

燃料油導管内に於ける壓力波の速度

囑託 淺野 彌祐
技手 北村 菊男

1. 緒言

無氣噴射式重油發動機の噴射壓力を計算するには中西博士が會つて發表した方法¹⁾、其他二三の方法があるが、何れにしても其れには燃料油導管内の油を傳はる壓力波の速度が必要である。

此れは粘性を考へない普通の棒の縦振動に對しては簡単に次式で計算出来る。

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

但し a : 波の速度
 E : 媒質の彈性率
 ρ : 媒質の密度

然し燃料油導管内に於ては、媒質たる油は可也大きな變位をなし、又管の細い場合には油の粘性も相當影響を及ぼすと考へられる。従つて此の場合は上式を導くに使つた初の假定とは餘程條件を異にし、その爲、波の速度も種々の状態に従ひ變化するであらう。今燃料油導管内の内徑を次第に小とすれば、粘性の影響に依り波の速度は可也減するであらうとの豫想の下に、此の實驗を始めた。

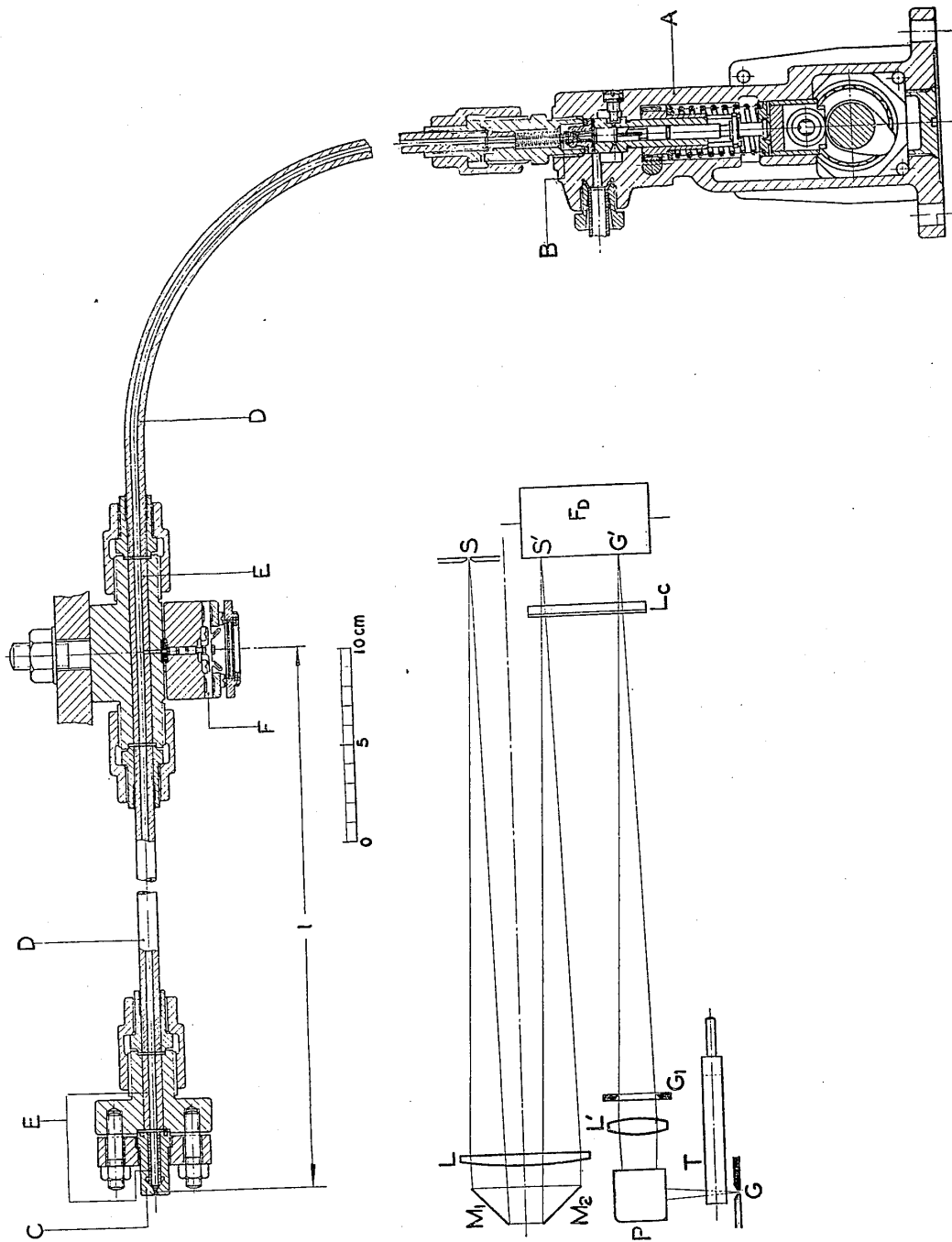
2. 實驗裝置及方法

實驗裝置は媒質たる油の状態を出来るだけ實際の使用状態に近ける爲、第1圖に示すやうなものとした。

- A は Bosch の燃料ポンプで、プランジヤーの直徑は 10 mm, 7 mm 及 5 mm の3種を用意して測定に便利なものを使用した。
- B は逆止弁で、Bosch の燃料ポンプには特別な形の放出弁がついて居るが、此れでは實驗の目的に不適當なので²⁾普通の形のものと取り換へた。
- C はノズルで、孔の數は1個、内徑は 0.2 mm, 及 0.25 mm の2種を使ひ、導管の太

1) 機械學會誌 第37卷 第201號.

