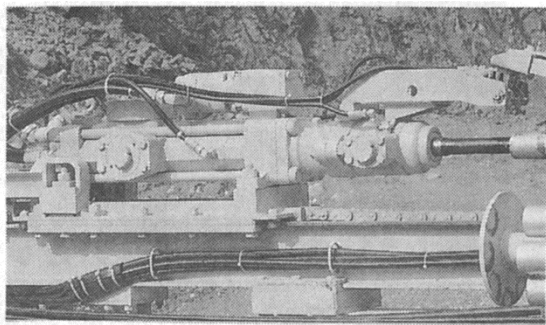


図 1.15 ドリフタ

④ クローラドリル (図1.16参照)

クローラタイプの自走可能なシャ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、機動性が優れている。また、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。



図 1.16 クローラドリル

⑤ ロータリドリル (回転せん孔機) (図1.17参照)

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) 含有量の大きいものは不適とされる。



図 1.17 ロータリドリル

⑥ ダウンザホールドリル（図1.18参照）

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。また、空気消費量が少なく、ハンマは孔底にあるので、騒音が少ないなどの利点がある。

一般に、大型の乗駕装置に搭載され、大孔径長孔せん孔に使用される場合が多い。

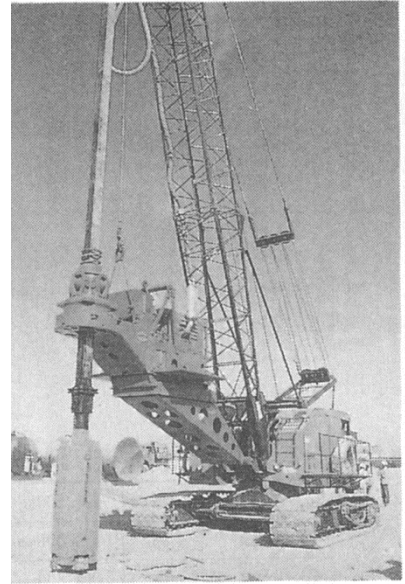


図1.18 ダウンザホールドリル

2 掘削

(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。掘削法には、人力および機械力掘削がある。

人力による掘削には、ショベルやつるはしによる作業があるが、露天採掘では表土除去などにわずかに行われている程度で、ほとんど用いらない。

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、その分野を広げつつある。

(2) 掘削機械

1) 掘削機械の種類

掘削機械には、次に挙げるとおり多くの種類がある。詳細は次節積込・運搬で記述する。

- ① パワーショベルの如く爪付きバケットを備え、すくい込む動きをするもの。他にトラクタ、ショベル、油圧ショベルなどがある。
- ② ブルドーザのごとくブレードで削り取る動きをするもの。他にモータスクレーパがある。
- ③ ドラグラインのごとく、バケットをワイヤロープで引っ張ることにより掘削するもの。他にタワーエキスカベータスクレーパがある。
- ④ 一定間隔の多数のバケットで連続的に掘削する掘削機。バケットホイールエキスカベータ、コンティニヤスバケットエキスカベータなどがある。
- ⑤ 水中の掘削を行うドレッジャ。
- ⑥ 高圧水を吹きつけて掘削する水力掘削機。
- ⑦ 岩盤に爪をつき立て掘削するリッパ。

2) リッパ法

① リッパ法の特徴

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1.19参照）。

リッパ法の特徴は、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、プレブラスティ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。

3) リッパの適用範囲の判定

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、次のようなものがある。

① 岩石の種類と性状による判定

たい積岩は一般にリッピングしやすく、火成岩は比較的困難である。しかし、岩石の種類よりもむしろ、風化の度合やクラック（き裂）の発達度合など、その性状に影響されるところが大きい。外観上、次の状態の時はリッピングが容易である。

- a) 割れ目、断層の発達しているもの。
- b) 風化の進んでいるもの。
- c) もろい結晶質のもの。
- d) 層が薄く発達しているもの。
- e) 粗粒質のもの。
- f) 水分を含んでいるもの。

② 室内岩石試験による判定

現場で採取したサンプルを室内に持ち込んで、岩石の圧縮試験や硬度試験を行い、この結果からリッピングの可否を判定する。この方法によると、概して岩盤のクラックの影響などが出ないため、試験結果は大きく出ても現場ではそれほど硬くないという傾向がある。

