

加熱を受けるハイブリット繊維補強高強度コンクリートの内部温度履歴挙動

Behavior of inside temperature history of hybrid fiber reinforced high strength concrete under the high temperature.

北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学科
北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学科
北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学科

○正会員 高野智宏(Tomohiro Takano)
学生会員 三宅武史(Takeshi Miyake)
フェロー 佐伯 昇(Noboru Saeki)

1.はじめに

高強度コンクリートで施工されたトンネルでの火災事故が海外で多く発生し、爆裂現象の発生および残存強度の低下が問題視されている。火災事故規模によっては一・二次覆工の崩落や二次災害をも引き起こすことから、爆裂防止対策にポリプロピレン繊維を、残存強度保持に鋼繊維を高強度コンクリートに混入させる工法が有効な対策と考えられる。一般的な対策として熱から高強度コンクリートを保護するために、耐火被覆材を用いてコンクリート表面を覆う工法が用いられている。

しかし、高強度コンクリートの耐火性能の向上および劣化メカニズムの解明はされていない。コンクリートの温度上昇はコンクリート膨張を引き起こすが、さらに高温になると骨材膨張およびセメントペースト部の収縮によりマイクロクラックおよびクラックが発生、自由水および結晶水の脱水による蒸気圧の発生、水和組織の変質など様々な現象を起こすことが知られている¹⁾。

そこで本研究では爆裂制御と残存強度保持を目的としたハイブリット繊維補強高強度コンクリートの高温下の内部温度履歴および熱拡散率について検討を行った。

2.実験概要

2.1 供試体配合

供試体の配合を表 2-1 に示す。供試体は 2 種類で、ブレン高強度コンクリート(以降 HSC)および鋼繊維(以

降 SF)とポリプロピレン繊維(以降 PPF)を混入したハイブリット繊維補強高強度コンクリート(HYRHSC)を用いた。HYRHSC に使用した SF は図 2-1 に示すグリップタイプで長さ 30mm 幅 1mm、PPF は図 2-2 に示すモノフェラメントで長さ 30mm 太さ 20 デニール(0.015mm) 融点 170-180 を用いた。HYRHSC の各繊維は総混入量が 1.0vol・%とし、各繊維混入量は HYR-S0.8P0.2 が SF0.8vol・% + PPF0.2vol・% および HYR-S0.7P0.3 が SF0.7vol・% + PPF0.3vol・% とした。セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は最大粒径 25mm 密度 2.65 の砂岩質砕石、細骨材は密度 2.67 海砂を使用した。混和剤はポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤、消泡剤および AE 助剤を適量使用した。

コンクリートのフレッシュ性状を表 2-2 に示す。ここで目標とした空気量は $5 \pm 1\%$ 、スランプは 5 ~ 12cm に設定した。

供試体は打設後 1 日湿布養生を行い、その後に脱型し、28 日 20 ± 2 の水中養生を行った。実験は養生終了後すぐに開始した。

2.2 試験概要

図 2-3 に示すように供試体は $\phi 100 \times 200$ の円柱供試体を用いて、これに供試体側面から約 10mm 間隔で 6 本の K 型熱電対を打設時に設置した。供試体は養生終了後すぐに図 2-4 に示す電気炉を用いて、図 2-5 に示す供試体表面で温度制御した温度履歴で加熱した。

表 2-1 供試体配合

供試体名	W/C	s/a (%)	空気量 (%)	単位置量(kg/m ³)				繊維	
				W	C	S	G	鋼繊維 (vol・%)	PP繊維 (vol・%)
HYR-S0.8P0.2	0.35	65	6 $\pm$ 1	170	485.71	925.03	608.69	0.8	0.2
HYR-S0.7P0.3						941.23	619.35	0.7	0.3
HSC								0	0

