



$$a_e^5 = \left(\frac{3}{8}\right)^2 \left(\frac{10}{3}\right) w r_0 D_1^2 f(E) \quad (1-7)$$

式(1-3), (1-6)より,  $P_r/P_e$ の式,  $f$ は  $V_a, V_r$ を導入れた時の  $P_w, P_r$ の式は次のように与えられる。

$$P_r/P_e = \left[ \left(\frac{10}{3}\right)^2 \left(\frac{3}{8}\right)^3 \right]^{1/5} \{ w r_0 f(E) \}^{2/5} D_1^{3/5} \left(\frac{r_r}{r_0}\right)^{1/2} \left(\frac{1}{a}\right)^{3/2} \quad (1-8)$$

$$w(r_0 - r_r) = \int P dV = P_w V_r = P_w V_a - \frac{5}{8} w r_r \frac{P_w}{P_r} \quad (1-9)$$

$$P_w = w r_0 \left(1 - \frac{r_r}{r_0}\right) / \left(V_a - \frac{5}{8} \frac{w r_r}{P_r}\right) \quad (1-10)$$

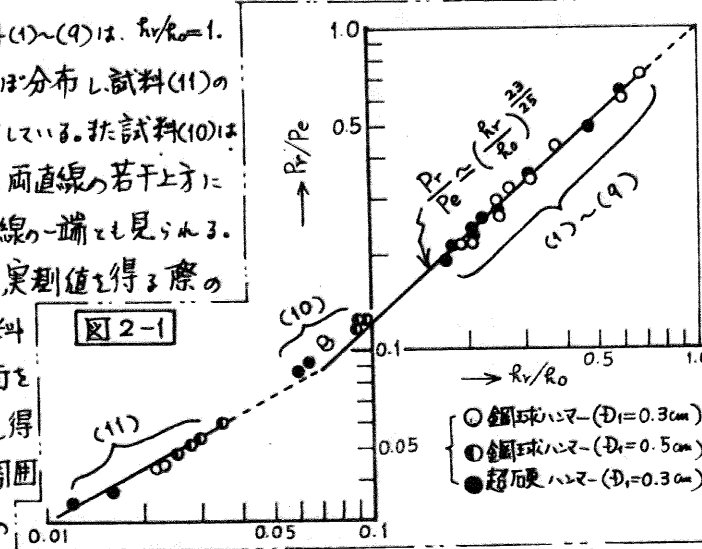
2. 筆者等による平均接触圧力等の式について 2-1 治ア-テスターによる動摩擦の実験

圧子先端には直径3, 5mmのホルバリン鋼球, 直径3mmの超硬合金球を用いたテスター用ハンマー3本を製作した。またハンマーの重量が  $37 \times 10^3$  kg であること, テスターの受台重量が約4.5 kg程度に見積られることから, 質量比1:100以上で大質量という条件を満たすと共に, 試料の受台への固定には鉛を除き約40~50 kgの押え力を用いた。さらにハンマー-案内軸受等の摩擦による影響<sup>(2)</sup>は, はねり高さに効いてくる点を考慮するため,  $D_1=5$  mmの鋼球ハンマーを8mm厚のガラス板上へ衝突させ[永久くぼみは生じなかった]時に,  $r_r/r_0$ の比約91%を得たので, 本ハンマー軸[軸径8.00mm]による軸受部の摩擦損失として, 以後ハンマーのはねり高さの補正に用いた。また, 永久くぼみ径の測定は原則として, 倍率400を用い, 1μ目盛のマイクロメータ付顕微鏡で試料面を基準とした径を測定した。(後述)

ハンマーおよび試料				試料番号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)		
試料の種類				鋼	鋼	鋼	鋼	鋼	鋼	鋼	黄銅	金	黄銅	純鉛	金		
Hv					510	340	212	170	128	103	111	85	80	31			
ハンマー	先端種類	$D_1$ cm	$w \times 10^{-3}$ kg	$R_0$ cm													
	鋼球	0.5	37.1	1.84	鋼球に対する $f(E) \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{kg}$	0.89	左同	左同	左同	左同	左同	左同	1.39	1.21	1.71	1.73	5.14
	鋼球	0.3	37.1	1.87	超硬球に対する $f(E) \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{kg}$	0.59	左同	左同	左同	左同	左同	左同	1.10	0.92	1.41	1.44	4.85
	超硬球	0.3	37.2	1.84	厚さ cm	0.93	0.85	0.85	0.85	0.93	0.85	1.12	1.15	1.37	1.58	1.45	

