一対の振動ジャイロ스코プを用いた振動外力を受ける構造物の 動曲げ歪み計測法の研究

MEASUREMENT OF DYNAMIC STRAIN OF STRUCTURE SUBJECTED TO DYNAMIC LOAD BY USING A COUPLE OF VIBRATORY GYROSCOPE

田村 雅巳*, 山本 鎮男**, 曾根 彰***, 増田 新****

Masami TAMURA, Shizuo YAMAMOTO, Akira SONE
and Arata MASUDA

The health monitoring of structure is to detect the cumulative damage by the fatigue of structure for the vibration caused by transportation, wind and earthquake etc. The signal according to development of fatigue crack shall be detected the displacement, velocity, acceleration and dynamic strain etc.. Usually, the dynamic strain is measured by using strain gauges.

However, the strain gauges are not suitable for long term monitoring because the bonding material used to attach them to structure will become creep for long time usage. Then, for eliminating the disadvantage in using strain gauges, the method to measure the dynamic strain by vibratory gyroscopes is proposed for the health monitoring of structure and the effectiveness is proved through experiments.

Key Words : *Health monitoring, Dynamic strain, Vibratory gyroscope*
ヘルスモニタリング, 動歪み, 振動ジャイロ스코プ

1. まえがき

構造物は交通, 風, 地震等の動荷重を受けて絶えず疲労し, 損傷が累積している。構造物の損傷進展に伴う異常信号を何らかの方法で検出し, この累積損傷を監視することを構造物のヘルスモニタリングと呼んでいる^{1), 2), 3)}。この目的のために, 構造物の変位, 速度, 加速度, 動歪等の状態量を継続的に観測し, その変化を監視する必要がある。本論文では, これらの状態量の中で動歪に注目し, 長期的連続観測に適した動曲げ歪み計測の手法を提案し, その手法の妥当性を証明したので報告する。

歪み観測には歪みゲージを測定対象部材に貼り付けて測定する計測法が最も一般的であるが, この歪みゲージによる方法を構造物のヘルスモニタリングの様な長期的連続観測に用いるには次に述べる二つの問題点がある。まず第一に, 歪みゲージは接着剤で構造物に貼り付けられ, 大気に暴露されるので必要に応じて大気を遮断する様な保護が行われる。この保護材, および接着剤の長期間の耐久性, 耐候性が問題となる。第二に, 構造物の建設前に計画されたヘルスモニタリングであれば建築中の裸の構造部材に歪みゲージを貼付することが可能であるが, 建築後に計画されたヘルスモニタリングに対しては仕上げ材やセメントペーストを取り除いたりしなければならぬという問題点がある。

このような問題点を解決するために筆者らは, 振動ジャイロSCOPE (以下, 振動ジャイロと略記) を用いて構造物各部の角速度を検出することによる動曲げ歪み計測手法を提案した。振動ジャイロは振動する部材に旋回の角速度がはたらいたときにその各部にはたらくコリオリの力を検出することにより角速度を検出するもので, カーナビゲーションシステムにおける車の旋回の角速度検知に既に実用化されている⁴⁾。振動ジャイロは耐久性, 耐候性にすぐれ, 長期間のヘルスモニタリングとして供用することに耐えることができる。また, セメントペーストで覆われた構造部材もその表面に取り付けることで, 内部の骨組みの歪みを推定できる。つまり, 歪みゲージのもつ二つの問題点を解決する事が出来る。

本論文ではまず, 振動ジャイロによる動曲げ歪み計測の原理, 試作した振動ジャイロの原理と感度特性を述べる。次に, アルミの片持ち梁およびセメントペーストを塗布したアルミの片持ち梁について, 歪みゲージと振動ジャイロを使った動歪測定を行い, 本提案の有効性を実証した。なお, 現在実用化されている振動ジャイロは単品では市販されていないし, 仮に入手できたとしても測定可能な角速度の周波数が数Hzまでと低すぎるので本研究の実験には本研究の目的に沿うように筆者らが振動ジャイロを設計試作してこれを使用した。

