

京都大学 学生員 ○浜田 要 正員 服部篤史 正員 宮川豊章  
京都大学 正員 藤井 学 近畿大学 正員 川東龍夫

### 1. はじめに

コンクリート構造物の劣化原因の中で、物質透過性を主たる要因とするものは少なくない。塩害や中性化などはコンクリートの物質透過性に深く関っており、また物質透過性は細孔構造と関係が深いと考えられる。本研究は、ペースト、モルタル、コンクリートの各供試体を作成し、セメントの水和過程も考慮した細孔構造から物質透過性の検討を行った。

### 2. 実験概要

1) 実験要因 本研究の実験要因と供試体本数を表1に示す。養生方法は前養生として水中養生を、後養生として気中乾燥を行った。

2) 実験内容 実験は、①吸水量試験②細孔径分布および細孔量測定(水銀圧入法)③強度試験(曲げ・圧縮強度)の各項目について行った。①の吸水量試験では、所定養生後アルコールに浸漬して水和を抑制した供試体を重量減少がおさまるまで自然乾燥させ、 $105\pm5^{\circ}\text{C}$ で24時間炉乾燥した。その後24時間水中に浸漬した。

表1 実験要因

| 前(後)   | ペースト |      |      |      | モルタル |      |      | コンクリート |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|
| 養生日数   | W/C  | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.60 | 0.50 | 0.40 | 0.60   | 0.50 | 0.40 |
| 3日     | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | —      | —    | —    |
| 3(4)日  | —    | —    | —    | 3    | 3    | 3    | 3    | —      | —    | —    |
| 7日     | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | —      | —    | —    |
| 3(25)日 | —    | —    | —    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3      | 3    | 3    |
| 7(21)日 | —    | —    | —    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3      | 3    | 3    |
| 28日    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3    | 3      | 3    | 3    |

### 3. 結果と考察

1) 吸水量試験 吸水後の重量と炉乾燥前(気中乾燥)あるいは炉乾燥後の重量差から、毛細管空隙による吸水率とゲル空隙による吸水率を推定した。図1はモルタル、コンクリートのそれぞれの吸水率を表したものである。その結果、 $W/C$ が小さく、養生期間が長くなるにしたがって毛細管空隙による吸水率は低下したが、ゲル空隙による吸水率は増加した。これは水和の進行によって毛細管空隙が小径化し、ゲル空隙が増加するためと考えられる。また、モルタルについては気中乾燥の影響をみるために養生期間に気中乾燥を含む供試体も作成した。一定期間水中養生後、水和を止めた試料と気中乾燥を行った試料の間で吸水率の違いは認められなかったことから、試料表面と内部での含水率の違いからくる水和の違いは少なかったものと推察される。

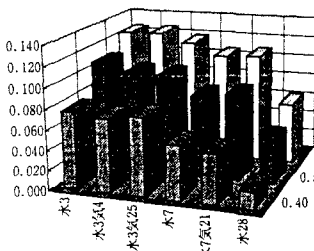


図1a 毛細管空隙による吸水率(モルタル)

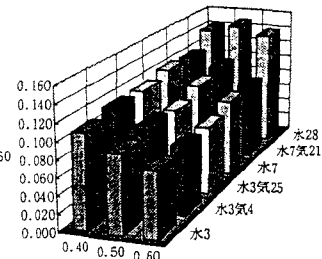


図1b ゲル空隙による吸水率(モルタル)

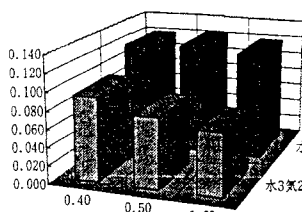


図1c 毛細管空隙による吸水率(コンクリート)

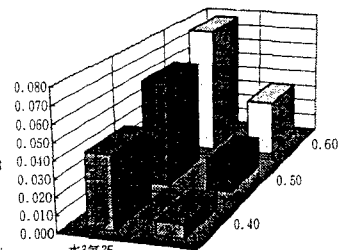


図1d ゲル空隙による吸水率(コンクリート)

2) 細孔径および細孔量測定 ①セメントペーストの場合 図2は、 $W/C$ が0.40、0.50、0.60のペーストの水和12時間後の試料の細孔径分布測定結果である。 $W/C$ の低いほうが小径の細孔が多く総細孔量が少なかった。これは $W/C$ が低いほどセメント粒子の充填率が高く、セメント粒子で形成される骨格構造が密である事を示している。図3は、水和12時間、24時間、3日、7日、28日後における $W/C$ が0.60のペーストの測定結果である。水和の進行に伴い総細孔量は減少し、ゲル空隙と考えられる10nm付近の細孔

