さく岩抵抗に関する研究*

(第 2 報)

正 会 員 厚 母 庸 二**

Studies on Resistance in Rock Drilling (Report 2)

Yoji ATSUMO

3. さく岩抵抗

3・1 剛度の意義とさく岩抵抗

岩石剛度試験器を用いて測定した剛度は、緒論において述べた如く、岩石の硬さ、脆性及び靱性等も加味したいわゆる各種要素の総和をもつて現わされた数値で、さく岩機による穿孔と、その機構は全く同一であり、さく岩抵抗の標準測定法として適用しうると考えていた。この点に関しては鈴木博士もこれを实际的に使用して、充分価値あることを認めてすでに発表されている。

では、さく岩抵抗とは何であるか、これに対して小坂博士は、「さく岩抵抗とはその字義よりするも、さく岩せんとするに対する岩石の抵抗なる故、これはさく岩速度の大小をもつて表わさるべきものであつて、さく岩抵抗とは岩石のさく岩に対する難易を意味すべき概念的意味をもつて呼ばれるを妥当とす(原文のまま)」と述べている。

さらに、さく岩抵抗に関連ある既往の研究には、昭和7年鈴木博士は普通のさく岩機を使用して、さく岩試験を行つた結果、岩石の硬軟に応じて、さく岩機もまた重量型、軽量型をそれぞれ選択使用すべきであると述べており、これは運動量が掘進に影響することを示すものではないかと思う。

また穿孔速度はたとえ打撃数を増し、使用馬力大であっても、さらに打撃力にある程度の強さを与えなければ、掘進が速かでない事を認めているが、しかしこれらの関連を数値的に、また正確に論じたものではない。

さらに打撃力はピストン、ハンマーを一定にすれば、ピストン、ハンマーの速度の2乗に比例すると述べており、これによつても運動量の重要性が認められる。

次に昭和10年小坂博士は⁴⁾ 裂砕試験装置(剛度試験器を改良しているが、根本的には大差ない)及び自由落下式さく孔実験装置を用いて、岩石の硬度の裂砕に及ぼす影響試験を行い、岩石の硬度(ショアー)の裂砕に抵抗

する性質とは別個のもので両者の間に一定の関係がないと述べているが、これは孔隙を無視した考え方と思う。

また緑粉の細度と最大穿孔速度との関係において、穿孔速度を増大するに従つて緑粉の粒度が漸次大となることも認めているが、この詳細については研究されていない。

また最近に至り Mather⁵⁾ は次のようなことを発表している。さく孔に対する研究文献は、多数発表されているが、いずれもその結果は矛盾している。この主因は、岩石と穿孔材料との間に硬度の要素に関して、明確な定義がないためで、これらの問題を解明するには、岩石の物理的性質に関し、完全なる資料をまとめる必要があると述べており、さらに岩石の硬度について、次の3通りを考えている。

- 1) 磨耗硬度 (モース硬度)
- 2) 打撃硬度 (押込硬度)
- 3) 圧縮硬度

この中打撃硬度は、衝撃穿孔を行う場合に、もつとも重要な硬度であると述べている。そして押込み試験に現われる数値と、モース硬度及び磨耗試験による結果を比較して、この間に矛盾を認め、さらに打撃硬度を測定する際には、材料(タガネ)の弾性及び引張強さが、極めて重要な要素となることを認めている。現在衝撃または押込み硬さ試験によつて示されている数値は、衝撃器具による浸透の難易を現しているが、これがまた大なる問題の存する点である。

要するに、岩石の弾性、引張り強さ及び圧縮強度等が打撃に対する抵抗を支配する大なる要因と考えている。

以上 Mather が述べているように、さく岩抵抗すなわち穿孔に関しては、今後研究すべき問題が幾多残されているが、未だ適確なる結論を与えられたものはほとんどない。

筆者は20数年前、すでに研究した剛度についても内容的に検討する必要を感じ、さらにさく岩抵抗を仕事減から考察して、鈴木・小坂両博士の研究で残された運動量及び孔隙についても検討を試みた。すなわちこれらの

