

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2004-509359

(P2004-509359A)

(43) 公表日 平成16年3月25日(2004.3.25)

(51) Int.Cl.⁷
G01M 19/00F I
G O 1 M 19/00テーマコード (参考)
2 G O 2 4

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 41 頁)

(21) 出願番号 特願2002-529262 (P2002-529262)
 (86) (22) 出願日 平成13年9月25日 (2001.9.25)
 (85) 翻訳文提出日 平成15年3月19日 (2003.3.19)
 (86) 国際出願番号 PCT/CA2001/001341
 (87) 国際公開番号 W02002/025316
 (87) 国際公開日 平成14年3月28日 (2002.3.28)
 (31) 優先権主張番号 2,320,631
 (32) 優先日 平成12年9月25日 (2000.9.25)
 (33) 優先権主張国 カナダ (CA)

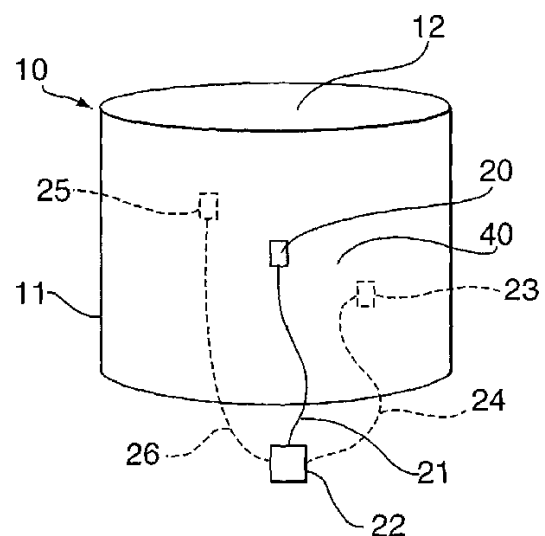
(71) 出願人 500101449
 ピュア テクノロジーズ リミテッド
 カナダ国 ティー2アール Oイー3 ア
 ルバータ カルガリー 705-11ティ
 ーエイチ アベニュー エス. ダブリュー
 . サード フロアー
 (74) 代理人 100083932
 弁理士 廣江 武典
 (74) 代理人 100121429
 弁理士 宇野 健一
 (72) 発明者 パールソン, ピーター, オー.
 カナダ国 ティー2ブイ 4エム7 アル
 バータ, カルガリー, エス. ダブリュー.
 , パンフィル ガーデンズ 320
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コンクリート製容器及び構造物のモニタリング方法

(57) 【要約】

コンクリート製建造物における微小クラッキングが音響的にモニターされる。得られた信号は金属製補強ワイヤーや・棒の腐食または、事故またはや振動現象等で生じたダメージを判定するために用いることができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

(a) 構造物がが通常の使用で曝される加わる負荷を相当程度超える基礎負荷を構造物にかけ基礎的試験を行う工程と、
(b) 基礎負荷を取り除く工程と、
(c) 引き続き基礎負荷と等しいかより小さい試験負荷を構造物にかけ、試験負荷とほぼ同じ位置に負荷をかけて、少なくとも更にもう一回の試験を続けて行う工程と、
(d) 構造物が試験負荷をかけられている間に、構造物に接している少なくとも一個のセンサーによって検出された（もしあれば）音響信号を記録する工程と、
を含んでなるからなることを特徴とするコンクリート製構造物の点検検査方法。

10

【請求項 2】

音響信号は 2 K H z から 1 2 K H z の範囲の一つ以上の周波数で検出されることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

音響信号は複数のセンサーによって検出され、かつ、少なくとも幾つかのこのような信号の発生源は各センサーの位置で検出された信号を比較することによって判定されることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

(a) 微小クラッキングが発生する負荷まで構造物に負荷を加える工程と、
(b) 構造物の中の微小クラッキングから発生する音響現象の音響的徴候の音響現象を判定する工程と、
(c) 引き続き、前記音響的徴候を有する音響現象を探して構造物をモニタリングする工程と、
を含んでなるからなることを特徴とするコンクリート製構造物の点検検査方法。

20

【請求項 5】

音響的徴候は、微小クラッキングの結果、特定の構造物のコンクリートの中で音響現象が発生する 2 K H z から 1 2 K H z の範囲内の一周波数または周波数範囲を含んでなるからなることを特徴とする請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】

音響的徴候は微小クラッキングから発生する音響現象のエネルギースペクトルを含んでなるからなることを特徴とする請求項 4 または請求項 5 記載の方法。

30

【請求項 7】

音響的徴候は微小クラッキングから発生する音響現象の継続時間を含んでなるからなることを特徴とする請求項 4 または請求項 5 記載の方法。

【請求項 8】

(a) 構造物内の音響波を検知する位置に少なくとも 3 個の音響センサーを位置決めする工程と、
(b) このようなセンサーの出力をモニターする工程と、
(c) このようなセンサーがコンクリートの微小クラッキングを表す信号特性をもしも、及び実際に検出した場合、このような信号のあり得る発生源の蓋然性を判定する工程と、
及び
(d) ダメージの証拠を探してあり得る推定発生源の近傍で構造物を点検してダメージの証拠を探す検査する工程と、
を含んでなるからなることを特徴とする構造物の点検検査方法。

40

【請求項 9】

(a) 構造物のコンクリートの中で発生する音響現象をモニターするようにための 2 個の音響センサーを取り付ける工程であってで、このような音響センサーの 1 個は疑われるダメージ区域の近くに取り付けられ、1 個の音響センサーは、ダメージを受けたことがないと思われる区域内の、疑われるダメージ区域から離れたところに取り付けられる工程と、
(b) 2 個のセンサーの位置で構造物に負荷を等しく加える工程と、

50

(c) 2 個のセンサーの位置で等しく負荷を徐々に等しく上げていく工程と、
(d) 疑われるダメージ区域から離はなれたセンサーの位置で同じ音響現象が検出されない負荷のときに、疑われるダメージ区域に近いセンサーによって音響現象が検出されたかどうかを記録する工程と、
を含んでなるからなることを特徴とするダメージを受けたと疑われるコンクリート製構造物の点検検査方法。

【請求項 10】

ダメージを受けたと疑われる位置の近くのセンサーからの検知された音響現象が、それらが最初に検出された負荷で 15 分以内に半減しない場合は、負荷を減らすされることを特徴とする請求項 9 記載の方法。

10

【請求項 11】

試験負荷で音響現象が記録された場合は場合、このような信号をモニターしされ、このような信号の割合が半減するのに要する時間をのにどれくらいかかるか判定測定することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 12】

微小クラッキングの音響的徴候を担うもつ音響現象をモニターしされ、このような信号の割合が半減するのに要する時間をのにどれくらいかかるか判定測定することを特徴とする請求項 4 から 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 13】

構造物は圧力容器であり、負荷は前記該容器の中で圧力を変えることによって変えられることを特徴とする請求項 14 から 127 のいずれかに記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、コンクリート製容器（給水塔、核施設での放出事故時に放射性ガスを封入するための密封容器を含むコンクリート製パイプ、密封容器等）及びコンクリート製構造物（建造物、橋梁等）の構造的完保全性の潜在的内的劣化を判定判断するためのモニタリング方法に関する。

