外径および拘束条件が異なる拘束リングを用いたコンクリートの爆裂評価

太平洋マテリアル㈱　正会員　○鎌田　亮太
同　正会員　谷辺　徹
岐阜大学　正会員　小澤　満津雄
同　正会員　六郷　恵哲

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]．この爆裂にはコンクリート中の水分による水蒸気圧と熱膨張の拘束や温度勾配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，水蒸気圧の実測値から爆裂を評価した例は多数報告されているが[2),3)]，熱応力の実測値から爆裂を評価した報告は少ない．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進めている[4]．本報では外径および拘束条件が異なる拘束リングを用いた爆裂評価結果を報告する．

2．実験概要

2．1　供試体

鋼製リング（φ300，520×H50×t8mm）を 2 段重ねにした外径の異なる 2 種類の拘束リングの内部に水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，供試体とした（図-1 参照）．外径 520mm の拘束リングは 2 ピースをジョイント部でネジ止めした連結型とした．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．

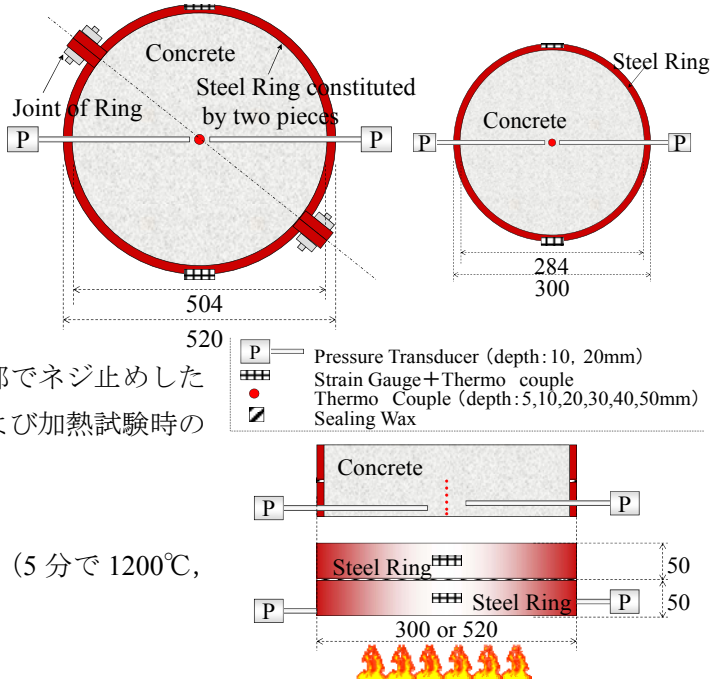

図-1　供試体概要図

2．2　加熱条件

加熱条件として，急速加熱条件である RABT30 分（5 分で 1200℃，30 分まで 1200℃保持）加熱を適用した．

2．3　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ジャッキ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．

表-1 コンクリートの強度特性および含水率

Fc (MPa)	Ec (GPa)	Ft (MPa)	Water content(%)
90	42	5.5	3.1

（Fc：圧縮強度，Ec：ヤング係数，Ft：引張強度）

(2) 拘束応力

ひずみゲージにて試験時の拘束リングの円周方向ひずみを測定し，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．

$$\sigma_{expand} = \varepsilon_0 E \frac{t}{R}$$　・・・式（1）

$$\sigma_{expand} = \sigma_{restrain} = \sigma_{vapor} + \sigma_{thermal}$$　・・・式（2）

σ_{expand}：熱膨張圧　$\sigma_{restrain}$：拘束応力　σ_{vapor}：水蒸気圧　$\sigma_{thermal}$：熱応力
R：リング内径　E：リング材ヤング係数　t：リング肉厚　ε_t：リング円周方向ひずみ

(3) 外形変化量

加熱試験中の供試体の外径変化量（ΔR）を測定するため，供試体水平変位を変位計（感度：1000 μ /mm）

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

にて測定した．なお，測定位置は加熱面から 25,75mm 位置の下段，上段リングそれぞれの中心位置とした．

(4) 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 20mm ピッチで測定した．

3．試験結果

(1) 爆裂規模

爆裂深さ分布を図-2 に示す．加熱後 4 分程度から爆裂現象が発生し，10 分程度まで継続した．しかし，爆裂規模は外径 300mm の方が 520mm より大きい傾向を示した．本報では爆裂発生期間の 10 分までの測定結果について示すこととする．

