

I はしがき

岩石は破壊以前でも荷重が加わるとわずかな変形を生じそのさい、ごく微弱な可聴限界の音を発生する。この音は岩石が破壊するまで続き、その発生頻度と大きさは徐々に増加して、ついには破壊にいたる。このような普通では聞きとれない音を増幅して、耳で聞きあるいは記録して観察し、破壊にいたる前徴を知ることができれば、岩石破壊による事故災害を未然に防止することが可能である。

このためサイズミトロン(スウェーデン・ナットエルクソン社製・MTC型)を用いて、某発電所の岩石試料について室内実験および現場実験を行ない、破壊音をオシログラフで記録して検討した結果室内、現場両実験において、波形、周期とも同種類のものであることがわかった。

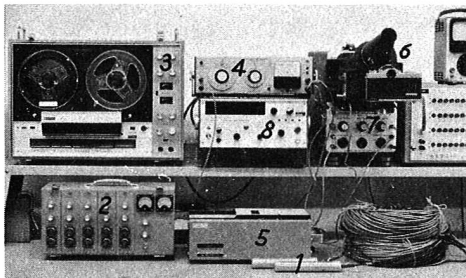
今回某トンネルが地すべり地を通過するよう計画されているので、切端の進行につれて旧地すべり地が滑動し、災害を発生するおそれがある。このため、地すべり発生前に地すべり地の挙動をとらえる必要があり、前記実験の結果からみて岩石の破壊音をキャッチすれば、岩石間のすべりを予知することが可能であると考えられる。このため、サイズミトロンを用いて破壊音を測定し、同時に他の地すべりの測定法を併用して破壊音と地すべりの関係を検射した。

II 岩石破壊音の特性

岩石の破壊音の波形、周期、振幅、音数などについて、室内および現場実験を行ない、破壊音の特性を検討した。

(1) 室内実験

試料は某発電所地点の粘板岩で片理の多いものである。表-1のように成形し、A、Bに分類した。Aは黒色の新鮮なもので、A-1とA-3は片理の縦目のもの、A-2は横目のものである。Bは茶かつ色のやや風化したもので、B-1とB-3は片理縦目、B-2は横目のものである。これらに圧縮荷重を加え、荷重、破壊音、周波数の関係について測定を行なった。



1. ジオホン
2. 4チャンネルサイズミトロンアンプ
3. 4チャンネルレコーダー
4. オクターブフィルタ
5. 6チャンネルポータブルビュグラフ
6. 波形撮影装置
7. オシロスコープ
8. デジタルマルチメーター

写真-1 サイズミトロン(岩石破壊音測定装置)

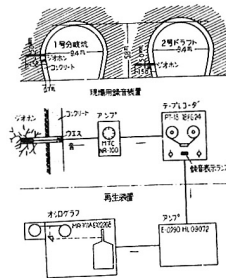


図-1 実験装置図

表-1 実験試料の圧縮試験

試料番号	岩石名	P(kg)	A(cm ²)	上面面積 (cm ²)		高さ (cm)	P/A (kg/cm ²)
				横の長さ (cm)	縦の長さ (cm)		
A-1	粘板岩	7,400	28.64	29.78	27.50	10.01	260
	片理縦			5.41	5.36		
	粘板岩			5.43	5.13		
A-2	片理縦	17,350	26.62	25.20	27.02	8.29	652
	粘板岩			5.17	5.81		
	片理縦			5.06	5.09		
A-3	粘板岩	8,100	25.15	25.30	24.68	10.33	322
	片理縦			4.91	4.93		
	粘板岩			5.21	5.01		
B-1	片理縦	2,400	25.55	26.35	24.80	10.27	94
	粘板岩			5.18	4.92		
	片理縦			5.08	5.04		
B-2	粘板岩	8,100	25.00	26.00	24.00	10.19	319
	片理縦			5.06	4.63		
	粘板岩			5.13	5.18		
B-3	片理縦	2,250	25.00	24.30	25.70	10.27	90
	粘板岩			4.87	5.05		
	片理縦			4.99	5.09		

