

# 蒸気圧破碎工法

## 1. 概要

建設工事に伴う岩石掘削やコンクリートの破碎作業において、生活区域等の近傍では発破等の火薬類の使用が安全性や振動・騒音等の公害問題で制限され、無発破工法の採用が多くなっています。

その無発破工法の一つとして開発された蒸気圧破碎工法は、火薬の代わりに蒸気圧を発生させる破碎薬剤を装填して岩盤やコンクリートを**瞬時に低振動**で破碎するものです。また、施工法は発破工法と類似していますが、蒸気圧破碎薬剤の使用に関して**火薬類取締法の適用は受けません**。



写真1：蒸気圧破碎薬剤 / ガンサイザー

## 2. 工法選択から施工まで

岩石等の掘削・破碎において、発破が使えなく無発破工法を余儀なくされる場合、機械掘削（破碎）や他の化学的破碎方法等と振動・騒音等の公害の程度、安全性、経済性等を比較検討して工法を選択します。

静的破碎剤と比較すると、瞬時に破碎でき、現場の環境温度（-15 ~ +75 ）に左右されない利点があります。

破碎工法の検討から蒸気圧破碎工法の施工までの手順は、図-1のようになります。

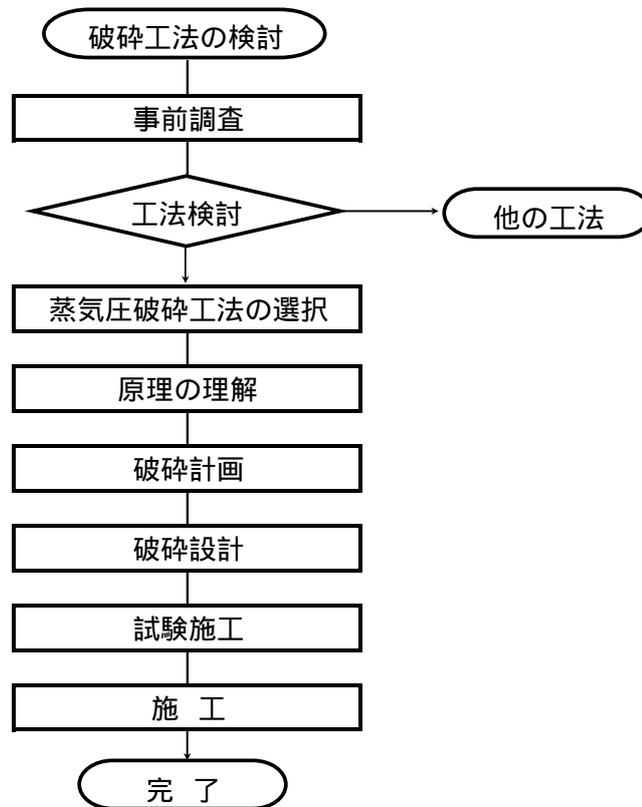


図-1 蒸気圧破碎工法の選定から施工までの流れ

### 3. 事前調査

岩掘削等を行う場合は、一般的に以下のような点に注意して事前調査を行います。

#### 3-1 周辺環境

周辺環境の具合はどうか？

周辺状況（民家、学校、病院、道路、鉄道、河川）

振動、騒音規制、粉塵、安全性（飛石等）

破碎物の場所（陸上、水中、屋内、接近の難易等）

その他（動力源、水質：清水、海水、輸送）

#### 3-2 破碎設計要素

破碎設計に必要な破碎目的物の状態を把握します。

被破碎物の種類、形状、破碎量

性質（強度、節理、鉄筋量、拘束状況）

破碎目的（自由、限定、任意）

外気温、水温、工期

二次破碎の必要性と方法

#### 4. 破碎の原理と性能

蒸気圧破碎工法を選定した場合は、その破碎原理を事前によく理解して、施工に携わる者全員に周知せしめます。

##### 4-1 破碎の原理

この蒸気圧を利用した破碎薬剤は、金属酸化還元剤と結晶水を多く含む化合物よりなるものです。その破碎原理は、成分中の金属酸化還元剤の反応によって発生した熱によりガス発生剤が熱分解され、発生したガス圧が装填孔壁に作用し、装填孔の半径方向に圧縮応力がこれと直行する方向即ち円周方向に引張応力が発生します。発生した引張応力が破碎対象物の引張強度以上に達するとその脆性体に亀裂が発生し、破壊に至ります。

