

明 細 書

発明の名称：漏洩検出器、漏洩検知方法および配管網の監視装置 技術分野

[0001] この発明は、漏洩検出器、漏洩検知方法および配管網の監視装置に関し、特に、水道管、建物配管、工場内配管などからなる各種配管において、精度よく流体漏洩を検出する漏洩検出器、このような漏洩検出器を使用した漏洩検知方法、および、このような漏洩検出器を使用して、水道管、ガス管、建物配管、工場内配管などからなる各種配管網において、流量監視、異常検知などを行う配管網の監視装置に関する。

背景技術

[0002] 従来より、漏水による水道管の振動をセンサーで検知することが一般になされている。例えば、特許文献1においては圧電素子を内蔵した検出部と剛性材料からなる台座部をゴム材料で連結した漏洩検出器が開示されている。これによれば、合成樹脂管に伝わる低周波振動を共振により増幅させることができることとされている。また、水道管路における消火栓等に2個の検出器を設置し、得られた相関波形を解析することで漏水箇所を特定できるとされている。

[0003] また、従来より、集合住宅などにおける水道の集中検針システムのように流量を遠隔地で管理できるシステムが存在する。例えば特許文献2では無線子機の不必要な受信をなくすことにより、電池寿命を長くした無線検針システムが開示されている。このシステムは電池を用いて無線で流量情報を遠隔地へ送信するものである。

[0004] 特許文献3には、圧電型超音波トランスジューサを用いた配管検査装置が開示されている。この方法であれば配管の外部からライニングの布設状態を検査することができる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許第3 2 2 3 3 3 7号公報

特許文献2：特開2 0 0 1－3 1 9 2 8 4号公報

特許文献3：特開2 0 0 3－2 9 4 7 1 8号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 上記特許文献1の漏洩検出器では、合成樹脂管における微小な振動音に対する感度が充分でなく、消火栓等に設置する検出器の設置スパンが短いために、広域の漏水調査を行おうとすると労力が大きいという問題があった。

[0007] また、上記特許文献2の配管網の監視装置では、電池を使用しているため、電池が消耗すると交換する必要がある。集合住宅用であれば、交換は、比較的容易にできるが、地下に埋設された配管、高所に設けられた配管などでは、電池の交換が困難であるという問題があった。

[0008] また、配管の途中にタービンなどの発電機を設置し、その電力を蓄電して無線の送受信に利用することが可能である。しかしながら、タービンなどを配管の途中に設けると障害物となって減圧されてしまい、異物が挟まるなどしてタービンが破損すると配管としての機能が損なわれる恐れがある。

[0009] また、特許文献3の配管網の監視装置では、検査を行うには、人手による作業が必要であり、地下に埋設された配管や高所にある配管などにおいては、検査が容易ではないという問題があった。

[0010] この発明の目的は、合成樹脂管の漏水による振動音に対して感度が高く、設置スパンを長くとれるため、より効率的な合成樹脂管の流体漏洩調査が可能となる漏洩検出器を提供することにある。

[0011] また、この発明の目的は、地下に埋設された配管や高所にある配管などのように、人手によって検査することが容易ではない配管を検査することが容易でかつ電池交換が不要な配管網の監視装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] この発明による漏洩検出器は、配管からの流体漏洩によって生じる振動音を検知する漏洩検出器であって、台座と、台座に支持されて振動音を電気信

号に変換する圧電素子と、圧電素子に負荷された錘とを備えており、圧電素子が高分子圧電材料によって形成されていることを特徴とするものである。

[0013] 従来、この種の検出器に用いられる圧電材料は、チタン酸バリウムやジルコン酸チタン酸鉛などの圧電性セラミックが一般的であった。この発明の漏洩検出器によると、圧電素子が高分子圧電材料によって形成されているものとされ、これにより、圧電素子の弾性定数が低くなり、圧電素子に錘を負荷した系の共振周波数も低くなる。したがって、合成樹脂管の流体漏洩による振動音に対して感度が高くなり、設置スパンを長くとれるため、より効率的な合成樹脂管の漏水調査が可能となる。

[0014] 圧電素子に錘を負荷した系の共振周波数について説明する。

[0015] バネ定数 k (N/m) のバネの片端を固定し、片端に質量 M (kg) の錘をつけたときの共振周波数 f_0 は $f_0 = \sqrt{k/M} / 2\pi$ で表せる。

[0016] ここで、圧電素子をバネと見なすことができる。バネ定数の k は圧電素子の弾性定数を E とすると、 $k = E \cdot A / t$ で表すことができる (A は圧電素子の断面積 (m^2)、 t は圧電素子の厚み (m) を表す。)。ポリフッ化ビニリデン (高分子圧電材料) の弾性定数 E は $2 \sim 5 \times 10^9$ (N/m^2) である。それに対し、ジルコン酸チタン酸鉛 (セラミック圧電材料) の弾性定数は、 $2 \sim 10 \times 10^{10}$ (N/m^2) であり、一桁大きい。このため、セラミック系の圧電素子を使った振動センサーは高い共振周波数に設計しやすく、共振周波数を数 kHz とされることが多い。共振周波数を低くしようとすると錘を減らす必要があるが、そうすると圧電素子にかかる応力が小さくなり、大きな出力が得られない。特許文献 1 のように、ゴム材料を用いて共振周波数を低周波にシフトさせることも可能であるが、ゴム材料によって振動が減衰するために、圧電素子に効率よく振動を伝達することが出来ない。本発明による漏洩検出器では、高分子圧電材料から圧電素子が構成されることで、圧電材料自体の弾性定数を低くし、低い共振周波数にしている。高分子圧電材料には銀やニッケル銅などの電極が必要に応じて取り付けられる。

[0017] 高分子圧電材料の圧電素子は、セラミック系の圧電素子と比較して圧電出

力定数が高い。例えば、ポリフッ化ビニリデンの圧電出力定数 g_{33} が 300×10^{-3} (V m/N) 程度であることに對し、ジルコン酸チタン酸鉛の圧電出力定数 g_{33} は 20×10^{-3} (V m/N) 程度である。これは、高分子圧電材料の方が一定の力 F をかけた時に出力電圧 V が高いことを示している。

[0018] $V = F \cdot g_{33} \cdot t / A$

V : 出力電圧 g_{33} : 圧電出力定数 F : 圧電材料にかかる力 t : 厚み
 A : 断面積。

[0019] 本発明における高分子圧電材料は特に限定されないが、ポリフッ化ビニリデンの延伸フィルムや多孔性のポリプロピレン延伸フィルムなどが挙げられる。中でも、ポリフッ化ビニリデンは耐久性が高く、好適である。また、圧電材料は複数積層するなどしてさらに感度を高めることができる。圧電フィルムの上に錘を負荷して厚み方向の変形を与えることで電位差を発生させることができる。なお、フィルムの厚みは、特に限定されるものではなく、「シート」と称されている厚みのものであってもよい。

[0020] 圧電素子は、その一部のみが台座に支持されており、錘は、圧電素子の台座に支持されていない部分に負荷されていることが好ましい。

[0021] 例えば、フィルムの片端ないしは両端を支持し、フィルムに曲げ変形を加えることによって電位差を発生させると、バネ定数を小さくでき、共振周波数をより低くできるという点で好ましいものとなる。

[0022] 圧電素子の片端を支持する場合、バネ定数 k は下記のように表される。

[0023] $k = 3 E J / L^3$ ($J = b h^3 / 12$)

E : 圧電材料の弾性定数 J : 断面 2 次モーメント L : 長さ b : 幅 h : 高さ。

[0024] 圧電素子の片端を支持する構成は、例えば、台座上に圧電素子の一方の端部を支持する支持手段が設けられて、圧電素子の一方の端部が支持手段に支持されており、圧電素子の他方の端部に錘が負荷されているものとされる。

[0025] 圧電素子の両端を支持する場合、バネ定数 k は下記のように表される。

[0026] $k = 192 E J / L^3$ ($J = b h^3 / 12$)

圧電素子の両端を支持する構成は、例えば、台座上に圧電素子の両方の端部を支持する支持手段が設けられて、圧電素子の各端部が対応する各支持手段に支持されており、圧電素子の中央部に錘が負荷されているものとされる。

[0027] 圧電素子の片端または両端を支持し、上記のパネ定数算出式と上記の共振周波数の算出式とにより、所望の共振周波数に検出器を設定することができる。

[0028] 圧電素子に錘を負荷した系の共振周波数は、 $10\text{ Hz} \sim 1000\text{ Hz}$ の間に設定されていることが好ましい。圧電素子は、その一部のみが台座に支持されており、錘は、圧電素子の台座に支持されていない部分に負荷されているようにすることで、共振周波数を 1000 Hz 以下とすることが容易となる。このように設定することで、この発明の漏洩検出器を上記のような合成樹脂管の流体漏洩調査に好適なものとできる。

