

偏光走査型動・静ひずみ解析装置

正 員 山 形 積 治 *

1 はじめに

光弾性法を用いてモデル中のひずみ分布を観測する方法は長い歴史をもっている。主に静荷重による静ひずみ(応力)を解析する方法としてすぐれている。

かつて光弾性と高速性法と高速度回転カメラを用いて動ひずみ分布の解析を試みた例もあるがデーター整理が繁雑になる事と測定可能な振動の周波数に限界があるので、一般的な方法とはされていない。¹⁾

著者らは光変調の理論にもとずき、光線をモデル全体に走査する事によって、静、動両者のひずみ分布を解析する装置を試作した。²⁾

原理はひずみを有する物体中を偏光を通過せしめれば常光線と異常光線との間に位相差が生じ、この位相差がひずみの大きさに比例するので、静ひずみの場合、無ひずみの状態に比較して検光子を介して観測すれば輝度が変わり、動ひずみの場合は交流的な輝度の変調がかかる。

走査法であるため強力な光線(光源)は必要とせず、モデルの大きさ、形状に制限がない。又受光器(光電子増倍管)に単色フィルターを用いレーザー光等を用いれば白昼でも測定できる。

出力は電氣的に増幅するため、感度は自由に調整でき振動が多くの特スペクトルより合成されたものであれば同調増幅器を用いて各々のスペクトル成分を分離して観測する事も可能である。

実験としては二～三のひずみ分布の既知なモデルを用い、理論と実測値がよい一致を示す事を実証し、必ずしも解かれていない幾種かのモデルのひずみ分布の観測結果を示す。

2 光変調の理論

直線偏光をひずみを有する透明体中を通過せしめると常光線と異常光線とに分離し、両者の間に位相差 δ を生ずる。

この物体を fig.-1 のように直交 Nicol p_1, p_2 と、 $1/4 \lambda$ 板 g_1, g_2 の間に置き、入力光と出力光との輝度

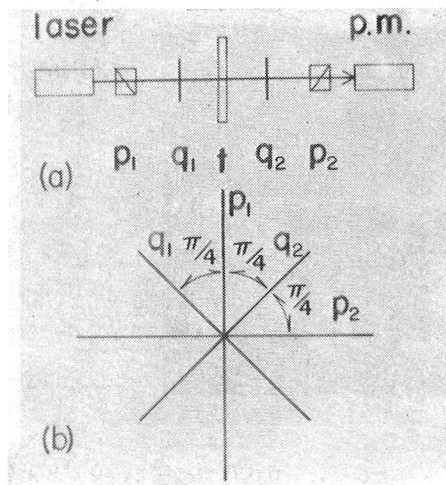


fig-1

(a) 光学系の配列、 p_1, p_2 : 偏光子、検光子、

g_1, g_2 : $1/4 \lambda$ 板、 t : モデル

(b) 偏光子、位相板の主軸の方向

の比をとると、

$$A = I/I_0 = \sin^2 \delta / 2 \quad (1)$$

となる¹⁾

一方ひずみが機械的な原因にのみよるならば、

$$\delta_{ij} = \frac{\pi n_0^3 h}{\lambda} p_{ijrs} \epsilon_{rs} \quad (2)$$

となる³⁾ ϵ'_{rs} は光線に直角方向のひずみであって、交流成分も考慮して $\epsilon'_{rs} = \epsilon'_{rs} \cos \omega t$ ($\omega = 0$ も含まれる)

とにおいて光学パイアスを $1/4 \lambda$ とすれば(1)式は

$$A = \frac{1}{2} \{ 1 - 2J_1 \left(\frac{\pi n_0^3 h}{\lambda} p_{ijrs} \epsilon'_{rs} \right) \cos \omega t \} \quad (3)$$