【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】

30

多くのコンクリート製容器及び構造物は、ワイヤーの補強材を含んでいる。このような容器や構造物を音響的にモニターすることし、ワイヤー補強材の破壊から生じる信号を記録することが知られている。このようなモニタリング方法の例はとして、米国特許第 5,798,457 号（Paulson、1998 年 8 月 25 日発行）及び米国特許第 6,082,139 号（Paulson、2000 年 7 月 4 日発行）に示されているが開示されている。

【0003】

張力が既に加わった補強ワイヤーや、後から張力が加わった補強ワイヤーの破壊によって生ずる現象以外は、コンクリート製容器や構造物は通常、応力が加わらない限り有意な音響的現象を発生することはない。

40

【0004】

コンクリート製構造物に負荷が加わると、以前に加わったことのある最大負荷を超えると必ず小さな破碎音が聞こえることが周知である知られている。これは、カイザー効果と呼ばれる。これは、新たなレベルの負荷によってコンクリート内に微小破碎が生じることによって起こるおこると考えられる。

【0005】

多くのコンクリート製容器や構造物は、ワイヤー補強材を有しているが、補強がなされていない構造物や、スチール製補強棒のようなワイヤー製以外の補強材を有する構造物もある。いずれのコンクリート製構造物や容器においても、ワイヤー製の補強材が施されているか否かにかかわらず、カイザー効果が発生する。

50

【0006】

圧力ゲージや引張りゲージのような、構造物や容器に負荷が加わる現象を記録するための他の機器があるので、構造物や容器のワイヤーの破壊をモニターするシステムは、カイザー効果を記録しようと努めるするものではない。他の機器は、負荷の定量的な判定測定を行いうが、以前に加わった最大負荷レベルを超える負荷を判定するだけではないだけは測定しない。

【0007】

更に、カイザー効果によって生じた音響的現象は、ワイヤーの破壊によって生じるエネルギーほどのエネルギーを生じることはない。ワイヤーの破壊は、一般的に、シュミットハンマーで構造物を叩くのとほぼ同じ程度の音響的現象を生じるに過ぎない。補強コンクリート製核密封容器におけるカイザー効果がを発生したさせる最近の試験では、シュミットハンマーでは30 dBのエネルギーを生じる音響的現象が発生したのに対し、カイザー効果では、-30から0 dBの現象が480例、0 dBを超える現象がわずか50例で、この内30 dB以上のを超える例はなかった。更に、カイザー効果現象は、ある狭い周波数帯域で起こるのに対して、ワイヤー破壊ははるかに広い範囲の周波数を生ずる。かくして、ワイヤー破壊を聞くための配列体は、一般に、カイザー効果現象は小さすぎるために除外するか、あるいは、ワイヤー破壊と同様に検査するための試験するには小さすぎるか、正確な周波数特性を持っていない。もたないので、ワイヤー破壊を聞くための配置では、一般にカイザー効果現象は除外されている。

【0008】

【課題を解決するための手段】

今や現在、カイザー効果で検出される周波数や振幅と同じ一般的周波数と振幅の小さな音響的現象を反復、または長期間、または比較モニタリングすることにより、補強のためのスチール製ワイヤーまたは棒の腐食による構造的ダメージ、のため、または地震、衝突等の外力からのダメージから生ずる構造的なダメージを判断するための価値ある情報が得られることが見いだされた知られている。

【0009】

一般に、このような現象は、（モニターされるコンテナまたは構造物に特有な）2 KHzから12 KHzの範囲内の、一つ以上の狭い帯域の周波数において発生し、（関係する大部分の信号は、8 KHzから12 KHzの範囲である）の一つ以上の狭い帯域の周波数において発生する。関係があると思われる全ての信号を得るには、通常、約2 KHzから12 KHzの周波数範囲の信号を記録すれば十分である。これらは、これらの周波数で発生する音響を受け取るようにするためにコンクリート製構造物に取り付けた任意の適当な音響検出器を用いて検出することができる。音響的には、このノイズは鋭いクラッキング音で、その音は、ポップコーンのはじける音にたとえることができる。いくつかの音響検出器を使えば、クラッキング音が発生している容器の壁または構造物内の位置を、上記2つのPaulson特許においてワイヤー破壊の位置決めを判定するために用いる上記2つのPaulson特許に方法と類似の方法を用いることによって、多くの場合、クラッキング音が発生している容器の壁または構造物内の位置を決める判定することができる。

【0010】

【発明の実施の形態】

定期モニタリングの実施例

本発明の一実施例では、所定量まで一定の量まで負荷が加えられた構造物または容器によって基礎的試験を行う。給水タンクや核密封容器のような容器の場合は、容器の内容物に圧力を加えることによって、所一定の圧力まで容易に負荷を加えることができる。橋梁または建築物のような構造物の場合は、橋梁デッキまたは建造物の床面の予め選ばれた位置に、所一定の重さの試験負荷を置くことによって試験が可能である。好ましいことではないが、所定の重さ予め決められたおもりの負荷を容器試験に用いることもできるが、好ましくはないてもよい。

【0011】

基礎的試験のための負荷（以下、「基礎負荷」と呼ぶ）は、容器または構造物が通常の使用で遭遇するであろう加わる負荷を超える負荷になるように選ぶ必要がある。一般的には、通常の使用で加わる負荷の1.5倍から10倍の基礎負荷が適当であろう。勿論、選択する負荷は、容器または構造物に対するダメージを避けるため、容器または構造物の設計限度以内であることが望ましい。

【0012】

基礎負荷は、容器または構造物に以前加えられたことがあるいかなる負荷をも超える必要はない。過去に加えられたことがある最大負荷を超えた場合、それが加えられた時、加えられた場所でカイザー効果が発生する。上記引用のPaulson特許に開示されているように、カイザー効果は、微小クラッキングから発生し、微小クラッキングの位置は、センサーの位置と音響信号の各センサーまでの到達時間からしばしば正確に判明するので、これは、複数のセンサーが取り付けられた場合、有意なものとなりうる。これらの位置は、相当な応力が加わる場所である可能性があり、その構造物の寿命期間に行われる従来の手段による反復点検の恩恵を蒙る検査に使えるので、これらの微小クラックの位置を知ることが有益である。

10

【0013】

もし、基礎負荷が容器または構造物に以前加わったことがある任意の負荷を超えるものではない場合は、カイザー効果は発生しない。構造物または容器のある部分では以前の負荷を超えたが他の部分ではそうでない場合があるだろうが、その場合には以前の負荷をが超越えられたまさにその部分でカイザー効果が発生し、他の部分では、カイザー効果は発生しない。

20

【0014】

この基礎的試験を行ったときにカイザー効果が発生するか否かは本実施例にとっては重要ではない。説明した本実施例において重要なことは、基礎負荷、または、幾分小さいがそれでもなお容器または構造物の使用において遭遇する加わる通常の負荷を超える幾分小さい負荷を用いて、試験が時間間隔をおいて何度か行われることである。音響的現象は、コンクリートを通じて容易に伝播するので、センサーは、試験毎に厳密完全に同じ場所位置にある必要はない。しかしながら、多くの場合、試験毎のセットアップ時間を減らすために、試験と試験の間はセンサーをその場所位置に残しておいたほうが都合がよいかもしれない。負荷は、試験結果の比較に適うように、好ましくは基礎的試験で加えられた位置、またはその近傍に加えるべきであることが望ましい。コンテナを加圧する場合は、同じコンテナまたはコンテナの同じ区画室を加圧すれば、負荷は自動的に基礎的試験と同じ位置に加わるであろう。負荷がおもりの場合は、構造物または容器を、基礎的試験の時に時刻、かつ、構造物または容器におもりの位置の印をつけるにすることで前回の位置または近傍に負荷を加えることが容易にできる。

