

委員会報告 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

兼松 学*1・小澤 満津雄*2・森田 武*3・内田 慎哉*4・谷辺 徹*5・古市 耕輔*6

要旨：本研究委員会では、I: 火災時のコンクリートの爆裂評価手法の検討および II: 火災後のコンクリートの調査技術について検討を行った。I では、コンクリートの耐爆裂性評価試験法の提案を目的とした共通試験を行い、標準試験に採用すべきパラメータ（供試体の形状・寸法、試験材齢、加熱方法など）の絞り込みに必要な基礎データを取得し、爆裂評価方法の委員会試案を提案した。II では、火災を受けたコンクリート構造物の事例について調査した上で、火災により劣化したコンクリートを模擬した供試体を対象として、「化学的分析」および「非破壊試験」をそれぞれ行い、火災後のコンクリートの調査技術についてまとめた。

キーワード：火災、爆裂試験法、火災劣化、非破壊試験

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物が火災を受けると、表層部が爆発的に剥離・剥落するいわゆる爆裂現象が生じることがある。コンクリートが剥落すると内部鉄筋は露出し、高温により品質は低下する。このことから、爆裂はコンクリート工学における重要な研究テーマとなっている。爆裂は、水蒸気圧説¹⁾(図-1)と熱応力説²⁾(図-2)によって生じるとされているが、いまだに、結論は出ていないのが現状である。JCI では、2009 年に「コンクリートの高温特性とコンクリート構造物の耐火性能研究委員会(委員長 東京大学 野口教授)」が設置された³⁾。そのなかで、耐火設計と高温時の材料特性および火災診断に関するこれまでの知見や課題が整理され、一定の成果を得ている。一方で、コンクリートの爆裂試験方法については、試験方法の提案にまでは至っていない。そこで、「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」では、2015 年度からの2年間、火災時のコンクリートの爆裂評価手法の検討および火災後のコンクリー

トの診断技術について検討した。委員会構成を表-1 に示す。委員会は、2つのWGから構成され、WG1(コンクリートの爆裂試験検討WG)においては、コンクリートの爆裂試験方法の提案を行い、爆裂メカニズムの解明を目指して活動を行った。WG2(火災後のコンクリートの調査技術WG)では、火災を受けたコンクリートの化学的分析および非破壊試験による調査技術を検討した。

2. WG1：コンクリートの爆裂試験検討WG

WG1 ではコンクリートの加熱爆裂試験法の提案を目指して共通試験を実施し、種々の爆裂試験法の比較を行った。すなわち、形状や拘束条件などが異なる供試体種類の比較検討ならびに RC 造柱の載荷加熱試験における爆裂⁴⁾⁵⁾との関係を確認することを目的にリング拘束供試体、角柱拘束供試体および角柱、円柱無拘束供試体を用いた共通試験を実施した結果を報告している⁶⁾。本試験は、委員会試案となる重要な位置づけにあり、ここに紹介する。

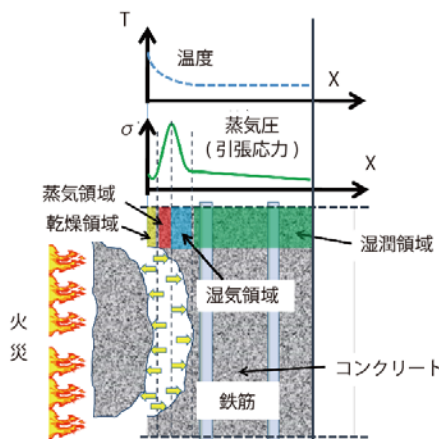


図-1 水蒸気圧説¹⁾

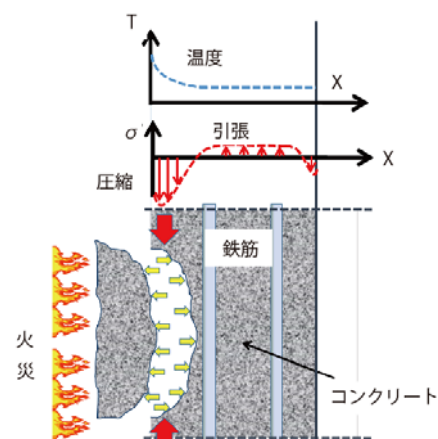


図-2 熱応力説²⁾

*1 東京理科大学 博士(工学) (正会員)

*2 群馬大学 博士(工学) (正会員)

*3 清水建設 博士(工学) (正会員)

*4 立命館大学 博士(工学) (正会員)

*5 太平洋マテリアル 博士(工学) (正会員)

*6 鹿島建設 博士(工学) (正会員)

表-1 JCI-TC154A 委員会名簿(所属は就任時)

委員長：兼松 学 (東京理科大学), 副委員長：小澤満津雄 (群馬大学大学院)
幹事：森田 武 (清水建設株式会社), 内田慎哉 (立命館大学), 谷辺 徹 (太平洋マテリアル株式会社), 古市耕輔 (鹿島建設株式会社)
【WG1：コンクリートの爆裂試験検討WG】 主査：森田 武 (清水建設株式会社) 委員：岩波光保 (東京工業大学大学院), 小林利充 (株式会社大林組), 馬場重彰 (大成建設株式会社), 土橋 浩 (首都高速道路株式会社), 吉岡英樹 (国土交通省国土技術政策総合研究所), 辻大二郎 (株式会社竹中工務店), 春畑仁一 (一般財団法人日本建築総合試験所), 斐 晟哲 (東京理科大学), Michael HENRY (北海道大学大学院)
【WG2：火害後のコンクリートの調査技術WG】 主査：内田慎哉 (立命館大学) 委員：新 大軌 (島根大学), 飯東義夫 (東日本高速道路株式会社), 池田憲一 (東京理科大学), 岩野聡史 (リック株式会社), 上田 洋 (公益財団法人鉄道総合技術研究所), 大野健太郎 (首都大学東京大学院), 迫井裕樹 (八戸工業大学), 澤口啓希 (川崎地質株式会社), 金 圭庸 (Chung-nam National University), 寺澤広基 (大阪大学大学院), 藤原規雄 (株式会社国際建設技術研究所)
顧問 野口貴文 (東京大学)

