

電気伝導率の変化にみる遷移帯不在の可能性

金沢大学 学生会員 ○オウ ブン
金沢大学 正会員 五十嵐 心一

1. 序論

コンクリートの透水性は、セメントペーストやモルタルに比べ大きくなることが知られている。骨材が不透性で透水経路は毛細管空隙ネットワークであると考えれば、理論上はコンクリートの透水係数は小さくならなければならない。このような予想とは異なる事実の理由として、骨材とセメントペーストマトリックス界面に遷移帯と称される多孔質な領域が存在し、これが互いに連結することによるパーコレーションの発生が挙げられている。しかし、これには強い反論もあり、Diamondら¹⁾は実際のコンクリート中には従来、概念的に説明されるような遷移帯は存在しないことを画像情報に基づいて主張している。

本研究では、電気泳動法に基づく電気伝導率試験により、コンクリートの物質透過性を評価する。供試体の厚さを徐々に変化させながら伝導特性の変化を明らかにし、その結果に基づいて遷移帯の存在について論ずることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 使用材料および供試体の作製

セメントには普通ポルトランドセメント(密度:3.15 g/cm³, 比表面積:3310cm²/g)を使用した。細骨材には川砂(密度:2.60g/cm³)を用い、粗骨材には川砂利(密度:2.60g/cm³, G_{max}:25mm)を用いた。JIS R 5201に基づき、水セメント比 0.50 のセメントペースト、セメント砂比 1:2 のモルタルおよびコンクリートの円柱供試体(直径 100mm, 高さ 200mm)を作製した。コンクリートの配合を表-1 に示す。打ち込み後 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

JSCCE-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 1, 7, 28 日において供試体から直径 100mm, 高さ 50, 25, 12.5mm 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。樹脂の硬化後、24 時間の真空飽水処理を施した。その後、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

表-1 コンクリート配合

W/C	s/a (%)	Slump (cm)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)				単位量 (cc/m ³)	
				W	C	G	S	AE 減水剤	AE 助剤
0.5	41.9	15±2	4.5±1.5	175	350	1011	729	3500	1400

た。通電開始 15 分後の電流値を用いて、式(1)により、所定材齢における電気伝導率 σ を算出した。ただし、材齢 1 日の試料に関しては、脱型後ただちに樹脂の塗布を行い、毛細管空隙の完全飽和状態を仮定して、電気伝導率の測定を実施した。

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

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(cm²)である。

2.3 コンクリート断面画像取得および骨材抽出

電気伝導率試験に用いたコンクリート供試体を測定方向に切り出して、切断面を研磨した。その後、スキャナを用いて等倍の断面画像を取得した。このときの解像度は 2000dpi とし、1 画素は 10.6 μm に相当する。試料断面に対して 1% フェノールフタレイン水溶液により呈色し、原画像と呈色画像の差分処理により骨材相およびセメントペーストマトリックス相を抽出した。

3. 結果および考察

図-1 にセメントペーストおよびコンクリートの電気伝導率の材齢の進行にともなう変化を示す。図中には骨材により伝導経路が減少したと考えたときの予測値を青点線で示している。供試体の厚さに関わらず材齢の進行にともなう変化は同様であり、材齢 1 日ではコンクリートの予測値と実測値の差が大きい場合もあるが、材齢 7 日にて電気伝導率は大きく低下し、予測値と実測値の差も小さくなる。また、その後の変化はかなり小さく、コンクリートはセメントペーストの骨材による希釈を考えた値よりも若干小さい電気伝導率を示す。骨材体積率は十分に大きいことを考慮すると、骨材界面に遷移帯が存在するならば、そのパーコレーションのために電気伝導率は増加してよいはずである。しかし、図-1 に示されるように、コンクリートの電気

