ディーゼル・ガス機関の 振動測定と評価*

樋 口 巖** 中 嶋 貞 和**

Measurements and Evaluation of Mechanical vibration on Diesel and Gas Engines.

By Iwao Higuchi, Sadakazu Nakajima

Measuring and evaluating method for a vibration of the internal combustion engine is highly developed through measuring machine histories - such as from the mechanical type to the electric type with a piezo-electric element as a transducer, and to the more improved type with a built-in FFT which can be analyzed into a frequency level. However, it has not been reached enough level quickly to measure/evaluate at the site.

We started to investigate in 1993(H.5) how the vibration of a combustion diesel/gas engine with a $\phi 160\text{mm}$ to 300mm cylinder influenced on required accessories as a damage, and tried to develop a new vibration indicator for an actual operation use, which was introduced a measuring/evaluating method using the 'Vibration Severity Grade' that ISO was reviewing at that time. New vibration indicator were adopted to some factories for their outgoing inspections and got good results. Followings are the histories and results of it.

1. はじめに

機関振動の測定と評価方法については、測定器が機械式から圧電素子などを変換器とする電気式へさらにFFTを内蔵して周波数分析まで行うものへと発達するにともない高度化されてきたが、現場で素早く測定・評価をするには至っていなかったと考えられる。

筆者らは、平成5年よりシリンダ径 $\phi 160\text{mm}$ ～ 330mm のディーゼルおよびガス機関の機関振動が付属部品の破損などに与える影響を調査し、当時ISOで検討段階であったVibration Severity Grade(以下振動シビアリティ等級、振動の変位、速度、加速度振幅の3値で評価)による機関振動の測定・評価方法を導入し、実際の運用面で新しい振

動計の開発を行い、工場の出荷検査などに適用して良好な成果が得られたのでその経緯と結果について報告する。

2. Vibration severity grade

1988年頃より往復動機械の振動測定と評価法についてISO(TC105/SC2/WG5)で検討が進められ、1995年12月にISO 10816-6(Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts)として発行された。

この測定・評価方法の特色は、機械の振動を変位、速度、加速度の3値を実効値(RMS)で測定し、評価は一定の比率で幅をもたせた3値それぞれの等級の最大値で行うとなっている。

図1に振動シビアリティ等級表を、図2に周波数との関係を示したノモグラフを示す。これより10Hz以下の周波数帯域では振動変位が、10～250Hzでは速度が、250Hz以上では加速度が等級に対して影響度が大きくなることが判る。

*原稿受付 平成9年9月1日

第58回春季学術講演(平成9年5月14日)

**正会員 ヤンマーディーゼル(株)(尼崎市長州東通1丁目1番1号)

機関振動の測定と評価

Vibration severity grade	Maximum values of overall vibration measured on the machine structure			Machine vibration classification number						
	Displacement μm (r.m.s.)	Velocity mm/s (r.m.s.)	Acceleration m/s ² (r.m.s.)	1	2	3	4	5	6	7
	Evaluation zones									
1,1	17,8	1,12	1,76	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
1,8	28,3	1,78	2,79							
2,8	44,8	2,82	4,42							
4,5	71,0	4,46	7,01							
7,1	113	7,07	11,1	C	C	C	C	C	C	A/B
11	178	11,2	17,6							
18	283	17,8	27,9							
28	448	28,2	44,2							
45	710	44,6	70,1	D	D	D	D	C	C	C
71	1125	70,7	111							
112	1784	112	176							
180										

Key to zones

A: The vibration of newly commissioned machines would normally fall within this zone.

B: Machines with vibration within this zone are normally considered acceptable for long-term operation.

C: Machines with vibration within this zone are normally considered unsatisfactory for long-term continuous operation. Generally, the machine may be operated for a limited period in this condition until a suitable opportunity arises for remedial action.

D: Vibration values within this zone are normally considered to be of sufficient severity to cause damage to the machine.

NOTE — Vibration values for reciprocating machines may tend to be more constant over the life of the machine than for rotating machines. Therefore zones A and B are combined in this table. In future, when more experience is accumulated, guide values to differentiate between zones A and B may be provided.

図1 Vibration severity grade

尚，本標準は船用，鉄道用ディーゼル機関やコンプレッサーなど100kW以上の往復動ピストン機械に適用される。又，測定周波数帯域や精度についても下記のとおりとなっている。

測定周波数帯域：変位，速度，加速度ともに2～1000Hz（オーバーオール値を測定）。

測定器精度：2～10Hzでは+10%～-20%，10～1000Hzでは±10%。

3. 振動許容値の設定

3.1 振動限界の把握 機関振動による部品の破損などの問題を発生した機関の振動変位，速度，加速度測定を行い振動シビアリティ等級で結果をまとめた。

図3は機関のトルク変動に起因する周波数成分が突出した振動速度が主因とみられるもので70mm/sが部品破損に対しての限界値とみられる。図4は潤滑油系統などの高周波振動を発生するもので加速度が主因とみられ112m/s²が破損の限界とみられる。

