日 本 鉱 業 会 誌

第72巻 第821号 昭和31年11月

★ ★ 論 文 ・ 報 告 ★ ★

堂屋敷鉱床東部硫化鉱体の長孔発破設計について*

正 会 員 森 吉 恒 夫**

正 会 員 神 野 孝 行***

On the Plan of Long Hole Blasting for Pyrite Ore Body at the Dōyashiki Deposit, Hanaoka Mine

Tsuneo MORIYOSHI and Takayuki ZINNO

We have applied the long hole blasting to the mining method for low grade pyrite ore body. And we have succeeded in the application of block caving method to breaking pyrite ore body which was difficult to mine according to caving, collapse and underground water.

The plan of long hole blasting is based upon a linear charge originated in short diameter long holes against the theory of a concentrated charge, therefore we have arranged the line of least resistance and spacing of holes adaptable for a linear charge without cushioning.

At the plan of blasting of block caving method, perfect-fanshaped arrangement of holes by symmetrical drilling chambers was suitable for weak and brittle conditions of ore body from our results.

1. 緒 言

花岡鉱山堂屋敷鉱床においては沈降性をもった粘土質凝灰岩が母岩であつて、鉱石自体も脆弱である上、過去の採掘に伴う落盤、出水等の悪条件が次第に累積されている現状にある。採鉱法¹⁾は小規模ながら各種の方式を採用しているが、近年、堂屋敷鉱床では強靱である珪質硫化鉱体に長孔発破による残柱式上向充填採鉱法を適用した。また長孔発破の技術の向上に伴い、長孔発破によるブロックケービング法によつて、上部が崩壊している鉱体の採鉱に成功した。その採鉱法並びに鉱体の状況については、既報²⁾の通りである。本稿では長孔発破に関する諸設計と直面している諸問題について述べる。

2. 半長孔発破による残柱式上向充填採鉱法の発破設計について

2-1 発破設計

堂屋敷塊状鉱床の東端部には30% S程度の強靱な珪質硫化鉱が賦存している。この鉱体の採鉱法は第1図に示すような残柱式上向充填採鉱法である。採鉱設計上からは、旧 6L⁺ の存在が規則的なサブレベルの設定を阻害している。

発破設計は、従来、孔長 5m 以上の長孔発破では大孔径による集中装薬の理論^{3),4)}に基いていたが、花岡鉱山では、44mm 径のビットによる小孔径長孔であつて、爆薬も 30mm または 28mm 薬径のものを使用するため、発破設計を線状装薬として行うのが、本採鉱法並びに後述するブロックケービング法の発破設計の特徴である。最少抵抗線や穿孔配列は所要爆薬量をクッションングしないで、線状に装薬できるように決定する。実際には、この種の小孔径発破では、クッションングが必要であるような穿孔配置ではカットオフを生じたり、或いはクッション部が起砕しないことがある。本稿で装薬比 α とは装薬長 b と孔長 l の比を示し、ステミング長 l とは装薬末端より孔口までの長さをいう。

* 昭和31年6月30日受理、昭和31年春季大会にて講演

** 同和鉱業株式会社花岡鉱業所採鉱課第二係長

*** 同和鉱業株式会社花岡鉱業所採鉱課

† 戦時中、不規則な残柱式坑道掘を行い、終戦前に水没し、その後新たに現在の 6L を開坑した。

第1図 半長孔発破による残柱式上向充填採鉱法

$$l=b+l \quad (1)$$

$$\alpha=b/l \quad (2)$$

第1図に示す採鉱法の発破設計には次のような簡単な算定式を用いる。発破鉱画の巾を D (m)、高さを H (m)、装薬係数を C (kg/m³)、爆薬の単位長の重量を g (kg/m)、孔長を l (m)、1穿

孔列の孔数を n 、各穿孔列の間隔すな

わち最少抵抗線を W (m) とする。

$$W=nl\alpha g/DHC \quad (3)$$

ここに $n=4$ 、 $D=5$ m、 $l=H$ とすれば次の実用式を得る。

$$W=0.8\alpha g/C=0.8\alpha_0 g_0/C \quad (4)$$

$$\alpha_0=\alpha\tau \quad (5)$$

$$g_0=g/\tau \quad (6)$$

ここに α_0 は実装薬比であり、爆薬はタンピングによって短縮するから、これをあらかじめ知っておく必要がある。 τ は短縮比である。 g_0 は短縮した場合の爆薬の単位長の重量であるから実装薬重量と呼ぶ。第1表に発破実績を、第2表に短縮比を示す。装薬係数は新桐で0.55kg/m³程度の時が起砕結果は良好で二次破碎を必要としない。第1表で α が100%をこえる場合があるが、この場合でも充分なステミング長が取れているのは、上述の爆薬の短縮に基因している。新桐では約20%短縮するが、低ニトロの竹3号では5%程度にしかすぎない。この事は線状装薬の穿孔配置には重要な要素である。

