

強度レベルと粗骨材種類が高強度コンクリートの爆裂に及ぼす影響の評価

太平洋マテリアル(株) 正会員 ○谷辺 徹 同 正会員 鎌田 亮太
 群馬大学 正会員 小澤 満津雄 岐阜大学 正会員 坂本 撰
 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、水蒸気や熱応力（拘束応力）の影響で爆裂が生じることがある。筆者らは、水蒸気圧と拘束応力を計測し、コンクリートの耐爆裂性を定量的に評価する拘束リング試験方法と、拘束応力に起因する面外方向の引張ひずみによる破壊条件と破壊片を面外へ弾き飛ばす圧力条件が両立する際に爆裂が発生するとしたメカニズムを提案している¹⁾。また、爆裂発生指標にひずみ破壊指数を用いて爆裂深さの推定を行い、爆裂深さの経時変化を推定できる可能性があることも報告している¹⁾。本報では、強度レベルや粗骨材種類、そして加熱条件の影響を拘束リング試験方法にて、ひずみ破壊指数を適用して評価した結果を報告する。

2. 試験概要

2.1 試験水準

試験水準は、表-1 に示した強度レベル、粗骨材種類、加熱条件の異なる 7 水準とした。

表-1 試験水準

強度レベル	加熱条件	粗骨材種類		
		硬質砂岩 (AS)	輝緑凝灰岩 (AG)	石灰岩 (AL)
70MPa	RABT30	70AS	—	70AL
	ISO60	70AS-I	—	70AL-I
100MPa	RABT30	100AS	100AG	100AL

2.2 供試体概要

供試体概要を図-1 に示す。鋼製リング（外径 300×高さ 50×厚さ 8mm）を 2 段重ねにして拘束リング（外径 300×高さ 100×厚さ 8mm）とした。拘束リングに各種コンクリートを充填して供試体とした。コンクリート内部に水蒸気圧計測用のステンレスパイプ（外径 5mm、内径 2mm）と温度計測用の熱電対を高さ 5、10、25、40mm の 4 点に設置した。また、拘束リング側面に自己温度補償型の常温用ひずみゲージ（許容温度 80℃）と熱電対を設置した。使用した高強度コンクリートの配合、使用材料、フレッシュ特性および硬化体特性を表-2～表-5 に示す。なお、各水準 2 体の供試体を試験に供した。

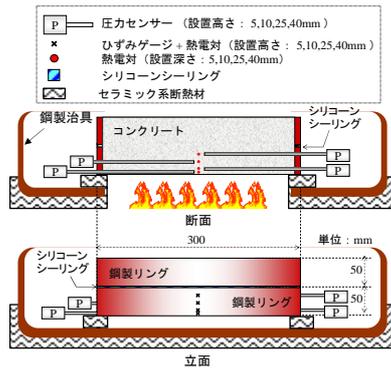


図-1 供試体概要

コンクリート内部に水蒸気圧計測用のステンレスパイプ（外径 5mm、内径 2mm）と温度計測用の熱電対を高さ 5、10、25、40mm の 4 点に設置した。また、拘束リング側面に自己温度補償型の常温用ひずみゲージ（許容温度 80℃）と熱電対を設置した。使用した高強度コンクリートの配合、使用材料、フレッシュ特性および硬化体特性を表-2～表-5 に示す。なお、各水準 2 体の供試体を試験に供した。

2.3 加熱条件

RABT 加熱曲線（5 分で 1200℃に昇温，30 分まで 1200℃保持，140 分までに常温に冷却）と ISO834 加熱曲線（加熱時間は 60 分）を採用した。

表-2 配合表

NO.	W/C	単位量 (kg/m ³)									
		W	C	S1	S2	S3	G1	G2	G3	G4	SP
70AS	0.3	150	500	718	—	—	418	626	—	—	5
70AL	0.3	150	500	718	—	—	—	—	1085	—	5
100AS	0.3	150	500	718	—	—	418	626	—	—	5
100AG	0.3	150	500	—	358	372	—	—	—	1169	9.5
100AL	0.3	150	500	—	358	372	—	—	1095	—	7.5

表-3 使用材料

記号	詳細
C	早強ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm ³ ）
S1	長良川水系（吸水率 1.64%，絶乾密度 2.60 g/cm ³ ）
S2	佐野市中町産細目砕砂（吸水率 1.06%，絶乾密度 2.60 g/cm ³ ）
S3	大間々町小平産砕砂（吸水率 1.93%，絶乾密度 2.68 g/cm ³ ）
G1	砕石 2010 硬質砂岩（吸水率 0.98%，絶乾密度 2.61 g/cm ³ ）
G2	砕石 1505 硬質砂岩（吸水率 1.64%，絶乾密度 2.61 g/cm ³ ）
G3	石灰岩（巨鳥鉱山）（吸水率 0.81%，絶乾密度 2.68 g/cm ³ ）
G4	砕石 2005 輝緑凝灰岩（大間々町小平産）（吸水率 0.94%，絶乾密度 2.83 g/cm ³ ）
SP	ポリカルボン酸系高性能減水剤

