

高温加熱を受けたモルタルの強度低下について

福島工業高等専門学校 学生会員○吉田 葵
福島工業高等専門学校 学生会員 澤村真美
福島工業高等専門学校 フェロー 緑川猛彦

1. はじめに

東日本大震災の津波による事故で福島第一原子力発電所の原子炉燃料が溶融した。原子炉で溶融した高温の燃料デブリは圧力容器を通過し、格納容器下部のコンクリート領域まで到達していることが確認されている。燃料デブリが落下した格納容器下部のペデスタルやコンクリート底部は、高温の熱により劣化し強度が低下していることが予想される。本研究では、高温加熱したモルタルの熱劣化状況を把握するために圧縮強度特性を実験的に検討したものである。

2. 実験概要

普通ポルトランドセメント ($\rho_c=3.15\text{cm}^3$)、フライアッシュセメント B 種 ($\rho_c=2.96\text{cm}^3$) および豊浦標準砂 ($\rho_s=2.63\text{cm}^3$) を用いて W/C=50%, S/M=40%のモルタル供試体 ($\phi 50\text{mm}\times 100\text{mm}$) を作製し、20℃の水中で約 2 ヶ月間の養生を行った。その後、100℃で 24 時間の炉乾燥を行い、電気炉を用いて 100℃から 1,000℃まで 50℃ピッチで 24 時間の本格加熱を行った。温度勾配によるモルタルのひび割れを防止するために加熱速度 1℃/min、冷却速度 0.5℃/min とした。供試体温度が常温（約 25℃程度）まで低下した後、一部の供試体の圧縮強度試験を実施した。残りの供試体については再度 20℃の恒温水槽に浸し、28 日間の再養生を行った後圧縮強度を実施した。

圧縮試験終了後供試体を粉砕し、5mm の篩を通る粒状体と粉体の 2 種類の試料を作製し、気相置換法による見掛け密度を測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 圧縮強度

図-1 に普通ポルトランドセメント (OPC) を用いたモルタルの加熱温度と圧縮強度との関係を示す。モルタルの圧縮強度は、100℃の加熱により一時的に増加する（乾燥による強度増加）ものの、それ以降 1,000℃まで単調に減少し、1,000℃での圧縮強度はほぼ零となった。このような傾向はこれまでの研究でも報告されている¹⁾ものの、本実験においては特に 500℃付近における強度の急激な低下が認められた。500℃の供試体では円周方向に剥離のような比較的大きなひび割れが生じていたことから、このひび割れが強度低下に関係しているものと予想された。なお、450℃および 550℃の供試体ではこのように大きなひび割れは生じなかった。

加熱後再養生した供試体の圧縮強度は、400℃以前において再養生による強度の回復傾向が若干見られた。しかし 400℃から 600℃付近では強度の回復は見られず、600℃から 800℃付近において大きな強度回復が見られたが、それ以降の 1,000℃では強度が零になった。

図-2 にフライアッシュセメント (FB) を用いたモルタルの加熱温度と圧縮強度との関係を示す。FB モルタルにおいても圧縮強度の傾向は OPC モルタルと基本的には同じであり、100℃から 200℃付近で一時的に乾燥による強度増加が生じ、その後 1,000℃まで単調減少した。また、500℃付近において若干であるが強度が低下する傾向を示した。

加熱後再養生した供試体の圧縮強度も OPC モルタルと同じであるが、400℃以前における強度回復が OPC モルタルよりも小さかった。しかし 400℃から 600℃においては若干の強度回復を示し、さらに 600℃から 800℃付近においての大きな強度回復が見られた。これは OPC モルタルと同じ傾向であった。

