

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420595

研究課題名(和文)高周波静電容量法によるコンクリート打込み中の欠陥の新規定量評価手法に関する研究

研究課題名(英文)Method of quantitative determination of concrete defect by measuring of high-frequency capacitance

研究代表者

瀬古 繁喜(SEKO, SHIGEKI)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50507259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：欠陥が無い状態の試験体の大きさを変化させた実験により、端子間の距離が大きくなるのに比例して奥行き方向の測定可能範囲が大きくなることが明らかとなった。模擬的な空洞の大きさを変化させた実験により、端子間の距離が大きくなるのに比例して端子間の距離を変えた方向に空洞の測定可能範囲が大きくなること、奥行き方向には測定範囲は変わらないことが明らかとなった。空洞の大きさおよび深さ位置を変化させた実験により、空洞の深さ位置が20mm以下であれば異なる端子間距離の測定値から、空洞の大きさや位置が推定できる可能性が得られた。

研究成果の概要(英文)：Three series of experimental tests were carried out. For the solid section, measurement depth of high-frequency capacitance sensor resulted increasing commensurately with distance of electrodes. For the void section, measurement span of high-frequency capacitance sensor resulted increasing commensurately with distance of electrodes, but not for the measurement depth. Observed value of high-frequency capacitance sensor with different distance of electrodes, was influenced by the width of void. Using of different distance of electrodes, observed values can derive a certain depth of void in mortar.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：高周波静電容量 コンクリート 欠陥 位置 端子間距離 定量評価

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」)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))では、仕上がり検査の中で打込み欠陥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、対策を比較的容易に講ずることができる。これまでに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。

2. 研究の目的

本研究では、コンクリートの打込み時の欠陥部のうち主に空洞と豆板を対象とし、コンクリート打込み中に型枠外側から非破壊で測定した高周波静電容量と、欠陥部の平面的な発生位置および奥行き方向の発生位置と大きさを特定できる関係式の基礎を確立する。

測定装置の接触端子を並行な2列の配置として、接触端子の間隔を変化させることで測定範囲を可変とする。複数の端子間隔の測定値を用いることにより複数の未知数(位置・大きさ)を推定する。これにより、これまで達成した空洞や豆板の有無を判別する技術に比べて、欠陥部の定量的な判別精度の向上を目指す。(図1)

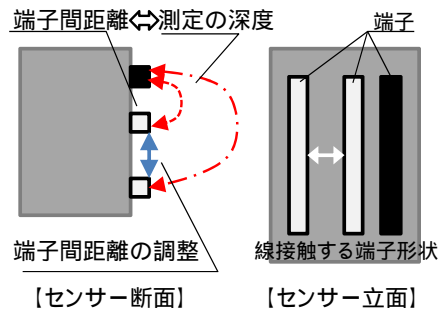


図1 センサーの概要

3. 研究の方法

(1)比誘電率が異なる材料における中実試験体での測定範囲に関する研究

センサーの基盤には厚さ20mmで200mm×200mmの大きさのポリスチレンフォームを使用し、厚さ1mm×幅10mmの銅板を所定の長さとなるように切断したものを電極としてポリスチレンフォームに両面テープで固定した。電極の長さや電極間の中心間距離の組合せを表1に示す。

高周波静電容量センサーは、二つの端子に各々リード線を接続してK社製の高周波静電容量式水分計の二つの端子につないだ。測定の際には、センサーの周囲に影響するものが無い状態として初期化を行った。測定装置の全体概要を図2に示す。

表1 電極長さや電極間距離の組合せ

		電極間距離(mm)					
		15	25	35	45	55	65
電極長さ (mm)	25	-	■ ■	-	-	-	-
	50	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■
	75	-	■ ■	-	-	-	-
	100	-	■ ■	-	-	-	-

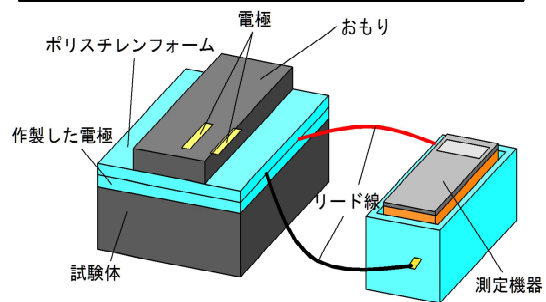


図2 測定装置の全体概要

実験因子は、センサーについては電極の寸法と電極間距離とし、測定対象については素材の種類および測定対象の寸法と寸法を変化させる方向とした。寸法を変化させる方向とは、横方向は電極間距離を変化させるのと同じ方向、縦方向は電極長さを変化させるのと同じ方向、厚さ方向はセンサー面からみて90度をなす面外方向をいう。実験因子と水準を表-2に示す。

