

## 火害を受けた鉄筋コンクリートの非破壊試験による付着および劣化範囲の評価手法

首都大学東京 学生会員 ○中村 翔 首都大学東京 正会員 大野健太郎  
 首都大学東京 正会員 宇治 公隆 首都大学東京 正会員 上野 敦  
 富山県立大学 正会員 内田 慎哉 日本建築総合試験所 正会員 春畑 仁一

### 1. はじめに

火害を受けたコンクリートの調査診断では、受熱温度の推定が重要であり、外観から得られるコンクリートの変色・変状から受熱温度や劣化程度が判断される<sup>1)</sup>。しかしながら、目視のみでは劣化の程度や範囲を定量的に判断することが難しい場合もある。また、鉄筋コンクリートにおいて、加熱過程での鉄筋とコンクリートとの付着特性の変化については未だ明らかとされていない。本研究では、火害を受ける鉄筋コンクリート供試体に対し、非破壊試験方法である弾性波法を適用し、コンクリートの劣化範囲の推定および加熱の影響による鉄筋とコンクリートの付着状況の評価について検討した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 供試体概要

表-1にコンクリートの計画配合を、図-1に供試体概要および熱電対位置、弾性波トモグラフィ法を適用した際のAEセンサ貼付位置を示す。供試体は900×900×250mmであり、かぶり30mmとして丸鋼R19を1本供試体内部に埋設し、2体作製した。加熱日のコンクリートの圧縮強度は32.4N/mm<sup>2</sup>(材齢110日)である。供試体中には、加熱時のコンクリート表面および内部(表面から0, 25, 50, 100mmの4深度)の温度を測定するため、図-1に示す3箇所合計12本のK熱電対を埋設した。

#### 2.2 加熱試験

供試体の加熱にはガス加熱炉を使用し、型枠面を加熱面として加熱領域を図-1に示す670×670mmとした。加熱試験はISO834規定の標準加熱曲線に沿って炉内温度を上昇させ(図-2)、コンクリート加熱面の表面温度(図-2に示す0mmの温度)が500℃になった時点からそれぞれ1時間および4時間の温度を保持した後、加熱を終了した。加熱終了後は常温で供試体を加熱炉に静置した。なお、鉄筋の付着評価を目的とし、500℃1時間の加熱中に露出鉄筋の両端に150kHz共振型AEセンサを設置し、超音波計測を行い、鉄筋中を伝播する弾性波速度および受信波の最大振幅値を評価指標とした。なお、弾性波の入力は加熱中、1回/分にて行った。また、加熱時の供試体の変状を監視するため、AE計測を各加熱試験において実施した。AE計測には150kHz共振型AEセンサを8個用い、しきい値を40dBとした。

#### 2.3 加熱後の弾性波計測

火害を受けたコンクリートに対し、面的劣化評価を実施するために弾性波トモグラフィ法を適用した。弾性波の計測は、加熱試験前および加熱終了翌日に実施した。弾性波の検出には60kHz共振型AEセンサを16個使用した。AEセンサは図-1に示すように加熱面全体を網羅するように配置した。弾性波の入力は、直径4.7, 9.6, 15.1mmの鋼球を用いて各センサ位置から20mm離れた位置を打撃することで行った。

### 3. 実験結果および考察

図-3に弾性波トモグラフィ法により得られた未加熱、500℃1時間ならびに4時間加熱後の加熱面の弾性波速度キーワード 鉄筋コンクリート, 火害, 弾性波トモグラフィ法, 鉄筋付着, 弾性波速度, AE源位置標定

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL 042-677-1111

表-1 コンクリートの計画配合

Gmax (mm)	s1 (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位数 (kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	S1 <sup>#1</sup>	S2 <sup>#2</sup>	G <sup>#3</sup>	Ad
20	8.0	57	4.5	46.1	168	295	594	257	1002	2,950

\*1: 砕砂, \*2: 石灰砕砂, \*3: 砕石

× 弾性波トモグラフィ法: 1CH~16CH ● 熱電対

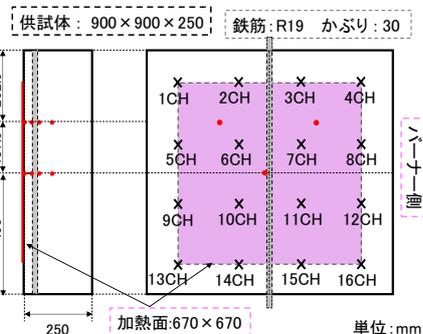


図-1 供試体概要とセンサ配置

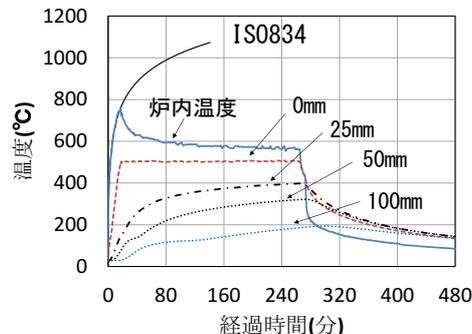


図-2 加熱試験の温度履歴(4h)