2) 航空研究所報告 第108號.



第 1 圖

さに従ひ適當な方を選んだ。

D は導管で、各種の内徑のものを用意して、其の内徑の平均値は水銀を使つて測定した。E はブッシュであつて、ポンプよりノズル内端に至る迄、導管の内徑を一様にして、管の途中より壓力波が反射して來る事を防ぐ目的である。従つて導管の太さに従ひ、それに相當するものを用ひた。

F は中西式指壓計で、以前用ひた²⁾ものと同一である。尙此の指壓計で壓力の記録を取ると同時に、豫めクロノメーターで檢定を行つた音叉を使ひ、同一のフィルム上に正確なる時間を記録させた。此の音叉の周期は $1/200$ 秒である。

指壓計、音叉、寫眞機の光學的關係は第1圖下に示す通りである。S 及 G はスリット、その像は F_D なるフィルムドラムの上に S' 及 G' となつて結ばれる。M₁ M₂ は指壓計の鏡、L 及 L' は凸レンズ、L₀ はシリンドリカルレンズ、G₁ は絞りはである。T は音叉、P は2個の直角プリズムを組合せたものである。

本文末尾に纏めた測定記録の中の油の溫度は、燃料ポンプに流入する前の所で水銀寒暖計で測定したものであつて、導管中の油の溫度ではない。然し實驗中に導管を手で觸つて見た程度では、ポンプの運轉に依つて油の溫度が高くなつて居るやうではなかつた。

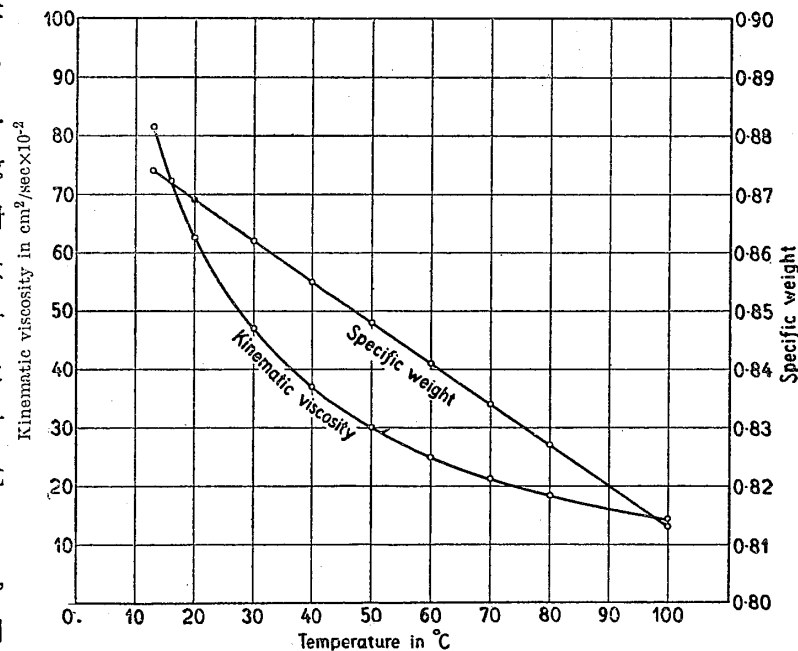
實驗に使用した油は日本石油二號發動機油で、その粘性、比重は第2圖に示す。動粘性係數は Vogel-Asaag の粘度計で種々の溫度に對するものを測つた。比重は比重瓶にて、20°C に對する値を測定し、他の溫度に對する値は上記粘度計添付の表に依り、20°C の値を元として求めたものである。

