

V-47

高強度コンクリートの高温下における力学性状

北海道大学大学院	○学生会員	高野 智宏
北海道大学大学院	学生会員	山田 幹朗
北海道大学大学院	正会員	堀口 敬
北海道大学大学院	フェロー	佐伯 昇

1. はじめに

コンクリートの高強度化が進む中、高温下における高強度コンクリートの劣化挙動が問題となっている。コンクリートはそれ自体が燃焼することはないが、コンクリート中の骨材や水和物は熱によって分解される成分を含んでいる。また高強度におけるコンクリートの高温下における挙動は豊富な研究実績がある通常の強度のコンクリートと異なりそれをそのまま適用できないと言われている¹⁾。

高温下のコンクリートの劣化現象にはクラック、ポップアウト、スポーリング、爆裂があり、とくに火災時の高強度コンクリートは爆裂を起こし部材の性能低下をもたらすことが報告されている²⁾。コンクリート中の水分が水蒸気になるとき高い気化熱を必要とし熱が奪われるためコンクリート中の蒸発性の水分がなくなるまでコンクリートの内部温度はそれほど急激に上昇しない。ところが急な加熱によるコンクリート内部の水蒸気圧の上昇や高強度に伴う内部の高密度化などにより高強度コンクリートは爆裂しやすいことが指摘されている³⁾。つまり、爆裂は強度と含水率が高いコンクリートで高温加熱時における急なコンクリート表層部の熱応力および蒸気圧の発生やその他の複合作用によって激しく起こると推論されている¹⁾。しかし、現状では詳しい発生のメカニズムは明確ではない。

本報告は高強度コンクリートの高温下における劣化挙動を把握することを目的とし爆裂挙動を含めた各種の配合因子と環境因子による劣化挙動について検討したものである。

2. 実験概要

供試体を加熱する熱源として図-1に示すような電気炉を使用し内部温度を25℃～600℃に制御し各々の実験を行った。一般に温度が約100℃でセメントペースト中の自由水が蒸気になりはじめる。約300℃に達するまでに、C-S-Hの層間水およびC-S-Hやサルフォアルミネート水和物の化学的結合水も一部なくなる。さらに約500℃で水酸化カルシウムが分解し始める³⁾。

実験では供試体を電気炉内で図-2のような周辺温度で行う。供試体は10deg/secの温度上昇で1時間加熱し、その後2時間最高温度600℃を保持した後冷却した。冷却するとき急激に冷却すると熱応力の影響で熱収縮によるクラックが発生するため時間をかけゆっくりと冷却し冷却中に起こる強度低下を防止することに努めた。

供試体はφ100×200mmの円柱供試体を用いた。加熱中の供試体内の温度履歴は図-3のように供試体の表層部から中心部にかけて10mmおきにK型熱伝対を4本埋め込み計測を行った。

加熱中の変位は図-4のように供試体にステンレス製のリングを掛けステンレス製のシャフトを出しダイヤルゲージで変形量を常温(25℃)から25℃おきに600℃まで7回計測した⁴⁾。さらに、定温状態(600℃)に入ってから30分後と1時間後の変位量を計測しひずみを算出した。

Physical properties of HSC under elevated temperature.

