

## ■ 特 集 ■ 採鉱技術からみた資源開発

# 我が国に於ける石灰石鉱床の露天採掘について

## Open Pit Mining of Limestone Deposits in Japan

神 山 眞 澄\*

Masumi Kamiyama

### 1. はじめに

我が国で自給出来る地下資源と云えば、石灰石を除けば、硫黄と硫化鉄鉱などごくわずかの鉱物があるだけである。

その意味から、我が国に良質の石灰石が豊富に存在することは、資源小国と云われる我が国には、めづらしい天の配剤と云えよう。

その採掘可能な鉱量は、約 100 億トンとされており、55年現在で年間約 1 億8000万トンの出鉱がある。

これらの石灰石の用途は、セメント用に60%弱、鉄鋼用に10%強、その他の用途に約30%となっており、最大の仕向先であるセメントの価格が、比較的安いこともあって、石灰石の市場価格は、驚く程安いのが実状である。

こう云った厳しい環境の中で、安い原価、大量の需要に応える供給体制、保安面の確保、環境問題の解決と、次々と対応が必要となり、表面的には非常に単純明快な採鉱法に収斂して来ている。

坑内採掘では、原価面から採算に乗りにくく、現在ほとんどの鉱床（99パーセント以上）が露天採掘法によって採掘を行なっている。

### 2. 石灰石鉱山における露天採掘法の変遷

戦前は、傾斜面採掘又はすかし掘が主流であり、どちらも発破によって爆落された石灰石は、切羽の下に堆積し、これをトロッコに手積みし、手押しで目的の場所まで運搬すると云う作業を行っていた。

この作業は落石の危険性が大きく、又能率も現在に比べ格段に低かった。

それは、当時の石灰石の全国生産量が、現在のそれに比べて、1/20程度の少量であったことが、大型化を阻害する一つの大きな原因であったと云えよう。

又、当時の鉱山労働者の賃金は低く、設備投資を大型化し能率を上げることは、原価面から見てマイナスが大きく、採用されるまでに至らなかったとも思われる。

終戦後、石灰石の生産量は拡大し、昭和30年代を最盛期にグローリホール法の時代となった。

グローリホール法が我が国に最初に導入されたのは、昭和14年10月、朝鮮において小野田セメント製造株式会社平壤工場の石灰石鉱山である勝湖里鉱山であると云われている。

当時、平壤工場の主任技師であった浅野忠氏が、米留学の成果として、我が国に初めてもたらしたもののようである。

内地では、浅野セメント株式会社（現在日本セメント株式会社）津久見鉱業所で昭和15年初めて採用されたことは良く知られている。

グローリホール法は、重力を利用して鉱石の集積や積み込みが出来ることから、かなり盛んに採用され、一時期、全国生産量の約60%程度にまで採用されるに至った。

これとは別に、大規模鉱山の一部を中心に、傾斜面採掘で発破爆落した石灰石を、切羽の下部でパワーショベルを使ってトラックに積み込む方法が採用された。

昭和30年代の後半から、高度成長期に入り、それと呼応して、大型機械の導入が盛んになった。

特に、ブルドーザを使って、階段採掘法により爆落した石灰石を、グローリホールを利用して、その立坑に押し込む方法が初まって来た。

我が国の石灰石鉱床の特徴として、急峻な山を形成

\* 小野田セメント(株)鉱業部次長

〒135 東京都江東区豊洲1-1-7

していることがほとんどであり、ヨーロッパ、アメリカの多くの稼行されている平面的に広がっている鉱床とはかなり異なっている。

ヨーロッパ・アメリカで現在稼行している鉱床の多くは、丘陵地や平地にあり、これらの鉱床を対象として、それぞれ国情により、異なった形で採掘法が発達して来た。

特にドイツを中心にして、新しい採掘のシステムや新しい傾向の単体の重機械類が発達した。

又アメリカに於いては、それぞれの重機械をもっぱら大型化する方向にむかった。

我が国では、これら先進の国々から、適当に取捨選択して重機械類を採用して行った。

石灰石の需要が増えるにつれて、それに応えるために、人員の増加を図るのではなく、重機械類で対処すると言う考え方が一般的になり、又重機械類の稼働する切羽として、階段採掘法の切羽が増加して行った。

