

34. 砂漠緑化への発破技術の応用に関する研究

STUDY ON THE APPLICATION OF BLASTING FOR GREENING THE DESERT

城谷要*, 加藤勝美**, 久保田士郎**, 和田有司**, 緒方雄二**, 藤原修三**, 新井充***
Kaname Shirotani*, Katsumi Katoh**, Shiro Kubota**, Yuji Wada**, Yuji Ogata**, Shuzo Fujiwara**, Mitsuru Arai***

ABSTRACT: Blasting has the possibility of creating a soil area for greening the rock desert because blasting with ANFO (Ammonium Nitrate and Fuel Oil) could make rock into soil level particles (less than 2mm) and diffuse unreacted ammonium nitrate into particles as nourishment for plants. We conducted lab-scale experiments with 30 cm cubic model of rock and field experiments on the quarry to investigate relationships between blasting conditions and performances of the fragmentation of rock into soil level particles and the diffusion of nutritional ions. As results of lab-scale experiments, it was investigated that the fragmentation performance and diffusion of nutritional ions be controlled by loading conditions and that amount of ions change with the solidity of rocks because of the changes of detonation velocity. And as results of field experiment, two aspects were indicated. One was that we must suppose the new blasting method to remain sufficient amount of particles in the crater because most fragments spread around the crater. The other was that the particles after blasting contained various nutritional ions with the ANFO added with the fertilizer.

KEYWORDS: blasting, ANFO, soil level particles, nutritional ions, greening

1 緒言

CO₂固定化手段の一つに緑化活動の促進が挙げられる。しかし、緑化活動には制限要素が多く、既存の土地を利用した緑化の進展は、特に乾燥地帯などで困難である。本研究室では、土壌の由来が岩石であることから、発破という人工的な手段で岩石を微細化することにより、通常ならば植林の対象になりえない岩盤地帯に緑化が可能な地域を人工的に創出できる可能性を見出した。岩石地帯は、緑化の対象として評価されることはなく、例えば地球上の砂漠地帯の大半を占めている岩石砂漠は、広大な面積であるため緑化可能地域拡大の余地は大きいと考えられる¹⁾。本研究では、岩石地帯の緑化へ向けた発破方法の確立を目的として、発破用の爆薬として、肥料にも利用される硝安(NH₄NO₃)を原料とするANFO(Ammonium Nitrate and Fuel Oil)を使用することにより、岩石発破後の状況を岩石の土壌構成粒子径への破碎効果および栄養素の拡散効果という観点から評価した²⁾。研究方針は、30立方モデル岩石を使用した室内実験と国内採石場における野外実験とに分かれる。室内実験では、立方モデル花崗岩と砂岩による発破実験を通して破碎粒子の粒度分布測定および栄養素イオンの定量分析を行い、装薬条件および岩石物性の変化と破碎効果および栄養素

*東京大学大学院新領域創成科学研究科, **産業技術総合研究所爆発安全研究センター, ***東京大学環境安全研究センター,
*Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, **Research Center for Explosion Safety, AIST,
***Environmental Science Center, The University of Tokyo

拡散効果の関連性を検討した。野外実験では、岩石のスケール効果、1 自由面条件および岩石内部の亀裂が破碎効果にもたらす影響と肥料成分の装填による付加的な栄養素拡散効果についても検証した。

2 室内実験による検討

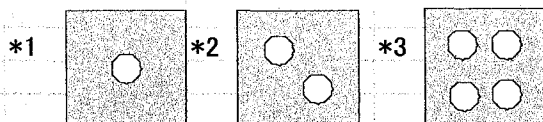
2. 1 実験方法

試料として 30cm 立方モデルの稲田花崗岩および動的物性値が花崗岩よりも低い来待砂岩を用い、室内実験場として密閉式爆発ピット（縦 3m 横 3.4m 奥行き 8.4m）を使用した。爆薬と爆速測定用のイオンギャップを備え付けたモデル岩石をピット内に置き、起爆後約 3 時間放置した。そして、予め配置した金属トレイ（49cm×59cm）上に堆積した粒子を分析対象として回収した。装薬条件の一覧を Table 1 に示す。