③ 現地弾性波速度試験による判定

弾性波速度試験は地層の硬さ、風化の度合、断層の有無などが測定できるので、これをリッパビリティの判定に応用できる。リッパビリティ測定のための弾性波速度測定器をリッパメータといい、この試験をリッパメータ試験ともいう。50 t 級のリッパ付ブルドーザでは、弾性波速度 2,500m/s 程度までリッピングが可能である。

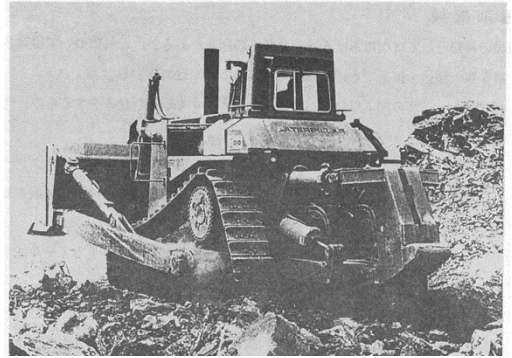


図 1.19 リッパ法

④ 実地掘削試験による判定

現地にリッパを持込んで試験する方法で、目前にその効果を見ることができる。あらかじめ

①～③の試験でおおむね状況を見極めた後、実施するのがよい。

4) リッパ作業方法

リッパ作業に当り留意する事項は次のとおりである。

① リッピングの方向

下り勾配で自重を利用する。また、石目に直角方向にリッピングするのがよい。

② リッピング時の車速

1速で行うのが効果的である。早い速度では運転が困難となり、足回りやポイントの摩耗を早める原因になる。

③ リッパシャンクの使用本数

1本シャンクで、深くリッピングするのが効果的である。

④ タンデムリッピング

岩盤が硬く、十分にシャンクが貫入しないため、トラクタの後方が浮上る時や、履帯がスリップするときは、他のブルドーザで後方から押すタンデムリッピングが望ましい。

5) リッパ作業量

リッパ作業量は、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時間当り作業量を求める。

3 ^{はぶち}端縁処理

我が国の露天採掘の主要鉱種は石灰石であるが、石灰石鉱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

シンカ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) 緩性破砕剤（静的破砕剤）工法

石灰系無機化合物を主体とした破砕剤を水と混練後、あらかじめせん孔した岩盤に挿入し、水和反応により結晶性水和物を生成させる。この水和反応によって発生する膨張圧によって岩石内部に亀裂を起こし破砕する。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

割岩機にはせん孔装置とクサビ装置を搭載している。ガイドセルにドリフタをセットし、ドリルでせん孔する。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、クサビガイドが開いて割岩できる。

4) ブレーカ工法（図1.20参照）

本来、ブレーカは大塊石の小割機として鉱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。



図 1.20 ブレーカ工法

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、小割作業の高能率化、騒音等の鉱害発生防止を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。

(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場合が多く、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法の考え方により、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1.21参照)。

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5～10m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、漁網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、未然に浮石、飛石や抜け石の転落を防ぐことができる。

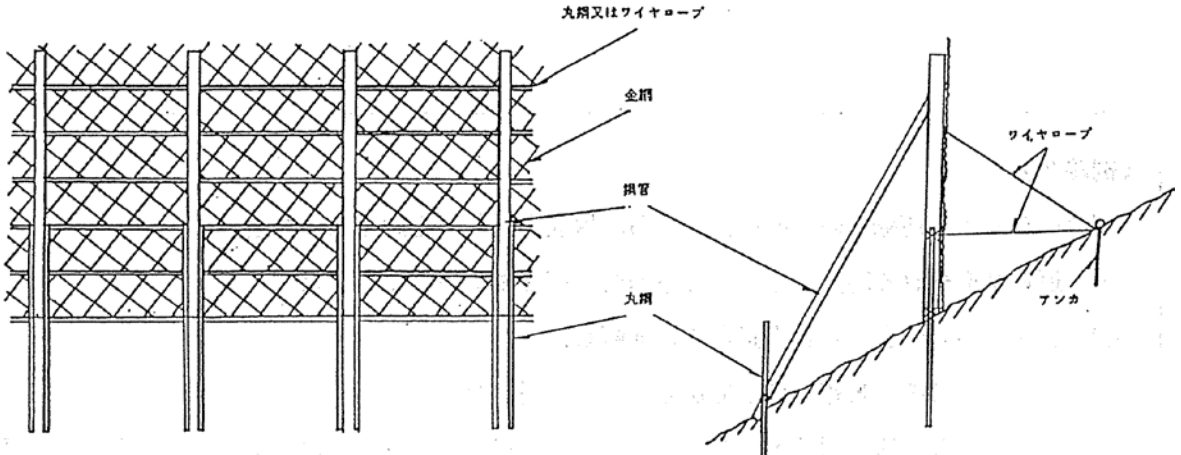


図1.21 転落石防護柵(移動式)

