

## V-118

## 細骨材の粒度分布がモルタル中の遷移帯に及ぼす影響

東京大学生産技術研究所 正会員 加藤 佳孝  
東京大学生産技術研究所 フェロー会員 魚本 健人

## 1. はじめに

モルタルやコンクリートのように骨材を有するセメント混合物の場合は、骨材周辺部のイオン濃度が水和したセメント粒子の近傍と異なることからセメントペーストと不連続な領域が生じる。この領域は遷移帯と呼ばれ、直径 50nm 以上の粗大な空隙を有しその厚さは水セメント比によって変化する。一般的に、遷移帯はコンクリート中の弱点部分と考えられており、コンクリートの物理的特性を理解するには遷移帯の特性を把握することが極めて重要である。現在まで遷移帯に関する研究は、走査電子顕微鏡観察や X 線回折分析によりその厚さや形成成分などの解明が主であり<sup>1)</sup>、コンクリート全体の平均的な指標の提案に関する研究としては遷移帯厚さに関する研究<sup>2)</sup>があるが、未解明な点が多い。

本研究は、遷移帯の特性を解明する基礎的研究として、細骨材の粒度分布の違いがモルタル中に形成される遷移帯に及ぼす影響に関して実験的に検討した研究である。

## 2. 実験概要

実験はセメントペーストおよびモルタルを対象に行った。供試体の作製には研究用普通ポルトランドセメント、標準砂を使用した。それぞれの特性を表-1 に細骨材の粒度分布を図-1 に示す。本実験では、細骨材の粒度分布の影響を把握するために標準砂を、11.8mm 以上 (S 大と略記)、6~11.8mm (S 小と略記)、6mm 以下 (S 小と略記) の 3 種類にふるい分けして使用した (表-1 参照)。セメントペーストおよびモルタルの水セメント比は 50%、モルタルは 1:2 モルタルとした。供試体は圧縮強度試験用に  $\phi 50 \times 100$ mm、細孔径分布測定用に  $20 \times 20 \times 80$ mm の四角柱状にし、20°C で所定の材齢まで水中養生を行った。所定の材齢を経過した硬化体を切断し、一辺の長さが約 8mm の立方体状の試料片を作製した。この試料片をアセトンに浸漬し、水和を停止させた後 105°C 炉乾燥を行い、水銀圧入式のポロシメータにより (圧入圧 0.4~420Pa)、試料内部の細孔径分布を測定した。

## 3. 実験結果および考察

実験結果の一例を図-2 に示す (材齢 7 日)。細骨材の粒度分布の違いによって、モルタル中の細孔径分布は明らかに異なっていることがわかる。ここで、セメントペーストおよびモルタル中のセメントの水和速度および各材齢における水和率は骨材の粒径、それらの含有割合が異なっても、ほぼ同程度であるという既往<sup>3)</sup>の知見がある。本実験で使用了モルタル中のセメントペースト割合は約 52%であり、前記の知見を考慮すると、モルタルの細孔量からセメントペーストの細孔量 52%分を差し

表-1 材料特性

| 種類   | 密度(kg/m <sup>3</sup> ) | 比表面積(mm <sup>2</sup> /mm <sup>3</sup> ) |
|------|------------------------|-----------------------------------------|
| セメント | 3150                   | 970                                     |
| 標準砂  | 2636                   | 1.52                                    |
| S大   |                        | 0.41                                    |
| S中   |                        | 0.72                                    |
| S小   |                        | 2.96                                    |

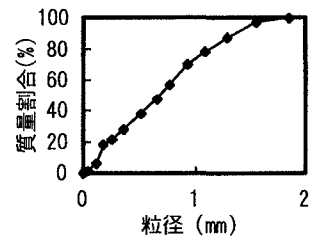


図-1 細骨材の粒度分布

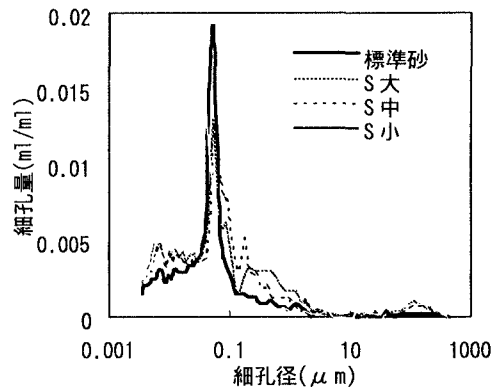


図-2 細孔径分布測定結果 (7日材齢)

