

高強度コンクリートの塩素イオン透過性

金沢大学工学部 学生員○三原 守弘

金沢大学工学部 正会員 鳥居 和之

金沢大学工学部 正会員 川村 満紀

1. まえがき

コンクリートの強度を増大させるには、セメントマトリックス、骨材およびセメントマトリックスと骨材の界面のそれぞれの性質をバランス良く向上させることが重要である。近年、高性能減水剤およびシリカフュームの併用により、圧縮強度で $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ を超えるような現場打ちのコンクリートを作製することが可能になっている。シリカフュームを使用した高強度コンクリートは、セメントマトリックスの組織だけではなく骨材とセメントマトリックスとの界面の組織をも大きく改善ができるので、高強度かつ高耐久性のコンクリートとしての利用が期待できる。本研究は、シリカフュームを使用した高強度コンクリートの塩素イオン透過性および細孔径分布に及ぼす配合および養生の影響について2、3の検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

使用セメントは、早強ポルトランドセメント（比重:3.11, ブレーン値: $4330\text{cm}^2/\text{g}$ ）であり、シリカフュームは表1に示すもの（比重:2.33, BET比表面積: $24.2\text{m}^2/\text{g}$ ）を使用した。骨材は、コンクリートの強度が $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ を超えることを考慮して、福井県南条産の珪石砂（比重:2.56, 吸水率:1.1%）および珪石（比重:2.64, 吸水率:0.5%, 最大寸法:20mm）を使用した。コンクリートは、高強度コンクリート（略号:H, 単位セメント量: $490\text{kg}/\text{m}^3$, $W/(C+SF)=30\%$ ）と通常の強度レベルのコンクリート（略号:L, 単位セメント量: $300\text{kg}/\text{m}^3$, $W/(C+SF)=55\%$ ）の2種類を作製し、シリカフュームの重量置換率（ $SF/(C+SF)$ ）は8%とした。コンクリートは、所定のワーカビリティが得られるように、高性能 AE 減水剤（K 社製, アニオン型特殊高分子活性剤）を使用し、その使用量を試し練りにより決定した。コンクリートの配合を表2に示す。セメントとシリカフュームとは、オムニミキサーによって事前に十分混合し、実際の練り混ぜには、強制混合ミキサー（容量 50l）を使用した。

表1 シリカフュームの成分

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Carbon
90.90	0.94	1.87	0.45	0.57	0.20	1.20

2.2 養生条件および試験方法

養生条件は、脱型後すぐに湿度 60% および 90% の屋内で 28 日間気中養生したもの（A 60%, A 90%）、脱型後 3 日、7 日および 14 日間水中養生し、28 日材令まで湿度 60% の屋内で気中養生したもの（W 3, W 7, W 14）、および水中養生を 28 日間行ったもの（W 28）の 6 種類である。測定項目は、圧縮強度、圧裂引張強度、細孔径分布（水銀圧入式ポロシメータ、凍結乾燥を行った 5mm 角程度のモルタル試料を使用）および塩素イオン透過度（急速塩素イオン透過性試験（AASHTO T-277）、円柱供試体の中央部からの 2 個の平均）である。

表2 コンクリートの配合

略号	強度 レベル	S F 置換率 (%)	水結合 材比 (%)	細骨材 率 (%)	単位量 (kg/m^3)				
					W	C	S	G	S.P.*
H0	High	0	30	40	147	490	681	1054	9.8
H8	High	8	30	40	147	490	677	1047	12.3
L0	Low	0	55	42	165	300	761	1084	-
L8	Low	8	55	42	165	300	759	1081	5.1

* S.P.:高性能 AE 減水剤

3 実験結果および考察

3.1 圧縮強度および圧裂引張強度

コンクリート（水中養生）の圧縮強度および圧裂引張強度の経時変化を図1および2に示す。L レベルおよび H レベルの両配合ともシリカフュームを使用したものはシリカフュームを使用しないものと比較して圧縮強度が $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度（90 日材令）増大しており、またシリカフュームを使用したものは長期材令における強度発現もシリカフュームを使用しないものと比べ良好であることが分かる。一方、高強度コンクリートの圧裂引張強度は強度の増加とともにやや頭打ちになる傾向があり、このためシリカフュームの添加による圧裂引張強度の増大は圧縮強度の場合ほど大きくはない。

3.2 細孔径分布

コンクリートの 28 日材令における細孔径分布を図3に示す。コンクリートの全細孔量は、 $L0 > L8 > H0 > H8$ の順番に小さくなり、水-結合材比の減少およびシリカフュームの添加がコンクリートの細孔組織の密実化に有効であることが示されている。また、養生条件の及ぼす影響は、全細孔量には明確に反映されていないが、

