

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2023-16566  
(P2023-16566A)

(43)公開日

令和5年2月2日(2023. 2. 2)

(51)Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 0 1 N 33/38 (2006. 01)	G 0 1 N 33/38	2 E 1 7 2
E 0 4 G 21/02 (2006. 01)	E 0 4 G 21/02 1 0 4	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 11 頁)

<p>(21)出願番号 特願2021-120972(P2021-120972)</p> <p>(22)出願日 令和3年7月21日(2021. 7. 21)</p> <p>特許法第30条第2項適用申請有り 2021年7月20日 一般社団法人日本建築学会発行の「2021年度大会(東海) 学術講演梗概集 建築デザイン発表梗概集」(DVD)に発表</p>	<p>(71)出願人 592254526 学校法人五島育英会 東京都渋谷区道玄坂1丁目10番7号</p> <p>(71)出願人 303056368 東急建設株式会社 東京都渋谷区渋谷一丁目16番14号</p> <p>(74)代理人 240000327 弁護士 弁護士法人クレオ国際法律特許事務所</p> <p>(72)発明者 須藤 誠一 東京都世田谷区玉堤一丁目28番1号 学校法人五島育英会東京都市大学内</p> <p>(72)発明者 佐藤 幸恵 東京都世田谷区玉堤一丁目28番1号 学校法人五島育英会東京都市大学内 最終頁に続く</p>
--	--

(54)【発明の名称】セメント硬化体の状態推定方法及び誘電測定装置

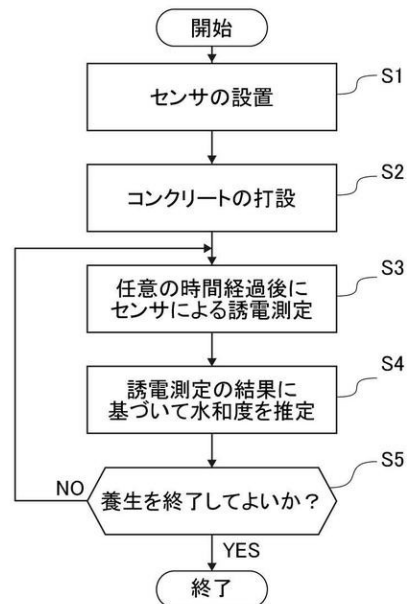
(57)【要約】

【課題】セメント硬化体の水和進行の程度を判定することが可能となるセメント硬化体の状態推定方法を提供する。

【解決手段】セメント硬化体の水和進行の程度を判定するためのセメント硬化体の状態推定方法である。

そして、誘電測定が可能なセンサをセメント硬化体の内部と接触するように設置するステップS1と、任意の時間が経過した後にセンサによってセメント硬化体の内部の誘電測定を行うステップS3と、誘電測定の結果に基づいてセメント硬化体の水和進行の程度を推定するステップS4とを備えている。

【選択図】図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

セメント硬化体の水和進行の程度を判定するためのセメント硬化体の状態推定方法であって、

誘電測定が可能なセンサを前記セメント硬化体の内部と接触するように設置するステップと、

任意の時間が経過した後に前記センサによって前記セメント硬化体の内部の誘電測定を行うステップと、

前記誘電測定の結果に基づいて前記セメント硬化体の水和進行の程度を推定するステップとを備えたことを特徴とするセメント硬化体の状態推定方法。

10

**【請求項 2】**

推定された前記水和進行の程度に基づいて、前記セメント硬化体の養生の終了時期を決定するステップを備えたことを特徴とする請求項 1 に記載のセメント硬化体の状態推定方法。

**【請求項 3】**

前記セメント硬化体はコンクリートであって、前記センサは前記コンクリートが充填される位置に予め配置された後に前記コンクリートが充填されることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のセメント硬化体の状態推定方法。

**【請求項 4】**

セメント硬化体の誘電測定を行うための誘電測定装置であって、

先端に感知部が設けられた棒状のセンサと、

前記センサと接続される測定機器と、

前記感知部に前記セメント硬化体の接触を可能とするとともに、所定以上の大きさの物体と前記感知部との接触を防止するための保護部とを備えたことを特徴とする誘電測定装置。