2-2 実験結果および考察 表に示した11種の試料, 3種のハンマー(鉛, 純鉛のみ3種用いた)による実測値を式(1-8)を用いて整理した。 $P_r/P_e$ の算出値と  $r_r/r_0$ とを両対数グラフ上にプロットしたのが図2-1である。試料(1)~(9)は,  $r_r/r_0=1$ ,  $P_r/P_e=1$ の点に向う直線上にはほぼ分布し, 試料(11)のみ単独で別個の直線上に分布している。また試料(10)は両直線のおよそ交点に位置し, 両直線の若干上方に在るが一般試料(1)~(9)の直線の一端とも見られる。

2種の直線について考えてみると, 実測値を得る際の基本的相違点が挙げられる。試料(1)~(10)は, 400倍率で試料面を基準として, くぼみ径を測定し得たが, 試料(11)は, そのくぼみの周囲が大巾に沈みこんだため, そのような測定はできず, くぼみ部分の径を測定している。しかし, このような基本的測定の差のみが, 両直線の傾きの差異を与えているとは言えず, 原因については, さらに検討を要する問題である。



そのため、今回は試料(1)による実験結果を除いて考えることにした。やはり  $0.07 < R_v/R_o \leq 1$  の範囲で、仮定から満足すべき点  $\{R_v/R_o=1, P_r/P_o=L\}$  と実験点とから次の関係式を得る。  
 $0.07 < R_v/R_o \leq 1, \quad P_r/P_o \approx (R_v/R_o)^{\frac{2.2}{5}} \quad (2-2-1)$

2-3 平均接触圧力等の式 式(1-9)、(2-2-1)と式(1-3)、(1-11)により、 $a, P_r, P_w$  についての関係式は次のように与えられる。

$$a^5 = \left(\frac{8}{9}\right)^2 \left(\frac{10}{3}\right) w R_o D_1^2 f(\epsilon) \left(\frac{R_o}{R_v}\right)^{\frac{7}{5}} \left\{ = a_c^5 \left(\frac{R_o}{R_v}\right)^{\frac{7}{5}} \right\} \quad (2-3-1)$$

$$P_r^5 = \left(\frac{8}{9}\right)^3 \left(\frac{10}{3}\right) \left(\frac{1}{\pi}\right)^5 w R_o \left(\frac{R_v}{R_o}\right)^{\frac{2.2}{5}} / [D_1^3 \{f(\epsilon)\}^4] \left\{ = P_c^5 \left(\frac{R_v}{R_o}\right)^{\frac{2.2}{5}} \right\} \quad (2-3-2)$$

$$P_r = \left(\frac{5}{4\pi}\right) w R_o D_1 \left(\frac{R_o}{R_v}\right)^{\frac{1}{5}} \left(\frac{1}{a}\right)^4 = \frac{5}{8} w R_o \left(\frac{R_o}{R_v}\right)^{\frac{1}{5}} / \sqrt{a} \quad (2-3-3)$$

$$P_w = w R_o \left(1 - \frac{R_v}{R_o}\right) / \sqrt{V_r} = w R_o \left(1 - \frac{R_v}{R_o}\right) / \left[ \sqrt{V_a} \left(1 - \left(\frac{R_v}{R_o}\right)^{\frac{6}{5}}\right) \right] \quad (2-3-4)$$

3. 従来の式との比較  $T_{ABOR}$  (1), 飯塚 (3) による式は次のように示される。[筆者等 (4) による式は後述]

$$T_{ABOR} \begin{cases} P_r^5 = \left(\frac{10}{3}\right)^4 (8) \left(\frac{1}{\pi}\right)^5 \left(\frac{R_v}{R_o}\right)^4 w R_o / [D_1^3 \{f(\epsilon)\}^4] \left\{ (n+2) \left(1 - \frac{2n-1}{2n+4} \frac{R_v}{R_o}\right) \right\}^3 \end{cases} \quad (3-1)$$

$$a^5 = 1.2 \left\{ \frac{n+2}{4} - \frac{2n-1}{8} \frac{R_v}{R_o} \right\}^2 \left(\frac{R_o}{R_v}\right) w R_o D_1^2 f(\epsilon) \quad (3-2)$$