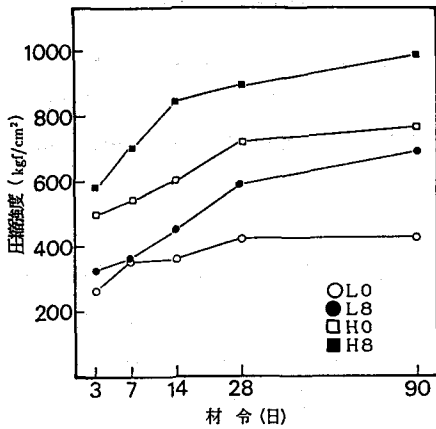


図1 圧縮強度の経時変化

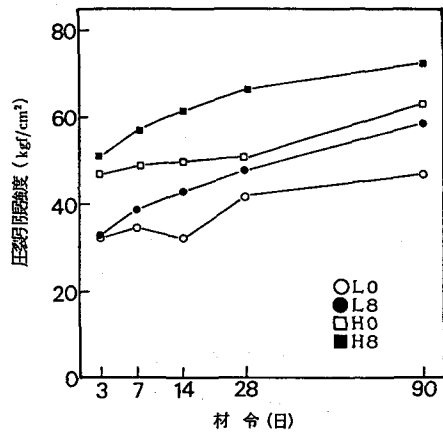


図2 圧裂引張強度の経時変化

いずれの配合のものも水中養生期間が長くなるにつれて、細孔径分布において $0.1\mu\text{m}$ 以上の細孔量が減少し、 $0.04\mu\text{m}$ 以下の微細な細孔量が増加している。このような養生条件の相違による細孔径分布の変化は、Iレベルの普通セメントコンクリートにおいてとくに顕著である。

3.3 塩素イオン透過性

コンクリートの28日材令における塩素イオン透過度を図4に示す。コンクリートの塩素イオン透過度は細孔径分布の結果と同様に養生条件の影響を受けており、養生が良好なものほど塩素イオン透過度が小さくなる傾向にある。しかし、シリカフュームを使用した高強度コンクリート(H8)は、養生条件の影響をまったく受けず、いずれの場合も300クーロン以下(この値はAASHTO T-277の基準ではVery Lowレベルに相当し、ポリマーセメントコンクリートと同等の塩素イオン透過度とされている)になる。このように、シリカフュームを使用した高強度コンクリートは、AASHTO T-277による塩素イオン透過度を大きく低減できることが判明したが、このことにはシリカフュームのポズラン反応によるセメントペーストおよびセメントペーストと骨材の界面組織の緻密化およびそれとともなうコンクリートの電気抵抗性の増大が大きく貢献しているものと思われる。

4 結論

シリカフュームを使用した高強度コンクリートは、養生条件の影響を受けにくく、塩素イオン透過度を大きく低減できることが判明した。

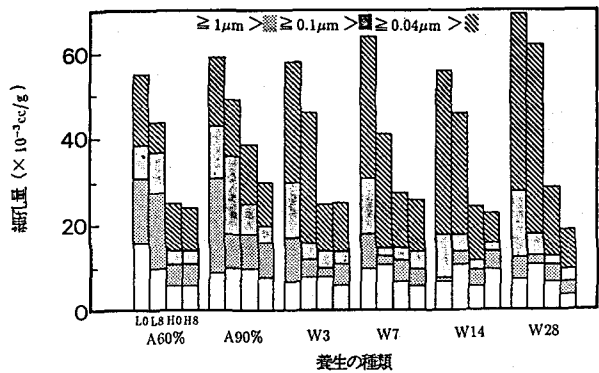


図3 細孔径分布(28日材令)

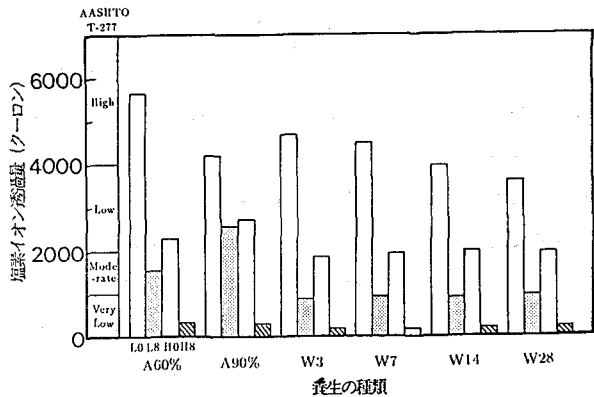


図4 塩素イオン透過度(28日材令)