

低公害岩掘削工法

低騒音・低振動掘削工法へのアプローチ

- 1 . はじめに
- 2 . 振動・騒音規制値
- 3 . 低公害技術の種類
- 4 . 対策工法
 - 4-1 無発破工法
 - 4-2 制御発破工法
 - 4-3 工法比較表
- 5 . 工法選定

1 . はじめに

近年、市街地周辺や重要施設近傍での岩盤掘削工事が増加してきており、岩盤掘削時の振動、騒音、低周波音が周辺の施設及び家屋や居住者などに与える影響とその対策が大きな課題となってきています。このような場合、周辺環境へ強く配慮した工法が求められますが、施工能率や経済性も無視できません。

重要施設近傍の岩盤掘削の例として、原子力発電所の増設工事があり、低振動工法として、制御発破や無発破工法の研究が進められました。

2 . 振動・騒音規制値

岩盤掘削において、周辺環境への制約の主なものは振動・騒音であり、振動については周辺居住者に不快感を与える環境振動と近接構造物への影響があります。

発破の振動・騒音は、法的な規制が定められていません。発破の振動・騒音は、一過性で、工場等で発生する機械振動・騒音のような継続性（定常波）がないからです。

そこで、発破振動・騒音に関する自主規制値として、火薬学会では下表のような指標値を提言しています。しかしながら、実際の施工において下表の自主規制を実施していても、苦情が出れば対処せざるを得ません。実際の振動規制目標値の例としては、人間に対しては**0.2カイン (69dB)**程度、構造物に対しては**2.5カイン**程度とする場合が多く、騒音については昼間で**60～80dB**、夜間では**45～55dB**程度を目標値と設定している場合が多いようです。

また、最近は**低周波音**（周波数100Hz以下の空気振動）や**超低周波音**（周波数20Hz以下）の影響、あるいはそれによる二次的振動が問題となってきています。

発破振動

表1 発破振動の人を対象とした提言値(火薬学会)

対象	発破振動規制提言値(dB)
昼間	79 或いは「暗振動+ 30 の何れか小さい方
夜間	64 或いは「暗振動+ 20 の何れか小さい方

振動規制法(S.51)

建設工事に関わる「衝撃的な振動」(くい打ち機等) 週日・昼間 **75dB** 以下

コンクリート構造物発破解体工事保安技術指針:(社)全国火薬類保安協会
管理目標値:振動レベル 最大89dB、振動速度 2kine

規制値の実状:

10年前は上記**75dB**を援用していたが、最近は**60～70dB**がほとんど、近年**60dB**未満が採用されている。

発破騒音

表2 発破騒音の人を対象とした提言値(火薬学会)

対象	発破騒音規制提言値(dB(A))
昼間	100 或いは「暗騒音+ 30 の何れか小さい方
夜間	70 或いは「暗騒音+ 20 の何れか小さい方

騒音規制法

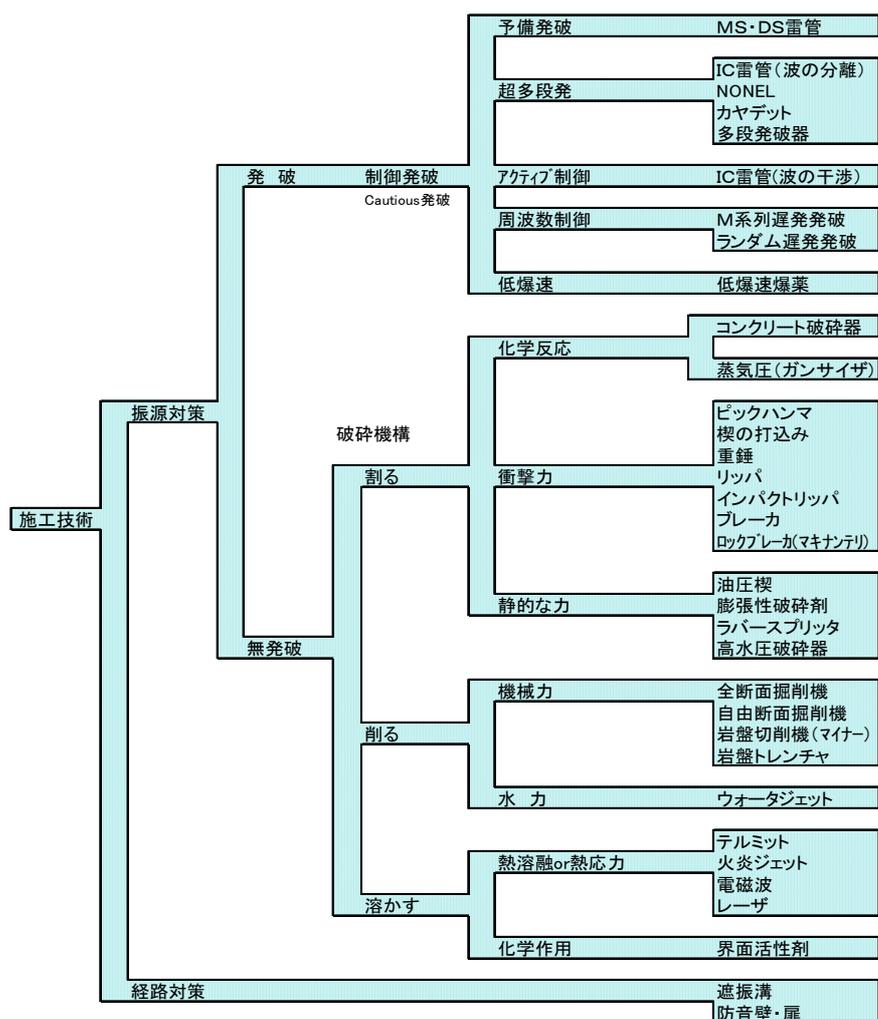
建設工事に関わる「衝撃的な騒音」(くい打ち機等) 週日・昼間 **85dB** 以下