* 昭和29年5月16日受理

** 工博 日本鉱業株式会社 常務取締役

問題を単純化して、掘進に及ぼすシヨアー硬度、圧縮強度及び孔隙の影響を究明すると共に、質量と速度から合せ考えた運動量の観点から、剛度試験の如く、運動量の小なる場合を、さく岩機のように運動量の極めて大なる場合に、その儘適用して差支えなきや否やも併せ検討した。

3・2 試験に供した岩石の採取箇所と

その種類及び性質

本山及び青木葉坑の硬軟種々の岩石について、さく岩機試験を行い、その時発生する粉碎産物及び穿孔の周辺より、さらに実験用岩石試料を採取して、それぞれ実験に供した。

同一切羽において、適当の間隔をおき4箇所宛、計五つの切羽より採取した試料で、その他は剛度試験を行った当時の試料より適当に撰択追加したものである。これら試料の整理番号と採取箇所との関係を示せば第8表の如くなる。

第8表 試料採取箇所及び岩石の種類

No	試料採取箇所	岩石の種類
1~4	本山, 下60尺, 金盛上盤	緻密凝灰岩質砂岩
5~8	本山, 逢盛新二号支脈	粗粒凝灰岩質砂岩
9~12	本山, 三中, 逢盛中段, 逢盛新五号南	
13~16	本山, 三盛坑, 第一堅坑入口	
17~20	青木葉, 頂盛七号, 第二十字	珪化石英粗面岩
21~27	本山	凝灰石
28~30	青木葉	石英粗面岩

供試岩石の種類は試料採取箇所表に記入してある如く、緻密凝灰岩質砂岩、粗粒凝灰岩質砂岩、石英粗面岩及び珪化石英粗面岩の4種類で、これら岩石の一般的性質は次の如くである。

(1) 緻密凝灰岩質砂岩

細粒均一で、熱水変質による影響のため、灰色乃至青灰色の艶のあるやわらかい感じの岩石となつてゐる。一般に層理明瞭でなく、時に木葉の化石を含んでいる。

(2) 粗粒凝灰岩質砂岩

砂岩の粗粒となつたもので、角礫岩の黒色頁岩質岩片を含まないものを便宜上分類したものである。前記砂岩の漸移的なものである。

(3) 石英粗面岩

頁岩及び砂岩の互層を岩脈状に貫く石英斑岩様石英粗面岩で、淡青灰色を呈し、緻密質にして石英斑晶が多い。

(4) 珪化石英粗面岩

淡褐色を呈し、やや不均一な岩石で石英斑晶が多い。空隙にはこの地域一般の岩石に特有の菱形状を認む。

3・3 珪酸含有量、顕微鏡組織、シヨアー硬度

圧縮強度、剛度及び比重と孔隙

(a) 珪酸含有量

整理 No. 1~20 までの試料は、ストーパーによる穿孔を行った際発生した岩粉の平均試料より、その他の試料は圧縮強度を測定した後の破砕片中より、それぞれ適量を採取して、これを -200mesh に乾式粉碎の後、1.0 g を精秤、王水処理及びアルカリ処理を併用して、重量法により検定した。その結果は第12表の如くである。

本試料の特質として、珪酸含有量は非常に高く、大部分は 85%±3% の範囲にあるが、中には更に 90% 以上を示すものも 2~3 個見受けられる。

(b) 顕微鏡組織

整理 No. 1~20 までの試料は所定箇所のストーパー試験を行った穿孔附近より、又その他は圧縮強度を測定した後の試料よりそれぞれ採取して、薄片を作製、詳細に組織の検鏡を行った後、更にその顕微鏡写真を撮影した。ここにはこれを省略す。

(c) シヨアー硬度

剛度測定を終つた試料は、蛇の目型の中心を基準として、25mm 角の頂点及び中心の5点につき、それぞれの頂点及び中心を挟んで、その周囲 5mm 毎に4カ所計20カ所につき、硬度を測定し、その平均値をもとめて、試料のシヨアー硬度とした。

測定結果は第12表の如くである。

なお使用したシヨアー硬度計は下記のもので、試験片により検度して使用した。

反撥式硬度計

型 式 シヨアー硬度計

製 造 者 東京衡機製作所

測定範囲 0~140

測定結果は、同一切羽においても僅かの距離の差によつて、No. 1~4 の如く、非常に差を生ずるところもあり、又 No. 9~12 のごとく、比較的接近した結果を表わす切羽もある。No. 21 以下は個々それぞれが別々の箇所より採取された試料のため、No. 1~No. 20 の様な比較は不可能である。