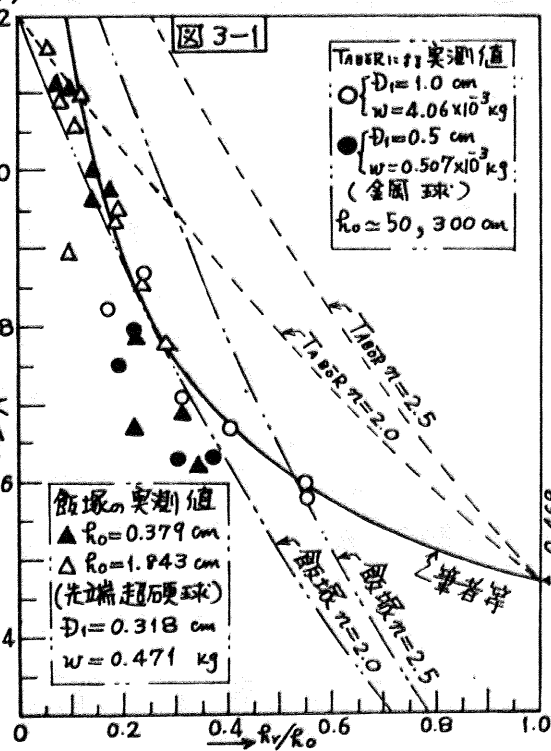
$$\text{飯塚} \begin{cases} P_r^5 = \left(\frac{10}{3}\right)^4 (8) \left(\frac{1}{\pi}\right)^5 \left(\frac{R_v}{R_o}\right)^4 w R_o / [D_1^3 \{f(\epsilon)\}^4] \left\{ (n+2) \left(1 - 0.7 \frac{R_v}{R_o}\right) \right\}^3 \end{cases} \quad (3-3)$$

$$a_m^5 = 1.2 \left\{ \frac{n+2}{4} - \frac{1.4(n+2)}{8} \frac{R_v}{R_o} \right\}^2 \left(\frac{R_o}{R_v}\right) w R_o D_1^2 f(\epsilon) \quad (3-4)$$

$T_{ABOR}$  は式(1-9)において、 $P_w = \frac{4}{n+2} P_r$  とした。  $n=2$  の時は  $P_w = P_r$  であり、意味があり、 $n > 2$  の時は  $P_w < P_r$  の意味がある。

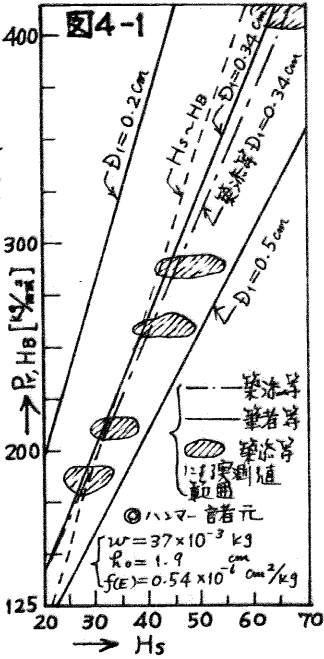
飯塚は実験の際に衝撃力を測定しており、最大衝撃力  $F_m$  と  $F_r$  とを区別しているが、その論文 (3) の図から判断する限りは  $F_r/F_m$  の比は約 0.97 ~ 1.0 の範囲にあり大差なく、 $T_{ABOR}$ 、筆者等との基本的違いは、 $P_r$  の定義において永久径を用いるか、最大接触径を用いている点にある。[飯塚に於て  $P_r = \frac{F_r}{\pi a_m^2}$ ]

<永久径>に関する式で三者の比較を行なう。今、式(2-3-1)、(3-2)、(3-4)を  $A = [a_w a_m]^5 \left(\frac{R_v}{R_o}\right) / [w R_o D_1^2 f(\epsilon)]$  の形に改めれば、 $A$  は単に  $R_v/R_o$  と  $n$  [式(3-4)の] 関数として与えられるから、縦軸に  $A$ 、横軸に  $R_v/R_o$  をとって各式による結果を示したのが図3-1である。図中には  $T_{ABOR}$ 、飯塚による実験値  $\{R_v, a\}$  と妥当な  $f(\epsilon)$  の値による  $A$  の計算値をプロットしてある。筆者等の式による結果に対して、 $T_{ABOR}$ 、飯塚の実験値は一部が若干下方に位置しているが、定量的に良く一致を示しているのが分る。飯塚の式は、約  $R_v/R_o = 0.6$  程度まで筆者等の式とよく一致する筈であるが、結局、 $R_v/R_o = 1$  の点で筆者等の式による結果と一致しないことになる。筆者等のように  $P_r$  を基として考えれば、式(3-2)に



