

PP 繊維および耐火被覆材が粗骨材種類の異なるコンクリートの爆裂性状に及ぼす影響

正会員 ○鎌田 亮太*¹
同 谷辺 徹*¹
同 小澤 満津雄*²
同 六郷 恵哲*³

コンクリート 爆裂 PP 繊維
耐火被覆 骨材 引張破壊ひずみ

1 はじめに

鉄筋コンクリート構造物が火災を受けると爆裂現象が生じることがある。爆裂現象の抑制方法は、ポリプロピレン (PP) 繊維を添加する方法と耐火被覆材を設置する方法が一般的であるが、爆裂現象の抑制効果を定量的に評価している事例は少ない。そこで筆者らは、コンクリートの耐爆裂性を定量的に評価することを目的として、種々の検討を行ってきた。既報より、拘束リングの内部にコンクリートを打設した供試体の一面加熱による拘束リング試験法ならびに「破壊プロセス」と「爆裂プロセス」からなる爆裂メカニズムを提案した。さらには、この「破壊プロセス」における爆裂発生指標として、引張ひずみ破壊指数 (I_{e-p}) を定義し、爆裂発生深さを評価できる可能性があることを報告してきた¹⁾。そこで、本報告では、骨材種類、PP 繊維添加の有無、耐火被覆材設置の有無を考慮した供試体を作製し、拘束リング試験法を用いて、爆裂規模への影響を引張ひずみ破壊指数にて評価することとした。

2 試験概要

2.1 供試体

図-1 に本試験に用いた拘束リング供試体の概要を示す。また、本試験に使用したコンクリートの調合を表-1、使用材料を表-2、加熱試験時の力学特性および含水率を表-3 に示す。異なる 2 種類の粗骨材 (輝緑凝灰岩、石灰岩) を使用するコンクリート (AG、AL) を基準とし、PP 繊維の添加 (AGP、ALP) ならびに耐火被覆材を設置 (AGFP、ALFP) したコンクリートの計 6 水準を使用した。耐火被覆材は、湿式吹付けタイプの耐火被覆材を厚み 30mm にて施工した。

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

a) 供試体温度および水蒸気圧

供試体の各部温度の測定には、クラス 2 のガラス被覆 K 型熱電対を用いた。水蒸気圧の測定は、コンクリート内部に設置したステンレスパイプにシリコンオイルを充填

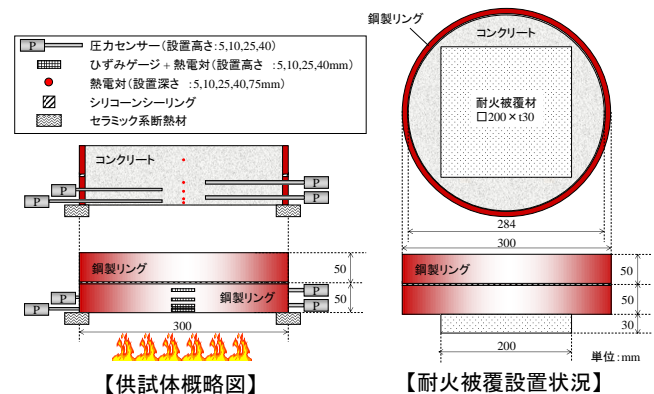


図-1 供試体概要

表-1 コンクリートの調合

記号	W/C	単位量 (kg/m ³)							PP 繊維
		W	C	S1	S2	G1	G2	SP	
AG	0.3	150	500	358	372	1169	—	9.5	—
AGP	0.3	150	500	358	372	1169	—	10.5	1.82
AL	0.3	150	500	358	372	—	1095	7.5	—
ALP	0.3	150	500	358	372	—	1095	10.0	1.82