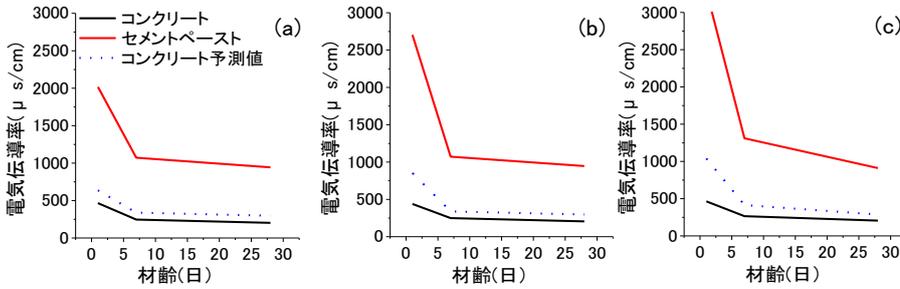


図-1 供試体厚さを変化させたときの電気伝導率の比較

(a) 厚さ 1.25cm, (b) 厚さ 2.5cm, (c) 厚さ 5cm

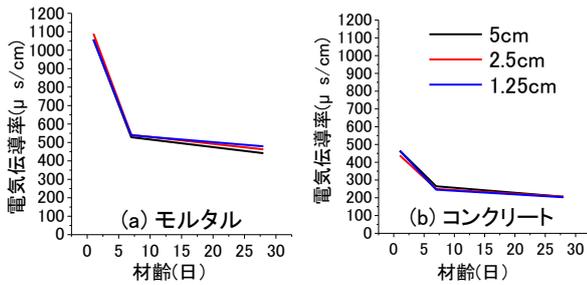
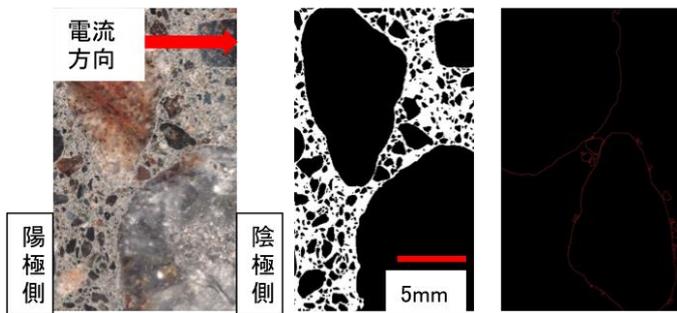


図-2 モルタルとコンクリートの電気伝導率の比較



(a)原画像 (b)骨材画像 (c)遷移帯(20 μ m)

図-3 遷移帯抽出画像(黒色:骨材 赤線:連続した遷移帯)

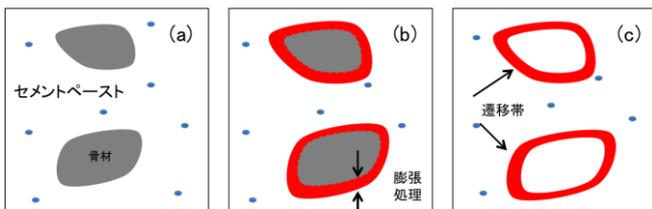


図-4 遷移帯抽出手順 (a)原画像(b)膨張図(c)遷移帯抽出図)

伝導率はセメントペーストの骨材率による希釈率に対応した値に比べて小さく、遷移帯が卓越した電気伝導経路となっているようには認められない。

図-2 にモルタルおよびコンクリートの電気伝導率を比較して示す。モルタル中のセメントペースト体積率はコンクリートに比べて大きいので電気伝導率はコンクリートよりも大きくなる。しかし、材齢の進行にともない変化はコンクリートと同様であり、供試体厚さ間の差も認められない。また、モルタル(骨材体積率48%)はセメントペースト骨材による希釈割合と同程度の電気伝導率を示すのに対して、骨材体積率が

大きく遷移帯体積率も大きいと考えられるコンクリートにて希釈率相当値よりも低い電気伝導率を示したことは遷移帯の存在を前提とするならば、明らかに矛盾した結果といえる。

図-3 に厚さ 1.25cm のコンクリート供試体の断面の画像を示す。

原画像から骨材を抽出し(図-3

(b)), 抽出された骨材粒子に対して一般的に想定される遷移帯の厚さに相当する厚さ 20 μ m の膨張処理を行った。この膨張処理画像と元の骨材抽出画像を重ね合わせてその差分を厚さ 20 μ m と仮定したときの遷移帯とみなした。この手順を図-4 に示す。さらにこの遷移帯として抽出された領域に対して画像解析ソフトウェアの機能を用い、同じクラスターに属すると判定された領域を連続領域とみなした。20 μ m の膨張処理にて得られた連続領域を図-3 (c) に示す。厚さ 1.25cm の供試体において供試体を貫通するような連続経路が存在することが確認される。このような供試体を貫通すると考えられる連結経路の存在する程度は供試体の厚さによって異なっていた。厚さ 2.5cm になると貫通経路の存在する確率および経路のセメントペーストマトリックス面積に対する線密度は低くなる傾向にあり、厚さ 5cm で貫通経路が存在しない場合が多数認められた。すなわち、貫通経路の存在確率が異なるにもかかわらず、いずれの厚さも同程度の電気伝導率を示したことになり、一般的な概念の遷移帯のパーコレーションによる透過性の増大という考え方に疑問を生ずることになる。

4. 結論

遷移帯が連結経路として存在すると考えられる場合であっても、コンクリートの電気伝導率が大きくなるような傾向は認められない。このことは遷移帯により物質透過性が大きくなるとする考え方に再考の余地があることを示している。

謝辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号: 15K14013)の交付を受けた。

参考文献

- 1) Diamond, S. et al: The Interfacial Transition Zone in Cementitious Composites Proc. of Intl. RILEM Conf., E&FN SPON pp.3-25, 1998