ワイヤロープの耐衝撃性の劣化*

正 会 員 立 田 潤**
佐 藤 治 海**
牧 野 豊**

Durability of Old Winding Rope for Dynamic Load

Hiroshi TATSUTA, Harumi SATO, and Yutaka MAKINO

It is said that shock load will causes winding ropes to break finally, therefor under shock condition, the shock absorbing capacities (=deformation energies) must be considered necessary for safety and durability of winding ropes.

We studied the impact value of the corroded and weared wire ropes used in coal mines by mean of impact tensile breaking test.

From the test results, the following conclusion were obtained.

The impact value of old winding ropes were more influenced and decreased by the decrement of effective sectional area than by that of static tensile strength.

1. 結 言

使用ロープは次第に耐久度が通減し、限界において切断となり、その直接原因は一般に衝撃荷重が考えられている。

ロープに荷重が加わると、そのエネルギーはロープに変形エネルギーを与え、損失を無視すれば、両者は等しく、従つて最大変形エネルギーを越える外力はロープを切断させることになる。最大変形エネルギーの限界量は使用中疲労、摩耗、腐蝕、断線等により減少し、特に衝撃外力に対しては注意が必要と考える。

いま変形エネルギーの限界、すなわちロープの吸収し得る変形エネルギー（衝撃値）の保有度合をもつてロープの耐衝撃性を考えるならば、この点はロープの安全性を論ずる重要な要素と考える。しかしこれに関する研究は比較的少なく^{1)~5)}、それも一部を除き素線についての実験が主であつた。

水田の研究はロープの素線より、ロープの安全性を検討し、衝撃に対して著しく弱くなることを警鐘したが、その実験において素線の代りにロープを用いたのが本実験の主体と云えよう。

腐蝕、疲労、摩耗、断線等の諸要因の組合せに基づく材料の耐衝撃性の劣化過程は使用状態により、定まると思うが、本研究はこの点を検討し、各鉱業所より寄贈し

て戴いた古ロープの衝撃値を測定し、ロープ損傷の耐衝撃性に及ぼす影響について検討したものである。

2. 実験方法

2.1 実験装置

衝撃引張試験装置は既報⁶⁾のものと同様であるが、伸び測定は従来は摺動抵抗による直流抵抗変化によるもので、近似的直線性の選択に制約を受け、試料の長い場合は補正値を用いなければならなかつた。今回は固定されたコイル内に真鍮パイプを移動させ、そのインダクタンス変化により測定するようにした。（第1図参照）

2.2 実験方法

試料は鉱業所の古ロープより、衝撃、静の両引張に各2本ずつ、長さ3mのものを作製した。第1表はその一覧表である。

摩耗量は単に直径寸法ではほとんど意味がなく、重量比を用いることにした。すなわち余長部より20cmを切り、端面仕上後、素線をほぐし、錆、その他付着物の

第1図 衝撃引張試験装置

* 昭和39年5月11日受理 日本鉱業会昭和38年秋季大会で講演

** 資源技術試験所 第6部

第1表 古ロープ試料一覧表

試料番号	鉱業所	ロープ構造	ロープ直径	ロープメーカー	新品時データ		使用期間	使用場所および試料採取箇所
					破断強度	伸び率		
1	a	6×7C/L	20φ	A	25,000kg	4.1%	35.5 ~ 35.11	沿層卸 30HP コース巻, 23°, 10月天地振替
2	b	6×7C/L	20	A	25,900	4.6	35.7 ~ 35.9	新六斜坑卸, コース元
3	c	6×7C/L	16	B	16,650	3.7	34.6 ~ 35.3	コース元より 20m
4	d	6×7C/L	14	A	13,300	4.46	34.10 ~ 35.10	桃ノ木上層 2坑11片, コース元より 30m
5	e	6×7C/L	18	C	20,800	4.2	34.12 ~ 35.11	斜坑小型コース巻, コース元より 400m
6	f	6×7C/L	16	D	16,750	4.9	35.5 ~ 35.11	斜坑小型コース巻, コース元より 15m
7	g	6×7 サン	16	E	19,400	4.1	34.11 ~ 35.8	斜坑, コース元よりほぼ中央
8	h	6×7 サン	16	E	19,400	4.1	34.11 ~ 35.8	斜坑, 中央
9	i	6×7C/L	16	A	16,750	4.2	35.7 ~ 35.10	ホイスト用, コース元, 天地振替なし
10	j	6×7C/L	16	A	16,750	4.2	35.1 ~ 35.4	ホイスト用, コース元
11	k	6×7 サン	14	E	15,300	4.2	35.1 ~ 35.9	第2立坑底, 水平エンドレス, 中間
12	l	6×7C/L	16	F	16,700	4.3	35.3 ~ 35.9	立坑中央坑上層本線, 中間
13	m	6×7C/L	20	D	26,200	5.0	35.3 ~ 35.9	8 卸右 1 片水平エンドレス, 腐, 磨の甚しい部分
14	—	6×7C/L	20	E	26,350	4.1	—	当試験にて購入したもの
15	o	6×7C/L	20	G	25,600	5.0	33.10 ~ 35.9	ベンケ 3 坑坑外 100HP 硬捨巻, コース元より 40m
16	p	6×7C/L	20	D	25,300	*5.0	34.4 ~ 35.10	80HP スキップ巻, コース元より 240m
17	q	6×7C/L	22	C	30,900	4.4	35.1 ~ 35.10	水平エンドレス巻, コース元

