

リング拘束試験と載荷加熱試験によるコンクリートの爆裂試験結果の比較

太平洋マテリアル 正会員 ○谷辺 徹
群馬大学 正会員 小澤 満津雄
東京理科大学 正会員 兼松 学
清水建設 森田 武

1. はじめに

RC 部材の耐火性一次評価を目的に小規模の供試体を用いたコンクリートの爆裂試験が行われている。しかし、この爆裂試験には規格化された方法が無いことや載荷加熱試験の結果と傾向が異なる場合^{1),2)}があるなどの課題が挙げられている。筆者らは、リング拘束試験と RC 造柱の載荷加熱試験における爆裂規模を比較することを目的にリング拘束供試体を用いた爆裂試験を実施した。以下に結果を報告する。

2. 実験概要

2. 1 コンクリートの使用材料および配合

比較対象とした RC 造柱の載荷加熱試験の既発表論文³⁾と同じ使用材料と配合を用いることとした。コンクリートの使用材料およびその仕様を表-1 から表-3 に示す。

2. 2 供試体および試験水準

外径 300mm, 厚み 8mm, 高さ 50mm のリングを 2 段重ねにした拘束リングにコンクリートを充填してリング拘束供試体とした。コンクリート内部にセンサーを設置しないタイプ、熱電対のみを設置するタイプおよび熱電対と水蒸気圧計測用の圧力伝達パイプ(内径 2mm, 外径 5mm)を設置するタイプの 3 種類とした。各供試体の試験水準を表-4 に示す。試験水準は、PP 短繊維添加配合(P)と無添加配合(N)の 2 配合のコンクリートにて各供試体を作製するとともに、加熱試験の材齢を 1 ヶ月と 3 ヶ月の 2 材齢とした。供試体の養生条件は加熱試験に供するまで封緘養生とした。また、供試体の n 数は 1 とした。

2. 3 加熱試験

加熱炉は、高性能水平炉を使用した。加熱曲線は、比較対象とした既発表論文³⁾の加熱曲線と同じ ISO834 標準加熱曲線を適用し、加熱時間は 1 時間とした。

3. 実験結果

3. 1 爆裂状況

リング拘束供試体の爆裂深さは、20mm 間隔で加熱面の欠損深さを測定した。各供試体の爆裂深さと観察結果、比較対象とした既発表論文³⁾の RC 造柱の載荷加熱試験データを表-5 に示す。また、加熱試験後の供試体状況の一例と既発表論文³⁾の RC 造柱の状況を写真-1 と写真-2 に示

表-1 コンクリートの使用材料

材料	仕様
セメント	中庸熟ポルトランドセメント 密度:3.21g/cm ³
粗骨材	石灰岩 砕石 2005(栃木県佐野市仙波町) 絶乾密度:2.66g/cm ³ , 吸水率:0.96%
PP 短繊維	径 0.05mm, 長さ 10mm, 密度:0.91g/cm ³
その他	細骨材・混和剤等はコンクリート製造工場による

表-2 コンクリートの仕様(フレッシュ性状)

配合	水セメント比(%)	PP 添加率(vol%)	空気量(%)	スランピングフロー(mm)
RC-N*	27.0	0.0	1.1	—
RC-P*	23.5	0.1	2.5	—
N	27.0	0.0	2.6	635
P	23.5	0.1	2.5	670

*) 基準とした RC 造柱載荷加熱試験データ

表-3 コンクリートの仕様(硬化体特性)

配合	圧縮強度(N/mm ²)		含水率(%)	
	1 ヶ月	3 ヶ月	1 ヶ月	3 ヶ月
RC-N*	95.0**	122.4***	—	4.1***
RC-P*	115.3**	123.6***	—	4.2***
N	95.5	108.7	4.4	4.3
P	108.3	122.5	4.2	4.0

*) 基準とした RC 造柱の載荷加熱試験データ

**) 20℃水中標準養生

***)耐火試験時(1 年 9~11 ヶ月)に実施(封緘養生)

表-4 試験水準および計測項目

配合	測定項目	試験水準 NO.	
		1 ヶ月	3 ヶ月
N	—	N-RR1	N-RR3
	温度		N-RR3-TC
	温度, 水蒸気圧		N-RR3-VP
P	—	P-RR1	P-RR3
	温度		P-RR3-TC
	温度, 水蒸気圧		P-RR3-VP

キーワード 高強度コンクリート, 鋼製リング, 拘束, 爆裂, 載荷加熱試験, ISO834 標準加熱曲線

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

す。PP 短繊維を添加したコンクリートでは、爆裂が確認されなかったが、表面の微細ひび割れが全ての供試体で確認された。PP 短繊維無添加のコンクリートは、リング拘束供試体の場合に RC 造柱載荷加熱試験の最大爆裂深さ 40mm より大きい 55mm 程度のすり鉢状の爆裂が確認された。水蒸気圧測定用の圧力伝達パイプを設置した供試体の爆裂深さが 20mm 程小さくなることが確認された。RC 造柱の PP 短繊維無添加は全面にわたって爆裂が発生しているが、その深さは鉄筋位置で止まっていた。鉄筋によって爆裂が抑制されたためと推察される。

