

V-75

遷移帯および細骨材の空間的特性が物質移動に及ぼす影響

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、遷移帯部分の透過性は骨材やセメントペースト自身の透過性よりも数倍大きくなると報告されている^[1]。近年、コンクリート中の潜在的欠陥と考えられる遷移帯に着目して、塩化物イオン、二酸化炭素ガスおよび酸素の拡散性に及ぼす遷移帯の影響に関して実験的検討がなされ始めている^[2]。本研究は、遷移帯がコンクリートの物質移動に及ぼす影響を解明する基礎的研究として、遷移帯および骨材の空間的特性に着目しその影響を解析的に検討した。

2. 解析概要

2.1 遷移帯および骨材の配置

本研究では数 μm （遷移帯厚さ）～数 mm（細骨材粒径）のオーダーを解析的に検討するために、1pixel を $5\mu\text{m}$ と設定し、解析の対象範囲は計算機の制約条件により縦横 1000pixels（5mm）とした。また、想定した細骨材の形状は正方形とし、細骨材を構成する粒径は 3 種類（1.45, 0.85, 0.20mm）で各々の体積割合を 0.26, 0.35, 0.39 とした（式(1)を算出した実験に用いた標準砂のふるいわけ試験より算出）。遷移帯の厚さ（ $Ttz(I)$ ）は骨材の粒径と量に依存して変化し、その厚さは $W/C=0.5$ で材齢 28 日のモルタルの場合、式(1)として表現することが可能である^[3]（ V_s ：全細骨材量、 $dave(I)$ ：細骨材を構成する各骨材の粒径）。

$$Ttz(I) = 0.04 \cdot V_s \cdot dave(I)^{0.74} \quad (1)$$

遷移帯および細骨材の配置は、細骨材をランダムに配置させ各々の細骨材の周囲に式(1)より算出される厚さの遷移帯を配置した。任意の細骨材量を設定した場合、細骨材の個数が必ずしも整数にならず、設定した細骨材量と異なった解析条件になる。例えば、細骨材の粒径が一番大きい 1.45mm が 0.5 個の場合、42050pixels を占有することになるが、ここで個数の算出を四捨五入すれば 84100pixels になり、切り捨てれば 0pixel になる。そこで、同一条件下の解析を 100 回繰り返した結果を one-unit として、one-unit 中で設定した細骨材量を再現した。つまり、細骨材の個数が 0.5 個の場合は one-unit 中の半分は 1 個とし残りの半分は 0 個と設定した。

2.2 遷移帯中の物質移動

本研究では、遷移帯がコンクリートの物質移動に与える影響を把握することを目的としているため、ここでは遷移帯部分のみで物質が移動するとし、その移動現象の解析手法として森林火災理論^[4]を適用した。以下、

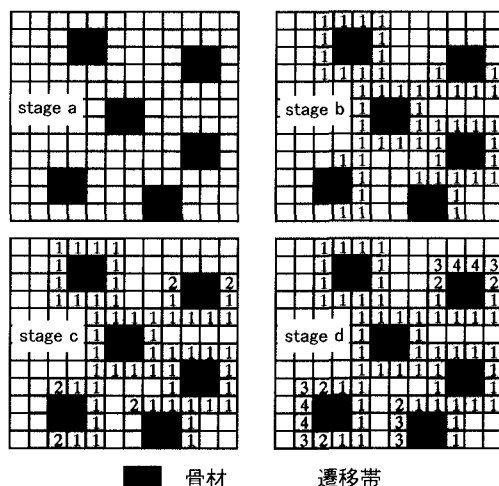


図-1 森林火災理論の概念図

キーワード：遷移帯，空間的特性，森林火災理論，物質移動

〒106-0032 港区六本木 7-22-1 TEL 03-3402-6231 FAX 03-3470-0759

森林火災理論に関して図-1 を例に説明する．まず第 1 行の左端から始め，順次右へ一個ずつ格子を見て，周囲に物質が移動する道（遷移帯部分）があるかどうか調べる．第 1 行が終わると第 2 行へ進み同様のことを行い最終行まで調べる．図中 stage a のように細骨材と遷移帯が配置された場合，全格子点を一巡した結果が stage b であり，通過した格子に flag として‘1’を代入する．全格子点を一巡すると時間ステップを 1 ステップだけ進め同様な作業を繰り返す．このような手順に従って格子内に時間ステップ番号を代入した結果が stage c と stage d であり，この場合時間ステップ‘4’ですべての移動が終了することになる．

