

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第6989925号
(P6989925)

(45)発行日 令和4年1月12日(2022.1.12)

(24)登録日 令和3年12月7日(2021.12.7)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 L 1/00 (2006.01) G 0 1 L 1/00 C

請求項の数 11 (全9頁)

(21)出願番号	特願2018-108622(P2018-108622)	(73)特許権者	305027401 東京都公立大学法人 東京都新宿区西新宿二丁目3番1号
(22)出願日	平成30年6月6日(2018.6.6)	(73)特許権者	000174943 三井住友建設株式会社 東京都中央区佃二丁目1番6号
(65)公開番号	特開2019-211371(P2019-211371 A)	(74)代理人	110001427 特許業務法人前田特許事務所
(43)公開日	令和1年12月12日(2019.12.12)	(72)発明者	大野 健太郎 東京都八王子市南大沢1-1 首都大学 東京 南大沢キャンパス内
審査請求日	令和3年2月8日(2021.2.8)	(72)発明者	篠崎 裕生 東京都中央区佃二丁目1番6号 三井住 友建設株式会社内
		(72)発明者	玉置 一清

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 コンクリート構造物の応力測定方法、およびコンクリート構造物の応力測定システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

コンクリート構造物の応力測定方法であって、
コンクリート構造物の表面に沿った第1の方向に伝播する第1の振動の第1の伝播速度、
および上記第1の方向とは異なる第2の方向に伝播する第2の振動の第2の伝播速度の何
れか一方に対する、上記第1の伝播速度と第2の伝播速度との速度差の比に基づいて、上
記コンクリート構造物の応力を求めることを特徴とするコンクリート構造物の応力測定方
法。

【請求項2】

請求項1のコンクリート構造物の応力測定方法であって、
上記応力は、あらかじめ求められた、上記コンクリート構造物に作用する応力と、上記比
との関係に基づいて求められることを特徴とするコンクリート構造物の応力測定方法。

【請求項3】

請求項1および請求項2のうち何れか1項のコンクリート構造物の応力測定方法であって、
上記第1の方向と第2の方向とは90°の角度を成す方向であることを特徴とするコンク
リート構造物の応力測定方法。

【請求項4】

請求項1から請求項3のうち何れか1項のコンクリート構造物の応力測定方法であって、
上記比は、上記コンクリート構造物に第1または第2の振動が与えられる箇所から、
上記第1の方向に伝播した第1の振動が検出される箇所までの距離と、

上記第 2 の方向に伝播した第 2 の信号が検出される箇所までの距離とが等しい場合における、

上記第 1 または第 2 の振動が与えられてから、

上記第 1 の方向に伝播して検出されるまでの第 1 の伝播時間と、

上記第 2 の方向に伝播して検出されるまでの第 2 の伝播時間との時間差に基づいて求められることを特徴とするコンクリート構造物の応力測定方法。

【請求項 5】

請求項 4 のコンクリート構造物の応力測定方法であって、

上記第 1 の伝播時間と第 2 の伝播時間との時間差は、上記第 1 の方向に伝播して検出される第 1 の振動波形と、上記第 2 の方向に伝播して検出される第 2 の振動波形との相互相関係数が最大となる時間差であることを特徴とするコンクリート構造物の応力測定方法。

10

【請求項 6】

請求項 5 のコンクリート構造物の応力測定方法であって、

上記相互相関係数の算出が開始される算出開始時刻は、上記第 1 の方向または第 2 の方向に伝播して検出される振動の振幅が最大になるまでの振動波形に対して、赤池情報量基準 A I C を適用した場合の A I C が最小となる時刻であることを特徴とするコンクリート構造物の応力測定方法。

【請求項 7】

請求項 5 のコンクリート構造物の応力測定方法であって、

上記相互相関係数の算出が開始される算出開始時刻は、上記第 1 の方向または第 2 の方向に伝播して検出される振動の振幅が最大になるまでの振動波形に対して、赤池情報量基準 A I C を適用した場合の A I C が最小となる時刻に所定の時間を加算した時刻までの振動波形に対して、さらに、赤池情報量基準 A I C を適用した場合の A I C が最小となる時刻であることを特徴とするコンクリート構造物の応力測定方法。

