

小型構造物の振動特性の解析 (第2報)

—水晶振動子の振動モード解析—

岩間 貴司・大柴 勝彦

Vibration Analysis of Small Sized Structure (2nd Report)

—Modal Analysis of Quartz Crystal Units for Oscillators—

Takashi IWAMA and Katuhiko OSHIBA

要 約

緩衝材により振動・衝撃対策を施した2種類の水晶体振動子 (TYPE1, TYPE2) を対象に, 剛体モード時のモード解析を実施した. その結果, 支持線の違いによる共振周波数と減衰特性から振動パターンが異なることが分かった. TYPE1は2種類の振動モード (#1, #2) を持ち, #1, #2とも水晶片端部の振幅が大きく, TYPE2と比較して不安定な姿勢で振動していた. これら振動モードの解析結果と実際に衝撃試験を行った際の破損事例は非常に良く一致した.

1. 緒 言

水晶振動子は, 標準時間を刻む重要な素子として広く利用されている. このように安定な圧電特性から通信機器などに多く利用されているが, 近年, 製品の小型化・軽量化が著しく進んだ結果, 簡単に機器の移動が可能になり, 従来と違った複雑な環境下で使用される事が多くなってきた. 特に電話器など携帯機器においては, 屋外で 사용되는ケースが多いため, 振動・衝撃等の環境ストレスが製品に影響を与えることから問題になってきている.

本研究は, 前報での計測・解析したデータをもとに機器の輸送時ならびに使用時に振動子に最も影響を及ぼす剛体モード時の振動パターンを解明し, これらの結果より耐振動・衝撃特性の評価を行った.

2. 実験方法

2-1 供試体

図1に供試体の概要を示す. TYPE1, TYPE2ともに, 2本の線で水晶片を支持し, 緩衝材 (ガラス繊維) により振動・衝撃対策が施されている. TYPE1はTYPE2に比較して支持線L部が3倍の長さであり, 水晶片を柔らかく支持する. また, 発振周波数はTYPE1が17MHz, TYPE2が22MHzである.

2-2 モード解析

図2に試験装置の概要を示す. 供試体をケース及び緩衝材を取り外した状態で加振機に直接固定し, 周波数解析器 (FFT) からの出力信号で加振した. 加振時の水晶片の振

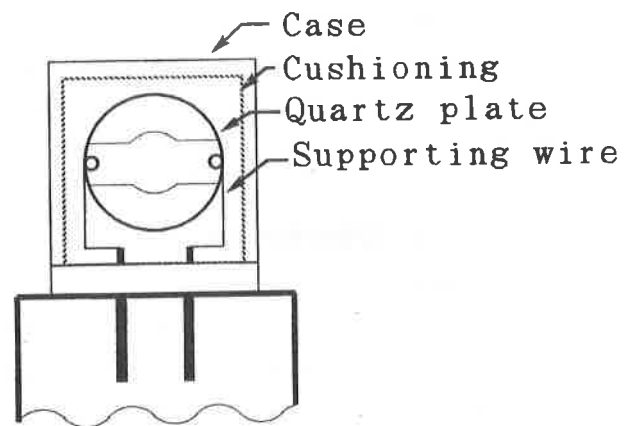


Fig1. Quartz Crystal Units for Oscillators

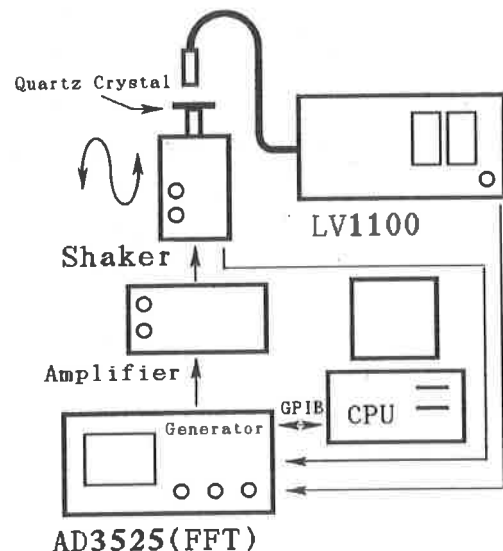


Fig2. Block diagram of Modal analysis

動状態はレーザドップラ振動計（小野測器製LV1100）により速度信号として検出し、加振機から出力される加振時の速度信号と比較することによって、モード解析に必要な伝達特性等を算出した。これらのデータは、GPIBによりコンピュータに取り込まれ、モード解析（エアンドデー製 ZONIC MODAL）を行った。

