

1. はじめに

地震火災に対する鉄筋コンクリート部材の保有耐火時間および残存耐力を評価するためには、加熱を受けるコンクリート構成則の構築が最重要課題となる。

本研究は、最も基本的な観点から、既往のテストピースの加熱実験データに関する文献調査を行い、加熱条件等がテストピースの圧縮強度及び弾性係数に及ぼす影響を検討する。

2. 対象文献とその概要

本研究は、日本建築学会、日本火災学会及び日本コンクリート工学会で発表された約40年間(1970~2017年)の文献を対象とする。対象とした文献は日本建築学会で発表された論文が多数を占め、収集した文献数は43件である。テストピースに使用されるコンクリートの呼び強度は $F_c60$ 以上のものが多く半数を占めるが、本研究では $F_c60$ 以下のコンクリートについて検証を行う。

既往のテストピースの加熱試験は、実際の火災を想定したものより加熱温度の低いものが大多数である。その加熱温度は、常温(20°C)から100~800°Cまで100°C刻みで、全温度に関するデータをそれぞれ3本程度ずつ記録するのが基本的な実験方法であるが、加熱温度を600°Cまでとする文献も半数程度存在した。

また、それぞれのテストピースが上記の規定温度に達した後に保持時間(所定の時間にわたって加熱温度を保持する)を設けるものが多く、1時間から長いものでは24時間以上の保持時間が設定されている。

加熱速度は、文献ごとに独自のものが用意されており、標準化されている加熱速度は見当たらない。そのため、文献ごとにおおよそ毎分0.5~2°Cの加熱速度、すなわち、0.5~2°Cの範囲で0.5°C刻みに設定されることが多い。

上述のように、これらテストピースの加熱試験に設定される加熱温度、保持時間及び加熱速度を含む加熱パターンは、文献ごとに多種多様な組み合わせが存在するが、おおよそ図1に示す2つに大別できる。図1に示すパターンAは、規定温度に達する前に加熱速度を変化させる折れ線タイプとなり、主に100°Cの時点で加熱速度を上

昇させることが多い。本研究では、初期の加熱速度を $a$ (°C/分)、第二の加熱速度を $b$ (°C/分)とする。一方、パターンBは、初期の加熱速度を維持し、規定温度に達した後に所定の保持時間に基づいて、一定の加熱温度を継続して与える。この場合の加熱速度を $a$ (°C/分)、保持時間を $c$ (時間)とする。

3. 文献調査の結果とその考察

ここでは、各加熱パターンの代表的な結果として、パターンAに分類される実験1<sup>1)</sup>、Bに分類される実験2<sup>2)</sup>及び実験3<sup>3)</sup>について検討する。

図2にテストピースの圧縮強度-加熱温度、加熱時間及び弾性係数-加熱温度、加熱時間の関係を示す。上段の縦軸は加熱後の圧縮強度 $\sigma_B'$ を加熱前の圧縮強度 $\sigma_B$ で無次元化した値 $\sigma_B'/\sigma_B$ 、下段の縦軸は加熱後の弾性係数 $E_C'$ を加熱前の弾性係数 $E_C$ で無次元化した値 $E_C'/E_C$ である。また、横軸は、上下段とも加熱温度 $T$ (°C)及び加熱時間 $t$ (hour)を示す。なお、図中には、図1に基づいた加熱パターンの概要をあわせて示す。

図2の下段に示す弾性係数-加熱温度の関係に着目すると、加熱パターンにかかわらず、ほぼ同様の弾性係数-加熱温度関係を示していることがわかる。例えば、加熱温度200°C時点において、実験1~3とも $E_C'/E_C$ はおおよそ0.6~0.7に分布している。また、加熱温度が600°Cの場合においても、実験結果はすべて0.1程度である。このことから、加熱を受けるテストピースの弾性係数に及ぼす加熱温度、保持時間及び加熱速度の影響は小さく、加熱温度による弾性係数の一義的な評価が可能であると推察される。