30

【0015】

それにつづく、基礎負荷と同じ負荷またはそれより軽い負荷を使った試験において、カイザー効果と類似の音響的現象が聞こえた場合、それは、その構造物がダメージを受けたことがあることを示す。このダメージは、ワイヤーまたは補強棒の腐食によって生じたかも知れないし、または、地震、衝突等から生じた構造的ダメージによるものかもしれない。音響的現象は、弱まった構造物に、今現在、微小クラッキングが生じていることを示していると考えられる。もし、ダメージを受けていなければ、加えられた負荷ではその微小クラッキングは起こらなかったかも知れない。

40

【0016】

複数のセンサーがある場合には、上記引用のPaulson特許で論じらに記載されている位置を求める技術、または、音響の発生源を探るための他の任意の知られた従来の技術を用いて、音響的現象を発したが生じた位置を求めることができる。一般的には、多くの非常に小さな音響的現象と、少ないが比較的大きな音響的現象（例えば、0dBを超える以上）とがある。複数のセンサーによって一つ以上の比較的大きな現象が記録された場合には、位置を求める技術を応用して発生源を見つけることができる。（円筒形の圧力容器

50

の側壁のように) 仮にコンクリートが湾曲していても、実質的には、全てのエネルギーはそのコンクリートを通過するので、発生源を見つけ出す目的では、そのコンクリートを平らなシートとみなすことができる。発生源は、従来の技術を用いて検査することができ、ダメージは、それが深刻な事態にいたる前に修復することができる。

【0017】

好適な実施例においては、試験は基礎負荷と同じかそれより小さい以下の負荷を用いて定期的に繰り返される(例えば、1ヶ月から6ヶ月に1回)。これにより前回の試験の後以降に発生した新しいダメージを発見することができる。このようにして、容器または構造物の構造的完保全性が脅かされるほど重大になる前にダメージを検出し修理することができる。

10

【0018】

図1は、本実施例に適した装置構成を示す。圧力容器10は、原子力発電所で爆発があった場合に放射性蒸気を封入するのに適したコンクリート製容器である。圧力容器は、コンクリート製円筒形側壁11とコンクリート製円形屋根部12を有する。また、コンクリート製円形床部(図示せず)を有する。このような容器の典型例として、例えば、直径10m、側壁11が高さ13m、厚さ0.5mの側壁11をもつ容器が挙げられる。大気圧よりも80ポンド/平方インチを超える(80psig)、大気圧(80psig)の80ポンド/平方インチ以上の内容物から受ける外向きの圧力で運転使用され、かつ、緊急時には、相当に高い外向きの圧力に耐えられるように設計ことが、指定されている。

【0019】

側壁11には、2KHzから12KHzの周波数範囲の音響的現象を検知出する音響センサー20が取り付けられる。この範囲で検知出される音響的現象は、コンクリート製の壁を通じてセンサーまで達する1次音響波である。音響センサー20は、ケーブル21によって記録装置22に接続され、センサー20に届くで記録された音響波がセンサー20に電気信号を生じさせ記録装置22で記録される。記録装置22は、信号のフーリエ変換解析を行うことによってスペクトル密度の判定をするができる信号解析能力も持つコンピュータであることが好ましい。

20

【0020】

場合によっては、追加のセンサー23、25を側壁11に取り付け、ケーブル24、26によってそれぞれ記録装置22に接続される。使用するセンサーは、センサー20と同じものであることが好ましい望ましい。

30

【0021】

後の比較のための基礎レベルを提供するために、密封容器の圧力は、通常の運転では遭遇経験することのない圧力レベルである120psigまで上げる。もし容器が以前以前にこの圧力レベルまで加圧力が加えられたことがなければ、カイザー現象が発生する。以前以前にこのレベルまで加圧力が加えられたことがなければ、ダメージまたは腐食がなければ、カイザー現象は起こらない。カイザー現象が実際に起こった場合は、好ましくはそれらを記録し、それらが発生した位置場所をダメージがあるかないか点検検査することが望ましい。

【0022】

それに続く連続定期試験においては、容器内の圧力は、試験圧力を120psigまで上げるか、好むなら場合によっては、試験圧力よりは低い、80psigの通常運転圧力を超える圧力、例えば、100psigまで上げる。試験圧力に達したら、センサーにより、2KHzから12KHzの範囲の音響的現象をがないかモニターする。(走行中の車両道路等の外部にある潜在的発生源からの潜在的なものを除き)音響的現象が記録されないことが期待される。この範囲で音響的現象が記録された場合で、他に説明がつかない場合は、構造物にダメージまたは腐食があることが考えられる。この音響的現象の1個または複数の発生源が、例えば、位置40とで判定されることが望ましい。次に、その位置に腐食またはダメージがあるか判定するために、側壁11を従来の手段により位置40において検査する位置40で腐食またはダメージがないか測定される。

40

50

継続的モニタリングの実施例

本発明の他の実施例においては、個々の容器または構造物について考慮した後、2 K H z から 1 2 K H z の周波数範囲の、または、個々の容器または構造物について考慮した後にこの範囲内で選ばれた周波数範囲の音響現象のを継続的に音響的にモニタリングする方法が行われる。好適な範囲は、8 K H z から 1 2 K H z である。他の周波数は廃棄するか、本発明現象とは関わりのない目的のために記録してもよい。2 K H z から 1 2 K H z の周波数範囲、または、この範囲内で、容器の構造がカイザー効果を発生する事が知られている範囲にあって幾分小さな周波数範囲にある発生音響のみを記録することが望ましい場合は、適切なフィルターが含まれてもよい。

【0023】

選択した範囲で音響現象が発生した場合、このような現象から記録した信号は、後で検査して、同じ構造物または同様な構造物で行われた以前の試験で記録されたクラッキング音の記録を参照して検証や比較することができ、新しく記録された音響現象が同様なエネルギースペクトル及び継続時間であるか、従って、微小クラッキングによって発生した可能性があるかどうか判る、調べることができる。または、その音響現象を、現象が記録された直後に、コンピュータによって参照記録と比較することができ、かつ、該音響現象のコンピュータによる記録を、現象が記録された直後に参照して比較することができる。該その現象が恐らく微小クラッキングであると識別判定された場合は、報告書を即座に作成することができる。本実施例によれば、微小クラッキングが発生した時点で時間に微小クラッキングの情報を収集できる。音響現象の発生源は、知られた従来の分析方法（論じた Paulson 特許に示された記載のものなど）を幾つかのセンサーの出力に適用することにより見つけることができる。突発的現象（衝突、または地震等の振動的現象）によってダメージが発生した場合は、必要があれば点検検査し修理できるように、本実施例によって、ダメージを受けた可能性のある区域箇所の位置決め判断ができる。

