

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月21日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06592

研究課題名（和文）コンクリート打込み中の欠陥の新規定量評価手法の精度向上に関する研究

研究課題名（英文）Accuracy enhancement for method of quantitative determination of concrete defect under placing of concrete

研究代表者

瀬古 繁喜（SEKO, Shigeki）

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：50507259

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：誘電率の異なるアクリル、ガラス、モルタルに設けた模擬空隙の大きさや位置を変えた試験体における電極間距離でのピーク周波数等の違いは、アクリル及びガラスではピーク周波数と電極間距離の関係は空隙の深さの影響を受けないが、モルタルでは電極間距離が大きいほど空隙の深さ20mmと40mm、60mmとのピーク周波数の差は大きいことが分かった。

モルタルを打ち込んだ直後に電極間距離が異なる仕様の高周波容量式水分計で合板内側の大きさ・位置が異なる模擬空隙を測定した結果、空隙幅30mmでは深さ20mm程度までの部分で測定値は影響を受け、空隙幅90mmでは深さ0mmでのみ測定値が影響を受けることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリート打込み中に、即時的に打込み欠陥部の位置・大きさを判別できる検査技術の基礎を確立するために各種の実験検討を行った。その結果、誘電率の高いモルタルの場合にはピーク周波数の傾向が他の材料とは異なることが分かった。ピーク周波数に関する知見はこれまでに無く、今後の測定装置の仕様決定にも有用な結果が得られたと考えられる。また、高周波静電容量による空隙位置の検出に関しては、空隙の幅の影響を受けることが分かった。これら結果は、打込み欠陥部の発生状況を定量的に把握するための基礎となり、ひいては建築施工を定量的に評価できる成果につながると考えられる。

研究成果の概要（英文）：To evaluate frequency band and hi-frequency capacitance, experimental tests with different size and depth of void were carried out. Frequency band on the specimen, made of acrylic resin, glass, and mortar with different size of void was measured. Only on the mortar specimen, peak value of frequency presented gap between the depth of 20mm and 40mm. Hi-frequency capacitance of freshly mixed mortar through the wooden form, was influenced by the width of void in the mortar. At the width of 30mm of void, hi-frequency capacitance was changed within 20mm depth of void, whereas no change on the specimen at the width of 90mm of void.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：コンクリート 打込み欠陥 大きさ 位置 高周波静電容量 端子間距離 周波数

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) コンクリート打込み欠陥の問題

コンクリート構造物の高い耐震性はコンクリート中に欠陥がないことが前提となっている。しかし、阪神淡路大震災におけるコンクリート造構造物の被害状況の報告資料(1996年度日本建築学会大会(近畿)材料施工部門研究協議会資料「施工における品質管理」- 阪神・淡路大震災における鉄筋コンクリート造建物の被害状況を踏まえて-)では、コンクリートの充填不良箇所が広範囲に渡って認められ、充填不良が被害拡大の一因となったことが示されている。充填不良箇所の例を写真1に示す。



写真1 窓枠付近での空洞の例

(2) 打込み欠陥の検査方法の現状

日本建築学会の標準仕様書(日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 (2009年改定版) 11節「品質管理・検査および措置」)では、仕上がり検査の中で打込み欠陥部がないことを目視確認すると定められている。しかし、この方法では内部の欠陥は確認できないだけでなく、工事の川上段階で打込み欠陥部を積極的に減らす方策にはつながらない。欠陥部は主にコンクリート打込み時に発生するため、打込みとほぼ同時に欠陥部を特定できれば、再振動などの対策を講ずることができる。これまで埋込み型のセンサーや赤外線サーモグラフィなどの応用が検討されてきたが、測定可能な箇所が限定されること、即時性などの観点から広く一般性があるとはいえない。現実には、写真2のように型枠を叩いて確認する程度に留まっている。



写真2 コンクリートの打込み確認状況の例

2. 研究の目的

本研究では、複数の端子間隔を設定した高周波静電容量センサーを用い、印加する周波数特性と欠陥検出の精度との関係を実験的に検討し、複数の端子間隔での高周波静電容量と欠陥の位置および大きさとの関係式を導いて欠陥を定量的に特定する基礎を確立する。最終的に、欠陥発生率などの指標を活用して、建築施工の普遍化を目指す。

