論文 報告

巻索の作業量と巻上回数について*

正 会 員 秋 吉 利 男**

On the Rope Performance and the Number of Winding Cycle of Winding Rope

Toshio AKIYOSHI

In the previous paper, the author decided on the winding performances of ropes in theory and practice. So that, the rope performance and the number of winding cycle as the common standard data in them, at present, could be found, and the data are as Table 1. But these data are not definite and ought to rise, if a little, by managing ropes well. So in this paper, the relation between the rope performance and the number of winding cycle, and these maximum value, that they can reach, were studied in every winding system.

1. 結 言

斜坑、立坑用巻索の巻上能力について巻索の各構造、寸法および巻上条件別に巻上能力各項目の標準値を理論と実際上から決定してきた。それらのうち現在の共通標準資料として巻索の作業量と巻上回数をあげたが、これらは一定のものでなく年々歳々わずかずつでも上昇するように使用すべきであるので、ここでは巻上方式別に作業量と巻上回数の目標およびそれらの関連性などについて考察したものである。

この目的のために巻索の構造としては一般に最もよく使用されている、つぎのものを選んだ。

斜坑用巻索 ドラム巻 6・7C/L

立坑用巻索 $\begin{cases} \text{ドラム巻} & 6 \cdot F \{ (3 \cdot 2 + 3) + 12 + 15 \} C/L \\ \text{ケーベ巻} & 195 + 8 \cdot F(10)L \end{cases}$

なお、検討のためにわが国および北欧の実績を引用した。

2. 巻索の作業量と巻上回数の標準値について

ここに巻索の1巻上げ、巻下げ、すなわち1サイクルの作業量を k (t.km/kg/cycle) とすると巻索1代の作業量 $[U]$ と巻索1代の巻上回数 $[N]$ との関係は式(1)で表わされる。

* 昭和34年10月15日受理 昭和34年4月日本鉱業会春季大会にて“立坑巻索の巻上能力とその検討(第3報)”として講演したものに斜坑巻索の巻上能力に関するものを付加した。

** 九州工業大学助教授 鉱山学教室

*** 第1表の末行参照。

第1表 巻上能力の共通標準資料

巻 索	資 料	作業量の標準		巻 上 回 数 [N] (回)			1 サイクル の作業量 k の標準
		[U] (t・km/kg)		日 本 外 国 ^{#2}			
		日 本	ド イ ツ	標 準	最 大	最 大	
斜 ドラム巻索	d ≧ 30mm	40.0	-	13,000 ± 2,500	28,078	-	0.00308
	≦ 28mm	30.0	-	10,000 ± 2,000	27,800	-	0.00300
立 坑	ドラム巻索	240	240	(13~14) × 10 ⁴	217,345	447,001	0.00178
	ケーベ巻索	550	600	(23~24) × 10 ⁴	330,676	531,439	0.00234
	グラウンド ケーベ巻索	(300)*1	(330)*1	(18~24) × 10 ⁴	317,399	-	0.00210
		420					

*1 (作業量) は全仕事量 (t.km) を (巻索+尾索) の重量 (kg) で除した値

*2 筆者の調査での最大

$[N]=447,061$ は英 Broken Hill South の Skip 巻上 (Locked coil)

$[N]=531,439$ はオランダ (Flatt. str. rope)

$$[U]=k[N] \quad \therefore k=[U]/[N] \cdots \cdots (1)$$

$[U]$ と $[N]$ の標準値は第1表^{*)}のようで式(1)から現在の1サイクルの作業量 k の標準値***を知ることが出来る。

第1表によれば各巻上方式で $[U]$, $[N]$ ととも差があり、まず $[U]$ は k と $[N]$ とに支配され、その $[N]$ の差について主要原因を考察すれば、つぎのようなことが挙げられる。

(1) 斜坑巻索の場合、直径30mm以上と直径28mm以下との $[N]$ の差は主要巻と補助巻すなわち主要坑道と坑内卸坑道であり、直径28mm以下の巻索は坑道条件も悪いことによるものとみることが出来るので斜坑では直径30mm以上のものを標準と見なすことが出来る。

(2) 立坑ケーベ巻上においてタワー式とグラウンド式との $[N]$ の差についてグラウンド式はタワー式より約2倍の屈曲と正逆両曲げを受けるとみて差支えないであろう。したがってタワー式の $[N]$ が大きくなるとみることが出来る。

(3) 立坑タワー・ケーベ式と立坑ドラム式とでは約10万回の $[N]$ の差がある。この理由としてドラム巻索

は(イ) フリート・アングルのため巻索がドラムのフランジ側に移行するにつれて巻索間の摩擦、摩擦も付加し、かつ斜めに張力が作用するため、特殊応力などの繰返しを受ける。(ロ) フリート・アングルを採るために坑口とドラムの距離を必然的に離すことになりヘッド・シーブとドラム間の巻索の振動が疲労を促進する傾向をもっている。(ハ) 巻索の一端がドラムに固定されているために巻索の撓りに対する自由度がなくなりドラムの巻込点のところで巻索にわずかな“脹み”を生じケージが坑口に達したとき、その“脹み”が最大となり、つぎの停止の瞬間に引き締められる作用の繰返しもある。(ロ)、(ハ)の原因でケージが坑口にあるときドラム接点付近の強度が最も低下している³⁾。(ニ) ケーベ式はシーブ面の仕上げがドラム式のシーブより精度も高く、かつライニングも施されている。などのためにドラム巻索はケーベ巻索ほど巻上回数を上昇することは不可能であるものと考察される。

(4) 立坑巻索と斜坑巻索との巻上回数は非常に異なる。これは巻上方式の異なるすなわち斜坑巻索は摩擦を主体とし、かつ曲げ箇所、曲げ回数も多いことによるものと考察される。

以上のような理由により作業量にも差を生ずるものと考察される。そこで、つぎの各巻上方式の k について理論的に検討してみよう。

3. 斜坑巻索の1サイクルの作業量 k_1

斜坑巻索の作業量 $[U]$ ⁴⁾は

$$\begin{aligned} [U]_1 &= \{nQ_t(\sin\theta + \mu_t \cos\theta) + 2nq_t \sin\theta \\ &\quad + \gamma S_m \sin\theta\} S \cdot [N]_1 / 1000 \gamma S_m \\ &= \{nQ_t(\sin\theta + \mu_t \cos\theta) + 2nq_t \sin\theta \\ &\quad + \gamma S \sin\theta\} [N]_1 / 1000 \gamma = k_1 [N]_1 \dots\dots (a) \end{aligned}$$