20

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、セメント硬化体の水和進行の程度を判定するためのセメント硬化体の状態推定方法及び誘電測定装置に関するものである。

30

**【背景技術】****【0002】**

水和反応によって強度が増加するコンクリートや地盤改良体などのセメント硬化体は、水和反応を促進させるための適切な環境下での養生期間を経て、所望する強度が発現されることになる。

**【0003】**

例えば土木学会のコンクリート標準示方書には、給水の具体的な手段を示して養生方法を特定するとともに、典型的な日平均気温（15 以上,10 以上,5 以上）及び一般的なセメントの種類ごとに、確保すべき養生日数を一義的に示している。

**【0004】**

このコンクリート標準示方書に示されている養生期間は、適切な環境下で養生が行われていることを前提としたうえで、安全性を考慮して確保すべき養生日数を示しているだけで、現場ごとに異なるコンクリートの実際の状態を考慮しているものではない。

40

**【0005】**

一方、特許文献 1 に開示されているように、コンクリートの打設後の積算温度から、圧縮強度が推定できることが知られている。そこで、特許文献 1 では、トンネルの覆工コンクリートの型枠に温度センサを配置し、現場に打設されたコンクリートの温度を、直接、測定することで、実際の積算温度を算出している。

**【先行技術文献】****【特許文献】**

50

## 【 0 0 0 6 】

【特許文献1】特開2012-26734号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 0 7 】

しかしながら、コンクリートの実際の強度は、養生期間の積算温度のみによって決まるのではなく、乾燥した状態になっていなかったかなどの湿潤状態が適切に保たれていたか否かも重要な要素となる(図10参照)。また、型枠の内面に貼り付けられた温度センサでは、コンクリートの表面の温度しか測定できず、内部の状態を正確に把握することはできない。

10

## 【 0 0 0 8 】

そこで本発明は、セメント硬化体の水和進行の程度を判定することが可能となるセメント硬化体の状態推定方法、及びそれに使用できる誘電測定装置を提供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 9 】

前記目的を達成するために、本発明のセメント硬化体の状態推定方法は、セメント硬化体の水和進行の程度を判定するためのセメント硬化体の状態推定方法であって、誘電測定が可能なセンサを前記セメント硬化体の内部と接触するように設置するステップと、任意の時間が経過した後に前記センサによって前記セメント硬化体の内部の誘電測定を行うステップと、前記誘電測定の結果に基づいて前記セメント硬化体の水和進行の程度を推定するステップとを備えたことを特徴とする。

20

## 【 0 0 1 0 】

ここで、推定された前記水和進行の程度に基づいて、前記セメント硬化体の養生の終了時期を決定するステップを備えた構成とすることもできる。また、前記セメント硬化体はコンクリートであって、前記センサは前記コンクリートが充填される位置に予め配置された後に前記コンクリートが充填される構成とすることができる。

## 【 0 0 1 1 】

また、誘電測定装置の発明は、セメント硬化体の誘電測定を行うための誘電測定装置であって、先端に感知部が設けられた棒状のセンサと、前記センサと接続される測定機器と、前記感知部に前記セメント硬化体の接触を可能とするとともに、所定以上の大きさの物体と前記感知部との接触を防止するための保護部とを備えたことを特徴とする。

30

## 【発明の効果】

## 【 0 0 1 2 】

このように構成された本発明のセメント硬化体の状態推定方法は、誘電測定が可能なセンサをセメント硬化体の内部と接触するように設置して、そのセンサによって経時的に誘電測定を行い、その誘電測定の結果に基づいてセメント硬化体の水和進行の程度を推定する。

## 【 0 0 1 3 】

セメント硬化体の誘電測定をおこなうことで、内部の水の動的な状態、すなわち自由水と結合水などの拘束水とを判別することができるようになり、セメント硬化体の内部の水和進行の程度を判定することが可能となる。