第3圖の寫眞の細い線が、上述の裝置で得られた時間

壓力曲線である寫眞の波形

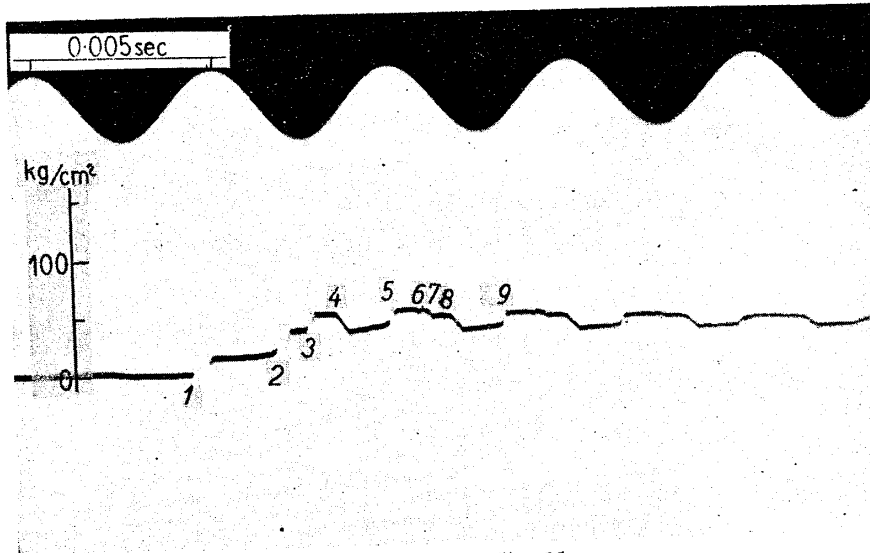
は周期 $1/200$ 秒の音叉の振動である。

第4圖は、第3圖(a)の場合に相應する導管内の壓力波の振動状態を圖式的に表はしたものである。此れと第3圖(a)とを比べると、寫眞の時間壓力曲線の波形の意味が明らかとならう。

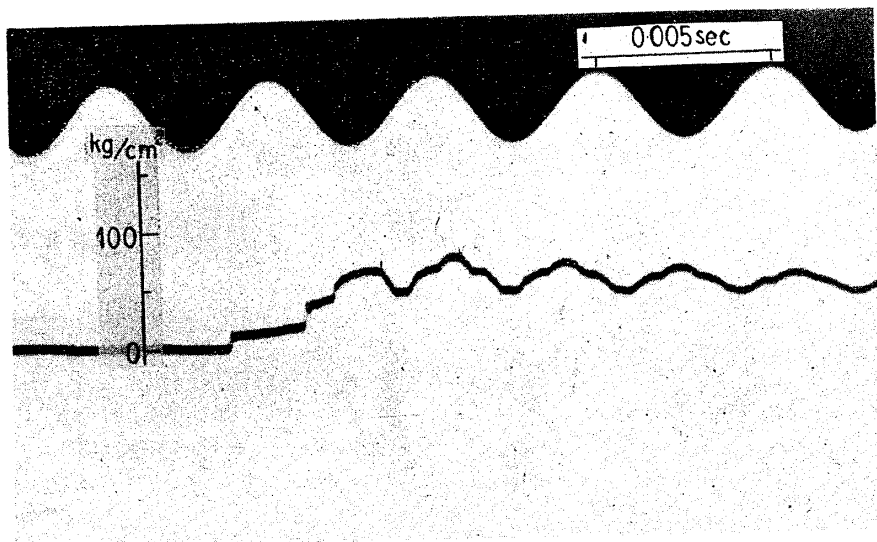


第 2 圖

第 3 圖

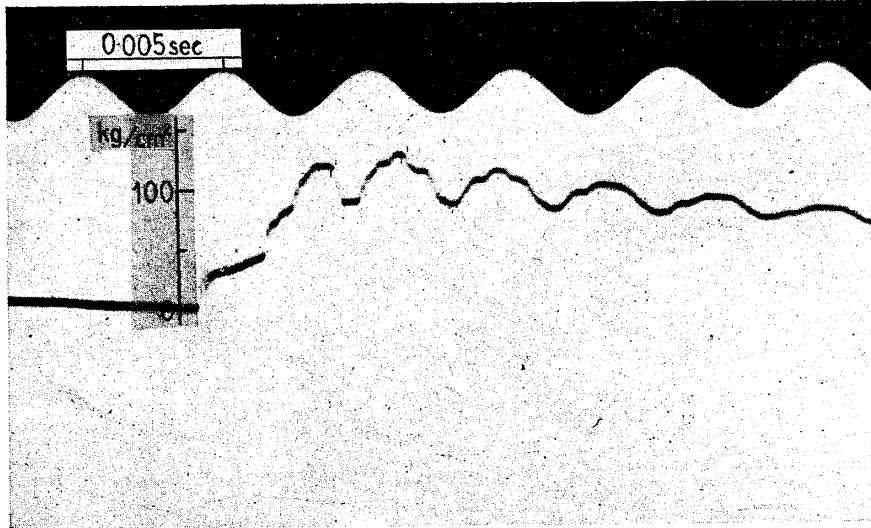


(a) 實 験 番 號 11
 導 管 の 内 徑 = 6.35 mm
 プ ラ ン ジ ャ ー 直 徑 = 7 mm
 ノ ヅ ル 孔 徑 = 0.25 mm
 溫 度 = 22.0 °C
 回 轉 數 = 1180 r.p.m.