2.1 共通試験

(1) 供試体概要

コンクリートの使用材料およびその仕様を表-2~4に示す。爆裂のスクリーニング試験の供試体種類および試験水準を表-5に、各供試体の形状寸法などの概要を図-3,4に示す。供試体種類はリング拘束供試体, 角柱拘束供試体, 角柱および円柱無拘束供試体の4種類とした。

リング拘束供試体は、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。なお、何れのタイプにもリング側面には拘束応力測定用のひずみゲージを設置した。角柱供試体の寸法は 100×100

表-2 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-3 コンクリートの仕様(フレッシュ性状)

調配合	水セメント比 (%)	PP添加率 (vol%)	空気量 (%)	スランプフロ (mm)	
				1ヶ月	3ヶ月
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 造柱荷重加熱試験データ

表-4 コンクリートの仕様(硬化体特性)

調配合	圧縮強度(MPa)		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 造柱の荷重加熱試験データ

***) 20°C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-5 供試体種類および試験水準

調配合	供試体種類		試験水準 NO.		
	形状	拘束	計測	1ヶ月	3ヶ月
N	リング	有	ひずみ	N-RR1	N-RR3
			ひずみ, 温度	/	
			ひずみ, 温度 水蒸気圧		
	角柱	無	無	N-KN1	N-KN3
		有	温度	N-KR1	N-KR3
	円柱	無	無	N-EN1	N-EN3
P	リング	有	ひずみ	P-RR1	P-RR3
			ひずみ, 温度	/	
			ひずみ, 温度 水蒸気圧		
	角柱	無	無	P-KN1	P-KN3
		有	温度	P-KR1	P-KR3
	円柱	無	無	P-EN1	P-EN3

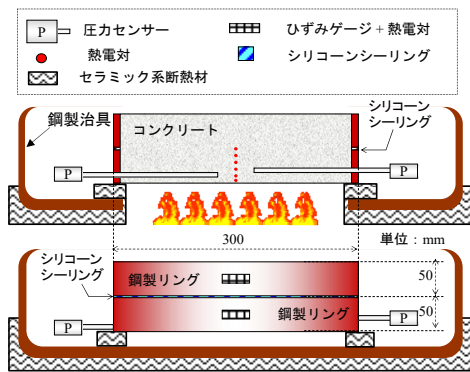


図-3 リング拘束供試体概要

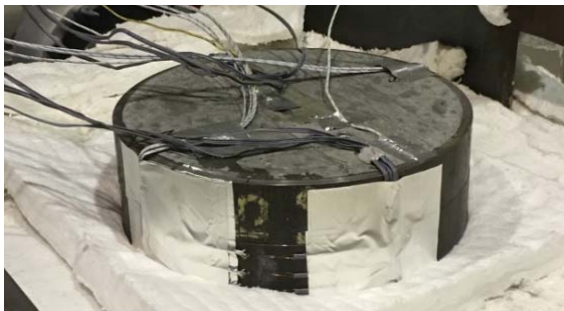


写真-1 リング拘束供試体

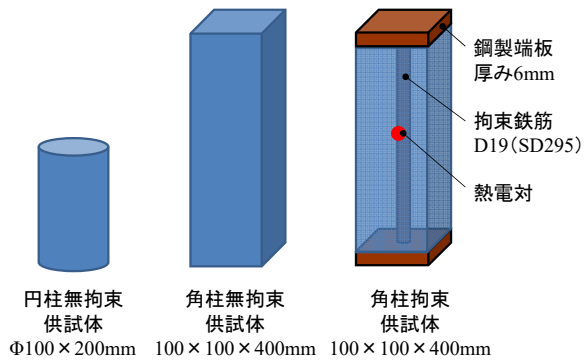


図-4 角柱および円柱供試体概要



写真-2 角柱、円柱供試体

×400mm とし、D19 の異形鉄筋の両端に厚さ 6mm の鋼製端板を溶接した拘束治具を設置する拘束供試体と設置しない無拘束供試体の 2 種類とした。円柱供試体の寸法はφ100×200mm とし、無拘束供試体とした。試験水準は、PP 短繊維添加と無添加の 2 調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。リング拘束供試体の n 数は 1 とし、角柱および円柱供試体の n 数は 3 とした。

(2) 加熱試験

リング拘束供試体は下面からの 1 面加熱条件とした。1 条件につき 1 体の供試体を使用した。なお、供試体下面のリング部は断熱材を設置してリングの温度上昇を抑制した。角柱および円柱供試体は上下端部から 50mm を断熱材で保護するとともに、ステンレスメッシュ製の金籠で保護して炉内に設置し、4 面および側面加熱とした。角柱拘束、無拘束供試体、円柱無拘束供試体の各 3 体、合計 9 体を 1 度に炉内に設置して加熱を行った。供試体の加熱炉への設置状況を写真-1、写真-2 に示す。加熱曲線は、ISO834 標準加熱曲線の 1 時間加熱とした。

2.2 試験結果

(1) 爆裂深さ

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。角柱供試体の爆裂深さは、端部より 10mm 位置から 10mm 間隔で 4 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、比較対象とした文献の RC 造柱の荷重加熱試験データ^{4),5)}を表-6 に示す。また、加熱試験後の供試体状況の一例と文献の RC 造柱