40

## 【 0 0 1 4 】

そして、推定された水和進行の程度からセメント硬化体の強度を推定することもできるので、セメント硬化体の養生の終了時期の決定が可能になる。セメント硬化体がコンクリートの場合は、センサをコンクリートが充填される位置に予め配置しておくことで、容易にコンクリートの内部に設置することができる。

## 【 0 0 1 5 】

また、誘電測定装置の発明は、棒状のセンサの先端の感知部が、所定以上の大きさの物体と感知部との接触を防止する保護部によって保護されている。このため、コンクリート

50

の骨材と感知部とが接触することで、正しい誘電測定が行えなくなる事態の発生を防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本実施の形態のセメント硬化体の状態推定方法の処理の流れを説明するフローチャートである。

【図2】誘電測定装置による誘電測定の状態を模式的に示した説明図である。

【図3】誘電測定の測定結果及び解析結果を例示した説明図である。

【図4】誘電緩和の緩和時間と材齢との関係を例示した説明図である。

【図5】緩和時間の時間変化率と材齢との関係を例示した説明図である。

10

【図6】水和度と材齢との関係を模式的に例示した説明図である。

【図7】誘電指標と水和度との関係を模式的に例示した説明図である。

【図8】コンクリートの誘電測定を行うセンサの保護部について説明する図であって、(a)は保護部が装着されていない感知部を示した説明図、(b)は円筒ガードを装着したときの説明図、(c)は網ガードを装着したときの説明図である。

【図9】誘電指標から水和度を推定する方法を例示した説明図である。

【図10】コンクリートの養生状態と材齢と水和度との関係を示した説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図1は、本実施の形態のセメント硬化体の状態推定方法の処理の流れを説明するフローチャートである。また、図2は、誘電測定装置1による誘電測定の状態を模式的に示した説明図である。

20

【0018】

本実施の形態のセメント硬化体の状態推定方法は、水和反応の進行によって強度が増加するコンクリートや地盤改良体などのセメント硬化体の状態を判定する際に適用される。要するに、セメント硬化体に含まれるセメントやセメント系固化材などの固化材の水和進行の程度を判定する際に適用される。

【0019】

セメントなどの固化材の水和反応を促進させるには、温度と湿潤状態が適切な環境下において、所定の時間(材齢)の養生を行う必要がある。適切に養生が行われていれば、所望する強度が発現されることになる。

30

【0020】

そして、本実施の形態のセメント硬化体の状態推定方法では、適切に養生が行われていたか否かを、誘電測定の測定結果に基づいて判断する。そこで、まず誘電測定について説明する。

【0021】

誘電測定は、複素誘電率( $\epsilon^*(\omega) = \epsilon' - j\epsilon''$ )の周波数依存性を観察して、電気双極子モーメントの動きを反映した誘電スペクトルを求める手法である。誘電スペクトルの強度は、単位体積内の双極子の数に比例し、誘電スペクトルの虚数部のピーク周波数は、双極子の回転運動の時間スケールを反映している。水分子は大きな電気双極子モーメントを持っていることから、誘電測定は水分子の状態を適切に評価できると考えられる。

40

【0022】

誘電測定を行う誘電測定装置1は、図2に示すように、誘電測定が可能なセンサ2と、センサ2に接続される測定機器3とによって主に構成される。この図では、センサ2と測定機器3とはケーブル11によって接続されている。

【0023】

測定機器3には、インピーダンスアナライザが使用できる。そして、センサ2には、棒状のプロブ(電極)が使用される。センサ2の先端が平坦な感知部21となっており、感知部21に接触しているものの状態が測定される。センサ2には、例えば直径6mm程度の同軸電極が使用できる。

50

## 【0024】

例えば、コンクリート構造物Mの内部の状態を測定するには、感知部21をコンクリート構造物Mの測定したい位置（深さ）に設置する。例えば、コンクリートを充填する前に感知部21が所望する位置に設置されるようにセンサ2を型枠に取り付けておき、その後、型枠内にコンクリートを打設すればよい。

## 【0025】

測定機器3では、例えば周波数が40Hzから110MHzの範囲、印加電圧500mVのときでインピーダンスを測定する。すなわち、40Hzから110MHzの範囲の複数の周波数帯において、測定と結果の処理を行う。