* 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 大学院生

** 京都工芸繊維大学工学部機械システム工学科 教授・工博

*** 京都工芸繊維大学工学部機械システム工学科 助教授・工博

**** 京都工芸繊維大学工学部機械システム工学科 助手

Graduate Student, Faculty of Engineering and Design, Kyoto Institute of Technology

Prof., Dept. of Mechanical and System Engineering, Faculty of Engineering and Design, Kyoto Institute of Technology, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Mechanical and System Engineering, Faculty of Engineering and Design, Kyoto Institute of Technology, Dr. Eng.

Assistant, Dept. of Mechanical and System Engineering, Faculty of Engineering and Design, Kyoto Institute of Technology

2. 角速度と動曲げ歪み関係

図1は座標系 $x y z$ において $y z$ 面においた梁が y 軸まわりの曲げモーメントを受けた図である。

図1. 梁の曲げ変形と曲率半径 ρ_R

図1において梁の中央の一点鎖線は中立面を、破線は中立面からの高さ h の面を示し、点 P は高さ h の面上の点である。点 P を通る梁の曲げの曲率半径を ρ_R とすると点 P での歪み ε_P は次式となる。

$$\varepsilon_P = \frac{h}{\rho_R} \quad (1)$$

一方、点 P の位置での梁の y 軸まわりの角速度 Ω は構造物全体の回転角速度を Ω_0 とすれば次のように表せる。

$$\Omega = \frac{\partial \theta}{\partial t} + \Omega_0 = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) + \Omega_0 \quad (2)$$

θ は梁の表面が z 軸と成す角度、 u は x 方向の変位である。曲率半径 ρ_R は θ を微小変形とすれば次式を得る。

$$\frac{1}{\rho_R} \approx \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (3)$$

従って式(2)式を変形して式(3)に代入すると曲率半径 ρ_R と角速度 Ω の関係は次式となる。

$$\frac{1}{\rho_R} \approx \frac{\partial}{\partial z} \int (\Omega - \Omega_0) dt \quad (4)$$

式(4)を式(1)に代入すると動歪み ε_P と角速度 Ω との関係が次式の様に分られる。

$$\varepsilon_P = h \frac{\partial}{\partial z} \int (\Omega - \Omega_0) dt \quad (5)$$

ここで、 Ω_0 は構造物全体の角速度であり、一対の振動ジャイロを用いると、次項に示すように完全にこれを除去することができる。

3. 一対の振動ジャイロによる動曲げ歪計測の原理

図2に本方法による動曲げ歪計測の原理図を示す。図中、振動ジャイロ1、2の出力は位置 z_1 、 z_2 での梁の表面の角速度であり、これを Ω_1 、 Ω_2 とする。

図2. 一対の振動ジャイロによる動曲げ歪計測

中立面の深さを d_c 、二つの振動ジャイロの間隔を $\Delta z = z_2 - z_1$ とすると、一対の振動ジャイロの中間で深さ d の点 P の位置での歪み ε_P は式(5)により次式となる。

$$\begin{aligned} \varepsilon_P &= \frac{h}{\Delta z} \left(\int (\Omega_2 - \Omega_0) dt - \int (\Omega_1 - \Omega_0) dt \right) \\ &= \frac{h}{\Delta z} \int (\Omega_2 - \Omega_1) dt \end{aligned} \quad (6)$$

この原理に基づく動曲げ歪み計測では Ω_2 と Ω_1 を観測して任意の深さ d の歪みを知ることができる。構造物全体の回転角速度 Ω_0 は一対の振動ジャイロを配置することによってキャンセルされている。

