触覚による船用ディーゼル機関燃料 系統の異常診断—第1報—*

片 木 威** ・ 中 哲 夫***
橋 本 武**

Diagnosis for Fuel Oil Line for Marine Diesel Engine by Sense of Touch

By Takeshi Katagi, Tetsuo Naka, Takeshi Hashimoto

The experienced crew can diagnose the fuel oil line by the touch on the fuel injection pipe. The aim of this research is to develop a new diagnostic system for the fuel oil line of marine diesel engine by the sense of touch in order to substitute for the crew's diagnosis.

This paper discusses the experiment of diagnosing the fuel oil leakage from the fuel injection pump by the accelerometer fixed on the fuel injection pipe. The original vibration is analysed through (1) power spectrum analysis, (2) filtering analysis, and (3) absolute value analysis.

The distinctive signal is found at the time of the combustion. The attenuation time of the signal at the normal condition becomes shorter than that at the abnormal.

1. ま え が き

船舶においては、機関システムを構成する一つの機器の異常が、海難事故にまで発展することがある。従来、それらの異常は、乗組員が計器を見たり、機器に触れたり、振動や音響に注意することで診断されてきた。すなわち異常診断は知識や経験により培われてきた乗組員の五感に依存してきた。しかし、近代化船における省人化や混乗船における混乗により、乗組員のみでの異常診断は困難になりつつあり、彼等を補助する異常診断システムの開発、研究が進められている¹⁾。筆者らは、これら乗組員の五感をセンサーとコンピュータで代用させるような異常診断システムの研究、開発を行っており、乗組員の聴覚を代用する異常診断システムについては、多くの研究成果を挙げている^{2)~3)}。

いま、乗組員の診断方法の一つに、ディーゼル機関の燃料高圧管を握るという方法がある。触覚によ

り燃料ポンプから燃料噴射弁までの燃料の流れの脈動がわかり、燃料ポンプ異常や燃料噴射弁の異常が診断できると、経験豊かな乗組員は語っている。本稿はこの診断方法に着目し、実機を用いて、燃料高圧管から燃料系統の異常の診断を試みたものである。しかし、触覚が、どのような情報の検出を行っているかは詳細でないので、今回の実験においては、圧電型振動計（加速度計）を用いて、燃料高圧管の振動を検出することにした。また、燃料系統の異常は、燃料ポンプから燃料が漏洩する異常を設定した。

2. 実験・解析方法

実験に用いたディーゼル機関の要目を、表1に示す。そして乗組員がディーゼル機関の燃料高圧管を握っている様子を図1に示す。これを加速度計で模擬しようとしたが、燃料高圧管に、直接加速度計を取り付けることができなかったため、固定板を燃料高圧管に取り付け、それに、加速度計をねじで固定した。その様子を、図2に示す。加速度計は、周波数特性 5 Hz～10 kHz、電荷感度 54.7 pC/G、の特性のものを使用した。

*原稿受付 平成3年7月29日

平成3年春季学術講演（平成3年5月15日）

**正会員 神戸商船大学（神戸市東灘区深江南町5-1-1）

***正会員 弓削商船高等専門学校（愛媛県越智郡弓削町下弓削1000）

表1 供試機の主要目

形式	単動4サイクル
シリンダ数	3
シリンダ径	230mm
行程	380mm
連続最大出力	400PS {294.2W}
回転速度	420rpm {7s ⁻¹ }

図1 乗組員の診断方法

燃料系統の異常は、燃料ポンプから燃料が漏洩する異常を、燃料ポンプと燃料高圧管の接続ボルトを緩めることにより模擬した。燃料ポンプから燃料が漏洩している様子を図3に示す。回転数は、正常時、異常時とも、382rpm一定で行った。そして、内燃サイクルと照合するため、上死点信号を光式検出器で検出した。また、シリンダ内の状態を把握するため、燃焼解析装置による解析を行うとともに、排気温度を排気管入口で温度計により測定した。

解析の方法は、原波形観測、フィルター解析、パワースペクトル解析、絶対値処理、およびそれらを種々組み合わせて使用した。

図3 燃料ポンプからの燃料の漏洩

図2 検出方法

3. 実験結果

図4に原波形観測結果を示す。内燃サイクルと照合するため、上死点信号を付記してある。正常時、異常時とも上死点後の燃焼爆発時に衝撃的な振動が生じ、その振動が排気弁が開く時まで持続していることがわかる。実験を行う前までは、燃料噴射による振動が検出できると推定していたが、燃料噴射による振動は実験結果からは読み取れない。正常時と異常時で燃焼爆発時に生じる衝撃振動波形が異なっており、異常時は正常時に比べ、波形は粗になることがわかる。

図5は、原波形の周波数成分を見るためにパワースペクトル解析を行った結果である。正常時は、周波数165Hz成分が支配的であるのに対して、異常時は155Hzを中心とし、120Hzから170Hzまで広がった周波数成分が支配的であることがわかる。

そこで、この支配的な周波数成分に注目し、中心

図4 原波形観測結果

図6 フィルタ解析+絶対値処理結果

図5 スペクトル解析結果

周波数165 Hzで、バンド幅125 Hz～200 Hzのバンドパスフィルターを用いて、フィルター解析を行った。そしてより認識しやすくするために、フィルター解析結果に絶対値処理を施した。その結果を図6に示す。正常時と異常時で燃焼爆発時に生じる衝撃振動波形が異なっていることがわかる。特に、振動の減衰の様子が異なっている。異常時、正常時に比べ減衰時間が長くなっている。また振動振幅のピーク値が正常時0.68 Vに比べ、異常時0.64 Vとなり、正常時と異常時で燃焼爆発状態が異なっていることが推察される。それを検証するため、燃焼解析結果ならびに排気温度を検討した。