である。上式においては巻上距離 S とドラム接点までの最大長さ S_m とを等しく見なしたが、これは元来斜坑は S が長く、かつ $S_m - S < 10m$ の場合が多いので簡単にするために $S = S_m$ と見なした。

つぎに巻上回数 n は次式⁵⁾によつて、

$$\begin{aligned} n &= \gamma \{S_c - S_m(\sin\theta + \mu_r \cos\theta)\} / \\ &\quad (Q_t + q_t)(\sin\theta + \mu_t \cos\theta) \\ &= \gamma \{S_c - S(\sin\theta + \mu_r \cos\theta)\} / \end{aligned}$$

第2表 $S_c (=C/F)$ の値

F	6・7		6・F[(3・2+3)+12+15]		195+8・F (10)	
	1 種	3 種	1 種	3 種	1 種	3 種
1	15.378	17.362	13.615	15.345	14.327	16.170
6	2.563	2.894	2.269	2.558	2.388	2.695
8	1.922	2.175	1.702	1.918	1.791	2.021
10	1.538	1.736	1.362	1.535	1.433	1.617
12	1.281	1.447	1.135	1.279	1.194	1.347

$$(Q_t + q_t)(\sin\theta + \mu_t \cos\theta) \dots (b)$$

ここに常用自重切断係数 $S_c = C/F$ (自重切断係数 C は巻索の構造と種別とに支配され直径には無関係に表わすことが出来、第2表のようである。)の安全率 F 、坑道傾斜 θ 、巻上距離 S などに種々の条件を与えることによつて、それぞれの場合の n を決定することが出来る。なお Q_t は鉱車1面の積載量、 q_t は鉱車の自重、 μ_t は鉱車の摩擦係数および μ_r は巻索の摩擦係数である。

さて、式(a)から

$$k_1 = \{nQ_t(\sin\theta + \mu_t \cos\theta) + 2nq_t \sin\theta + \gamma S \sin\theta\} / 1000 \gamma$$

上式に式(b)を代入すると次式(2)が得られる。

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{1}{1000} \left[\frac{Q_t}{Q_t + q_t} + \frac{2q_t \sin\theta}{(Q_t + q_t)(\sin\theta + \mu_t \cos\theta)} \right] S_c \\ &\quad - \left[\frac{Q_t(\sin\theta + \mu_t \cos\theta)}{Q_t + q_t} - \frac{2q_t \sin\theta(\sin\theta + \mu_r \cos\theta)}{(Q_t + q_t)(\sin\theta + \mu_t \cos\theta)} \right. \\ &\quad \left. - \sin\theta \right] S_m \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

ここに鉱車は普通 $Q_t = 2q_t$ と見なして差支えないであらう。しかるとき式(2)はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{1}{1000} \left[\frac{2(\sin\theta + \mu_t \cos\theta) + 2 \sin\theta}{3(\sin\theta + \mu_t \cos\theta)} S_c \right. \\ &\quad \left. - \frac{2(\sin\theta + \mu_r \cos\theta)(\sin\theta + \mu_t \cos\theta) + 2 \sin\theta}{3(\sin\theta + \mu_t \cos\theta)} \right. \\ &\quad \left. - \frac{(\sin\theta + \mu_r \cos\theta) - 3 \sin\theta(\sin\theta + \mu_t \cos\theta)}{\mu_t \cos\theta} S_m \right] \dots\dots\dots (2') \end{aligned}$$

ここに、式(2')の斜坑傾斜 θ は最小 $2^\circ 15'$ 、最大 25° の範囲とする。なお鉱車の摩擦係数 $\mu_t = 1/30$ (プレーン・ベアリング)、 $1/60$ (ローラー・ベアリング)、 $1/80$ (ボール・ベアリング)とし、巻索の摩擦係数 $\mu_r = 1/10$ とすれば式(2')から式(2'')が得られる。

3・1 巻上距離 S と傾斜 θ に対して

k_1 の最大値($k_{1\max}$)は式(2'')によつて斜坑の場合 $\theta = 25^\circ$ 、 $\mu_t = 1/80$ のときである。その $k_{1\max}$ の値を第

θ	$\mu_t = 1/30$	$\mu_t = 1/60$	$\mu_t = 1/80$
0°	$k_1 = 0.00067 S_c - 0.00007 S$ (参考)		
$2^\circ 15'$	$k_1 = 0.00103 S_c - 0.00010 S$	$k_1 = 0.00113 S_c - 0.00012 S$	$k_1 = 0.00117 S_c - 0.00012 S$
5°	$= 0.00115 S_c - 0.00013 S$	$= 0.00123 S_c - 0.00014 S$	$= 0.00125 S_c - 0.00015 S$
10°	$= 0.00125 S_c - 0.00016 S$	$= 0.00128 S_c - 0.00017 S$	$= 0.00129 S_c - 0.00018 S$
15°	$= 0.00126 S_c - 0.00019 S$	$= 0.00129 S_c - 0.00020 S$	$= 0.00130 S_c - 0.00021 S$
20°	$= 0.00128 S_c - 0.00021 S$	$= 0.00130 S_c - 0.00023 S$	$= 0.00131 S_c - 0.00023 S$
25°	$= 0.00129 S_c - 0.00024 S$	$= 0.00132 S_c - 0.00025 S$	$= 0.00132 S_c - 0.00025 S$
90°	$k_2 = 0.00133 S_c - 0.00033 S$ (参考)		

第3表 斜坑索の1サイクルの作業量 k_1 (t·km/kg/cycle) の値

炭車の 摩擦係数	F	6・7		6・F(3・2+3) +12+15		195+8・F(10)	
		1 種	3 種	1 種	3 種	1 種	3 種
$\mu_t = \frac{1}{30}$	6	0.01984	0.02240	0.01756	0.01980	0.01848	0.02086
	10	0.00331	0.00373	0.00293	0.00330	0.00303	0.00348
	12	0.00198	0.00224	0.00176	0.00198	0.00185	0.00209
$\mu_t = \frac{1}{60}$	6	0.00165	0.00187	0.00146	0.00165	0.00154	0.00174
	10	0.002030	0.002292	0.01797	0.02026	0.01891	0.02134
	12	0.00338	0.00382	0.00300	0.00338	0.00315	0.00356
$\mu_t = \frac{1}{80}$	6	0.00203	0.00229	0.00180	0.00203	0.00189	0.00213
	10	0.00169	0.00191	0.00150	0.00169	0.00158	0.00178
	12						

 k_1 max は斜坑の $\theta=25^\circ$ としての値

2 種は上記の 3 種と 1 種との間の値で略した。

第1図 斜坑巻索6・7の k_1 第2図 6・7C/L, $d=32\text{mm}, 36\text{mm}, \theta=15^\circ$ における k_1 と Q_1 との関係

