107 4 気筒ディーゼルエンジンにおける燃焼騒音の発生特性

Generation characteristics of combustion-induced noise in a four-cylinder diesel engine

梶本 英嗣 (山口大学大学院)

三上 真人 (山口大学大学院)

小嶋 直哉 (山口大学大学院)

Eiji SUGIMOTO Yamaguchi University 2-16-1 Tokiwadai Ube, Yamaguchi 755-8611 Japan

Masato MIKAMI Yamaguchi University 2-16-1 Tokiwadai Ube, Yamaguchi 755-8611 Japan

Naoya KOJIMA Yamaguchi University 2-16-1 Tokiwadai Ube, Yamaguchi 755-8611 Japan

Key Words: combustion noise, diesel engine, transient noise generation model, noise insulation,

1. 緒言

一般にエンジン騒音は、燃焼室内の燃焼衝撃によって発生する燃焼衝撃音、ギアやバルブなどの機械的な衝撃による機械騒音の2つに大別される。これらの騒音は、構造に輸入された振動がエンジンの構造内を伝わりエンジン外壁面から音に変換され、騒音として放射される。これまで燃焼衝撃音の発生メカニズムの解明に関する研究は、燃焼衝撃パワーと燃焼衝撃音パワーは線形関係であるとした騒音発生モデルを用いて研究[1-3]が進められてきた。しかし、最近では、時間周波数解析を行うことにより燃焼衝撃パワーと燃焼衝撃音パワーには、時間遅れがあることがわかってきた[4]。この時間遅れは振動エネルギーがエンジン構造内に蓄積される時間であると考えられ、この振動エネルギーの蓄積と構造内での減衰過程を考慮した過渡騒音発生モデルが提案された[5]。エンジンの構造内にはそのエンジン特有の振動エネルギー減衰特性があり、この違いにより騒音放射時間も変わってくる。また、壁面での振動から音への変換率もエンジンによりさまざまである。そこでエンジン騒音の低減には、衝撃が発生してから騒音として放射されるまでの過渡的なエネルギー伝達特性・減衰特性を把握することが重要であるとする。本研究では、単一爆発加振実験により燃焼衝撃音のみを発生させ、過渡的なエネルギー特性の把握を試みた。4気筒ディーゼルエンジンにおける、シリンダヘッド、シリンダブロック、オイルパンの3部位における燃焼衝撃パワーの蓄積、減衰、放射に関する特性の違い、および加振される気筒間での特性の違いについて調査した。

2. 実験装置および方法

供試エンジンは4気筒ディーゼルエンジン(ボア 114mm, ストローク 113mm, 5307cm³, 110.3kW/2900rpm)を用いた。圧力ピックアップ(KISTLER Type 6001)によりシリンダ内圧力を測定し、燃焼衝撃パワーを算出した。また、エンジンを中心とする半径 1.7m の半球面上に 5 個の騒音計(B&K Type2236, RION.NL-02, RION.NA-20X3)を配置して放射音圧を測定し、燃焼衝撃音パワーを算出した。測定した圧力、放射音圧の応答波形は DAT レコーダー(SONY.PC208)に記録し A/D 変換を行い、時間周波数解析を行った。本研究では燃焼衝撃音のみを発生させるために単一爆発加振法を用いた。単一爆発加振法とはピストンを上死点で固定し、密閉した燃焼室内に LPG と酸素を供給し、火花点火させることにより燃焼衝撃音のみを発生させる方法である。またシリンダヘッド、シリンダブロック、オイルパンにおける騒音放射特性を把握するために、それぞれ

の部位のみを露出し測定対象部位以外を、鉛カバー法を用いた遮音装置により遮音した。遮音装置、単一爆発加振法を用いることにより 2 番気筒、4 番気筒の各部位において実験を行った。

Figure 1: Noise insulation shields for different noise-radiation parts

3. 過渡騒音発生モデル

過渡騒音発生モデルでは燃焼衝撃力が入力されてから燃焼衝撃音が放射されるまでを以下のようにモデル化している。燃焼衝撃力により燃焼室内壁面が加振され、燃焼衝撃パワーが与えられた時間だけエンジン構造内に振動エネルギーが蓄積され、エンジン外壁面に伝搬される。蓄積された振動エネルギーは減衰しながらエンジン外壁面から音響パワーに変換され燃焼衝撃音として放射される。この燃焼衝撃音が発生するまでの過程は次式で示される。

$$\frac{dW_{cnk}(f,t)}{dt} = b_k(f)\eta_{vk}(f)W_{cik}(f,t) - c_k(f)W_{cnk}(f,t)$$

