

静的破碎剤による岩石破壊の AE 測定

山口大学大学院	学生会員	○田口雅輝
山口大学大学院	学生会員	大坂直哉
山口大学工学部	正会員	石田 毅
(株)ロックス・ジャパン	正会員	福井久明
山口大学工学部	正会員	水田義明

1. はじめに

日本は狭い国土の約 7 割が山地であるため、道路や線路は山沿いに建設せざるを得ない場合が多数ある。そのため、地震等によって多くの岩盤斜面崩落事故が発生し、人々の生活に影響を与えてきた。岩盤崩落・落石事故を事前に予知し、被害を最小限にとどめるのが最善であるが、岩盤崩落・落石事故が発生した場合には落石を安全かつ速やかに除去し、出来るだけ人々の生活に影響を与えないことも重要である。落石を速やかに除去するには運搬可能な大きさに破碎する必要があるが、静的破碎剤による破碎が広く用いられている。静的破碎剤による破碎工法は、主成分である生石灰が水と反応し膨張することを利用したものである。

本研究では静的破碎剤による岩石破壊時の温度、膨張圧、AE 発生数の相互関係を検討する。

2. 実験方法

静的破碎剤はロットン 1020 を使用し、供試体は 1 辺 19.0cm の美祢大理石を用いた。直径 5.0cm、深さ 13.0cm のボーリング孔を削孔した。

まず、静的破碎剤をボーリング孔底面より 1cm 充填し、圧力計(直径 1.25cm)と熱電対(直径 0.32mm)をボーリング孔に挿入した。次に隙間に静的破碎剤を充填し水を加え、安全対策のためのアクリル製の防護箱とネットをかぶせた。ボーリング孔内の静的破碎剤の充填状態を図-1に示す。実験開始時刻は 2000 年 12 月 16 日午後 0 時 00 分、終了時刻は同日午後 0 時 30 分であり、気温 13.0℃、湿度 59%であった。またボーリング孔体積は 255.13cm³、圧力計体積は 14.72cm³、破碎剤充填体積は 240.41cm³であり、水の量は 136cc、破碎剤の充填量は 384g であったので、単位体積当たりの破碎剤量は 1.60g/cm³、水比は 35%となった。

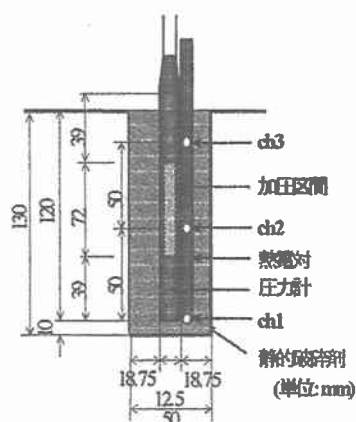


図-1 破碎剤充填方法

3. 実験結果と考察

3.1 実験状況

図-2に静的破碎剤をボーリング孔に充填する様子を示す。単位体積当たりの破碎剤量は 1.60g/cm³以下であると破碎剤がボーリング孔からバーンという音とともに爆発的に噴出する鉄砲現象が発生する可能性が高いとされている。鉄砲現象が発生すると人身事故に至ることがある。本実験では、1.60g/cm³であったので鉄砲現象が発生する可能性が考えられた。実験状況の経時変化を以下に示す。



図-2 実験作業の様子

実験開始 5 分で充填した静的破碎剤がボーリング孔から少し盛り上がり始めたが、勢いはなく AE は発生しなかった。実験開始 6 分後、1 つ目の AE が発生したが目立った供試体の変化を目視で確認できなかった。実験開始 9 分後、ボーリング孔から蒸気が発生し始め、静的破碎剤が次第に激しく反応していく様子を目視

で確認した。実験開始 10 分 37 秒後、バーンという音と共に鉄砲現象が発生した。AE は鉄砲現象直前に急激に多数発生し発生総数は 192 個となった。亀裂は鉄砲現象直後には確認できなかったが、数秒後に観察すると $Z=9.5\text{ cm}$ 付近で破壊されていた。発生した亀裂を図-3 の供試体展開図に示す。