4. 実験に用いた振動ジャイロの構造と原理

4. 1 振動ジャイロの概要

本実験に用いた振動ジャイロは振動する物体が回転したときに作用する慣性力のひとつであるコリオリの力を利用している。図3aはバネ k によってベースと接続された質量 M が速度 v で振動しているときベースが角速度 Ω で回転した状態の姿図を表している。

図3 a. コリオリの力の発生原理：姿図

このとき、回転中心からの位置ベクトル r のベース上の地点から質点を観測したとき、質点には図3 bに示すように遠心力 F_R とコリオリの力 F_C が慣性力として作用する。

図3 b. コリオリの力の発生原理：平面図

これらは式 (7), (8) のように表される。

$$F_C = 2M\mathbf{v} \times \boldsymbol{\Omega} \quad (7)$$

$$F_R = M r \Omega^2 \quad (8)$$

速度 $\mathbf{v}$ を非常に大きくすれば遠心力 F_R は相対的に無視することが出来、結果的に大きなコリオリの力 F_C を得ることが出来る。このコリオリの力を検出すれば式 (7)

によって角速度 Ω を知ることができる。

4. 2 本実験に使用した振動ジャイロの構造

本実験に使用した振動型の振動ジャイロは筆者らの試作によるもので図4にその姿図、図5に平面図を示す。また、図6に動曲げ歪みを測定しようとする梁上における振動ジャイロの配置方向を示す。

図4. 振動ジャイロの姿図

図6. 振動ジャイロの梁上の配置

図5. 振動ジャイロの平面図

図4, 5に示す様に、本振動ジャイロは土台となるべきベースの上に断面がほぼ正方形に近い片持ち梁（以降、ジャイロ片持ち梁と表現）を振動体として接着している。さらにジャイロ片持ち梁の z 方向の左右2つの面に駆動用圧電体、 x 方向の前後2つの面に検出用圧電体を接着し、それぞれを駆動回路、検出回路に接続配線してある。図中に角速度 Ω で示す様に、本振動ジャイロはジャイロ片持ち梁の長手方向を旋回軸とする角速度を検出する。

4. 3 圧電体の構造と動作

圧電体の構造を図7に示す。圧電体は板状で、表裏双方の面に電極を蒸着してある。極性の定義のために表面をプラス電極、裏面をマイナス電極とする。圧電体は裏面を接着面としてジャイロ片持ち梁に接着する。圧電体はその結晶構造から電気エネルギーと機械エネルギーを相互に変換する機能を持つ。つまり、電極間に士電圧を与えると長手方向に伸縮し、逆に長手方向に伸縮すると電極に正負の電荷が発生する。

図7. 圧電体の構造と動作

4. 4 圧電体とジャイロ片持ち梁の駆動動作

2枚の圧電体を駆動圧電体としてジャイロ片持ち梁の z 方向の左右の面に接着し、それぞれの電極に互いに逆極性の交流の駆動電圧

を与えると、2つの駆動用圧電体の片方は伸び、もう片方は縮む。その結果ジャイロ片持ち梁は図8aで示す様にz方向に駆動振動を行う。この駆動振動は1次共振点まわりの挙動に限定するので、これを図8bのように1次モードマスMからなる1質点1自由度系と考え、この質点が速度 v_D の振動を行なっていると見なせる。図8bは図3aと対応しており、コリオリの力を表す式(7)における速度 v は図8bにおける速度 v_D に置きかわる。駆動回路から入力する交流電圧の振幅を一定にし、円振動数 ω を変化させたときの駆動振動速度 v_D の絶対値と位相の関係を図9に示す。図中、 $|v_D|$ は絶対値特性、 $\phi(v_D)$ は位相(駆動電圧を位相0度の基準とする)特性である。