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、重要さでは変わらない。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、ベルトコンベヤ運搬の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、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ショベル ロードアンドキャリイ法により150m以下の距離で使用される。

ブルドーザ 100m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) ベルトコンベヤ運搬

採掘切羽では、モービ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ヤ間にシフ

ダブルコンベヤを使用する以外、ベルトコンベヤ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、主にベルトコンベヤが使用されており、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ヤが使用されている。

(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

$$Q = \frac{3600 \times q \times f \times E \times K}{C_m} \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

ただし Q : 積込機械の1時間当り作業量 (t/h)

q : バケット (またはディッパ) の容量 (m^3)

f : 鉱石の比重・密度 (t/m^3)

E : 作業効率

K : バケット (またはディッパ) 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 $1m^3$ 当りの質量であり、石灰石では普通見かけ比重 $1.6 t/m^3$ を使用する。作業量を m^3/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。山積みにな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20～25s、2 m³以上で 25～30s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。

$$C_n = m l + t_1 + t_2 \quad \dots\dots\dots (1.11)$$

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 $l=8m$

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1.23参照)

⑥ 計算例

バケット容量6.9m³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)。

$$\text{作業量 } Q = \frac{3,600 \times 6.9 \times 1.6 \times 0.75 \times 0.7}{52} = 401.3 \text{ t/h} \approx 400 \text{ t/h}$$

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。

$$N = \frac{b}{a} \quad \dots\dots\dots (1.12)$$

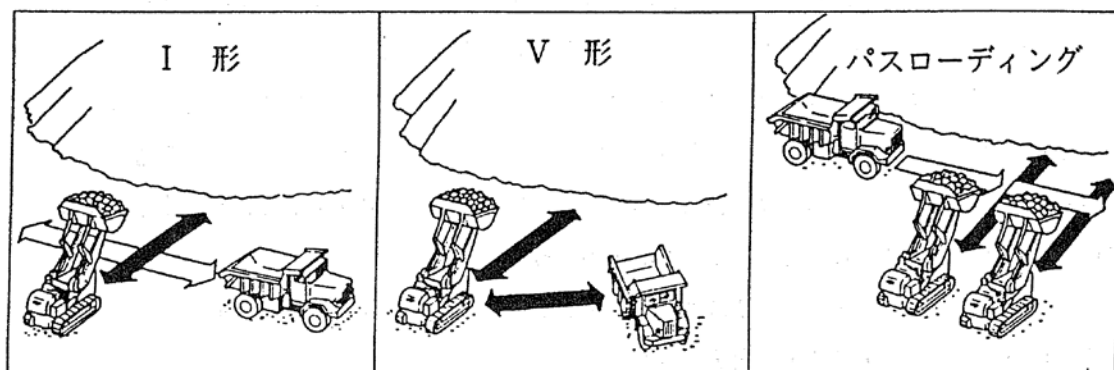
ただし, N : 所要トラック台数

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1.22参照），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。



ショベル・ダンプ共に前後進する。相互のオペレータ同士の呼吸がうまく合わないときぐはぐになる。

ダンプトラックは停止・ショベルが積込む。ダンプトラックの動きに影響されないがオペレータの技量が効いてくる。

2～3台のショベルで積込む。I形をより能率的にしたもの。ただしショベルが2台でダンプトラックへ3杯積込むようなときは半端になりやすい。

図 1.22 トラクタショベルの積込方式

(2) ロードアンドキャリイ法（図1.23参照）

ロードアンドキャリイ法とは，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50～150m程度の範囲で使用され，100m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。