表-2 使用材料

記号	詳細
C(セメント)	早強ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm ³)
S1(細骨材 1)	佐野市中町産細目砕砂(吸水率 1.06%, 絶乾密度 2.60g/cm ³)
S2(細骨材 2)	大間々町小平産砕砂(吸水率 1.93%, 絶乾密度 2.68g/cm ³)
G1(粗骨材 1)	砕石 2005 輝緑凝灰岩(大間々町小平産) (吸水率 0.94%, 絶乾密度 2.83g/cm ³)
G2(粗骨材 2)	石灰岩(旦島鉱山) (吸水率 0.81%, 絶乾密度 2.68g/cm ³)
SP(高性能減水剤)	ポリカルボン酸系高性能減水剤

表-3 硬化体特性

コンクリート種類	圧縮強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	含水率 (%)
AG	93.3	58.6	6.9	3.1
AGP	102.9	52.6	7.4	3.3
AL	94.8	50.1	6.0	3.2
ALP	87.6	52.4	6.8	3.4

した後、圧力計 (許容値: 10MPa) を接続して測定を行った。

b) 爆裂現象

観察用窓から、コンクリートの飛散物を目視にて観察した。また、加熱試験後に供試体の加熱表面からの欠損深さを 20mm 間隔にて測定した。

c) ひずみ破壊指数

拘束リング外周面に設置したひずみゲージより円周方向ひずみを測定し、式 (1) を用いてコンクリートに生じる拘束応力を算出した。その後、式 (2) ~ (4) を用いてひずみ破壊指数 ($I_{\varepsilon-f}$) を求めた。また、式 (5) に示す通りひずみ破壊指数が 1 となる場合をひずみ破壊指数の限界値 ($I_{\varepsilon-lim}$) とし、破壊が発生する基準値とした。

$$\sigma_x = \varepsilon_\theta \cdot E_s \cdot \frac{t}{R} \quad (1)$$

$$\varepsilon_x = \sigma_x / E_c \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = 2\varepsilon_x \cdot \nu_c \quad (3)$$

$$I_{\varepsilon-f} = \varepsilon_z / \varepsilon_{t-f} \quad (4)$$

$$I_{\varepsilon-lim} = 1 \quad (5)$$

σ_x	: 拘束応力 (面内直応力)
ε_θ	: リング材円周方向ひずみ
t	: リング材厚さ
E_s	: リング材ヤング係数
R	: リング内半径
ε_x	: 面内直ひずみ (圧縮)
ε_z	: 面内直ひずみ (引張)
ε_{t-f}	: 引張破壊ひずみ
E_c	: 弾性係数 (MPa)
ν_c	: ポアソン比
$I_{\varepsilon-f}$: ひずみ破壊指数
$I_{\varepsilon-lim}$: ひずみ破壊限界値

4 試験結果および考察

4.1 爆裂規模

図-2 に爆裂深さ分布を示す。石灰岩を用いた供試体において、爆裂規模が大きくなる傾向を示した。また、PP 繊維添加により、爆裂規模は抑制されたが、完全に爆裂を防止することはできなかった。なお、耐火被覆を設置した供試体においては、石灰岩を用いた場合でも爆裂は全く認められなかった。

4.2 水蒸気圧測定結果

図-3 に水蒸気圧測定結果を示す。なお、爆裂が発生した供試体は、観察結果とコンクリート温度の変曲点から求めた爆裂深さの経時変化も併せて示す。水蒸気圧の最大値は、5MPa 以上の高い値を示した。一方、耐火被覆材を設置した供試体は、水蒸気圧の急激なピークが認められなかった。

