

コンクリートの細孔構造と鉄筋の腐食性状について

住友建設株式会社 正会員○山中康司 京都大学工学部 正会員 宮川豊章 正会員 井上 晋
正会員 小林和夫 正会員 藤井 学

1. はじめに

鋼材腐食、アルカリ骨材反応、凍害などの発生および進行にはそれぞれ特定の物質の供給が必要であり、その中には外部からコンクリート中の空隙を透過してくるものが多い。したがって、細孔構造と劣化機構との関係を明確に把握することが、コンクリートの耐用年数の推定と耐久性向上のためには必要不可欠である。本研究は主に、水セメント比、養生条件、鉛直部位および鉄筋に対する位置関係を要因としたコンクリートの細孔構造について検討し、さらに鉄筋腐食についての検討を加えることによって、コンクリートの細孔構造と耐久性の関係を把握するための基礎資料を得ようとするものである。

2. 実験概要

本研究では、細孔構造に与える水セメント比の影響を検討するために、40、50および60%の3種類の水セメント比のコンクリートを用い、また、養生条件の影響を検討するために、水中、気中および密封養生のそれぞれ3日間を養生条件の要因として設定した。コンクリートの示方配合を表1に示す。

表1 コンクリートの示方配合

W/C	スラブの範囲 (%)	空気量 (%)	σ/A (%)	最大粗骨材 寸法 (mm)	単位量 (kg/m ³)				添加剤 (g/m ³)	
					セメント	水	細骨材	粗骨材		
40	7~10	4±1	5.5	15	380	144	992	843	7050 (高性能減水剤 ^{*)})	1440 (空気量調整剤 ^{**)})
50			5.5		380	180	942	799	1800 (AE減水剤 ^{***})	
60			5.5		380	218	890	757	1440 (空気量調整剤 ^{**)})	

*) NL 1450

**) 303A

***) No. 70

注) 単位水量は水和剤を含む。食塩を混入する場合は、W/C=60%の配合に食塩を単位量33kg/m³で加える。

供試体は、細孔径分布を調べるもの(空隙シリーズ)と腐食試験に用いるもの(腐食シリーズ)の2シリーズ作製した。なお鉄筋については、図1に示すように、絶縁のために2つの鋼材の間にビニールをはさみ、エポキシ系接着剤で接合して1本の鉄筋とみなしたものをを用いた。

実験方法は、細孔径分布試験としては、材令約14日で水銀圧入法と光学顕微鏡法を用い、腐食試験としては、図2に示すように材令約42日から食塩水に浸漬した供試体に対して矩形波電流分極法を用いた。また、水銀圧入法による細孔径分布試験をコンクリートとモルタルに分けて行うことによって、粗骨材界面に存在する空隙に対する検討も行った。

3. 実験結果および考察

本研究において細孔径分布を検討する際、便宜上、細孔径(本研究では半径をさす)によって図3のようにゾーン分けする。第1ゾーンと第2ゾーンの境界は、水銀圧入法で求めた細孔径分布において空隙量が極端に小さくなる部分にあたる。第2ゾーンと第3ゾーンの境界は、圧力差の関係で気泡が存在しにくく細孔径分布が不連続になると同時に、水銀圧入法と光学顕微鏡法の測定可能範囲の境界になる部分である。ここで、それぞれの試験方法によって得られた総細孔容積中で、そのゾーンの細孔容積が占める割合を各ゾーンに対する集中率として定義する。

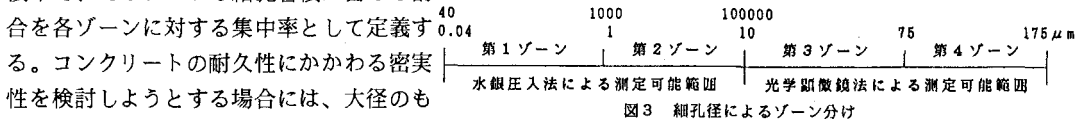


図3 細孔径によるゾーン分け

その方が強い影響をもつと考えられるので、第2あるいは第4ゾーン集中率、および総細孔容積に基づいて考察を行った。

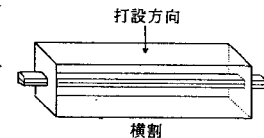
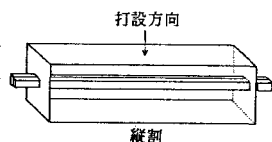
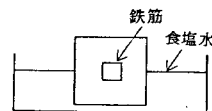
図1 鉄筋を有する
はり供試体の概略図

図2 腐食試験供試体の浸漬図

Yasushi YAMANAKA Toyoaki MIYAGAWA Susumu INOUE Kazuo KOBAYASHI Manabu FUJII

一般に養生条件としては、水中養生が好ましく気中養生は好ましくないとされている(図4)。しかし、水中養生では一般に細孔容積は小さいが、気中養生では第3、4ゾーンで水中、密封養生より小さい(図5)。これは表面中性化による CaCO_3 の沈積によって、比較的大径の部分ではかえって密実化が進んだ可能性を示唆している。