表-6 爆裂深さと観察結果

No.	爆裂状況		観察結果
	最大爆裂深さ(mm)	爆裂時間(分)	
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	
N-KN1	5	7~13	コーナー部の軽微爆裂
N-KN3	測定不能	観察不能	表面に微細ひび割れ
N-KR1	25	7~13	表面に微細ひび割れ
N-KR3	34	観察不能	鉄筋に沿ったひび割れ
N-EN1	0	—	表面に微細ひび割れ
N-EN3	0	—	
RC 造柱* RC-N	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	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 造柱荷重加熱試験データ

の状況およびリング拘束供試体の爆裂深さ分布図の一例を写真-3、図-5 に示す。最大爆裂深さと爆裂時間を文献データと比較した結果を図-6, 7 に示す。PP 短繊維を添加したコンクリートは、いずれの供試体でも爆裂は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。また、角柱拘束供試体には鉄筋に沿ったひび割れが確認された。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 造柱荷重加熱試験の

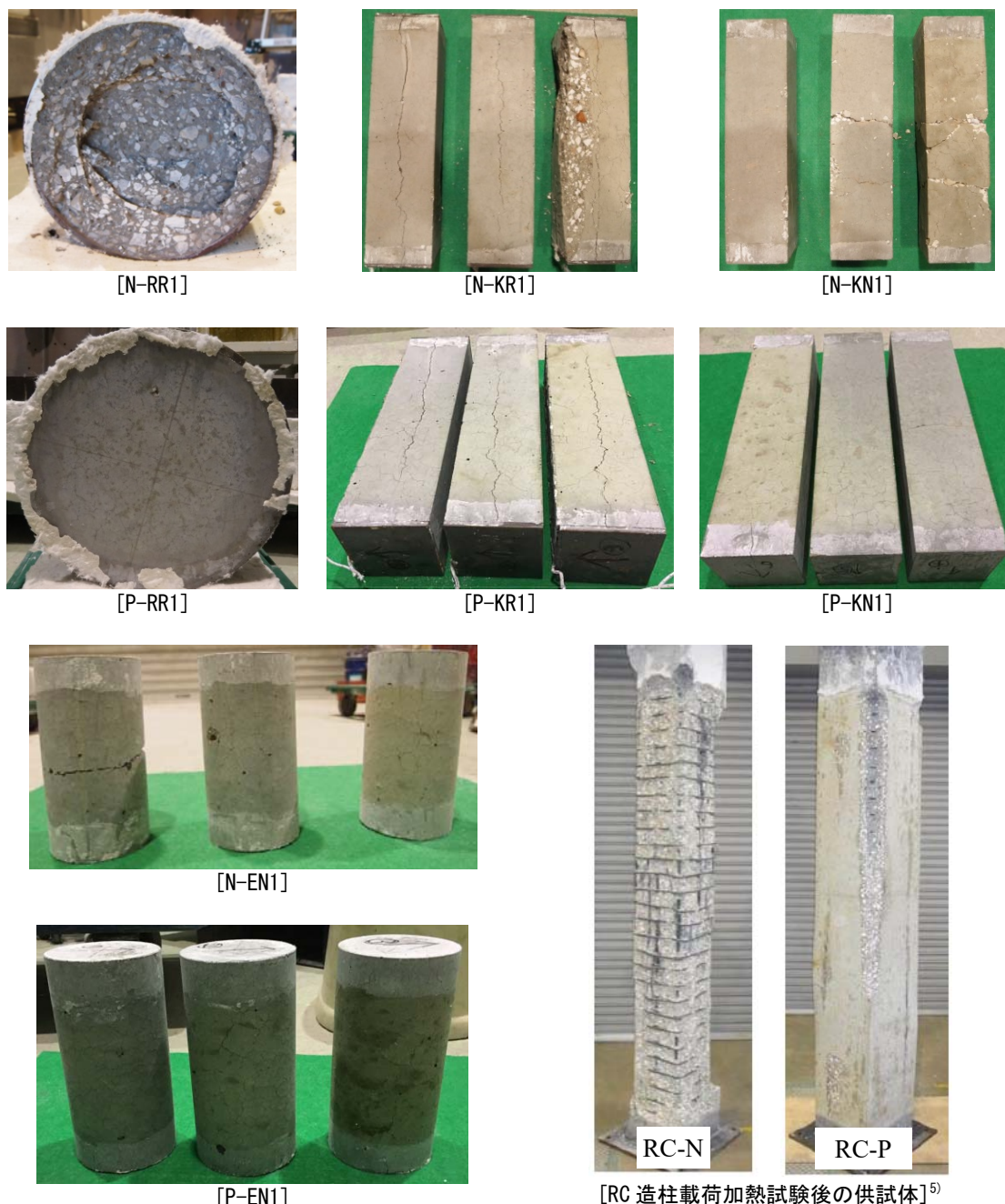


写真-3 加熱後の供試体状況の一例

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(内径 2mm, 外径 5mm) を設置した供試体の爆裂深さが 20mm 程小さくなることを確認された。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。円柱供試体は爆裂の発生は無く、角柱拘束供試体の場合に 30mm 程度の爆裂が確認された。角柱拘束供試体の爆裂は、平面部ではなくコーナー部に発生する特徴が確認された。

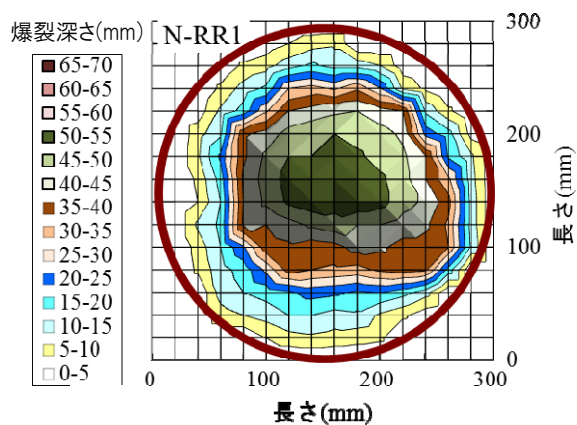


図-5 爆裂深さ分布の一例 (N-RR1)

