ローラチェーンの非線形強制パラメトリック共振*
(第3報, 1/3次分数調波・パラメトリック結合共振の実験—その1)

末岡 淳 男**, 近藤 孝 広**
田村 英 之**, 古川 知 良***

Nonlinear Response of a Roller Chain to Combined Forcing
and Parametric Excitations
(3rd Report, Experiment of 1/3-Harmonic and Parametric
Combination Resonance—No. 1)

by Atsuo SUEOKA, Takahiro KONDOU,
Hideyuki TAMURA, and Tomoyoshi FURUKAWA

This paper reports on a comparison of the experimental and the analytical results of the 1/3-harmonic and parametric combination resonance in a chain system, treated in a previous report. First, the frictional characteristics of the 1/3-harmonic vibration without parametric excitation are investigated experimentally and analytically, and a representative frictional coefficient is determined. Then, the influences of a phase angle between the forced displacement and the prescribed tension fluctuation, and the level of the tension fluctuation upon the 1/3-harmonic and parametric combination resonance are examined using a chain with comparatively large friction. The characteristics of the combination resonances and the 1/3-harmonic vibration are also compared with each other. A fine agreement between experimental and analytical results was confirmed.

Key Words: Vibration, Nonlinear Vibration, Combined Forcing and Parametric Excitations, 1/3-Harmonic Vibration, Roller Chain, Friction in Chain System, Multi-Degree-of-Freedom System

1. 緒 言

著者らは、前報⁽¹⁾において、長手方向張力変動と下端での横方向強制変位とが同時に作用する垂直に張られたローラチェーン系の、対称波形を有する 1/3 次分数調波・パラメトリック結合共振（以下結合共振と呼ぶ）の振動特性を、チェーンの振動中の伸びを考慮し、多自由度系として解析した。

本報では、まず、チェーン系に働く摩擦特性を、単なる強制系の 1/3 次分数調波振動について実験的および解析的に考察し、チェーンに働く摩擦の特徴を最もよく表していると思われる摩擦特性を定め、市販のチェーンに対して、その摩擦係数の値を決定した。次に、単なる強制系の 1/3 次分数調波振動と結合共振の振動特性を実験で比較するとともに、結合共振への主なパラメータの影響を実験で調べた。その結果、結合共振の振動特性は、単なる強制系の 1/3 次分数調波振動の安定分枝が位相の異なる 2 種類の分枝に分離し、強制系に比べ、2 倍の安定共振解を有することや、これらの様相は、強制変位と与えられた張力変動の間の位相

差や張力変動量によって変化することが実験的に明らかになった。また、本報で決定された摩擦係数を使った結合共振の計算結果⁽¹⁾と実験結果を比較したところ、両者はよい一致を示し、解析の有効性を確かめることができた。

記 号⁽¹⁾

A : 下端横方向強制変位振幅
 E_d : チェーン系の単位ひずみ当たりの縦弾性係数
 h_1, h_2, h_3 : 摩擦係数
 K : リンク形状パラメータ
 m : ピッチ当たりの質量
 N : リンク総数
 $p = (\text{チェーンの自重}) / 2T_m$
 P : ピッチ長さ
 $\bar{R}_k = (k \text{ 番めローラの最大両振幅}) / 2A$
 t : 時間
 T_m : 上下端平均初期張力
 y_k : k 番めローラの横変位
 $Y_k = y_k / A$
 δT : 初期張力からの振動中の張力増加量
 ΔT : 与えられた張力変動振幅
 $\Delta T_1(\Delta T_2)$: δT の最小 (大) 値 / T_m

* 昭和 61 年 4 月 3 日 第 63 期通常総会講演会において講演、原稿受付 昭和 60 年 9 月 26 日。

** 正員、九州大学工学部 (〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1)。

*** 学生員、九州大学大学院。

$$\varepsilon = \Delta T / T_m$$

$$\lambda = (E_d / T_m)(A / PN)^2$$

ϕ : 強制変位と与えられた張力変動の間の位相差

$$\tau = \omega t$$

$$\Omega = \omega / \omega_0$$

ω : 強制変位の円振動数

$$\omega_0 = (\pi / N) \sqrt{T_m / Pm}$$

2. 摩擦特性

チェーンには一般に、前報⁽¹⁾で述べた h_1, h_2 および h_3 に相当する摩擦が複合的に作用していると思われるが、その各々の寄与率を明らかにすることは不可能である。それゆえ本報では、小さい摩擦と比較的大きな摩擦をもつチェーンの摩擦特性のいずれをもよく表現しう一つの摩擦係数により代表させる。