2.2 点火法

点火は導爆線を使用して各列ごとの段発を行う。各列4本の導爆線を集束し、その集束部に電気雷管を装着する。飛散岩片による導爆線の切断に対する安全対策として補助導爆線でもって各導爆線を連結しておく。電気雷管は30MS等段差を使用したのが、カットオフによる発破の失敗はなかった。

第2図は500MS等段差電気雷管による段発発破の起砕結果を示す。図中の半起砕とは爆轟はしているが孔尻部分の起砕不良のもの(孔長の60%程度起砕)、不発とはカットオフや孔外導爆線の飛散岩片による切断等のた

め爆轟しなかったものを示す。後者には前段の爆破によるのみならず、同段においても電気雷管の遅発秒時誤差が±240MSもあるためカットオフを生じたものもある。発破結果では半起砕と不発がある程度周期的であるのは、例えば6段が不発であるために7段は起砕不良ながらも爆破する。このため自由面の増大により、8段の起砕は良くなるため9段はカットオフされて不発となると考え

第1表 半長孔発破実績

項目	起砕量 (m ³)	孔数	総穿孔 孔長 (m)	平均 孔長 (m)	薬種	薬量 (kg)	最小抵抗線 (m)	装薬係数 (kg/m ³)	見掛装薬比 (%)	実測ステ ミング長 (m)
切羽記号	V	L	l	E	W	C	α	t_0		
北1号(1段)	571.1	72	346.2	4.61	竹2号 150g	286.75	1.15	0.503	94.0	-
北1号(2段)	554.0	66	362.6	5.50	新桐 250g	321.25	1.15	0.578	99.4	1.05
北2号(1段)	496.5	78	350.1	4.50	竹3号 100g	304.00	1.10	0.613	86.8	0.81
北2号(2段)	726.0	68	423.0	6.21	竹2号 100g	431.10	1.37	0.594	91.7	0.61
北3号(1)	458.0	84	310.1	3.70	竹3号 100g	261.00	1.15	0.568	84.3	0.76
北3号(2)	315.0	44	189.6	4.30	新桐 100g	170.00	1.30	0.540	89.7	1.12
南1条	650.0	81	407.8	5.04	竹3号 100g	322.00	1.24	0.496	78.8	1.29

第2表 44mm径穿孔に対する各種爆薬の短縮比の実測値

爆 薬	薬径×薬長 (mm)	孔数	総穿孔長 (m)	薬 量 (kg)	見掛装薬長 (m)	見掛装薬 比: α	実測ステ ミング長	実装薬 比: α_0	短縮比: τ
新 桐 250g	28×280	20	103.7	96.25	107.9	104.0	15.6	85.0	0.815
新 桐 100g	30×100	30	129.6	110.00	110.0	84.9	39.0	70.0	0.824
竹2号 100g	30×100	68	423.0	431.10	431.1	101.9	42.0	90.0	0.885
竹3号 100g	30×100	30	658.5	34.50	34.5	52.3	33.3	49.5	0.944

られる。上述の結果より、30MS以内の段発では、前段の爆破作用の後段に対するカットオフや孔外導爆線切断等の影響を与えないことが判る。次にこの遅発秒時の限度はどの程度であるかは、後述する多数の穿孔が集中している穿孔室発破にとつては重要な問題であつて、目下の研究課題である。段発発破にはカットオフの危険があるため、第3図に示す多数の穿孔列斉発実験を行い、その起砕状況を検討してみた。装薬量は段発の場合の約20%増とした。その結果によると垂直自由面を離れるにしたがつて起砕が悪くなる。すなわち垂直自由面への爆破作用が減退し、ある程度になると水平自由面にのみ爆破作用を行うようになる。この状態では線状装薬は非常に不利である。斉発の発破効果についてはさらに実験を要

