621. 731. 4 : 621. 733. 4

打撃鍛造効果に及ぼす金敷重量 および 支持

用材 (相当ばね) の こわさ の影響について*

沢 潟 作 雄**

On the Influence of Anvil Weight and Rigidity of Supporting
Material (represented in the form of equivalent spring)
on Hammer-Forging Effect

by Sakuo OMODAKA

In case of hammer-forging, it has heretofore been said that the forging effect is greatly influenced by anvil weight and rigidity of supporting material (represented in the form of equivalent spring) or, in other words, anvil weight ratio (anvil weight over hammer head weight) and rigidity of spring. However, the writer has found that, in case of free forging, as far as anvil weight ratio is above a certain value which is far smaller than that having been said to be the limit, there exists little influence of anvil weight ratio and rigidity of spring on hammer-forging effect. Result of experiments conducted and theoretical explanation therefor are given herein.

1. 緒 言

打撃鍛造機を設計, 設備する場合に当面する種々の問題のうち, 金敷重量と同支持物(相当ばね)のばね定数の決定は重要な問題である。打撃鍛造機の基礎を設計する場合に, 強度および防振上のみから任意に金敷重量および, ばね定数が選定できれば好都合である。

しかし, 従来これらは作業上に大きな影響を有し, 特に鍛造効果は金敷重量とつち頭重量との比, すなわちアンビル比に大きく影響されると称されていた。しかし, 自由鍛造においては理論的にも実験結果からもアンビル比(ある小さい限度以上の)あるいはばね定数は鍛造効果に大した影響を及ぼさず, 基礎設計上にもかなり自由に取り扱うることを明らかにすることができたので, これを報告する。

2. 理論的考察

2.1 鍛造効果 材料力学あるいは塑性学上から定義されている鍛造効果は吸収エネルギーを考慮せねばならず, 取り扱いも厳密でなければならないが, 工業的な取り扱いで簡単にするために, ここでは単に鍛造前後の変形のみを考慮することとし, 第1図のように l_1 が l_2 になったとすると,

第1図

鍛造量 $= l_1 - l_2$, 鍛造効果 $= (l_1 - l_2)/l_1\%$ と称することとする。すなわち, 自由鍛造の場合を考察する。

2.2 打撃鍛造における被加工物の変形応力 打撃鍛造機の基礎の設計は, 従来は単に剛体の衝突理論

第2図

第3図

を適用してなされてきたが, これは妥当でなく, 作用力を基礎としたものでなければならない。このためには被加工物の変形応力がどのような形のものであるかが問題となる。実験記録よりみると第2図および第3図に示すように幾分異形状ではあるが, 被加工物が鉛の場合にはこの歯状波形と

みなして取り扱うほうがよく, 鋼の場合にはく形波形として取り扱うのが妥当のようである。

* 昭和 32 年 9 月 20 日 創立 60 周年記念地方第 7 区(金沢)講演会において講演, 原稿受付 昭和 32 年 9 月 30 日。

** 正員, 日本国有鉄道鷹取工場(神戸市須磨区)。

この打撃応力については別に改めて報告する予定であるが、第2図は被加工物として鋼の試験片を蒸気つち機で鍛造した場合の鋼の変形応力の測定記録であり、第3図は鉛を同様に加工した場合の鉛の変形応力の測定記録である。

いま、まずこの歯状波形の場合を考察してみる。

2.3 金敷が無限大基礎の上に設置された場合の考察

つち頭が被加工物に接した瞬間
第4図

$F(t)$ = 被加工物の変形応力

とすると次の方程式が成立する。

$$\frac{w}{g} \frac{d^2 x}{dt^2} + F(t) = 0 \quad \dots\dots(1)$$

しかし、 $F(t)$ を のこ歯状波形 と見なすと、

$$F(t) = \frac{F_a}{t_a} t \equiv ft$$

の形で示すことができる(第5図参照)。ゆえに式(1)の解は(2)式となる。

$$x = v_0 t - \frac{gf}{6w} t^3 \quad \dots\dots(2)$$

つち頭速度が零となるまでの時間すなわち鍛造作用時間 t_0 は式(2)で $\frac{dx}{dt} = 0$ より

$$t_0 = \sqrt{\frac{2v_0 w}{gf}}$$

となるが、この t_0 の間のつち頭の変位 x_0 が、すなわち鍛造量 ϵ_r である。ゆえに

$$\epsilon_r = x_0 = x(t=t_0) = \frac{2}{3} v_0 \sqrt{\frac{2v_0 w}{gf}} \quad \dots\dots(3)$$