我が国の急峻な地形からして、水平の運搬と同時に垂直方向の運搬をどうするかを考える必要がある。

グローリホルの先例から、重力を利用する立坑方式が、垂直方向の運搬には、もっとも目的に適ったものとして採用されるようになった。

現在、我が国でもっとも定着しているのは

露天階段式採掘法→切羽運搬→立坑→坑底クラッシングプラント→ベルトコンベア運搬  
と云うパターンである。

### 3. 階段採掘法

我が国の石灰石鉱山の中で、主流となっている採掘法は、前にも述べた通り階段採掘法である。

現在、99パーセント以上の切羽が、この方法を採用している。

この方法が現在のように発達して来たのは、ホイローダやブルドーザと云った重機械の大型化によるところが大きい、その原因をたどって行くと、労働賃金の上昇にかなり影響されていることが判る。

又保安上から見ても、グローリホル法や傾斜面採掘法に比べて、格段に安全であることがこの方法の増加に拍車をかけることとなった。

それは、平坦なベンチと呼ばれるフロアで穿孔、発破、積込の作業が行われ、災害発生の危険性が比較的少なく、且つ管理が容易であるためである。

#### 3.1 表土剥ぎ

ベンチ形成に先立って、表土剥ぎが行われるが、これ

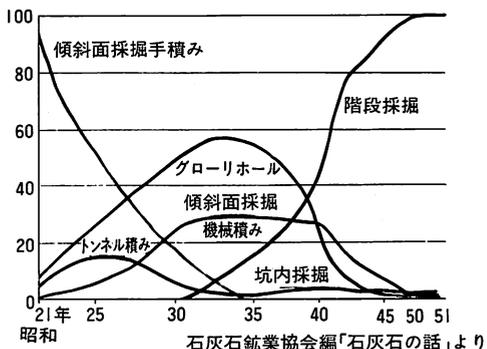


図-1 採掘法別石灰石生産比率の推移

は石灰石鉱体の上部に堆積している風化残留土や砂岩粘板岩等の堆積岩を除去する作業である。

表土の深さと表土除去の範囲については或る関係があり、石灰石の採掘する深さととの比を剥土比率と云うが、この値は金属鉱床の露天掘の場合に比べて極めて小さい。

石灰石鉱床はその表面が極めて特異な形状を示している場合が多く、カレンフェルトと云われる凹凸の激しい石灰石の岩塔から成る地形を示すのが普通である。

従って表土はその上部に層状に堆積するだけでなく、窪みの中にまで入り込んでいるので、表土の層状の部分のみの処理—所謂表土剥ぎ—ばかりでなく、石灰石とその窪みにたまっている表土の同時処理—これを剥岩と称している—を行う必要がある。

後者はほとんど採掘と同様の作業を行うが、いずれもダムを作り、その上部に転圧堆積し処理するのが普通である。

#### 3.2 ベンチ形成のパターンについて

階段採掘法は一名ベンチカット法とも云われる。それは図-2、のようにフロアと切羽面から構成される。その1段の高さをベンチ高さと呼び、同一フロアで切羽面の法肩からその一段上の切羽面の法尻までを、ベンチ巾と云う。

