

ラッピングについて

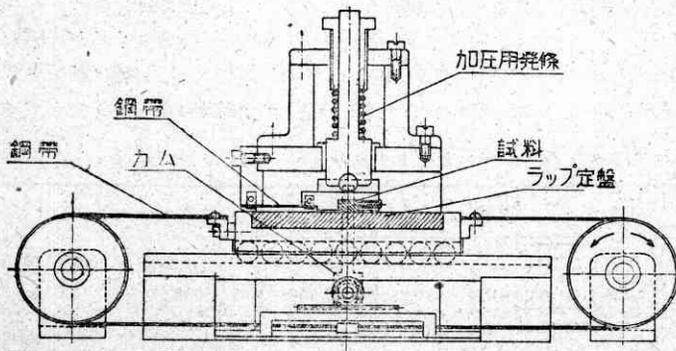
松 永 正 久

機械的な平面仕上げとして最も普遍に行われているラッピングにおいて、どうしたら最良の面が得られるかという問題について行つた基礎的な実験を二三紹介する。

は し が き

完全な平面を作ることは精密工作の窮極の目標の一つであつて、古來種々の加工法が試みられてきた。しかし金属表面について現在最も優良な平面と考えられているブロックゲージやその他のゲージ類の仕上げにはなおハンドラッピングが最も多く行われ、その他の方法はまた試験的な範囲を出ないようである。ラッピング工作法とはラップと稱する定盤の上で工作物の表面の凸起を少量ずつ削り落し完全に近い平面を得る精密工作法であつて、古來多くの研究が行われてきた。(1)~(6)ラッピングは二種類に分けられ、一つはラップ定盤と工作物の間にラッピングパウダーとラッピング油の介在した状態で行われる湿式ラッピングであり、他の一つはラップ定盤にラッピングパウダーを十分にすり込み、過剰のラッピングパウダーを完全に拭い去つた状態でラッピングを行う乾式ラッピングである。後者は面の凸凹と光澤が良好であるが、ラップ量の少いのが特長である。ラッピングの最終行程である乾式ラッピングについては、その研究は割合少く、用いられるラッピングパウダーの大きさも面の凸凹も、ラップ量もミクロン以下の程度であるので、ラッピング機構の本質の探究にはどうしても電子顕微鏡や電子廻折のような微視的な方法をとる必要がある。

金属加工面の電子廻折的研究、殊にバイルビー層の形成に関しては非常に多くの研究が行われ、(7)最近の電子

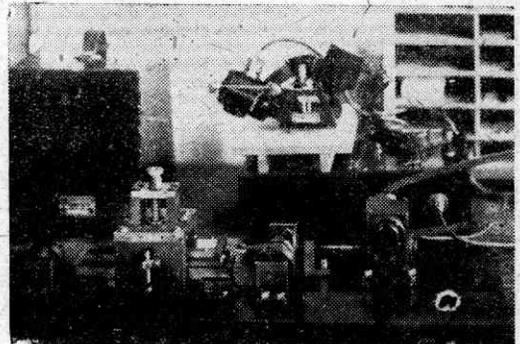


第1圖 ラッピング試験機

顕微鏡の發達により、表面の状態を光學顕微鏡による以上に擴大して觀察できるようになつたのでさらに進歩がうながされることと思う。この方面の研究については、高橋昇博士の一連の論文(8)があるが、工作の機械的な條件と關連をもつた研究はあまり行われていない。

實 驗 装 置

(1) ラッピング試験機 使用したラッピング試験機は第1圖に示すようなものであり、第2圖はその寫眞である。装置はラップ定盤を左右に移動するのに焼入鋼帯を利用し、ラッピング壓力は發條によつてかけ、圖示のカムにより行程の一方のみラッピングが行われるようにした。壓力の片當りについては小坂氏の實驗(9)におけると同様の注意を拂つた。第2圖の後方にあるのは粗さの測定に用いた NF 粗度計である。



第2圖 實 驗 装 置

(2) 電子顕微鏡および電子廻折装置 使用した電子顕微鏡は日本電子光學研究所製の JEM 1型で電子廻折の撮影も可能であり、反射型の電子廻折像を撮影しやすくするためと電子廻折の分解能を向上させるため一部を改造して使用した。