粒子の分級には、JIS 規格に従った 2mm 以下のふるい 6 種と振動機を用いた。まず、回収した各トレイの粒子を 250rpm の振動機に 5 分間かけて粒径が 2mm 以上の粒子と 2mm 以下の粒子に分けた。そして、2mm 以下の粒子を 0.075mm、0.106mm、0.250mm、0.425mm、0.850mm のふるいを用い、70rpm の振動機に 20 分間かけることで分級した。分級後、各ふるいに残った粒子の重量を測定することで粒径に対する加積重量百分率（粒径加積曲線）を求めた。また、粒子中の栄養素イオンについては、イオンクロマトグラフによる定量分析を行った。カラムには、陽イオン用に SHIM-PACK IC-CI PEEK、陰イオン用に SHIM-PACK IC-A3 を使用して、溶脱液中の NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- を定量した。

Table 1 Loading conditions on lab-scale experiments

Condition number	Sample	Explosive	The number of blasting hole	Tamping	Hole diameter [mm]	Amount of explosive [g]	Contact surface area [cm^2]
1	Granite	ANFO	1 *1	Penetrated	29	160	273
2	Granite	ANFO	1 *1	Penetrated	38	287	358
3	Granite	ANFO	2 *2	Penetrated	38	573	716
4	Granite	ANFO	1 *1	Penetrated	58	634	546
5	Granite	ANFO	4 *3	Penetrated	38	1000	1432
6	Sand stone	ANFO	1 *1	Penetrated	38	290	358
7	Sand stone	ANFO	1 *1	Penetrated	58	664	546
8	Sand stone	ANFO	2 *2	Penetrated	38	599	716



2. 2 実験結果および考察

2. 2 (A) 破碎効果

各条件で得られた粒子の粒径加積曲線を Fig.1 に示す。曲線の概形は、薬量の増加に伴い上方向、すなわち低透水性、高保水性を示す方向にシフトすることがわかった。一般に砂漠の粒子は大きいので、この変化は植物の育成に有利な傾向といえる。各条件における 0.020mm 以下の粒子重量組成が、Fig.2 に示すように爆薬と岩石の接触面積に対して相関関係にあることから、微小粒子は接触面近傍で主に生成されと考えられる。

また、砂岩中での ANFO の爆速は、総じて花崗岩よりも低く、その差は最大で 4 割以上になることがわかった。爆轟時の圧力は爆速の 2 乗に比例するので、砂岩における破碎効果は花崗岩よりも低いと予想され

た²⁾。しかし、両者の粒径加積曲線の概形は、ほぼ同じであった。これは、岩石物性の影響と考えられ、30cm立方スケールでは、岩石物性によらず装薬条件によって破碎効果を制御できる可能性が示唆されたといえる。

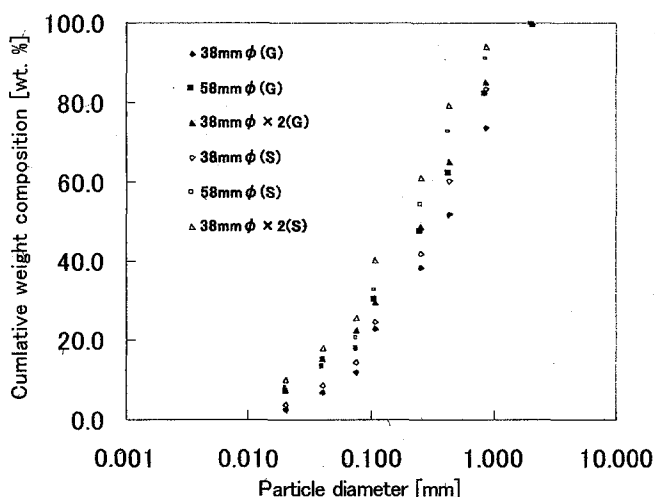


Fig.1 Cumulative weight curve of granite and sand stone

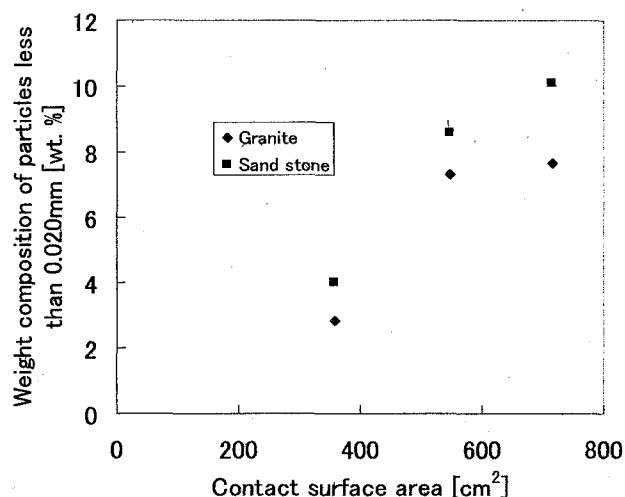


Fig.2 The interrelationship between weight composition of particles less than 0.020mm and contact surface area

