

## 火害を受けたコンクリートの深さ方向の損傷判別決定境界に関する実験的検討

日本大学 学生会員 ○林祐太 群馬大学 正会員 小澤満津雄 日本大学 正会員 子田康弘

### 1. はじめに

コンクリートの構造物の火害損傷は、受熱温度によって強度の低下やひび割れによる内部損傷が生じる。損傷の程度によっては、補修・補強等の対策を講じなければならない。この種の対策にあたっては、まず損傷の診断を実施することになる。火害を受けたコンクリートの損傷診断の指標としては、受熱温度と受熱時間によって変わるひび割れ量など、受熱面に変状が表れる特性が利用される。そこで本研究では、機械学習による損傷判定を可能にするため、表面損傷状態から深さ方向の損傷を判別する決定境界の検討を行った。

本検討は2020年度から実施しており、本稿ではこれまでの課題を踏まえ供試体形状や加熱方法の改良を加えた実験を実施した。

### 2. 実験概要

表-1に、実験条件を示す。表より、最高温度を200℃、400℃、600℃、最高温度保持時間を1h、2h、3h、また水セメント比(W/C)を50%とする合計9条件とし、それぞれ3回ずつ試験を行った。表-2に、コンクリートの配合を示す。使用したセメントは普通ポルトランドセメントであり、骨材の岩種は、細骨材、粗骨材ともに硬質砂岩である。図-1に、供試体形状の概要を示す。なお、圧縮強度は50.6MPaであった。昨年度は直径150mm、高さ100mmの円柱供試体としたが、受熱効率が悪く、加熱面近傍のみ火害損傷を受ける状態であった。そこで供試体形状を直径100mm、高さ100mmと小さくした。加熱方法としては、熱の発散を防ぐ断熱の措置と、加熱面積を小さくし加熱効率をあげ、加えて拘束バンドにより熱による自由膨張の抑制を行った。加熱面は型枠底面とし、加熱にはガスバーナーを用いた。図-2に、供試体改良の評価として加熱後のフェノールフタレインによる中性化深さ測定結果を示す。図より、改良後の方が中性化深さが深く熱がより深くまで伝達していることがわかる。計測は、加熱前と加熱後の超音波伝播速度計測、加熱面のひび割れ密度の測定とした。超音波伝播速度の測定では、加熱後の供試体を熱伝達方向に切断し、深さ方向20mm間隔の測定も実施した。なお、供試体の含水率は加熱面付近が2.5%程度であり、中心部(50mm)が4.5%程度であった。

図-1に、供試体形状の概要を示す。なお、圧縮強度は50.6MPaであった。昨年度は直径150mm、高さ100mmの円柱供試体としたが、受熱効率が悪く、加熱面近傍のみ火害損傷を受ける状態であった。そこで供試体形状を直径100mm、高さ100mmと小さくした。加熱方法としては、熱の発散を防ぐ断熱の措置と、加熱面積を小さくし加熱効率をあげ、加えて拘束バンドにより熱による自由膨張の抑制を行った。加熱面は型枠底面とし、加熱にはガスバーナーを用いた。図-2に、供試体改良の評価として加熱後のフェノールフタレインによる中性化深さ測定結果を示す。図より、改良後の方が中性化深さが深く熱がより深くまで伝達していることがわかる。計測は、加熱前と加熱後の超音波伝播速度計測、加熱面のひび割れ密度の測定とした。超音波伝播速度の測定では、加熱後の供試体を熱伝達方向に切断し、深さ方向20mm間隔の測定も実施した。なお、供試体の含水率は加熱面付近が2.5%程度であり、中心部(50mm)が4.5%程度であった。

### 3. 実験結果及び考察

図-3に、加熱面の損傷状態を示す。図より、ガスバーナーの熱は加熱面全体を加熱している。また、ひび割れ幅は約0.05mm~0.1mmであった。観察より、200℃はひび割れの発生がほとんど観察されないが、400℃、

