

長崎大学工学部 学生員。竹内一博

正 員 高橋和雄

柳山幸隆

1. 緒言, 著者らは薄肉構造部材の幾何学的非線形問題に起因する非線形振動の解析的取り扱いをこれまで報告してきた。しかしながら、本題に関する実験的研究はきわめて少なく、非線形振動の諸現象が確認されているものとは言い難い。そこで、著者らははりの非線形振動に関する実験を行っているが、本研究では両端固定はりの非線形自由振動および強制振動の計測結果および解析結果との比較を行うものである。

2. 実験装置 図-1に示すような材質ジュラルミン製のはり(有効長さ30cm、厚さ1.0mm、幅30mm、単位体積重量 $w=285 \times 10^{-3} \text{kg/cm}^3$ 、ヤング率 $E=0.71 \times 10^{10} \text{kg/cm}^2$)を両端で軸方向変位および曲げに対して固定の条件を満足するように鉄製の治具で固定し、固定棒全体を図-2に示すように水平振動台上に加振方向に直角に設置した。なお、はりに初期軸力が作用できるように設計されている。実験模型を図-2のプロックダイアグラムにしたがって振動実験を行った。予備実験として、はりの中央付近を叩いて初速度を与えて生じた微小振動の固有振動数の測定を行い、固定棒の出来具合および試験片の不完全性を検証した。試験片は定尺のジュラルミン板から50本程度切り出し、このうちから微小振動の振動数が理論値とほぼ合致するものを使用した。

3. 非線形自由振動 定常運転状態の加振機を急停止させたはりの非線形減衰自由振動の記録からえられたはりの動的変位を y を回転半径 r で無次元化($A=y/r$)し、また、任意の振幅比の振動数 f を微小振動の振動数 f_0 で無次元化($\bar{\omega}=f/f_0$)した。これより振幅比 A の変化に伴う振動数比 $\bar{\omega}$ の変動を求めれば図-3に示すとおりである。図において、実線が理論値を示し、■および▲印が実験値を示す。自由振動数については振幅比 A と振動数比 $\bar{\omega}$ の関係は理論値と実験値がよく合致している。図-4にはりの4分の1点と中央点の振幅の比 γ と振幅比 A との関係を示す。振幅の増大とともに4分の1点の変位の割合が増大して、偏平な形になることがわかる。

4. 非線形強制振動 一定の加速度で慣性力により加振し、 1 deg/min の掃引速度で上下の自動掃引を行った。はり中央の変位計によりはりの振動によって生ずる相対変位を検出し、振動数比 $\bar{\omega}$ と振幅比 A の関係を求め、4分の1点の変位計で非線形建成振動によって分岐的に生ずる逆対称振動をモニターした。加振力 1 G および 2 G について振動数比 $\bar{\omega}$ と振幅比 A との関係を示せば、図-5、6のとおりである。図中において○印は掃引周波数を増加させた場合の実験値を、×印は減少