3表に示したが、一般的に S に対する k_1 の傾向を第1図に示した。図に示された k_1 は μ_t, μ_r のみに支配され坑道の屈曲などの抵抗は全然含まないときの値である。なお S が長くなるに従い k_1 は減少するが傾斜の大きなも

のが、その低下も大きく傾斜が小さいときは k_1 の減少傾向が緩慢になる。もちろん、安全率によっても大きく支配されることも判る。

3・2 1回の有効巻上量 Q_1 に対して

式(2')により各種の使用条件に対する k_1 を前述のように求め、それに相当する1回の有効巻上量 $Q_1 = nQ_1$ (n は式(b)から)より算出し

て図示すると第2図のようになる。図は一例的に巻索6・0C/L, $d=32, 36\text{mm}$ の場合で、ほぼ平均傾斜 $\theta=15^\circ$ のときを示した。 S が短くなるに従い k_1 と Q_1 とは比例的に増加する。ここに $S=1000\text{m}$, $F=6$ のとき $\mu_t=1/80$ と $1/30$ とで Q_1 が約1.5tの差がみられ、 S が長くなるにつれて Q_1 の差も小さくなる。もし $\theta < 15^\circ$ のときは $\theta=15^\circ$ の右側に Q_1 が大きく、また $\theta > 15^\circ$ のときは左側に Q_1 が小さく表わされる。

4. 立坑ドラム巻索の1サイクルの作業量 k_2

ここに、 $Q=1$ 回の有効巻上量 (t), $Q'=1$ 回の有効巻下量 $=Q/10$ (t), $q=1$ 回に巻上げる空鉱車 q_t とケージの自重 q_c との死荷重またはスキップの自重 q_s (t), γ = 巻索の単位重量 (t/km), S_r = ドラム接点までの巻索全長 (km) $=yS$ および S_m = 巻索の最大垂下長さ $=xS$ とするとドラム巻索の1代の作業量 $[U]_2$ は

$$[U]_2 = [N]_2 S (Q + Q' + 2q + \gamma S) / 1000 \gamma y S$$

$$= [N]_2 (1.1Q + 2q + \gamma S) / 1000 \gamma y = k_2 [N]_2 \dots (c)$$

なお、巻上量と巻索との関係は

$$Q + q = \gamma (S_c - S_m)$$

により、 $q/Q = \phi$ とすると

$$Q = \gamma (S_c - S_m) / (1 + \phi) \dots \dots \dots (d)$$

式(d)と $S_m/S = x$ を式(c)の k_2 に代入すれば

$$k_2 = [(1.1 + 2\phi) S_c + \{ (1 + \phi) / x - (1.1 + 2\phi) \} S_m] / 1000 y (1 + \phi) \dots (3)$$

式(3)において x と y はともに $x, y > 1$ の変数で $k_{2\text{max}}$ は特定な S のときになる。そこで特定な S を求めるために概略の平均値としてスキップは $\phi=1.0^*$ 、ケージは $\phi=2.4^*$ の場合、なお槽の高さを40mとすれば $x = S_m/S = (S + 0.04)/S$, $y = S_r/S = (S + 0.08)/S$ とおくと式(3)から $\phi=1.0 \sim 2.4$ を採用すれば実用式(3')を得ることが出来る。

$$q/Q = 1.0 \quad k_2 = \left\{ \begin{array}{l} -1.1S^2 + (3.1S_c - 0.124)S \} / 2000(S + 0.08) \\ = 2.4 \quad = \{ -2.5S^2 + (5.9S_c - 0.236)S \} / 3400(S + 0.08) \end{array} \right\} \dots \dots (3')^{**}$$

* 実状はスキップの $\phi=0.7 \sim 1.7$ 、ケージの $\phi=1.3 \sim 3.9$ を得ている。

** 式(3')中の S_c については第2表参照のこと。

第4表 立坑ドラム索の1サイクルの作業量 $k_2 \text{max} (\text{t.km/kg/cycle})$ の値および巻上距離 $S (\text{km})$ の値

q/Q	F		6・7		$6 \cdot F \{ (2 \cdot 3 + 3) + 12 + 15 \}$		$195 + 8 \cdot F(10)$	
			1 種	3 種	1 種	3 種	1 種	3 種
$\psi = 1.0$	1	S	1.790	1.898	1.671	1.780	1.717	1.829
		$k_2 \text{max}$	0.02181	0.02476	0.01921	0.02177	0.02026	0.02299
	6	S	0.676	0.726	0.633	0.677	0.652	0.694
		$k_2 \text{max}$	0.00316	0.00362	0.00276	0.00316	0.00292	0.00335
	10	S	0.507	0.544	0.472	0.506	0.476	0.490
		$k_2 \text{max}$	0.00176	0.00203	0.00153	0.00176	0.00162	0.00183
$\psi = 2.4$	12	S	0.455	0.489	0.424	0.454	0.436	0.468
		$k_2 \text{max}$	0.00142	0.00164	0.00123	0.00142	0.00131	0.00151
	1	S	1.624	1.731	1.523	1.622	1.564	1.667
		$k_2 \text{max}$	0.02423	0.02752	0.02132	0.02417	0.02249	0.02554
	6	S	0.615	0.658	0.574	0.614	0.568	0.632
		$k_2 \text{max}$	0.00347	0.00398	0.00302	0.00347	0.00321	0.00368
	10	S	0.458	0.491	0.426	0.457	0.439	0.471
		$k_2 \text{max}$	0.00193	0.00222	0.00167	0.00192	0.00177	0.00204
	12	S	0.411	0.442	0.382	0.410	0.393	0.423
		$k_2 \text{max}$	0.00155	0.00179	0.00134	0.00155	0.00142	0.00165