## 【0026】

こうした誘電測定は、コンクリート構造物Mなどの物体中の自由水と拘束水（結合水など）とを分離して把握するために行う。要するに、セメントペースト中の水の拘束水量（結合水量）が把握できれば、水和進行の程度を判定することができるようになる。この水和進行の程度は、水和度や水和率などによって示すことができる。

## 【0027】

そして、水和度などの水和進行の程度が推定できれば、求められるコンクリート性能（コンクリートポテンシャル）に基づいた、養生の終了時期の決定ができるようになる。ここで、図3は、誘電測定の測定結果及び解析結果を例示した説明図である。

## 【0028】

図3は、普通ポルトランドセメントを使って、水セメント比（W/C）を0.55としたモルタルの供試体を製作して、誘電測定を行った際に得られたMHz周波数帯における誘電スペクトルを示している。

## 【0029】

ここで、誘電損失（ ）のピークは、測定周波数範囲で観察された結合水（拘束水）の回転運動を反映している。この誘電損失ピークの周波数は、図3の下段図に示すように、養生時間（8h（時間）、26h,74h,121h,169h）の増加とともに低周波数にシフトした。また、74時間（h）以降のピーク周波数のシフトは、材齢初期に比べて小さくなり、121h及び169hのプロットとピーク周波数周辺でオーバーラップした。

## 【0030】

こうした結果から、水和がある程度進行すると、結合水（拘束水）の状態が変化しにくくなったことが、損失ピーク周波数の周辺でのオーバーラップに反映されているものと考えられる。

## 【0031】

一方、図4は、誘電緩和の緩和時間（s:秒）と材齢（days:日数）との関係を例示した説明図である。すなわち、上述した損失ピーク周波数から得られた緩和時間と材齢との関係を示している。

## 【0032】

この緩和時間は、水和反応の進行や強度発現に伴って長くなる。そこで、緩和時間の時間変化率（ $(\log) / t$ ）を算出して、材齢との関係を図5に示した。この図には、参考のために28日強度の50%が発現する材齢を、対応する各曲線に×印でプロットした。

## 【0033】

この結果、28日強度の50%が発現した材齢に対応する緩和時間の時間変化率（ $(\log) / t$ ）は、概ね $10^{-1}$ 以下の範囲となり、誘電測定の結果から強度発現の状況を推定できることが判明した。

## 【0034】

普通ポルトランドセメント、混合セメントB種、早強ポルトランドセメントなどのセメントの種類、及び水セメント比（W/C）などの配合によって、強度発現の状況は異なる。そこで、セメントの種類と配合ごとに、図6に示すような水和度と材齢（日）との関係を把握しておく必要がある。この水和度と材齢との関係は、実際に供試体などを使った実験をすることによって取得することもできるが、既往の文献などから得ることもできる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 5 】

こうした水和度と材齢との関係が得られれば、図 4 に示した緩和時間 と材齢との関係と合わせて、水和度と緩和時間 との関係を導き出すことができる。ここで、緩和時間そのものを指標に使わなくても、誘電測定の結果を演算処理した値（時間変化率（ $\log$ ）/  $t$ ）など）を使用することもできるので、上位概念的に「誘電指標」と呼ぶこととする。図 7 は、誘電指標と水和度との関係を模式的に例示した説明図である。

## 【 0 0 3 6 】

次に、本実施の形態のセメント硬化体の状態推定方法の処理の流れについて、図 1 を参照しながら説明する。

まず、ステップ S 1 では、コンクリート構造物 M を構築するために組み立てられる型枠に対して、センサ 2 の感知部 2 1 が、コンクリート構造物 M の内部に配置されるようにセンサ 2 を取り付け（図 2 参照）。例えば、コンクリート構造物 M の表面からの距離が 10 mm から 30 mm 程度となる任意の位置に、感知部 2 1 を配置する。

