

A-3. レーザービーム法による建造物の ゆらぎの測定

杉谷嘉則（神奈川県立理学部）、天野力（同）、武井尊也（同）

峯岸安津子（同）、藤原鎮男（国文学研究資料館）

小沢宏（東大大型計算機センター）、福見俊夫（大阪工業技術研究所）

坂口潮（熊本商科大学）

はじめに

本研究はレーザーを用いて建造物の揺らぎを計測することにより、亀裂等の異常を診断するシステムの開発を目指している。一般に建物、交通機関など、建造物は常に微動している。この微動が「ゆらぎ」である。建造物に異常がある場合、ゆらぎ方が異なると考えられる。これまでもわれわれは、ゆらぎ計測の実験を行ってきており、ゆらぎ信号の周波数成分において、対象物体が正常な場合と異常がある場合では異なる事を確かめてきた。本研究では、われわれが日常使用しているいくつかの小品について、その上の二点の揺らぎ信号を測定し、二点間に生じる振動数伝播の差を

1. 相互相関関数として
2. パワースペクトルとして

測定を行い、これらの加振周波数 f (Hz)成分の強度変化としてとらえることを検討した。また、欠陥部位までの距離変化が1及び2に与える影響についても検討した。

実験

1) 装置

測定システムの概略をFig.1に示す。対象物にSensor head(A),(B)内の可視光レーザーからの光 ($\lambda = 670\text{nm}$) を照射し、それぞれの散乱光を同じくSensor head(A),(B)内の検出器で検出した。検出した光の時系列信号をamp.(A),(B)で増幅後、FFTシグナル・アナライザに入力し、両信号の相互相関解析と、周波数成分に分解するスペクトル解析による方法をとった。amp.の応答性は42.5Hzを拾うためhighにし、FFTシグナル・アナライザのサンプリングレートは319 μsec とした。対象物によっては揺らぎ検出の感度を上げるため、FFTシグナル・アナライザより振動子を通じて対象物に微弱な振動を与えた。この振動子は、市販の直径15cmのオーディスピーカーを用いた。また、検出位置による距離の変化をみるため、2つのレーザーを光学ベンチに乗せて、対象物の左端から0.5cmずつずらしながらレーザーを照射し、各検出点での相関法及びスペクトル解析法による測定を繰り返し行った。