そのベンチの進め方に3つのパターンがある。

- イ. 載頭スライズダウン型
- ロ. 山腹スライズダウン型
- ハ. 山腹上向きアプローチ型

どのパターンを選ぶかについては、生産規模、稼行範囲、投資規模等を勘案して決める必要がある。

##### (1) 載頭スライズダウン型

鉱床の尾根部の最頂部に近い場所に、最初の切羽を造り、全体を上部からスライズダウンして行く方式を

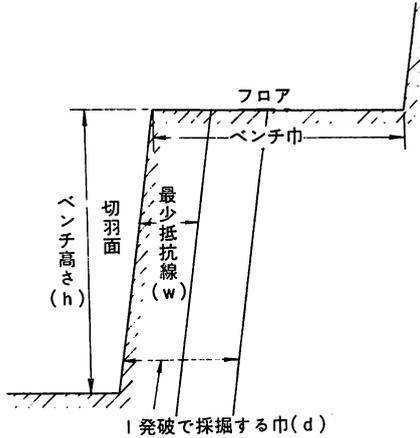


図-2 ベンチ模式図

云う。我が国は比較的急峻な山が多く、全体をスライスダウンしても、比較的面積が狭く、表土剥ぎのための先行投資が負担に耐え得る場合選択されることが多い。

採掘計画は単純で判り易いので、開発当初の表土剥ぎの多い時期を乗り切れば、それ以後は順調な稼働を続けることが出来る。

(2) 山腹スライスダウン型

山腹のテラス又は斜面の一部に、場合によっては山頂の端の一部に切羽を造り、部分的なスライスダウンを行う方法である。山頂までの斜面が長過ぎる場合、初期の剥土量を制限したい場合、山頂の面積が広過ぎる場合などにこの方法を採用する。

急斜面を持った鉱床の場合、山腹斜面を利用して、爆落した石灰石の突き落しを行ない、少ない初期投資で済ます計画が、砕石山などでよく使われる。

(3) 山腹上向きアプローチ型

比較的ゆるい傾斜を持った丘状の鉱床の場合に多く手前の山裾に最初の切羽を造り、その切羽が終る時期に、道路を一段上の奥部に上げて行き、そこに切羽を造り採掘を初める方式で、これを次々と繰り返して、鉱床の上部まで最終的には達する。この方式は初期投資が比較的少なくて済むので、我が国では小規模な採掘の場合採用されることが多い。