測定対象のアクリルは、厚さ 5mm で大きさが 200mm×200mm の板を重ねて使用した。測定対象のモルタルは、厚さが表 2 に示した各寸法で大きさが 200mm×200mm となるように型枠に打ち込んだあと、材齢 1 週以上水中養生して硬化したものをを用いた。モルタルの調合は水セメント比 50%とした

表 2 実験因子と水準

実験因子	水準
電極の長さ(mm)	25, 50, 75, 100
電極間距離(mm)	15, 25, 35, 45, 55, 65
測定対象の種類	アクリル(A), モルタル(M)
測定対象の寸法(mm)	(15)*1, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105, 115, 125, 135, 145, 155
寸法を変化させる方向	横方向, 縦方向, 厚さ方向

*1 ()は厚さ方向の測定で実施

所定の寸法の試験体は木製のテーブルの上に置き、その上に初期化を行った状態の高周波静電容量センサーを設置して、高周波静電容量式水分計のモニターに表示される数値を読み取って記録した。試験体の測定に先だって、測定を 5 回行ったときのばらつきを確認したところ、変動係数がモルタルの場合で 1%以下、アクリルの場合でほぼ 0 であったことから、測定回数は 1 回とした。なお装置の読み値は、初期化した状態と測定対象に当てたときの正弦波出力周期の差を時間で表した値と関係がある

(2)比誘電率が異なる材料における空洞試験体での測定範囲に関する研究

高周波静電容量センサーの仕様は表 1 および図 4 に示したものと同一である。

実験因子は、センサーについては電極の寸法と電極間距離とし、測定対象については素材の種類および測定対象の中に設けた空洞の寸法とその寸法を変化させる方向とした。実験因子と水準を表 3 に示す。

試験体は、3 つのブロックに分けて作製したものを図 3 に示すように合体させて所定の寸法の空洞を設けた。試験体は木製のテーブルの上に置き、その上に初期化を行った状態の高周波静電容量センサーを設置して、高周波静電容量式水分計のモニターに表示される数値を読み取って記録した。高周波静電容量センサーと試験体(空洞)の間には何も設置していない。測定回数は 3 回とし、平均値を求めて読み値とした。変動係数は、モルタルの場合で約 1%、アクリルの場合で約 2%であった。

表 3 実験因子と水準

実験因子	水準
電極の長さ(mm)	25, 50, 75, 100
電極間距離(mm)	15, 25, 35, 45, 55, 65
測定対象の種類	アクリル(A), モルタル(M)
測定対象の寸法(mm)	0, (5), 10, (15), 20, (25), 30, (35), 40, (45), 50, (55), 60, (65), 70, (75), 80, (85)*1, 90, [100, 110, 120]*2
寸法を変化させる方向	横方向, 縦方向, 厚さ方向

*1 ()は厚さ方向の測定で実施, *2 []は縦方向と横方向で実施

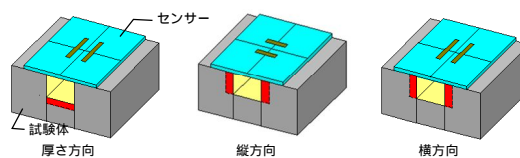


図 3 試験体の設置方法とセンサーの方向

(3)測定端子の寸法・形状と空洞位置が測定値に及ぼす影響に関する研究

測定装置は、写真 3 の仕様の装置をもとに、プラスチック製の筐体によって演算・表示部とセンサー部を一体の形として試作したものをを用いた。電極の大きさ、長さ、中心間距離は、表 1 に示したものと同一とした。なお、電極はステンレスとした。測定装置の概要を図 4 および写真 2 に示す。

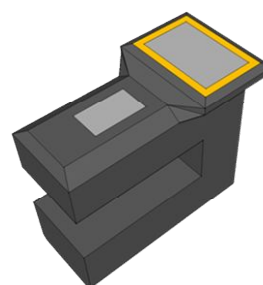


図 4 測定装置の概要



写真 2 測定装置の概要

実験因子は、センサーについては電極の寸法と電極間距離とし、測定対象については素材の種類および空洞の寸法と位置(深さ)とした。実験因子と水準を表 4 に示す。

表 4 実験因子と水準

実験因子	水準
電極の長さ(mm)	25, 50, 75, 100
電極間距離(mm)	15, 25, 35, 45, 55, 65
測定対象の種類	アクリル(A), ガラス(G), モルタル(M)
空洞の横幅(mm)	30, 60, 90, 120
空洞の深さ(mm)	0, 20, 40, 60
空洞の縦長さ(mm)	200