第3図 立坑ドラム巻索 S に対する k_2 の変化，ただし $F=6$

例えばドラム巻索として $6 \cdot F \{ (3 \cdot 2 + 3) + 12 + 15 \}$ の $S_c = C/F$ の F をここでは $F=1$ のとき

$$\begin{aligned}
 q/Q=1.0 & \begin{cases} 1 \text{ 種品 } k_2 = (-1.1S^2 + 42.1S) / 2000(S+0.08) \\ 3 \text{ 種品 } = (-1.1S^2 + 47.4S) / 2000(S+0.08) \end{cases} \dots (3'') \\
 q/Q=2.4 & \begin{cases} 1 \text{ 種品 } k_2 = (-2.5S^2 + 80.1S) / 3400(S+0.08) \\ 3 \text{ 種品 } = (-2.5S^2 + 90.3S) / 3400(S+0.08) \end{cases} \dots (3'')
 \end{aligned}$$

となる。したがって式(3'')から $dk_2/dS=0$ として求められた S から $k_2 \text{max}$ を得ることが出来る。

4.1 巻上深度 S に対して

上述のようにして各巻索の $k_2 \text{max}$ とそのときの S の値

* 有効巻上量 Q_2 は巻索の強度に支配されるから一例として，わが国で最も使用数の多い $d=50\text{mm}$ のものを選んだ。

を求め第4表に示した。

なお，一般的に k_2 の値が S によつてどのように変化するかを式(3)から各巻索の k_2 の値を算出して第3図に示した。ここに，第4表と第3図から，つぎの事項があげられる。

(イ) 立坑ドラム巻索では使用上巻上深度 S に対して k_2 の最高値がある。

(ロ) 同一構造巻索において安全率，巻索等級が一定のときには q/Q の変化にかかわらず S が S_c のところで k_2 曲線がすべて合致する。こ

の合致点の k_2 の値を k_{2c} とする。

(ハ) 各巻索で安全率が一定のときは k_2 の値は巻索の自重切断係数 C の大きいものほど大きく，巻索等級の高いものほど大きい。

4.2 1サイクルの有効巻上量 Q_2 に対して

式(3)から k_2 と Q_2 の関係を巻索 $6 \cdot F \{ (3 \cdot 2 + 3) + 12 + 15 \}$ ， $d=50\text{mm}$ について求め第4図に示した。図には $F=6$ と 10 の場合をあげたが， $F=6$ の場合で説明すると(イ)巻索等級により $q/Q=1.0 \rightarrow 2.4$ は3種品で $A \rightarrow B$ ，または1種品で $C \rightarrow D$ となる。また， $A \rightarrow C$ および $B \rightarrow D$ は3種から1種への変化で2種品はこの間にある。(ロ)巻上深度 S は同種索においては点線で結んだように平行をなしている。(ハ) $k_2 \text{max}$ の点は実線で示したが，この点は $Q_2 \text{max}$ ではない。 $Q_2 \text{max}$ は $S \rightarrow 0$ ，

第4図 $6 \cdot F \{ (3 \cdot 2 + 3) + 12 + 15 \}$ ， $d=50\text{mm}$ の k_2 と Q_2 との関係

第 5 表 $k_{3\max}(=k_{3c})$ の値

q/Q	F		6・7		6・F[(2・3+3)+12+15]		195+8・F(10)	
			1 種	3 種	1 種	3 種	1 種	3 種
$\phi=1.0$	1	S_c	15.378	17.362	13.615	15.345	14.327	16.170
		$k_{3\max}$	0.03076	0.03472	0.02723	0.03069	0.02865	0.03234
	6	S_c	2.563	2.894	2.269	2.558	2.388	2.695
		$k_{3\max}$	0.00513	0.00579	0.00454	0.00512	0.00478	0.00539
$\phi=2.4$	10	S_c	1.538	1.736	1.362	1.535	1.433	1.617
		$k_{3\max}$	0.00308	0.00347	0.00272	0.00307	0.00287	0.00323
	12	S_c	1.231	1.447	1.135	1.279	1.194	1.347
		$k_{3\max}$	0.00256	0.00289	0.00227	0.00256	0.00239	0.00269

$\phi=1.0$ 及び 2.4 との $k_{3\max}$ の値は同じ。すなわち k_{3c} となる。

$k_2 \rightarrow 0$ のときとなるが $S \leq 0.3\text{km}$ 付近から Q_2 が増加しないこと、なお S が浅いことは運転上不都合もある。また、第 4 図の $k_{2\max}$ のときより S が長くなると Q_2 が急に低下することから大要 $k_{2\max}$ のところを Q_2 の最良値と見なして、この $k_{2\max}$ の点を $k_{2\text{best}}$ とみて差支えないであろう。

5. 立坑ケーベ巻索の 1 サイクルの作業量 k_3 (または k_4)

ドラム巻索の場合と同様に作業量 $[U]_3$ (または $[U]_4$) のは、

$$\begin{aligned} [U]_3 &= [N]_3 S (Q + Q' + 2q + 2\gamma S) / 1000 \gamma y S \\ &= [N]_3 (1.1Q + 2q + 2\gamma S) / 1000 \gamma y = k_3 [N]_3 \\ [U]_4 &= k_4 [N]_4 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (e)$$

k_3 = タワー・ケーベ索, k_4 = グラウンド・ケーベ索
ここに k_3 と k_4 とでは y に差がある。すなわち y は k_4 の方が大きい。したがって $k_3 > k_4$ となる。ここに式

第 5 図 立坑タワー・ケーベ索 S に対する k_3 の変化、ただし $F=6$

(d) と $S_m/S=x$ を式 (e) に代入して整理すれば

$$k_3 = [(1.1+2\phi)S_c + \{2(1+\phi)/x + (1.1+2\phi)\}S_m] / 1000y(1+\phi) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式 (4) において槽の高さを 40m と仮定し、 $\phi=1.0 \sim 2.4$ を採用すればつぎの式 (4') が得られる。

$$\begin{aligned} \phi=1.0 \quad k_3 &= \{0.9S^2 + (3.1S_c - 0.124)S\} / 2000(S+0.08) \\ = 2.4 \quad &= \{0.9S^2 - (5.9S_c + 0.236)S\} / 3400(S+0.08) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4')$$

なお、式 (4') において $k_{3\max}$ の条件は $S_m \rightarrow S_c, x, y \rightarrow 1$ のときで、つぎのようになる。

$$k_{3\max} \text{ (または } k_{4\max}) = 2(1+\phi)S_c / 1000y(1+\phi) = 2S_c/1000 \quad \dots\dots\dots (4'')$$

