

シルペップの摩耗特性について

七 田 電 治
 吉 高 嘉 作
 長 谷 川 進
 平 本 康 雄

On the Wear Properties of Cylpebs

Denji Hichida
 Kasaku Yoshitaka
 Susumu Hasegawa
 Yasuo Hiramoto

The cost of replacement of the metal worn on the working surfaces of the balls and cylpebs represents a considerable fraction of the cost of operation in a cement plant, and so it is of economical importance. For this reason, it is necessary to understand the wear properties of balls and cylpebs and their behavior.

Generally, the rate of ball wear is given by

$$\frac{d w}{d t} = -K D^n \cdot (2 \leq n \leq 3) \dots\dots\dots(1)$$

where D is the diameter of a ball and K is constant. At n=3, the rate of ball wear is proportional to the ball weight and at n=2 to the ball surface area.

Very little information is available on cylpebs, but there are various reports on n. Materials to be ground, the hardness of cylpebs and other factors bring on difficulties in the experiments, but fortunately we have been given a chance to experiment with four kinds of cylpebs.

The results were obtained as follows:

$$\frac{d w}{d t} = -K D^2 \dots\dots\dots(2)$$

And the mass of a sphere is expressed as follows:

$$w = (\pi/6) \rho D^3 \dots\dots\dots(3)$$

Where ρ is the density of the sphere.

From the equations (2) and (3), we obtained the relation between D and t, as follows:

$$D = -K't + D_0 \dots\dots\dots(4)$$

The curve of D vs t is a straight line.

The experiment results obtained satisfied this linear relationship. With cylpebs, therefore, it appears that its wear is rather proportional to its surface area.

1. ま え が き

湿式粉砕において粉砕媒体としてのシルペップの果たす役割は大きく、その適否は粉砕能率に大きく影響する。

現在当社セメント原料部門で主として、 $20\phi \times 35$ (mm) のものと、試験的に一部 $25\phi \times 43$ (mm) のものを使用し材質的には大部分白鉄を、一部 $20\phi \times 35$ のものに金

型鑄造の高硬度のものを使用している。

シルベップ原単位を向上させ、ひいてはセメント原価の低減に対処するためには耐摩耗性にすぐれ、低価格のものがよいことはいうまでもない。

第22回セメント製造技術交流懇談会における粉碎委員会報告¹⁾によれば湿式開回路方式において電力KWH当りの摩耗量が、30.5g/KWHシルベップで47.3g/KWHとなっている。現在当原料ミルにおいては、ボールが、22.8g/kwHシルベップが43.0g/kwHであってあまりいいとは思われない。

シルベップの摩耗特性については第22回セメント製造技術交流懇談会において、その一部をすでに報告済みであるが、その後の結果も含めて再度報告したい。

一般にボールの摩耗速度式は次式で表わされる。すなわち

$$\frac{dw}{dt} = -kD^n \quad (1)$$

k, n は定数で $2 \leq n \leq 3$ であると考えられている。
n = 2 のとき

$$\frac{dw}{dt} = -k' D^2 \quad (2)$$

となり摩耗速度は球の表面積に比例することになる。ま

た、このとき、球の重量 $W = \pi/6 \rho D^3$ (ρ : 密度) よりDとtとの関係は

$$D = -k''t + D_0 \quad (3)$$

となる。一方n = 3 のとき

$$\frac{dw}{dt} = k''' D^2 \quad (4)$$

となり摩耗速度はその重量に比例することになる。

ボールについては大体 $n=2.0$ まれに $n=3.0$ ²⁾ という値が求められている。シルベップについての研究は非常に少ないが、鈴木氏³⁾によれば $n=3$ と求められている。今回の発表に当たって4種類のシルベップについて実験し、その摩耗特性と今後の問題点についての考察を試みた。

2. 実験方法

湿式原料ミルに試験用シルベップを約5ずつ投入し所定時間ごとに1000~2000ヶサンプリングしさらに50ヶずつランダムサンプリングし、その重量より1ヶ当りの重量を算出し、同時にシルベップ寸法を測定した。なおこの実験における条件は Tale 1-[1], [2] のようである。

Table 1-[1] The cylpebs for testing.