まず、摩擦の小さいチェーン(チェーン#2)⁽²⁾を用いて、パラメトリック励振のない単なる強制系に対する対称波形の1/3次分数調波振動の振動波形から摩擦特性を実験で調べる。図1(a)に表された実験結果は、チェーン#2のパラメータ $N=40, \lambda=0.00642, p=0.126, K=0.961, \varepsilon=0$ に対する1/3次分数調波振動のスパン中央 $k=20$ のローラの振動特性である。横軸は振動数比 Ω 、縦軸は $\bar{R}_{20}$ である。実験値△印、○印がそれぞれ前報⁽¹⁾の図3(a)の対称波形のA, C分枝に相当し、実験値●印は非対称波形の1/3次分数調波振動である⁽⁴⁾。図1(b)は、比較的高い振動数比 $\Omega=6.4$ (26.2 Hz) でのA, Cおよび非対称波形の1/3次分数調波振動に対応した1秒間の実験振動波形である。上段より、振動中の張力変動(δT)、20, 10番めローラ変位(y_{20}, y_{10})および下端の強制変位(y_0)

を表す。張力変動 δT の下側に引かれた線分 T_m は初期張力の位置を示し、上方が張力の正方向である。

はじめに、A, Cの内、基本波を多く含む、それゆえ、1/3次分数調波と基本波との位相関係が振動波形

(a) 振幅特性 ($\varepsilon=0$)

(b) 実験振動波形 ($\Omega=6.4$)

(c) 理論振動波形 ($\Omega=6.4$)

図1 強制系の振動特性

に明白に現れる図1(b)のCの波形に注目する。図1(c)の(1), (2)および(3)は、それぞれ h_1 , h_2 および h_3 のみを適当な値にし、他を零としたときの、図1(a)の実験パラメータで振動数比 $Q=6.4$ のときの理論波形である。その表示形式は、図1(b)に準ずる。張力変動および20, 10番めのローラ変位波形から、 h_1 の効果は h_2 , h_3 の効果および実験結果と異なっており、 h_1 は少なくとも1/3次分数調波振動の摩擦特性を表すには適当でないことがわかる。それゆえ、以後 h_1 は考察の対象から除く。図1(c)の(4), (5)は図1(b)のAに対応した理論波形で、(4)が h_2 , (5)が h_3 を用いた場合である。 h_2 , h_3 の効果はほとんど同じで、A, C波形とも実験結果とよい一致を示している。

次に、チェーン#2に比べて摩擦が大きく、また、本報の結合共振の実験で用いられた市販のチェーン(チェーン#1)⁽²⁾に対して次のように h_2 と h_3 を定めた。すなわち、実験では、初期張力 T_m でチェーンに減衰自由振動をさせて、そのスパン中央ローラの減衰振動波形から一自由度系に換算した粘性減衰比を振幅の関数として推定した。その際、振幅が大きいくほど、みかけ上の周期が短いという典型的な漸硬ばね系の性質が認められたので、理論的には、振動中のチェーンの伸びを考慮した非線形自由振動を、上記の減衰自由振動の実験の振幅範囲とほぼ合わせた初期変位からRunge-Kutta-Gill法やハミング法で数値シミュレーションし、スパン中央ローラ変位の減少率から h_2 または h_3 の値と粘性減衰比の関係を求めた。しかし、 h_3 を用いた場合、摩擦が大きくなるにつれ、この数値シミュレーションに困難を生じ、極めて小さな時間きざみで計算しないと解が発散するという不自然さがあった。 h_2 に対してはそのような数値計算上の困難はなかった。それゆえ、本報では一応、摩擦係数として h_2 を採用することにし、実験、解析両者の関係などから、本報の結合共振の実験の平均的振幅に対して、 $h_2=0.045$ と定めた(もし仮に h_3 を採用したとすれば、ほぼ $h_3=1.8$ がそれに対応する)。実験結果から、減衰比の値は振幅が小さくなるにつれてわずかながら大きくなる傾向がみられた。また、計算結果も定性的にはそれに対応して、 $h_2=$ 一定での振幅-粘性減衰比の関係は、振幅が小さくなるにつれて粘性減衰比は大きくなった。この傾向は $h_3=$ 一定とした場合も同様である。なお、チェーン#2に対しても同様の方法で h_2 を推定し、 $h_2=0.016$ とした($h_3=0.42$ が対応する)。図1(a)の実線はその値を用いたときの計算結果であるが、詳細はチェーン#2に対する実験結果を扱う後報