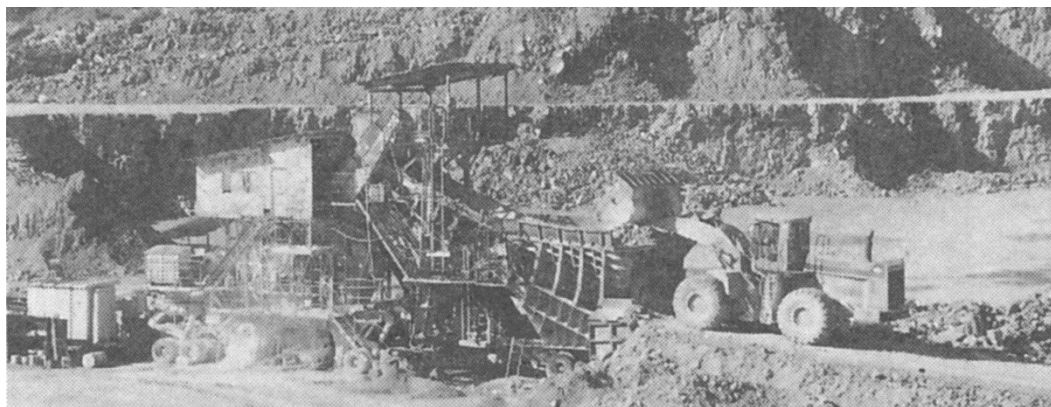


図 1.23 ロードアンドキャリイ法

1) ロードアンドキャリイ法の作業内容

- ・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イ法は、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イ法による運搬距離と時間当りの作業量の関係を、図1.24に示す。

2) ロードアンドキャリイ法の長所と短所

長 所

- 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。
- 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

- 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。
- 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。

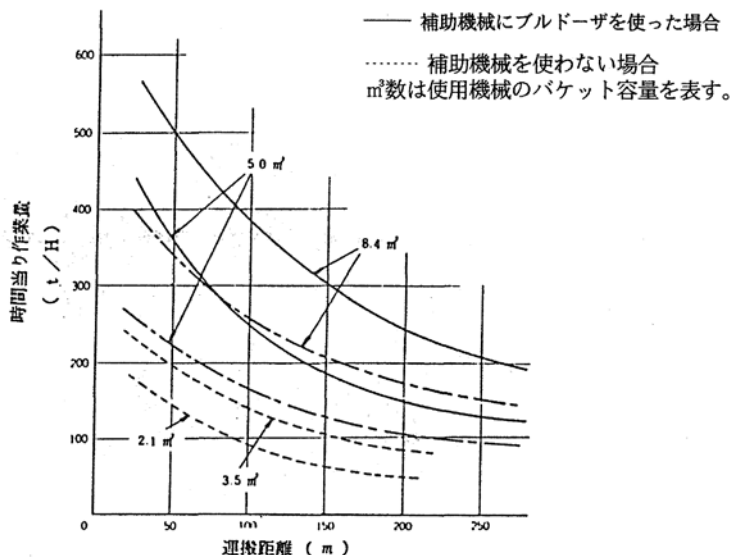


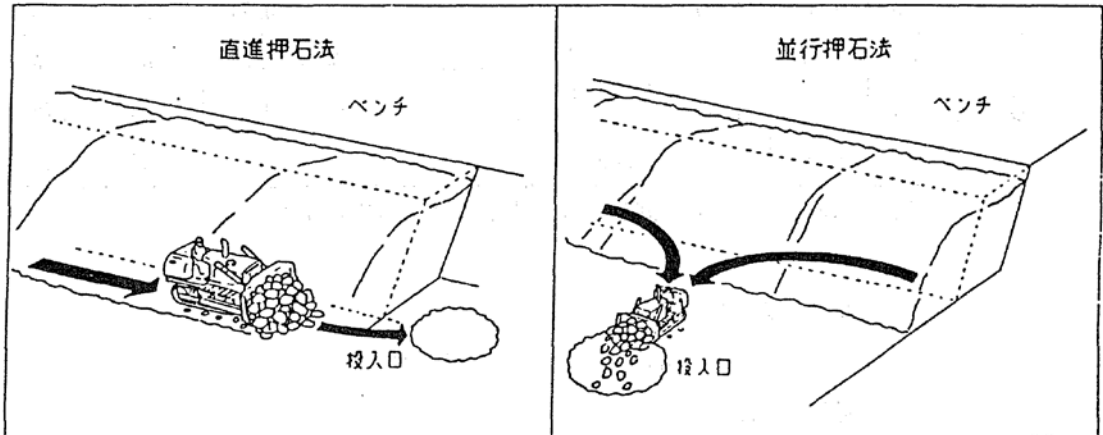
図 1.24 ロードアンドキャリイ法の時間当たり作業量

(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100m以内の範囲であるが、実際能率良く作業するためには、50m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1.25参照）。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。

