

1. はじめに

構造物の振動実験では、振動台と起振機が多用されている。とくに、屋外や大型構造物に対する実験では、起振機はなくてはならない振動発生装置である。起振実験を実施する場合いかなる条件下においても式1で示される起振力 F が発生するものとして取扱われているが、これはある条件下でのみ成立するものである。

$$F = m_0 r \omega^2 \exp(i\omega t) \quad , \quad \text{ここに } m_0 r: \text{起振機偏心モーメント}, \omega: \text{円振動数} \quad \dots 1$$

起振実験は、構造物の共振・動数や減衰定数など振動特性を表す数値を求めるのが主目的であることを考えると、この点についての検討が必要と考える。筆者は、正常な起振力 F を得るために必要なモータ・パワ算定式の誘導および起振実験時に発生し得る問題点についての実験的検討を行なったので以下に報告する。なお、ここで得たモータ・パワ算定式によれば田治見博士の算定式より得られる値の倍のパワーが必要となる。

2. 起振機に必要なモータ・パワ(電力)

起振機は、供給電力→モータ・トルク→起振機偏心重量の回転運動→遠心力合成による起振力→構造物の振動 という過程で電気エネルギーを運動エネルギーに変換する装置と考えることができる。したがって、式1に示した正常な力が発生するためには①回転振動数 ω (起振振動数と同)を制御するに必要なパワ供給(電力供給)、②振動系を定常状態に維持するに必要なパワ供給が必要となる。水平起振(質量 M ・ばね定数 K ・減衰係数 C からなる一自由度の並進振動とする)を考えると、図1を参考にして回転中心 O (O')回りのつりあいを考えると次式が求まる。

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T - T' - m_0 r \frac{d^2\gamma}{dt^2} \cos \omega t \quad , \quad \text{ここに } J: \text{偏心重量回転軸 } O, O' \text{ 回りの慣性モーメント } (\approx m_0 r^2), T: \text{起振機偏心重量に回転運動をさせるに必要なモータ・トルク}, T': \text{トルクを伝えるギヤなどによる摩擦}$$

や風損などに基づく損失トルク, g : 重力加速度, γ : 起振機振動変位 $\dots 2$

式2より ω 一定の起振力を発生させるためには右辺=0であればよい。起振力 F に対する γ の位相遅れ角 φ とし、パワ(電力) P とトルク T との関係 $P = \omega T$ を考慮すれば、 ω を一定にするためのモータ・パワ P_0 は次式となる。

$$P_0 = \omega \cdot T = \omega T' - m_0 r \omega \frac{d^2\gamma}{dt^2} \cos \omega t = \omega T' + \frac{1}{2} m_0 r \gamma \omega^3 [\sin(2\omega t - \varphi) + \sin \varphi] \quad , \quad \text{ここに } \gamma: \text{振動変位の振幅値} \quad \dots 3$$

γ の振動振幅をもつ定常振動を維持するためには、次式を満足しなければならない。

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} M \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} K \gamma^2 \right) = F \cdot \frac{d\gamma}{dt} - C \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^2 = 0 \quad \dots 4$$

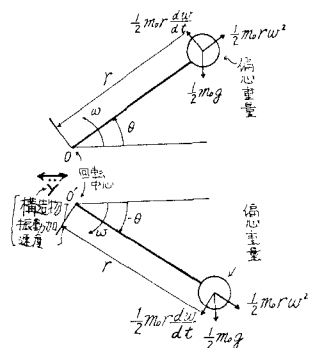
式4は単位時間に起振力によって供給されたエネルギーが減衰項で消費されるエネルギーに等しければ、定常状態を維持できることを示している。したがって、定常状態を維持するために必要な供給パワ P_3 は次式となる。

$$P_3 = F \frac{d\gamma}{dt} = C \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^2 = 2 h \omega_0 M \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^2 = h \cdot M \gamma^2 \omega_0 \omega^2 (\cos 2(\omega t - \varphi) + 1) \quad , \quad \text{ここに } h = \frac{C}{2\omega_0 M}, \omega_0^2 = \frac{K}{M} \dots 5$$

田治見博士は式5のみからモータ・パワを決定することと提案されたが、式も加味して決定しなければならない。すなわち、次式から起振機に使用するモータ・パワを決定しなければならない(共振時を考慮している)。

$$P = P_0 + P_3 = \omega T' + \frac{(m_0 r)^2}{2 h M} \omega^3 (1 - \cos 2\omega t) \quad \dots 5$$

