

静的破碎剤工法

Non-Explosive Demolition Agent

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ています。

この振動・騒音対策の無発破工法として開発された静的破碎剤工法は、あらかじめ穿孔した孔の中に生石灰系の膨張剤を充填し、時間経過により発生する膨張圧(通常 $300\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上)を利用してコンクリートや岩石を破碎する工法です。

市販の膨張剤は酸化カルシウムを主成分とする無機化合物で、水と練混ぜると水和反応により膨張圧が発生し、2～24時間後に岩石等を破碎します。気温と膨張発現時間に関連があるため、夏用・冬用・春秋用・極寒用などのタイプを使い分けます。孔径30～80mm程度、孔間隔30～60cm程度で使用される例が多いですが、最適な穿孔パターンは試験破碎を行って決定いたします。

静的破碎剤には、バルク(バラ)タイプとカートリッジ(パック)タイプがあり、バルクタイプは一定の水比で練混ぜたスラリーを穿孔中に流し込みます。カートリッジタイプは現場での取扱いを容易にしたもので、カートリッジを一定時間水に漬けるだけで最適含水状態になり、これを穿孔中に突き込めばよく、横孔や上向き孔などへの充填も容易です。

また、速効タイプの静的破碎剤も開発され、30分～1時間程度で破碎が可能なものもあります。これらは熱により強制的に水和反応を促すもの、或いは粒度を変えることにより水和反応を促進させるものです。

施工特性としては、穿孔と2次破砕作業以外は、無騒音・無振動であり、破砕時の飛石や粉塵の発生はなく、破砕剤の取扱いは容易で熟練を要さず法的な取扱規制もありません。無公害工法として、古くからコンクリートや転石破砕・岩盤掘削・水中破砕等多くの施工実績がありますが、破砕単価が高いのが難点です。

2. 工法選択から施工まで

岩石等の掘削・破砕において、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（破砕）や他の化学的破砕方法等と振動・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。施工までの手順は図-1のようになります。