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



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 1.25 ブルドーザによる運搬作業方法

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。

$$1 \text{ 時間当り土工量} = Q \times f \times 60 \times E / C_m \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad \dots\dots\dots (1.13)$$

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。

$$Q = 0.86BH^2 \quad (\text{m}^3) \quad \dots\dots\dots (1.14)$$

f : 土量換算係数 土質により変化する係数である (表 1.16 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。

$$C_m = d/v_1 + d/v_2 + t \quad (\text{min}) \quad \dots\dots\dots (1.15)$$

ここで, d : 運搬距離 (m)

v₁ : 前進速度 (m/min)

v₂ : 後進速度 (m/min)

t : ギヤ入替時間 (min)

表 1.16 各種土質の土量換算係数

土 質	土の 現状	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 砕したもの	(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(30~40m)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。

3) 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。カーブ個所や、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 c m以上、大型ダンプでは60 c m～1 mである。路床の材料は栗石、ブレーカ硬^{ぼた}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 c m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はい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耗防止ができるよう、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頻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1.26参照）

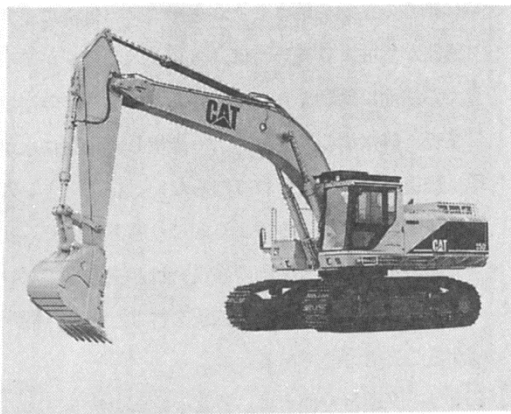


図 1.26 パワーショベル

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（車体架橋）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、ショベル系掘さく機と呼ぶ。

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2～15m³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だが、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、ディップ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1.27参照）



図 1.27 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次クラッシュ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 $0.2 \sim 4.5 \text{ m}^3$ であるが、切羽での積込みには、 $1.4 \sim 3.0 \text{ m}^3$ 程度が多い。バケット容量 1.4 m^3 で全装備質量 13 t 、エンジン定格出力 110 P S 、 3.2 m^3 で 28 t 、 240 P S 程度である。

3) ホイール式トラクタショベル（図1.28参照）

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イ方式という自走運搬が可能であり、100m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 $1 \sim 10\text{m}^3$ 、輸入品では 18m^3 まで使われている。バケット容量 6m^3 で約全装備質量45t、エンジン定格出力400 P S、 10m^3 で93 t、700 P S程度である。

4) ブルドーザ (図1.29参照)



図 1.29 クローラ型ブルドーザ

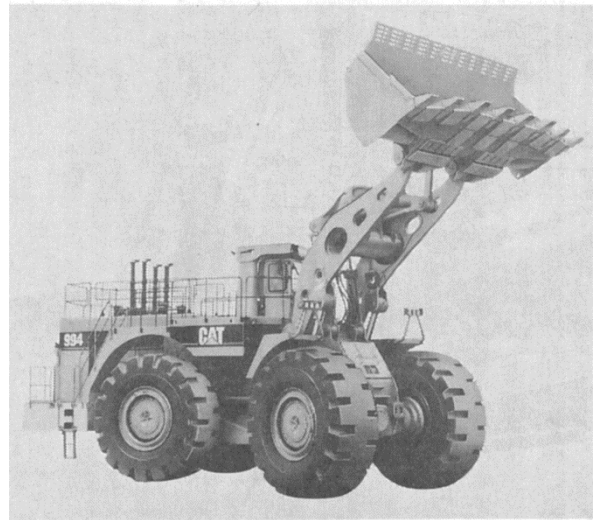


図 1.28 ホイール式トラクタショベル

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、我が国ではほとんど使われない。トラクタショベルの

大きさは、普通その自重で表わす。これは、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 $2 \sim 90\text{ t}$ 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ものを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1.30参照)



図 1.30 ダンプトラック

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。
- ・ ダンプ方式 後方に荷をあげるリヤダンプ型が主流。
- ・ ベッセル形式 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350 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、確実に行うことが望ましい。

