



Title	機関構造における燃焼衝撃の伝達特性に関する研究
Author(s)	山崎, 信行; Yamazaki, Nobuyuki; 宮本, 登 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 95, 1-9
Issue Date	1979-08-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41580
Type	departmental bulletin paper
File Information	95_1-10.pdf



機関構造における燃焼衝撃の 伝達特性に関する研究

山崎信行* 宮本 登* 村山 正*

(昭和54年3月31日受理)

Characteristics of Impulse Transmission in the Structure of Internal Combustion Engines

Nobuyuki YAMAZAKI Noboru MIYAMOTO Tadashi MURAYAMA

(Received March 31, 1979)

Abstract

In this paper, the characteristics of impulse transmission in engine structure were analyzed in attempt to reduce the vibration and noise in internal combustion engines.

The stress response, which was caused by input impulse given to the piston, was measured at each component in the test-engine by strain gauge and accelerometer.

As result, the impulse forces were found to be gradually transmitted from the piston to the main bearings with a slow reduction, and the largest reduction of transmitted forces was obtained between connecting rod and crank shaft.

The influences of the material and dimension of the components on the transmission characteristics were found to be comparatively small.

1. 緒 論

近年、内燃機関においては、とくに交通手段としてのその普及にともなって、排気ガス、騒音、あるいは燃料消費率などの総合的な機関性能の向上が、強く要望されつつある。

そこで本研究では、とくにディーゼル機関において、大きな問題となっている燃焼騒音に着目して、燃焼による衝撃が、機関構造における主たる伝達経路であるピストン・クランク系を伝達する場合の特性について、調べて見た。静止した機関を使用したこの種の研究としては、Thienのバンカーテスト、すなわち、燃焼室内に空気と酸素、およびプロパンガスを導入し、急激な燃焼を行わせて、各部の応答を調べる手法がある。しかし、本研究においては、ピストン上面に銅球を落下することにより衝撃を加え、各機関構成要素に歪ゲージ、および加速度変換器を貼付けることにより、その応答を測定した。そして、このようにして得られた衝撃伝達力の周波数分析、さらには、衝撃による伝達エネルギーを求めることにより、ピストンに加えられた燃焼衝撃が、どのような伝達特性を示しながら機関構造部材内を伝わっていくかについて、研究を行った。

ピストン・クランク系において、衝撃伝達力は、コンロッド内部をほとんど変化しないまま伝わるが、つぎの構成要素であるクランク軸との間では、各周波数成分とも大きく減衰しながら

* 機械工学科 熱機関学第二講座

伝達し、クランク軸と主軸受との間においても、若干の減衰を示すことが明らかとなった。これを伝達エネルギーにより調べて見ると、各要素間で、比較的均等なエネルギーの低減を示しながら伝達していることが認められた。

つぎに、ピストンピンの材質、剛性、さらには、ピストンピン軸受とのクリアランスを変化させて、伝達特性を調べてみたが、コンロッド大端部までの伝達経路では、これらの差異による影響が現われたが、クランク軸以後では、はっきりした傾向は認められなかった。また、コンロッドの剛性を低下させることにより、伝達エネルギーを若干減少させ得ることがわかった。なお、コンロッド小端部および大端部の軸受メタルの肉厚を厚くした場合には、伝達エネルギーが材料のヤング率に反比例する傾向が認められたが、その差は僅かであった。最後に、クランク軸の剛性が伝達特性に対して及ぼす影響について、調べてみたが、剛性を低下させることにより、伝達エネルギーを低減しうることが明らかになった。

以下、本実験において得られた結果について詳述する。

2. 実験装置、および方法

実験に使用した機関の主要諸元を、表-1に示す。供試機関 A は、主としてピストンピン、コンロッド、あるいはコンロッド小端部および大端部の軸受メタルなどの構成要素が、燃焼衝撃の伝達特性に対して及ぼす影響について調べるために使用し、一方機関 B は、クランクピン部の剛性が、衝撃伝達特性に対して及ぼす影響を調査するために用いたものである。図-1に、本実験における測定装置のブロック図を示す。