2.4 金敷が空間に浮

ている場合の考察 この場合は第6図のような機構を仮定したものである。いま v_0, g を前記同様の記号とし、なお次の記号を用いる。

$w, u(t)$ = つち頭重量、およびつち頭が被加工物に接触してからのつち頭変位

$W, U(t)$ = 金敷重量、およびつち頭が被加工物に接触してからの金

第6図

敷変位

つち頭の変位は(2.3)と同様であるから

$$\frac{w}{g} \frac{d^2 u}{dt^2} = -ft$$

$$\therefore u = v_0 t - \frac{gf}{6w} t^3 \quad \dots\dots(4)$$

となる。また金敷の変位は次のごとくなる。

$$\frac{W}{g} \frac{d^2 U}{dt^2} = ft \quad \dots\dots(5)$$

$$\therefore U = \frac{fg}{6W} t^3 \quad \dots\dots(6)$$

鍛造作用の終る時は $\frac{du}{dt} = \frac{dU}{dt}$ であり、これまでの時間を t_1 とすれば

$$t_1 = \sqrt{\frac{2v_0 W w}{(W+w)gf}}$$

この t_1 の時の金敷の変位 U_1 すなわち $U_1 = U(t=t_1)$ は次のごとくなる。

$$U_1 = U(t=t_1) = \frac{1}{3} \frac{v_0}{(1+\alpha)} \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \frac{2v_0 w}{gf} \quad \dots\dots(7)$$

ただし、 $\alpha = W/w \equiv$ アンピル比

同様に、この時のつち頭の変位は次式で示される。

$$u_1 = u(t=t_1) = \frac{v_0}{3} \frac{3+2\alpha}{1+\alpha} \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \frac{2v_0 w}{gf} \quad \dots\dots(8)$$

したがって、この間の鍛造量 ϵ_f は式(9)のごとくなる。

$$\epsilon_f = u_1 - U_1 = \frac{2}{3} v_0 \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \frac{2v_0 w}{gf} = \epsilon_r \sqrt{\frac{\alpha}{1+\alpha}} \quad \dots\dots(9)$$

2.5 金敷がばね定数 K のばねによって支持さ

れている場合の考察

この場合は第7図のような機構を仮定したものである。現実にはばねとともにダンパに相当するものを併考すべきであるが、かかる状態は無限大基礎とばね支持の間にあると推定されるから、極限の推定には省略してさしつかえないと思われ、ばねのみの支持の場合を考察する。

各記号は前記同様とし、なお次のものを用いる。

$z(t), Z(t)$ = つち頭が被加工物に接触してからのつち頭、および金敷の変位

まず、金敷の運動を考えると、

$$\frac{W}{g} \frac{d^2 Z}{dt^2} + KZ = ft \quad \dots\dots(10)$$

ゆえに、金敷の変位はこれを解いて次のごとくなる。

$$Z = \frac{fg}{W} \left(\frac{1}{K} \frac{W}{g} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\sqrt{\frac{gK}{W}} t - \sin \sqrt{\frac{gK}{W}} t \right) \quad \dots\dots(11)$$

第7図

$$= \frac{fg}{W} \left(\frac{1}{K} \frac{W}{g} \right)^{\frac{3}{2}} \left\{ \frac{\left(\sqrt{\frac{gK}{W}} t \right)^3}{3!} - \frac{\left(\sqrt{\frac{gK}{W}} t \right)^5}{5!} + \dots \right\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

しかし、 $\sqrt{K/W}$ は $K=\infty$ とすれば (2.3) の場合となり、 K を有効な範囲において使用する場合は、 t の数値を併考すれば括弧内の第 2 項以下は省略できる。そのときは

$$Z = \frac{fg}{6W} t^3 \quad \dots\dots\dots (13)$$

すなわち、式 (6) と式 (13) とより、ばね定数 K が W と均衡を保つ程度の範囲では、 K の強さは鍛造量には影響すること少く、金敷が空に浮んでいる場合と同様の結果を示す。

2.6 金敷重量および ばね定数 の鍛造効果への影響 ばね定数のかなりの変化でも、それが鍛造効果に影響を及ぼさないことは (2.4) と (2.5) とを比較すれば明らかであり、ばね支持の場合でも鍛造効果の計算においては、金敷が空に浮いている場合と同様に考察して、工業的にはさしつかえないことが判明する。

次に金敷重量の影響については式 (9) で示すとき関係が成立している。ゆえにいま、浮游基礎の場合と無限大基礎の場合との鍛造量の比 ϵ_f/ϵ_r と各アンビル比 α との関係について図示すると第 8 図の A 曲線のごとくなる。

以上は鉛について成立するところである。しかし、鋼については前記のごとく、被加工物の変形応力をく形波形式とみなしたほうが妥当であるが、このようなく形波形式とした場合には式 (14) の関係が成立する。

第 8 図

$$\epsilon_{f_0} = \epsilon_{r_0} \frac{\alpha}{1+\alpha} \quad \dots\dots\dots (14)$$