第2図 500MS等段差電気雷管による上向平行半長孔発破の起砕状況

するが、上記結果より斉発列数が余り多くなければ、装薬量を若干多くすることによつて、斉発でもかなりの起砕結果が得られることがいえる。

導爆線の結線法では、1本の幹線導爆線によつて多数の支線導爆線に点爆する場合、幹線導爆線に支線導爆線を沿着さす沿線結線法があり、これには沿着長さや沿着部の芯薬の露出の有無に拘らず、幹線導爆線の燃焼方向と逆の方向には点爆しないという点爆の方向性がある。しかし、支線導爆線を幹線導爆線に巻き付けて縛る場合には点爆の方向性は消失する。この原理により多数の支線導爆線を1カ所に集束し、この集束部を幹線導爆線で巻き付けて縛る方法は点爆が確実であると同時に、結線が簡単で特に坑内水の多い切羽には適している。この方法を花岡鉱業所ではパフシュート結線法と呼んでいる。

3. 長孔発破によるブロックケーピング法の発破設計

3-1 長孔発破によるブロックケーピング法の概説

本法については既報⁹⁾の通りであるが、その概略は4L 5L間の水平竜頭を長孔発破によつて爆砕し4L以上の崩壊鉱石をも回収する計画である。発破区画は東西20m、南北68m、厚さ10mであるが、南北方向に4等分し、まずその南端の第4鉱画を昭和30年11月に、ついで第3鉱画を昭和31年5月に発破した。両者の発破設計は異なり、第4鉱画は完全扇形穿孔配置とし、第3鉱画は穿孔坑道による片面扇形穿孔配置とした。これらの発破の特徴は、44mmビットによる小孔径長孔の線状装薬発破であることと、穿孔配置が仰角60°～80°にも及ぶ扇形穿孔であることである。

3-2 2穿孔室による完全扇形穿孔の発破設計

第4鉱画は特に崩壊性であるため、最小空間よりの穿孔が望ましく、第4図に示すとき2.5m×5m×5mの穿孔室を東西に設け、P点およびQ点の穿孔中心点より左右128°、仰角62°、俯角8°の完全扇形穿孔配置を採用した。発破設計には、装薬係数、線状装薬の装薬比、穿孔面数：N（広義の最少抵抗線の決定）、1穿孔面内の穿

孔本数：n、発破効果と点火法等の諸要素がある。これらを総合して設計するため、1穿孔面の発破区画と本体積の半球体を仮想し、その中心を穿孔中心点として放射状に穿孔配置するとすれば設計上の各要素の関係式が得られ、これを直六面体の近似解として用いることが出来る。いまVを1穿孔室の発破容積、rを半球体の半径とすれば、2・1に述べた線状装薬発破の考え方より次式が得られる。

$$nN = \frac{V}{r} \cdot \frac{C}{\alpha} \cdot \frac{1}{g} \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi r^3 = V \dots\dots\dots (8)$$

ここに $V = \frac{1}{2} \times 10 \times 20 \times 17 = 1,700 \text{m}^3$ とすれば、

$$nN = 182 \frac{C}{\alpha} \cdot \frac{1}{g} = 182 \frac{C}{\alpha_0} \cdot \frac{1}{g_0} \dots\dots\dots (9)$$

を得る。 nN は総穿孔本数であつて、 α_0 および C を選ぶことによつて各種の組合せが得られる。本発破では装薬の安全を見て、28mm 径、250g の新桐ダイナマイトを使用することにした。第2表によれば新桐250gの短縮比は $\tau=0.815$ であるが安全のため $\tau=0.85$ とし、各要素を $C=0.6 \text{kg/m}^3$ 、 $\alpha_0=70\%$ 、 $g_0=1.05 \text{kg/m}$ とした。

$$\therefore nN = 150 \dots\dots\dots (10)$$

この近似解より爆破効果や点火法を考慮して、 $N=10$ 、 $n=15$ とした。穿孔中心点は2m長ガイドシェルさく岩機2台の運転上からは穿孔室正面より出来るだけ離れた方がよいが、これを大にすると扇形穿孔による損失鉱量が大きくなる。また下向孔を極力避けるため穿孔中心点をP、Qの2点とした。最大方向角や最大傾斜角の決定には孔口間の水平間隔およびカットオフに最も関連のある垂直距離等の要素を特に考慮した。この穿孔配置による総穿孔本数300本、総穿孔長2,508m、平均孔長8.4mであり、扇形配置による損失容積は500 m^3 であつて、穿孔配置容積は2,900 m^3 となつた。