* 北海道教育大学旭川分校物理教室 助手

と変形され、 A は ϵ'_{rs} の変動を示す。

従って光線をモデル全域に渡って走査すればひずみの分布 $\epsilon'_{rs}(x, y)$ を知る事ができる。

すなわち振動ひずみであれば出力光中の交流分のみを選択すればよいし、静ひずみであれば輝度変化の絶対値をとればよい。モデルを強制振動させた場合、静と動ひずみが重畳されたような場合が多く、この時、光線をチョップした出力光の波形はfig.-2のような型を示して、両者の関係は図に示す通りであって、電氣的に交流

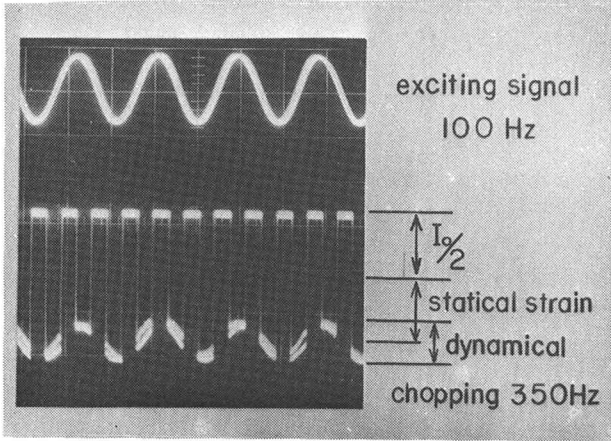


fig-2

ガラスビームを100HZで励振し、レーザー光を350HZでチョップした時の出力波形

分のみを取り出せば動ひずみであって、直流分の変化をとり出せば静ひずみを示す。

3 実験方法

実測値と理論値の比較を行なうために、両端固定の橋桁上を自動車振動しながら通過する様子fig.-3のシ

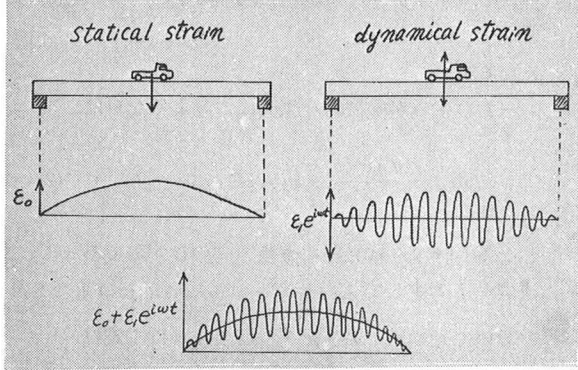


fig-3

静的ひずみ分布 (E_0) と動的ひずみ分布 ($E_1 e^{j\omega t}$)

ュミレーションを行なった。図において中央で車が停止している場合は、静ひずみ ϵ_0 の分布のみがあり、更に中央部で振動のみを行っている場合は動ひずみ $\epsilon_1 e^{j\omega t}$ の分布がある。実際にはこの両者が重畳されたひずみ $\epsilon_0 + \epsilon_1 e^{j\omega t}$ が場所の関数としてビーム中に分布する。これをモデル化してfig.-4の装置を作った。即ち同図に

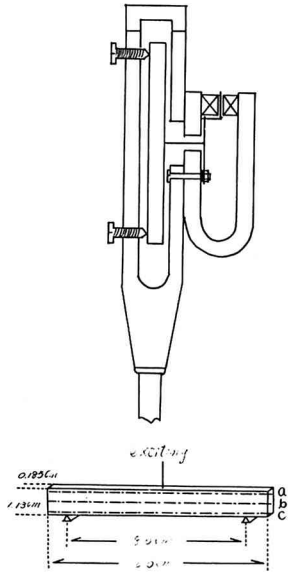


fig-4

資料モデル (ガラスビーム) と励振装置

寸法が示されているガラスビームをマグネットスピーカーの振動針で押しながら励振する。

この場合の動ひずみ分布を検出するのにfig.-5の装置を製作した。輝度の変調分をp. m. (光電子増倍管)