蒸気圧破碎薬剤を用いると拘束状態の孔内で発現圧力が約 $1,500 \sim 3,000 \text{kgf/cm}^2$ になり、引張強度が $20 \sim 180 \text{kgf/cm}^2$ の岩石・岩盤等の脆性体の破碎が可能となります。

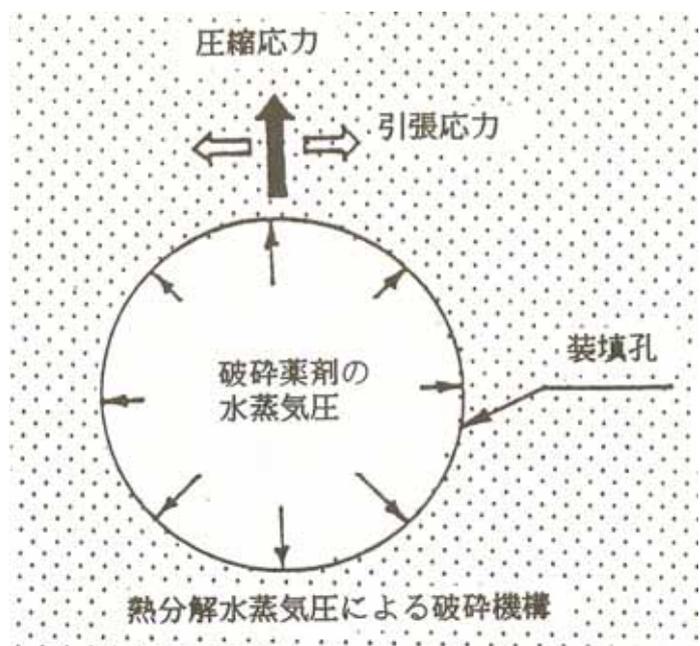


図-2 蒸気圧による破碎機構

## 4-2 成分と能力

蒸気圧破碎薬剤の主成分は、前述のように金属酸化還元剤と含水化合物である添加剤から成ります。金属酸化還元剤は酸化銅とアルミニウムの金属混合粉体を用い、添加剤にミョウバンを用いています。この破碎薬剤の反応開始には着火具を用いますが、この着火具の構造は金属酸化還元剤を主剤としたものに電気抵抗発熱体を装着したものです。表-1、2に蒸気圧破碎薬剤であるガンサイザーとその点火具の成分を示します。

破碎薬剤に着火すると金属酸化還元剤反応により大量の熱が発生し、この熱によってミョウバンの結晶水が熱分解して蒸気化します。図-2に示すようにこの孔内の蒸気圧による内圧が破碎対象に引張応力を作用させ破碎するのが蒸気圧破碎薬剤の破碎原理です。

蒸気圧破碎薬剤の熱分解蒸気の発生総量は薬剤1kg当たり約330ℓ、反応速度は音速以下の300m/sec以下であり、衝撃波の発生はなく、周辺への影響が少ないマイルドな破碎が可能な薬剤です。ガンサイザーの能力は表-3の通りです。

表-1 ガンサイザーの成分

	成分	配合比
金属酸化還元剤 (発熱剤)	酸化第二銅	38.5%
	アルミニウム	11.5%
添加剤 (ガス発生剤)	カリウム ミョウバン	50.0%

表-2 点火具の成分

	成分	
第1着火具	金属酸化 還元剤	酸化第二銅
第2着火具		金属ホウ素
発熱体		酸化第二銅
		アルミニウム
		白金線

表-3 ガンサイザーの能力

性状	粒状(薬筒入り)
比重	1.07 ~ 1.25g/cm <sup>3</sup>
発火点	520 以上
反応速度(試験条件下)	300m/s以下
最大燃焼圧力到達時間	30 ~ 50ms
密閉燃焼圧力	300kgf/cm <sup>2</sup>
発生ガス量	330% <sub>v</sub> /kg
反応生成熱	380kcal/kg
着火方法	専用着火器による遠隔着火
ステミング	湿潤砂等による完全閉塞

