

## 論文 骨材の空間構造の変化がモルタルの電気伝導率に及ぼす影響

柴山 舞\*1・五十嵐 心一\*2・内藤 大輔\*1

**要旨：**電気泳動法に基づき測定したモルタルの電気伝導率と、2次元断面の画像解析により評価した骨材の空間分布特性の関係を検討した。骨材量に応じて電気伝導率は変化するが、骨材の粒度の相違による変化はかなり小さいことが示された。骨材の空間分布の特徴から、遷移帯の影響が想定される場合でも、それにとりもなう電気伝導率の特徴的な変化はなく、セメントペースト相の屈曲の影響も認められない。モルタル中の連続空隙経路の形成は、バルクセメントペーストの特性により強く影響を受けると考えられる。

**キーワード：**電気伝導率, 画像解析, 骨材空間構造, 遷移帯, 物質移動特性

## 1. 序論

コンクリートの耐久性を支配する物質移動特性は、硬化体組織中の連続経路の存在に強く依存する。セメント系材料の物質移動特性を評価するために、一般的には透水係数や拡散係数の測定を行い、これらが細孔構造の特徴との関連において論ぜられる。細孔構造の評価には水銀圧入法を代表として多くの方法が用いられてきたが、近年では測定方法の簡便さから電気伝導率の測定が注目されている<sup>1)</sup>。

電気伝導率の測定では、コンクリート中のポロシティーだけではなく、その連続経路の存在から系全体の物質移動特性を評価することが可能である。一般に、水セメント比が大きく、連続した飽和毛細管空隙経路が存在する場合の電気伝導率は大きい。一方、ポロシティーが同等であっても、空隙が連続しない場合の電気伝導率は急激に低下し、電気伝導率は毛細管空隙経路の幾何学的特徴を反映する<sup>2)</sup>。著者ら<sup>3)</sup>は、電気泳動法に基づきセメントペーストの電気伝導率を測定し、反射電子像観察から得られる粗大毛細管空隙の空間構造が、系全体の物質移動抵抗と対応することを指摘している。また、Nokkenら<sup>4)</sup>は配合の異なるコンクリートの電気伝導率を測定し、物質移動特性に関連付けられる適当な空隙パラメータおよび、いくつかの物質移動モデル式の適用性について検討し、遷移帯の影響についても言及している。

一方、コンクリートをセメントペーストと骨材からなる2相複合材料と考えると、骨材を使用することによって、セメントペースト単体に比べてその性能は大きく変化している。しかし、耐久性について考えた場合、骨材の混入が及ぼす影響は必ずしも明らかではない。例えば、物質移動経路という観点からは、骨材の存在によりセメントペースト相中の移動経路は骨材を迂回するようになり、同時にペースト量を低減する効果もあり、結果として、物質移動特性が改善するといえることができる。その

一方で、骨材の混入は、同時に骨材-セメントペーストマトリックス界面の導入を意味し、これが物質移動を容易にすることも考えられる。Care<sup>4)</sup>は、細骨材の粒度を変化させたモルタルの塩化物イオンの拡散係数を測定し、比表面積がある値より大きくなると、セメントペーストの拡散係数から予測される値に比べて大きくなることを明らかにしている。また、Winslowら<sup>5)</sup>は、骨材量を変化させたモルタルの毛細管空隙量を水銀圧入法より求め、骨材量がある値以上になると認められる毛細管空隙量の急激な増大を、界面の遷移帯の存在と関連付けている。その一方で、Diamond<sup>6)</sup>は、Winslowら<sup>5)</sup>と同じ配合のモルタルの反射電子像を観察し、彼らが述べたような遷移帯は存在せず、骨材間のバルクセメントペースト(界面の影響を受けない領域)中の多孔質領域の分布構造を指摘している。しかし、骨材周囲の多孔質な遷移帯の存在やその連結から物質移動を説明する場合<sup>7)</sup>や、バルクセメントペースト構造を主要因とする場合<sup>8)</sup>でも、移動経路を決定づける基本的な特性の一つは骨材粒子の空間分布と考えられるにもかかわらず、これを定量的に評価して物質移動に関わる連続経路の存在への影響を検討した例はないようである。