で述べる。

一定スパンで $N \rightarrow \infty$, $P \rightarrow 0$, $kP \rightarrow x$ および $y_k \rightarrow y(x, t)$ の極限では、 h_1 は $\partial y / \partial t$, h_2 は $-\partial^3 y / \partial x^2 \partial t$, h_3 は $P^2 \partial^5 y / \partial x^4 \partial t (\rightarrow 0)$ の比例定数であり⁽⁹⁾、チェーンを弦とみなしたとき、 h_2 の項は、高次モードの振動ほど摩擦の効果が大きくなる内部減衰⁽⁶⁾を表すものと解釈される。また、 h_3 は、曲げ剛性のあるはりの内部減衰を表すのに用いられるが⁽⁶⁾⁽⁷⁾、この極限では零に近づいてゆき、同じ摩擦の効果を表すのに、 h_3 は h_2 よりかなり大きな値を必要とする。

次章で h_2 と h_3 の強制系の振動特性への影響の相違を実験、解析両面から検討し、結合共振特性の実験結果と h_2 を用いた計算結果を比較する。

3. 実験結果

実験装置は前報⁽²⁾と同じであるが、タイミングベルトを用いて下端強制変位と与えられた張力変動の振動数比を3:2としている。使用したチェーン#1はJIS No. 50 ($P=15.88$ mm, $m=0.0164$ kg, $K=0.961$)である。実験では $N=40$, $A=0.74$ mm, $T_m=27.7$ Nとした。チェーン系の等価な縦方向ばね定数(E_d')の測定法およびデータの整理法は前報⁽²⁾と同様である。ただし、前報⁽¹⁾の解析では、振幅特性の k 番めローラの振幅を1/3次分数調波と基本波の二乗和の平方根 R_k で表示したが、本報では便宜上、両振幅の最大値を強制変位振幅の2倍で除した $\bar{R}_k$ で実験結果を表示する。本報の実験で N , K および h_2 以外の共通な無次元パラメータの値は $\lambda=0.0131$, $p=0.116$ である。

なお、以下のチェーン#1の実験結果とともに示される計算結果は、前報⁽¹⁾の安定判別法に従って、安定と判定された分枝のみに限る。

(1) 図2は強制系($\epsilon=0$)に対する1/3次分数調波振動の実験結果を示したもので、(a)は $k=10$ および20におけるローラの振幅特性、(b)は張力変動特性である。図中、▲印が実験値(×印は高次モードの調和振動：以下同様)である。実験データは、適当な振動数でチェーンに軽く衝撃を与えるなどして1/3次分数調波振動を発生させ、以後、振動数を徐々に下げていく過程で得られた。(c)はそのときのリニアコーダで記録された振動数27 Hz ($Q=6$)での図1(b)と同形式で表示された実験波形である。

図2(a)のパラメータで、摩擦係数のみすべて零とすると、対称波形の1/3次分数調波振動には2種類の安定分枝A, Cが存在するが⁽³⁾、その2種類の分枝は、図1(a)の摩擦の小さいチェーン#2にみられるA, C分枝にそれぞれ対応している。図2(a)の他のパラ

メータは不変として、摩擦係数 h_2 のみ零から 0.045 まで徐々に増加させて計算すると、C 分枝は、図 2 (a) の範囲内には存在しなくなるが、基本波成分をほとんど含まない A 分枝は、図 2 (a), (b) 中の実線 A で示されているように、広範囲に存在している。図 2 (d) の (1) は $\Omega=6$ でこの A 分枝の理論波形である。1/3 次分数調波振動の振幅特性、張力変動特性の実験結果と計算結果は比較的よい一致を示している。また実験波形と理論波形も非常によく類似している。

一方、図 2 (a) のパラメータで $h_2=0$ とし、他は不変として、摩擦係数 h_3 のみを零から、 $h_2=0.045$ とほぼ同等の効果を有する $h_3=1.8$ まで徐々に増加させて計算すると、その過程で A 分枝の存在域は高振動数側に去り、基本波を多く含む C 分枝も、 $\Omega \leq 6$ には存在しなくなる。 $h_3=1.5$ と少し小さい場合には、 $\Omega \leq 6$ に C 分枝の安定解が存在するが A 分枝は存在しない。そのときの $\Omega=6$ での C 分枝の理論波形を図 2 (d) の (2) に示す。この波形は、基本波成分を多く含んでおり、図 2 (c) の実験波形との一致性が極めて悪い。