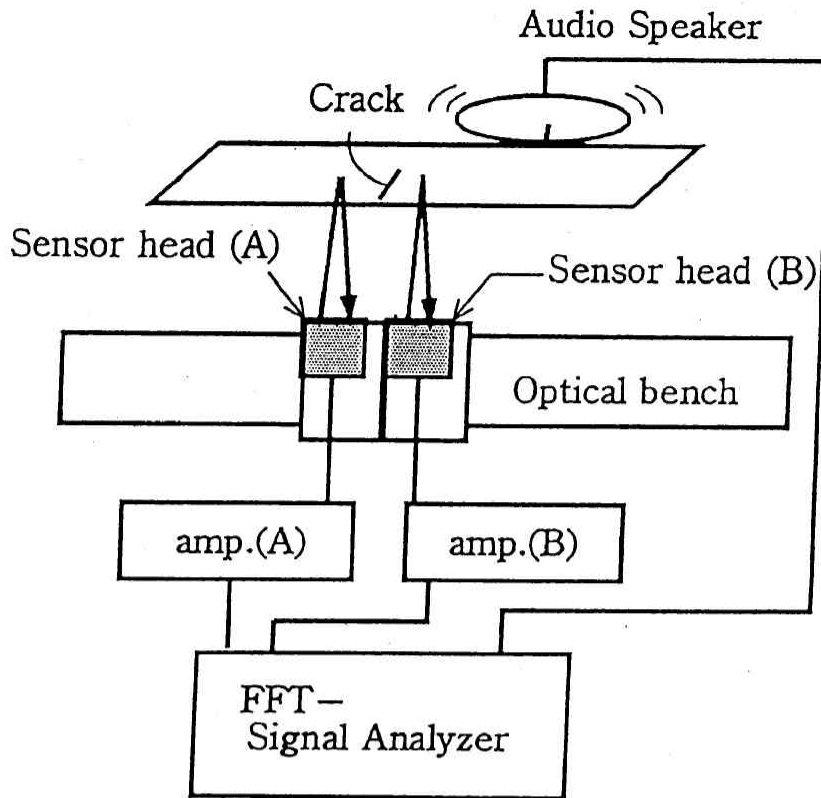


Fig.1 測定システムの図

2) 相互相関関数

対象物に亀裂又は傷を入れ、それを挟むように2つの可視光レーザーを照射し、それぞれの散乱光を検出器で検出した。検出した光の時系列信号をFFTシグナル・アナライザに入力し、両信号の相互相関解析により相互相関関数を出した。同様にして、亀裂や傷など異常のない面における相互相関関数を出し、それらを比較、検討した。

今までの実験では、アクリル板の結果が主なものであった。今回は日常使用している小品についても行った。

<対象物と測定条件>

サンプリングレート ; 319 μ sec 応答性 ; high(915Hz)

- ・ CD ケース 加振周波数 42.0Hz / 感度 -10dBV
- ・ ペットボトル 加振周波数 120Hz / 感度 -20dBV
- ・ スチール缶 加振周波数 37.5Hz / 感度 -10dBV
- ・ テニスラケット 加振周波数 90Hz / 感度 CH-A -20dBV CH-B -25dBV
- ・ 車 加振周波数 25.0Hz / 感度 -20dBV
- ・ アクリル板 大きさ 51 \times 16cm / 厚さ 3mm
 / 加振周波数 42.5Hz / 感度 CH-A -25dBV CH-B -35dBV
- ・ フロッピーケース 加振周波数 45.0Hz / 感度 -25.0dBV

・消火栓の金属パネル 加振周波数 31.0Hz/感度

3) 相関値の距離変化

光学ベンチに乗せたレーザーを対象物の左端から右に0.5cmずつずらしながら、各検出点における相互相関関数を3-2と同様にして計算した。これらの関数の振幅を定規を使って計り、相関値とし、相関値の検出位置による変化を調べた。

これは、今までにない新しい試みであり、これによって、亀裂等の異常の位置を特定することができた。

<対象物と測定条件>

サンプリングレート ; 319 μ sec 応答性 ; high(915Hz)

・アクリル板 3-2に同じ

・木板 大きさ 26 \times 20cm/厚さ 10.0mm/加振周波数 120Hz/感度 -10dBV

・アルミ板 大きさ 37 \times 30cm/厚さ1.0mm

／加振周波数 92.5Hz/感度CH-A -25dBV CH-B -35dBV

4) パワースペクトル強度比の距離変化

2)と同様に、対象物に亀裂又は傷を入れ、それを挟むように2つの可視光レーザーを照射し、それぞれの散乱光を検出器で検出した。検出した光の時系列信号をFFTシグナルアナライザに入力し、両信号のスペクトル解析により、2点に与えた周波数のパワースペクトルを求めた。3)と同様に光学ベンチを使い、それらの比と検出位置による変化を調べた。これは新しい試みであり、これによって亀裂等の異常の位置を特定することができた。

<対象物と測定条件>

サンプリングレート ; 319 μ sec 応答性 ; high(915Hz)

・アクリル板 3)に同じ

・アルミ板 同上

結果と考察

1) 相互相関解析

a) CDケース

相互相関関数は類似性を見るための関数であるといえるから、2つのレーザーが亀裂を挟むと、振動の伝播に差ができるため類似性は低くなる。このため相関関数の振幅はFig. 2のように小さくなり、挟んでいないときはFig. 3のように振幅が大きくなる。

再現性は良好である。

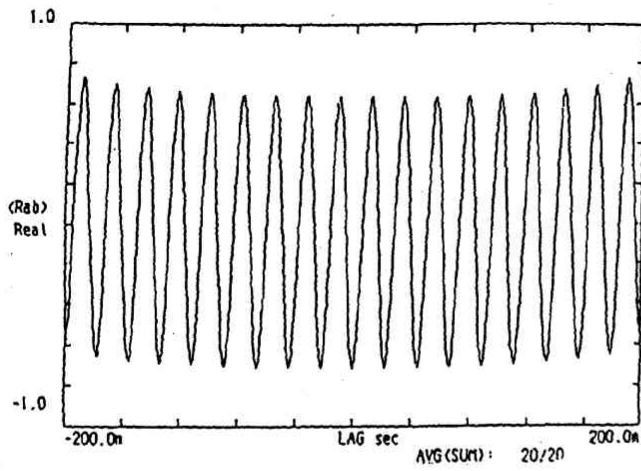


Fig. 2 相互相関関数：CDケース
(亀裂有り)