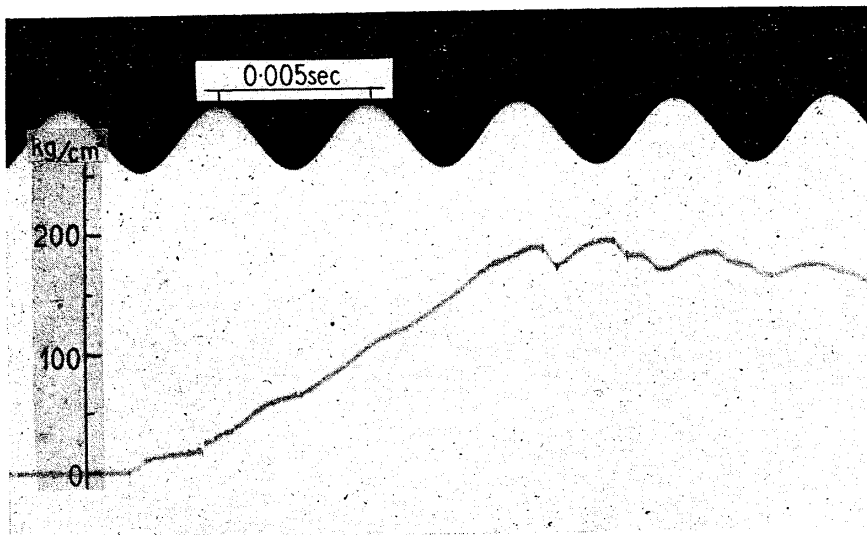


(b) 實 験 番 號 22
 導 管 の 内 徑 = 5.19 mm
 プ ラ ン ジ ャ ー 直 徑 = 7 mm
 ノ ヅ ル 孔 徑 = 0.25 mm
 溫 度 = 22.0 °C
 回 轉 數 = 1000 r.p.m.

第 3 圖

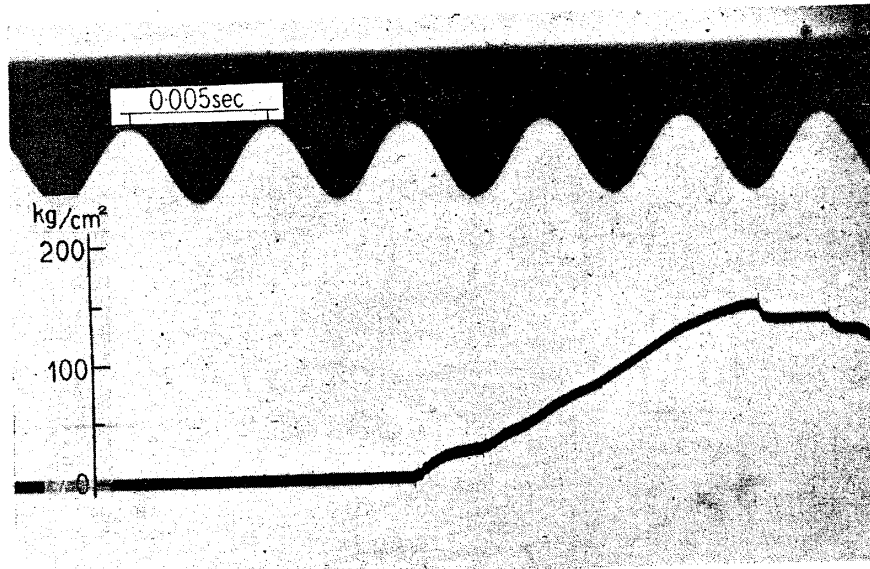


(c) 實驗番號 19
 導管の内徑 = 3.86 mm
 プランジャー直徑 = 7 mm
 ノズル孔徑 = 0.25 mm
 溫度 = 22.5 °C
 回轉數 = 1000 r.p.m.

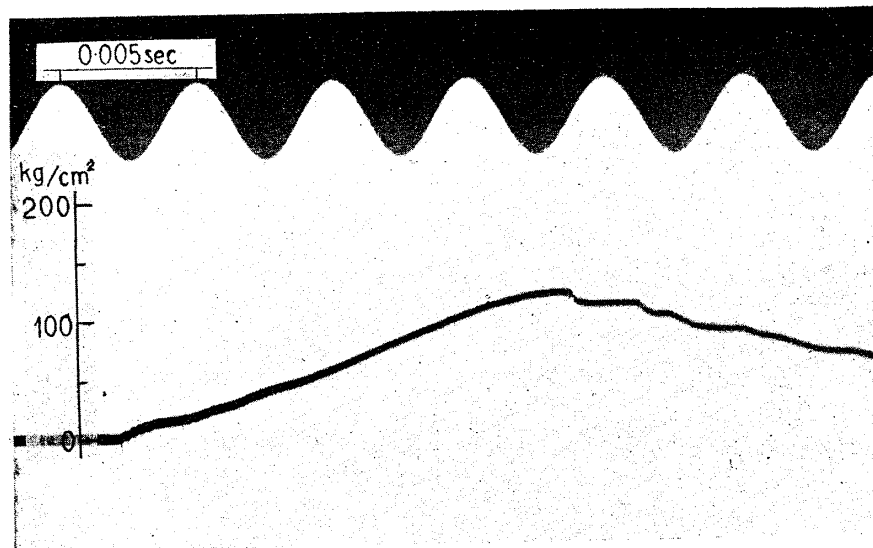


(d) 實驗番號 173
 導管の内徑 = 3.86 mm
 プランジャー直徑 = 10 mm
 ノズル孔徑 = 0.20 mm
 溫度 = 21.5 °C
 回轉數 = 300 r.p.m.