20

【請求項 8】

請求項 6 および請求項 7 のうち何れか 1 項のコンクリート構造物の応力測定方法であって、上記相互相関係数の算出が終了される算出終了時刻は、上記コンクリート構造物に振動が与えられてから上記算出開始時刻までの時間を 0 . 7 で除した時間だけ、上記コンクリート構造物に振動が与えられてから経過した時刻であることを特徴とするコンクリート構造物の応力測定方法。

30

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のうち何れか 1 項のコンクリート構造物の応力測定方法であって、上記振動は、A E センサによって上記コンクリート構造物に与えられるとともに、A E センサによって検出されることを特徴とするコンクリート構造物の応力測定方法。

【請求項 10】

請求項 1 から請求項 9 のうち何れか 1 項のコンクリート構造物の応力測定方法であって、上記振動の周波数は 2 0 0 k H z 以下であることを特徴とするコンクリート構造物の応力測定方法。

【請求項 11】

請求項 1 のコンクリート構造物の応力測定方法によって応力を測定するコンクリート構造物の応力測定システムであって、

40

上記コンクリート構造物に上記第 1 の振動または第 2 の振動を与える振動印加部と、

上記振動印加部により与えられて伝播した第 1 または第 2 の振動を検出する振動検出部と、

上記コンクリート構造物の表面に沿った第 1 の方向に伝播する第 1 の振動の第 1 の伝播速度、および上記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に伝播する第 2 の振動の第 2 の伝播速度

の何れか一方に対する、上記第 1 の伝播速度と第 2 の伝播速度との速度差の比に基づいて

、上記コンクリート構造物の応力を求める応力算出部と、

を備えたことを特徴とするコンクリート構造物の応力測定システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、コンクリート構造物に作用する応力を測定するコンクリート構造物の応力測定方法、およびコンクリート構造物の応力測定システムに関するものである。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

コンクリート構造物の内部に発生する応力を非破壊で測定する技術として、圧電素子が内蔵されたセンサ素子を、あらかじめコンクリート構造物の内部に埋設する技術が知られている（例えば、特許文献 1 参照。 ）。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

10

【 0 0 0 3 】

【 文献 】 特開 2 0 1 2 - 2 4 7 3 5 5 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 4 】

しかしながら、上記のようにセンサ素子を埋設する手法では、コンクリート構造物が形成された後に、他の箇所や方向の応力を測定することはできない。しかも、非破壊で測定されるものの、センサ素子が埋設された箇所では、埋設されていない箇所に比べてコンクリート構造物の強度が低下することになる。

【 0 0 0 5 】

20

本発明は、上記の点に鑑み、強度の低下を招いたりすることなく、所望の箇所の応力を容易に測定できるようにすることを目的としている。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

上記の目的を達成するために、

本発明は、

コンクリート構造物の応力測定方法であって、

コンクリート構造物の表面に沿った第 1 の方向に伝播する第 1 の振動の第 1 の伝播速度、および上記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に伝播する第 2 の振動の第 2 の伝播速度の何れか一方に対する、上記第 1 の伝播速度と第 2 の伝播速度との速度差の比に基づいて、上記コンクリート構造物の応力を求めることを特徴とする。

30

【 0 0 0 7 】

これによって、互いに応力の影響が異なる伝播速度の関係と、応力とが比較的高い精度で一定の対応関係を有するので、施工後のコンクリート構造物に作用する応力等を容易に求めることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、強度の低下を招いたりすることなく、所望の箇所の応力を容易に測定できるようになる。

【 図面の簡単な説明 】

40

【 0 0 0 9 】

【 図 1 】 応力測定システムの構成を示すブロック図である。

【 図 2 】 検出された超音波波形の例を示すグラフである。

【 図 3 】 相互相関係数を求める区間を決定するための第 1 回目の A I C 適用結果の例を示すグラフである。

【 図 4 】 相互相関係数を求める区間を決定するための第 2 回目の A I C 適用結果の例を示すグラフである。

【 図 5 】 速度変化率と応力比との関係を示すグラフである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 0 】

50

以下、本発明の実施形態として、図 1 に示すように、コンクリート構造物 101 に例えば圧縮力 P が作用した時に生じる応力を測定するコンクリート構造物の応力測定システムの例を図面に基づいて詳細に説明する。

【0011】

(応力測定システムの概略構成)