2. 2 (B) 栄養素拡散効果

サンプル液中からは、岩石中に存在しないはずの窒素分(NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-)が検出された。薬量と NH_4^+ 、 NO_3^- 含有量の関係および、それぞれの ANFO 1g あたりの割合と爆速の関係をそれぞれ Fig.3、Fig.4、Fig.5 および Fig.6 に示す。図より爆速の低下にともなってイオンを拡散できる割合が増加する傾向にあることがわかった。これは、岩石物性の影響で ANFO の爆速、すなわち反応率が変化することを示すと考えられる³⁾。よって、室内実験のスケールでは、花崗岩のような硬い岩石の場合は、発破後の栄養素含有量は装薬量により制御できる可能性があるが、砂岩のような軟質の岩石では、岩石物性の影響によって爆速が変化し、それによっても栄養素拡散量が変化するので、正確な拡散量の制御には、岩石物性の影響を考慮する必要があるといえる。

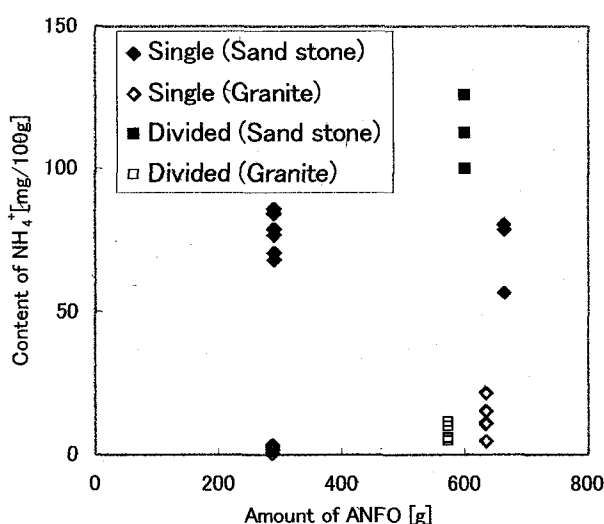


Fig.3 The relationship between content of NH_4^+ and amount of ANFO

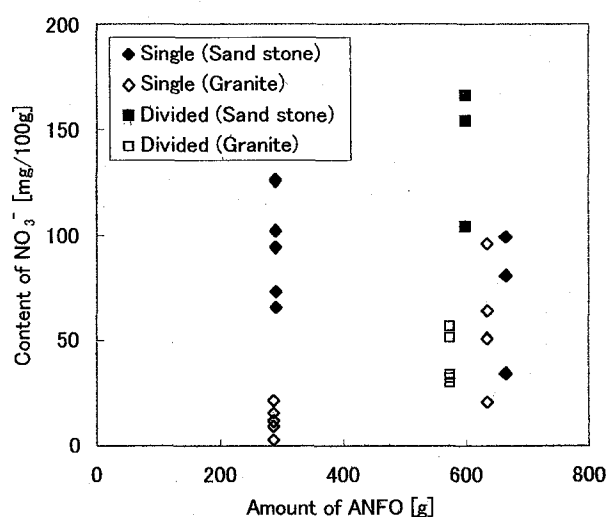


Fig.4 The relationship between content of NO_3^- and amount of ANFO

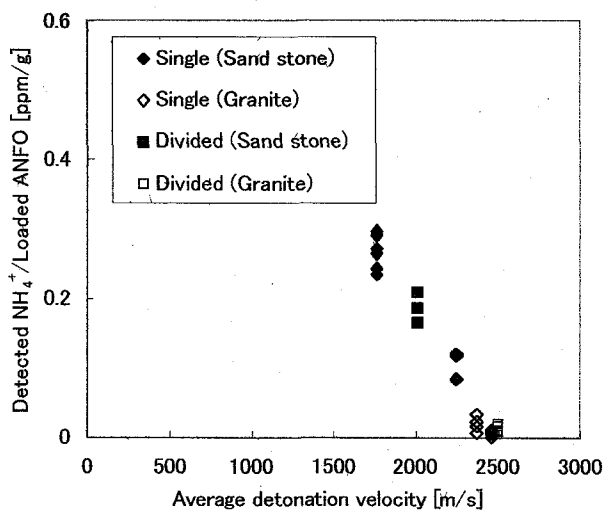


Fig.5 Comparison of interrelation between proportion of detected ion to amount of loaded ANFO between sand stone and granite condition (NH_4^+)