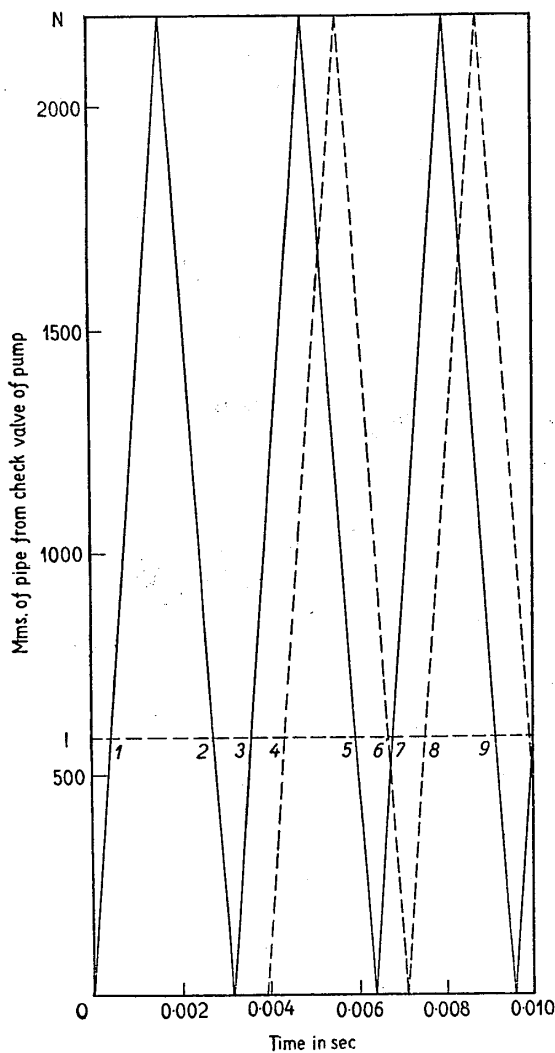
第 3 圖



(e) 實驗番號 152
 導管の内徑=2.08 mm
 プランジャー直徑=5 mm
 ノズル孔徑=0.20 mm
 溫度=23.0 °C
 回轉數=460 r.p.m.



(f) 實驗番號 154
 導管の内徑=2.08 mm
 プランジャー直徑=5 mm
 ノズル孔徑=0.20 mm
 溫度=23.0 °C
 回轉數=270 r.p.m.



第 4 圖

$$a = \frac{l \cdot t}{2.5S} \quad \text{m/sec}$$

但し t, l, S は mm で。

尙厳密には、上式に油の流速に依る値を補正しなければならぬが、此の爲にポンプのカムの形を調べた。此れを第5圖に示す。第6圖は此のリフト曲線より得たカム軸 1000 r. p. m. の時のプランジヤーの速度曲線である。

此の圖から見ると、プランジヤーの最大速度は約 1.5 m/sec である。此の最大値に對して導管内の油の流速を、各實驗の導管の太さ、回轉數に換算して見ても、油の流速は、 a の値の 1% 以下であつて、 a の測定の誤差内にある。又導管の彈性率に依る影響も考へねばならぬ。Sass の本に此の値を計算してあるが、⁽³⁾ 矢張り a の値に比して極めて小さい値であるか

第4圖に於て、ON が導管の長さを示し、Oがポンプ側の端、Nは、ノZZルの内端で、I が指壓計を取り付けた位置である。横軸は時間がつつである。斜の實線は壓縮の波を表はし、斜の點線は、ポンプのカットオフに依つて生じた膨脹の波である。管が太い爲、可也長い時間此の兩方の波は減衰せずに導管内を往復して居る。壓縮の波が指壓計の所を通ると、その點の壓力が高まり、指壓計は壓力上昇を示し、膨脹の波が此處を通ると指壓計は壓力下降を示す。第4圖に 1, 2, 等の數字を以つて示した所は、寫眞に 1, 2, 等と示した所に相當して居る。

従つて 1-2 間の長さ S 及音叉の波形の波長を測ると、或る壓力波が指壓計の位置を通過し、ノZZル内端にて反射して、今度は前と逆向きに指壓計の所を通過する迄の時間を知る事が出来る。此の長さの測定には Genevoise のコムパラターを用ひた。次に第1圖に l を以つて示した長さを測れば、壓力波の速度を計算出来る。即ち

(3) F. Sass, Kompressorlose Dieselmashinen. 1929, 216 頁.

ら、此れも考へに入れない事にした。

3. 實驗結果及其の考察

實驗結果は末尾に簡単に一と纏めてして表示したが、此れを圖示すると第7圖のやうになる。

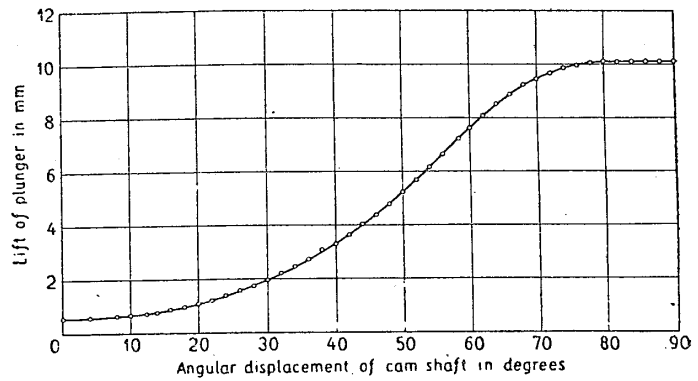
圖に於て○印は、第4圖の1-2に相當する最初の壓縮の波で測つたもの、△印は同圖の4-6に相當する最初の膨脹の波で測つたものである。破線は實驗で得た測定値の中で、○印の最高及最低の値を連ねたもので、實線は△印の最高及最低の値を連ねたものである。此の結果を見ると、此の燃料油の場合、大體工業上實用に供されて居る導管の太さに對し、理論的に噴

