

コンクリートの水セメント比が爆裂に及ぼす影響について

福島工業高等専門学校 学生会員 ○渡辺大樹

福島工業高等専門学校 小野豊生

福島工業高等専門学校 正会員 山ノ内正司

1. はじめに

近年、私達の身の回りの構造物は木製からコンクリート製に変わり、それによって強度や耐火性などの機能が進化し、超高層建築物の建設が増えている。しかし超高層建築物に使用されている高強度コンクリートは、急激な加熱から生じる爆裂現象が発生しやすく、普通コンクリートよりも耐火性能が低いことが問題視されている。

爆裂とは、コンクリートが火災などによる高温加熱を受けた場合、コンクリート内部の水蒸気がうまく移動できずに表層部が爆発的に剥離する現象である。しかし、明確な爆裂発生メカニズムは未だ解明されていないのが現状である。

本研究では、爆裂発生の要因として考えられる「水セメント比」、「空気量」の2つをパラメータとし、この2つの配合条件がコンクリートの爆裂に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 実験供試体

寸法 160mm×135mm×40mm、最大骨材寸法 10mm、水セメント比 50%で空気量 3.4%、4.7%、8.0%、水セメント比 40%で空気量 3.0%、4.5%、6.0%、のコンクリートをそれぞれ 3 体ずつ作製した。空気量 3.0%、3.4%の供試体は AE (Air Entraining Agent) 減水剤、補助 AE 剤を用いずに作製した。その他にも水セメント比 30%で空気量 3.5%の高強度コンクリートを 5 体作製し、供試体は全部で 23 体となった。また、内部の温度を測定するため、供試体の中心部に熱電対を埋め込んだ。作製した供試体は 28 日間水中養生させた後、直ちに加熱試験を行った。水セメント比 30%の供試体については、早強ポリランドセメントを用いたため、水中養生期間は 14 日間とした。コンクリート内の空気量の測定にはエアメーターを使用した。

表 1 作製した供試体の種類

水セメント比(%)	空気量(%)		
50	8.0	4.7	3.4 (AE 剤なし)
40	6.0	4.5	3.0 (AE 剤なし)
30	3.5		

3. 実験概要

熱源には 3 重型の大型ガスコンロを使用し、その上に鉄板を載せ、供試体の周りを断熱材で囲み、横には耐火レンズを置いて保温性を高める。また、供試体と鉄板との間には断熱材を置き、供試体と鉄板が直接触

れないように約 1cm の空間をあけた。これは、供試体全体を均一に加熱させることを図ったものである。また、水セメント比 30%供試体においては、熱源に 4 重型のガスコンロを使用し、供試体の周りを耐火レンガで覆い温度の上昇速度を高めた。使用した実験装置を図 1 に示す。

加熱試験はコンクリートが爆裂するまで、またはコンクリート内部の温度が 300~400℃に達するまで行い、10 秒間隔で温度を計測した。

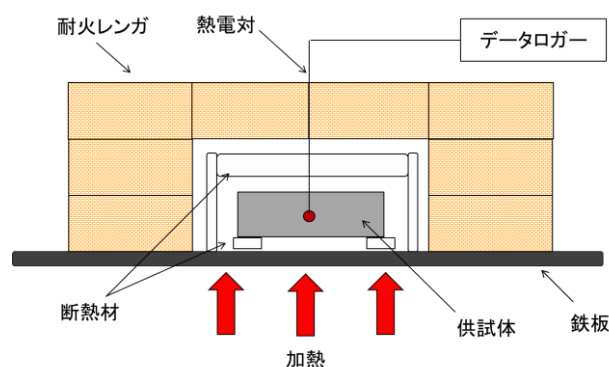


図 1 加熱試験装置

4. 実験結果および考察

加熱試験を行った結果、水セメント比 50%の供試体ではほとんど変化がみられなかったため、水セメント比 40%と 30%の供試体について考察する。加熱試験でのそれぞれの供試体の爆裂発生状況を表 2 に示す。また、図 2 は水セメント比 40%、空気量 6.0%の供試体、図 3 は空気量 4.5%の供試体、図 4 は水セメント比 30%、空気量 3.5%の供試体の温度と温度上昇速度の経時変化を示している。

