岩石の回転穿孔性に関する研究 (第2報)*

正 会 員 木 下 重 教**

Studies on Drillability of Rocks by Rotary Drills (2nd Report)

Shigenori KINOSHITA

The present investigation is a continuation of previous study on the drilling performans and drillability of rocks by rotary drills.

In this research the following experimental formula have been newly determined.

$$T = C_p \cdot \sqrt{b} \cdot \sqrt{t} \cdot l$$

T : the axial thrust necessary to get a certain penetration rate per revolution with two winged bit (kg).

b : mean value of bit wear in width measured at the center of each cutting edge(mm).

t : the penetration rate per revolution ranging from 0.065 to 0.47mm.

l : the total length of cutting edge (mm).

C_p : constant depending upon rock property (kg/mm²)

As the C_p in this formula is seemed to be a useful index to diagnose rotary drilling resistance, it is compared with the mechanical, hardness properties of rocks. As the result it was found that the value C_p is approximately proportional to the square root of the product of compressive strength, indentation hardness and shore hardness of rock.

The reason of this is explained in the last part of this paper.

1. 緒 言

第1報¹⁾では北海道における15種の夾炭層岩石について定速度回転穿孔試験を行い、送り速度と最大推力、トルクの間につぎの関係があることを報告した。

$$T = A(b + \mu t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$M = Ct^\alpha \quad \dots\dots\dots (2)$$

T : 推力(kg) t : 送り(mm) A, μ : 常数

b : 刃先の岩石内への圧入巾 (mm)

M : トルク(m・kg) α, C : 常数 $\alpha \approx 0.5$

(1) 式は、推力と穿孔速度の関係は直線的であることを前提として、いわゆる限界推力の考え方を説明するために採用したものである。これに関する実験的事実は最近英国の Shepherd²⁾ が雑誌に発表している。

しかし、その後行つた多くの実験などから判断すると穿孔速度の小さい場合は推力と送り速度の関係を直線的であると考えすることは無理なようで、したがつて前報で述べたような限界推力の存在も認め難いことがわかつた。すなわち筆者の実験では、推力と送りとの関係は、トルクと送りの関係と同じように、(3) 式に示す指数法則の関係にあると考える方が、はるかに実験結果に対し素直であることがわかつたのである。

$$T = C_1 t^{\alpha_1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

T : 推力(kg), C_1, α_1 : 常数, $\alpha_1 \approx 0.5$

前報では、岩石の回転穿孔抵抗の尺度として、限界推力をとり、これと岩石の強度、硬度との関係を検討したが、限界推力の根拠がなくなつた以上、これらは無意味であつたとも言える。

したがつて本報では(3)式の立場から、岩石の回転穿孔性に関して再検討を行つた。すなわち前報にのべた各種の岩石の実験結果をみなおすとともに、新しく試料を採取して同じ方法で実験を行い、さらに前報では穿孔中の刃の摩耗の問題を考慮しなかつたが、本報では摩耗に関する実験も行い、その結果、穿孔抵抗に関するつぎの実験式を誘導した。

$$T = C_p \cdot t^{\alpha_1} \cdot b \beta_1 \cdot l \quad \dots\dots\dots (4)$$

T : 推力(kg), t : 送り(mm) b : 刃稜の中点の摩耗巾 (mm)

l : 刃稜長 (mm)

α_1, β_1 : 岩石、刃の形等に関する常数、いずれもほぼ0.5に等しい。

C_p : 岩石によつてきまる常数 (kg/mm²)

この式より、岩石の穿孔抵抗の大小を比較するには、 C_p をもつてするのが妥当と考え、これと岩石強度、硬度などと対比してみた。その結果岩石のショア硬度、圧

1) 木下重教: 岩石の回転穿孔性に関する研究(第1報) 日本鉱業会誌 72巻, 817号, 昭和31年7月, 395~400頁。

2) R. Shepherd: Physical properties and drillability of mine rocks. Coll. Eng. Vol. XXVIII, Feb., 1951. pp. 61~66

* 昭和32年4月22日受理

** 北海道大学工学部助教授 鉱山工学教室

縮強度、押込硬度の相乗積の平方根が、 C_p とほぼ直線関係にあることが知られた。

本文はこれらの過程を説明したものであつて、最後にショア硬度、圧縮強度、押込硬度の積の平方根が穿孔抵抗値 C_p に関係する理由について著者の考えを述べた。

なお前報と本報とで、岩石の試料番号を第1表のように変更したものがあつたので、御了解していただきたい。

第 1 表

第1報における試料番号	本報における番号
201~204	201~204 (変更なし)
102~105	502~505
109~113	506~510
115 および 302A~302B	405 および 401~402