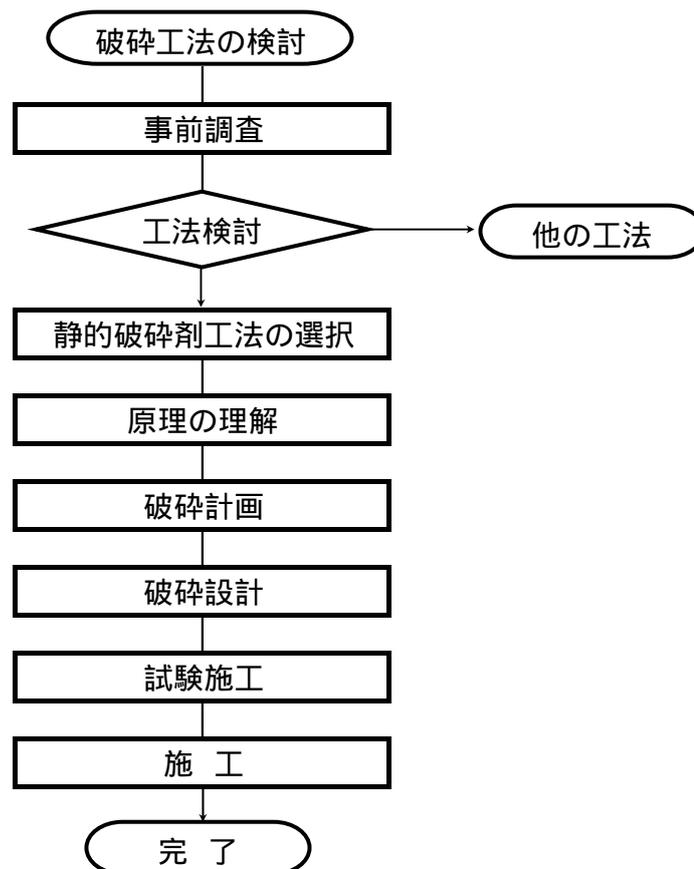


図-1 静的破砕剤工法選定から施工までの流れ

3. 事前調査

3-1 周辺環境

周辺環境の具合はどうか？ 以下のような項目を調査します。

周辺状況（民家、学校、病院、道路、鉄道、河川）

振動、騒音規制、粉塵、飛石、安全性

破砕物の場所（水中、陸上、屋内、接近の難易等）

その他（動力源、水質：清水、海水、輸送）

3-2 破砕設計要素

破砕設計に必要な破砕目的物の状態を把握します。

被破砕物の種類、形状、破砕量

性質（強度、節理、鉄筋量、拘束状況）

破砕目的（自由、限定、任意）

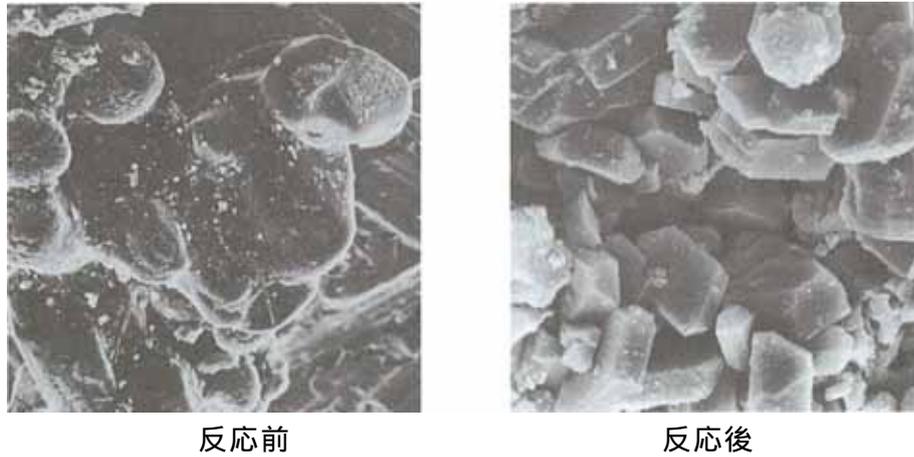
外気温、被破砕物の温度、水温、工期

二次破砕方法

4. 破砕の原理と特性

4-1 静的破砕剤の膨張圧

静的破砕剤の主成分である酸化カルシウム（ CaO ）が水和反応することによって、微細なコロイド状の水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生成する。この水酸化カルシウムは時間の経過と共に長大な異方性の六角板状結晶へと成長していく。また、静的破砕剤を無拘束状態の下で、水と反応させると嵩体積は約3倍となる。従って拘束状態の下でも、水和反応に伴って生成する結晶の成長により相互に押し合う結晶体となり、拘束壁への膨張圧が発生する。



4-2 破碎の基本原則

岩石やコンクリートのような脆性物質は、圧縮強度は大きいですが引張強度は圧縮強度の約1/10と小さく、破碎され易い性質を持っている。図-2に示すように、膨張圧は充填孔壁に作用し孔を中心にして周辺部に放射状に圧縮応力を発生させ、これと直角方向に引張応力が発生する。この結果孔壁の最も弱い部分に応力集中が起こり、岩石やコンクリート等の引張強度を超えた時に亀裂が発生する。引続き静的破碎剤の膨張が持続し、膨張圧に伴う圧縮応力、引張応力により亀裂の伝播が起こる。