実験に際しては、まず機関本体からシリンダ・ヘッドを取除き、ピストン上面に鋼球の落下装置を取付け、ピストン上面に鋼球を落下させることによって、衝撃を加えた。なお今回は、ピストンを上死点に置いて、実験を行った。図-2は、機関 A に落下装置を取付けた状況を示すものであるが、この装置により、先端を球面にした重量 800 g の鋼球をピストン直上 50 cm より投下して、機関構造に対して衝撃を加えて実験を行った。

表-1 供試機関の主要諸元

供試機関	A 機関	B 機関
型式	4サイクル水冷単気筒ディーゼル機関	4サイクル空冷単気筒ガソリン機関
内径×行程	110 mm×140 mm	65 mm×52.5 mm
圧縮比	16.0	5.9
行程容積	1330.5 cc	174.0 cc

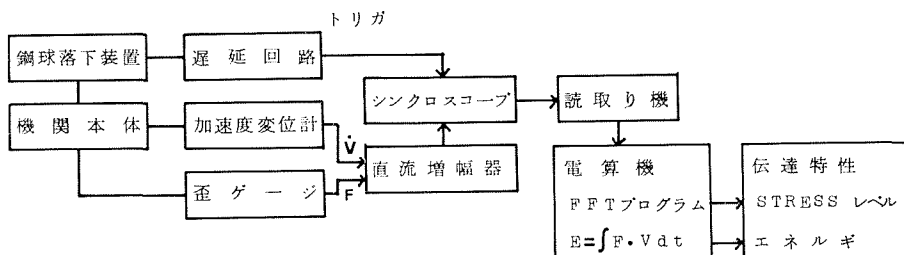


図-1 測定ブロック図

機関の各構成要素には、歪ゲージと加速度変換器とを貼付け、この出力によって、各要素における力と加速度とを計測した。なお、歪ゲージに関しては、曲げに対する補償などを考慮に入れて、ホイートストンブリッジを形成し、この出力を直流演算増幅器で増幅し、シンクロスコープに入力することによって、各波形を観察・記録した。なお、歪ゲージにより得られた波形の絶対値を決定するためのキャリブレーションとしては、鋼球をピストン上面に載せ、これにテコで荷重を加えることによって、この時の各部の歪を測定した。

伝達特性の表示には、各要素の間を伝達する力、およびエネルギーを使用した。すなわち、歪ゲージより得られた出力は、衝撃力 F (kg) を意味するものであり、次に示すようなストレス・レベルによって表示することができる。すなわち；

$$\text{Stress Level (dB)} = 20 \log F$$

また、機関構成要素間におけるストレス・レベルの差を、伝達率として定義し、この値によって、各構成要素間での力の増幅及び減衰の度合を、判断した。つぎに、加速度変換器により得られた出力、すなわち加速度 \dot{V} を数値積分して速度を V 求め、次式によって衝撃エネルギー E を算出した。すなわち；