#### 4-3 破砕のメカニズム

ガンサイザーのパンフレットでは、準動的に引張破砕する工法であると記されていますが、坂野氏<sup>2)</sup>は以下のように破砕メカニズムを説明しています。

「発破工法における脆性体の破壊機構は、爆轟衝撃圧による動的破壊作用と爆轟後発生する生成ガス圧による準静的な破壊作用からなる。また、エアギャップを利用したデカップリング効果による制御発破は、動的な破壊作用を準静的な破壊効果へと緩和したもので、この破壊機構はガス圧による準静的破壊として取扱われる。

準静的なガス圧による蒸気圧破砕工法における破壊機構は、引張応力による破壊であり、破砕対象に生じた引張破壊による亀裂中に生成ガスが進入し破壊が進行し、破壊が完結するメカニズムである。

装薬孔内においては孔周壁に、時間と共に変化する準静的な圧力 $P_t$ が作用し、破砕対象の装薬孔周辺に距離に反比例して応力が発生する。この応力が破砕対象の引張強度を上回った時点で引張破壊を生じ、その亀裂中にガス圧が作用して、亀裂拡大による破壊へと至るわけである。」

#### 4-4 振動・騒音低減

蒸気圧破碎工法は、発破工法と比較して一般に**振動が25～50%に、騒音は約10～20dB（A特性）低減**できます。ブレーカや油圧割岩機等の他の無発破工法と比較すると極短時間に破碎が終了するので、周辺住民に対する振動・騒音による影響を最小限に抑えることができます。本工法と発破工法による振動・騒音比較試験が実施され、低振動性・低騒音性が確認されています。蒸気圧破碎剤（ガンサイザー、ダイレックス）と爆薬との振動・騒音の測定比較図を参考として図-3、4に示します。