* 記録は 5.73 であるが, 同一メーカーの他のロープから判断し, 5.0 とした。

第2表 古ロープの摩耗量測定結果

試料番号	公称寸法	標準重量	試料長さ	新品時重量A	索線重量	麻心重量	古ロープ重量B	$\frac{A}{B} \times 100$	同平均
1	20φ	1,480 g	200.50mm	296.74 g	252.68 g	13.90 g	266.58 g	89.50%	89.50%
2	20	1,480	201.00	297.48	195.83	12.70	208.53	70.1	70.10
3	16	947	198.50	187.98	134.40	7.20	141.60	75.5	75.85
4	14	725	199.70	189.11	136.90	7.15	144.05	76.2	77.55
5	18	1,200	200.00	145.00	121.10	6.10	127.20	87.7	87.70
6	16	947	200.30	145.21	121.00	5.90	126.90	87.4	87.40
7	16D	1,060	200.00	240.00	159.20	12.40	171.60	71.5	71.70
8	16D	1,060	199.55	239.46	159.60	12.60	172.20	71.9	71.90
9	16	947	200.25	189.63	152.60	8.70	161.30	85.0	84.20
10	16	947	200.20	189.58	152.70	8.90	158.00	83.4	83.40
11	14D	810	200.00	212.00	198.80	8.70	207.50	97.8	97.80
12	16	947	198.60	210.50	197.10	8.85	205.95	97.8	97.80
13	20	1,480	200.25	212.26	199.30	9.30	208.60	98.4	98.45
14	20	1,480	200.00	212.00	199.40	9.40	208.80	98.5	98.50
15	16	947	200.40	189.78	156.30	9.65	165.95	87.5	87.20
16	16	947	200.40	189.78	154.30	9.60	163.90	86.9	86.90
17	22	1,790	200.40	189.78	156.10	11.50	167.60	88.4	88.45
18	16	947	199.50	185.32	152.30	11.70	164.00	88.5	88.50
19	14D	810	200.05	162.40	119.20	6.60	125.80	77.5	77.50
20	16	947	200.60	162.50	120.60	6.65	127.25	78.4	78.40
21	16	947	200.00	189.40	137.20	11.50	148.70	78.5	78.50
22	16	947	200.00	189.40	138.20	10.90	149.10	78.7	78.70
23	20	1,480	200.00	296.00	263.90	13.30	277.20	93.5	93.50
24	20	1,480	200.00	296.00	264.05	13.40	277.45	93.7	93.70
25	20	1,480	202.00	299.25	275.50	14.75	290.25	97.2	97.20
26	20	1,480	199.20	297.40	262.10	14.30	276.40	93.2	93.20
27	20	1,480	200.10	298.00	239.55	13.70	253.25	85.0	85.00
28	22	1,790	200.50	358.00	252.70	13.50	266.20	74.5	74.50

除去, 軽油, アセトン洗浄後素線, 麻心別に重量を測り規格値との比をもつて, 摩耗率とした。したがって内部進行は別として表面の腐蝕摩耗も検出されることになるだろう。麻心の消耗は多量の場合で, 1.5% 位なので, 素線摩耗として考えた。第2表はその測定結果である。この比をもつて有効断面積の残留率としたのである(第2表中 $B/A \times 100\%$)。