このように、 $h_3=1.8$ を用いた場合は、 $h_2=0.045$ を用いた場合と異なり、理論的には、図 2 (a), (b) の範囲内には 1/3 次分数調波振動は存在せず、実験結

果の存在域との対応がとれないうえ、より小さい摩擦で存在可能な安定分枝 C の理論波形も実験波形との対応性に乏しいことが明らかになった。この点からも摩擦係数として h_2 が適当と考えられる。

ところで、もし、 $h_2 > 0.05$ を用いて計算すれば、図 2 (a), (b) の範囲内では A 分枝をも存在しなくなり、摩擦の 1/3 次分数調波振動の存在域への影響は極めて顕著である。このことを考慮すれば、理論計算から求まる 1/3 次分数調波振動の存在域は、実験と非常によく一致しているといえよう。

(2) 次に、強制変位と与えられた張力変動間の位相差 ϕ による結合共振特性の変化を調べる。 ϕ は強制変位 $y_0 = A \cos(\omega t - \phi)$ 、張力変動 $\Delta T \cos(2\omega/3)t$ のように定義され、 $-\pi \leq \phi \leq \pi$ をとりうるが、摩擦が小さいときには $-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$ を考えれば十分であることを考慮し、本報では、前報⁽¹⁾の解析の有効性を確かめる目的で、特徴的な振動特性を示すと思われる $\phi = 45, 0, -45^\circ$ の 3 種類の位相差について実験を行

(a) 振幅特性 ($\epsilon=0$)

(b) 張力変動特性

(c) 実験振動波形 ($\Omega=6$) (1) $h_2=0.045$ (2) $h_3=1.5$ (d) 理論振動特性 ($\Omega=6$)

図 2 強制系の振動特性

い計算結果と比較する。

図3は $\varepsilon=0.41$, $\phi=45^\circ$ の結合共振の実験結果である。(a), (b)は各々 $k=20, 10$ のローラの振幅特性, (c)は張力変動特性である。 $\triangle$, $\blacktriangle$ 印は各々図中のA, B分枝に対応した実験値で, 実線はそれらの計算結果を表す(以後同様)。

実験は, まず, 振動数を $\Omega \cong 2.5$ から徐々に上昇させ, 自然に発生する結合共振(実験値: $\triangle$, 理論値:A)を観察した。次に, 適当な振動数でチェーンに軽く衝撃を加えて, 振動数の上昇過程で発生した種類とは異なる結合共振(実験値: $\blacktriangle$, 理論値:B)を発生させ, 振動数を徐々に下げた。 $\Omega \cong 3.2$ でBからAへの跳躍がみられた。図中の矢印はその跳躍の方向を示す。振動が極めて激しいため, 実験範囲を $\Omega=2.5 \sim 6.5$

(a) 振幅特性 ($\varepsilon=0.41$, $\phi=45^\circ$)

(b) 振幅特性

(c) 張力変動特性

(11~29 Hz)に限った。このA, B分枝は, 図2(a), (b)の1/3次分数調波振動Aが, パラメトリック励振のため位相を異にする二つの種類に分離したものと考えられる。(d)はA, B分枝の $\Omega=6$ における実験波形を示す。前報⁽¹⁾の図4(d)に示した理論波形と比較して, 振動中の張力の初期張力からの浮き上がりは, すそをもたないB分枝のほうが大きいことや, 振幅波形など比較的よい一致がみられる。図2(b)と図3(c)の比較から, 張力変動量の最大値は強制系のほうが大きいこともわかる。

(3) 図4は $\varepsilon=0.41$, $\phi=0^\circ$ での図3と同様の結果である(ただし, 張力変動特性は省略した)。 ϕ の変化によって振幅特性も若干変化している。(a)の $\Omega=4.4$ 近傍にみられる局所的な振幅のわずかな減少は, 基本波と1/3次分数調波の位相差に起因するものであるが, 実験結果には明らかには現れていない。

図4(a), (b)のA, B分枝は, それぞれ図3(a), (b)のA, B分枝から, 他のパラメータを不変として, ϕ のみ 45° から 0° まで徐々に変化させていくと計算上得られるもので, 図3, 4での各A, Bは同種の分枝と解釈できる。(c), (d)の実験, 理論波形にはよい一致がみられる。

