

蒸気岩盤破碎による立坑掘削

NRC 破碎工法

亀谷 秋光

非火薬組成の破碎剤と IC チップを組み込んだ点火具で構成される New Rock Cracker は、火薬類取締法の制限を受けずに多段発の破碎が可能なので、低公害の破碎を要する現場や火薬類の消費許可を得る時間的余裕がない現場などで使用が見込まれる。New Rock Cracker の取扱いは火薬類に準じるが、点火具末端のコネクターを用いて並列結線を行い専用の点火器で点火するなど、使用面で New Rock Cracker と火薬類は相違があるので、立坑掘削の施工事例をまじえて紹介する。

キーワード：非火薬、電子式、段発、振動低減、テルミット反応、並列結線

1. はじめに

家屋や構造物などの保安物件に近接する箇所の発破掘削は、振動や騒音が問題となることが多く、制御発破の採用や発破時刻の制限などを余儀なくされるケースがある。

また発破掘削は、振動や騒音の影響が少ない場合でも消費場所周辺の居住者から同意を得る必要があり、火薬類取扱所といった専用施設も設置しなくてはならない。

New Rock Cracker（以下、NRC）は、これら諸問題を解決し、効率的に岩盤を破碎するために開発された非火薬の破碎剤で、テルミット反応による膨張圧で岩盤を引張破碎する。掘削工法における NRC の位置づけは図-1 に示すように、発破工法と油圧式割岩工法の間位置し、また多段発破が可能なので、保安物件に近接した箇所の深礎掘削や盤下げ掘削に採用

されつつある。本稿では、施工事例もまじえて NRC による破碎工法を紹介する。

2. NRC の概要

(1) NRC の構成と特徴

NRC は、破碎剤の入ったカートリッジ（写真-1）とイニシエーター（点火具：写真-2）で構成され、コントローラー（点火器：写真-3）を用いて点火する。

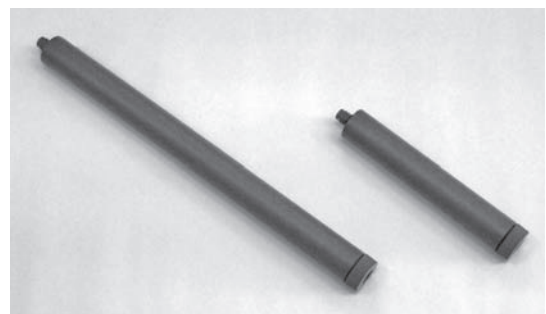


写真-1 カートリッジ

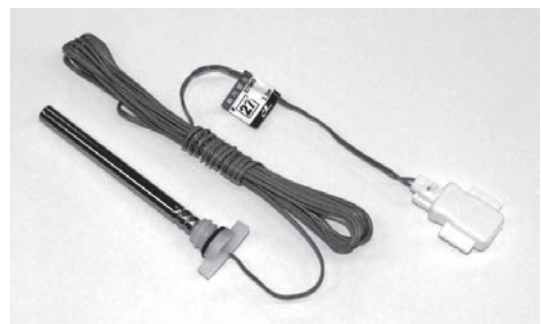


写真-2 イニシエーター

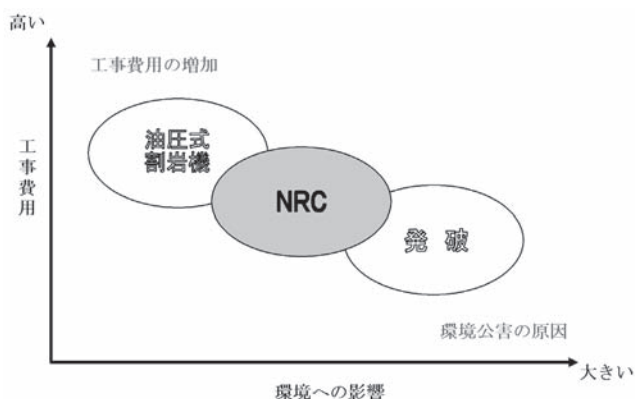


図-1 NRC 破碎工法の位置づけ



写真-3 コントローラー

NRC の主な特徴を以下に示す。

- ①非火薬のため火薬類取締法の制限を受けず、保管や消費許可等に係る取り扱いが簡便である。
- ②テルミット反応による膨張圧で岩盤を引張破碎するため爆薬に比べ低振動、低騒音で破碎を行うことができ、周辺への影響を抑えることができる。
- ③段発のイニシエーターを使用することで、トンネルや深礎等での起砕効果が向上する。

