火害を受けたコンクリートの衝撃弾性波法による劣化範囲の評価手法

首都大学東京	学生会員	○前田	祐輔	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
立命館大学	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 変色および変状から劣化程度が判断される<sup>1)</sup>.しかしながら、目視による状況確認だけでは定量的に劣化範囲を推 定することが難しい場合もある.本研究では、火害を受けたコンクリート供試体に非破壊試験法の衝撃弾性波法 を適用し、面的な劣化範囲の推定を弾性波トモグラフィ法により実施し、深さ方向の劣化範囲を加熱面から得た 速度情報を用いてそれぞれ評価した. 表-1 コンクリートの計画配合

# 2. 実験概要

### 2.1 供試体

コンクリートの計画配合を表-1 に、供試体概要および熱電対位置, AE センサ貼付位置を図-1 に示す.供試体は 5 体作製し、それぞれに 異なる加熱温度を与えた.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 0mm, 25mm, 50mm, 100mm の 4 深度)の温度を 測定するため、図-1 に示す A~C の 3 箇所に合計 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、900mm×900mmの一面が 加熱されるように設置し、有効加熱領域は 図-1に示す長さ 670mm× 幅 670mm である.加熱方法は図-2に示すように 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、コンクリート加熱面の熱電対 の表面温度(図-1に示す熱電対 A~C の表面温度の平均値.以下、加 熱温度と記す.)が 110、300、500、700℃になった時点から 60 分間(加熱温度が 500℃の供試体については 60 分と 300 分の 2 種類)加熱温度を保持した後、加熱を終了した.加 熱終了後は、供試体が 50℃~80℃となるまで加熱炉に静置し た.

### 2.3 弾性波の計測

弾性波の計測は,加熱試験の翌日に実施した.弾性波の検 出には 60kHz 共振型 AE センサを 16 個使用し,弾性波の入力 は,直径 9.6mmの鋼球を各センサ位置からバーナー側に 20mm 離れた位置で打撃することで実施した.検出した弾性波はプ リアンプにて 40dB 増幅し,4096 個の振幅値データとして記録した.

## 3. 実験結果および考察

加熱後の供試体における力学的特性,中性化深さ,加熱面のひび割れ発生状況,変色状況を表-2に示す.圧縮 強度および弾性係数は,300℃以上から加熱温度の上昇に伴って低下しており,中性化深さは500℃以上で未加熱 の状態に比べ深くなることが確認された.また,110-1hを除く供試体において,目視でひび割れと変色が確認さ キーワード コンクリート,火害,衝撃弾性波法,弾性波トモグラフィ法,弾性波速度,劣化範囲 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





図-2 加熱温度 700℃供試体における温度履歴

表-2 各供試体の力学的特性および表面状況

	供試体名	E縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弹性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	中性化深さ (mm)	ひび割れ の有無	表面の色
ĺ	未加熱	35.7(1.00)	27.8(1.00)	3.4	なし	
ĺ	110-1h	37.3(1.04)	29.0(1.04)	3.4	あり(微細) <sup>*2</sup>	変化なし
	300-1h	28.2(0.79)	22.7(0.82)	3.3	あり	薄ピンク
	500-1h	25.9(0.73)	13.2(0.47)	8.2	あり	ピンク
	700-1h	29.4*1 (0.82)	20.3*1(0.73)	4.5	あり	灰白色
[	500-5h	20.3(0.57)	9.3(0.33)	18.2	あり	ピンク

注:コアの寸法は,直径を83mm,長さを直径の2倍以上確保した状態で3本ずつ採取し 各試験結果は採取したコア3本の平均値とする.()は未加熱に対する割合 \*<sup>1</sup>:採取したコアの加熱面から60-80mmを切断して成形した圧縮強度の平均値を示す. \*<sup>2</sup>:目視では検出できないが,アセトンで表面を拭くことで検出可能 れた.これらは既往の知見<sup>2)</sup>と整合する結果となった.

図-3 に弾性波トモグラフィ法により得られた面的な弾 性波速度の分布を示す.図より、110℃の加熱では健全時の 弾性波速度(約4200m/s)と同程度となったが、加熱温度の 上昇および加熱時間の増加に伴って弾性波速度が低下して いることがわかる.これらの結果は、表-2 に示したよう に加熱温度の上昇に伴いコンクリートの力学的特性が低下 し、ひび割れの発生も加わることで弾性波速度が低下した と推察される.

次に、供試体の対角線上のセンサにおける、見かけの伝 搬距離と弾性波速度の関係を図-4 に示す.図より、加熱 を受けた供試体では、見かけの伝搬距離の増加に伴い、弾 性波速度が上昇することがわかる.これは、深さ方向の弾 性波速度が加熱面に近いほど低く、ある程度深い位置では弾性波 速度が健全時の弾性波速度に近づくためと考えられる.そこで、 劣化深さを推定するため、加熱面のみから得た速度情報を用いて、 加熱による劣化深さを推定した.ここでは、深さ方向の弾性波速 度が式(1)のように直線的に増加すると仮定し<sup>3</sup>、健全時の弾性 波速度(4200m/s)となる深さ(推定劣化深さと称す)を加熱面で の伝搬距離と伝搬時間の関係である式(2)から求めた.

 $v(z) = v_0 + az$  (1)  $T = \frac{2}{a} \sinh^{-1} \frac{ax}{2v_0}$  (2)

ここに, z:加熱面からの深さ(m), v(z):深さ z における弾 性波速度(m/s), v<sub>0</sub>:加熱面での弾性波速度(m/s), a:最小二乗 法より求まる係数, T:加熱面での弾性波の伝搬時間(s), x: 加熱面での伝搬距離(m)である.

図-5 に超音波法により直接求めた深さ方向の弾性波速度 (実線)と推定劣化深さ(破線)を示す.図より、110℃および300℃の加熱の場合では、推定劣化深さと超音波法から得ら れる劣化深さ(4200m/sを下回る深さ)がほぼ一致することが わかる.また、500℃以上の供試体では、本研究で得られた推

定劣化深さのほうがやや浅い結果となったものの、劣化深さがある程度評価できているといえる.

# 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,面的に劣化状態を把握可能であることを明らかにした.

(2)加熱面のみから得られた弾性波速度を用いて,深さ方向の弾性波速度構造を推定した結果,火害による劣化 深さを推定できることが示唆された.

謝辞:本実験の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(基礎研究(B)25289132)の援助を受けて行った.また、実験では、国際建設技術研究所の藤原規雄氏の協力を得た.ここに記して謝意を表する.

#### 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) 日本建築学会:構造材料の耐火性ガイドブック,2009.3

3) 渡辺健: ミラージ層の解析,物理探鉱, Vol.7, No.2, pp.41-51, 1954.6