ただし、 ϵ_{r_0} , ϵ_{f_0} = 変形応力をく形波形式とみなして基礎を無限大とした場合および浮游とした場合の鍛造量

式 (14) の関係を図示すると第 8 図の B 曲線のごとくなる。

3. 実 験

3.1 実験内容 理論的には [2] のごとくであるが、実験的に ばね定数 K および金敷重量 W が、鍛造効果にいかに関与するかをみるために、模型つち機による次のとき実験を行った。

第 1 表 実験種類表

(単位 mm, kg, kg/mm)

(a) コイルばね支持 (つち頭 75 kg)													
試片材質	試片寸法	つち頭落高	ばね定数	金敷重量およびアンビル比									
				375	525	675	825	900	1050	1200	1350	1500	1650
鋼	80 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鉛	80 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			170	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			243	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			475	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			5000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		1000	53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			170	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			243	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			475	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鋼	35 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(b) コイルばね支持 (つち頭 10 kg)													
試片材質	試片寸法	つち頭落高	ばね定数	金敷重量およびアンビル比									
				375	525	675	825	900	1050	1200	1350	1500	1650
鋼	80 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鉛	80 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			170	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			243	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			475	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			5000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		1000	53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			170	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			243	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			475	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鋼	35 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(c) 重ね板ばね支持 (つち頭 75 kg)													
試片材質	試片寸法	つち頭落高	ばね定数	金敷重量およびアンビル比									
				375	525	675	825	900	1050	1200	1350	1500	1650
鋼	80 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鉛	80 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			170	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			243	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			475	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			5000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		1000	53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			170	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			243	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			475	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鋼	35 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(d) 直接地上設置 (つち頭 20 kg)													
試片材質	試片寸法	つち頭落高	ばね定数	金敷重量およびアンビル比									
				375	525	675	825	900	1050	1200	1350	1500	1650
鋼	80 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鉛	80 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			170	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			243	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			475	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			5000	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		1000	53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			170	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			243	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			475	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
鋼	35 ¹ ×43 ^φ	2000	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			1060	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
			53300	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

アンビル比 α がある値以上の場合に、ばね定数 K の変化が鍛造効果にいかに関与するかをみるために行った実験は第1表の (a)(c)(d) のごとき内容である。

また、アンビル比 α の小さい値の範囲を知るために行った実験は第1表の (b) のごとき内容である。

ただし、第1表 (c) 中の油と記入したものはばね板間にグリースを注油したばねを、無と記入したものは無注油のばねを示す。また同表中の◎印はばね両端支持に玉軸受を用いたものを示し、他はすべて

平面軸受である。第1表 (d) 中の◎印は埋設箱の外側面をコンクリート粗面としたものを示し、他はすべて鉄板粗面のままである。

3.2 試験片 第1表に示す内容の各実験に使用した試験片の物理的特性、化学的成分は第2表のごときである。

各試験片の寸法は第1表の各項に記入しているごとくである。

第 2 表

鋼	物 試 験 理 値	引 張 強 さ kg/mm ²	降 伏 点 kg/mm ²	伸 び %		衝 撃 シャ ル ビ kg/cm ²	鉛	物 理 試 験	75φ×58l (直径 mm×長さ mm) の試験片を、20 mm を 85 s の速度で圧縮試験して 17 t
		45.7	34.8	36.0		26			
銘 柄 SS41	化 分 析 学 値	TC	Si	Mn	P	S	純鉛	化 学 分 析	99.58% Pb
		0.18	0.23	0.53	0.019	0.033			

3.3 実験装置 これら各種実験に用いた装置の大略は次のごとくである。第1表 (a) および (c) 実験には第9図に示すごとく、金敷重量を 375 kg と 2 250 kg との間で各種重量に可変、調整可能とし落下高さも 1 m と 2 m の2種類にでき、ばねもコイルばねと重ね板ばねと両方に使用できるごとくした装置を同 (b) 実験には第10図の装置を、同 (d) 実験には第11図に示す装置を用いた。

3.4 その他の実験条件 (a) 鍛造種類—実験は金敷上面に置いた試片上に つち頭 を落下させ、自由鍛造の形で行った。(b) 試片の端末条件—金敷の上面および つち頭 の下面はラップ仕上で十分平滑に鏡面化したが、試片の面は鉛片は機械仕上(仕上程度 12-s)のまま、鋼片は機械仕上(仕上程度 12-s)のまま加熱し、金ごけを除却したままで金敷上面に置いた。金敷上面および つち頭下面 と試片との間には何らの潤滑材(油など)も使用しなかった。(c) 試片の温度条件—

