

高強度コンクリートの高温時の熱伝導特性

黒岩秀介・水野敬三・道越真太郎・小林 裕

Keywords: high-strength concrete, fire, thermal conductivity, thermal diffusivity

高強度コンクリート，火災，熱伝導，熱拡散

1. はじめに

近年，コンクリートの高強度化は著しい．一般の建築物に使われる強度レベルは設計基準強度で21～36N/mm²程度であるのに対して，当社では設計基準強度100N/mm²を用いた超高層RC造建築物を既に6棟建設している¹⁾．また，設計基準強度150N/mm²クラスの研究も実用化段階に達している²⁾．高強度コンクリートの適用では火災時の爆裂がひとつの課題であったが，有機系繊維を混入するなどの対策で爆裂を防止あるいは軽微に抑えることにより，高強度コンクリートを用いたRC柱は十分な耐火性を有することを載荷加熱実験によって確認している³⁾．

一方，現在の法律における耐火設計は告示1399号の例示仕様にある部材を用いるルートA，告示1433号の耐火性能検証法により耐火性能を検証するルートB，さらに実験や高度な検証法により耐火性能を検証し大臣認定を得るルートCが認められている．このうち，ルートBではコンクリートの爆裂による断面欠損を懸念し，設計基準強度60N/mm²を超える高強度コンクリートは検証の対象外とされている．しかし，コンクリートが高強度の場合も有機系繊維の混入等により爆裂を防止すればルートBの検証法を準用できると考えられる．ただし，このためには，熱物性値や高温時の強度の残存傾向について，高強度コンクリートと普通強度のコンクリートの間に大きな相違がないことを確認しておく必要がある．そこで，本報告では，高強度と普通強度のコンクリートの熱物性値の差異の把握を目的として，コンクリート強度と粗骨材の種類を因子とする板状試験体の加熱試験を行ない，試験体断面内の温度分布を比較検討した．

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の概要を図-1に示す．試験体の形状はW300×H300×D100mmとした．W300×H300mmの1面を加熱面とし，断面内の温度分布を測定するために，加熱面から10，25，40，55，70mmの位置を目標にK型熱電対（φ0.65）を埋設した．加熱試験終了後には試験体を切断して熱電対が埋設されていた正確な位置を確認した．

表-1に実験因子と水準，表-2にコンクリートの使用材料，表-3に調合を示す．実験はコンクリート強度と粗骨材の種類を因子とし，合計8体の試験体を作製した．コンクリート強度は，設計基準強度（Fc）で30，60，80，

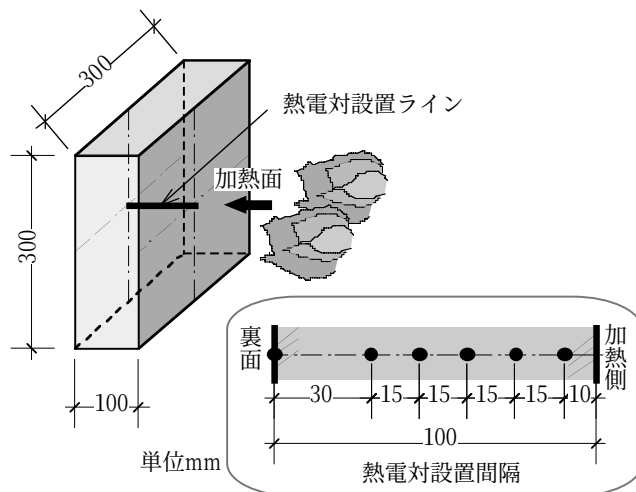


図-1 試験体形状と温度測定位置
Test specimen

表-1 因子と水準
Factors and levels

因子	水準
コンクリート強度	6水準 Fc30N/mm ² , Fc60N/mm ² , Fc80N/mm ² , Fc100N/mm ² , Fc120N/mm ² , Fc150N/mm ²
粗骨材種類	3水準 硬質砂岩, 安山岩, 石灰岩

100, 120, 150N/mm²に対応する6水準とした。使用セメントは、Fc30, 60N/mm²を普通ポルトランドセメント, Fc80~150N/mm²をシリカフュームを混入した高強度用3成分セメント¹⁾とした。細骨材は山砂, 粗骨材は硬質砂岩碎石を標準としたが, Fc100N/mm²では, 粗骨材に安山岩碎石を用いるもの, 石灰岩碎石を用いるものを加え, 粗骨材の種類が異なる3水準の試験体を作製した。混和剤は各強度レベルに応じたものを使用し, Fc60N/mm²以上のものについては, 爆裂防止用の有機系繊維を混入した。