正常時ならびに異常時における最高圧力、平均有効圧力、排気温度を、表2に示す。異常時は正常時

表2 圧力と温度の変化

諸 量	正常時	異常時
最高圧力 kg/cm ² {MPa}	96.30 { 9.44 }	92.46 { 9.07 }
平均有効圧力kg/cm ² {MPa}	13.74 { 1.35 }	13.26 { 1.30 }
排気温度 ℃	339.7	331.7

と比較して全てのパラメータが低くなっていることがわかる。これは異常時、燃料量が少なく、燃焼爆発状態が正常時と異なっていることを示している。この結果、燃料高圧管に生じる振動は燃焼爆発時に生じ、異常時、燃焼爆発状態が変化するとともに、振動も変化することがわかる。

以上の結果は、次のようにまとめられる。

- (1) 実験を行う前までは、燃料噴射による振動が検出できると推定していたが、原波形観測結果から、振動は、正常時、異常時とも上死点後の燃焼爆発時に生じていることがわかった。
- (2) 原波形観測結果、正常時と異常時で燃焼爆発時に生じる衝撃振動波形が異なっており、異常時は正常時に比べ波形が粗になることがわかった。
- (3) パワースペクトル解析結果、正常時は、周波数165 Hz成分が支配的であるのに対して、異常時は155 Hzを中心とし、120 Hzから170 Hzまで

広がった周波数成分が支配的であることがわかった。

- 4) フィルター解析と絶対値処理の結果、正常時と異常時で燃焼爆発時に生じる衝撃振動波形が異なっていることがわかった。特に、振動の減衰時間が異常時長くなっている。また振動振幅のピーク値が正常時0.68Vに比べ、異常時0.64Vとなり、正常時と異常時で燃焼爆発状態が異なっていることが推察される。
- 5) 振動解析結果と燃焼解析結果を照合すると、燃料高圧管に生じる振動は燃焼爆発時に生じ、異常時、燃焼爆発状態が変化するとともに、振動も変化することがわかった。

4. あとがき

燃料ポンプ不良を想定した燃料ポンプからの燃料漏洩を、燃料高圧管に取り付けた加速度計で診断した。その結果、燃料高圧管に生じる振動は燃焼爆発時に生じ、異常時、燃焼爆発状態が変化すると、振動も変化することがわかった。燃料ポンプから燃料が洩れて、燃料量が少なくなる今回のような異常に対しては、燃料高圧管に取り付けた加速度計でも十分診断可能であることを示した。しかし、今回の実験においては、燃料漏洩量と、振動の関係までは明らかにすることができなかった。今後、実験を積み重ねることで、この関係を明らかにしたい。またこの方法では、実験前に推定した燃料噴射による振動は認識できず、燃料噴射弁の異常などを診断するために触覚がどのようなセンサで模擬できるのかとともに、より有効な診断方法を考えていきたい。

なお実験に際しては、弓削商船高等専門学校の松下邦幸先生のご協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) 日本造船学会編集委員会，わが国の造船造機技術の展望，日本造船学会誌，第732号，平成2年6月
- 2) T. Katagi, et. al, "Diagnosis of Gas Leakage from Exhaust Valve in Marine Diesel Engine by Acoustic Sound" BULLETIN of MESJ, Vol.17, No.1 March 1989
- 3) T. Katagi, et. al, "New Diagnostic System of

Marine Diesel Engine by Acoustic Sound (Diagnosis of Gas Leakage of the Four-stroke Engine in a Running Ship)" ISME KOB90 Technipal Papers Vol.1, F-2-17-22, October 1990

[質 疑 応 答]

質問者 東京商船大学 堀籠教夫

〔質問〕 1. 図2のように加速度計を細管に取り付けることによって、いろんな振動データが汚される心配はないか。

2. 表2における両者の比較は、かなり無理があるように思われる。

今後の研究を期待します。

〔回答〕 1. 本報告の段階では、燃料高圧管の振動そのものを検出するのが目的ではなく、正常時と異常時との違いを発見することが目的です。しかし、御指摘の通り、他の色々な振動を拾ってきている可能性があります。今後の実験では取り付け方法、取り付け位置を考慮して行きたいと思います。

2. 本文でも述べましたように、燃料高圧管の振動は燃料爆発時に生じており、シリンダー内部の状態が大きく影響を及ぼすと思われます。そのための参考資料として、最高圧力、平均有効圧力、排気温度を同時に計測し、比較を行いました。

質問者 川崎重工 中村陽一

〔質問〕 今回の報告にある燃料噴射ポンプの漏洩についてのトラブル再現であるポンプ継手金具をゆるめること自体は、船の乗組員が触覚で識別できる現象であったのでしょうか。燃料弁のスティックやポンプのスティック等は乗組員が触覚で識別できそうな気はいたしますが、今回のような漏洩を乗組員は識別したのでしょうか。

〔回答〕 今回の異常に関しては触覚による識別は経験豊かな乗組員では可能でした。が、実際の燃料漏洩異常では触覚よりも視覚や拭き取りなどで診断される割合が多いようです。今後、触覚で主として診断されている燃料弁や燃料ポンプのスティックを模擬するため、燃料弁の啓開圧を変化させたり、燃料ポンプの吐出弁に傷を付けた実験を行っていく予定です。