

著者：Brent Buffham氏^{※※)}鷲見明彦^{※※※)} (翻訳)

発破行程において着火のタイミングは、コンピューターによる制御技術や発破設計パッケージと呼ばれる最新技術が現れた現在でも“影の芸術”と呼ばれその技術の難しさが表現されています。

Brent Buffham氏によると、“発破行程におけるタイミングについては、いまだに不可解で、どの様にタイミングを取ればよいのか未知の部分がある”と言われていきます。

先ず始めに申しておきたい事は、発破は火薬を穴に詰め着火するという比較的簡単でシンプルな物でした。フューズもしくは点火キャップの着火は異なる長さ・異なる時間により爆破のタイミングに遅延を作っていました(Alfred Nobel 1865)。その後、遅延電気雷管(circa 1900)とコード起爆装置が開発され、2次遅延雷管が1920年に開発されました。それぞれの雷管システムには利点・弱点がありますが、世界的に見て多くの鉱山における大規模なパドック発破では、いまだに費用対効果の観点からコード起爆方法が取られています。MSショット遅延雷管が1940年代に出現し、ショックチューブが1967年(Homberg et al, 2001)にPerAnders Perssonによって、経済的且つ効果的な方法として最初に特許化されました。これらの雷管は新しい世紀の安全且つ正確なさきかけの技術として発展してきました。着火技術の遅延雷管技術として電気式・非電気式タイプが選択でき人々は発破行程の中で最適な遅延のタイミングを試行錯誤してきました。1940年代から1970年代にかけて遅延タイミングが発破後の岩石粒度や環境に与える影響などについて調査される様になってきました。これらの研究は米国鉱山協会やスウェーデン雷管研究所によって、タイ

ミング技術の進化の手助けとして、経験則の研究が続けられました。今日、着火システムは電子雷管の導入によりさらに改良され、緻密且つ正確な物となりました。しかしながら、現在でも、非電気式のマキシマム・リオネルSCEやリオネルMSなどの着火技術が費用対効果の面で実際の発破現場では主流の方法として使われています。

1. 経験則

経験則というテーマでタイミングの話をするのは、地上採掘作業の着火システムの始めのテーマとしては、極めて適切なテーマであると思われます。火薬メーカーが提供している主流の雷管は、遅延時間を設定できるショックチューブMS型遅延雷管です。地上採掘ではMS(millisecond=ミリ秒単位)のタイミングが使用されますが、地下採掘の発破においてはかなり長い間隔のタイミングのLP型(Long period=長い間隔)が必要とされます。

これらのインターバル時間は、発破穴の相互作用・発破現場の状況・簡素化したショックチューブの遅延を考慮し経験則によってからみ合わせ設定します。経験則の中で最も注目しなければならないのは、2つの発破穴同士が単一の穴として機能なくなる瞬間です。この時間は一般的に8ミリ秒で、1つの発破穴から次の発破穴までの点火時間が8ミリ秒以内であれば、多くの場合、発破はほぼ同時に起こり振動も増加します。しかしながら、この事は発破穴の距離・岩石の性状によって変わり、常にと言う事ではありません。たとえば過渡な圧力がかかっている場合など、しばしば8ミリ秒以上となります。この経験則は世界中で当てはまる事です。その他の経験

※) Garry, 2012.2月号, p.p.6～p.p.20

※※) マキシマム・オーストラリア社のテクニカルマネージャー

※※※) 正会員 宇部テクノエンジニア(株) 大宮サービスセンター 編集委員

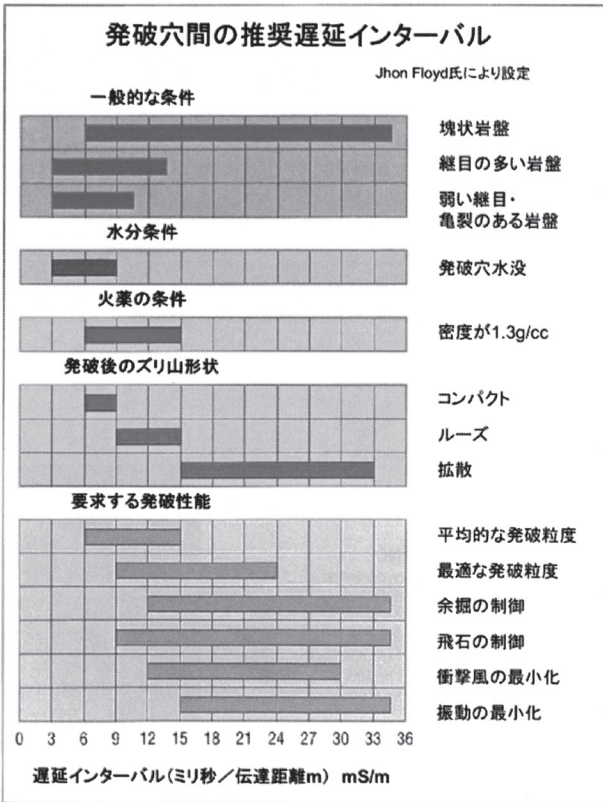


図1：ジョンフロイド氏、発破穴間の推奨遅延インターバル図 (ジョン・フロイド氏の2005年のプラストダイナミクス社講演より)