5.1 巻上深度 S に対して

式 (4') から S_c は第 2 表の値を採用し $k_{3\max}$ の値を示せば第 5 表のようである。

つぎに k_3 の値が S によつてどのように変化するかを式 (4') から各巻索の k_3 を曲線で示すと第 5 図が得られる。図から巻索等級と安全率とが一定であれば q/Q の変化にかかわらず深度 S が S_c のところで k_3 の曲線が合致し、その点は $k_{3\max} = 2S_c/1000$ となるとともに、この $k_{3\max}$ を k_{3c} とする。図には $\phi=1.0$ と 2.4 の場合を示しているが $q/Q=1.1 \sim 2.3$ も、この 2 線間に含まれ k_{3c} の

第 6 図 立坑ケーベ索 $195+8F(10)$ の S に対する k_3 と k_4 の変化、ただし $F=1$

第6表 $k_{2\max}$ の時の S に相当する $k_{3\text{best}}$ (t·km/kg/cycle) の値

q/Q	F		6・7		6・F[(2・3+3)+12+15]		195+8・F(10)	
			1 種	3 種	1 種	3 種	1 種	3 種
$\phi=1.0$	1	S	1.780	1.898	1.671	1.780	1.717	1.829
		$k_{3\text{best}}$	0.02352	0.02653	0.02080	0.02347	0.02190	0.02474
	6	S	0.676	0.726	0.633	0.677	0.652	0.694
		$k_{3\text{best}}$	0.00377	0.00428	0.00332	0.00376	0.00347	0.00397
	10	S	0.507	0.544	0.472	0.506	0.476	0.490
		$k_{3\text{best}}$	0.00220	0.00250	0.00193	0.00220	0.00197	0.00224
	12	S	0.455	0.489	0.424	0.454	0.436	0.468
		$k_{3\text{best}}$	0.00181	0.00206	0.00159	0.00181	0.00176	0.00210
$\phi=2.4$	1	S	1.624	1.731	1.523	1.622	1.564	1.667
		$k_{3\text{best}}$	0.02584	0.02917	0.02276	0.02572	0.02393	0.02713
	6	S	0.615	0.658	0.574	0.614	0.568	0.632
		$k_{3\text{best}}$	0.00402	0.00457	0.00353	0.00401	0.00372	0.00426
	10	S	0.458	0.491	0.426	0.457	0.439	0.471
		$k_{3\text{best}}$	0.00232	0.00264	0.00203	0.00231	0.00210	0.00239
	12	S	0.411	0.442	0.382	0.410	0.393	0.423
		$k_{3\text{best}}$	0.00190	0.00217	0.00165	0.00189	0.00188	0.00214

点で合致する。なお巻索の自重切断係数の大きいものが k_3 も大きい数値を表わしている。

タワー・ケーベとグラウンド・ケーベとの k_3 と k_4 とが S に対する関係を式 (4) によつて画けば第6図のようになる。図では $k_3 > k_4$ であるが漸次接近するものであることは式 (4, 4') から判る。なお $k_{3\max} = k_{3c}$ の点では有効荷重は0であるから $k_{3\max}$ より小さいところに Q_3 も適当な値となる $k_{3\text{best}}$ があるはずである。

5・2 有効巻上量 Q_3 に対して

ドラム巻索と同様に k_3 と Q_3 との関係を巻索 $195+8 \cdot F$ (10), $d=50\text{mm}$ について式 (4) から求めて第7図に k_3

第7図 $195+8 \cdot F(10)$, $d=50\text{mm}$ の k_3 , k_2 と Q_3 , Q_2 との関係

$-Q_3$ と同時に k_2-Q_2 の関係を表わした。このとき、例えば3種品で q/Q , S が一定の場合 k_3 と Q_3 , k_2 と Q_2 において $k_3 > k_2$ であるが $Q_3 = Q_2$ となる。そこで k_3 の最良値 $k_{3\text{best}}$ は $k_{2\max} = k_{2\text{best}}$, $Q_2 = Q_3$ の関係から同一巻索の $k_{2\max}$ に相当する深度 S のところとみて差支えないので第6表に $k_{3\text{best}}$ の値とそのときの S を示し、なお第7図にその位置を実線で表わした。しかも Q_3 についても、 S が浅いときは Q_3 には変

化少なく、 S が深いときは Q_3 の低下が大きいため大要 $k_{3\text{best}}$ のところが良好な Q_3 とみて差支えないであろう。

6. k_1 と k_2 および k_2 と k_3 (または k_4) などの関係

6・1 k_1 と k_2 との関係

立坑ドラム巻索の k_2 を (3') 式で誘導したが、ここに k_2 を斜坑巻上方式の条件のもとに導けば式 (c) から

$$k_2 = (Q + 2q + \gamma S) S / 1000 \gamma S \\ = (Q + 2q + \gamma S) / 1000 \gamma \dots \dots \dots (f)$$

かつ $Q + q = \gamma (S_c - S)$ において立坑では $q/Q = 1.0 \sim 2.4$ であるが斜坑的に取扱えば $q/Q = nq_i/nQ_i = 0.5$ (前の考察のように $Q_i = 2q_i$ として)、したがって $Q/q = \phi'$ とすれば $q = \gamma (S_c - S) / (1 + \phi')$ を式 (f) に代入すると

$$k_2 = \{ \phi' \gamma (S_c - S) + 2\gamma (S_c - S) + \gamma S (1 + \phi') \} / 1000 \gamma (1 + \phi') \\ = \{ (\phi' + 2) S_c - S \} / 1000 (1 + \phi') \\ = 4 S_c / 3000 - S / 3000 \\ = 0.00133 S_c - 0.00033 S \dots \dots \dots (g)$$

式 (g) は斜坑巻索の k_1 の式 (2'') の $\theta = 90^\circ$ の場合と一致する。なお、つぎに斜坑において例えば全然摩擦抵抗がない場合、すなわち $\mu_t, \mu_r = 0$ と仮定すれば式 (2') は

$$k_1 = 1/1000 \cdot \{ 4 \sin \theta \cdot S_c / 3 \sin \theta - (2 \sin^2 \theta + 2 \sin^2 \theta - 3 \sin^2 \theta) S / 3 \sin \theta \} \\ = 1/1,000 \{ 4 S_c / 3 - \sin \theta \cdot S / 3 \} \\ = 0.00133 S_c - 0.00033 \sin \theta \cdot S \dots \dots \dots (h)$$

