

資源循環型高強度・高耐久コンクリートの開発と評価

湯浅 昇（建築工学科）

1. はじめに

本研究は、資源循環型社会の構築に向けて、高強度・高耐久コンクリート造の開発と評価に取り組んでいる。硬質砂岩砕石は、硬度が極めて高く、 $150\text{N}/\text{mm}^2$ 超級超高強度コンクリート用骨材として期待されているが、その物性および、コンクリートに適用したときに付加されるコンクリートの性能が明らかにされておらず、積極的な利用の妨げになっている。また超高強度コンクリートの開発にあたり、コンクリートの強度を高めるためには、水セメント比、実際には水結合材比(以下 W/B と記す)を小さくする必要がある。一般的に、低水セメント比域で水セメント比を小さくすることやコンクリートの単位水量を減らすことは、粘性を高めてしまうため打ち込みが困難になる。そこで、高性能 AE 減水剤や結合材で改善する必要がある。

そこで本研究では、硬質砂岩砕石を用いて超高強度コンクリートを製造し、ワーカビリティ、強度特性、耐久性等を検討すると同時に、産地の異なる骨材や結合材の違い、養生の違いによって、フレッシュコンクリートの性状や圧縮強度にどの程度の差が生じるかを低水セメント比域で比較・検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び調合

コンクリートの使用材料を表 1 に示す。使用骨材は、高強度化が期待できる大井川産砕石(川砂利)、飯淵産砕石(弱いホルンフェルス化した硬質砂岩)、大泉産砕

石(石灰岩)及び新潟産砕石(硬質砂岩)の 4 種類を使用した。結合材は、A 社製普通ポルトランドセメント、B 社製低熱ポルトランドセメント、A 社製シリカフェームプレミックスセメント、B 社製シリカフェームプレミックスセメント及び C 社製シリカフェームを使用した。化学混和剤は、ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤(SSP-104)を使用した。

コンクリートの調合表及び試験結果を表 2 に示す。調合では、単位水量を $155\text{kg}/\text{m}^3$ 及び $185\text{kg}/\text{m}^3$ とし、W/B の単位水量ごとに各材料の質量を同一とした。また、A 社製普通ポルトランドセメント及び B 社製低熱ポルトランドセメントを使用する場合には、シリカフェームを 10%または 15%混合した。

2.2 コンクリート圧縮強度用試験体の作製

コンクリートの練混ぜ方法について、W/B=25%及び W/B=20%は、全ての材料を投入し、コンクリートを練った。W/B=16%及び W/B=13%は、同様の方法で全ての材料を投入してからコンクリートを練ると、コンクリートが硬く、ミキサの歯がスムーズに回転しない。そのため、粗骨材を除いた材料をミキサに投入し練混ぜ、粘性が出たところで、粗骨材を

表 1 使用材料

材 料	種 類・品 質
結合材	A社製普通ポルトランドセメント($3.16\text{g}/\text{cm}^3$) C社製シリカフェーム($2.2\text{g}/\text{cm}^3$)
	B社製低熱ポルトランドセメント($3.21\text{g}/\text{cm}^3$)
	A社製シリカフェームプレミックスセメント($3.03\text{g}/\text{cm}^3$)
	B社製シリカフェームプレミックスセメント($3.06\text{g}/\text{cm}^3$)
細骨材	大井川産(川砂) 表乾密度 $2.63\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率1.45%
	飯淵産(硬質砂岩) 表乾密度 $2.62\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率1.46%
	大泉産(石灰岩) 表乾密度 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率1.01%
	新潟産(硬質砂岩) 表乾密度 $2.63\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率2.06%
粗骨材	大井川産(川砂) 表乾密度 $2.64\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率0.95%
	飯淵産(硬質砂岩) 表乾密度 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率0.55%
	大泉産(石灰岩) 表乾密度 $2.71\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率0.57%
	新潟産(硬質砂岩) 表乾密度 $2.71\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率0.72%
混和剤	ポリカルボン酸エーテル系高性能減水剤(SSP-104)