度分布を示す。図より、未加熱時と比較して1時間および4時間加熱後の結果では、加熱時間が増加すると、弾性波速度が著しく低下し、加熱時間の長さがコンクリートの劣化に大きく関与していると推察される。また、鋼球径が小さいほど、弾性波速度は高い傾向を示した。衝撃弾性波法において、入力時の鋼球径が小さいと弾性波の入力周波数は高くなり、微細なひび割れの影響を受けやすく、見かけ上、弾性波速度は低くなる傾向を示す。しかしながら、本実験結果では加熱前後に関わらず、最も鋼球径の小さい4.7mm 鋼球で入力した場合に弾性波速度が高い傾向を示した。本要因については、今後の検討が必要である。

次に、図-4 に加熱温度と鉄筋の弾性波伝播速度との関係を、図-5 に加熱温度と鉄筋を伝播した受信波の最大振幅値との関係を示す。弾性波の伝播速度は加熱開始6分付近で急激に上昇した。振幅は、8分付近で上昇し始め、速度変化と比べると緩やかな上昇傾向を示した。ここで前ら<sup>2)</sup>によれば、鉄筋とコンクリートの付着が低下すると弾性波速度および振幅は増加することが示されている。これを参考にすれば、100℃未満の比較的低い加熱温度から鉄筋とコンクリートの付着が徐々に切れて行ったものと推察される。また、加熱試験終了翌日に測定した弾性波伝播速度は5194m/s、受信波の振幅値は1.66Vであり、加熱終了直後の両指標値(4878m/s, 0.229V)に比べ大きな値を示した。このことから、降温時にも鉄筋の付着が大きく低下すると考えられる。

図-6 に加熱中の AE 源位置標定結果を示す。AE 源の位置は鉄筋付近に集中するのではなく、センサ貼付位置や供試体上部に多くに確認された。これらは、供試体上部では加熱に伴い供試体から発生した水蒸気が外気により冷却され、水が滞水したことにより発生した AE であると推察されるが、今後詳細に検討する予定である。

4. まとめ

- (1)弾性波トモグラフィ法を火害を受けたコンクリートに適用することにより、弾性波速度の低下を視覚的に表すことができ、面的に劣化状態が把握可能であることが示されたが、使用する鋼球径による弾性波速度の変化については更なる検討が必要である。
- (2)加熱中での鉄筋の弾性波計測より、鉄筋の付着低下は比較的低い温度から発生し、冷却過程においても付着低下が生じている可能性が示唆された。
- (3)加熱中の AE 計測では、コンクリートと鉄筋との付着低下と関連する現象は認められなかったが、今後、冷却過程を含めた計測が必要である。

謝辞：本研究は、日本コンクリート工学会研究助成（代表：内田慎哉）の援助を受けて行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

1) コンクリート工学会：コンクリート診断技術 16[基礎編]，pp.208-211，2016.5  
 2) 前裕史，鎌田敏郎，峯澤博行，内田慎哉：非破壊試験による鉄筋-コンクリート界面の評価手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，2008

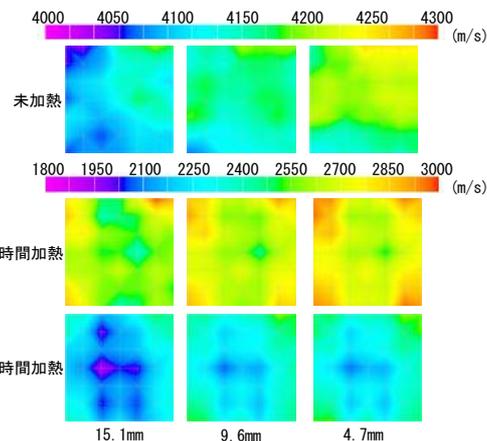


図-3 弾性波トモグラフィ解析結果

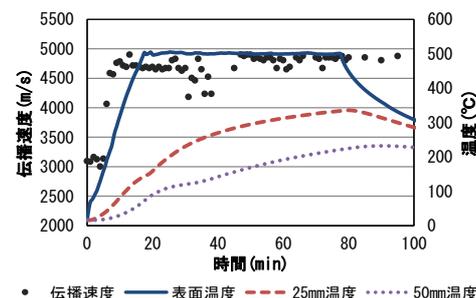


図-4 加熱温度と鉄筋の弾性波伝播速度

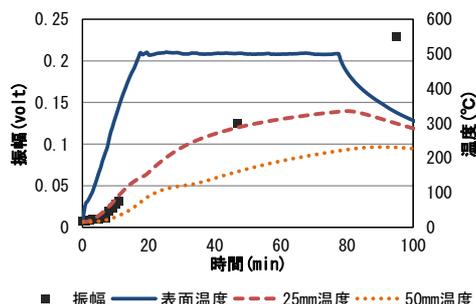


図-5 加熱温度と受信波の振幅値

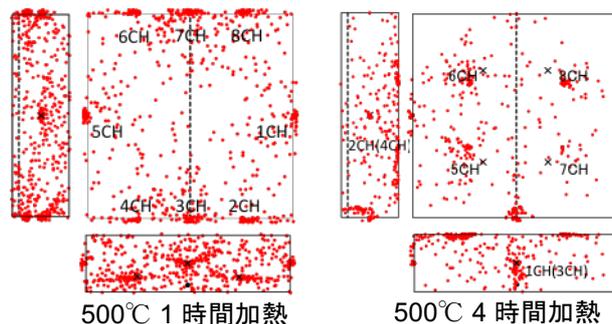


図-6 加熱中の AE 源位置標定