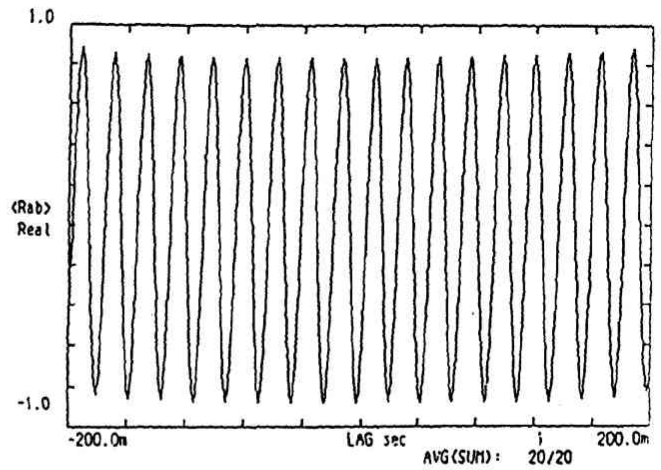


Fig. 3 相互相関関数：CDケース
(亀裂無し)

グラフの横軸の単位は時間(秒)で全範囲400msec。縦軸は相関値。
積算回数20回。以下のグラフも同様である。

b) ペットボトル・スチール缶

ペットボトルやスチール缶のような筒型のものは、はっきりした結果が出にくい。Fig. 4~5では、加振周波数120Hzに応じた振幅変動の他に2Hz程度の大きなうねりが見られる。また、亀裂の有無により低周波成分の位相が反転することが分かる。Fig. 6においても、37.5Hzに対応する振幅変動の他に12.5Hzのうねりが生じている。これらは、与えた振動が筒型の対象物を循環し干渉し合うため、定在波を生じるためであると思われる。

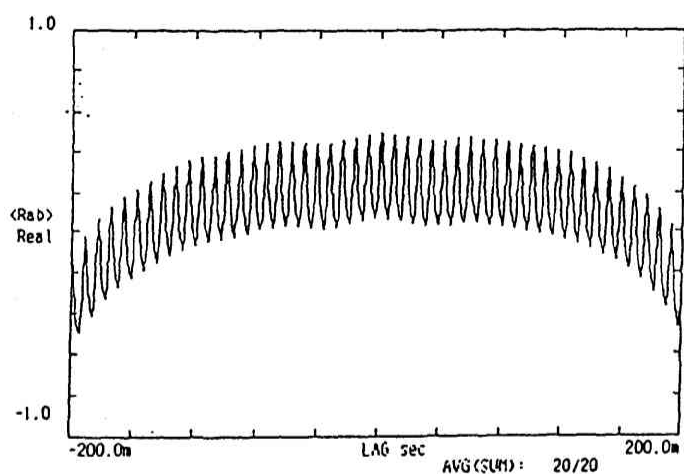


Fig. 4 相互相関関数：ペットボトル
(亀裂有り)

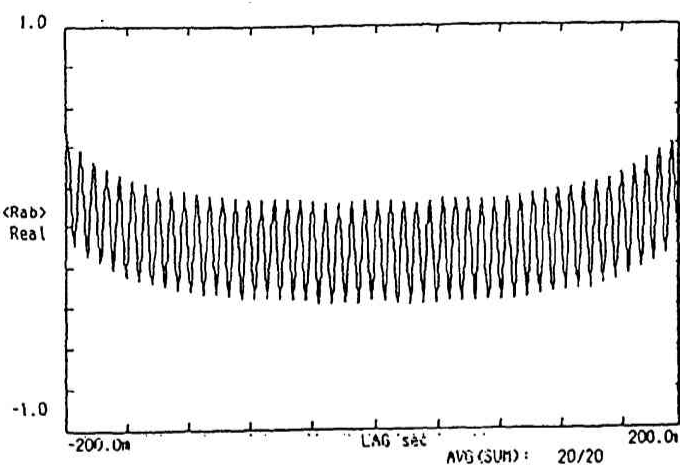


Fig. 5 相互相関関数：ペットボトル
(亀裂無し)