Sign	Cylpebs size (m. m)	Original Cylpeb weight (g)	Producing method	Havdness Rc. H
A	20φ×35	81.9	The cast by metal model	53.0
B	20φ×35	88.3	The cast by sand model	44.5
C	20φ×35	89.2	"	49.0
D	25φ×43	152.0	"	44.5

Table 1-[2] The testing mill

Mill	Mill size (m)	Number of mill rotation (r.p.m)	Cylpebs loading (%)	The total weight of grinding mediums in mill (t)			The material to be ground
				1 Section	2 Section	3 Section	
Wet open circuit system	2.44φ×11.25	19.9	25	16	16	29	The raw of cement

3. 実験結果および考察

実験結果を Tale 2-[1] ~ [4] に示す。

シルベップの重量とミル運転時間との関係を Fig. 1 に示す。A, B, C に差が認められるのは、主として、カタサ差によるものと思われる。H. E. Rose⁴⁾によれば、砕料と粉碎媒体とのカタサ差が大きいほど、すなわち砕料

が粉碎媒体よりも軟らかい場合、粉碎媒体のカタサはかたいほどよいと結論しているが、セメント原料を粉碎する場合にも同様のことがいえるものと思う。Bシルベップと、Cシルベップにおいて、さほど差が認められないのは、砕料、その他の条件が異なるためと思われる。

A, B, C, D原型シルベップ両平面は、ほぼ真円に

Table 2 - [1] A cylpebs

Mill driving time (h)	The diameter of a cylpeb. (mm)	The length of a cylpeb. (mm)	The weight of a cylpeb. (g)
0	21.06	31.36	81.9
465.55	19.64	30.28	68.6
1015.45	18.39	29.53	57.5
1583.05	17.22	28.70	48.6
2075.55	15.86	28.05	40.6
2622.35	14.53	27.36	33.1
3144.35	13.25	26.87	26.6
3606.25	11.80	26.35	20.8

Table 2 - [2] B cylpebs

Mill driving time(n) (h)	The maximum diameter of a cylpeb. (mm)	The minimum diameter of a cylpeb. (mm)	The average diameter of a cylpeb. (mm)	The length of a cylpeb.(mm)	The weight of a cylpeb.(g)
0	—	—	20.77	37.15	88.3
383.05	19.40	18.50	18.95	36.20	71.9
781.10	18.40	17.10	17.75	35.90	61.5
1153.50	16.80	15.70	16.25	35.60	50.5
2802.00	13.30	11.10	12.20	31.60	24.3
3564.30	11.80	9.14	10.45	29.60	14.1

Table 2- [3] C cylpebs

Mill driving time (h)	The maximum diameter of a cylpeb.(mm)	The minimum diameter of a cylpeb.(mm)	The average diameter of a cylpeb.(mm)	The length of a cylpeb.(mm)	The weight of a cylpeb.(mm)
0	—	—	20.90	37.38	89.2
403.30	19.95	19.36	19.66	36.36	78.9
866.10	18.66	17.97	18.31	35.74	67.1
1357.05	17.12	16.22	16.67	34.90	53.9
1787.50	15.96	14.82	15.39	34.34	44.4
2212.20	14.74	13.40	14.07	34.21	36.7
2776.05	13.71	11.60	12.66	33.05	27.4
3383.35	12.08	10.05	11.06	32.08	20.2
4020.30	10.59	8.56	9.57	30.11	13.5

Table 2- [4] D cylpebs

Mill driving time (h)	The maximum diameter of a cylpeb.(mm)	The minimum diameter of a cylpeb.(mm)	The average diameter of a cylpeb.(mm)	The length of a cylpeb.(mm)	The weight of a cylpeb. (g)
0	—	—	25.69	44.36	152.0
609.15	24.24	23.54	23.89	42.48	130.0
1017.40	22.91	22.23	22.57	40.75	111.8
1391.00	22.52	21.29	21.90	40.34	102.7
1894.45	20.81	19.53	20.17	40.11	85.8
3100.10	18.27	16.79	17.53	39.33	64.5