【0024】

継続的モニターを行うときは、好ましくは、図1に示すような装置を用いる。構造物の内部の微小クラッキングによって生じる音響現象の周波数スペクトルと継続時間を判定するために、先ず、上記に記載の試験と同じように、構造物に負荷をかけて試験を行う。記録装置22は、周波数及び継続時間の観点から微小クラッキング現象の音響的「徴候」を認識できるようにプログラムされたコンピュータである。似たような周波数及び継続時間を有する現象は、それらが実際に微小クラッキング現象であるのか調べる目的で更にスペクトル検査を行うために記録することができ、あるいは、現地点検検査を行わせるために即座に用いることもできる。

【0025】

上記のように、構造物がダメージを受けたことがある場合は、微小クラッキングを示す音響現象が以前よりも低い負荷レベルで現れることが見いだされた知られている。例えば、密封容器においては、補強棒の腐食は、容器のどこかの部分で弱体化を生じる可能性恐れがある。容器全体の音響モニタリングにより以前前回の圧力よりも低い圧力で微小クラッキングの徴候が見られた場合は、ダメージが存在することがわかり、その位置も判定判断できる。同じように、容器の外側ではクラッキングがわからない場合でさえも、振動時のクラッキング現象の発現により、ダメージを受けた箇所を識別判断することができる。求められる圧力を収容する能力があるか、容器の能力に対するダメージの影響に関する情報を明らかにするために、引き続き容器の連続加圧を行うこともできる。このように、小さな、または隠れたダメージは、それが重大化したり、容器の構造に欠陥が生じる前に、その位置決めを場所を判断することができる。

クラッキングの深刻度の分析

更に別の実施例は、負荷をかけた定期試験または継続的モニタリングとの関連で使用可能有用なもので、クラッキングを示す信号を検査してクラッキングの深刻度を評価するために検査する。一般に、信号は個々の、に不連続な一連の信号であかなる。時間単位あたりのこのような信号の数を調べる。構造物または容器に以前の負荷を超える負荷が加わ

10

20

30

40

50

ると、カイザー効果により信号が生じる。カイザー効果によって生じるクラッキングの時間的割合比率は、通常、定められた負荷に達した後、急速に減少することが見いださ知られている。構造物にもよるが、音響現象の時間的割合割合（1秒間あたりの2KHzから12KHz範囲の音響現象の数）は、以前より大きい圧力に達した後、およそ一定の時間で半分に減少する。いかなる構造物または容器の場合も、割合割合の減少は、およそ一定であり、その容器に特有のものである。ある容器では、新しい圧力レベルに達した後、この割合割合は10分毎に半減し、他の容器では、この割合は2分未満で以内に半減する。個々の構造物または容器にもよるが、一般にこの割合割合は15秒から15分以内に半減することが予想される。

【0026】

本発明による圧力容器または構造物の定期試験では、容器または構造物に以前の負荷と同じかそれより低い以下の負荷がかけられた場合で、試験と試験の間に小さな腐食ダメージを受けた場合、同じパターンを示す。すなわち、音響の放出発生をもたらしたある負荷レベルに達し維持された後、15秒から15分毎に音響現象の割合がおよそ半分に減少する。従って、音響放出発生量の減少の割合が、15秒から15分程度の時間に半減しない場合は、容器は期待通り応答反応していないので、即座の配慮対策が必要である。クラッキングを示す一定割合の放出発生は、例えば、試験中であっても進行性のダメージが容器に起こっていることを示している可能性がある。そのような場合は、構造的ダメージが明白ではなくてもを示す証拠がなかったとしても、試験を中止し、即座に従来の点検検査と可能な修理の手立てが取られるべきである。同様に、継続的モニタリング中にクラッキングを示す一定割合の音響現象があった場合は、容器または構造物は、従来の点検検査が即座に必要であることを示している。

比較モニタリングの実施例

他の実施例では、容器または構造物の特定の部分に腐食またはダメージを受けたと疑われる理由はあるが、基礎負荷を用いた以前のモニタリングの記録や継続的モニタリングの記録がない場合にモニタリングを行うものである。この場合、腐食またはダメージが疑われる位置がモニターされ、比較のために同じ負荷のもとで、別の位置がモニターされる。他の位置は、構造及び耐負荷特性の点で可能な限りダメージが疑われる位置に類似の位置を選ぶ。例えば、円筒形の側壁を持つ給水タンクの側壁の1箇所にダメージまたは腐食が疑われる場合、比較部分は、疑われる部分と同じような厚みと補強を有していて、腐食またはダメージを受けた疑いがなければ、タンクの直径方向の真向かい部分が好適である。次に、この2つの位置は負荷を増やしながらモニターされる。ダメージまたは腐食が疑われる位置で、比較位置よりも低い負荷で微小クラッキングを示す音響信号が発生した場合は、疑われる位置でダメージまたは腐食が発生していると考えられる。

【0027】

図2に、これを実施するための装置を示す。図2は、図1の容器10、側壁11及び屋根部12と同じ側壁11'と屋根部12'を有する密封容器10'である。記録装置及びコンピュータ22'（図1の装置22と同様じ）も備えられている。41の位置でダメージが疑われる。従って、センサー27は、疑われるダメージの位置の近傍に取り付けられ、ケーブル28により記録装置22'に接続される。センサー29は、ダメージを受けていないと思われる、かつ、位置41からの音響現象を記録する可能性を少なくするために、ダメージを受けていないと思われ、位置41から可能な限り遠い位置に取り付けられる。センサー29はケーブル30により記録装置22'に接続される。

【0028】

容器10'の圧力が徐々に上げられ、信号は装置22'で受信された信号がモニターされる。2KHzから12KHzの範囲の音響現象を表す信号が、同様な信号がセンサー29から受信される前に、センサー27から受信された場合、位置41またはその近傍に疑われるダメージがあることが確かめられる。望むならましい場合は、位置41の周りに幾つかのセンサーを取り付け、圧力を更に上げ、知られた従来の位置判定技術を用いてダメージの正確な位置を判定断してもよい。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

本発明は、図によって更に説明される。

【図 1】本発明の実施例の反復モニタリングまたは継続的モニタリングの実施例ーで使用するのに適したモニタリング装置の構成を取り付けたコンクリート製圧力容器の斜視図（尺度なし）。

【図 2】本発明の実施例の比較モニターの実施例で用いるのに適したモニタリング装置の構成を取り付けたコンクリート製圧力容器の斜視図（尺度なし）。

【符号の説明】

10, 10' … 圧力容器、11, 11' … コンクリート製円筒形側壁、12, 12' … 円形コンクリート製屋根部、20 … 音響センサー、21 … ケーブル、22, 22' … 記録装置、23 … センサー、25 … センサー、29 … センサー、30 … ケーブル

【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
28 March 2002 (28.03.2002)