3. 解析結果および考察

W/C=0.5, S/C=0.5~3.5 まで変化させた場合のペースト，細骨材および遷移帯の面積割合を図-2 に，上記の理論を用いて求めた移動に寄与した遷移帯部分の格子数の変化を図-3 に示す．移動に寄与する遷移帯数は，細骨材の面積割合が 0.3 程度まではほとんど存在せず，その後細骨材の面積割合が 0.5 付近まで緩やかに増加していくことがわかる．さらに細骨材の面積割合 0.5 以降は，遷移帯の面積割合はほぼ単調に増加しているにもかかわらず，移動に寄与する遷移帯数は急激に増大することがわかる．ここで，細骨材量に対する遷移帯同士の連結性状を把握するために，連結可能な数（遷移帯を含んだ細骨材の外周の総和）に対する遷移帯同士の連結数（連結率と略）と細骨材量の関係を図-4 に示す．連結率は細骨材の面積割合 0.4 付近をすぎて一度急激に増加し，0.5 付近において一定値を取りさらに急激に増加していくことがわかる．以上のことより，移動に寄与する遷移帯数の急激な増加現象は，細骨材量の増加に伴う遷移帯同士の連結性が高まるためであると考えられる．また，既往の研究^[2]より骨材容積割合が約 50% 付近において酸素，二酸化炭素の拡散係数が急激に増加するという実験結果と本解析結果は同様な傾向を示している．これは本解析手法の妥当性を示しており，物質移動現象を遷移帯および骨材の空間的特性に着目することによって表現することが可能であることを示唆している．

4. おわりに

コンクリート中の物質移動現象を森林火災理論を用いて解析的に検討した結果，遷移帯および骨材の空間的特性に着目した本解析手法が妥当であることが明らかとなった．

謝辞：本研究の一部は土木学会吉田研究奨励賞の研究奨励金によるものであることを付記し感謝いたします．

参考文献：[1]Valenta,O.：Durability of Concrete, The 5th International Congress on the Chemistry of Cement, Tokyo, Vol.3, pp.193-228,1968, [2]杉山隆文：コンクリート中の物質移動に及ぼす骨材-ペーストマトリックス界面の影響，コンクリート工学，Vol.33, No.6, pp.44-50, 1995.6, [3]加藤佳孝，魚本健人：細骨材の量と比表面積が遷移帯形成に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，1998（投稿中），[4]D.スタウファー：浸透理論の基礎，吉岡書店，pp.1-19, 1988

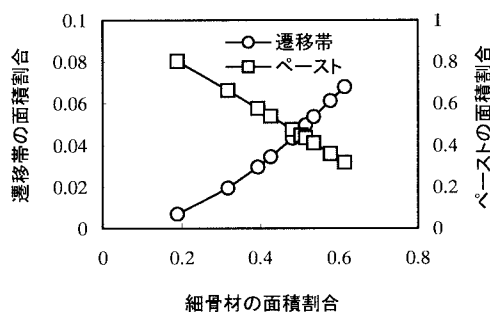


図-2 構成成分の割合

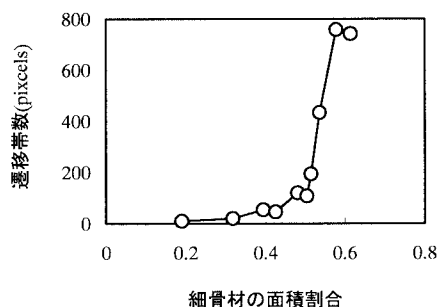


図-3 移動に寄与する遷移帯数

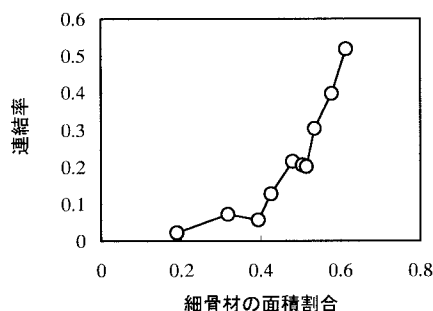


図-4 細骨材量と連結率の関係