表-4にフレッシュコンクリートの性状と材齢91日にお

表-2 コンクリートの使用材料
Materials of concrete

結合材	・普通ポルトランドセメント(密度3.15g/cm ³) ・高強度3成分(密度2.99g/cm ³) ：普通ポルトランドセメント:スラグ石膏:シリカフューム=7:2:1
細骨材	・木更津産山砂(表乾密度2.58g/cm ³ ,吸水率2.73%)
粗骨材	・青梅産硬質砂岩 5号(表乾密度2.66g/cm ³ ,吸水率0.60%) : 6号(表乾密度2.67g/cm ³ ,吸水率0.74%)=4:6 ・大月産安山岩(表乾密度2.64g/cm ³ ,吸水率2.05%) ・鳥形山産石灰岩(表乾密度2.70g/cm ³ ,吸水率 %)
混和剤	・AE減水剤標準形 ・高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系) ・空気量調整剤
繊維	・ポリプロピレン繊維(密度0.91g/cm ³)

表-3 コンクリートの調合
Mixture proportions of concrete

試験体名	W/B	水	単位量(kg/m³)								混和剤（B×mass%）				
			結合材B		細骨材 木更津	粗骨材			爆裂 防止 繊維	AE減水剤 No.70	高性能AE減水剤			空気調整 剤 303A	
			普通セメント	高強度3成分		硬質砂岩 青梅5号	安山岩 青梅6号	石灰岩 大月 鳥形山			SP8S	SP8HE	SP8HU		
Fc30-S	0.50	175	350	—	823	372	560	—	—	—	0.25	1.2	—	—	0.004
Fc60-S	0.30	175	583	—	670	372	560	—	—	1.0	—	1.2	—	—	—
Fc80-S	0.30	155	—	517	831	351	529	—	—	1.5	—	—	2.6	—	—
Fc100-S	0.22	155	—	689	683	351	529	—	—	2.0	—	—	2.8	—	—
Fc120-S	0.18	155	—	861	533	351	529	—	—	3.0	—	—	—	3.0	—
Fc150-S	0.15	150	—	1000	427	351	529	—	—	4.0	—	—	—	3.0	—
Fc100-A	0.22	155	—	689	683	—	—	871	—	2.0	—	—	2.8	—	—
Fc100-L	0.22	155	—	689	683	—	—	—	891	2.0	—	—	2.9	—	—

表-4 コンクリートの性質
Properties of concrete

試験体名	スラブ cm	スラブ cm	空気量 %	圧縮強度,N/mm ² 材齢91日 20℃封緘	含水率 %
Fc30-S	37.0×34.5	21.5	5.3	51.0	3.2
Fc60-S	—	18.0	3.3	89.0	3.7
Fc80-S	38.0×37.0	22.5	2.5	97.3	4.1
Fc100-S	43.5×42.5	23.5	2.5	109	4.2
Fc120-S	58.5×58.0	—	1.9	134	3.8
Fc150-S	51.0×48.0	—	2.3	135	3.5
Fc100-A	51.0×50.0	—	2.3	115	5.0
Fc100-L	53.0×52.0	—	1.8	112	4.2

ける封かん養生供試体の圧縮強度を示す。水結合材比15%のものは設計基準強度に達しなかったが, その他のものは設計基準強度をやや上回る強度となっている。

加熱用試験体は, 材齢1週で脱型し, 温度20℃湿度60%の恒温恒湿室内で自然乾燥させ, 材齢24週に加熱試験を実施した。

2.2 加熱方法

加熱には壁部材用小型加熱炉を用いた。加熱プログラムを図-2に示す。加熱条件は, 爆裂を防止するために初期の温度勾配を緩やかにするやや変則なものとした。まず, ISO834の標準加熱温度曲線に従って150℃まで加熱した後, 一旦メインバーナーの出力をゼロにし, 30分までの間はパイロットバーナーのみの加熱とした。30分後の炉内温度は概ね350℃程度まで上昇した。30分以降は, 150℃からのISO834の標準加熱温度曲線に沿うようにメインバーナーによる加熱を再開し, 150分で加熱を終了した。

