

各種混和材を用いたコンクリートの強度発現に及ぼす養生温度の影響

(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 〇吉田 行 正会員 田口 史雄
北海道大学大学院工学研究科 正会員 名和 豊春
日鐵セメント株式会社 正会員 渡辺 宏

1. はじめに

プレストレストコンクリート (PC) 構造物は曲げひび割れの防止が可能であり、一般的な鉄筋コンクリート構造物に比べて耐久性は高いと言えるが、近年、PC 構造物においても塩害等による劣化が顕在化しており、対策が必要な状況にある。その対策として、混和材の利用は有効と考えられるが、その種類や置換率により強度発現が異なり、特に積雪寒冷地では低温の影響を受けるため、初期の強度発現が重要な PC 構造物への適用性について検討する必要がある。このため、本研究では、各種混和材を用いたコンクリートの強度発現性状に及ぼす養生温度の影響について検討した。

2. 使用材料および配合

表-1 に使用材料を示す。ベースセメントは、PC で一般的な早強ポルトランドセメントを用いた。混和材にはそれぞれの JIS 規格値を満足する、比表面積 6000 クラスの高炉スラグ微粉末 (以下スラグと記述)、フライアッシュ II 種 (以下フライアッシュと記述)、シリカフュームを用いた。高性能 AE 減水剤は、結合材の分散性に応じて 2 種類使い、空気量を調節するため消泡剤と AE 助剤を併用した。コンクリートの配合を表-2 に示す。水結合材比 (W/B) は、一般的な PC の水セメント比がプレキャストを含めると 35~45% 程度であることから、35, 40, 45% の 3 水準とした。各混和材の置換はセメントの内割りとし、置換率は、コンクリートの強度発現および耐久性への影響を考慮して、スラグおよびフライアッシュに関しては混合セメント B 種相当置換率の上限値とし、それぞれ 60% および 20% とした。また、シリカフュームの置換率は国内外での使用実績が多い 10% とした。目標スランブは、W/B=35% では施工性も考慮して 18±2.5cm に、その他の W/B では土木構造物で一般的な 8±2.5cm とした。また目標空気量はいずれのケースでも 4.5±1% とした。

3. 実験概要

圧縮強度試験は JIS A 1108 に準拠して行った。供試体の養生は、作製後 1 日湿気養生を行い、翌日脱型の後、所定の材齢まで水中養生した。養生温度は 5℃ と 20℃ の 2 水準とした。試験は、20℃ 養生した供試体は材齢 1, 3, 7, 28, 91 日の 5 材齢で、5℃ 養生の供試体は材齢 3 日以降の 4 材齢とした。

4. 各コンクリートの圧縮強度発現性状

図-1 に圧縮強度と材齢の関係を示す。なお、凡例の記号は表-2 のセメントの種類、混和材の種類およびその置換率を順に組み合わせたものである。20℃ 養生の場合、結合材の違いによる強度発現の傾向は、いずれの W/B においても同様の傾向がみられ、スラグを用いた HPS6(60) は、材齢 1 日の強度が全配合中最も小さかったが、その後の強度の増加が大きく、材齢 3 日以降はフライアッシュを用いた HPFII(20) より、材齢 28 日以降は早強セメ

表-1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント(HP) 4770 [※] , 密度 3.15 g/cm ³
混和材	高炉スラグ微粉末(BS) 6020 [※] , 密度 2.89 g/cm ³ フライアッシュ II 種(FII) 3710 [※] , 密度 2.11 g/cm ³ シリカフューム(SF) 130000 [※] , 密度 2.20 g/cm ³
細骨材	登別産陸砂 表乾密度 2.70g/cm ³ , 吸水率 1.50%
粗骨材	白老産碎石 表乾密度 2.68g/cm ³ , 吸水率 1.91%
高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系
AE 助剤	ロジン系
消泡剤	ポリエーテル系

※比表面積 (cm²/g)

