

長崎大学工学部 学生員・竹内一博

内田靖夫

正員 高橋和雄

1. 緒言 著者らは、はりの非線形振動に関する実験を行い、両端固定はりの非線形自由振動の振動数と振幅の関係および非線形定常強制振動の主共振、高調波共振、分枝調波共振、振幅の跳躍現象などを明らかにするとともに解析結果との比較を報告した。これより理論計算では見受けられない2次逆対称振動の高調波共振などが生ずることが予測された。そこで本研究はシグナルプロセッサによる非線形振動の波形の処理およびバンドパスフィルターによる2次および3次振動の高調波共振の計測結果を報告するものである。

2. シグナルプロセッサによる非線形振動波形の処理

データレコーダに記録された振動波形のオシログラフィバー上の出力から振幅と周波数の関係を読み取ることは可能である。しかし、出力波形の中に埋れた高調波共振および分枝調波共振を分解することは無理である。そこでデータレコーダに記録された波形の処理を行うために図-1に示すようなフロー

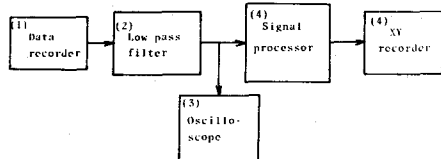
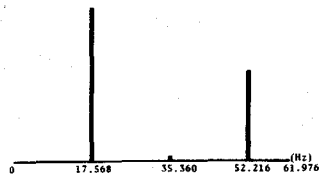


図-1 データ解析のフローチャート

ダイアグラムにしたがって非線形振動に伴う諸現象を分析した。すなわち、非線形定常実験の出力信号に含まれる高調波および分枝調波成分を取り出すためにシグナルプロセッサを用いて出力の時間領域をフーリエ変換によって周波数領域へ変換のうえ、フーリエスペクトルをXYレコーダにプロットした。



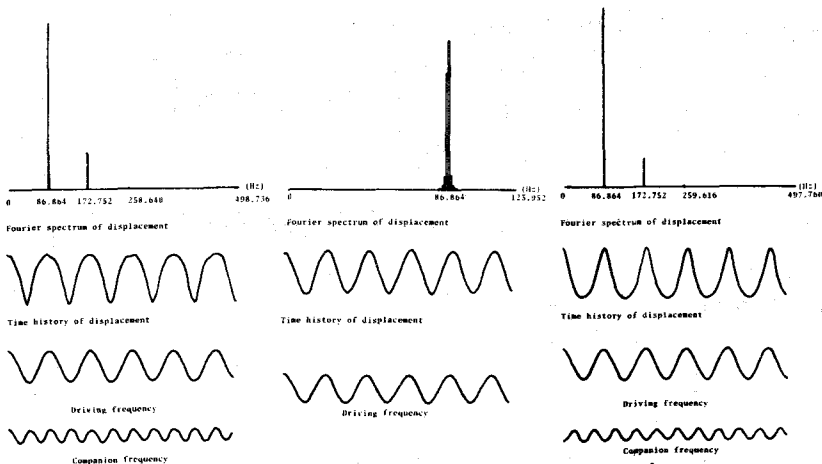
Fourier spectrum of displacement

これより加振周波数と付随する高調波もしくは分枝調波成分の周波数を分離した。また、フーリエスペクトルのピークの周波数を逆フーリエ変換して周波数領域から時間領域に変換した波形をXYレコーダにプロットして各振動成分の位相を求めた。また、データレコーダの記録の同一時刻の1/4, 1/2および3/4の信号を取り出すためにトリガー信号を入れて、同時刻の各点の波形の処理を行い、これによって非線形連成振動の振動形を把握できるようにした。



図-2 3倍の高調波共振

図-2は3倍の高調波共振の解析例である。図中において下段は応答の原波形を示し、上段のヒストグラムは応答のフーリエスペクトルを示すものである。フーリエスペクトルの横軸は周波数、縦軸は振幅である。低い方の周波数が加振周波数に高い方の周波数が付随する高調波共振の周波数に対応するものである。



