# 印加電圧の周波数が二電極法におけるモルタル中の電流密度分布に与える影響

大阪大学大学院工学研究科　学生会員　○眞下　裕也　　大阪大学大学院工学研究科　学生会員　工藤　正智
大阪大学大学院工学研究科　正会員　寺澤　広基　　大阪大学大学院工学研究科　正会員　服部　晋一
大阪大学大学院工学研究科　正会員　鎌田　敏郎

## 1. はじめに

本研究では，モルタルおよび電極を模擬した解析モデルを用いた 3 次元有限要素法による電場解析を行い，印加電圧の周波数が二電極法におけるモルタル中の電流密度分布に与える影響について検討した．加えて，電流密度分布から，二電極法により測定される電気抵抗に影響を与える表面からの深さについて考察した．

## 2. 電場解析の概要

本研究では，電場および導体内における電流分布シミュレーションを目的とした電場解析ソフトウェア（VOLT-jω）を用いた．解析モデルを**図－1** および**図－2** に示す．電極の接触面から供試体の深さ方向の電流密度分布を検討するため，モルタル部および電極部は，Y 軸方向の 2 分の 1 のモデルとして解析した．

モルタル部の寸法は，横幅を 750mm，縦幅を 375mm，高さを 300mm とした．電極部の寸法は，横幅を 50mm，縦幅を 25mm，高さを 10mm とした．電極内側端部間の距離は 30mm とした．節点電位は，一方の電極上端の節点を 30V，もう一方の電極上端の節点を 0V とし，周波数は $10^{-2}$Hz，$10^{-1}$Hz，1Hz，10Hz，$10^{2}$Hz，$10^{3}$Hz，$10^{4}$Hz および $10^{5}$Hz の 8 水準とした．

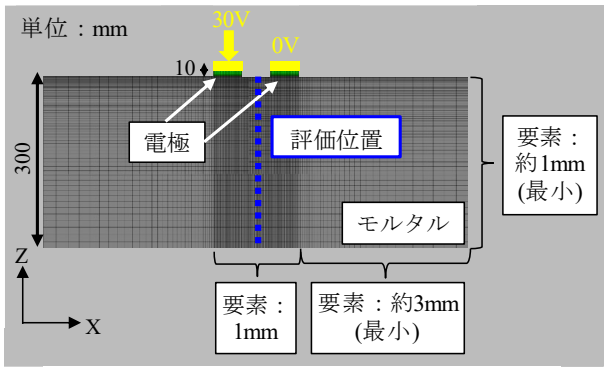
モルタル部および電極部の物性値は，それぞれ一様に設定した．各周波数におけるモルタル部の物性値は，モルタル供試体を対象とした実験により算出した．表－1 に設定したモルタル部の物性値を示す．また，電極部の物性値は，比誘電率を 1.0，電気伝導率を $1.4\times10^{6}$S/m とした．これらの値は，SUS304 の一般的な物性値である．

## 3. 電場解析の結果および考察

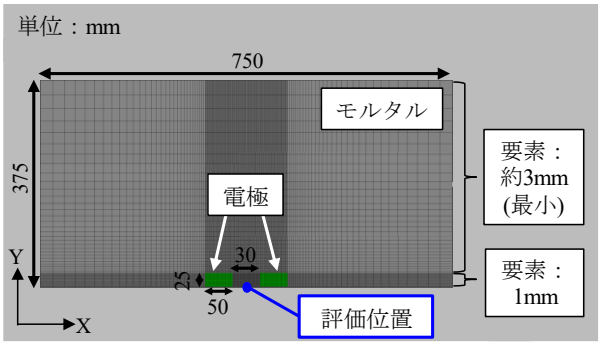
### 3.1 周波数と電流密度分布との関係

各周波数における評価位置の電流密度を**図－3** に示す．図より，周波数が大きくなるにしたがい，電流密度は大きくなる傾向を示した．

続いて，電流密度の実部成分と虚部成分を求めた．電流密度の実部成分は入力された電圧と同じ位相で流れる電流であり，抵抗としての導電性を示す．一方，電流密度の虚部成分は入力された電圧から－90° の位相のずれを持つ電流であり，コンデンサーとしての容量性を示す．各周波数における評価位置の電流密度の実部成分を**図－4** に，虚部成分を**図－5** に示す．**図－4** より，周波数が大きくなると，電流密度の実部成分は大きくなり，電流密度の絶対値と同様の傾向が確認された．一方，**図－5** より，電流密度の虚数成分は，1Hz～$10^{2}$Hz の周波数域においては小さく，その他の周波数域では大きくなり，絶対値および実部成分と異なる周波数特性が確認された．また，**図－4** と**図－5** を比較すると，いずれの周波数において，虚数成分に比べ，実数成分はきわめて大きくなった．すなわち，二電極法によるモルタル中の電流密度（絶対値）の周波数特性は，電流密度の実部成分の周波数特性が支配的要因であることが明らかとなった．




