

高強度軽量コンクリートの耐久性に関する実験的研究

石川島建材工業(株) 技術研究所 正会員 長谷川 聖史 正会員 伊達 重之 正会員 室賀 陽一郎

1. はじめに

従来、軽量コンクリートの用途は、ビルの外壁（カーテンウォール）などの非構造材が主流であった。一方、近年、軽量骨材に関しては強度の増加，あるいは吸水率の低下といった高付加価値品が開発されており，それに伴い道路橋床版や浮体構造物向けの構造部材への適用研究の事例が増えつつある¹⁾。そこで本研究は，高強度軽量コンクリートの耐久性改善に向けた基礎的研究として，透水性や凍結融解抵抗性に及ぼす，使用材料および配合の影響について調査した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表-1に使用材料を示す。セメントは長期強度の発現，低発熱が期待される，高ピーライトセメントおよびシリカフェュームセメントを使用した。軽量粗骨材は，国内産1種，および海外産3種の計4種類を用いて比較を行った。それぞれの軽量粗骨材の含水率に関しては，実際の施工を想定し，出荷状態そのままのものを用いた。したがって，骨材の種類によって含水状態は異なる。また，軽量細骨材の含水率は16%であった。

2.2 実験要因と割付け

実験の要因として，セメントの種類，単位粉体量（石灰石微粉末も含む），粗骨材の種類，細骨材率および石灰石微粉末の容積置換率を取り上げ，L9直交表に割りつけた。なお，割付け方法は擬水準法と組合せ法を活用した。直交表への割付け結果（実験条件）を表-2に示す。

2.3 練混ぜ

練混ぜは，60リットル2軸強制練りミキサを用いて120秒間（材料一括投入）を行った。各配合とも，練上りのスランプが $22 \pm 2\text{cm}$ となるように，混和剤添加量を適宜調整した。

2.4 試験項目

2.4.1 透水試験

コンクリートの水密性を評価するため透水試験を行った。透水試験の概念図を図-1に示す。

なお，評価対象であるコンクリートの透水性は，普通コンクリートのそれよりも大幅に小さい。よって，水密性はインプット法（加圧条件： 3.0N/mm^2 - 48h）による「拡散係数」で評価した。

2.4.2 凍結融解試験

相対動弾性係数による耐久性指数で評価した。実験条件はASTM C-666（水中凍結 - 水中融解）に準拠した。

キーワード：高強度軽量コンクリート，水密性，凍結融解抵抗性

連絡先：〒252-1121 神奈川県綾瀬市小園720番地 TEL：0467-77-8554 FAX：0467-77-4314

表-1 使用材料

材料	種類	略号	備考
セメント	ピーライトセメント	BLC	
	シリカフェュームセメント	SFC	SF10%プレミックス
混和材	石灰石微粉末	LP	2500 cm^2/g 品
人工軽量粗骨材	中国産品	CN	含水率10.4%，24h吸水率5.2%
	米産品1	A1	含水率14%，24h吸水率18.2%
	米産品2	A2	含水率8.4%，24h吸水率3.5%
	国産品	JP	含水率27.3%，24h吸水率9.9%
細骨材	国産軽量細骨材	LWS	含水率16%
混和剤	ポリカルボン酸系	Ad	

表-2 実験要因の割付け

	セメントの種類	細骨材率 (%)	単位粉体量 (kg/m^3)	石灰石粉置換率 (%)	W/P (%)
L1	BLC	46	500	0	28
L2	BLC	51	530	0	30
L3	BLC	46	560	0	32
L4	SFC	46	530	0	28
L5	SFC	46	560	0	30
L6	SFC	51	500	0	32
L7	BLC	51	560	30	28
L8	BLC	46	500	30	30
L9	BLC	46	530	30	32

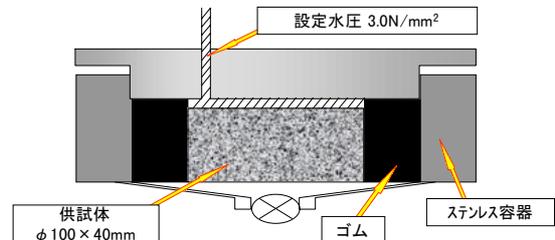


図-1 透水試験器概念図

表-3 実験結果

	JP		CN	A1		A2	AVE.	
	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)	(2)	(3)	(4)
L1	3	0	4	29	4	3	2.5	53.4
L2	3	0	12	15	3	3	2.5	59.0
L3	10	0	14	9	3	8	3.2	61.5
L4	2	4	101	4	24	69	5.5	58.7
L5	2	14	98	4	26	40	5.6	55.4
L6	1	4	102	11	35	90	5.0	56.1
L7	8	0	3	9	0	2	2.2	56.1
L8	2	0	0	33	0	2	2.8	51.1
L9	1	0	2	25	0	2	2.0	52.4
AVE.	4	2	37	15	11	24	3.5	56.0

①: 透水試験による拡散係数 ($\times 10^{-3}\text{cm}^2/\text{sec}$)

②: 耐久性指数(300サイクル)

③: 空気量(%)

④: 91日圧縮強度(N/mm^2)

(各項目の測定データは2回の平均値)