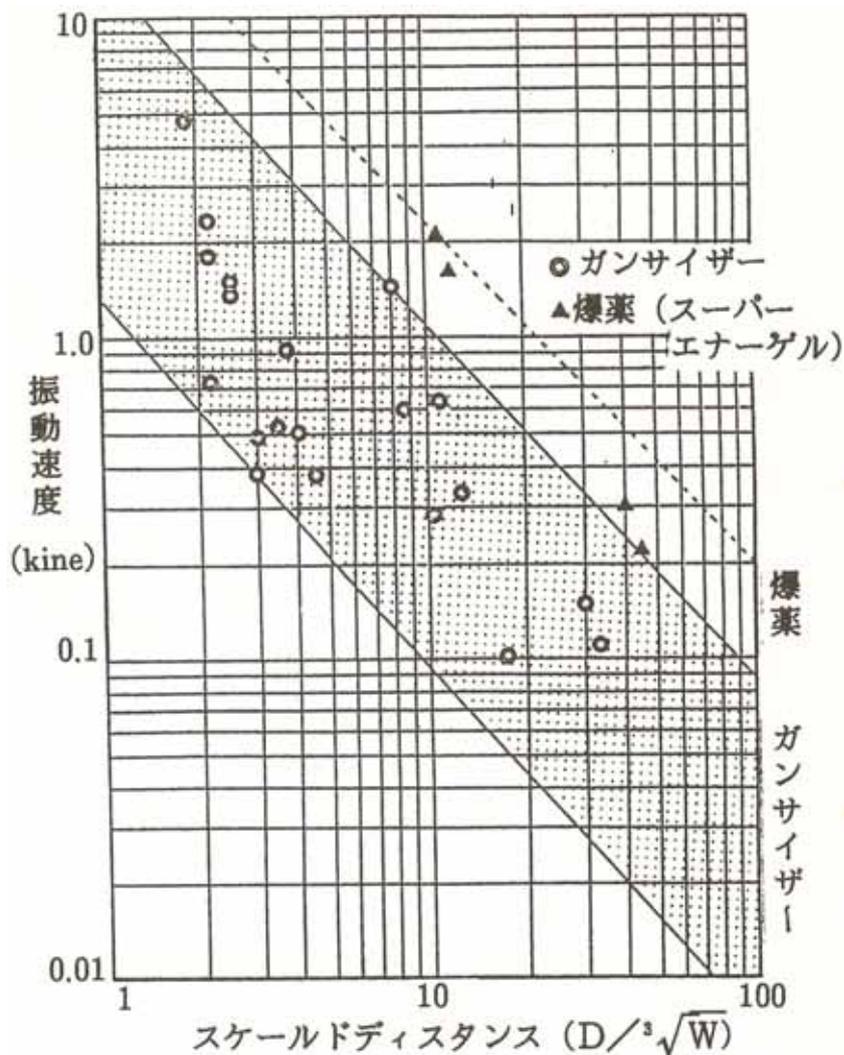


図-3 ガンサイザーと爆薬の振動比較

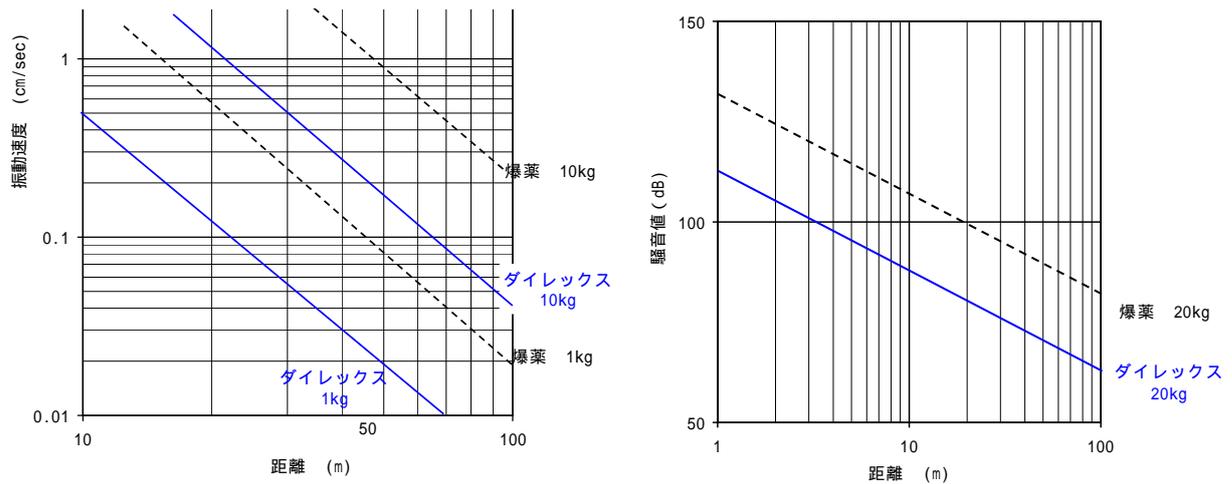


図-4 ダイレックスの振動・騒音

## 5. 破砕計画

### 5-1 環境対策

振動・騒音規制、粉塵、飛石等の検討

### 5-2 安全対策

安全教育及び安全設備の検討

### 5-3 破砕方法

被破砕量、工期、破砕目的（自由、限定、任意破砕）、2次破砕方法、日当たり破砕量、破砕手順の検討

### 5-4 機械・器具の選定

振動・騒音規制、工程、動力源等を考慮した穿孔機、2次破砕機の選定

#### 5-4-1 穿孔機械

穿孔機械は、一般的に小規模であればハンドドリル、大規模の場合はクローラドリルを選定します。

#### 5-4-2 2次破砕機

2次破砕が必要な場合は、通常、ブレーカで行いますが、騒音対策としてニブラ（コンクリート破壊機）を用いることがあります。

5-5 作業配置

施工手順、使用機器に基づき、保管場所、搬入方法等を計画します。

6 . 破碎設計

6-1 原単位 powder factor

岩盤等を破壊するのに必要な破碎薬剤の装薬量の原単位 (kg/m<sup>3</sup>) を表-4 に示します。 但し、整形破碎は破碎断面積当りの装薬量kg/m<sup>2</sup>で示しています。