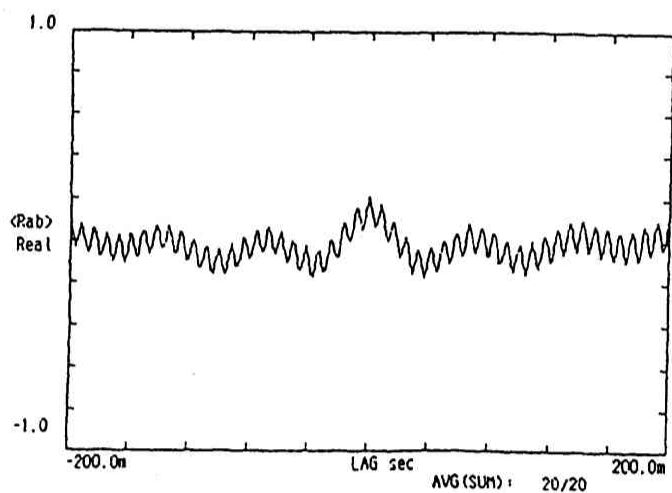


Fig. 6 相互相関関数：スチール缶
(亀裂有り)

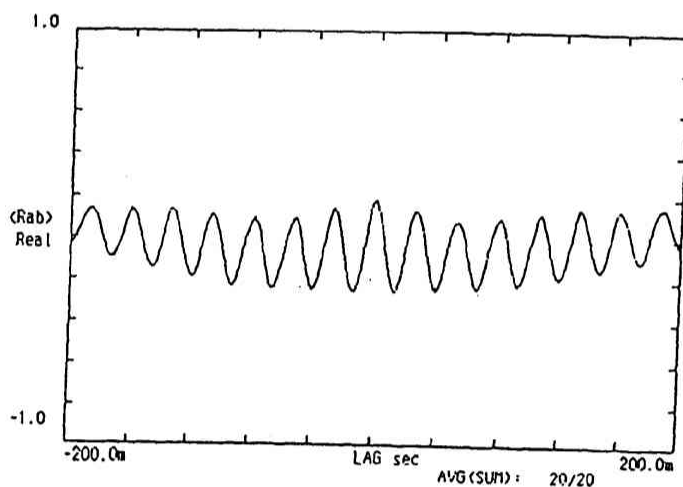


Fig. 7 相互相関関数：スチール缶
(亀裂無し)

c) 金属パネル

67号館1階の金属パネル(消火装置収納用の扉とその外枠)においても、Fig. 8の扉と外枠にそれぞれレーザーを照射した場合と、Fig. 9のように同一面の扉に2つのレーザーを照射した場合には、相関関数に変化がみられた。これらの相関関数がゆがんでいるのは、FFTシグナル・アナライザに防振シートを敷かなかつたために、振動子のゆれがFFTシグナル・アナライザにまで伝わってしまったためと思われる。

以上の結果より、日常使用している物でも今まで同様に変化が見られた。

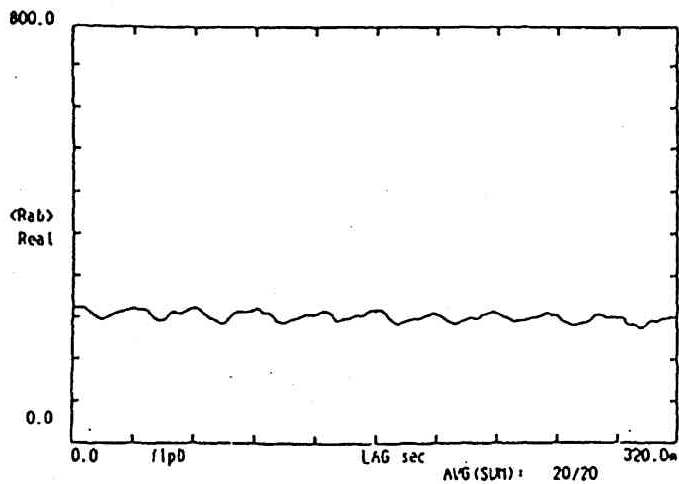


Fig. 8 相互相関関数：パネル
(扉と外枠)