表-2 配合

セメントの種類	混和材の種類	置換率 (%)	W/B (%)	空気量 (%)	S P の種類	S P 添加量 (B×%)	s/a (%)	コンクリート単位量 (kg/m ³)							
								W	B		S	G	SP	AE助剤 (B×%)	消泡剤 (B×%)
									C	Ad.					
HP	—	—	35	4.5	A	0.65	45	135	386	—	845	1029	2.51	0.0050	0.0015
	S6	60			A	0.60		128	132	197	768	1039	2.20	0.0075	0.0015
	SF	10			B	0.70		138	319	36	748	1013	2.76	0.0100	0.0075
	FII	20			A	0.60		131	270	67	760	1029	2.24	0.0080	0.0015
	—	—	40		A	0.65	135	304	—	794	1032	2.20	0.0040	0.0015	
	S6	60			A	0.60	124	112	167	810	1052	1.86	0.0030	0.0015	
	SF	10			B	0.70	136	275	31	787	1023	2.38	0.0050	0.0075	
	FII	20			A	0.60	126	227	57	805	1046	1.89	0.0080	0.0015	
	—	—	45		A	0.60	135	270	—	825	1030	1.80	0.0040	0.0015	
	S6	60			A	0.55	129	103	155	831	1037	1.58	0.0035	0.0015	
	SF	10			B	0.70	131	236	26	828	1034	2.04	0.0090	0.0075	
	FII	20			A	0.60	130	208	52	827	1033	1.73	0.0080	0.0015	

B:結晶材<セメントC+混和材Ad>、SP:高性能AE減水剤(分散性:A<B)

B: 結合材 (セメントC+混和材Ad.), SP: 高性能AE減水剤 (分散性) A<B)

キーワード 混和材, 強度発現, 養生温度, 積算温度

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-3 4 寒地土木研究所 耐寒材料チーム TEL: 011-841-1719

ント単味の HP よりも強度は大きくなった。シリカフェームを用いた HPSF(10)は材齢初期および長期の圧縮強度が最も大きく、早強セメント単味の HP と同程度以上となった。HPFII(20)は、材齢1日ではHPS6(60)を上回ったものの、その後の強度および増加の程度が小さく、最も強度は小さかった。一方、5℃養生の場合、HPS6(60)は養生温度の影響を大きく受け、材齢7日までの強度発現は全配合中最も小さく、その後強度が増加し材齢28日以降HPFII(20)と同程度以上となったが、HPよりも強度は小さかった。HPSF(10)はHPとほぼ同程度だった。HPFII(20)は全体に強度は低かったが、材齢の進行に伴う強度の増加は20℃養生よりも大きい傾向がみられた。

5. 圧縮強度に及ぼす養生温度の影響

図-2に5℃養生と20℃養生の圧縮強度比を示す。いずれの結合材においても、材齢7日までの圧縮強度は5℃養生の方が小さかったが、HPやHPFII(20)は材齢28日以降、W/B=40%以下の場合に20℃養生と同程度か逆に上回るケースがみられた。これに対して、HPSF(10)やHPS6(60)は、いずれの材齢およびW/Bにおいても5℃養生の方が20℃養生よりも圧縮強度は小さく、HPSF(10)は材齢初期の低下割合が比較的小さく、材齢7日以降は8~9割程度とほぼ一定だったが、HPS6(60)は強度の低下割合が最も大きく、養生温度の影響が最も大きかった。これは、今回検討したスラグの配合が、耐久性の向上を重視して置換率を60%と高めたことと、スラグの持つ温度依存性の影響が複合したためと考えられる。

図-3に積算温度と圧縮強度の関係を示す。積算温度は一般的に用いられている以下の式で算出した。

$$M = \sum (\theta + A) \Delta t \quad (1)$$

ここに、 M : 積算温度 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{D} \cdot \text{D}$)、 θ : 時間 Δt におけるコンクリート温度、 A : 定数 (一般に 10°C)