又、欧米では、鉱床はあまり起伏のない丘陵地帯にある場合が多く、これらの鉱床の場合は、この方式を採用している例をよく見る。

3.3 一次運搬法

階段採掘法は一次運搬法によって4つに分けることが出来る。

石灰石鉱山の骨格を決定する重要な要素として、この一次運搬法は位置付けられる。

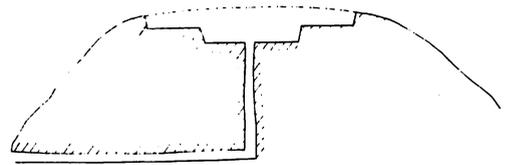


図-3 載頭スライスダウン型

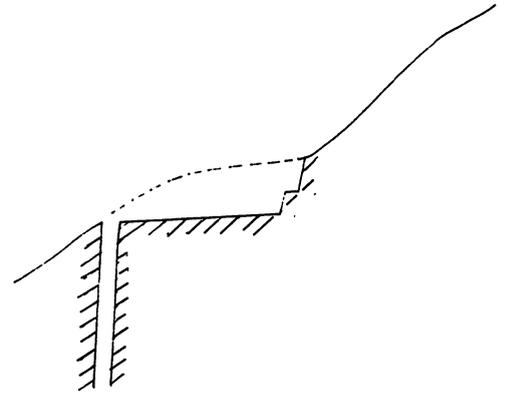


図-4 山腹スライスダウン型

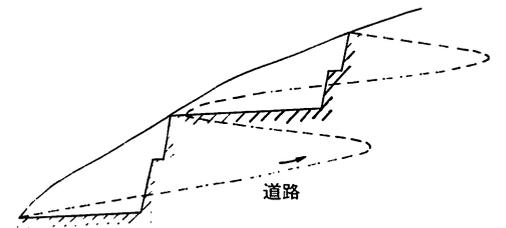


図-5 山腹上向きアプローチ型

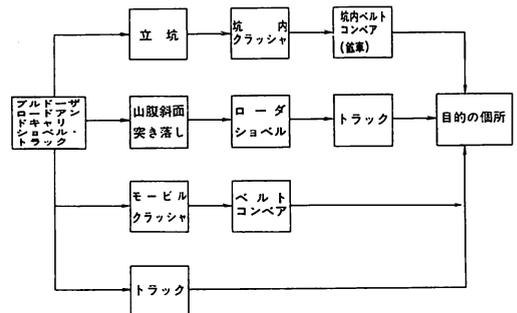


図-6 一次運搬法

一次運搬法の方式を図示すれば図-6、の通りである。どの運搬法を選択するかについては、地形、輸送量(T/H)、運搬距離、設備投資額の制約、その他の制限条件を考えて、原価的にもっとも有利な方法を選ぶことになる。

結局、ベルトコンベアとトラックの対比になるが、比較的短距離、大輸送量になるとベルトコンベアが有利になる。又急な斜面では立坑方式が有利となる。

我が国に於いては比較的急峻な山地に鉱床が賦存する  
 場合が多く、立坑一坑内クラッシュと云うタイプが  
 比較的多い。

4. 階段採掘法に於ける切羽の設計

階段採掘法で、切羽の設計を行う場合、基本的には  
 切羽の長さ、切羽の高さ、一発破で採掘する巾（普  
 通は単発破を行うことが多いので、この場合は最小  
 抵抗線）をどの様に選択するかと云うことから初まる

Q (トン) …… 1日当りの採掘量

l (m) …… 1日当りの採掘切羽長さ

h (m) …… 1ベンチの高さ

d (m) …… 1発破で採掘する巾

とすれば

$$Q = 2.7 \times l \times h \times d$$

が1日で採掘出来ることになる。

4.1 切羽長 (L)

一般的に、切羽長をしとすれば

$$L = (3 \sim 5) l, \ell$$

とする。これは穿孔、発破、積込の作業が同時に行  
 うことが出来るように、別々の個所で行われる場合が  
 ほとんどであること、品質コントロールのための複数  
 切羽からの混合出鉱が必要な場合が多いこと、計画的  
 な切羽進行をするための余裕が必要なことなどのため  
 である。

4.2 ベンチ高さ (h)

ベンチの高さは穿孔機の種類、積込機の種類、岩質  
 保安上の見地などにより定められる。

我が国に於いては20m以下のベンチがほとんどであ  
 り、これは保安上の見地から転落石の災害を防ぐため  
 に制限している場合が多い。

又、積込機の種類により切羽の高さは影響を受け、  
 ブルドーザの場合5m前後、ホイローダの場合5～  
 15m、パワーショベルの場合10～20mが一般的である。

4.3 1発破で採掘する巾 (d)

発破設計により1発破で採掘する巾は決ってくる。

この発破設計は爆落量、爆落塊の大きさ、保安、公  
 害防止、原価などを考えて行う。以上を満足するため  
 に爆薬、岩石の性質、使用する穿孔機などを考慮して  
 発破諸元を決める。ベンチ発破の発破諸元は最小抵抗  
 線、孔間隔、穿孔長、穿孔径、ベンチ高さ、装薬長、  
 込物長、サブドリリングなどである。

このうち最小抵抗線と何列の発破にするかで、1発  
 破で採掘する巾が決まる。

一般的には Langefors の式を使うことが多い。

$$W (m) = 0.046 D (mm)$$

但し W …… 最小抵抗線

D …… 孔径

普通、最小抵抗線は3～5mの数値を取ることが多  
 い。又使用する爆薬は現在AN-FOが大勢を占めて  
 いる。

5. 穿孔機

穿孔機は発破諸元のうち穿孔径、穿孔長、孔間隔、  
 穿孔傾斜を決定する。

現在、石灰石鉱山で用いられている穿孔機は、大別  
 してクローラドリル、ロータリードリル、ダウンザホ  
 ールドリルの3種類になる。

以前はクローラドリルが全盛であったが、40年代後  
 半から大型ドリルの導入がなされ、最初ダウンザホ  
 ールドリルが、次いでロータリードリルの採用がふえて  
 行った。