印加する高周波電流を、電圧 1V ~ 10V、周波数 1MHz ~ 100MHz 程度とした場合の、測定対象の大きさの変化と空洞位置の変化に対する静電容量の測定値の感度を指標として、空洞の位置検出に適切な電流条件を選定することを目的とした。また、高周波静電容量測定装置の接触端子の間隔を変化させた場合の測定範囲・感度分布の変化を実験的に検証し、各端子間距離に対する欠陥部の発生位置・大きさと静電容量測定値の関係を実験的に定式化することを目的とした。

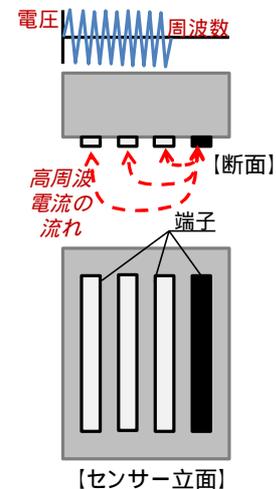


図1 検討するセンサーのイメージ

3. 研究の方法

(1) 比誘電率が異なる材料における空隙の配置と周波数特性に関する研究

センサー部は、並列に設けた電極が測定対象に対して面的に接触するものを用いた。電極は静電容量の影響が小さいとされるポリスチレンフォームを基盤に用い、長さ 50mm、幅 10mm の銅板を張り付け、電極間距離(電極の中心の距離)を 15mm から 65mm に変えた(図2)。測定装置はH社製のインピーダンスアナライザ IM7581 を図3に示すように電極とリード線で繋ぐ構成とした。

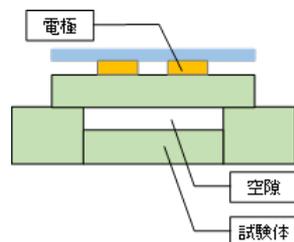


図2 電極の設置状況

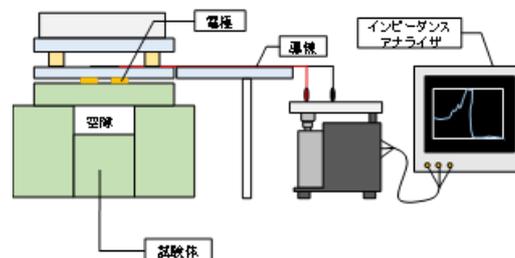


図3 測定装置の全体構成

電極間距離は、表1に示すように 15mm から 10mm 間隔とし、65mm までの合計 6 種類とした。試験体の実験因子と水準は、表2に示すように、試験体の材質は誘電率の異なるアクリ

ル、ガラス、モルタルの3種類とし、空隙寸法は幅を30mm、60mm、90mm、厚さを15mm、35mm、55mm、深さを0mm、20mm、40mm、60mmに変化させた。

表1 電極間距離の水準

実験因子	水準
電極間距離	15mm、25mm、35mm 45mm、55mm、65mm
周波数	1MHz~300MHz

表2 試験体の因子と水準

実験因子	水準
試験体の材質	アクリル、ガラス、モルタル
空隙の幅	30mm、60mm、90mm
空隙の厚さ	15mm、35mm、55mm
空隙の深さ	0mm、20mm、40mm、60mm

インピーダンスアナライザは電圧を0.5Vとし、周波数は1MHz~300MHzの区間で変化させながら測定した。測定回数は近い静電容量の値が3個得られるまでとした。モルタルの場合、周波数のばらつきが大きいいため、測定した周波数の差の許容範囲を1MHzとした。測定は、センサー部の電極間の中心が空隙の中心と一致するように試験体の上に置き、静電容量の最大値と周波数を読み取るまでを1回とした。2回目以降は一旦電極を試験体から離し、再度試験体の上に電極を設置し、測定を行った。

(2) フレッシュモルタルにおける空隙深さと測定値の関係に関する研究

測定装置は市販の高周波静電容量式の水分計を基盤とし、センサー部の電極間距離を変化させる改良を施した(写真3、写真4)。測定値は装置が表示するD値を用いた。これは高周波静電容量と関係する値である。