この応力測定システムでは、超音波振動をコンクリート構造物 101 に与える 1 つの A E センサ 201 (振動印加部) (A E : Acoustic Emission) と、上記超音波振動が伝播した振動を検出する 2 つの A E センサ 202 ・ 203 (振動検出部) とが用いられる。上記 A E センサ 202 は、A E センサ 201 に対して、圧縮力 P と同じ方向に配置される。一方、A E センサ 203 は、A E センサ 201 に対して、圧縮力 P と 90° の角度を成す方向に配置される。

10

【0012】

上記応力測定システムには、また、スタートスイッチ 212 を有するファンクションジェネレータ 211 と、波形収録ロガー 213 と、波形記録用 P C 214 (応力算出部) と、プリアンプ 215 とが設けられている。

【0013】

ファンクションジェネレータ 211 は、例えば、スタートスイッチ 212 が操作されたときに、15V のパルス信号を発生するようになっている。上記パルス信号は、A E センサ 201 に入力され、例えば 200kHz 以下程度の周波数の振動がコンクリート構造物 101 に与えられるようになっている。上記パルス信号は、また、波形収録ロガー 213 にも入力されるが、これについては後述する。なお、パルス信号の電圧や発生させる振動の周波数などは種々に設定可能である。例えば 60kHz や、150kHz などに設定してもよい。もっとも、特に限定されないが、例えばコンクリート構造物 101 中の骨材の最大直径が 20 ~ 40mm 程度の場合には、200kHz 程度の振動が好ましい場合が多いと考えられる。

20

【0014】

プリアンプ 215 ・ 215 は、A E センサ 201 によってコンクリート構造物 101 に振動が与えられ、伝播して A E センサ 202 ・ 203 によって検出された振動波形の信号を増幅するようになっている。

【0015】

波形収録ロガー 213 は、ファンクションジェネレータ 211 からパルス信号が入力されたタイミング、または必要に応じて、それより所定時間だけ遡ったタイミング以降に A E センサ 202 ・ 203 によって検出された振動波形を記録し、波形記録用 P C 214 に出力するようになっている。

30

【0016】

波形記録用 P C 214 は、上記振動波形に基づいて、以下のように、コンクリート構造物 101 に作用する応力を求めるようになっている。

【0017】

(応力算出の概要)

A E センサ 201 によってコンクリート構造物 101 に与えられた振動の伝播速度は、例えば図 2 に示すように、コンクリート構造物 101 に作用する応力の大きさによって異なる。ただし、伝播速度自体は、一般に、種々の条件に応じて変動するため、伝播速度から、直接、応力を求めることは通常は容易でない。ところが、A E センサ 201 によってコンクリート構造物 101 に与えられコンクリート構造物 101 を伝播した後、A E センサ 202 によって検出される振動は上記応力の影響を受ける一方、A E センサ 203 によって検出される振動は、コンクリート構造物 101 に作用する圧縮力 P に対して直角方向なので、上記圧縮力 P による応力の影響を受けにくいと考えられる。そこで、A E センサ 202 ・ 203 によって検出される振動の伝播速度を対比することにより、比較的精度よく応力を求めることができる。より詳しくは、例えば、応力方向の振動の伝播速度を V_0 、応力方向の振動の伝播速度と応力に直角方向の振動の伝播速度との差を V とすると、

40

50

V/V_0 は、比較的精度よく応力の大きさに対応する。そこで、あらかじめ V/V_0 と応力との関係を求めておけば、コンクリート構造物 101 に作用する応力を比較的容易に求めることができる。以下、より詳細に説明する。

【0018】

(応力算出の詳細)

上記応力方向と直角方向との伝播速度差は、AE センサ 202・203 に振動が伝播する時間差に基づいて求めることができる。上記時間差は、例えば AE センサ 202・203 によって検出される波形のずれ量に対応する。そこで、AE センサ 202・203 で検出される波形をそれぞれ h_1 、 h_0 とし、所定の算出開始、終了時刻 t_1 、 t_2 間で(数1)に示す相互相関係数が最大となるずれ量を求めることによって、振動が伝播する時間差とすることができる。

10

【0019】

【数1】

$$CC_{(h_0, h_1)}^{(t_1, t_2)}(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} h_0[t(1+\tau)] \cdot h_1[t] dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} h_0^2[t(1+\tau)] dt \int_{t_1}^{t_2} h_1^2[t] dt}}$$

