

京都大学 学生員○新宮 康之 東洋建設(株)鳴尾研究所 正会員 松本 典人
京都大学 正会員 服部 篤史 正会員 宮川 豊章 正会員 藤井 學

1.はじめに 現在高流動コンクリートに関する研究はフレッシュ性状に関する研究に重点がおかれており、硬化後の性状に関する研究は数少ない。さらに、増粘剤系あるいは粉体系高流動コンクリートについての研究はすでに始められているが、併用系の高流動コンクリートについての報告は極めて少ないのが現状である。そこで、本研究では、細孔構造と物質透過性との関係を中心に、普通コンクリートとの比較のうえで、増粘剤系、併用系、粉体系の各種高流動コンクリートの硬化後の性状について明らかにすることを主要な目的とした。

2.実験概要

2.1 コンクリートの配合 使用材料を表1に、基本配合を表2に示す。スランブフロー $65\pm 5\text{cm}$ 、スランブ $10\pm 2\text{cm}$ 、空気量 $4.5\pm 1.5\%$ を目標値として混和剤の添加量を決定した。高流動コンクリートの種類は、増粘剤系、粉体系でそれぞれ1配合(増粘剤系、粉体系60)、併用系として高炉スラグ微粉末の使用量を変化させた2配合(併用系15、併用系30)の4種類とした。また、普通コンクリートは、通常の配合設計に基づく配合(普通)、混和剤を除いた配合が増粘剤系と全く同じ配合(増粘剤普通)、混和剤を除いた配合が粉体系60と全く同じ配合(粉体60普通)の3種類とした。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 比量:3.15 比表面積:3380 cm^2/g
高炉スラグ微粉末	比量:2.89 比表面積:5920 cm^2/g
粗骨材	兵庫県産 最大寸法:20mm 比量:2.61 F.M.5.45
細骨材	海砂 岡山県産 (配合率) 吸水率:2.06% F.M.2.65 海砂:砕砂 7:3 兵庫県産 吸水率:2.93% F.M.3.17
増粘剤	低界面活性型水溶性セルロースエーテル 2%水溶液 粘度:10,000cp
高性能AE減水剤	AE-974(特殊)ノボリチン系と有機リン系複合
AE助剤	変性アルキルカルボン酸化合物

2.2 細孔径分布の測定 コンクリートのウェットスクリーニングにより作成した $4\times 4\times 16\text{cm}$ のモルタル角柱供試体を材齢3ヶ月、6ヶ月まで標準水中養生した後、1辺1cm角の立方体に切断したものを試料とした。立方体試料1個(約3g)を1回の細孔径分布測定用試料とし、水銀圧入式ポロシメータにて測定を行った。

表2 コンクリートの示方配合

略称	W/C	W/(C+Sg)	s/a	Sg	単位量(kg/m^3)					増粘剤	SP剤	AE助剤
	%	%	%	d/m^3	W	C	Sg	S	G	W×%	(C+Sg)×%	(C+Sg)×%
増粘剤系	50	50	51.4	—	185	370	—	858	835	0.2	2.5	0.0027
併用系15	50	44.8	50.2	15	185	370	43	819	835	0.2	1.5	0.00045
併用系30	50	40.5	49.0	30	185	370	87	782	835	0.15	1.3	0.0006
粉体系60	50	34.1	46.5	60	185	370	173	705	835	—	1.2	0.006
普通	50	50	48.0	—	185	370	—	801	893	—	0.2	0.0003
増粘剤普通	50	50	51.4	—	185	370	—	858	835	—	0.3	0.0003
粉体60普通	50	34.1	46.5	60	185	370	173	705	835	—	0.6	0.0006

2.3 浸透塩分量の測定 4週間の水中養生の後、4週間の気中養生を行った $10\times 10\times 20\text{cm}$ の角柱供試体を、2側面で塩化物イオン浸透性を調べるため、それ以外の面をエポキシ樹脂でコーティングし、塩分濃度3%(Cl⁻換算)の人工海水に長軸方向に約2/3浸漬した。浸漬後1、3ヶ月経過時点で供試体表面から深さ3cmまで1cmごとに試料を採取し、塩化物イオン濃度を測定した。

2.4 塩化物腐食の非破壊推定 D10の鉄筋をかぶり2cmとして2本ずつ配筋した $10\times 10\times 40\text{cm}$ の角柱供試体2体を、2.3と同様な養生を行った後、塩分濃度3%(Cl⁻換算)の人工海水に鉄筋位置まで浸漬し、飽和塩化銀電極(Ag/AgCl)を照合電極に用いた矩形波電流分極法により、自然電位および分極抵抗(電流:10 μA 、周波数:0.1Hz、0.8Hz)の測定を行った。

2.5 中性化試験 $\phi 10\times 20\text{cm}$ の円柱供試体を平均材齢7ヶ月まで標準水中養生し、中性化槽(温度 $30\pm 2^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60\pm 5\%$ 、炭酸ガス濃度 $5\pm 0.2\%$)に1ヶ月静置した後、中性化深さを測定した。