引張試験は装置が横型なので, たるみを除くため, 約 500kg の予荷重を与えて行なつた。なおソケット部のなじみ等の影響を除くため破断強度 10~20t の試料には 5t, 20~30t に対して 10t の荷重を 30sec かけた後, 初期に戻して引張試験を行なう(仮りに予荷重引張と称する)。原則として切断箇所がコースメタルより 10cm 以内のものは除外することにした。

使用中撓りピッチ変化の考慮はつぎのように考えた。既発表の振動周期に関する実験⁹⁾において破断強度の 1/10 荷重長時間試験を行ない, 伸びの時間的変化を調べた結果, 約 3 週間後に伸びは試料長さ 5m に対し, 16.8 mm となり, 以後一定(試験 1 ヶ月)となつた。この割合で判断すると, 20φ の古ロープ試料 200mm の重量に対し, 0.3g すなわち 0.2% 位となり, 一応無視できると思われる。

2.3 予備実験

古ロープの新品時の変形エネルギー(衝撃値と称する)のが好ましいが, 静的引張には適当でない以下この表現を用い, その量はロープ 1m 当りの値である)は推定するのであるが, 新品時のデータとして破断強度, 最大伸び率が判明しているので, これに基づき, 次の関係

第3表 引張試験の比較 (新品ロープ)

	衝 撃 引 張 $l=3m$					静 的 引 張 $l=3m$				
	破断強度 A	伸 び B	伸び率 C	変形エネルギー D A × B	D A × B	破断強度 A	伸 び B	伸び率 C	変形エネルギー D A × B	D A × B
	26,750kg	93.75mm	3.12%	604 $\frac{kg \cdot m}{m}$	0.725	25,050kg	90mm	3.00%	534 $\frac{kg \cdot m}{m}$	0.710
	27,200	87.50	2.91	580	0.713	25,290	93	3.10	572	0.726
	25,800	91.25	3.04	546	0.696	25,050	86	2.87	505	0.702
平均 比率	26,580 1.05	90.83 —	3.02 1.01	576 1.10	0.711 —	25,130 1	89.7 —	2.97 1	522 1	0.713 —

から推定が可能である。

(i) 新品ロープの衝撃、静的両引張の最大変形エネルギーには一定の関係があること。

(ii) 破断強度、伸びの両者より最大変形エネルギーの推定が可能であること。

(iii) 予荷重引張を採用した場合、伸び率は一般より小さく、両者に一定の関係があること。

第3表は予備実験の結果による上記の関係を示したものである。

(1) 変形エネルギーは第3表より

$$w_d = 1.1 w_s \dots\dots\dots (1)$$

ただし w_d : 衝撃引張変形エネルギー kg-m/m

 w_s : 静的引張 $\neq$ $\neq$

となり、既発表⁵⁾よりの 1.12 とほとんど一致した係数を得た。

(2) 破断強度と伸びよりの変形エネルギーの推定は
同じく第3表より

$$w_{s(d)} = 0.71 \cdot t_{s(d)} \cdot e_p \dots\dots\dots (2)$$

ただし $t_{s(d)}$: 静的破断強度また衝撃破断強度 kg

 e_p : 予荷重引張採用の最大伸び m

(3) 静的引張の最大伸びに関して予荷重引張の有無の比較は次のようになる。

第3表より伸び率は衝撃、静的両引張とも約3%であるが、これは実験室において用いている予荷重式引張の値で、一般の伸び率より小さく、つぎの関係がある。

$$e_p = \frac{3}{4.1} e = 0.73e \dots\dots\dots (3)$$

ただし l : 予荷重引張を用いない伸び

(4) 以上3式の関係より新品ロープの変形エネルギーは破断強度と伸びより

$$w_d = 0.57 t_s e \dots\dots\dots (4)$$

3. 予 備 考 察

3.1 ロープ使用中の損傷

ロープ損傷の原因を大別して、次の4種に考え得る。

摩耗によるもの

腐蝕によるもの

素線の変質によるもの

素線の断線によるもの

これらの原因等により、ロープは次第に劣化し、破断強度、最大伸び率の低下と共に最大変形エネルギーも減少するものである。

3・2 最大変形エネルギー減少の傾向

元来変形速度が増すと破断応力、最大変形エネルギーともに増加することが認められているが、ロープについてもそれを確認することができる(第3表参照)。したがって衝撃荷重に対し、一概に弱体化するとはいえないが上述のような古ロープに対しては最大変形エネルギーが減少することを考えなければならない。最大変形エネルギー値の減少は次のように分けて考えられるだろう。

