

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

北海道大学大学院工学研究科 ○正会員 高野 智宏 正会員 堀口 敬 フェロー 佐伯 昇

1. はじめに

近年,国の内外では長大トンネルが高強度コンクリートで建設され,火災による深刻な被害が発生している場合もある. 高強度コンクリートの火災損傷の特徴として,より低い受熱温度下での強度低下や爆裂現象による劣化挙動があり問題となっている. 従来の研究は普通強度コンクリートを対象としたものが多く,高強度コンクリートでの研究は少なく未解決な箇所が多く詳細な検討が必要とされている.

本論文は高温加熱を受けるポリプロピレン繊維補強高強度コンクリートの耐火性を把握することを目指し,高温加熱によるセメント硬化体の化学的变化や緻密性について検討している. また,残存強度特性や爆裂に関する耐火性能についても検討している.

2. 実験概要

2.1 供試体配合

表1に供試体配合を示す. 使用材料の緒言を表下に記載する. 本研究では高強度コンクリート(以降 HSC)はもとより爆裂制御に有効と言われているポリプロピレン繊維(以降 PP 繊維)で補強した高強度コンクリート(以降 PFRHSC)について検討している. 養生は28日水中養生($20 \pm 2^\circ\text{C}$)で行った. 供試体は $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱を用いている.

表1 供試体配合

供試体名	W (kg/m^3)	C (kg/m^3)	W/C	s/a (%)	繊維混入量 (vol.%)	設計強度 (MPa)	含水率 (%)
HSC	170	680	0.25	40	0	60	5.9
PFRHSC					0.25		5.1

C : 普通ポルトランドセメント, $\rho : 3.16$
 繊維: ポリプロピレン繊維, 30mm-20d(0.015mm) Asp.: 2000
 粗骨材: 砂岩質碎石, Max: 25mm, $\rho : 2.65$
 細骨材: 鶴川産海砂, $\rho : 2.67$
 消泡剤, 高性能AE減水剤, AE助剤: 適量使用

2.2 加熱履歴

加熱は電気炉を用いた. 加熱温度は供試体周辺で制御した. 加熱は温度上昇 $10^\circ\text{C}/\text{min}$, 最高温度 200°C , 400°C および 600°C の3パターンで行い, 最高温度達成後2時間保ち, その後時間をかけて冷却した.

2.3 試験概要

(1) 残存強度試験

加熱前後の供試体を JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法によって試験を実施し残存圧縮強度を算出した. また, 同時にコンプレッソメータによって供試体変位を計測し静弾性係数を算出した.

(2) 透水試験

気圧式透水試験器を用いて透水試験を行った.

(3) X線回折

X線回折は粉体回折である. 結果の一例を図1に示す. 図中未加熱の回折結果から4本の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の回折ピークが見て取れ, 200°C で加熱した回折結果では6本に増えている. 完全構造体の結晶は必ず特定かつ数箇所の回折角に回折ピークを示す. このことからこの場合, 未加熱の結晶は加熱され, さらに完全構造体に近づくことが認められる. 結果に示す値が1以上の場合, その結晶は未加熱の供試体より完全構造体に近づくことを示し, 1以下の場合是不完全な結晶構造体になることを示す.

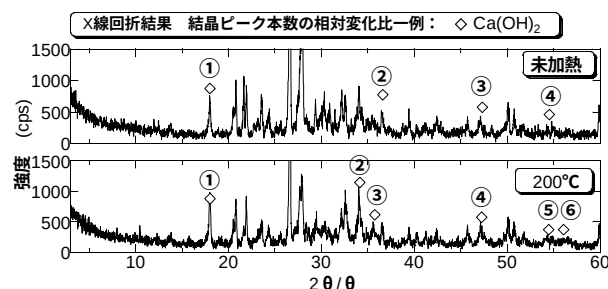


図2 X線回折結果の一例

3. 実験結果

3.1 残存強度結果(圧縮強度および弾性係数)

図3に残存圧縮強度比を図4に残存弾性係数比を示す. 図中 SFRHSC(鋼繊維補強高強度コンクリート)は既往の研究³⁾による値である.

図3より PFRHSC は HSC より強度低下が大きいことが見て取れる. これは PP 繊維が加熱され熔融し形成した空隙が影響していると考えられる.

Key Words : High Temperature, High Strength Concrete, Explosive Spalling, Microscopic Change, Residual Strength, Permeability,