キーワード 高温加熱, 普通ポルトランドセメント, フライアッシュセメント B 種, 圧縮強度, 密度

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 TEL 0246-46-0835

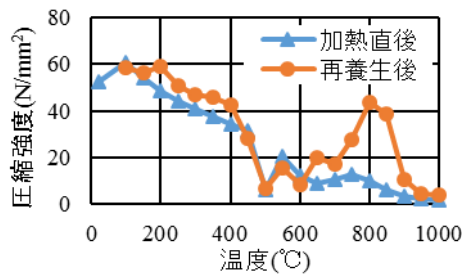


図-1 OPC モルタルの加熱温度と圧縮強度の関係

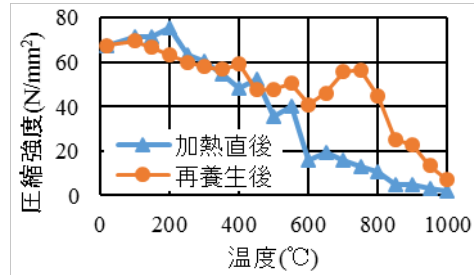


図-2 FB モルタルの加熱温度と圧縮強度の関係

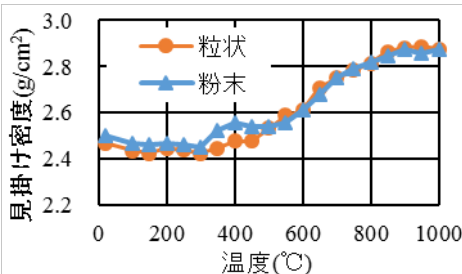


図-3 OPC モルタルの加熱温度と見掛け密度の関係

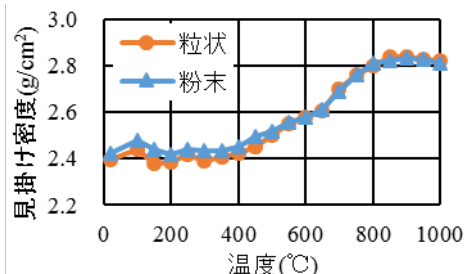


図-4 FB モルタルの加熱温度と見掛け密度の関係

3.2 見掛け密度

図-3 に OPC モルタルの加熱温度と見掛け密度との関係を示す。加熱によりモルタル中の水分が蒸発することやモルタル組織の緻密化により見掛け密度は増加傾向を示す。また一般的に、粒状モルタルの見掛け密度は内部に独立した微小な空隙を含むため、粉末状モルタルの見掛け密度より低くなる。このため非加熱から 300℃程度までは粒状モルタルの見掛け密度は粉末状モルタルのそれより若干低い値となっている。しかしながら、350℃から 500℃にかけての両者の見掛け密度は大きな乖離を示した。さらに、この温度帯は図-1 に示す圧縮強度が大きく低下する温度と一致した。これは粒状モルタル内部の微小空隙中に存在する水分が蒸発し、その水蒸気圧により微小空隙が膨張して見掛け密度が低くなっていることを示すものと考えられる。加熱によりこの水蒸気圧が徐々に増加し、微小空隙中の細孔壁を破壊することによりモルタルの圧縮強度が低下するものと推察される。

図-4 に FB モルタルの加熱温度と見掛けの密度との関係を示す。FB モルタルの見掛け密度は全体的に OPC モルタルの見掛け密度と同様の傾向を示すが、350℃から 500℃における見掛け密度において大きな乖離を示さなかった。このことは、モルタル内部の微小空隙中での水蒸気圧による膨張が生じていないことを示し、よって、膨張による微小空隙中の細孔壁の破壊も生じないため、OPC モルタルが示すような 500℃付近における急激な強度低下が生じなかったものと考えられる。

4. 結論

高温加熱を受けたモルタルの強度特性を把握するために、100℃から 1,000℃までモルタル供試体を加熱し圧縮強度および見掛け密度を測定した。本実験範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1) OPC モルタルおよび FB モルタルとも、加熱温度を増加するに従い圧縮強度は低下し、1000℃の加熱で圧縮強度はほぼ零となった。
- (2) OPC モルタルは加熱温度 500℃付近で急激な強度低下を生じるが FB モルタルでは急激な強度低下は生じない。このメカニズムは見掛け密度との関係において説明することができる。
- (3) OPC モルタルおよび FB モルタルとも、加熱後再養生をすることによりある程度まで強度回復する。

【参考文献】

- 1) Qianmin Ma, Rongxin Guo, Zhiman Zhao, Zhiwei Lin, Kecheng He: Mechanical properties of concrete at high temperature - A review, Construction and Building Materials, Volume 93, pp.371-383, 2015.9