## 【 0 0 3 7 】

ここで、図 8 ( a ) に示すような状態でセンサ 2 を設置すると、充填されるコンクリートに含まれる骨材 K が、感知部 2 1 を覆うように接触する可能性がある。例えば 3 mm 以上の大きさの骨材 K が直径 6 mm 程度の感知部 2 1 に接触すると、骨材 K の影響を受けて誘電測定が正確に行えなくなる可能性がある。

## 【 0 0 3 8 】

そこで、例えば図 8 ( b ) , ( c ) に示すような感知部 2 1 の保護部 ( 4 A , 4 B ) を、センサ 2 に装着する。保護部 ( 4 A , 4 B ) は、セメントペーストなどのセメント硬化体と感知部 2 1 との接触を可能にするとともに、所定以上の大きさの物体と感知部 2 1 との接触を防止するように構成される。

## 【 0 0 3 9 】

例えば図 8 ( b ) に示した保護部となる円筒ガード 4 A は、センサ 2 とほぼ同じ直径の円筒形に形成されていて、前面が開放されている。この前面からコンクリートのセメントペースト分が流れ込んで、感知部 2 1 と接触することができる。

## 【 0 0 4 0 】

これに対して、直径 6 mm の円を通過できない大きさの骨材 K は、感知部 2 1 に接触することがない。なお、図示していないが、円筒ガード 4 A の前面に十字状などの格子を付けることで、3 mm 以上の骨材 K の侵入も防ぐことができるようになる。

## 【 0 0 4 1 】

一方、図 8 ( c ) に示した保護部となる網ガード 4 B は、線材によってドーム状に形成される。線材間の隙間からはコンクリートのセメントペースト分が流れ込んで感知部 2 1 と接触することができるうえに、線材間の隙間より大きい骨材 K の侵入は防ぐことができる。

## 【 0 0 4 2 】

続いてステップ S 2 では、センサ 2 が取り付けられた型枠の内側に、コンクリートを打設する。型枠内に充填されたコンクリートがセンサ 2 の感知部 2 1 の周囲に流れ込むことで、コンクリート構造物 M の内部の状態が、センサ 2 によって測定できるようになる。

## 【 0 0 4 3 】

このセンサ 2 に、ケーブル 1 1 を介して測定機器 3 を接続することで誘電測定装置 1 となる。誘電測定装置 1 がセットされていれば、コンクリート打設後の任意の時間に、コンクリート構造物 M の内部の誘電測定を行うことができるようになる（ステップ S 3）。

## 【 0 0 4 4 】

コンクリートを打設した後は、湛水、散水、湿布、養生マットなどで湿潤状態を保ちながら養生を行う。そして、コンクリート標準示方書などで定められた一般的な養生日数や、設計などで定めた養生日数に到達、又は養生日数を経過したときなどに、誘電測定を行う。

## 【 0 0 4 5 】

10

20

30

40

50

すなわち、測定機器 3 によって500mVの交流電圧を印加して、インピーダンスアナライザを用いて40Hzから110MHzの周波数範囲のインピーダンスを測定する。そして、その測定結果を解析することで、センサ 2 の感知部 2 1 周辺の測定時の複素誘電率を算出する。

【 0 0 4 6 】

そして、算出された複素誘電率から誘電緩和時間などの誘電指標を求める。図 9 は、誘電指標から水和度を推定する方法を説明するための図である。この関係図又はこの図で説明されるような誘電指標から水和度を算出する変換式は、予め準備しておく。

【 0 0 4 7 】

図 9 に示すような関係図や変換式は、セメントの種類及び配合ごとに準備される。図 9 は、セメントの種類が普通ポルトランドセメント (OPC)、配合を示す水セメント比 (W/C) が50%から60%程度のときに使用できる変換図である。

10

【 0 0 4 8 】

例えば、20 の水中で7日間養生した場合は、水和度は、0.7程度となる。また、20 の水中で28日間養生した場合は、水和度は、0.85程度となる。しかしながら実際には、温度は養生期間中、ずっと一定であることはなく、養生日数も定められた日数とは前後することがある。また、標準の養生期間を超えて十分に養生した結果として得られたコンクリートのポテンシャルを、定量的に示したい場合もある。