水セメント比が大きくなるにつれ空隙量は大きくなる(図6)。40%と50%の差は小さいが60%になると、生成された水和物組織の変化に加えてブリー징の影響が大きくなって粗骨材界面の欠陥も増大するため急激に空隙が増えるものと考えられる。

図7に示すように粗骨材界面集中度は負の値になっているものもあるが、これはコンクリート試料とモルタル試料の形状の違い等が原因と思われる。しかし、測定値間の相対関係についての考察は可能であると考えられる。長い鉛直部材において、上部ではブリー징によって粗骨材界面に欠陥を生じて大きな空隙量を示す。これに対して下部においても粗骨材界面の欠陥が増大するが、これは主として締固め不足によったためと考えられる。

鉄筋が配置されている場合(図8)、その周辺のコンクリートの大径の空隙量は大きくなるが、鉄筋に対する位置でその程度は異なる。鉄筋の上部では第2ゾーンの空隙量が小さくなっている。下部では鉄筋によってブリー징が妨げられるため第2ゾーンの空隙量が大きくなっている。

次に、図9に腐食試験により得られた各鉄筋の自然電位の経時変化を示す。自然電位の評価についてASTM C 876の基準を用いると、配合に塩分を含んでいるものについては、測定開始時に既に腐食が発生していると考えられる。これは塩化物イオンの作用によって、鉄筋表面に不動態被膜が生成されなかったか、あるいは生成されても破壊されたためと推定される。また、塩分を含んでいないもののうち、横割鉄筋上側および縦割鉄筋では試験終了まで腐食が発生しなかった可能性が高い。下側鉄筋については、浸透してきた食塩水によって一度、不動態被膜が破壊され腐食が発生したが、やがて鉄筋表面周辺の空隙が水で満たされ、腐食反応を律速していると考えられる酸素の供給速度が鈍り、腐食反応が抑制されるとともに、鉄筋が不動態化したものと考えられる。

水銀圧入法の結果から、鉄筋下側のコンクリートには第2ゾーンの空隙量が大きかったことから実際にも径の大きな空隙が多く存在し、腐食反応に必要な酸素および供試体を浸していた食塩水が他よりも早く到達したと考えられる。分極抵抗値の経時変化から推測される腐食速度の差は、酸素の供給速度に左右されていると考えられ、すなわち細孔径分布と深くかかわっていると考えられる。

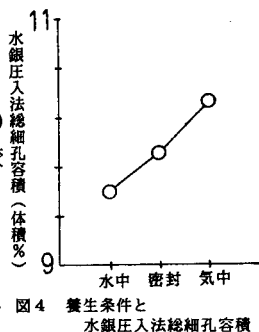


図4 養生条件と水銀圧入法総細孔容積

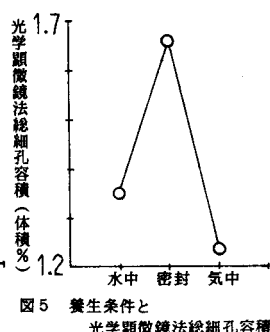


図5 養生条件と光学顕微鏡法総細孔容積

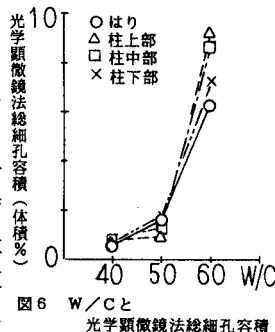


図6 W/Cと光学顕微鏡法総細孔容積

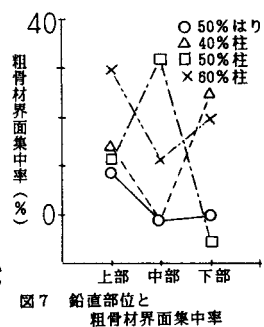


図7 鉛直部位と粗骨材界面集中度

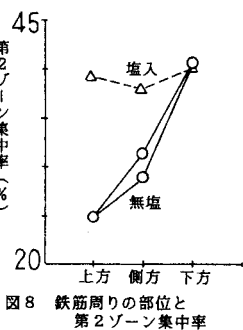


図8 鉄筋周りの部位と第2ゾーン集中度

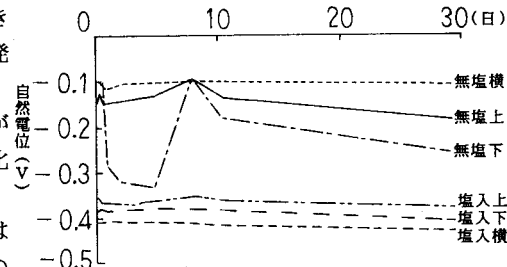


図9 自然電位の経時変化