(4) 図5は $\varepsilon=0.41$, $\phi=-45^\circ$ での図4と同様の結果である。 ϕ が 0° から -45° まで変化すると, 結合共振の様相は急変する。すなわち, 図3, 4でみられた2種類の共振がともに大きな振幅になるのとは異なり, 図5ではB分枝(実験値: $\blacktriangle$)が Ω の低いほうからすそをもち, しかも大きな振幅まで成長せず, 理論的には $\Omega \cong 3.8$, 実験的には $\Omega \cong 3.3$ までしか存在していない。図5のA分枝はすそをもたず, A $\rightarrow$ Bへの

(d) 実験振動波形 ($\Omega=6$)

図3 結合励振系の振動特性

(a) 振幅特性 ($\epsilon=0.41, \phi=0^\circ$) (a) 振幅特性 ($\epsilon=0.41, \phi=-45^\circ$)

(b) 振幅特性

(b) 振幅特性

(c) 実験振動波形 ($Q=6$)

(c) 実験振動波形

(d) 理論振動波形 ($Q=6$)

(d) 理論振動波形

図4 結合励振系の振動特性

図5 結合励振系の振動特性

図6 位相差 ϕ による各分枝間接続様相の変化 (a) 振幅特性 ($\varepsilon=0.08, \phi=0^\circ$) (b) 実験振動波形 ($Q=6$) (c) 理論振動波形 ($Q=6$)

図7 結合励振系の振動特性

跳躍がみられ、しかも、大きな振幅を有している。図2(a)の強制系のA分枝や図5(a)の結合共振系の

B分枝では、 h_2 として計算に用いた0.045よりもわずかに大きな値をとると、両者とも存在域に対する実験結果と計算結果のよりよい一致が得られるようである。

計算の結果、図4(a), (b)のA, B分枝から、他のパラメータを不変として ϕ のみ 0° から -45° に変化させると、 $\Omega \cong 3$ 付近でのA, B分枝の接続様相が変わるある特別な ϕ の値が存在することが明らかになった。図6に、 R_{20} と Ω の関係を、A, B分枝と一つの不安定分枝H($\phi=0^\circ$ でB分枝と接続している不安定分枝で破線で示されている)による概略図で示す。まず、 $\phi=0^\circ \rightarrow -10^\circ$ では、(a)→(b)のように変化する。すなわち、安定分枝A(A_1A_2)と安定分枝B(PB_2)とは分岐点P(Bifurcation point)をもち、 ϕ がさらに減少すると、 A_1PA_2 (A分枝)と B_2PH_2 (B, H分枝)は分岐点から接続分枝が変化し、 A_1PB_2 と A_2PH_2 のように分離し始める。(b)の状態近傍での ϕ による変化は急激なものとなっている。また、 $\phi \cong -10^\circ$ では分枝 PBB_2 , PHH_2 は振幅の大きいほうまで連続的に存在していたが、 $\phi \cong -18^\circ$ では B_2 と H_2 が接続され、(c)に示すように一つは振幅の小さいところで $B_1BB_2H_2HAA_2$ の接続となり、振幅の大きいところでは B_3 と H_3 で半島形状の定常解を形成する。すなわち、(b)のB, H分枝がくびれて二つに分離する。 ϕ が $-20^\circ \sim -30^\circ$ で、 B_1B_2H 分枝は最小振動数で最小極大値をもつようになる。その後、 ϕ の減少に伴いその極大値は大きくなり、その位置は高振動数側に移り、(d)のような状況に変わってくる。また、そのとき、 B_3H_3 分枝は上方に急速に後退していく。 ϕ が -45° よりさらに減少すると、B分枝の極大点が右上側に移動し、(d)のA, B分枝はちょうど(a)のAとBを逆にしたような状態へと変化していく。このように、 ϕ の変化により各分枝間の接続様相が変わってくる。

(5) 最後に、与えられた張力変動量の変化が及ぼす結合共振特性への影響を、 $\phi=0^\circ$ を例にとりて調べる。図7は $\varepsilon=0.08, \phi=0^\circ$ での図4と同様の結果であ

る。図4の $\varepsilon=0.41$, $\phi=0^\circ$ の結果との比較から、 ε が小さくなると、図4ですそをもっていたA分枝が振幅の小さい所からくびれ、図7に見られるように、一つは $\Omega=2.5\sim 4$ の小さな振動(実験値: $\times$)と、他の一つはすそをもたず孤立して存在するA分枝とに分離する。また、図4のB分枝も、存在域がずっと高振動数および高振幅側に移動し、孤立して存在するようになる(A, B分枝はそれぞれ一つの不安定分枝と結合して半島形状の定常解を形成している)。A, B分枝両者の振動波形は張力変動の初期張力からの浮き上がりのほかは、ほとんど区別ができないが、実験波形と理論波形はよい一致を示していると思われる。

