

低温環境下における混和材を用いたコンクリートの強度特性

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○鬼頭 直希 佐々木 敦司 鎌田 卓司
 ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社 正会員 牛田 智也

1. はじめに

ポルトランドセメントの一部を高炉スラグもしくはフライアッシュ等の混和材で置換したコンクリートは、二酸化炭素排出量の軽減やアルカリシリカ反応抑制策として期待されている。しかし、混和材を用いたコンクリートは、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと比べ、初期の強度発現が低下する。特に、コンクリート温度が 10℃よりも低い環境下では、その傾向は増加する¹⁾。

本稿では、各種混合セメントを用いたコンクリート試験体を製作し、養生温度および水結合材比の違いによる強度発現特性を把握し、プレストレストコンクリート（以下、PC）構造物へ適用するための標準的な配合条件について検討した。

2. 実験概要

表 - 1 に試験体の諸元および配合を示す。結合材は、PC 構造物のレディーミクストコンクリートに一般的に使用されている早強ポルトランドセメント（以下、H）を基本とし、高炉セメント B 種（以下、BB）、早強ポルトランドセメントの 50%を高炉スラグ微粉末 6000 で置換したもの（以下、HB）、早強ポルトランドセメントの 20%をフライアッシュ II 種で置換したもの（以下、HF）の 4 種類とした。

基本ケースである H の配合は、PC 構造物に多く用

いられる設計基準強度 $f_{ck}=40N/mm^2$ を想定し、水結合材比 W/B を 43%とした。BB, HB および HF の W/B は、若材齢において H と同程度の強度発現が得られる配合の設定を目的として、30%, 33%, 38%とした。なお、BB における $W/B=38%$ は、中性化から定まる設計かぶり 40mm 以下とする際の上限值である。

低温環境下における養生方法として、雰囲気温度を 5~10℃とし、5℃を下回らないことを条件とした。供試体は、製作完了直後から雰囲気温度 5~10℃の恒温室内に存置し、材齢 3 日まで湿潤養生、材齢 3 日で脱型した後は気中養生とした。低温環境下との相对比较として、標準水中養生および温度 20℃湿度 60%の恒温恒湿内の養生条件の試験も実施した。

3. 実験結果および考察

雰囲気温度 5~10℃に使用した試験体のスランプおよび空気量を表 - 1 に示す。スランプの目標値は、 $W/B=38\sim43%$ では 12~15cm 程度、 $W/B=33%$ では 15~18cm 程度、 $W/B=30%$ では 18~21cm 程度、空気量の目標値は $4.5\pm 1.0\%$ とした。 W/B が小さくなるほど、スランプを大きく設定しているが、BB および HB は材料の特性上、粘性が非常に高い状態となるため、施工性を考慮し、目標とするスランプより大きく設定した。なお、フレッシュ試験の結果より、 $W/B=30%$ の各種混合セメントは、特に粘性が高く、コ

表-1 試験体の諸元および配合

CASE	名称	混和剤の置換率 (%)	水結合材比 W/B (%)	養生温度		粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
				5~10℃ 気中	20℃気中 標準水中					水W	結合材B					細骨材 S	粗骨材 G
											計	H	BB	BFS	FA		
1	H43	0	43	○	○	25	12.0	3.8	45.9	150	349	349	-	-	-	853	1020
2	BB38	(40-50)	38	○	○	25	13.5	4.3	44.4	150	395	-	395	-	-	805	1020
3	BB33		33	○	○	25	18.0	3.5	43.6	150	455	-	455	-	-	767	1006
4	BB30		30	○	-	25	22.0	4.4	43.1	150	500	-	500	-	-	740	993
5	HB38		38	○	-	25	14.5	3.7	44.3	150	395	197	-	198	-	799	1020
6	HB33	50	33	○	○	25	19.5	3.9	43.3	150	455	227	-	228	-	759	1006
7	HB30		30	○	-	25	21.0	3.6	42.8	150	500	250	-	250	-	731	993
8	HF38	20	38	○	-	25	13.5	5.5	43.9	150	395	316	-	-	79	788	1020
9	HF33		33	○	○	25	17.5	4.5	43	150	455	364	-	-	91	748	1006
10	HF30		30	○	-	25	19.0	3.6	42.3	150	500	400	-	-	100	719	993

H：早強ポルトランドセメント、BB 高炉セメント B 種、BFS：高炉スラグ微粉末 6000、FA：フライアッシュ II 種

キーワード 低温環境下、混合セメント、水結合材比、PC 構造物
 連絡先 〒450-6101 名古屋市中村区名駅 1-1-4 JR セントラルタワーズ
 東海旅客鉄道株式会社 建設工事部 TEL 052-564-1724

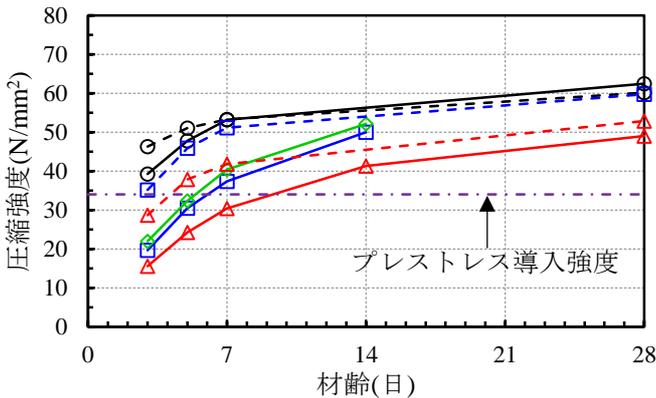
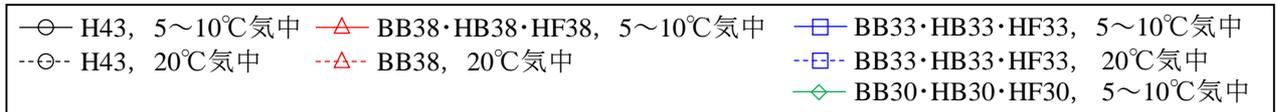


