

長崎大学 学生員 野口 豊
 長崎大学 正員 高橋和雄
 大成道路 正員 中原鶴見

1. 緒言 スパンが固定される薄肉弾性ばりの振動問題では振幅に依存する軸方向力が含まれるために、運動方程式は非線形偏微分方程式に支配される。最近、連続体を多自由度系に置換する多自由度系解析法によってかなり大きな非線形性の領域を含む連続体の非線形振動の主共振、高調波共振、分岐調波共振、内部共振および各種の不安定現象が解明されつつある¹⁾。他方、本題に関する実験的研究はきわめて少なく、非線形に伴う諸現象が確認されているものとは言い難い。また、実際の構造では製作過程、支持部の出来具合および自重の影響などによって必ず初期たわみが存在することおよび理想的な微小振動と大振幅振動では減衰の大きさが異なることなどの理由によって理論解析と異なる諸現象が生ずることが予想される。これらの影響を理論に組み込むことは容易でないので、振動実験を行って現象の把握をする必要がある。そこで本研究はジュラルミン製試験片からなる両端固定ばりを対象として正弦波振動試験機と水平テーブルを用いて一定加振力による定常応答実験を行、たものである。すなわち、各種の外力の大きさについての掃引実験から与えられるばりの変位と外力の周波数の関係から各種の共振、履歴特性、振幅の跳躍現象を求めたものである。これによって薄肉弾性ばりの非線形振動特性が温度変化、初期変形に与わめて敏感であることを確かめ、あわせて理想的な直線ばりに対する一定の減衰定数を用いて求めた理論結果と比較、検討したものである。

2. 実験 (1) 実験装置 図-1に示すような材質ジュラルミン製の両端固定ばり(有効長さ30 cm、幅30 mm、厚さ1 mm、単位体積重量 $\gamma = 2.85 \times 10^3$ g/cm³、ヤング率 $E =$

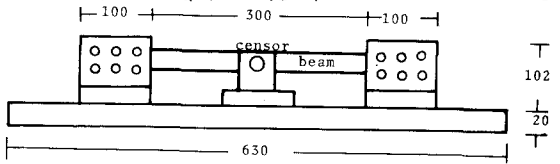


図-1 はりおよび固定装置

置した。図-2および3に示すようなブロックダイアグラムを用いて実験を行った。なお、用いた試験機および計測器は次のとおりである。すなわち、図-2において、(1)RC発振器(菊水電子工業421形)、(2)パワーアンプ(ソニーステレオアンプTA-3140F形)、(3)オーディオ用スピーカー(パイオニア20cmウーファー低音専用)、(4)ダイナミックストレンメーター(共和電業DPM 6E形)、(5)電磁オシログラフ(共和電業RMV-300形)。図-3

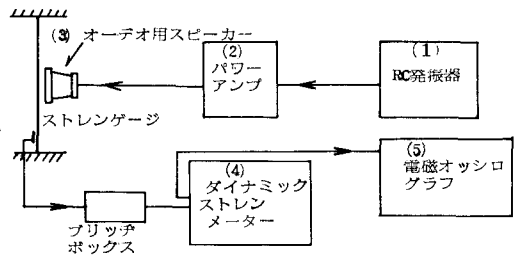


図-2 微小振動実験のブロックダイアグラム

において、(1)振動試験機(正弦波およびランダム用、加振力350 g・国際機械振動研究所VS 320形)、(2)水平テーブル(油圧浮上式スリッパテーブル、100×100 cm)、(3)エレクトロニクカウンター(松下通信工業、VP 434形)、(4)非接触変位計(新日本計器、503F形)、(5)、(6)図-2の(4)および(5)と同じ。

(2) 実験方法 本実験の前に、図-2によって微小振動実験を実施し、線形固有振動数の測定を行い、固定荷の出来具合、試験片の不完全性の検査をした。試験片は定尺のジュラルミンの板から切出し、初期たわみの少ないを

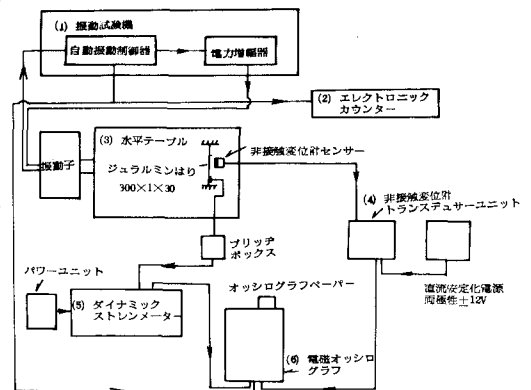


図-3 非線形定常振動実験のブロックダイアグラム

のを選んで、微小振動の振動数を理論値と合致するものを使用した。また、締付け時より 1.5°C の温度上昇があれば、はりは熱座屈し、弾性特性が温度の変化に大きく依存することになった。また、一定出力による音響加振によって、微小振動の減衰定数を算定した。次に図-3のブロック図にしたがって、はりの定常加振実験を行った。加振力を一定にするために、一定の加振速度で慣性力により加振し、10秒から200秒まで 1 degree/min の速度で往復の自動掃引を行い、変位計により相対変位を検出しオシログラフペーパーに入力波形と共に記録した。以上のようにしてえられたはりの動的変位をはりの回転半径で無次元化($A=\frac{y}{r}$)し、また、加振振動数を線形1次固有振動数で無次元化($\omega=\frac{\omega_0}{\omega_n}$)した。加振加速度 $1g$, $2g$ に対する応答を図-4.5に示す。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と、●印は掃引周波数を減少させた場合の実験値を示すものである。実線は対応する理論解よりえられる安定な非線形応答を、一点鎖線は不安定な非線形応答を示すものである。また、点線は非線形項を無視した微小変形理論からえらる応答を示すものである。図中において $\omega=1.0$ 付近に生ずる共振は外力の周波数と同じ周波数の振動が卓越する1次振動の主共振を示す。また、 0.2 付近の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、 0.3 付近の共振は3倍の高調波共振、 0.5 付近の共振は2倍の高調波共振にそれぞれ対応するものである。図-6,7に2倍および3倍の高調波共振の波形の例を示す。図-4.