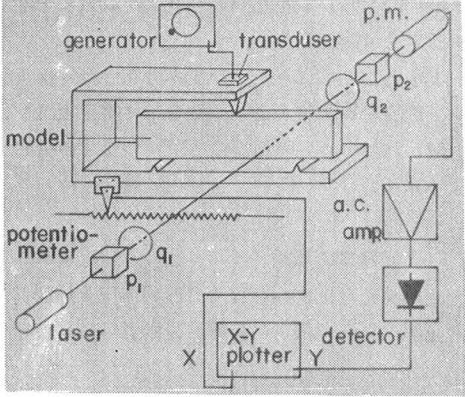


fig-5

装置のブロック図 (動ひずみの場合)

で検出交流増幅器で増幅してダイオードで包絡線検波を行ってその点の動ひずみに比例した電圧を発生させ X-Y plotter の Y 軸に導き、モデルの移動の大きさをポテンシオメーターで電圧に換えて同じく X 軸に導く。このようにする事によって(3)式のひずみの値の場所の関数として求められる。

次に静ひずみ分布を求める場合は振動針による励振を止めて針の圧着力による静ひずみを生ぜしめる。検出は概略 fig.-5 の装置を用いるが、増幅器が交流用であるために fig.-6 のようにレーザー光をチョップした。実測は次の 3 に分けて行った。

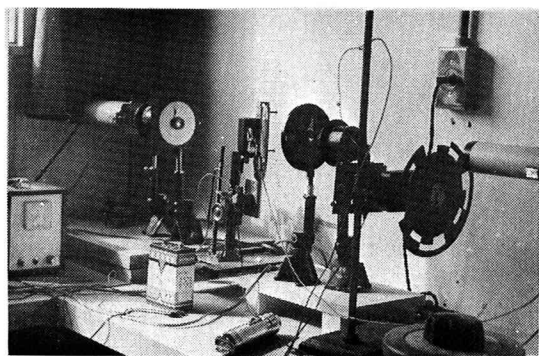


fig-6

装置の全影 (静ひずみの場合)

- (1) ビームの中央に振動針がある場合の動、静ひずみ分布
- (2) 振動針が中央部外にある場合の動、静ひずみ分布
- (3) ビームのように一次元のモデルではなく、短形板 (DT 水晶板) の輪かくすべり振動、対角線方向に加重したガラス板のひずみ分布等二次元モデル場合等である。

4 結果と検討

4・1 中央部に振動針がある場合

(a) 動ひずみ

両端固定のビームがたわみ振動をししかも共振した場合、fundamental の動ひずみ分布はビームの長さ方向を x_2 とすると

$$\varepsilon_{21} z_1(x_2) = \frac{(4.7300)^2}{\ell^2} \xi_{21} \{ 0.98504 (\sinh 4.7300$$

$$\frac{x_2}{\ell} - \sin 4.7300 \frac{x_2}{\ell} \} + (\cos 4.7300$$

$$\frac{x_2}{\ell} - \cosh 4.7300 \frac{x_2}{\ell} \} \quad (4)$$

となる。⁵⁾ fig.-7 に理論値(4) (点線)と実測値(実線)との比較を示す。この場合、 ε_0 と $\varepsilon_1 e^{j\omega t}$ の双方