キーワード 火害損傷, 決定境界, ひび割れ密度, 機械学習  
連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 TEL024-956-8721

表-1 実験条件

供試体名	最高温度(℃)			最高温度保持時間			供試体数
	200	400	600	1h	2h	3h	
200-1h	○			○			3
200-2h	○				○		3
200-3h	○					○	3
400-1h		○		○			3
400-2h		○			○		3
400-3h		○				○	3
600-1h			○	○			3
600-2h			○		○		3
600-3h			○			○	3

表-2 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	水セメント比W/C(%)	空気量(%)	細骨材率s/a(%)	単水量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤(kg)	
					水W	セメントC	細骨材S	粗骨材G	AE減水剤	AE助剤
20	12±2.5	50	4.5±1.5	46	165	330	839	1011	2.64	0.66

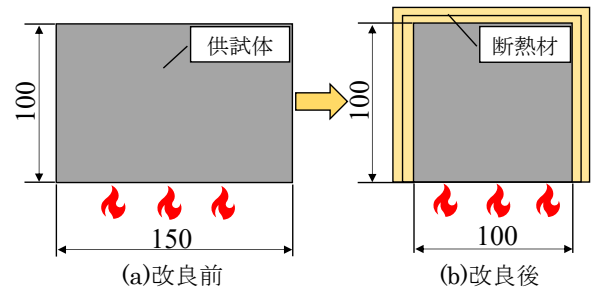


図-1 供試体の改良

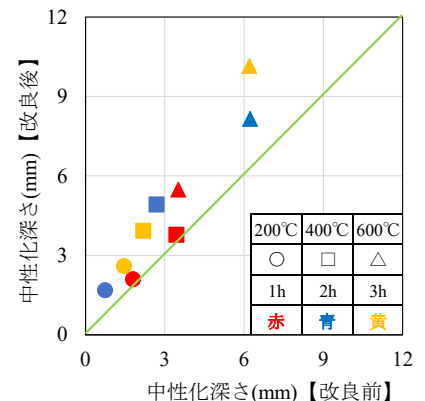
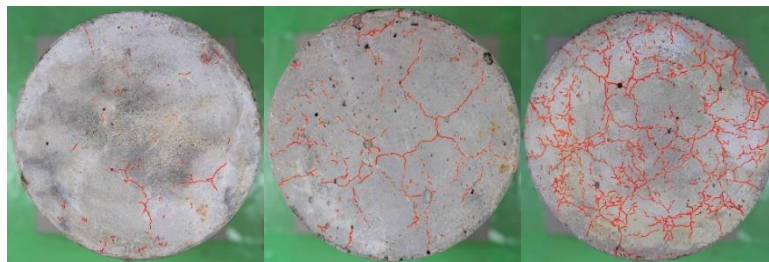


図-2 中性化深さの比較

600°Cと受熱温度が増加するにつれ、ひび割れの本数が増加し網状に進展する傾向が見て取れた。これより、最高温度が増加することで表面の損傷の程度も大きくなると解釈された。図-4に、超音波伝播速度とひび割れ密度の関係を示す。なお、図-4以降には検証として加熱温度 300°Cと 500°Cの値(図中の



a)200-3h

b)400-3h

c)600-3h

図-3 火害による表面損傷状態

300°C◆と 500°C◇)も示している。図より、超音波伝播速度はひび割れ密度が増加するに従って減少する傾向にある。その傾向は近似直線で説明が可能であった。すなわち、ひび割れ密度の大小は内部損傷の程度を表すと考えられた。図-5に、超音波伝播速度の深さ方向の分布を示す。図中の橙点線は加熱前の健全な状態の超音波伝播速度(4745m/s)である。図より、受熱温度が高く、その時間が長くなるに従って深部(80mm)の超音波伝播速度が遅くなる傾向にある。特に600°C加熱においては2時間で80mm位置においても健全の80%まで減少している。これに対して200°C加熱の場合は、表面近くが3時間加熱で4200m/sとなっていた。ここで、受熱温度が300°Cを超えると圧縮強度の低下は大きくなると言われている<sup>1)</sup>。そこで本研究の範囲では、安全側に200°Cの3h加熱の伝播速度(4200m/s)を火害損傷が生じる目安(黒点線)と位置付けた。これに基づく60mm位置における400°Cの3時間加熱や80mm位置における600°Cの1時間加熱が4200m/sに達していることがわかる。図-6に、全供試体のひび割れ密度と火害損傷深さ(4200m/s位置)の関係を示す。図より、ひび割れ密度の増加にともない4200m/s位置が深くなる傾向であった。そこで、図中の赤線に示すように、指数曲線による回帰式を式(1)として求めた。なお、式(1)の相関係数R2は0.863と相関性も良いことを確認した。