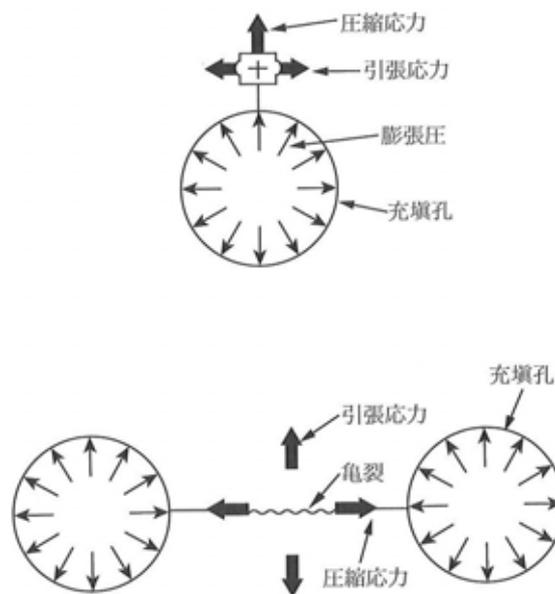


図-2 膨張圧による破碎機構

4-3 成 分

静的破碎剤は、特殊な珪酸塩及び酸化カルシウムを主体とする化合物です。但し、セメントと同様に強アルカリ性であるため、一部取扱に注意が必要です。

4-4 特 性

4-4-1 膨張圧経時変化

静的破碎剤の膨張圧は一般的に図-3のような経時変化を示します。また、速効タイプも開発されておりその例を図-4に示します。

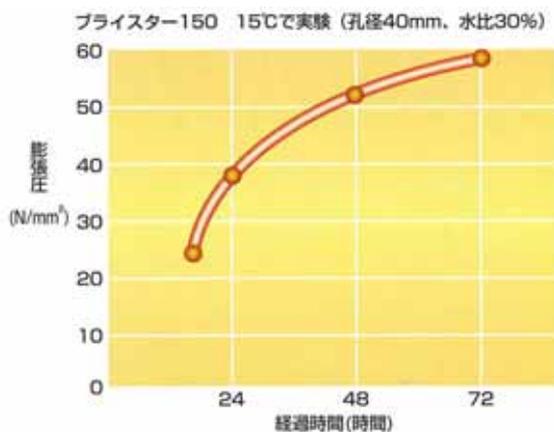


図-3 標準型の膨張圧の経時変化

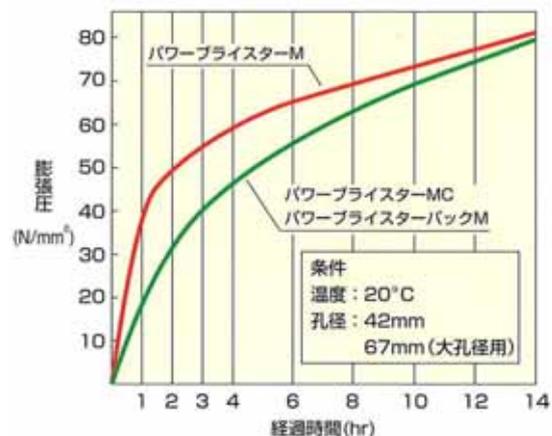


図-4 速効型の膨張圧の経時変化

4-4-2 破碎時間

静的破碎剤の破碎時間の目安は約10～24時間ですが、速効タイプは30分～2時間程度です。

- ・ 静的破碎剤の種類、破碎設計、施工方法、現場条件により破碎時間は変動します。
- ・ 岩種やコンクリートの鉄筋量により破碎時間は変化します。
- ・ 静的破碎剤は時間の経過と共に膨張圧が増大するため、養生時間を長くすることで亀裂幅が広がり、より効果的な2次破碎が行えます。

4-4-3 孔の深さと膨張圧

充填された静的破碎剤の膨張圧の分布は、図-5 のようになります。

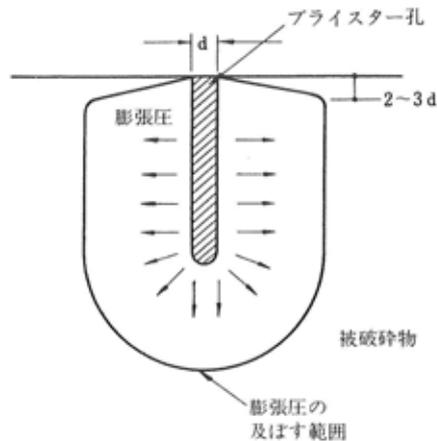


図-5 静的破碎剤の膨張分布

孔口付近（穿孔径 d の2～3倍の深さ）は、膨張圧が低下・減少するため、穿孔長が極端に短くなるものは不向きです。

4-4-4 孔径と膨張圧との関係、水比と膨張圧との関係

孔径 大 膨張圧発現速度が速くなる

孔径 小 膨張圧発現速度が遅くなる

水比 大 膨張圧低下

水比 小 膨張圧増大

標準水比30%（適用水比28～32%）

4-5 種類

静的破碎剤には、以下のような種類と速効タイプがあります。

- ・バルクタイプ・・・縦孔用練り混ぜ用
- ・カートリッジタイプ・・・横孔、水中孔用
- ・大孔径用練り混ぜタイプ

また、被破碎体の温度等によって、温度タイプを使い分けます。

| | | |
|--------|---------|----------|
| 夏 用： | 15 ~ 35 | (適用温度範囲) |
| 春 秋 用： | 10 ~ 20 | (") |
| 冬 用： | 5 ~ 15 | (") |
| 寒冷地用： | - 5 ~ 5 | (") |