By Tomohiro TAKANO, Mikio YAMADA, Takashi HORIGUCHI and Noboru SAEKI

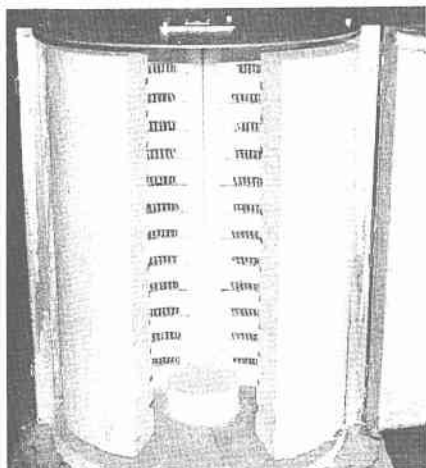


図-1 電気炉

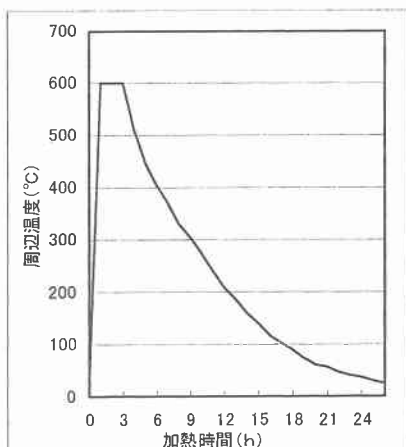


図-2 周辺温度の概略

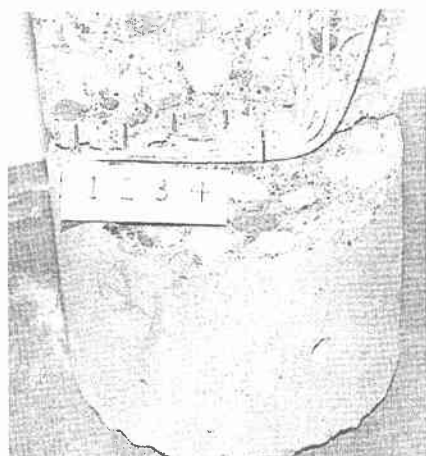


図-3 熱伝対の位置と番号

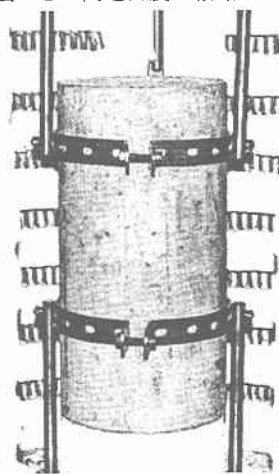


図-4 変位計測装置

3. 供試体の配合

使用した供試体の配合を表1に示す。配合は単位水量 $W=170\text{kg/m}^3$ 、 $s/a=50\%$ を一定にし、水セメント比、混和材の種類および混入率を変化させた。水セメント比は0.25、0.45の2水準で高温下における水セメント比の影響について検討を行った。混和材としてポリプロピレン短繊維とポリマービーズを採用した。ポリプロピレン短繊維が混入された高強度コンクリートを加熱すると繊維が熔融し繊維が存在していたところに空隙が形成され、この空隙が熱応力および蒸気圧の緩和に寄与するためポリプロピレン短繊維は爆裂防止に有効であると言われている^{3),6)}。ポリプロピレン短繊維は混入量を増やすと適切な分散性が得られ難くなるため本実験ではコンクリートに対して0.25vol%を混入させた。同時にポリプロピレン短繊維と同様の効果が期待できる高分子独立気泡型のポリマービーズを比較のため同容積混入し検討を行った。

高温下でのコンクリートの劣化現象はコンクリート中の水分移動が重要となるため、コンクリートの水分量を含水率として示した。含水率は100%、45～55%、0%と変化させた。コンクリート供試体の含水率の調整は27日水中養生後、恒温炉を使用し調整した。

表 1 供試体の配合

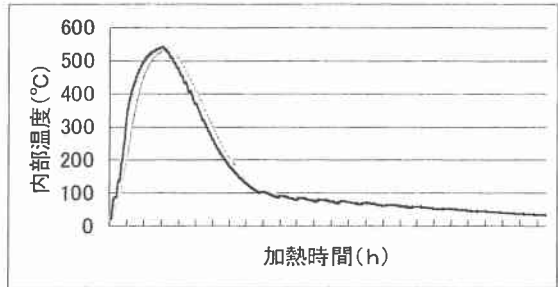
NO	W(kg/m ³)	s/a(%)	W/C	混和材の種類	混和材の混入率(%)	含水率(%)
1	170	50	0.45	無	無	100
2	170	50	0.25	ポリマービーズ	0.25	45～55
3	170	50	0.25	ポリプロピレン短繊維	0.25	100
4	170	50	0.45	ポリプロピレン短繊維	0.25	0
5	170	50	0.45	ポリプロピレン短繊維	0.25	100