則としては、発破穴間隔とリリース速度の関係です。リリース時間は、ミリ秒/メートルで測定され、その効果的リリース速度は点火時間のシーケンス設定によって変わります。岩石の動く速度はゆっくりとした時間割合で測定されます。ジョン・フロイドの図1に示される経験値のグラフは極めて有益な物です。発破横穴間のスピードは、発破縦穴間スピードの0.33-0.5倍と考えられています。突破横穴間スピードの許容される範囲は、2-15ミリ秒の間とされています。突破縦穴間の最適なスピードは5-40m秒の間と考えられています。しかしながら、これらの範囲は広すぎて参考にならない為、図1の経験値は極めて有益な資料となります。

2. 一貫性と発破穴間

発破における要素の中で、発破の結果を理解するうえで、一貫性の要素が最も重要なポイントとなります。タ

イミングを変えず、良好な発破を得る為には発破後のリリース速度が一定に保たれる事です。一般的にいって、発破境界線内の岩石の量は地質状況によって決まります。この事を念頭に置き、一定の密度の岩盤から一定の密度の盛り上がりを作るよう着火シーケンスを作る事が良いやり方です。リリース速度の概念では直前に発破された次の穴との間の隙間に、岩石が移動し相互作用を起こし、発破後のズリ山が目的通りのルーズさを保ち適切な粒度を保つ為に十分な時間があるか確認する必要があります。一貫性は距離に対する時間(ミリ秒/m)の考えから発破のタイミングが考慮されます。多くの発破技術者は使用される遅延時間でタイミングを検討しています。しかしこのことは実際発破中何が起きているかを誤認している事があります。例えば図2aと図2bにおいて、形状は一緒でも、発破の遅延時間は異なります。このことにより、図2bのように距離を拡張させる場合、その距離に合わせ遅延時間を考慮しなければなりません。距離ごとの時間を考える時、同じ比率でいくつかの極めて単純な距離と時間の関係の概念で応用します。Merriam-Websterのオンライン辞書によるとパターンof the keyとなる概念と定義は“個々の部分の相関関係に

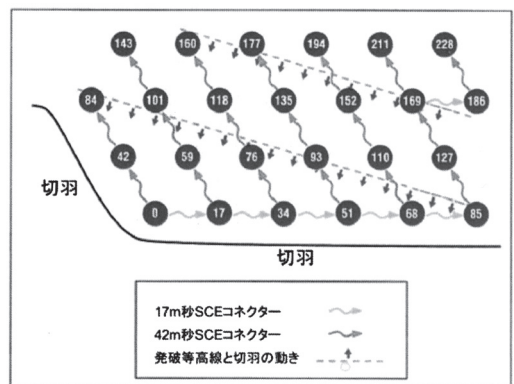


図2 a：2.8m×3.2mパターン-時間は17m秒と42m秒の遅延

この発破により、発破行穴間のスピードは5.3m秒/mで、発破列穴間のスピードは、15m秒/mとなります。

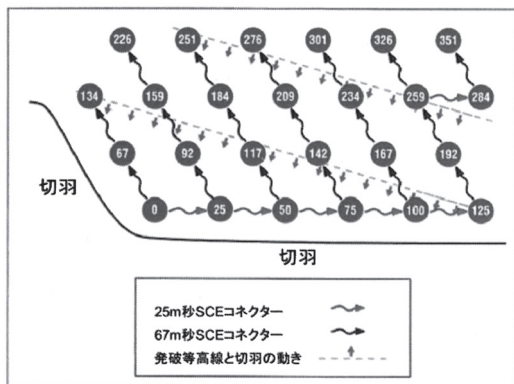


図2 b : 4.4m × 4.7mパターン-時間は25m秒と67m秒の遅延
 この発破により、発破行穴間のスピードは5.3m秒/mで、発破列穴間のスピードは、14.9m秒/mとなります。

