

# 高速道路橋から発生する低周波音の発生機構に関する一考察

## On the Generation Mechanism of Infrasound caused by Highway Bridges.

特殊公害科 白石 英孝 松岡 達郎 小林 良夫\*

### 要 旨

高速道路橋から発生する低周波音について、橋梁上を走行する大型車の車種(トラック、トレーラー、タンク車、ダンプ、バス)及び貨物積載の有無等の車両条件を考慮にいたした実態調査を行った。その結果、橋梁からの低周波音は大型車が走行する際、常に発生するのではなく、車両条件によって発生状況が明確に異なることがわかった。また、従来、発生機構の解析に用いられてきた質点系連成振動モデルに若干の検討を行い、車両のピッチングの影響が無視できないことがわかった。

### 1 はじめに

車両の走行に伴って高速道路橋から発生する低周波音については、すでに多くの調査・研究が行われ、その実態及び走行車両と橋梁振動との関係等について種々の知見が示されている。それらは特定の道路橋を対象とする実態調査<sup>1)</sup>や、車両との関係をみるために実験車両を用いて行われたものが主である。すなわち、前者の調査では個々の通過車両の特性は通常無視されており、後者のそれは特定の試験車両に対する挙動しか把握されない。しかしながら、現実の供用道路では車種や貨物の積載等多くの車両条件が存在するため、これらの調査方法はいずれも現象の一側面をとらえているに過ぎないように思える。したがって、こうした種々の要因を含む実交通流中での車両条件との関連において、低周波音の発生状況を把握することが望ましい。

そこで今回、「低周波空気振動調査事業」(大気保全課)の一環として高速道路橋の低周波音調査を行うに当たり、車両の種類や貨物積載の有無等を一台ずつ特定しながら低周波音の発生状況を調べた結果、発生機構に関する知見が得られたのでこれを報告する。

### 2 測定及び分析方法

マイクロホン・ピックアップ配置及び測定・解析シス

\* 昭和59年10月1日 大気保全課へ転出

テムを図1に示す。

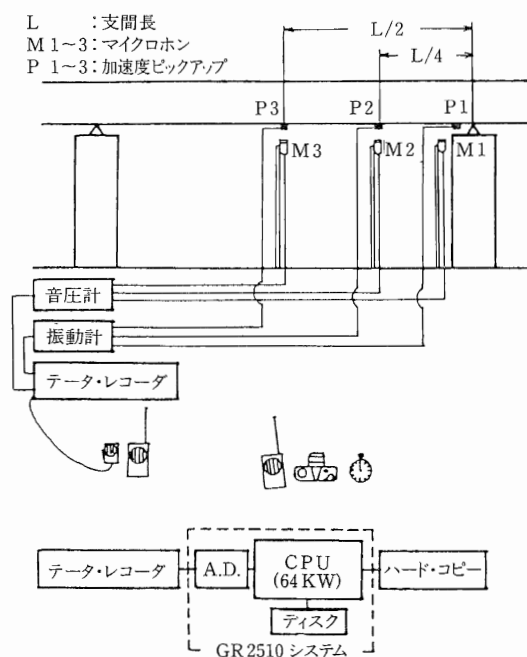


図1 マイクロホン・ピックアップ配置及び測定・解析システム

高速道路橋を単独で走行する大型車を対象に、床版直下の低周波音及び床版振動加速度を測定した。これと同時に橋梁上を見通すことのできる位置から、スト

アップウォッチを用いた対象車両の走行速度の測定と、車種及び貨物積載の有無等を記録するための写真撮影を実施した。

測定対象橋梁は、鋼板ケタ橋 3か所、PCケタ橋 1か所、トラス橋 1か所の合計5か所である。

図2に床版中央部で同時測定された低周波音の音圧波形及び床版振動の加速度波形を示す。低周波音の分析は、図のように、車両進入後の数秒間に優勢な低周波音が観測されることから、主に車両進入直後の4秒間(フレームサイズ1024, 最高分析周波数100Hz)の音圧スペクトラムを求めることとし、スペクトラムの時間変動等を調べる際には適宜分析条件等の変更を行った。また、振動についても必要に応じて同様の分析を行った。