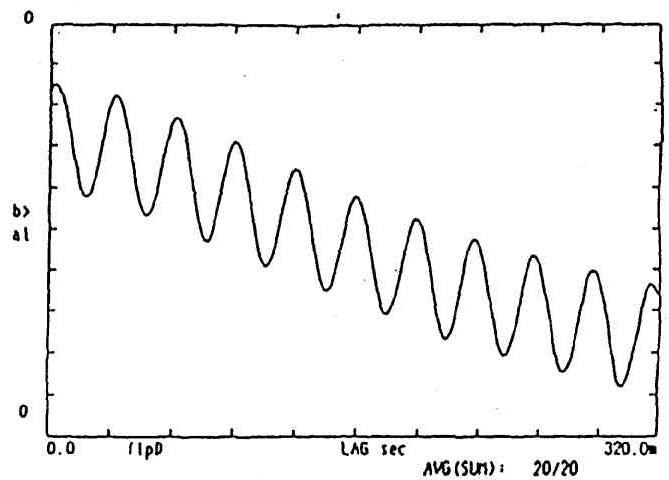


Fig. 9 相互相関関数：パネル
(扉と扉)

d) アクリル板

検出系の再検討により、はっきりと亀裂を入れなければ検出できなかったものでも、傷程度でも検出できるようになった。このことはFig. 10~12を見ると一目瞭然である。傷の有るFig. 11のアクリル版は、若干ではあるが正常な状態であるFig. 12に比べて、振幅に差が見られる。そしてFig. 10のように亀裂がある場合と正常な場合との差は大きくなった。51×16cmの1つのアクリル板に、亀裂や傷などを入れて測定したため、Fig. 10では42.5Hzの加振周波数以外に12.5Hz程度のうねりが生じている。

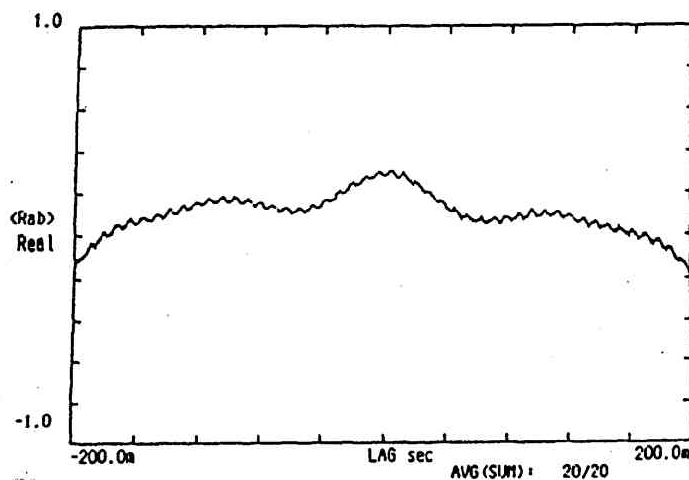


Fig. 10 相互相関関数：アクリル版
(亀裂有り)

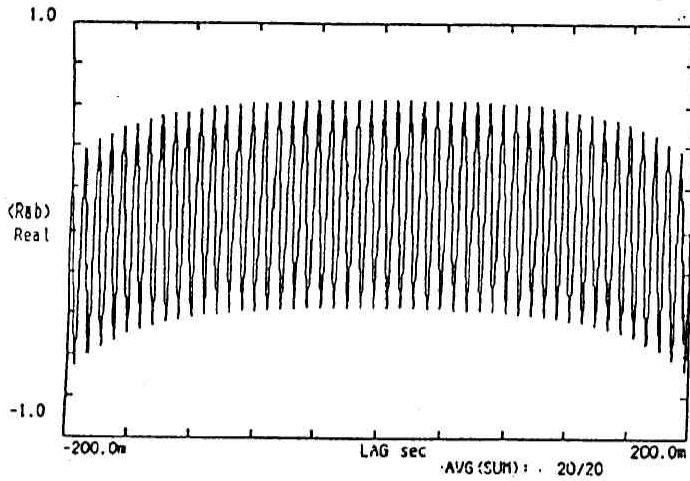


Fig. 11 相互相関関数：アクリル板
(傷有り)

