

高温履歴を受けたコンクリートの強度低下の抑制に関する一考察

大林組技術研究所 正会員 ○浦野 知子
 大林組技術研究所 正会員 近松 竜一
 大林組技術研究所 フェロー 入矢桂史郎

1. はじめに

一般にコンクリートが火災などで高温履歴を受けた場合、圧縮強度や弾性係数などの力学的特性が低下する。特に加熱温度が 400°C を超えるとその低下が著しくなるといわれている¹⁾。また、これらの原因として、高温下でのセメント硬化体と骨材の収縮挙動の違いやセメント水和物のうち水酸化カルシウム（以下、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と記す）の脱水に伴う化学変化により水和組織の強度が低下する²⁾、などが考えられる。

そこで、本報告ではこの高温履歴を受けた場合の強度低下に関与しているとされる $\text{Ca}(\text{OH})_2$ に着目し、高炉スラグ微粉末やシリカフェームを混和材として用い $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の生成量を抑制したコンクリート（以下、CH フリーコンクリートと呼称する）を作製し、高温履歴を与えた場合の圧縮強度の低減抑制効果について実験的に検討した。

2. 実験概要

高温履歴を与えた各種コンクリート試験体の配合を表1に示す。普通ポルトランドセメントを用いた試験体A、普通ポルトランドセメントにシリカフェームと高炉スラグ微粉末を混和した試験体B、混和材としてシリカフェームと石灰石微粉末を用いた試験体Cを作製した。

これらの試験体には、加熱時に発生するコンクリート中の自由水の水蒸気圧による爆裂を防止するためにポリ

プロピレン繊維を混入した。特に CH フリーコンクリート試験体（B、C）では繊維混入量を変化させ、加熱時にポリプロピレン繊維の熔融により形成される空隙量が圧縮強度に及ぼす影響についても調べた。

試験体は $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱で、材齢 24 時間で脱型後、材齢 28 日まで 20°C 水中養生し加熱履歴を与えた。

試験体の加熱はマッフル炉を使用した。試験体に与えた加熱履歴を図1に示す。加熱速度は 200°C/h とし、600°C で 120 分間保持した後、徐々に温度を降下させて常温になった時点で圧縮強度試験を行った。

また、加熱前後の試料を対象として X 線回折を測定した。測定に際しては試験体から採取したモルタルをめのう乳鉢で粉碎し、90 μm のふるいを通過した微粉末を測定試料とした。

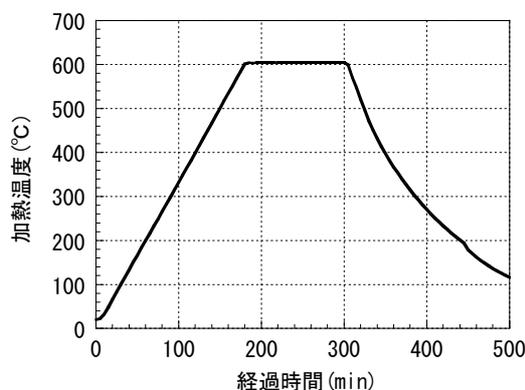


図1 コンクリート試験体に与えた加熱履歴

表1 高温履歴を与えた各種コンクリート試験体の配合

試験体 No.	混合比率(重量%)				空気量 (%)	水粉体比 (%)	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				PP (vol%)		
	OPC	SF	BFS	LSP					W	P	S	G			
A	100	0	0	0	4.5	30.0	30.0	54.7	150	500	930	776	0.3		
B1	40	20	40	0					150	500	903	753	0.3		
B2	40	20	0	40			50.0				150	500	896	747	0.6
C1											150	500	896	747	0.3
C2												0.6			

OPC: 普通ポルトランドセメント SF: シリカフェーム BFS: 高炉スラグ微粉末 LSP: 石灰石微粉末

W: 水 P: 粉体(OPC+SF+BFS+LSP) S: 細骨材(陸砂) G: 粗骨材(碎石)

PP: ポリプロピレン繊維 ($\phi = 2.2 \text{dtex}$, $L = 10 \text{mm}$)

キーワード 火災, 水酸化カルシウム, 圧縮強度残存比, X 線回折

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 TEL: 0424-95-0930

3. 実験結果および考察

X線回折試験結果のうち $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の回折ピーク ($2\theta = 34.1^\circ$) 近傍の測定チャートを図2に示す。

普通ポルトランドセメントを使用した試験体 A は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の回折ピーク位置で加熱前は高いピーク強度を示すが、加熱後には明確なピークが認められない。加熱により $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が消失していることが推定される。