(d) 圧縮強度

剛度及びシヨアー硬度を測定した試料は、最高荷重 60 t のアムスラー試験機によつて、圧縮試験を行い、破壊強度を測定した。

応力の算出に当つては、供試体の厚さは均一であるが、周辺部は多少の凹凸あり、また各試料毎に横及び縦の寸法を若干異にするので、試料の重量 Wg 、試料の見掛比重 ρ 、試料の厚さ hcm をそれぞれ基準として、次の式により試料の断面積 Acm^2 を算出した。

$$A = \frac{V_1}{h} = \frac{W_1}{h\rho} cm^2$$

V_1 は試料の容積である。

第9表 アムスラーテスターによる圧縮破壊強度

No	W_1 g	h cm	V_1 cc	ρ	A cm ²	P t	P t/cm ²
1	80.58	1.90	36.14	2.27	19.00	25.0	1.32
2	110.38	2.10	45.70	2.38	21.80	36.4	1.67
3	106.58	2.20	47.58	2.39	21.60	18.6	0.86
4	128.42	2.10	50.96	2.52	24.30	55.0	0.70
5	94.75	1.80	37.29	2.59	20.70	33.6	1.62
6	120.62	2.30	46.46	2.48	21.10	49.5	2.46
7	118.69	2.20	45.30	2.19	20.60	40.2	1.95
8	75.82	1.70	32.67	2.42	19.10	24.7	1.29
9	103.23	2.00	43.20	2.42	21.60	36.6	1.69
10	95.78	2.10	38.94	2.29	18.50	37.0	2.00
11	90.53	2.00	38.40	2.53	19.20	50.8	2.65
12	88.93	2.00	37.34	2.44	18.70	34.0	1.82
13	99.99	2.20	41.15	2.41	18.70	26.0	1.39
14	112.09	2.30	45.30	2.62	19.70	21.7	1.10
15	133.88	2.30	54.00	2.49	23.50	42.0	1.79
16	121.44	2.30	50.30	2.52	21.90	20.1	0.92
17	110.88	1.80	47.10	2.29	26.20	54.4	2.08
18	129.60	2.40	55.62	2.34	23.20	33.9	1.46
19	104.18	2.90	53.00	2.32	18.30	32.8	1.79
20	85.46	2.00	37.00	2.46	18.50	36.8	1.99
21	92.92	2.05	38.08	2.44	18.58	20.9	1.13
22	77.42	2.04	30.72	2.52	15.06	29.9	1.99
23	91.54	2.33	36.91	2.48	15.84	23.9	1.51
24	77.05	2.05	31.07	2.48	15.16	34.0	2.24
25	53.55	1.88	22.50	2.38	11.97	7.3	0.61
26	99.51	2.08	40.78	2.44	19.61	25.0	1.27
27	95.36	2.13	38.14	2.50	17.91	10.8	0.60
28	92.20	2.21	37.20	2.48	16.83	14.7	0.87
29	95.65	2.20	37.50	2.54	17.05	28.0	1.64
30	96.39	2.00	38.25	2.52	19.13	37.1	1.94