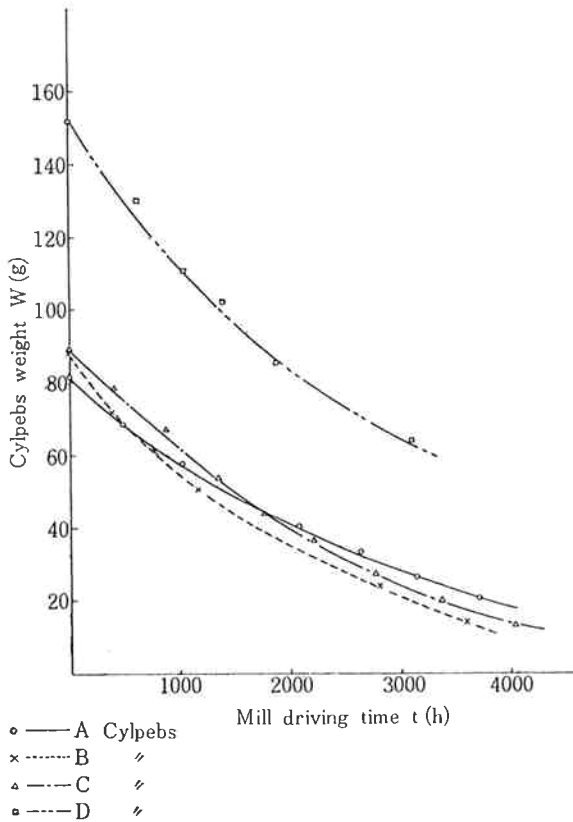


Fig. 1 cylpebs weight according to mill driving time

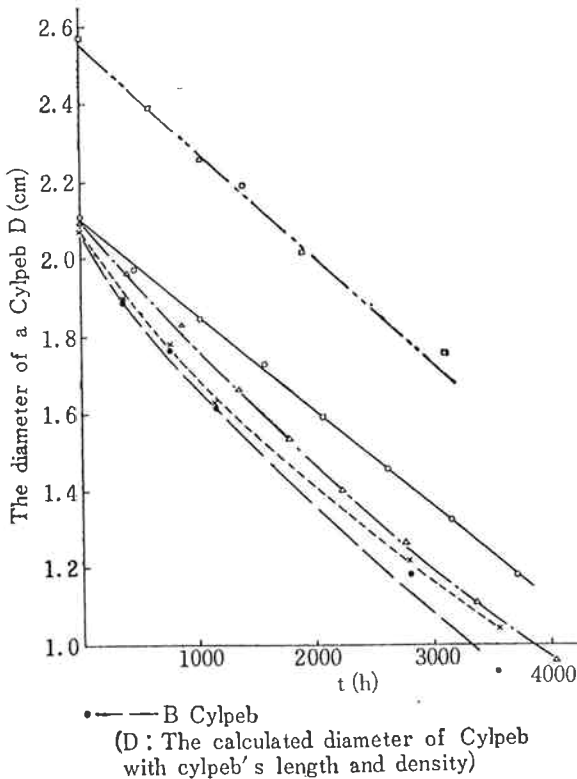


Fig. 2 The diameter of cylpebs according to mill driving time

近いが、ミル運転時間の経過と共に変型してくる。ただ、変型の度合^{5),6)}はカタサの低いものほど著しい。

ミル運転時間とシルペップ直径および、シルペップ長

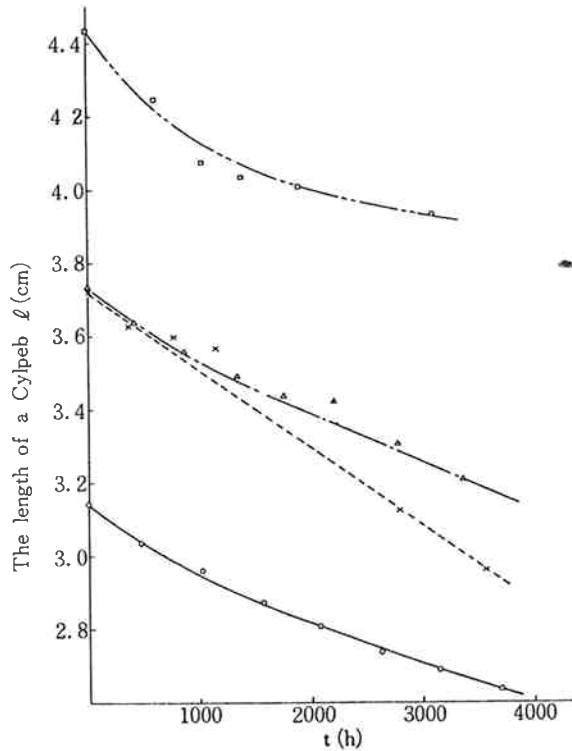


Fig. 3 The length of cylpebs according to mill driving time

さとの関係は、Fig. 2, Fig. 3 のようになり、B, Cシルペップ直径はミル運転時間と直線関係にならない。Bシルペップは、非常に変型しているので実直径は測定し難く、最大径と最小径より平均径を求め、これをシルペップ直径とした。