本研究においては、骨材量および骨材の粒度を変化させたモルタルの電気伝導率を測定した。また、それらのモルタルの断面画像から、骨材の空間構造の特徴を2次のステレオロジー関数を用いて定量的に評価し、その骨材の空間構造の変化とモルタルの電気伝導率の対応を、物質移動経路の空間構造の変化、および骨材界面の遷移帯の存在と関連付けながら論ずることを目的とする。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料およびモルタルの配合

セメントには普通ポルトランドセメント(密度: 3.15g/cm<sup>3</sup>, 比表面積: 3310cm<sup>2</sup>/g)を使用した。細骨材に

\*1 金沢大学大学院 自然科学研究科社会基盤工学専攻 (正会員)

\*2 金沢大学教授 大学院自然科学研究科 博(工) (正会員)

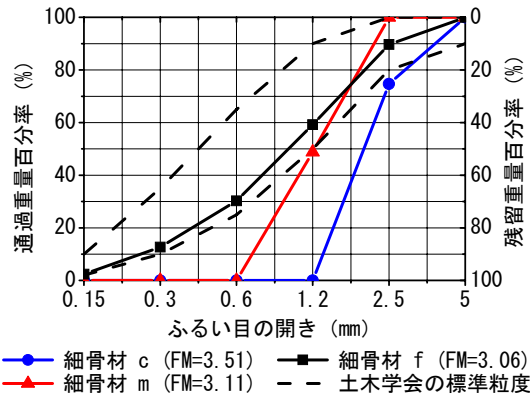


図-1 細骨材の粒度分布

は石川県手取川産の川砂(密度:2.61g/cm<sup>3</sup>, 吸水率:1.5%)を用い,ふるい分けを行い特定の粒度区分の粒子を採取,混合して粒度分布の異なる細骨材を得た。使用した細骨材の粒度分布は図-1 に示すとおりであり,最も粒度の粗いものを細骨材 c (粒径:1.2-5mm, FM=3.51), 中間のものを細骨材 m (粒径:0.6-2.5mm, FM=3.11), ふるい分けを行っていないものを細骨材 f (粒径:0-5mm, FM=3.06)とした。JIS R 5201に基づき,水セメント比が0.50のモルタル円柱供試体(直径100mm,高さ200mm)を作製した。細骨材 f を使用してセメント砂比(C:S)を変化させたモルタルを3種類(M1f, M2f, M3f),およびセメント砂比を一定(C:S=1:2)として細骨材の粒度を変化させたモルタルを2種類(M2c, M2m)作製した。さらに比較用として,モルタルと同じ水セメント比のセメントペースト供試体(CP)を作製した。以上の配合を表-1 に示す。また,表中には配合上の細骨材の体積率を併せて記した。いずれの供試体も,打設後24時間にて脱型し,所定材齢まで20°Cの水中養生を行った。

## 2.2 電気伝導率

JSCE-G571 および ASTM C 1202 に準拠して,電気泳動法による測定を行った。材齢7日,28日,91日において供試体から直径100mm,高さ50mm程度の円盤型試料を切り出し,円周面上にエポキシ樹脂を塗布した。これが硬化した後,24時間の真空飽水処理を施した。その後,

表-1 モルタルの配合

種類	細骨材粒度		W/C (%)	セメント砂比 (C:S)	骨材体積率 (%)
	粒径範囲(mm)	記号			
M1f	0~5	f	50	1:1	31.9
M2f				1:2	48.4
M3f				1:3	58.4
M2c	1.2~5	c		1:2	48.4
M2m	0.6~2.5	m		—	—
CP <sup>注)</sup>	—	—		—	—

注) CP:セメントペースト

セル溶液として0.3mol/lの水酸化ナトリウム溶液を用い,直流電源により30Vの電圧を負荷した後,15分後の電流値を測定し,式(1)より電気伝導率 $\sigma$ ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )を算出した<sup>1)</sup>。

$$\sigma(\mu\text{S}/\text{cm}) = (I \cdot L) / (V \cdot A) \quad (1)$$

ここに, I は電流値 (amps), L は供試体長さ (cm), V は電圧値 (V), A は供試体の投影面積 (cm<sup>2</sup>)である。

セメント系材料の電気伝導率 $\sigma$ は,その細孔溶液の電気伝導率に影響されるが,本研究においては同一の水セメント比および養生条件であり,骨材はセメントの水和反応の進行に影響を与えないと考え,細孔溶液の電気伝導率は同材齢であれば配合間で等しいとした。また,骨材自身の電気伝導率はセメントペースト相に比べて小さいことから無視できるとした<sup>9)</sup>。