4. 実験結果と考察

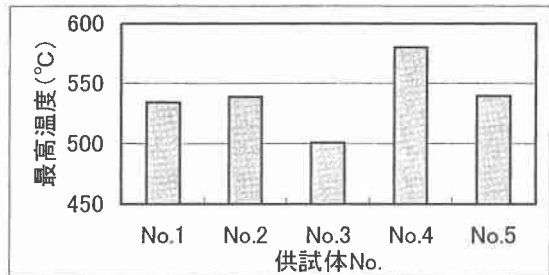
(1) 実験結果および概要

図－5は No.1 の供試体内部の温度変化と加熱時間の関係を示したものである。全ての供試体で図－5のように類似した温度履歴が示されたが供試体内部の最高温度は各供試体により異なりそれをまとめると図－6のようになる。No.4 の供試体のように特に含水率の低い供試体ほど内部の温度上昇が大きいようである。

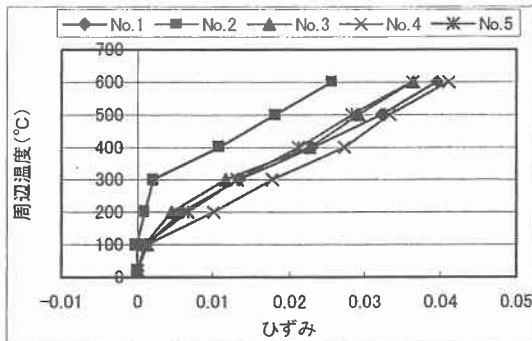
図－7は全ての供試体の各温度におけるひずみの変化をまとめたものである。どの供試体ともほぼ同様に供試体内部温度の上昇に伴い直線的にひずみが増加する傾向を示した。しかしポリマービーズを使用した No.2 だけが各温度におけるひずみ量が少ないことからポリマービーズの有効性が見てとれる。また供試体表面には微細なクラックが観察された（図－8）。No.1 の供試体で爆裂が発生したが、他の供試体で爆裂、スポーリング、ポップアウトは認められなかった。



図－5 供試体内部の温度履歴



図－6 内部の最高温度

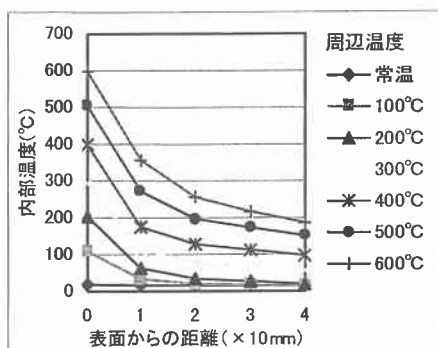


図－7 各温度におけるひずみ

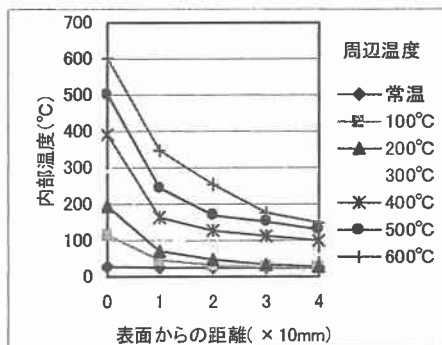


図－8 表面のクラック

(2) ポリプロピレン短繊維の影響



(a) プレーンコンクリート
(No.1 W/C=45%, 含水率: 100%)



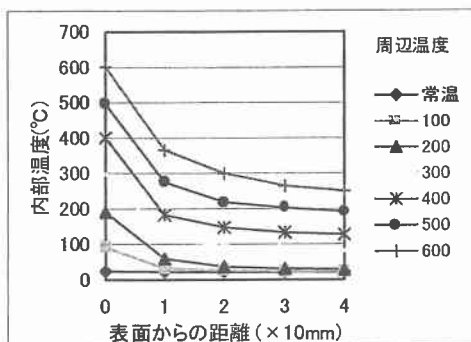
(b) ポリプロピレン短繊維混入コンクリート
(No.5 W/C=45%, 含水率: 100%)

