

# 砂漠緑化への発破技術の応用に関する研究

環境システムコース・環境安全工学分野 46751 城谷 要

## 1. 緒言

### 1.1 背景

CO<sub>2</sub>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<sup>1)</sup>。本研究では、発破用の爆薬として、肥料にも利用される硝安を原料とするANFOを使用することにより、岩石の微細化を「破砕効果」、栄養素イオンの拡散を「栄養素拡散効果」、両者を合わせて「土壌化効果」と位置づけ、装薬条件との関連性を検証した。

### 1.2 目的および研究方針

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、岩石発破後の状況を岩石の土壌構成粒子径への破砕効果および栄養素の拡散効果という観点から評価した。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、30cm立方モデル花崗岩と砂岩による発破実験を通して破砕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土壌化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砕効果にもたらす影響について検討し、岩石地帯緑化のための発破実行プロセスの提案を試みた。また、装薬時に肥料成分も装填することにより、栄養素の発破による同時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。

Table 1 室内実験装薬条件一覧

Condition number	Sample	The number of blasting hole	Hole diameter [mm]	Amount of explosive [g]	Contact surface area [cm <sup>2</sup> ]
1	Granite	1	38	287	358
2	Granite	1	58	634	546
3	Granite	2	38	573	716
4	Sand stone	1	38	290	358
5	Sand stone	1	58	664	546
6	Sand stone	2	38	599	716

回収した粒子を 2mm の篩にかけて 2mm 以下粒子を取り出し、そのうち 10g に 100ml の純水を加え 6 時間振とうした後にイオンクロマトグラフでイオン含有量を測定した。残りの粒子については、JIS 規格に従った篩と粒度分析装置を用いて粒径加積曲線を求めた。

## 2.2 結果および考察

### 2.2.1 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ると考えられる。

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。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 立法スケールでは、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。

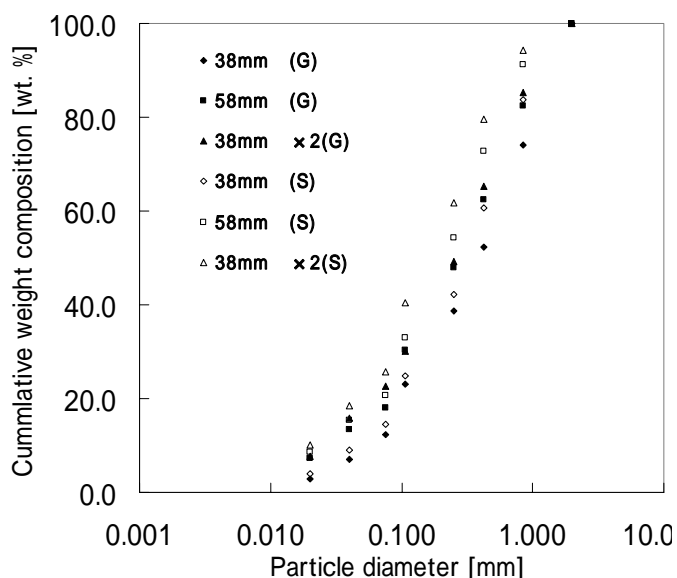


Fig.1 花崗岩/砂岩の粒径加積曲線

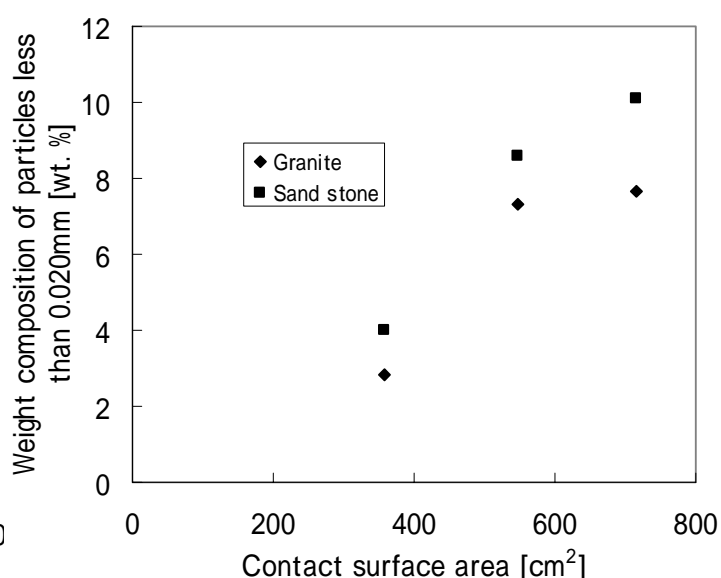


Fig.2 0.020mm 以下粒子重量組成と爆薬/岩石の接触面積との関係

### 2.2.2 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 ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) が検出された。薬量と  $\text{NO}_3^-$  含有量の関係および ANFO 1g あたりの割合と爆速の関係をそれぞれ Fig.3 と Fig.4 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している。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、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。