表2 コンクリートの調合表及び試験結果

骨材の産地	調合表							フレッシュコンクリート試験結果				圧縮強度試験結果					
	W/B (%)	シリカフューム (%)	単位量 (kg/m ³)				SSP-104 (g)	スランブ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)					
			単位水量	セメント	シリカフューム	細骨材						粗骨材	材齢3日	材齢7日	材齢28日	材齢28日(水中)	
大井川産 飯淵産 大泉産 新潟産	25	10	155	558 ^{※1}	62	581	1043	8680	※5	79.2×70.2	3.5	19.4	66.8	74.0	86.3	86.0	
									※5	70.8×67.4	4.0	19.1	66.8	76.5	91.5	88.3	
									※5	61.8×61.6	3.0	19.4	67.2	77.2	89.4	85.1	
									※5	76.9×64.7	4.9	19.4	47.3	56.8	68.9	70.3	
大井川産 飯淵産 大泉産 新潟産	20	※2			775		676		7130	21.0	84.0×59.1	3.8	19.1	51.0	74.9	102.7	107.7
									※5	60.4×58.8	6.3	21.0	56.9	78.3	116.5	121.9	
									※5	75.4×71.8	7.0	20.5	58.3	77.5	98.7	103.0	
									※5	74.2×71.3	6.9	21.0	55.6	72.7	108.0	117.6	
大井川産 飯淵産 大泉産 新潟産	16	10			872 ^{※1}	97	513		44574	23.2	39.2×36.3	2.0	26.1	89.8	100.9	117.7	-
										22.0	30.0×27.8	1.7	26.1	86.4	109.6	122.5	-
										23.2	46.5×37.2	2.0	25.6	83.9	97.8	95.8	-
										※5	61.7×56.1	1.3	24.1	94.4	107.4	125.2	-
大井川産 飯淵産 大泉産 新潟産	16	※2		969		513	837	66861	※5	69.8×68.9	2.1	21.5	48.2	72.5	114.7	111.1	
									※5	73.0×71.0	2.4	21.5	47.6	76.6	121.2	117.3	
									※5	70.9×68.8	3.0	21.2	47.8	68.5	99.7	99.0	
									※5	70.7×65.9	2.8	22.0	47.5	72.6	115.6	115.5	
大井川産 飯淵産 大泉産	13	※2		1192		328		109664	25.0	45.8×45.4	3.1	20.5	45.5	67.3	93.2	87.3	
									24.3	41.5×39.8	3.1	22.5	51.0	74.4	105.9	99.6	
									23.8	40.7×40.0	3.6	23.5	49.7	66.2	93.8	90.7	
									※5	43.4×40.6	2.5	23.2	52.5	74.7	103.9	99.7	
									30.0	20.0×20.0	※5	28.2	64.5	57.0	78.5	-	
新潟産		10		1073 ^{※1}	119				※5	55.7×56.0	1.3	22.9	43.3	71.0	105.1	-	
		※3		1192					23.7	35.1×34.8	3.2	25.0	47.5	68.5	103.7	-	
		10	185	1281 ^{※4}	142	249	638	114552	23.2	35.8×35.9	4.6	24.0	42.2	68.6	114.8	-	
		15		1210 ^{※4}	213												

※1 A社普通ポルトランドセメントを使用 ※2 A社シリカフュームプレミックスセメントを使用 ※3 B社シリカフュームプレミックスセメントを使用
 ※4 B社低熱ポルトランドセメントを使用 ※5 測定不能であったもの

投入するという順序でコンクリートを作製した。

圧縮試験に供するコンクリートは、φ100×200mmの円柱供試体とした。コンクリート打込み後の養生方法は、20°Cの封かん養生と材齢3日目で試験体を脱型し、20°Cの水中養生を行う2種類とした。

2.3 試験項目

フレッシュコンクリートの試験は、スランブ試験、フロー試験、空気量試験及びコンクリート温度測定を行った。硬化後の圧縮強度試験は、材齢3日、7日及び28日に行い、W/B=13%のA社製普通ポルトランドセメント及びA社製シリカフュームプレミックスセメントを使用したコンクリートは、水中養生の圧縮強度試験を材齢28日のみ行った。