射壓力の計算をなすには $a=1400$ m/sec 位に取れば良いと言ふ事が分る。實用上は稀であるが、特に内徑の細い1mm位の導管の時は、幾分波の速度を小さく取る事が必要であらう。

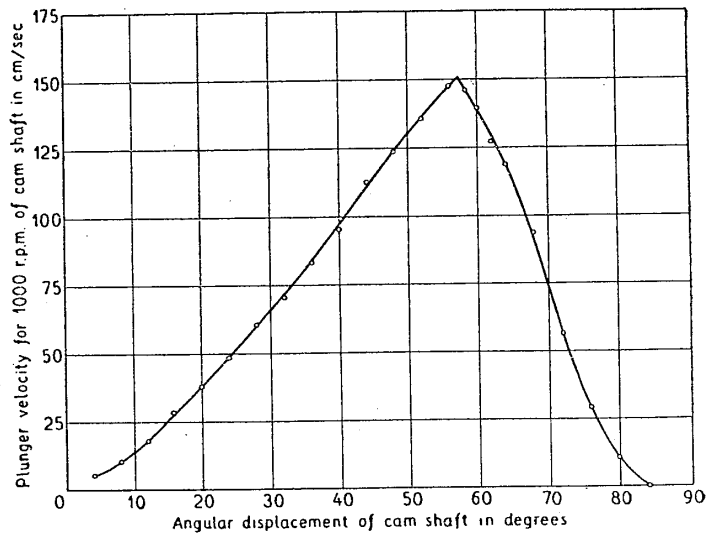
我々は最初3mm位の内徑のものでも、波の速度は可也遅くなり、理論的噴射壓力の計算に際し、その誤差範圍を越へる位の影響を與へるであらうとの豫想であつたが、結果は上述のやうになつた。

扱て工業的には上記の如き結論を得たのであるが、此の各結果を仔細に觀察すると、可也興味ある内容を示して居る。

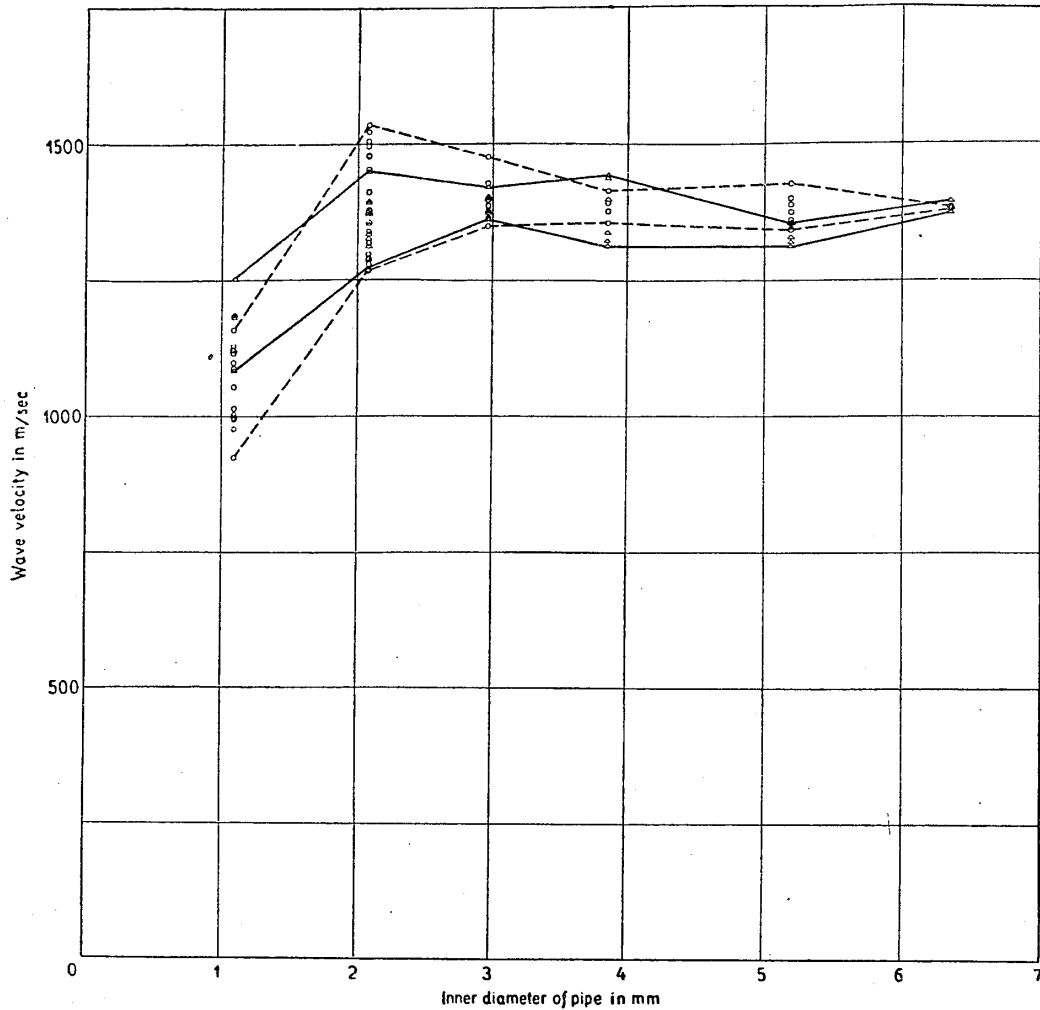
先ず導管が太い場合には、各測定値が大體一致して居るが、細くなるにつれて、各値が非常に不一致になつて來る。此れは豫期して居なかつた事であつた爲に、細い導管に對しては數多くの實驗を繰返し試みたのであるが、此の違ひは確かに、實驗の誤差以上であつて、その1例は、第3圖(e),(f)の壓縮の波で測定した速さを比べると、前者の1296m/secに對して後者は1412m/secで、コムパラターを用ひる迄もなく、兩方のフィルムを重ね合せて