岩種別の原単位 (装薬量) の相違の目安は、図-5が参考になります。

表-4 破碎原単位と標準穿孔間隔

分類	破碎対象物		装薬量 kg/m <sup>3</sup>			標準穿孔間隔 (単位:ビット径の倍数)		
	破碎工法	自由面の数	硬岩	中硬岩	軟岩	硬岩	中硬岩	軟岩
岩盤	芯抜破碎	1	4.50	2.30	1.20	6.0	9.5	17.0
	溝掘破碎	2	1.35	0.60	0.30	7.5	13.0	17.0
	ハンチ破碎	2以上	0.70	0.36	0.18	11.0	17.0	22.0
	小割破碎	2以上	0.50	0.20	0.12	13.0	17.0	26.0
	整形破碎	2以上	0.45	0.20	0.13	11.0	17.0	22.0
コンクリート	鉄筋	2以上	0.23 ~ 0.55			13.0 ~ 20.0		
	無筋	2以上	0.13			19.0 ~ 26.0		
破碎対象物の引張強度 τkgf/cm <sup>2</sup>			τ > 100	100 > τ > 40	40 > τ	τ > 100	100 > τ > 40	40 > τ

整形破碎の単位はkg/m<sup>2</sup>

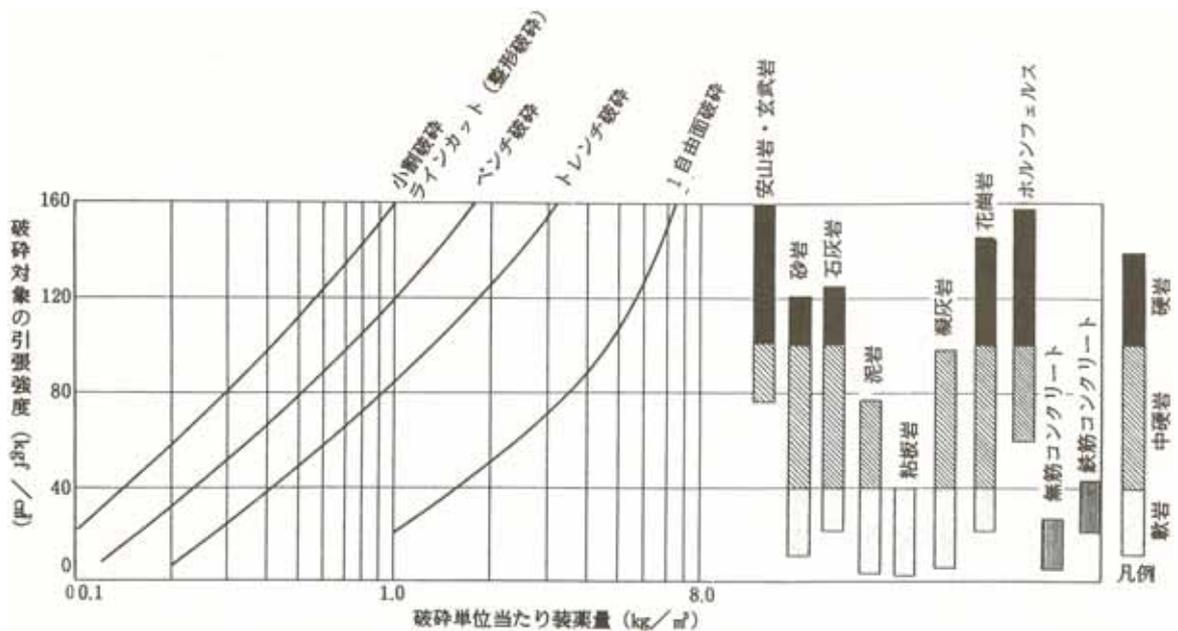


図-5 岩種別原単位 (装薬量)