3. 結果及び考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状

W/B=13%のセメント別フロー値を図1に示す。A社製普通ポルトランドセメント、B社製低熱ポルト

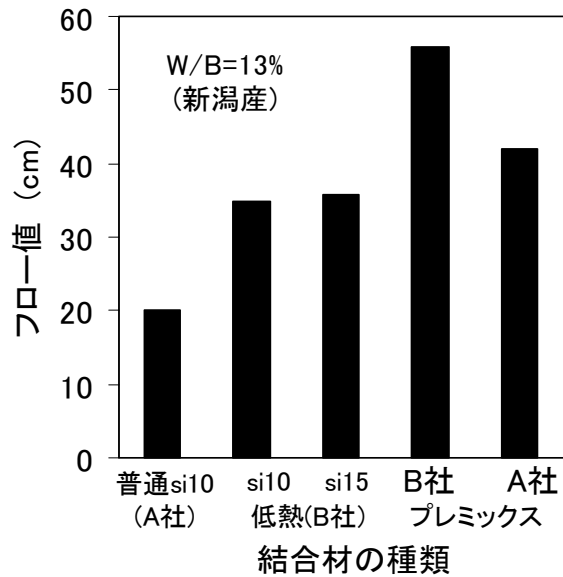


図1 セメント別フロー値

ランドセメント、A社製シリカフュームプレミックスセメント及びB社製シリカフュームプレミックスセメントのフロー値を比較した結果、B社製シリカフュームプレミックスセメントが最も大きな値を示した。

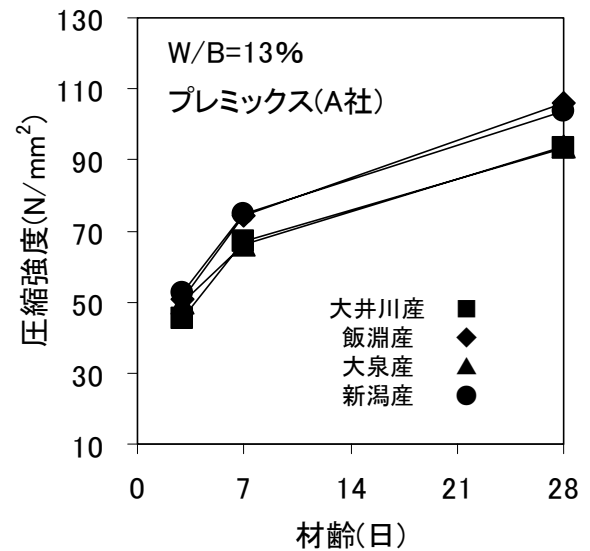
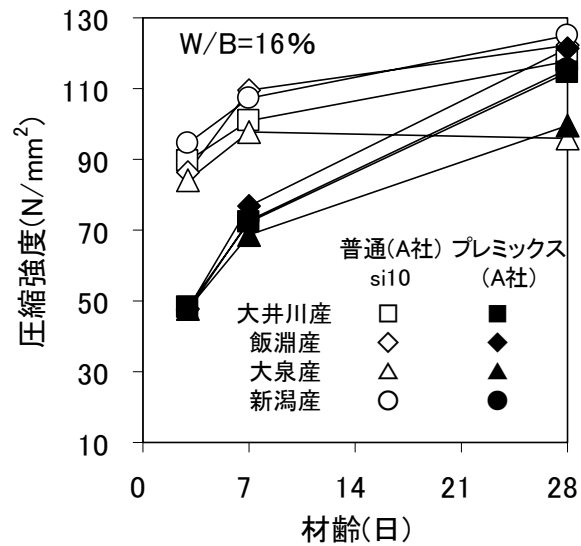
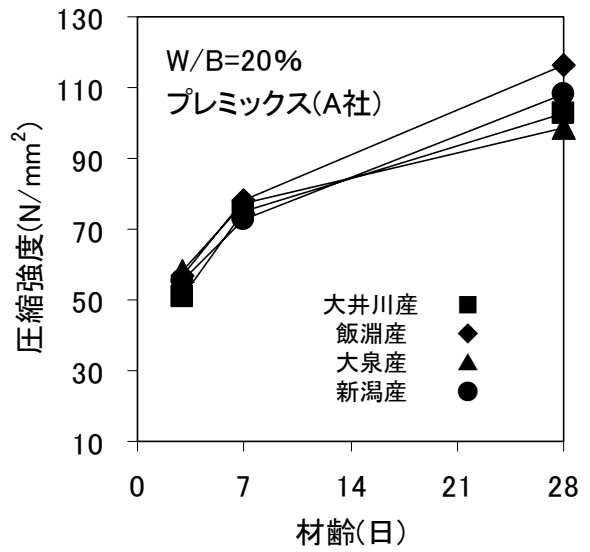
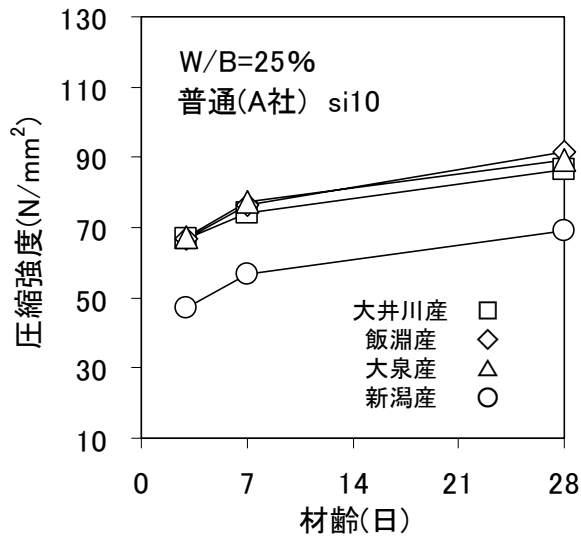