(2) カートリッジ

カートリッジは樹脂製で、粒状の破碎剤が収められている。カートリッジの仕様を表-1、破碎剤の性能を表-2に示す。

表-1 カートリッジの仕様

| 種類 | 薬径 mm | 薬長 mm | 重量 g / 本 |
|---------|----------|----------|-------------|
| NRC 200 | 34 | 200 | 200 |
| NRC 400 | 34 | 400 | 400 |

表-2 破碎剤の性能

| | |
|--------|-------------------------------|
| 仮比重 | 1.25 ~ 1.35 g/cm ³ |
| 使用温度 | - 20 ~ 60℃ |
| 反応温度 | 2,502 K |
| 反応速度 | 200 ~ 300 m/s |
| エネルギー | 1,711 kJ/kg |
| ガス量 | 351 ℓ /kg |
| 比エネルギー | 326 ℓ・MPa/kg |

(3) イニシエーター

イニシエーターはカートリッジを点火するためのもので、コントローラーからの信号を受けて電子タイマーが作動し、一定時間後に発火する。

基準秒時 25 ~ 5,000 ms の範囲で、80 段までの多段発が可能であるが、現状は 12 段から 40 段程度を段飛

ばしで使用している。

イニシエーターの仕様及び性能を表-3、イニシエーターの基準秒時を表-4に示す。

表-3 イニシエーターの仕様及び性能

| | |
|--------|----------------------|
| 材質 | アルミニウム |
| 直径 | 8.1 mm |
| 長さ | 91 mm |
| 脚線長 | 3.5 m |
| 使用温度 | - 20 ~ 60℃ |
| 標準抵抗 | 20,000 Ω |
| 延時方式 | 電子式 |
| 耐水性 | 0.3 MPa |
| 耐静電気性能 | 2,000 × 8 以上 pF × kV |

表-4 イニシエーターの基準秒時 (抜粋)

| 段数 | 基準秒時 (ms) | 段数 | 基準秒時 (ms) | 段数 | 基準秒時 (ms) |
|----|-----------|----|-----------|----|-----------|
| 12 | 300 | 22 | 550 | 32 | 800 |
| 14 | 350 | 24 | 600 | 34 | 850 |
| 16 | 400 | 26 | 650 | 36 | 900 |
| 18 | 450 | 28 | 700 | 38 | 950 |
| 20 | 500 | 30 | 750 | 40 | 1,000 |

(4) コントローラー

コントローラーは、イニシエーターを点火するための点火器で、最大 100 本のイニシエーターを点火することができる。コントローラーの仕様を表-5に示す。

表-5 コントローラーの仕様

| | |
|--------|------------------------------------|
| 重量 | 7.4 |
| 電源 | バッテリー (充電式) |
| 最大点火本数 | 100 |
| サイズ | 縦 365 mm × 横 270 mm × 高さ 150 mm |

3. 破碎作業手順

破碎作業は発破工法と類似しているが、NRC はテルミット反応による破碎剤の膨張圧で瞬時に低振動で対象物を引張破碎する。以下に破碎作業手順を示す。

①事前準備

破碎場所の漏洩電流の有無を確認し、漏洩電流が確認された場合は原因を調査し排除する。保安物件を確認し、使用段数や飛石防護方法を検討し、岩盤状況に適した破碎実施計画を作成する。NRC の標準使用量を表-6に示す。

表一6 NRC 標準使用量

| 破砕方法 | 標準使用量 kg/m ³ | | |
|-------|-------------------------|-----|-----|
| | 軟岩 | 中硬岩 | 硬岩 |
| 芯抜き破砕 | 1.8 | 2.0 | 2.5 |
| 盤下げ破砕 | 0.7 | 0.8 | 1.0 |
| ベンチ破砕 | 0.6 | 0.7 | 0.9 |

②穿孔

φ 45 mm のビットで破砕実施計画に従って穿孔する。岩盤が硬い場合は込め物長を長くし、最小抵抗線・孔間隔を狭くする。最小込め物長は軟岩 0.6 m、中硬岩 0.8 m、硬岩 1.0 m を目安とする。