最大伸びの低下に伴う減少

破断強度の低下に伴う減少

(1) 最大伸びの低下は組織の疲労、微細な腐蝕進行による鋭利な切欠、機械的摩耗が与える素線の部分的な切欠、また素線間の接触圧により生ずるピッチングの切欠など各種の切欠効果等の原因によるものと思われる。いま荷重を P 、伸びを ϵ とすれば、変形エネルギー U は

$$U = \int_0^{x_1} P \cdot dx \dots\dots\dots (5)$$

ここで変形が $P=kx$ のような弾性変形の場合は (5) 式より

$$U_1 = \int_0^{x_1} kx dx = \int_0^{x_1} \frac{AE}{l} x dx = \frac{1}{2} \left[\frac{AE}{l} \right]_0^{x_1} x^2 + c$$

..... (6)

ここで k はバネ定数でロープの断面積を A ，長さを l 弾性係数を E とすれば $k = AE/l$ 。

つぎに塑性的変形の場合は弾性係数に対応する塑性係数を考えると、一般に塑性係数は一定でなく、伸びとともに変化するものであり、それを E' とすれば $E' = f(x)$ (f は x の函数) で表わされ、そのときの荷重(塑性変形抵抗)は

$$P = -\frac{A}{l} E' x$$

となり塑性範囲の変形エネルギー U_2 は

$$U_2 = \int_{x_1}^{x_2} P dx = \int_{x_1}^{x_2} \frac{AE'}{l} x dx \dots\dots\dots (7)$$

となり、 U_1 、 U_2 はいずれも伸び x の関数である。しかしロープの場合常に $E > E'$ であり、(6)、(7)式より $\frac{dU_1}{dx} > \frac{dU_2}{dx}$ の関係をうるから、第2図aのような $P-x$ 線

第2図 変形エネルギーと伸び断面積の関係

図について U と x の関係は同図bのように異なる曲線で表わされるだろう。第3図は第1表試験番号14の新品ロープの衝撃引張試験の図であるが、同図の曲線bにおいて同様な傾向が見出されよう。

(2) 破断強度の低下は摩耗、腐蝕、断線による断面積の減少によるものと思われ、全く疲労なしに機械的摩耗は考えられないが、存在しうとして、いま長さに対し、一様な機械的摩耗を考えると有効断面積と変形エネルギーの関係は第2図cのように、直線となるはずである。すなわち応力 σ とひずみ ϵ の関係 $\sigma=f(\epsilon)$ は断面積 A に無関係に成立するから、 $P=Af(\epsilon)$ 、したがって変形エネルギー U は

$$U = A \int f(\epsilon) dx = A \int F(x) dx \dots \dots \dots (8)$$

となり変形エネルギーは断面積 A に比例する。

以上より鋼棒の最大変形エネルギーは有効断面積に比例し、最大伸び率の変化に対しては2種類の曲線的関係があるといえよう。しかしロープについては長さに対し一様な機械的摩耗も、各素線にとつては部分的摩耗となり、腐蝕などとともに切欠効果の原因となる。この切欠効果は疲労とともに最大伸びを減少させるものであるから、変形エネルギーに対して断面積および最大伸び変化の影響をそれぞれ分離検討することはロープの場合困難で、両者の影響の共存は免れない。

またその両者の影響の割合はロープの使用中の管理等により異なると思われるが、本実験ではロープ管理につ

第3図 荷重—伸び、変形エネルギー—伸び線図

いては検討できないのでむしろこの場合、鉱山におけるロープ使用状態を一律に考え、ロープの劣化傾向を一般的な鉱山における使用という面から、検討せざるを得ない（この是非については検討の余地がある）。

4. 実験結果

以上の考え方から第1表に示す試料について試験を行ない、第4表のような結果を得た。この表は平均値を示したものである。この表に基づいて最大変形エネルギー、破断強度、最大伸び率について衝撃、静の両試験の比較を行ない、変形エネルギーと破断強度、有効断面積、最大伸びの関係等、古ロープの耐衝撃性について検討した。