図2 材齢と圧縮強度の関係

なお、W/B=13%のA社製普通ポルトランドセメントを使ったコンクリートは、練り上がり時のコンクリートが非常に固かった。

3.2 圧縮強度の検討

(1) 骨材の影響

図2は水結合材比ごとに材齢と圧縮強度の関係を示したものである。飯淵産及び新潟産の硬質砂岩を用いたコンクリート圧縮強度は、W/B=25%の新潟産が低いことを除けば、各材齢及び各水結合材比で大きな値を示した。これは飯淵産岩石の平均圧縮強度が3700kg/cm²以上と硬いためである。大泉産の石灰岩は、他の3種類の骨材と比較すると圧縮強度が小

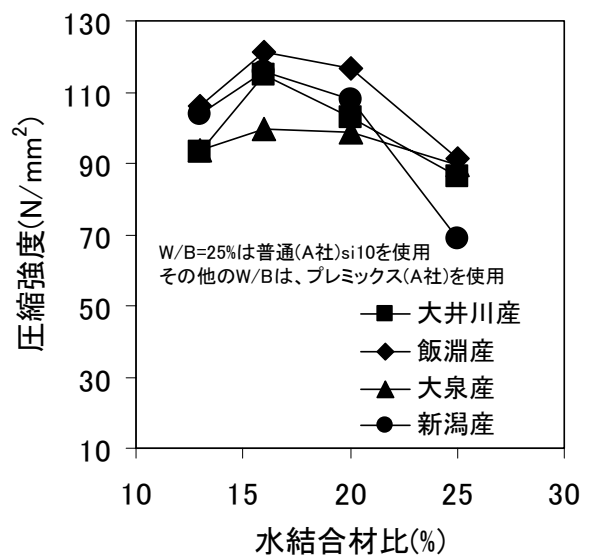


図3 水結合材比と圧縮強度の関係 (材齢28日)

さい値を示した。これは大泉産岩石の平均圧縮強度は1300kg/cm²程度と飯淵産より弱いためである。

(2) 水結合材比の影響

W/Bと圧縮強度の関係を図3に示す。W/Bが低くなるほど圧縮強度が大きくなる傾向があるが、W/B=13%はW/B=16%よりも小さくなった。これは、結合材の反応に必要な水が不足したためと考えられる。本実験の範囲では、W/B=16%で極大値を示した。