[0029] 圧電素子は、補強材層の上下の少なくとも一方の面に積層されていることが好ましい。

[0030] このようにすると、圧電素子層の位置が積層体の中立軸から離れることになり、感度を大きくすることができる。したがって、合成樹脂管の流体漏洩による振動音に対して感度が高くなり、設置スパンを長くとれるため、合成樹脂管の流体漏洩調査用として適したものとなる。

[0031] 積層体の一部のみが台座に支持されて、錘が積層体の台座に支持されていない部分に負荷されているようにするには、例えば、フレイルム状の圧電素子とシート状の補強材層とを積層した積層体の片端ないしは両端を支持し、錘の負荷によって圧電素子層に曲げ変形（弾性変形）を加えることによって電流や電位差を発生させるようにすればよい。これにより、圧電素子層のパネ定数が小さくなり、共振周波数が低くなる。

[0032] フレイルム状の圧電素子に面方向に引張応力や圧縮応力が加わると厚み方向に電位差が発生する。フレイルム状の圧電素子においては、引張応力をかけた時と、引張応力から解放されて圧縮応力が加わった時とで電位差の生じる方

向が異なる。つまり、交流電氣に変換される。積層体に曲げ応力が加わった時、積層体の中立軸より一側の面では引張応力がかかり、他側の面では圧縮応力がかかる。中立軸は応力がゼロの位置であり、中立軸より離れるほど引張応力や圧縮応力は大きくなる。

[0033] 積層体を曲げ変形させることで圧電素子に大きな応力が生じ、これに伴って、圧電素子で得られる電氣信号も大きなものとなる。

[0034] ここで、中立軸が圧電素子の厚み内に位置した場合、同一圧電素子の内部で引張応力を受ける部分と圧縮応力を受ける部分とに分かれてしまい、電流や電位差を相殺して急激に信号強度が低下する。圧電素子層が補強材層の上下の少なくとも一方の面に積層されている構成では、圧電素子の位置が積層体の中立軸から離れることになり、電氣信号出力（感度）を大きくすることができる。

[0035] 例えばポリフッ化ビニリデンの延伸フィルムでは、厚みが100 μ m程度であり、感度を高めるために、上下両面に薄膜電極が設けられた複数枚のフィルム状圧電素子からなる積層構造とすることが好ましい。圧電素子層を積層構造とすることで、引張応力や圧縮応力を受けるフィルム状圧電素子の面積を大きくすることができ、高い出力が得られる。

[0036] フィルム状圧電素子を積層構造とするに際しては、短尺状の（1層分の幅および長さを有する）フィルム状圧電素子1枚ずつを絶縁層を介して貼り合わせて各層ごとに電氣信号を取り出すようにしてもよく、上下両面に薄膜電極が設けられた長尺状の（1層分の幅および複数層分の長さを有する）フィルム状圧電素子が蛇腹状に折り畳まれることで圧電素子層が形成されているようにしてもよい。

[0037] 薄膜電極のついたフィルム状圧電素子を蛇腹状に折り畳むと、薄膜電極がショートしないので、絶縁層が不要となり、個々の薄膜電極を結線する必要がないので、積層構造を簡単に得ることができる。

[0038] 圧電素子層が補強材層の上下両面に積層されている場合には、電氣信号を相殺しないように、上側の圧電素子層の一方の薄膜電極とこれに対応する下

側の圧電素子層の一方の薄膜電極とが接続されて、上側の圧電素子層の他方の薄膜電極とこれに対応する下側の圧電素子層の他方の薄膜電極とから電気信号が取り出されるようになされる。

[0039] 補強材層の上下両面に圧電素子層が積層される場合、もともとの圧電素子層の一方の薄膜電極と他方の薄膜電極とについては、どちらが上下になってもよいが、薄膜電極同士を接続する際には、電気信号を相殺しないように接続される。例えば、上側の圧電素子層の最も上側の面の薄膜電極と下側の圧電素子層の最も下側の面の薄膜電極とが一方の薄膜電極で、上側の圧電素子層の最も下側の面の薄膜電極と下側の圧電素子層の最も上側の面の薄膜電極とが他方の薄膜電極の場合、他方の薄膜電極同士を連結線（連結のための電線）で接続し、一方の薄膜電極同士をリード線（信号取出しのための電線）で接続すればよい。

[0040] 圧電素子層を中立軸の上側と下側とに配置した際、上下で発生する応力方向が異なる。その時に電気信号を相殺しないように薄膜電極同士を連結することで、大きな電気信号を得ることができる。

[0041] 補強材層の曲げ弾性率が圧電素子層の曲げ弾性率より大きいことが好ましい。

[0042] 複数の材料を積層した時に中立軸の位置は弾性率の高い材料側に寄る。圧電素子層と補強材層とを積層し、所定の厚みの積層体とする場合、補強材層の弾性率が高いと圧電素子層の割合を大きくすることができる。

[0043] 補強材層の厚みを圧電素子層の厚みよりも大きいものとして、かつ、補強材層の曲げ弾性率が圧電素子層の曲げ弾性率より大きいものとするすることで、容易に曲げの中立軸が圧電素子層の内部に存在しないようにすることができる。

[0044] 圧電素子材料が高分子であれば、比較的弾性率を小さくすることができ、中立軸を補強材層側に寄らせることが容易になる。また、折り畳んで積層する場合にも高分子であれば柔軟であり折り畳んだ際に破壊することがない。圧電素子材料が高分子の場合、補強材層も高分子であることが好ましく、例

例えば、補強材層として、PET（ポリエチレンテレフタレート）を使用して、厚みを圧電素子層の厚みよりも大きいものとするこゝで、好ましい積層体を得られる。

[0045] 圧電素子の支持手段による支持位置と錘の負荷位置との距離が機械的に可変とされているこゝにより、共振周波数が可変とされているこゝが好ましい。

[0046] こゝのようにすると、振動音を電気信号に変換する圧電素子と、圧電素子の一端部を支持する支持手段と、圧電素子の他端部に荷重を負荷する錘とを備えているので、バネ定数が小さくなり、共振周波数が低くなる。したがって、合成樹脂管の流体漏洩による振動音に対して感度が高くなり、設置スパンを長くとれるため、より効率的な合成樹脂管の漏水調査が可能となる。

[0047] さらに、圧電素子の支持手段による支持位置と錘の負荷位置との距離が機械的に可変とされているので、共振周波数を自在にコントロールすることができる。したがって、同じ漏洩検出器を使用して、異なる配管部材に対し、支持手段による支持位置と錘の負荷位置との距離を変更するだけで対応することができる。

[0048] この発明の漏洩検知方法によると、共振周波数が可変とされた漏洩検出器を使用して、配管部材の材料や管の口径に応じて、漏洩検出器は変更せずに、その共振周波数を変更することで、精度の高い漏洩検出を行うことができる。したがって、配管部材の材料や管の口径に応じて、漏洩検出器を変更する漏洩検知方法に比べて、システムを簡素化することができる。

[0049] 圧電素子の一端部が台座に支持されて、錘が圧電素子の他端部（台座に支持されていない部分）に負荷されているようにするには、例えば、フィルム状（またはシート状）の圧電素子の片端を支持し、錘の負荷によって圧電素子に曲げ変形を加えるこゝによって電位差を発生させるようにすればよい。これにより、バネ定数が小さくなり、共振周波数が低くなる。したがって、合成樹脂管の流体漏洩による振動音に対して感度が高くなり、設置スパンを長くとれるため、より効率的な合成樹脂管の漏水調査が可能となる。

[0050] 流体漏洩の検出対象となる配管部材には、金属管か合成樹脂管かの材料違いの他に、口径についても、種々のものがあり、これらの相違点によって、共振周波数が異なっている。この発明による漏洩検出器によると、漏洩検出器側で、共振周波数を変化させることができるので、同じ漏洩検出器を使用して、その共振周波数を変化させることによって、種々の配管部材における流体漏洩の検出が可能となる。

[0051] 上記のように、圧電素子に錘を負荷した系の共振周波数 f_0 は、 $f_0 = \sqrt{(k/M) / 2\pi}$ で表され、圧電素子の片端を支持する場合、バネ定数 k は、 $k = 3EJ/L^3$ ($J = bh^3/12$) で表される。

[0052] ここで、 L は、片持ちの梁の長さであり、圧電素子の支持手段による支持位置と錘の負荷位置との距離がこれに対応している。すなわち、支持位置と錘の負荷位置との距離を変更することで、共振周波数が可変となる。

[0053] 梁の長さ L を大きくすると共振周波数 f_0 は低くなり、 L を小さくすると f_0 は高くなる。上式より、 f_0 は L の $3/2$ 乗に反比例することが分かる。