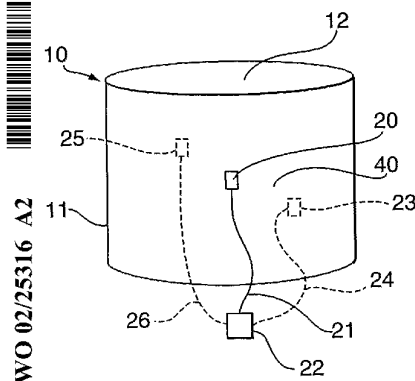
PCT

(10) International Publication Number
WO 02/25316 A2

- (51) International Patent Classification: **G01V 1/00** (74) Agent: **BLAKE, CASSELS & GRAYDON LLP**, World Exchange Plaza, 20th Floor, 45 O'Connor Street, Ottawa, Ontario K1P 1A4 (CA).
- (21) International Application Number: PCT/CA01/01341
- (22) International Filing Date:
25 September 2001 (25.09.2001)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:
2,320,631 25 September 2000 (25.09.2000) CA
- (71) Applicant (for all designated States except US): **PURE TECHNOLOGIES LTD.** [CA/CA], Suite 1050, 340 - 12th Avenue, S.W., Calgary, Alberta T2R 1L5 (CA).
- (81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BI, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (72) Inventor; and
(75) Inventor/Applicant (for US only): **PAULSON, Peter, O.** [CA/CA], 320 Pumphill Gardens, S.W., Calgary, Alberta T2V 4M7 (CA).
- Published:
— without international search report and to be republished upon receipt of that report

[Continued on next page]

(54) Title: MONITORING OF CONCRETE VESSELS AND STRUCTURES



(57) Abstract: Microcracking in concrete structures is monitored acoustically. The resulting signals can be used to determine corrosion of metal reinforcing wires or rods, or damage occurring from accident or seismic events.

WO 02/25316 A2

WO 02/25316 A2

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 1 -

**MONITORING OF CONCRETE
VESSELS AND STRUCTURES**

5 The present invention relates to the monitoring of concrete vessels (such
as concrete pipes or containment vessels including water towers and
containment vessels for containing accidental discharge of radioactive
gases at nuclear facilities) and concrete structures (such as buildings or
bridges) to determine possible deterioration of their structural integrity.

10

Background

Many concrete vessels and structures contain wire reinforcements. It is
known to monitor such vessels and structures acoustically, to record the
15 signals arising from the breaking of the wire reinforcements. Examples
of such monitoring are shown in U.S.P. 5,798,457 (Paulson), issued
August 25, 1998 and U.S.P. 6,082,139 (Paulson), issued July 4, 2000.

Other than events caused by breaking of pre- or post-tensioned
20 reinforcing wires, concrete vessels and structures normally do not emit
significant acoustic events unless they are placed under stress.

It is well known that on loading of a concrete structure, small cracking
sounds can be heard whenever the loading exceeds a previous

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 2 -

maximum. This is called the Kaiser effect. It is thought to occur because of the creation of microfractures in the concrete formed by the new level of loading.

5 Although many concrete vessels and structures have wire reinforcements, there are unreinforced structures, and structures with non-wire reinforcements, such as steel reinforcing bars. The Kaiser effect occurs in any concrete structures or vessels, whether they have wire reinforcement or not.

10

Systems which monitor structures or vessels for wire breakage do not seek to record the Kaiser effect, because there are other instruments, such as pressure or strain gauges, to record events which load structures or vessels. The other instruments give a quantitative
15 determination of loading, and do not only determine loading beyond the previous maximum loading level.

Further, the acoustic events created by the Kaiser effect do not give off nearly as much energy as those created by wire breakage. Wire
20 breakage typically gives an acoustic event of approximately the same magnitude as hitting the structure with a Schmidt hammer. In a recent test in which the Kaiser effect was caused in a reinforced concrete nuclear containment vessel, a Schmidt hammer gave an acoustic event yielding 30dB of energy, whereas the Kaiser effect gave 480 events

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 3 -

having -30 to 0 dB and only 50 events over 0 dB, none of which were 30 dB or over. Further, Kaiser effect events occur in a narrow frequency band, whereas wire breaks give a much broader range of frequencies. Thus, arrays for listening for wire breaks typically either exclude Kaiser
5 effect events because they are too small or do not have the correct frequency characteristics to be examined as likely wire breaks.

The Invention

10 It has now been found that repeated or long term or comparison monitoring of small acoustic events, of the same general frequency and amplitude as those detected in the Kaiser effect, provides valuable information to determine structural damage occurring because of corrosion of reinforcing steel wires or bars, or damage from external
15 forces such as earthquake or collision.

Typically, such events occur in one or more narrow bands of frequencies (specific to the container or structure being monitored) within the 2-12 KHz range, with most signals of interest being in the 8-12KHz range. It
20 is usually sufficient to record signals in the frequency range of about 2KHz to 12KHz in order to get all signals of probable interest. They can be detected using any suitable acoustic detector coupled to the concrete structure so as to receive acoustic emissions at these frequencies. Acoustically, the noises are sharp cracking sounds, and can be likened

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 4 -

to the sound of popcorn popping. If several acoustic detectors are used, the locations within the vessel wall or the structure at which the cracking sounds originate can often be located, by using methods analogous to those used to locate wire breaks in the two Paulson patents cited above.

5

Drawings

The invention will be further explained with respect to the drawings, in which:

10 Figure 1 is a perspective view (not to scale) of a concrete pressure vessel with a suitable monitoring equipment configuration for use with a repeated monitoring or continuous monitoring embodiment of the invention.

15 Figure 2 is a perspective view (not to scale) of a concrete pressure vessel with a suitable monitoring equipment configuration for use with a comparative monitoring embodiment of the invention.

Periodic Monitoring Embodiment

20

According to one embodiment of the invention, a base test is made with the structure or vessel loaded to a predetermined amount. In the case of a vessel such as a water tank or nuclear containment vessel, the loading can conveniently be by pressurizing the contents of the vessel to a

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 5 -

predetermined pressure. In the case of a structure, such as a bridge or a building, the test can be by placing test loads of predetermined weight in prechosen locations on the bridge deck or floor of the building. Loads of predetermined weight can also be used for vessel testing, although they
5 are not preferred.

The loading for the base test (hereinafter called the "base load") should be chosen to be a loading which exceeds the loading that the vessel or structure would encounter in normal use. Typically, a base load which is
10 1.5 to 10 times the load encountered in normal use would be suitable. It is of course desirable that the load chosen is within the vessel's or structure's design limits, to prevent damage to the vessel or structure.

It is not necessary that the base load exceed any load which has
15 previously been applied to the vessel or structure. If it does exceed the greatest previous load that has been applied, a Kaiser effect will occur when and where it is applied. This can be of interest if multiple sensors have been positioned, because the Kaiser effect arises from microcracking and often the locations of the microcracking can be found
20 precisely, from the locations of the sensors and the time of arrival of the acoustic signal at each sensor, as disclosed in the Paulson patents cited above. These locations of microcracks are useful to know, as these locations are likely to be ones where there is considerable stress, and

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 6 -

which would benefit from frequent inspection by conventional means during the life of the structure.

5 If the base load does not exceed any load previously applied to the vessel or structure, there will be no Kaiser effect. In some cases, previous loading may be exceeded in some portions of a structure or vessel but not in others, in which case there will be a Kaiser effect in the portions where previous loading was exceeded, and no Kaiser effect in other portions.