【 0 0 4 9 】

そこで、本実施の形態のセメント硬化体の状態推定方法であれば、誘電測定によって得られた誘電指標の定量的な値から、定量的に水和度を求めることができる (ステップ S 4) 。すなわち、適切な環境下で十分に養生されたことを、実測値によって証明 (保証) することができる。

20

【 0 0 5 0 】

また、推定された水和度が計画値に達していなければ、養生を終了せずに継続するという判断をすることもできる (ステップ S 5) 。そして、延長した養生によって得られた結果は、再度、誘電測定を行うことで確かめることができる。

【 0 0 5 1 】

ここで図 1 0 は、コンクリートの養生状態と材齢と水和度との関係を示した説明図である。コンクリートの水和程度 (水和度、水和率) は、圧縮強度などの強度と対応する関係にあり、材齢が増すにつれて増加する。

30

【 0 0 5 2 】

しかしながらその増加の割合 (速度) は、養生状態による影響を受ける。例えば、同じ 20 という気温で養生しても、気中で養生した場合と、水中で養生した場合とでは、水和程度が増加する速度が異なる。要するに積算温度だけでは、養生を終了させてよいかどうかの判断はできない。

【 0 0 5 3 】

また、水中養生をする場合でも、途中で置かれた状態によって、水和程度の増加に差が出ることになる。これに対して、本実施の形態のセメント硬化体の状態推定方法であれば、どのような環境下で養生がなされていたとしても、誘電測定を行った時点のコンクリートの状態を、定量的に示すことができる。要するに、養生中の温度及び湿潤状態の両方の影響を考慮することができる。また、コンクリート構造物 M の内部の状態も知ることができる。

40

【 0 0 5 4 】

次に、本実施の形態のセメント硬化体の状態推定方法、及びその方法への使用に適した誘電測定装置 1 の作用について説明する。

このように構成された本実施の形態のセメント硬化体の状態推定方法は、誘電測定が可能なセンサ 2 をコンクリート構造物 M などのセメント硬化体の内部と接触するように設置して、そのセンサ 2 によって経時的に誘電測定を行い、その誘電測定の結果に基づいてセメント硬化体の水和進行の程度 (水和度) を推定する。

【 0 0 5 5 】

50

セメント硬化体の誘電測定をおこなうことで、内部の水の動的な状態、すなわち自由水と結合水などの拘束水とを判別することができるようになり、セメント硬化体の内部の水和進行の程度を判定することが可能となる。

【 0 0 5 6 】

そして、推定された水合度からコンクリート構造物 M などのセメント硬化体の強度を推定することができるので、セメント硬化体の養生の終了時期の決定が可能になる。セメント硬化体がコンクリートの場合は、センサ 2 をコンクリートが充填される位置に予め配置しておくことで、容易にコンクリート構造物 M の内部に設置することができる。

【 0 0 5 7 】

また、本実施の形態の誘電測定装置 1 は、棒状のセンサ 2 の先端の感知部 2 1 が、所定以上の大きさの骨材 K などの物体と感知部 2 1 との接触を防止する保護部 ( 4 A , 4 B ) によって保護されている。このため、コンクリートの骨材 K と感知部 2 1 とが接触することで、正しい誘電測定が行えなくなる事態の発生を防ぐことができる。

10

【 0 0 5 8 】

以上、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳述してきたが、具体的な構成は、この実施の形態に限らず、本発明の要旨を逸脱しない程度の設計の変更は、本発明に含まれる。

【 0 0 5 9 】

例えば、前記実施の形態では、セメント硬化体としてコンクリートを例に説明したが、これに限定されるものではなく、セメント系固化材を地盤や土砂に混合して行われる地盤改良において、改良体の状態を推定する際にも本発明を適用することができる。