電子廻折の原理その他については、種々の成書(10)があるので、ここにはふれないことにする。

(3) 表面の粗さ測定 表面の粗さ測定には、測定時間が非常に短くてすむことより NF 粗度計(11)を使用し、必要に應じ、日本光學製表面検査機および日立アラサメータ等を併用した。NF 粗度とラッピング面の山の高さ H とは焼入鋼をラッピングした場合には第3圖の如き關係があり、 0.8μ 以下の粗さの所では福島氏の提唱された

$$NF \text{ 粗度} = H/80$$

の関係のあることを確めた。

材 料

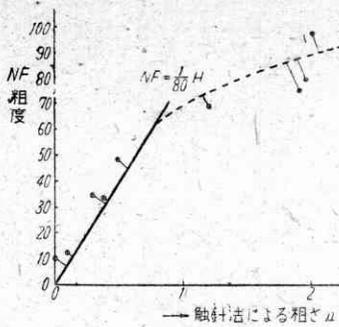
(1) ラップ定盤
ラップ定盤としては、適当な硬さの鼠鑄鐵が最も多く用いられ、時には銅、その他の軟金属、木材等が用いられることもある。

ラップ定盤の材質がラッピング性能におよぼす影響は興味あることであるが、いまだ実験を行う機会なく、今回はもつぱら鑄鐵を使用した。用いた鑄鐵はラップ定盤用として、やや軟質に鑄造した C=3.40%, Si=1.81% のもので、柳葉状の黒鉛が方向性なく配列し、硬度は RB 80 であった。

(2) 試験片 試験片は現在まで使用したものは焼入鋼および銅であり、焼入鋼は炭素工具鋼第種熱間圧延鋼材を適當の大きさ (10×10×7 mm) に切断し、800°C より油焼入したものを 150°C で約 6 時間焼戻したもので、硬度は RC 64 ないし 65 である。銅は電気銅を壓延し切断後充分焼鈍したもので、硬度は RB 9 ないし 11 である。

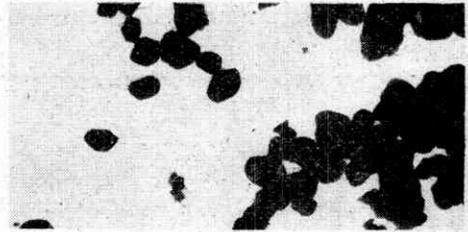
(3) ラッピングパウダー ラッピングの際は工作物とラップ定盤との間に、切削劑たるラッピングパウダーも介在させて加工を行うのであるが、用いられるラッピングパウダーにはカーボランダム系、アランダム系、酸化クローム、ベンガラ等種々のものが試みられている。ここに用いたのは荒仕上用としてはカーボランダム系、アランダム系および酸化クローム、精密仕上用としては酸化クローム、ベンガラを用いた。ラッピングパウダーは製造所により性質の異なるのはもちろん、同一製造所の製品でも製造条件によつて、大いに性質の異なることが知られており、アランダム系砥料の分析結果⁽¹²⁾をみても第 1 表のように非常にまちまちである。それ故本実験では同一の実験にはすべて同一のパウダーを使用した。

酸化クロームには種々の製法があり、製法により形状が異つてることが報告されている。⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾筆者の使用



第 3 圖 粗度と觸針法による粗さとの比較ラ

したものはマンニグ社製のもので、この電子顕微鏡寫眞は第 4 圖の通りであり、六角板状のものと塊状のものとの混合で、粒子の大きさは 0.4~0.6 μ, 電子廻折像は Cr₂O₃ で d=1.67, 1.465, 1.123 に相當する廻折線が見られる。これは無水クローム酸を焼いて作つたものと想像され、結晶がよく發達しているので焙焼温度は相當高いものと考えられる。