### 3 考 察

#### 3・1 ジョイント通過時及び支間中走行時に発生する低周波音

一般に、橋梁から発生する低周波音は車両のジョイント通過時(以下、「ジョイント音」という。)及び支間中走行時(以下、「支間走行音」という。)に発生し、両者の傾向は異なるといわれている<sup>3)</sup>。すなわち、ジョイント音は車両の進入に伴って主に10数Hz～数10Hz成分が過渡的に現われるのに対して、支間走行音は橋梁走行中に数Hzの成分が連続して発生する傾向にあり、また、ジョイント音の音圧レベルのほうが高いとされている。

こうした両者の傾向を確認するために、ジョイント

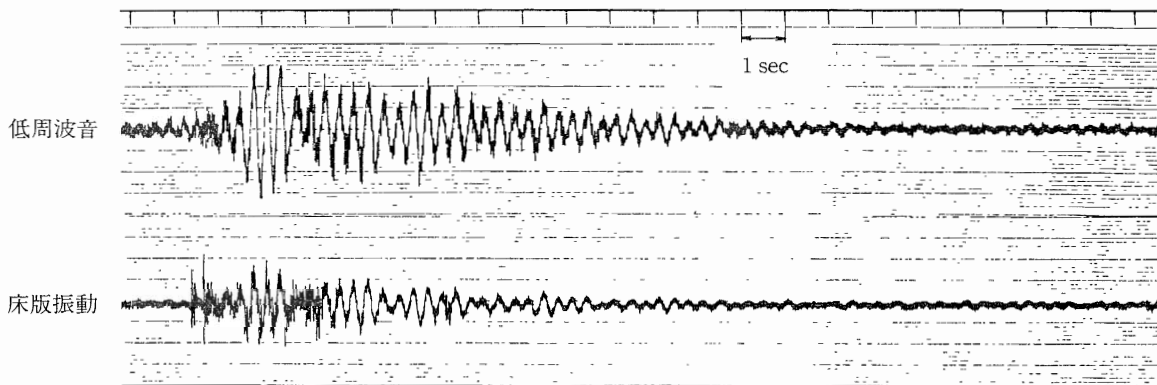


図2 音圧波形及び振動加速度波形

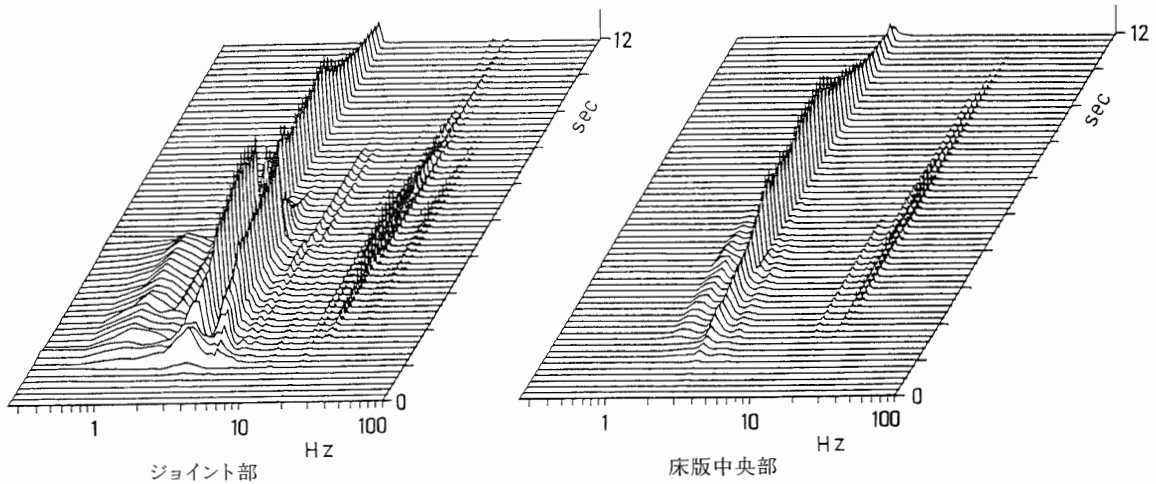


図3 音圧スペクトラムの時間変動

部及び床版中央部の音圧スペクトラムの時間変動を調べた。その一例を図3(前頁)に示す。図からジョイント部、床版中央部とも、車両の進入、支間中走行、通過の間3Hzと20Hz前後の二種類の成分が発生しており、周波数としては各々支間走行音、ジョイント音に対応していることがわかる。しかしながら、20Hz前後の成分は過渡的な発生ではなくて、ほぼ3Hz成分の消長に等しく、また最大音圧にもなっていない。