2. 新しく試験した供試岩石の諸性質

2.1 供試岩石

今回新しく選んだ供試岩石は、第2表に示すように、函淵砂層より2種、登川層より13種、夕張層2種、若鍋層5種、幾春別層7種の計29種である。

2.2 岩石の機械的性質

供試岩石の圧縮強度、引張強度等を第3表に示した。

2.3 岩石の諸硬度

供試岩石のショア硬度、本多剛度、ページの硬度、押

第3表 供試岩石の機械的性質

試料番号	乾燥試料圧縮強度 (kg/cm ²)				乾燥試料引張強度 (kg/cm ²)			
	層に直角試料		層に平行試料		層に直角試料		層に平行試料	
	最大値	平均値	最大値	平均値	最大値	平均値	最大値	平均値
101	2460	2040	-	-	-	-	-	(94)
102	1710	1600	1640	1390	-	-	100	98
214A	1400	1330	-	-	-	-	115	84
214B	1530	1530	-	-	-	-	-	-
215	2070	1750	-	-	-	-	-	-
216	-	(1010)	-	-	-	-	112	79
217	1090	930	1230	1070	68	68	65	61
218	1340	1240	1220	1080	74	65	89	76
219	-	(1090)	-	-	-	(72)	-	(71)
220	860	800	-	-	-	-	102	80
221	1550	1350	1020	890	80	60	70	70
222	1430	1420	-	-	-	-	91	67
223	1980	1530	-	-	-	(100)	110	100
224	1010	900	-	-	-	-	117	107
225	1400	1310	1500	1230	136	132	181	177
226A	1620	1440	1580	1250	-	-	-	-
226B	1370	1180	-	-	-	-	-	-
303A	750	630	620	570	52	45	60	45
303B	450	420	-	-	-	-	-	-
304	1490	1230	1210	(1210)	-	(101)	135	123
403	640	570	590	530	43	38	-	(38)
404	830	750	750	740	-	(46)	45	43
405A	630	610	-	-	66	54	-	-
405B	580	540	-	-	-	-	-	-
406	1510	1440	-	-	-	-	144	122
407	940	910	940	880	-	-	81	74
609	1640	1590	1590	1120	-	-	-	-
611	-	-	-	-	-	-	-	-
615	600	570	640	580	27	25	29	27
616	1290	1250	1090	1010	93	85	59	56
617	1780	1720	1550	1520	104	87	71	52
620	1000	850	710	680	-	-	-	-
621	1010	970	1150	980	58	43	46	37

第4表 供試岩石の諸硬度

試料番号	ショア硬度平均 1~11	本多剛度平均 (L)		ページの硬度 (平均)	押込硬度 平均 kg·m/cm ³
		重量(g)	容積(cm ³)		
101	88~	-	-	-	-
102	60~63	0.5621	0.219	22	64
214	54~51	0.5833	0.224	10	31
215	62~	0.6796	-	-	37.6
216	43~	-	-	-	49
217	54~53	0.6635	0.271	17	49
218	54~51	0.7244	0.278	18	48
219	-	-	-	21	-
220	44~	0.8505	0.336	14	39
221	65~	0.7223	0.288	17	75
222	53~	0.7233	0.293	12	62
223	66~	0.5828~0.7714	0.225~0.298	22	71
224	60~	0.5797	-	14	39
225	58~53	0.6160	0.237	22	48.2
226	59~46	0.6619	0.270	-	43.8
303A	46~42	1.013	0.420	10	25
303B	49~42	0.640	0.254	23	34
304	46~41	0.780	0.322	8	21
403	41~	1.152	0.467	-	25
404	~55	0.706	0.292	-	26
405A	~55	-	-	-	-
405B	~43	0.386	0.142	-	30
406	~38	-	-	-	28
407	62~51	-	-	-	64
609	-	-	-	-	-
611	37~38	-	-	-	51
615	49	-	-	-	58
616	54~50	-	-	-	50
617	47	-	-	-	42
620	45	-	-	-	53
621	-	-	-	-	-

込硬度等の平均値を第4表に示した。これらの測定法については第1報で述べたので、ここでは省略する。押込硬度を除いた他の硬度は、同種2~5個の岩石塊から造つた2~5個の試料の測定結果の平均であるが、押込硬度はこのうちいずれか1つの岩石塊から造つた1つの試料の表面に10回押込試験を行つた平均値である。したがって押込硬度は岩塊による相違を含めた平均値とはならない。