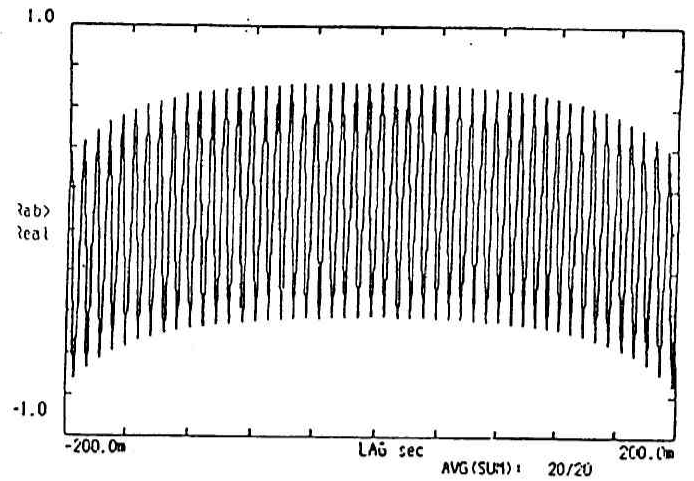


Fig. 12 相互相関関数：アクリル板
(正常)

d) フロッピーケース

ケースにカッターで縦に傷を入れた物と正常な物の2つのフロッピーケースを用意し、それぞれを測定したところ、Fig. 13, 14が得られた。Fig. 13の傷があるフロッピーケースの場合には振幅小さく、Fig. 14の正常な物の場合は振幅が大きくなった。また、これらの相互相関関数が加振周波数45Hz以外に2Hz程度のうねりが見られるのは、フロッピーケースが小さく、2つの測定点がケースの端に近いため、与えた振動が干渉してしまうものと思われる。

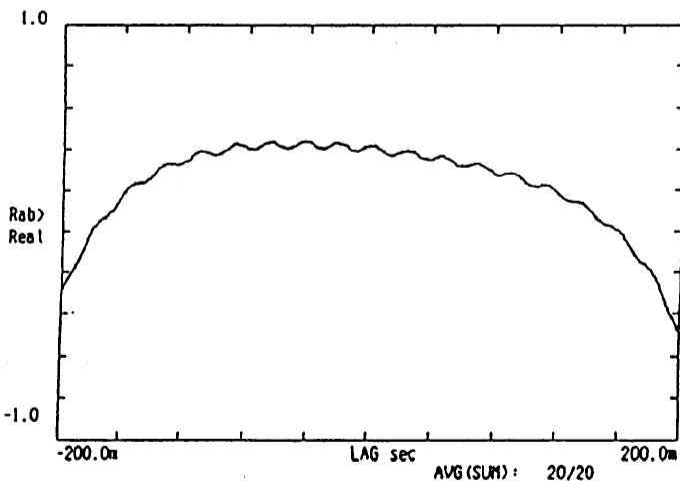


Fig. 13 相互相関関数：
フロッピーケース (傷有り)

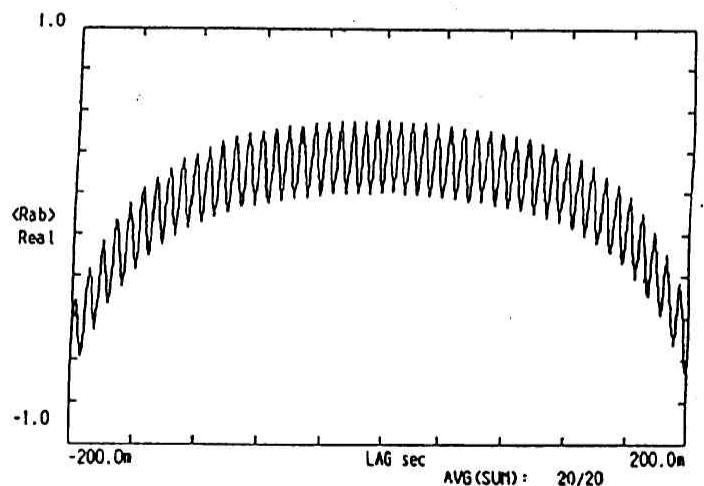


Fig. 14 相互相関関数：
フロッピーケース (傷無し)