表-4 フレッシュ特性

NO.	空気量 (%)	SL* (cm)	FL**(mm)			Tc*** (°C)
			長径	短径	平均	
70AS	1.4	—	700	680	690	22.5
70AL	1.4	—	600	560	580	21.8
100AS	1.8	—	745	670	708	13.4
100AG	0.9	17.5	—	—	—	25.8
100AL	1.1	16.0	—	—	—	26.0

*) スランプ、**)スランプフロー、***)コンクリート温度

表-5 硬化体特性

NO.	圧縮強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	含水率 (%)
70AS	68.8	45.7	6.0	3.4
70AL	76.3	50.4	5.0	3.6
100AS	92.5	43.9	4.2	3.8
100AG	93.3	58.6	6.9	3.1
100AL	94.8	50.1	6.0	3.2

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

3. 爆裂状況

爆裂状況の観察結果と爆裂深さを 20mm ピッチで計測した結果を表-6、表-7 に示す。RABT 加熱の場合、爆裂開始時間は、強度レベルにより差は認められなかったが、終了時間と最大深さが 100MPa レベルの方が長く、大きい傾向を示し、爆裂規模の差は、爆裂の継続性が影響していると推察された。ISO 加熱の場合は、爆裂が発生する確率は低い結果となった。しかし、石灰岩を用いた 70ALI では、RABT 加熱と同程度の爆裂規模となる場合も認められた。

4. 水蒸気圧と爆裂深さ

水蒸気圧と爆裂深さの経時変化を表-7 に示す。水蒸気圧の最大値は、強度レベルおよび粗骨材種類に係らず、4MPa 以上の高い値を示した。水蒸気圧のピークにあわせて爆裂が発生している傾向が認められた。しかし、水蒸気圧が高い値を示した深さで必ず爆裂が発生するわけではないことも確認された。

5. ひずみ破壊指数による爆裂深さ推定

拘束応力 (σ_x) からひずみ破壊指数 (I_{ef}) を求め(算出方法は、参考文献 1 参照)、ひずみ破壊指数が 1 を超える深さと時間により爆裂深さの経時変化を推定した。結果を表-6 に示す。なお、弾性係数残存比と温度の関係は、日本建築学会の提案値²⁾を用いた。また、見掛けのポアソン比 (ν_e) を 0.30, 引張破壊ひずみ (ϵ_{2f}) を 100 μ とした。その結果、強度レベルや粗骨材種類に係らずひずみ破壊指数にて爆裂深さをある程度推定できることが確認された。

6. まとめ

- (1)強度が高い方が爆裂終了時間と最大深さが長く、大きい傾向を示し、爆裂規模の差は、爆裂の継続性が影響していると推察された。
- (2)石灰岩は、硬質砂岩や輝緑凝灰岩と比べて爆裂深さが大きくなる傾向を示した。
- (3)水蒸気圧のピークにあわせて爆裂が発生している傾向が認められたが、水蒸気圧が高い値を示した深さで必ず爆裂が発生するわけではないことも確認された。
- (4)強度レベルや粗骨材種類に係らずひずみ破壊指数にて爆裂深さをある程度推定できることが確認された。

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: 25420459(代表: 小澤満津雄)を受けた。ここに謝意を表す。

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 (材料・コンクリート構造), Vol. 70, No. 1, pp. 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

表-6 爆裂観察結果

項目	70AS	70AL	100AS	100AG	100AL	70ASI	70ALI
開始時間 (min)	1	4.5	3.8	4.3	3.1	3.6	—
	2	3.7	3.8	4.7	3.8	3.7	—
	平均 1	4.1	3.8	4.5	3.5	3.6	—
	平均 2	3.9		3.9		—	
終了時間 (min)	1	7.5	8.0	11.9	9	14.4	—
	2	7.2	8.3	6.9	12.1	13.7	—
	平均 1	7.3	8.2	9.4	10.5	14	—
	平均 2	7.8		11.3		—	
最大深さ (mm)	1	13	27	17	33	74	2
	2	20	28	15	51	81	1
	平均 1	16	28	16	42	78	2
	平均 2	22		45		6	

表-7 爆裂観察結果