このような傾向は測定対象橋梁すべてについてみられており、支間走行音では卓越成分の音圧が90~100dBとなっているのに対して、ジョイント部の音圧は概ね80~90dBであった。

以上により「ジョイント音」はその存在及び性質について、被害の実態も含めさらに十分な検討が必要であるように思われる。そこで本稿では、主要な現象である支間走行音を議論の対象とした。

なお、支間走行音が橋梁の床版振動によって発生することはすでに周知となっているが、図2のように床版中央における音圧及び振動加速度の波形はよい対応を示している。また、この場合の床版振動は一次固有

振動が発生しているといわれているが、これについても車両通過後の自由振動部分の周波数分析から、確認することができた。

### 3・2 支間走行音の発生状況

全対象橋梁のうち測定車両数が多く車種等の確認についても比較的良好な条件が得られた鋼板ケタ、支間長53mの橋梁に対して、支間走行音と車両条件との関係についての検討を行った。

図4~6は床版中央直下で観測された支間走行音の音圧スペクトラムを走行車両の車種、積載状況別に分類して示したものである。トラックは車両規模に関する車軸数(2軸：主に最大積載量5トン級、3軸：主に10トン超級)及び貨物積載の有無によって分類し、他の車種(タンク車、バス、トレーラー、ダンプ)については、まとめて示した。