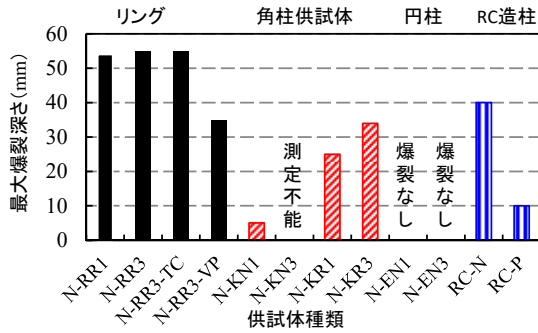


図-6 最大爆裂深さの比較

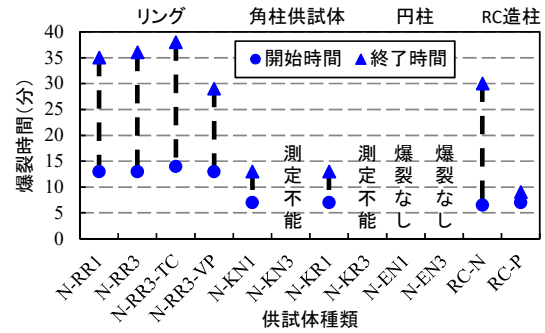


図-7 爆裂時間の比較

(2) 爆裂時間

PP 短繊維無添加の場合に、リング拘束試験体 (N-RR シリーズ) は RC 造柱載荷加熱試験データと比べると開始時間が 13 分となり、文献データの 6.5 分より少し遅れるが爆裂が 35 分程度まで継続し、その継続時間は 20 分程度と文献データと同様な値を示した。角柱拘束供試体 (N-KR シリーズ) の爆裂継続時間は数分程度と短く、RC 造柱と異なる傾向を示した。これは、平面部が爆裂に至っていないためと推察される。

(3) 評価

RC 造柱部材の載荷加熱試験データを有するコンクリート 2 調配合を適用して、形状や拘束条件の異なる爆裂性スクリーニング試験としてリング拘束供試体、角柱拘束供試体および角柱、円柱無拘束供試体の比較試験を実施した結果、リング拘束供試体は、角柱拘束供試体および角柱、円柱無拘束供試体と比べて爆裂深さや爆裂時間が最も RC 造柱の載荷加熱試験データに近く、安全側評価となり、スクリーニング試験として優れていることが確認された。しかし、RC 造柱の載荷加熱試験では、PP 短繊維添加供試体のコーナー部に軽微な爆裂が認められるが、リング拘束供試体には爆裂が認められず、完全に現象を捉えられている訳ではないことも確認された。

2.3 高温加熱を受ける爆裂試験法の提案

共通試験の結果を踏まえて、「高温加熱を受けるコンクリートの爆裂試験法—リング拘束供試体(試案)」と「高温加熱を受けるコンクリートの爆裂試験法—角柱拘束供試体(試案)」を作成・提案した。例として、リング拘束供試体(試案)の骨子を表-7 示す。

試案作成に際しては、試験内容についてはもちろんのこと、「爆裂試験」とするタイトルから十分な審議を行うとともに、本試験方法の位置づけについて多くの時間を費やして議論を行った。特に、建築分野においては実大構造体スケールでの非損傷性試験が一般的に行われていることから、本試験の利用方法・意義などについて十分議論し、必要に応じて解析による検証を行い、技術根拠のとりまとめに努めた。これらの詳細については、委員

表-7 コンクリートの加熱爆裂試験法—リング拘束供試体(試案)もくじ

1. 適用範囲
2. 引用規格等
3. 用語の定義
4. リング拘束供試体を用いた加熱爆裂試験
4.1 拘束リング
4.2 供試体
4.3 養生および保管
4.4 コンクリートの含水率
4.5 コンクリートの圧縮強度
4.6 加熱試験
4.7 爆裂規模の測定
5. 報告

会報告書を参照いただきたい。

3. WG2 : 火害後のコンクリートの調査技術 WG

WG2 では、火災を受けたコンクリート構造物の事例について調査した上で、火災により劣化したコンクリートを模擬した試験体を対象として、「化学的分析」および「非破壊試験」をそれぞれ行い、火害後のコンクリートの調査技術について整理することを目的とした。具体的には、まず、前者の火災事例については、例えば、東名高速道路日本坂トンネル、首都高速 5 号池袋線、韓国地下鉄 7 号線などを取りまとめた。一方、後者については、一部の委員が別途実施した実験の結果を提供して頂き、これをもとに、上記目的を達成するための議論を WG 内で行った。3.1 節以降では、提供頂いた実験概要およびその結果について、一部ではあるが紹介する。

3.1 実験概要

(1) 供試体概要 7)

供試体は、図-8 に示すとおり長さ 900mm×幅 900mm×厚さ 300mm の直方体としたものを 5 体作製した。加

熱後の供試体の移動を考慮して、加熱面からかぶり（厚さ）165mmの位置に用心鉄筋（異形棒鋼（呼び名：D13））を4本配置した（図-8参照）。コンクリートは、生コン工場で製造した呼び強度24を使用した。コンクリートの使用材料は、セメント：普通ポルトランドセメント（密度で、 3.15g/cm^3 ）、水：上水道水および上澄水、細骨材：佐賀県小川島産海砂（表乾密度 2.56g/cm^3 、粗粒率2.80）および京都府亀岡市産砕砂（表乾密度 2.64g/cm^3 、粗粒率2.85）、粗骨材：京都府亀岡市産砕石（表乾密度 2.67g/cm^3 、実積率58%）、混和剤：AE減水剤標準型I種である。