3. 結果と考察

3.1 温度の経時変化

図-3にFc30-SとFc120-Sの試験体内部温度の経時変化を

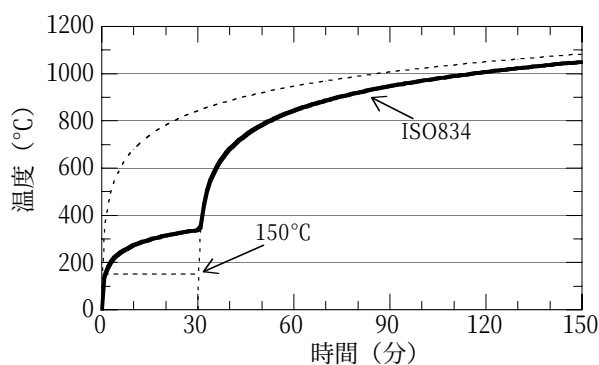


図-2 加熱プログラム
Heating program

示す。Fc30-Sは、水分の蒸発潜熱による100℃付近の温度上昇の停滞が特に裏面側において認められる。一方、Fc120-Sの温度上昇の停滞は不明瞭であった。Fc60N/mm²を超える他の試験体についても、温度上昇の明確な停滞は認められなかった。

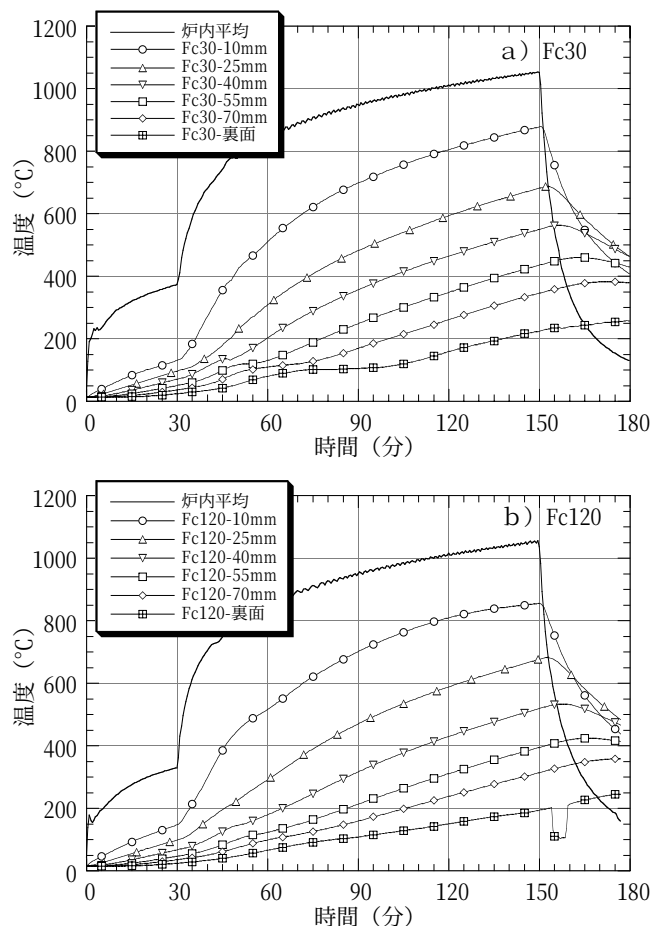


図-3 試験体内部温度の経時変化
Temperature development in specimen

3.2 温度分布

図-4にFc30-S, Fc60-Sの加熱開始後60, 90, 150分の試験体断面内の温度分布を示す。この強度クラスは平成12年建設省告示1433号の耐火性能検証法の対象範囲のものである。同図には、差分法による1次元非定常熱伝導計算の結果も併せて示す。計算条件は、文献4)の普通コンクリートの熱定数を用い、加熱雰囲気温度を炉内平均温度(測定値)、対流熱伝達率を0.0232kW/m²K、合成輻射率を0.383、密度を2400kg/m³とした。含水率は、高強度コンクリートの温度測定結果に100℃の停滞が認められなかったもので0%とした。同図から、強度の高いFc60-SのほうがFc30-Sよりもやや温度上昇が遅いこと、Fc30-Sにおいても文献4)の熱定数を用いた計算値よりやや温度上昇が遅いことが分かる。

図-5に、粗骨材に硬質砂岩を用いたFc80-S~Fc150-Sについて、加熱開始後60, 90, 150分の試験体断面内の温度分布を示す。同図には図-4と同じ普通コンクリートの熱定数を用いた計算値も併記した。同図によれば、Fc80-S, Fc100-S, Fc120-SおよびFc150-Sの温度分布はほとんど同一であること、これらは普通コンクリートの標準値を用いた計算結果や図-4のFc30-Sよりもやや温度上昇が遅いことから、コンクリートの強度が熱伝導特性に与える影響は小さく、高強度コンクリートの熱拡散率は普通コンクリートよりやや小さいものと考えられる。