[0054] 配管の漏洩によって発生する漏洩振動は配管の材質や口径によってピークとなる周波数が異なる。この発明の漏洩検出器によると、配管の材質や口径に合わせて梁の長さを機械的に変更し、共振周波数を自在にコントロールすることができる。

[0055] 圧電素子における錘の負荷位置との距離が機械的に可変とする構成は、特に限定されないが、例えば、支持手段は、台座に固定された支持手段と、圧電素子の一端側にある部分を上下両側から挟んで台座上を移動することによって圧電素子の支持される部分の長さを変化させるスライダーとを備えているものとされる。

[0056] このようにすると、簡単な構成で支持位置と錘の負荷位置との距離を変更することができ、また、支持位置と錘の負荷位置との距離を変更するための操作を容易なものとできる。

[0057] 支持位置と錘の負荷位置との距離が最大時の漏洩検出器の共振周波数が 1

50 Hz 以下に、支持位置と錘の負荷位置との距離が最小時の漏洩検出器の共振周波数が400 Hz 以上に設定されていることが好ましい。

[0058] 共振周波数が150 Hz 以下の漏洩検出器は、漏洩検知対象の配管部材が合成樹脂製でかつ口径が相対的に大きい場合に適しており、共振周波数が400 Hz 以上の漏洩検出器は、漏洩検知対象の配管部材が金属製でかつ口径が相対的に小さい場合に適している。共振周波数が150 Hz 以下および400 Hz 以上のいずれにも適用可能とすることで、例えば対象とする水道管路で異なる配管部材が使用されていても、同じ漏洩検出器を使用して、圧電素子の支持手段による支持位置と錘の負荷位置との距離の変更だけで対応することができる。

[0059] この発明による漏洩検知方法は、上記いずれかの漏洩検出器を配管部材の近傍に設置し、配管からの流体漏洩によっておこる振動を検知することで流体漏洩の有無を判定することを特徴とするものである。

[0060] この発明による漏洩検知方法において、漏洩検知対象の配管部材が合成樹脂製か金属製かに対応して、合成樹脂製の配管部材に対しては、漏洩検出器の共振周波数を可変可能範囲のうちの相対的に低い値とし、金属製の配管部材に対しては、漏洩検出器の共振周波数を可変可能範囲のうちの相対的に高い値とすることが好ましく、また、漏洩検知対象の配管部材の管の口径が相対的に大か小かに対応して、口径が相対的に大の配管部材に対しては、漏洩検出器の共振周波数を可変可能範囲のうちの相対的に低い値とし、口径が相対的に小の配管部材に対しては、漏洩検出器の共振周波数を可変可能範囲のうちの相対的に高い値とすることが好ましい。

[0061] こうして、共振周波数が可変とされた漏洩検出器を使用して、配管部材の材料や管の口径に応じて、漏洩検出器は変更せずに、その共振周波数を変更することで、精度の高い漏洩検出を行うことができる。したがって、配管部材の材料や管の口径に応じて、漏洩検出器を変更する漏洩検知方法に比べて、システムを簡素化することができる。

[0062] この発明による配管網の監視装置は、管および継手からなる配管網の複数

箇所それぞれ取り付けられて配管内流体の移動に伴う圧力変動を電荷信号に変換する複数の圧電素子と、各圧電素子で得られた電荷信号を送信する通信機と、通信機からの送信情報を遠隔地で受信して表示する表示装置とを備えていることを特徴とするものである。

[0063] 圧電素子としては、ジルコン酸チタン酸鉛やチタン酸バリウムなどのセラミック材料からなるものやポリフッ化ビニリデンなどの樹脂材料からなるものなどが使用される。

[0064] 管および継手は、配管網内を流れる流体からの力を受け、管または継手に設けられた圧電素子は、微細な振動や歪みによって変形して、電圧と電荷を生じる。発生した電圧はそのまま信号として送信してもよいし、一度、電荷を蓄電素子に蓄え、信号を送信する通信機に用いる電源としてもよい。信号の送信は有線でも無線でもよいが、地震などの災害での断線する恐れがない無線が好ましい。信号の送信は常時行ってもよいし、間欠的に行ってもよい。また、通常時は信号の送信を行わずに一定の規格範囲を逸脱した場合に限って信号送信を行うようにしてもよい。

[0065] 個々の圧電素子にはアドレス情報が設定され、電荷信号情報と共に送信される。これにより、場所を特定することができ、複数の圧電素子の電荷信号情報の管理が容易となる。

[0066] 通常時に蓄電素子に蓄える電荷は全量でもよいし、一部はそのまま信号として用い、残量を蓄えるようにしてもよい。また、電気信号情報を取得する圧電素子と蓄電素子に電荷を蓄える圧電素子は同一でなくともよい。蓄電素子としては、例えば電気二重層キャパシタなどのキャパシタが使用されるが、これに限定されるものではない。

[0067] 圧電素子は、チャージアンプを介して、制御回路に接続されており、制御回路に、圧電素子で得られる電荷信号が正常かどうかを判定する判定手段が設けられていることがある。

[0068] 一般に、上記の圧電素子は出力インピーダンスが非常に大きいので、ノイズの影響を少なくし、信号として正確に取り出すためにはチャージアンプに

よって電荷を増幅させて電圧出力に変換することが好ましい。

[0069] 信号から異常を判定するための通常範囲は、電圧出力の上下限や、振動の周波数帯域などで設定しておけばよい。通常範囲内であるか否かは受信側で判別してもよいし、送信側に制御回路を組んで判別してもよい。送信側に制御回路を設けて、異常を判定することで、不要な情報をカットし、先に記載したアドレス情報とともに情報化すれば不必要な無線通信を行うことがないために好適である。

[0070] 表示装置としては、例えばパソコンが使用されるが、これに限定されるものではない。異常時には、音または光によって警報が出されることが好ましい。必ずしも数値情報等を表示する必要はなく、異常時の警報のみとすることもできる。

[0071] 圧電素子は、ポリフッ化ビニリデンの延伸フィルムとされて、継手に設けられていることが好ましい。

[0072] ポリフッ化ビニリデンの延伸フィルムは、可撓性がある耐衝撃性に優れ、化学的に安定である点で、圧電素子材料として優れている。

[0073] 圧電素子を取り付ける場所は、管や継手などの配管網の一部であればよく、特に限定されないが、一定間隔で設置され、施工時に切断等の加工がない継手に組み込むことが好ましい。また、地震等の大きな外力が配管網に加わった場合も継手に応力が加わりやすいために配管網の異常を検知しやすく好適である。

[0074] 配管網を構成する管や継手の材質もステンレス、鋳鉄、コンクリート、繊維強化プラスチック、ポリ塩化ビニル、ポリエチレン、架橋ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリブテン、フッ素樹脂等、特に限定されない。

[0075] また、配管網を流れる流体の種類は水やガス、薬液やオイル、スラリーなど、特に限定されない。

発明の効果

[0076] この発明の漏洩検出器によると、圧電素子が高分子圧電材料によって形成されているので、圧電素子の弾性定数が低くなり、圧電素子に錘を負荷した

系の共振周波数も低くなる。したがって、合成樹脂管の流体漏洩による振動音に対して感度が高くなり、設置スパンを長くとれるため、より効率的な合成樹脂管の流体漏洩調査が可能となる。

[0077] この発明の配管網の監視装置によると、圧電素子から得られた電荷信号が遠隔地にある表示装置に表示され、この電荷信号情報が配管網が通常時と異常時とで相違することで、配管網が正常かどうかを監視することができる。