一方、図2の上段に示す圧縮強度-加熱温度関係は、加熱パターンによって異なる結果を与えている。加熱パターンにかかわらず、加熱温度200°Cを折れ点とするバイリニアの性状を示し、かつ、200°C以降の加熱温度によるテストピース圧縮強度の低下の割合はほぼ等しい。例えば、加熱速度や保持時間にかかわらず、加熱温度600°C時の $\sigma_B'/\sigma_B$ はほぼ0.4である。しかしながら、加熱温度200°Cまでの圧縮強度-加熱温度関係は、加熱パターンによって以下の傾向が認められる。

- 1) パターンBの場合、加熱前の圧縮強度に比べて、加熱後の圧縮強度はほぼ一定あるいは増大しているのに対して、パターンAの場合は低下する。
- 2) 加熱速度の大きい(実験2)の場合、加熱前の圧縮強度に比べて加熱後の圧縮強度はほぼ同じ強度を保持しているのに対して、加熱速度の小さい(実験3)場合はむしろ増大している。

図3は、(a)加熱温度200°C及び(b)600°C時における

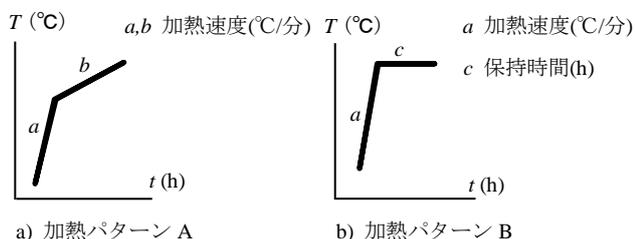


図1 テストピースの加熱パターンの分類

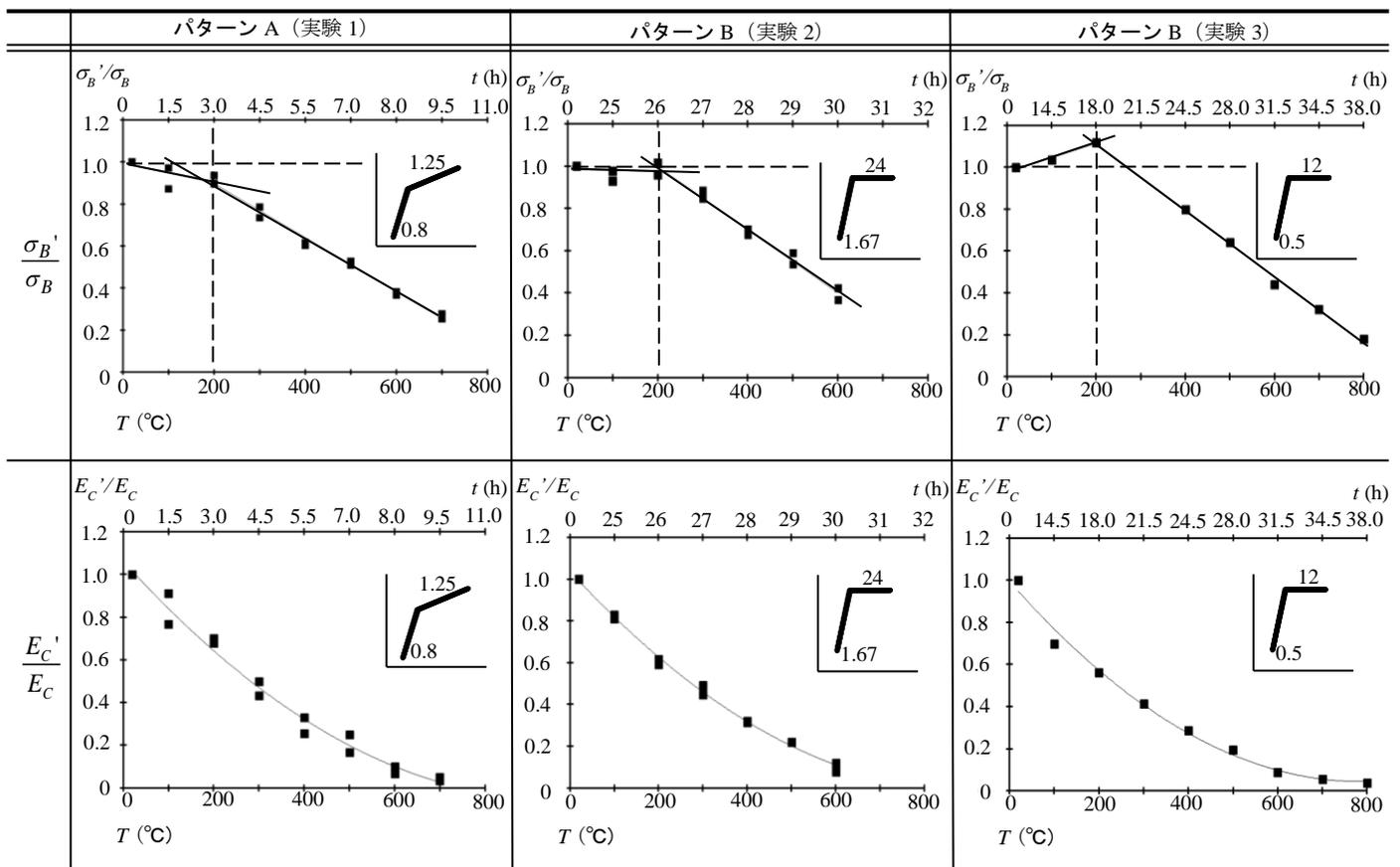
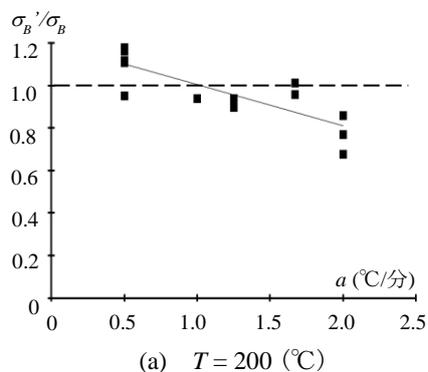
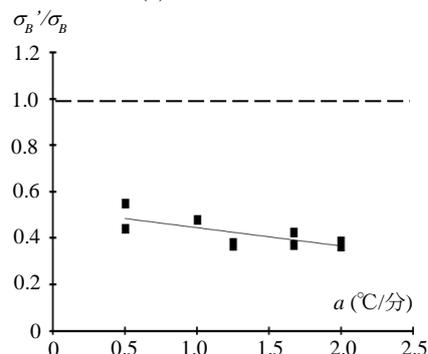