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cdot V(t) dt$$

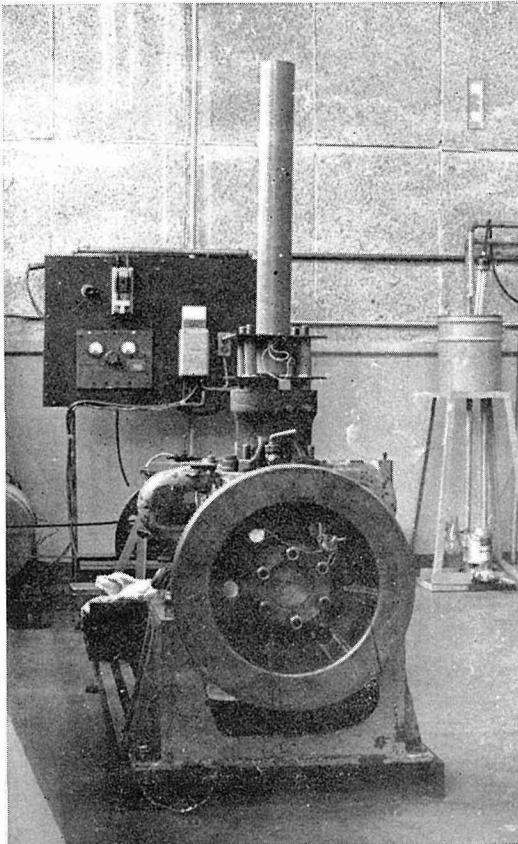


図-2 機関 A と落下装置

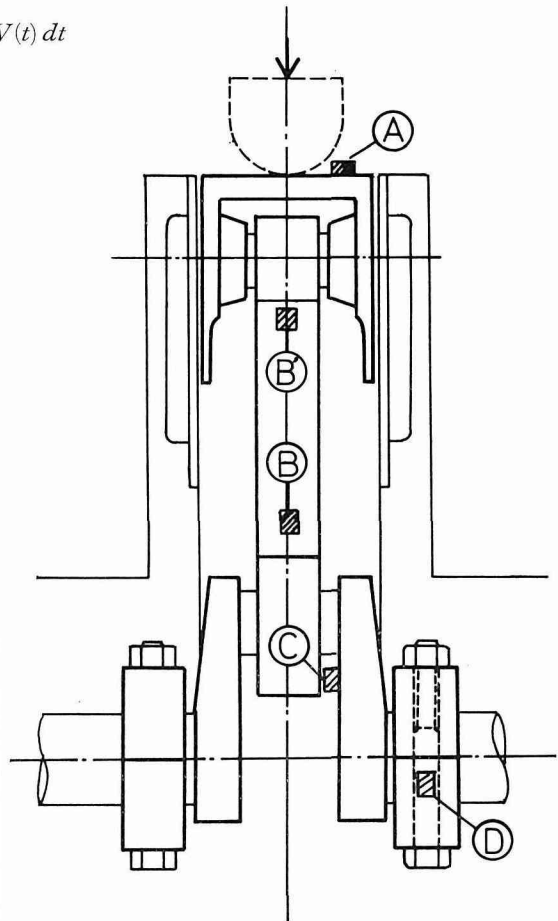


図-3 供試機関における歪ゲージおよび加速度変換器貼付け位置

なお、本実験においては、衝撃入力部、すなわちピストン上部に加えられたエネルギー E_p に対する、各構成要素における伝達エネルギー E の比、すなわち E/E_p によって、ピストン・クランク系におけるエネルギーの伝達特性を表示した。

図-3は、各機関構成要素における歪ゲージ、および加速度変換器の貼付、ならびに取付けの位置を示すものである。図において、Aは衝撃入力部としてのピストン、Bはコンロッド、Cはクランク軸、そしてDは主軸受である。なお、コンロッドにおいてB'は小端部、Bは大端部を、それぞれ示している。

今回の実験では、機関構造内での衝撃伝達特性に対する、ピストンピンの剛性とその材質、コンロッドの剛性、軸受メタルの材質と厚さ、あるいはクランクピン部における剛性などを変化させて、これらの要因が、燃焼衝撃の伝達特性に対して及ぼす影響について検討を加えた。

3. 実験結果、および考察

3.1 ピストン・クランク系における燃焼衝撃の伝達特性

まず、最初にピストンから主軸受までの各構成要素における、燃焼衝撃の伝達特性について、記述する。図-4は、供試機関Aにより得られた、各構成要素における伝達力の周波数分析結果を示すものである。図中の縦軸はストレス・レベルであり、横軸は周波数である。図の(a)に見られるように、燃焼衝撃の入力とも言うべきピストン上部でのストレス・レベルは、広い周波数帯域に亘ってはほぼフラットな特性を示しており、このことから、鋼球の落下による衝撃力は、この種の実験の入力として適当な特性を有しているものと言えよう。

つぎに、ピストンに加えられた衝撃が、コンロッド小端部に伝達された際の、伝達力の周波数成分についてみると、図の(b)に示されているように、周波数全域にわたり、ストレス・レベルの起伏が増大していることが認められる。また、コンロッド大端部におけるストレス・レベルは、