試験体 B1 については、加熱前は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の回折ピーク位置でわずかなピーク強度が認められ、少量の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が含まれていると推定される。加熱後は試験体 A と同様に明確なピークが認められず $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が加熱により消失していると考えられる。一方、試験体 C1 は、加熱前後ともに明確なピークが認められず、加熱前においても $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が生成されていないものと推定される。

各種試験体の加熱前後の圧縮強度を図3に示す。いずれの試験体も加熱後の圧縮強度は加熱前に比べて低下する結果となった。しかし、強度低下の割合は試験体により相違している。圧縮強度残存比（加熱後の圧縮強度／加熱前の圧縮強度）に着目すると、普通ポルトランドセメントを用いた $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を多く含む試験体 A は 0.41 に対して、CH フリーコンクリート試験体は 0.64～0.72 と残存比が大きくなった。この圧縮強度残存比を Eurocode および CEB と比較した結果を図4に示す。普通ポルトランドセメントを用いた場合は各コードとほぼ同様の結果であるが、CH フリーコンクリートの場合には、いずれも各コードより残存比が大きく、高温履歴を受けた場合の強度低下の低減に有効な結果が得られた。

一方、ポリプロピレン繊維の混入量の影響については加熱後の圧縮強度には大きな差異は認められなかった。高温履歴を与えた場合に圧縮強度が低下する影響は、加熱時にポリプロピレン繊維の溶融により形成される空隙だけでなく、セメント水和物の変質が大きく影響しているものと推測される。

4. まとめ

本実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) 水酸化カルシウムの生成量を抑制したコンクリートは、高温履歴を受けた際の圧縮強度残存比が高く、強度低下の低減に有効である。
- (2) 高温加熱後の圧縮強度の低下は、ポリプロピレン繊維の溶融による空隙の増加以外に、セメントの変質による影響が大きい。

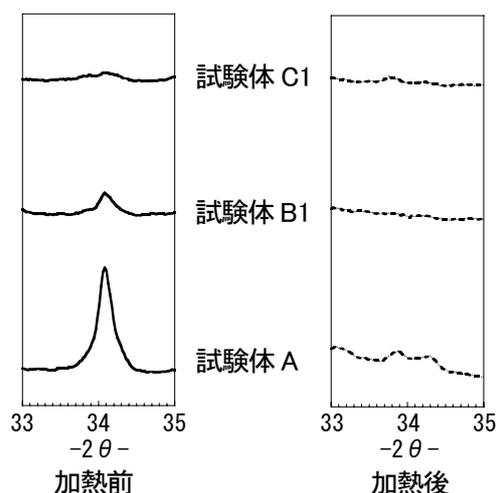


図2 X線回折試験結果

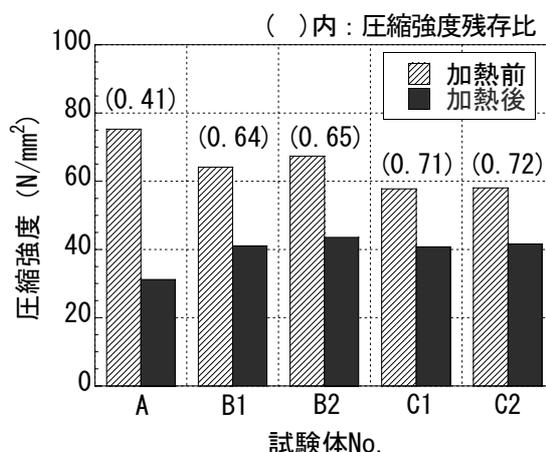


図3 圧縮強度試験結果

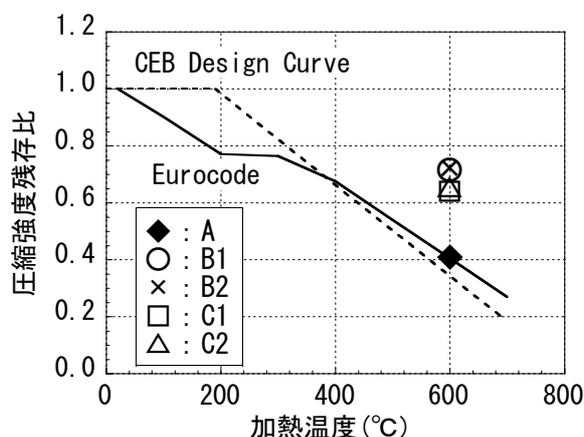


図4 圧縮強度残存比比較結果

【参考文献】

- 1) U.Schneider 著, (森永繁他訳): コンクリートの熱的性質, 技報堂, 1983年
- 2) S.K.Handoo 他, Physicochemical, mineralogical, and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperature, Cement and concrete Research 32, 2002, pp1009-1018