図からトラックについては、2軸及び3軸ともに貨

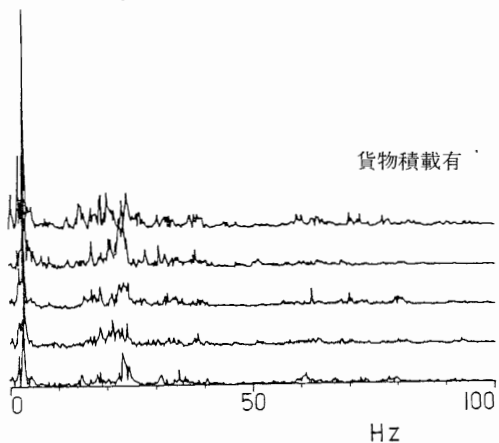


図4 トラック2軸

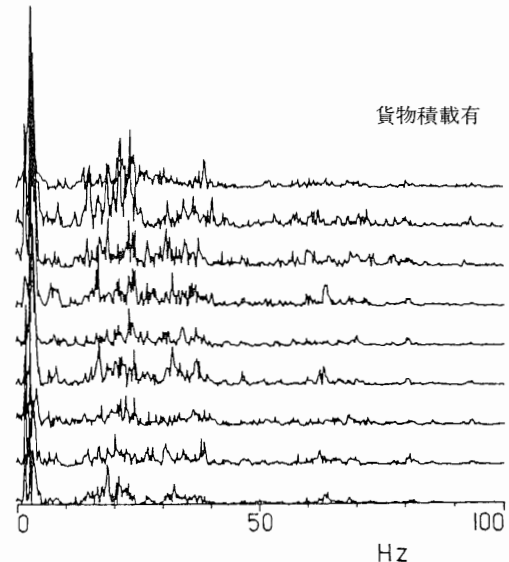


図5 トラック3軸

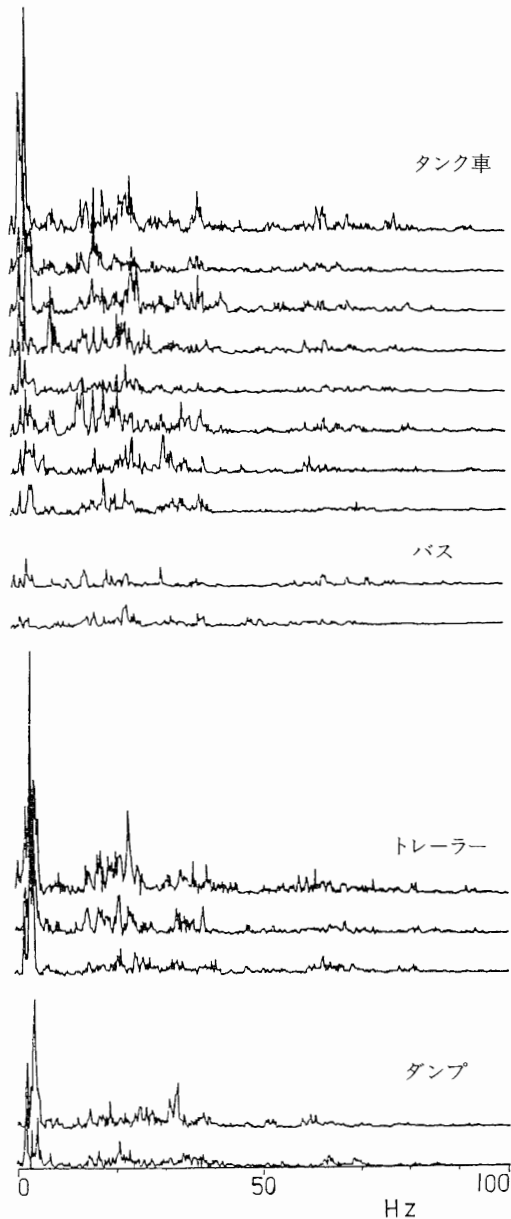


図6 タンク車, バス, トレーラー, ダンプ

物積載の有無によって支間走行音の発生状況が明確に異なっていることがわかる。すなわち、貨物積載車両については、3Hz付近にとりわけ高いエネルギーを有する支間走行音が発生しているのに対して、空車の場合、顕著な支間走行音は発生していない。他の車種については積載状況によって分類できるほどの測定数は得られていないが、タンク車、バスはほとんど発生していない（タンク車8台中7台、積載状況は確認でき

ず、バス2台、満員）のに対し、トレーラーではすべて（3台、貨物積載有）が発生している。また、ダンプ（2台、貨物積載有）については特定の傾向はみられない。

以上の結果から、支間走行音が発生すると考えられる車両条件の大略をまとめると、

① ホイールベースの長い車両（トラック、トレーラー）に発生しやすく、短い車両（タンク車、バス、ダンプ）では発生しにくい。

② トラックでは車両規模によらず、貨物積載の有無で決定する（貨物のある場合に発生しやすい）。となり、大型車の走行によって常に発生するわけではない。また、この条件は、車両重量が大きく関与していないことを示唆する。

### 3・3 支間走行音の発生機構

#### 3・3・1 車両と橋梁との連成振動モデル

前節で示したように、支間走行音の発生状況には車両条件が大きく関与していることから、支間走行音は一般に言われるように、車両と橋梁との連成振動によって発生していると考えられる。

連成振動の解析は、通常図7のような質点系モデルを用いて運動方程式が導かれているが、これは解析解を求めることが困難で、種々の条件を仮定した数値解を求めることが一般的である。この場合、結局は車両のバネ上振動数が橋梁の一次固有振動の発生に大きく関与していることになる。したがって、車種によりバネ定数が大き

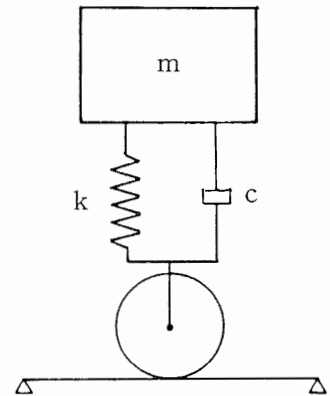


図7 質点系連成振動モデル

く異ならぬとするならば、一次固有振動数はバネ上重量によって決まることになり、特定の重量について発生する傾向があることになる。

車両重量の影響をみるためには、橋梁上を走行する車両の重量と支間走行音あるいは橋梁振動を関連づけて測定する必要がある。しかし、実交通流中では車両重量の測定は困難であるため、ここではそれに代わるものとしてジョイント部を車両が通過する際の衝撃加

速度( $a_i$ )を用い、橋梁振動を代表する床版中央部最大加速度( $a_f$ )との関係について検討を行った。(なお、 $a_i$ は車両の運動量に関係するが、対象車両のジョイント進入速度はほぼ一定であったため、結局 $a_i$ の分布が車両重量の分布に等しいものとみなされる。また、貨物積載時には規模のほぼ等しい車両について、車両重量が、大略、バネ上重量を示すと考えられる。)