## 2.3 モルタル断面画像取得および骨材の抽出

材齢28日にて供試体中央部から40mm×40mm×10mm程度の試料を切り出した。試料表面を耐水研磨紙を用いて注意深く研磨した後,デジタルカメラを用い,1試料に対して,画像の代表領域を考慮して<sup>10)</sup>,最小でも10mm×10mmの視野を有するようにして,無作為に10箇所から画像(W)を取得した(図-2(a))。なお,このときの観察倍率は2.6~2.7倍であり,得られた画像は818×818~861×861画素からなり,1画素は12.22 $\mu\text{m}$ ~11.61 $\mu\text{m}$ に相当する。得られた2次元断面カラー画像をパーソナルコンピュータに取り込み,ゼロ交差法を用いてR, G, Bの3成分に対して色相勾配を求めた<sup>10)</sup>。その極値から骨材部分のエッジを抽出して骨材の画像を再現し,骨材の2値画像を得た(図-2(b))。得られた2値画像中の骨材の画素数を計数し面積率を求め,対象材料の組織のランダム性を仮定したモデルベースのステレオロジーの原則に従い,これを体積率に等しいとした。また,画像解析ソフトウェアの機能を用いて,原画像から骨材の2値画像を減算し,セメントペースト相の空間構造を表す2値画像を得た。

### 2.4 2点相関関数

#### (1) 定義

2点相関関数とは,ある長さrをもった線分を画像上にランダムに落としたとき,その線分の両端が同一相上に載る確率関数である。今,モルタル中の着目相をYとし,任意の点( $x_i=1, 2, \dots, j, \dots, n$ )に関して式(2)のような指示関数を定義する。

$$I(x_i) = \begin{cases} 1(x_i \in Y) \\ 0(x_i \notin Y) \end{cases} \quad (2)$$

点 $x_i$ が相Y上にある確率を $P\{I(x_i)=1\}$ と書くことにすると,任意の距離r離れたモルタル中の2点 $x_1, x_2$ が同一相上にあることにより,2点相関関数 $S_2^{(Y)}(r)$ は式(3)のように定義される。

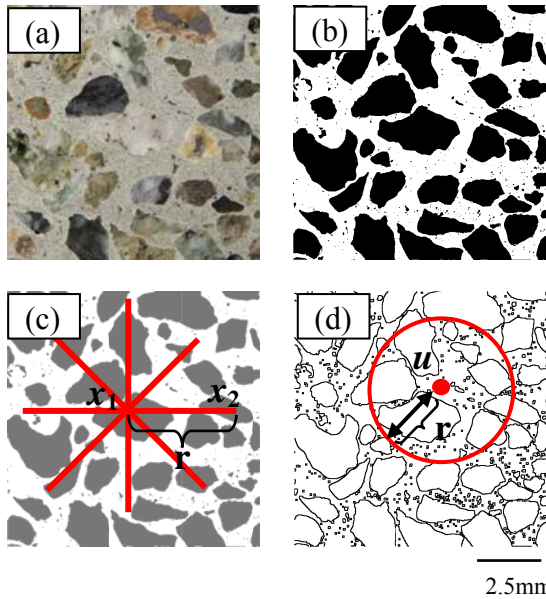


図-2 材齢 28 日におけるモルタルの画像 (細骨材 c)  
 (a) モルタル断面画像 (b) 2 値画像 (黒: 骨材相)  
 (c) 放射線テンプレート (d) 接触分布関数の模式図

$$S_2^{(Y)}(r) = \langle I(x_1)I(x_2) \rangle \quad (3)$$

$$= P\{I(x_1) = 1, I(x_2) = 1\}$$

ここに  $r = |x_2 - x_1|$  であり、 $\langle \rangle$  は期待値を意味する。

ここで、着目相をモルタル中の骨材部分  $S$  とすると、2 点相関関数の初期値  $S_2^{(S)}(0)$  は骨材相の体積率  $V_V$  を表わす。また、関数値の初期勾配は着目相の単位体積当たりの表面積 (比表面積  $S_V$ ) に関係する情報を有しており、その関係は式(4)で表される<sup>11)</sup>。