第 4 圖 酸化クローム ×10,000

ラッピングパウダーの粒度は顯微鏡 (ごく細かいものは電子顯微鏡) で寫眞撮影したときの平均と平行ガラス板間に入れオプティカルミニメータで計つたときの値を求め第 2 表にかかげる。一般に顯微鏡撮影による方が小さく出ている。これは顯微鏡の場合には割合小さな粒子も測定の対象となるのに反し、平行ガラス板法では主として大きな粒子を測つているためである。

第 2 表 ラッピングパウダーの粒度

種 類 測定方法	G. C.						酸化クローム	ベンガラ
	#240	#280	#320	#400	#500	#600		
顯微鏡 (電子顯微鏡) (μ)	33	30	27	20	13	11	0.5	0.25
平行硝子板 (μ)	56~58	46~48	43~46	36~38	23~25	20~22	2	1

實 験 結 果

(1) 豫備實驗 湿式ラッピングの場合のラップ量はラッピング油の種類によつて異なるのはもちろんであるが油とパウダーとの混合比によつても異なることが知られている。⁽²⁾ 粒子の細かいラッピングパウダーについて最大の切削能を得るには、どのくらいの濃度が適しかを確めるための實驗を行つたところ、GC #400, 酸化クローム、ベンガラいずれも 30~60% の範圍で大差なく極大を示し、それ以上でもそれ以下でもラップ能は減少することがわかつたので、以下の實驗では油とラッピングパ

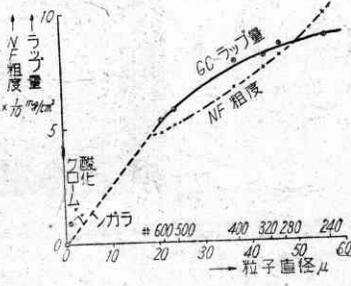
第 1 表 代表的なアランダム系ラッピングパウダーの成分

成 分	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	ZrO ₂	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O
白色アランダム	t~1.37	0.016~1.89	t~1.45		t	t~3.96	t~2.86	0.37~0.80
ノルトン社製アランダム	1.10~3.23	0.15~0.68	3.01~6.71 0.20~1.62		0.06~0.34	0.56~0.89	0.08~0.70	/
カーボランダム製アランダム	t~2.30	0.19~0.54	2.43~6.51		t	0.41~0.60	0.15~0.78	/
デュボン社製アランダム	0.26	0.21	2.28 0.05		t	0.79	0.21	/
國産アランダム	0.08~17.36	0.17~2.02	0.67~6.69		t~0.70	0.12~2.30	0.03~3.32	/

第4巻 第1號

ウダーの混合比は 1:1 のもの (濃度 50%) を作使した。ラッピングパウダーの粒度によるラップ量について、GC と酸化クロームとを比較した実験を第5圖に示す。

ラッピングパウダーの粒度 0, すなわち油入磨耗の場合の磨耗量はほとんど 0 であるのでラップ量と粒度との関係は圖の點線のようになることが知られている(2)

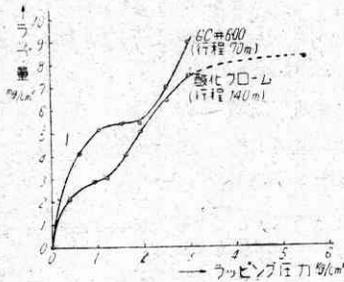


第5圖 粗度とラップ量

から、酸化クロームおよびベンガラの切削能がこの點線より上位にあるのは注目すべきことである。圖の実験ではラップ定盤は鑄鐵試験片は焼入鋼、ラッピング壓力は 1 kg/cm², ラッピング速度は 5.4 m/min, ラッピング行程 70 m の場合の値である。

(2) 焼入鋼の濕式ラッピング ラッピング壓力を一定として、濕式ラッピングを行うと、はじめは相當早くラッピングが進行するが、次第に遅くなりやがて定常状態に達する。本実験におけるラップ量とははすべてこの定常状態のラップ量をとつた。

ラッピング壓力とラップ量との關係は、諸家の實驗(1)~(4)結果によれば、ある壓力で極大をとり、それより壓力が増加するとラップ量はかえつて減少し、一旦極小値をとることが報告されている。筆者はラッピングパウダーに酸化クロームを使用しラッピング速度 5.4 m/min, ラッピング行程 140 m について、同様の實驗を行つたところ、第6圖に示すようにこの現象を認め得なかつた。ただし GC#600 の