写真： 静的破碎剤の例

4-6 商品名と提供会社

静的破碎剤のメーカーと商品名は種々多数ありましたが、セメント業界の再編や撤退企業があり、現在は以下のような提供会社と商品名となっています。

表-1 商品名と提供会社

| 提供会社 | 商品名 (普通タイプ) | 商品名 (速効タイプ) |
|-------------|-------------|-------------|
| 太平洋マテリアル(株) | ブライスター- | パワーブライスター- |
| 住友大阪セメント(株) | Sマイト | |
| 河合石灰工業(株) | | HPロックトーン |

4-7 取扱資格、許可

静的破碎剤の取扱に資格は不要、使用に際しての届出、許可も不要です。

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次破砕方法に準じた、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、練混ぜ、充填器具、2次破砕機の選定

5-4-1 穿孔機械

穿孔機械には以下のようなものがあり、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。穿孔騒音が問題となる場合には、ダイヤモンドコアドリルを使用することがあります。

- ・ハンドドリル（ジャックハンマ、レグドリル）
- ・クローラドリル
- ・ダイヤモンドコアボーリング他

5-4-2 2次破砕機

2次破砕は通常、ブレーカで行いますが、ニブラやリッパを用いることもあります。

5-5 作業配置

施工手順、使用機器に基づき、資材置場、搬出入径路を計画します。

6. 破碎設計

静的破碎剤による破碎は、亀裂発生 亀裂の伝播 亀裂幅の増大といった過程を経て被破碎体を破壊するため、目的に応じて静的破碎剤の破碎効果を最大限に発揮できるよう、破碎設計を行います。

破碎設計の基本は、効果的に亀裂を発生し易い状況をつくることです。即ち、発破設計と同様に被破碎体の自由面と抵抗線の効果的な設定を行います。

6-1 孔間隔

孔間隔は次式を目安に設定します。 破碎係数Kは、表-2と3に標準的な値を示します。

$$L = K \cdot d$$

L:孔間隔 (cm)

K:破碎係数

d:実孔径 (cm)