図-9 ポリプロピレン短繊維が内部温度分布に及ぼす影響

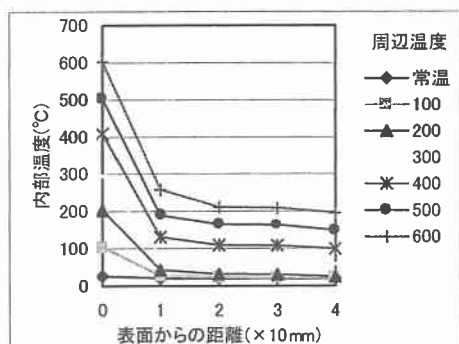
図-9 にポリプロピレン短繊維の内部温度分布に対する影響について示す。

これによれば、表面からの距離 40mm で周辺温度が 600℃ の時、ポリプロピレン短繊維を混入することにより内部温度が低下する傾向が見られる。これは内部のポリプロピレン短繊維が溶融することにより空隙を形成し、コンクリート内部の水分が気化する際の空隙量を増加することにより、気化熱が温度上昇緩和に寄与していると考えられる。また、空隙量の増加に伴い蒸気圧が低減され内部温度上昇を緩和するとも考えられる。

(3) 混和材の種類による影響



(a) ポリマービーズ混入コンクリート
(No.2 W/C=25%, 混和材の混入量: 0.25%
含水率: 45 ~ 55%)



(b) ポリプロピレン短繊維混入コンクリート
(No.3 W/C=25%, 混和材の混入量: 0.25%
含水率: 100%)

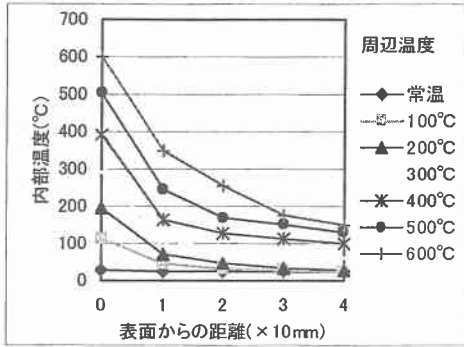
図-10 混和材が内部温度分布に及ぼす影響

図-10 にポリマービーズを用いた場合とポリプロピレン短繊維を用いた場合の内部温度分布に対する影響について示す。

両供試体共に W/C=25%であるが、含水率についてはポリマービーズを混入した供試体は 45 ~ 55%、ポリプロピレン短繊維を混入した供試体 100%である。両供試体の含水率が異なっているために単

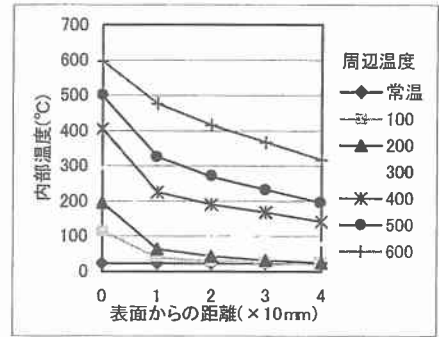
純に比較はできないが、ポリプロピレン短繊維を用いた方が温度上昇を緩和する傾向がみられ、ポリマービーズの温度上昇緩和効果については確認できなかった。

(4) 含水率の影響



(a) 含水量：100%

(No.5 ポリプロピレン短繊維，W/C=25%
混和材の混入量：0.25%)



(b) 含水量：0%

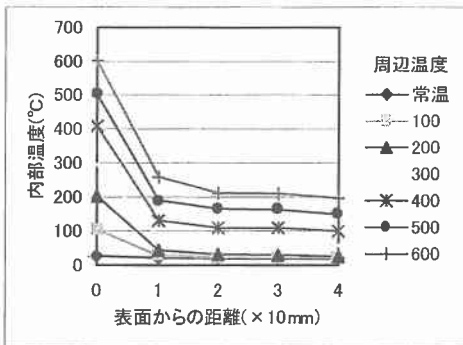
(No.4 ポリプロピレン短繊維，W/C=25%
混和材の混入量：0.25%)