## 6-2 穿孔間隔

孔間隔は、破碎対象物の引張強度が既知であれば最適な孔間隔が計算から得られますが、引張強度は通常、未知若しくは概算値しか得られていません。そこで、発破設計と同様に使用ビット径から標準的な孔間隔を求めます。表-4の右側に標準孔間隔を使用ビット径の倍数で示しています。この値を目安として試験破碎を実施して、現場の施工条件、破碎対象の物性値に合致した穿孔パターンと諸元を決定します。

穿孔パターンは、発破と同様な考えで行いますが、発破と比較して破碎エネルギーが小さいので孔間隔は狭くなります。また、最小抵抗線と孔間隔は同じ値を基本としています。

$$L = C \cdot D \cdot W \cdot H$$

$$W = d \cdot K$$

L : 装薬量 (kg/孔)

C : 原単位 (kg/m<sup>3</sup>)

D : 孔間隔 (m)

W : 最小抵抗線 (m)

H : 穿孔長 (m)

d : ビット径 (mm)

K : 係数 (ビット径の倍数)

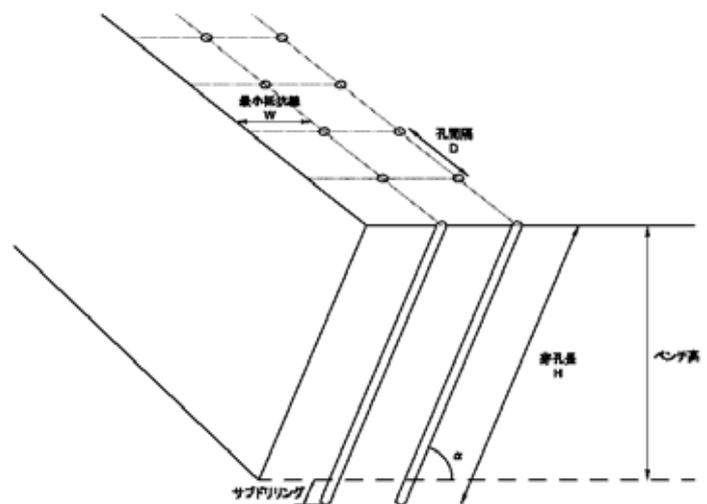


図-6 穿孔パターン

## 6-3 破碎薬剤の種類

蒸気圧破碎薬剤の製造元と商品名は、日本工機(株)製のガンサイザーと日興技化(株)製のダイレックスというものがありませんでした。しかし、ダイレックスは製造を中止しています。

ガンサイザーの種類はサイズ別に5種あり、カタログからそれらのサイズと標準穿孔間隔を表-5に引用します。

表-5 ガンサイザーの諸元及び穿孔間隔

種別	27-6型 瞬発	28-12型 瞬発	55-50型 瞬発	55-100型 瞬発	38-75型 瞬発,2段,3段
標準薬量 g	60	120	500	1,000	750
カートリッジ径×長	27×100mm	28×215mm	55×230mm	55×460mm	38×690mm
穿孔機	ハンドドリル	ハンドドリル	クローラドリル	クローラドリル	トンネルジャンボ
標準穿孔径	32	32( 34)	65	65	45
標準穿孔長	0.9m	1.0m	1.5m	2.0m	1.4m
硬岩	0.35×0.35	0.40×0.40	0.75×0.75	0.90×0.90	0.65×0.65 m
軟岩	0.55×0.55	0.70×0.70	1.20×1.20	1.50×1.50	0.80×0.80
無筋コンクリート	0.65×0.65	0.80×0.80	1.20×1.20	1.50×1.51	-
鉄筋コンクリート	0.40×0.40	0.50×0.50	0.80×0.80	1.00×1.00	-