図8 a. ジャイロ片持ち梁の駆動振動

図8 b. ジャイロ片持ち梁の駆動方向1次モードマスによる駆動振動

図9. 一定振幅の入力駆動電圧の周波数 ω を変化させたときの駆動振動速度 v_D とその位相 $\phi(v_D)$

図9における ω_D はジャイロ片持ち梁の駆動方向の共振円振動数で、振動速度 v_D の絶対値はこの円振動数のとき最大、位相は0度となる。式(7)のコリオリの力を大きくとるために速度 $v(=v_D)$ が最大となる様に駆動するのが望ましいので、駆動電圧の円振動数を ω_D にすることにより駆動振動速度を最大とする。すなわち、駆動方向振動は駆動方向の共振点 ω_D で駆動される。

4. 5 角速度入力時の検出振動の発生

図8a, bに示す如く本振動ジャイロが駆動方向の共振点 ω_D でz方向に振動しているときに振動ジャイロ全体がy軸まわりに旋回すると、1次のモードマスMに図3と式(7)で示したコリオリの力 F_C がx方向にはたらき、x方向の検出振動が誘起する。式(7)

における速度 v は前述したように駆動振動速度 v_D となり、 v_D と検出する角速度 Ω は図4, 図5に示した様に直交するのでこれをスカラー式と見なし、式(11)を得ることができる。

$$F_C = 2Mv_D\Omega \quad (11)$$

駆動振動 v_D の円振動数を ω_D 、絶対値を $\bar{v}_D$ とすると、

$$v_D = \bar{v}_D \sin(\omega_D t) \quad (12)$$

角速度 Ω の円振動数を ω_Ω 、絶対値を $\bar{\Omega}$ とすると、

$$\Omega = \bar{\Omega} \sin(\omega_\Omega t) \quad (13)$$

これらを、式(11)に代入すると次式となる。

$$\begin{aligned} F_C &= 2M\bar{v}_D\bar{\Omega}\sin(\omega_D t)\sin(\omega_\Omega t) \\ &= -M\bar{v}_D\bar{\Omega}[\cos\{(\omega_D + \omega_\Omega)t\} - \cos\{(\omega_D - \omega_\Omega)t\}] \end{aligned} \quad (14)$$

ジャイロ片持ち梁の検出振動を図10aに示した。

図10 a. ジャイロ片持ち梁の検出振動

図10 b. ジャイロ片持ち梁の検出方向1次モードマスによる検出振動

検出振動も1次の共振点まわりの挙動に限定するので駆動振動と同様、図10bのように1次モードマスMからなる1質点1自由度系と考え、この質点がコリオリの力 F_C を受けて振動すると見なすことができる。この振動速度を v_s とする。

検出振動方向に大きさ一定の力を円振動数 ω を変えて加えた場合の検出振動速度 v_s の絶対値と位相は図11のようになる。実際に入力するコリオリの力 F_C は式(14)に示される様に円振動数が $\omega_D - \omega_\Omega$ と $\omega_D + \omega_\Omega$ の2成分に分割され、それぞれ図のA, Bの2カ所で検出振動を発生する。従って、入力角速度 Ω の円振動数 ω_Ω が大きくなると、図11のA, B点は ω_D を中心として左右に広がる。A点が検出方向円振動数 ω_s に近づき、これと一致すると検出振動速度 v_s の絶対値が大きくなり大きな出力を得るが、制作誤差等によって発生する絶対値や位相の誤差も拡大するので、検出振動が不安定となる。そこで検出方向円振動数 ω_s は駆動方向共振円振動数 ω_D と一致しないように次の様に設定した。

$$\omega_s = 0.9\omega_D \quad (15)$$

また、図11によればA点に相当する検出速度の絶対値は ω_Ω の増加と共に増加して ω_s で極値をとりその後減少し、B点に相当する検出速度の絶対値は ω_Ω の増加と共に単調に減少する。このことを横軸に