基づき全体の相関関係を理解する”とあります。このことは、パターンは繰り返しの形であり、つまりタイミングと発破の設計は一般的に繰り返しの設計だという事です。等間隔の発破穴行間のタイミングと等間隔の発破穴列間のタイミングの最適な組み合わせで最大の効果を出す事ができます。一度反復パターンを認識すれば、発破設計は理解できます。整然と並べられた三角形/台形と遅延時間の発破パターン、三角形/正方形/長方形と遅延時間の発破パターンが確立されます。

3. タイミングシェープ

タイミングシェープは手作業で発破の輪郭や遅延時間などを計画する上で便利な方法です。発破穴のパターンは文字通り“パターン化”されたものです。パターン設計には、若干の属性があり、その属性の違いに合わせて実際の発破パターンを変えてやります。タイミングシェープはほとんど原則的なパターンの繰り返しを利用します。例えば三角形のタイミングシェープはそれ自身が発破パターンを表します。これらタイミングシェープを作る場合図3に示された通り、全ての梯列と行間を直線で結びます。

タイミングプランは次のような利点があります；

- ・現場でも、コンピューター前に座っていても利用できます。
- ・発破穴間での必要で正確な時間の計算ができます。
- ・バーデン長さの計算をすることができます。
- ・等高線の計算をすることができます。
- ・あなたの推論の欠陥を示してくれます。
- ・一環性のある発破位置の特定と必要に応じた変更遅延時間を示してくれます。

一度情報の内容が精査されれば、あらゆる発破穴のタイミングシェープに対応できます。つまり、たとえ発破穴の位置が若干不正確な場所であっても、求められている発破稜線に一貫したタイミングで発破を打つ事ができます。

図4 aに発破穴を示します。実際発破を打つ稜線に最

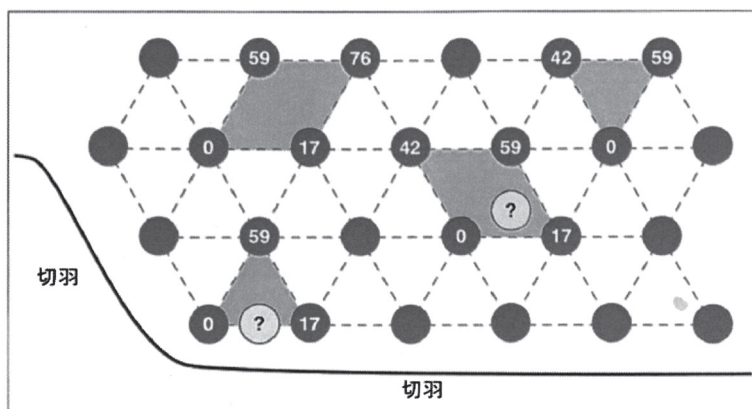


図3：遅延パターンを盛り込んだタイミングシェープ

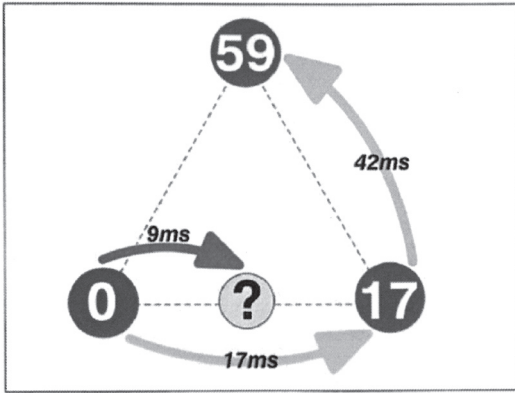


図4 a : 穴間の9 m秒遅れのタイミングシェーブ

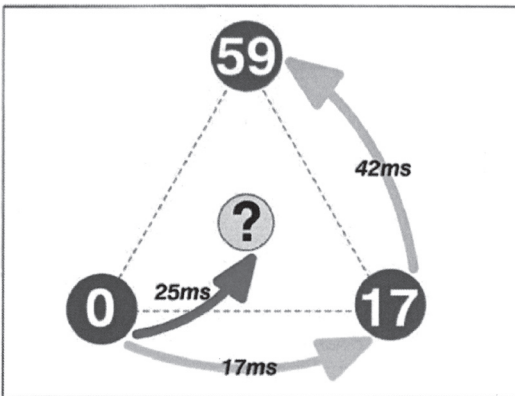


図4 b : 穴間の25m秒遅れのタイミングシェーブ

も適したタイミングを見つける事はパターン化されているので容易です。図4 a中 の ?印の部分は0 m秒と17 m秒の中間位置にあります。タイミングシェーブを局部的に扱う時、着火順を単純化します。例えばこの場合、発破穴 # 1は0 m秒、発破穴 # 2は17 m秒、そして発破穴 # 3は59 m秒となります。発破穴 # 1と発破穴 # 2の中間位置にある ?印の正確な遅延時間を求めると、 $17\text{m秒} \times 0.5 = 8.5\text{m秒}$ となります。非電気式サーフェスコネクターに8.5 m秒の設定は無いので、9秒の遅延の設定を選定します。これがシンプルなタイミングシェーブ例です。

