

小型構造物の振動特性の解析 (2)

— 水晶振動子の振動モード解析 —

岩間貴司・大柴勝彦・山田伸志*1

Vibration Analysis of Small Sized Structure (2)

— Modal Analysis of Quartz Crystal Units for Oscillators —

Takashi IWAMA, Katuhiko OSHIBA and Shinji YAMADA

要 約

レーザー振動画像法を用いて水晶振動子のモード解析を実施した。その結果、6パターンの振動モードを得た。また、落下試験による振動子の破損形状とモード解析結果は良く対応していた。

1. 緒 言

水晶振動子は、最も重要な時間標準として現在広く利用されている。近年、製品の小型化・軽量化が著しく進んだ結果、従来と違った環境下で使用される事が多くなってきた。特に携帯機器の場合、使用時の落下による衝撃で水晶振動子が破損する事が予想される。従って、衝撃を受けた時の水晶振動子の挙動解明は製品の高品質化にとって重要な課題の一つに挙げられる。

本研究においては、レーザー振動画像法¹⁾により水晶振動子の振動パターンを解明するとともに、さらに使用時の落下を想定した再現試験を実施することにより、得られた破損事例と振動パターン解析結果の関係について検討を加えた。

2. 供試体及び試験片 (振動パターン解析)

振動パターン解析には、ATカットブランク (直径8mm, 発振周波数58.72MHz) を全長4.6mmのサポートに固定した供試体 (製品のカバーを外した状態) を用意した。図1のとおり40mm角のアルミ板 (厚さ2mm) に端子線を接着したものを試験片として、加振機に固定して実験を行った。

3. 実験 (振動パターン解析)

試験装置は、走査型レーザドップラ振動計 (オメトロン社: VPIセンサー) で、図2²⁾³⁾にブロック図を示す。測定原理は、マイケルソンの光干渉計の原理を用い、振動する試験片表面各点の速度分布を計測するものである。加振波形は、正弦波で周波数を掃引することにより、速度振幅のピークを求め、その時の2次元的速度分布を振動パターン

ンとして求めるものである。精度は、試験片までの測定距離1.7mにおいて空間分解能0.085mm, 速度分解能0.005mm/sである。

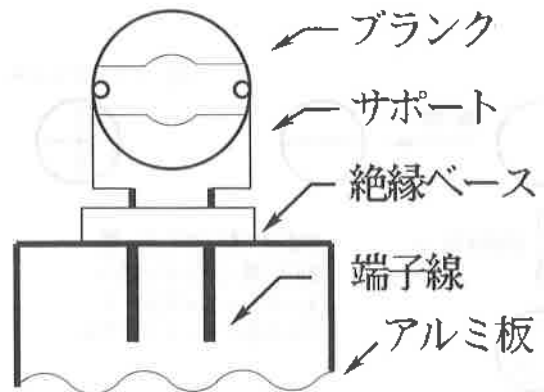


図1. 試験片の概略

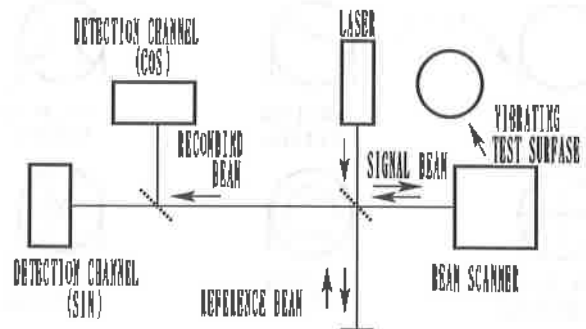


図2. 走査型レーザドップラ振動計ブロック図

*1 山梨大学工学部機械システム工学科

4. 振動パターン解析結果

モードの定義として、円形（ブランク部）の節円の数 n 個、節直径の数が s 個のモードを $n \times s$ 次モードとし、 (n, s) と表現した。図3に計測した振動モードを示す。図中の破線が節を示している。

共振周波数の低い順に $(0, 0)$ $(0, 1)$ $(0, 2_1)$ $(0, 2_2)$ $(1, 0)$ $(0, 3)$ の6パターンの振動モードが存在し、最も低い周波数で共振する $(0, 0)$ 次の振動パターンでは、節は存在せず左右サポート点を結ぶ直線を境界線として振動していることが観察できる。

$(0, 1)$ 次以上の振動モードでは、ブランク自身が弾性体とし振動していることが判明した。 $(0, 2_1)$ 、 $(1, 0)$ 及び $(0, 3)$ 次の各モードは、円形の膜の振動モードに近似している事も確認した。

したがって、比較的低い共振周波数で存在する $(0, 1)$ 、 $(0, 2_1)$ 次の振動パターンには、サポートが大きな影響を与えていると推定され、 $(0, 1)$ は、左右サポートが逆位相で振動し、 $(0, 2_1)$ は、同位相で振動していると考えられる。

