708 奇数気筒V R形機関の起振モーメントに関する研究

Exciting Moment of VR-Type Engine with Odd Number Cylinder

○ 牧嶋 真也(富山大院), 正 伊藤 紀男(富山大), 桐 昭弘(富山大)

Shinya MAKISHIMA, Toyama University, Gofuku 3190, Toyama-shi, Toyama
Norio ITO, Toyama University
Akihiro KIRI, Toyama University

Key Words : Engine, V-Type Engine, VR-Type Engine, Exciting Moment, Bank Angle

1. 緒 論

現在,自動車用機関は高トルク化,高出力化など動力性能の向上や機関の静粛化,低振動化のために多気筒化が進められている。直列形機関は多気筒化が進むと,剛性上の問題が生じるため,V形機関が用いられる⁽¹⁾。V形機関もバンク角による横幅スペースや機関の複雑化に伴うコストアップなどいろいろな問題が生じる。

ドイツのVW社は,新しいタイプのV形機関を開発した。このV形機関は,バンク角が15°という狭角で,直列形機関に近いV形機関である⁽²⁾。このようなV形機関は,VR形機関⁽³⁾と呼ばれている。本研究は,このVR形機関を奇数気筒機関に適用した場合の起振モーメントについて検討を加える。

2. おもな記号

r : クランク半径 ω : クランク回転角速度
 s : 隣接気筒間隔 m_p : ピストン質量
 θ : クランク回転角 m_r : 連接棒質量
 δ : 連接棒の傾き角 L : 連接棒長さ
 L_p : ピストンピンと連接棒の重心間の距離
 $C_p : L_p/L$ $m_{rec} : m_p + (1 - C_p)m_r$
 α_0 : バンク角度 α_1, α_2 : V形機関の二列の傾き

3. 直列形機関

直列形多気筒機関に働く起振力は,各気筒に働く起振力の和として求められる。各気筒に働く起振力はクランク位相差によって異なる。まず,単気筒機関について述べる。

図1は単気筒機関を表し,クランク軸に直角な断面図である。y軸方向の起振力消滅用バランサQを付加した場合,ピストン運動方向(x軸方向)に働く起振力 $F_x(\theta)$ は,次式で表される。

$$F_x(\theta) = m_{rec} r \{ \ddot{\theta} G(\theta) + \omega^2 F(\theta) \} \dots \dots \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} G(\theta) &= \sin(\theta - \delta) / \cos \delta \\ F(\theta) &= \cos \theta + \frac{\lambda \cos 2\theta}{\cos \delta} + \frac{\lambda^3 \sin^2 2\theta}{4 \cos^3 \delta} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

式(1)において, ω^2 の値に対して $\ddot{\theta}$ は極めて小さいため,以後は ω^2 の項についてのみ考える。

次に,直列形多気筒機関の起振モーメントについて考える。直列形多気筒機関には,式(1)の起振力によってy軸回りのピッチングモーメントが発生する。ピッチングモーメントは,奇数気筒機関と偶数気筒機関によって,その式の形は異なる。

それぞれピッチングモーメントを $[M_{ny}(\theta)]_{odd}$, $[M_{ny}(\theta)]_{even}$ とすると,一般的には,次のような形で表される。

$$[M_{ny}(\theta)]_{odd} = m_{rec} s r \omega^2 \{ [F_n(k) - F_n(l)] + 2[F_n(m) - F_n(p)] + \dots \} \dots \dots \dots (3)$$

$$[M_{ny}(\theta)]_{even} = m_{rec} s r \omega^2 \{ (1/2)[F_n(j) - F_n(k)] + (3/2)[F_n(l) - F_n(m)] + \dots \} \dots \dots \dots (4)$$

ただし, $j, k, l, m, p, \dots$ はクランク位相番号, F_n は各気筒の起振力,添字 n は気筒数である。

4. V R形機関

図2にVR形機関の例として,VR形5気筒機関(以後,VR5機関と表す。)の構成を示す。図2(a)はクランク位相を,図2(b)はシリンダブロックのシリンダの配列を示す。左右のピストン運動方向を x_1, x_2 軸とし,それらが機関の中心線を示すx軸となす角が α_1, α_2 である。ここで, g, h, i, j, k は位相番号を表している。奇数気筒VR形機関は,気筒数の異なる二種類の直列形機関を,バンク角 α_0 で構成したものとなる。VR形機関の左右の直列形機関に生じるピッチングモーメントは,式(3), (4)より求められる。

一般に,VR形機関の左右の直列形機関に生じるピッチングモーメントをそれぞれ $M^*_{01y}(\theta)$, $M^*_{02y}(\theta)$ とすると,VR形機関全体に生じる起振モーメント(ピッチングモーメント,ヨーイングモーメント) $M^*_{3y}(\theta)$, $M^*_{3x}(\theta)$ は,次のように表される。

$$\left. \begin{aligned} M^*_{3y}(\theta) &= M^*_{01y}(\theta) \cos \alpha_1 + M^*_{02y}(\theta) \cos \alpha_2 \\ M^*_{3x}(\theta) &= -M^*_{01y}(\theta) \sin \alpha_1 - M^*_{02y}(\theta) \sin \alpha_2 \end{aligned} \right\} \dots \dots (5)$$

