

放電衝撃力発生技術とその性能

THE ELECTRICAL DISCHARGE SHOCK FORCE GENERATION SYSTEM AND FRACTURING PERFORMANCE

荒井浩成*・前畑英彦*・井上鉄也*・西田昭二**

Hiroaki ARAI, Hidehiko MAEHATA, Tetsuya INOUE and Shoji NISHIDA

We developed the high-powered type cartridge which can generate the power of average gunpowder for the electrical discharge shock force generation system.

This report describes the characteristic of the generation shock force and the example of fracturing the rock mass and a ferroconcrete with the high-powered type cartridge. Furthermore, it introduces the electrical discharge shock force generation system "ESG series"

1. まえがき

破碎工法として、発破は最も効率的で低コストであり広く採用されているが、作業の安全性や周辺への影響の点から、近年、増加している市街地およびその周辺における岩盤破碎、掘削工事、コンクリート構造物の解体工事等に使用することは困難であり、非発破工法の要求が高まってきている。

放電衝撃破碎法^{1) 2)}は、液状媒体に浸漬した金属細線に急峻な高電圧大電流を流し、その際生じる細線と媒体の爆発的な気化現象による高発生衝撃圧力を利用するもので、岩石やコンクリートの静的破碎工法として開発された。本報告は、発破並の高衝撃力発生技術と放電衝撃力発生システム"ESGシリーズ"および破碎への適用性について述べる。

2. 放電衝撃力発生システムの概要

図1に示すように、放電衝撃力発生システムは、放電衝撃力発生装置、放電ケーブル、放電カートリッジで構成される。

2.1 放電衝撃力発生装置³⁾

本装置は、充放電制御電源と出力数分の充・放電回路を内蔵したパワースイッチングユニットからなり、各ユニットは単独または同時に作動制御できる。また、放電スイッチにサイリスタを採用している為、安定した放電制御ができる。

写真1は、開発装置"ESG-10K4"を示し、左端のBOXは充放電制御電源盤で、右の2つは各2出力を有する計4出力のパワースイッチングユニット盤である。また、写真2は、1出力タイプをコンパクト設計した"ESG-4K1"である。

ESGシリーズの代表的な基本仕様例を表1に示す。

2.2 放電カートリッジ

(1) ノーマル型放電カートリッジ

静的破碎や仕上げ等の制御性を要する破碎用として開発したものであり、水性媒体を充填したプラスチック容器内に金属細線が挿入されている。図2にこのカートリッジの発生衝撃力性能を示す。同図は、充電電圧 V_c と発生放電衝撃力 F の関係を示したもので、細線から1cmの位置の値である。 F は V_c の1.5乗とほぼ比例関係にあり、 $V_c = 9\text{ kV}$ で5000~7000MPaの衝撃力となる。

(2) パワー型放電カートリッジ

ノーマル型を1桁パワーアップし、火薬並の衝撃力を発生させる目的で開発したもので、充填媒体として非火薬で、取扱いが容易な爆発燃焼性、化学反応性の特殊剤(B剤と称する)を用いる。このB剤は、数1000MPaの高い

* 日立造船(株)技術・開発本部 技術研究所

** 日立造船(株)建機・物流事業本部

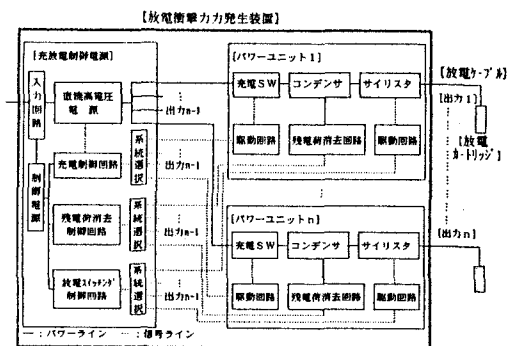


図1. 放電衝撃力発生システム

表1. ESGシリーズ基本仕様例

	ESG-10K4	ESG-6K	ESG-4K1
入力電源	商用 or 発電機: 3φ、200V-2kVA		
放電出力	4出力	2出力	1出力
充電電圧	~9kV連続可変	~6kV連続可	~3.5kV連続可変
蓄積エネルギー	20kJ/1出力	9kJ/1出力	3kJ/1出力
充電時間	90 sec	40 sec	15sec
安全機能	放電インダクタ、過電流保護、残電荷消去、再・逆充電防止		
外形寸法	$2^W \times 1.5^H \times 1^D$ m	$0.6^W \times 1.5^H \times 1^D$ m	$0.6^W \times 0.7^H \times 0.6^D$ m
重量	約1300kg	約500kg	約100kg
搭載車両	2トントラック	1トントラック	商用バン