$$D = 33.7 \ln(C) - 94.6 \quad (1)$$

ここで、D:火害を受けた面からの深さ(mm)、C:ひび割れ密度(m/m<sup>2</sup>)である。

以上より、火害を受けたコンクリートの深さ方向の損傷判別決定境界として式(1)の適用が可能と考えられた。この妥当性の検証のため、300°Cと500°Cの損傷を評価した。図より、式(1)の回帰モデルに調和するようにプロットされており、表面のひび割れ密度より内部損傷の推定が可能と考えられた。

## 8. まとめ

本検討より、火害による表面損傷と内部損傷を関連付けた評価が可能と考えられた。すなわち、ひび割れ密度と内部の損傷を指数関数とする回帰モデルで表すことができ、これを深さ方向の損傷判別決定境界とすることが可能という結果が得られた。今後は、学習データを増やし、得られた結果の精度検証を行うとともに、コンクリートの内部損傷を詳細に分析し補修判定の評価にも着手する予定である。

**参考文献** 1)吉田夏樹, 新大軌, 木野瀬透, 奥村勇馬: 火災による熱を受けたコンクリートの化学的変化に関する検討, GBRC, Vol.44, No.1, 2019.1

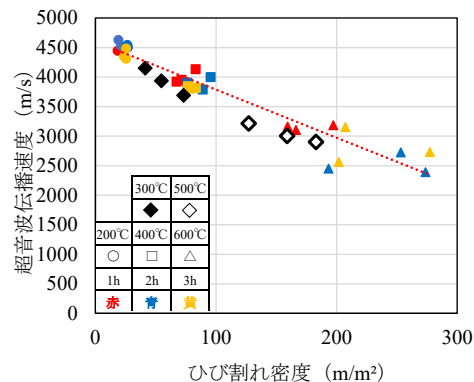


図-4 超音波伝播速度とひび割れ密度

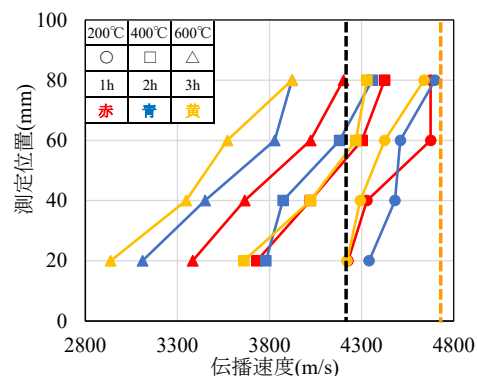


図-5 深さ方向と伝播速度

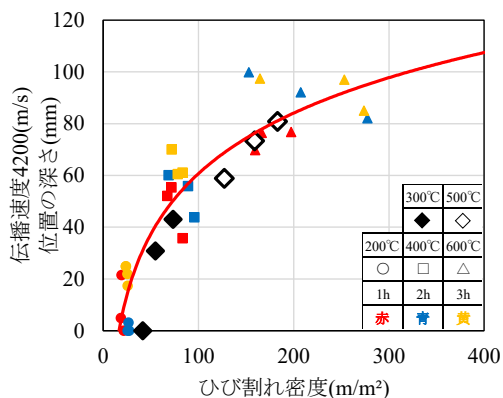


図-6 火害損傷深さと決定境界