写真3 測定装置の外観



写真4 測定装置の電極側の状況

測定装置の実験因子は電極間距離とした。電極間距離は表3に示すように、15mmから65mmまでの合計6種類とした。

型枠に充填するモルタルの厚さを変化させる実験における試験体の実験因子と水準を表4に示す。試験体の幅は200mmで一定とし、モルタル厚さは0mmから100mmまで変化させた。

模擬空隙の厚さは30mmで一定とし、空隙の幅と型枠面から空隙までの深さを変化させる実験の因子と水準を表5に示す。

表3 電極間距離の水準

実験因子	水準
電極間距離	15mm、25mm、35mm 45mm、55mm、65mm

表4 試験体の因子と水準

(型枠厚さを変化させる実験)

実験因子	水準
空隙幅	200mm
モルタル厚さ	0mm、10mm、20mm 40mm、60mm、100mm

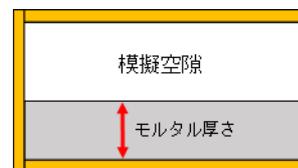


図4 試験体の概要

表5 試験体の因子と水準

(空隙幅と深さを変化させる実験)

実験因子	水準
空隙厚さ	30mm
空隙幅	30mm、90mm
空隙深さ	0mm、10mm、20mm 40mm、60mm

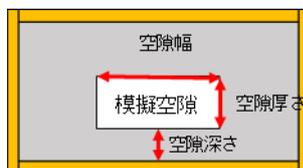


図5 試験体の概要

(空隙幅と深さを変化させる実験)

試験体の寸法は200mm×200mm×100mmとし、模擬空隙は発泡スチロールを用いた。型枠の内側の隅はシーリングを施した。モルタルは表6に示すような調合とし、1バッチの練り混ぜ量を10Lとして練り混ぜ、モルタルを打ち込んですぐに測定を行った。モルタルの材料は、普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)、豊田市産山砂(表乾密度:2.58g/cm³)、変性リグ

ニンスルホン酸化化合物とポリカルボン酸系化合物の複合体の AE 水剤を用いた。

表 6 モルタルの調合

水セメント 比(%)	質量 (kg/m ³)			
	水	セメント	細骨材	AE減水剤
50	270	540	1326	1.08

測定装置は試験体から離して電源を入れ、装置を試験体の中央部に押し当て測定値を読み取るまでを 1 回とし、3 回繰り返して測定した。2 回目以降は試験体に再度押し当てて測定を行った。3 回測定した平均値を測定値とした。なお、3 回測定したときの変動係数は 1%以下でありばらつきは小さかった。

4. 研究成果

(1) 比誘電率が異なる材料における空隙の配置と周波数特性に関する研究

空隙の厚さが最大の 55mm の場合を取り上げ、ピーク周波数と電極間距離の関係をグラフにまとめ、以下に示す。

材質がアクリルの場合、空隙の幅が 30mm および 90mm の場合のピーク周波数と電極間距離の関係を図 6 に示す。電極間距離が大きくなるほどピーク周波数は高くなる傾向がみられた。ピーク周波数と電極間距離の関係は対数で近似できた。空隙の深さが 20mm から 60mm では、近似式の傾きと切片はほぼ同じであり、ピーク周波数と電極間距離の関係は空隙の深さの影響を受けないことが分かった

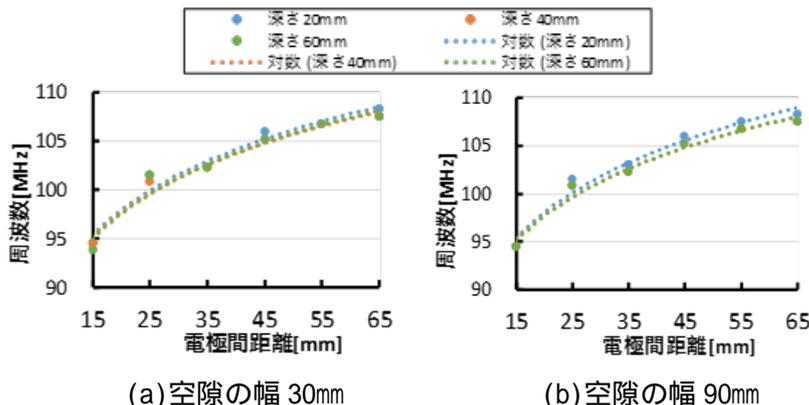


図 6 ピーク周波数と電極間距離の関係 (アクリル)