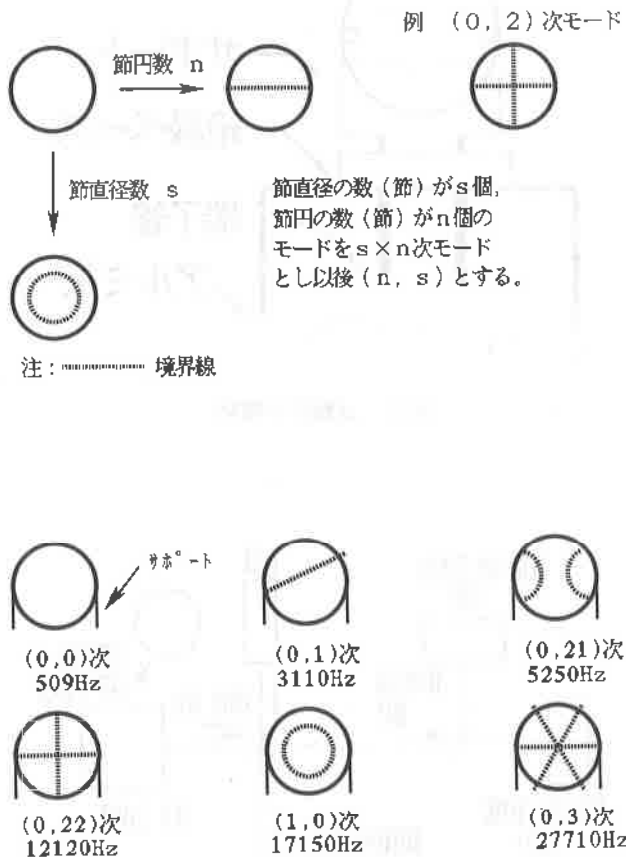


図3-1 計測振動モード概要

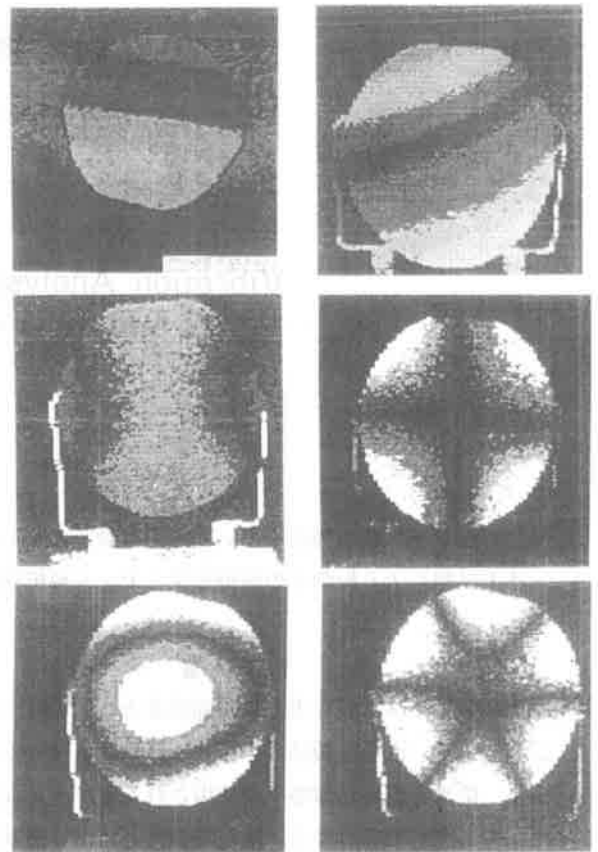


図3-2 計測振動モード例

5. 落下試験

今回、以下の試験条件に限定し落下試験を実施した。図4に衝撃加速度を示す。

【試験条件】

落下高さ：75cm、落下面：コンクリート床面

【試験対象物】

製品1：58.72MHz、 $\phi 6.5$ mm、スプリング長4.6mm

製品2：58.72MHz、 $\phi 6.5$ mm、板（対策実施）

製品3：58.72MHz、 $\phi 6.5$ mm、スプリング長5.8mm

製品4：58.72MHz、 $\phi 6.5$ mm、スプリング長4.6mm+チューブ

製品5：49.86MHz、 $\phi 6.5$ mm、スプリング長4.6mm（小径）

ブランク：クラック、 $\phi 8$ mm、スプリング長4.6mm（カバー無し）

ブランク：欠け、 $\phi 8$ mm、スプリング長4.6mm（カバー無し）

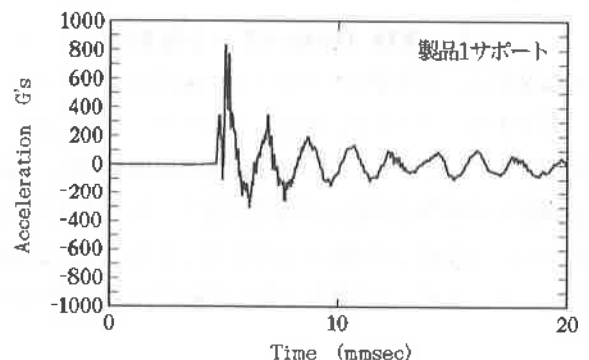


図4. 衝撃加速度

6. 落下試験結果

図5に落下試験結果を示す。水晶振動子の構造を考えた場合、衝撃・振動を受けた時の挙動に最も影響を与える要因に①ブランクの大きさ(質量、形状)、②サポート部の剛性の2つが考えられる。製品1～製品5はブランク部が小径化(φ8mm→φ6.5mm)され軽量化が施されている。サポート部の剛性を高めた製品2とその他の製品1、製品3及び製品5を比較した場合、剛性を高めたサポートが有効であった。特にサポート線径が細い(柔らかい)製品5は、破損率が高かった。また、緩衝材をブランクとカバーの間に挿入した製品4は、最も破損率が低かったが、製品としての使用範囲が限定されるため、一般的にはサポート部の剛性が高い構造が耐衝撃性に優れていると考えられる。また製品製造時に欠陥ブランクが混入したと想定して陥ブランク(微小クラック、欠け)のみの試験も実施した。その結果、大部分は欠陥部から破壊が進展した。しかし、全サンプル中5個が欠陥から破壊が進展せず、計測した振動モードに近似して破損した。

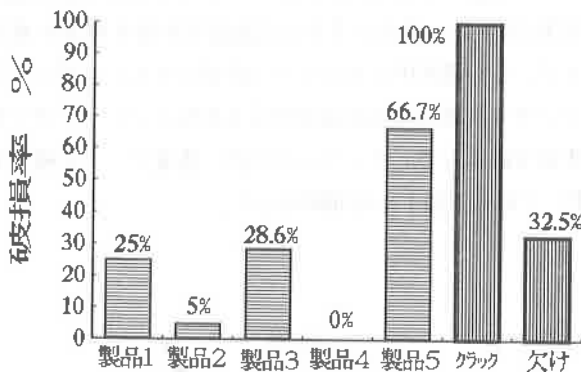


