

熱応力測定によるコンクリートの爆裂評価方法に関する実験的検証

太平洋マテリアル(株) 正会員 ○谷辺 徹
 同 正会員 菊地 弘悦
 同 正会員 鎌田 亮太
 岐阜大学 正会員 小澤 満津雄

1. はじめに

鉄筋コンクリート造は火災などで急激に高温にさらされた場合に爆裂が生じることがあり、高強度、高含水なほど発生しやすいと言われている¹⁾。この爆裂の発生原因としては、コンクリート中の水分の水蒸気圧と熱膨張の拘束や温度分布に起因する熱応力が影響していると報告されている¹⁾。しかし、水蒸気圧測定結果から爆裂を評価した例は多数報告されているが^{2)~4)}、熱応力測定結果から爆裂を評価した結果を報告した例は少ない。そこで筆者らは、熱応力を実測して爆裂を評価する方法に関して実験的に検証を行ったので以下に報告する。

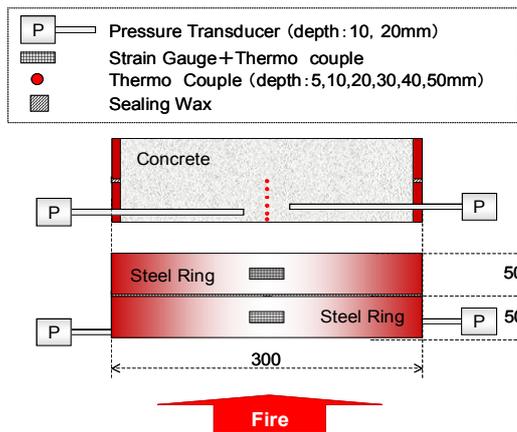


図-1 試験体概要

2. 熱応力測定による爆裂評価方法

2. 1 試験体

鋼製リング(φ300×H50×t8mm)を2段重ねにした拘束リングの内部に蒸気圧測定用のステンレスパイプ(外径5mm, 内径2mm)と温度測定用のK型熱電対を設置してコンクリートを充填し、試験体とした(図-1参照)。充填したコンクリートの強度特性および加熱試験時の含水率を表-1に示す。

2. 2 加熱条件

加熱条件として、RABT30分(5分で1200℃、30分まで1200℃保持)加熱を適用した(図-2①参照)。

2. 2 測定項目

(1) 水蒸気圧

コンクリート内部に設置したステンレスパイプにマシンオイルを充填した後、圧力センサーを接続して測定を行った。なお、測定位置は加熱面から10mmと20mmの2箇所とした。

(2) 拘束応力

ひずみゲージにて試験時の拘束リングのひずみを測定し、リングがコンクリートの熱膨張を拘束する拘束応力を算出した。なお、ひずみ測定位置は上部および下部リングの中心位置(加熱面から25mm, 75mm位置)とした。また、拘束応力は式(1)を用いて算出し、式(2)に示す通り水蒸気圧と熱応力の合力とした。

$$\text{拘束応力} (\sigma_{\text{restrain}}) = \text{リングひずみ} (\epsilon_t) \times \text{リング肉厚} (t) \times \text{リング材ヤング係数} (E) / \text{リング内径} (R) \quad \dots \text{式 (1)}$$

$$\text{拘束応力} (\sigma_{\text{restrain}}) = \text{水蒸気圧} (\sigma_{\text{vapor}}) + \text{熱応力} (\sigma_{\text{thermal}}) \quad \dots \text{式 (2)}$$

(3) 爆裂深さ：加熱冷却後に試験体の爆裂深さを厚みゲージにて測定した。

2. 3 温度推定

市販の解析ソフトにて熱伝導解析を実施し、試験体の温度推定を行い、試験結果と比較した。なお、解析に用いた熱特性は、ユーロコード4(コンクリート)と日本建築学会鋼構造設計指針(鋼材)の値を適用した。

3. 試験結果

結果の概要を以下に、また加熱試験中に測定した炉内温度、コンクリート温度、拘束リングの温度とひずみ、水蒸気圧および加熱冷却後の爆裂深さ、そして拘束応力算出結果、熱伝導解析結果を図-2に示す。

キーワード コンクリート, 爆裂, 水蒸気圧, 熱応力, 拘束

連絡先 〒285-0802 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋マテリアル(株) 開発研究所 TEL043-498-3921

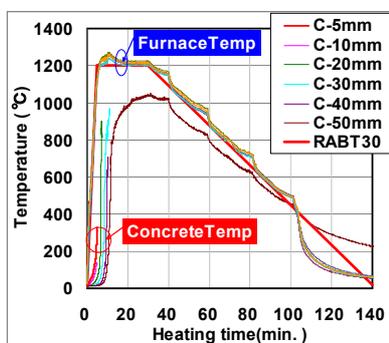
図-2①,④より,加熱開始4分から10分程度まで爆裂が断続的に生じたため,コンクリート内部温度は加熱面から40mm位置までは,途中で計測不能となったが,50mm位置は最高で1000℃程度まで上昇した.また爆裂深さは最大61mmで,断面深さの50%以上となり,中心部ほど爆裂深さが大きい傾向を示した.