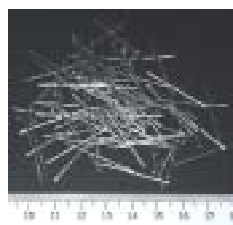


図 2-1 使用した SF

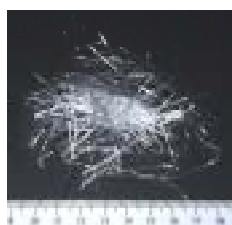


図 2-2 使用した PPF

表 2-2 フレッシュ性状

供試体名	フレッシュ性状	
	空気量 (%)	スランプ (cm)
HYR-S0.8P0.2	5	13
HYR-S0.7P0.3	5.6	13.5
HSC	5.4	11

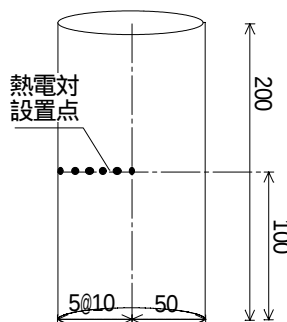


図 2-3 熱電対設置位置



図 2-4 使用した電気炉

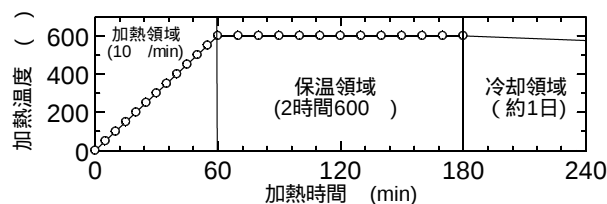


図 2-5 加熱温度履歴

3.実験結果

図 3-1 に内部温度測定結果を示す。図は上から HSC、HYR-S0.8P0.2 および HYR-S0.7P0.2 であり、縦軸は各地点の内部温度で横軸は加熱時間である。

この図から全ての供試体において加熱時間約 50 分および若干ではあるが約 140 分の内部温度に変化が見られた。この変化は供試体中心部周辺 (30 ~ 50mm) の 200 および 500 近傍に明確に見られ、一度、内部温度の上昇が停滞し、それ以上から再び内部温度が上昇する傾向が見られた。

この現象を明確にするため、温度の伝わり易さの指標である熱拡散率を内部温度分布から式(1)に示す後方差分法を用いて算出した。その結果を図 3-2 に示す。

図は上から HSC、HYR-S0.8P0.2 および HYR-S0.7P0.2 であり、縦軸は各地点の熱拡散率で横軸は加熱時間である。

この図から全ての供試体の熱拡散率は約 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ (m^2/h) の範囲幅で推移する結果が得られ、HYRHSC の加熱初期の熱拡散率は各繊維混入量に関係なく HSC より若干大きくなる傾向が示された。また、全ての供試体において加熱時間約 50 分の熱拡散率が低下し、次のステップ時間には上昇し、不連続が認められた。この時点での内部温度は約 200 であり、自由水の気化熱の影響が考えられる。また、この図に示すように各繊維混入量には関係なく HYRHSC は HSC よりこの傾向が明確に示された。これは含水率と PPF の影響が考えられる。HSC、HYR-S0.8P0.2 および HYR-S0.7P0.3 の含水率は順に約 5.06%、約 4.59%および約 4.61%であり、HYRHSC の含水率は HSC より小さかった。また PPF は 160 ~ 170 の加熱により溶融し、最後には消失することから、この PPF が蒸気を外部に速やかに解放する役割を果たす¹⁾。これらのことから、加熱初期の HYRHSC は HSC より熱が伝わりやすく自由水の乾燥が早いことが考えられる。

全ての供試体で見られた加熱時間約 140 分の熱拡散率の不連続性は結晶水の影響が考えられる。この時点の内部温度は約 500 であり、この温度ではボルトラングナイトや一部の C-S-H で脱水分解が起こることが言われている¹⁾²⁾。この脱水分解で生成された水が熱拡散率の不連続性に影響を及ぼしたと考えられる。