キーワード：遷移帯、細骨材の粒度分布、圧縮強度

連絡先：〒106 港区六本木 7-22-1 TEL 03-3402-6231 FAX 03-3470-0759

引いたもの（遷移帯細孔量と略記）が、遷移帯の細孔量ということになる。そこで、各試験体に関してセメントペースト分を差し引いた細孔径分布の一例を図-3に示す（材齢7日）。骨材を混入したことにより、セメントペーストの細孔量よりも多くなった細孔直径の範囲は、標準砂を使用した場合  $0.13 \mu\text{m}$  以上、S大は  $0.09 \mu\text{m}$  以上と  $0.019 \mu\text{m}$  以下、S中は  $0.07 \mu\text{m}$  以上と  $0.018 \mu\text{m}$  以下、S小は  $0.15 \mu\text{m}$  以上と  $0.038 \mu\text{m}$  以下（7日材齢）であることがわかる。一般的に、遷移帯部分の細孔量は混入された骨材の径が大きいほど、多くなると考えられるが、図-3から求めた単位モルタル中に含まれる積算遷移帯細孔量（ $\Sigma$  遷移帯細孔量）は、S小が一番多く S大および S中がほとんど等しいという結果が得られた。

ここで、遷移帯細孔量は単位体積のモルタル中に含まれる遷移帯の細孔量を示す指標であり、本研究で行ったような粒度分布が異なる細骨材が及ぼす影響を要因として含んでいない。そこで、図-3によって求めた遷移帯細孔量を、（細骨材の比表面積） $\times$ （モルタル中の細骨材の体積割合）で除することによって求める、平均遷移帯厚さを新たな指標として用いた。平均遷移帯厚さと細孔径の関係を図-4に示す。これにより求まる積算遷移帯厚さ（ $\Sigma$  平均遷移帯厚さ）は、S大が最も大きく次いで S中、S小、標準砂という結果となった。つまり、単粒度に近い骨材を混入した場合、混合粒度である標準砂と比較して遷移帯は形成しやすいということがわかる。また、6mm以下の微粒細骨材しか含まないモルタルでは、遷移帯厚さは極めて薄いということがわかった。ここで、コンクリートの弱点部分とされている遷移帯がモルタルの圧縮強度に及ぼす影響を把握するために、積算遷移帯厚さとモルタルの圧縮強度をセメントペーストの圧縮強度で除した値（強度比と略記）の関係を図-5に示す。各材齢とも積算遷移帯厚さが大きくなるに伴い強度比が低下していることがわかる。つまり、骨材を混入したセメント混合物の圧縮強度は、混入された単位骨材界面あたりに形成される、遷移帯の厚さによって表現することが可能であると考えられる。

#### 4. おわりに

セメントペーストに混入された骨材の粒度分布が単粒度に近い場合、骨材界面に形成される遷移帯の厚さは大きくなるが、骨材径が6mm以下の場合遷移帯厚さは極めて薄くなるということがわかった。さらに、モルタルの圧縮強度は単位骨材界面あたりに形成される遷移帯厚さによって説明することが可能である。

#### <参考文献>

[1] J.C.Maso : Interfacial transition zone in concrete, E&FN SPON [2] 内川ら: 硬化モルタル及びコンクリート中の遷移帯厚さの評価並びに遷移帯厚さと強度との関係の検討、コンクリート工学論文集

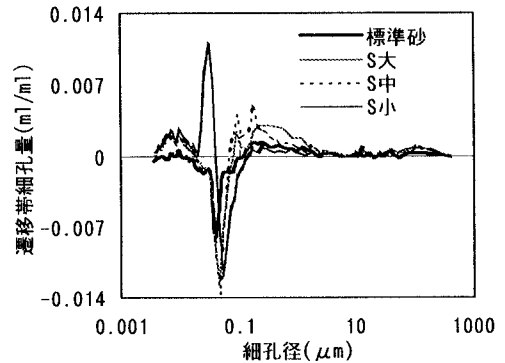


図-3 遷移帯細孔量（7日材齢）

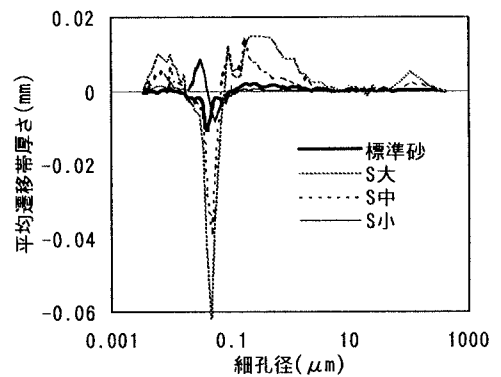


図-4 平均遷移帯厚さ（7日材齢）

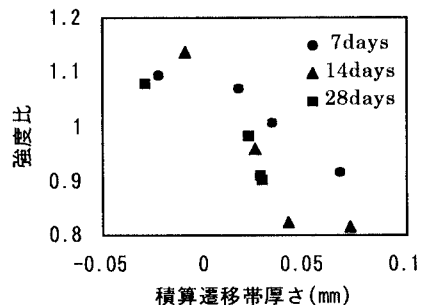


図-5 積算遷移帯厚さと強度比の関係