(マイヤ指数)を導入する必要はなかったが、TABOR, 飯塚の実測値から、この考えは妥当なものと思われ。

4.  $H_s \sim P_r, H_B$  について 球圧子による静的かたさの例として、 $H_B, H_M$  (マイヤかたさ)がある。 $H_M$ は最大荷重を永久ひびの投影面積で除した値であるから、TABOR, 筆者等の  $P_r$  と同じ意味である。よって、本来  $H_s$  との関連における  $P_r$  についての比較は  $H_M$  とすべきものであるが、築添等<sup>(4)</sup>のツア-テストの実験結果が  $H_B$  について示されているので、ここでは  $H_s \sim P_r, H_B$  について考える。また、ツア-テストの機構に起因する摩擦等によるエネルギー損失は無視する。 $H_s = 140 \frac{P_r}{R_0}$  を換算式として用いる。築添等の場合 [ $H_s = 154 \frac{P_r}{R_0}$  と考えている] も、そのように補正してある。式(2-3-2)にハンマー諸元を代入す[試料は鋼と考える]と、 $H_s = 0.186 [D_1^6 P_r]^{2/5}$  を得る。 [ $D_1$ (cm),  $P_r$ (kg/mm<sup>2</sup>)] 築添等の実験に用いた  $D_1 = 0.34$  cm を考え、 $D_1 = 0.2, 0.34, 0.5$  cm の場合の計算値と  $H_s \sim H_B$  の換算曲線(鋼球による)<sup>(5)</sup>、築添等の式の結果を 図4-1 に示す。 $H_s$  値は同じ試料でも  $D_1$  (すなわち一定  $R_0$ ) を変えれば、違った値を示すわけであり、筆者等の式の計算結果により、 $D_1 = 0.34$  cm を用いた時の  $P_r$  が、その時得られる  $H_s$  値の  $25 < H_s < 45$  の範囲内で  $H_B$  とほぼ同じ値をとると分かる。このことは築添等による  $P_m$  (流れ圧力、あるいは座押込み中の塑性変形域における接触圧力)の式におもひ返し、[本論文中の筆者等が導出した。]



$P_m = 0.55 \left[ \frac{(H_s/140)^4}{\{1 - 0.417 (H_s/140)\}^3} \right]^{1/5} \left( \frac{W R_0}{D_1^3} \right)^{1/5} \left[ \frac{1}{1 - \frac{M_f}{E_2}} \right]^{4/5}$  (4-1)

動かし、築添等は、この  $P_m$  が  $H_B$  と等しいと仮定したわけであるが、この仮定はハンマーの諸元と  $D_1$  の値により制限を受け狭い範囲内でのみ成立する仮定であることが分る。

結論 筆者等の実測値に Herby の理論を加味した結果得られた結論は次のようである。  
 (1)  $P_r/R_0$  は、 $0.07 < P_r/R_0 \leq 1$  の範囲内で約  $(R_0/R_0)^{2/5}$  と与えられることが分る。その結果  
 (2) 永久くぼみ径  $A$  は、 $W, R_0, D_1, f(c), R_v$  により定まり、 $P_r, P_w$  も  $W, R_0, D_1, R_v, A$  により与えられる。  
 (3) このことは、式中にマイヤの指数を導入する必要がないことを示しており、筆者等の設定した式による計算結果と、TABOR, 飯塚の実測値との良好一致からも、ほぼ妥当な考えであることが分る。  
 (4) また、ツア-テストに対する計算結果と築添等の実測値と良好一致を示し、 $H_s \sim P_r, H_B$  の定量的関係が明らかになった。したがって、「静的かたさ」が「平均接触圧力」という点に基盤としている点から、その比較と並ぶ動的かたさ理論がある場合は、 $P_r$  の方を採用するのが適当であると考えられる。  
 尚、飯塚氏から実測値および貴重な研究報告等を頂いたことに対し、心から感謝申し上げます。

文献  
 (1) TABOR { Proc. Roy. Soc. A192, 247 (1948)  
 The Hardness of Metals (1951)  
 (2) 町田他 機論集 Vol32, 242号 (昭41)  
 (3) 飯塚 { SEMI-INTERNATIONAL SYMPO, 153 (1967)  
 計量研報告 Vol 20, No. 4 (No. 61) (1971)  
 (4) 築添他: 機論集 Vol30, 212号, 531 (昭39)  
 (5) 吉沢編: 硬さ試験法とその応用 (昭42)