試験体は、アクリルおよびガラスについては厚さ 5mm の板を組み併せることで、モルタルについては所定の寸法のブロックを作成し、写真 5 に示すように合体させて所定寸法の空洞を設け、試験体の上部に設置したブロックの厚さを変えることで空洞の深さを

変化させた。試験体は木製のテーブルの上に置き、その上に初期化を行った状態の高周波静電容量センサーを設置して、高周波静電容量式水分計のモニターに表示される数値を読み取って記録した。測定回数は3回とし、平均値を求めて読み値とした。



写真3 アクリルおよびガラスの場合の試験体ブロックの組合せの例

4. 研究成果

(1)比誘電率が異なる材料における中実試験体での測定範囲に関する研究

モルタル試験体について、異なる電極間距離において厚さ方向の寸法を変化させた場合の読み値を図5に示す。アクリル試験体について、異なる電極長さにおいて縦方向の寸法を変化させた場合の読み値を図6に示す。

図5より、厚さ方向の寸法が大きくなると読み値は大きくなるがある寸法から一定値に収束した。その寸法は、電極間距離が大きいほど大きくなる傾向があった。

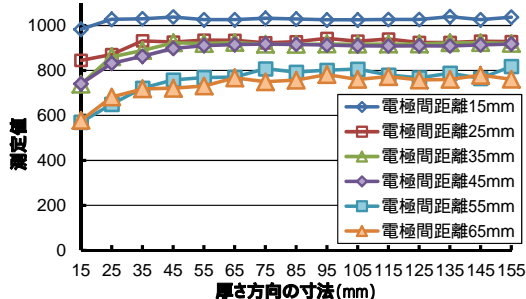


図5 厚さ方向の寸法と読み値の関係 (モルタル)

図6より、縦方向の寸法が大きくなるほど読み値は大きくなるがある寸法で一定値に収束した。その寸法は電極長さが長いほど大きくなる傾向があった。

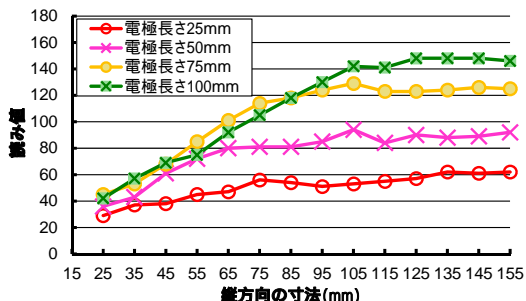


図6 縦方向の寸法と読み値の関係 (アクリル)

読み値の増加が収束する寸法はセンサーが測定できる範囲の限度を示すものであり、各電極間距離および電極長さについて求め、まとめたものを図7および図8に示す。

図7より、電極間距離が大きくなるほど、厚さ方向の測定範囲は大きくなる傾向がみられた。測定範囲は、比誘電率の小さいアクリルの方がモルタルよりも10mm程度小さい。横方向は電極間距離が25mm以上では測定範囲が80mmから100mm程度となった。縦方向は、とくにアクリルの場合は一定の傾向を示していない。

図8より、電極長さが長くなるほど、縦方向の測定範囲は大きくなる傾向がみられた。これは電極が接触する長さの影響と考えられる。厚さ方向では大きな変化はみられず、縦方向では一定の傾向を示さなかった。