一各荷重間の破壊音数—

図-2～7は、試料に定速度で荷重を加えた場合の各荷重間の破壊音発生状態を示したもので、荷重は試料の破壊荷重に対するパーセンテージであらわした。これらの結果から、いずれの場合も破壊音は、荷重とともに増していき、荷重の70～90%付近で急激に上昇し、破壊点にいたっている。また、片理横目の試料A-2およびB-2は、70～90%にいたる間の破壊音が少なく、破壊点付近で大きい破壊音とともに急に破壊している。これは片理の関係で、片理に垂直方向に圧縮したもので、破壊荷重寸前から急激に破壊音が多くなるものと思われる。また荷重の加えはじめに、音の数が多いのが見られるが、これは試料と荷重装置との接触のなじむ音と考えられる。破壊音の発生開始は試料A-1、A-3、B-1、B-3とも破壊荷重の30～40%付近で始まり、A-2およびB-2は75%付近で始まる。

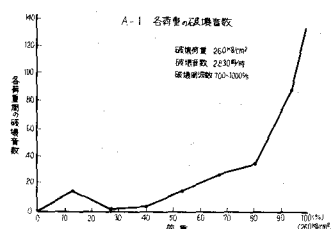


図-2 A-1 各荷重間の破壊音数

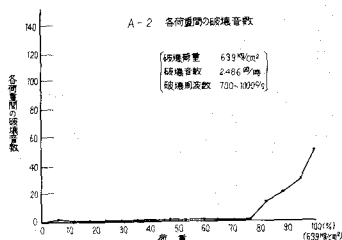


図-3 A-2 各荷重間の破壊音数

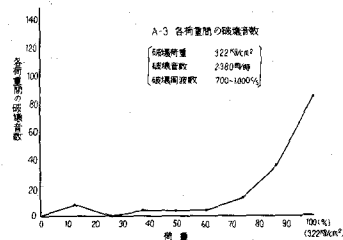


図-4 A-3 各荷重間の破壊音数

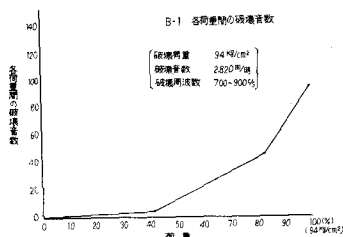


図-5 B-1 各荷重間の破壊音数

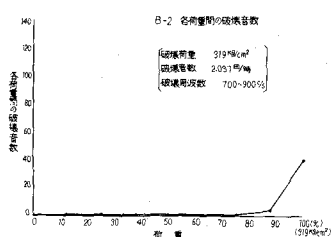


図-6 B-2 各荷重間の破壊音数

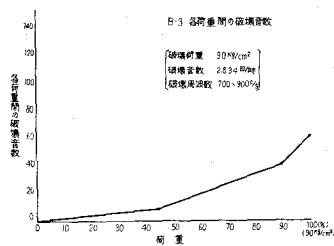


図-7 B-3 各荷重間の破壊音数

(2) 現場実験

某発電所において、坑道壁に測定孔を掘さくし、この孔中にジオフォンを挿入し、騒音を除去するため作業停止時に測定を行なった。

すなわち、測定地点に長さ1.5 m 径50 mmの測定孔を設け、ジオフォンのキャッチする破壊音をテープに収録し、これをオンログラフで再生し、その波形とテープの破壊音が時間的に一致した点を読み取り、破壊音数とした。この場合オンログラフのプロマイド送り速度とテープレコーダーの回転速度と同調するようにし、読み取り用刻時を周波数発振器から1秒毎にプロマイドに記録するようにした。

破壊音の周波数および波形解析の場合は、オンログラフのプロマイド送り速度を毎秒1 mとし、周波数発振器から1/1000秒の刻時をプロマイドに入れて再生した。測定地点付近は落盤の直後で、付近の岩盤内部が不安定なために破壊音数が大きいものとみられる。スエーデンで測定した例では表-2のように2,160～2,500回/時のところで岩石ブロックが破壊落下している。