材質がガラスの場合、ピーク周波数と電極間距離が大きいくほど高くなり、ピーク周波数と電極間距離の関係は対数で近似できた。全体の傾向はアクリルと同じであった。アクリルに比べるとガラスの周波数は低いのは、材質の比誘電率が影響していると考えられる。空隙の幅が 30mm の場合、空隙の深さが 20mm から 60mm では空隙の深さの影響は受けていない。空隙の幅が 90mm の場合は、空隙の深さが 20mm は空隙の深さ 40mm および 60mm と若干傾向が異なった。

材質がモルタルの場合、ピーク周波数と電極間距離の関係を図 7 より、ピーク周波数は電極間距離 15mm のとき若干高いが、25mm 以上では電極間距離が変わってもピーク周波数はほぼ同じか、やや低くなった。これはアクリルやガラスの場合と異なる点である。空隙の幅 30mm および 90mm とともに、空隙の深さ 20mm での周波数は空隙の深さ 40mm および 60mm よりも高く、その差は電極間距離が大きいくほど大きくなった。

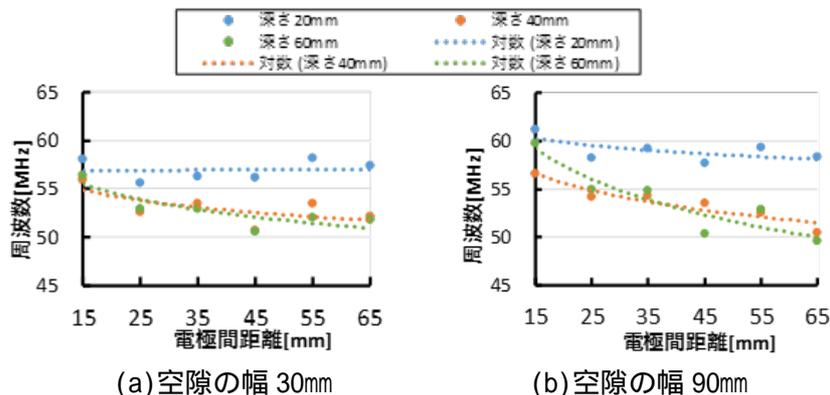


図 7 ピーク周波数と電極間距離の関係 (モルタル)

(2) フレッシュモルタルにおける空隙深さと測定値の関係に関する研究

モルタル打込み後の測定値から型枠単体の測定値を差し引いた値とモルタル厚さの関係を図8に示す。いずれの電極間距離でもモルタル厚さが増えるほど測定値は大きくなる傾向がみられた。モルタル厚さ100mmと比べるとモルタル厚さ40mm,60mmのD値はほぼ同じか大きい。したがって、測定装置の測定値が影響を受ける範囲はモルタル厚さ40mm程度までといえる。型枠単体の測定とは逆に、電極間距離25mmを除くと電極間距離が増えるほど測定値は大きくなる傾向がみられた。

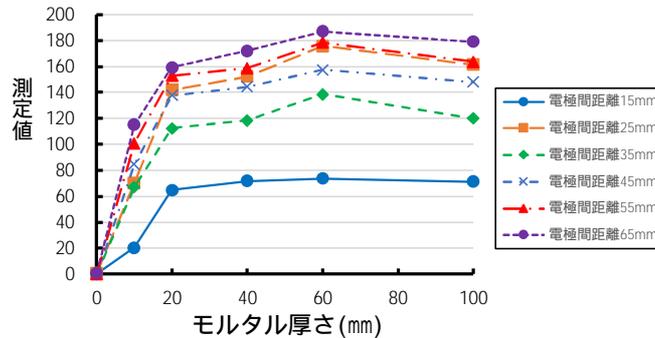


図8 モルタル厚さと測定値の関係

空隙の幅が30mmの場合の測定値と空隙深さの関係を図9に示す。電極間距離が15mmのとき、空隙深さが変わっても測定値はほぼ同じであった。電極間距離25mmから45mmでは、空隙深さが0から10mmにかけて測定値が低下した。電極間距離55mmと65mmでは空隙深さが0から20mmにかけて測定値が低下した。図8と比べると、空隙深さと測定値の関係は反対になるが、この原因は分からない。