鋼片の実験における試片の温度測定は、試片を金敷上面に乗せ打撃直前に金ごけを除却して、アスカニヤ製ふく射高温計で測定した。この温度はできる限り一定にするように努力したが、その状態を第1表と同型にして示すと第3表のごときである。鉛片は常温(13°C ~ 20°C) で実験した。

3.5 実験結果 これらの実験のうち、アンビル比 α がある値以上の場合の α と、ばね定数 K の影響に関するものを図示すると第12図のごときである。すなわち、本図より明らかなごとく、鍛造効果はアンビル比 α にも、ばね定数 K にも特別に影響されていない。

また、第1表 (b) の実験結果を [2] の条件に合わせて図示すると第8図に付記した×印(鉛試験片)および◎印(鋼試験片)のごときである。

鉛の実験が理論曲線に十分合致しているのに対して、鋼の実験がそれているのは打撃時の試験片の温度

第 9 図

第 10 図

第 11 図

第3表 試片温度表

(a) コイルばね支持(つち頭 75 kg)

試片 材質	試片 寸法	つち頭 落 高	ばね 定数	金 敷 重 量 お よ び ア ン ビ ル 比											
				375	525	675	825	900	1 050	1 200	1 350	1 500	1 650	1 950	2 250
				5	7	9	11	12	14	16	18	20	22	26	30
鋼	80 $\times$ 43 ϕ	2 000	100	$^{\circ}\text{C}$ 900 900	920 950	950 960	920 950	900 950	950 950	920 900	920 940	900 900	940 940	950 950	900 900
				940 920	960 940	960 950	920 930	900 910	900 900	900 900	900 900	910 950	950 930	910 910	900 900
				950 940	940 950	940 950	950	930 900	950 940	900 900	900 900	930 950	900 910	900 900	950 940
			53 300												
鋼	35 $\times$ 43 ϕ	2 000	106												920

(b) コイルばね支持(つち頭 10 kg)

ばね 定数	つち頭 落 高	金敷重量	アンビ ル 比	試 片	
				48 $\times$ 41 $\times$ 26 ϕ 鋼	21 $\times$ 23 ϕ 鋼
115	1 120	18 $\cdot$ 3	1 $\cdot$ 83	835	
		31 $\cdot$ 0	3 $\cdot$ 10	840	
		41 $\cdot$ 1	4 $\cdot$ 11	850	
		51 $\cdot$ 1	5 $\cdot$ 11	840	
		60 $\cdot$ 9	6 $\cdot$ 09	850	
		118 $\cdot$ 0	11 $\cdot$ 8	855	845
	560	150	15	850	850
	1 120			845	835
	560			840	840

の, ばらつきも大きく起因していると思われる。

アンビル比 α がある値(従来から称されていた値よりはるかに小さい値)以下になると明らかに鍛造効果はアンビル比 α に影響され, しかも, その影響は[2] の理論にしたがっていることが, 本図より明らかである。

4. 結 言

自由鍛造の範囲においては, 模型つち機による実験の結果より次のことが確認できる。

(1) [2] で記した理論的取扱いが実験と合致する。したがって, (2) アンビル比も第8図に示すごと

A 表 (a) の結果

A 表 (c) の結果

A 表 (d) の結果

鉛 = 常温

鋼 = 第3表参照

第12図 実験結果

く従来称されているよりはるかに小さい値を考慮すれば良く、それ以上の値では、鍛造効果にはあまり関係しない。(3) また、金敷支持物(ばね相当材)のばね定数の変化も、鍛造効果には余り影響しない。(4) したがって、打撃鍛造機の設計に当って、従来称されていたような意味で金敷の重量を増す必要はなく、(5) 打撃鍛造機のすえ付けに際しては、金敷重量および同支持用ばねのこわさは、鍛造効果におよぼす配慮は実

際上不必要で、基礎の強度や防振などの観点から、かなり自由に選択してよい。

以上、模型つち機による実験を理論の証として結論したが、なお、実作業用つち機によっての確認を得たいと思考している。

なお、本研究に種々御指導を賜った早稲田大学教授山内弘先生に厚く御礼申し上げます。

正 誤

日本機械学会論文集, 23 巻 134 号(昭和 32 年 10 月)

山下貞二「けい砂の粒形について」

- (1) 740 ページ, 右欄, 第 3 表の下 2 行
(倍率 50) は(倍率 31・25) の誤り。
- (2) 741 ページ第 6 図中
土岐津けい砂と瀬戸けい砂の平均粒径 0・542 mm (32~28 メッシュ) のものは写真が入れ違えてある。
- (3) 741 ページ, 第 7 図中
“各けい砂(呼称 3 号)中の最大粒の粒形”の右肩(実物大)は $\left(\text{実物大} \times \frac{1}{1\cdot6}\right)$ の誤り。