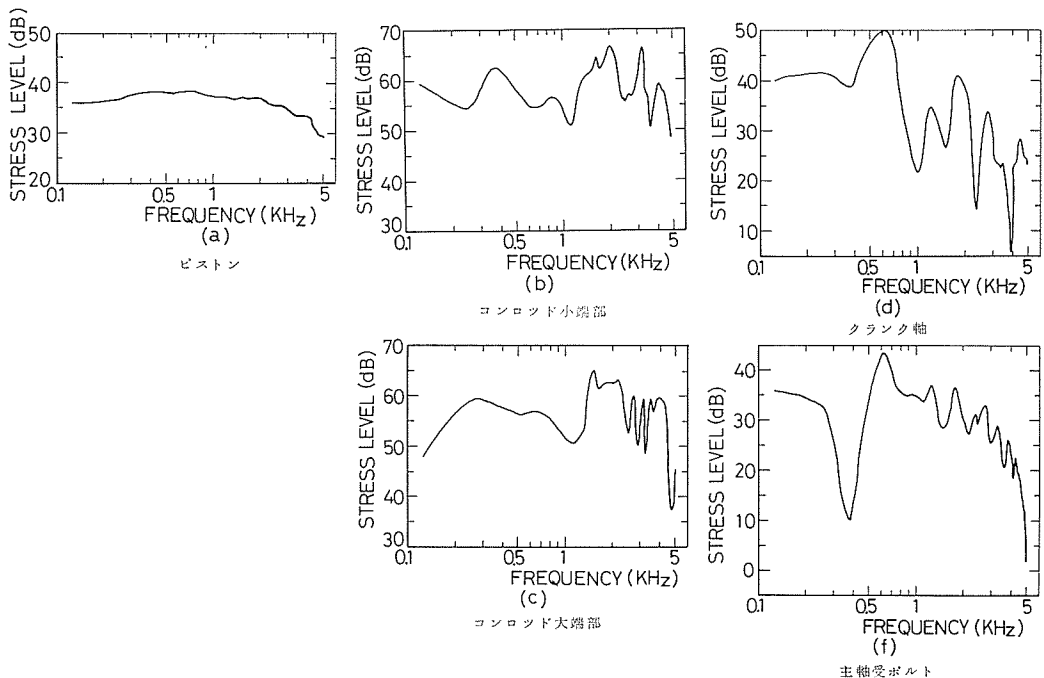


図-4 機関機構の各要素におけるストレス・レベル

小端部と比較して顕著な差異は認められないが、3 kHz 付近の成分がやや増加する傾向がみられる。一方、クランク軸においては、コンロッドとは異った傾向を示している。すなわち、周波数が増加するに従って、ストレス・レベルは減少するが、600 Hz 付近の成分とその高調周波数成分とがピークを示している。すなわち、これらの成分は、クランク軸の固有振動に関連するものと考えられる。最後に主軸受においては、ストレス・レベルの全般的な傾向は、クランク軸の場合とほとんど同一ではあるが、クランク軸において認められた 600 Hz 以上でのレベルの起伏は、かなり平滑化されているのが認められる。

ただし図-4において、ピストンにおけるストレス・レベルが 35 dB 付近に分布しているのに対して、つぎの伝達位置であるコンロッド小端部では 60 dB 付近に分布しているが、これはストレス・レベルの増幅を意味しているのではなく、ピストンに加えられた衝撃が単発パルス波形であるために、コンロッド小端部における衝撃波形と同一の区間で周波数分析を行なった場合、ストレス・レベルにこのような差が生じたものである。

以上、燃焼衝撃が加えられた際の、機関各構成要素における衝撃伝達力の傾向に関して述べて来たが、これに基づいて、各要素内における伝達力の増減について、検討を加えることにする。