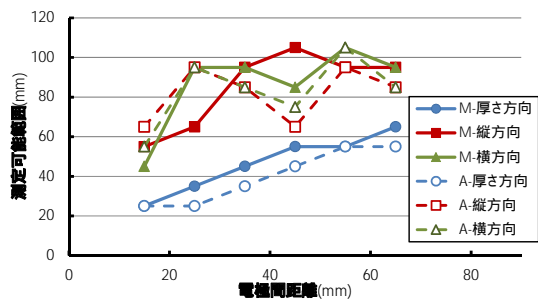


図7 電極間距離と測定可能範囲の関係

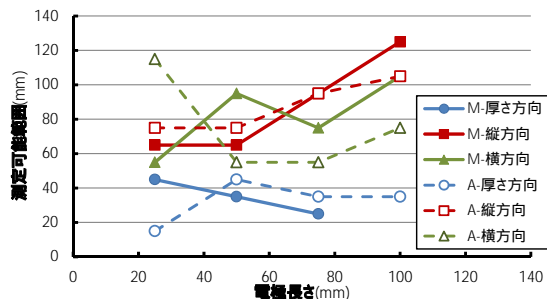


図8 電極長さと測定可能範囲の関係

(2)比誘電率が異なる材料における空洞試験体での測定範囲に関する研究

モルタル試験体について、異なる電極間距離において空洞の横方向の寸法を変化させたときの読み値を図9に示す。アクリル試験体について、異なる電極長さにおいて空洞の縦方向の寸法を変化させたときの読み値を図10に示す。

図9より、空洞の横方向の寸法が大きくなると読み値は大きく低下するが、ある寸法からは一定値に収束した。電極間距離が大きいほど収束する寸法は大きくなる傾向がある。電極間距離が45mm、55mm、65mmでは空洞の寸法が小さい範囲で読み値の低下割合が小さいが、これは電極がモルタルに触れているためである。よって、電極と空洞が触れなくなると読み値は大きく低下することになる。図10より、縦方向の寸法が大きくなるのに比例して読み値は小さくなり、ある寸

法で一定値に収束した。その寸法は電極長さが長いほど大きくなる傾向がある。なお、図には示していないが、厚さ方向の空洞の寸法が大きくなったとき、モルタル及びアクリルの場合とも読み値は急激に低下し、空洞が10mm～20mm程度の厚さにおいて読み値はほぼ一定となった。

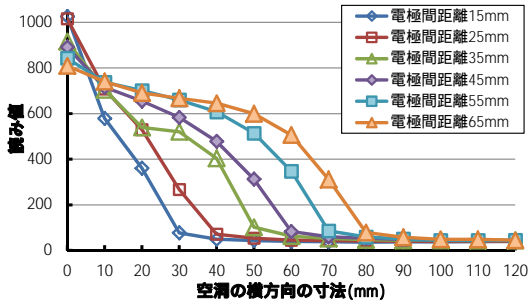


図9 空洞の横方向の寸法と読み値の関係 (モルタル)

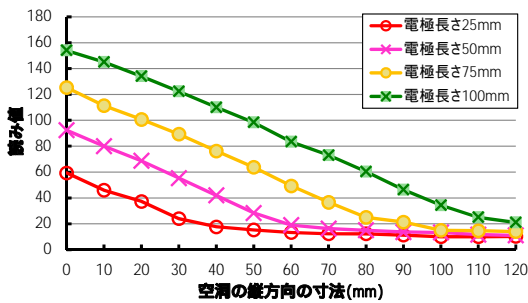


図10 空洞の縦方向の寸法と読み値の関係 (アクリル)

読み値の低下が収束する寸法はセンサーが空洞を測定できる範囲の限度を示すものであり、各電極間距離及び電極長さについてまとめたものを図11および図12に示す。

図11より、電極間距離が大きくなるほど、横方向の測定範囲は大きくなる傾向があるが、縦方向及び厚さ方向の測定範囲は変わらない。厚さ方向の範囲は10～20mm程度と非常に小さく、電極が空中にある状況では高周波電流がほとんど伝搬しないことが考えられる。

図12より、電極長さが長くなるほど、縦方向の測定範囲は大きくなる傾向があるが、横方向及び厚さ方向の測定範囲は変わらない。中実の縦方向の場合を併せて示したが、縦方向の測定範囲は基本的に電極が接触する長さによっておよそ決定づけられるといえる。例えば厚さ方向では、図11および図12ともアクリルの方の測定範囲が大きく、これは測定対象の比誘電率の影響も考えられる。

