

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(株)
同
同

正会員
正会員
正会員

○坂本
鎌田
谷辺

撰
亮太
徹

群馬大学
岐阜大学
同

正会員
正会員
正会員

小澤
内田
六郷

満津雄
裕市
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る。この原因として、熱応力と水蒸気圧、そしてその複合作用の影響が報告¹⁾されている。そこで筆者らは、拘束リングを用いて熱応力を実測し、熱応力の爆裂への影響を評価する方法に関して検証を進めている²⁾。本報では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(φ520×H50×t8mm)を2段重ねにした拘束条件の異なる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)。タイプA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、タイプBの拘束リングは一体型とした。充填したコンクリートの示方配合および使用材料を表-1, 2に、強度特性および加熱試験時の含水率を表-3に示す。

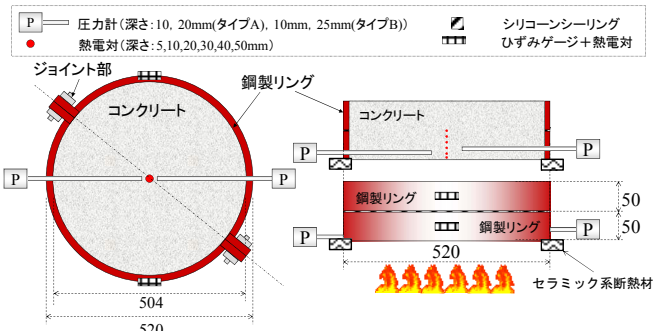


図-1 供試体概要(タイプA)

表-3 強度特性および含水率

配合	Fc(MPa)	Ec(GPa)	Ft(MPa)	含水率(%)
A	90.2	42.0	5.5	3.1
B	91.2	42.6	5.6	4.4

(Fc:圧縮強度, Ec:ヤング係数, Ft:引張強度)

表-1 コンクリートの示方配合

配合	W/C	単位量(kg/m ³)								
		水	セメント	細骨材1	細骨材2	粗骨材1	粗骨材2	粗骨材3	粗骨材4	SP.
A	0.3	132	440	814	—	524	524	—	—	8.8
B	0.3	150	500	—	744	—	—	406	612	3.5

表-2 コンクリートの使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm ³)	粗骨材 3	砕石 2010 硬質砂岩(大垣 上石津)
細骨材 1	木曽川水系(吸水率 1.64%, 絶乾密度 2.56 g/cm ³)	粗骨材 4	(吸水率 0.98%, 絶乾密度 2.61 g/cm ³)
細骨材 2	長良川水系(吸水率 1.64%, 絶乾密度 2.60 g/cm ³)		砕石 1505 硬質砂岩(大垣 上石津)
粗骨材 1	木曽川水系(吸水率 1.42%, 絶乾密度 2.58 g/cm ³)		(吸水率 1.64%, 絶乾密度 2.61 g/cm ³)
粗骨材 2	木曽川水系(吸水率 1.34%, 絶乾密度 2.52 g/cm ³)	高性能減水剤	ポリカルボン酸系

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。

3. 実験結果および考察

3. 1 爆裂規模

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。爆裂深さ分布を図-2, 3 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。爆裂深さは A タイプ(最大 40mm, 平均 13mm)に比べて、B タイプは爆裂深さが大きい(最大 62mm, 平均 18mm)ことが確認された。

3. 2 供試体温度

コンクリートおよび拘束リング温度測定結果を図-4, 5 に示す。コンクリート温度が 120~300℃程度で爆裂現象が発生している傾向が確認された。また、拘束リングは、経過時間 10 分程度までは、ひずみゲージの耐熱温度(80℃)以下であることが確認された。

キーワード

コンクリート, 爆裂, 水蒸気圧, 熱応力, 拘束応力

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

3. 3 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オイルを充填した後、圧力計を接続して測定を行った。測定位置は加熱面から 10 と 20mm (タイプ A)、10 と 25mm (タイプ B) の 2 箇所とした。水蒸気圧測定結果を図-6 に示す。水蒸気圧 P は、爆裂発生時に急激に上昇することが確認された。深さ方向も温度上昇に伴い、水蒸気圧が徐々に上昇することが確認された。しかし、水蒸気圧 P は、拘束条件に係らず、最大圧力は 0.5MPa 程度とコンクリートの引張強度と比べてかなり小さい値で爆裂が発生することが確認された。