なお第1表の試料中、20φ、22φ ロープおよびサンロープは第2種（抗張力 $T=165\text{kg/mm}^2$ ）、それ以外は第3種（ $T=175\text{kg/mm}^2$ ）となっており、2種類の材質が含まれているが、その点はつぎのように考える。

一般にロープ線材の成分は炭素量を除く外は同一量で炭素量は第2種が0.6%、第3種は0.7%が標準とされ

第4表 測定値一覧表

試料番号	断面積 残留率	新品時推 定変形エ ネルギー	衝撃引張						静的引張					
			破断力	伸び	伸び率	同残留率	変形エネ ルギー	同残留率	破断力	伸び	伸び率	同残留率	変形エ ネルギー	同残留率
			kg	mm	%	%	kg-m	%	kg	mm	%	%	kg-m	%
1	89.50	569	19,000	55.0	1.83	59.8	217.2	38.1	18,900	61.0	2.03	62.0	235.5	40.5
2	70.10	660	13,500	28.5	0.95	27.7	64.7	9.8	10,200	21.0	0.7	20.4	35.7	5.4
3	75.85	342	7,875	29.6	0.99	35.9	38.9	11.5	9,600	23.0	0.77	27.8	36.3	10.4
4	87.55	329	9,833	27.5	1.00	30.1	49.2	14.9	6,000	29.0	1.45*	43.5	51.0	15.7
5	71.70	485	14,620	46.3	1.54	49.2	126.6	25.9	13,800	54.0	1.80	47.0	109.0	22.1
6	84.20	455	12,883	47.5	1.58	43.3	130.9	28.3	14,100	42.0	1.40	38.4	128.2	27.6
7	97.80	442サン	20,250	73.8	2.46	80.5	336.7	73.5	20,040	97.0	3.23	105.6	484.9	98.5
8	98.45	442サン	19,437	70.6	2.57	82.3	334.7	67.9	19,950	99.0	3.30	108.0	484.6	98.4
9	87.20	399	12,417	42.1	1.40	44.7	99.0	24.5	12,000	33.0	1.65	52.7	115.8	29.0
10	88.45	399	13,750	61.8	2.06	65.8	170.2	42.6	13,800	42.0	2.10*	67.1	186.8	46.9
11	79.95	356サン	9,925	38.8	1.29	41.2	72.3	19.9	9,450	30.0	1.5	48.0	90.8	27.5
12	78.63	399	13,425	40.6	1.35	42.2	106.3	26.3	10,350	39.0	1.3	40.6	75.0	18.5
13	93.60	525	26,900	106.3	3.54	95.0	726.4	100.3	24,750	112.5	3.75	100.5	722.6	99.6
14	97.20	597	26,580	90.8	3.02	98.9	576.7	96.6	25,130	91.5	3.05	98.8	537.2	90.0
15	93.20	710	21,800	80.0	2.56	68.7	453.0	63.8	22,740	92.0	3.06	82.2	-	-
16	85.00	703	19,700	57.5	1.95	52.4	265.3	37.1	20,700	-	-	-	-	-
17	74.50	755	16,125	21.3	0.70	21.3	121.2	15.8	17,250	32.5	1.08	33.1	106.9	14.2

注 数値：平均値を示す。サン：サンロープまたは同類のもの。*： $l=2m$

ている。幅野の研究⁷⁾によれば炭素量 0.6%($T=160\text{kg/mm}^2$), 0.64%($T=167\text{kg/mm}^2$), 0.7%($T=176\text{kg/mm}^2$) の3種類のロープ線材についての引張衝撃値(シャルピーによる)は大体同一値で、疲労(曲げ)による影響もほとんど同じ傾向である。

つぎに腐蝕疲労については抗張力との関係はまずないと考えられそうである⁸⁾。また腐蝕、摩耗はロープ管理、ロープに接する対象物により大きく左右され、抗張力との関係は定めにくい。

以上より本実験においては第2, 3種の材質の差は考えないことにした。

4.1 衝撃, 静両引張の比較

(1) 最大変形エネルギーを両試験について比較すると、多少衝撃引張が大きく、第5表によると平均の比は1.6となる。

新品ロープは第3表から 1.10 または既発表⁹⁾の 1.12 となり、古ロープになると両引張の差が小さくなるようである。

(2) 破断強度についての両試験の比較は新品時には 1.05(第3表), 古ロープでは第6表のように 1.05 を得て、新品, 古ロープ共に衝撃破断強度は同じ程度の上昇を示している。