ただし、 k は気筒番号、 t は時間[s]、 f は周波数[Hz]、 W_{cik} は燃焼衝撃パワー[W]、 W_{cnk} は燃焼衝撃音パワー[W]、 c_k は減衰係数[1/s]、 $b_k\eta_k$ は伝達放射係数 [1/s]である。また、燃焼衝撃入力終了後の状態では上式を変形することにより減衰係数 c_k が

$$c_k(f) = -\frac{d \ln W_{cnk}(f,t)}{dt}$$

として求められる。減衰係数 c_k を求めることにより伝達放射係数 $b_k\eta_k$ は

$$b_k(f)\eta_{vk}(f) = \frac{W_{cnk}(f,t) - W_{cnk}(f,0) + c_k \int_0^t W_{cnk}(f,t) dt}{\int_0^t W_{cik}(f,t) dt}$$

として求めることができる。本研究ではこの減衰係数 c_k 、伝達放射係数 $b_k\eta_k$ を実験により算出した。

4. 実験結果および考察

2 番気筒を加振位置とし、対象部位のみから放射される騒音を捉えるため遮音装置によって他の部位を遮音して実験

を行い、騒音放射部位の特性への影響を調査した。結果を図 2 に示す。減衰係数はどの部位においても低周波域から高周波域までほぼ 20dB で一定の値をとっている。よって騒音の放射部位による減衰特性の違いは見られない。伝達放射係数は遮音しなかったものが最も大きな値を示し、シリンダヘッド部での値が最も低い値を取っている。この傾向は低周波域から高周波域までほぼ成り立っている。どの部位においても 2000Hz 付近でピーク値を取っており、各周波数での周波数特性の形状も似ている。以上のことより、減衰係数は周波数や、騒音放射部位の影響をうけないと言える。また伝達放射係数は騒音放射部位が異なっても大きな違いは見られない。値の大きさの違いは騒音放射部位の表面積の違いであると思われる。

次に、それぞれの騒音放射部位において加振気筒を 2 番気筒と 4 番気筒とで変えて実験をおこない、加振位置の影響を調査した。結果を図 3 に示す。減衰係数は各部位ともにほぼ同じ値を示し、加振位置の違いによる特性の違いは見受けられない。伝達放射係数はシリンダブロック部がほぼ同じ周波数特性を示しているがシリンダヘッド部、オイルパン部において特性の違いが見られる。シリンダヘッド部はピーク値の発生する周波数、値の大きさともに異なっている。オイルパン部での周波数特性は加振気筒が異なった場合でも良く似ているが値の大きさが異なる。シリンダブロック部での伝達放射特性がほぼ同じなのは 2 番気筒、4 番気筒ともにシリンダブロック部では構造が似ており、エンジン外壁面への振動伝達経路の違いが小さかったためであると思われる。シリンダヘッド部、オイルパン部での周波数特性と値の違いは加振気筒により振動伝達経路が異なるからではないかと思われる。

5. 結言

4 気筒ディーゼルエンジンにおいて、遮音装置と過渡騒音発生モデルを用い、単一爆発加振実験を行うことにより、騒音放射部位と加振位置の騒音放射特性への影響を調査した。以下に本研究で得られた主な結果を示す。

1. 減衰係数は騒音放射部位、加振位置の影響をほとんど受けない。
2. 伝達放射係数は騒音放射部位が変わっても周波数特性の形状は大きく変わらない。値の大きさの違いは騒音放射部位の表面積の違いであると思われる。
3. 加振位置をかえることにより伝達放射係数はシリンダヘッド、オイルパン部位において特性の違いが見られた。これは加振気筒により振動伝達経路が異なるためと思われる。

6. 参考文献

- (1) N. Kojima, M. Fukuda and M. Tsubaki, "Analysis of combustion induced of engine by single explosion excitation (1st report, Combustion noise characteristics of stationary engine)", *Transaction of JSME*, **51**(471), 3623-3630 (1985) (in Japanese).
- (2) N. Kojima, M. Fukuda and K. Itoh, "Analysis of combustion induced noise of engine by single explosion excitation. (2nd report Application of transmission-radiation coefficient to running engine)", *Transaction of JSME*, **52**(475), 1425-1433 (1986) (in Japanese).
- (3) N. Kojima, R. Shimizu, M. Kobayashi and K. Itoh, "Experimental Study on Combustion-induced Noise in Diesel Engines", *Transaction of JSAE*, **37**, 107-113 (1988) (in Japanese).

- (4) M. Komori, Y. Miura, M. Mikami and N. Kojima, "Separation of Combustion Noise using Transient Noise Generation Model", *Proc. Small Eng. Tech. Conf. 2002*, Paper 20024281(JSAE), (2002).
- (5) Y. Miura, M. Komori, M. Mikami and N. Kojima, "A Study on Separation of Combustion Noise Using a Transient Noise Generation Model", *Transaction of JSME*, **70**(692), 1106-1111 (2004) (in Japanese).

Figure 2: Damping coefficient and transmission radiation coefficient for different noise-radiation parts

Figure 3: Damping coefficient and transmission radiation coefficient for different exited cylinders