2) 相関値の距離変化

相関値の検出位置による変化を調べると、Fig. 15, 16のようになった。これを見ると、片方のレーザーが板の中央11.0cm位置の亀裂に近づくとつれて、相関値はしだいに低くなる。亀裂の直前で少し高くなるが、亀裂を挟んだとき大きく落ち込む。両レーザーが亀裂を通りすぎた後、再び上昇していく。所々相関値が上下するのは、照射点が振動の腹と節の位置にあたっているためと思われる。亀裂の前後の位置で相関値が上がっていることから、相関値の距離の変化をみることにより、亀裂の位置が予想できることがわかる。

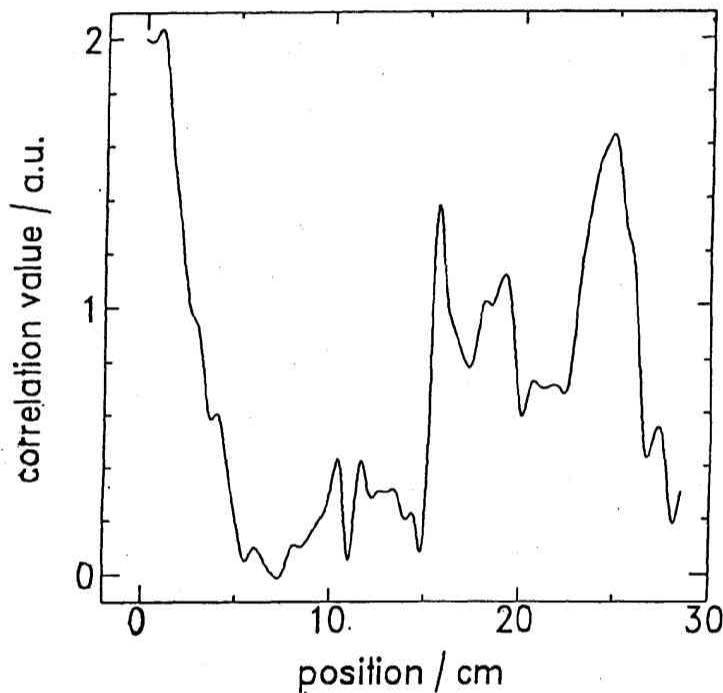


Fig. 15 相関値の距離変化：アクリル板

Fig. 16のアルミ板は真ん中の12.0cmに亀裂がある。Fig. 15と同様に、亀裂に近づくとつれ相関値は減少し、2つのレーザーが亀裂を超えると増加する。また、亀裂の直前、直後で相関値は同じ値まで上昇した。これは検出点の位置が振動の波の腹にきていたためと思われる。このグラフからも12.0cmのところに亀裂があると予想できる。