第6圖 ラッピング壓力とラップ量との關係

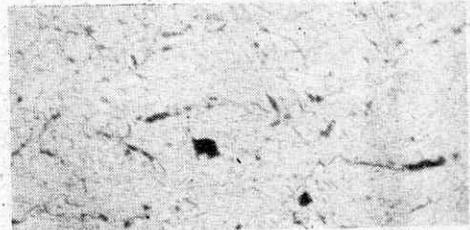
ように相當大きなラッピングパウダーを使用したラッピングでは極大極小の存在が認められた。この極大極小の存在する理由として、大越教授は面の間に存在するラッピングパウダーの數により佐藤氏はラッピングパウダーの粉碎により、津和氏はパウダーの目詰りにより、佐々木氏はパウダーの埋込により説明せられているが、筆者の實驗でこれを生じなかつたのは、ラッピングパウダーが小さいのでパウダーが工作物及び定盤の凹所に入り込んで、壓力を高めても面に存在するパウダーの數の減少が起らないこと、パウダ

ーの粉碎の起りにくいこと、工作物が硬いために工作物への埋込が割合少いことにより、磨耗の場合と同様(15)壓力の増加につれて、ラップ量の増大が認められるものとする。ラッピングパウダーの粉碎の起らないことは壓力 1 kg/cm² で連続行程 20 m ラッピングの後に電子顯微鏡で檢したところ、まだ粉碎せられない酸化クローム粒子が認められたことからわかる。

焼入鋼の電解研磨面および細かい紙やすりで仕上げた面はいずれも β- マルテンサイトであると考えられるので、α 鐵とは格子常數が異なるはずであるが、電子廻折像では α 鐵との區別は不可能である。濕式ラップ後の面は各壓力共非常に稀薄になり識別困難であるが、d=2.01, 1.166 に相當する二本の薄い α 鐵の廻折環が見られる。これは結晶が粉碎されると共にラッピングパウダーの一部、チップ、油等表面に附着しているためと考えられる。

またチップを電子廻折で檢すると Fe および γ-Fe₂O₃ の混合した廻折環を興える。

1 kg/cm² の壓力でラッピングを行つた際の表面の電子顯微鏡寫眞を第7圖に示す。これをみるとラッピングパウダーの轉動によると思われる部分、鑄鐵に埋込まれたラッピングパウダーにより引つかかれた條痕、および局部的に流動を起したと見られる部分がある。結局濕式ラッピングの機構は面の間に存在するラッピングパウダーが轉動しつつ工作物を切削すると共に、鑄鐵上の酸化クロームが直線的に工作物を切削し、さらに一部には流動を起しつつ表面をたいらにしていくものと考えられる。



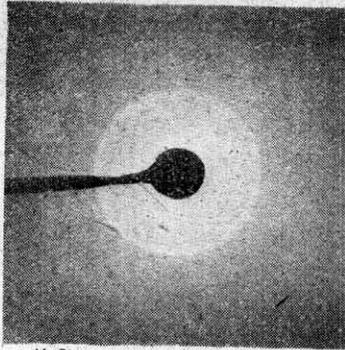
第7圖 焼入鋼濕式ラップ面 ×6,500

(3) 鋼の濕式ラッピング 軟金屬の代表的なものとして銅についてラッピングを行つたところ、ラッピング壓力とラップ量との間に極大極小が存在する。またラッピング後の表面硬度が増加しているが、これは表面にラッピングパウダーおよびチップが埋込まれたためと考えられる。事實表面は非常に汚れていて銅の光澤はあまりない。表面への埋込物質が何によるのかを檢するため表面の電子廻折像をとつたところ、銅以外の廻折環は見られなかつたが表面を電解研磨したところ、埋込物質が銅表面に浮上つたので、その電子廻折寫眞をとつた。