20

【 符号の説明 】

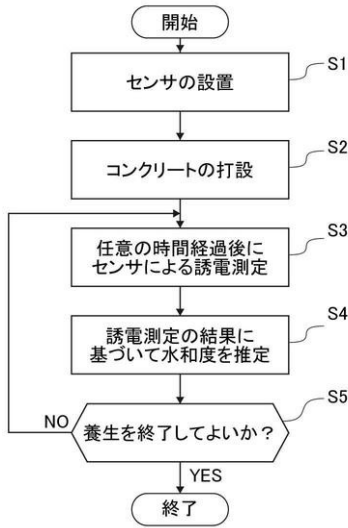
【 0 0 6 0 】

- 1 : 誘電測定装置
- 2 : センサ
- 2 1 : 感知部
- 3 : 測定機器
- 4 A : 円筒ガード ( 保護部 )
- 4 B : 網ガード ( 保護部 )
- M : コンクリート構造物 ( セメント硬化体 )
- K : 骨材 ( 所定以上の大きさの物体 )

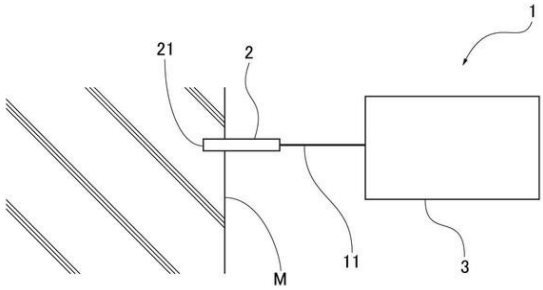
30



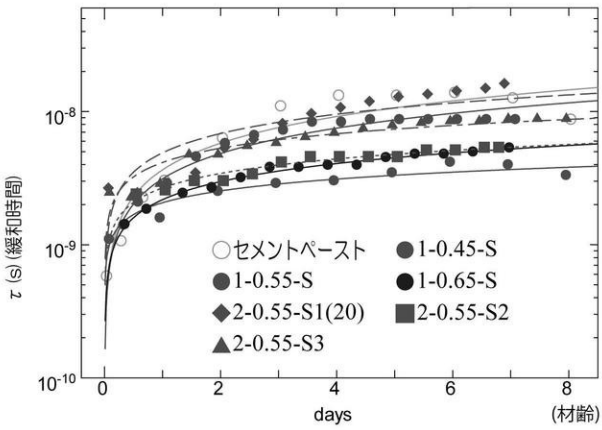
【 図 1 】



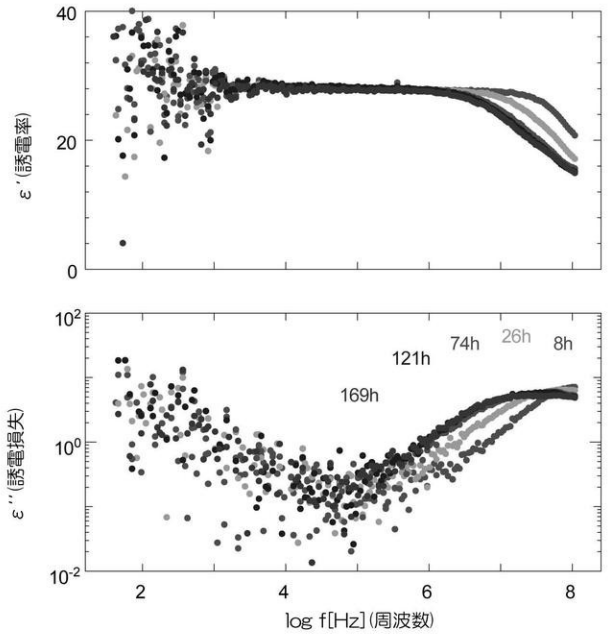
【 図 2 】



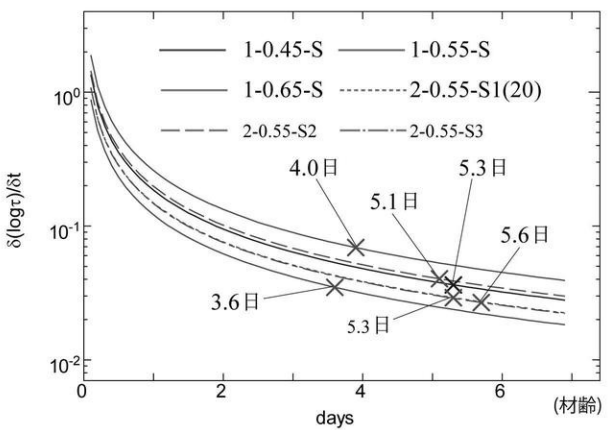
【 図 4 】



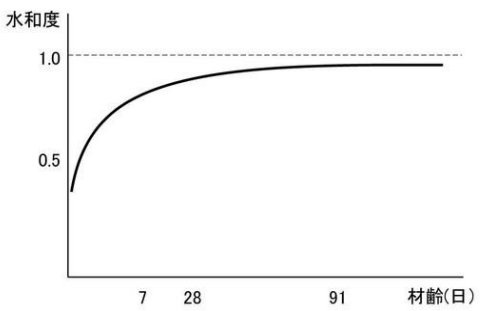
【 図 3 】