#### 6-4 標準歩掛

蒸気圧破碎薬剤（ガンサイザー）による代表的な岩石破碎として、ベンチカットと転石破碎の標準歩掛を表-5に示します。

表-6 ガンサイザーの岩石破碎歩掛

区分 項目	名称	単位	ベンチカット歩掛		
			軟岩	中硬岩	硬岩
労力	世話役	人	0.002	0.005	0.01
	削岩工	"	0.002	0.005	0.01
	特殊作業員	"	0.005	0.009	0.021
	普通作業員	"	0.002	0.005	0.01
材料	蒸気圧破碎剤	kg	0.222	0.347	0.617
	ビット 65mm	個	0.0006	0.0017	0.0062
	ロット H32×3m	本	0.0002	0.0005	0.0016
	シャンクロッド H32	"	0.0003	0.0007	0.0025
	スリーブ T38	個	0.0002	0.0007	0.0025
	防護用マット	枚	0.0025	0.0025	0.0025
	" 土嚢	"	0.222	0.347	0.617
運 転	穿孔機	台	0.002	0.005	0.01
作業量	施工量/日	m <sup>3</sup> /日台	405	216	97.2
	穿孔長/日	m/日台	180	150	120
	穿孔長/m <sup>3</sup>	m/m <sup>3</sup>	0.44	0.69	1.23

ハンドドリル使用

項目	区分	名称	単位	ベンチカット歩掛			転石破碎歩掛		
				軟岩	中硬岩	硬岩	軟岩	中硬岩	硬岩
労 力		世話役	人	0.041	0.083	0.208	0.016	0.040	0.080
		削岩工	"	0.082	0.165	0.417	0.032	0.080	0.160
		特殊作業員	"	0.082	0.165	0.417	0.032	0.080	0.160
		普通作業員	"	0.041	0.083	0.208	0.016	0.040	0.080
材 料		蒸気圧破碎剤	kg	0.245	0.397	0.750	0.120	0.240	0.360
		ビット 32mm	個	0.0058	0.0110	0.0625	0.0023	0.0053	0.0240
		ロット	本	0.0049	0.0097	0.0231	0.0019	0.0047	0.0089
		防護用マット	枚	0.0050	0.0050	0.0050	0.0061	0.0061	0.0061
		" 土嚢	"	2.041	3.306	6.250	1.000	2.000	3.000
運 転		ハンドドリル	台	0.041	0.083	0.208	0.016	0.040	0.080
		コンプレッサ	台	0.041	0.083	0.208	0.016	0.040	0.080
作業量		施工量/日	m <sup>3</sup> /日台	24.5	12.1	4.8	62.5	25.0	12.5
		穿孔長/日	m/日台	50	40	30	50	40	30
		穿孔長/m <sup>3</sup>	m/m <sup>3</sup>	2.04	3.31	6.25	0.80	1.60	2.40