3. 4 拘束応力

ひずみゲージにて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³⁾。なお、ひずみ測定位置は各リングの中心位置(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 P により負荷される応力 (σ_{vapor}) と熱応力 (σ_{thermal}) の合力とした。拘束応力の測定結果を図-7 に示す。タイプ B は、経過時間 10 分、深さ 25mm で 3MPa とタイプ A (経過時間 10 分、深さ 25mm で 0.7MPa) と比べて 4 倍程度の大きな値を示した。

$$\sigma_{\text{restrain}} = \varepsilon_{\theta} E_s \frac{t}{R} \quad \dots \text{式 (1)}$$

$$\sigma_{\text{expand}} = \sigma_{\text{restrain}} = \sigma_{\text{vapor}} + \sigma_{\text{thermal}} \quad \dots \text{式 (2)}$$

σ_{expand} : 熱膨張圧 σ_{restrain} : 拘束応力 σ_{vapor} : 水蒸気圧により負荷される応力 σ_{thermal} : 熱応力
 t : リング厚さ R : リング内半径 ε_{θ} : リング円周方向ひずみ E_s : リング材弾性係数

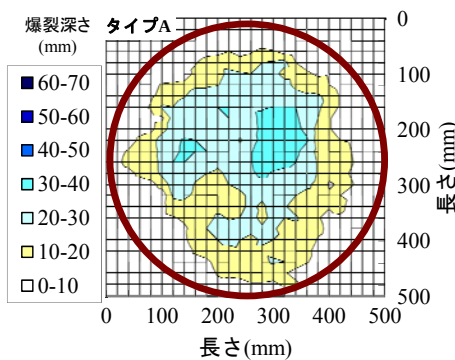


図-2 爆裂深さ (タイプ A)

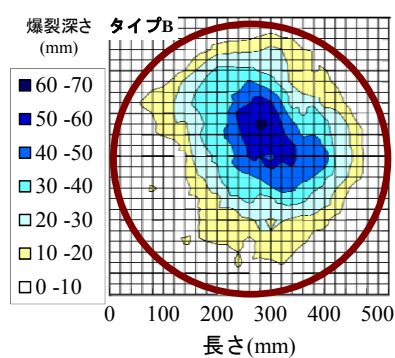


図-3 爆裂深さ (タイプ B)

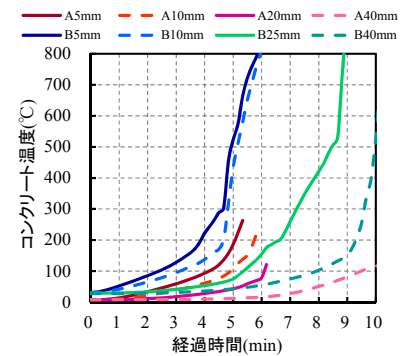


図-4 コンクリート温度

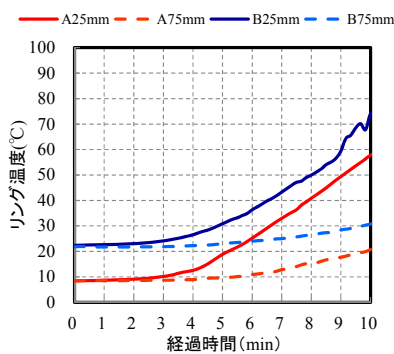


図-5 リング温度

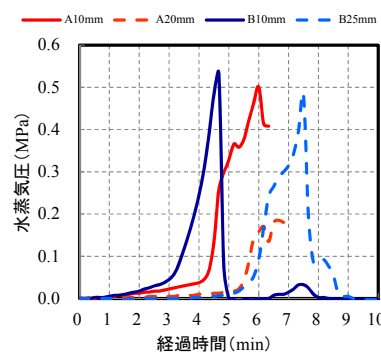


図-6 水蒸気圧

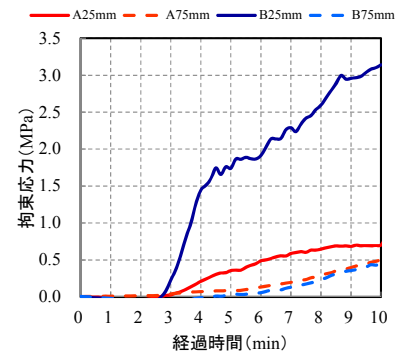


図-7 拘束応力

4. まとめ

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た。その結果、ジョイント無の一体型の方が爆裂深さは大きく、拘束応力も大きくなることが確認された。水蒸気圧 P は、拘束条件に係らず 0.5MPa と小さな値であった。このことから、拘束リング試験では、リングの拘束の効果により、拘束応力が発生していること、そして、リングのひずみから拘束応力を評価できる可能性があることが確認された。

参考文献

- 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
- 谷辺ら：拘束リング試験法を適用したコンクリート高温環境下における耐爆裂性に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1138 - 1143，2012.
- 辻埜ら：膨張コンクリートの簡易拘束膨張試験方法，コンクリート工学年次論文集，Vol. 33，No. 1，pp. 437-442，2011.