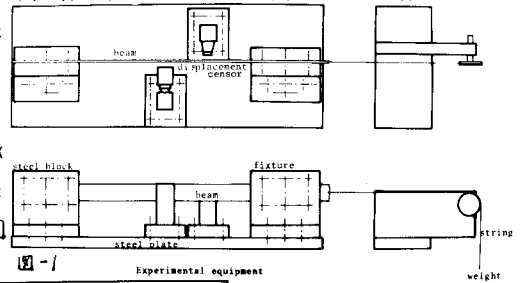


図-1 Experimental equipment

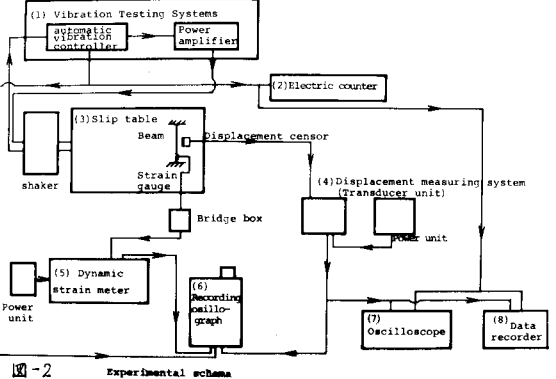


図-2 Experimental schema

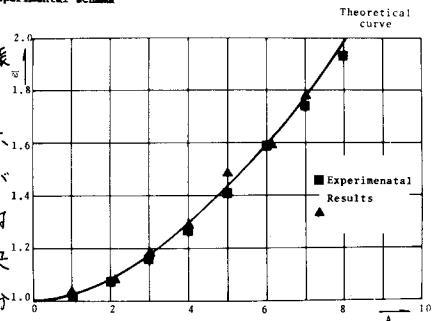
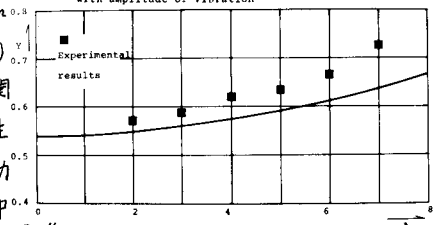
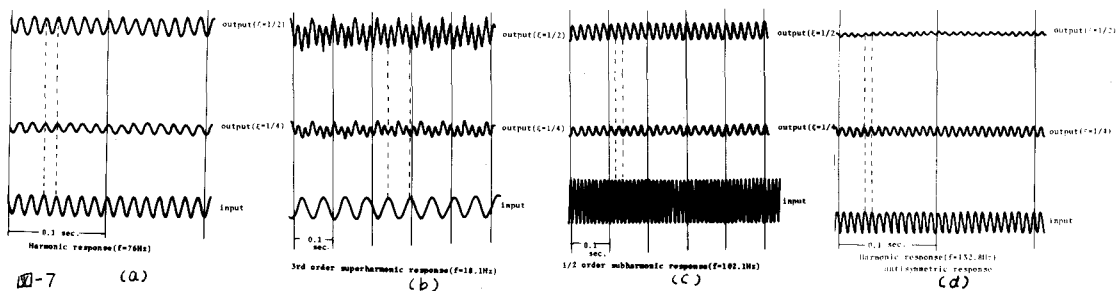
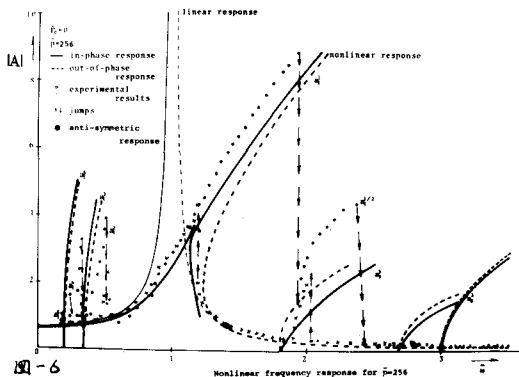
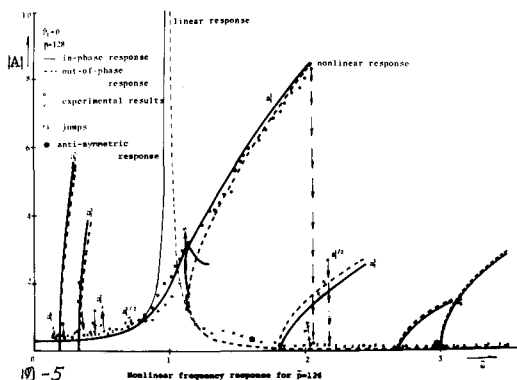


図-3 Experimental results showing variation of frequency with amplitude of vibration

図-4 Effect of amplitude ratio on space-modal shape at $\bar{\omega}=1/4$



させた場合の実験値を示すものである。また図中の矢印(↑)は振幅の跳躍が生じる方向を示すものである。なお、肉太の実線は対応する理論解からえられる外力と同位相の非線形応答に、一点鎖線は外力と逆位相の非線形応答にそれぞれ対応するものである。また、 $\bar{\omega}=1.0$ 付近に細い実線と破線で示した応答は微小振動論よりえられる線形応答である。なお、理論では減衰の影響は無視されている。図中において、 $\bar{\omega}=1.0$ 付近に生ずる共振は外力の周波数と同じ振動が卓越する対称1次振動の主共振である。 $\bar{\omega}=0.2$ 付近に分岐的に生ずる共振は外力の周波数の5倍の振動が卓越する5倍の高調波共振 Q_5^1 および $\bar{\omega}=0.33$ 付近は連続的に生ずる3倍の高調波共振 Q_3^1 に対応する理論解である。なお、これらの応答の周波数はいずれも線形1次振動数にほぼ合致するものである。 $\bar{\omega}=1.8$ 付近の共振は対称2次振動の3倍の高調波共振および $\bar{\omega}=2.65$ 付近の共振は対称3次振動の5倍の高調波共振である。図-7(a)に示す波形を持つ主共振については $\bar{p}=128$ の場合は理論値と実験値とがよく一致しているが、 $\bar{p}=258$ の場合は実験値の方が大きくなる。振動数比 $\bar{\omega}=2.0$ 付近で同位相の振幅は逆位相への振幅へ図-8(a)に示すような過渡振動1、また、 $\bar{\omega}=1.2$ 付近では逆位相から同位相の振幅へ図-8(b)に示すような跳躍をしている。実験においては図-7(c)に示す3倍および5倍の高調波共振の他に偶数次の6、4、2倍および3/2倍などの高調波共振および図-7(c)に示す1/2の分数調波共振が見受けられるが、これははりにわずかな初期たわみによるものと考えられる。本例では構造および外力が左右対称であるが、図中の■印の位置で図-7(d)に示すような4分の1点の変位が大きくなる逆対称振動が生ずる。これは対称1次振動によって逆対称1次振動が分岐する動的安定問題によるものと考えられる。

参考文献 1) Takahashi, K., Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 24, pp. 109-120 (1976), 2) 野口・高橋 中原: 工本学会第32回年次学術講演会講演概要集, 第1部, 昭和52年10月