〒060-0813 北海道札幌市北区北13条西8丁目 TEL 011-706-6180 FAX 011-706-6180

図4より200℃のHSCの残存弾性係数比はPFRHSCより大きい。しかし、200℃以上のHSCの残存弾性係数比はPFRHSCより小さくなる傾向が示された。

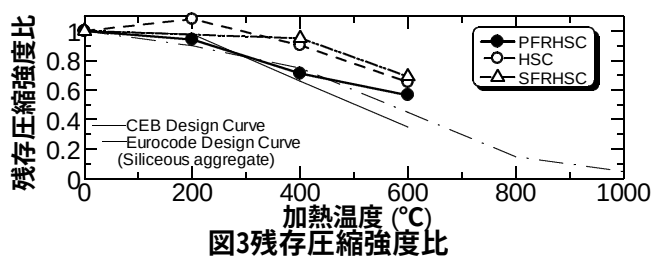


図3 残存圧縮強度比

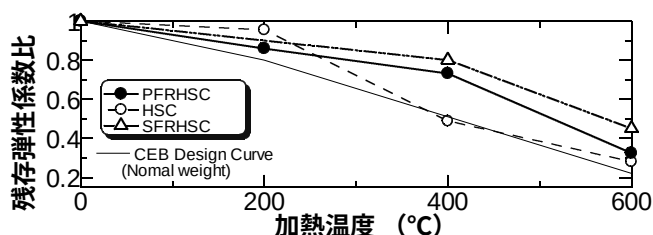


図4 残存弾性係数比

3.2 透水試験結果

図5に透水試験結果を示す。PFRHSCの透水係数は加熱温度200℃からHSCより大きくなる結果が得られた。これはPP繊維の影響が考えられる。PP繊維は160～170℃で溶融し、さらにチューブ状の空隙を形成する。この空隙により200℃から透水係数に差が見られたと考えられる³⁾。また、本研究では爆裂現象がHSCについてのみ発生し加熱温度は450～550℃であった^{2,4)}。これらのことからPP繊維によるコンクリート補強は爆裂に有効であると考えられる。

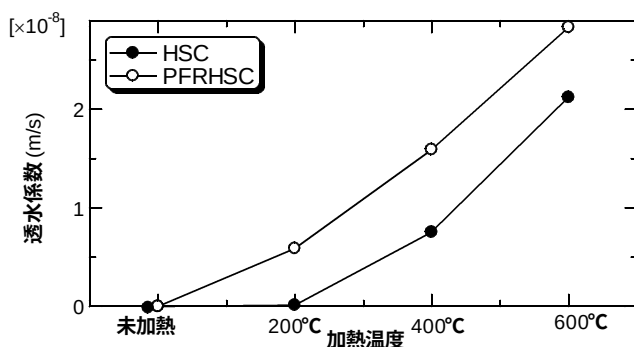


図5 透水試験結果

3.3 X線回折結果

図6にC-S-H系および図7にその他の結晶の回折結果を示す。図6からHSCのC-S-Hは加熱を受け完全構造体に近づく結果が得られた。これは、オートクレーブ養生に似た高温加熱養生が示唆できる。HSCの爆裂原因が蒸気圧であるならば、コンクリート内部では高温かつ高蒸気圧が発生したと考えられる。これにより水和反応が促進したと考えられる。

図7より400～600℃の加熱段階において $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の低下が見られ、 CaO が増加する傾向が示された。これは $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の脱水分解が考えられる。さらに、この温度領域で爆裂が発生していることから、発生した水分が爆裂に影響を及ぼしている可能性が考えられる³⁾。

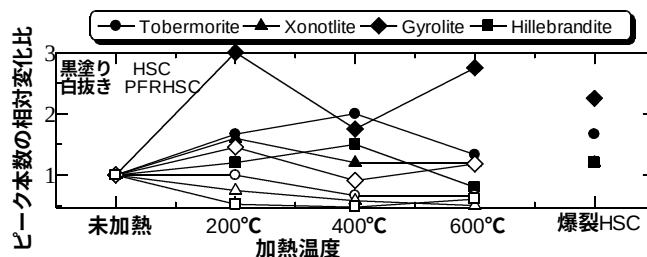


図6 X線回折結果(C-S-H)

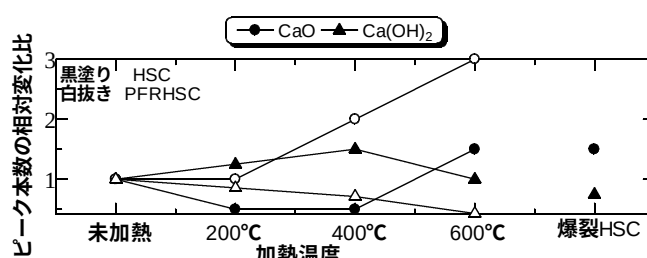


図7 X線回折結果(その他の結晶)

4. まとめ

- 1) PFRHSCの残存圧縮強度比はHSCより小さくなる。
- 2) HSCの残存弾性係数比は200℃以上の加熱から急激に低下する。
- 3) PFRHSCの透水係数は200℃から急増し、HSCより大きな値を取り、PP繊維による爆裂低減のメカニズムを示唆している。
- 4) 加熱温度450～550℃で発生した爆裂原因の一つとして $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の脱水分解により発生する水が影響している可能性がある。

参考文献

- 1) 高野智宏ら：高温下におけるポリプロピレン繊維補強高強度コンクリートの物性変化，セメントコンクリート論文集，No.55，pp.557-564，2001
- 2) T.Horiguchiら："Effect of Fiber Reinforcement on Residual Properties of High-Strength Concrete Under Elevated Temperature.", Innovations in Design with Emphasis on Seismic, wind, and Environmental Loading; Quality Control and Innovations in Materials / Hot-weather Concreting., ACI Fifth International Conference Cancun, Mexico, SP-209 pp53-64.
- 3) 高野智宏：高温加熱を受ける高強度コンクリートの繊維補強による耐火性能に関する研究，博士論文，2003.3
- 4) T.Takanoら："Residual Properties of High Strength Fiber Reinforced Concrete Exposed to High Temperature.", CONSEC '01, CANADA, 2001, pp487-494