$$\left. \frac{d}{dr} S_2^{(S)}(r) \right|_{r=0} = -\frac{1}{4} S_V \quad (4)$$

得られた比表面積  $S_V$  と骨材の体積率  $V_V$  から、骨材粒子間の平均表面間距離に相当する平均自由行程  $\lambda$  を式(5)より算出した。

$$\lambda = \frac{4(1-V_V)}{S_V} \quad (5)$$

一方、線分の両端だけではなく、線分全体が同一相に載る確率関数として 2 点間直線経路相関関数  $L_2^{(Y)}(r)$  を求めた。この関数は幾何学的特徴のうち、直線的な連続経路の有無とその距離を強く反映した関数であるとみなすことができ、式(6)のように定義される。

$$L_2^{(Y)}(r) = \langle I(x_1) \cdots I(x_j) \cdots I(x_n) \rangle \quad (6)$$

$$= P\{I(x_1) = 1, \cdots, I(x_j) = 1, \cdots, I(x_n) = 1\}$$

ここに、点  $x_j$  は点  $x_1$  と点  $x_n$  を結ぶ直線上の点である。

## (2) 計算方法

本研究においては、2 点相関関数を求めるために放射線テンプレートを用いた (図-2 (c))。骨材 (S) を抽出した 2 値画像に対して、任意の位置に所定の放射線長さ  $r$  をもったテンプレートを載せ、原点と各方向の放射

線の先端が骨材相上に乗るか否かを判定した。この操作を画像上の複数の個所で総点数 10000 点となるまで繰り返し、また、放射線の長さは 0 から最大 350 画素まで変化させて、それぞれの距離に対する 2 点相関関数  $S_2^{(S)}(r)$  を求めた。また、以上の試行において、原画像から細骨材相を差し引いてセメントペースト (P) を抽出した 2 値画像に対して、線分全体がセメントペースト相に載るか否かを判定することにより、2 点間直線経路相関関数  $L_2^{(P)}(r)$  を求めた。

## 2.5 接触分布関数

### (1) 定義

接触分布関数  $H(r)$  とは、点過程  $X = \{x_i; i=1, \dots, n\}$  が与えられたとき、画像内の任意の点  $u \notin X$  から最も近い点過程の点  $x_i \in X$  までの距離の確率分布関数である。その定義は式(7)に示すとおりである<sup>12)</sup>。

$$H(r) = P\{N(b(u,r)) > 0\} \quad (7)$$

ここに、 $b(u,r)$  は点  $u$  を中心とする半径  $r$  の円であり、 $N(B)$  は領域  $B \subset W$  中の点の数である。

### (2) 計算方法

本研究においては、骨材表面を点過程の点の集合とみなし、骨材相を相  $S$  とし、画像上にランダムに点  $u \in S$  を落とし、その点から距離  $r$  離れた領域内に骨材表面が存在するか否かを判定し、その確率を累積して、これを接触分布関数として求めた (図-2 (d))。

## 3. 結果および考察

### 3.1 骨材量を変化させたモルタルの電気伝導率と骨材空間構造の特徴

図-3 は骨材量を変化させたモルタルの電気伝導率の経時変化を示したものである。いずれの配合においても、材齢の経過にともない電気伝導率が減少し、特に材齢 7 日から 28 日の早期の低下率が大きいようである。一方、単純に骨材の混入によりセメントペースト体積率が減少しただけと考え、セメントペーストの実測値から算出した電気伝導率値 (図中破線) と実測値を比較すると、いずれの配合においても、それらの単純な予測値よりも実測値の方が小さい。また、それらの予測値と実測値の差は材齢の進行にともない若干減少する傾向が認められる。

図-4 は骨材量を変化させたモルタルの骨材の 2 点相関関数を示したものである。距離の増大とともに関数値は減少し、ある一定の値に収束している。この収束値は、2 点相関関数の理論上の収束値である骨材の体積率の自乗値にほぼ等しい。骨材量が増加すると、関数値が収束するまでの距離が短くなる傾向が認められる。この距離が骨材粒子の空間分布を特徴づける距離であることから考えると、骨材量の増加にともない骨材粒子の空間分布の構造単位は小さくなり、骨材粒子分布構造としては、