図2 加熱温度－圧縮強度・弾性係数の関係



(a)  $T = 200\text{ (}^\circ\text{C)}$



(b)  $T = 600\text{ (}^\circ\text{C)}$

図3 圧縮強度-加熱速度の関係

$\sigma_B'/\sigma_B$ －加熱速度の関係を示す。縦軸は $\sigma_B'/\sigma_B$ 、横軸は加熱速度  $a$  である。図中のプロットは、図2に示すパターン A 及び B の全実験データであり、実線は実験データの回帰直線を示す。これらの結果より、加熱速度に伴って

圧縮強度は低下するが、加熱速度が圧縮強度へ及ぼす影響は、加熱温度の増大に伴って小さくなる傾向が認められる。

#### 4. まとめ

本文献調査の結果、以下の知見が得られた。

- 1) 加熱パターンは、加熱温度 200°C までのテストピースの加熱温度-強度の関係に影響を及ぼすが 200°C 以上の領域では加熱パターンにかかわらず、加熱温度に反比例して圧縮強度は小さくなる。
- 2) 加熱を受けるテストピースの圧縮強度は、加熱速度に反比例して小さくなるが、その効果は加熱温度が大きくなるにつれて小さくなる。
- 3) 加熱を受けるテストピースの弾性係数におよぼす加熱温度、保持時間及び加熱速度の影響は小さいことから、加熱を受けるテストピースの弾性係数は、加熱温度により一義的に評価することができると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 安部武雄, 古村福次郎, 戸祭邦之, 黒羽健嗣, 小久保純; 高温度における高強度コンクリートの力学的特性に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.515, pp.163-168, 1999.1
- 2) 一瀬賢一, 長尾覚博; 高温加熱を受けた高強度コンクリートの力学的性質に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.541, pp.23-30, 2001.3
- 3) 松沢晃一, 橋高義典; 高温加熱の影響を受けたコンクリートの引張破壊特性に及ぼす粗骨材の影響, 日本建築学会構造系論文集, No.707, pp.1-7, 2015.1