コンクリート構造物発破解体工事保安技術指針:(社)全国火薬類保安協会
管理目標値:騒音レベル最大**120dB**

3 . 低公害岩掘削技術の種類

低公害岩掘削技術を分類しますと次図のようになります。

<低公害岩掘削技術の分類>



4. 対策工法

振動・騒音対策には、前図のように振源（音源）対策と伝搬経路対策があります。トンネル工事においては、伝搬経路対策として坑口に防音扉・防音壁を設置して、騒音を低減させることが有効ですが、明かり工事での設置は困難です。

従って、明かり工事では音源対策に主眼が置かれます。音源対策工法には、無発破工法と制御発破工法があります。

4-1 無発破工法

無発破工法には、前図のような各種の方法が利用できますが、実際の工事においては、その施工規模により施工速度と経済性の制約を受けることになり、一定規模の工事にはその工法は限られてきます。

従って、一般的な無発破工法としては、機械掘削と化学反応を利用します。機械掘削にはブレーカ、割岩機、切削機等による工法があり、化学作用を利用した工法には、膨張剤（石灰系）、蒸気圧（ガンサイザー等）、コンクリート破砕器（CCR等）があります。

ブレーカ

一般的に普及しているジャイアントブレーカは、0.7m³バックホウに装着された1300kg級で、建設省の標準積算もこのクラスとなっています。

ブレーカは本来、小割やハツリ等の補助的な2次破砕に使われていて岩盤掘削には不向きでありました。しかし、年々大型機が開発され、最近では5800kg級も出ており、無発破工法が要求される現場で、岩盤掘削が行われるようになりました。

岩盤掘削を行う場合は、小ベンチを立ててベンチを倒すように進めます。

欠点は、作業速度が遅いことで、施工量が多い場合は不向きです。また、振動は発破に比べて問題にならないのですが、騒音はかん高い連続音になります。

クサビ式油圧割岩機

穿孔機で空けた穴に油圧のクサビを挿入して岩盤に亀裂を入れる工法で、割岩機には穿孔ドリルとの一体型と専用型があります。

岩盤掘削の場合、静的破砕剤と同様に小ベンチで施工するのが効率的であり、通常、リップングやブレーカの2次破砕機と組み合わせて行います。専用型の場合は穿孔機（クローラドリル等）で穿孔させ、割岩機は後追いとなります。

超硬岩では効率がかなり落ちます。

切削機（サーフィスマイナ）

無発破工法としてドイツのWirtgen社より輸入したもので、車体下のドラム式切削機で岩盤を削り、ベルトローダによりダンプへの直積み可能な機械です。

主に西日本での実績が多く、JHの工事では徳島自動車道の井川池田I/C等で使用実績があります。車体重量は145tと73tのものがありますが、狭い現場には不向きです。また、類似機械には、ロードマイナや岩盤トレンチャがあります。