第8圖 はこれを示したもので、Cu, α 鐵、および酸化クロームの三者の混合物であつた。

軟金屬の濕式ラッピングではラッピングパウダーが工

作物に埋込まれるために、工作物がラップされず、定盤が削られて、ラッピング能率が悪いと考えられていたが、必ずしもそうでなく、鑄鐵をラップ定盤としてラッピングを行つたときは焼入鋼よりもラップ能のよいことは注意すべきことである。



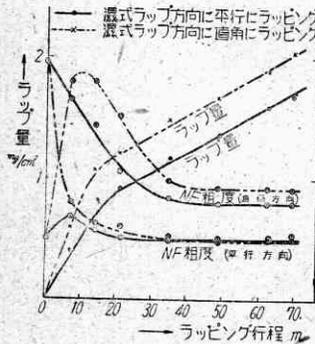
第8圖 銅、湿式ラッピングの際に表面に埋こまれた物質の電子廻折環 (Cu+Fe+Cr₂O₃)

表面を電子顕微鏡で検したところ

では、ラッピングパウダーの轉動による切削部分と流動部分が多く、引つかきにより切削部分がほとんどみられない。

(4) 乾式ラッピング 乾式ラッピングの場合のラップ量を求めるため、湿式ラッピングを行つた焼入鋼について実験を行つた。ラップ定盤は鑄鐵であるが、ラッピングを行うと急速に目詰りを起すために、175 cm(25行程)ごとにラップ定盤の擦合せをやり直して実験した。

第9圖にラッピング壓力 1 kg/cm² のときのラッピング行程とラップ量との



第9圖 乾式ラッピングの場合のラッピング行程とラップ量

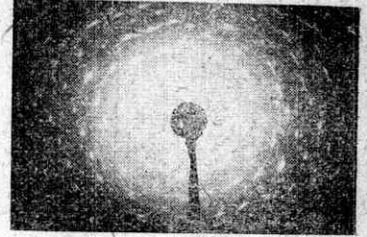
行程とラップ量との關係を示す。ラップ量は初め急激に上昇し行程約 20 m で定常に達する。この場合湿式ラップ方向に直角にラッピングした場合と平行にラッピングした場合を比較すると、直角にラッピングした場合は剪斷により山がとれやすい

ため初期のラップ量が多い。しかし初期にとれたチップが大きいと、表面の粗さは平行にラッピングした場合に比べて良くなる。また平行に測つた場合の NF 粗度が初期において一時悪くなつてゐることは、乾式ラッピングが單なる切削でなく、熔融または流動を伴う一つの證據となるであろう。

表面の電子廻折像はバイルビー層にまよるハローであるが、鐵の廻折像からハローに移る轉移點はなかなかつかまえない。乾式ラッピング面の電子顕微鏡寫真で表面の熔融のみられることはすでに報告した。(16)

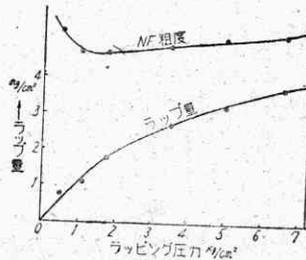
チップの電子廻折像は黒鉛または $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ であるが、

しばしば第10圖に示すように美しい CrO_3 の單結晶に近い結晶が検出される。もとの酸化クロームは CrO_3 の焙焼により作つたのであるから、酸化クロームの中に、 CrO_3 の存在するのではないかといふことは考えられないではないが、電子顕微鏡寫真から見ると焙焼温度は相當高く、また酸化クロームの中からは今のところ CrO_3 は検出されていないので、二次的に生じたものらしい。



第10圖 乾式ラッピング中のラップ内の CrO_3

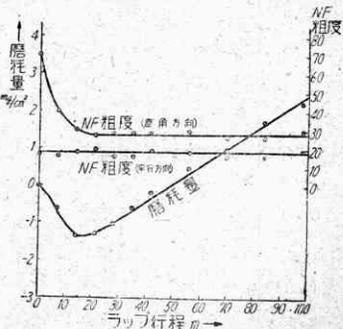
ラッピング壓力とラップ量との關係は第11圖に示すようになり、壓力の増加と共にラップ量は増加しているが、面の粗さは、