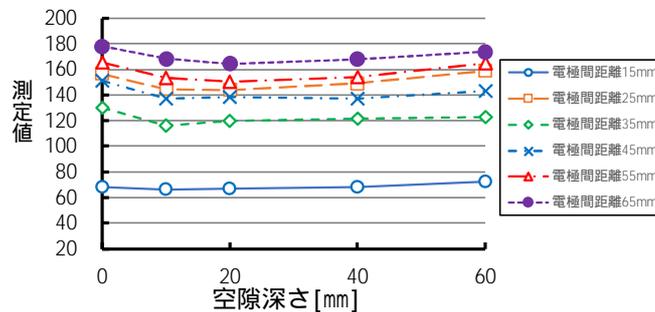


図9 空隙深さと測定値の関係 (空隙幅30mmの場合)

空隙の幅が90mmの場合の測定値と空隙深さの関係を図10に示す。電極間距離が15mmから55mmでは、空隙深さが0から10mmにかけて測定値が増加した。これは図8に近い傾向であり、測定値が空隙深さの影響を受けていることを示している。電極間距離65mmでは、空隙深さ0から20mmにかけて測定値が増加した。この傾向は他とは異なり、電極間距離が増えるときに空隙の深さの影響を受ける範囲が異なることを示すものと考えられる。空隙幅30mmと90mmとでは傾向が異なることから、空隙幅がある程度以上のときに測定値は空隙深さの影響を受けると考えられる。

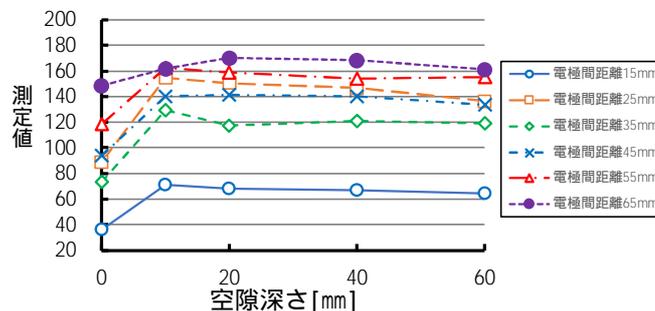


図10 空隙深さと測定値の関係 (空隙幅90mmの場合)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計2件)

坂本篤思、瀬古繁喜、山田和夫：高周波静電容量測定装置の電極の寸法と配置が測定範囲に及ぼす影響に関する研究、その4)比誘電率が異なる材料における空隙の配置と周波数特性に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、査読無、材料施工、pp.905-906、2018年

坂本篤思、瀬古繁喜、山田和夫：高周波静電容量測定装置の電極の寸法と配置が測定範囲に及ぼす影響に関する研究、その5)フレッシュモルタルにおける空隙深さと測定値の関係に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、査読無、材料施工、投稿中、2019年

〔学会発表〕(計2件)

坂本篤思、高周波静電容量測定装置の電極の寸法と配置が測定範囲に及ぼす影響に関する研究、その4)比誘電率が異なる材料における空隙の配置と周波数特性に関する実験、2018年度日本建築学会大会(東北)、2018年、東北大学(宮城県仙台市)

坂本篤思、高周波静電容量測定装置の電極の寸法と配置が測定範囲に及ぼす影響に関する研究、その5)フレッシュモルタルにおける空隙深さと測定値の関係に関する実験、2019年度日本建築学会大会、2019年9月6日、金沢工業大学(石川県野々市市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

とくになし

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：無し

ローマ字氏名：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：高橋 健太

ローマ字氏名：TAKAHASHI, kenta

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。