

京都大学工学部 学生員○新宮康之 正 員 井上 晋 正 員 宮川豊章
 京都大学工学部 正 員 藤井 学 近畿大学環境科学研究所 正 員 川東龍夫

1. はじめに コンクリート構造物の耐久性は、外部から侵入した物質に多大な影響を受ける。これらの物質はコンクリート中の比較的大きな細孔から侵入すると考えられるが、特に、骨材界面部分は遷移帯と呼ばれており、水酸化カルシウムに富んだ多孔質な部分で、カルシウムシリケート水和物などで形成された他の組織に比べて異なる性質を有しており、物質の移動を考える上で重要である。本研究は骨材界面組織が物質の透過性に与える影響を、吸水量、塩分浸透、細孔分布および元素分布の結果から検討した。

2. 実験概要 1) 実験要因: 本研究の実験要因の項目と内容を表1のようにし、実験目的によって適宜組み合わせた。混入する塩分にはNaClを用い、Cl⁻量はセメント重量の0.3%(フリーデル氏塩として固定化されると推定される量以下)を打設時の練り混ぜ水に混入し検討を行った。

なお、供試体は80x80x400mmの角柱とした。それぞれ打設の翌日に脱型し、脱型後14日間もしくは28日間、20℃の恒温室内で、湿布、気中、水中の各養生を行った後、浸漬を行った。

表1 実験要因	
水セメント比	W/C=0.40, 0.50および0.60
養生日数	14日, 28日
養生条件	湿布養生 (20±1℃, 水中養生 (約16℃), 気中養生 (20±1℃, 相対湿度85±5%)
浸漬用溶液	NaCl水溶液 (濃度: Cl ⁻ 換算で3%)
浸漬日数	17日, 14日, 28日, ...

2) 実験方法: 試験項目は、①吸水量、②細孔径分布測定(水銀圧入法)③元素分析(EPMA)を行った。ここで、①の吸水は試料の全面から行うものとし、打設方向に対する試料位置の違いが吸水量に与える影響も知るため、打設上面、側面、下面、および中央付近の各部分から切り出したものを試料とした。②は打設側面部のものを試料とした。

3. 結果と考察 1) 吸水量試験: ①W/Cの影響 W/C=0.40, 0.50および0.60を比較すると、水セメント比が大きいほど吸水率の増加が見られる(図1(a))が、配合の違いによるコンクリートの密実性の相違が大きく影響したものと考えられる。

②養生条件の影響 乾燥による空隙の増加が考えられる気中養生の吸水率が最大となり、水中養生がこれに続き、湿布養生が最小となった(図1(b))。一般には水中養生の吸水量が最も小さいと考えられるが、養生後の乾燥の過程で、水中養生のものより湿布養生のものが乾燥しやすい分中性化も進み、総細孔容積が減ると考えられるため、あるいは水中養生後の養生槽には石灰と思われる白色の沈澱物が認められており水中養生中のCa(OH)₂などの溶出により、水中養生の吸水量は若干増加したものと推定される。

③養生日数の影響 吸水率は養生日数が14日より28日の方が小さく(図1(c))、水和による細孔径の小径側への移行と細孔量の減少が影響したと思われる。

④打設方向に対する試料位置の影響 打設上面の吸水率が最も大きく、側面、下面、中央部の順となった。これはセメント凝結以前において粗、細骨材の物理特性と配合量に起因する材料分離が各部分に不均一性をもたらすことと、打設時の締固めによるブリージング水の発生が挙げられる。特に打設上面では、ブリージング水が脱型までに蒸発しやすいため、空隙量が多くなり吸水率が高くなったと考えられる。(図1(d))

2) 細孔径分布測定: 図2は細孔径分布測定の一例で、W/Cが0.60と0.40で湿布養生14日の試料に関する結果である。実線が積算空隙量、破線が空隙径分布を表している。この図より、7μm付近の径をもつ細孔はほとんど存在していないのがわかるが、この径以下の細孔は毛細管空隙、この径以上は気泡と考えられ、成因や特性などが異なる。また、7μmの領域によって分けられた毛細管空隙と気泡が空隙の総細孔量に占める割合

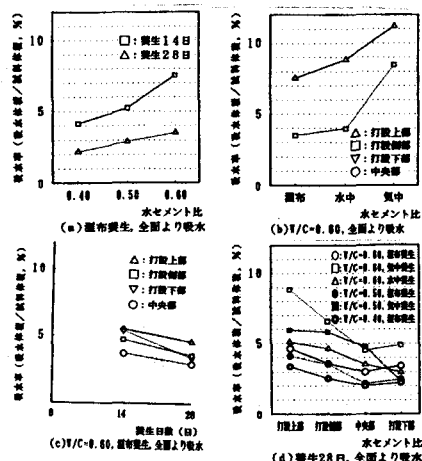


図1 コンクリートの吸水率

は、毛細管空隙の方が大きく90%以上となり、そのほとんどが毛細管空隙である。

①W/Cの影響 総細孔容積に占める気泡の割合は、W/Cが0.60で11%、0.40で22%になるものもあった。これは、AE剤の添加量、あるいは締固めの差が影響したことが現れたものと考えられる。また、当測定領域は6nm以上であり、これ以下の細孔量を積算した場合W/Cが0.40の全細孔量は増加し、気泡の割合は22%以下になると思われるが、6nm以下の細孔量がない分、気泡の割合が大きくなったものと考えられる。セメントペーストに比較してコンクリートに多い50-100nm以上の毛細管空隙が全空隙に占める割合は図2の場合、100nm以上の場合、0.40が31.4%、0.60で49.5%になり、0.60が0.40の約1.6倍となった。この結果は吸水率の結果に似ており、両者には相関性が認められる。