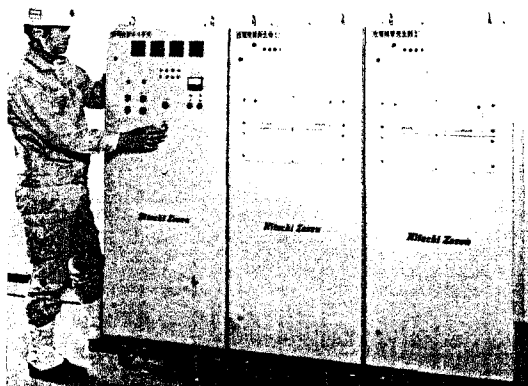


写真1. ESG-10K4

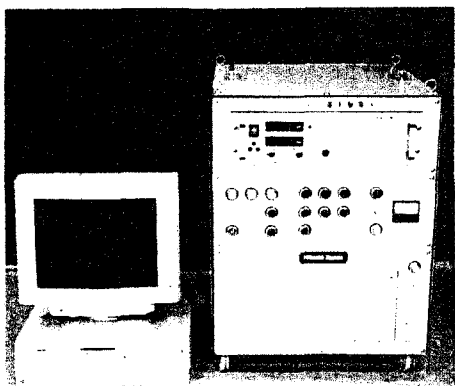


写真2. ESG-4K1

衝撃力で起爆する性質を持つことから、起爆させるためには火薬数10g相当のバツを必要とする。したがって、通常の取扱では起爆することはない、取扱が容易である。バツ型カートリツは、数1000MPaの放電発生衝撃力により起爆させ、火薬並の衝撃力を得るものである。

なお、カートリツは用途に応じ、プラスチックと金属の容器に使い分けられ、3.5kV、6kVおよび9kV用の基本バツとφ12mm×100mm^L、φ18mm×100mm^L、φ38mm×120mm^Lの基本サイズ揃えている。

2. 3 放電ケーブル

放電ケーブルは、各出力の独立性と地絡電流防止から、各極ごとに高電圧ケーブルを用い、カートリツにワツチ接続される。ケーブル長は20m~60m仕様であり、衝撃力低下のない放電破砕が可能である。

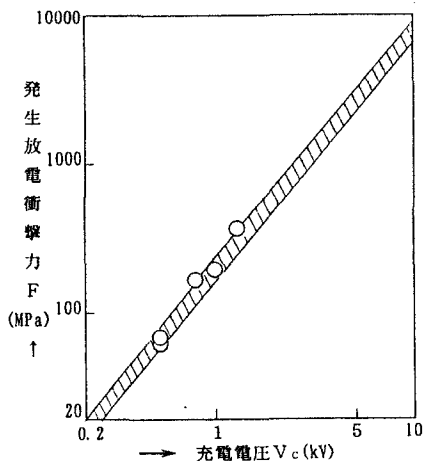


図2. 充電電圧Vcと放電衝撃力Fの関係

3. パワ型放電衝撃力発生技術と基本特性

3. 1 衝撃力発生機構

ギョツ放電のように放電源が点の場合、衝撃波は球状に拡がるが、細線放電では細線近傍では、ほぼ円筒

状の衝撃波を形成すると考えられ、衝撃力は距離の逆数に比例する。この放電衝撃波が、B剤の必要起爆圧力を上回る条件で起爆し、高い衝撃力を発生する。また、放電衝撃波が起爆させ得る量は、放電衝撃力F、すなわち、充電電圧 V_c によって決定される。