第 5 圖



第 6 圖



第 7 圖

も明かに違ひを認め得る。

以下少しく此の原因を考へて見る。

先づ測定の際の温度及ポンプの回転数の不同があげられる。温度の不同は、粘性及弾性率の不同を來す。又回転数の不同は、波の速度を測定した際の壓力に不同を來し、従つて其の時の油の弾性率が變つて來る。

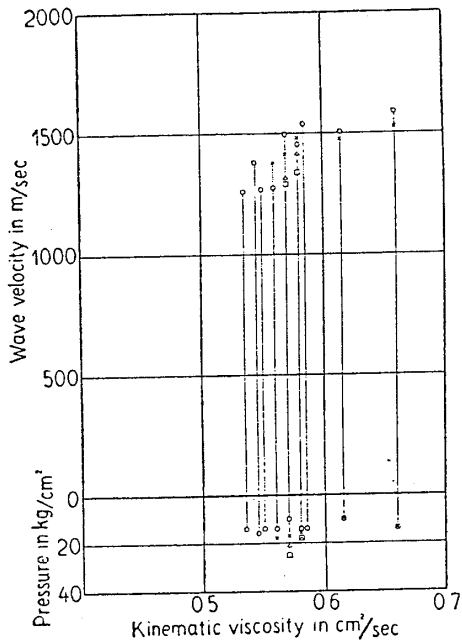
油の弾性率は、目下測定装置を製作中であるが、濱部・長尾兩氏の研究結果⁽⁴⁾を見ると、我々の行つた實驗の温度の範圍では、波の速度に大きな影響を與へる程の弾性率の相違は生じないやうである。又兩氏の實驗には、平均の弾性率が出してあるが、D. H. Alexander⁵⁾の實驗になる油の壓力歪曲線を見ると、直線であるから、此の結果からは壓力に依つて油の彈

(4) 機械學會誌 第36卷, 第196號.

(5) Institute of Marine Engineer, 1927, p. 336.

性率は變らないと言ふ事になる。

次に、試みとして 2 mm の導管の時に、動粘性係數及壓力に對して波の速度を取つたものを第 8 圖に示すが、溫度が低い時に幾分速度が増すやうな結果を示して居る。此の粘性係數



第 8 圖

の大きい時に却つて速度が増したりして居る事は、實驗の範圍も狭いし、實驗の記録も少ないし、尙研究を続けねば信用出來ない。

最後に考へられる事は、壓力波の形が波の速度に影響を與へる事である。粘性棒の縦振動に對しては、簡単な假定の下にやつた Cady⁽⁶⁾ の理論があるが、此の場合に、波の速度はその波長で變化する。我々の實驗も此の種の影響を多く受けて居ると想像される。

壓縮及膨脹の波形の共に鋭い内徑 6.38 mm の管の時は、兩者の波で測つた速度が極めて一致して居るが、内徑 5.19 mm の壓縮と膨脹の波の鋭さが違ふものでは、此の兩者で測定した値が違つて來て居る。何れにしても詳細の事は更に實驗及

考察を続けたいと思ふ。

4. 結 言

以上の事柄を簡単に述べれば、

導管内の壓力波の速度は、工業的實用の範圍内では管の大小に依つて餘り變化なく、日石二號發動機油では約 1400 m/sec である。

實驗結果を仔細に觀察すると、管の内徑の細い時は各測定値が一致しなくなつて來る。此の原因は壓力波の形に依るものであらうが、確かな事は尙研究を續けて發表するつもりである。

終りに臨み、本實驗は、恩師中西教授御指導の下に同研究室にて行つたものであつて、終始御懇篤なる御指導に加へ、尙御多忙中にも拘はらず校閲の勞迄も賜りし事を此處に記し、厚く感謝の意を表します。

(1935 年 5 月)

(6) Physical Review, Vol. 19, 1922, p. 1.