(2) 加熱試験⁷⁾

供試体の加熱は、図-9に示すガス加熱炉を使用した。供試体は、天井スラブの加熱を想定し、供試体の長さ900mm、幅900mmの型枠面（有効加熱範囲：長さ670mm×幅670mm）が炉内に接するように設置した。

加熱試験に供する供試体は計4体であり、火害による劣化程度にバリエーションを設けるため、供試体ごとに加熱温度をそれぞれ設定した。具体的には、都市ガス（ 46090kJ/m^3 ）を熱源とし、ISO834に規定する標準加熱曲線に沿って炉内温度を上昇させ、図-8に示すA～Cのコンクリート表面から0mmにある3本の熱電対でそれぞれ測定した温度の平均値が110、300、500、700℃となるまで各供試体を加熱した。これらの温度を本研究では加熱温度と呼ぶことにする。以上より、加熱温度のバリエーションとしては4水準となる。いずれの供試体においても加熱温度を60分間保持し、その後ガスバーナーによる加熱を終了した。加熱終了後、加熱炉側面の炉蓋を開放し、加熱面のコンクリート表面温度（加熱温度を計測した3本の熱電対での平均値）が50～80℃になるまで加熱炉上に静置した。

(3) 適用した化学的分析および非破壊試験

ガス加熱炉にて加熱した後、化学的分析および各種非破壊試験をそれぞれ行った。具体的には、化学的分析としては、粉末X線回折、示唆熱天秤分析、走査型電子顕微鏡、偏光顕微鏡、中性化深さおよび水分分析を実施した。また、非破壊試験としては、ひび割れ観察、色彩測定法（写真-4参照⁸⁾）、表層透気試験（写真-5参照）、接触時間試験（写真-6参照⁹⁾）、反発度に基づく方法、機械インピーダンスに基づく方法（写真-7参照⁷⁾）、音響伝達関数に基づく方法、表面波速度に基づく方法、弾性波トモグラフィ法、衝撃弾性波法による表面走査法、超音波法による表面走査法および孔内局部載荷試験（写真-8参照¹⁰⁾）をそれぞれ行った。また併せて、力学的性質の評価を行うため、圧縮強度および静弾性係数も実施した。