第2表 供 試 岩 石

整理番号	岩層名	採取箇所		名 称		肉眼色調
		礫	層 位	現 場	岩石学的	
101	函淵砂層	大夕張	-	砂 岩	細粒砂岩	緑 色
102	岩層	神 威	-	砂 岩	細粒砂岩	緑 色
214	登川層	神 威	6~7 番層間	砂 岩	細粒砂岩	褐色 灰色
215		神 威	7~8 番層間	砂 岩	細粒砂岩	褐色 灰色
216		神 威	8~9 番層間	砂 岩	細粒砂岩	褐色 灰色
217		神 威	9~10 番層間	砂 岩	細粒砂岩	褐色 灰色
218		神 威	10~11 番層間	砂 岩	細粒砂岩	褐色 灰色
219	夾 炭 層	神 威	6~7 番層間	砂 岩	細粒砂岩	暗灰色および白みがかった灰色
220		神 威	7~8 番層間	砂 岩	細粒砂岩	暗灰色および白みがかった灰色
221		神 威	8~9 番層間	砂 岩	細粒砂岩	暗灰色および白みがかった灰色
222		神 威	9~10 番層間	砂 岩	細粒砂岩	暗灰色および白みがかった灰色
223		神 威	10~11 番層間	砂 岩	細粒砂岩	暗灰色および白みがかった灰色
224	夕張層	神 威	4上14番層間	砂 岩	細粒砂岩	暗灰色
225		神 威	4下14番層間	砂 岩	細粒砂岩	暗灰色
226		神 威	3下14番層間	砂 岩	細粒砂岩	暗灰色
303	若 鍋 層	空 知	6~8 番層間	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
304		空 知	9 番層上盤	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
403		空 知	4~5 番層間	砂 岩	中粒砂岩	帯緑灰白色
404		空 知	5~6 番層間	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
406		空 知	4~5 番層間	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
407	幾 春 別 層	神 威	3~4 番層間	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
609		神 威	4~5 番層間	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
611		神 威	5 番層上盤	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
615		神 威	5 番層上盤	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
616		神 威	4 番層上盤	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
617	幾 春 別 層	神 威	3 番層上盤	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
620		神 威	1 番層上盤	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
621		神 威	1 番層上盤	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
622		神 威	1 番層上盤	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色
623		神 威	1 番層上盤	砂 岩	中粒砂岩	灰 白 色

第1図 穿孔試験装置

3. 穿孔試験法およびその結果

3.1 試験の方法

今回新しく採取した上記諸供試岩石の穿孔試験法は、第1報で報告した方法とほとんど変りないが、トルクを測定するトルクピックアップを以前のように回転する試料側に取り付けずに、静止している刃先側につけ、軸の静的振りでトルクを測定するようにしたこと、および推力測定用のロードセルのストレインゲージは以前は、筆者らが貼りつけたものであつたが、今度はメーカーに依頼して貼つて貰つたことなど、二、三改良した。第1図はこの測定装置を示す。試料はビットゲージにほぼ等しい円筒形の試料にしたこと、回転数は 65rpm であること、ビットの送りは 0.065, 0.13, 0.24, 0.47 の 4 段階に変化させたことなどは前と全く同じである。推力やトルクの読みは以前はオシログラフにとつて、多数回あらわれるピークの平均値をとつて求めたが*、今回はインジケータの指針のふれの最大値をとつた。したがつてここにいる推力、トルクはそれぞれ最大値をさしている。1回の穿孔時間（送りを4段階にかえた一連の時間）は数10secから1min位である。

3.2 トルクから切削力を求めること

オーガ・ビットの両刃先に作用する回転方向の全切削抵抗を F とすると、第2図に示すように、トルクは $F/2$

第2図 切削抵抗の計算図

の力が X の距離において作用する偶力におきかえることが出来る。すなわち

$$M = \frac{F}{2} \cdot X$$

$$= F \cdot \frac{X}{2} \dots \dots (5)$$

したがつて実測されたトルクを $X/2$ でわ

れば、全切削抵抗 F を求めることが出来る。

$X/2$ については Rudolf³⁾ はトルク線図が、第2図のように中心からの距離に比例する直線をなすものと考え、梯形 $m'mnn'$ の重心を求め、この重心 C と中心 O との距離を $X/2$ としている。この場合 $X/2$ は次式で求められる。

$$\frac{X}{2} = \frac{om}{m} + \frac{mn(2on + om)}{3(on + om)} \dots \dots \dots (6)$$

筆者もこれにならつて、トルクから切削抵抗を計算した。

第5表 α, C_1C_2 の値

試料番号	推 力 の 場 合		切 削 抵 抗 の 場 合		$\frac{C_1}{C_2}$
	α の 値 (近似値)	C_1 の 値 (kg)	α の 値	C_2 の 値	
101	0.45	260	-	-	-
102	0.50	154	0.50	84	0.55
201B	0.33	226	0.50	192	0.85
202A	0.25	191	0.50	172	0.90
203A	0.38	166	0.50	102	0.62
204	0.29	184	0.50	141	0.77
214	0.50	112	0.50	84	0.75
215	0.50	185	0.50	106	0.57
216	0.50	75	0.50	51	0.68
217	0.50	178	0.50	117	0.66
218	0.50	129	0.50	81	0.63
220	0.50	76	0.50	47	0.62
221	0.50	240	0.50	150	0.63
222	0.50	170	0.50	83	0.49
223	0.50	280	0.50	125	0.58
224	0.50	111	0.50	60	0.54
225	0.50	132	0.50	66	0.50
226	0.50	151	0.50	83	0.55
303	0.50	74	0.50	52	0.70
304	0.50	95	0.50	55	0.58
402	0.33	200	0.33	152	0.76
403	0.50	70	-	-	-
404	0.49	73	0.50	55	0.75
405B	0.40	109	0.40	59	0.54
406	0.29	74	0.29	40	0.54
407	0.50	67	0.50	34	0.51
501	0.45	83	0.45	-	-
502	0.45	111	0.45	72	0.65
503	0.50	89	0.50	75	0.83
504	0.47	78	0.47	63	0.81
505	0.47	82	0.47	70	0.85
506	0.47	78	0.47	61	0.78
507	0.50	102	0.50	65	0.64
508	0.50	64	0.50	44	0.67
509	0.50	54	0.50	56	1.04
510	0.47	70	0.50	54	0.77
616	0.50	130	-	-	-
617	-	-	-	-	-
620	0.50	130	-	-	-
621	//	120	-	-	-
609	//	200	-	-	-
615	//	130	-	-	-