第10表 剛度測定結果

No	衝撃前 重 W_2 g	衝撃後 重 W_3 g	差引重量 $W_4 = W_2 - W_3$.g	直径 D cm	補正 係数 d	補正済 減重量 $W_5 = \alpha W_4$	岩石 見掛 比重 ρ	減体積 V_2 cc	剛度 G
1	80.87	80.58	0.29	1.90	1.0714	0.31	2.27	0.1357	8.5
2	110.52	110.38	0.14	1.80	1.1538	0.16	2.38	0.0685	9.2
3	106.88	106.58	0.30	1.95	1.0345	0.31	2.39	0.1367	8.5
4	128.58	128.42	0.16	1.90	1.0714	0.17	2.52	0.0683	9.2
5	94.84	94.75	0.09	1.90	1.0714	0.10	2.59	0.0371	9.6
6	120.65	120.62	0.03	1.70	1.2000	0.04	2.48	0.0151	9.8
7	118.86	118.69	0.17	1.85	1.1111	0.19	2.19	0.0839	9.1
8	75.96	75.82	0.14	1.80	1.1538	0.16	2.42	0.0679	9.1
9	103.31	103.23	0.08	1.85	1.1111	0.09	2.42	0.0392	9.6
10	95.88	95.78	0.10	1.85	1.1111	0.11	2.29	0.0379	9.6
11	90.65	90.53	0.12	1.85	1.1111	0.13	2.53	0.0516	9.4
12	89.03	88.93	0.10	1.80	1.1538	0.12	2.44	0.0480	9.5
13	100.12	99.99	0.13	1.85	1.1111	0.14	2.41	0.0581	9.4
14	112.21	112.09	0.12	1.90	1.0714	0.13	2.62	0.0499	9.4
15	133.97	133.88	0.09	1.80	1.1538	0.10	2.49	0.0383	9.6
16	121.61	121.44	0.17	1.85	1.1111	0.19	2.52	0.0730	9.2
17	111.00	110.88	0.12	1.75	1.2000	0.14	2.29	0.0580	9.4
18	130.00	129.60	0.40	1.85	1.1111	0.44	2.34	0.1910	7.9
19	104.33	104.18	0.15	1.80	1.1538	0.17	2.32	0.0792	9.1
20	85.55	85.46	0.09	1.80	1.1538	0.10	2.46	0.0419	9.5
21	93.08	92.92	0.16	2.00	1.0000	0.16	2.44	0.0652	9.3
22	77.55	77.42	0.13	1.90	1.0714	0.14	2.52	0.0583	9.4
23	91.67	91.54	0.13	1.95	1.0345	0.13	2.48	0.0521	9.4
24	77.17	77.05	0.12	1.90	1.0714	0.13	2.48	0.0510	9.4
25	54.07	53.55	0.52	1.90	1.0714	0.56	2.38	0.2341	7.3
26	99.63	99.51	0.12	1.90	1.0714	0.13	2.44	0.0534	9.4
27	95.72	95.36	0.36	1.95	1.0345	0.37	2.50	0.1494	8.3
28	92.42	92.20	0.22	1.95	1.0345	0.23	2.48	0.0909	9.0
29	95.76	95.65	0.11	1.90	1.0714	0.12	2.54	0.0456	9.5
30	96.52	96.39	0.13	1.90	1.0714	0.14	2.52	0.0555	9.4

しかる時は試料の破壊総荷重を P t とすれば、応力 P t/cm² は次式により与えられる。

$$P = \frac{P}{A} \text{ t/cm}^2$$

上記方法によつて測定した結果は第9表の如くである。アムスラーテスターによる圧縮強度は、30個の試料中 1t/cm² 以下の特に低いものは、No. 3, 4, 16, 25, 27, 28の6個であり、また 2t/cm² 以上のものは、No. 6, 11, 17, 24の4個で、計10個を差引いた残りの20個は、1.5t/cm² ± 0.5t/cm² の範囲にある。本測定結果も、シヨアー硬度と同様、同一切羽においてもなお、相当の差を示している。

(e) 剛 度

No. 1~20までの試料は、所定箇所のストッパーテストの Bore Hole 周辺より、採取した岩石を研磨整型したもので、その他の試料はかつて剛度試験器を使用、試験した当時の保管試料中より、適當のものを撰択して用いた。

剛度の測定方法は、2・4に述べた方法に準じて行い、その結果は第10表の通りである。

測定結果中、剛度 9 以下は No. 1, 3, 18, 25, 27 の 5 個で、そのうち No. 18 及び No. 25 は特に低い。又特に高い 9.6 以上を示すものは、No. 5, 6, 9, 10, 15 の 5 個でその他のものはおおむね 9~9.5 の範囲にある。剛度は、Shore