3.2 発生衝撃力の評価

火薬の威力評価方法として、砂等に埋め込んだ火薬を起爆させて形成されるクレータ痕を評価する方法があり、クレータ容積は装薬量に比例すると言われている。⁴⁾ そこで、 $\phi 2\text{ m} \times$ 深さ1 mの砂槽内において、パワー型カートリッジを深さ約20cmに埋め込んで放電起爆し、形成クレータ容積を測定評価した。また、火薬との比較を行った。

(1) 充填量との関係

図3は $V_c=9000\text{ V}$ 一定とした時のB剤量 M と形成クレータ容積 Q の関係を示し、図中●がプラ容器、○が金属容器の場合を示す。同図によると、 Q は M と比例関係にあるが、プラ容器の場合、 $M=70\text{ g}$ 以上では飽和している。これは、前述のように起爆するB剤の量が V_c によって決定されることによる。

一方、金属容器の場合、充填剤は拘束条件下にあることから130 gでも全量が完爆している。

(2) 充電電圧との関係

図4は、充填量を97 g一定とした V_c と Q の関係を示しており、図中●がプラ容器、○が金属容器の場合を示す。プラ容器の場合、 Q は V_c のほぼ1.5乗に比例しており、発生高衝撃力は V_c により制御できる。これは図2に示した水性媒体における V_c と F との関係と一致する。ただし、発生力は1～2桁大きいようである。

一方、金属容器の場合、 V_c に関係なくほぼ一定のクレータを形成し、かつ、B剤全量が完爆し大きなクレータとなっている。これは、B剤を部分的に起爆できる V_c 値以上であれば、金属容器による拘束の為に伝爆により全量を起爆することを示し、この V_c 下限値は3 kV以下であることがわかる。

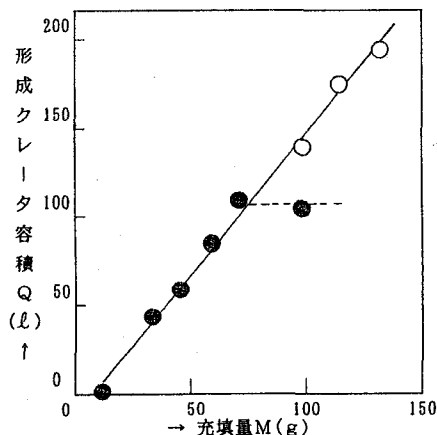


図3 B剤量 M とクレータ容積 Q の関係

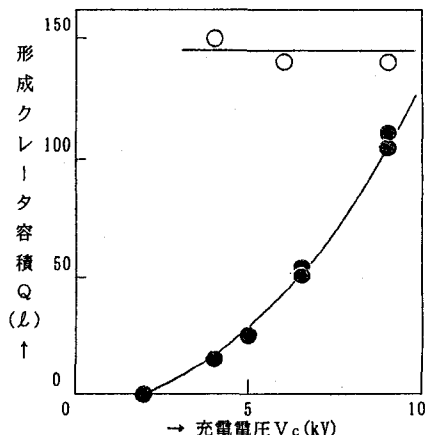


図4 V_c とクレータ容積 Q の関係

(3) パワー型放電カートリッジの容器材について

プラスチック製の場合、放電衝撃力が伝爆に先んじ容器を破壊し、B剤を飛散させ伝爆を中断する現象が考えられる。しかし、起爆量は V_c で制御可能であるという特長付けが確認できた。

金属製の場合、高強度容器の為に拘束力が高められて全量を完爆することができ、効率的に高衝撃力を得られ、充填量により制御できる。さらに、充電電圧が低くでき、装置の小型化が可能となる。

以上より、プラスチック製でも岩盤穿孔内のように拘束条件下であれば、金属製と同等の衝撃力特性を得るものと考えられる。

3.3 発生衝撃力のパワーアップ評価比較

表2は、パワー型カートリッジによるクレータ容積を1とした時のパワー率を表したもので、プラスチック製パワー型で50倍のパワーアップを実現した。また、2号複ゲイマイト、チマイトと比較し、同等のパワーを確認した。