0～10回/時位のときは岩盤は正常状態であるが、30回/時では正常状態より多くなり、1,000回/時以上になると破壊の危険があるといわれている。

現場実験結果では700～1,000回/時の破壊音が220～230回/時であり、正常状態より多いことがわかる。

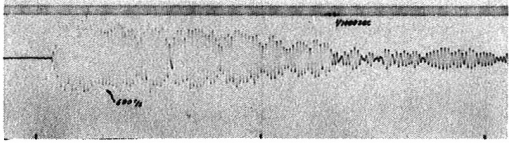


図-8 ハンマーによる鉄管打撃音

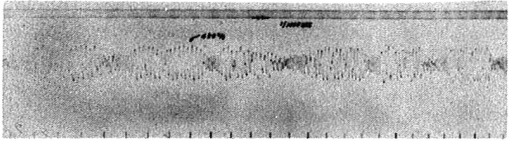


図-9 サク岩機の掘削音

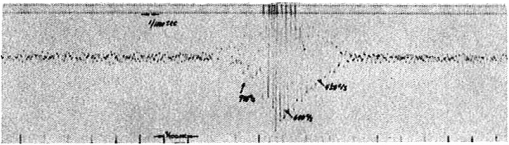


図-10 岩石の破壊音

表-2 事故発生前後の破壊音数

月 日	平均2時間観測による 1時間当りの破壊音数	摘 要
7月12日	10	正常の活動状況
13	120	
18	420	
19	600	31ブロック落下
20	2,640	
21	2,160	
22	2,500	
23	120	
24	180	200tの岩が落下
25	2,760	
26	2,040	
27	1,920	
28	540	
29	2,160	岩状態は再び安定す
30	2,640	
31	900	
8月1日	360	岩状態は再び安定す
2	240	
9	30	

図-8, 9, 10, は破壊音解析の資料として測定孔付近の騒音を記録したものである。

- 図-8 ハンマーによる鉄管打撃音 約600回/時
- 図-9 サク岩機の掘削音 約450回/時
- 図-10 岩石破壊音 700～1,000回/時

図にみられるとおり、各波形ならびに周波数はそれぞれ異なったものであり、破壊音と騒音との区別が容易である。

Ⅲ 地すべり地の破壊音測定

某トンネルが地すべり地を通過するよう計画されているので、切端の進行によって、旧地すべり地が滑動を生じ、災害を発生するおそれがある。このため地すべり発生前に地すべり地の挙動をとらえて未然に滑動を防止する必要がある。岩石間のすべりによる破壊音をキャッチできれば、地すべりを予知することが可能である。このためサイズミトロンを用いて、岩石の破壊音を測定するとともにその正確性を裏付けるためには、他の測定方法を併用した。