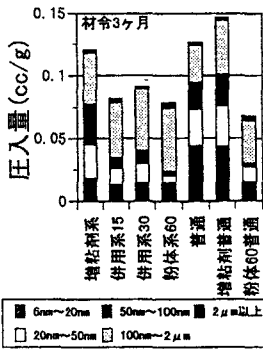


図1 単位ペースト重量当たりの細孔量分布

3.実験結果および考察

3.1 細孔径分布 配合により単位ペースト容積が異なることから、材齢3ヶ月における単位ペースト重量当たりの細孔径分布を図1に、同様に材齢3ヶ月における水結合材比と全毛細管空隙量(6nm $\sim$ 2 μm)との関係を図2に

示す。両者にはよい相関が見られる。また、高流動コンクリートの全毛細管空隙量は同一水結合材比の普通コンクリートの全毛細管空隙量と同等かそれ以下である。

3.2 浸透塩分量 浸漬3ヶ月における全塩分量の測定結果を図3に、水結合材比と拡散係数との関係を図4に示す。高流動コンクリートは普通コンクリートに比べて、表層部(0~1cm)の全塩分量は多いが、1~2cmの全塩分量は同等以下となった。高流動コンクリートの拡散係数は同一水結合材比の普通コンクリートと同等以下であった。また、いずれのコンクリートも水結合材比が小さく単位結合材量が多くなるに伴い拡散係数は小さくなる傾向を示した。

3.3 塩化物腐食の非破壊推定 鉄筋の自然電位の経時変化を図5に示す。増粘剤系が不確定領域と非腐食領域の近傍で安定しているのに対して、高炉スラグ微粉末を混入した併用系15、併用系30、粉体系60の鉄筋は人工海水浸漬直後に腐食領域に達している。高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートは水結合材比が小さく緻密であるため、腐食しにくいと予想されたが予想とは異なる結果となった。高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの鉄筋の近傍では、塩化物が存在しなくても高炉スラグ微粉末の潜在水硬性でアルカリ性が低下し、鉄筋の不動態被膜が破壊、もしくは水和の初期段階で十分な不動態被膜が形成されずに鉄筋が腐食傾向にある可能性があるものと考えられる。

3.4 中性化 水結合材比と中性化深さとの関係を図6に示す。水結合材比と中性化深さには相関が認められた。これは、水結合材比が大きくなるに伴い、細孔量が減少するためと考えられる。また、高流動コンクリートは、普通コンクリートと比べて中性化深さが同等もしくは小さくなった。

3.5 細孔構造と物質透過性の関係 材齢6ヶ月における単位ペースト重量当たりの全毛細管空隙量と浸漬3ヶ月における拡散係数、材齢7ヶ月における中性化深さとの関係を図7、図8に示す。両者には相関が認められる。

4.まとめ 高流動コンクリートは、普通コンクリートと比べて、全毛細管空隙量が総じて少なくなり、遮塩性および中性化抵抗性が大きくなった。また、塩化物イオンによる防食性に関して、増粘剤系が良好な防食性を示したが、粉体系や併用系は今後の検討が必要であると考えられた。

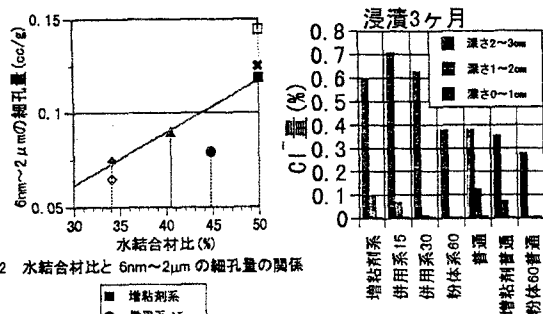


図2 水結合材比と6nm~2μmの細孔量の関係

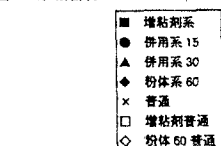


図3 各系における全塩分量

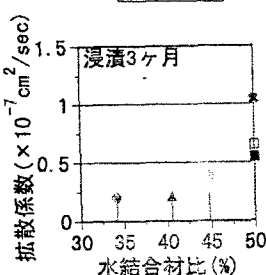


図4 水結合材比と拡散係数の関係

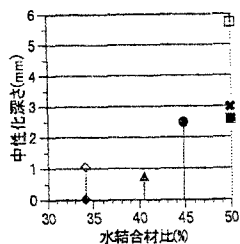


図5 自然電位の経時変化

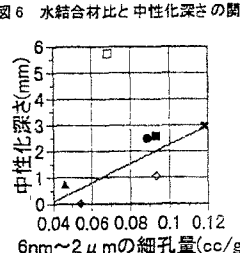


図6 水結合材比と中性化深さの関係

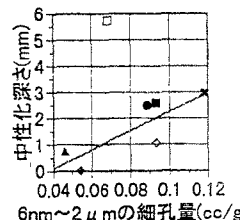


図7 6nm~2μmの細孔量と拡散係数の関係

図8 6nm~2μmの細孔量と中性化深さの関係