20

【0020】

ここで、上記相互相関係数を求める算出開始、終了時刻 t_1 、 t_2 は、例えば、(数2)および以下のように赤池情報量基準 AIC (AIC: Akaike's Information Criterion) を多重に適用して決定することにより、適切な相互相関係数を容易に求めることができる。

【0021】

【数2】

$$AIC(k) = k \cdot \log_{10}(\text{var}[1, k]) + (N - k - 1) \cdot \log_{10}(\text{var}[k + 1, N])$$

30

【0022】

すなわち、まず、図3に示すように、AE センサ 203 によって検出される波形の振幅が最大となる時刻までの波形に対して AIC を求め、これが最小値となる時刻を仮の時刻 t_1 とする。次に、上記仮の時刻 t_1 に例えば $25 \mu s$ を加えた時刻までの波形に対して、さらに図4に示すように AIC を求め、これが最小値となる時刻を相互相関係数を求めるための算出開始時刻 t_1 とする。なお、 $25 \mu s$ を加えるのに限らず、1回目の AIC の最小値を示す時刻から振動波形の振幅が最大となる時刻までの間で種々に設定してもよい。

40

【0023】

また、相互相関係数を求めるための算出終了時刻は、例えば(数3)および以下のように設定することができる。すなわち、適切な相互相関係数を求めるためには、S波や、表面波、反射波を含まないP波成分だけを含むことが好ましい。そこで、P波以外の成分の伝播速度はP波速度の60%程度であることから、例えば70%の伝播速度で到達する時刻を算出終了時刻 t_2 とする。

【0024】

【数3】

50

$$t_2 = t_{in} + x/0.7V_y$$

【 0 0 2 5 】

上記のようにして算出開始、終了時刻 t_1 、 t_2 間で求めた相互相関係数が最大となる時間差 によって、(数 4) のように V/V_0 を求めることができる。ここで、 t_0 は、A E センサ 2 0 3 によって検出される振動の伝播時間である。

【 0 0 2 6 】

そこで、例えば図 5 に示すように、あらかじめ求めた V/V_0 と応力との関係に基づいて、コンクリート構造物 1 0 1 に作用する応力を比較的容易に求めることができる。

10

【 0 0 2 7 】

【 数 4 】

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_i - V_0}{V_0} = \frac{t_0}{t_0 - \tau} - 1$$

【 0 0 2 8 】

(その他の事項)

上記の例は一例であり、種々の等価の演算が可能である。

20

【 0 0 2 9 】

例えば、上記では(数 4)、図 5 に示したように振動の伝播時間やそのずれに基づいて速度差の比を求めた後に、応力比を求める例を示したが、これに限らず、伝播時間のずれ等に基づいて直接応力比を求めてもよい。

【 0 0 3 0 】

また、図 5 においては圧縮強度に対する応力である応力比を横軸としているが、応力値自体を横軸として求めてもよい。

【 0 0 3 1 】

また、A I C や相互相関係数を求める基準として A E センサ 2 0 3 によって検出される波形に変えて、A E センサ 2 0 2 によって検出される波形を用いても略同様の結果を得ることはできる。

30

【 0 0 3 2 】

また、A E センサ 2 0 1 ・ 2 0 2 間の距離と、A E センサ 2 0 1 ・ 2 0 3 間の距離を等しく設定すれば、伝播速度の演算を簡潔にしやすいが、これに限らず、距離と速度との関係を適切に換算するなどして整合させれば、同様の演算を行うことは可能である。

【 0 0 3 3 】

また、上記のように 2 つの振動の伝播方向が 9 0 ° 異なる場合には、最も検出感度が高いことが期待されるが、必ずしも 9 0 ° でなくても、同様の検出をすることはできる。

【 0 0 3 4 】

上記のように、主として P 波成分の伝播に基づいて伝播速度や伝播時間のずれを求めることによって、骨材の分散や外乱などの影響などを受けにくいようにして、応力の検出精度を高めることが容易にできる。

40

【 0 0 3 5 】

また、相互相関係数を求める波形の範囲を、赤池情報量基準 A I C を多重に適用して求めることによって、A I C の算出精度自体を高め、応力の算出精度を高めることが容易にできる。