3.3 実験結果

(1) 推力と送りの関係：——実測された推力を縦軸に、送りを横軸にとり、両対数座標にあらわすと、いずれの岩石もほぼ直線がえられるので、推力と送りの関係は次式であらわされる。

$$T = C_1 t^{\alpha_1} \dots \dots \dots (7)$$

α_1 は対数座標における直線の傾斜からきまり、大部分の岩石ではほぼ 0.5 と考えてよいが、中には 0.3 前後という小さな値をとるものもあつた。第5表の左側に各

* 第1報では 397 頁にトルクはふれの平均をとつたとあるが、最大ふれの平均の間違いなので訂正する。多数回あらわれる最大のふれは、いずれもほぼ等しい。

第3図 摩耗したビットを使用した時の推力と送りの関係

第4図 C_1 と摩耗巾 (b) の関係

岩石の α_1 の値、およびこれを用いて計算した C_1 の値を示しておいた。 α_1 が 0.5 よりかなり小さい値をとるものも若干あり、これは岩石の性質によるのか、あるいはビットや穿孔条件の不備に基づくものか、あるいは測定誤りか今のところ理由はわからない。

(2) トルクと送りの関係：——これは第1報の場合と同様、今度の供試岩石の場合もほとんどすべてが、緒言でのべた(2)式の関係が成立し、 α は0.5とみなしてよいことがわかった。個々の測定値は紙面の都合で省略する。

(3) 切削力と送りの関係：——これはトルクと送りの関係から当然(8)式の関係がある。

$$F = C_2 t^{\alpha_2} \dots\dots\dots (8)$$

F ：切削力 (kg), t ：送り (mm), C_2 , α_2 ：常数
 α_2 はほとんどの岩石が0.5と考えられる。第5表の右側に各岩石の C_2 , α_2 の値を示した。

また各岩石について C_2/C_1 の比をとると第5表右端に示すように岩石によつてまちまちであるが 0.5~0.8 位が多い。(7), (8) 式の α_1 と α_2 が等しい場合は、この比はそのまま切削力と推力の比に等しくなる。大部分の岩石では大体 $\alpha_1 = \alpha_2$ であるから、岩石の切削抵抗は推力の5割ないし8割位を占めるものと(ただし送りが0.065~0.47の範囲で)考えてよいであろう。

(4) C_1 , C_2 について：—— $C_1 C_2$ はビットの形、大

第 6 表

ビ ッ ト				試料 直径	穿 孔 し た 岩 石
ゲージ	作用刃 長さ	α	γ		
mm	mm			mm	
36	32	27~30	93	36~37	201, 202, 203, 204, 402, 504, 505
					506, 507, 508, 509
38~39	34	30~34	90	36~37	102, 214, 215, 216, 224, 225, 226
					217, 218, 220, 221, 222, 223, 101
38~39	38~39	27~32	90	38~39	303, 304, 403, 404, 405, 406, 501
					502, 503
40	39	30	90	38~39	616, 617, 620, 621

き刃先の摩耗状況によつて異なつた値になる。

本実験に使用したビットおよびこれを用いて試験した岩石は第6表のようである。

すなわち、逃げ角、刃稜長が異なっている。穿孔時の刃の摩耗は、ほぼ水平に生ずることを考えると、逃げ角の多少の変化は、 C_1 , C_2 にほとんど影響がないように思う。刃稜長の変化は直接 C_1 , C_2 の値に影響する。本実験に使用したビットは、原則として中心部に間隙のないものを用いることにしたが、種々の都合で

最初の項の実験は、中心部に数mmのひらきのあるビットをやむをえず使用した。

刃稜長の相違は主として、この刃のひらきの大小によるのであつて、削られる試料の直径は大体同じである。刃のひらきのあるビットでは穿孔の際中心にコアが残るので、恐らく穿孔抵抗に影響があるかも知れないが、試験の際はこれが両翼につかえることのないよう注意したので、著者としては影響があつても僅小と考え無視することにした。したがつて C_1 , C_2 の値は、作用刃稜長だけに関係するものとして、しかも刃稜長に比例するものと考えて、 C_1 , C_2 はすべて刃稜長 38mm に換算した。以下 C_1 , C_2 という時はこの換算値を示す。刃の摩耗についてはつぎのような実験を行い検討した。