図-6にFc100N/mm²で、粗骨材を硬質砂岩、安山岩、石灰岩とした試験体の加熱開始後60, 90, 150分の断面内温度分布を示す。同図から、粗骨材の種類は熱伝導特性にやや影響し、硬質砂岩を用いたコンクリートは、安山岩および石灰岩を用いたコンクリートよりも温度上昇がやや早く、熱拡散率はやや大きいものと考えられる。

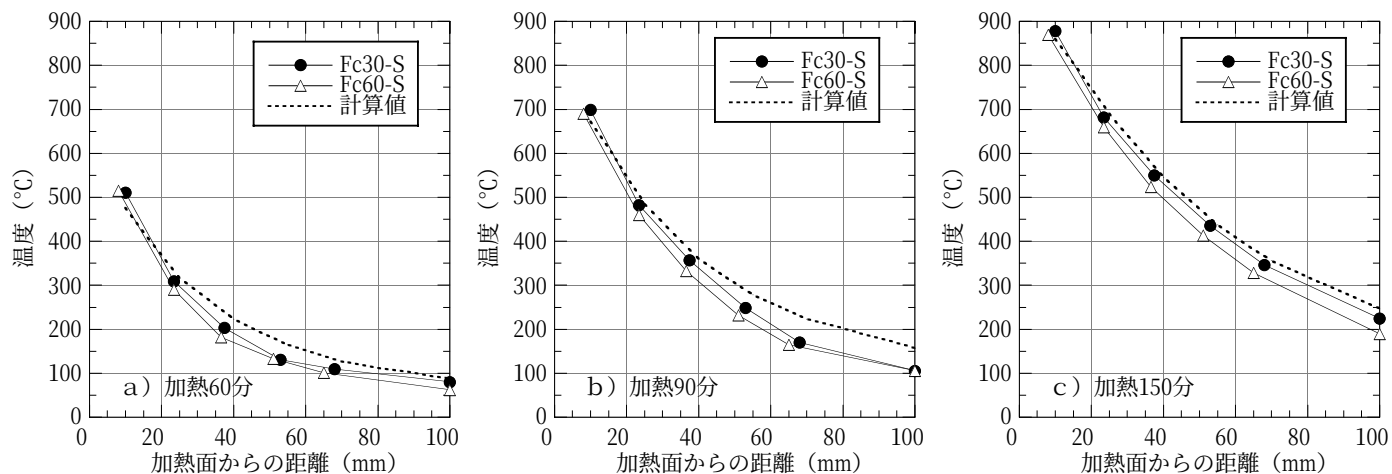


図-4 普通強度コンクリートの断面内温度分布の比較
Distribution of temperature in normal strength concrete specimens

以上の結果から、高強度コンクリートの熱拡散率は普通コンクリートに比べて同等かやや小さいことが明らかになった。よって、 $Fc60N/mm^2$ 以下に限定している告示1433号耐火性能検証法の熱特性値を用いて、 $Fc60N/mm^2$ を超えるコンクリートの部材の計算を行うと、実際よりも同等かやや高めの内部温度を推定することになる。これは、同検証法でいう保有耐火時間を短くする方向になるため、安全側の評価を与えることになる。

4. まとめ

板状試験体の加熱試験により、高強度コンクリートの熱伝導特性を普通コンクリートと比較した。この結果、コンクリートの強度が熱伝導特性に与える影響は小さく、高強度コンクリートの熱拡散は普通コンクリートとほぼ同等であることが確認された。よって、 $Fc60N/mm^2$

を超えるコンクリートを用いる建築物の耐火性能の検証に、 $Fc60N/mm^2$ 以下のコンクリートの熱特性値を用いることは可能である。

参考文献

- 1) 早川光敬, 並木哲, 陣内浩: 高強度コンクリートの研究開発と適用事例 設計基準強度 $100N/mm^2$ のコンクリートの実用化の現状と今後の展望, 大成建設技術センター報 第34号 2001
- 2) 小室努, 黒岩秀介, 渡辺英義, 陣内浩: $150N/mm^2$ 級の超高強度コンクリートを用いたRC柱の実用化研究, コンクリート工学, Vol.39, No.10, pp.9-16, 2001.10
- 3) 黒岩秀介, 小林裕, 馬場重彰: ポリプロピレン繊維を用いた高強度RC柱の耐火性能, 日本建築学会学術講演梗概集A-2, pp.35-36, 2001.9
- 4) (財)日本建築センター: 建築物の総合防火設計法, 第4巻 耐火設計法, p.135, 1989.4