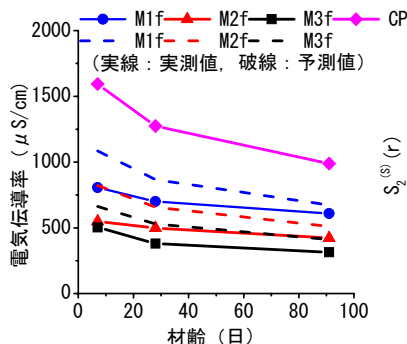


図-3 骨材量を変化させたモルタルの電気伝導率の経時変化

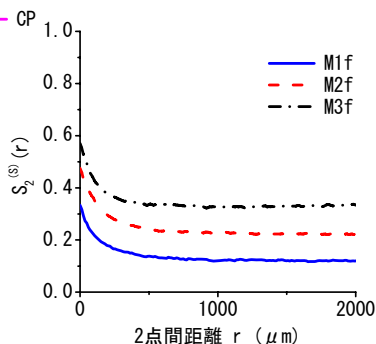


図-4 骨材量を変化させたモルタル中の骨材の2点相関関数

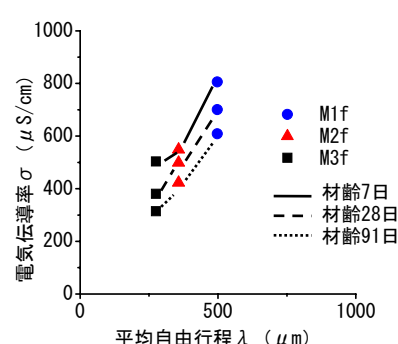


図-5 骨材量を変化させたモルタル中の骨材粒子の平均自由行程と電気伝導率の関係

少ない要素で空間構造を記述できるようなより均質な構造を形成するようになっていいることがわかる。

図-5 は骨材量を変化させたモルタルの平均自由行程  $\lambda$  と電気伝導率  $\sigma$  の関係を示したものである。平均自由行程は平均の骨材粒子間距離を表わし、これが大きいことは骨材粒子間に存在するセメントペースト相の平均厚さが大きいことを意味する。平均自由行程は骨材量の増加にともない直線的に減少している。また、この平均自由行程の減少とともに電気伝導率値も減少しており、いずれの材齢においても同様の傾向が認められる。

### 3.2 骨材の粒度を変化させたモルタルの電気伝導率と骨材空間構造の特徴

図-6 は骨材の粒度を変化させたモルタルの電気伝導率の経時変化を示したものである。材齢の進行にともない電気伝導率は減少するが、骨材の粒度間での電気伝導率の差はほとんど認められない。いずれのモルタルも同程度の値を示し、その値は、前述のように、セメントペーストの体積率が電気伝導の有効体積率であるとした場合の値（骨材量が等しいため同一値）よりも小さい。

図-7 は骨材の粒度を変化させたモルタルの骨材の2点相関関数を示したものである。骨材の比表面積が増加

するにつれて、構造距離は小さくなる傾向が認められる。構造距離は着目相の粒子寸法に依存し、構造距離が最も大きいモルタル M2c で 1mm 程度であり、最も粒度の細かいモルタルで 500 $\mu\text{m}$  程度である。

図-8 は骨材の粒度を変化させたモルタルの平均自由行程  $\lambda$  と電気伝導率  $\sigma$  の関係を示したものである。骨材の比表面積が大きいモルタルの方が粒子個数も増すことになり、平均自由行程は小さくなる。同じ骨材体積率であっても比表面積の大きいモルタル M2f と最小のモルタル M2c では約 2 倍の相違がある。一方、平均自由行程と電気伝導率の関係を考えて、図-5 とは明らかに異なり、平均自由行程が減少しても、電気伝導率には低下は認められず、逆に若干増大する傾向が認められる。

### 3.3 セメントペースト相の空間構造

前述のように、セメントペーストに骨材を混入することにより、主たる電気伝導経路である飽和毛細管空隙を有するセメントペースト相の体積率が減少し、一方で屈曲性が増すことになり、これが物質移動性を低下させると考えられる。図-9 は骨材量および骨材の粒度を変化させた場合におけるセメントペーストの2点間直線経路相関関数を示したものである。骨材量を増大させると、