第11表 比重と孔隙

No	真比重 ρ'	見掛 比重 ρ	孔 隙 $V_0(\%)$	No	真比重 ρ'	見掛 比重 ρ	孔 隙 $V_0(\%)$
1	2.62	2.27	13.42	16	2.67	2.52	5.69
2	2.64	2.38	9.89	17	2.63	2.29	12.96
3	2.62	2.39	8.79	18	2.61	2.34	10.46
4	2.64	2.52	4.53	19	2.63	2.32	11.99
5	2.64	2.59	2.04	20	2.64	2.46	6.55
6	2.61	2.48	4.97	21	2.59	2.44	5.68
7	2.65	2.19	17.19	22	2.58	2.52	2.33
8	2.64	2.42	8.38	23	2.59	2.48	4.25
9	2.66	2.42	8.91	24	2.55	2.48	2.67
10	2.62	2.29	12.24	25	2.58	2.38	7.89
11	2.64	2.53	4.08	26	2.59	2.44	5.83
12	2.62	2.44	6.98	27	2.59	2.50	3.62
13	2.62	2.41	7.85	28	2.59	2.48	4.28
14	2.66	2.62	1.39	29	2.58	2.54	1.73
15	2.65	2.49	6.17	30	2.58	2.52	2.21

硬度及び圧縮強度の結果とやや異なり、同一切羽の結果は、比較的接近した数値をあらわしている。

(f) 試料の比重と孔隙

塊状試料の比重（見掛比重）は、流動パラフィン中で懸垂法により測定し、粉末試料の比重（真比重）は、塊状試料をさら 270mesh 以下となる様に、磁製乳鉢を用いて、粉碎した後、比重瓶を用いて測定した。

孔隙は上記見掛比重及び真比重を基数として、次式に

第12表 試験に供した岩石の諸性質一覧表

No	試料採取箇所	珪酸含有量 %	肖硬度平均 Hs	ラムスターによる 圧縮強度 P t/cm ²	剛度試験器による 減体積 V ₂ cc	剛度 G	見掛比重 ρ	真比重 ρ'	孔隙 V ₀ %
1	本山下60尺金盛上盤	82.60	22.6	1.32	0.1357	8.5	2.27	2.62	13.42
2	〃	83.28	66.0	1.67	0.0685	9.2	2.38	2.64	9.89
3	〃	83.02	22.5	0.86	0.1367	8.5	2.39	2.62	8.79
4	〃	82.08	59.7	0.70	0.0683	9.2	2.52	2.64	4.53
5	本山逢盛新二号支脈	86.38	65.2	1.62	0.0371	9.6	2.59	2.64	2.04
6	〃	82.60	82.0	2.46	0.0151	9.8	2.48	2.61	4.97
7	〃	83.82	65.0	1.95	0.0839	9.1	2.19	2.65	17.19
8	〃	86.36	40.0	1.29	0.0679	9.1	2.42	2.64	8.38
9	本山三中途盛中段逢盛新 5号南	84.50	72.0	1.69	0.0392	9.6	2.42	2.66	8.91
10	〃	85.16	70.5	2.00	0.0379	9.6	2.29	2.62	12.24
11	〃	85.84	68.0	2.65	0.0516	9.4	2.53	2.64	4.08
12	〃	84.00	58.0	1.82	0.0480	9.5	2.44	2.62	6.98
13	本山三盛坑第1堅坑入口	83.30	65.7	1.39	0.0581	9.4	2.41	2.62	7.85
14	〃	84.82	62.0	1.10	0.0499	9.4	2.62	2.66	1.39
15	〃	84.22	70.0	1.79	0.0383	9.6	2.49	2.65	6.17
16	〃	84.96	55.0	0.92	0.0730	9.2	2.52	2.67	5.69
17	青木葉頂盛7号第20字	87.50	64.0	2.08	0.0530	9.4	2.29	2.63	12.96
18	〃	87.42	51.0	1.46	0.1910	7.9	2.34	2.61	10.46
19	〃	88.20	67.0	1.79	0.0792	9.1	2.32	2.63	11.99
20	〃	87.22	55.0	1.99	0.0419	9.5	2.46	2.64	6.55
21	本山	85.62	42.6	1.13	0.0652	9.3	2.44	2.59	5.68
22	〃	91.76	64.0	1.99	0.0583	9.4	2.52	2.58	2.33
23	〃	90.84	53.6	1.51	0.0521	9.4	2.48	2.59	4.25
24	〃	85.78	49.2	2.24	0.0510	9.4	2.48	2.55	2.67
25	〃	86.92	17.3	0.61	0.2341	7.3	2.38	2.58	7.89
26	〃	82.80	61.6	1.27	0.0534	9.4	2.44	2.59	5.83
27	〃	84.72	31.3	0.60	0.1494	8.3	2.50	2.59	3.63
28	青木葉	85.48	34.3	0.87	0.0909	9.0	2.48	2.59	4.28
29	〃	84.48	44.6	1.64	0.0456	9.5	2.54	2.58	1.73
30	〃	90.34	53.6	1.94	0.0555	9.4	2.52	2.58	2.21

