

## 高温加熱を受けたコンクリートの再養生による強度回復

福島工業高等専門学校 正会員 林 久資  
 福島工業高等専門学校 フェロー 緑川 猛彦

### 1. はじめに

福島第一原子力発電所では、東日本大震災によって生じた津波の影響で原子力発電所電源が喪失し、原子炉燃料が溶融した。溶融した原子炉燃料は圧力容器を通過しているとの報告もあり、場合によっては格納容器の下部領域、さらには建屋下部領域に原子炉燃料が到達している可能性がある。この原子炉燃料が到達したと想定される領域はコンクリートを主とする建設材料で構成されているが、予想以上の高温に曝されたコンクリートの物性についての研究例は少ない。また当時においては原子炉圧力容器の温度を下げるために淡水や海水の注入が行われたが、このような複雑な状況下でのコンクリートの状況を把握する事は重要であると考えられる。以上の観点から本研究は、高温に曝されたコンクリートおよびその後水中放置されたコンクリートの圧縮強度について実験的に検討する事とした。

### 2. 実験概要

#### 2.1 コンクリートの配合

コンクリートに用いた材料は、普通ポルトランドセメント ( $\rho_c=3.15 \text{ g/cm}^3$ )、細骨材 (山砂,  $\rho_s=2.56 \text{ g/cm}^3$ , F.M.=2.88)、粗骨材 (陸砂利,  $\rho_g=2.68 \text{ g/cm}^3$ )、リグニンスルホン酸系高性能減水剤および空気連行剤とした。コンクリートの配合を表-1 に示す。コンクリートの配合は、福島第一原子力発電所の3号機で使用された配合<sup>1)</sup>を参考に、シリンダー強度  $f_c=23 \text{ N/mm}^2$  程度になるように W/C=70%としたもの (Case1) 及び高強度コンクリートとなるように W=C=35%としたもの (Case2) の2種類とした。供試体は、電気炉の内空を考慮し  $\phi 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$  の円柱供試体を高さの1/2で切断したもの ( $\phi 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ ) を用いた。コンクリート打設後28日間標準養生を行い、100°Cの炉中で2日間乾燥した後本格的な加熱試験を行った。加熱後の供試体が常温 (約20°C) になった後に圧縮試験を実施した。一方、加熱後再養生する供試体は、20°Cの真水および海水を模擬した3%食塩水中で約6週間養生した。

#### 2.2 加熱方法

図-1 に加熱状況の一例を示す。常温から3時間で所定の加熱温度 (200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C) まで上昇させ、その後一定の温度を保った後炉中で自然冷却した。Case1 では加熱時間の影響を検討するために、加熱時間を3時間、6時間、12時間、24時間とした。Case2 では加熱時間は6時間とした。

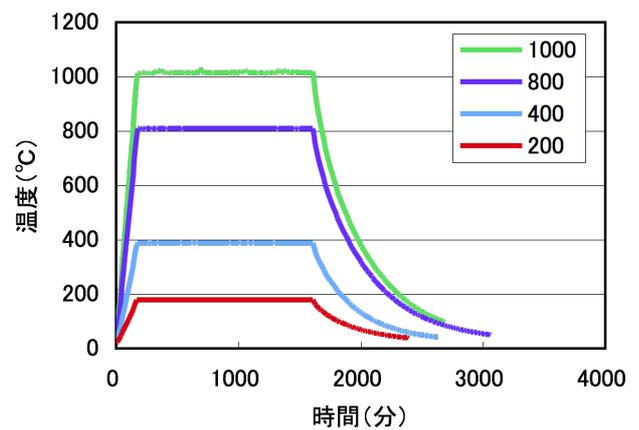


図-1 加熱時間の一例

### 3. 実験結果及び考察

図-2 に Case1 の実験での加熱時間と圧縮強度との関係を示す。いずれの加熱時間においても加熱温度 200°C 以上においては、加熱温度を増加するにつれて圧縮強度が低下している。また、加熱時間が長いものは短いものに比較して約  $5 \text{ N/mm}^2$  ほど強度が低下しているようである。

表-1 コンクリートの配合

	Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Unit Volume(kg/m <sup>3</sup> )						圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
						W	C	S	G	SP(%)	AE(%)	
Case1	20	12±1.5	6±0.5	70	48.4	164.5	235.1	868.4	969.4	1.0	0.8	19.0
Case2	20	12±1.5	6±0.5	35	41.4	164.5	470.0	663.8	983.6	1.0	0.8	65.1

キーワード 高温加熱, 加熱時間, 再養生, 海水中養生, 強度回復

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 Tel : 0246-46-0835, Fax : 0246-46-0843

しかしながら、この加熱時間による差異は微妙な所であり有意な差と考えるには更に検討が必要である。したがって、コンクリートの強度低下は熱の継続時間よりも加熱温度の影響が大きいと考えられる。

図-3 に低強度コンクリートと高強度コンクリートにおける加熱温度と強度低下の傾向について示す。この図は、加熱しない供試体の圧縮強度に対する加熱後の強度比をプロットしたものである。コンクリートの強さに関わらず加熱後の強度低下率はほぼ同じであり、600℃の加熱で約50%、800℃の加熱で約20%まで強度が低下する事が分かる。参考まで CEB による曲線<sup>2)</sup>を示すが、本実験結果でもこの曲線とほぼ同じとなった。