3.2 実験結果

ここでは、一例として、化学的分析、接触時間試験、反発度に基づく方法、機械インピーダンスに基づく方法およ

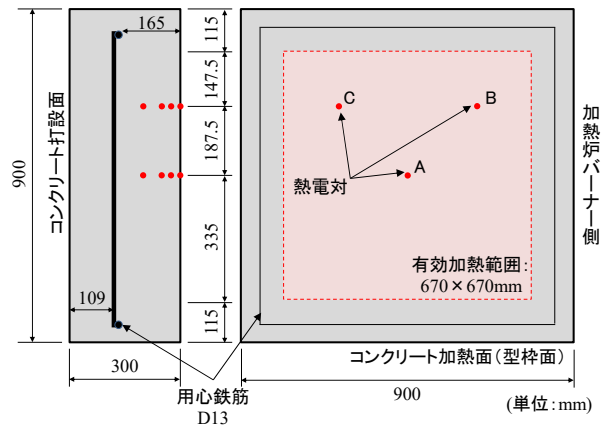


図-8 試験体の形状および熱電対の設置位置⁷⁾

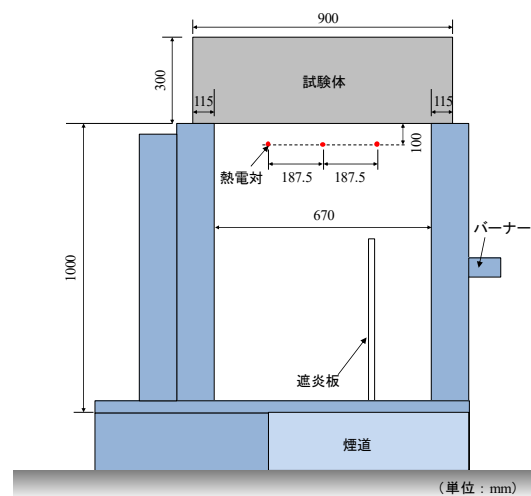


図-9 加熱試験の概要⁷⁾



写真-4 分光測色計による色彩測定の様相⁸⁾

び弾性波トモグラフィ法についての結果をそれぞれ示す。

(1) 化学的分析¹¹⁾

既往の文献と本実験結果から、加熱条件700℃の試験体を例に、コンクリート表面から深さ方向への受熱温度、物理的变化および化学的变化の関係を図-10に整理した。

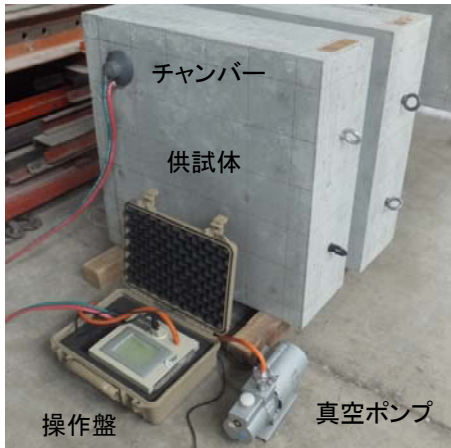


写真-5 表層透気試験の状況



写真-7 機械インピーダンスに基づく方法⁷⁾

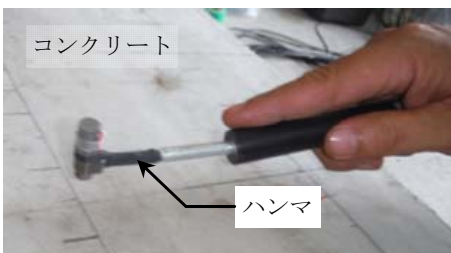


写真-6 接触時間試験の状況⁹⁾



写真-8 孔内局部载荷試験の概要¹⁰⁾

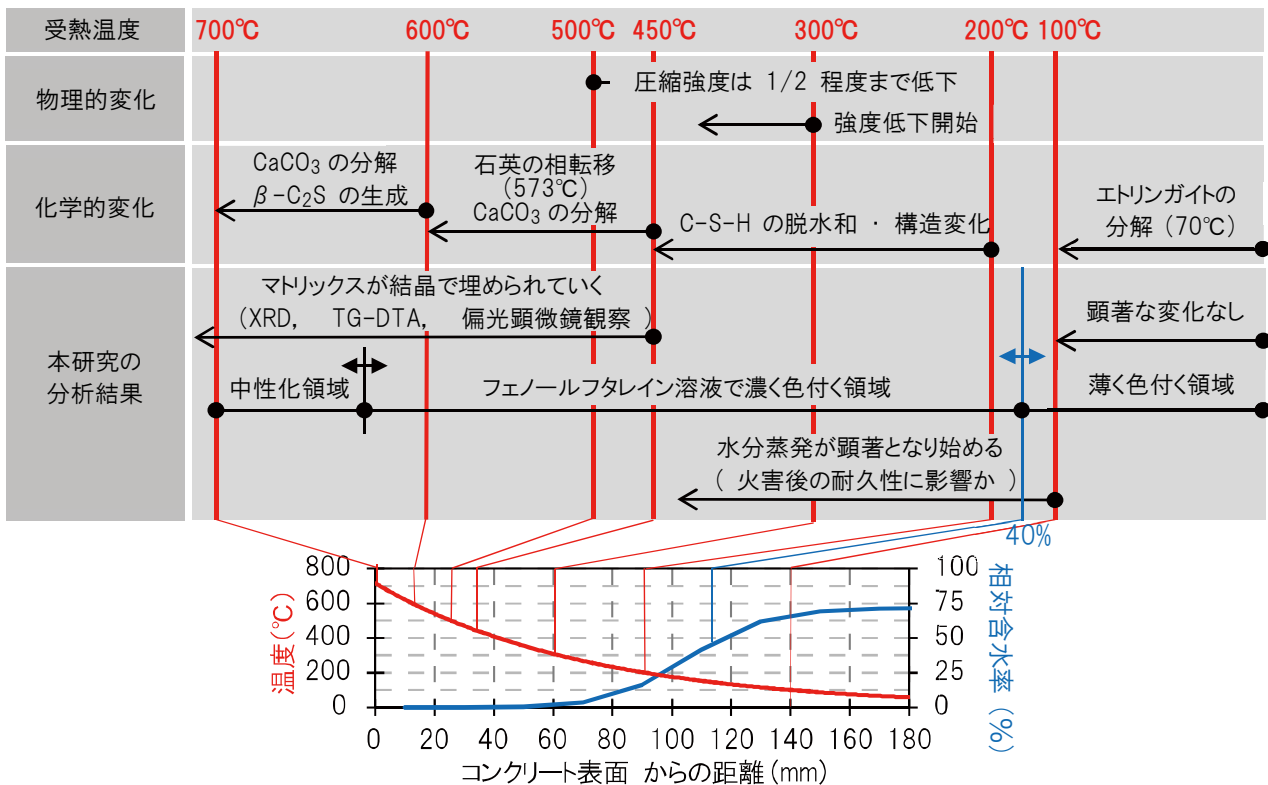


図-10 コンクリートの深さ方向への化学的变化の特徴の整理 (加熱条件 700°C の試験体を例として)¹¹⁾
 なお、フェノールフタレインの呈色領域は文献 11 の実験結果に基づく(解説参照のこと)

なお文献 11 では、図-10 に示す通り、実験結果に基づき 150°C から 600°C 超の受熱温度領域においてフェノールフタレインの呈色が見られたことを報告している。しかしながら、従来フェノールフタレインの呈色領域は

水酸化カルシウムの分解が生じる 500°C 程度までとされており、これらと異なる結果となっており、今後、再現性の確認、実構造物における検証など、引き続きの検証が必要である。