③ NRC 準備

カートリッジのふたの凹部に雷管挿入棒等で穴を開けイニシエーターを挿入し（写真一4）、脚線をねじらないよう、カートリッジを左にまわしてイニシエーターをしめこむ。



写真一4 イニシエーター装填

④装填

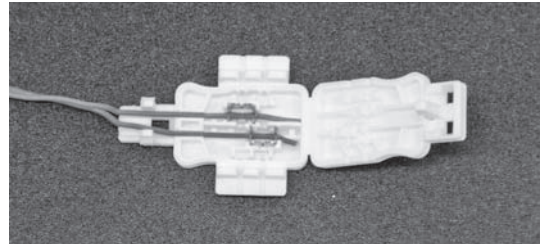
漏洩電流等がないことを確認する。十分な込め物長を確保するため、木または樹脂製の込め棒で穿孔長を確認しながら、脚線を傷めないように装填する。込め物は砂や7号碎石を使用し、十分な込め物長が確保できない場合は、セメント系込め物を使用する。

⑤結線

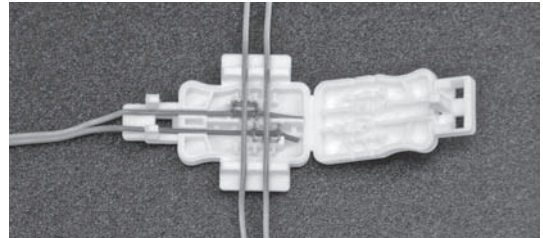
指定の並列線（材質：銅、芯線径φ 0.5 mm、被覆径φ 1.3 mm）を用いて並列結線を行う。イニシエーター端末のコネクタのふたを開け（写真一5）、並列線をコネクタ端子の上に平行に挿入し（写真一6）、コネクタのふたを閉める（写真一7）。ふたを閉めると並列線の被覆が破れ、コネクタ端子に並列線の芯線が接触する。

発破同様、補助母線と発破母線を介して並列線をコントローラーに接続する（図一2）。

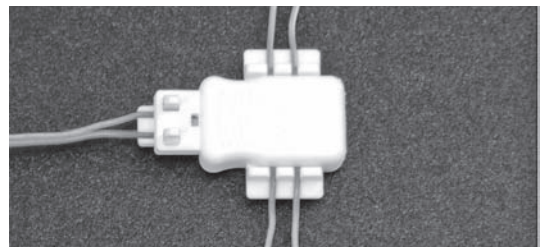
導通確認は専用のテスターを使用する。イニシエーター1本の基準抵抗は20,000 Ωで並列結線なので、



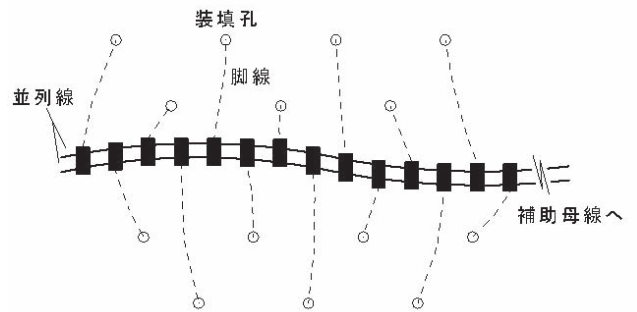
写真一5 コネクター開放



写真一6 並列線設置



写真一7 並列線収納



図一2 結線イメージ

回路抵抗値は次式で計算する。

$$R = \frac{20,000}{\text{イニシエーター数}} \quad (\Omega)$$

⑥防護・退避

飛石防止のため、ブラスティングマット、防爆シート等を使用して防護を行う。防護時に脚線や並列線を傷めないよう注意する。防護完了後、必要個所に見張り人を配置し、危険区域内の退避を確認した後、点火作業に入る。