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) 機械の稼動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。
- ・ 防錆および防塵効果 金属面の錆を防止し、また、塵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、ウォーク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、異種のも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で、多くの機械に共通して使えるものを選び、銘柄を少なくすることが望ましい。

③ 給油脂上の留意点

- a) 油脂中に、水、じんあい、異物などが混入させない。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、周辺の泥やじんあいを拭いとる。
- b) 潤滑油の交換は、運転終了直後のまだ液温が高く、塵埃が攪拌されて油中に浮遊しているうちに排出して行う。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 $1/2 \sim 1/3$ 程度入れるのが適当である。

3 モービルクラッシャ (図1.31参照)

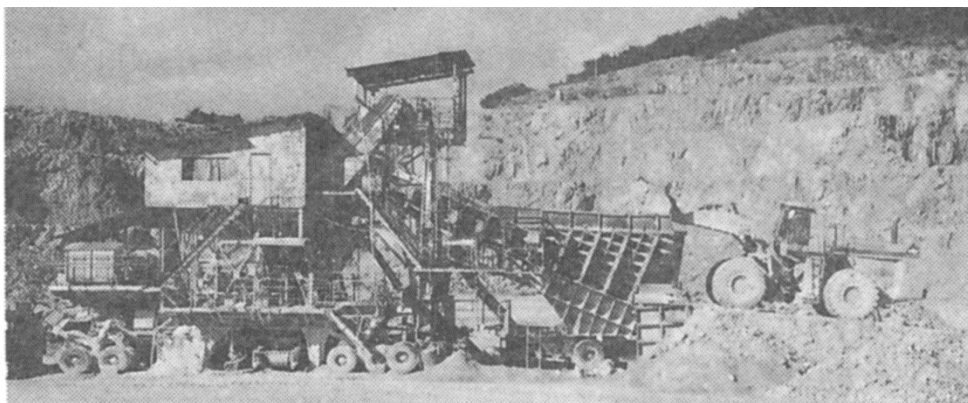


図 1.31 モービルクラッシャ

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ィ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法が一般的である。

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、ジャイレトリ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(4～6m)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坑道をとり、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、100m～700m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1.32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ヤ、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^{そえ}副立坑または連立坑と呼ばれる立坑詰り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。

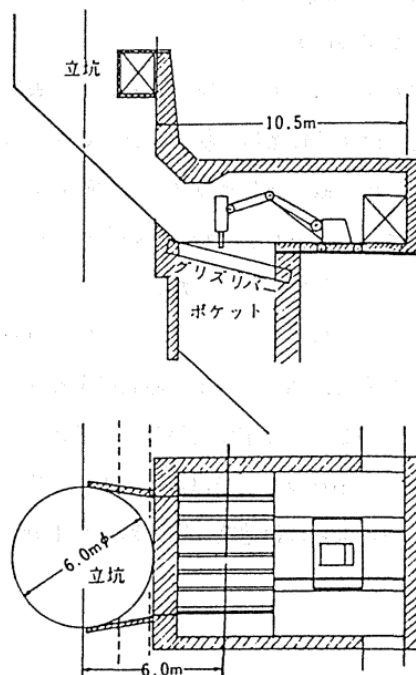


図 1.32 小割室の構造

(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取るが、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1.33参照）。

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砕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、