図－1 1 含水率が内部温度分布に及ぼす影響影響

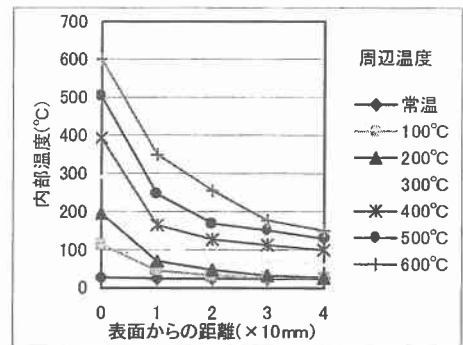
図－1 1 に含水率が内部温度に及ぼす影響を示す。

これによれば周辺温度が常温から 200℃までの間では内部温度の温度上昇や温度勾配にさほど差は見られず、含水率の影響は少ないと考えられる。これは表面から距離 10mm 以上の深さでは両供試体とも 100%以下であり、水分の蒸発による気化熱の影響がほとんど無いためと考えられる。しかし、周辺温度が 300℃以上の範囲では含水率 100%の方が内部温度上昇が緩和されることが認められた。これは前述したように供試体中の水分が発生する際の気化熱が温度上昇を緩和しているためだと考えられる。

(5) 水セメント比の影響



(a) W/C=25% (No.3 ポリプロピレン短繊維
含水率：100%，混和材の混入量：0.25%)



(b) W/C=45% (No.5 ポリプロピレン短繊維
含水率：100%，混和材の混入量：0.25%)

図－1 2 水セメントが内部温度分布に及ぼす影響

図－１２に水セメント比が内部温度におよぼす影響を示す。

これによれば、水セメント比を 25%としたものは表層部（表面から深さ 10mm）では深さ方向の温度勾配が大きく、温度上昇が緩和されていることが認められるが、それより深い部分では温度はほぼ一定となっている。一方、水セメント比を 45%としたものは深さ 40mm まで温度の低下が認められ、温度上昇緩和効果がより高いものと思われる。これは、含水率 100%であっても水セメント比が大きい方がペースト中の自由水が多く、気化熱による温度上昇緩和効果が大きくなるためと考えられる。

5. 結論

本実験の範囲内で次のことが言えると思われる。

- (1) 高強度コンクリートにポリマービーズを混入することにより温度上昇に伴い生じるひずみが減少する傾向がある。
- (2) 高強度コンクリートにポリプロピレン短繊維を混入することにより内部温度上昇を緩和することができる。
- (3) コンクリートの含水率が高い方が温度上昇緩和効果は大きい。
- (4) 水セメント比が大きい方が温度上昇は緩和される傾向にあった。

参考文献

- 1) 山崎 康行・西田 朗：「耐爆裂性コンクリート」，コンクリート工学 vol.36，No.1，pp.44-47，1998.1
- 2) 井上 明人・飛坂 基夫・榊田 佳寛：「高強度コンクリートの耐火性能の評価に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)，pp.531-532，1990.10
- 3) P.Kumar Mehta・Paulo J.M.Monteiro 共著 田澤 榮一・佐伯 昇 監訳
「コンクリート工学 微視構造と材料特性」，技報堂出版，pp.140-143，1998.10
- 4) P.J.E.Sullivan・G.A.Khoury：” Fire Performance of concretes Deduced from Strain Measurements During First Heating ”，Evaluation and Repair of Fire Damage to Concrete，ACI，SP-92-10，pp.175-196，1986
- 5) 西田 朗・山崎 康行・井上 秀之・渡辺 保：「爆裂防止用ポリプロピレン短繊維を混入した高強度コンクリートの性状に関する研究 その1～4」日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿) pp.229-234，1996.9
- 6) George C. Hoff：” Fire Resistance of High-Strength Concrete for Offshore Concrete Platforms ” Concrete in Marine Environment，ACI，SP-163-2，pp.53-88，1996