図面の簡単な説明

[0078] [図1]図1は、この発明による配管網の監視装置の1例を模式的に示す図である。

[図2]図2は、この発明による配管網の監視装置で使用されている漏洩検出器を示すブロック図である。

[図3]図3は、漏洩検出器を継手に取り付けた1例を示す図である。

[図4]図4は、漏洩検出器を管に取り付けた1例を示す図である。

[図5]図5は、配管網の監視装置の通常時の出力状態の1例を示す図である。

[図6]図6は、配管網の監視装置の異常時の出力状態の1例を示す図である。

[図7]図7は、この発明による漏洩検出器の第1実施形態を模式的に示す図である。

[図8]図8は、この発明による漏洩検出器の第2実施形態を模式的に示す図である。

[図9]図9は、この発明による漏洩検出器の第3実施形態を模式的に示す図である。

[図10]図10は、図9の平面図である。

[図11]図11は、この発明による漏洩検出器の第4実施形態を模式的に示す図である。

[図12]図12は、図11の平面図である。

[図13]図13は、この発明による漏洩検出器の第5実施形態を模式的に示す図である。

[図14]図14は、この発明による漏洩検出器の第6実施形態を模式的に示す

図である。

[図15]図15は、この発明による漏洩検出器の第7実施形態を模式的に示す

図である。

[図16]図16は、この発明による漏洩検出器の第8実施形態を模式的に示す

図である。

[図17]図17は、第8実施形態の漏洩検出器に対する比較例の作用を模式的

に示す図である。

[図18]図18は、第8実施形態の漏洩検出器の作用を模式的に示す図である

。

[図19]図19は、この発明による漏洩検出器の第9実施形態を模式的に示す

図である。

[図20]図20は、この発明による漏洩検出器の第10実施形態を模式的に示

す図である。

[図21]図21は、第8実施形態の漏洩検出器における中立軸の求め方を示す

図である。

[図22]図22は、この発明による漏洩検出器の第11実施形態を模式的に示

す図である。

[図23]図23は、図22の状態からスライダを移動させたときの状態を示

す図である。

[図24]図24は、この発明による漏洩検出器を使用して得られる漏水音の1

例を示す図である。

[図25]図25は、従来の漏洩検出器を使用して得られる漏水音の1例を示す

図である。

符号の説明

[0079] (1)：配管網の監視装置、(2)：配管網、(3)：合成樹脂管、(4)(5)：継手、(6)
(7)：無線通信機、(8)：解析装置、(9)：圧電素子、(11)：
キャパシタ(蓄電素子)、(13)：制御回路、(21)(34)(38)(41)：台座、(24)(
28)(31)(33)(36)(37)(40)：錘、(27)(29)(30)(32)：支柱(支持手段)、(35)

(39) : 支持手段、(41d) : 側壁 (支持手段)、(51) : 積層体、(52) : 補強材層、(61) : 支持手段、(63) : スライダー

発明を実施するための形態

[0080] この発明の実施の形態を、以下図面を参照して説明する。

[0081] 図 1 は、この発明による配管網の監視装置の 1 実施形態を示している。

[0082] 配管網の監視装置(1)は、複数の管(3)および複数の継手(4)(5)で構成された配管網 (図示は水道管路網) (2)と、各継手(4)(5)に設けられた漏洩検出器(6)と、各漏洩検出器(6)にそれぞれ接続された無線通信機(7)と、各無線通信機(7)から送られてくる情報を受け取って解析する解析装置(8)とを備えている。

[0083] 漏洩検出器(6)は、図 2 および図 3 に示すように、圧電素子(9)と、圧電素子(9)に電氣的に接続された制御基板(10)とからなる。圧電素子(9)は、ポリフッ化ビニリデンの延伸フィルム (P V D F フィルム) とされている。

[0084] 配管網(2)内を流体が流れると、管(3)および継手(4)(5)には、流体から作用する力によって、微細な振動や歪みが生じる。これに伴って、継手(4)(5)に貼り付けられた圧電素子(9)に付与される圧力が変動し、圧電素子(9)において、圧力変動が電荷信号に変換される。

[0085] 図 3 に示すように、制御基板(10)には、電源用キャパシタ (蓄電素子) (11)、チャージアンプ(12)、制御回路(13)、無線回路(14)などが設けられている。

[0086] 圧電素子(9)で得られた電荷は、その一部がキャパシタ(11)に送られ、残部がチャージアンプ(12)に送られる。

[0087] キャパシタ(11)は、電荷を蓄えて、所定の電圧を漏洩検出器(6)の各部 (チャージアンプ(12)、制御回路(13)、無線回路(14)など) に供給している。

[0088] なお、外部電源を使用するようにして、キャパシタ(11)を省略するようにしてもよい。電源として電池を使用した場合には、その交換が必要であるが、圧電素子(9)で得られた電荷を電源用に使用することで、電池交換が不要となる。

- [0089] チャージアンプ(12)において、圧電素子(9)で得られた電荷信号が増幅される。圧電素子(9)は、出力インピーダンスが非常に大きいため、ノイズの影響が出やすいが、チャージアンプ(12)を使用することで、電荷信号を増幅させて電圧信号として正確に取り出すことができる。
- [0090] チャージアンプ(12)から出力された電圧信号は、制御回路(13)において処理された後、監視情報として無線回路(14)を介して解析装置(8)に送信される。各漏洩検出器(6)には、アドレス情報が付されており、パソコンなどの解析装置(8)により、配管網(2)の所定箇所における圧力変動を監視することができる。
- [0091] 圧力変動には、通常の流体の流れによって生じるものと、異常時に生じるものとがあるので、制御回路(13)に適宜な判定手段を設けておくことで、異常が起きたときにのみ、監視情報（異常情報）を出力するようにすることができる。
- [0092] 図1において、A、BおよびCで示す位置における通常の電荷信号は、例えば、図5に示すようなものとなる。仮に、図1において、Pで示す位置において管(3)が破損して漏水が生じた場合、電荷信号は、例えば、図6に示すようなものとなる。すなわち、破損箇所近傍（位置Bおよび位置C）にある漏洩検出器(6)の電圧信号は、流体の流れによって通常範囲を超えて大きく振動し、破損箇所に最も近い位置（位置C）にある漏洩検出器(6)の電圧信号が、最も大きく（電圧の大きさだけでなく振動の周波数も）変動する。
- [0093] したがって、チャージアンプ(12)から出力された電圧信号について、電圧出力の上下限および／または振動の周波数帯域の基準値を設定しておき、電圧信号と基準値を比較して、電圧信号が基準値を超えた場合に異常と判定することができる。こうして、漏水による過剰な振動を検知することができ、漏水箇所の特定が可能となる。
- [0094] 解析装置(8)は、中央処理室などに設けられ、地下に埋設された配管や高所にある配管などのように、人手によって検査することが容易ではない配管からなる配管網(2)であっても、その異常を容易に知ることができる。

- [0095] 漏洩検出器(6)は、継手(4)(5)に代えて、管(3)に取り付けるようにしてもよく、この場合は、図4に示すように、ポリフッ化ビニリデンの延伸フィルムからなる圧電素子(9)を管(3)の周囲に貼り付けて、この圧電素子(9)と制御基板(10)とを接続するようにすればよい。
- [0096] なお、上記実施形態では、制御回路(13)に適宜な判定手段を設けておくことで、異常が起きたときにのみ、監視情報（異常情報）を出力するようにしているが、判定手段を解析装置(8)に設けるようにして、漏洩検出器(6)からは、チャージアンプ(12)から出力された電圧信号をそのまま解析装置(8)に送信するようにしてもよい。
- [0097] 以下に、漏洩検出器(6)の好ましい実施形態を示す。
- [0098] 漏洩検出器(6)の第1実施形態は、図7に示すように、鉄製の台座(21)と、台座(21)上に設置された圧電素子(9)と、圧電素子(9)の両面に銀ペーストを塗布して形成した上下1対の薄膜電極(22)(23)と、上側の薄膜電極(22)の上に積載された錘(24)とを備えている。台座(21)と錘(24)にはそれぞれ、リード線(25)(26)が取り付けられている。リード線(25)(26)に、解析装置(8)を構成するオシロスコープやデータロガー等が接続され、これにより、台座(21)と錘(24)との間の電位差が測定されて解析装置(8)に記録される。
- [0099] 圧電素子(9)は、高分子圧電材料であるポリフッ化ビニリデンの延伸フィルム（PVDフイルム）によって形成されている。圧電素子(9)と錘(24)からなる系の共振周波数 $f_0 = \sqrt{(k/M)} / 2\pi$ （ k は圧電素子のバネ定数、 M は錘の質量）は、10Hz～1000Hzに設定されている。
- [0100] 配管(2)内で漏水が発生すると、合成樹脂管(3)および合成樹脂継手(4)(5)には、振動音が生じる。これに伴って、合成樹脂継手(4)(5)に貼り付けられた漏洩検出器(6)の圧電素子(9)に付与される圧力が変動し、圧電素子(9)において、圧力変動が電荷信号に変換される。
- [0101] 実験的に口径75mmのポリ塩化ビニル製の配管(2)に台座(21)を固定し、そこから10m離れた地点においてポリ塩化ビニル製の合成樹脂管(3)を一定の力でハンマーを用いて叩いた。その時の波形（漏水音）の周波数スペクト

ルを図24に示す。1000Hzより低周波数側の周波数帯域において大きな信号が記録された。

[0102] 比較として、圧電材料をジルコン酸チタン酸鉛とした場合の波形（漏水音）の周波数スペクトルを図25に示す。図25においては、図24で得られている合成樹脂管(3)の特徴的な振動である低周波領域の信号がほとんど拾えていないことが分かる。

[0103] すなわち、図7に示した漏洩検出器(6)によると、従来困難であったポリ塩化ビニル製のような合成樹脂管(3)の漏水による振動音に対して感度が高くなる。したがって、漏洩検出器(6)の設置スパンを長くとれるため、効率的な合成樹脂管(3)の漏水調査が可能となる。