②養生日数の影響 総細孔容積に占める気泡の割合は養生14日で11%、28日では7%と気泡の減少が認められた。吸水率の減少は気泡の減少にも影響を受けると考えられるが、気泡も含めた比較的大きな細孔領域の変化に依存すると考えられる。

3) EPMAによる元素分析: ①遷移帯の定義 写真1は、コンクリート (W/C=0.60、湿布養生14日、中央部分)の結果を示したものである。(a)はSiの分布であるが、白い部分はSiに富んでおり主として骨材粒子の部分である。(b)はCaの分布で骨材を除いた部分に認められるが、特に骨材界面にそって周辺に分布していることがわかる。一般に遷移帯は、骨材表面にあり、幅が数10 μ m、セメントペーストとは不連続、Ca(OH)₂に富む、多孔質な組織、などの特徴があるとされている。しかし、線分析

による結果ではSiが少なくCaが大半を占める部分が骨材から数10 μ m離れており、この部分を遷移帯と考えるよりCaとSiが著しく変化する領域を遷移帯と判断する方が妥当と考えられる。(図3)

②細孔の塩分浸透への影響 写真2は、W/Cが0.60、湿布養生14日、浸漬7日のコンクリートの打設側面付近の面分析結果である。(b)はClの分布で、側面の表層部分および骨材周辺に集中していることが認められた(写真中の白色)。また(a)のCaの分布もClの分布が大きい部分に多く認められる(白色)。また、図には示していないが、配合、養生条件などの要因の違う試料の線

分析を行い、遷移帯の幅とこの領域におけるClの存在を調べた。遷移帯の幅は概ね20 μ mから30 μ mと読取れ、Clはバルクへの存在も認められるものの、ほとんどの遷移帯に存在していることが確認された。したがって、塩水浸漬期間が28日程度におけるコンクリート中へのClの侵入は、比較的大きな細孔である骨材界面への集中が考えられ、吸水あるいは塩分浸透などの特性を把握する上で、総細孔量、細孔領域および骨材界面組織などを含めた総合的な検討が必要である。

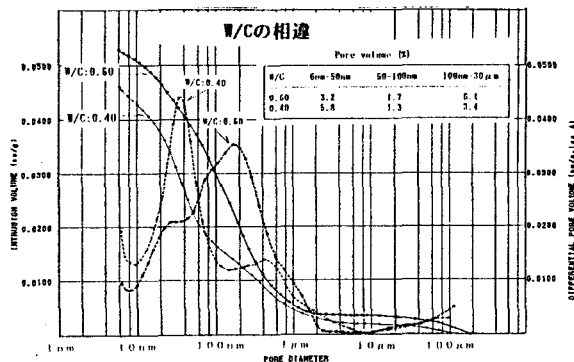


図2 コンクリートの細孔径分布(湿潤14日)

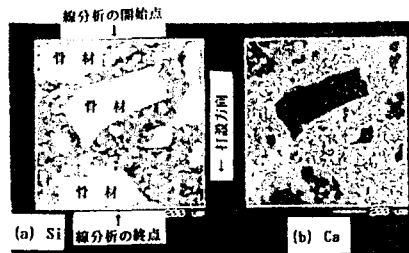


写真1 コンクリート中のSi, Caの分布 (W/C:0.60, 湿潤養生14日)

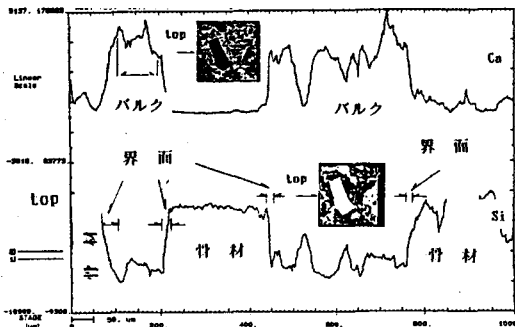


図3 写真1の線分析(写真の鉛直方向) (W/C:0.60, 前養生:湿潤14日)

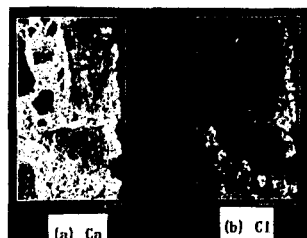


写真2 コンクリート中のCa, Clの分布 (W/C:0.60, 湿潤14日、塩水浸漬7日)