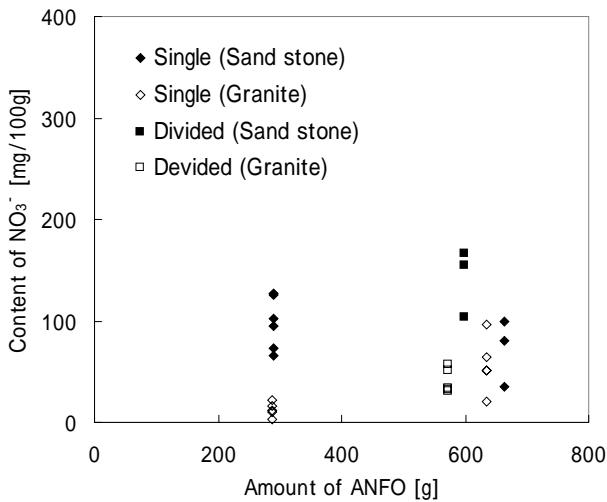


Fig.3 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> と装薬量の関係

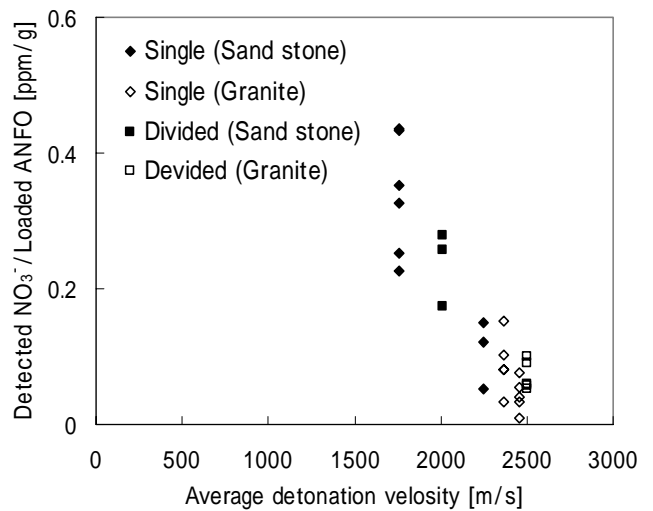


Fig.4 1gあたりの拡散量と爆速の関係

### 3. 野外実験による検討

#### 3.1 野外実験

##### 3.1.1 実験方法および分析方法

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<sup>2)</sup>。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<sub>3</sub>と(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>を添加した(Addedと表記)。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。

Table 2 野外実験装薬条件一覧

	Tamping	ANFO[g]	Crat Area [m <sup>2</sup> ]
Standard	Stones	210	3.1
Standard	Stones	210	4.7
Over	Stones	315	2.6
Clay	Clay	210	6.8
Added + Clay	Clay	210	4.7
Cement	Cement	210	8.8
Cement	Cement	210	5.7
Added + Cem	Cement	210	10.2

#### 3.2 結果および考察

##### 3.2.1 破碎効果

回収粒子の粒径加積曲線とFig.5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低く、周辺の粒子の誤差範囲内であることから、底部の細粒は、周囲から混入した割合が高いと考えられる。また、タンピングの強度が高まる程、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。

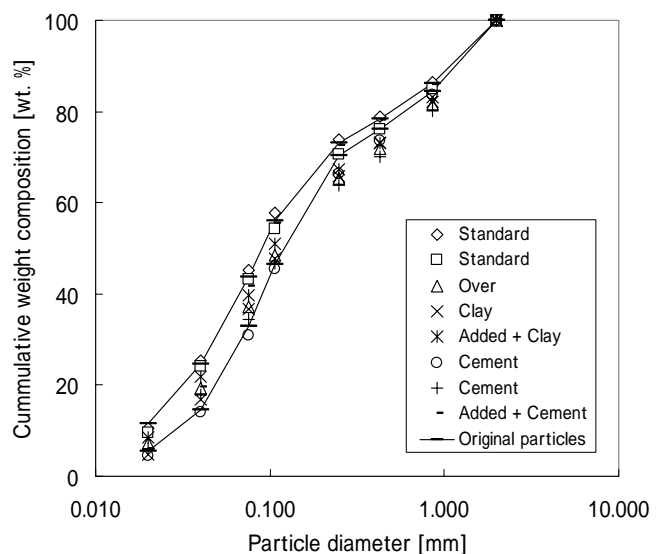


Fig.5 回収粒子/周辺粒子の粒径加積曲線

### 3.2.2 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<sub>4</sub><sup>+</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>だけでなく、K<sup>+</sup>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。

Table 3 回収粒子/周辺粒子/自然土のイオン分析結果

	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/100g]	K <sup>+</sup> [mg/100g]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/100g]
Standard	1.05	3.01	2.12
	1.08	3.00	2.61
Standard	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	1.34	1.16	2.32
	1.32	1.11	1.66
Cement	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	0.57	1.00	0.84
	0.61	1.31	0.81
Original particles	0.15	3.95	Undetected
	0.15	3.90	Undetected
Natural soil	1.68	9.70	5.29
	1.78	9.62	5.02
Natural soil	1.19	5.78	2.99
	1.29	6.06	4.32

### 3.2.3 実行プロセスの提案

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砕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。

## 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、破砕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、2mm 以下粒子の割合は低い。よって、クレーター内に 2mm 以下粒子層を残留させる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。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)