図-1 材齢と圧縮強度の関係 (HとBB)

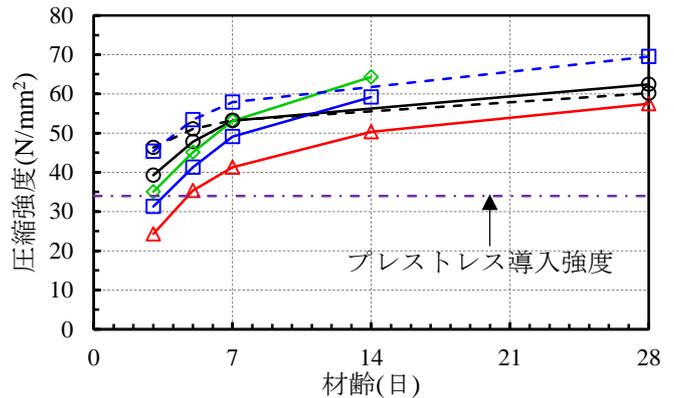


図-2 材齢と圧縮強度の関係 (HとHB)

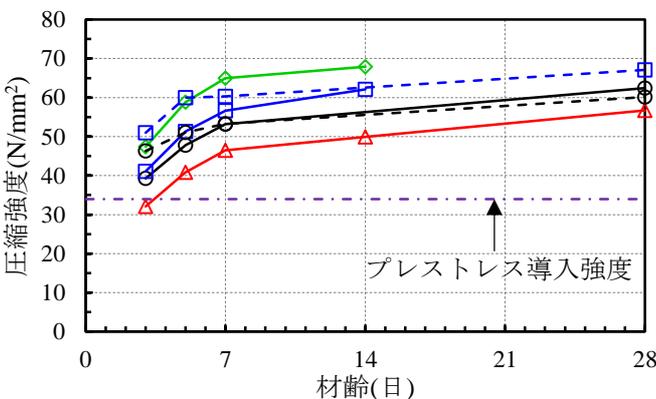


図-3 材齢と圧縮強度の関係 (HとHF)

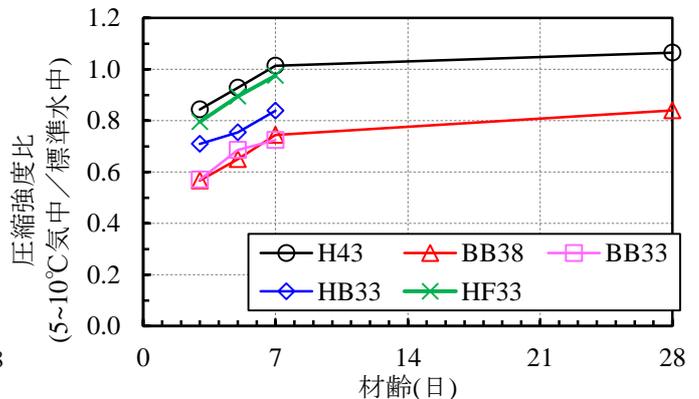


図-4 標準水中養生と低温環境下の圧縮強度比

ンクリートを現場打ちする実構造物への適用は非現実的であることが判明した。

図-1～図-3 に、圧縮強度試験結果を示す。低温環境下における養生条件では、若材齢における早強セメントを用いた試験体(H43)と比べ、BBはW/B=30%としても強度発現が小さい結果であった。一方、HBのW/B=30%およびHFのW/B=33%の強度発現は、H43と概ね同程度であった。一般的に、PC構造物は、設計基準強度 f_{ck} の85% ($f_{ck}=40\text{N/mm}^2$ の場合、 34N/mm^2) でプレストレスを導入する設計であるが、現場では工期、工費の観点から、より早い段階でプレストレスの導入のニーズがある。現実的な配合であるW/B=33%の設計基準強度の85%に至る養生期間は、BBで7日、HBで5日、HFでH43と同様3日程度必要となる。

一方、養生方法を20°Cの気中養生とした場合には、各種混合セメントのW/Bを33%とすることで、H43と同程度の強度が発現している。BB33の材齢5日までの強度発現は、H43に比べやや下回るものの、プレストレス導入における養生期間は、H43と同様に

材齢3日で対応可能であることがわかる。

標準水中養生の圧縮強度に対する低温環境下の圧縮強度の比を図-4に示す。若材齢における圧縮強度比が小さい順に、BB(W/B=33%, 38%), HB, HF, Hとなっており、BBにおける圧縮強度比は、材齢3日で0.6程度と最も小さい。すなわち、高炉セメントもしくは高炉スラグ微粉末は、養生温度による影響が大きいことが明らかとなった。

4. まとめ

低温環境下における各種混合セメントを用いたコンクリートの圧縮強度試験を実施した。その結果、W/Bを30%程度まで小さくした高炉セメントを除く各種混合セメントは、早強セメント単体と同程度の強度発現の特性を有するが、粘性が非常に高く、実構造物に対しては非現実的である。また、高炉セメントは特に温度の影響を受けやすく、実構造物への適用にあたっては養生期間に留意する必要がある。

参考文献

1)低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書,国立研究開発法人土木研究所,2016