第13表 さく岩機による穿孔試験結果

No	穿孔時間 t _D sec	使用圧縮空気圧 P ₁ lb/□	使用圧縮空気圧 P ₂ lb/□	使用中 P ₂ kg/cm ²	孔深 l cm	孔の直径 d cm	圧縮空気 量 Q ft ³ /min in free air	穿孔容積 v ₀ c.c.	穿孔速度 v ₁ cm/min	穿孔速度 v ₂ cc/sec	粉碎産物量 W ₁ g	粉含水 分量 c %	岩粉発生量 W ₂ g/min	ビット(直径) g ₁ %	ビット(高さ) h ₁ %
1	30	90	70	4.9	12.0	4.5	86	191	24.0	6.4	836	—	1,672	0.11	0.14
2	30	78	60	4.2	12.9	4.6	71	214	25.8	7.1	495	5.7	991	0.55	5.52
3	30	92	70	4.9	10.5	4.5	84	166	21.0	5.5	386	4.4	772	1.30	0
4	30	92	69	4.9	7.4	4.5	90	117	14.8	3.9	309	1.3	618	0.94	0.18
5	120	80	72	5.1	2.6	4.4	81	39	1.3	0.3	101	1.0	505	3.05	2.05
6	120	75	68	4.8	10.1	4.4	76	150	5.1	1.2	540	1.1	270	1.80	1.82
7	120	92	85	6.0	33.4	4.5	94	528	16.7	4.4	858	1.6	429	13.00	2.25
8	60	89	81	5.7	16.0	4.5	94	253	16.0	4.2	642	1.6	642	1.40	0.49
9	30	77	70	4.9	8.4	4.4	75	124	16.8	4.1	319	1.3	638	1.05	0.57
10	30	72	66	4.6	5.4	4.5	67	85	10.8	2.8	224	4.9	448	0.95	0.43
11	60	73	68	4.8	8.2	4.5	73	130	8.2	2.2	285	2.1	285	1.50	1.36
12	30	80	67	4.7	10.4	4.6	72	136	20.8	4.5	328	4.8	656	0.26	0
13	30	80	67	4.7	10.4	4.6	79	173	20.8	5.8	387	4.7	774	1.00	0.62
14	30	84	71	5.0	7.5	4.6	82	125	15.0	4.2	314	2.2	628	1.72	0.85
15	30	88	74	5.2	7.8	4.5	84	122	15.6	4.1	280	2.5	560	1.34	0.81
16	30	89	74	5.2	10.2	4.5	84	161	20.4	5.4	402	2.4	804	1.06	0.80
17	60	84	77	5.4	20.0	4.4	94	302	20.0	5.1	729	3.9	729	0.95	0.97
18	60	84	77	5.4	15.0	4.6	94	238	15.0	4.0	590	6.6	590	1.44	0.79
19	60	84	78	5.5	11.3	4.7	95	196	11.3	3.3	450	2.6	450	1.33	0.86
20	60	84	79	5.6	14.4	4.4	96	217	14.4	3.6	558	2.0	558	1.27	1.39

より算出した、

$$V_0\% = \frac{\rho' - \rho}{\rho'} \times 100$$

ρ' 粉末試料を用いて測定した真比重

ρ 塊状試料で測定した見掛比重

測定した結果は第11表の様である。

比重測定結果を見ると、特殊の岩石を除いては高玉岩石の真比重は、2.55~2.67の範囲にあり、ほとんどその差を認め難いが、見掛比重には大いに差があり、最高2.62から最低2.19の間にある。これは全く孔隙の影響によるもので、見掛比重が低い程孔隙は大となる。