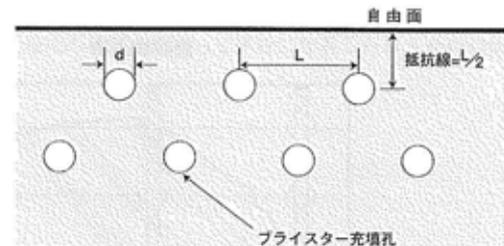


図-6 穿孔パターン

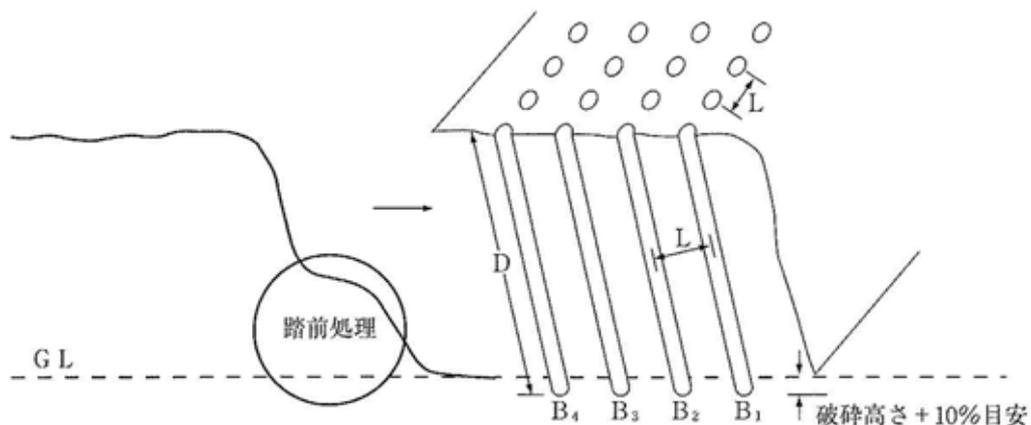


図-7 ベンチカット破碎

表-2 岩石のK値

| 項目 種類 | 強度 (N/mm ²) | | 標準K値 |
|----------|-------------------------|--------|---------|
| | 圧縮強度 | 引張強度 | |
| 軟岩 | 60以下 | 6以下 | 10 ~ 15 |
| 中硬岩 | 60 ~ 120 | 6 ~ 10 | 8 ~ 12 |
| 硬岩 | 120以上 | 10以上 | 10以下 |

表-3 コンクリートのK値

| 種類 | 項目 | 標準K値 | 鉄筋量(kg/m3) |
|----------|----------|-------|------------|
| 鉄筋コンクリート | 無筋コンクリート | 10～15 | 0～30 |
| | 鉄筋コンクリート | 8～10 | 30～60 |
| | | 6～8 | 60～100 |
| | | 5～6 | 100以上 |

6-2 標準歩掛

静的破砕剤による岩石破砕の歩掛として、静的破砕剤協会の標準歩掛を表-4 に示します。破砕剤の使用量は、本表ではロスを含んでいないので5～10%のロスを見込みます。また、混練り・充填用の器具類、2次破砕は含んでいません。

表-4 岩石破砕歩掛

油圧クローラドリル(150kg級)使用

| 区分 項目 | 名称 | 単位 | ベンチカット歩掛 | | | 転石破砕歩掛 | | |
|----------|--------------------|--------------------|----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | | 軟岩 | 中硬岩 | 硬岩 | 軟岩 | 中硬岩 | 硬岩 |
| 労力 | 世話役 | 人 | 0.009 | 0.019 | 0.031 | 0.007 | 0.014 | 0.022 |
| | 削岩工 | " | 0.018 | 0.037 | 0.061 | 0.013 | 0.027 | 0.044 |
| | 普通作業員 | " | 0.027 | 0.056 | 0.092 | 0.02 | 0.041 | 0.067 |
| 材料 | 破砕剤 | kg | 8 | 13 | 18 | 6 | 10 | 13 |
| | ビット 65mm | 個 | 0.005 | 0.01 | 0.02 | 0.003 | 0.007 | 0.015 |
| | ロット H32×3m | 本 | 0.002 | 0.005 | 0.01 | 0.002 | 0.004 | 0.007 |
| | シャンクロッド H32 | " | 0.002 | 0.004 | 0.006 | 0.001 | 0.003 | 0.004 |
| | スリーブ T38 | 個 | 0.003 | 0.006 | 0.01 | 0.002 | 0.004 | 0.007 |
| | 燃料・油脂 | | 1.5 | 3.1 | 5.1 | 1.1 | 2.3 | 3.7 |
| 運転 | 穿孔機 | 台 | 0.009 | 0.019 | 0.031 | 0.007 | 0.014 | 0.022 |
| 作業量 | 施工量/日 | m ³ /日台 | 110.3 | 53.6 | 32.7 | 151.9 | 73.5 | 45 |
| | 穿孔長/日 | m/日台 | 150 | 120 | 100 | 150 | 120 | 100 |
| | 穿孔長/m ³ | m/m ³ | 1.36 | 2.24 | 3.06 | 0.99 | 1.63 | 2.22 |