図-5は、これまで述べて来た各要素におけるストレス・レベルの差、つまり伝達率を示すものである。伝達率においては、正が衝撃力の増幅を、そして負が減衰を、それぞれ意味している。図にみられるように、コンロッドの小端部と大端部との間では、伝達率に増減が殆んど見られないことから、コンロッドにおいては、衝撃力の増減は比較的少ないと言えよう。一方、コンロッド大端部とクランク軸との間においては、伝達率が、全周波数域に亘って負となっていることから、燃焼衝撃力が、広い周波数域で大幅に減衰していることが明らかであるが、この場合、周波数が高くなるほど減衰量が大きくなる傾向が認められる。クランク軸と主軸受の間では、ほぼ 0.8 kHz 以下の周波数成分は、顕著な減衰の傾向を示しているが、それ以上の周波数成分では、若干の増減がみられるものの、はっきりした傾向は認められない。

以上述べて来たように、燃焼衝撃は、ピストンから主軸受の間で、各要素内を増減しながら伝達するが、コンロッド内、およびクランク軸と主軸受との間では、衝撃力は、若干の変化は別として殆んどそのままのレベルで伝達されるのに対して、コンロッド大端部とクランク軸との間では、とくに大きな減衰が得られている

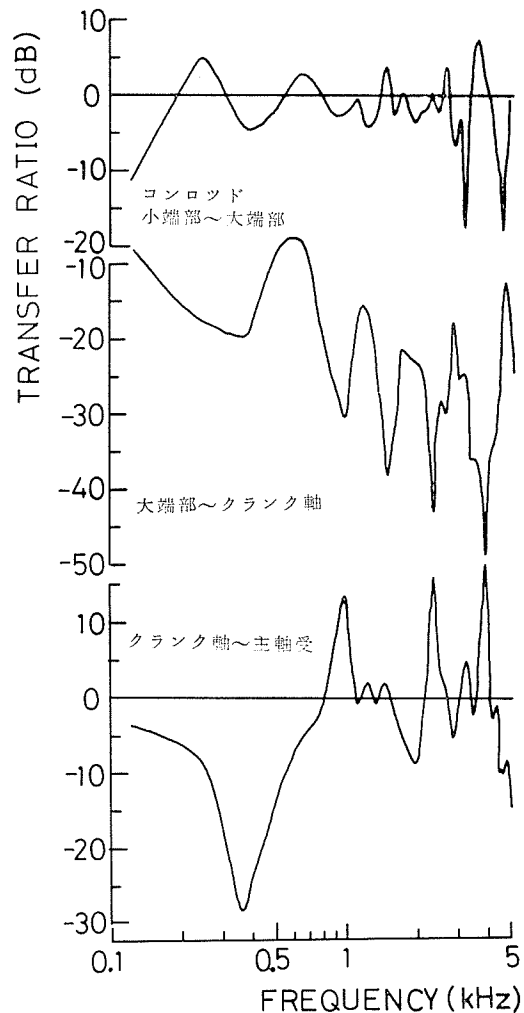


図-5 各機関構成要素間における衝撃力の伝達率

こと、また、その程度は高周波になる程著しいことなどが明らかになった。

つぎに、燃焼衝撃の伝達を、エネルギーの伝達として考えて見た。その結果を図-6に示す。図中、破線は供試機関 A、実線は供試機関 B における結果を、それぞれ示している。図にみられるように、ピストンに加えられた衝撃エネルギーは、各機関構成要素間を徐々に減衰しながら、主軸受まで伝達している。すなわち、衝撃力によって比較した場合には、クランク軸と主軸受との間における力の減衰は、必ずしも明確に認められなかったが、伝達エネルギーによれば、はっきりした減衰が示されている。なお、このような伝達エネルギーの減衰特性は、機関の種類によって、かなり異なることが明らかである。

以上、機関各構成要素の衝撃力の伝達について、全般的な傾向を明らかにして来たが、以下においては、各要素の機械的性質が、燃焼衝撃の伝達特性に対して及ぼす影響について、記述する。

3.2 ピストンピンの剛性、あるいは材質が、伝達特性に対して及ぼす影響

ここでは、まずピストンピンの材質を変化させ、これが伝達特性に対して、いかなる寄与をなしているかについて調べてみた。すなわち図-7は、アルミニウム (2S)、および軟鋼 (S 30 C) のピストンピンを使用した場合の、ストレス・レベルを示したものである。図より明らかなよう