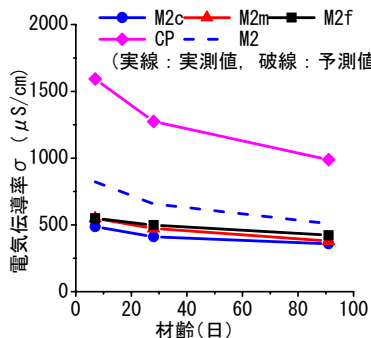


図-6 骨材の粒度を変化させたモルタルの電気伝導率の経時変化

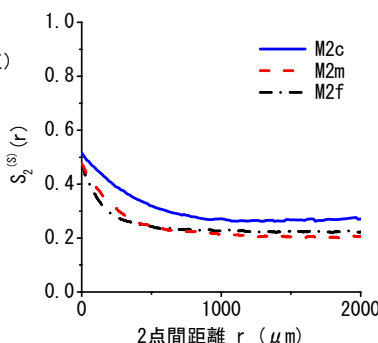


図-7 骨材の粒度を変化させたモルタル中の骨材の2点相関関数

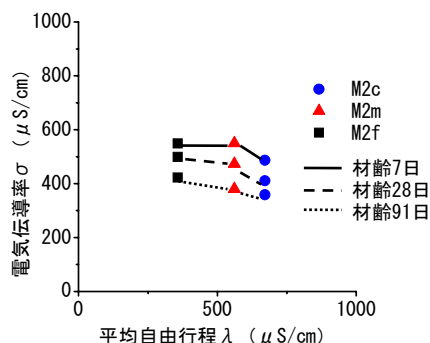


図-8 骨材の粒度を変化させたモルタル中の骨材粒子の平均自由行程と電気伝導率の関係

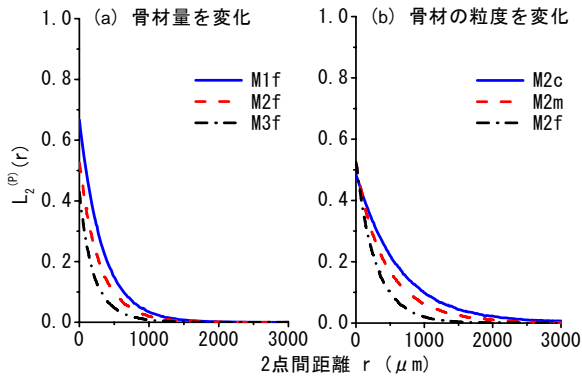


図-9 骨材の量および粒度を変化させたモルタル中のセメントペーストの2点間直線経路相関関数

同一距離における関数値は低下し (図-9 (a)), セメントペースト相の屈曲性は増し、電気伝導率は低下する側へと移行すると考えられる。しかしその一方で、骨材の粒度を変化させた場合でも (図-9 (b)), 比表面積が大きくなるほど関数値は低下し、骨材粒度間の相違は明らかである。特にモルタル M2c と M2f では、前者は 3mm にも達するような直線的な連続性が存在するのに、後者は 1.5mm を超えるような連続性を持たない。このことから、骨材粒度分布の変化により補集合空間としてのセメントペーストの空間構造は変化し、骨材粒度が小さくなるにつれて直線的な経路は取りにくくなっていると考えられる。しかし、実際には図-6 に示すように、電気伝導率には差はほとんど認められず、本研究の画像観察倍率レベルにおいて、セメントペースト相としての屈曲性の影響は大きくないと判断される<sup>13)</sup>。

### 3.4 遷移帯の影響

#### (1) 骨材量を変化させたモルタル

表-2 は、骨材量および骨材の粒度を変化させたモルタルの画像から求めた骨材の比表面積  $S_v$  と、骨材の体積率  $V_v$ 、および骨材表面近傍に遷移帯が存在すると仮定し、その厚さを  $20\mu\text{m}$  および  $50\mu\text{m}$  として求めた遷移帯の体積率  $V_{ITZ}$  を示したものである。ここに、 $20\mu\text{m}$  および  $50\mu\text{m}$  という厚さは、骨材にセメントペーストを注いだ複合供

