

加圧流動床灰を主結合材としたコンクリートの蒸気養生時における強度発現性

(株) エネルギア・エコ・マテリア 正会員 ○福本 直
中国電力株式会社 正会員 岩田 数典
呉工業高等専門学校 正会員 堀口 至
ランデス株式会社 正会員 Paweena Jariyathitipong

1. はじめに

加圧流動床方式の石炭火力発電所から排出される加圧流動床灰（PFBC灰）は、従来のフライアッシュと比較し、CaO，SO₃が多く自硬性を有している。この特徴を活かし、現在、加圧流動床灰を主結合材としたセメントを使用しないコンクリート（以下PFBC灰硬化体）の開発研究を行っており、これまでの研究¹⁾では、結合材として高炉スラグ微粉末を併用し、単位水量 175kg/m³，水結合材比 30%，スラグ置換率 30%の配合で、60～80℃の高温水中養生を行うことにより、1週強度が 35～40N/mm²になることを確認している。本稿は、PFBC灰硬化体のコンクリート二次製品への適用を目指し、同硬化体の蒸気養生時における強度発現性を把握することを目的とした。

2. 配合および蒸気養生方法

コンクリートの配合を表－1に示す。結合材は PFBC 灰と高炉スラグ微粉末 4000 で、水結合材比は 30%，高炉スラグ微粉末は PFBC 灰の質量に対し 30%置換とした。流し込み配合はスランブフローが 65±5cm，即時脱型配合はスランブが 0cm となるように、高性能減水剤を用いて、調整した。なお、流し込み配合については、比較用として水セメント比 45%，スランブ 8cm の普通コンクリートを作製した。

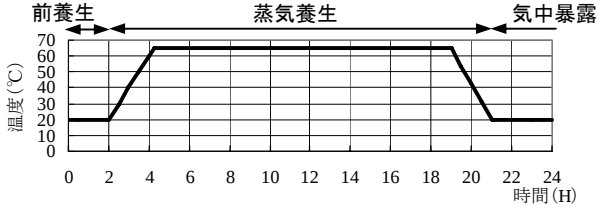
蒸気養生方法を表－2に示す。上昇温度（20℃/H），最高温度（65℃）は、「土木学会制定のコンクリート標準示方書」に準拠した。また、前養生条件は温度 20℃，湿度 90%以上の湿潤養生とし、前養生時間および蒸気養生時間の違いによる強度発現性について検討を行った。なお、蒸気養生は、コンクリート二次製品の製造方法に合わせるため、モールド（φ100×200mm）を取り付けた状態で行い、蒸気養生完了後に脱型し、気中暴露する条件とした。

表－1 コンクリート配合

配合名	水結合材比 W/B (%)	スラグ置換率 BF/B (%)	単位量(kg/m ³)						添加量 (B×%)
			水 W	PFBC 灰 P	高炉スラグ微粉末 BF	川砂 S	高炉スラグ細骨材 BS	砕石 G	高性能減水剤 SP
流込-PFBC 灰硬化体	30	30	175	408	175	686	—	873	1.35
即脱-PFBC 灰硬化体			90	210	90	751	346	844	1.50
流込-普通硬化体	45	—	162	C=217, BB=143		758	—	1095	0.5

注) 結合材(B)=PFBC 灰(P)+高炉スラグ微粉末(BF)，C：普通ポルトランドセメント，BB：高炉セメント B 種

表－2 蒸気養生方法

配合名	前養生時間 (H)	蒸気養生時間 (H)	温度履歴図
流込-PFBC 灰硬化体	2	19	凡例：前養生 2H，蒸気養生 19H 
	2	28	
	4	24	
	24	24	
即脱-PFBC 灰硬化体	0	21	
	4	24	
	24	24	
流込-普通硬化体	2	19	

キーワード：加圧流動床灰，コンクリート二次製品，蒸気養生

連絡先：〒730-0042 広島市中区国泰寺 1-3-32 (株)エネルギア・エコ・マテリア TEL:0823-523-3510

3. 試験結果および考察

流し込み配合における強度試験結果を図-1に示す。なお、図-1には、表-1と同配合のPFBC灰硬化体で、7日間の高温水中養生（前養生時間24Hで脱型後、上昇温度を20℃/H、その後60℃の水中養生）を行った強度試験結果を併せて示す。

図-1より初期強度発現性は、前養生時間を長く取ることにより良くなり、前養生が24Hの場合、7日強度は28N/mm²程度となることが確認できる。これは、結合材の中で70%を占めるPFBC灰の自硬性（CaO及びSO₃を含有しており、水和反応によりCa(OH)₂、エトリンガイト等を生成する）が、初期材齢で十分な湿潤養生（前養生時間を十分確保）をすることで発揮されるとともに、生成されたCa(OH)₂が高炉スラグを刺激（潜在水硬性）することで、スラグの水和反応が促進されたものと考えられる。