量が増加している。28日においては細孔の大部分がゲル空隙で占められており、経時的な細孔分布からも水和過程が推測できる。

②モルタルの場合 図4は、 $W/C$ が0.50、0.60の水中養生3日後におけるペーストとモルタルの細孔径分布を比較したものである。ここで、モルタルの総細孔量とモルタル中のペーストの細孔量との差が骨材界面に含まれる細孔量と仮定して算定した。モルタルにおいて径6n~10 $\mu$ mの範囲の細孔量に対する100n~10 $\mu$ mの範囲の骨材界面量の割合は $W/C$ が0.50で3.9%、0.60で6.7%となっており、 $W/C$ の増加により骨材界面量が総細孔量に占める割合は大きくなった。

3) 吸水量と細孔構造  $W/C$ が0.40、0.50、0.60、養生日数がそれぞれ3、7、28日の9種類のモルタルについて、径が6n~50nm、50n~100nm、100n~10 $\mu$ mおよび6n~10 $\mu$ mの範囲の細孔量と毛細管空隙による吸水率との相関性を図5に示した。その結果、吸水が24時間では、細孔領域が6n~10 $\mu$ mの範囲の細孔量との相関性が最も高かった。

4) 強度試験 図6は、 $W/C$ が0.40、0.50、0.60、養生条件が水中3、7、28日のモルタル供試体の細孔領域50n~10 $\mu$ m（圧縮強度と相関性が高いとされている領域）の細孔量と圧縮強度との関係を示したものである。その結果、50n~10 $\mu$ mの細孔量が多いほど強度低下がみられ、細孔の中でも比較的大きな細孔領域が強度に影響を与えている事が分かった。また、水中養生後の気中乾燥による圧縮強度の増加は、水中養生を7日行ったものについてはほとんど認められなかった。

#### 4. まとめ

本研究ではペースト、モルタル、コンクリートについて細孔構造、吸水率および強度の基本物性の関係について検討した。結論は以下のよう要約できる。

1) 吸水後の重量、炉乾燥前の重量、炉乾燥後の重量から毛細管空隙による吸水とゲル空隙による吸水を推定した。毛細管空隙による吸水率は $W/C$ が小さく、養生期間が長くなるにしたがって低下したが、ゲル空隙による吸水率は増加した。

2) 吸水率と関係の深い細孔領域を調べるために各領域ごとの細孔量と吸水率の関係を検討した。その結果、吸水24時間では明確に相関性の高い領域はなく、総細孔量との相関性が最も高かった。

3) モルタルについて、径が50n~10 $\mu$ mの範囲の細孔量と圧縮強度の関係を調べた結果、強度はこの範囲の細孔量が多いほど低下し、比較的大きな細孔の量に支配されていると考えられる。

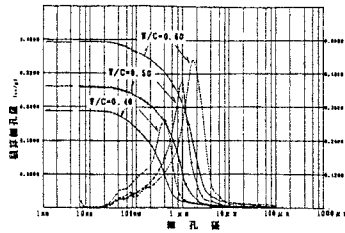


図2 ペーストの細孔量および細孔径分布(水和12時間後)

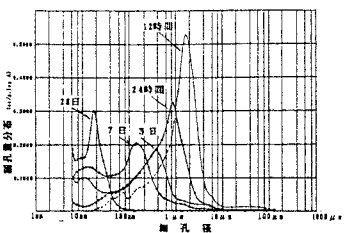


図3 ペーストの細孔径分布の経時変化

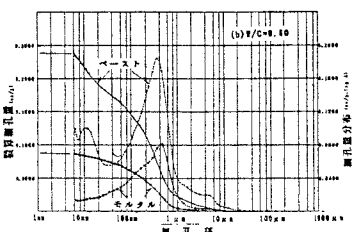
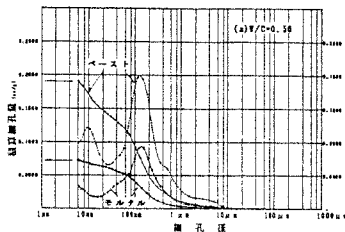


図4 ペーストとモルタルの細孔径分布の相違

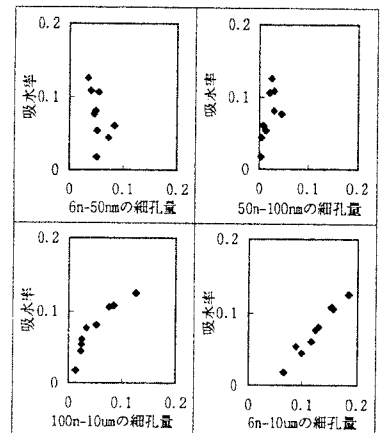


図5 各領域ごとの細孔量と吸水率の関係

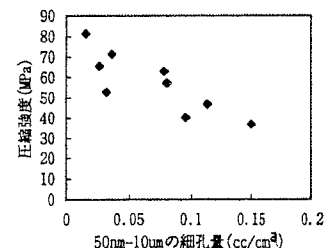


図6 細孔領域が50n~10 $\mu$ mの範囲の細孔量と強度の関係