3.2 考察

図-4 の AE と膨張圧の経時変化に着目する。経過時間 570s に注目すると膨張圧が急激に上昇すると同時に多数の AE が発生していることから、亀裂が生じ始めたと考えられる。また経過時間 600s から数秒間、膨張圧は上昇しているが AE が発生していない時間帯がある。このことより経過時間 600s までに小さな亀裂はすでに進展していたことが推測でき、経過時間 630s 付近で膨張圧が急激に低下していることから、この時間に鉄砲現象とともに供試体が破碎されたと考えられる。図-4 の膨張圧を見てみると経過時間 540s で一時的に上昇している。経過時間 540s で水蒸気が観測されたことにより、この現象は水蒸気圧によるものであると考えられる。

図-4 の温度と膨張圧の経時変化に着目する。図-1 に熱電対の配置を示したが、下から Ch1, Ch2, Ch3 である。膨張圧の低下より経過時間 630s で破碎されたことがわかるが、温度変化によっても確認できる。Ch2, Ch3 は経過時間 630s で温度が低下しているのは、Ch2, Ch3 が破碎により空気中に出現し、大気により冷却されたためであると考えられるからである。また、Ch1 が破碎されたと考えられる時間後も上昇しているのは、破碎剤が硬化し Ch1 が破碎剤の中に残ったためであると考えられる。

次に本実験では鉄砲現象が発生したため、鉄砲現象発生要因を考察した。本実験では単位体積当たりの破碎剤量は 1.60 g/cm^3 であった。従来の研究で単位体積当たりの破碎剤量が 1.60 g/cm^3 以下であると鉄砲現象が発生する可能性が高い指摘されていたが、指摘通りに鉄砲現象が発生した。単位体積当たりの破碎剤量が鉄砲現象の大きな要因であることは明らかだが、他の要因を考えてみた。予備実験を含め、供試体の高さ 19 cm に対し約 7 割、つまり深さ 13 cm のボーリング孔の場合に多数の鉄砲現象が起こっている。この中には単位体積当たりの破碎剤量が 1.70 g/cm^3 近くのものもあった。これらのことから、ボーリング孔が浅いと膨張力が供試体の高い位置にしか働かず、拘束力の無いボーリング孔の上面から一気に逃げることにより鉄砲現象が起こると考えられる。また、図-4 の経過時間 630s の温度に着目すると、Ch1, Ch2 には約 70°C もの温度差が生じている。この局所的な温度差が鉄砲現象のなんらかの要因になった可能性も考えられる。

4. おわりに

膨張圧の急激な上昇に伴い AE は発生し始め、温度は上昇し始める。この変化の後に破碎が起こり、同時に膨張圧・温度は低下し AE は発生しなくなることから、膨張圧、温度、AE 発生数を観測すれば亀裂の発生機構を詳しく解明できる可能性があることがわかった。今後、AE の震源決定などを行い、複数孔の破碎孔を用いた場合の亀裂進展メカニズムの研究などを進めていく予定である。

<参考文献> 1) 河野俊夫：非爆性破碎剤，Gypsum&Lime，No.176，pp.41～48，1982。

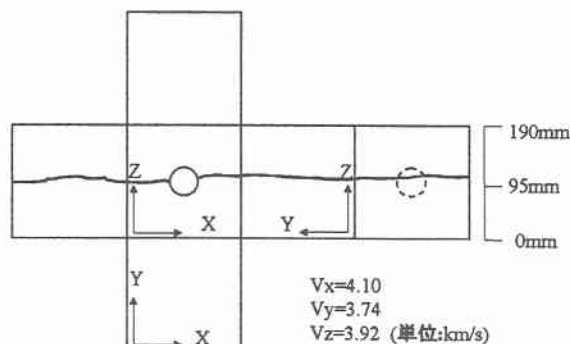


図-3 亀裂の展開図

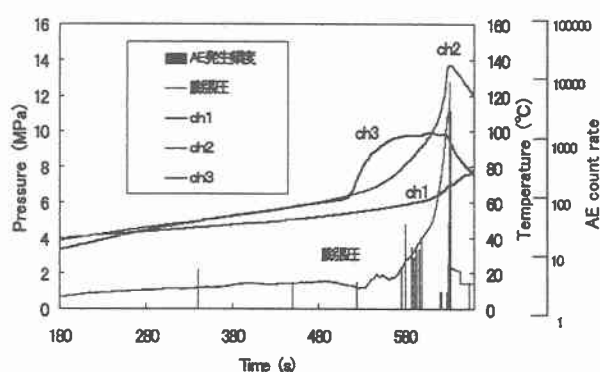


図-4 膨張圧・温度・AE 発生数の経時変化