

V-510

物質移動特性からみたコンクリートの微小空隙構造

東京大学大学院 学生員 石田哲也
東京大学工学部 正会員 前川宏一

1. はじめに

コンクリート内部の物質透過現象は、コンクリート構造物の耐久性能に大きな影響を及ぼす。従来までコンクリートの物質移動特性は、主として施工時の欠陥等によるひびわれに大きく影響されてきた。しかしながら、締め固め不要で施工時の影響を受けないハイパフォーマンスコンクリートの開発により、構造物の耐久性予測がコンクリート自身の耐久性能を定量的に把握する事によって可能となった。

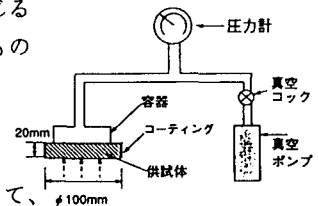
そこで本研究では、内部組織構造を意図的に変化させたモルタルに対し透気試験を行い、さらに細孔分布の測定を行うことによって、コンクリートの内部組織構造と物質移動特性を定量的に把握することにした。

2. 実験概要

実験に用いた材料を表1に示す。作製したモルタル供試体は直径10(cm)、厚さ約2(cm)とし、翌日脱型後、水中養生を行った。供試体は透気試験、細孔分布の測定の際には110℃の炉で24時間絶乾させたものを用いた。また透気試験は図1に示す透気試験装置₁₎を用いて行った。原理としては、容器内部をほぼ真空状態とし、外部の気体が入る事によって生じる容器内の圧力の経時変化から、ダルシー則を用いて透気係数を導出するものである。また本実験では細孔分布の測定は水銀圧入法を用いて行った。

表1 使用材料

セメント	中熱セメント（比重:3.21）
細骨材	ガラスビーズ（φ1.0mm,0.4mm,0.05mm 比重:2.51,実積率:62.1%）
石灰粉	100メッシュ（比重:2.67,実積率:59.5%）



3. 実験結果

3.1 骨材量と透気性の関係

コンクリートの透気は内部構造中の空隙部分において行われる。従って、骨材の増加とともに透気を受け持つペースト部分は減少し透気性は小さくなる（図1 透気試験装置）ことが考えられるが、骨材量が比較的小さい場合（ $S/S_{lim}=0\sim50\%$ ）において、この現象が既往の研究₂₎から確認されている。ここで、骨材表面上に比較的確なセメントペースト層である遷移帯が形成されることは既に知られている。骨材量の増加とともに、骨材相互に接触する確率は増大し、前述の遷移帯が相互に連結するという現象が起こると考えられる。この遷移帯連結による空隙は連続度の高い比較的大きなものであるため、より透過性の高い空隙になると予想される。以上の根拠から S/S_{lim} が50%以上の高い骨材量のあるところを境として、逆に透気性が高まるものと考えられる。そこで本実験では、1mmのガラスビーズを用い骨材の充填率を様々に変化させたモルタル供試体に対し透気試験を行った。ここで材令は4日、10日の2種類である。実験結果を図2に示す。骨材量の増加とともに、透気性は概して減少傾向にあるが、 S/S_{lim} が60%近辺から若干増加に転じている。これは遷移帯の連結によるものと考えられるが、その影響を明確にするため透気係数をモルタル中のセメントペーストの体積で除したもののすなわちセメントペースト単位体積あたりの換算透気係数(K/V_p)で考えることにした。図3は K/V_p と骨材量の関係を示しているが、 K/V_p は仮に透気を受け持つ部分がセメントペースト中の空隙にのみ依存しているとすると、骨材量に関わらず一定値をとることになる。図3より K/V_p は S/S_{lim} が60%まではほぼ一定で、それ以降非線形に増加していくという傾向が明らかになった。すなわち骨材量の大きい領域においては、骨材界面上の遷移帯相互の連結による連続した空隙が気体の透

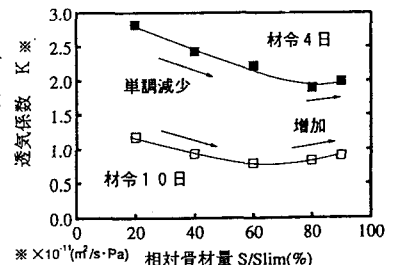


図2 骨材量と透気係数

過を受け持つようになり、ペースト単位体積あたりの透気係数は見かけ上大きくなるのである。この遷移帯相互の連結性を骨材間の相対距離 T を用いて表すことを試みた。図3より K/Vp と骨材相対距離の相関性はかなり高い。従って、骨材間距離が小さくなることによって生じる遷移帯の連結性によって、 K/Vp が近似的に表現出来る式を以下の様に提案することができた。

