

高温履歴を受けたセメントペーストの温度生成物について

福島工業高等専門学校 学生会員○田代 小牧
 福島工業高等専門学校 フェロー 緑川 猛彦

1. はじめに

東京電力（株）福島第一原子力発電所では、東北地方太平洋沖地震に伴って発生した津波により全ての電源が喪失し1~3号機の原子炉燃料棒が熔融した。高温の炉心熔融物（デブリ）は格納容器下部まで達していると予想され、コンクリートで構成されている建屋下部に大きな影響を及ぼしている可能性がある。建家の健全性を把握するためには、高温の熱履歴を与えられたコンクリートの性状を把握することが重要であることから、本研究では、セメントペーストに高温の熱履歴を与え、セメントペースト中の化合物の変化を観察した。

2. 実験概要

2. 1 供試体の作製

水セメント比 $w/c=40\%$ でセメントペーストを練り混ぜ、 $\phi 50 \times 100 \text{mm}$ の供試体を作製し、 20°C の水中で28日間養生した。養生後全ての供試体を 100°C で24時間炉乾燥した。

2. 2 温度履歴

炉乾燥後、電気炉により 200°C 、 400°C 、 600°C 、 800°C 、 1000°C の熱履歴を与えた。加熱は常温から3時間で所定の温度まで加熱し、6時間所定の温度を保った。その後炉の電源を落とし炉中で常温まで戻した（図-1）。加熱後、それぞれの温度履歴を与えた供試体の圧縮強度試験を行った。圧縮強度は供試体3本の平均値を採用した。

2. 3 X線回折による観察

圧縮強度試験後、それぞれの供試体を粉砕し $75\mu\text{m}$ のふるいを通した粉末を用いてX線回折法による観察を行った。X線の測定条件は管電圧 40kV 、管電流 30mA 、スキャン速度 $0.2\text{deg}/\text{min}$ 、サンプリング間隔 0.02deg とした。

3. 実験結果及び考察

3. 1 圧縮強度

図-2に温度履歴を与えた供試体の圧縮強度を示す。供試体の圧縮強度は、温度履歴 200°C で若干増加するものの、それ以降では低下した。 600°C 、 800°C 、 1000°C の供試体では、加熱後供試体形状が若干小さくなるとともにひび割れが発生した。これは乾燥収縮によるものと推察される。この乾燥収縮によるひび割れのために 600°C 、 800°C 、 1000°C の供試体では圧縮強度を測定できなかった。