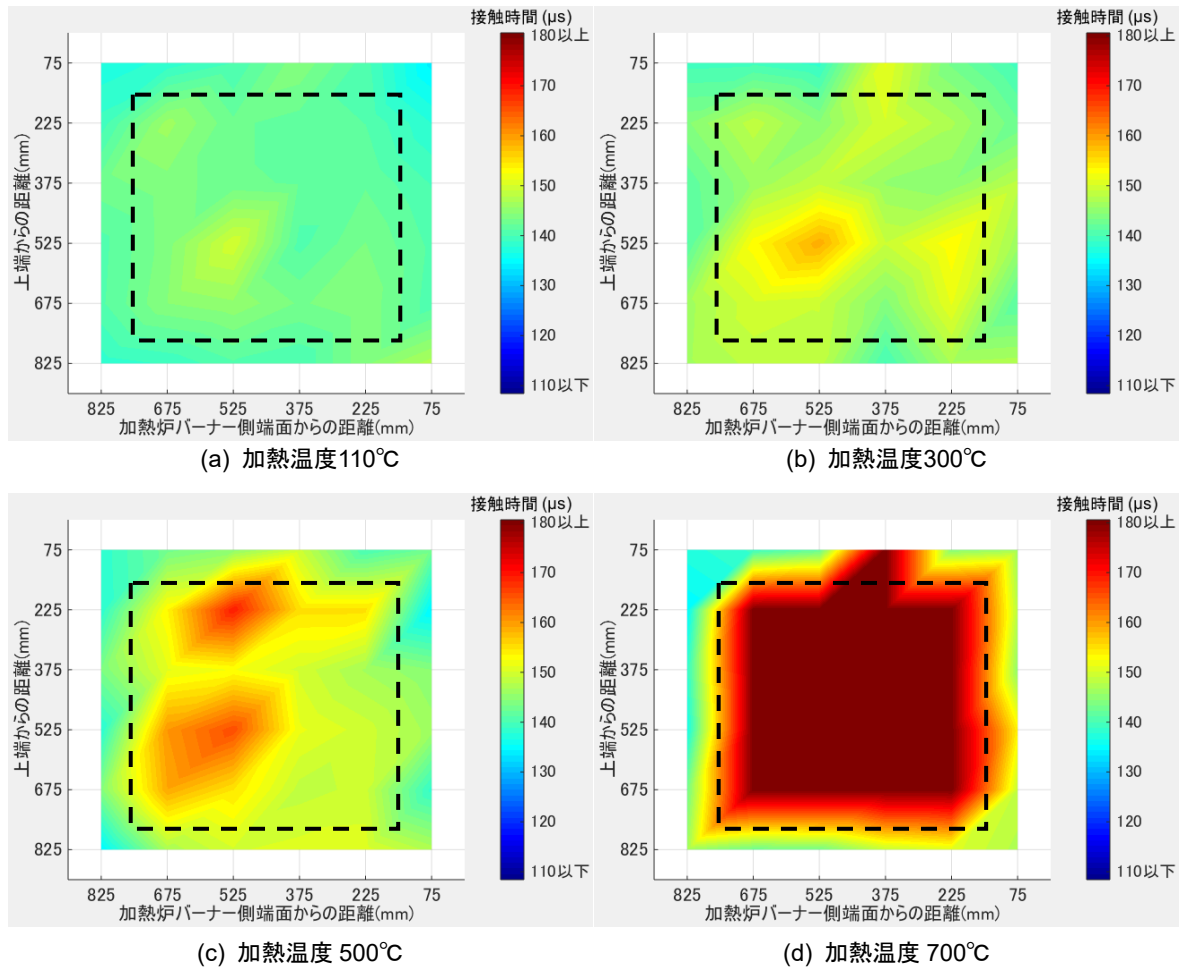


図-11 接触時間の測定結果 (□：有効加熱範囲) ⁹⁾

(2) 接触時間試験 ⁹⁾

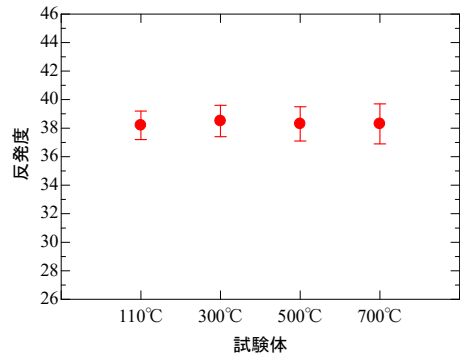
加熱後の各供試体で測定した接触時間をコンター表示により図-11に示す。図より、加熱温度が300°Cになると、有効加熱範囲内の接触時間が長くなり、加熱温度がさらに高くなると、接触時間が長くなることわかる。したがって、コンクリート表層部の弾性係数が火害の影響により低下すれば、接触時間法はこの現象を反映して長く変化するものと判断される。

(3) 反発度に基づく方法 ⁷⁾

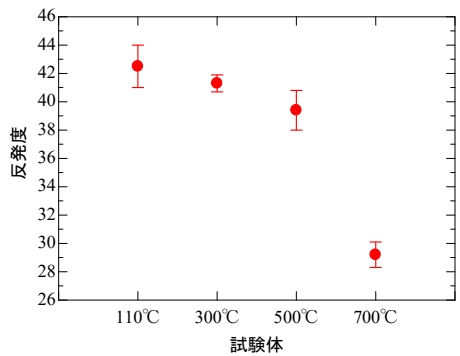
図-12に、加熱前および加熱後の各試験体で得られた反発度を加熱温度と併せて示す。図より、加熱前の反発度は、いずれの試験体においても平均値で38程度と同じ値である。これに対して、加熱後の反発度は、加熱温度110°C、300°Cおよび500°Cで加熱前のそれよりも大きくなり、加熱温度700°Cで加熱前の反発度よりも小さな値となった。

(4) 機械インピーダンスに基づく方法 ⁷⁾

図-13に、加熱前および加熱後の各供試体で得られた機械インピーダンス Z_R を加熱温度と併せて示す。加熱前の Z_R は、いずれの試験体においても概ね一定の値である。これに対して、加熱後の Z_R は、300°Cにおいて、加熱前