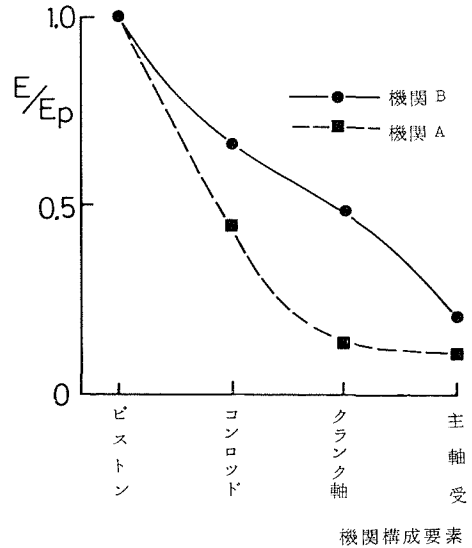


図-6 機関各構成要素へ伝達されるエネルギーの特性

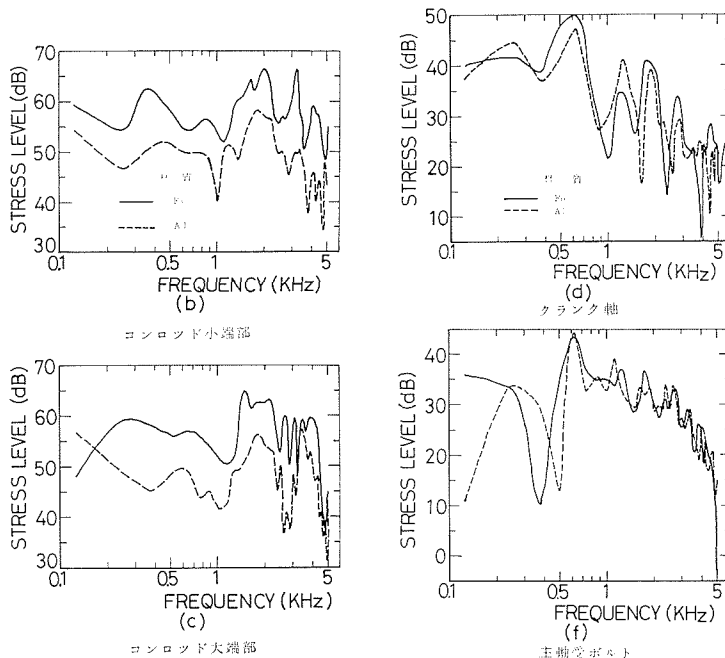


図-7 ピストンピンの材質を変えた場合の伝達特性に及ぼす影響

に、コンロッド小端部では、アルミニウム製のピストンピンの方が、ストレス・レベルが小さくなっているのが認められ、また大端部においても、同様に、アルミニウム製のピストンピンを使用した方がストレス・レベルが減少しているが、とくに3 kHz以上の周波数域ではその差が小さくなる傾向がみられる。一方、クランク軸においては、両者の間のストレス・レベルの差は、極めて小さくなっている。このような伝達特性の差異が得られたのは、軟鋼に比べて、アルミニウムの方がヤング率が小さいので、ピストンピンがより大きく歪んだためと考えられる。

つぎに、ピストンピンの外径を変えることによって、ピストンピン軸受部とピストンピン、さらにピストンピンとコンロッド小端部軸受との間のクリアランスを変化させて、これが伝達特性に対してどのような影響を与えるかについて、調べてみた。すなわち、通常使用している状態での両箇所クリアランスを0.00 mmと考えて、その他に、0.05 mm, 0.10 mm, および0.20 mmの3種類のクリアランスをとるようなピストンピンを作製し、合計4種類について実験を行った。しかし実験の結果、ピンクリアランスが伝達特性に対して及ぼす影響に関しては、はっきりした傾向は得られなかった。