10

The presence or absence of the Kaiser effect when the base test is carried out is not important to this embodiment. What is important in the embodiment being described is that testing is done on several occasions spaced over time, using the base load or a somewhat lesser load which
15 still exceeds the normal load encountered in use of the vessel or structure. Because the acoustic events propagate easily through concrete, it is not necessary that the sensors be in exactly the same position in each test, although it may be convenient to leave the sensors permanently in position between tests in most cases, to reduce the set-
20 up time for each test. The loads should preferably be applied at or near the location where they were applied in the base test, to facilitate comparison between test results. In the case of pressurizing a container, the load will automatically be applied in the same location as the base test if the same container, or the same subcompartment of a

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 7 -

container, is pressurized. Where the load is a weight, applying the load at or near the previous location can conveniently be accomplished by marking the structure or vessel at the time of the base test at the locations of the weights.

5

If, in a subsequent test using the same load as the base load or a lesser load, acoustic events similar to the Kaiser effect are heard, this indicates that the structure has been damaged. This damage may have occurred by the corrosion of a wire or reinforcing bar, or because of structural damage from earthquake, collision or the like. The acoustic events are thought to indicate that the weakened structure is undergoing microcracking, even though it would not have undergone microcracking at the loading applied had it not been damaged.

10

15 Where there are several sensors, the locations from which the acoustic events were emitted can be found using the location techniques discussed in the Paulson patents cited above or any other known technique for locating the source of acoustic emissions. There are typically many very small acoustic events, and a few larger ones (eg
20 above 0 dB.) Where one or more of the larger events has been recorded by several sensors, the location techniques can be applied to find its origin. Even if the concrete is curved (as in the sidewall of a cylindrical pressure vessel), virtually all of the energy passes through the concrete, and the concrete can be considered for the purpose of

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 8 -

finding the origin as though it were a flat sheet. The origin can then be examined using conventional techniques, and the damage can be repaired before it becomes serious.

- 5 In a preferred embodiment, tests are repeated periodically, (for example once every 1-6 months) using loads equal to, or less than the base load. These permit the finding of new damage which has occurred since the previous test. In this way, damage can often be detected and corrected before it becomes major enough to threaten the structural integrity of the
- 10 vessel or structure.

Figure 1 illustrates an equipment configuration suitable for this embodiment. Pressure vessel 10 is a concrete vessel suitable for containment of radioactive vapour in case of an explosion at a nuclear

15 power plant. It has a cylindrical concrete sidewall 11 and a circular concrete roof 12. It also has a circular concrete floor (not shown). A typical such vessel is for example 10 m. in diameter and the sidewall 11 is 13 m. in height and $\frac{1}{2}$ m. thick. It is designed to operate at an outward pressure from its contents of 80 pounds per square inch over

20 atmospheric pressure (80 psig), and to be able to withstand considerably higher outward pressures in an emergency.

On sidewall 11 is mounted acoustic sensor 20, which senses acoustic events in a frequency range of 2 KHz to 12 KHz. The acoustic events

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 9 -

sensed in this range are primarily acoustic waves which reach the sensor through the concrete wall. Acoustic sensor 20 is connected by cable 21 to recording device 22 so that acoustic waves registering at sensor 20 cause sensor 20 to emit electrical signals which are recorded
5 at recording device 22. Preferably the recording device 22 is a computer which also has the capacity to analyze the signals, by making Fourier transforms thereof to determine their spectral density.

Optionally, additional sensors 23 and 25 are located on the sidewall 11,
10 and are connected to recording device 22 by cables 24 and 26 respectively. Preferably, the sensors used are the same as sensor 20.

To provide a base level for later comparison, the pressure in the containment vessel is raised to 120 psig, which is a pressure level
15 unlikely to be encountered in normal operation. If the vessel has not previously been pressurized to this pressure, Kaiser events will occur. If it has been pressurized previously to this level, Kaiser events will not occur in the absence of damage or corrosion. If Kaiser events do occur, they are preferably recorded, and the locations at which they occurred
20 are inspected to see if there was damage.

In subsequent periodic tests, the pressure in the vessel is raised to a test pressure of 120 psig or, if preferred, to a lower test pressure which is still in excess of the normal operating pressure of 80 psig., such as for

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 10 -

example 100 psig. When the test pressure is reached, the sensors are monitored for acoustic events in the range 2-12 KHz. It is expected that no acoustic events will be recorded (except possibly ones from extraneous sources, such as passing traffic etc.) If acoustic events are recorded in this range, and are not other wise explicable, damage or corrosion to the structure is considered likely. Preferably, the origin or origins of the acoustic events are determined, as for example at 40. The sidewall 11 is then examined at location 40 by conventional means to determine whether there is corrosion or damage at that location.

10

Continuous monitoring embodiment

In another embodiment of the invention, continuous acoustic monitoring for acoustic events in the 2-12 KHz frequency range, or some frequency range within this selected after consideration of the particular vessel or structure, is carried out. The preferred range is 8-12KHz. Other frequencies can either be discarded or can be recorded for purposes unrelated to this invention. Suitable filters can be included if desired to record only those acoustic emissions which are in the frequency range of 2-12 KHz or some smaller frequency range within this range where the structure of vessel is known to exhibit a Kaiser effect.

20

Where acoustic events occur in the selected range, the recorded signals from such events can be examined later and compared with reference

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 11 -

recordings of cracking sounds recorded in previous tests the same structure or similar structures, to see if the newly recorded acoustic events have similar energy spectra and duration, and therefore are likely to have been caused by microcracking. Alternately, the acoustic events

5 can be compared to reference recordings by computer immediately after the events are recorded, and a report can be generated immediately if the events are identified as probable microcracking. This embodiment permits the collecting of microcracking information at the time the microcracking occurs. The origin of the acoustic events can be found by

10 applying known methods of analysis (such as those shown in the Paulson patents discussed) to the output of several sensors. In cases where damage occurs through sudden events (such as a collision or a seismic even such as an earthquake) this embodiment permits location of possibly damaged areas, so that they can be inspected and repaired if

15 necessary.

Preferably, when continuous monitoring is carried out apparatus such as that shown in Figure 1 is used. Testing is first done by loading the structure, as in the tests discussed above, to determine the frequency

20 spectrum and duration of acoustic events made by microcracking in the structure. Then, recording device 22 is a computer programmed to recognize the acoustic "signatures" of the microcracking events, in terms of frequencies and duration. Events having similar frequencies and duration can be logged for further spectral examination to see if they are

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 12 -

in fact microcracking events, or can immediately be used to cause an on-site inspection to be carried out.

As discussed above, it has been found that, when the structure has been damaged, the acoustic events representing microcracking appears at a lower load level than was previously the case. For example, in a containment vessel, corrosion of reinforcing bars may produce weakening of some sections of the vessel. If acoustic monitoring of the entire vessel shows the appearance of microcracking at a lower pressure than was previously the case, the existence of the damage can be discovered, and its location can be determined. Similarly, the appearance of cracking events during a seismic event allows damaged areas to be identified even if the cracking is not visible on the exterior of the vessel. Subsequent pressurization of the vessel can then be carried out to reveal information about the impact of the damage on the ability of the vessel to contain required pressures. Thus small or concealed damage can be located before it has a chance to get worse or cause a failure of the vessel or structure.

20 Analysis of the Seriousness of Cracking

In a further embodiment, useable in association with either periodic testing under load or continuous monitoring, the signals showing cracking are examined to assess the seriousness of the cracking.