次に3つの発破穴の中にある図4 bの ?印の場合を説明します。それぞれの穴の部分的な位置関係は、次のように考えられます。

- ・ # 1穴と# 3穴の中間線上にある。

- ・ # 3穴とその垂直線上の5分の2の位置にある。

以上のことから、図4 bの ?印の遅延時間は、先ず # 1穴と# 2穴の中間線上である事から、8.5 m秒。次に # 3穴59 m秒と8.5 m秒の間にあることから、 $59 - 8.5 = 50.5\text{m秒}$ 。この5分の2の位置にあることから、 $50.5\text{m秒} \times 2 \div 5 = 20.2\text{m秒}$ となります。# 1穴と# 2穴の中間位置までの時間が8.5 m秒かかるので、図4 bの ?印位置までの時間は、 $8.5 + 20.2 = 28.7\text{m秒}$ となります。数字を丸めて# 1穴から約25 m秒とすれば、# 2穴から9秒となり、図4 bの ?印の時間を最も簡単に表現する事が出来ます。この様に、タイミングプランを使えば、どの部分のどの位置においてもその遅延時間を計算する事ができます。

4. 発破の等高線と岩石の動き

発破の等高線は発破領域内に線引きにより示すことが出来ます。これは、地図上に等高線を引く要領と一緒に出来ます。一般的に、岩石の動きはこの等高線に対し垂直方向となり通常発破のタイアッププラン上に矢印で記載されます。発破穴の着火時間の計算、発破等高線の線引き、そして岩石の動く方向を矢印で手書き表示する事は難しいことはありません。これらは、図2 aと図2 bに緑色の破線と矢印で示されています。等高線が直線ではなく、よじれている場合、特別の注意が必要で、原因を調べておく必要があります。多くの場合、発破は一定間隔のシーケンスから外れた状態となります。このことにより、好ましくない発破の結果を招く事があります(余掘、期待

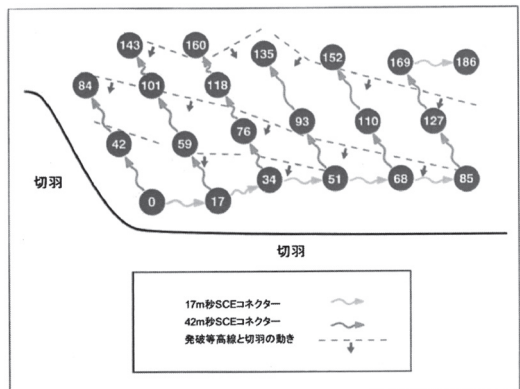


図5 : 発破タイミングのシーケンスがずれた発破サンプル

はずれな粒度分布、発破断面への損傷など)。又あるいは、環境に良くない結果を招きます（飛石、高振動、高風圧）。図5にシーケンスから外れた発破のサンプルを示しています。この例が示すとおり、等高線や岩石の矢印方向が振れております。これは発破形状の一貫性から外れている例となります。それぞれ異なった遅延速度や例外的なタイアッププランを使う事により、速やかに問題を解決する事が出来ます。発破タイミングの等高線がどんなものであるかを理解する事は、発破作業を運営する上で力強い道具となります。

5. 最終設計段階

タイミングは発破設計の最終段階の検討項目の1つで、この検討により発破の結果を大幅に向上させる事が可能です。発破設計・穿穴・ローディング及び発破を実行する上で必要な要素を事を行う上で、このタイミングの検討がよりよい発破を行う上で大きな意味を占めています。

あらゆる場面で、このシンプルなタイミングの概念を応用する事が可能です。

参考文献

- 1) Holmberg R氏、Lee J氏、Persson PA氏：
PA. Rock blasting and explosives engineering (6th edn).CRC Press, New York, 2001.
2001年ニューヨークCRCプレス紙の岩石発破と火薬エンジニアリング（第6版）
- 2) Dessureault S氏：
Mining and geological engineering : course noted
University of Arizona, Arizona, 2006.
2006年アリゾナ州アリゾナ大学コースノート、マイニング・地質エンジニアリング
- 3) Floyd J氏：
2005年コースノート、発破力学