図8は橋梁の一次固有振動数に対応する支間走行音が出現した車両に限って、バネ定数が変わらないと思われる車種群(トラック2軸、トラック3軸)ごとに、 $a_i$ と $a_f$ との関係を示したものである。図から $a_f$ の値は特定の $a_i$ の値に支配されていないことが明らかである。

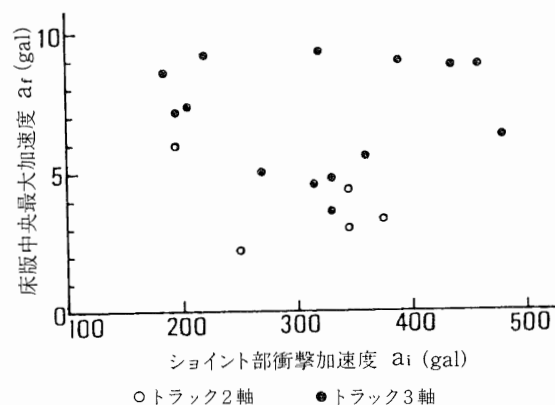


図8 バネ定数が等しいと考えられる車種群についての $a_i$ と $a_f$ の関係

これは特定のバネ上重量によって橋梁の一次固有振動が誘起されていないことを意味する。したがって、図7のような従来のモデルでは、実交通流中の現象を正確に説明し得ない。

### 3.3.2 車両のピッチング

実際の車両のバネ上振動にはバウニング(上下方向振動)、ピッチング(重心まわりの前後方向回転振動)、ローリング等があげられ、図7のモデルは主に車両のバウニングの影響を考慮したものと考えられる。しかしながら、車両はジョイント進入時に前輪に上下方向の反力を受け、さらに後輪の進入によって再度上下方向の反力を受けることから、橋梁上を走行する車両のバネ上振動についてはピッチングを無視できないものになろう。すなわち、剛体としての取扱いが必要となるはずで、たとえば図9のようなモデル<sup>4)</sup>になる。このようなモデルではバウニングとピッチングとが連成する場合と非連成の場合があり、それぞれの固有振動数は次の式で与えられる。

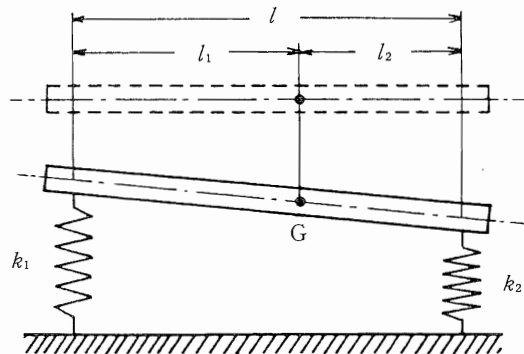


図9 剛体系車両モデル

非連成振動( $k_{x\theta} = 0$ )

バウニング周波数  $\omega_n^{(x)} = \sqrt{k_x/m}$

ピッチング周波数  $\omega_n^{(\theta)} = \sqrt{k_\theta/J}$

連成振動( $k_{x\theta} \neq 0$ )

$$\omega_n^2 = (k_x/m + k_\theta/J) / 2 \pm \sqrt{(k_x/m - k_\theta/J)^2 / 4 + k_{x\theta}^2 / mJ}$$

$m$  : 車体の質量

$J$  : 重心まわりの車体の慣性モーメント

$l_1, l_2$  : 重心と前、後輪軸間の距離

$k_x$  : 全車のバネこわさ ( $= k_1 + k_2$ )

$k_\theta$  : 回転バネこわさ ( $= k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2$ )

$k_{x\theta}$  : 連成項 ( $= k_1 l_1 - k_2 l_2$ )

バウニング及びピッチングの連成、非連成は連成項( $k_{x\theta}$ )によって決まり、この値が小さく無視しうる場合には両者は非連成振動となる。しかしながら、ホイールベースの長いトラック等の車両については、貨物積載の有無あるいは貨物の重量分布等によって重心位置が変化することから、 $k_{x\theta}$ は様々な値をとると考えられ、必ずしも無視しうるとは思われない。したがって、実際の車両のバネ上振動は、主にバウニングとピッチングの連成振動になるものと考えられる。この場合、バネ上振動には重心まわりの車体の慣性モーメント( $J \doteq ml^2/4$ )及び回転バネこわさ( $k_\theta = k_1 l_1^2 + k_2 l_2^2$ )等、ホイールベースや重心位置によって決まる要素が関係することになる。このことから図4、5でみられたようにトラックの場合、橋梁の一次固有振動数に対応する支間走行音の発生状況が貨物積載の有無によって異なるのは、重心位置の変化により連成状態にあるバネ上振動数及び橋梁への加振力が変化したためと考えられる。以上の推論は、次に示すようなホイールベース及