しかしこれだけで判断の資料とするには危険であり補助手段として、シルペップの比重と長さより、仮直径を求め、これとミル運転時間との関係もプロットしてみたが、直線とはならない。これはBシルペップがミル運転時間と共に変型し特定方向に極度に摩擦摩耗される結果と思われる、カタサの低いシルペップ直径の減少は、ミル運転時間と直線関係にならないものと思われる。

Fig. 4 にシルペツプ長さとの関係 (l/D) と運転時間との関係を探してみた。これによれば、シルペツプの長さ方向の摩耗に比し、シルペツプ直径方向の摩耗が急激であることがわかる。Bシルペツプ直径に平均径を用いれば直線になるのに対し、仮直径を用いればAシルペツプとほぼ同様の曲線が得られるところから、仮直径の方がより実直径に近いのではないだろうか。

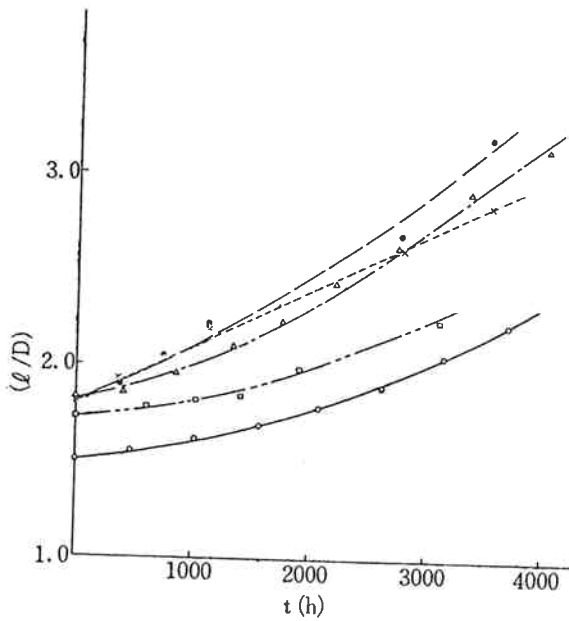


Fig. 4 The cylpebs shape expressed by (l/D) according to mill driving time

今もし、シルベツプの摩耗速度が(4)式に従うものとするれば、(4)式を積分して $\log_e W = -k'' t + c$ となり、ミル運転時間とシルベツプ重量との関係を半対数方眼紙にプロットすれば直線が得られるはずである。しかるに