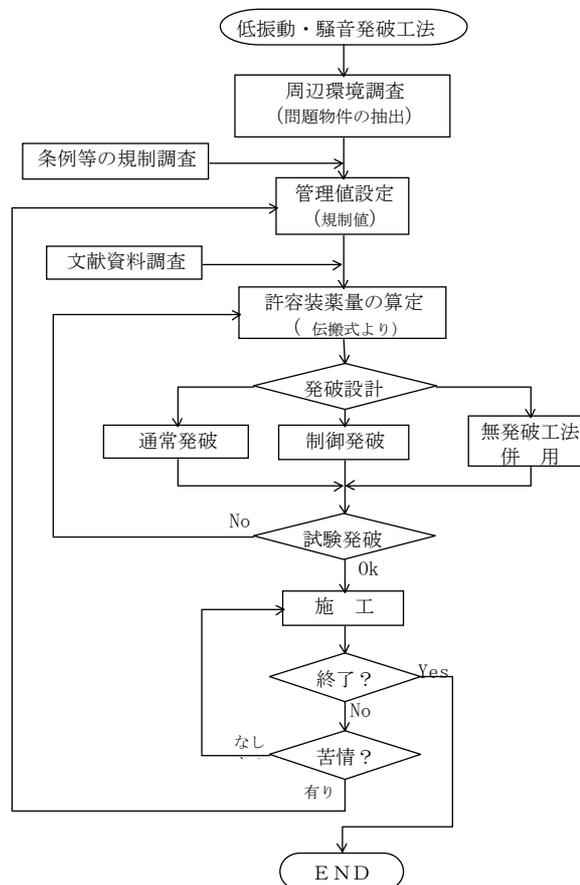
静的破碎剤（膨張剤）

生石灰の膨張作用を利用した工法で、小割や岩盤に亀裂を入れて破碎する。施工法としてはコンクリート破碎器工法と同様に穿孔機で空けた孔に膨張剤を充填します。コンクリート破碎器に代わる無発破工法として普及しましたが、高価な点が難点です。また、膨張に時間が掛かるのも難点でしたが、急速反応型が登場しています。

蒸気圧破碎（ガンサイザー等）

蒸気圧破碎は、穿孔機で空けた孔に金属酸化還元剤とミョウバンによる破碎薬剤を装填し、着火具により金属酸化還元剤を発熱させ、ミョウバン中の結晶水を気化させ、蒸気圧を発生させ岩を破碎するものです。

発破に比較して、振動が約30%に、騒音が約20dB低い値となると云われています。



4-2 制御発破工法 Cautious Blasting

制御発破は、従来Control Blastingの訳語として使われてきましたが、低公害発破工法であるCautious Blastingに対する訳語としても定着しつつあります。

低公害発破工法である制御発破の手順は、一般的に右図の手順で進められます。

発破工法の場合、振動・騒音を低減させる方法に音源対策と伝搬経路対策があり、音源対策には段発の利用が一般的であります。

段発の利用は、発破の波（振動波・音波）を分散させて振動・音を低減させます。一般的に段発は、MS・DS雷管を使用しますが、それ以上の多段発にはカヤデット、多段発破器、IC雷管、NONELが利用できます。

段数を増やせば最大一孔一段が可能です。更なる段当たり爆轟エネルギーの低減には、弱装薬（予備発破）や低爆速爆薬の使用が有効です。

その他にIC雷管等を利用して、波の干渉を利用したアクティブ制御や周波数制御の試みも行われています。

表一 発破振動・騒音低減法

区 分	方 法
段 当 たり 薬量低減法	① 段数増加により段当たり装薬量を減少させる ② 発破パターンの縮小により段当たり装薬量を減少 ③ 分割発破により段当たり装薬量を減少させる
K 値減少法	① 低爆速爆薬を使用 ② 心抜きパターンの変更
干渉制御法	① MS雷管の秒時誤差を利用 ② 波形解析によるIC雷管の最適秒時設定
周波数制御法	① M系列遅発発破 ② ランダム遅発発破
無発破工法 併 用	① 弱装薬（制限発破）でふかし、リップングで切崩す。

(2) IC雷管 (EDD)

(a) 段数増加法 (波の分離)