5において示した矢印は振幅の跳躍現象が生じた位置を示すものである。主共振については加振力の小さな $1g$ の場合には応答振幅が理論値とほぼ合致するが、加振力の大きな $2g$ の場合には振幅の大きい領域でかなり差が生じることがわかる。外力と同位相の振幅が跳躍を起こす位置は応答曲線が閉じる位置付近で生ずるが、 $\epsilon = 0.004$ と計算した理論値が閉じる振幅よりもかなり小さな振幅で跳躍を起こした。これは大振幅振動では減衰の大きさが微小振幅の減衰とは異なることによるものである。なお、下側の振幅の跳躍の位置はほぼ理論解と合致している。図に示すように非線形振動特有の高調波共振が見受けられるが、理論では生じない2倍の高調波共振がかなり成長しているが、これは初期たわみによるものと考えられる。

参考文献 1) 山辺、高橋、河原; 弾性体の非線形振動解析法について、土木学会第31回年次学術講演会 講演要録集 第1部 昭和51年10月, pp.527~538, 2) Bennett, J.A. and Easley, J.G.; A Multiple Degree-of-Freedom Approach to Nonlinear Beam Vibration, AIAA, J. Vol.8, 1970, pp.734~738

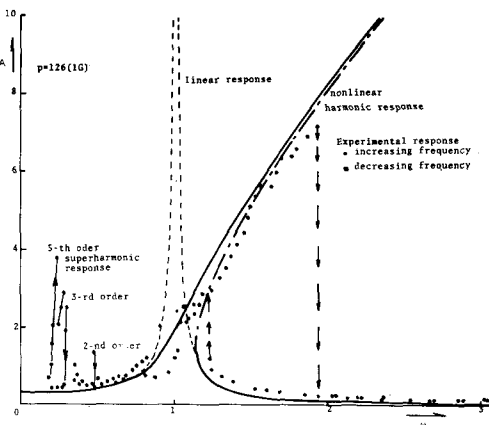


図-4 共振曲線 (起振加速度 1G)

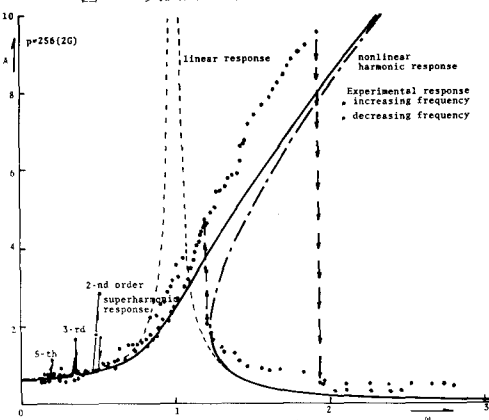
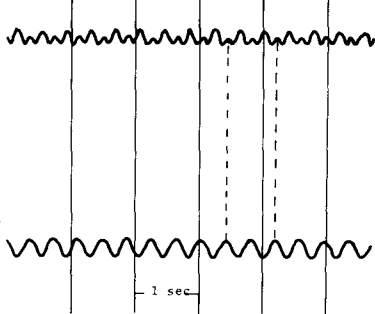
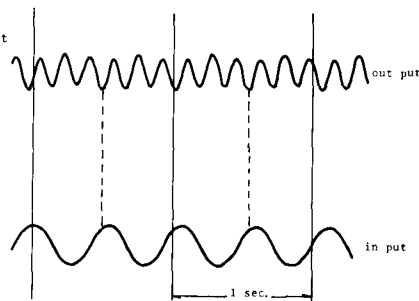


図-5 共振曲線 (起振加速度 2G)



Second-Order Superharmonic Response
($p=128(1G)$, $f=28.9\text{Hz}$)

図-6 2倍の高調波共振



Third-Order Superharmonic Response
($p=128(1G)$, $f=19.1\text{Hz}$)

図-7 3倍の高調波共振

ることがわかる。外力と同位相の振幅が跳躍を起こす位置は応答曲線が閉じる位置付近で生ずるが、 $\epsilon = 0.004$ と計算した理論値が閉じる振幅よりもかなり小さな振幅で跳躍を起こした。これは大振幅振動では減衰の大きさが微小振幅の減衰とは異なることによるものである。なお、下側の振幅の跳躍の位置はほぼ理論解と合致している。図に示すように非線形振動特有の高調波共振が見受けられるが、理論では生じない2倍の高調波共振がかなり成長しているが、これは初期たわみによるものと考えられる。

参考文献 1) 山辺、高橋、河原; 弾性体の非線形振動解析法について、土木学会第31回年次学術講演会 講演要録集 第1部 昭和51年10月, pp.527~538, 2) Bennett, J.A. and Easley, J.G.; A Multiple Degree-of-Freedom Approach to Nonlinear Beam Vibration, AIAA, J. Vol.8, 1970, pp.734~738