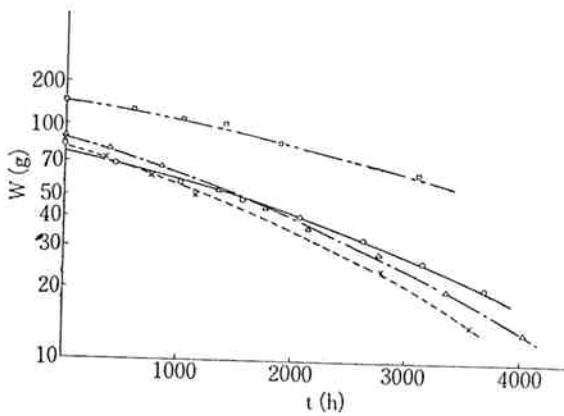


Fig. 5 Cylpebs weight according to mill driving time, plotted on a semi-logarithmic paper

Fig. 5 に示すように直線とはなり得ない。次に $n=2$ と仮定すれば、(2)式が成立し、従って(3)式が成立するはずである。シルベツプ表面積より、球相当径を算出し、ミル運転時間との関係をプロットしたのが、Fig. 6 である。ほぼ直線が得られる。さらに詳細に検討するため、Fig. 1 より、シルベツプ重量 W と、ミル運転時間との関係を最小二乗法によって求め、これより、 $\log(-dw/dt)$ と $\log D$ との関係をも求めたのが、Fig. 7 である。これによれば、Aシルベツプで $n=2.2$ 、Bシルベツプで $n=$

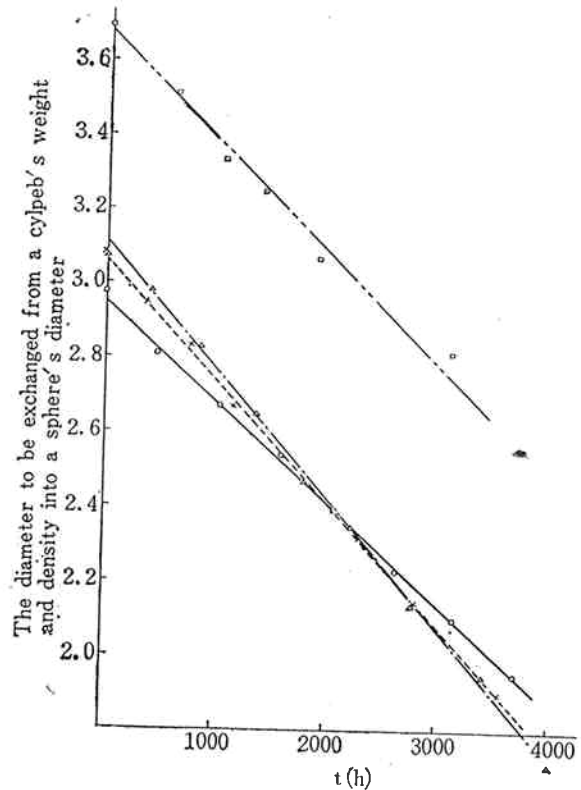


Fig. 6 The calculated diameter of spheres according to mill driving time (Where the sphere was assumed to have the equal surface area with the cylpebs used.)

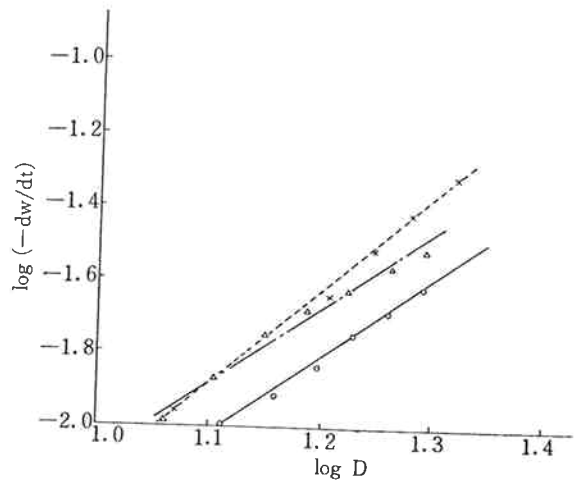


Fig. 7 Relation between $\log(-dw/dt)$ and $\log D$

2.3, Cシルベツプで $n=2.0$ となりシルベツプの摩耗速度はどちらかといえば、その表面積に比例するようと思われる。また実験結果のようにシルベツプの摩耗速度が $n=2$ になるとするならば、ミル内ボール全体の摩耗速度 (dwt/dt) は

$$\frac{dwt}{dt} = Nb \frac{dw}{dt} = f' \left(\frac{1}{d^3} \right) \cdot d^2 = f' \frac{1}{d} \quad (5)$$