第11圖 乾式ラッピングの場合のラッピング壓力とラップ量

1 kg/cm² 附近が最も良い。この原因は壓力が低いときは面が完全にラップ定盤になじまず、また熔融が起りにくく、壓力が高いとチップの比較的大きな部分が面に疵をつけるためである。

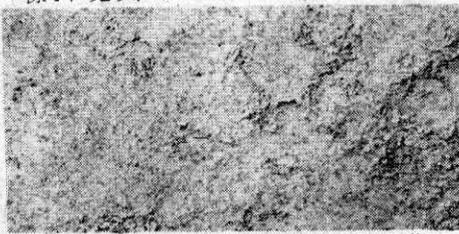
(4) 鑄鐵ラップ定盤の性質 鑄鐵のラップ定盤としての作用をしらべるために、相手を焼入鋼にして、1 kg/cm² のラッピング壓力で湿式ラッピングを行つた。ラッピング速度は 5.4 m/min. である。ラッピング行程とラップ量との關係は第12圖に示す通りであり、ラッピングの初期ではかえつて鑄鐵の重量が増加する。この原因は鑄鐵の内の黒鉛部分に酸化クロームが壓入するためと考えられ、ラッピングの際の黒鉛の作用はなかなか興味深い。ラップ定盤における



第12圖 鑄鐵ラップの磨耗量

ラッピングパウダーは主として黒鉛の内に埋込まれてゐると考えられ、定盤の電子顕微鏡寫真(第13圖)によれば黒鉛以外の部分にラッピングパウダーの埋込まれた模様は見られない。表面下に埋込まれてゐることも考え

られるが、定盤面をエッチして電子顕微鏡寫眞をとつてもその様子は見られなかつた。



第13圖 鑄鐵ラップ定盤表面の電子顯微鏡寫眞 $\times 6,500$

鑄鐵面の電子廻折像は荒い仕上では黒鉛と α 鐵の廻折環の混じたものであり、仕上が細かくなると α 鐵のみによる廻折環を興える。またラッピングによつて $r\cdot Fe_2O_3$ の廻折環をまじえてきて、ついにはハローになる。乾式ラッピングの際は黒鉛の配列、パラフィンの配列を示す像が得られることはすでに報告されているが、⁽⁸⁾ 筆者はその他に $r\cdot Fe_2O_3$ の像を得たので附言する。

あとがき

この實驗は目下續行中であり、非常にまとまりのないものになつたが、ラッピングという作業が非常に複雑で研究すべきことが多く、電子顕微鏡および電子廻折装置が有力な武器となることがわかつていただければ幸である。

この研究は東大生産技術研究所で行つたもので、研究費の一部は文部省科學研究費によつたものであり、いろいろ御忠言をいただいた大越教授、河村教授に厚く御禮申上げると共に實驗に協力してくれた萩生田善明君、電

子顯微鏡の調整に助力された池谷光榮君および日本電子光學の諸兄、實驗に便宜を與えられた黒田挾範製作所黒田彰一氏に對し厚く感謝の意を表する次第である。

(26. 10. 24 受)