2-3 振動試験

供試体の水晶片を治具に振動方向に対して垂直に固定し、振動試験機（エミック製F-1000BD/A-E78）により加振した。振動試験を与えることにより水晶片支持部にストレスが加わり支持部が損傷を受けるなどが想定される。そこで振動が供試体に与える影響を調べるために振動子をコルピッツ型発振回路に組み込み、発振時の電圧信号を計測した。電圧信号から発振レベル及び発振周波数を計測し、初期値と加振後のデータとを比較した。なお発振レベルはデジタルオシロスコープ（YOKOGAWA DL-1200）で、発振周波数はスペクトラムアナライザー（AD VANTEST R3261A）で計測した。

2-4 衝撃試験

水晶片を治具に衝撃方向に対して垂直に固定し、落下試験機²⁾により繰り返し衝撃（600G）を与えた。振動試験と同様に、発振レベルはデジタルオシロスコープで、発振周波数はスペクトラムアナライザーで計測した。

3. 実験結果と考察

3-1 モード解析

レーザー振動画像法²⁾により水晶片の振動パターンは明らかになったが、本実験では剛体モード時（水晶片の変形を伴わない振動モード）の振動パターンを解析した。

図3にTYPE1, TYPE2の伝達特性を示す。伝達特性については供試体にインパルス衝撃を与え、その時の振動状態をまず水晶片の中心部から求めた。図よりTYPE1は共振ピークが周波数全域にわたって複数存在し、TYPE2では910Hzで共振していることが分かる。図4に減衰特性を示す。減衰特性も伝達特性の計測と同様に水晶片中央部を計測した。図よりTYPE1はTYPE2と比較すると減衰時間が長いことが分かる。同一のインパルス衝撃を受けてから200msec経過した時点で速度振幅においてTYPE1はTYPE2の約3倍の速度振幅を示している。さらに周波数領域における1次の共振周波数（TYPE1：335Hz, TYPE2：910Hz）の半値幅とピーク周波数から減衰比（Damping factor）を求めた結果、TYPE1はTYPE2の約2倍の減衰比を示していることも分かった。

以上の結果から、供試体が共振を生じやすい周波数と、衝撃を受けた後どのくらい振動が持続しているか明らかに

なった。しかし、各共振周波数において振動子がどのような姿勢で振動しているか（水晶片を支持線がどのような姿勢で支持しているか）は水晶片の中央部のみの計測では解明できない。そこで、図5に示すように、水晶片が支持線により支持されている部分を測定点1, 測定点3, 支持線で支持されていない部分を測定点2, 測定点4とし、それぞれの測定点での伝達特性および減衰特性を計測し、モード解析を行った。

図3より、TYPE2の伝達特性は共振ピークが1つ、TYPE1はそれぞれの共振ピークが離れている。従って、カーブフィット³⁾としては1自由度系カーブフィット（SDOF）を選択して最大虚数部法⁴⁾により解析を行った。

結果を図5(a), (b), 及び(c)に示す。図中の破線部は静止時、実線部は振動時の状態である。これらの結果から、TYPE2は910Hzで振動モード#1が存在し、静止時の水晶片の姿勢に対してほぼ平行に振動していることが分かる。また平行な姿勢を保ちながら振動していることから振動時の垂直方向の変位振幅量は少ないと考えられる。一方、TYPE1は、335Hz及び1015Hzに振動モード#1,#2が存在し、#1のモードでは測定点2, 3が最も振動し、#2のモードでは水晶片支持部が交互に振動していることが分かる。