となり $\theta = 90^\circ$ のときは式 (g) と同様となる。すなわち斜坑ドラム巻上方式の傾斜が 90° になれば立坑ドラム巻上方式となることを表わしている。

6・2 k_2 と k_3 (または k_4) との関係

ドラム巻とケーベ巻との関連性についてドラム巻法は一般に巻索1本であるから、これを $\lambda = 1.0$ とし、ケーベ巻法は必ず巻索とはほぼ同重量の尾索をもつものと見な

第8図 6.7C/L 3種 $F=10$

することが出来るから索は2本すなわち $\lambda=2.0$ として式(3,4)から一般的に

$$\left. \begin{aligned} q/Q=1.0 \quad k_2 \sim k_3 &= \{ (2\lambda - 3.1)S^2 + (3.1S_c - 0.124)S \} / 2000(S + 0.08) \\ q/Q=2.4 \quad k_2 \sim k_3 &= \{ (3.4\lambda - 5.9)S^2 + (5.9S_c - 0.236)S \} / 3400(S + 0.08) \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

が得られる。式(5)に $\lambda=1.0 \sim 2.0$ の値を代入することによつて λ の変化にともなうドラム巻からケーベ巻への $k-S$ の関係が求められる。ここに一例であるが、巻索 6.7C/L の3種品、 $F=10$ の場合を第8図に掲げた。すなわち安全率が一定であれば λ の如何を問はず $k_{2c} \sim k_{3c}$ の値はすべて S が $S_c = C/F = 17.362/10 = 1.736$ km ($F=10$) の線上にある。もし、 $F=6$ であれば 2.894 km の線上にある。

さて、この場合 $k_{3c} = k_{3max}$ の点では $Q_3 = 0$ 、 $k_{2c} > k_{2max}$ であるが $Q_2 = 0$ となる。すなわち $k_{2c} \sim k_{3c}$ の点では巻索だけの巻上限度で有効荷重は0のところである。このことは第7図とともに安全率と巻上深度が一定であれば $k_2 < k_3$ となるが $Q_2 = Q_3$ となる。以上のように安全率によつて k の値の変化を求めることが出来るので、その傾向を第9図のように 175kg/mm² 級の巻索で示した。図中の実線は斜坑ドラム巻索、点線は立坑ドラム巻索および鎖線は立坑ケーベ巻索などの $k-F$ の関係を表わしている。なお同図中に実績としてわが国、北欧のもの*をプロットした。ここに 175kg/mm² 級で $k-F$ の標準傾向を示す曲線と実績の k とが立坑においてわずかに一致

第 9 図

しない理由はつぎのように考察される。(イ)立坑ドラム巻索は巻上深度が浅いこと。(ロ)立坑ケーベ巻索において安全率がとくに小さいオランダのものは巻索構造の相異と q/Q (1.3~2.2) が小さく採用されていること。(ハ)高張力鋼線を使用しているペルギーのものは深度(700~800m)が深く、かつ k_3 も大きくまとまっている。

以上のように k は種々の条件に支配されるが、これらをまとめるとつぎのようになる。

(1) k は巻上方式によつて巻索の構造、等級、安全率、 q/Q などによつて変化するが巻索径の大小には無関係である。

(2) 安全率、 q/Q を可能範囲に小さく、素線は適切な高張力鋼線のものを選択する必要がある。

(3) 立坑に使用する場合 k は巻上深度により k に最良値がある。 q/Q が大きいほど k の値は大きい、これは死荷重 q のために大きくなるので q/Q は可能範囲に小さく採用することが要望される。立坑ケーベ巻の k_3 は尾索の重量による仕事量に加算されるので $Q_3 = Q_2$ でも $k_3 > k_2$ となる。

(4) 立坑ドラム巻法では巻上深度が深くなると不平衡荷重の影響などからケーベ巻法を採用するのが普通であるから一般に巻上深度も浅い。したがつて $F=7$ または 8 の $k_{2max} = k_{2best}$ を目標とすべきかも知れぬが単に目標としては第4表の $F=6$ のときの $k_{2best} = 0.00347 \cdot t \cdot \text{km/kg/cycle}$ を採用して差支えないであろう。

(5) 巻索 175kg/mm² 級として立坑ケーベ巻法では第6表の $F=6$ のときの $k_{3best} = 0.00426 \cdot t \cdot \text{km/kg/cycle}$ を採用して差支えないであろう。

(6) $F \geq 6$ の場合、 k_{max} としては 175kg/mm² 級を

* 第9図の説明および第8表参照のこと。

第 10 図 $[U]-[N]$ の関係第 7 表 ケーベ巻索 175kg/mm² 級の $[U]$, $[N]$ などの数値

炭 鉄	巻索径 (mm)	安全率 F	1 サイクルの作業量 k_3 (t·km/kg/cycle)	巻上回数 $[N]_3$ (回)	作 業 量 $[U]_3$ (t·km/kg)	備 考
a. オランダ No. 2	60	6.84	0.00322	353,060	1,137	
b. オランダ No. 5	62	7.12	0.00292	340,608	995	
c. オランダ No. 6	62	6.42	0.00335	364,949	1,223	
	62	6.42	0.00335	447,213	1,498	
				406,081	1,361	2 本の平均を採用
d. オランダ No. 10	65	6.46	0.00344	306,132	1,068	
e. 日 本 No. 1	50	8.79	0.00271	89,031	228	
	50	8.79	0.00271	266,625	723	
	50	8.79	0.00271	233,750	633	
	50	8.79	0.00271	330,680	896	
				228,773	620	4 本の平均を採用
f. 日 本 No. 6	60	11.97	0.00202	275,821	557	
g. 日 本 No. 7	60	12.57	0.00156	125,500	196	
	60	12.57	0.00156	155,000	242	
	60	12.57	0.00156	279,000	435	
	60	12.57	0.00156	317,500	495	
	60	12.57	0.00156	219,250	342	4 本の平均を採用
h. 日 本 No. 11	60	11.28	0.00197	159,421	314	
	60	11.28	0.00197	189,372	374	
	60	11.28	0.00197	186,002	366	
	60	11.28	0.00197	178,265	351	3 本の平均を採用