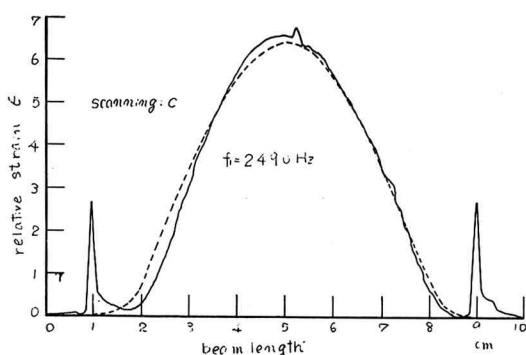


fig-7

ガラスビームのたわみ振動 (共振時) の動ひずみ分布

ともモデルに加わっているが静荷重の小さい内は励振周波数をビームの共振周波数に一致させれば自由振動に近いひずみ分布を示す。

理論値とのよい一致がみられる。

(b) 静ひずみ

前実験と同様の条件にし励振電圧を止めて振動針の圧着力 (1 kgW.) のみでモデル中に静ひずみ分布を生ぜしめた場合のひずみ分布の理論値は

$$\varepsilon_0(x_2) = \frac{P}{2EI} x^2 \quad 0 \leq x \leq \ell/2 \quad (5)$$

となる。⁶⁾ 理論値 (点線) と実測値 (実線) との比較を fig.-8 に示す。よい一致がみられる。

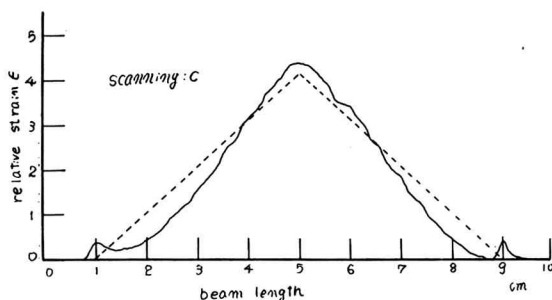


fig-8

ガラスビームの中心荷重 (1 kgW.) の静ひずみ分布

4・2 中央部外に振動針がある場合

(a) 動ひずみ

中点より 1 cmずれた点に振動針を 1 kgW. で圧着し、

100 Hz で強制励振を加えた場合の動ひずみ分布をビームの上下側端と中立点において光線を走査して測定したのが fig.-9 である

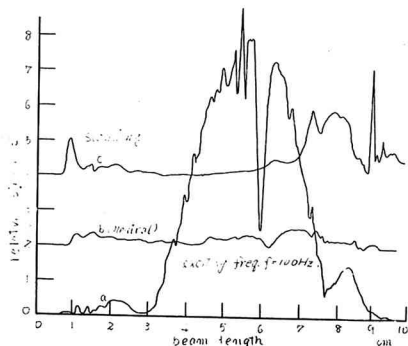


fig-9

ガラスビームの中点外強制振動の動ひずみ分布

4・1(a)と大きく異ったひずみ分布をする。中央点励振の場合は中立点に対して上下側端で対照なひずみ分布をするがこの場合、対照にならない所に興味がある。しかも固定端で大きなひずみを有する。

(b) 静ひずみ

(a)と同様な条件で振動針の励振電圧を止めて圧着力のみによる静ひずみ分布の理論式は、

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq x_2 \leq a \quad \epsilon_o(x_2) &= \frac{P b}{E I} \cdot \frac{\ell - x_2}{\ell} \\ a \leq x_2 \leq \ell \quad \epsilon_o(x_2) &= \frac{a}{E I} \cdot \frac{x_2 - \ell}{\ell} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

where $\ell = a + b$

となり⁶⁾ fig.-10 に実測値との比較を示す。よい一致がみられる。

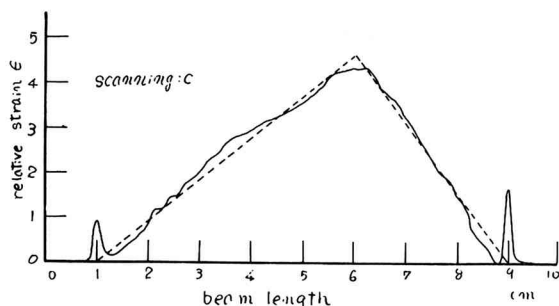


fig-10

ガラスビームの中点外荷重 (1 kgW.) の静ひずみ分布

4・3 2次元モデルの場合

(a) 矩形板の輪郭すべり振動

DT cut 水晶板 (2.08×2.08×0.20 cm³, $f_1 = 99.62 \text{ KHz}$) を圧電的に励振し輪郭すべり振動を行わせ、2次元的な動ひずみ分布を測定したのが fig.-11 で