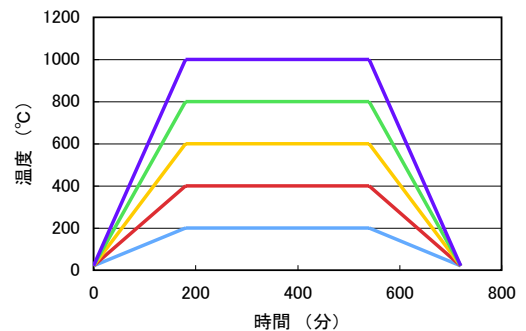


図-1 加熱パターン

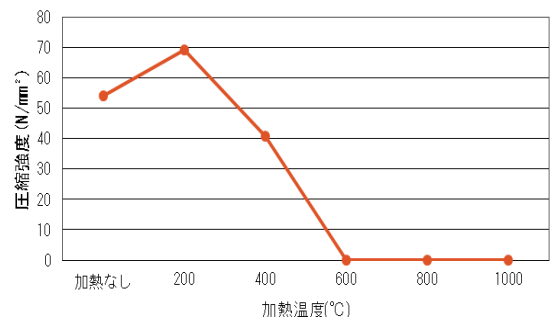


図-2 セメントペースト供試体の圧縮強度結果

キーワード XRD セメントペースト 温度生成物 水酸化カルシウム ゲーレンナイト

連絡先 〒970-8034 いわき市平上荒川字長尾 30 福島工業高等専門学校 TEL0246-46-0835

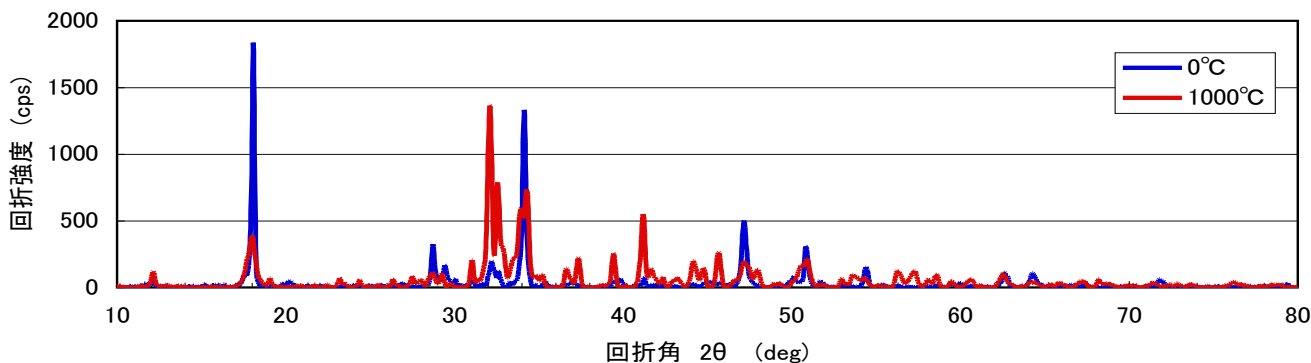


図-3 X線回折結果（加熱無しおよび1000°C加熱）

3. 2 X線回折結果

図-3に「加熱無し」と「1000°C加熱」セメントペーストのX線回折結果を示す。加熱温度が高くなることでセメントペーストのX線回折結果が大きく変化しており、ペーストの化合物の構成が変化していることが分かる。特に回折角 $2\theta=18.1^\circ$ 付近の水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)と回折角 $2\theta=32.6^\circ$ のゲーレンナイト($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$)の部分で大きな変化が見える。そこで、水酸化カルシウムとゲーレンナイトの温度による体積の変化を把握するために、それぞれの化合物の結晶子径を求めたこととした。

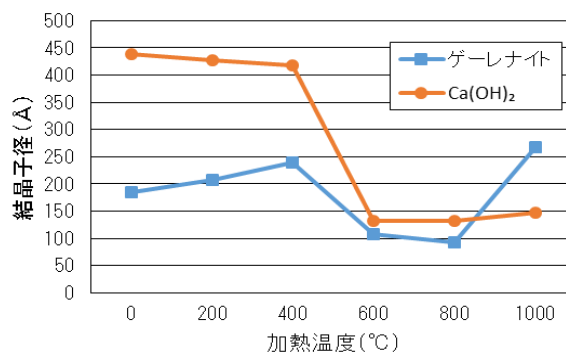


図-4 加熱温度履歴と結晶子径

P. Scherrerによると、結晶子の大きさ（結晶子径） L は、回折強度のピークの広がり（強度半分の所に相当する 2θ （半値幅 β ））で表すと以下の関係にあるとされる。ここで、 K は定数（0.9）、 $\lambda=1.5405$ である。

$$L = K\lambda / (\beta \cos \theta)$$

図-4に温度履歴と結晶子径の関係を示す。水酸化カルシウムでは、温度履歴が高くなるにつれて結晶子径が小さくなる傾向を示し、特に400°C以降で大きな減少を示す。また、ゲーレンナイトでは800°C付近まで結晶子径の変化は見られないが800°C以降に大きな増加を示している。したがって、水酸化カルシウムは加熱により分解され体積が減少し、このことがセメントペーストの圧縮強度の減少に大きく関わっていると推察される。また、依田¹⁾によれば、水和活性を持たない安定な鉱物であるゲーレンナイトの増加は再水和性を低下させることが報告されていることから、1000°Cまで加熱したセメントペーストの再養生による強度回復は期待できないものと考えられる。

4. 結論

高温の温度履歴を受けたコンクリートの圧縮強度性状を把握するために、セメントペースト供試体に温度履歴を与え、X線回折による観察結果から水酸化カルシウムとゲーレンナイトの結晶子径を算定した。本検討により得られた知見を以下に示す。

(1) 加熱によるセメントペーストの圧縮強度の低下傾向と水酸化カルシウムの結晶子径の低下傾向が一致していることから、圧縮強度の低下原因の一つが水酸化カルシウムの熱分解によるものと推察される。

(2) 1000°Cの加熱ではゲーレンナイトの結晶子径が増加していることから、1000°Cに加熱したコンクリートでは再養生による強度回復は期待できないものと考えられる。

【参考文献】

1) 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