これらの結果から次のことが明らかになった。TYPE1はTYPE2に比較して①不安定な姿勢で振動している。②1次

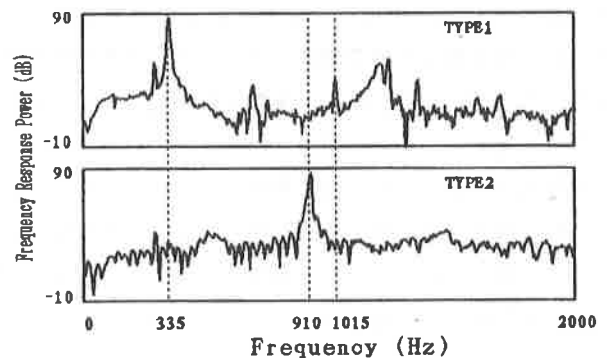


Fig3. Frequency response function

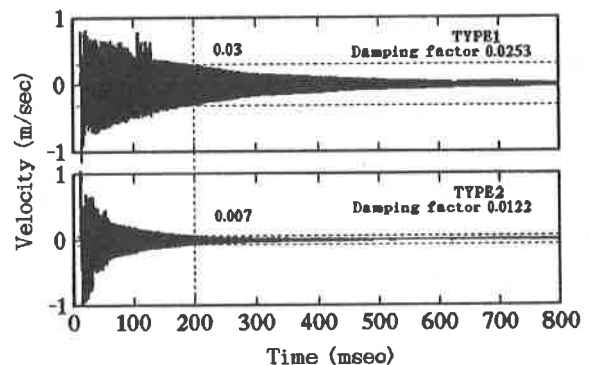


Fig4. Impulse response in Time-domain

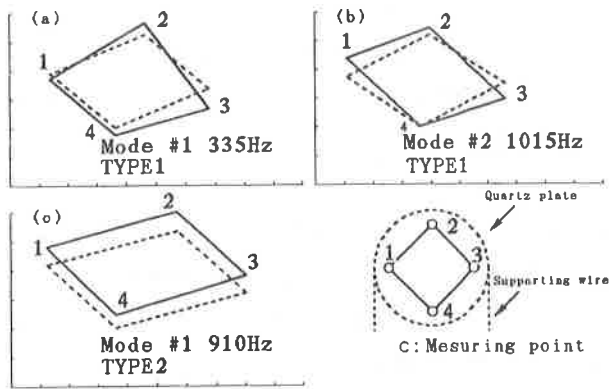
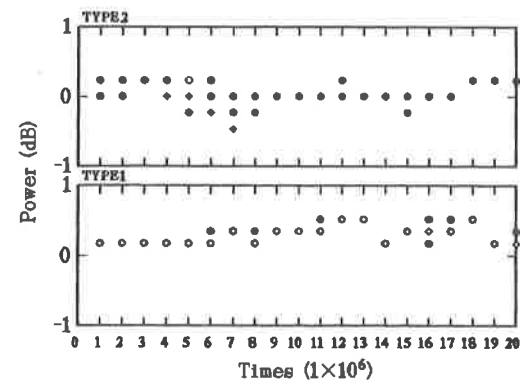


Fig5. Vibration mode shapes

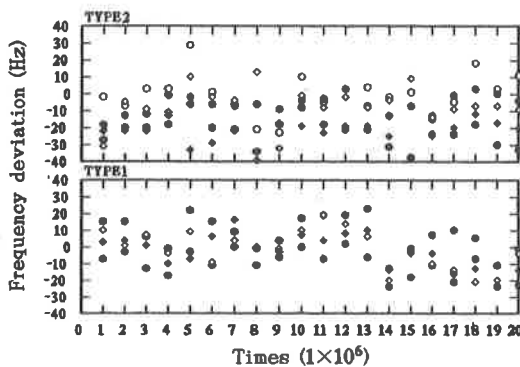
の共振周波数が低い。③振動モード数が多い。すなわち、耐振動・衝撃性に関しては支持線でしっかり水晶片を保持する事が効果的であることが分かった。

3-2 振動試験

モード解析より明らかになった1次の共振周波数で振動試験を行った。加速度波形は正弦波とし加速度は20Gで行った。供試体はそれぞれ5個で合計 20×10^6 回の振動を加えた。その結果を図6に示す。図より発振レベルの変動はTYPE1, TYPE2とも0.5dB以内で、発振周波数の変動は最大値でTYPE1は23Hz, TYPE2では39Hzであった。これらの結果から供試体は20Gの加速度を繰り返し受けても、電気的特性の変動は許容値内であった。

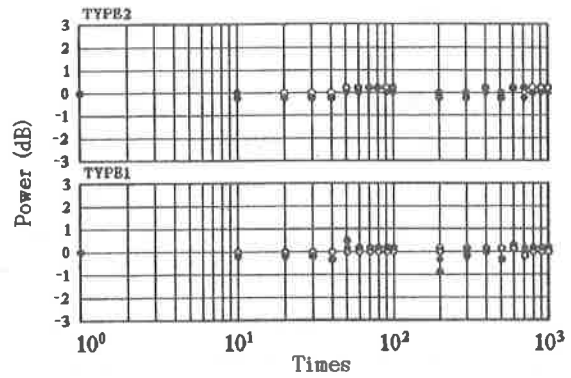


(1)

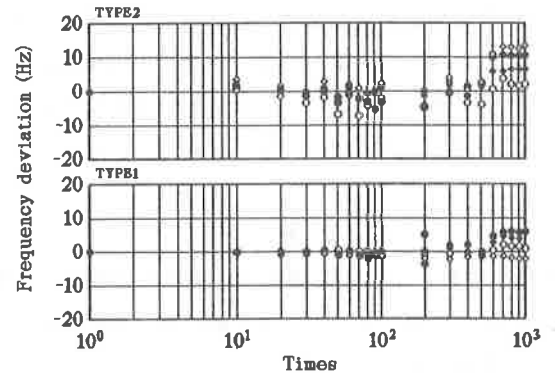


(2)