3. 試験結果および考察

試験結果を表 - 3 に示す。

3.1 透水試験結果

拡散係数と配合要因の関係（国産品および米国産 1 を用いた供試体のみを対象）について、分散分析の結果および有意と判定された配合要因の効果を表 - 4 および図 - 2 にそれぞれ示す。拡散係数は、ペーストの部分が大きく影響することが確認され、シリカフュームの添加による組織の緻密化およびペースト分の増加による透水経路の減少の効果が確認された。一方、細骨材率の増加に伴う拡散係数の低下は、比較的空隙を多く含む粗骨材の減少によるものと推定される。

拡散係数に及ぼす使用骨材の影響を図 - 3 に示す。国産品（JP）と米国産品（A1）の飽和吸水率（1 時間煮沸吸水により推定）は、それぞれ 29% と 26% と国産品の方が若干高かったが、図 - 3 のように、今回の結果では拡散係数は使用骨材の飽和吸水率よりも、24h 吸水率、つまり初期の吸水に大きく影響する結果となった。

3.2 凍結融解試験結果

耐久性指数と配合要因の関係について、分散分析の結果および有意と判定された配合要因の効果を表 - 5 および図 - 4 にそれぞれ示す。セメントの種類のみが“有意”となり、図に示すように高ピーライトセメントのみの場合と比較して、シリカフュームの効果により凍結融解抵抗性が大幅（約 10 倍）に改善されることが判明した。これは前項で述べた組織の緻密化による水密性の向上、また表 - 3 の結果のように空気量が大きいことが寄与しているものと考えられる。

粗骨材別のデータを図 - 5 にまとめた。この図のように、使用時の含水率の増加に伴い耐久性指数が低下する傾向にある。特に、含水率が 10% を超えるものは耐久性指数の大幅な低下が見られた。凍結融解抵抗性を求められる実工事への適用の際は、この点について更なる検討を要する。

4. まとめ

高強度軽量コンクリートの透水性や凍結融解抵抗性に及ぼす使用材料および配合の影響を主体に実験した結果、以下の知見が得られた。

- 1) シリカフュームセメントと高ピーライトセメントを比較した場合、水密性および凍結融解抵抗性のいずれについても前者が大きく上回った。
- 2) 拡散係数に及ぼす使用骨材の影響は、飽和吸水率よりも初期の吸水率（24h 吸水率）の方が大きかった。

<参考文献>

- 1) Düring, H. S., et al.: Potentials in the Use of Low Density / High Performance Concrete, 4th Int. Symposium on Utilization of High-strength / High-performance concrete, Paris, pp.1261-1270, 1996

表-4 拡散係数の分析結果

要因	変動	自由度	分散	分散比	判定	寄与率
セメントの種類	2.79	1	2.79	79.8	**	59%
単位粉体量	1.18	2	0.59	16.9	**	24%
細骨材率	0.23	1	0.23	6.5	*	4%
誤差	0.46	13	0.04	0		13%

**：危険率1%で有意 *：危険率5%で有意

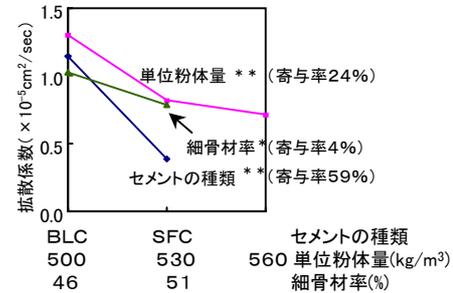


図-2 拡散係数に及ぼす配合要因の影響

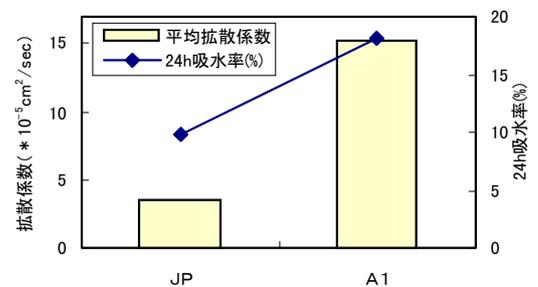


図-3 骨材種別の吸水率と拡散係数

表-5 耐久性指数の分析結果

要因	変動	自由度	分散	分散比	判定	寄与率
セメントの種類	20571	1	20571	74.85	**	81%
誤差	4397	16	275	0		19%

**：危険率1%で有意 *：危険率5%で有意

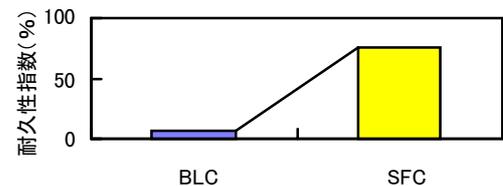


図-4 耐久性指数とセメントの種類

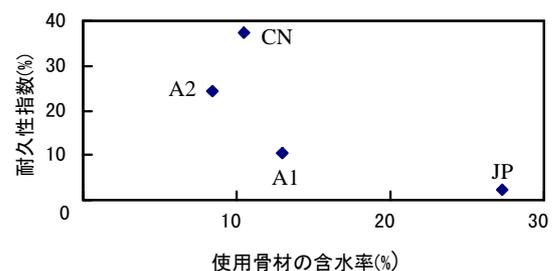


図-5 耐久性指数と使用骨材含水率の関係