これより，振動許容値としては限界値より1等級低い振動速度45mm/s加速度70m/s²以下が妥当であるといえる。尚，振動変位については機関のゆ

図2 Vibration severity grade nomograph

れに対する不安感から目視により0.28mmを許容値とした。

3.2 機関の振動調査 3.1で検討した振動シ

機関振動の測定と評価

図3 振動速度の限界例

図4 振動加速度の限界例

図5 機関のVibration severity grade

ビリティ等級の限界値や許容値に対して実績のある従来基準で出荷された場合の機関振動との整合性を検討した。結果は図5に示すとおりで従来基準と振動シビアリティ等級での評価はよく一致する。従来基準値は機関仕様や機関に装着される機器類に対して振動変位をベースに必要に応じて速度、加速度を考慮した複雑なものであった。

尚、図5より機関付属品や配管類の振動シビアリティ等級を45以内とするには、その取り付けのベースとなる機関本体部は振動シビアリティ等級18以内とする必要があることを示している。即ち、通常の取り付け方法では付属品や配管類はベースとなる機関本体部の2～3倍の振動に増幅されていることになる。

4. 新振動計の開発

振動シビアリティ等級により機関振動を評価すれば従来よりも機関の振動品質が向上し、問題発生も少なくなると考えられたが、現存の電気式振動計による測定では積分回路への切り替え時やそ

の都度のレンジ切り換えおよび都度生じるメータの振り切れからの整定待ちなど多大な振動測定工数が発生する。そこで、これを解決するため、振動変位、速度、加速度を同時に測定可能な図6の振動計を開発した。この振動計により従来とほぼ同じ工数で出荷時の機関振動を振動シビアリティ等級で評価することが可能となり、切り換えやレンジ調整など一切必要のないシンプルさが好評である。

5. 新振動基準導入の効果

5.1 振動問題を発生する場合は、機関の加振力と構造系の固有振動数との共振が原因で単一の周波数成分であることが多い。このような場合、振動の3値を測定しておけば、ノモグラフより概略の振動周波数を知ることができ、原因究明や対策が容易となる。

図7にディーゼル発電機セットの代表的なFEMによる固有モード解析例を示す。

5.2 機関振動を測定した結果、機関本体部は

図6 3値同時測定振動計

振動シビアリティ等級18以内であるのに付属品や配管類が等級45を超えている場合は主にそれらの取り付け方法を主体にした改善で効果が予想されるが、多数の付属品や配管類が基準値を超え、さらに機関本体も振動シビアリティ等級18を超えている場合は、基本的な機関本体の低振動化が必要であると判断できる。

又、機関に装着される種々の機器類や部品等に関してもその耐振性を明確にでき、どうしても部品の耐振性が不足する場合は、取り付け部に防振構造を採用するなど設計段階での判断が可能となる。

尚、振動シビアリティ等級評価導入後は振動改善の方針が明確となり、設計段階でのよりきめ細かい検討も可能となっており、図8の新形機関の評価例では振動シビアリティ等級28を達成している。

5.3 振動シビアリティ等級導入後の機関振動

図7 発電機セットの振動モード解析例

振動シビアリティ等級	振動測定値 RMS			総合判定
	変位 mm	速度 mm/s	加速度 m/s^2	
0.45	0.003	0.446	0.704	A (優)
0.71	0.004	0.707	1.12	
1.1	0.007	1.12	1.77	
1.8	0.011	1.78	2.80	
2.8	0.018	2.82	4.44	
4.5	0.028	4.46	7.04	
7.1	0.045	7.07	11.2	
11	0.071	11.2	17.7	B (良)
18	0.113	17.8	28.0	
28	0.178	28.2	44.4	C (可)
45	0.283	44.6	70.4	
71	0.448	70.7	112.0	D (不可)
112	0.710	112.0	177.0	
180	1.13	● 機関本体 ○ 付属品	280.0	
280	1.78	282.0	444.0	
450				

図8 新形機関のVibration severity grade評価例

による装着機器類や部品などが破損する問題はほとんど皆無となり、件数、費用、処理期間など大幅に改善することができた。

6. 今後の課題

機関に装着される電装品・機器類などの耐振性についても、今後は機関と同様の振動シビアリティ

ィ等級に準じた性能表示を導入し、機関との整合性をとっていく必要があると考える。

7. ま と め

機関の振動測定と評価について平成5年よりISOで審議中の振動シビアリティ等級を工場の出荷検査などに導入した結果、機関の振動品質向上に大きな効果が認められ、運用時に生じる測定工数増大の問題点についても振動変位、速度、加速度を同時に測定できる振動計開発により解決することができた。

最後に、現地での振動データ採取に快く御協力いただいたユーザの皆様、振動計開発にアドバイスをいただいた方々に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) ISO 10816-6 1995-12-15
- 2) 谷口 他 振動工学ハンドブック 養賢堂
- 3) 機関振動研究委 船用主機および補材の振動調査報告
日本船用機関学会誌9巻8号 1974

~~~~~メッセージ~~~~~

Vibration severity gradeの社内導入はISOで検討中の時期からとりくみ、現在では社内運用を定着させ機関の品質向上に大きな成果を得ることができた。この成功の要因は本文で紹介した3値(加速度・速度・変位)同時計測可能な振動計開発により、即座に測定・評価ができるようになったことによると思われる。各社におかれましてもVibration severity gradeによる振動評価を導入される場合に本文ならびに3値表示振動計が参考になれば幸いです。

今後は、機関に取付けられる付属品や機器類のメーカー殿とも連携して機関の振動品質向上に役立ちたいと考えています。