IC雷管は起爆時間の誤差が0.2ms以内で、秒時差も1ms刻みで自由に設定できるものが有り、100段以上の段数設定が可能です。

従って、多段発火によって段当たり薬量を低減し、振動値を均等分散化することによって発破振動を軽減することができます。また、各段の振動値をほ

ば同一レベルに制御できますので振動管理が容易になります。 なお、基準秒時間隔は30ms程度が適当です。

(b) アクティブ制御（干渉原理）

発破振動・発破音は共に波動であり、複数の装薬孔による発破は干渉現象を生じます。

干渉とは、同種の波形が同位相で重なると強め合い、逆位相で弱め合う現象です。 図は2つの波が逆位相で打ち消し合う様を示しています。

この干渉原理を利用した騒音対策が工場等から発する定常性低周波騒音の対策に使われていて、アクティブ制御と云います。

IC雷管を使うと発破へこのアクティブ制御の適用が可能となります。

IC雷管は、高精度の秒時設定ができ、任意の位相差を設定し、波形干渉をコントロールすることが可能です。

即ち、単孔発破の波形計測を行い、その振動・低周波音の波形データを解析して、コンピュータシミュレーションによって最適秒時間隔を決定することができます。

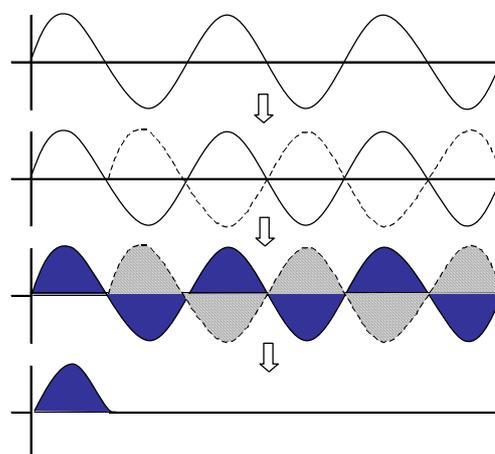


図 - 波動の干渉原理

(3) 導火管付き雷管（NONEL）

NONELは非電気式起爆システムの1つで、NONELチューブという微細な導爆線の一種を利用するもので、段発雷管と段発コネクターを組み合わせることができます。 また、NONELチューブは0.5m・sec / mの伝爆速度なのでチューブの長さによる秒時差も利用できます。

(4) 秒時一様分散型雷管 (カヤデット)

秒時一様分散型雷管のカヤデットは、D S 電気雷管に M S 電気雷管の秒時を組み込んだ雷管で、最大 60 段の段数設定が可能です。

4-3 工法比較

一般的な岩破碎工法の適用を掘削量と岩盤の硬さから比較すると右図のようになります。次表は、各工法の特徴を比較したものです。

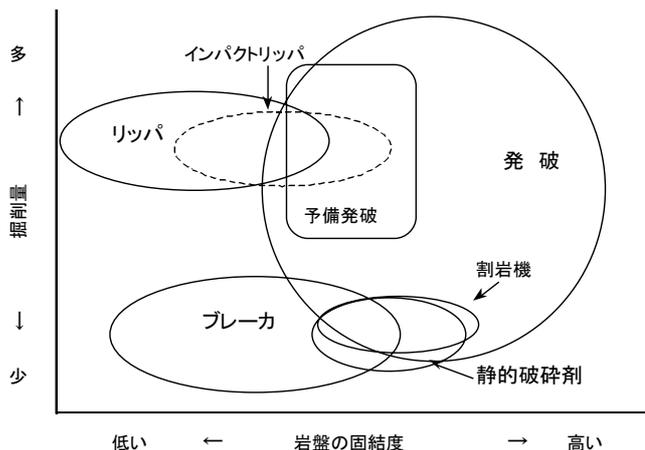


図 - 破碎工法の適用比較

表 - 岩盤破碎工法の比較

工 法	項 目	公 害			適 用 岩 種			確 実 性	能 率	経 済 性	備 考
		振 動	騒 音	飛 石	硬 岩	中 硬 岩	軟 岩				
	普通発破	×	×	××	◎	◎	○	◎	◎	◎	
制 御 発 破	シーケンシャル発破	△	△	×	◎	◎	○	◎	◎	◎	
	予備発破	○	○	×	◎	◎	○	◎	○	◎	リッパ併用
	低爆速爆薬	○	○	×	◎	◎	○	◎	◎	○	
無 発 破 工 法	蒸気圧	○	○	×	○	◎	○	○	○	△	
	コンクリート破碎器	○	○	×	△	○	○	△	○	△	
	膨張剤	◎	◎	△	○	◎	○	○	△	×	
	油圧割岩機	○	◎	◎	○	◎	○	○	×	△○	
	大型プレーカ	○	△	◎	○	◎	○	◎	×	○	
	リッパ	○	○	◎	×	△○	◎	○	◎	◎	
	インパクトリッパ	○	△	◎	△○	◎	○	○	○	○	

飛石対策には、防爆シート・マット使用

5 . 工法選定と施工計画

工法選定と施工計画の手順は以下のようになります。

- ・ 予想被害箇所を想定し、等距離線を描く。
- ・ 規制値（振動・騒音・低周波）の設定
- ・ 適用工法の選定
- ・ 伝搬式より振源の許容エネルギー（機械振動・薬量等）の計算
- ・ 等音線・等振動線による工法ゾーン区分

詳しくは、下記へお問い合わせ下さい。

山崎建設(株) 土木本部 技術部

TEL : 03-3661-1361

FAX : 03-3664-8905

E-mail : okamoto@yamazaki.co.jp