(3) 伸び率は第7表に示すように破断強度とは逆に衝撃引張の方が少なく、差はわずかであるが、その比は 0.95 となる。

以上変形エネルギー, 破断強度, 最大伸び率について古ロープの衝撃, 静両引張の比較を行なったのであるが古ロープは部分的に損傷程度の差もあり、同一試料でも同一個所の比較はできず、あくまで平均的な見方しかできないが、第5, 6, 7表によれば、衝撃引張においては破断強度は静引張の 1.05 倍, 最大変形エネルギーは 1.06 倍, 最大伸び率は 0.95 倍となる。しかしながらいずれも僅少な比較値であり、表の「ばらつき」から考えてなお検討を要する事項と考えられる。

4.2 変形エネルギーと伸び率の関係

最大伸び率の減少はロープの疲労, 腐蝕の進行程度を表わすものと思うが、その関係は第4図のような関係がある。なおこの曲線は機械的摩耗, 腐蝕摩耗, 疲労, 断線等の影響が含まれており、今各測点について有効断面積の減少を考慮して修正し、各試料についての平均値を示すと同図bのようになる。第2図b, 第3図bのような2つの傾向の、境界らしき点が見出されないこともなく、この点は第3図b, 第4図bいずれも 50~55% の伸び率の減少した点に相当するものである。

最大伸び率の測定はロープを切断して見なければ、判明できないが、第4図より変形エネルギーを半減までにとどめるには最大伸び率 60~70% の残留率を保有した

第5表 古ロープ変形エネルギーの衝/静

試験番号	変形エネルギー 衝/静	試験番号	変形エネルギー 衝/静	試験番号	変形エネルギー 衝/静
1	0.925	7	0.695*	13	1.005
2	1.810○	8	0.693*	14	1.105**
3	1.070	9	0.835●	15	-
4	0.963	10	0.910	16	-
5	1.155	11	0.797*	17	1.135
6	1.020	12	1.410	平均	1.06

*: サンプルまたは同類のもの ** : 新品ロープ } 平均値の算出より除く
○: 最大値 ●: 最小値

第6表 古ロープ破断強度の衝/静

試料番号	破断強度 衝/静	試料番号	破断強度 衝/静	試料番号	破断強度 衝/静
1	1.00	7	1.00*	13	1.05
2	1.32	8	1.00*	14	1.06**
3	0.85●	9	1.03	15	0.96
4	1.63○	10	0.99	16	0.93
5	1.06	11	1.05*	17	1.00
6	0.91	12	1.30	平均	1.05

*: サンプルまたは同類 ** : 新品ロープ } 平均値の算出より除く
○: 最大値 ●: 最小値

第7表 古ロープの伸び率の衝/静

試験番号	伸び率 衝/静	試験番号	伸び率 衝/静	試験番号	伸び率 衝/静
1	0.9	7	0.76*	13	0.94
2	1.35○	8	0.78*	14	0.99**
3	1.28	9	0.85	15	0.84
4	0.69	10	0.98	16	-
5	0.86	11	0.86*	17	0.65●
6	1.13	12	1.04	平均	0.95

*: サンプル ** : 新品ロープ } 平均値の算出より除く
○: 最大値 ●: 最小値

第4図 変形エネルギーと伸びとの関係

なければならないだろう。

4.3 最大変形エネルギーと破断強度

摩耗, 腐蝕, 疲労, 断線等による破断力の低下は当然最大変形エネルギーを減少させるものである。比較的單

純な摩耗の得やすい丸鋼棒と異なり、ロープは変形エネルギーが単に有効断面積に比例するとは考えられない。摩耗の過程には疲労も伴い、腐蝕も行なわれ、機械的摩耗も素線にとっては部分的摩耗となり、切欠効果は免れない。従つてこの関係はまず曲線の関係と考えなければならない。水田の研究⁹⁾によれば両者は双曲線の関係にあり、古いロープでは衝撃強度の損失は静引張強度の損失より著しく大きいことが報告されている。本実験も第5図のように全く同様な傾向にあり、最大変形エネルギーの減少の急激なのに驚くものである。なお引張試験としては衝撃引張は一般的でないので、第5図の破断強度は静的破断強度とした。第5図中(第6図も同様)の点線は水田の実験値であり、比較的よく一致している。古ロープの耐衝撃性の低下は誠に急速であり、点線では静的破断強度20%、本実験では約15%の減少でそれぞれ最大変形エネルギーが半減することになる。