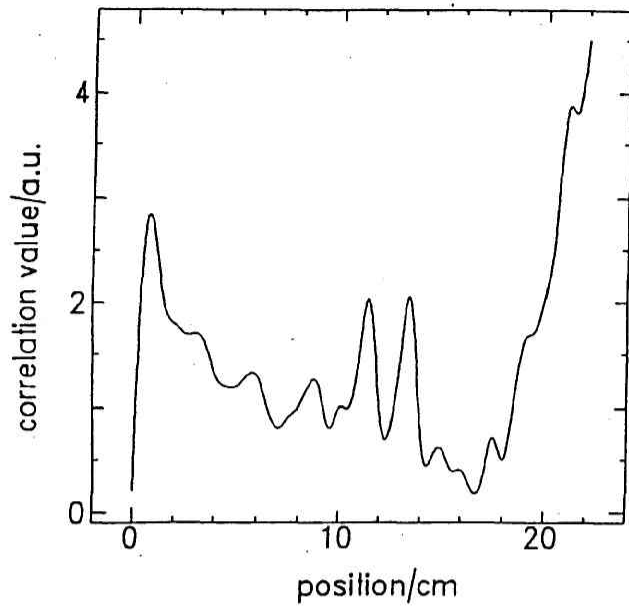


Fig. 16 相関値の距離変化：アルミニウム板

3) パワースペクトル強度比の距離変化

2)と同じ位置に亀裂のある同じ対象物に、与えた振動数と同じ振動成分の強度の比をとったところ、相互相関解析の相関値の検出位置による変化のように、亀裂を挟んだ位置では小さくなり、亀裂を挟まない同一面では大きくなった。このことから、) 2と同様に、この比と検出位置の変化を関数にするとFig. 17~18のようになった。これらの関数によっても亀裂の位置が予想できるものと考えられる。

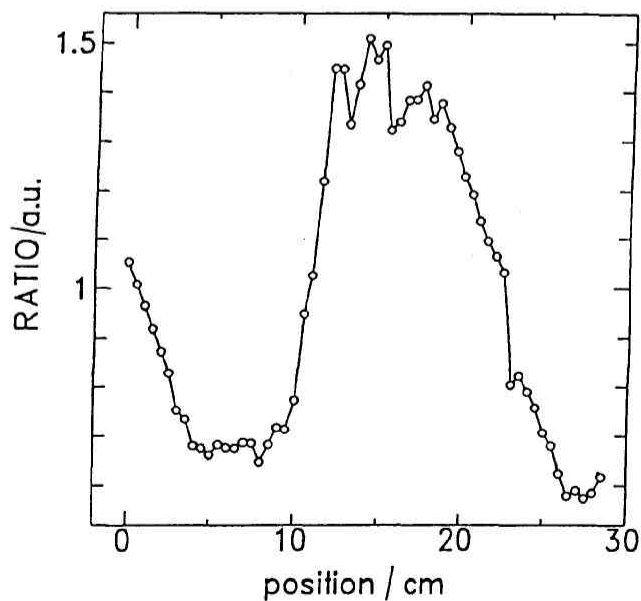


Fig. 17 強度比の距離変化：アクリル板

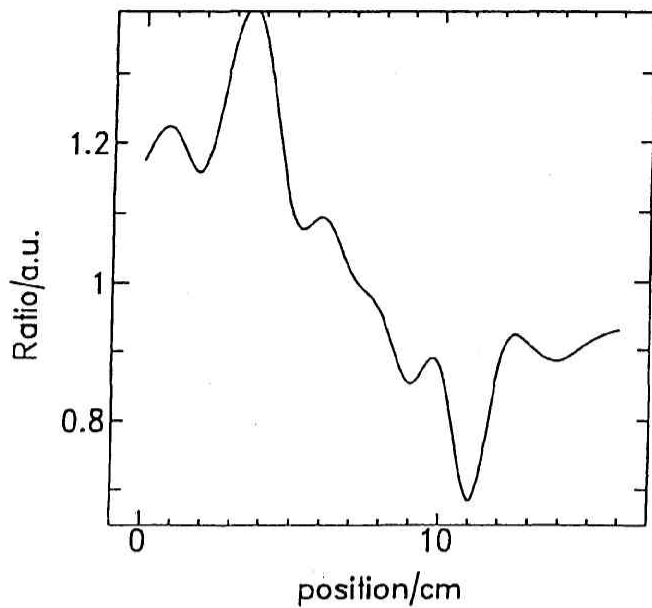


Fig. 18 相関値の距離変化：アルミニウム板

まとめ

レーザー照射法による揺らぎ計測により、相互相関関数や相関値の検出位置による変化やパワースペクトル強度比の検出位置による変化を求めることで、亀裂などの異常の診断および、異常の位置を調べることが可能であるということが分かった。また、揺らぎや与えた振動が拾えるものであれば、私達が日常使用しているものでも、CDケースから車まで、十分対応が可能な事が明らかになった。また、相関法とスペクトル解析法双方を用いることで、より確かな情報（亀裂の位置）を得られることもわかった。

参考文献

佐藤幸男：図解メカトロニクス入門シリーズ 「信号処理入門」 オーム社
 日本機械学会編：計測法シリーズ3 「非破壊計測技術」 朝倉書店