

野外爆発実験における爆風圧・クレーター径・爆煙形状と薬量・発破深度の関係

Field explosion experiment: change of overpressure, crater size and explosion column shape against explosion energy and depth

後藤 章夫[1], 大場 司[2], 吉田 真理夫[3], 西村 太志[4], 谷口 宏充[1], 火山爆発研究グループ 谷口 宏充

Akio Goto[1], Tsukasa Ohba[2], Mario Yoshida[3], Takeshi Nishimura[4], Hiromitsu Taniguchi[5], Research Group on Volcanic Explosion Taniguchi Hiromitsu

[1] 東北大・東北アジア研セ, [2] 東北大・理・地球物質, [3] ダイアコンサルタント, [4] 東北大・理・地球物理

[1] CNEAS, [2] Petrol, Min, and Econ. Geol, Tohoku Univ, [3] DIA CONSULTANTS CO., Ltd., [4] Geophysics, Science, Tohoku Univ., [5] CNEAS, Tohoku Univ

火山爆発で生じる衝撃波・噴煙・地震などの状態やエネルギー分配が何によって決定づけられるかを明らかにするため、96、98年に続いて野外爆発実験を行った。99年は爆速の遅い爆薬を使ったり爆薬を装填した孔を埋め戻さない発破も行い、以下の結果を得た。

1. 衝撃波へのエネルギー分配率はスケール化深度に対して指数関数的に減少する。爆速や発破孔埋め戻しの有無はあまり効かない。
2. スケール化クレーター径はスケール化深度 $0.6m/(kgTNT)^{1/3}$ 付近で最大となり、その前後では直線的に減少する。爆速や発破孔埋め戻しの有無はあまり効かない。
3. 火薬種が同じなら、発破孔埋め戻しの有無によらず爆煙形状はスケール化深度で決まる。

火山爆発に伴って生じる衝撃波・噴煙・地震などの状態、ひいてはそれらの間でのエネルギー分配が何によって決定づけられるかを明らかにするため、我々は北海道壮瞥町上久保内牧場において火山爆発を模擬した野外爆発実験を行ってきた。調査・観測項目は鉛板プラスチックとピエゾ圧力センサーを用いた爆風圧測定、可視及び熱赤外画像撮影、地震観測、放出物分布調査など多岐にわたる。96年の地表発破、98年の地表及び地中発破に対し、99年は地中発破を主とした上で爆速の遅い爆薬を使ったり爆薬を装填した孔を埋め戻さずに発破するなど、より火山爆発に近い状態での実験を行った。その結果98年までに得られた結果が再確認されるとともに、新たな知見が得られたので報告する。

99年実験では12発の発破が行われ、このうち地表発破は2発のみである。薬量はTNT換算で0.19~10.24kg、うち6発は1.92kgに統一した。爆薬は10発には2号榎ダイナマイトが用いられた。この爆薬は過去の実験で用いられた3号桐ダイナマイトとほぼ同じ特性を持つ。残りの2発には爆速が2号榎の1/10程度のガンサイザーを用いた。ただし1発は爆発がうまく起こらず有効なデータを得られなかった。

爆発現象では長さや時間を薬量（エネルギー量）の $1/3$ 乗で割ってスケール化すると相似則が成り立つことが知られているので、以下でもスケール化した値をおもに用いる。なお、 $1m/(kgTNT)^{1/3} = 0.006m/J^{1/3}$ である。

(1) 爆風エネルギー

地中発破で生じたのと同じ衝撃波圧を地表発破で生じさせるのに必要な薬量を求め、実際の薬量と比をとることで衝撃波へのエネルギー分配率を求めた。プラスチックの誤差が大きいためばらつきがあるものの、エネルギー分配率がスケール化深度に対して指数関数的に減少することがわかった。ガンサイザーもこの関係に従った。爆薬装填孔を埋め戻さなかった発破では高めの分配率が求められたが、ほかの発破における分配率のばらつきの範囲内に収まり、大局的には上記の関係に従う。

(2) クレーター径

スケール化クレーター径はスケール化深度 $0.6m/(kgTNT)^{1/3}$ 付近で最大となり、その値はおおよそ $2.2m/(kgTNT)^{1/3}$ である。その前後でスケール化クレーター径は直線的に減少し、地表発破ではおおよそ $0.5m/(kgTNT)^{1/3}$ 、またスケール化深度が $1.8m/(kgTNT)^{1/3}$ より大きくなるとクレーターは形成されない。

ガンサイザー発破で形成されたクレーター径もこの直線上に乗り、爆速の違いが影響していないことがわかる。また爆薬を装填した孔を埋め戻さなかった発破でも同様の結果が得られた。地表での爆発においてはその種類によらず形成されるクレーターのスケール化径が一定となることが知られている。今回の結果は、同様のことが地中での爆発についても成り立つことを示唆する。すなわち、クレーター径は爆発の種類にはよらずその深さとエネルギー量で決まると考えられる。

(3) 爆煙の形状

98年実験で示された、スケール化深度が同じならば爆煙の形状も同じになることが確認されるとともに、ス

ケール化深度に対して爆煙形状が規則的に変化する様子が観察された。すなわちスケール化深度の増加とともに爆煙の縦/横比は増加し、スケール化深度 $0.7\text{m}/(\text{kgTNT})^{1/3}$ 前後で最大となったのち減少に転ずる。後半の縦/横比減少はおもに噴出速度の上向き成分の減少による。爆薬装填孔を埋め戻さなかった発破では爆煙形成直前にガスジェット噴出が見られたが、爆煙形状は爆薬装填孔を埋め戻した場合とほぼ同じだった。

ガンサイザーによる爆煙形状は、同一スケール化深度 ($0.64\text{m}/(\text{kgTNT})^{1/3}$) での2号覆発破による形状と異なり、より浅い ($0.2\text{m}/(\text{kgTNT})^{1/3}$ 前後) 発破での形状に近かった。この原因は必ずしも明らかではないが、地震エネルギーが同一条件での2号覆発破と比べておよそ1/10程度と推定されていることから、爆煙に着目した場合薬量が増してスケール化深度が浅くなったのと同じ効果があったことも考えられる。この実験結果は、火山爆発における噴煙の形状が爆発深度だけでなくそのメカニズムにも依存することを示唆する。また衝撃波へのエネルギー分配率がさほど変わらないことと合わせて考えると、爆煙形成は爆発の一瞬で終わるのではなく、ある程度継続していたはずである。このことはビデオ画像からも直接確認される。火山爆発に続く火砕物放出は減圧発泡によるものと通常考えられているが、必ずしもそれを考える必要はないのかもしれない。