石灰石はSiO<sub>2</sub>の含有量が1%前後の場合が多く、  
 他岩石に比してビットの摩耗が少ない。

そのため、比較的ビットの摩耗の多い、ロータリ  
 ードリルが、穿孔スピードの早いために採用されるこ  
 とが多くなって来た。

又最近クローラドリルを初めとして、省エネルギー  
 騒音対策などの理由もあり、油圧化への傾向がいちじ  
 るようになって来た。

表1 我が国石灰石鉱山に於ける穿孔機  
 設置台数の推移

機 種 \ 年 月	43年10月	48年12月	52年 4月
クローラドリル ワゴンドリル	192 台	341	366
ダウンザホール ドリル	0	8	18
ロータリードリル	0	0	19
合 計	192	349	403

石灰石鉱業協会編 石灰石鉱山表より

6. 積込機

積込機として一般的に使われているのは、パワーシ  
 ョベル; ホイローダ, ドーザショベル, 油圧ショベ  
 ル, および補助機としてブルドーザである。

積込機タイプの選定にあたっては、岩質、石灰石の  
 起伏状況、運搬機とのバランスなどを考慮して行う必

要がある。

最近まできわだった傾向として大型ホイールローダの増加とパワーショベルの減少があった。

しかしここ数年来油圧ショベルの胎頭があり、世界的に見てもこの機種種の増加の傾向が認められる。

ホイールローダはその大型化により、掘さく力が増加し、爆落石の積込にも使用出来るようになり、大巾に伸びて来た。

特に機動性の面でホイールローダは優れており、我が国ではトラックなど特別の運搬機を使わない、ホイールローダのみのロード・アンド・キャリア工法がいくつかの鉱山では採用されている。

ホイールローダはタイヤ走行のため抜群の機動性を示すが、逆にタイヤの摩耗、損耗による費用が大きく、通路の管理が充分でないと、かえってコスト的に高いものにつく場合がある。又タイヤ費用を低減するためタイヤプロテクションチェーンを装着する場合がある。

これによってタイヤの寿命を2～4倍に伸ばすことが出来る。

最近、油圧機器の技術的進歩、信頼性の向上により、油圧ショベルが伸びて来た。油圧ショベルは従来の電気式又はディーゼル式のショベルに比べて動作のコントロールが比較的容易であり、掘さく作業の能率が良く、我が国に於いても採用し初める鉱山が出て来た。

ドーザショベルは履帯を持っているため、ホイールローダに比べて通路の整地が不完全でも、充分その機能が発揮出来、又小型の機種でも掘さく力がかなり大きく、発破した原石のすくい込みが出来る。これらの特徴を持っているため、表土剥ぎや剥岩など採掘に先立って行う作業や、比較的小規模の採掘切羽の積込用に、広く使われている。

表2 我が国石灰石鉱山に於ける積込機設置台数の推移

機 種	年 月	43年10月	48年12月	52年 4月
パワーショベル		111 台	63	30
ドーザショベル		159	195	245
ホイールローダ		43	117	93
油圧ショベル		0	3	34
合 計		313	378	402

石灰石鉱業協会編 石灰石鉱山表より

### 7. 運搬機

一般的に50～100m以下の運搬にはブルドーザ、50～

表3 我が国石灰石鉱山に於けるブルドーザ設置台数の推移

機 種	年 月	43年10月	48年12月	52年 4月
40Tクラス以上のブルドーザ		4 台	30	52
そ の 他		163	183	195
合 計		167	213	247