他の振動モードに対しても同様の検討をすればよい。

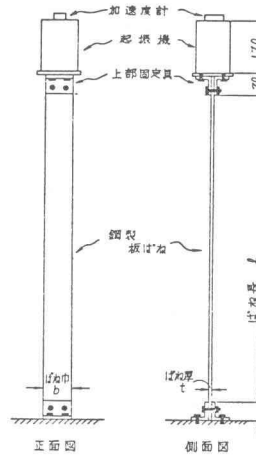


水平起振力 $F = m_0 r \omega^2 \exp(i\omega t)$

図1 起振機起振力発生様式図

3. 実験による検討

図2示した装置を用いて式6の検証もかねた実験を行なった。起振機で消費されるパワ（電力）、25.7度回転するごとに発生するパルス（偏心重量1回転すると14パルス発生）および応答加速度値が出力された。実験結果が、共振より低い振動数7Hz、と共振振動数に相当する7.45Hz.程度で得られた実験結果が示されている。図3は、図4の状態振動数変更のためのトルク変動△を行なった（式2）ところ振動数が変化せずに応答加速度が大きくなるという結果を示したものである。これは振動数変更用トルク△が式4に相当する運動エネルギーに消費され応答が大きくなったと考えられる。これは、図4の状態は完全な共振状態ではないことを意味している。もしこの状態を共振とみなして減衰定数を求めれば大きめに評価することになる。



起振機重量 (kg)	6.75
上部固定具重量 (kg)	3.02
鋼製板ばね I	
長さ L (cm)	100.0
厚さ t (mm)	1.0
質量 (kg)	6.20
鋼製板ばね II	
長さ L (cm)	60.0
厚さ t (mm)	1.2
質量 (kg)	6.20

	模型 I	模型 II
共振振動数 (Hz)	2.16	7.62
減衰定数 (%)	0.45	0.43

自由振動が実験より求めた値

図2 実験装置概略図

図3~5の消費パワ波形には、起振振動数 ω の倍振動数成分が認められる。これは、式3, 5, 6の示す特性と一致する。式6の $\frac{(m\omega r)^2}{2HM}\omega^3$ 値を求めたところ約15 watt ($m\omega r = 3.67 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{sec}^2$, $M = 1.2 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{sec}^2/\text{cm}^2$, $f_0 = 7.45 \text{ Hz}$) となった。無負荷の実験から ω では5 watt が得られているため、式6に従えば、20 watt を基準として±15 watt の振幅を有する波形が理論上得られる。図5で認められる実験波形は、起振振動数 ω と同じ振動数成分が卓越し式6に改良の余地のあることを示唆しているが、理論解の示す値にほぼ等しいことから、工学的には十分な精度で利用できるものと判断できる。

表1には、共振またはその近くでの設定振動数に対する振動数のばらつきの範囲を示している。ここで言う振動数とは、25.7度回転するごとに出るパルスを利用して求めた振動数を意味する。表1から、起振機が激しく振動するにつれ、すなわち、図3から図5の状態（表中「制御不良」表示）に向うにつれ振動数のばらつきが激しくなることがわかる。したがって、このように振動数のばらつく状態で減衰定数が求められれば、実際の共振状態とはみなせないため真の値より大きく求めることになる。

4. まとめ

起振実験に用いた起振機用モータの容量およびそれへの電源容量が不十分な状態での実験結果下、応答を小さめに評価する可能性があり、実験に適したものと使用しなければならぬ。

参考文献 (K1): 田沼見宏; 建築振動学, コロナ社, 昭和44年7月

設定振動数 (Hz)	6.9	7.4 (共振時)	7.31 (制御不良)	7.41 (制御不良)
$m\omega r = 1.52 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{sec}^2$	0.33 Hz	0.39 Hz	—	—
$m\omega r = 3.67 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{sec}^2$	0.73 Hz	0.95 Hz	1.30 Hz	1.43 Hz

表1 振動数のばらつき範囲

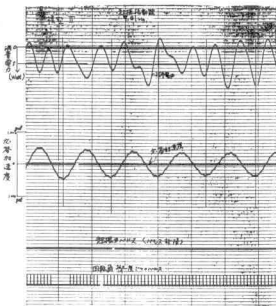


図3 実験波形

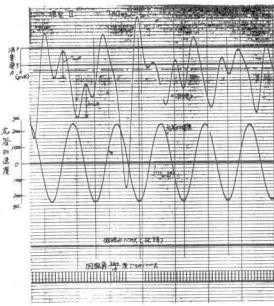


図4 実験波形

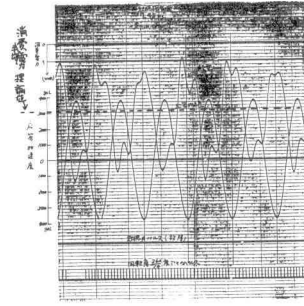


図5 実験波形