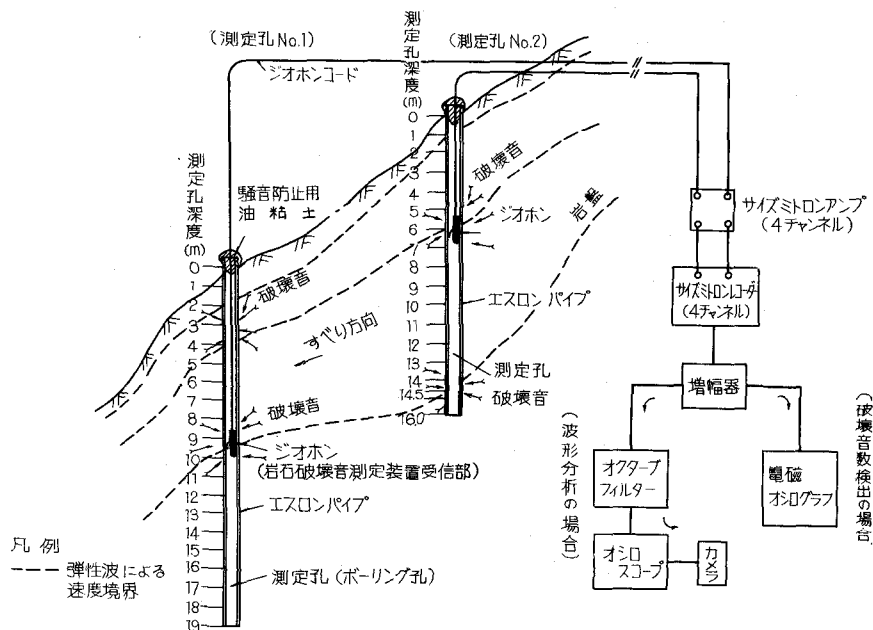
すなわち、ボーリングによるコアの判定、弾性波探査による速度層の判定、パイプひずみ計によるひずみの測定、水管式傾斜計による傾斜の測定などを行なった。

パイプひずみ計による測定結果では、ボーリング孔No1において4mおよび10m付近でひずみがそれぞれ約 1.100×10^{-6} および約 600×10^{-6} であり、他の点より非常に大きくなっている。また、ボーリング孔No2においては4mおよび14m付近において、ひずみがそれぞれ約 1.300×10^{-6} および 1.500×10^{-6} であり、他の点より非常に大きい。

弾性波探査による速度層の分布をみると速度層の境界付近で、パイプひずみ計によるひずみが大きくでている。すなわち、ひずみの大きい点、速度層の境界および破壊音の多く発生する点とではほぼ一致している。

ボーリング孔中にパイプひずみ計を設置した当初は、パイプひずみ計にはひずみは殆んどあらわれないが、サイズミトロンには岩石破壊音の多く発生する点がキャッチされた。この岩石破壊音の大きい点においては、約1年経過後 $\phi 40$ のエスロンパイプが屈曲し、測定用プローブ($\phi 30$, $l=17$)が屈曲部に接触し、挿入および引上げが困難となっている。

地表においては水管式傾斜計、伸縮計を設置して地表の挙動を調べたが、傾斜計で $20''$ /日、伸縮計では 0.5 /日程度の変化がみられた。



図一 1 1 地すべり地の岩石破壊音測定装置図

IV むすび

岩石の破壊音について室内および現場実験を行ない、測定記録を解析し、破壊音の周波数、波形、音質について検討した。この結果、岩石間のすべりによる破壊音をとらえることができれば、地すべりの予知ができるものと考え、これと同時に他の測定法を併用して地すべり面の判定の裏付とした。このため、ひずみの大きい点、弾性波の速度層の境界、破壊音の多く発生する点とはほぼ一致しており、またボーリング孔にパイプひずみ計を設置した当初は、ひずみはあらわれないが、サイズミトロンによれば、当初から破壊音がキャッチされた。この観点から岩石破壊音による地すべりの予知が可能である。

A METHOD OF LANDSLIDE PREDICTION
BY MEANS OF COUNTING ROCK CRUSHING SOUNDS

Takemi Shibuya

Hakaru Tamura

Nobuyuki Okabayashi

Kajima Construction Co., Ltd.

SYNOPSIS

A series of experiments to count rock crushing sounds by means of a Microseis-counter and investigate the adaptability of this method for the purpose of predicting landslides was conducted by authors at an old landslide area along the Kubiki Tunnel. To evaluate results of reading by a Microseis-counter, the investigation of sample cores collected by boring, sounding of seismic velocity layers in the ground by the elastic-wave prospecting and measuring of ground strain by means of strain-gauge pipes were carried out in parallel.

The results indicate that predominant peaks in the number of rock crushing sounds coincide with changes in the seismic velocity layers and occurrence of predominant ground strain.

Thus, it is verified that the sliding plane in a ground could reasonably be judged by counting rock crushing sounds.