表 2 供試体の爆裂発生状況

水セメント比 (%)	50			40			30
空気量 (%)	8	4.7	3.4	6	4.5	3	3.5
爆裂の発生割合	×	×	×	×	○ 33%	×	○ 40%

4.1 空気量による違い

水セメント比 40%の 3 種類の供試体について比較する。図 2 をみると、試験を開始してから 15 分ごろに

キーワード：コンクリート、高温加熱、爆裂、空気量、水セメント比

連絡先：福島県いわき市平上荒川長尾 30 福島工業高等専門学校 0246-46-0832

増加傾向だった温度上昇速度が減少し始めていることがわかる。この時のコンクリート内部の温度は100℃を超えていることから、水分が水蒸気となって外部に放出されているといえる。また、温度上昇速度が再び増加し始めた時が、コンクリート内の水蒸気の移動がピークに達していると考えられる。しかし、空気量 6.0%の供試体では爆裂は発生しなかった。空気量 3.0%の供試体も 6.0%の供試体と同様に、水蒸気の動きは確認できたものの爆裂は発生しなかった。

一方、空気量 4.5%の供試体は爆裂が発生した。これは爆裂というよりも爆発に近い破壊をし、原型を留めない位に粉々の状態になった。図 3 をみると、爆裂が発生するまでの温度上昇速度は、図 2 の空気量 4.5%供試体とほとんど同じ傾向であることがわかる。また、空気量が少ない供試体は、独立した気泡が多くなりやすい構造をしているため、水蒸気が移動しにくい領域が存在し、爆裂が発生したのではないかと考えられる。

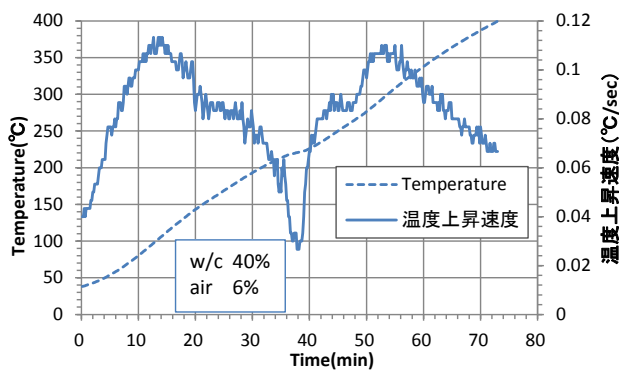


図 2 温度、温度上昇速度の経時変化 (w/c40%, air6.0%)

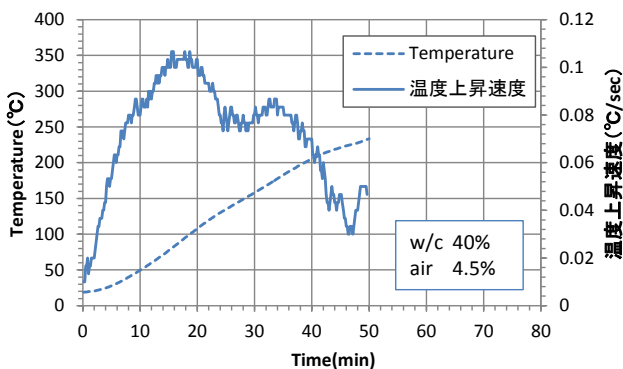


図 3 温度、温度上昇速度の経時変化 (w/c40%, air4.5%)