(g) 試験に供した諸性質一覧表

以上実験に供した岩石の諸性質の測定結果を比較に便なる様、更に一覧表を作製すれば第12表の様になる。

3.4 さく岩機による穿孔試験

さく岩抵抗を検討する一方法として、実際にさく岩機を用いて、硬軟種々の岩石切羽について穿孔試験を行い各種資料を採つた。

穿孔により発生する粉砕産物は、3尺×3尺の布地の中央に孔をあけ、これにビットの柄を通して、穿孔中はこの布片の端を岩盤に押しつけ、落下する粉末を全部布に受けて採取した。この外、穿孔附近より岩石試料を採取して、それぞれの試験に供したことは、すでに述べた通りである。孔の深さは物指により、孔の直径は内径バネ及び物指により、その他は各メーターを用いて決定した。

使用さく岩機は足尾式 A.S.D. 43 型で、タガネはクロスビットで、双先平均硬度はロックウエル C スケール 55° である。

その他の機器は下記のものを使用した。

a 流量計 New Jersey 流量計

b 圧力計 0~100 lb/□ 東京機器工業会社製

上記の方法によつて実験した成績は第13表の如くである。

(a) 剛度試験とさく岩機による穿孔試験の比較

剛度試験と実際さく岩機による穿孔とは、共に衝撃による方法で、機構は全く同一であるが、衝撃に用いる運動量(質量×速度)には両者の間に非常なる相違がある。すなわち剛度試験と実際さく岩機による掘進とを比較して考えた場合、特に留意すべき点は、前者は 15kg 程度の衝撃による単なる「クチリボリ」なるに対し、後者は岩石に加わる強大なる衝撃のために、最初岩石の組織上にユルミ(亀裂)を生じ、それが次の衝撃によつて破碎され、さらに次の衝撃によつて粉砕された後、はじめて空気圧または水流によつて穿孔外に排出される段階的作用によつて穿孔が行われるため、両者の

間に、おのずからビットに加わる運動量に相違があり、したがつて剛度試験結果とさく岩機掘進と関係ずけて考える場合には、当然このさく岩機の強大なる衝撃を考慮しなければならない。

すなわち、この強大なさく岩機の衝撃は、岩石の多孔性により左右されるが、剛度試験は運動量が小なるため、多孔性の影響は極めて少ないものと考えられる。

(b) 穿孔効率の決定法

さく岩機による穿孔効率の決定法は種々考えられるが次に示す Work done の公式をもつて表わす方法が最も合理的である。

$$\text{効率} \eta = \frac{\text{out put}}{\text{in put}} \times 100\%$$

out put はさく岩機しなした仕事量で、これを分解して考えると、熱及び粉砕産物の表面積に消費されたエネルギーで表わされる。しかし熱を考慮する時は非常に計算が複雑化するので、一応これを除外して計算を進めることとした。

また in put はいわゆるさく岩機に加えた全エネルギーで、これは堀部氏の算式によつて求められる。

3.5 さく岩機のなした仕事量

3.4 のさく岩機による穿孔試験によつて所定時間になした全仕事量を計算すれば、第14表のように m·kg によつて表わされる。さらにこの仕事量を基数として、穿孔効率が決定される。

第14表 ビストンのなした仕事量の計算表

No	穿孔時間 t_D sec	圧縮空気 気圧 P_2 kg/cm ²	有効気圧 $P_3 = P_2 \times 0.75$ kg/cm ²	ビストン が往復に 要する時間 t sec	打撃数 n no./min	ビストンが 一回の打撃 により成す 仕事 A m.kg	さく岩機 が成した 全仕事量 I m. kg
1	30	4.9	3.7	0.0266	2.256	6.12	6.896
2	30	4.2	3.2	0.0286	2.098	5.20	5.452
3	30	4.9	3.7	0.0266	2.256	6.12	6.896
4	30	4.9	3.6	0.0268	2.239	6.03	6.753
5	120	5.1	3.8	0.0263	2.281	6.28	28.620
6	120	4.8	3.6	0.0270	2.222	5.95	26.430
7	120	6.0	4.5	0.0246	2.439	7.97	38.840
8	60	5.7	4.3	0.0248	2.419	7.11	17.190
9	30	4.9	3.7	0.0260	2.308	6.12	7.055
10	30	4.6	3.5	0.0275	2.182	5.77	6.297
11	60	4.8	3.6	0.0270	2.222	5.95	13.220
12	30	4.7	3.5	0.0272	2.206	5.86	6.464
13	30	4.7	3.5	0.0276	2.174	5.86	6.371
14	30	5.0	3.7	0.0265	2.264	6.20	7.013
15	30	5.2	3.9	0.0260	2.308	6.53	7.530
16	30	5.2	3.9	0.0260	2.308	6.53	7.530
17	60	5.4	4.1	0.0255	2.353	6.74	15.850
18	60	5.4	4.1	0.0255	2.353	6.74	15.850
19	60	5.5	4.1	0.0252	2.381	6.81	16.200
20	60	5.6	4.2	0.0250	2.400	6.87	16.480