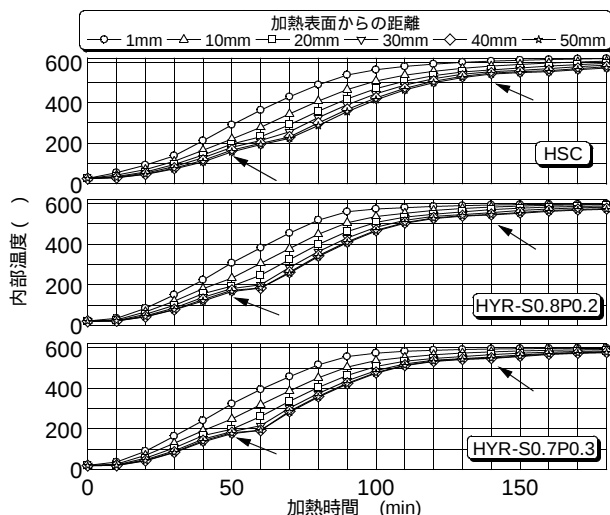


図 3-1 各供試体の内部温度履歴

$$k = \frac{(x)^2 \times T_3}{(T_1 - 2T_3 + T_2) \times t} \quad (m^2/h) \quad \dots (1)$$

k: 熱拡散率 (m^2/h)

x: 測定間距離

T3: 時間 t から (t+ t) までに变化した時の測点 3 の

上昇温度 (°C)

T1-3: 時間 t における各測点温度 (°C)

t: 単位ステップ時間

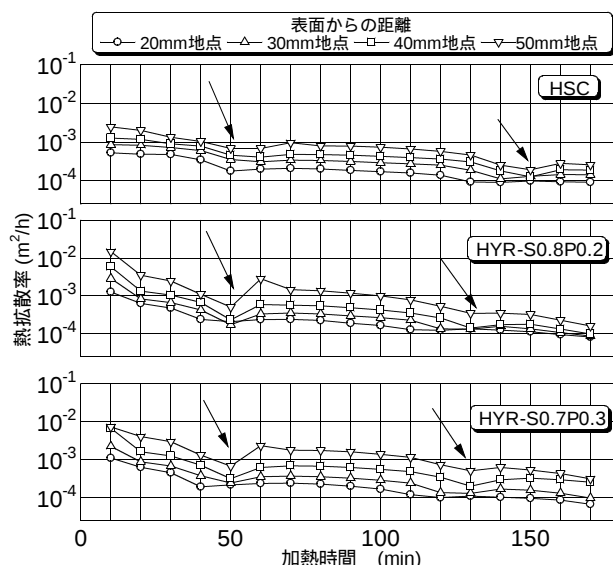


図 3-2 各供試体の熱拡散率の推移

4.まとめ

以上の結果から本研究の範囲では次のことが言えると考えられる。

- 1) ハイブリット繊維補強高強度コンクリートおよびプレーン高強度コンクリートの温度上昇は内部温度約 200 および約 500 近傍で一時的な停滞が見られた。
- 2) ハイブリット繊維補強高強度コンクリートの加熱初期の熱拡散率は繊維混入量の変化に関係なくプレーン高強度コンクリートより大きくなる傾向を示した。
- 3) ハイブリット繊維補強高強度コンクリートは鋼繊維およびポリプロピレン繊維混入量に関係なく内部温度約 200 近傍の熱拡散率の不連続性がプレーン高強度コンクリートより大きくなる傾向を示した。
- 4) 内部温度約 200 および内部温度 500 近傍の熱拡散率の不連続性はハイブリット繊維補強高強度コンクリートおよびプレーン高強度コンクリートで見られた。内部温度約 200 の不連続性は自由水の影響が、内部温度約 500 の不連続性は水和組織の脱水分解により生成される水の影響が示唆された。

参考文献

- 1) 高野智宏ら：高温加熱を受ける繊維補強高強度コンクリートの耐火性能, 社団法人 土木学会, 第 59 回年次学術講演会講演概要集, 部門 489, 2004.9
- 2) T.Takano ら："MECHANICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF HIGH STRENGTH CONCRETE WITH FIBER EXPOSED TO HIGH TEMPERATURE .", ACMB, 214, CANADA, 2004.7