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 13 -

Typically, the signals are a series of individual, discrete, signals. The number of such signals per unit of time is examined. When a structure or vessel is loaded in excess of its previous loading, the Kaiser effect gives rise to signals. It is found that the rate of cracking caused by the Kaiser effect normally diminishes quickly after a given load is achieved. Depending on the structure, the rate of acoustic events (number of acoustic events in the 2-12KHz range per second) diminished by half in an approximately constant period after the greater pressure than previous had been reached. For any structure or vessel, the decrease in rate is approximately constant and characteristic to that vessel. For some vessels, the rate decreases by half every 10 minutes after a new pressure level had been achieved, and for others the rate decreases by half in less than two minutes. Generally, it is expected that the rate will decrease by half in from 15 seconds to 15 minutes, depending on the particular structure or vessel.

Periodic tests of pressure vessels or structures according to the invention show the same pattern where the vessel or structure is loaded to a loading at or below previous loadings, but where there has been minor corrosion damage between tests: i.e., the rate of acoustic events reduces approximately by half every 15 seconds to 15 minutes after a level of loading that gives rise to acoustic emissions is reached and maintained. Therefore, if the rate of diminution of acoustic emissions does not diminish by half in a time period of the order of 15

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 14 -

seconds-15 minutes, then the vessel is not responding as expected and requires immediate attention. A steady rate of the emissions denoting cracking, for example, would indicate progressive damage to the vessel is occurring even during the test. Under such circumstances, the test
5 should be discontinued, even though no structural damage is evident, and steps should immediately be taken to do conventional inspection and possible repair. Similarly, during continuous monitoring, a steady rate of acoustic events denoting cracking indicates that immediate conventional inspection of the vessel or structure is required.

10

Comparative Monitoring Embodiment

In another embodiment, monitoring is done where there is reason to suspect that there has been corrosion or damage in a particular portion
15 of a vessel or structure, but where there are no records of previous monitoring with a base load or of continuous monitoring. In such a case, the location suspected of corrosion or damage is monitored, and another location is monitored under similar load for comparison. The other location is chosen to be one which is as similar as possible to the
20 expected damaged location in its construction and load bearing characteristics. For example, if damage or corrosion to one portion of the sidewall of a water tank having a cylindrical sidewall is suspected, the comparative portion can suitably be the portion directly across the diameter of the tank, if such section has similar thickness and

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 15 -

reinforcement to the suspect portion, and is not suspected of being corroded or damaged. The two locations are then monitored as the load is increased. If the suspected damaged or corroded location yields acoustic signals showing microcracking at a lower load than the comparative location, it is considered that damage or corrosion has occurred at the suspect location.

The equipment for doing this is shown in Figure 2. Figure 2 shows containment vessel 10' having sidewall 11' and roof 12' as vessel 10, sidewall 11 and roof 12 in Figure 1. A recording device and computer 22' (as device 22 in Figure 1) is also provided. Damage is suspected at 41. Accordingly sensor 27 is placed close to the location of the suspected damage and is connected to recording device 22' by cable 28. Sensor 29 is placed in a location believed to be undamaged, and as far as conveniently possible from location 41, to reduce the likelihood that it will record acoustic events from location 41. Sensor 29 is connected to recording device 22' by cable 30.

The pressure in vessel 10' is then slowly increased, and the signals received at device 22' are monitored. If signals representing acoustic events in the 2-12 KHz range are received from sensor 27 before similar signals are received from sensor 29, this confirms the suspected damage in or near the location 41. If desired, several sensors could be placed around location 41, and the pressure increased further, to

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 16 -

determine the exact location of the damage, using known location techniques.

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 17 -

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A method of inspection of concrete structures which comprises:
 - 5 a) conducting a base test by loading the structure with a base load which is considerably in excess of the load to which the structure is exposed in normal use,
 - b) removing the base load,
 - 10 c) subsequently conducting at least one further test by loading the structure with a test load equal to or less than the base load, and exerting loading in approximately the same location as the test load;
 - 15 d) noting acoustic signals (if any) which are detected by at least one sensor in contact with the structure while the structure is loaded with the test load.
2. A method as claimed in claim 1, where the acoustic signals are
20 detected at one or more frequencies in the range of 2KHz to 12KHz.
3. A method as claimed in claim 1 or claim 2, in which the acoustic signals are detected by a plurality of sensors, and the origin of at least

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 18 -

some such signals is determined by comparing the signals detected at each sensor:

4. A method of inspecting concrete structures which comprises

5

(a) loading the structure to a loading where microcracking occurs,

(b) determining the acoustic signature acoustic events arising
10 from of microcracking in the structure

(c) subsequently monitoring the structure for acoustic events having that acoustic signature.

15 5. A method as claimed in claim 4, in which the acoustic signature comprises a frequency or range of frequencies within the range 2KHz to 12 KHz which at which acoustic events occur in the concrete of the particular structure as a result of microcracking.

20 6. A method as claimed in claim 4 or 5 in which the acoustic signature comprises the energy spectra of acoustic events arising from microcracking.

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 19 -

7. A method as claimed in claim 4 or 5 in which the acoustic signature comprises the duration of acoustic events arising from microcracking.
- 5
8. A method of inspection of structures which comprises,
- a) positioning at least three acoustic sensors in locations to sense acoustic waves within the structure,
- 10
- b) monitoring the output of such sensors,
- c) if and when such sensors detect signals characteristic of concrete microcracking, determining the probable origin of such signals,
- 15 and
- d) inspecting the structure in the vicinity of the probable origin for evidence of damage.
- 20 9. A method of inspection of A concrete structure which is suspected to be damaged which comprises
- (a) placing two acoustic sensors to monitor acoustic events occurring in the concrete of the structure, one such acoustic sensor
- 25 being placed proximate to the suspected damaged area and one

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

- 20 -

acoustic sensor being placed remote from the suspected damaged area
in an area believed to be undamaged

(b) loading the structure equally at the locations of the two
5 sensors,

(c) gradually increasing the loading equally at the locations of the
two sensors, and

10 (d) noting whether acoustic events are detected by the sensor
proximate the suspected damaged area at a loading at which similar
acoustic events are not detected at the sensor remote from the
suspected damaged area.

15 10. A method as claimed in claim 9, in which, if the sensed acoustic
events from the sensor proximate the suspected damaged location do
not decrease by half within 15 minutes at the loading at which they are
first detected, the loading is decreased.

20 11. A method as claimed in any of claims 1-3, in which, if acoustic
events are noted at the test load, then such signals are monitored and a
determination is made as to how long it takes for the rate of such signals
to decline by one-half.

25 12. A method as claimed in any of claims 4-7, in which acoustic
events bearing the acoustic signature of microcracking are monitored
and a determination is made as to how long it takes for the rate of such
signals to decline by one-half.