3.6 粉砕産物の粒度分析

衝撃によつてなされた仕事は、次のように考えることが出来る。

$$\text{仕事量} = \text{発生熱量} + \text{新たに生じた表面積}$$

この際発生熱量は一応省略して、粉碎によつて新たに生じた鉱粒の表面積を測定する。この鉱粒の測定には粒度分析法を用いた。すなわち現場切羽における、さく岩機試験によつて産出した粉碎産物は、よく乾燥の後、所定量を採取してタイラーの標準篩を用いて、乾式法により粒度分析を行つた。使用した篩目は 3, 4, 6, 8, 10, 14, 20, 28, 35, 65, 100, 150, 200 および 270 mesh の 14 種である。なお、 $\sim 270\text{mesh}$ 以下についても「篩別不能な微細鉱粒の粒度分析法」により、粒度分析を行つて検討に便した。この外 $\sim 270\text{mesh}$ 鉱については特に試料中の一部を 10,000 倍して微小粒の形状を明らかにした。

粉碎産物の粒度分析結果は第 7 図～第 11 図に示す。

— No. 1 ●—● No. 2 ×—× No. 3 ⊗—⊗ No. 4

第 7 図

— No. 5 ●—● No. 6 ×—× No. 7 ⊗—⊗ No. 8

第 8 図

— No. 9 ●—● No. 10 ×—× No. 11 ⊗—⊗ No. 12

第 9 図

— No. 13 ●—● No. 14 ×—× No. 15 ⊗—⊗ No. 16

第 10 図

— No. 17 ●—● No. 18 ×—× No. 19 ⊗—⊗ No. 20

第 11 図

本図中、横軸は粒度の直径の対数をもつて目盛つたものである。すなわち計算の便宜上、篩目の大きさを mm で表わし、これをさらに 1,000 倍した値の対数をもつて目盛つてある。

図で明らかのように、いずれの粒度解析結果も同様に 3 $\sim$ 8mesh, 8 $\sim$ 20mesh, および 200 $\sim$ 270mesh の間に、それぞれ 6mesh, 14mesh および 270mesh の部分に重量パーセントの非常に増大した山が見出される。この現象で、粗砕を表わす 6mesh と粉砕を表わす 270mesh の中間に、さらに 14mesh の山の加わつたことは、粗粉砕が段階的に行われることを示すものでないかと思う。

参 考 文 献

- 1) 鈴木富治：“掘さく作業より見たる岩石の硬さ” 水曜会誌（齋藤大吉先生還歴記念論文集）昭和 7 年 11 月，583 頁
- 2) 小坂玄伍：“さく岩抵抗の意義” 日本鉱業会誌，51 巻 602 号，昭和 10 年 6 月，356 頁
- 3) 鈴木富治：水曜会誌，第 8 巻，第 1 号，昭和 8 年 4 月，89 頁
- 4) 小坂玄伍：水曜会誌，第 8 巻，第 7 号，昭和 10 年 3 月，693 号
- 5) W. B. Mather: Rock Hardness as a factor in Drilling problem, Min. Eng. Feb. 1951
- 6) 堀部富男：“コールピックの性能と圧縮空気の圧力との関係について” 常盤技報，1 巻，8 号 昭和 24 年 3 月
- 7) 大山正・八嶋三郎：“篩分不能な微細鉱粒の粒度分析に関する研究” 日本鉱業会誌，67 巻 754 号 108 頁 昭和 26 年 3 月