ハンドドリル(20kg級)使用

| 区分 項目 | 名称 | 単位 | ベンチカット歩掛 | | | 転石破砕歩掛 | | |
|----------|--------------------|--------------------|----------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | | 軟岩 | 中硬岩 | 硬岩 | 軟岩 | 中硬岩 | 硬岩 |
| 労力 | 世話役 | 人 | 0.08 | 0.172 | 0.299 | 0.064 | 0.125 | 0.218 |
| | 削岩工 | " | 0.176 | 0.344 | 0.599 | 0.128 | 0.25 | 0.435 |
| | 普通作業員 | " | 0.176 | 0.344 | 0.599 | 0.128 | 0.25 | 0.435 |
| 材料 | 破砕剤 | kg | 10 | 16 | 21 | 7 | 12 | 15 |
| | ビット 40mm | 個 | 0.055 | 0.106 | 0.225 | 0.04 | 0.077 | 0.163 |
| | ロット H22 | 本 | 0.022 | 0.043 | 0.09 | 0.016 | 0.031 | 0.065 |
| | 燃料・油脂 | | 4.4 | 8.6 | 15.2 | 3.2 | 6.3 | 10.9 |
| 運転 | コンプレッサ | 台 | 0.088 | 0.172 | 0.299 | 0.064 | 0.125 | 0.218 |
| | 穿孔機 | " | 0.088 | 0.172 | 0.299 | 0.064 | 0.125 | 0.218 |
| 作業量 | 施工量/日 | m ³ /日台 | 11.4 | 5.8 | 3.3 | 15.6 | 8 | 4.6 |
| | 穿孔長/日 | m/日台 | 50 | 40 | 30 | 50 | 40 | 30 |
| | 穿孔長/m ³ | m/m ³ | 4.4 | 6.88 | 8.98 | 3.2 | 5 | 6.53 |

: 静的破砕剤協会

6-3 試験施工

標準的な破碎設計に基づき、現場で試験施工を実施して、亀裂発生時間、亀裂幅、方向等を確認します。

試験破碎は、一定の穿孔径で孔間隔を標準値とその前後の値を取ります。

試験破碎例：

標準値： 65mm × 800mm

追加試験値： 65mm × 600mm、 65mm × 1,000mm

7. 施工

7-1 施工手順

静的破碎剤の施工手順は、
図-8 のようになります。

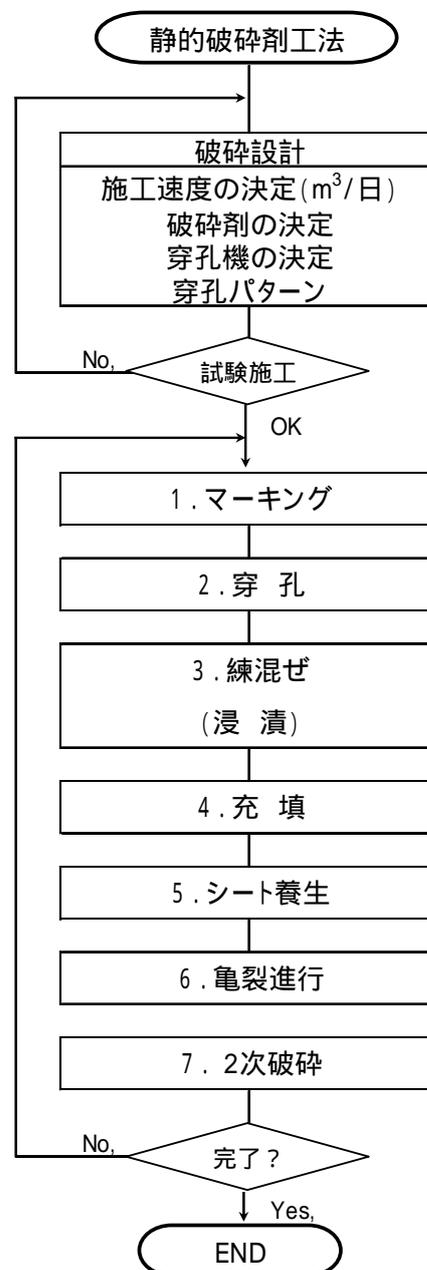


図-8 施工手順

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。



穿孔状況



穿孔位置のマーキング



穿孔長の確認

7-3 練混ぜ

7-3-1 練混ぜ器具

静的破砕剤の練混ぜ器具は下記のものを使用します。

混合容器：20ℓ程度のバケツ、ペール缶等

混合機：ハンドミキサ（少量の場合は手練りでも可）

水計量器：正確に水量を測れるポリビーカー等

充填器具：ジョウゴ（練混ぜタイプ）、丸棒（カートリッジタイプに使用、実孔径より5mm程度細いもの）、ポリエチレンチューブ（水孔、材料漏出時）

保護具：保護メガネ、ゴム手袋、防塵マスク、養生シート

7-3-2 配 合

水量は使用する静的破碎剤の種類・荷姿によりそれぞれ決められています。

7-3-3 練混ぜ

- ・練混ぜは1袋毎に行います。
- ・混合容器に水を入れておき、この中に静的破碎剤を徐々に入れ流動性ができるまで十分に練混ぜます。練混ぜ時間は2分以内とします。