[0104] 図7において、圧電素子(9)は、全面が台座(21)に支持されているが、支持する方法はこれに限られるものではなく、以下に示すような実施形態とすることもできる。

[0105] 漏洩検出器(6)の第2実施形態は、図8に示すように、鉄製の台座(21)と、台座(21)上に設置された圧電素子(9)と、下端部が台座(21)に固定されて上端部で圧電素子(9)を支持する支柱（支持手段）(27)と、圧電素子(9)の両面に銀ペーストを塗布して形成した上下1対の薄膜電極(22)(23)と、上側の薄膜電極(22)の上に積載された錘(28)とを備えている。支柱(27)と上側および下側の薄膜電極(22)(23)との間は絶縁されており、各薄膜電極(22)(23)にリード線(25)(26)が取り付けられている。リード線(25)(26)に、解析装置(8)が接続され、これにより、上側の薄膜電極(22)と下側の薄膜電極(23)との間の電位差が測定されて解析装置(8)に記録される。

[0106] この実施形態では、支柱(27)による圧電素子(9)の支持は、片持ち支持とされており、圧電素子(9)の一方の端部が支柱(27)の上端部に支持されており、錘(28)は、圧電素子(9)の他方の端部に積載されている。

[0107] 圧電素子(9)は、高分子圧電材料であるポリフッ化ビニリデンの延伸フィルム（PVDFフィルム）によって形成されている。圧電素子(9)の片端が支持されていることで、バネ定数kは下記のように表される。

[0108] $k = 3 E J / L^3$ ($J = b h^3 / 12$)

E : 圧電材料の弾性定数 J : 断面 2 次モーメント L : 長さ (図 8 の左右方向の寸法) b : 幅 (図 8 の紙面表裏方向の寸法) h : 高さ (図 8 の上下方向の寸法)

圧電素子(9)と錘(28)からなる系の共振周波数 $f_0 = \sqrt{k / M} / 2 \pi$ は、10 Hz ~ 1000 Hz に設定されている。

[0109] この実施形態においても、リード線(25)(26)より電位差を測定することで、図 24 に示したのと同じように、合成樹脂管(3)の特徴的な振動である低周波領域の信号を計測することができた。

[0110] 上記では一つの支持手段に対して圧電素子を一つ固定した例を示したが、これに限定されず、一つの支持手段に対して複数の圧電素子を固定し、それに応じた錘を備えるようにすることで、片持ち梁が複数個ある構成とすることもできる。

[0111] 漏洩検出器(6)の第 3 実施形態は、図 9 に示すように、鉄製の台座(21)と、台座(21)上に設置された圧電素子(9)と、下端部が台座(21)に支持されて上端部で圧電素子(9)を支持する 1 対の支柱 (支持手段) (29)(30)と、圧電素子(9)の両面に銀ペーストを塗布して形成した上下 1 対の薄膜電極(22)(23)と、上側の薄膜電極(22)の上に積載された錘(31)とを備えている。各支柱(29)(30)と上側および下側の薄膜電極(22)(23)との間は絶縁されており、各薄膜電極(22)(23)にリード線(25)(26)が取り付けられている。リード線(25)(26)に、解析装置(8)に接続され、これにより、上下 1 対の薄膜電極(22)(23)間の電位差が測定されて解析装置(8)に記録される。

[0112] この実施形態では、支柱(29)(30)による圧電素子(9)の支持は、両持ち支持とされており、圧電素子(9)の両方の端部が支柱(29)(30)の上端部に支持されており、錘(31)は、圧電素子(9)の中央部に積載されている。

[0113] 圧電素子(9)は、ポリフッ化ビニリデンの延伸フィルム (P V D F フィルム) によって形成されている。圧電素子(9)の両端が支持されていることで、バネ定数 k は下記のように表される。

[0114] $k = 192 EJ / L^3$ ($J = bh^3 / 12$)

E : 圧電材料の弾性定数 J : 断面2次モーメント L : 長さ (図9の左右方向の寸法) b : 幅 (図9の紙面表裏方向の寸法) h : 高さ (図9の上下方向の寸法)

圧電素子(9)と錘(31)からなる系の共振周波数 $f_0 = \sqrt{(k/M)} / 2\pi$ は、10Hz～1000Hzに設定されている。

[0115] この実施形態においても、リード線(25)(26)より電位差を測定することで、図24に示したのと同じように、合成樹脂管(3)の特徴的な振動である低周波領域の信号を計測することができた。

[0116] 上記第3実施形態の漏洩検出器(6)における圧電素子(9)および薄膜電極(22)(23)の形状は、特に限定されないが、図10に示すように支柱(29)(30)間の距離に対応する長さがこれに直交する幅に比べて長い長方形状とすることで、曲げ変形量を大きいものとすることができる。共振周波数を小さくしたい場合には、より細長い長方形状とすることで対応できる。図10には、第3実施形態に対応する図を示しているが、図8に示す第2実施形態の漏洩検出器(6)における圧電素子(9)および薄膜電極(22)(23)の形状についても、同様である。

[0117] 図9および図10に示す第3実施形態では、長方形状の圧電素子(9)の支持位置と錘(31)の負荷位置との関係について、圧電素子(9)が両端部で支持されて(すなわち両持ち)、錘(31)の重量が圧電素子(9)の中央部に負荷されているが、圧電素子の中央部が支持されて、両端部に錘が負荷されているようにしてもよく、この場合には、圧電素子の支持は、片持ちが2つと見なすことができ、第2実施形態と同程度にバネ定数kを大きいものとすることができる。

[0118] また、図9および図10に示す第3実施形態では、長方形状の圧電素子(9)の両端部が支持されているが、圧電素子の形状を正方形または円形として、圧電素子(9)の(両端部ではなく)周縁部を支持して、錘(33)を圧電素子(9)の中央部に積載するようにしても、同様の効果を得ることができる。この実

施形態を図 1 1 および図 1 2 に示す。

[0119] 図 1 1 および図 1 2 において、漏洩検出器(6)の第 4 実施形態は、鉄製の台座(21)と、台座(21)上に設置された円形の圧電素子(9)と、下端部が台座(21)に固定されて上端部で圧電素子(9)を支持する円筒状の支柱(支持手段)(32)と、圧電素子(9)の両面に銀ペーストを塗布して形成した上下 1 対の薄膜電極(22)(23)と、上側の薄膜電極(22)の上に積載された錘(33)とを備えている。支柱(32)と上側および下側の薄膜電極(22)(23)との間は絶縁されており、各薄膜電極(22)(23)にリード線(25)(26)が取り付けられている。リード線(25)(26)に、解析装置(8)が接続され、これにより、上下 1 対の薄膜電極(22)(23)間の電位差が測定されて解析装置(8)に記録される。

[0120] この実施形態では、支柱(32)による圧電素子(9)の支持は、周縁部支持とされて、圧電素子(9)の周縁部(環状となっている)が支柱(32)の上端部に支持されている。また、錘(33)は、円形の圧電素子(9)の中心部分に積載されている。

[0121] 圧電素子(9)は、ポリフッ化ビニリデンの延伸フィルム(PVDF フィルム)によって形成されている。圧電素子(9)の周縁部が支持されていることで、圧縮変形が小さくて、曲げ変形が大きいものとなっており、両持ち支持と同程度にバネ定数 k を大きいものとすることができる。

[0122] 図示省略するが、第 4 実施形態における圧電素子(9)の周縁部支持・中心部分に錘(33)の関係を逆にして、圧電素子(9)の中央部を円柱状の支持手段で支持するとともに、圧電素子(9)の周縁部に環状の錘を積載するようにしてもよい。圧電素子(9)の中央部を円柱状の支持手段で支持するとともに、圧電素子(9)の中央部支持・周縁部に錘とすることで、圧縮変形が小さくて、曲げ変形が大きいものとなり、両持ち支持と同程度にバネ定数 k を大きいものとすることができる。

[0123] 上記各実施形態では、圧電素子(9)の上面に錘(24)(28)(31)(33)を積載することで負荷を与えるようにしているが、圧電素子の下面に錘を吊り下げるように固定して、圧電素子に負荷を与えるようにしてもよい。また、圧電素子(

9)を支持手段としての支柱(27)(29)(30)(32)の上端部で支持する形態に代えて、圧電素子を支持手段の下端部で吊り下げのように支持してもよい。その例を図13から図15までに示す。