4.4 最大変形エネルギーと有効断面積

静的破断強度は断面積に比例するはずであるから、前項の関係において静的破断強度の代りに有効断面積を考えてみよう。この場合も同様、双曲線の関係が予想される。第6図はその関係を示すが、第5図に比べ最大変形エネルギーの急減が目立ち、有効断面積の減少による最大変形エネルギーの低下は、静的破断強度の減少によるよりも急激であるといえる。この理由として次のことが推察されよう。

(1) 3.2で述べたように塑性係数 $E' = f(x)$ (f : 伸び λ の函数) は弾性係数 E より小さく、伸びに対する荷重変化は弾性域より塑性域の方が小さい。このためある程度までは最大伸びの減少による破断強度の低下はさほど大きくはなく、その範囲は前述のように伸び率の減少50~55%位までに及ぶことから、第4表でみるように2,3の例を除きほとんどの試料はその範囲内にあり、第5図の破断強度の分布は主として伸び率すなわち疲労の影響よりも、むしろ有効断面積の相違を示すことになるだろう。

(2) これに対し、第6図の有効断面積の分布は機械摩耗、腐蝕摩耗、疲労等がともに含まれ、これらは各種

形状の切欠効果をもたらし、最大変形エネルギーの低下に大いに寄与しており、単純な有効断面積減少による影響とともに第6図のような、関係を示す原因と考えられる。

以上より第5図は主として有効断面積の変化による影響を示し、第6図は有効断面積と疲労の両者の影響を主として示すことになり、両図の相違が生ずるらしい。

次に第6図中点線と本実験の相違は比較的大きい。この点を検討して見よう。

(i) 素線の実験は新品ストランドを摩耗させた後の素線について行なつたもので人為的に断面積を減らし、疲労は比較的少ないのに反し、本実験の古ロープは摩耗腐蝕以外に疲労の影響の大きいことが予想される。

(ii) 古ロープには、各種各様の切欠効果が考えられる。

(iii) 素線の実験における切欠は素線円周の一部であるのに反対し、本実験の古ロープの切欠はロープ表面一様に摩耗していると考えて、各素線の切欠部は隣接素線と連絡し、ロープ全体としてはスパイラル状に全周にわたる切欠と考えることができる。

以上素線と本実験による、古ロープの比較を行なつたが基礎的な素線実験に対し、古ロープは実用試験であるだけに、その扱いが容易でなく、結果は第6図のように相当の「ばらつき」があり、ある幅の持つ傾向と扱つてもよいが、一応図のような曲線を引いてみた。

以上のように古ロープにおいては最大変形エネルギーすなわち耐衝撃性の低下は第5, 6図に見るように極めて急速であり、最大変形エネルギーと静的破断強度の関係は素線の実験と同じ傾向を示している。しかし耐衝撃性の低下に寄与する度合は静的破断強度の減少より有効断面積の減少の方がかなり大きく、素線よりの推定を越えるものであり、有効断面積10%減において、すでに最大変形エネルギーは半減することになるのである。

5. 総 括

以上の実験は16鉱山の古ロープと新品ロープを含め、17種類の摩耗度の異なるロープの衝撃引張と静的引張試

験を行ない、その比較を行なうとともに衝撃引張時の変形エネルギーを以つて耐衝撃性を判断し得るものとし、これとロープ損傷度との関係を検討した。そしてその過程において古ロープの新品時における最大変形エネルギーの推定について検討を行なつた。つぎにそれらの結果を記述順にまとめて見ると。

(1) 新品時においては静的破断強度、最大伸び率が分れば、最大変形エネルギーの推定が可能である。

(2) 衝撃引張と静的引張の比較(古ロープ)

破断強度は衝撃の方が大きく、静引張の約 1.05 倍となり、新品時とほとんど同じである。

伸び率は逆に衝撃引張の方が小さく、静引張の約 0.95 倍となる。最大変形エネルギーは両引張とも同じと考えてよいようである。しかし以上はいづれも少ない差であり、わずかな傾向として考えたい。