6-5 試験施工

いずれの破碎工法も本施工の前に試験施工を行います。本工法においても岩種別等の標準設計値を基準に数種の試験破碎を実施して本施工の諸元を決定致します。

7. 施工

7-1 施工手順

蒸気圧破碎工法の施工手順は、  
図-7のようになります。

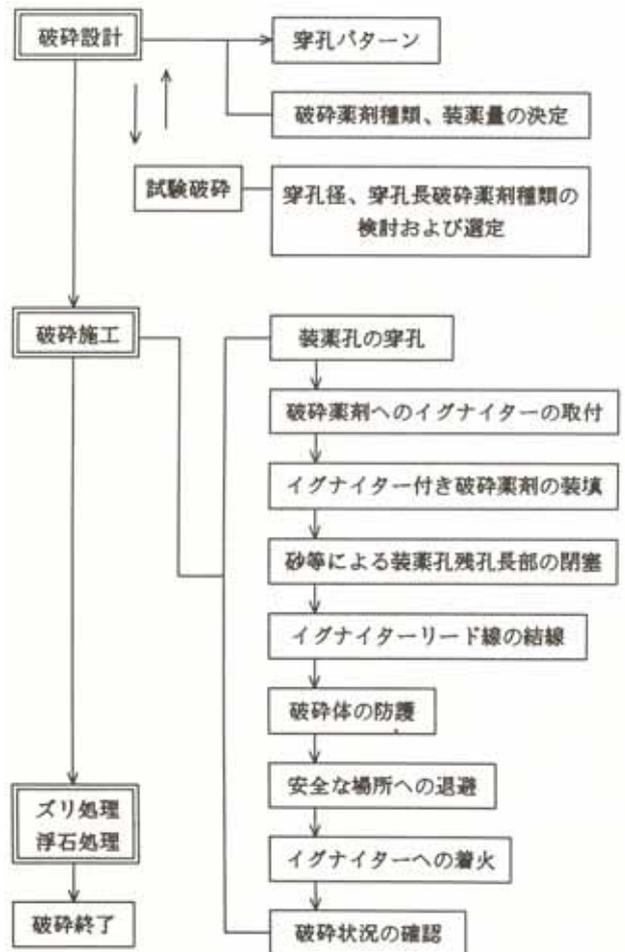


図-7 施工手順



写真-2 クローラドリルによる穿孔

## 7-2 穿孔

穿孔はハンドドリルやクローラドリルで行いますが、穿孔を正確に行うために、前もって穿孔位置を計測してペイントでマーキングをしておきます。また、穿孔後は穿孔長の確認を行います。

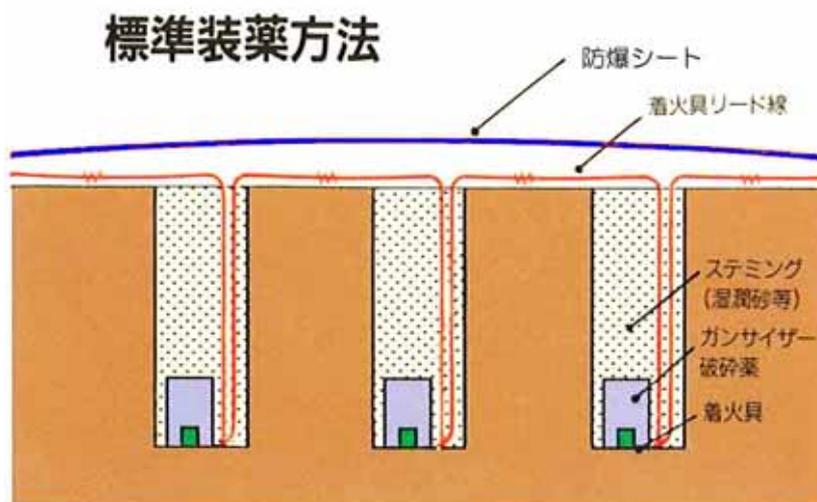


図-8 装薬法

## 7-3 装薬と結線

破碎薬剤に着火具（イグナイター）を取付け、孔内に装填して湿潤砂等でステミングを確実にを行います。次に着火具リード線を相互に接続します。

結線確認は、安全な着火地点でテスター（専用抵抗測定器）を用いて行います。

#### 7-4 飛石防護

蒸気圧破碎薬剤を装填後は、安全を徹底し、鉄砲現象による被災防止を目的として、防爆シートや防爆マットを用いて装薬箇所を覆います。

また、現場の周辺状況によっては、一般交通の遮断等の安全対策を取ります。



写真-3 防爆シートと防爆マット

#### 7-5 2次破碎

蒸気圧による破碎後、必要に応じて2次破碎機により破碎を行います。2次破碎機はブレーカが一般的ですが、コンクリート破壊機（ニブラ）やリッパを用いることもあります。



写真-4 大型ブレーカ



写真-5 コンクリート破壊機（ニブラ）

## 8. 安全対策

蒸気圧破碎薬剤は、爆薬でないので火薬類取締法の適用を受けませんが、危険物なので火薬類に準じた保安対策と保安教育を実施します。

特に第三者の立入禁止措置を施し、着火時の警戒を厳重に行います。

蒸気圧破碎薬剤による破碎作業を安全におこなうために、工事現場管理者及び作業員に蒸気圧破碎薬剤の取扱いを含む事前安全教育を徹底します。

### 参考文献：

- 1) 「現場技術者のための発破工学ハンドブック」共立出版
- 2) 「最近の低公害型破碎工法」坂野良一，建設機械'92.8
- 3) 「硬岩掘削工法の検討」新井組技術研究報告6号
- 4) 山崎建設社内資料
- 5) 破碎薬剤「ガンサイザー」積算資料
- 6) ガンサイザーパンフレット，日本工機(株)
- 7) ダイレックスパンフレット，日興技化(株)