測定記録

I 導管平均内径=6.35 mm
 長さ $l = 1617$ mm
 プランジヤ-直径=7 mm
 ノzzle 孔径=0.25 mm

実験番号	波の速度 (壓縮の波で測定)	波の速度 (膨脹の波で測定)	温度	ポンプ回轉數
9	1384 m/sec	1385 m/sec	22.0 °C	1160 r.p.m.
10	1378	1373	22.0	1180
11	1380	1393	22.0	1180

II 導管平均内径=5.19 mm
 長さ $l = 1619$ mm
 プランジヤ-直径=7 mm
 ノzzle 孔径=0.25 mm

実験番号	波の速度 (壓縮の波で測定)	波の速度 (膨脹の波で測定)	温度	ポンプ回轉數
12	1374 m/sec	1347 m/sec	22.5 °C	1000 r.p.m.
13	1427	1357	22.5	1000
14	1341	1320	22.5	1010
21	1400	1313	22.0	1000
22	1388	1329	22.0	1000
23	1360	1357	21.5	1000

III 導管平均内径=3.86 mm
 長さ $l = 1619$ mm
 プランジヤ-直径=7 mm
 ノzzle 孔径=0.25 mm

実験番号	波の速度 (壓縮の波で測定)	波の速度 (膨脹の波で測定)	温度	ポンプ回轉數
18	1378 m/sec	1314 m/sec	22.5 °C	1000 r.p.m.
19	1414	1340	22.5	1000
20	1377	1324	22.5	1000

導管平均内径=3.86 mm

長 さ $l = 1619$ mm

フランジヤ-直径=10 mm

ノズル 孔径=0.20 mm

実験番号	波の速度 (壓縮の波で測定)	波の速度 (膨脹の波で測定)	温 度	ポンプ回轉數
159	1391 m/sec	1443 m/sec	20.0 °C	300 r.p.m.
169	—	1400	21.2	300
173	1355	1439	21.5	300

IV 導管平均内径=2.97 mm

長 さ $l = 1618$ mm

フランジヤ-直径=5 mm

ノズル 孔径=0.25 mm

実験番号	波の速度 (壓縮の波で測定)	波の速度 (膨脹の波で測定)	温 度	ポンプ回轉數
24	1396 m/sec	1400 m/sec	21.0 °C	700 r.p.m.
25	1364	1401	21.0	700
54	1426	1362	19.0	500
63	1474	1418	23.0	520
64	—	1378	23.0	500
65	1385	1379	23.0	500
66	1349	1374	22.0	500

V 導管平均内径=2.08 mm

長 さ $l = 1618$ mm

フランジヤ-直径=5 mm

ノズル 孔径=0.25 mm

実験番号	波の速度 (壓縮の波で測定)	波の速度 (膨脹の波で測定)	温 度	ポンプ回轉數
75	1477 m/sec	1453 m/sec	20.5 °C	300 r.p.m.
76	1504	1394	20.5	300
78	1535	1374	22.0	355
89	1521	1396	18.5	300

導管平均内径=2.08 mm
 長さ $l=1618$ mm
 プランジヤ-直径=5 mm
 ノズル孔径=0.20 mm

実験番号	波の速度 (壓縮の波で測定)	波の速度 (膨脹の波で測定)	温度	ポンプ回転数
120	1277 m/sec	1374 m/sec	23.5 °C	300 r.p.m.
121	1266	1354	24.0	300
123	1380	—	23.5	400
126	1338	1292	22.5	400
127	1411	1272	22.5	400
128	—	1283	22.5	400
133	1377	—	24.5	300
135	1262	1356	25.0	300
141	1454	1326	22.5	300
142	1479	1371	22.5	300
145	—	1336	23.0	270
150	1317	—	23.0	455
152	1296	1290	23.0	460
154	1412	1312	23.0	270

VI 導管平均内径=1.09 mm
 長さ $l=1620$ mm
 プランジヤ-直径=5 mm
 ノズル孔径=0.25 mm

実験番号	波の速度 (壓縮の波で測定)	波の速度 (膨脹の波で測定)	温度	ポンプ回転数
27	1126 m/sec	— m/sec	21.0 °C	400 r.p.m.
28	1151	—	21.0	400
36	1002	—	23.5	300
38	997	—	23.5	300

導管平均内径=1.09 mm
 長さ $l=1620$ mm
 プランジヤ-直径=5 mm
 ノズル孔径=0.20 mm

実験番号	波の速度 (壓縮の波で測定)	波の速度 (膨脹の波で測定)	温度	ポンプ回転数
32	924 m/sec	1252 m/sec	21.0 °C	400 r.p.m.
41	1054	—	20.5	220
102	1014	—	20.5	218
103	1114	—	20.5	220
106	993	1084	20.5	278
109	976	1115	20.5	200
111	1097	1183	20.5	300
113	1120	1118	21.0	300
115	1086	1185	21.0	300
119	—	1184	21.0	290

但し上記実験番号の飛びは、その時のフィルムに、噴射の所が撮影されなかつた爲に生じたもので、漫に捨てたものではない。