(6) 以上の結果から、 ϕ の変化によって結合共振特性は変化するものの、一般にいて、図2の強制系で存在していた1/3次分数調波振動が、パラメトリック励振のために、主に位相を異にする二つの定常解に分離し、その一つがすそをもつようになったものと考えられる⁽¹⁾。もし、パラメトリック励振の影響が小さいと、その二つの解はともにすそをもたず、強制系のときのように孤立して存在する。

(7) 本報では、 h_2 を用いて $\varepsilon \neq 0$ の結合共振の振動特性を計算した。その結果、結合共振の存在域およびパラメータ ϕ や ε の変化による振動特性への影響を十分な精度で予測し、実験結果とのよい対応を得ることができた。このことから、チェーン系に働く摩擦を表現するには、 h_2 が最も適当と考えられる。

(8) 本報で用いたチェーン#1の実験では、非対称波形の結合共振⁽¹⁾や解析結果に対応しない対称波形の結合共振の発生は全く認められない。チェーン#1とチェーン#2の実験結果の比較から、非対称波形の結合共振が発生するためには摩擦が小さいことが必要である〔図1(a), 図2(a)参照〕。

(9) 前報⁽¹⁾の安定判別法に従って、定常解の安定

性を調べたが、実験で発生したものはすべて安定分枝に対応しており、安定判別にはなんら問題を生じることなく、精度よく行うことができた。

4. 結 言

前報⁽¹⁾で解析したローラチェーン系の1/3次分数調波・パラメトリック結合共振の振動特性を確かめるために、本報では、摩擦の比較的大きなチェーンを使って実験を行った。以下のようにまとめられる。

(1) チェーン系に働く摩擦特性を、パラメトリック励振のない単なる強制系に対して実験・解析両面から検討し、代表的な摩擦係数 h_2 を決定した。

(2) 強制系の1/3次分数調波振動と1/3次分数調波・パラメトリック結合共振の振動特性を実験で比較するとともに、1/3次分数調波・パラメトリック結合共振への、強制変位と与えられた張力変動の間の位相差および与えられた張力変動量の影響を実験で詳細に調べた。

(3) 決定された摩擦係数を用いた計算結果と実験結果を比較したところ、両者はよい一致を示した。

(4) 位相差 ϕ の変化による各分枝間の接続様相の変化を計算で調べた。

なお、本研究は昭59, 60年度文部省科学研究助成金、一般研究(C)の補助を受けて行った。関係各位に謝意を表する。

文 献

- (1) 末岡・ほか3名, 本論文集の2044ページ。
- (2) 末岡・ほか4名, 機論, 51-465, C (昭60), 912。
- (3) 清水・末岡, 機論, 42-356 (昭51), 1096。
- (4) 末岡・田村, 機論, 46-410, C (昭55), 1217。
- (5) Shimizu, H., ほか3名, *Theoretical Appl. Mech.*, 21 (Proc. 21st Jpn. Natl. Cong. Appl. Mech.), (1971), 43。
- (6) 関口・菅原, 機論, 28-194 (昭37), 1240。
- (7) 谷口編, 振動工学ハンドブック, (昭51), 491, 養賢堂。

討 論

〔質問〕 矢野 澄雄 (神戸大学教育学部)

(1) 図3(a)で実験値($\blacktriangle$ 印と $\triangle$ 印)の大きさが $\Omega=4.4$ 付近で逆転しており、計算からは予測できないが、位相差 ϕ に関連した一つの特徴か。

(2) 図6の様相の変化〔特に図(c)〕は、実験可能な $\Omega < 6.5$ の範囲でもみられうるものか。

〔回答〕 (1) 著者らはこのような強非線形多自由度系の実験としてはやむを得ない誤差と考えてい

る。強いて言えば、三分の一次分数調波成分と基本波成分との相対的位相差に起因するものと思われる。

(2) 本文中にも述べているように、 ϕ の変化によってB₃H₃分枝は上方に急速に後退するので、適当な ϕ が設定できさえすれば $\Omega < 6.5$ で図6(c)のような様相を実験的に観察することは可能と考えるが、本報では、それを確かめる実験は行っていない。