表-2 骨材の量および粒度を変化させたモルタル中の骨材の比表面積  $S_v$ 、骨材の体積率  $V_v$ 、および遷移帯の体積率  $V_{ITZ}$

種類	$S_v$ ( $\text{mm}^2/\text{mm}^3$ )	$V_v$ (%)	$V_{ITZ}$ (%)	
			$20\mu\text{m}$	$50\mu\text{m}$
M1f	5.5	33.3	10.9	27.3
M2f	5.8	47.3	11.6	28.9
M3f	6.0	57.1	12.1	30.2
M2c	2.9	51.5	5.8	14.5
M2m	3.7	48.5	7.4	18.4

試体ではなく、コンピュータシミュレーションや実際のコンクリート中の組織観察により妥当であるとされている値として用いている<sup>5,6)</sup>。骨材の体積率は表-1 にて示した体積率とほぼ一致し、骨材粒子は適切に抽出されたものと考えられる。骨材量を変化させても、比表面積の変化は小さく、遷移帯厚さを  $20\mu\text{m}$  とすると、配合間で遷移帯体積率の差は 1% 程度しかない。Scher ら<sup>14)</sup> は、ある相の体積率が 3 次元においては約 16%、2 次元においては約 45% のとき、それらが連結したクラスターが形成され、パーコレーションを生じると述べている。本研究においては、遷移帯のみで 3 次元空間で連続経路を形成するパーコレーション閾値には達しないが、骨材と合わせて考えると、M2f と M3f は連続経路が存在しうると考えられ、M1f でもその閾値にかなり近い。一方、その厚さを  $50\mu\text{m}$  と仮定すると、明らかに 3 次元で連続した経路を形成していることになり、さらに骨材体積率と合わせて考えると、いずれのモルタルとも、3 次元だけではなく 2 次元でも連続経路を形成しうる体積率よりも大きい。Winslow ら<sup>5)</sup> は、骨材体積がおよそ 45~49% を超えた場合、遷移帯による連続経路が形成されるとしており、このことから、モルタル M2f と M3f は連続した経路を持ちうると推察される。しかし、実際には、図-3 に示すように、連続経路に起因するような電気伝導率の特徴的な変化は認められず<sup>1)</sup>、セメントペースト体積率に対応した変化を生じているのみである。

図-10 (a) は骨材量を変化させたモルタル中の接触分布関数を示したものである。骨材量の最も大きい M3f は他の 2 配合に比べ関数値の収束距離が短く、セメントペーストのどの位置も、最も近い骨材表面まで最大離れたとしても  $120\mu\text{m}$  程度以下にある。遷移帯を  $50\mu\text{m}$  程度と考えるならば、セメントペースト相の 50% が遷移帯の領域に含まれることになる。図-5 の平均自由行程を考えると、バルクセメントペースト領域は  $180\mu\text{m}$  程度の厚さとなる。一方、骨材量がそれより少ない M2f および M1f では 30% 程度が遷移帯領域となり平均自由行程から

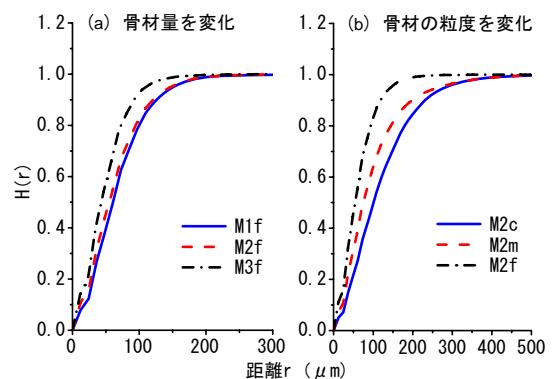


図-10 骨材の量および粒度を変化させたモルタル中の接触分布関数

は、バルクセメント領域厚さは 250~400 $\mu\text{m}$  となる。すなわち、骨材粒子間の空間において、遷移帯に比べて実質的に水セメント比が低く電気抵抗が大きいと考えられるバルクセメントペーストの大きいものほど、電気伝導率は大きいことになる。

#### (2) 骨材の粒度を変化させたモルタル

表-2 に示すように、骨材体積率には画像の変動による若干の変化が認められるものの、ほぼ配合値(表-1)に近い値を示している。この場合も前述のように遷移帯と骨材粒子による連続経路の存在を考えると、骨材粒度の粗いモルタル M2c および M2m の遷移帯体積率は上述のモルタル M2f よりもかなり小さい。