[0124] 図13に示す第5実施形態の漏洩検出器(6)において、台座(34)は、底壁(34a)、頂壁(34b)および側壁(34c)を有する直方体の中空状とされており、頂壁(34b)に柱状の支持手段(35)が垂下状に設けられている。圧電素子(9)は、図10に示した長方形状とされている。圧電素子(9)の両面には、銀ペーストを塗布することで上下1対の薄膜電極(22)(23)が形成されている。圧電素子(9)は、上側の薄膜電極(22)を介して、その中央部上面が支持手段(35)の下端面に固定されている。錘(36)(37)は、直方体状のものが2つ使用されて、その上面が下側の薄膜電極(23)の両端部の下面にそれぞれ接着されている。支持手段(35)の下端部と上側の薄膜電極(22)との間は絶縁されており、各薄膜電極(22)(23)にリード線(25)(26)が取り付けられている。リード線(25)(26)に、解析装置(8)が接続され、これにより、上下1対の薄膜電極(22)(23)間の電位差が測定されて解析装置(8)に記録される。

[0125] この実施形態(第5実施形態)は、圧電素子(9)の中央部を支持して、圧電素子(9)の両端部に錘(36)(37)を負荷するようになっており、第2～第4実施形態と同様にバネ定数 k を大きいものとすることができる。

[0126] なお、図13において、圧電素子(9)を円形状または方形状に変更するとともに、錘(36)(37)を円筒状または角筒状に変更した実施形態(図11および図12に示す第4実施形態と類似の実施形態)としてもよい。

[0127] 図14には、片持ちの場合の変形例を示している。同図に示す第6実施形態の漏洩検出器(6)において、台座(38)は、底壁(38a)、頂壁(38b)および側壁(38c)を有する直方体の中空状とされており、頂壁(38b)の端部近くに柱状の支持手段(39)が垂下状に設けられている。圧電素子(9)は、図10に示した長方形状とされている。圧電素子(9)の両面には、銀ペーストを塗布することで上下1対の薄膜電極(22)(23)が形成されている。圧電素子(9)は、片持ち、すなわち、一方の端部が上側の薄膜電極(22)を介して支持手段(39)の下面に固

定されて、他端が自由端とされている。錘(40)は、直方体状とされて、圧電素子(9)の他端部に積載されている。支持手段(39)の下端部と上側の薄膜電極(22)との間は絶縁されており、各薄膜電極(22)(23)にリード線(25)(26)が取り付けられている。リード線(25)(26)に、解析装置(8)が接続され、これにより、上下1対の薄膜電極(22)(23)間の電位差が測定されて解析装置(8)に記録される。

[0128] この実施形態（第6実施形態）は、圧電素子(9)の一端部を支持して、圧電素子(9)の他端部に 錘(40)を負荷するようになっており、図8に示した第2実施形態と同様の特性を奏することができる。

[0129] 図15には、片持ちの場合の別の変形例を示している。同図に示す第7実施形態の漏洩検出器(6)において、台座(41)は、底壁(41a)、頂壁(41b)および側壁(41c)(41d)を有する直方体の中空状とされている。そして、頂壁(41b)に支持手段を設けるのではなく、いずれか1つの側壁(41d)を支持手段として使用する構成とされて、圧電素子(9)は、図10に示した長形状とされて、その一端部が側壁（支持手段）(41d)に固定されている。

[0130] 圧電素子(9)の両面には、銀ペーストを塗布することで上下1対の薄膜電極(22)(23)が形成されている。錘(42)は、直方体状とされて、その上面が下側の薄膜電極(23)の他方の端部の下面に接着されている。支持手段とされた側壁(41d)と上下の薄膜電極(22)(23)との間は絶縁されており、各薄膜電極(22)(23)にリード線(25)(26)が取り付けられている。リード線(25)(26)に、解析装置(8)が接続され、これにより、上下1対の薄膜電極(22)(23)間の電位差が測定されて解析装置(8)に記録される。

[0131] この実施形態（第7実施形態）は、圧電素子(9)の一端部を支持して、圧電素子(82)の他端部に錘(42)を負荷するようになっており、図8に示した第2実施形態と同様の特性を奏することができる。

[0132] 第2から第7までの実施形態によると、圧電素子(9)は、その一部のみが台座(21)(34)(38)(41)に支持されており、錘(28)(31)(36)(37)(40)(43)は、圧電素子(9)の台座(21)(34)(38)(41)に支持されていない部分に負荷されており

、曲げ変形を利用できることで、圧電素子(9)に錘(28)(31)(36)(37)(40)(43)を負荷した系の共振周波数を所望の小さな値に容易に設定することができ、この点で、第1実施形態の圧電素子(9)の全面が支持されて全面に錘(24)が負荷されている形態に比べて有利となっている。

[0133] 漏洩検出器(6)の第8実施形態は、図16に示すように、鉄製の台座(21)と、上下圧電素子層(9A)(9B)および上下圧電素子層(9A)(9B)間に介在させられた補強材層(52)からなる積層体(51)と、下端部が台座(21)に固定されて上端部で積層体(51)を支持する支柱(支持手段)(27)と、積層体(51)の反固定側の端部上に積載された錘(28)とを備えている。

[0134] 圧電素子層(9A)(9B)には、上下両面に銀ペーストを塗布することで薄膜電極(22A)(23A)(22B)(23B)が形成されている。

[0135] 支柱(27)と薄膜電極(22A)(23A)(22B)(23B)との間は絶縁されており、上側圧電素子層(9A)の上側の薄膜電極(22A)と下側圧電素子層(9B)の下側の薄膜電極(23B)とに信号取出し用のリード線(25)(26)が取り付けられている。上側圧電素子層(9A)の下側の薄膜電極(23A)と下側圧電素子層(9B)の上側の薄膜電極(22B)とは、電線(53)によって接続されている。リード線(25)(26)には、解析装置(8)が接続され、これにより、上側の薄膜電極(22A)と下側の薄膜電極(23B)との間の電位差が測定されて解析装置(8)に記録される。

[0136] この実施形態では、支柱(27)による積層体(51)の支持は、片持ち支持とされており、積層体(51)の一方の端部が支柱(27)の上端部に支持されており、錘(28)は、積層体(51)の他方の端部に積載されている。

[0137] 圧電素子層(9A)(9B)は、ポリフッ化ビニリデンの延伸フィルムによって形成されている。圧電素子層(9A)(9B)の片端が支持されていることで、バネ定数 k は、上記のように、 $k = 3 E J / L^3$ ($J = b h^3 / 12$) E : 圧電材料の弾性定数 J : 断面2次モーメント L : 長さ(図16の左右方向の寸法) b : 幅(図16の紙面表裏方向の寸法) h : 高さ(図16の上下方向の寸法)と表される。

[0138] 積層体(51)と錘(28)からなる系の共振周波数 $f_0 = \sqrt{(k/M)} / 2\pi$ は

、 $10\text{Hz} \sim 1000\text{Hz}$ に設定されている。これにより、この実施形態の漏洩検出器(6)によると、ポリ塩化ビニル製のような合成樹脂管の漏水による振動音に対して、感度が高いものとできる。

[0139] 上記の漏洩検出器(6)においては、圧電素子層(9A)(9B)が補強材層(52)に積層されている。この作用効果について、図17および図18を参照して説明する。

[0140] まず、図17(a)に示すように、補強材層がない圧電素子層(9)が1層だけの場合、これに振動が加わると、図17(b)に示す上向きに凸の状態と図17(c)に示す下向きに凸の状態とが繰り返される。図17(b)では、上面が引張りに、下面が圧縮になっており、図17(c)では、上面が圧縮に、下面が引張りになっている。このように、圧電素子層(9)の面方向に引張り応力または圧縮応力が作用することにより、厚み方向に引張りまたは圧縮に応じた正または負の電位差が生じる。したがって、この電位差を信号として取り出すことで、振動の大きさを検出することができる。

[0141] ここで、図17においては、1点鎖線で示す圧電素子層(9)の中立軸は、圧電素子層(9)の中心面に一致していて、圧電素子層(9)の厚み内に位置している。このため、圧電素子層(9)の内部に生じた正負の電位が打ち消し合って、電位差が相殺され信号強度が低下するという問題がある。

[0142] これに対し、図18(a)に示すように、補強材層(52)の上下面に上下圧電素子層(9A)(9B)が積層されている場合、これに振動が加わることで、図18(b)に示す上向きに凸の状態と図18(c)に示す下向きに凸の状態とが繰り返される。これにより、図17の場合と同様に、圧電素子層(9A)(9B)の面方向に引張り応力または圧縮応力が作用することにより、厚み方向に引張りまたは圧縮に応じた正または負の電位差が生じる。図18において、図17の場合と相違している点は、各圧電素子層(9A)(9B)の内部に正および負の両方の電位が生じるのではなく、上側の圧電素子層(9A)全体に正(または負)の電位差が生じるとともに、下側の圧電素子層(9B)全体に負(または正)の電位差が生じる。したがって、圧電素子層の内部に生じた正負の電位が