ω_0 をとって図示すると図12となる。図12は振動ジャイロに円振動数 ω_0 の一定角速度が入力したときの検出振動速度の絶対値と位相特性である。

図11. 一定の大きさの検出振動方向の力の円振動数 ω を変化させた場合の検出振動速度 v_s の絶対値と位相特性

図12. 入力角速度の円振動数 ω_0 に対する検出振動速度 v_s の絶対値と位相特性

図中のAとBの曲線は図11のA点とB点の値を示したものである。円振動数 ω_0 が $\omega_D - \omega_s$ となる点は図11に示すジャイロの検出方向の共振点である。

4.6 実験に使用した振動ジャイロの感度特性

ジャイロ片持ち梁が検出方向に振動するとz面に接着してある検出圧電体が伸縮し、これによって電流が惹起する。発生した電流は検出回路に導入され、駆動電圧と位相を照合し、90度位相の成分のみが直流電圧に変換され、角速度信号 V_0 として電圧出力される。単位角速度入力あたりの出力電圧を感度 S_0 ($=V_0/\Omega$)とし、入力角速度の円振動数 ω_0 に対する感度 S_0 の絶対値と位相特性を図示したのが図13である。ただし感度は図12において絶対値の大きいA曲線のみ寄与するとした。図中、破線が図12のA曲線に由来するが、検出方向共振点の影響を緩和するために高周波側に減衰

を付与するための回路処理を行っている。この回路処理後の特性を実線で表し、これを最終的な角速度検出の感度とした。実験に使用した振動ジャイロは駆動方向の共振振動数を $f_D = 5,533\text{ Hz}$ 、検出方向の共振振動数を $f_s = 5,033\text{ Hz}$ と設定した。

図13. 振動ジャイロの最終的な感度特性

実験に用いた振動ジャイロの回路による増幅前の感度 S_0 の絶対値と位相の特性を図14、15に示す。

図14. 測定に使用した振動ジャイロの感度特性

図15. 測定に使用した振動ジャイロの位相特性

図中○印で示した特性が高周波側の減衰を付与する前の感度特性であり、●印で示した特性が減衰を付与した感度特性である。実験には●印の方を用いた。共振点の影響を緩和するためにかなりの減衰を付与したので10～20 Hz程度までが平坦な絶対値特性25 mV/(°/s)であり、これがこの振動ジャイロの使用上限周波数となる。振動ジャイロの精度は約0.01°/sでこの精度限界はもっぱら0.2～0.3 mVの回路ノイズによる。式(6)が示す様に振動ジャイロの精度は測定点の分解能 Δz に直接影響する。式(6)より振動ジャイロの精度を $\Delta\Omega$ とすると、所望の高さh、歪み ϵ_p を計

測するのに最低限必要な Δz_{MIN} は

$$\Delta z_{MIN} = \frac{h}{\varepsilon_P} \int \Delta \Omega dt \quad (16)$$

正弦波の角速度入力の場合、時間積分を $1/j\omega$ になおして、精度に関する式なので j を取り除き、

$$\Delta z_{MIN} = \frac{h}{\omega \varepsilon_P} \Delta \Omega \quad (17)$$

実験に使用したアルミ片持ち梁の表面 ($h=1\text{ mm}$) で実用的な $1\text{ }\mu\text{ }\varepsilon$ の精度を 1 Hz で得ようと思えばこの精度の振動ジャイロの場合、式より Δz として 27.7 mm が必要となる。角速度差 $\Omega_2 - \Omega_1$ 、つまり歪みが最も大きくなるのは片持ち梁の場合、固定端付近で、この精度の振動ジャイロの場合、両振動ジャイロ間の距離 Δz を最低 25 mm 以上離す必要があった。

5. 一对の振動ジャイロによる動曲げ歪計測：アルミ単純梁の場合

図16、17に実験装置および計測系のブロック線図を示す。アルミ製の片持ち梁を x 方向に振動する加振機に取り付け、片持ち梁の根元にケースに納めた2個の振動ジャイロ（大きさ $40\text{ mm} \times 35\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 、質量 45 g ）を近接して取り付け、さらに2個の振動ジャイロの中央部の裏側には検証用の歪みゲージを貼り付ける。片持ち梁全体に加速度 G による物体力を作用させるために、正弦波信号発生器より発生した信号をパワーアンプにより電力増幅し、加振機に印加する。また、加速度 G の入力測定の為に加振機の振動部に G センサを装着した。