筆者の調査したオランダ 10 本, ベルギー 31 本, 日本 15 本の中から巻索 175kg/mm² 級の巻索 17 本のみを表示した。

第 8 表 巻索の巻上能力の実績基礎資料

巻 索 構 造	直 径 d (mm)	調査本数	安全 率 F	種 別 kg/mm ²	巻 上 距 離 S (m)	記 号	摘 要
斜坑ドラム巻索	6・7	32	40	6~11	155~175	508~2,740	○ (日) 1955 *1)
立坑ドラム巻索	6F[(3・2+3)+12+15] Locked coil rope	50, 52 35	25 4	8~15 8.6	165~175 170~190	314~455 416, 590	● (日) 1952~1957 *2) ◎ (英) 1931~1950 *3)
立坑ケーベ巻索	195+8・F(10) 3Layered H. str. rope	50, 60	13	8~13	175	409~620	◎ (日) 1952~1957 *2)
	Flatt. str. rope	77	2	7.6	175	660	◎ (日) 1957~1959 *2)
	Locked coil rope	60, 62, 65	8	6.4~6.8	≤175	455~730	⊗ (オランダ)
	Multi-str. rope	65	2	7.4	≤175	546	● (1950 発表)
	Flatt. str. rope	50, 60 65	13 16	8.2~9.4 7.7~8.8	180~200 200~230	700~807 789~840	× (ベルギー) ⊗ (1933~1941 *5)

*1), 2) わが国の実績

*3) M. C. Crace: Multi Layer coiling of locked coil ropes, from wire ropes in mines, 1951., p. 675.

*4) J. W. Kleinbentink: Koepe winding ropes for main shaft, from wire ropes in mines, 1951, p. 395.

*5) Y. Verwilt: Belgian ropes practice, from wire ropes in mine. 1951, p. 388.

採用すれば斜坑ドラム巻索では第 3 表, 立坑ドラム巻索では第 4 表および立坑ケーベ巻索では第 5 表に示した値より大きい k の値はないことになる。

7. 巻索の作業量と巻上回数との目標

巻索の作業量と巻上回数の目標値をそれぞれ $[U]_{\max}$, $[N]_{\max}$ とすれば式 (1) から $[U]_{\max} = k_{\text{best}}(\text{or } k_{\max}) \cdot [N]_{\max}$ となる。そこで上述の k_{best} (または $k_{\max}$) と実績から得られた第 1 表の k_{mean} および $[N]_{\text{mean}}$ から $[U]_{\max}$, $[N]_{\max}$ を考察した。

さて, 一般的に $[U]-[N]$ の関係第 10 図において $[U]_{\text{mean}}$ と $[N]_{\text{mean}}$ との交点 P (ケーベ巻索では $F=10.5$ に相当する。) が上昇するように使用すべきであるから, ここに異なつた安全率例えば $F=7$ のときの $[U]_0$ と $[N]_0$ の交点 P_0 をプロットするとき OPP₀A などの諸点が放物線上をたどるようである。その証明として同図中に立坑ケーベ巻索の 175kg/mm² 級で $[U]_0$, $[N]_0$ の実績第 7 表の a, b, ..., g, h をプロットして放物線に対する参考として示した。ここに第 10 図のように放物線をたどれば

$$[U] = p[N]^2 \quad (p \text{ は比例定数})$$

なお $p = [U]_{\text{mean}}/[N]_{\text{mean}}^2$ または $p = k_{\max}/[N]_{\max}$

$$(\text{or } k_{\text{best}}/[N]_{\max})$$

ゆえに $k_{\max}/[N]_{\max}$

$$= [U]_{\text{mean}}/[N]_{\text{mean}}^2$$

そこで, 作業量と巻上回数の目標値は

$$[N]_{\max} = k_{\max}[N]_{\text{mean}}^2/[U]_{\text{mean}}$$

$$= [N]_{\text{mean}} \cdot k_{\max}/k_{\text{mean}}$$

$$(\text{or } [N]_{\text{mean}} \cdot k_{\text{best}}/k_{\text{mean}})$$

$$\dots\dots\dots (6)$$

なお

$$[U]_{\max} = k_{\max}[N]_{\max}^2/[N]_{\max}$$

$$= k_{\max}[N]_{\max}$$

$$(\text{or } k_{\text{best}}[N]_{\max}) \dots\dots\dots (7)$$

(1) 斜坑ドラム巻索 6・7C/L, 175 kg/mm², θ=25°, F=6
のときの[U]₁と[N]₁との関係および実績

(2) 立坑ドラム巻索 6F(32+3)+12+15 C/L
175 kg/mm², θ/α=24°のときの
[U]₂と[N]₂との関係および実績

(3) 立坑ケーベ巻索 195+8F(10)L
175 kg/mm², θ/α=24°のときの
[U]₃と[N]₃との関係および実績

第 11 図

となる。

以上にもとづいて各巻上方式の $k_{\max}$ (または k_{best}) および第1表に示した k_{mean} , $[N]_{\text{mean}}$ から次項のように表わされる。これらを第8表の基礎資料をもつ実績をプロットして説明しよう。

7・1 斜坑ドラム巻索

第11図(1)のように巻索6・7C/L, 3種について $F=6$ のとき第3表から $k_{1\max}=0.00382t \cdot \text{km/kg/cycle}$ が限度であるから(6)式より

$$[N]_{1\max}=13,000 \cdot 0.00382/0.00308=16,123 \text{ (回)}$$

つぎに作業量 $[U]_{1\max}$ は式(7)から

$$[U]_{1\max}=0.00382 \cdot 16,123=62 \text{ (t·km/kg)}$$

これによりL点が得られOLとLNの線は $F=6$ のときの外囲となり, しかもM, Nはともに $[U]_1=50t \cdot \text{km/kg}$ となり△LMNは $F=6$ のときの目標値の区域となる。さて, 同図に第8表の6・7C/L, $d=32\text{mm}$, 40本の実績をプロットした。わが国は斜坑も多く, その巻索6・7C/Lは構造も簡単に製作にも熟練されているから, わずか40本の中で目標値に達したものも多い。