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

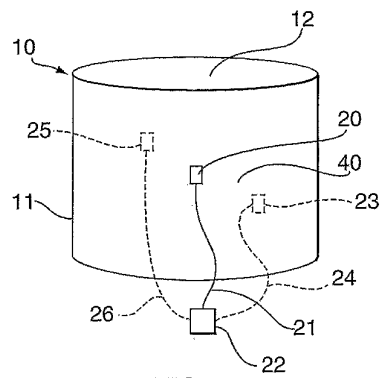
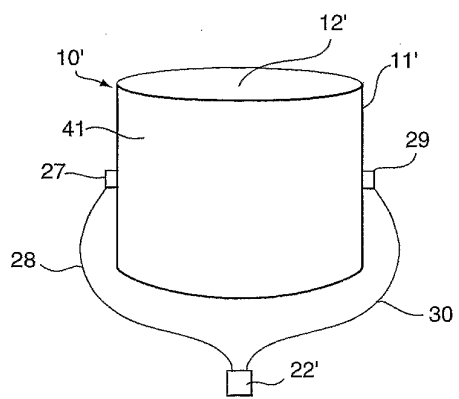
- 21 -

13. A method as claimed in any of claims 1-12, in which the structure is a pressure vessel, and the loading is changed by changing the pressure in the vessel.

WO 02/25316

PCT/CA01/01341

1/1

**FIG.1****FIG.2**

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【国際公開パンフレット（コレクトバージョン）】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
28 March 2002 (28.03.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/025316 A3

(51) International Patent Classification: G01V 1/00, G01N 1/00, G01N 29/14 (74) Agent: BLAKE, CASSELS & GRAYDON LLP, World Exchange Plaza, 20th Floor, 45 O'Connor Street, Ottawa, Ontario K1P 1A4 (CA).

(21) International Application Number: PCT/CA01/01341

(22) International Filing Date: 25 September 2001 (25.09.2001)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data: 2,320,631 25 September 2000 (25.09.2000) CA

(71) Applicant (for all designated States except US): PURE TECHNOLOGIES LTD. [CA/CA]; Suite 1050, 340 - 12th Avenue, S.W., Calgary, Alberta T2R 1L5 (CA).

(72) Inventor; and
(75) Inventor/Applicant (for US only): PAULSON, Peter, O. [CA/CA]; 320 Pumphill Gardens, S.W., Calgary, Alberta T2V 4M7 (CA).

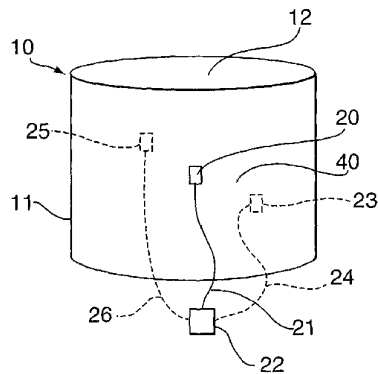
(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GH, GM, GR, GU, HK, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, NZ, NI, NL, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KI, LS, MW, MZ, SD, SI, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
with international search report

[Continued on next page]

(54) Title: ACOUSTICALLY MONITORING CONCRETE VESSELS AND STRUCTURES



(57) Abstract: Microcracking in concrete structures is monitored acoustically. The resulting signals can be used to determine corrosion of metal reinforcing wires or rods, or damage occurring from accident or seismic events.

WO 02/025316 A3

WO 02/025316 A3 

(88) **Date of publication of the international search report:** 19 September 2002
For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/JP 01/01341
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 601V1/00 601H1/00 601N29/14		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 601V 601N 601H		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 852 771 C (KAISER J.) 20 October 1952 (1952-10-20) the whole document page 3, line 53 - line 57; figures 4,5 ----	1
X	YUYAMA SHIGENORI ET AL: "Acoustic emission evaluation of structural integrity in repaired reinforced concrete beams" MATER EVAL; MATERIALS EVALUATION JAN 1994, vol. 52, no. 1, January 1994 (1994-01), pages 88-90, XP001058271 abstract; figure 9 the whole document page 89, left-hand column, line 18 -page 90, left-hand column, line 50 ----- -/--	8 1-3,11, 13
Y		
☒ Further documents are listed in the continuation of box C. ☒ Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another claim or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but aimed to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "S" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
24 January 2002		19. 04. 02
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. 5810 Patentean 2 NL-2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3015		Authorized officer De Bekker, R

From PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1993)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat	Application No
PCT	61/01341

C ₂ (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	KAWAHARA MASANORI ET AL: "AE measurements for evaluation of defects in FRP pressure vessels" PROCEEDINGS OF THE 1995 JOINT ASME/JSME PRESSURE VESSELS AND PIPING CONFERENCE; HONOLULU, HI, USA JUL 23-27 1995, vol. 297, 1995, pages 59-64, XP008000106 ASME Pressure Vessels Piping Div Publ PVP; American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP; High Pressure Technology 1995 ASME, New York, NY, USA abstract figure 6 ---	1-3, 11, 13
Y	US 5 798 457 A (PAULSON PETER O) 25 August 1998 (1998-08-25) cited in the application column 5, line 20 - line 42; figure 3 column 3, line 41 - line 43 ---	2
A	US 4 918 993 A (HUGHSON DAVID R) 24 April 1990 (1990-04-24) column 1, line 59 - column 2, line 28 ---	11
A	DATABASE WPI Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 1984023096 XP002188169 abstract & SU 1 006 679 A (EVDOKIMOV VIKTOR ; VOJNA LEONID S (SU); ELISEEVA TATYANA N (SU)) 23 March 1983 (1983-03-23) -----	13

Form PCT/ISA/210 (Continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT	
	Int'l application No. PCT/CA 01/01341
Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)	
This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:	
1. ☐ Claims Nos.: because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:	
2. ☐ Claims Nos.: because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:	
3. ☐ Claims Nos.: because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).	
Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)	
This International Searching Authority found multiple inventions in this International application, as follows:	
see additional sheet	
1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.	
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.	
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:	
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:	
1-3, 8, 11, 13	
Remark on Protest	
☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.	
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.	

International Application No. PCT/CA 01/01341

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. Claims: 1-3,8,11,13

acoustically inspecting concrete structures by loading the structure with a test load characterised in that the structure is loaded with a base load, before the loading with the test load, which is considerably in excess of the load to which the structure is exposed in normal use.

2. Claims: 4-7,12

acoustically inspecting concrete structures by loading the structure with a load characterised in that the acoustic signature of acoustic events arising from microcracking is determined

3. Claims: 9,10

acoustically inspecting concrete structures by loading the structure with a test load characterised in that the concrete structure is suspected to be damaged and that two acoustic sensors are used from which one is positioned proximate to an area suspected to be damaged and one positioned remote from this area and that the structure is increasingly loaded equally at the locations of the two sensors to note whether events are detected by the suspected area sensor and not by the remote sensor.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
 Relation on patent family members

Intern: J Application No
 PC1, 01/01341

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 852771 C	20-10-1952	NONE	
US 5798457 A	25-08-1998	CA 2178373 A	07-12-1996
		US 6170334 B	09-01-2001
		AU 674237 B	12-12-1996
		AU 7065494 A	17-01-1995
		BR 9406836 A	16-04-1996
		CA 2164315 A	05-01-1995
		WO 9500823 A	05-01-1995
		DE 69416410 D	18-03-1999
		DE 69416410 T	19-08-1999
		EP 0705422 A	10-04-1996
		ES 2131200 T	16-07-1999
		JP 8511622 T	03-12-1996
US 4918993 A	24-04-1990	GB 2194336 A	02-03-1988

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PH,PL,PT,R
O,RU,SD,SE,SG,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VN,YU,ZA,ZW

Fターム(参考) 2G024 AD34 BA22 CA13 DA15 FA02 FA04 FA06 FA13