一方、ピストンピン内径によって、その剛性を変化させ、それが伝達特性に対して与える影響について調べてみた。供試ピストンピンの原形は、内径が25 mmであるが、この他に、剛性を高めることを目的として、内径20 mm、また剛性を低くするために、30 mmと35 mmのピンを作製し、合計4種類のピストンピンによって、実験を行った。この場合、コンロッド大端部までは、剛性の低下に従ってストレス・レベルが小さくなる傾向が認められたが、この差はさほど大きなものではなかった。これは、ピン内径の増加により、剛性の低下をはかったために、その結果として断面二次モーメントが小さくなり、同一の力に対してピンが大きく歪むためと考えられる。しかし、クランク軸部と主軸受部とにおいては、ピンの剛性による影響は、殆んど認められなかった。

以上、ピストンピンの材質、クリアランス、および剛性が、衝撃の伝達特性に対して及ぼす影響について調べてみたが、その効果は、コンロッドまでの経路においては認められたが、それ以後の伝達経路すなわち、クランク軸および主軸受においては、その影響は殆んど認められなかった。

3.3 コンロッド剛性、軸受メタルの寸法、および材質が、伝達特性に対して及ぼす影響

コンロッドの剛性が伝達特性に対して及ぼす影響について調べるために、ステム部の断面積が400 mm²と1,000 mm²の2種類のコンロッドを試作して、実験を行った。

図-8は、コンロッドの剛性が伝達エネルギーに対して及ぼす影響について調べた結果を示すものである。図中、コンロッドの剛性が小さい方が、全般的に伝達エネルギーは小さく、その傾向はコンロッドにおいて強調されており、しかも、ピストン・クランク系における最終伝達位置である主軸受においても、その差ははっきりと認められる。これは、コンロッド剛性が小さくなる程、ステム部が大きく歪むため、伝達エネルギーが減衰したものと考えられる。

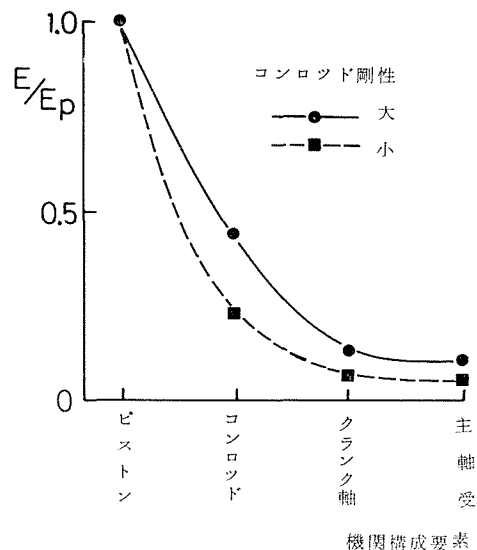


図-8 コンロッドの剛性が伝達エネルギーに及ぼす影響

なお、コンロッドとクランク軸との間においては、ストレス・レベルが大きく減衰するという結果が、各種の実験において得られているので、コンロッド軸受メタルに着目して、その材質を変化させて実験を行った。ここでは、軟鋼 (S30C)、アルミニウム (2S)、および銅の3種類について実験を行ったが、伝達率および伝達エネルギーのいずれにおいても、顕著な傾向は認められなかった。これは、コンロッド軸受メタルが薄いために、材質の影響が現われなかったものと思われる。そこでつぎに、その厚さが、3 mm および 6 mm の二種類の銅製メタルを製作して、実験を行った。その結果、軸受メタルの肉厚が厚い方が、伝達エネルギーが小さくなる傾向が得られた。これは、軸受メタルの剛性が変化したためと考えられる。

以上、コンロッドの剛性、あるいは軸受メタルの材質および諸元が、伝達特性に対して及ぼす影響について述べて来たが、これらの要素の機械的性質の相異が伝達特性に対して及ぼす影響は、さほど大きなものではなかった。

3.4 クランク軸の剛性が、伝達特性に対して及ぼす影響

以上の結果から、コンロッドとクランク軸との間で、衝撃力が大きく減衰することが認められ、しかも、その間に介在するコンロッド軸受メタルによっては、伝達特性に大きな差が得られなかったので、クランクピン部に 20 mm の穴をあけることにより、その剛性を低下させて、それが伝達特性に対して及ぼす影響について調べてみた。