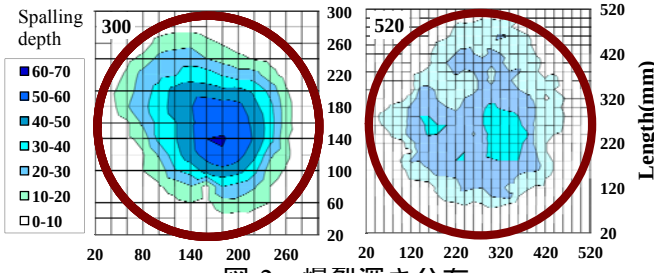

図-2 爆裂深さ分布

(2) コンクリート温度

コンクリート温度測定結果を図-3 に示す．コンクリート温度が 300℃前後で爆裂現象が発生している傾向が確認された．また，外径 520mm の方が若干低いが，コンクリート温度は爆裂発生まではほぼ同程度の温度上昇速度を示した．

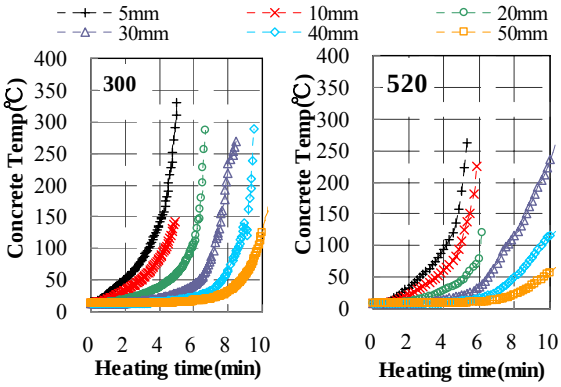

図-3 コンクリート温度

(3) 水蒸気圧

水蒸気圧測定結果を図-4 に示す．爆裂規模が小さい外径 520mm の方が 0.46MPa と高い水蒸気圧を示した．また，水蒸気圧とコンクリート温度の関係は飽和蒸気圧曲線(S.V.)に近い挙動を示し，爆裂やクラックの発生により圧力が解放されると推察すると，外径 520mm は爆裂規模が小さいため水蒸気圧が高まったと推察される．

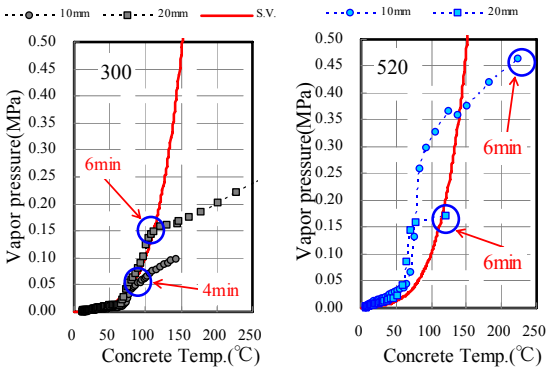

図-4 水蒸気圧とコンクリート温度の関係

(4) 熱応力（拘束応力）および外径変化量

拘束応力および外径変化量（ΔR）の測定結果を図-5 に示す．外径 300mm は外径変化量に比例して拘束応力が増大する傾向を示し，最大で 4MPa の拘束応力を示したが，520mm では拘束応力は外径変化量に比例せず，外径変化量が大きな値を示しても拘束応力は殆ど上昇しなかった．これは，ジョイント部の緩みのため拘束が小さくなったと推察される．また，測定された拘束応力（外形 300mm で 3MPa, 6 分）は，水蒸気圧(外形 300mm で 0.20MPa, 6 分)に比べて十分に大きく，式(2)より拘束応力は，熱応力にほぼ等しいと考えられる．

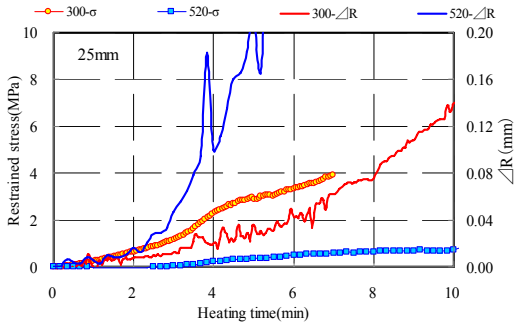

図-5 拘束応力と外径変化量

4．まとめ

外形寸法および拘束条件（ジョイントの有無）の異なる拘束リングにて爆裂の評価を実施し，拘束条件の影響により爆裂規模が異なり，拘束が強く熱応力が大きいほど爆裂規模が大きくなることが確認された．また，水蒸気圧は飽和水蒸気圧と爆裂やクラックなどの欠陥発生との関連が深いことが推察された．今後は拘束条件も爆裂規模および熱応力へ与える影響の確認を更に進める予定である．

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) 谷辺ら：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，第 66 回土木学会年次学術講演会講演概要集，第 5 部門，pp.155-156，2011