超高強度コンクリート用セメントを用いたポーラスコンクリートの基礎的性能

香春鉱業株式会社　正会員　○早川　隆之
太平洋セメント株式会社　正会員　梶尾　聡
太平洋セメント株式会社　牧　隆輝

1. はじめに

ポーラスコンクリート(以下, POC)は, 内部に大きな連続空隙を有するという構造的特徴から, 透水・緑化等の新しい機能を付加できる環境配慮型および生物共生型のコンクリートとして数多くの研究が行われている. しかしながら, 大きな空隙の存在は強度性能の低下につながるため, POC において高強度化を図るにはペースト部の強度を高め、結合状態を最適化し, 空隙の連続性を保持することが重要とされている. 即ち, ペーストは低水セメント比域においても適切に流動化され, 玉井ら[例えば1)]の提唱する Funicular の第一領域を確保することが条件とされる. ペーストの諸性能は主として結合材料の特性に支配されるが, 近年, 水セメント比が 15%以下での配合条件においても良好な流動性を得ることが可能なシリカフュームプレミックスセメント(以下, SFPC)[2)]が開発され, 設計基準強度 100N/mm² を超える超高強度コンクリートが実用化に至っている. そこで, 本報では SFPC を結合材とした水セメント比 13%の POC を作製し, 基礎的性能である強度ならびに透水性能について実験的に検討を行った.

2. 実験概要

2.1 使用材料

使用材料を表 1 に示す. 粗骨材は, 斑れい岩(Gk), 硬質砂岩(Gs)の 2 種類について評価した.

表 1　使用材料

材料	名称	記号	密度 (g/cm³)	産地・製造等
セメント	SFPC	C	3.07	シリカフュームプレミックスセメント
骨材	細骨材	S	2.62	静岡県菊川市産山砂(実積率 67.1%)
	粗骨材 (砕石 6 号)	Gk	2.76	福岡県北九州市産(実積率 57.1%)
		Gs	2.65	茨城県桜川市産(実積率 59.1%)
混和剤	高性能減水剤	SP	－	ポリカルボン酸エーテル系化合物

2.2 コンクリート配合および空隙率測定方法

コンクリート配合を表 2 に示す. 本試験における配合は, 使用材料の物理特性と設計空隙率 Vv_d(%)から各材料の単位量を計算する POC の配合設計方法[3)]に基づいて行った. 配合条件である Km はモルタル粗骨材空隙比を, Kp はペースト細骨材空隙比を表す. POC の練混ぜは強制練りミキサを用いて行った. 細骨材およびセメントを投入し、30 秒間の空練りの後, 水を投入して 8 分間練り混ぜ, 粗骨材を投入し 90 秒間練り混ぜた. POC の空隙率の測定方法は, φ10×20cm 鋼製型枠に試料質量 Wtp(2.6kg)を投入し, その上に 4kg の錘を載せて, 振動台で 60 秒間振動を加え, その後, 試料の高さおよび直径を測定し, POC のかさ体積 Vtp(m³)を求め, 配合から空気が全く無いものとして計算した POC の理論単位体積質量 Tc (kg/m³)を用いて式 1 によりコンクリート 1m³ に対する空隙率の実験値 Vv_t(%)を求めた.

$$Vv_t = \left(1 - \frac{Wtp}{Vtp \times Tc}\right) \times 100 \quad \cdots \text{式 1}$$

表 2　コンクリート配合

W/C (%)	骨材種	Kp	Km	Vvd (%)	単位量(kg/m³) W	C	S	G	Vvt (%)
13.0	Gk	7.0	0.40	30.3	35.5	274	95	1479	31.8
			0.65	23.2	55.6	428	149	1424	22.9
			0.75	20.5	63.3	487	169	1403	19.4
			0.85	17.9	70.6	544	189	1383	15.2
			0.95	15.4	77.9	599	208	1363	11.4
	Gs	7.0	0.40	28.9	34.1	262	91	1477	32.0
			0.65	22.0	53.5	411	143	1426	23.4
			0.75	19.4	60.8	468	163	1406	17.5
			0.95	14.4	75.0	577	201	1369	12.1
	S	7.0	∞	0.0	221	1699	591	－	3.8