3. 2 爆裂規模のグレーディング

爆裂規模のグレーディングを表-6 に示す最大爆裂深さ、爆裂面積率および爆裂容積率を用いて行った結果を表-7 に示す。RC 部柱の爆裂グレードは、RC-N が「E」、RC-P が「D」となった。リング拘束供試体のグレードは、P シリーズは爆裂が発生していないため全て「B」、N シリーズは全て爆裂が発生したため N-RR3-VP の指標 v が「D」となった以外は全て RC-N と同じ「E」となった。N-RR3-VP の指標 v が「D」となったのは、水蒸気圧測定用にコンクリート内部に設置されたステンレスパイプが爆裂による破片の飛散を抑制したためと推察している。

4. まとめ

本報告の範囲では、リング拘束試験は載荷加熱試験の爆裂規模に近い評価が行えると推察される。しかし、PP 短繊維添加配合の場合は、爆裂規模が小さく評価される恐れがあることも認められた。なお、リング拘束供試体に設置したセンサーの測定結果については、爆裂深さへの影響確認を本報の目的としたため、報告を省略することとした。

謝辞

本試験は、公益社団法人コンクリート工学会の研究委員会 JCI-TC154A「高温環境下におけるコンクリートの性能評価に関する研究委員会」(委員長: 兼松学・東京理科大学教授, 副委員長: 小澤満津雄・群馬大学准教授) の活動の一環として実施したものである。ここに、関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 桜本文敏, 鈴木清孝, 関田徹志: 超高強度コンクリートに関する開発研究: その 5. 小型供試体における耐火性状, 日本建築学会学術講演梗概集 A, pp.479-480, 1992.8
- 2) 宮本圭一, 大内富夫, 桜本文敏, 鈴木清孝, 関田徹志: 超高強度コンクリートに関する開発研究: その 6. 実大 RC 造柱試験体における耐火性状, 日本建築学会学術講演梗概集 A, pp.481-482, 1992.8
- 3) 森田武, 西田朗, 片山行雄, 菅野光寿: 石灰岩碎石を粗骨材として使用した高強度鉄筋コンクリート造柱の耐火性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1281-1286, 2016

表-5 爆裂深さと観察結果

No.	爆裂状況		
	最大爆裂深さ (mm)	爆裂時間 (分)	観察結果
N-RR1	54	13~35	すり鉢状に爆裂 表面に微細ひび割れ 薄片状に破壊
N-RR3	55	13~36	
N-RR3-TC	55	14~38	
N-RR3-VP	35	13~29	
P-RR1	0	—	表面に微細ひび割れ
P-RR3	0	—	
P-RR3-TC	0	—	
P-RR3-VP	0	—	
RC 造柱* RC-N PP 短繊維 無添加	40	6.5~30	全面的な爆裂が発生, 鉄筋露出よりかぶり深さの 40mm を最大爆裂深さと推定
RC 造柱* RC-P PP 短繊維添加	10	7.9	平面部でなくコーナー部に主に爆裂が発生

*) 基準とした RC 造柱載荷加熱試験データ



[N-RR1]



[P-RR1]



RC-N



RC-P

写真-1 加熱後の供試体状況の一例

写真-2 RC 造柱載荷加熱試験後の供試体²⁾

表-6 爆裂指標

グレード	指標 d 最大爆裂深さ	指標 a 爆裂面積率	指標 v 爆裂容積率
A	爆裂なし、ひび割れ無し		
B	爆裂は無いが、亀甲状のひび割れあり		
C	$d < 10\text{mm}$	$a < 10\%$	$v < 10\%$
D	$30 > d \geq 10\text{mm}$	$50 > a \geq 10\%$	$20 > v \geq 10\%$
E	$d \geq 30\text{mm}$	$a \geq 50\%$	$v \geq 20\%$

最大爆裂深さ d: 加熱面の最大欠損深さ

爆裂面積率 a: 爆裂発生面積を加熱面積にて除したもの

爆裂容積率 v: 爆裂容積を供試体容積にて除したもの

表-7 爆裂規模のグレーディング

供試体 No.	指標 d		指標 a		指標 v	
N-RR1	54	E	88	E	24	E
N-RR3	55	E	93	E	25	E
N-RR3-TC	55	E	93	E	26	E
N-RR3-VP	35	E	91	E	17	D
P-RR1	0	B	0	B	0	B
P-RR3	0	B	0	B	0	B
P-RR3-TC	0	B	0	B	0	B
P-RR3-VP	0	B	0	B	0	B
RC 造柱* RC-N	40	E	100 推定	E	32 推定	E
RC 造柱* RC-P	10	D	不明		不明	

*) 基準とした RC 造柱載荷加熱試験データ