図から、HPとHPFII(20)の同一積算温度における圧縮強度は、強度レベルは異なるものの同様の傾向がみられ、積算温度が小さい場合には5℃養生の方が20℃養生より小さいが、積算温度が増加すると5℃養生の方が強度は大きくなる傾向を示した。HPS6(60)はいずれのW/Bでも、5℃養生の方が20℃養生より同一積算温度における圧縮強度は小さく、積算温度が同程度でも強度は回復しなかった。HPSF(10)は、5℃養生の方が20℃養生よりも若干小さかったが、全体としてはほぼ同程度で推移し、養生温度の影響が比較的小さかった。このように、養生温度が強度発現に及ぼす影響は結合材の種類により異なることが明らかとなった。

6. まとめ

結合材の種類により強度発現に及ぼす養生温度の影響は異なることが明らかとなり、積雪寒冷地等では、これらを考慮して結合材の種類やW/Bを選定することにより、強度の面からはPCへの適用は十分可能と思われる。

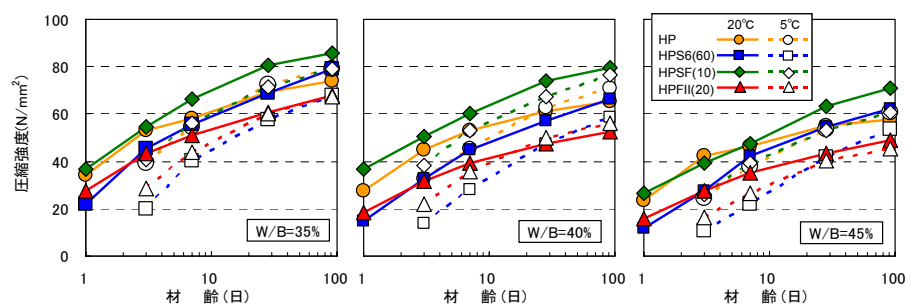


図-1 圧縮強度と材齢の関係

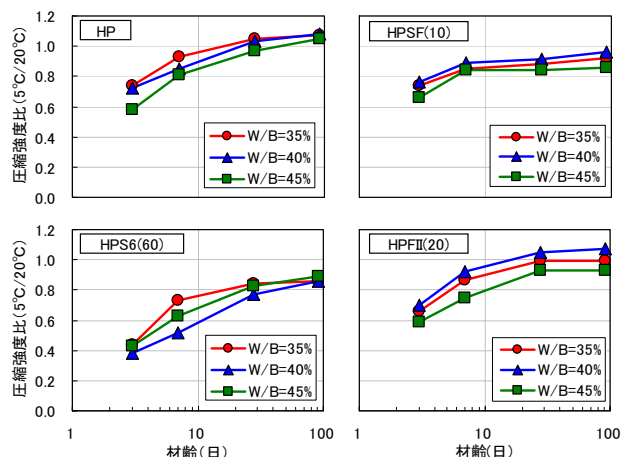


図-2 圧縮強度比 (5℃/20℃)

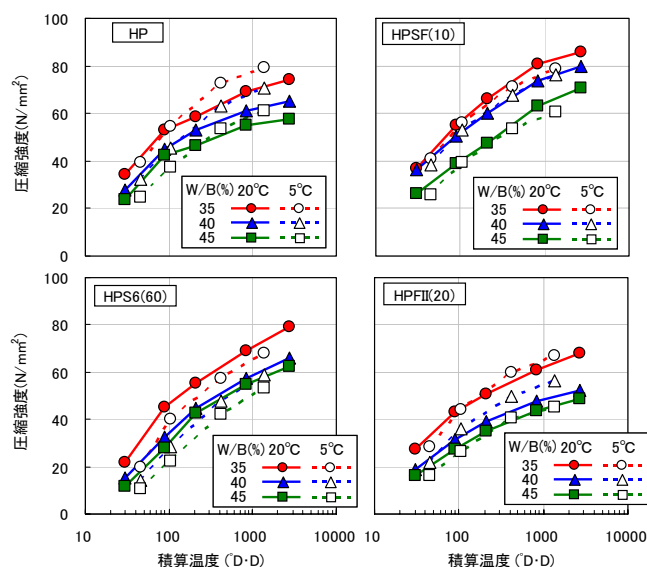


図-3 積算温度と圧縮強度の関係