打ち消し合って電位差が相殺され信号強度が低下するという問題が解消され、この電位差を信号として取り出すことで、振動の大きさを感度よく検出することができる。

[0143] すなわち、図 1 6 に示した漏洩検出器(6)によると、上下圧電素子層(9A)(9B)の位置が積層体(51)の中立軸（この実施形態では、補強材層(52)の中心面に一致）から離れることになり、電位差信号出力（感度）を大きくすることができる。

[0144] 図 1 6 に示した漏洩検出器(6)では、補強材層(52)の上下両方に圧電素子層(9A)(9B)が設けられているが、上下いずれか一方の圧電素子層(9A)(9B)としてもよい。また、図では、上下圧電素子層(9A)(9B)をそれぞれ 1 層で表現しているが、各圧電素子層(9A)(9B)は、1 枚のフィルム状圧電素子で形成されているものに限定されるものではなく、好ましくは、複数枚のフィルム状圧電素子が積層されることで形成される。

[0145] いずれにしても、積層体(51)の中立軸と上下圧電素子層(9A)(9B)とは離れれば離れるほどよい。好ましくは、上下圧電素子層(9A)(9B)の補強材層(52)との境界面と中立軸との距離が積層体(51)の総厚みの $1/10$ 以上、より好ましくは $1/6$ 以上とされる。

[0146] 積層体(51)の中立軸は、圧電素子層(9A)(9B)の弾性率を E_1 、厚みを h_1 、補強層(52)の弾性率を E_2 、厚みを h_2 として、図 2 1 に示すように、積層体(51)の上面から中立軸までの距離 h_{na} が次式で求められる。

[0147]
$$h_{na} = \{ (E_1/E_2) h_1 (h_1/2) + h_2 (h_1 + h_2/2) \} / \{ (E_1/E_2) h_1 + h_2 \}$$

複数枚のフィルム状圧電素子を積層する場合、上下両面に薄膜電極が形成されたフィルム状圧電素子を 1 枚ずつ絶縁層を介して積層し、上下で対応する圧電素子層の組ごとにリード線を設けて信号を取り出すようにすればよい。

[0148] 複数枚のフィルム状圧電素子を積層する場合、図 1 9（第 2 実施形態）に示すように、上下両面に薄膜電極が形成されたフィルム状圧電素子を長尺状

として、これを蛇腹状に折り畳むことで、3層の薄膜電極(22a)(22b)(22c)付きフィルム状圧電素子(9a)(9b)(9c)からなる積層構造としてもよい。リード線(25)(26)は、最も上側の薄膜電極(22a)と最も下側の薄膜電極(符号(22c)で示す薄膜電極の裏側の薄膜電極)とを接続するように設けられる。この場合、例えば、符号(22b)で示す薄膜電極と符号(22c)で示す薄膜電極とが重ね合わせられるが、これらは、もともと圧電素子層(9)の同じ側にある薄膜電極同士なので、ショートすることがない。したがって、絶縁層が不要となり、個々の薄膜電極を結線する必要がないので、フィルム状圧電素子を1枚ずつ絶縁層を介して積層する場合に比べて、積層構造を簡単に得ることができる。

[0149] 図20には、図19に示した蛇腹状に折り畳んだ3層のフィルム状圧電素子(9a)(9b)(9c)からなる積層構造を補強材層(52)の中心面に対して上下対称となるように下側にも配置した実施形態(第10実施形態)を示す。

[0150] 図20において、上側の圧電素子層(9A)のうち補強材層(52)に接しているフィルム状圧電素子(9c)の下側の薄膜電極(符号(22c)で示す薄膜電極の裏側の薄膜電極)と、下側の圧電素子層(9B)のうち補強材層(52)に接しているフィルム状圧電素子(9f)の上側の薄膜電極(22f)とは、もともとの長尺状の圧電素子フィルムにおける同じ側にある薄膜電極同士であり、これらが電線(53)で接続されている。また、上側の圧電素子層(9A)のうち最も上側にあるフィルム状圧電素子(9a)の上側の薄膜電極(22a)と、下側の圧電素子層(9B)のうち最も下側にあるフィルム状圧電素子(9d)の下側の薄膜電極(符号(22d)で示す薄膜電極の裏側の薄膜電極)とは、もともとの長尺状の圧電素子フィルムにおける同じ側にある薄膜電極でかつ上記の電線(53)で接続されている薄膜電極とは逆の薄膜電極同士であり、これらにリード線(25)(26)がつながれている。

[0151] この実施形態でも、フィルム状圧電素子(9a)(9b)(9c)(9d)(9e)(9f)を蛇腹状に折り畳むことで、薄膜電極(22b)(22c)(22d)(22e)がショートしないようにできるので、絶縁層が不要となり、上下の薄膜電極同士を結線するだけで

よいので、積層構造を簡単に得ることができる。

[0152] 上記第8から第10までの実施形態の漏洩検出器(6)によると、圧電素子層(9A)(9B)および補強材層(52)からなる積層体(51)は、その一部のみが台座(21)に支持されており、錘(28)は、積層体(51)の台座(21)に支持されていない部分に負荷されているので、第2実施形態などと同様に、共振周波数を低下させることができる。

[0153] そして、圧電素子の片端または両端を支持し、上記のバネ定数算出式と上記の共振周波数の算出式とにより、所望の共振周波数に検出器を設定することができるとができる。

[0154] 圧電素子に錘を負荷した系の共振周波数は、 $10\text{ Hz} \sim 1000\text{ Hz}$ の間に設定されていることが好ましい。圧電素子の一部のみが台座に支持されて、錘が圧電素子の台座に支持されていない部分に負荷されるようにすることで、共振周波数を 1000 Hz 以下とすることが容易となる。このように設定することで、上記の漏洩検出器(6)を合成樹脂管の流体漏洩調査に好適なものとする。

[0155] 圧電素子を曲げ変形させる構成は、上記実施形態(第2実施形態に対応)の他、第3から第7までの実施形態に対応した実施形態としてもよい。

[0156] 図19に示したものの1例(実施例1)として、補強材層(52)は、長さ(図16の左右方向寸法) 40 mm 、幅(図16の紙面方向寸法) 25 mm 、厚み $700\text{ }\mu\text{m}$ のPETシートからなるものとされ、圧電素子層(9A)(9B)は、厚み $110\text{ }\mu\text{m}$ のPVDF製のフィルムが3枚積層されることで形成され、圧電素子層(9A)(9B)の1層分の厚みは、 $122\text{ }\mu\text{m}$ となる。

[0157] 薄膜電極(22a)(22b)(22c)付きの圧電素子層(9a)(9b)(9c)の曲げ弾性率は 21 GPa であり、補強材層(52)の曲げ弾性率は 3.0 GPa であった。錘(28)の質量は、 1.2 g とした。

[0158] 圧電素子層(9A)(9B)の厚みは、3層分のトータル厚みの $366\text{ }\mu\text{m}$ であり、積層体(51)の総厚みは $1066\text{ }\mu\text{m}$ である。この時の中立軸は、図21に

示した関係を使用して、積層体(51)上面から $673\mu\text{m}$ の位置と計算され、この位置は、PETシートからなる補強材層(52)の内部となる。積層体(51)の中立軸から圧電素子層(9A)(9B)の下面までは $207\mu\text{m}$ 離れている。これは積層体(51)の厚みの約 $1/5$ に相当する。

[0159] この実施例1のものでは、図24に示したような漏水音の検出に必要な大きさの信号を得ることができる。

[0160] 図20に示したものの1例(実施例2)として、補強材層(23)は、実施例1のものと同じとされ、上下圧電素子層(9A)(9B)は、いずれも実施例1のものと同じのフィルムから切り出したものとされる。したがって、積層体(51)の総厚みは $1432\mu\text{m}$ である。中立軸の位置は積層体(51)の上面から $716\mu\text{m}$ の位置であり、PETシートからなる補強材層(52)の内部となる。積層体(51)の中立軸から各圧電素子層(9A)(9B)と補強材層(52)との境界面までは $350\mu\text{m}$ 離れている。これは厚みの約 $1/4$ に相当する。

[0161] 実施例2のものによると、図24に示したような漏水音の検出に必要な大きさの信号を得ることができ、また、実施例1比べても大きな信号を得ることができる。

[0162] 上記の漏洩検出器(6)によると、振動に対して、曲げ変形を利用できることで、圧電素子層(9A)(9B)に錘(28)を負荷した系の共振周波数を所望の小さな値に容易に設定することができる。すなわち、上記各実施形態の漏洩検出器(6)によると、 1000Hz より低周波数側の周波数帯域において大きな信号を記録することができ、従来困難であったポリ塩化ビニル製のような合成樹脂管の漏水による振動音に対して感度が高くなる。また、曲げ変形を利用する場合に、圧電素子層だけからなる漏洩検出器では、内部で圧縮と引張りとは打ち消し合うことになるが、圧電素子層(9A)(9B)と補強材層(52)との積層体(51)とされることで、圧電素子層(9A)(9B)の位置が積層体(51)の中立軸から離れているものとできて、上側または下側の各圧電素子層(9A)(9B)内では、圧縮と引張りとのうちのいずれかしか生じないことになり、感度を大幅に上げることができる。