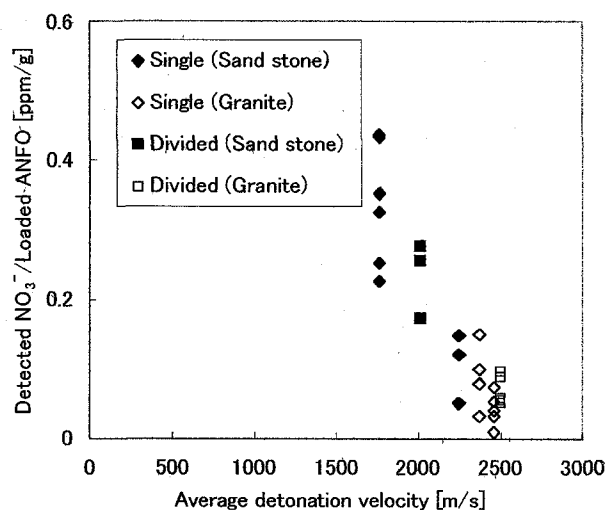


Fig.6 Comparison of interrelation between proportion of detected ion to amount of loaded ANFO between sand stone and granite condition (NO_3^-)

3 野外実験による検討

3. 1 実験方法

実験は、塚田陶管(株)採石場内の岩盤で行われた。現場では過去に幾度となく発破作業が行われているので、岩石砂漠と比較して岩盤内の潜在的な亀裂が多い条件といえる。発破場所に直径 1m のマーキングをして、孔径 64mm、深さ 50cm に穿孔した。ANFO210g で 7 号砕石によるタンピングを標準装薬とし、この他に発破効果を高めるために、過装薬、粘土およびセメントによるタンピングを行った²⁾。装薬条件の一覧を Table 2 に示す。また、粘土とセメントでタンピングした条件では、肥料分として KNO_3 と $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ を添加した (Added と表記)⁴⁾。起爆後、クレーターの形状を観察し、底部の細粒を回収した。回収した粒子については、室内実験と同様の手順で粒径加積曲線とイオン含有量を求めた。

3. 2 実験結果および考察

3. 2 (A) 破碎効果

回収粒子と周辺粒子の粒径加積曲線を Fig.7 に、クレーター面積の値を Table 2 に示す。回収粒子全体における 2mm 以下粒子の割合は非常に少なく、周囲に飛散したと考えられる。また、周辺の粒子の誤差範囲内であることから、底部の細粒は、周囲から混入したものを含むと考えられる。また、タンピングの強度が

Table 2 The loading conditions on field experiments

	Tamping	ANFO[g]	Crat Area [m^2]
Standard (日)	Stones	210	3.1
Standard (月)	Stones	210	4.7
Over	Stones	315	2.6
Clay	Clay	210	6.8
Added + Clay	Clay	210	4.7
Cement (日)	Cement	210	8.8
Cement (月)	Cement	210	5.7
Added + Cem	Cement	210	10.2

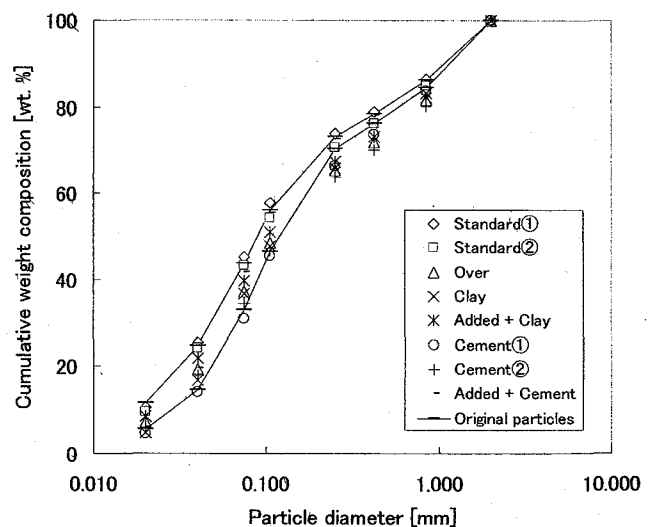


Fig.7 Comparison of weight cumulative curves on field experiments

高まる程、クレーター面積が増加したことから、装薬条件の変更は、粒子の微細化よりも除去できる岩石の体積に反映されたといえる。室内実験との差異は、自由面の数とスケール効果にあると考えられ、1自由面の岩盤では、クレーター内に2mm以下の粒子層を残存させることが課題といえる。