び可載重量の異なるトラック群に関する支間走行音の発生状況の相違についても妥当な解釈を与える。

図10, 11はそれぞれ2軸及び3軸のトラックによって発生した支間走行音について、橋梁の固有振動数に相当する3Hz近傍の卓越成分を含む0~20Hzまでの音圧スペクトラムを示したものであるが、2軸のトラックでは卓越成分がすべて3Hzであり、橋梁の固有振動数と一致する傾向があるのに対して、3軸のトラックでは卓越成分に3Hzを中心とする明瞭なばらつきがみられている。これは先の推論によれば、2軸のトラックでは車軸間距離が短く連成振動の周波数のとりうる値が制限されるのに対して、3軸のトラックでは比較的広い範囲の値をとることができるためということになる。

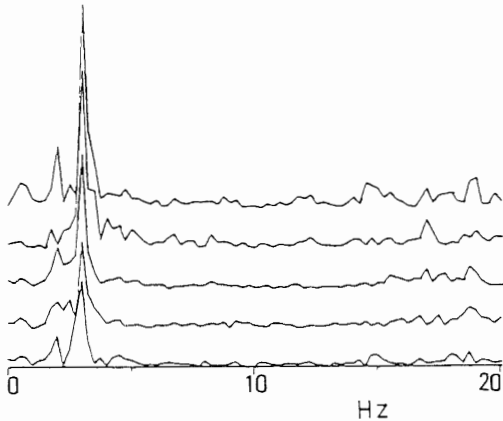


図10 トラック2軸 貨物積載有

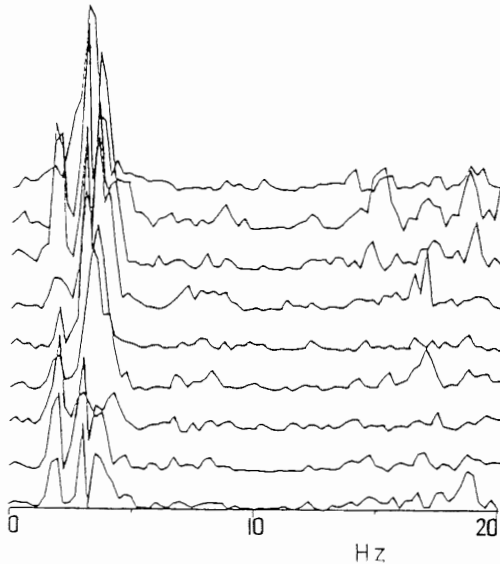


図11 トラック3軸 貨物積載有

#### 4 おわりに

高速道路橋から発生する低周波音について、橋梁上を単独で走行する大型車の車両条件(車種、貨物積載の有無等)を考慮にいたした実態調査を行った結果、低周波音は大型車の走行によって常に発生しているわけではなく、ホイールベースや貨物積載の有無等によって発生状況が明確に異なることがわかった。このような現象は従来から発生機構の解析に用いられてきた車両を質点系に置換するモデルでは説明が困難であり、剛体系としての取扱い(特にピッチングの影響)が必要であることがわかった。今後は車両を剛体系とした連成振動モデルについて解析を行うとともに、より詳細な実測を行い、橋梁からの低周波音の発生機構についてさらに検討を行う必要がある。

#### 文 献

- 1) たとえば、内田英夫ら：高架道路橋からの低周波空気振動の実態、長野県衛生公害研究所研究報告, 3, 34~38 (1981)
- 2) たとえば、足立義雄, 森寛昭：道路橋からの低周波空気振動の防止に関する研究, 昭和53年度環境保全研究成果集(II), 108
- 3) 昭和55年度環境庁委託業務結果報告書(低周波空気振動緊急防止対策調査), 77~95, 日本環境協会
- 4) 入江敏博：機械振動学通論, 73~75, 朝倉書店 (1979)