図5. 落下試験結果

図6に破損形状と振動モードの関連を示す。破損形状と振動モードを比較検討した結果、大きく4つに分類できた。前述の計測振動モードで記述すると

(0, 0) : 20%, (0, 1) : 63.3%,
 (0, 2₁) : 10%, (0, 2₂) : 6.7%

となり、低い共振周波数で存在する振動モードに近似して破損する事例が多いことが確認できた。

しかし、サポート部が柔らかい製品では、今回の衝撃加速度で、ブランクがケースに衝突する場合があるため、ブランクとケースの衝突により、2次的にさらに高次のモードが励起されることも考えられる。

従って、厳密に(0, 0)次モードに起因する破損と他のモードに起因する破損との分類については、今回の落下試験では確認できないため、今後の課題として取り組んで行きたい。

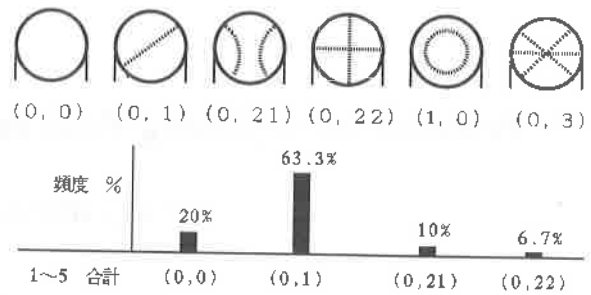


図6. 破損形状と計測振動モード

7. 結 言

- (1)レーザー振動画像法を用いる事により、従来の加速度センサー等では不可能な小型構造物(今回は水晶振動子)の振動パターンが検出できた。
- (2)破損形状と振動モード計測結果は、非常に良く対応していた。
- (3)製品の耐衝撃性対策としては、サポート部の剛性を高めることが、今回の水晶振動子に対しては有効である事が確認できた。

本研究に使用した振動試験機は、平成3年度日本小型自動車振興会の補助金により設備された備品である。

参考文献

- 1) 影山ほか, 日本複合材料学会1991年度発表講演会予稿集, (1991), 15-16
- 2) 松下インターテクノ(株) VPIセンサーカタログ
- 3) Kazuo Kaguama, to presented at Int Conf Compos Mater 1993, Madrid
- 4) W.VOIGT, Kristallphysik, F.Seidl: Naturwiss. 17, 781 (1929), 74, 103 (1930)

(注)*水晶は非等方性の弾性体であるが、へきかい性を考えた場合、極めて弱いレベルではあるが水晶結晶のR面がそれに当たると報告⁴⁾されている。しかし、今回の供試体(製品、ブランク)はランバート加工がATカットであり、破壊に及ぼすへきかい性の影響は少ないと思われる。