7・2 立坑ドラム巻索

第11図(2)のように巻索6・F{(32+3)+12+15}C/Lにおいて第4表の $F=6$ のとき $k_{2\max}=0.00347t \cdot \text{km/kg/cycle}$ であるから巻上回数の目標値は式(6)から

$$[N]_{2\max}=135,000 \cdot 0.00347/0.00178=262,922 \text{ (回)}$$

つぎに作業量の目標値は式(7)から

$$[U]_{2\max}=0.00347 \cdot 262,922=912 \text{ (t·km/kg)}$$

これによりA点が得られOAとACの線は $F=6$ のときの外囲となり, しかもB, Cはともに $[U]_2=468t \cdot \text{km/kg}$ となり△ABCは $F=6$ のときの目標値の区域となる。また $F=7$ のとき $k_{2\max}=0.00290t \cdot \text{km/kg/cycle}$ で $F=6$ のときと同様に求めることが出来る。すなわち△A'B'C'が $F=7$ のときの目標値の区域となる。このとき $[N]_{2\max}=220,225$ 回, $[U]_{2\max}=629t \cdot \text{km/kg}$ である。同図に第8表の立坑ドラム巻索の実績をプロットした。しかも $F=8 \sim 15$ で大きく, 巻上深度(英国の $S=590\text{m}$ 以外)も浅いために目標としてあげた区域には達していない。

7・3 立坑ケーベ巻索

第11図(3)において $k_{3\text{best}} < k_{3\max}$ ($=k_{3c}$) の関係があるから, その $k_{3\max}$ は第5表, $k_{3\text{best}}$ は第6表から $F=6$ のとき

$$k_{3\max}=0.00539t \cdot \text{km/kg/cycle},$$

$$k_{3\text{best}}=0.00426t \cdot \text{km/kg/cycle}$$

であるから, $k_{3\max}$ のときが $[N]_{3\max}$, $[U]_{3\max}$ である。しかし, このときは有効巻上量 $Q_3=0$ で第2表から約2,695mの巻索と尾索のみを連結して運転することを意味する。したがって $[N]_{3\max}$ は式(6), $[U]_{3\max}$ は式(7)から

$$[N]_{3\max}=235,000 \cdot 0.00539/0.00234=541,303 \text{ (回)}$$

$$[U]_{3\max}=0.00539 \cdot 541,303=2,918 \text{ (t} \cdot \text{km/kg)}$$

これが 175kg/mm^2 級の巻索 $195+8 \cdot F(10)L$ で $F=6$ のときの $[N]$, $[U]$ の最大値と見なせるであろう。

そこで、最良区域として $k_{3\text{best}}$ のとき前述と同様に $F=6$ の場合の目標区域は $\triangle a b c$ 内で $[N]_{3\max}=427,820$ 回, $[U]_{3\max}=1,823\text{t} \cdot \text{km/kg}$ となる。また、同様に $F=7$ とすれば目標区域は $\triangle a' b' c'$ 内で $[N]_{3\max}=357,521$ 回, $[U]_{3\max}=1,273\text{t} \cdot \text{km/kg}$ となる。

ここに同図に第 8 表のケーベ巻索の実績をプロットした。これによるとつぎのことがらが挙げられる。

(イ) オランダの 10 本の巻索等級はほぼわが国のものと同様であるが $F(6.4 \sim 7.4)$ が小さく $k_3(0.00288 \sim 0.00344\text{t} \cdot \text{km/kg/cycle})$ が適当であり、かつ深度もわが国より深いために作業量、巻上回数とも $\triangle a b c$, $\triangle a' b' c'$ 内にあるものが多い。

(ロ) ベルギーの 29 本の安全率は $8.2 \sim 8.8$ で巻索等級が極端に高い。かつ深度 ($700 \sim 840\text{m}$) が深いので $\triangle a' b' c'$ に入るものもあるが、等級 200kg/mm^2 以上の巻索の $[U]_3$, $[N]_3$ がほとんどすべて小さい結果になっていることは注意に値する。

(ハ) わが国のものは北欧のものに比較して深度も浅く、安全率も大きいために良好な能力に達したものが少ない。

(ニ) わが国では全く使用していないロックド・コイル・ロープが英国、オランダにおいて非常によい実績を示している。

つぎに、とくに実績の $[N]$, $[U]$ が $F=6$ のときの $[N]_{\max}$, $[U]_{\max}$ の区域を上回る能力を表わしているものがあるが、これは巻索の材質と構造の適切さ、巻索の製作過程の巧拙ならびに巻索の使用条件と維持などが正常以上の場合では目標値を上回り、いずれか欠ければ目標値より低下するものと考察される。一般にはこれらがいずれも正常を保持することは困難なものようである。

8. 結 言

作業量と巻上回数の目標値およびその関連性について、まず 1 サイクルの作業量 k のあり方を検討、決定し、かつ k の目標値を決定することによつて既報すなわち第 1 表の作業量、巻上回数あるいは 1 サイクルの作業量などの標準値から作業量と巻上回数の目標値を考察したものである。なお総括的に主要事項を付言するとつぎのようである。

(1) 巻索の巻上能力の向上には第一に 1 サイクルの作業量 k を考慮せねばならない。そのためには一般的に立坑の自然条件を考慮して可能範囲に安全率と q/Q を小さく採用することが望ましい。

(2) 巻索の作業量と巻上回数が大きいと同時に有効巻上量 $[Q]$ が大きいことである。それには $[U]-[N]$ の関係における k のように $[Q]-[N]$ の関係に q/Q が大きな役割をもっている。

(3) 作業量と巻上回数との目標値を達成するため巻索 175kg/mm^2 級、 $F=6$ のときの k_{best} の域に計画するには深度の影響もあり浅い立坑では困難性が多いことになる。

(4) 深度の大きい立坑および現在の作業量、巻上回数の目標値以上を達成するためには巻索として適切な高張力鋼線が要望されることになる。

参 考 文 献

- 1) 筆者：斜坑巻索の寿命に関する考察（第 4 報）巻上能力その後、第 6 回ワイヤ・ロープ研究会講演集、昭 33.1 p. 22.
- 2) 筆者：立坑巻索の巻上能力とその検討（第 1 報）日鉱誌、74 巻 838 号、昭 33.4 p. 23.
- 3) 筆者：立坑巻索の寿命に関する研究（劣化度）、日鉱誌、75 巻 852 号、昭 34.6 p. 34.
- 4) 筆者：斜坑巻索の巻上能力（続報）、九州工大研究報告、第 8 号、昭 33.2 p. 4.
- 5) 筆者：4) に同じ、p. 2.
- 6) 筆者：2) に同じ、p. 20.
- 7) 筆者：2) に同じ、p. 21.
- 8) 筆者：立坑巻索の巻上能力とその検討（第 2 報）日鉱誌、74 巻 840 号、昭 33.6 p. 31.