4. 刃の摩耗に関する実験

鋭い刃先で穿孔試験を行つたので、短時間の穿孔でも刃の摩耗が逃げ面に生ずる。一定時間穿孔後、ビットを取り出しコンパラータで、摩耗量を調べてみると、孔心の近くの刃稜の摩耗は小さく、周辺に行くにしたがつて多少大きい、ほぼ梯形の摩耗面がみられる。したがつて刃

第7表 送りによる摩耗巾の変化

試 料	送 り (mm)	穿 孔 時 間 (65rpm) (sec)			
		30	60	120	180
621	0.065	-	0.181	0.235	0.279
	0.13	-	0.215	0.263	0.286
	0.24	0.205	0.218	0.246	0.293
	0.47	0.181	0.232	0.264	0.295
201A	0.065	-	0.233	-	-
	0.130	-	0.247	-	-
	0.24	-	0.265	-	-
	0.47	-	0.191	-	-
218	0.065	-	0.194	-	-
	0.13	-	0.214	-	-
	0.24	-	0.237	-	-
	0.47	-	0.234	-	-

第8表 岩石別摩耗巾調査表

岩 種	試料	lmin 穿孔における摩耗巾 (mm)	岩 種	試 料	lmin 穿孔における摩耗巾 (mm)
中 粒 砂 岩	201B	0.29~0.32	細 粒 砂 岩	101	0.25
	202	0.30~0.31		102	0.14~0.18
	203	0.24		214	0.16~0.18
	204	0.23		218	0.22
	217	0.26~0.29		503	0.15
	222	0.24		509	0.13
	303	0.16~0.23		510	0.12~0.18
	502	0.24		616	0.19~0.21
	605	0.22		617	0.14
	609	0.21~0.22		225	0.13~0.17
	615	0.25		506	0.18
岩	620	0.24~0.27	微 粒 砂 岩 (砂を含む)	402	0.20~0.24
	621	0.21~0.22			

注：値が1つしかないものは1回しか測定しないもの、その他は2回以上測定したもの。

稜の摩耗をあらわすのに、刃稜の midpoint の摩耗巾をとればよいことがわかる。ただし2つの刃稜で摩耗巾は一致しないので、両刃稜別々に測定して、その平均をとって摩耗巾をあらわした*。

かくして求めた摩耗巾に全刃稜長を掛けると摩耗面の穿孔軸方向への射影面積となる。

4.1 実験結果

送りを4段階に変えた時の刃の摩耗巾の測定例は第7表に示した。送りが大きいと摩耗巾も多少増加するが、この程度では問題ないものと考えた。この試験は逃げ角20°、掬角0°、回転数65rpmで行ったものである。

つぎに同じビットで、送り0.23の場合の種々の岩石の摩耗試験の結果は第8表に示す。中粒の岩石は0.2~0.25の範囲に、細粒、微粒の岩石は0.12~0.18の範囲に属するものが多いことがわかる。

4.2 刃の摩耗が穿孔抵抗に及ぼす影響

以上の試験によって、穿孔中の刃の摩耗は目立つて差がないが、岩石によって異なることは確かであるから、刃の摩耗が穿孔特性や穿孔抵抗にどんな影響をあたえるかを確かめる必要がある。このため刃稜をあらかじめ定量摩耗させたビットを使用して穿孔試験を行った。刃先を摩耗させるには、旋盤のチャックに砥石をはさみ送

* 第1報、第4表の摩耗巾は外周の一番摩耗の大きい部分の値である。

り0.23回転数65にして、ごく短時間穿孔し、摩耗はコンパレータではかつた。

この摩耗させたビットで行った穿孔試験の結果から、推力と送りを両対数座標であらわしたのが、第3図である。

摩耗巾は0.18~0.47の4段階に変えたのであるが、いずれの場合も、同じ傾向を示し、推力と送りの関係は近似的に次式であらわされることがわかる。

$$T = C_1 l^{\alpha_1} \quad (\alpha_1 \approx 0.5) \quad \dots\dots\dots (8)$$

つぎに各場合の C_1 の値を計算し、これと摩耗巾の関係を両対数座標にとると第4図に示すような直線が得られる。この図には試料611以外に、さらに大きな摩耗巾(0.6~1.51)のビットを使用して若干の岩石について行った試験結果も付記した。この図から C_1 と刃の摩耗巾(b)との間に(9)式の関係が成立する。

$$C_1 = K_1 b^\beta \quad \dots\dots\dots (9)$$

β は第4図の直線の傾斜から決まるが、ほぼ0.5に等しい。

C_1 は刃稜長に比例するものと考え、(8)、(9)式から推力に関するつぎの実験式が得られる。

$$T = C_p \sqrt{b} \cdot \sqrt{t} \cdot l \quad \dots\dots\dots (10)$$

恐らく切削力 F についても同様な式になる筈であるが、摩耗実験をはじめる頃から、トルクピックアップのインジケータの感度が悪くなり修理に出したため、実験データで確認出来ない。