図16. 一对の振動ジャイロによる動歪計測実験装置

図17. 一对の振動ジャイロによる動歪計測実験計測ブロック

本システムにおいて、梁の仕様として動歪計測に必要なデータは中立面の深さ d_c (1 mm) と、振動ジャイロ間の距離 Δz (22.5 mm) のみである。片持ち梁の1次の共振周波数付近で実際に加振を行い、歪みゲージと2個の振動ジャイロのデータを得た。円振動数 ω_Ω の正弦波加振の場合に式(6)を積分して表面の歪み $h = d_c$ とすれば、動曲げ歪みは

$$\varepsilon_P = \frac{d_c}{\Delta z} \frac{\Omega_2 - \Omega_1}{j\omega_\Omega} \quad (18)$$

振動ジャイロ出力差のデータから式(18)により計算したアルミ表面の推定歪みの絶対値と位相を図18、19に歪みゲージの出力と比較して示す。図18に示した様に 15 Hz 付近まで推定歪みの絶対値、位相とも歪みゲージの測定値とよく一致することがわかる。 15 Hz 以上で誤差が拡大するのは、図14に示した様に使用した振動ジャイロの測定周波数範囲が 15 Hz 付近までで、それ以上の周波数では感度が低下するためである。

図18. 振動ジャイロによる歪み ε の計測結果：絶対値

図19. 振動ジャイロによる歪み ε の計測結果：位相

6. 一对の振動ジャイロによる動曲げ歪計測：セメントペーストコーティングアルミ梁の場合

セメントペーストの表面での一对の角速度の観測値からセメントペースト内部の鋼材の動曲げ歪みを算出する計測法の可否を検証するために、アルミ梁にセメントペーストをコーティングした梁でアルミ単純梁と同様の一对の振動ジャイロによる動歪計測実験を行った。図20にセメントペーストコーティング梁の動歪計測模式図を示す。

図 20. 一対の振動ジャイロによる動歪計測実験
セメントペーストコーティングアルミ梁の場合

図 21. セメントペーストコーティングアルミ梁の構造

振動ジャイロはアルミ単純梁と同様、大きさ $40\text{ mm} \times 35\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 、質量 45 g のものを $\Delta z = 25\text{ mm}$ 隔てて 2 個配置した。また、図 21 にセメントペーストコーティング梁の断面構造を示す。尚、測定のプロック図はアルミ単純梁の場合と同じである。図 21 においてセメントペースト層、アルミ層にける厚さ、ヤング率、密度をそれぞれ T_C 、 T_A 、 E_C 、 E_A 、 ρ_C 、 ρ_A とした。

この様な多層構造の梁では中立面の位置がわからなければ式 (1) における中立面からの高さ h がわからない。中立面の位置 d_C は次式を利用して算出する。

$$d_C = \frac{T}{2} \frac{n_C^2 E_C + n_A^2 E_A + 2n_C n_A E_A}{n_C E_C + n_A E_A} \quad (19)$$

$$\text{ただし, } n_C = \frac{T_C}{T}, \quad n_A = \frac{T_A}{T}$$

セメントペースト等の様なコーティング材の材料定数は不明の場合が多い。今回はセメントペーストのヤング率が不明なので、片持ち梁の 1 次の共振角周波数 ω_1 が合成曲げ剛性 EI および等価密度 ρ によって与えられることから次の 3 式を用いた。

$$EI = E_C I_C + E_A I_A \quad (20)$$

$$\rho = n_C \rho_C + n_A \rho_A \quad (21)$$

$$\omega_1 = \left(\frac{1.875}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (22)$$