石灰石鉱業協会編 石灰石鉱山表より

表4 我が国石灰石鉱山に於けるダンプトラック設置台数の推移

積載量	年 月	43年10月	48年12月	52年 4月
2 <sup>T</sup> ～ 10 <sup>T</sup>		404 台	145	32
11 <sup>T</sup> ～ 20 <sup>T</sup>		166	360	475
21 <sup>T</sup> ～ 30 <sup>T</sup>		3	5	10
31 <sup>T</sup> ～ 40 <sup>T</sup>		0	29	87
41 <sup>T</sup> ～		0	8	12
合 計		573	547	616

石灰石鉱業協会編 石灰石鉱山表より

200 mの運搬にはホイールローダを使ったロード・アンド・キャリア、150 m以上の運搬にはトラックが適している。

ブルドーザは昭和30年代の階段式採鉱法の導入初期、もっとも盛んに使われた。

これはグローリホールを階段式採鉱法に転換するため、採掘切羽の頂部にベンチを造成し、グローリホールのシャフトに押し込む作業が盛んに行われたことが影響している。

しかし、この方式は運搬距離に限界があるため、やがて大型のホイールローダが遠距離をカバーする作業用として使われるようになった。これが所謂ロード・アンド・キャリアである。

又大規模な採掘を行う場合は、広い切羽面積が必要なこともあって、トラック運搬が一般的に使われるようになった。これらはいずれも大型化へ向かって来た。

最近一部の鉱山ではモービルクラッシングプラントが採用され初めている。これは切羽運搬距離を短くすることが、原価的に有利であろうと云う発想である。

トラックを使う代りに、クラッシャーを切羽の近くにもって行く。ローダ又はショベルを使って、直接クラッシャーに鉱石を投入し、以後の運搬をベルトコンベアで行わせる。ベルトコンベアによる大量運搬の

優位性を採用しようとするものである。

## 8. むすび

我が国の石灰石鉱床は褶曲や断層が発達し、一般的に急峻な地形を形成することが多く、諸外国の鉱床に比して採掘のむづかしさのある鉱床が多い。しかも石灰石の価格は極めて安いために、かなり厳しい合理化が続けられて来た。

行きつくところは、工程の単純化、大型化と云うことで、その表面に見える作業形態の単純さの裏で、絶えず続けられている改良への努力にも注目して欲

しい。

又、条件の良い鉱床はほとんど開発されてしまい、今後の需要に応ずるためには、条件の悪い奥地の開発に着手することになる。

そのため、延々数十キロに及ぶ輸送が必要となって来る。建設費も稼働費も安い新しい運搬法の開発が、我が国では必要となって来るであろう。

そのためには我々石灰石業界内部の力だけでは、充分な対応が困難であろう。各学界、各業界の絶大なるご援助を期待するしだいである。

## 話の泉

### 未来都市の祭典——ポートピア'81開幕せまる

神戸博ポートピア'81は、「新しい“海の文化都市”の創造」をメインテーマとして、いよいよ3月20日より、神戸ポートアイランドにて半年間にわたり開催される。関西電力未来エネルギー館では、「未来エネルギー」をテーマにエネルギー問題の重要性、新エネルギーの将来見通し、新しい技術等を紹介する他、ソーラピラミッドの松下館では、「自給エネルギーシステムの開発」ほかをテーマに、最新技術を展示、サンヨーソーラリアムでは、「太陽への讃歌」をテーマに、人間が太陽や宇宙に託す夢や情熱を紹介する。また大阪ガス「ワンダーランド」では「ふしぎな世界」をテーマに、生活に欠かすことのできない「炎」のふしぎを体験させてくれるという。その他川鉄地球館では、「地球を考える」、三菱未来館では、「海と人間の明日」、神鋼ポートラマ館では、「大自然と文化と生命」、ポートピアみどり館では、「海底へのいざない」をテーマにするなど、興味はつきない。

(当日入場券は大人2000円、高校生1200円、中・小学生1000円、幼児400円)

(会場への交通機関としては、国鉄三ノ宮駅より新交通システム、バスを利用できる)

(A)