(ただし Nd : ボールの全数, f : 定数)

となりボールの直径に反比例する。

いいかえればシルベツプサイズは大きければ大きいほど、その摩耗速度は小さくなるといえる。

今シルベツプの摩耗速度がその重量に比例するとすれば、シルベツプ一ヶ当りの重量に無関係（ただしミル内シルベツプ全重量が同一の場合）となるはずである。幸

い、25φ×43 (mm) の大型シルベツプ (Dシルベツプ) についても実験を行うことができたので、これと 20φ×35 (mm) のシルベツプ (A, B, C, シルベツプ) とのミル内全摩耗量についての比較検討を行ってみた。

シルベツプ補充量とミル運転時間との関係を Table 3 に示す。

Table. 3 - [1]

A cylpebs			B cylpebs		
Mill driving time (h) [a ₁]	Supplied cylpebs weight (t) [b ₁]	[b ₁]/[a ₁] (kg/h)	Mill driving time (h) [a ₂]	Supplied cylpebs weight (t) [b ₂]	[b ₂]/[a ₂] (kg/h)
3696.25	37	10.0	3564.30	49.5	13.9

Table. 3 - [2]

C cylpebs			D cylpebs		
Mill driving time (h) [a ₃]	Supplied cylpebs weight (t) [b ₃]	[b ₃]/[a ₃] (kg/h)	Mill driving time (h) [a ₄]	Supplied cylpebs weight (t) [b ₄]	[b ₄]/[a ₄] (kg/h)
4020.30	54	13.4	3100.10	24	7.7

上表の結果によれば大型サイズのシルベツプ (Dシルベツプ) が極めて時間当りの摩耗量が少い。このことはシルベツプサイズの大型化によって、ミル内全シルベツプ表面積が減少し、従って摩耗量が少くなったものと思われる。これは先に述べたシルベツプの摩耗速度がその表面積に比例するという結論と矛盾しないように思われる。しかしながら、シルベツプサイズを大型化することによって粉砕量の低下が予想され、この点注意が必要である。当原料ミルを使って粉砕量を測定した結果によれば、さほど粉砕量の低下は認められなかった。

4. ま と め

- (1) シルベツプの摩耗特性は非常に複雑であり判然としないものがあるが、特にそのカタサが低いと変形しやすいようである。
- (2) シルベツプ長さ方向の摩耗も、直径方向の摩耗も、かならずしもミル運転時間と直線関係にないものと思われる。
- (3) シルベツプの長さ方向と直径方向の摩耗速度は直径方向の方がはるかに大きい。

(4) シルベツプの摩耗速度は当原料ミルを使用した場合、どちらかといえばその表面積に比例するようである。

(5) 大型サイズのシルベツプは、単価的にも、耐摩耗性にも優れていると思われるが粉砕量との関係もあり、今後十分に検討していきたい。

文 献

- 1) 粉砕委員会, セメント製造技術交流懇談会報告, No. 22, 43. (1965)
- 2) 神保元二, 粉体工学研究会誌, 1, 32 (1964)
- 3) 鈴木末男, セメント技術大会 (1964)
- 4) H. E. Rose, *Trans. Inst. Chem. Engrs (London)*, 35, 87 (1957)
- 5) 山田史郎, 西山五郎, 粉体工学研究会誌, 1 38 (1964)
- 6) Wellinger, K. H. Vetz. *Zement-kalk-Gips*. 54 52 (1965)