高温水中養生の場合は、蒸気養生に比べて、前養生24H以降も水が十分供給されていることから、水和が進行し強度発現性が向上したものと考えられる。

同一養生条件における普通コンクリートの圧縮強度に対する各材齢の強度比（PFBC灰硬化体/普通硬化体）を図-2に示す。強度比は、脱型時で0.75程度であるが、材齢経過に伴う強度増加は小さく、同じ前養生条件で蒸気養生時間を延長させても強度発現の改善効果は小さいこと、蒸気養生後におけるPFBC灰硬化体の材齢経過に伴う強度増加は養生条件に関係なく極めて小さいことが確認できる。これは、PFBC灰はセメントと比較してCaO量が少ないこと、蒸気養生後は気中暴露であり、水分が十分供給される条件でないことが主要因と考えられる。

即脱配合における養生条件と強度発現性の比較を図-3に示す。流し込み配合と同様、前養生を長く取ることにより、初期の強度発現性は良くなるが、材齢経過に伴う強度増加は小さい。なお、前養生が24Hの場合、7日強度は20N/mm²程度となることが確認できる。

4. まとめ

本検討により、PFBC灰硬化体は、前養生時間を長く取り、水和反応がある程度進行した時点から蒸気養生をおこなうことにより、強度発現性が改善されることが確認できた。前養生を24Hとした場合の7日強度は、流し込み配合で28N/mm²程度、即脱配合で20N/mm²程度の強度発現性があり、排水溝やブロック等の製品に適用できることを確認した。今後は、蒸気養生を行ったPFBC灰硬化体の耐久性を把握する予定である。

(参考文献)

- 堀口至, 市坪誠, 田中雅章: PFBC灰を結合材として用いた硬化体の圧縮強度および耐硫酸性, セメント・コンクリート論文集, No.61, pp.572-578, 2007]

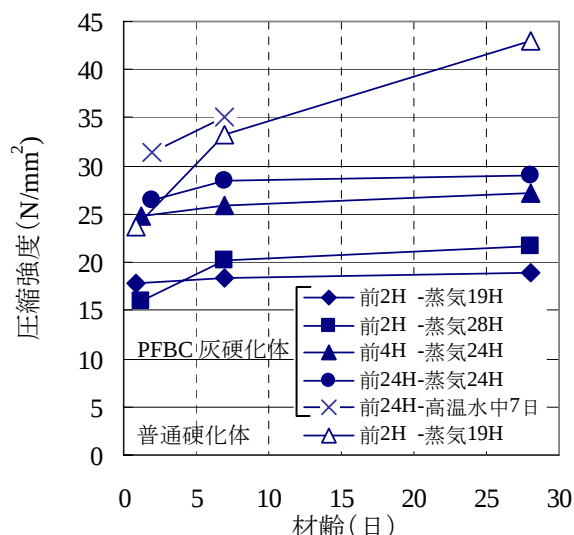


図-1 養生条件と強度発現性の比較（流込）

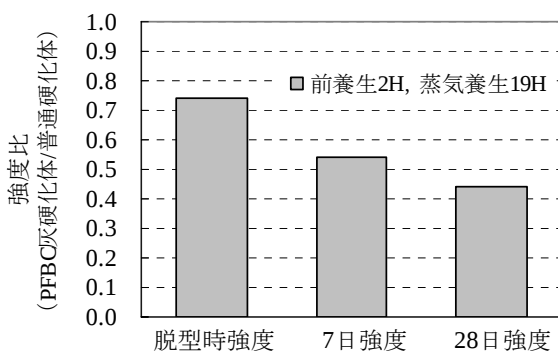


図-2 同養生条件における普通との強度比較

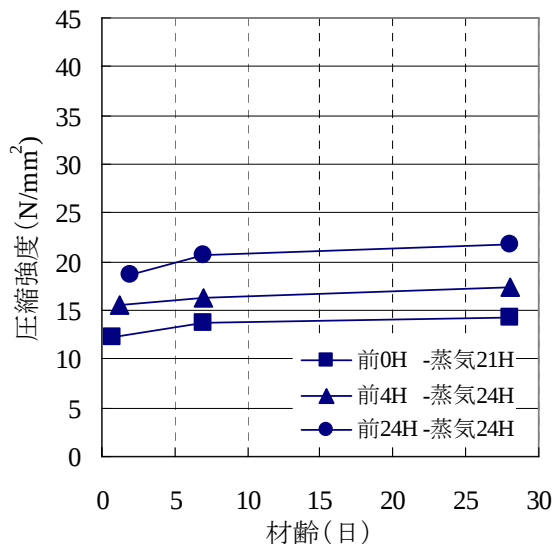


図-3 養生条件と強度発現性の比較（即脱）