ここに I_C 、 I_A はそれぞれセメントとアルミの中立面に関する断面 2 次モーメントである。式 (19) ~ (22) の連立方程式を解くことで中立面の位置 d_C を知ることができる。材料定数がわかっている場合は式 (19) のみで中立面位置 d_C は算出可能である。今回、実験に使用したセメントペーストコーティングアルミ梁については $T_C = 5\text{ mm}$ 、 $T_A = 2\text{ mm}$ で、 $d_C = 5.838\text{ mm}$ という結果を得た。

実験では片持ち梁の 1 次の共振周波数付近で実際に加振を行い、歪みゲージと 2 個の振動ジャイロの出力データを得た。図 22 に一対の振動ジャイロの出力データから式 (18) により計算した歪みゲージの高さ h での推定歪み値と、実際に歪みゲージで測定した歪み値の結果を示す。図 22 によると、歪みゲージの測定値に対し、振動ジャイロによる推定値は振動ジャイロの測定可能周波数の範囲でよく一致している結果を得た。

図 22. セメントコーティングアルミ梁の歪み計測

7. 結び

建築物のヘルス モニタリングの目的はその構成部材の状態量を連続観測し、その異常値から構成部材中の累積損傷を把握し、その保守保全に資することである。状態量として動歪みを測定する場合の代表的な計測手段である歪みゲージには次の 2 点の問題がある。

- (1) 長期の野外観測に不向きである。
- (2) 鉄骨等に直接貼付けする必要がある。

これらの問題点を解決するために一対の振動ジャイロによる動曲げ歪み計測を創案して、その有効性を次の順序で示した。

- (1) 本提案の着想の理論的背景を明らかにした。
- (2) 実験に必要な振動ジャイロを試作した。
- (3) アルミ片持ち梁、セメントペーストでコーティングされたアルミ片持ち梁について振動実験を行い、歪みゲージを用いずに動曲げ歪みを計測できることを実証した。

以上の原理、試作、実験により、2 個の振動ジャイロによる動歪測定は歪みゲージによる動歪測定と同等の測定性能があることがわかった。この方法によると、歪みゲージの使用できない用途、既存の構造物、特に、セメントペースト等の被覆材に覆われた部分や、風雨にさらされる部分の動歪測定について実用性のある測定方法になるとと思われる。特に長期間にわたる構造物のヘルスモニタリングに適切な動歪測定方法になるとと思われる。さらに伸縮歪みに影響さ

れない動曲げ歪みのみの計測が可能となるので、動曲げ歪みのみを計測する際には有効である。

ここで試作した振動ジャイロは測定周波数範囲が10Hzまでであるが、高周波まで測定範囲を拡張することは原理的に可能である。振動ジャイロの周波数帯域の向上により、今後、高い周波数の振動、特に亀裂の伸展による微小振動の検出にその計測の可能性は広がるものと思われる。

参考文献

- 1) 曾根・山本・有馬他2名, ウェーブレット変換を用いた機械・構造物のヘルスマonitoringシステム(正規直交ウェーブレットの生成と断続的異常信号の検出), 機械学会論文集, 61-586, C(1995), 2340.

- 2) 曾根・山本・増田他2名, 強震記録のウェーブレット解析による履歴復元力特性を有する建築物の累積損傷の推定, 建築学会構造系論文集, No. 476, pp67~74, 1995年10月
- 3) 曾根・山本・増田, 常時微動と強震記録のウェーブレット解析による構造物の動特性推定とその変化の推定, 建築学会論文集, No. 490, pp. 65~72. Dec., 1997
- 4) 近野・他2名, 圧電振動ジャイロスコープ角速度センサ, 電子情報通信学会論文誌, C-1, Vol. J78, No. 11, pp. 547~556, 1995年11月

(1997年9月10日原稿受理, 1998年1月16日採用決定)