- [0163] したがって、この漏洩検出器(6)を使用することで、合成樹脂管の流体漏洩による振動音に対して感度が高くなり、設置スパンを長くとれるため、より効率的な合成樹脂管の漏水調査が可能となる。
- [0164] 図22および図23は、この発明による漏洩検出器(6)の第1実施形態を示すもので、漏洩検出器(6)は、鉄製の台座(21)と、台座(21)上に設置されたフィルム状圧電素子(9)と、圧電素子(9)を支持する支持手段(61)と、圧電素子(9)の両面に銀ペーストを塗布して形成した上下1対の薄膜電極(22)(23)と、上側の薄膜電極(22)の上に積載された錘(28)とを備えている。
- [0165] 支持手段(61)は、下端部が台座(21)に固定されて上端部で圧電素子(9)を支持する支柱(62)と、台座(21)上を移動するスライダー(63)とを備えている。
- [0166] この実施形態は、図8に示した第2実施形態にスライダー(63)が追加されたものとなっている。
- [0167] 支柱(62)と上側および下側の薄膜電極(14)(15)との間は絶縁されており、各薄膜電極(14)(15)にリード線(17)(18)が取り付けられている。リード線(17)(18)に、解析装置(8)が接続され、これにより、上側の薄膜電極(14)と下側の薄膜電極(15)との間の電位差が測定されて解析装置(8)に送信される。
- [0168] 第2実施形態と同様に、支柱(62)による圧電素子(9)の支持は、片持ち支持とされており、圧電素子(9)の一方の端部が支柱(62)の上端部に支持されて、錘(28)は、圧電素子(9)の他方の端部に積載されている。
- [0169] スライダー(63)は、片持ち支持とされている圧電素子(9)および薄膜電極(22)(23)の支柱(62)に近い側の部分を上下両側から挟んで対向する上下挟持板(64)(65)と、上下挟持板(64)(65)を連結する連結板(66)とからなる。
- [0170] 合成樹脂管(3)の流体漏洩による振動音に対して感度を高めるには、合成樹脂管(3)の特徴的な振動である低周波領域の信号を計測することができるようにすることが好ましく、片持ち構造とすることで、合成樹脂管(3)の流体漏洩による振動音に対して感度が高くなる。これにより、配管の監視装置(1)において、漏洩検出器(6)の設置スパンを長くとれるため、より効率的な合成樹脂管(3)の漏水調査が可能となる。

[0171] スライダー(63)は、図22に示す初期位置にある場合、圧電素子(9)から離れている。スライダー(63)は、図22に示す初期位置から図の右方に移動可能とされており、この際、図23に示すように、圧電素子(9)および薄膜電極(22)(23)の支柱(62)に近い側の部分を上下両側から挟んで台座(21)上を移動することができる。これにより、圧電素子(9)の支持される部分の長さが長くなり、片持ちの梁の長さ（すなわち、上記の式における長さ L ）が短くなる。

[0172] したがって、漏洩検出器(6)は、共振周波数の最小値として、スライダー(63)が図22に示す初期位置にある場合に、図8に示す漏洩検出器(6)と同じ共振周波数を有しているとともに、スライダー(63)が右方に移動するに連れて共振周波数が大きくなる可変の共振周波数を有している。

[0173] 配管の漏洩によって発生する漏洩振動は配管の材質や口径によってピークとなる周波数が異なる。例えば、合成樹脂管は金属管と比較して周波数が小さい傾向にあり、口径が大きいほど周波数が小さい傾向にある。例えば、 $\phi 75$ の塩化ビニル製配管であれば、 $10 \sim 200 \text{ Hz}$ に漏洩周波数のピークがあることが多く、 $\phi 75$ の鋳鉄管であれば $300 \sim 500 \text{ Hz}$ に漏洩周波数のピークがあることが多い。 $\phi 250$ の鋳鉄管であれば $100 \sim 300 \text{ Hz}$ に漏洩周波数のピークがあることが多い。このように漏洩周波数のピークは様々であるが、上記の漏洩検出器(6)を用いれば、共振現象を利用し、配管の材質や口径に合わせて梁の長さを機械的に変更し、共振周波数を自在にコントロールすることができる。

[0174] $\phi 75$ の塩化ビニル製配管と $\phi 75 \sim \phi 250$ の鋳鉄管とが対象となる場合、支持手段(13)による支持位置と錘(16)の負荷位置との距離が最大時の（図22の状態における）漏洩検出器(6)の共振周波数が 150 Hz 以下に、支持手段(13)による支持位置と錘(16)の負荷位置との距離が最小時（図23の状態からスライダー(20)がさらに右方に移動して連結板(33)が支持手段(19)に当接した状態）の漏洩検出器(6)の共振周波数が 400 Hz 以上に設定されているようにすればよい。

[0175] 漏洩検出器(6)の圧電素子(12)の厚みを2 mm、長さを60 mm、幅を25 mmとし、梁としての弾性率を3 GPa、錘(16)の重さを1 gとした（実施例3）。このときの図22に示した状態の漏洩検出器(6)の共振周波数は、133 Hzとなる。この漏洩検出器(6)を図23の状態として、梁の長さを35 mmとすると、共振周波数は、298 Hzとなり、梁の長さを25 mmとすると、共振周波数は、493 Hzとなる。

[0176] この実施例3によると、 $\phi 75$ の塩化ビニル製配管、 $\phi 75$ の鋳鉄管および $\phi 250$ の鋳鉄管のいずれであっても、漏洩周波数が漏洩検出器(6)の共振周波数の可変範囲内にあり、共振周波数を変更することで対応できる。

[0177] 圧電素子(9)の厚み、長さ、幅および弾性率ならびに錘(28)の重さを変更することで、漏洩検出器(6)の共振周波数の最小値すなわち可変範囲を変更することができる。こうして、この漏洩検出器(6)によると、同じ漏洩検出器(6)を使用して、その共振周波数を変化させることによって、種々の配管部材における流体漏洩の検出を行うことができる。

[0178] 上記の各実施形態の漏洩検出器(6)は、水道の配管装置からの漏水を検出する用途の他、水道以外の各種配管内の漏水を検出する用途や、例えば工場内の薬液等の配管における薬液等の流体の漏洩を検出する用途などでも使用される。

産業上の利用可能性

[0179] この発明によると、水道管、建物配管、工場内配管などからなる各種配管において、精度よく流体漏洩を検出することができるので、配管における流量監視や異常検知などの精度を高めることができる。

請求の範囲

- [請求項1] 配管からの流体漏洩によって生じる振動音を検知する漏洩検出器であって、台座と、台座に支持されて振動音を電気信号に変換する圧電素子と、圧電素子に負荷された錘とを備えており、圧電素子が高分子圧電材料によって形成されていることを特徴とする漏洩検出器。
- [請求項2] 圧電素子は、その一部のみが台座に支持されており、錘は、圧電素子の台座に支持されていない部分に負荷されていることを特徴とする請求項1に記載の漏洩検出器。
- [請求項3] 圧電素子に錘を負荷した系における共振周波数が10Hz～1000Hzの間に設定されていることを特徴とする請求項1または2に記載の漏洩検出器。
- [請求項4] 圧電素子は、補強材層の上下の少なくとも一方の面に積層されていることを特徴とする請求項1から3までのいずれかに記載の漏洩検出器。
- [請求項5] 圧電素子の支持手段による支持位置と錘の負荷位置との距離が機械的に可変とされていることにより、共振周波数が可変とされていることを特徴とする請求項1から4までのいずれかに記載の漏洩検出器。
- [請求項6] 圧電素子は、ポリフッ化ビニリデンの延伸フィルムである請求項1から5までのいずれかに記載の漏洩検出器。
- [請求項7] 請求項1から6までのいずれかに記載の漏洩検出器を配管部材の近傍に設置し、配管からの流体漏洩によっておこる振動を検知することで流体漏洩の有無を判定することを特徴とする漏洩検知方法。
- [請求項8] 管および継手からなる配管網の複数箇所にそれぞれ取り付けられて配管内流体の移動に伴う圧力変動を電荷信号に変換する複数の漏洩検出器と、各漏洩検出器で得られた電荷信号を送信する通信機と、通信機からの送信情報を遠隔地で受信して表示する表示装置とを備えており、漏洩検出器は、台座と、台座に支持されて振動音を電気信号に変換する圧電素子と、圧電素子に負荷された錘とを備えており、圧電素

子が高分子圧電材料によって形成されていることを特徴とする配管網の監視装置。