⑦点火作業

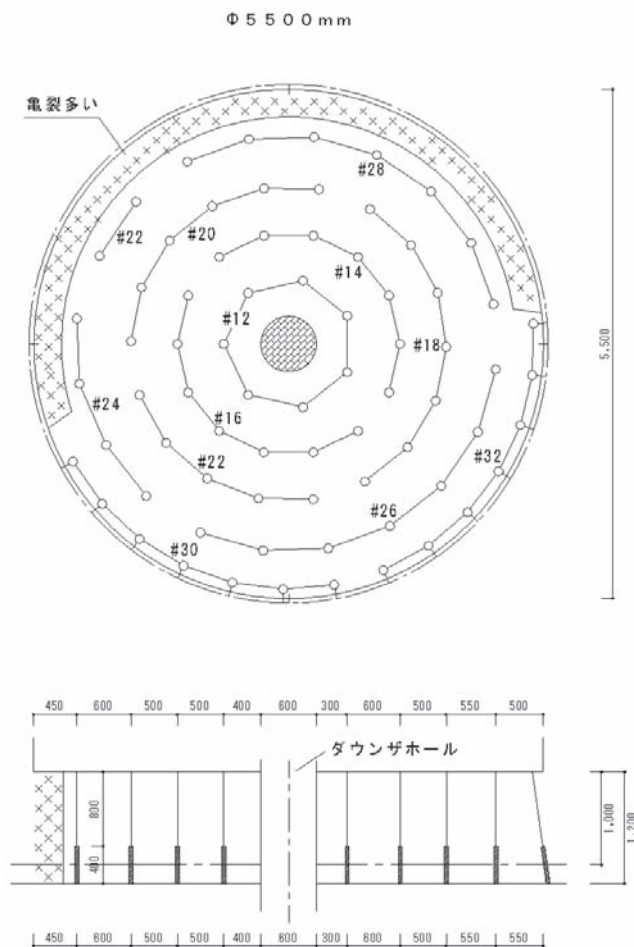
周囲に破砕作業を行う旨の警告を行い、コントローラーを用いて点火作業を行う。点火後、5分以上たってから破砕場所の安全を確認したのちに警戒を解除する。

4. 施工事例

(1) φ 5.5 m 深礎 (NRC400 + ダウンザホール)

愛知県額田においてNRC400により、φ 5.5 m の深礎破碎を行った。破碎箇所が保安物件に近接していたことより、11 段発の多段破碎を採用して振動低減をはかった。硬岩が露出していたが深礎中心部にダウンザホール (φ 600 mm) が施工されていたので、これを自由面として順次破碎を展開した。破碎実施パターン等を以下に示す。

<破碎実施パターン>



図一三 破碎設計

表一七 破碎諸元

| | | | |
|----------|---------------------|-----------------------------|------------------------|
| 岩質 | 硬岩～中硬岩 | 使用イニシエーター | 12 段～32 段の段抜き |
| 断面積 | 23.8 m ² | カートリッジ使用量 | 29.2 kg |
| 掘進長 | 1.0 m | イニシエーター使用量 | 73 本 |
| 穿孔長 | 1.2 m | 1 m ³ 当りカートリッジ量 | 1.23 kg/m ³ |
| 使用カートリッジ | NRC400 | 1 m ² 当りイニシエーター量 | 3.07 本/m ² |

表一八 段当りの穿孔数・装薬量

| 段数 | 孔数 | カートリッジ量 (kg/孔) | 1 段当りカートリッジ量 (kg/段) |
|----|----|----------------|---------------------|
| 12 | 7 | 0.4 | 2.8 |
| 14 | 7 | 0.4 | 2.8 |
| 16 | 7 | 0.4 | 2.8 |
| 18 | 7 | 0.4 | 2.8 |
| 20 | 6 | 0.4 | 2.4 |
| 22 | 7 | 0.4 | 2.8 |
| 24 | 4 | 0.4 | 1.6 |
| 26 | 7 | 0.4 | 2.8 |
| 28 | 7 | 0.4 | 2.8 |
| 30 | 7 | 0.4 | 2.8 |
| 32 | 7 | 0.4 | 2.8 |
| 合計 | 73 | — | 29.2 |

NRC による深礎破碎前と破碎後を写真一八、九に示す。破碎後の切羽は、中央部で 50 cm 盛り上がり、また盛り上がりの少ない箇所にも亀裂が入って破碎前の“水溜り”がなくなった。破碎岩も小さく、ブレイカーを使用しなくても油圧ショベルで掘削ができる状況であった。また保安物件への破碎振動の影響が懸念されたため、破碎箇所から 30 m 地点で振動測定を実施したが、変位速度 0.076 cm/sec、振動レベル 59 dB で想定内の振動であり問題はなかった。



写真一八 NRC 破碎前

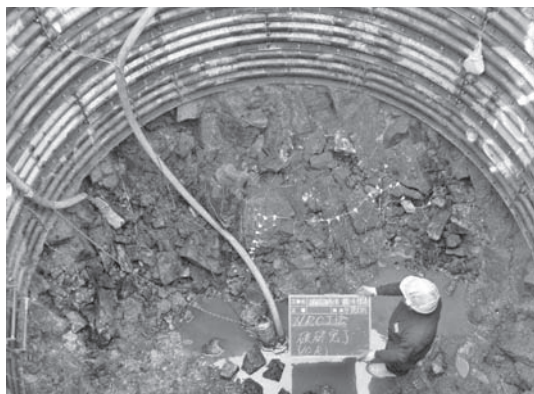


写真一九 NRC 破碎後

(2) φ 4.0 m 深礎 (NRC200 + NRC400)