文 献

(1) 大越 諒 精密機械 Vol. 3 (昭11) No. 8, 119
 (2) 佐藤 健兒 同 上 Vol. 14 (昭23) No. 9~10, 139
 同 上 Vol. 15 (昭24) No. 5~6, 104
 同 上 Vol. 15 (昭24) No. 7, 188
 (3) 淺枝 敏夫 機械の研究 Vol. 1 (昭24) No. 1
 (4) 津和 秀夫 精密機械 Vol. 17 (昭26) No. 1, 6
 同 上 Vol. 17 (昭26) No. 9, 285
 (5) 重松 光夫 ラッピング工作法 (昭19)
 (6) 朝永 良夫 ブロックゲージ (昭19)
 (7) 詳細な文獻の紹介は
 菅 義夫 精密機械特輯號「表面粗さとその測定法について」(昭23. 10月) 2
 菅 義夫 機械の研究 Vol. 2 (昭25) No. 1, 1
 大久保・小川 日本金屬學會誌 Vol. 5, No. 3, 143 等を参照のこと。
 (8) 高橋 昇 理研彙報 Vol. 24 (昭24) No. 1, 15
 同 上 應用物理 Vol. 17 (昭23) No. 6, 155
 同 生 同 上 Vol. 17 (昭23) No. 8~9, 269
 同 上 同 上 Vol. 17 (昭23) No. 11~12, 381
 同 上 機械の研究 Vol. 2 (昭25) No. 1, 21
 同 上 電子顯微鏡 Vol. 2 (昭26) No. 1, 30
 (9) 小坂誠一郎 腐蝕變質層の研究 (昭20), 23
 (10) 代表的なものとして
 G. P. Thomson, & W. Cochran: Theory and Practice of Electron Diffraction, 1939 McMillan.
 本庄 五郎 電子線廻折 (物性論叢書第2卷) 昭24 朝倉書房
 上田 良二 粒子線廻折 (同 上 第15卷) 昭25 同 上
 飯高 一郎 金屬合金の電子廻折的研究 (1942) 岩 波
 (11) 福島榮之助 日本航空學會誌 6 (1939), 463
 同 上 同 上 8 (1941), 361
 同 上 同 上 8 (1941), 1071
 (12) 山口啓郎 海軍航空技術廠報告 (昭16)
 (13) 佐藤正雄 外 電子顯微鏡委員會資料 56-C-6
 (14) 高本 理逸 機械試驗所々報 Vol. 4 (1950) No. 5, 201
 (15) 小坂誠市郎 前出 170
 (16) 筆 者 生産研究 Vol. 3 (1951) No. 8, 368

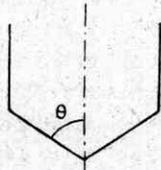
速報 I 平板の水面衝擊

安藤良夫・藤田讓・山口勇男

空中にある物體がある速度以上で水中に突入しようとするとき、物體は水面衝擊をうける。この現象は飛行艇等の着水時の強度、波浪中における船體の強度、あるいは一般に水面に落下する物體の強度などに大きな影響をおよぼすので、従來理論的にも實驗的にも相當の研究が進められている。その中でも模型のものは理論と良く一致するが、平板の場合は實測値を十分説明できる理論は見當らない。

著者等は落下衝擊試験機を新たに試作し、水晶壓力計および電磁オシログラフを用いて5種類の大さの圓板が水面に落下した場合の加速度を計測し、それより衝擊力を求めた。

船底と中心線のなす角を θ とするとき(第1圖)、 $\theta < 70^\circ$ すなわち飛行艇などの場合は落下する物體は剛體とし、流體の運動を考えればよく、衝擊力は落下速度 V の平方、したがつて落下高さ H に比例する。



第1圖

一方物體の彈性を考え、水面についた瞬間に一定の附加質量がつくと考えると衝擊力は \sqrt{H} に比例する。彈性體が剛體の床に落下した場合も \sqrt{H} に比例する。

平板($\theta=90^\circ$)が水面に落下した場合は H に比例する流體的衝擊力と \sqrt{H} に比例する彈性的衝擊力の和で表せると假定し、實測値から次の實驗式を得た。

$$P_{max} = \alpha \sqrt{\frac{2kgMm}{M+m}} \sqrt{H + \beta \rho g F H}$$

ただし P_{max} : 最大衝擊力 g : 重力の加速度

α : 無次元係數 0.7

H : 落下高さ

k : 物體のバネ常數

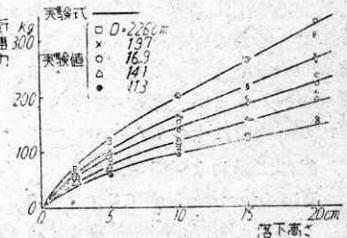
β : 無次元係數 18

M : 物體の質量

ρ : 流體の密度

m : 附加質量

F : 平板の面積



第2圖

落下高さと同衝擊力の關係は第2圖に示した通りで彈性的衝擊力(第一項)は全衝擊力の60~80%程度である。(26・10・5 受)