3-3 第4鉱画の発破法

第4鉱画には3つの自由面があり、5L天盤の水平面を主自由面、穿孔室壁面を副自由面、4L踏前を準自由面と呼ぶことにする。準自由面には崩壊鉱石が堆積しており、発破の自由膨張空間がないから自由面の効果は少ない。副自由面には150本の穿孔口が集中しているために、この面へ爆破作用が集中しやすい。発破法としては、(イ)穿孔面10面の斉発、(ロ)各面ごとの段発、(ハ)数面ごとの段発（以下集団段発と呼ぶ）等がある。10面斉発は点火上最も安全であるが、2・2に述べた通り良好な起砕結果が得られない。その反面10面の段発では良好な起砕が得られるが、カットオフや飛散岩片による孔外導爆線の切断等、点火上の危険が著しく大であつて、発破の失敗の可能性が大きい。点火上の安全性より、集団

$C=0.64 \text{kg/m}^3$, $t_0=0.76 \text{m}$, $\alpha_0=85.4\%$

第3図 4穿孔列（16本）斉発実験

第4図 長孔発破によるブロックケーシング法
(完全扇形穿孔配置：第4鉱区)

段発方式を選び、アンダーカット*を1段、JO面を2段、ABCD面を3段、EFGH面を4段として、30MS等段差電気雷管によって発破した。

装薬上最も問題となるのは第5図に示すごとく、完全扇形穿孔では装薬密度が不均一になり、孔底部は装薬が不足し、孔口付近では過装薬となる。後者に対してはステミング長でもつて調整する。したがって装薬末端は波状となる。その一例を第3表に示す。次に各段間のカットオフに対しては、2段および3段の爆破作用が副自由面に現われないようにステミング長で調整し、副自由面の周壁に安全鉱柱を残して、4段でもつて安全鉱柱をも爆破するように装薬を調節した。この関係を第4表に示す。実穿孔長は計画穿孔長に対して88.7%であった。これは岩質の変化が著しく、また地表水の浸透による孔荒れが多く、特に下向孔および水平孔では83.4%の遂行率となった。このことが第3鉱画の発破法を変更する理由となった。第4鉱画における装薬計画に対する実績を第4表に示す。

* 5Lのピラーは天盤保持のための最小限を残して、予め追切してある。

第5図 穿孔面[B]穿孔①の孔長と装薬係数の関係(装薬密度)

導爆線の結線法は前述のパラシュート型と沿線法とを混用した。なお安全のために各支線導爆線を連結する補助導爆線を使用し、さらに飛散岩片遮蔽板を設置した。穿孔室は滴水および孔中よりの浸出水が著しく、パラシュート型結線法は簡便であった。雷管の数量は各段1箇でよいが、安全のために導爆線の集束箇所ごとに装着し、また集束箇所には10g程度のダイナマイトを装着して点爆の安全性をみた。この点火法を第6図に示す。

3.4 2穿孔坑道による片面扇形穿孔の発破設計

第4鉱画の発破設計では最大穿孔長は11.75mであり、この種の岩質に対しては孔荒れが多く、作業能率が低下するのみならず装薬は難しいため孔長を短くすることが望ましい。また完全扇形穿孔では設計が非常に複雑であつて、穿孔長や装薬量は150本の穿孔に対して行わねばならないことと、装薬密度の不均一により局部的に大塊を発生する恐れがある。これらの関係から第3鉱画は比較的岩質が強靱であると見られたので、南北18mの鉱画内に2本の穿孔坑道を開さくし、第7図に示す片面扇形

第3表 穿孔面[B]の各孔のステミング長
(9以下左右対称)

穿孔番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
実ステミング長(m)	2.5	3.0	2.6	3.3	3.1	2.7	3.5	2.7	3.0

第4表 第4鉱画の装薬計画と実績

発破段差	穿孔面	計				実			
		E(kg)	C(kg/m³)	α_0 (%)	l_0 (m)	E(kg)	C(kg/m³)	α_0 (%)	l_0 (m)
2段	J.O	338.25	0.521	73.8	2.02	303.50	0.467	75.8	1.86
3段	ABCD	659.25	0.649	65.1	2.84	630.75	0.621	66.3	2.74
4段	EFGH	663.25	0.677	70.5	2.16	644.25	0.657	72.0	2.06
計		1,660.75	0.628	68.7	2.42	1,578.50	0.596	70.1	2.31