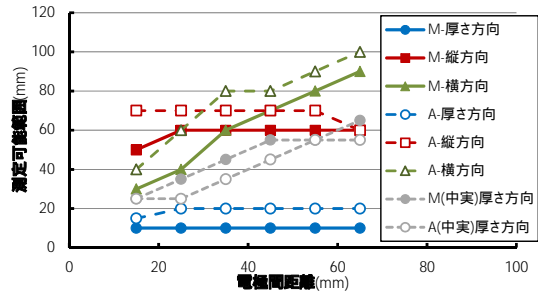


図11 電極間距離と空洞の測定可能範囲の関係

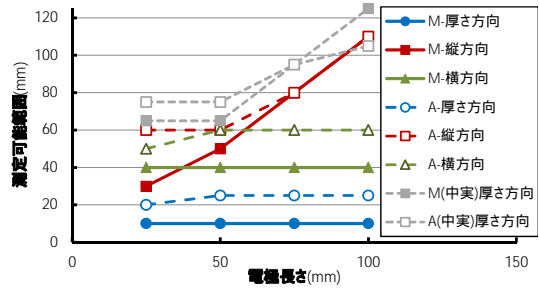


図12 電極長さと空洞の測定可能範囲の関係

(3)測定端子の寸法・形状と空洞位置が測定値に及ぼす影響に関する研究

モルタル試験体について、空洞の幅が30mmの場合で空洞の深さ位置を変化させたときの、異なる電極間距離における読み値を図13に示す。また、空洞の幅が60mmの場合を図14に示す。アクリル試験体について、モルタル試験体について、空洞の幅が30mmの場合で空洞の深さ位置を変化させたときの、異なる電極間距離における読み値を図15に示す。

図13より、空洞の深さ位置が大きくなると読み値は大きくなる傾向があるが、電極間距離が25mm、45mm、65mmが大きいほど、空洞の深さ位置に対する読み値の変化の傾きは大きくなった。このことから、同じ空洞の幅であれば、電極間距離が異なるセンサーを用いた読み値より、空洞の深さ位置を推定できる可能性があることが分かった。また図14より、異なる電極間距離において、空洞の深さ位置が大きくなると読み値は大きくなる傾向は、図13の場合と異なることが分かった。これは、空洞の横幅も読み値に影響を及ぼすためであるが、2～3種類の電極間距離の読み値を組み合わせて演算することで、空洞の横幅と空洞の深さ位置は推定できる可能性があると考えられた。このことは、今回の研究での大きな成果である。

図15より、アクリルの場合の空洞の深さ位置とセンサーの読み値の関係は、図13と異なる傾向であり、測定対象の比誘電率の違いが電極間距離と空洞の横幅および深さ位置との関係に影響を及ぼしていることが分かった。

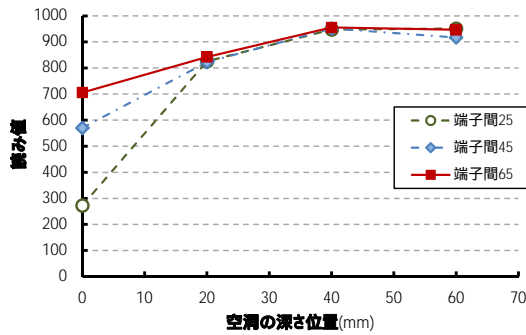


図 13 異なる電極間距離のセンサーにおける空腔の深さ位置と読み値の関係 (モルタル・空腔の横幅 30mm)

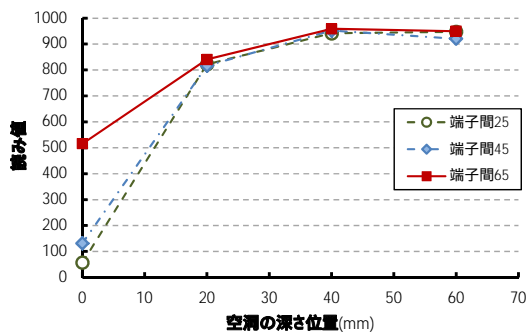


図 14 異なる電極間距離のセンサーにおける空腔の深さ位置と読み値の関係 (モルタル・空腔の横幅 60mm)



図 15 異なる電極間距離のセンサーにおける空腔の深さ位置と読み値の関係 (アクリル・空腔の横幅 30mm)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

笠原美瞳、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1)比誘電率が異なる材料における中実試験体での測定範囲に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、査読無、材料施工、2015年、pp.353-354

瀬古繁喜、笠原美瞳、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2)比誘電率が異なる材料における空腔試験体での測定範囲に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、査読無、材料施工、2015年、pp.355-356

〔学会発表〕(計2件)

笠原美瞳、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1)比誘電率が異なる材料における中実試験体での測定範囲に関する実験、2015年度日本建築学会大会、2015年9月6日、東海大学(神奈川県平塚市)

瀬古繁喜、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2)比誘電率が異なる材料における空腔試験体での測定範囲に関する実験、2015年度日本建築学会大会、2015年9月6日、東海大学(神奈川県平塚市)

〔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)研究代表者

瀬古 繁喜 (SEKO, Shigeki)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 50507259

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

結城 秀恭 (YUKI, Hideyasu)