※)SP はモルタルフローが 160±10mmとなる添加率を選定し全水準 C×0.9%とした。

表 3　試験項目および試験方法

試験項目	目標性能 空隙率 15～20%	目標性能 空隙率 20～25%	試験方法
圧縮強度	－	18N/mm²以上	JIS A 1108 : 2006
曲げ強度	4.5N/mm²以上	3.0N/mm²以上	JIS A 1106 : 2006
透水係数	0.01cm/s 以上：透水性舗装		JCI-SPO3

ここで求められる POC の空隙率は, 同等な振動エネルギーを与えた際の POC の残存空隙率を示す.

2.3 試験項目および試験方法

強度性能の評価として圧縮強度および曲げ強度を確認した. 供試体は, 打設から 48 時間後に脱型し, 強度試験を行う所定の材齢(7 日, 28 日)まで水中養生(20℃)を行った. また, 透水性能については JCI-SPO3「ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)」に準じて試験を行い, 透水係数を求めた. 試験項目および試験方法を表 3 に示す.

キーワード:超高強度コンクリート, ポーラスコンクリート, シリカフュームプレミックスセメント, 強度, 透水
連絡先　〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2, TEL:043-498-3852, FAX:043-498-3809

3. 試験結果および考察

3.1 空隙率と圧縮強度の関係

Gk を用いた POC の空隙量と圧縮強度の関係を図 1 に示す. 湯浅ら[4]は, Ryshkewich と Duckworth によって提案された脆性多孔材料の空隙率と強度に関する指数関数式(式 2)を用いることで POC の圧縮強度と空隙率の関係が表現できる可能性を示している. SFPC を用いた POC においてもその関係は同式により近似曲線にて表現できることが確認された. また, Gs を用いた場合も同様であった.

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-bVv) \qquad \cdots \text{式 2}$$

ここに, σ:多孔体の圧縮強度(N/mm²), σ_0:空隙率が 0 の時の圧縮強度(N/mm²), Vv:空隙率(%), b:実験定数.

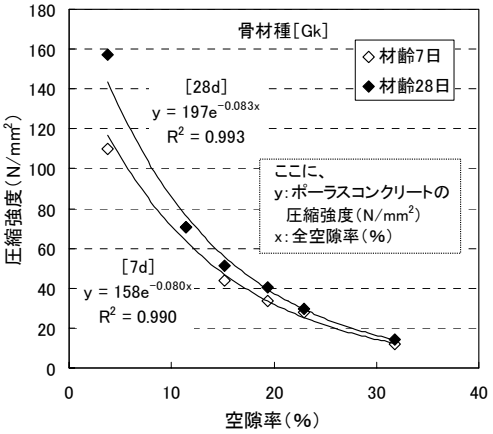

図 1 空隙率と圧縮強度の関係

3.2 圧縮強度と曲げ強度の関係

圧縮強度と曲げ強度の関係を図 2 に示す. 圧縮強度 3～13N/mm² である POC の圧縮強度に対する曲げ強度の比率は 1/3～1/6 という報告[5]があるが, SFPC を用いた圧縮強度 18～70N/mm² である高強度域の POC では 1/4～1/7 とやや小さくなった. また, 圧縮強度と曲げ強度の関係は土木学会式と同様の累乗関数によって示すことができた.