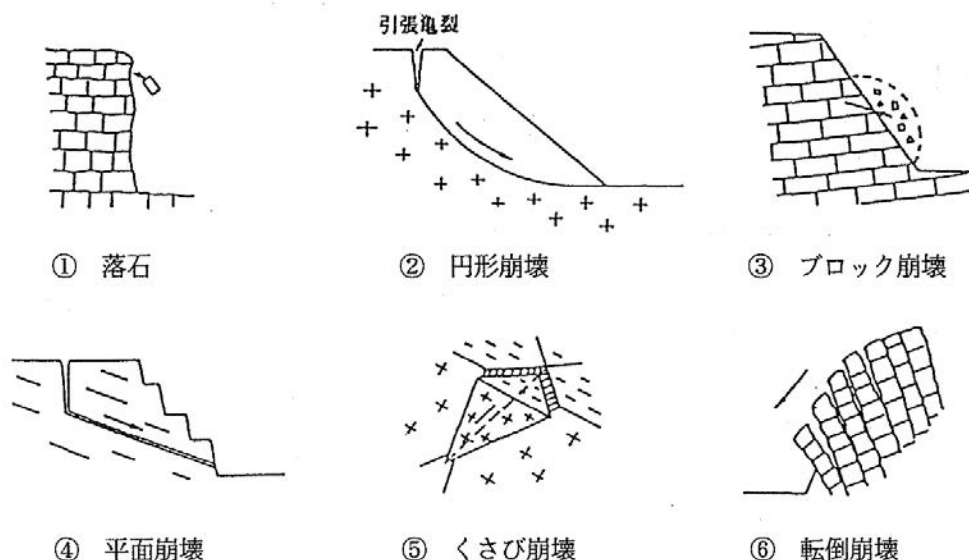


図 1.33 岩盤斜面の崩壊モード

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破壊を起こし、斜面側に次々と倒れる現象である。

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な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1.34参照）、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、

$$W \sin \beta = cA + W \cos \beta \cdot \tan \phi \cdots \cdots (1.16)$$

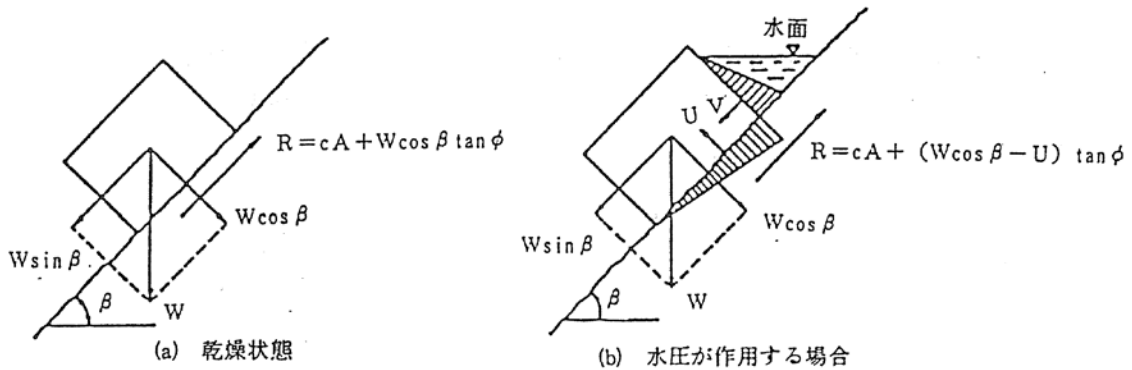


図 1.34 岩盤斜面の抵抗力・外力の平衡状態

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にになる。

$$W \sin \beta + V = cA + (W \cos \beta - U) \tan \phi \cdots \cdots (1.17)$$

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、

$$F = \frac{\text{せん断抵抗（抵抗力）}}{\text{せん断荷重（外力）}} \cdots \cdots (1.18)$$

従って、水圧がある場合の安全率は、

$$F = \frac{cA + (W \cos \beta - U) \tan \phi}{W \sin \beta + V} \cdots \cdots (1.19)$$

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1.35参照）。

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こると、大規模になることが多い。

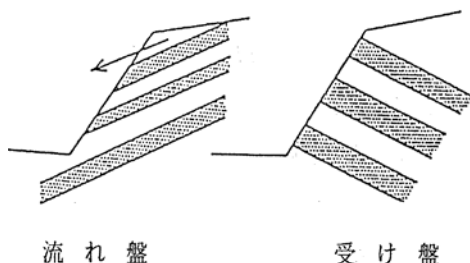


図 1.35 地質構造上の不連続面と斜面の方向

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操業上のトラブル発生を防止することである。これには、露天掘操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が図れる。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。従って、斜面崩壊や操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。ピットの全傾斜は、岩盤の悪いところで 20° ～ 30° 、非常に硬い岩盤では 60° 以上になることもある。

斜面をあまり急にすると、ベンチ幅やアプローチの運搬道路幅が縮小する。狭いベンチでの作業は、災害の増加、機械維持費の増加、生産性低下等をもたらす。また、ベンチからの落石による災害も増加する。従って、少なくとも一段おきに犬走りを設ける必要がある。一方、せん孔、積込み、運搬等に大型機械を使用するため、ベンチ幅を大きくすれば、斜面は必然的に緩傾斜となり剥土量も増大する。この解決策に、一段のベンチ高さを高くすることが考えられるが、これにも限界がある。

(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やるの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、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ピ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。

(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、表土たい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）

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、エクステンソメータ、光波距離計などが用いられ、人工衛星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。