(a) 1点 (b) 1点 (c) 1点

図-3 振幅比A=8におけるはりの各点の応答およびそのフーリエスペクトル

52.2 Hzは両端固定はりの1次対称振動の線形固有振動数に一致するものである。

非線形自由振動や非線形定常強制振動の主共振の大きいところで、1次対称振動の基本波に他の自由度の振動が達成することと報告したが、この現象を明らかにするために振幅比 $A=8$ に対するはりの $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ および $\frac{3}{4}$ の各点における解析結果を図-3(a)(b)および(c)に示す。(b)に示すようににはりの中央点は正弦振動しているが、(a)および(c)に示すように $\frac{1}{4}$ および $\frac{3}{4}$ 点の変位の時間的変動は非対称な波形を持ち、フーリエスペクトルのように2倍の高調波が生じている。この2倍の高調波共振の位相は $\frac{1}{4}$ と $\frac{3}{4}$ 点で逆でかつ中央点ではこの高調波成分の振幅はゼロであるために2倍の高調波共振の空間関数ははりの中央に対して逆対称である2次逆対称振動であることが確認される。この1次対称振動の基本波と達成する2次逆対称振動の2倍の高調波共振は各実験において必ず現われ、振幅比 $A=6$ 程度から大きくなり振幅が跳躍を生ずるまで続くものである。なお、揚引実験の際に振動台の水平テーブルの水平、鉛直方向加速度をデータレコーダに記録して解析したところ、水平テーブルは30.5 Hz付近で最大0.28程度の鉛直振動を伴うことが明らかにされた。鉛直振動の顕著な周波数領域において水平振動の加速度の乱れは見受けられず、外力の時間関数は正弦波であることが確認された。

3. 2次逆対称振動および3次対称振動の高調波共振の実験

2次および3次振動の応答を1次振動と分離するために、図-4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。変位計センサーより検出したはりの動的応答をハイパスフィルターに入れて1次振動の振動成分をカットして2次および3次振動成分のみを取り出し、これらを直流増幅器に入れて増幅し、原波形とともにデータレコーダに記録した。また、原波形とカットした波形をオシロスコープに入れて、これらの振動の

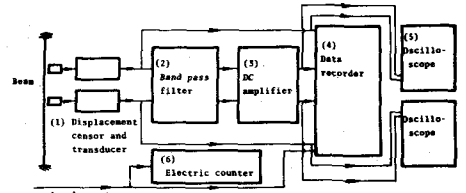


図-4 2次および3次振動の高調波共振の実験のブロックダイアグラム

次数、振幅の大きさおよび共振の継続時間をモニターした。えられた結果をデータレコーダを用いて再生し、応答の波形をオシログラフペーパー上に出力した。えられた3次および2次振動の高調波共振の一覧表をよせば表-1, 2に示すとおりである。表-2の2次振動については1次の主共振と達成する2倍の高調波共振の他にもかなり多くの次数の高調波共振が現われている。このうち2および3倍の高調波共振の生ずる領域はかなり広く、定常的に生ずるものである。4倍以上の高調波共振の生ずる領域は狭く過渡的に生ずるものである。2次振動の2倍および5倍の高調波共振の波形を示せば図-5(a), (b)のとおりである。3次振動の高調波共振については表-2に示すようにすべての次数が見つかった。2

表-1 3次振動の高調波共振
Summary of filtered superharmonic responses of the third symmetric mode

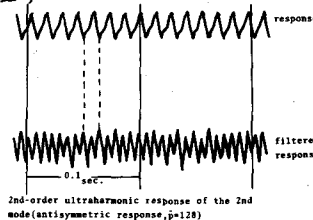
order of superharmonics		ω
6	up	1.03
	down	1.06
5	up	1.44
	down	1.44
4	up	2.29-2.39
	down	2.39-2.27

表-2 2次振動の高調波共振

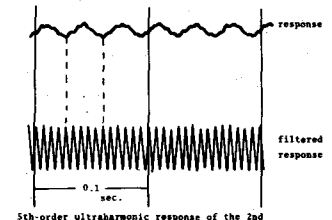
Summary of filtered superharmonic responses of the second antisymmetric mode

order of superharmonic		ω
6	up	0.46
	down	0.45
5	up	0.53
	down	0.55
4	up	0.67
	down	0.71
3	up	0.94-0.95
	down	1.02-0.97
2	up	1.29-1.92
	down	1.30-1.26
1	up	2.50-2.56
	down	2.73-2.67

る。このうち2および3倍の高調波共振の生ずる領域はかなり広く、定常的に生ずるものである。4倍以上の高調波共振の生ずる領域は狭く過渡的に生ずるものである。2次振動の2倍および5倍の高調波共振の波形を示せば図-5(a), (b)のとおりである。3次振動の高調波共振については表-2に示すようにすべての次数が見つかった。2



(a) 2倍



(b) 5倍

図-5 2次逆対称振動の高調波共振の波形

これらの現象についてはさらに実験を重ねる予定である。最後に本研究を行うにあたり鹿児島大学工学部海洋土木工学科および三菱重工長崎研究所振動研究室のお世話になったことに謝意を表します。

参考文献) 高橋・柿山・竹内: 長崎大学工学部研究報告, 第11号, 1978, pp. 73~80