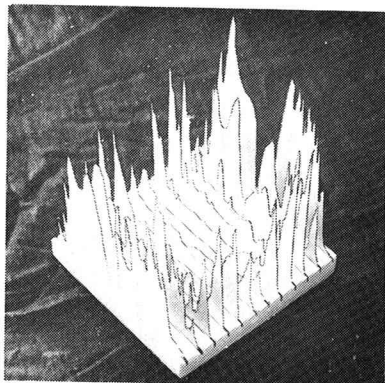


fig-11

DT cut 水晶板の輪郭すべり振動の動ひずみ分布

ある。周辺部で急げきに立ち上る板面に平行な動ひずみを有している事が知られる。⁷⁾

(b) 矩形板の対角線方向の静荷重

ガラス板 (3.1×3.1×0.20 cm³) を対角線方向に荷重 (1.5 kgW.) をして2次元な静ひずみ分布を測定した。fig.-11 でひずみの方向は板面内になるがデーター整

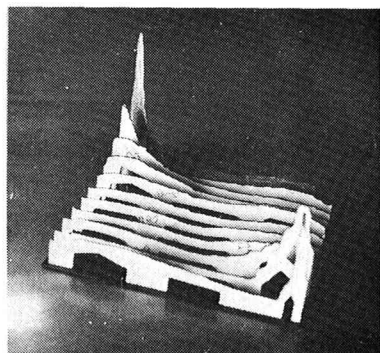


fig-12

ガラス矩形板の対角線方向荷重による静ひずみ分布

理の都合上板面は垂直に表現した。(a)、(b)ともに理論的には未だ解かれていないが興味あるひずみの分布を示す。

5 まとめ

数種類のモデルについて動、静ひずみ分布を本装置によって測定した。未だ理論的に分布が解かれていないモ

デルについても、実測と理論のよい一致を示すモデルの類推より、本装置で測定したひずみ分布は信頼度の高いものであろう。これらの実験から走査型によるひずみ解析装置の特色は次のようにまとめる事ができる。

(1) 光線を走査するために光源として用いるレーザー光は $1\text{ m}\mu$ 程度で十分であり、被測定モデルの大きさ、幾何学的形状に制限がなく土木構造物モデルのひずみ分布観測に有効である。

(2) 出力光を電氣的に増幅するために測定感度は任意に変えられ、もし振動体が数種の複合波で振動しているような場合、電氣的に各スペクトルを分離して測定する事ができる。

(3) p, m に干渉フィルターを用いる事によって、実験室を暗くする必要もなく、場合によってはフィルドにおいても実施できる。

(4) 同一の装置で動、静ひずみ分布ともに手軽に観測できる。

これらの諸点より土木構造物のひずみ解析の有効な手段となる。この研究に対して北海道より昭和47年度科学研究費（調整374号）として補助を得た。

理論値の計算には北海道大学大型計算機センターの $FACOM230-60$ を用いた。

実験面での協力を得た北大工学部安田一次教授をはじめ電気回路講座の諸氏に厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 辻二郎, 河田幸三: 『光弾性実験法』, 日刊工業新聞社
- 2) 山形積治: 公開特許公報, 特開昭 47-27086
- 3) J. F. Nye: 『*physical properties of Crystals*』, Oxford Univ. press, London, p. 245(1969)
- 4) 難波進, 小川智哉: 応物誌, 26, 10, pp. 498-506 (1957)
- 5) 坪井忠二: 『振動論』, p. 467, 河出書房(1943)
- 6) 山内弘他: 『機械工学ポケットブック』, pp. 55-58, オーム社(1957)
- 7) 山形, 川瀬, 安田: 信学会誌, 54 A, 6, p. 371(1971)