4. 岩盤・岩石破碎性能

4.1 岩盤破碎^{5) 6)}

破碎テストはESG-10K4を用い、2～4出力を同時放電し、岩盤の払い出し破碎を行った。

図5および図6は、B剤を100g充填したパワー型カートリッジ4本を用い、 $V_c = 6\text{ kV}$ で放電したときの払い出し破碎状況を示すものである。なお、穿孔条件は、孔径 $\phi 44\text{ mm}$ 、抵抗線80cm、孔間隔50cm、深さ65cmとした。破碎結果は、

破碎領域：幅4.2m×奥行0.8m×高さ1.8m、 破碎量：約 6 m^3

であり、発破並の破碎性を得た。

また、 $V_c = 3\text{ kV}$ でも完爆を確認し、プラスチック容器でも拘束力のある岩盤に用いると金属容器と同等効果があることを裏付けられた。

表2. 発生衝撃パワー率による比較評価

	V_c	クレタ	クレタ容積によるパワー率			
ノーマル型	9 kV	2	1			
パワー型	9 kV	100			50	
	4 kV	15	8			
	4 kV	150				70
(B剤：97g)						
2号機がけ付100g	100				50	
チタマイト 130g	100				50	

0 20 40 60

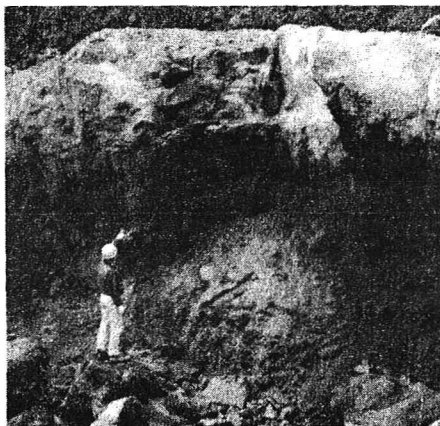


図5. パワー型カートリッジによる岩盤破碎状況

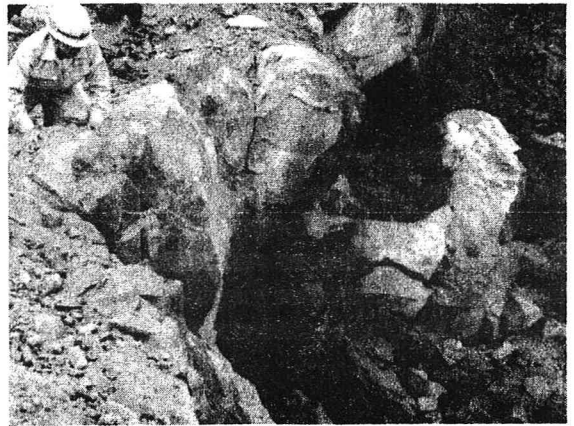


図6. 破碎断面の状況

4.2 岩石破碎

ノーマル型カートリッジを用いた割岩性能は、9 kV－1出力で約 0.2 m^3 、4出力で約 0.8 m^3 の破碎が見込まれ、低騒音・無振動の静的破碎が可能である。図8は、縦50cm、横70cm、高さ50cmの石灰岩を対象とした破碎例を示したもので、 $\phi 18$ のカートリッジ1本を用いて $V_c = 9000\text{ V}$ により放電破碎し、2分割することができた。

次に、図7は、プラスチック製パワー型カートリッジ(B剤100g)4本を用いた $V_c = 6\text{ kV}$ による岩石(縦1.4m×横2.4m×高さ1m、容積 3.4 m^3)の破碎状況であり、数分割に小割り破碎することが可能であった。

4.3 騒音および振動

破碎テストにおいて、破碎時の前後10秒間の騒音および振動レベルを測定した。測定は、普通騒音計(リオンNA-04型)および公害用3方向振動ピックアップセンサ(リオンPV-83B)を用いた振動レベル計(リオンVM-52型)により行った。

なお、防音処置は特にしておらず、飛石防止用のシートを破碎対象部分に被したのみで測定を実施した。

(1) 騒音

パワー型カートリッジ使用時の最大騒音レベルは、図7の岩石破碎時を例とすると、30m位置で92dB、100m位置で77dBであった。また、ノーマル型使用時は30m位置で80dB以下で、岩自体の割れた音または落下音と思われる。