5. 穿孔抵抗と岩石の性質の関係

(10)式は、ビットの形、とくに掬角が変った場合、および回転数の異なる場合の影響については考慮されていないが、各岩石について、掬角、回転数を一定にして試験を行っておけば、 C_p をもってそれらの岩石の穿孔抵抗の大小を比較する尺度にすることが出来る。

第6表に示した摩耗試験の結果でわかるように、穿孔時の刃の摩耗は、岩石によって決して一定ではないが、中粒、および細、微粒という2つの岩種にわけると

第5図 C_1 の値と平均ショア硬度 第6図 C_1 と最大圧縮強度 第7図 C_1 の値と平均押込硬度

第 8 図

C_1 と各岩石の圧縮強度、押込硬度、ショア硬度の相乗積の平方根値との比較図

各グループ内ではほぼ一定とみなされる。もちろん刃の摩耗は粒度のみに関係するものでなく、粒度の区分そのものも漠然としたものであるから、これは一般論ではない。その証拠に第 8 表にも例外がある。抵抗が大きくて粗い岩石は摩耗は確かに大きい。しかし粗くても抵抗が小さいと摩耗はそれ程大きくない。これは細かい粒度の場合にもあてはまる。また刃の摩耗には刃の最初の研摩の状態、両刃後の岩石面に対する圧着状態が関係し、測定ごとにばらつきがある。このようなことから著者は第 8 表のような事実もあるし、刃の摩耗は岩種別にはほとんど大差ないものと考え、穿孔実験の場合は、いちいち刃の摩耗巾を測定しなかつた。また送りごとに刃を研摩しても 1 回の研摩で 4 つの試験をしても、指針のふれが安定する範囲の最大値をとれば、大差ないので後半の試験は送りごとに刃を研摩しないことにした。

5.1 岩石の性質と C_1 との関係

穿孔時の刃の摩耗を考慮外において、(7) 式の C_1 と岩石の強度、硬度等を比較した。その結果の一例を第 5 図、第 6 図、第 7 図に示した。

このほか、本多剛度、ページの硬度、引張強度などと C_1 の値と比較したが、点の散在が甚しいので、 C_1 との関係度は極めて低いものと考えて、掲載は省略した。

これらの図から、ショア硬度は比較的関連度強いが圧縮強度、押込硬度は、ばらつきが大きい。しかし、全然関係がないわけでもないの、後に述べるような考

第 9 図

C_p と三値相乗積の平方根値との比較

から、ショア硬度、圧縮強度、押込硬度の相乗積の平方根をとって、これと C_1 を比較したところ、第 8 図に示すように、今までよりもはるかによい、ほぼ直線的な関係がえられた。この計算では圧縮強度、押込硬度の単位は、(kg/mm²) にとっている。第 8 図では大体、粗、中粒の岩石が上位の直線に含まれている。これは同じ強さ、硬さの岩石でも、中粒岩は、穿孔時の刃の摩耗が細粒岩よりも大きいことが主要な原因であろう。また粒度別にわけられる 2 つの直線がえられたということは、粒度別に大体同種の中に入る供試岩石の刃の摩耗はほとんど等しかつたと考えられ、上記摩耗実験の結果ともあつている。

5.2 岩石の性質と C_p との関係

穿孔実験時の刃の摩耗巾はわからないが、仮りに第 8 表に示した値と大差ないものと考え、(10) 式から C_p の値を算出し、この C_p とショア硬度、圧縮強度、押込硬度の三値相乗積の平方根値と比較してみると第 9 図のようである。 C_p を算出するのに必要な摩耗巾 b は、第 8 表の各岩石の値 (平均値) 第 8 表にない岩石については粒度別の平均、粗、中粒砂岩は 0.25、細、微粒砂岩は 0.17mm にとつた。

点のばらつきがかなりあるが、実際の測定時の刃の摩耗がはつきりしないものがあつたことや、岩石によつては岩塊が異なると強さおよび硬度が甚しく異なるものがあること、岩石それ自体が元来不均質であることなどを考えると、この図は一応一定の傾向を示していると認めて差支えないように思う。この図では C_p は大体、ショア硬度、圧縮強度、押込硬度の相乗積の平方根の 1/20~1/25 位になつている。

6. 穿孔抵抗に関する理論的考察

ここでは種々の仮定を設けて、穿孔抵抗について二、三考察し、上記ショア硬度、圧縮強度、押込硬度の相乗積の平方根を岩石の穿孔性の尺度として取上げた理由を説明したいと思う。

6.1 低送り速度における穿孔機構

回転穿孔では、刃稜上の各点はそれぞれ異なつた螺旋角で螺旋運動をするが、送りが小さい場合は孔心のごく

第10図 穿孔機構想像図

第11図 推力—送り特性図

近傍の刃稜部分を除けば、刃はほとんど平面運動すると考えて差支えない。第10図はこの観点から、刃先の切削機構の概念を示したものである。 b は摩耗巾、 t_0 は刃先の全切込み、 t は塑性変形領域の切込み深さ、 t_e は弾性領域の切込み深さである。切剖面 $S-S$ は近似的に水平と考える。