(3) 最大変形エネルギーと静的破断強度は双曲線的関係があり、素線の実験より推定した曲線によく合う。

(4) 最大変形エネルギーと有効断面積の関係もやはり、双曲線の関係がある。(3) が主として単純な断面積の影響を示すのに反し、(4) は単純な有効断面積の減少以外にその減少過程における疲労、腐蝕、断線の影響も

含まれ、(3) に比べ最大変形エネルギーの減少は一層著しくなり、素線の実験において素線に $3.7d$ (d : 素線径) の切込長を設けた実験結果によく似ている。有効断面積約 10% の減少によつて最大変形エネルギーはすでに半減し、如何にその関係が急激であることが分る。

謝 辞 この研究実施に当たり、資源技術試験所鈴木所長、佐々木第六部長、高岡第三課長の懇切な御指導を頂き、石炭技術研究所水田所長には御校閲を頂き、貴重な御助言を賜つた。実験については柴田康弘氏に負う所大であつた。記して心から謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 水田準一：(捲網の衝撃に対する安全度について) 日本鉱業会誌，第32巻，611号(昭11.3)
- 2) 三雲英之助，会田俊夫，樋上寛，佐藤進：(鋼索素線の疲労) 水曜会誌，第12巻，28号
- 3) 鈴木光：(捲網素線の疲労について) 第3回ワイヤロープ研究会講演集。
- 4) 秋山英司，近藤太二，袴塚三三，頓所進：(ワイヤロープの衝撃強さ(第1報)) 労働安全研究所報，No. 1, 1961
- 5) 岡山千代田，立田潤，牧野豊：(動荷重より見たロープの一特性について) 採鉱と保安，6巻，6号。
- 6) 岡山千代田，立田潤，片山輝雄：(ワイヤロープの振動周期について) 採鉱と保安，7巻7号。
- 7) 幅野禎太郎：(ワイヤロープの劣化とその対策に関する研究) 昭和37年。
- 8) 石橋正：金属の疲労と破壊の防止 p. 288~289, 養賢堂発行。

新しいタイプの自生粉碎機

Bath Iron Works 社の Pennsylvania crusher 部門が、最近全く新しいアイディアに基いた自生粉碎機 (autogenous crusher) を発表した。これはタコナイト鉱，マンガン鉱，クロム鉱などのかたい物質を粉碎するのに適しており、一段で 100~325mesh の粉碎産物を生成できるという。

この粉碎機はタテ型衝撃バルベライザ (VIP) と、よばれ、単にかたい鉱石の粉碎を効果的に行なうというだけでなく、摩耗部分の損失が少なく粉碎経費も非常に安い特色がある。

第1図に示すように鉱石は垂直のフィード・パイプを通つて装入れされ、回転インペラに突当つて、2,100~3,600rpm に加速され、インペラと逆向きに回転しているボウル中に投込まれ、先行してボウル中に存在する鉱石と衝突し自生粉碎が行なわれるようになっていく。

この衝撃自生粉碎をうけた粉碎産物は、ボウルのへりをオーバ・フローし、ボウルのコニカル部分の壁に

そつて上へ運ばれる。この際細かい粒子は空気流により遙か上方まで運ばれるが、空気流に乗り切らない粗粒は、再循環羽根に流れ込み、インペラに再び戻され再粉碎をうける。

ボウルの運動とボウルが常時保有している鉱石量は、この(VIP)粉碎機の2つの重要な特徴である。すなわちボウルがインペラと逆向きに回転することにより、インペラから投げ出される鉱石は、それだけ大きな速度の衝撃をうけることになる。そしてボウル中に常時鉱石粒子群が存在することは、ボウル表面が鉱石により直接衝撃摩耗をうけるのを防ぐ。

Bath 社の言明するところによると、インペラ速度、空気流、分級羽根の位置、出口スリーブのセットなどを調節することにより、任意の粒度の粒子を作ることができるという。

現在、VIP は一機種しかないが、その型式は高さ 2.25m、幅 1.26m、深さ 1.29m である。処理能力は鉱石特性、フィードと最終産物の粒度に

第1図 新形式の自生粉碎機

より変動するが、最大 5t/h である。

(広部良輔)

—New Products Digest. Engineering and Mining Journal, Feb. 1964, 45 より