(3) 結合材の影響

セメント及び結合材の影響を図4に示す。低熱ポルトランドセメントにシリカフューム混合のもの及びシリカフュームプレミックスセメントは、普通ポルトランドセメントに10%シリカフューム混合したものより、材齢7日から材齢28日にかけて強度が大きくなる傾向を示した。これは、ピーライト(C₂S)が多く含まれているためである。

なお、低熱セメント15%シリカフュームを混合したものは、10%混合したものよりも材齢3日では強度は小さいが28日までの伸びは大きい。

(4) 水中養生の効果

図5は、A社製シリカフュームプレミックスセメントを使用したW/C=13%について、封かん養生した場合と水中養生した場合の強度(材齢28日)を比較したものである。封かん養生と水中養生を比較すると、W/B=16%及びW/B=13%では、水中養生をしても効果が得られなかった。

4. まとめ

産地の異なる骨材の使用及び結合材の相違によって、超高強度コンクリートの性状及び強度を検討した結果を以下に示す。

- 1) 練り上がり性状は、普通ポルトランドセメントを使用したよりもシリカフュームプレミックスセメントを使用したほうが良好であった。
- 2) 飯淵産及び新潟産硬質砂岩を用いたコンクリートの圧縮強度は高く、超高強度コンクリート用骨材と

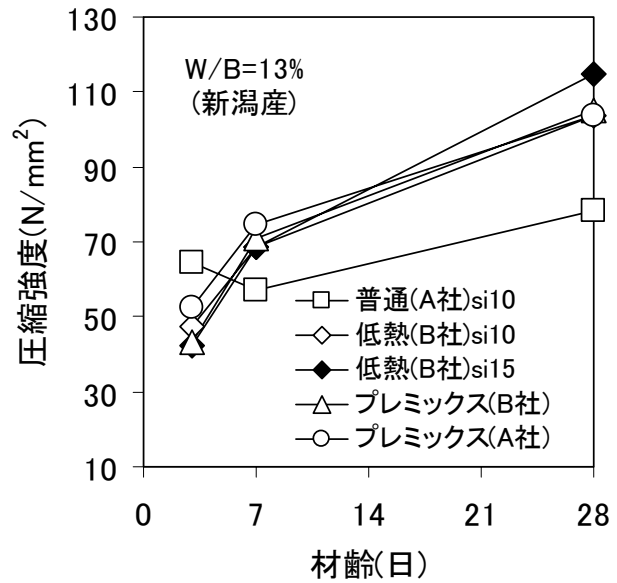


図4 セメント及び結合材の影響

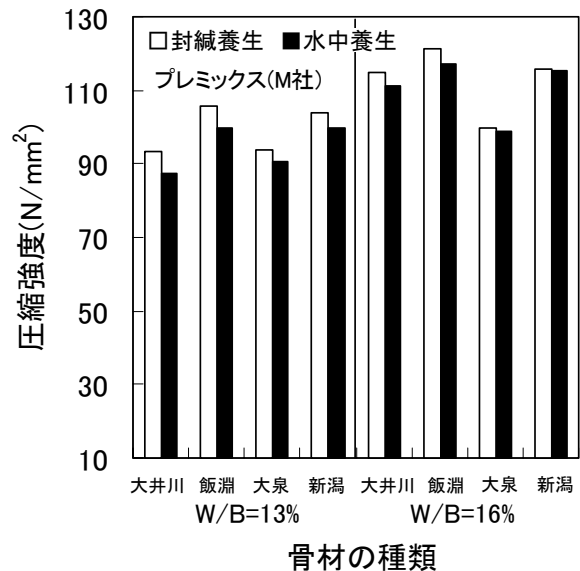


図5 養生の影響

して適している。

- 3) 実験の範囲では、W/B=16%で製造したコンクリートが圧縮強度の極大値を示した。

4) 低熱ポルトランドセメントにシリカフューム混合のもの及びシリカフュームプレミックスセメントは、普通ポルトランドセメントに10%シリカフューム混合したものより、材齢7日から材齢28日にかけて強度が大きくなる。

- 5) W/B=16%及びW/B=13%のコンクリート強度において、水中養生による強度増進がみられなかった。