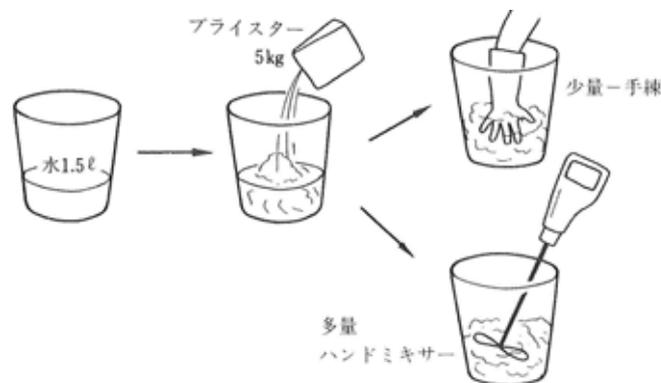


図-9 練混ぜ

7-3-4 水中浸漬

カートリッジ(パック)タイプは水に漬けて、含水調整してから使用します。

- ・水中浸漬はバケツ等の容器に多めの水を入れ、その中にパックタイプが充分浸かるように漬けます。
- ・浸漬時間は約10分です。(浸漬の間は空気泡が出ています)
- ・浸漬後は、カートリッジを水からすべて取出します。

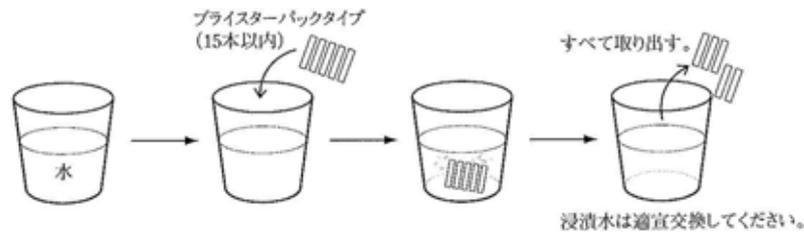


図-10 水中浸漬

7-4 充填

練混ぜた静的破碎剤は、直接容器から孔に流し込みます。孔口にジョウゴを用いると便利です。

カートリッジタイプは、水中浸漬後、必ず1本ずつ突棒で4・5回充分に突き、孔口まで充填します。



7-5 養生

静的破碎剤の充填後、安全を徹底し、噴出現象による被災防止を目的として、養生シートを用いて充填箇所を覆います。

静的破碎剤充填後、亀裂発生までは絶対に充填孔を覗かないように徹底し、第三者の立入厳禁措置を取ります。

また、現場の周辺状況によっては、交通遮断、破碎物の転倒落下防止措置等の安全対策を取ります。



7-6 亀裂確認

亀裂の確認は静的破碎剤充填後、一般的には10時間以降とし、亀裂確認した後、2次破碎を行います。



自由面が少なく拘束の大きい地山等では、亀裂幅が大きくなることもありますが、被破碎物内部には膨張圧によって、内部応力が働いていますので、2次破碎は容易です。

7-7 2次破碎

亀裂確認後、予定した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、ニブラやリップを用いることもあります。



8. 安全対策

8-1 安全教育

静的破碎剤の施工に際しての注意点は、水和熱で練混ぜ水が水蒸気化して、その蒸気圧によって生石灰スラリーが噴出現象（鉄砲現象）を起こすことがあります。火傷、失明等の危険があるため、充填作業から亀裂発生までは絶対に充填孔を覗かないようにします。また、第三者の立入禁止措置を施します。

静的破碎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静的破碎剤の取扱いを含む事前安全教育を徹底します。

保護メガネ、ゴム手袋、防塵マスク等の保護具の着用徹底

充填後の孔口は絶対に覗かない（充填後10時間程度）

充填後は必ずシート等で被破碎物を覆う（飛石防止）

8-2 第3者への配慮

第3者の立入厳禁措置

8-3 保管上の注意

静的破碎剤の仮置きは、湿気のない場所を選び、雨水等の影響を受けないように養生・保管します。