第8図 ブロックケーシング第3鉱画鉛石引抜鉱井図

$$N_1=20 (\therefore R_1=1.05\text{m}) \dots\dots\dots (18)$$

$$N_2=21 (\therefore R_2=1.0\text{m}) \dots\dots\dots (19)$$

総穿孔本数は369本、総穿孔長は2,181m、平均孔長は5.9mである。

発破法はアンダーカットを1段、第1区ABを2段、CDを3段、EFGHJを4段、第2区ABを5段、CDを6段、EFGHJを7段とし、20MS等差電気雷管を使用し点火の安全度を増した。導爆線結線法は第6図と同様パラシュート型である。

4. 鉛石引抜坑井の設計

第4鉱画の鉛石引抜設計では第4図のように10m間隔に3本の南北スラッシャー坑道を開き、この坑道より南北5m間隔に2m×2m断面の引抜坑井を作成した。スラッシャー坑道に溢出する鉛石はスラッシャーにより主要坑井に集約する計画であったが、発破後の溢出状況を見ると下記の欠陥があった。(イ) 坑井溢出口の天盤が高くなるため、溢出量が多すぎてスラッシャー搬出が困難である。(ロ) 坑井が小さいため大塊が懸吊し易い。(ハ) 鉛石引抜の末期には地表水を含む砂利および充填土砂^{*}が流出するから、各坑井の均等引抜によつて地表沈降の調節をしなければならないが、これは困難である。上記の欠陥を除去するため第3鉱画においては、第8図に示すように改良した。その要点は次の通りである。(a) 引抜坑井の寸法を大にしてその数を少なくした。(b) 引抜坑井4箇を2箇の中継坑井を経て1箇の主要坑井に集約し、直接6L運搬坑道に自由落下させる。(c) 6Lではローディングランプによるスラッシャー横込

* 花岡鉱山では坑内水および粘土等のため坑井漏斗による積込では低効率であり、特にブロックケーシングでは大塊の混入があつて、トラブルが多い。

方法^{*}を採用した。(d) 2つの主要坑井を同時に引抜くことが出来るように主要坑井の両側に運搬坑道があつて、主要坑井群は両坑道に対して交互に開口している。(e) スラッシャーレベルおよびグリズリーレベルの2つのサブレベルより鉛石の懸吊や大塊の処理を行う。(f) 6L運搬坑道への鉛石の溢出量がスラッシャー搬出に支障ないように主要坑井の開口部の高さや運搬坑道の巾等で調節することが出来る。

上記の改良によつて、第4鉱画の欠陥のイ、ロ、ハは除去できる。とくに(ハ)については花岡鉱山の地質構造上(b)、(d)のような方式によつて

広範囲の鉛石を同時に引抜いて地表沈降の調整を行うことが主要であるとする。

5. 結 言

第3鉱画は発破準備中、5Lと4L間の旧立坑を中心として大崩落を惹起し、その後の発破作業を著しく阻害した。かかるブロックケーシングの発破設計に際しては第4鉱画のごとき2穿孔室とするか、第3鉱画のごとき2穿孔坑道とするかの選択は、穿孔の難易、発破効果および崩壊災害に対する安全度等の諸要素を考慮しなければならない。さらに上述した多数の穿孔の集中する穿孔室発破ではカットオフや飛散岩片による導爆線切断等を発破機構と電気雷管の遅発秒時との関係から解明する必要がある。またアンダーカットレベルにおける保存最小電頭の限界（これに伴つて引抜坑井切上げ発破の限界）の決定は鉛石の物理的強度や盤圧を知る必要がある。今後はこれらの諸問題を実験によつて研究し、同種の発破設計を完成する方針である。

追記 発破実施鉱画の鉛石は目下引抜きを継続中である。今後機会をあらためてこの経過や各種採鉛法の詳細につき発表する予定である。

謝辞 本発破設計に際しては、東京大学下村教授の御教示を受けた。また実施経過において大久保所長はじめ上司の方々の御理解と同僚・部下の協力を受けた。ここに感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 森吉恒夫：花岡鉱山堂屋敷鉱床の採鉛法について：鉱業会誌，72巻，814号，昭和31年4月，183頁
- 2) 同上
- 3) Peele: Mining Engineer's Hand Book, p. 5-14, 1950
- 4) 佐山総平：採鉛学ハンドブック，p. 17，昭和30年。
- 5) 1) に同じ
- 6) 1) 186頁，第5図