図－1　解析モデル（X-Z 方向）

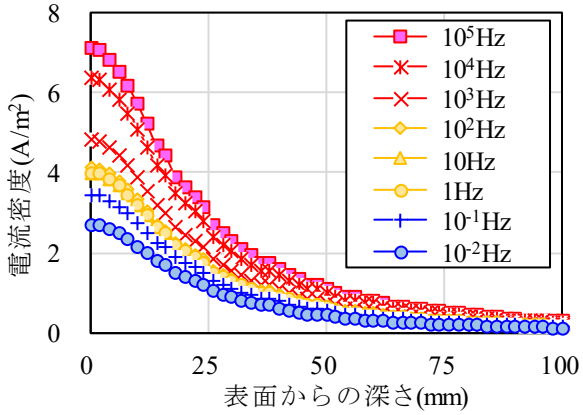



図－2　解析モデル（X-Y 方向）

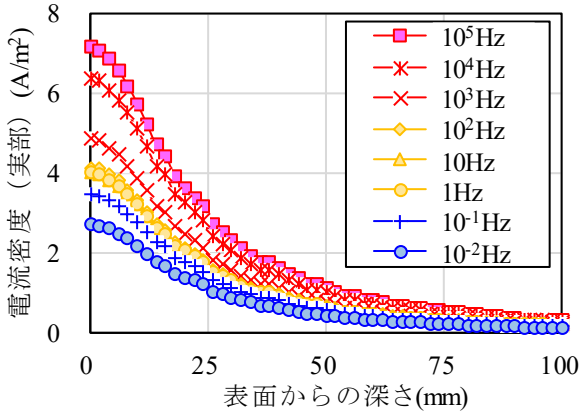
キーワード　非破壊試験法，二電極法，電流密度分布，周波数
連絡先　〒565-0871　大阪府吹田市山田丘 2-1　大阪大学工学研究科　ＴＥＬ06-6879-7618

表－1　モルタル部の物性値

| 周波数(Hz) | $10^{-2}$ | $10^{-1}$ | 1 | 10 | $10^{2}$ | $10^{3}$ | $10^{4}$ | $10^{5}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 比誘電率 | $2.59\times10^{9}$ | $1.96\times10^{8}$ | $8.17\times10^{6}$ | $3.19\times10^{5}$ | $7.14\times10^{4}$ | $1.87\times10^{4}$ | $2.31\times10^{3}$ | $1.48\times10^{2}$ |
| 電気導電率 (S/m) | $4.44\times10^{-3}$ | $5.67\times10^{-3}$ | $6.33\times10^{-3}$ | $6.58\times10^{-3}$ | $6.82\times10^{-3}$ | $7.98\times10^{-3}$ | $1.05\times10^{-2}$ | $1.18\times10^{-2}$ |




図－3　評価位置における電流密度分布

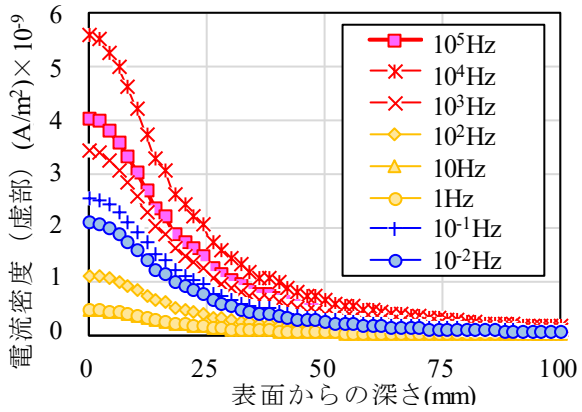



図－4　電流密度分布（実部成分）

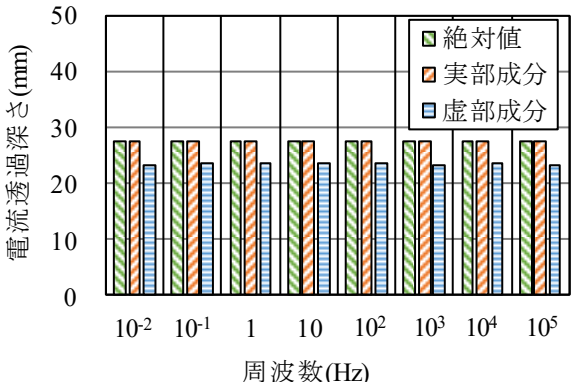
### 3.2 電気抵抗測定に影響を与える表面からの深さ

既往の研究 [1)]を参考に，評価位置における電流密度の最大値を自然対数の底で除した値に相当する表面からの深さを，二電極法により測定される電気抵抗に影響を与える表面からの深さ（以下，電流透過深さ）と定義した．各周波数における電流密度の絶対値，実部成分および虚部成分より求めた電流透過深さを**図－6** に示す．図より，周波数が実部成分および虚部成分の電流透過深さに与える影響はみられなかったが，実部成分より求めた電流透過深さと比べて，虚部成分より求めた電流透過深さは小さくなった．3.1 より，実部成分と虚部成分の周波数特性が異なることが確認されたため，周波数によって実部成分と虚部成分との相対的な大きさが変化し，絶対値の電流透過深さが変化すると考えられる．しかしながら，周波数が絶対値より求めた電流透過深さに与える影響はみられなかった．これは，電流密度の絶対値において，実部成分が支配的であるため，絶対値による求めた電流透過深さが変化しなかったと考えられる．

以上より，$10^{-2}$Hz～$10^{5}$Hz の周波数帯において，二電極法により測定される電気抵抗に影響を与える表面からの深さは同程度であると考えられる．




図－5　電流密度分布（虚部成分）




図－6　周波数と電流透過深さとの関係

### 4. 結論

(1) 周波数が大きくなるにしたがい，モルタル中の電流密度は大きくなる傾向を示した．

(2) $10^{-2}$Hz～$10^{5}$Hz の周波数帯において，モルタル中の電流密度は変動するものの，電流透過深さは同程度であると考えられる．

### 参考文献

1) 福上大貴，内田慎哉，鎌田敏郎，服部晋一，工藤正智：二電極法におけるモルタル中の電流密度に関する解析的検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 16 巻，pp.329-334，2016