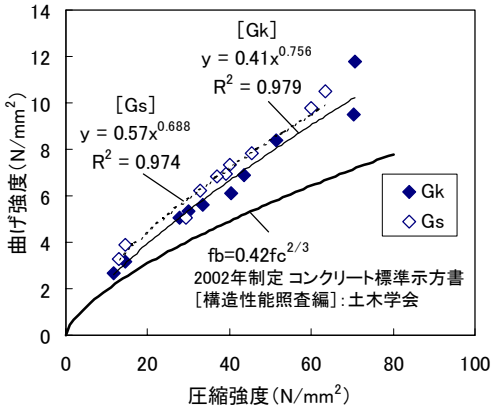

図 2 圧縮強度と曲げ強度の関係

3.3 空隙率－強度－透水係数の関係

空隙率－強度－透水係数の関係を図 3 に示す. 緑化を目的とした POC の空隙率は 20%以上が望ましく, また, 積みブロック等へ利用する際には普通コンクリートの呼び強度 18 以上が要求されるが, SFPC を用いた POC は, 空隙率 20～25%(透水係数:0.20～0.50cm/s)において, 圧縮強度は 25～40N/mm² であり, 目標の 18N/mm² を十分に満足した. 一方, 同空隙率の範囲における曲げ強度は 5.0～6.0N/mm² であり, セメントコンクリート舗装における設計基準曲げ強度 4.5N/mm² を満足した. 透水係数 1.00cm/s では約 20N/mm² の圧縮強度と 4.0～5.0N/mm² の曲げ強度が得られることが明らかとなった. また, Gs を用いた水準は Gk と比較し空隙率 20～30%で曲げ強度がやや高い傾向を示した.

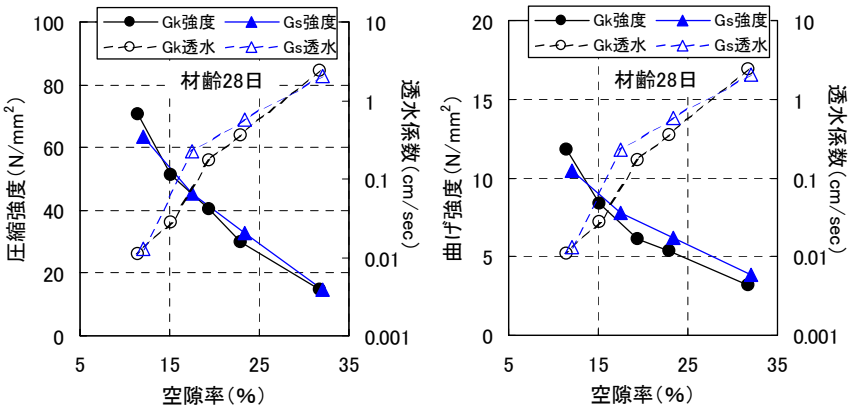

図 3 空隙率－強度－透水係数の関係

4. まとめ

シリカフュームプレミックスセメントを用いた POC の強度および透水性能に関し, 以下の知見が得られた.

(1)空隙率と圧縮強度との関係は脆性多孔材料の空隙率と強度に関する指数関数式により近似できた.

(2)圧縮強度に対する曲げ強度の比率は 1/4～1/7 であり, その関係は累乗関数で近似できた.

(3)透水係数 0.01cm/s(空隙率 11～12%)における圧縮強度は 60～70N/mm², 曲げ強度は 10～12N/mm² であり, 透水係数 1cm/s における圧縮強度は約 20N/mm², 曲げ強度は 4.0～5.0N/mm² であった.

本結果より, 結合材として SFPC を用いることでより基本性能に優れる POC が得られる可能性が高いことが判った.

【参考文献】

1)玉井元治:“連続空隙を有する固化体の透水性”. セメント技術年報, 42, p591-594(1988)

2)橋本ほか:“シリカフュームプレミックスセメントを用いた超高強度コンクリートの基本特性”. 日本建築学会大会講演梗概集 p49-50(2006)

3)梶尾聡ほか:“所要の空隙量を有するポーラスコンクリートの配合設計に関する研究”. 土木学会論文集 E Vol.64 No.1, p16-28, 2008.1

4)湯浅幸久ほか:“多自然型河川づくりに関する研究”. 三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告 No.26(2002)

5)Abderrazak ZOUAGHI ほか:“ポーラスコンクリートの骨材粒形および配合が透水性および強度に及ぼす影響”. セメント・コンクリート論文集 No.51, p882-887(1997)