(a) 加熱前



(b) 加熱後

図-12 反発度の測定結果 ⁷⁾

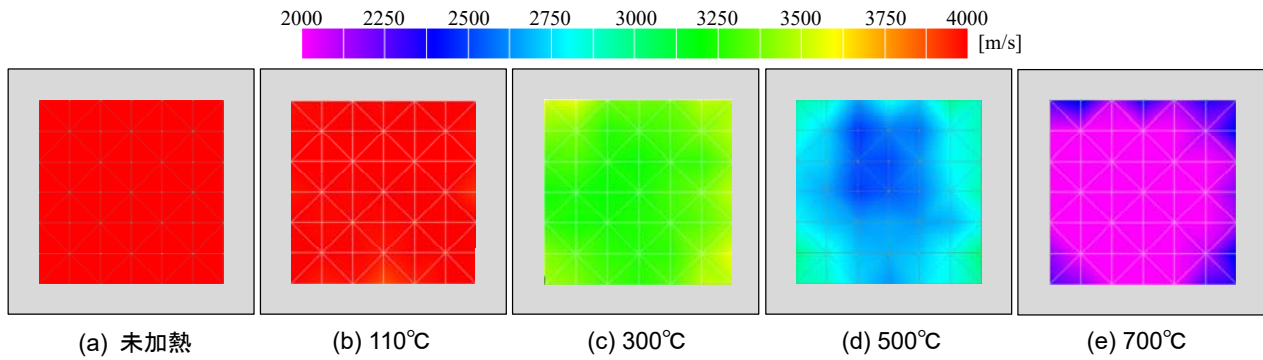


図-14 弾性波トモグラフィ解析結果¹²⁾

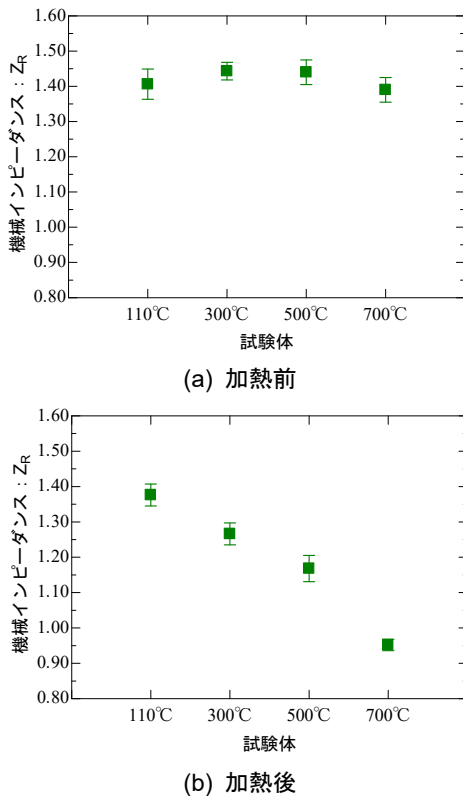


図-13 機械インピーダンス: Z_R の測定結果⁷⁾

の値よりも小さくなった。300°Cよりも温度が高い領域では、加熱温度が大きくなると Z_R が線形で小さくなった。機械インピーダンスはコンクリートのバネ係数を反映した指標である。加熱温度が大きくなると静弾性係数は小さくなるため、加熱によりコンクリート表層部分の弾性係数が低下し、その結果 Z_R が小さくなったと推察される。

(5) 弾性波トモグラフィ法¹²⁾

図-14 に弾性波トモグラフィ解析結果を示す。図より明らかに、加熱温度が上昇すると加熱面全体の弾性波速度が低下していることがわかる。したがって、弾性波トモグラフィ法は加熱を受けたコンクリートの面的な劣化範囲を把握する上で有効な手法であることが示唆された。

なお、上記以外の化学的分析および非破壊試験の結果の詳細は、報告書を参照いただきたい。

4. まとめ

高温環境下におけるコンクリートの性能評価手法の開発・提案を目的として、爆裂評価手法および火害後の性能評価手法に関する検討を行った。WG1 では、コンクリートの爆裂試験法の提案のためには共通試験を実施し、種々の爆裂試験法の比較を行った。共通試験は爆裂試験法(原案)の提案に向けて、標準試験に採用すべきパラメータ(試験体の形状・寸法、試験材齢、加熱方法など)の絞り込みに必要な基礎データを取得した。共通試験および国内外の文献調査、解析的検討等を踏まえ、「コンクリートの加熱爆裂試験法ーリング拘束供試体(試案)」と「コンクリートの加熱爆裂試験法ー角柱拘束供試体(試案)」を作成・提案した。

WG2 では、火災を受けたコンクリート構造物の事例について調査した上で、火災により劣化したコンクリートを模擬した供試体を対象として、「化学的分析」および「非破壊試験」をそれぞれ行い、火害後のコンクリートの調査技術についてまとめた。

参考文献

- 1) Bazant ZP. Analysis of pore pressure, thermal stress and fracture in rapidly heated concrete, L.T. Phan, N.J. Carino, D. Duthinh, E. Garboczi (Eds.), Proceedings of the International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete, NIST, Gaithersburg, Maryland; p. 155-164.1997
- 2) Anderberg Y. Spalling phenomena in HPC and OC, in: Phan LT, Carino NJ, Duthinh D, Garboczi E (Eds.), Proceedings of the International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete, NIST, Gaithersburg, Maryland;1997, p. 69-73,1997
- 3) 日本コンクリート工学会：「コンクリートの高温特性とコンクリート構造物の耐火性能研究委員会」報告書，2012.
- 4) 森田武，片山行雄，西田朗，高橋圭一，香田伸次，

- 菅野光寿, 西田浩和：高強度鉄筋コンクリート柱の耐火性に関する実験的検討, 平成 26 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp.118-119, 2014.5
- 5) 森田武, 西田朗, 片山行雄, 菅野光寿：石灰岩砕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
 - 6) 谷辺徹, 兼松学, 小澤満津雄, 森田武：高強度コンクリートの爆裂性評価に及ぼす供試体種類の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, 2017 (掲載決定)
 - 7) 内田慎哉, 春畑仁一, 小松由弥, 池田憲一：反発度および機械インピーダンスによる火害を受けたコンクリートの劣化評価手法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, 2017 (掲載決定)
 - 8) 春畑仁一, 迫井裕樹, 内田慎哉, 池田憲一：表層透気試験および色彩測定による火害を受けたコンクリートの劣化評価手法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, 2017 (掲載決定)
 - 9) 岩野聡史, 内田慎哉, 春畑仁一, 渡部正：弾性波法で得られた接触時間・伝搬時間による火害を受けたコンクリートの劣化評価手法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, 2017 (掲載決定)
 - 10) 澤口啓希, 春畑仁一, 内田慎哉, 池田憲一：火害を受けたコンクリートの孔内局部載荷法による劣化評価に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, 2017 (掲載決定)
 - 11) 吉田夏樹, 新大軌, 木野瀬透, 俵あかり：火災の影響を受けたコンクリートの化学的変化に関する一検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, 2017 (掲載決定)
 - 12) 大野健太郎, 前田祐輔, 内田慎哉, 春畑仁一：弾性波の速度構造による火害を受けたコンクリートの劣化評価手法に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, 2017 (掲載決定)