VR5機関について考えると,VR5機関の位相は,次のよう

Fig.1 Single cylinder engine

に表される。

$$\left. \begin{aligned} F_g &= F(\theta) \\ F_h &= F(\theta - 2\pi/5) \\ F_i &= F(\theta + \pi/5) \\ F_j &= F(\theta - \pi/5) \\ F_k &= F(\theta + 2\pi/5) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

この機関の左右の直列形機関に生ずるピッチングモーメント $M_{02y}^*(\theta)$, $M_{03y}^*(\theta)$ は、次のように求められる。

$$\left. \begin{aligned} M_{02y}^* &= s(F_j - F_h) \\ M_{03y}^* &= 2s(F_k - F_g) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

これより、VR5機関に生ずるピッチングおよびヨーイングモーメント $M_{5y}^*(\theta)$, $M_{5x}^*(\theta)$ は、次のように表せる。

$$\left. \begin{aligned} M_{5y}^*(\theta) &= M_{02y}^*(\theta)\cos\alpha_1 + M_{03y}^*(\theta)\cos\alpha_2 \\ M_{5x}^*(\theta) &= -M_{02y}^*(\theta)\sin\alpha_1 - M_{03y}^*(\theta)\sin\alpha_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

式(5)～(8)中の*印は、無次元量を表し、次のようになる。

$$M_{ny}^*(\theta) = M_{ny}(\theta) / m_{rec}sr\omega^2 \dots\dots\dots (9)$$

以上の式を用いて、VR5機関の振動性能について具体的に検討を加える。VR5機関の有効な気筒配列を選択し、それら有効な気筒配列に対して、バンク角 α_0 を $10^\circ \sim 20^\circ$ 変化させ、それぞれの起振モーメントを求める。VR5機関の気筒配列は、5! = 120通りある。これらは、クランクの形状が同一の5グループに分けられ、各々24種類ずつの気筒配列をもつ。また、各グループは、第1列の気筒の位相角を0として、それを順次 $2\pi/5$ 回転させると、クランクの形状が同じになるため、1グループの24種類の気筒配列について検討すればよいことになる。

表1は、VR5機関のピッチングモーメントおよびヨーイングモーメントの値が、実用の 60° V形6気筒機関より小さい6種類の気筒配列を示す。

図3は、表1の気筒配列の1例について求めたVR5機関の起振モーメントである。比較のために現在実用化されている 60° V形6気筒機関の起振モーメントが示してある。図3(a)のピッチングモーメントの変化は、バンク角の変化に対して非常に小さい。これは、ピッチングモーメントに関する式(8)が $\cos$ によって構成されているからである。参考として $\alpha_0 = 0$ のときの起振モーメントの波形を点線で示したがほとんど重なっている。図3(b)のヨーイングモーメントに関しては、バンク角に対する変化が現れている。これらのことか

ら、バンク角の変化に対して、ピッチングモーメントの変化は小さく、逆に、ヨーイングモーメントの変化は大きいことがわかる。なお、図3は、一次の起振モーメントを打ち消すための一次バランスが付加されている場合である。

VR3気筒、VR7気筒についても、VR5機関と同様にして求めることができる。

Table.1 Cylinder arrangements of VR5 engine

Conbinations				
g	h	i	j	k
1	3	4	2	5
1	3	4	5	2
1	3	5	4	2
1	4	2	5	3
1	4	3	2	5
1	4	3	5	2

(a) Pitching moment of VR5 engine

(b) Yawing moment of VR5 engine

Fig.3 Exciting moment of VR5 engine

5. 結 論

本論文は、奇数気筒のVR形機関に生じる起振モーメントとバンク角変化の関係について考察した。その結果、次のような結論を得た。

- (1) VR形機関は、バンク角が小さいため、ピッチングモーメントは、バンク角が変化してもほぼ一定の値を示す。しかし、その値はヨーイングモーメントのそれより大きい。ヨーイングモーメントはバンク角の変化の影響を受ける。
- (2) 具体例として取り上げたVR5機関については、有効な気筒配列の組み合わせは24種類ある。その中の6種類の配列については、起振モーメントは実用可能な範囲の大きさである。

文 献

- (1) N. Ito, I. Hattori, *JSME Int. J. Series C*, 43-2, (2000), 311-317.
- (2) Der Massenausgleich des VR6-Motors, MTZ, (1993), 96-101.
- (3) N. Ito, T. Yamane, *JSME Int. J. Series C*, 41-4, (1998), 734-740.

Fig.2 Construction of VR5 engine