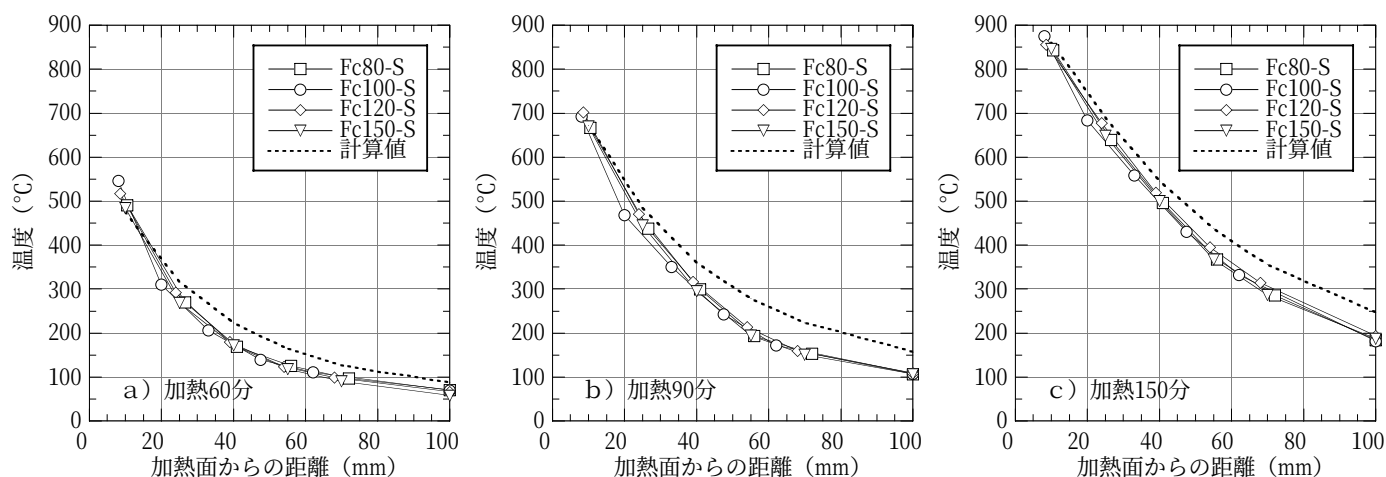


図-5 高強度コンクリートの断面内温度分布の比較
Distribution of temperature in high-strength concrete specimens

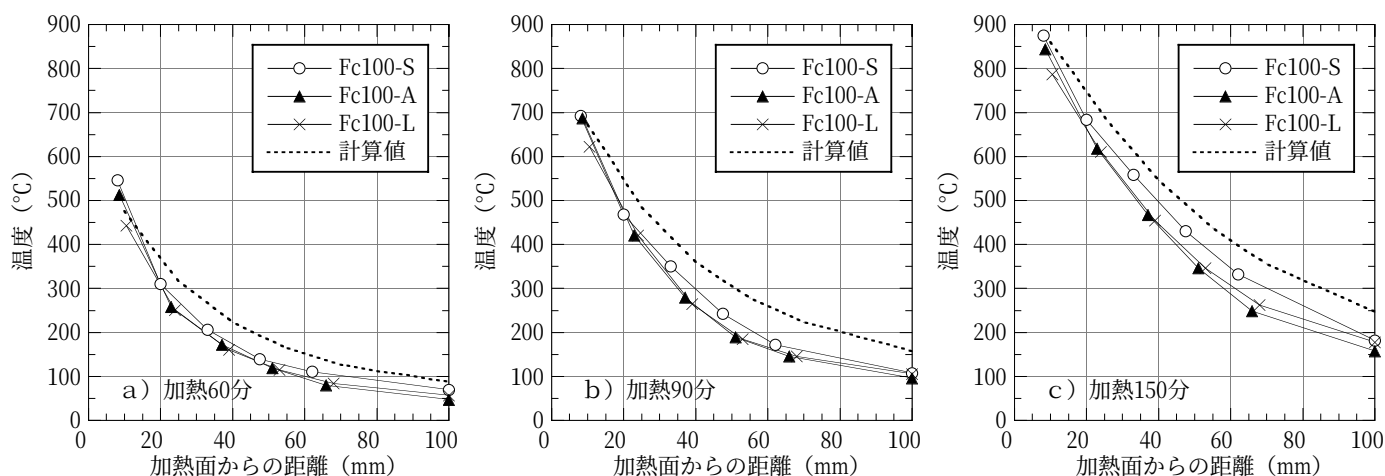


図-6 粗骨材の異なる高強度コンクリートの断面内温度分布の比較
Distribution of temperature in high-strength concrete specimens using variable types of coarse aggregate