Fig6. Experimental results

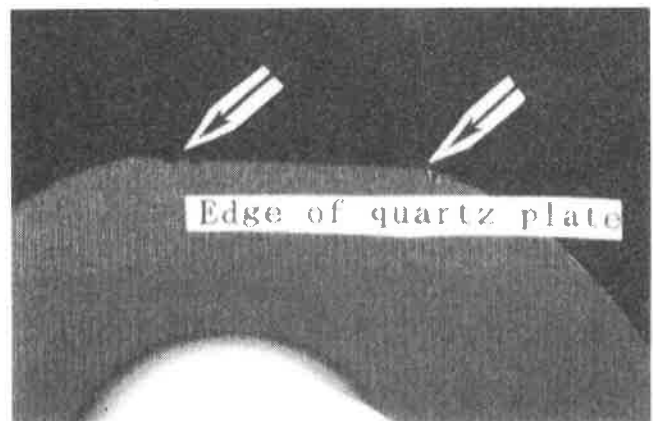


(1)

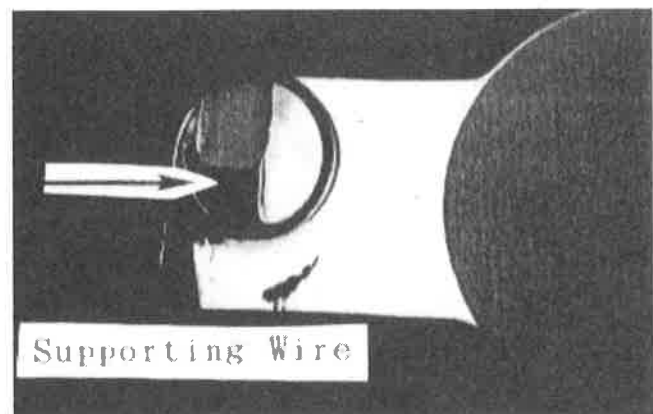


(2)

Fig7. Experimental results



(1)



(2)

Fig8. Example of fracture

3-3 衝撃試験

衝撃値600G, 時間幅3msecの半正弦波状の衝撃を合計10³回供試体(○●◎◇◆)に加えた。結果を図7に示す。発振レベルの変動はTYPE1, TYPE2ともに0.5dB以内であった。発振周波数は, TYPE1, TYPE2とも500回以降から変動した。またTYPE1では2個の供試体がともに100回以内で発振不良となった。図8は発振不良の供試体の水晶片及び支持線の破損状態を示す顕微鏡写真である。前述のモード解析結果と比較すると図8-1に関しては#1で明らかになった振幅が最も大きくなる部分に破損が生じており, これは水晶片が緩衝材を介してケースに衝突したものと考えられる。また, 図8-2に関しては, 水晶片の破損形状から#2で示される振動パターンにより支持線と水晶片の結合部がケースに衝突して, 破損したものと考えられる。

4. 結 言

2種類の振動子について剛体モード時の振動モード解析とそれぞれの振動パターンによる耐振動・衝撃試験の結果から次の事が分かった。

- 1) 同じ構造の振動子であっても支持線の柔らかさの違いにより, 振動モードが大きく異なる。

- 2) TYPE2のモード解析結果から振動時に振幅が最も大きい箇所と, 実際の衝撃試験時の破損事例は対応した。
- 3) 繰り返し衝撃を与えることにより, 発振周波数が500回目以降変動することが分かった。

本実験を行うにあたり, 山梨大学工学部機械システム工学科山田伸志教授に多大のご助言を賜り感謝致します。またレーザードップラー振動計を貸出して下さいました小野測器(株)の長山様に感謝致します。

参考文献

- 1) 岩間貴司, 大柴勝彦, 山田伸志: 小型構造物の振動特性の解析 (1)-環境データの収集と再現試験-, 山梨県工業技術センター研究報告, 8, 60 (1994)
- 2) 岩間貴司, 大柴勝彦, 山田伸志: 小型構造物の振動特性の解析 (2)-水晶振動子のモード解析-, 山梨県工業技術センター研究報告, 8, 67 (1994)
- 3) 長松照男: モード解析, 培風館, 101
- 4) D.L.Brown, R.J.Allemang, R.Zimmerman and M.Mergeay: Parameter Estimation Techniques for Modal Analysis, SAE, 790221, 1979