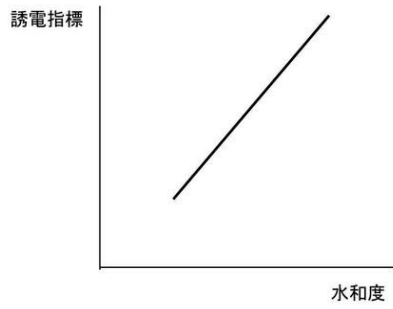
【 図 5 】



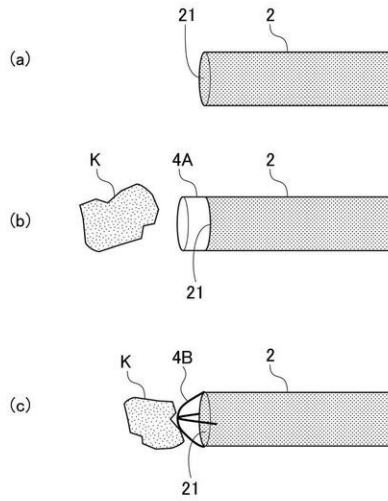
【 図 6 】



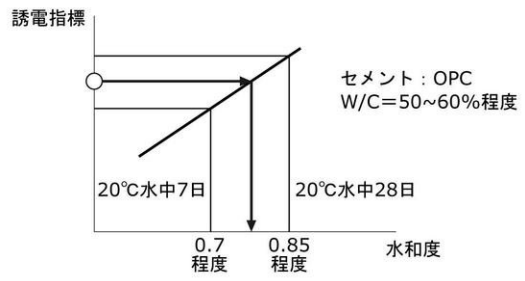
【 図 7 】



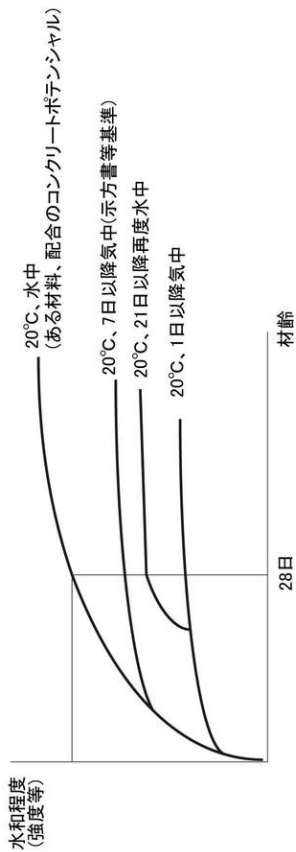
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 1 0 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 栗原 哲彦

東京都世田谷区玉堤一丁目2番1号 学校法人五島育英会東京都市大学内

(72)発明者 早川 健司

東京都渋谷区渋谷一丁目1番14号 東急建設株式会社内

(72)発明者 前原 聡

東京都渋谷区渋谷一丁目1番14号 東急建設株式会社内

(72)発明者 鈴木 将充

東京都渋谷区渋谷一丁目1番14号 東急建設株式会社内

Fターム(参考) 2E172 AA05 EA00 HA03