図-4 に再養生による強度回復の傾向を示す。加熱後に再養生した結果、加熱温度 400℃以下の供試体では加熱後の圧縮強度の約80%まで回復することとなった。一瀬ら<sup>3)</sup>の研究によれば、高温加熱後の圧縮強度は加熱温度が500℃以下であれば水中養生により80%まで回復できる事が示されており、本実験においても同様の傾向を示した。一方、加熱温度600℃及び800℃の供試体では、再養生により加熱後の圧縮強度のそれぞれ70%および40%まで回復することとなった。加熱したコンクリート再生微粉末の再利用の研究<sup>4)</sup>では、再生微粉末を600℃に加熱処理する事により高い再水和性を有するβ-C<sub>2</sub>S合成される事が明らかになっている。本実験においても加熱により水和性物質が合成され、その結果強度が大幅に回復したものと推察される。

4. 結論

高温に曝されたコンクリートおよびその後水中放置されたコンクリートの圧縮強度について実験的に検討した結果、以下の知見を得た。

- 1) 加熱によるコンクリートの強度低下は、加熱時間よりも加熱温度の影響が大きい。
- 2) コンクリートの圧縮強度に関わらず、加熱による強度低下の傾向は同じである。
- 3) 再水中養生による強度回復は、加熱温度 400℃以下で80%程度であるが、600℃で70%程度、800℃で40%程度となった。これは加熱による水和性物質の合成によるものと考えられる。

【参考文献】

- 1)野村顕雄, 田中宏志, 白阪靖人: 福島原子力発電所第3号機工事報告, コンクリートジャーナル, Vol.12, No.6, pp.72-81, 1974
- 2)D.J. Naus: A Compilation of Elevated Temperature Concrete Material Property Data and Information for Use in Assessments of Nuclear Power Plant Reinforced Concrete Structures, United States Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-7031, ORNL/TM-2009/175, 2010
- 3)一瀬賢一, 川口徹, 長尾覚博, 河辺伸二: 高温加熱を受けた高強度コンクリートの強度回復, コンクリート工学年次論文集, VOL.25, NO.1, PP.353-358, 2003
- 4) 依田和久, 新谷彰, 間宮尚, 青木孝一: 加熱した再生微粉末の再水和性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, VOL.30, NO.2, PP.415-420, 2008

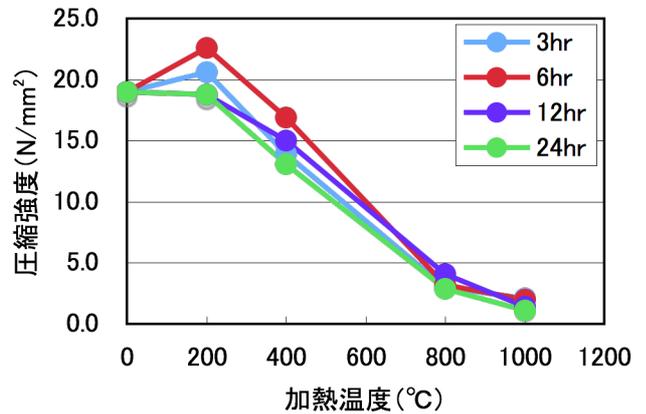


図-2 加熱時間と圧縮強度

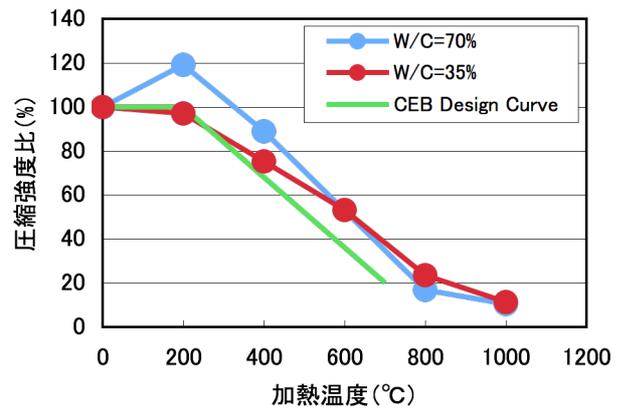


図-3 加熱温度と強度低下の傾向

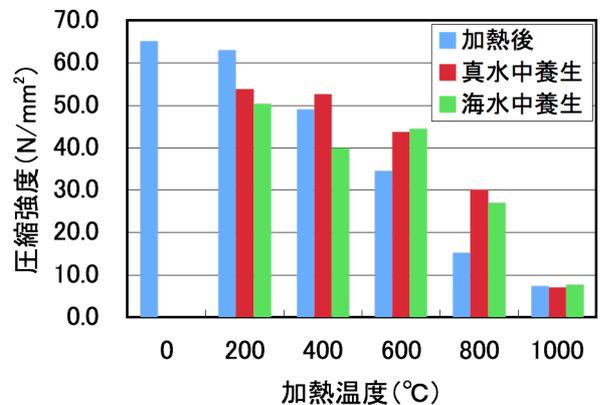


図-4 再養生による強度回復の傾向