なお、バックグラウンドは、発電機やコンプレッサが運転している状態で、64dBであった。

(2) 振動

バックグラウンドの44dBに対し、パワー型カートリッジ4本による放電破碎時の最大振動レベルは、30mの位置で54dB

であったが、振動を体感することはなかった。また、ノーマル型の場合は、バックグラウンドの範囲内であった。

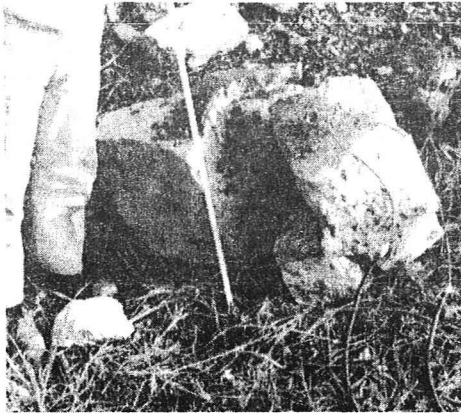


図 7. ノーマル型カートリッジによる
岩石破碎状況[9 kV×1]



図 8. パワー型カートリッジによる
岩石破碎状況[6 kV×4]

4.3 鉄筋コンクリート破碎

図 8 は、サンプル(φ750×t300mm、縦筋φ22×250mm ピッチ、横筋φ16×100mm、被り50mm)の破碎例を示すものであり、B 剤 8 g を充填したペンサイズ(φ12mm×100mm¹)のパワー型 1 本を傾斜角60度、深さ200mmに穿孔後挿入し、 $V_c = 3 \text{ kV}$ で放電破碎した。

その結果、表面全体の被りが完全に剥離するとともに、鉄筋内部に大きなクラックが発生した。

5. まとめ

放電衝撃破碎法の用途拡大を図る為に、静的破碎技術に加え、高衝撃力発生技術を開発した。

以下に、その成果を要約する。

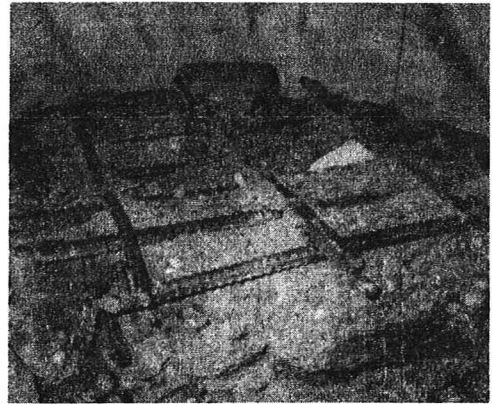


図 9. 鉄筋コンクリート破碎状況[3 kV×1]

- ①放電衝撃力発生システム“ESGシリーズ”を開発・製品化した。
- ②非火薬の特殊剤を充填するパワー型カートリッジを開発し、ノーマル型の50倍のパワー向上を得た。
- ③プラスチック製パワー型カートリッジ(B 剤100 g)による岩盤破碎性能は、6 kV×4 出力で約 6 m^3 の破碎量を得た。
- ④同上のカートリッジによる岩石破碎では、6 kV×4 出力で約 3.4 m^3 の岩石を数分割に小割りすることができた。
- ⑤ペンサイズのパワー型カートリッジ 1 本により、 $V_c = 3 \text{ kV}$ で鉄筋コンクリートサンプルを穿孔破碎した結果、被りを剥離し、かつ鉄筋内部に大きなクラックが発生することができた。

6. 参考文献

- 1) 荒井、前畑他 : 土木学会第26回岩盤破壊に関するシンポジウム要旨、P261(1994)
- 2) 前畑、荒井他 : H7 電気学会産業応用部門全国大会講演論文集、P163(1995)
- 3) 荒井、前畑他 : 日立造船技報、Vol. 58、No. 3、p15 (1997)
- 4) 新・発破ハンドブック : 工業火薬協会編
- 5) 風間、前畑、荒井、西田 : 建設機械、Vol. 34、No. 4(1998)、P9
- 6) 前畑、井上、荒井他 : H10土木学会第53回年次学術講演会