【 符号の説明 】

【 0 0 3 6 】

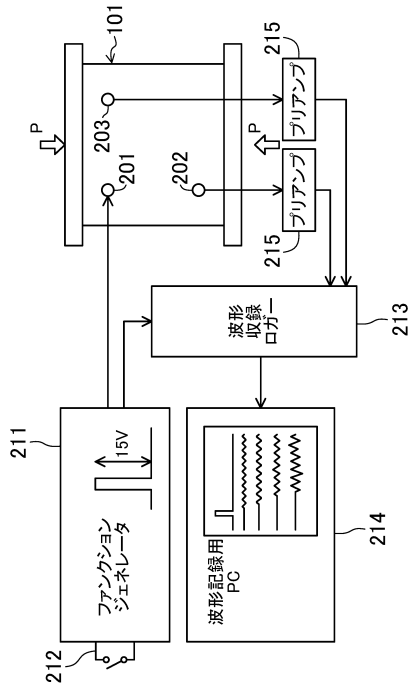
1 0 1 コンクリート構造物

50

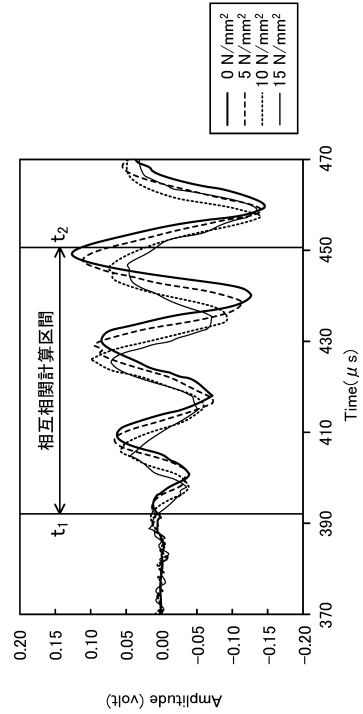
- 2 0 1 A E センサ
- 2 0 2 A E センサ
- 2 0 3 A E センサ
- 2 1 1 ファンクションジェネレータ
- 2 1 2 スタートスイッチ
- 2 1 3 波形収録ロガー
- 2 1 4 波形記録用 P C
- 2 1 5 プリアンプ

【 図 面 】

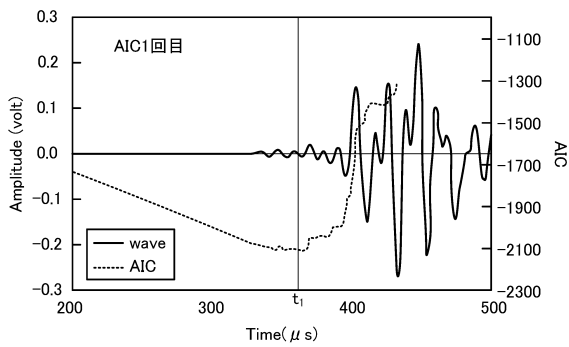
【 図 1 】



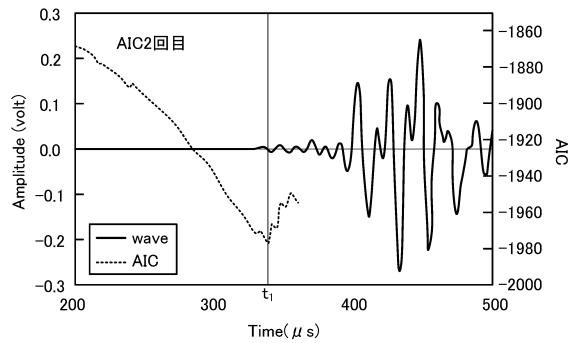
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



10

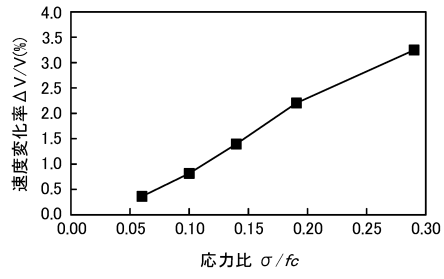
20

30

40

50

【 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

東京都中央区佃二丁目 1 番 6 号 三井住友建設株式会社内

(72)発明者 野並 優二

東京都中央区佃二丁目 1 番 6 号 三井住友建設株式会社内

審査官 森 雅之

(56)参考文献 特許第 6 1 5 9 9 2 6 (J P , B 2)

特開 2 0 1 7 - 7 5 8 5 0 (J P , A)

米国特許第 9 5 2 3 6 6 1 (U S , B 2)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

G 0 1 L