一方、骨材の粒度を変化させた場合の接触分布関数(図-10(b))より、前述のように 20 $\mu\text{m}$  または 50 $\mu\text{m}$  といった遷移帯範囲内にあるセメントペースト相の割合は、粒度の細かい M2f が最も粗い M2c の約 2 倍の値を示す。また、図-8 の平均自由行程からは、遷移帯厚さを差し引いた電気伝導率の小さいバルクセメントペースト部分の厚さは、M2c と M2f では 2 倍程度異なる。すなわち、表-2 および図-10(b)より、骨材の比表面積が大きいモルタルの方が、遷移帯の連続領域を形成しやすいと考えられるが、図-6 にて明らかなように、骨材粒度間での電気伝導率の大きな差異は認められない。すなわち、骨材混入による電気伝導率の変化の傾向を、骨材表面の遷移帯の連結からだけで説明することは適切ではないようであり<sup>1)</sup>、むしろ連続相としてのセメントペースト相の体積率の影響が卓越していると考えられる。

#### 4. 結論

骨材の量および骨材の粒度を変化させたモルタルの電気伝導率の測定し、モルタル中の骨材粒子の空間構造との対応を、遷移帯の存在とその影響の観点から検討した。本研究にて得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) モルタルの電気伝導率は、材齢の進行にともない減少する。また、同じ材齢では、骨材量が増すにつれ電気伝導率は減少し、その値はセメントペースト体積率の低減を考慮した値よりも実測値の方が小さい。一方、骨材量を一定にし、骨材粒度を変化させても、電気伝導率の相違はかなり小さい。
- (2) 遷移帯体積率が大きいと考えられるモルタルでは、遷移帯が連続しているにも関わらず、その電気伝導率は最も小さく、遷移帯の存在から電気伝導率の変化を説明することは困難である。
- (3) 電気伝導率で特性化される物質移動特性は、伝導相であるセメントペースト相の体積率による影響が卓越する。

#### 参考文献

- 1) Nokken, M.R. and Hooton, R.D.: Using pore parameters to estimate permeability or conductivity of concrete, *Materials and Structures*, Vol.41, No.1, pp.1-16, 2008
- 2) Thompson, A.H. et al.: The microgeometry and transport properties of sedimentary rock, *Advances in Physics*, Vol.36, No.5, pp.625-694, 1987
- 3) 内藤大輔, 五十嵐心一: セメントペーストの電気伝導率と粗大毛細管空隙空間特性の関係, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, 部門 V, pp.753-754, 2008
- 4) Care, S.: Influence of aggregates on chloride diffusion coefficient into mortar, *Cement and Concrete Research*, Vol.33, No.7, pp.1021-1028, 2003
- 5) Winslow, D.P. and Cohen, M.D.: Percolation and pore structure in mortars and concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol.24, No.1, pp.25-37, 1994
- 6) Diamond, S.: Percolation due to overlapping ITZs in laboratory mortars? A microstructural evaluation, *Cement and Concrete Research*, Vol.33, No.7, pp.949-955, 2003
- 7) Mehta, P.K. and Monteiro, P.J.M.: *Concrete*, McGraw-Hill, 2006
- 8) Larbi, L.A.: Microstructure of the interfacial zone around aggregate particles in concrete, *Heron*, Vol.38, No.1, pp.1-69, 1993
- 9) Princigallo, A. et al.: Influence of the aggregate on the electrical conductivity of portland cement concretes, *Cement and Concrete Research*, Vol.33, No.11, pp.1755-1763, 2003
- 10) Dang Giang Hoang, 五十嵐心一: モルタル画像からの骨材抽出とその分布の特徴に関する基礎的研究, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, 部門 V, pp.735-736, 2008
- 11) Coker, D.A. and Torquato, S.: Extraction of morphological quantities from a digitized medium, *Journal of Applied Physics*, Vol.77, No.12, pp.6087-6099, 1995
- 12) Stoyan, D. et al.: *Stochastic geometry and its applications* (2nd ed.), JOHN WILEY & SONS, 1995
- 13) Stroeven, P.: A Stereological approach to roughness of fracture surfaces and tortuosity of transport paths in concrete, *Cement and Concrete Composites*, Vol.22, No.5, pp.331-341, 2000
- 14) Scher, H. and Zallen, R.: Critical density in percolation processes, *Journal of Chemical Physics*, Vol.53, No.9, pp.3759-376, 1970