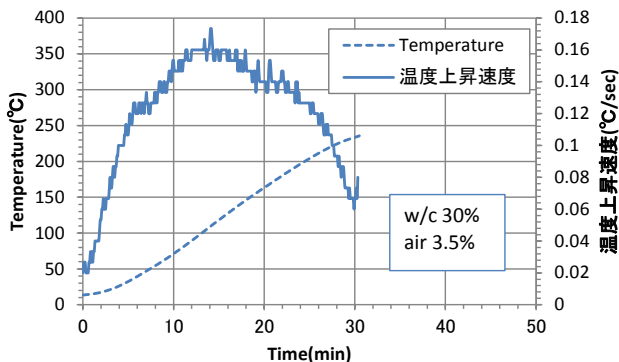


図 4 温度、温度上昇速度の経時変化 (w/c30%, air3.5%)

4.2 空気の種類による違い

空気量が少ない方がコンクリート内部の水蒸気が移動しにくくなり、爆裂が発生しやすいと予想していた。しかし今回の実験結果より、空気量 4.5%の供試体は爆裂したが、空気量 3.0%の供試体では爆裂しなかった。これは、エントラップトエア（練混ぜや打設の際にコンクリート中に自然に混入する空気）とエントレインドエア（AE 剤を使用する際にコンクリート中に混入する空気）の違いではないかと考えられる。一般にエントラップトエアの直径は肉眼で見える程度から 1.0cm 程度、エントレインドエアの直径は 0.08~0.10mm 程度とされている²⁾。エントラップトエアの方がエントレインドエアよりも大きいため、水蒸気がコンクリート内部を移動しやすくなり、爆裂が発生しにくくなるのではないかと考えられる。今回爆裂が発生しなかった 3.0%の供試体は、AE 剤を使用せずに作製した。そのためコンクリート内の空気がエントラップトエアのみとなってしまう、爆裂が発生しなかったことと関係があるのではないかと考えられる。

4.3 細孔径による違い

表 2 より、水セメント比 50%の供試体は爆裂しなかった。図 5 のように、水セメント比 50%のような強度の低いコンクリートは細孔径の大きな空隙が多く、水セメント比 30%のような強度の高いコンクリートは内部の空隙が密で、細孔径の小さな空隙が多くなりやすい構造と対応している。水セメント比 50%の供試体は水蒸気が放出しやすい構造になっているため、爆裂が発生しなかったと考えられる。

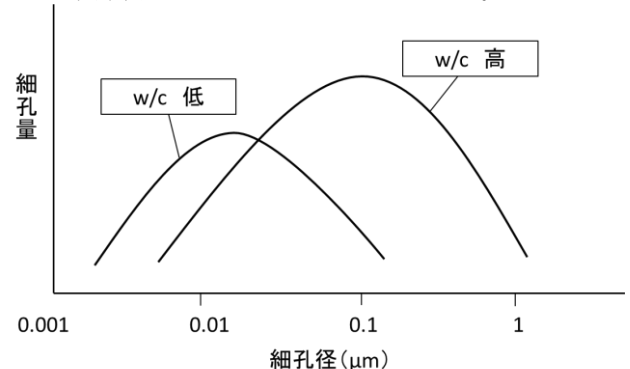


図 5 細孔径分布の模式図

5. おわりに

実験装置を改良したことにより、温度上昇速度に違いが生じた。今後は配合条件を変えて供試体を作製して加熱試験を行い、加熱速度を変化させることで、温度上昇速度や爆裂にどのような影響を与えるのか明らかにする。

【参考文献】

- 1) 水野潤樹：「AE 法による高温加熱を受けるコンクリートの損傷過程の評価」、平成 21 年度 卒業研究報告書 2010 年
- 2) 松戸正士、西田浩和、大塚貴弘、平島岳夫、安島武雄：高温加熱による高強度コンクリートの力学的特性について、日本建築学会構造系論文集、第 73 巻、第 624 号、pp341-347、2008 年 2 月
- 4) 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性質に関する実験的研究」、日本建築学会構造系論文集、第 541 号、pp23-30、2001 年 3 月
- 5) 郭度連、國府勝郎、宇治公隆、上野敦：「コンクリートの乾燥収縮に及ぼす水セメント比および養生条件の影響」、コンクリート工学年次論文集、Vol.25、No.1、2003