福岡県下原においてNRC200とNRC400により、φ 4.0 m の深礎破碎を行った。

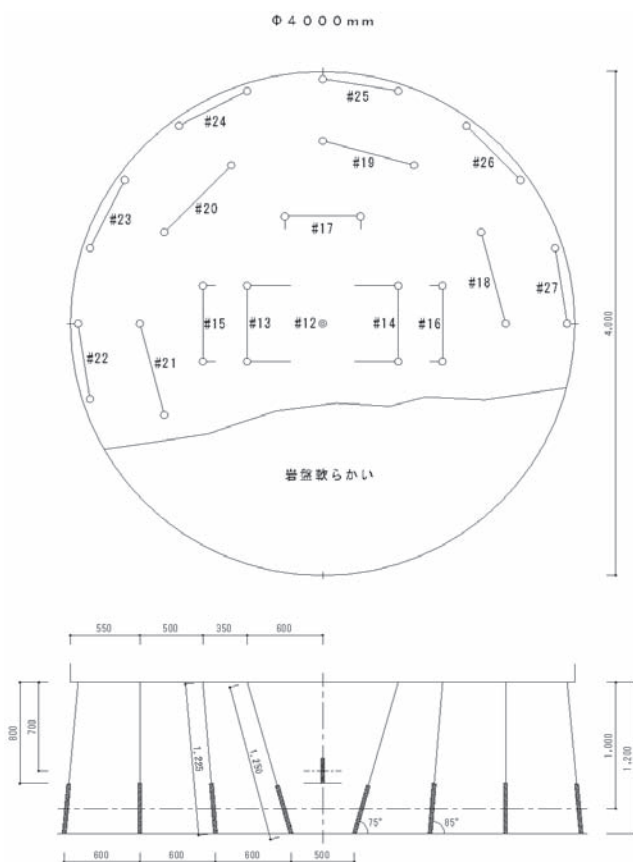
保安物件（民家）が近接していたので、16 段発のイニシエーターを用いて振動低減をはかった結果、切羽より 19 m 地点の振動レベルは 64 dB であった。また破碎状況（写真— 10）も良く、掘削効率が向上した。



写真— 10 NRC 破碎後

破碎実施パターン等を以下に示す。

<破碎実施パターン>



図— 4 破碎設計

表— 9 破碎諸元

| | | | |
|--------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 岩質 | 緑色片岩 | 使用イニシエーター | 12 段～ 27 段 |
| 断面積 | 12.6 m ² | カートリッジ 使用量 | 12.2 kg |
| 掘進長 | 1.0m | イニシエーター 使用量 | 31 本 |
| 穿孔長 | 0.85 m～ 1.2 m | 1 m ³ 当り カートリッジ量 | 0.97 kg/m ³ |
| 使用 カートリッジ | NRC200 NRC400 | 1 m ² 当り イニシエーター量 | 2.46 本 / m ² |

表— 10 段当りの穿孔数・装薬量

| 段数 | 孔数 | カートリッジ量 (kg/孔) | 1 段当り カートリッジ量 (kg/段) |
|----|----|-------------------|----------------------------|
| 12 | 1 | 0.2 | 0.2 |
| 13 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 14 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 15 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 16 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 17 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 18 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 19 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 20 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 21 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 22 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 23 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 24 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 25 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 26 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 27 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| 合計 | 31 | — | 12.2 |

5. おわりに

NRC は保管や消費許可等に係る取り扱いが簡易であるが、公共の安全を確保するためにも自主基準のもと火薬類と同様に盗難防止や飛石対策等に配慮する必要がある、また使用説明書を順守しなければならない。

NRC は導入 1 年目であるが、低公害かつ効率の良い破碎工法の確立が重要と考え、深礎破碎をはじめトンネル破碎などの試験も行いながら NRC の用途を広げていく所存である。

JCMMA

[筆者紹介]

亀谷 秋光 (かめが い あきみつ)
 (株)アクシス
 専務取締役
 大垣支店長