4.3 引張ひずみ破壊指数による爆裂深さ推定

供試体の爆裂深さを引張ひずみ破壊指数を用いて推定した結果を図-4 に示す。なお、観察結果とコンクリート温度の変曲点から求めた爆裂深さの経時変化も併せて示す。推定の際、弾性係数には日本建築学会の温度依存性モデル²⁾、見掛けのポアソン比には 0.3、引張破壊ひずみには 100μ を設定することで、本供試体条件の範囲では、引張ひずみ破壊指数を用いて爆裂深さの経時変化ならびに最大爆裂深さをある程度推定できた。しかし、PP 繊維を添加した場合、推定値と観察結果とで差が生じる傾向にあった。これより、PP 繊維の添加効果を含めて最大爆裂深さを精度よく推定することでは、引張ひずみ破壊指数による評価のみでは不十分であることが確認された。すなわち、「破壊プロセス」における引張ひずみ破壊指数が限界値を超え、コンクリートが破壊条件に達する際、

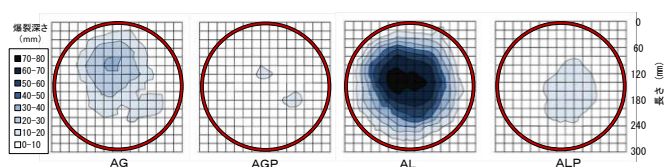


図-2 爆裂深さ分布

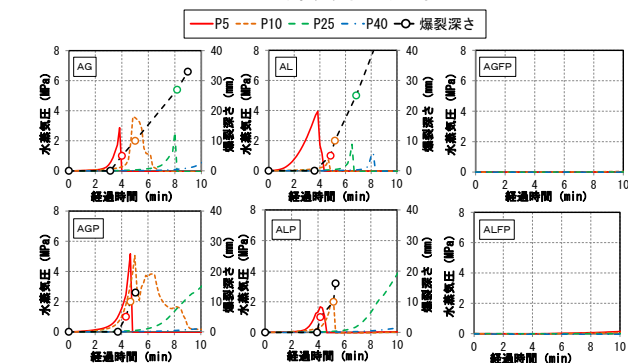


図-3 水蒸気圧および爆裂深さの経時変化

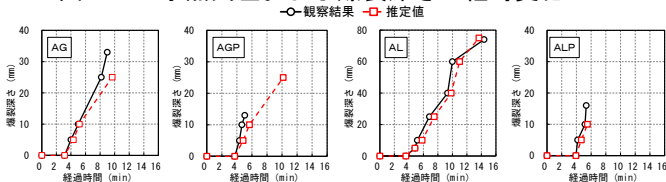


図-4 引張りひずみ破壊指数による爆裂深さ推定

水蒸気圧などにより破壊片を面外へ弾き飛ばす「爆裂プロセス」を考慮する必要があることが確認された。

5 まとめ

PP 繊維の添加および耐火被覆を設置した粗骨材種類の異なるコンクリートの爆裂抑制効果について、拘束リングを用いた加熱試験により実験的に検証した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 粗骨材種類において、石灰岩を用いた供試体の爆裂規模は大きくなる傾向を示した。
- 2) PP 繊維の添加により、爆裂規模は抑制されたが、完全に爆裂を防止することはできなかった。一方、耐火被覆を設置した供試体においては、爆裂は全く認められなかった。
- 3) 引張ひずみ破壊指数を用いて爆裂深さの経時変化ならびに最大爆裂深さをある程度推定できた。

謝辞

本研究は平成 23 年度鹿島学術振興財団の研究助成ならびに平成 23 年度科学技術研究補助金基盤研究 (C) 研究課題番号: 2542049 (代表: 小澤満津雄) を受けた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 谷辺ら: 高温環境下での高強度コンクリートの耐爆裂性評価における爆裂発生指標の提案, 土木学会論文集 E2, Vol. 70, No. 1, 104-117, 2014
- 2) 日本建築学会: 構造材料の耐火性ガイドブック, 2009

*1 太平洋マテリアル (株) 開発研究所

*2 群馬大学 理工学研究院 環境創生部門

*3 岐阜大学 工学部 社会基盤工学科

*1 Research & Development Laboratory, Taiheiyo Materials Corporation

*2 Gunma University, Faculty of Engineering

*3 Gifu University, Department of Civil Engineering