クレーター内に2mm以下粒子層を確保する必要がある。30cm立方のスケールでは、1自由面条件よりも高い破碎効果が達成されていることから、実行プロセスとして以下の手順が1例として提案できる。

まず、わずかな爆薬を使用することにより爆心から自由面まで成長する亀裂、すなわち破断面を岩盤に作る。この破断面によって自由面が増加した岩石や分断された大型レキ、あるいは、クレーターの比較的垂直に近い壁面に対し、最小抵抗線などのスケールをモデル実験と同様に設定した発破を行う。この方式ならばクレーター内を向く自由面が増え、クレーター内粒子残存量が増加すると考えられる。

3. 2 (B) 栄養素拡散効果

回収粒子、周辺粒子、筑波の自然土のイオン分析結果をTable 3に示す。発破後の細粒中からは、周辺粒子よりも高い窒素分含有量が示された。また、肥料分を添加することにより、 NH_4^+ と NO_3^- だけでなく、 K^+ が大幅に増加した。これらの量は、いずれも自然土中の含有量を上回っていることから、植物の育成に必要な栄養素を発破と肥料分の組み合わせにより補充できると考えられる。よって、装薬時に肥料分を適宜添加することにより細粒中の栄養素を制御できる可能性が示唆された。

4 まとめ

岩石地帯に緑化可能地帯を創出するための発破手法の確立を目的し、発破による岩石の土壌化効果について室内実験と野外実験による検討を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 30cm立方のスケールでは、破碎効果および栄養素拡散効果は装薬条件で制御できる可能性がある。しかし、岩石物性によって爆速が変化し、栄養素拡散量も変化する。
- (2) 実際の岩盤では、自由面の数とスケール効果の影響が大きく、クレーター内に残存する2mm以下粒子の割合が低い。よって、クレーター内に粒子が残留するような発破法の考案が必要である。
- (3) 装薬時に肥料成分を添加した結果、細粒中の栄養素含有量が自然土を超える値を示した。肥料成分を適宜添加することによって、多種の栄養素含有量を制御できる可能性がある。

参考文献

- 1) 国立天文台編 「理科年表」丸善 (1994)
- 2) 日本火薬工業会資料編集部 「一般火薬学」 日本火薬工業会資料編集部 第3版 (1994)
- 3) 新井裕之, “産業用爆薬の密閉強度効果と容器破壊特性に関する研究”, 横浜国立大学博士論文 (2005)
- 4) 藤原俊六郎 安西徹郎 加藤徹郎, 「土壌診断の方法と活用 付 作物栄養診断/水質診断」農文協 第6刷 (1999)

Table 3 Results of quantitative ion analysis

	NH_4^+ [mg/100g]	K^+ [mg/100g]	NO_3^- [mg/100g]
Standard(日)	1.05	3.01	2.12
	1.08	3.00	2.61
Standard(月)	1.14	4.88	2.64
	1.66	5.33	1.00
Over	1.14	4.29	3.97
	1.07	3.91	3.39
Clay	0.87	4.42	2.30
	0.94	3.92	1.28
Added + Clay	1.19	13.02	8.56
	1.26	13.21	8.76
Cement(日)	1.34	1.16	2.32
	1.32	1.11	1.66
Cement(月)	2.05	2.72	3.34
	2.08	2.86	2.80
Added + Cement	6.64	47.26	92.40
	6.71	47.58	93.25
Original particles(日)	0.57	1.00	0.84
	0.61	1.31	0.81
Original particles(月)	0.15	3.95	Undetected
	0.15	3.90	Undetected
Natural soil(日)	1.68	9.70	5.29
	1.78	9.62	5.02
Natural soil(月)	1.19	5.78	2.99
	1.29	6.06	4.32