図-9 は、クランクピン部の剛性の差異が、伝達エネルギーに対して及ぼす効果を示すものである。なお、この実験においては、供試機関 B を使用した。図より、クランク軸の剛性が小さい方が、伝達エネルギーも小さくなるという傾向が明らかである。これは、クランクピン部の剛性を極端に小さくしたために、クランクピン部が衝撃によって大きくたわんだためと考えられる。しかし、その差はそれ程大きなものとは言えない。

4. 結 論

以上、主としてピストン・クランク系において、機関の各構成要素が燃焼衝撃の伝達特性に対して及ぼす影響について、述べて来たが、これらの実験結果を要約すると、およそつぎの通りである。すなわち、入力としてピストン上部に加えられた衝撃は、コンロッド内部を殆んど変化することなく伝達した後、クランク軸において、広い周波数帯域に亘って大きく減衰して、その後、若干の減衰を示しながら主軸受に伝達される。また、伝達エネルギーによって表示した伝達特性によると、ピストン、コンロッド、クランク軸、さらには主軸受の順に、徐々に伝達エネルギーが小さくなるのがわかった。

なお、各構成要素が伝達特性に対して及ぼす影響について要約すると、

- (1) ピストンピンの材料として、軟鋼とアルミニウムを用いた比較では、ヤング率の小さいアルミニウム製のピストンピンの方が衝撃伝達力は減衰する。
- (2) ピストンピンとその軸受部間のクリアランスが衝撃伝達力に及ぼす影響は、はっきり

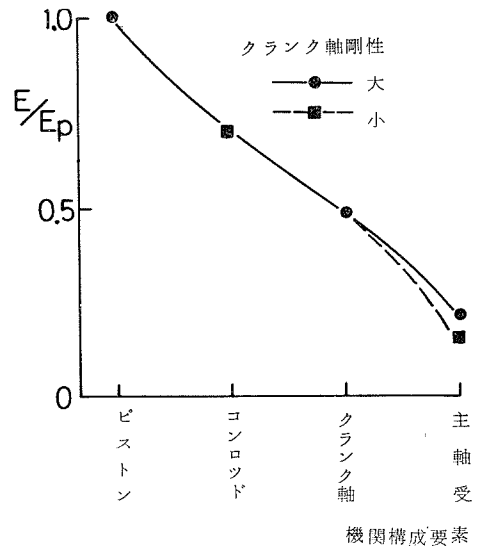


図-9 クランク軸剛性の差異が伝達エネルギーに及ぼす影響

しなかった。

- (3) ピストンピンの剛性による影響は、コンロッド大端部までの伝達経路において、剛性が小さい方が衝撃伝達力が減衰する傾向が見られたが、それ以後の各要素では、その差は認められなかった。
- (4) コンロッドの剛性の小さい方が、各構成要素において、伝達エネルギーが小さくなる傾向が見られた。
- (5) コンロッド軸受メタルに関しては、ヤング率の小さい材料を使用し、その肉厚を厚くすることによって、伝達エネルギーが減衰する傾向が得られた。
- (6) クランク軸に関しては、その剛性を小さくすることによって、クランク軸、および主軸受の両要素において伝達エネルギーが減衰する。

以上要するに、本実験で得られた衝撃力および伝達エネルギーの減衰量はいずれも小さく、ピストン・クランク系における燃焼衝撃の低減に対して顕著な効果を有する手段を発見することは出来なかった。しかし、以上の結果を考慮して機関を設計することにより、燃焼衝撃による振動、騒音をある程度、低減しうるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) Thien: MTZ, 32. Jahrgang. Nr. 6. Juni 1971.
- 2) 山崎信行ほか: 計測自動制御学会北海道支部講演論文集, 1976.
- 3) 山崎信行ほか: 機械学会北海道支部講演論文集, No. 762-2.
- 4) 山崎信行ほか: 機械学会北海道支部講演論文集, No. 772-2.
- 5) 山崎信行ほか: 機械学会北海道支部講演論文集, No. 782-2.