穿孔実験における送りは、塑性深さ t に相当し、1回転ごとに刃が2枚あるから $2t$ ずつ岩石は削られることになる。もし刃が1枚のときは、 t は送りそのものになる。実験は2枚の刃のあるビットで行ったが、問題の性質を論ずる上に影響ないから、刃稜長 l の片翼ビットで穿孔したものと考えることにする。

押付圧 R (推力と切削力の合力) をうけて降伏した岩石部分は刃の前進に伴い前方に押出されると仮定すると、刃面 b の直下には弾性変形部分のみが残っていると考えてよいであろう。

さていま切屑 ABC の持つている穿孔抵抗のうち、穿孔軸方向の成分を N_2 、水平方向の抵抗成分の総和を N_1 とすると、斜面 AC は、 $S-S$ 面に直角であり、 $S-S$ は近似的に水平と考えているから、推力、切削力は次式であらわされる。

$$T = \mu N_1 + N_2 \dots \dots \dots (11)$$

$$F = N_1 + \mu' N_2 \dots \dots \dots (12)$$

ただし μ は斜面と切屑の摩擦係数、 μ' は逃げ面 b と切剖面との摩擦係数。

刃の側からみれば、 N_2 に相当する力は刃面 b に作用しこれによつて刃面 b の直下の弾性凹みが生じていることになる。しかし切屑が剪断面 AB にそつて直ちに破壊してしまうであろうから、刃面 AC 上に N_1 という抵抗は、作用すると考えなくてもよいし、作用するとしても刃先の逃げ面に近いごく近傍であるから、(11) 式 μN_1 は無視して構わない。すなわち推力 T のほとんど全部が刃面 b に作用し、弾性変形 t_e はこの T に関連して生じているとみなすことが出来る。

6.2 ショア硬度、圧縮強度、押込硬度の積の平方根が穿孔抵抗値 C_1 または C_p に関係する理由

いま推力 T と全切込深さ t_0 とが第11図の(a)線であらわされるものとする。(a)線の形はわからないが、穿孔実験の結果から、切屑深さ t と推力 T は(10)式の関係があることがわかつていたので、弾性変形 t_e は普通小さいから、 T と t_0 の関係も、ほとんど(10)式と同じと考えてよいであろう。

$$T = C_p \sqrt{b} \cdot \sqrt{t_0} \cdot l \dots \dots \dots (13)$$

さてつぎに刃面直下の弾性変形だけをおこしている部分を考えて、 T と弾性凹み t_e との関係は、(c) 曲線であらわされる。(c) 曲線の形は全変形に対する曲線

(a) と同型と考えてよいから

$$T = C_p' \sqrt{b} \cdot \sqrt{t_e} \cdot l \dots \dots \dots (14) \quad t_e > 0$$

(14) 式を変形すると

$$T = C_p' \sqrt{b} \cdot \sqrt{\frac{t_e}{t_0}} \cdot \sqrt{t_0} \cdot l \dots \dots \dots (15)$$

C_p' は弾性変形量 t_e に無関係な常数であるが、 t_0 および T の大きさによつて変る。しかし全変形量 t_0 の位置に関係なく t_e/t_0 が一定と仮定すれば、 C_p' は T のみに関係する常数、すなわち岩石の穿孔抵抗を代表する比較係数と考えて差支えない。

(13), (15) 式から

$$C_p = C_p' \sqrt{\frac{t_e}{t_0}} \dots \dots \dots (16)$$

ショア硬度は、球形の先をもつたロッドを一定高さから岩石表面に落下させ、そのはねかえり高さで硬さをあらわしている。この場合、岩石の表面には凹みが出来るが、この凹みの弾性変形深さと全変形深さとの比にショア硬度数は比例すると言われている。穿孔の場合の弾性深さ t_e と全変形深さ t_0 の関係も、ショア硬さの凹みと同じ関係と考えてよいと仮定すると $t_e/t_0 = KH_s$ (H_s : ショア硬さ数、 K : 比例常数) となるから(16)式は

$$C_p = C_p' \sqrt{K \cdot H_s} \dots \dots \dots (17)$$

となり、 C_p はショア硬度数の平方根に比例することがわかる。

つぎに C_p の値に圧縮強度、押込硬度の積の平方根に関連させたのは、回転穿孔では、刃が岩石内へ圧入する必要があるから、穿孔抵抗は岩石の押込硬度に関係があるように思われるし、第10図の滑り面 AB は合力 F によつて生ずるものとする、穿孔抵抗は圧縮強度にも関係するように思われる。

いま圧縮強度 Y 、押込硬度 H_W とし、押込硬度一定の場合は C_p は岩石の圧縮強度に比例し、逆に圧縮強度一定の場合 C_p は岩石の押込硬度に比例すると考えると、