$K/Vp = \alpha(1/T) + \beta$ ここで α 、 β は水セメント比、材令等による定数

一方、図4に骨材量の異なるモルタルの、セメントペーストで正規化した細孔分布測定結果を示す。既往の研究から骨材とセメントペーストとの界面に形成される遷移帯層は骨材表面より $50\mu m$ 以内の領域に存在すると報告されている。³⁾ 遷移帯層内の空隙と思われる $1\mu m \sim 10\mu m$ の範囲において、骨材量の高いモルタルにおいてより多く空隙分布が存在することが確認された。

3. 2 骨材径と透気性の関係

前節での実験から、遷移帯が物質移動特性に与える影響が明確になったが、この遷移帯の形状や大きさ、また連続性等は骨材自体の形態に左右される。そこで本実験では、 $1.0mm$ 、 $0.4mm$ 、 $0.05mm$ のガラスビーズ、及び石灰粉の非水和固体粒子を用いて、骨材の大きさが透気性に与える影響をみた。実験結果を図5に示す。図より直径 $1mm$ 、 $0.4mm$ のガラスビーズに関しては、骨材量の増加とともに透気性は上昇するという同一の傾向を示している。一方、 $0.05mm$ のガラスビーズ及び石灰粉を混入したモルタルは、前述のものと比較すると透気性は全体的に顕著に小さくなり、また混入する粒子を増加させた時、逆に透気係数が小さくなる傾向が明確になった。これは、ここで用いた微細な鉱物微粉末の持つ物理・化学的作用によりモルタルの透気性状が変化したと考えられる。事実、図6に示す細孔分布の測定結果からも、 $0.05mm$ のガラスビーズを用いたものは、 $1.0mm$ のものと比較すると細孔空隙が全体的に小径化していることが観察された。

4. まとめ

本研究はコンクリートの物質透過性、特に透気性に注目し細孔分布測定結果との対比から、骨材の変化が及ぼす内部組織構造を定量的に評価するという目的のもと行った。以下に結論づけられたものを示す。

1. 骨材の混入に伴い、セメントペースト換算透気係数 K/Vp は非線形に増大する。これは骨材の混入に伴い遷移帯が相互に連結し、新たな透気の経路になるためと考えられる。この現象は骨材間の平均距離を用いて定量的に表すことが出来る。
2. 用いる骨材の寸法として、直径 $1.0mm$ 及び $0.4mm$ 程度の相違ではモルタルの透気性に有意な差は生じない。一方で、非水和微粒子を用いた場合、コンクリートの細孔構造は緻密化する。従って、物質移動特性からみたとき骨材として扱える粒子の最小寸法は $0.05 \sim 0.4mm$ の範囲にあることが判明した。

参考文献

- 1) 左東有次・下村 匠：締固め不要コンクリートを用いた部材における表面気泡が耐久性能に及ぼす影響、プレストレストコンクリート技術協会 第3回シンポジウム論文集、pp245_250、1992. 11
- 2) 片山英治：コンクリートの内部組織構造と物質透過抵抗性、東京大学土木工学科卒業論文、1993
- 3) 羽原俊祐：コンクリートの構造とその物性、セメントコンクリートNo. 549、pp. 31_43、1992

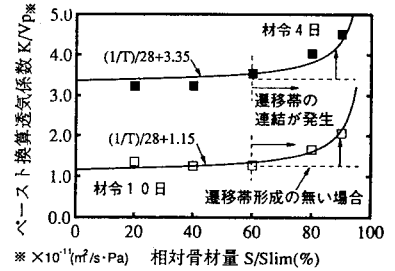


図3 骨材量とペースト換算透気係数 K/Vp

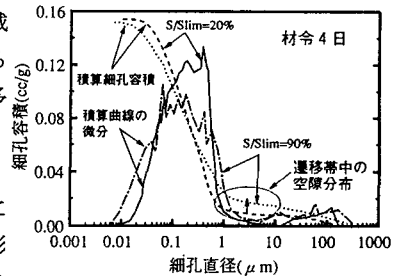


図4 セメントペーストで正規化した細孔分布

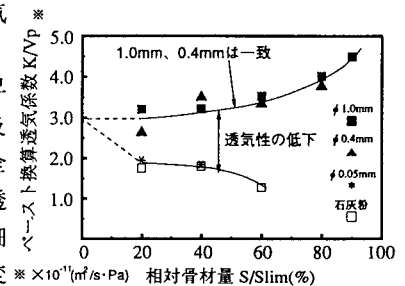


図5 骨材径と K/Vp

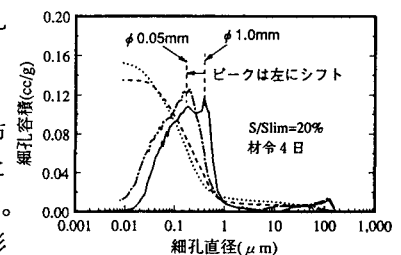


図6 骨材径の相違による細孔分布の相違