図-2②より,拘束リングの温度は最大350℃程度まで上昇したが,爆裂が開始した5分程度までは,30℃以下であり,十分にコンクリートの熱膨張が拘束される条件であることが確認された.

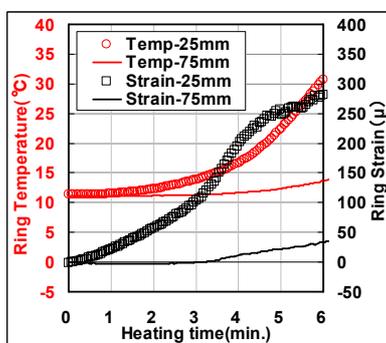
図-2③より,爆裂が最初に生じた4分時点での水蒸気圧は,10mm位置で0.05MPaであり,既往の文献の測定値(最大4.7MPa)^{2)~4)}より小さい値となったが,爆裂開始直前から急激な圧力上昇を示した.また,深さ20mm位置は,10mmより遅れて蒸気圧が上昇してくることが確認された.

図-2⑤より,拘束リングのひずみから算出した拘束応力は,深さ25mmで加熱後5分に3.3MPaであった.

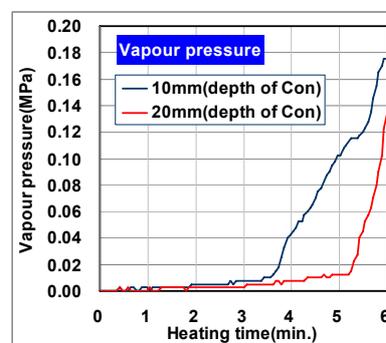
図-2③,⑥より,加熱後5分で熱応力の影響度を見ると,深さ10mmの水蒸気圧測定値(0.1MPa)と拘束応力の推定値(11MPa)から,熱応力が拘束応力の大部分を占める結果となった.加熱中のコンクリート温度の熱伝導解析結果から,加熱後5分時点での表面温度を530℃とした場合,コンクリート温度と拘束応力の関係から表面付近の拘束応力を外挿すると42MPa程度となった.



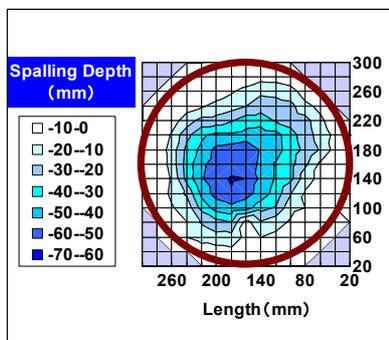
① 炉内およびコンクリート温度



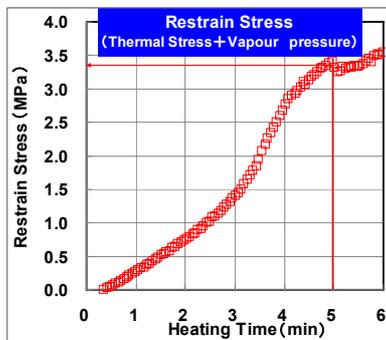
② リング温度およびひずみ



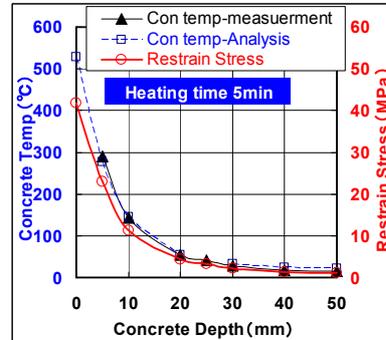
③ 水蒸気圧



④ 爆裂深さ分布



⑤ 拘束応力



⑥ コンクリート温度, 拘束応力

図-2 測定結果および拘束応力計算結果

4. まとめ

① 拘束リングを用いる本爆裂評価方法にて,リングのひずみ測定によりコンクリートの水蒸気圧に加え,熱応力と爆裂の関係を評価できる可能性を見出すことができた.

② 今回,爆裂発生時の10mm位置の拘束応力が11MPaと算出され,水蒸気圧が既往の文献で報告されている5MPa程度であったとしても熱応力が水蒸気圧より卓越している可能性が高いことが推察された.

今後もデータを蓄積し,水蒸気圧の影響を測定方法から再検証すると共に熱応力が爆裂に及ぼす影響のメカニズムの検証を進める予定である.

参考文献

- 1) 森田武: コンクリートの爆裂とその防止対策, コンクリート工学, vol.45, No.9, pp87-91, 2007.9
- 2) 長尾ら: 高強度コンクリートの爆裂に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.18, No.1, pp657-662, 1996
- 3) 小澤ら: 高温加熱によるコンクリートの爆裂現象に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp753-758, 2007
- 4) 小澤ら: 高温環境下における水溶性 PVA 繊維および Jute 繊維混入コンクリートの爆裂抑制効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp1133-1138, 2010