$C_p = AY$ あるいは $C_p = BH_W$ (A, B はディメンションの無い常数) となり、これより

$$C_p = \sqrt{AB} \cdot \sqrt{Y \cdot H_W} \dots \dots \dots (18)$$

の関係式がえられる。

実際には岩石の剪断抵抗を測定しておれば、さらに回転穿孔抵抗の内容がはつきりする可能性があるように思われるが、測定していないので本文では圧縮強度、押込硬度を問題にしたのである。

7. 結 論

本文は第一報にひきつづいて、北海道の主要な夾炭層岩石の回転穿孔性の研究を行つた結果を述べたものであつ

4) 中川有三：ショア硬さの性質について、機械学会論文集、20巻91号、昭和29年133~136頁。

て、推力一送り特性に関する前報の考え方を訂正するとともに、前報では考慮しなかった穿孔中の刃の摩耗の問題を本報では取上げ、穿孔抵抗に関する新しい実験式(10)を誘導した。

しかしてこの(10)式の C_p は岩石の穿孔抵抗を代表する常数値と考えられるから、これと各岩石の強度、硬度、との関連性を調べた。その結果 C_p は岩石のショア硬度、圧縮強度、押込硬度と関係が深いように思われ、この3つの値の相乗積の平方根をとってみると、 C_p とほぼ比例関係にあることがわかった。

つぎに種々の仮定を設けて、ショア硬度、圧縮強度、押込硬度の相乗積の平方根を C_p と関連させた理由を説明した。実験結果がある程度あつているということは、これらの仮定に大きな間違いがない証拠でもある。

切削力については、(8) 式を誘導したのみで詳しくのべなかつたのは、岩石面の摩擦係数 μ' および N_1 の内容がわからないため、したがって切削抵抗値 O_2 と岩石のショア硬度、圧縮強度、押込硬度の相乗積の平方根と対比しても、穿孔軸方向の抵抗値 O_1 程関係度は高く

ない。ただ実験的に切削抵抗は推力の0.5~0.8倍位を占めることだけは明らかになった。

最後に本文は送りが 0.065~0.47mm という小さい範囲、仮りに回転数を 200rpm にしても、穿孔速度は毎分 1.3cm~9.4cm しか得られないという低速度の場合の回転穿孔特性を論じている。送りが大きくなると穿孔特性も変ってくる。著者の二、三の予備実験では、送りが 0.9~1mm 位までは、本文で論じているような特性が認められるが、これ以上大きくなると穿孔特性式(7)の α_1 は1または1以上の値に近づいてくることが認められる。すなわち送りが大きくなると推力は送りにほぼ比例するようになる。

感 謝

本研究は文部省科学研究費の交付をうけて施行したものである。

本研究を行うに当り種々御指導、御便宜を計つていただいた。熊沢教授、磯部教授、阿部教授、石橋教授らに実験施行、資料の整理に直接助力をうけた、加藤逸朗君に深甚の謝意を表す。

特 許 出 願 公 告 (鋁業関係)

公告 番号	分 類	願書番号	発 明 の 名 称	出 願 人	
				都府県 国 籍	氏 名 (名称)
(抗) 2251	9 C 225	27-19564	煽動上昇流による循環式重液選炭装置	大 阪	長 崎 通 亮
2252	10 A 4 (10 A 201) (10 E 13) (10 E 23)	31-1378	連続電解装置	大 阪	大阪チタニウム製造(株)
(抗) 2254	10 E 121	27-12160	沃化チタンより金属チタンの連続製造法	東 京	田 窪 タ マ
2255	10 E 121 (10 A 21) (10 A 231)	29-19256	チタン又はジルコニウム塩熱分解法	夕	徳 本 慎 一
2256	10 E 121 (10 E 222)	30-12514	結晶状チタニウム及びジルコニウムの製造法		金属材料研究所長
2258	10 P 23	30-20268	ゲルマニウムの製造方法	岡 山	妹 尾 功
2259	10 R 22 (14 H 1) (9 C 33)	30-32762	セレン、砒素等を含有する硫酸又は塩類の共存する硫酸酸性液を精製してセレン、砒素を回収する方法	大 阪	新日本窒素肥料
2601	9 B 21	30-7089	油井戸の配管に連結するための心管	米 国	シド、ダブリュー、リチャード スン、インコーポレーテッド
2602	9 C 225	30-21299	重液選鉱法	愛 媛	住友機械工業(株)
2603	10 A 231 (10 M 23)	31-24590	湿式電解製錬法	東 京	日 本 曹 達
2751	10 A 14	31-29837	焼結装置	愛 媛	住友機械工業
2752	10 A 231 (10 D 122) (10 E 123) (10 E 223) (10 G 23)	31-29414	電解析出金属の採取法	兵 庫	大阪チタニウム製造(株) 外1名
2755	10 A 521 (10 A 531) (20 B 20)	31-28557	塩基性耐火煉瓦による彎曲壁構築法	福 岡	黒 崎 窯 業 (株)