

## 火害を受けたコンクリートの機械インピーダンスによる劣化状態の評価方法の検討

日本建築総合試験所 正会員 ○春畑 仁一 富山県立大学 正会員 内田 慎哉  
 首都大学東京 正会員 大野健太郎 リック 正会員 岩野 聡史  
 東京理科大学 非会員 池田 憲一

### 1. はじめに

コンクリートの劣化の一つに火害がある。火害を受けたコンクリートの劣化状態を非破壊で評価する試験方法には、例えば、反発度や機械インピーダンスに基づく方法<sup>1)</sup>などがある。しかしながら、コンクリートの火害劣化に関する研究および調査事例の報告は多くない。

本研究では、データの蓄積を目的として、ガス加熱炉により人工的に火害を与えたコンクリート試験体を2体作製し、それらの加熱面において機械インピーダンスに基づく方法を適用して、火害による劣化状態を推定する方法としての適用可能性について検討した。

### 2. コンクリート試験体および加熱試験

#### 2.1 試験体

試験体は、**図-1**に示すとおり、長さ900mm、幅900mm、厚さ250mmの直方体を2体作製した。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。コンクリートの配合を表-1、フレッシュコンクリートの性状を表-2にそれぞれ示す。試験体は室内気中養生した後、材齢7日で脱型し、加熱試験に供するまで屋内にて静置した。また、加熱実験時にコンクリート加熱面および内部の温度を測定するために、**図-1**に示すA~Cの3箇所に、加熱する表面から深さ0、25、50、100mmの位置にK熱電対を設置した。

#### 2.2 加熱試験

試験体は、スラブ下面の加熱を想定し、試験体の長さ900mm、幅900mmの型枠面(有効加熱範囲：長さ670mm×幅670mm、**図-1**参照)が炉内に接するように設置した。加熱試験では、ガスバーナー(都市ガスを熱源)を用いて**図-1**に示すA~Cの加熱表面にある3本の熱電対で測定した温度の平均値(以下、加熱表面温度と記す)が、500℃となるまで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た。その後、加熱表面温度が500℃を60分間または240分(以下、1.0h試験体および4.0h試験体と記す)保持するようにバーナーを調節し加熱を終了した。4.0h試験体の温度履歴を**図-2**に示す。加熱終了後は、加熱炉側面の炉蓋を開放し、加熱表面温度が1.0h試験体で38℃、4.0h試験体で63℃になるまで加熱炉上

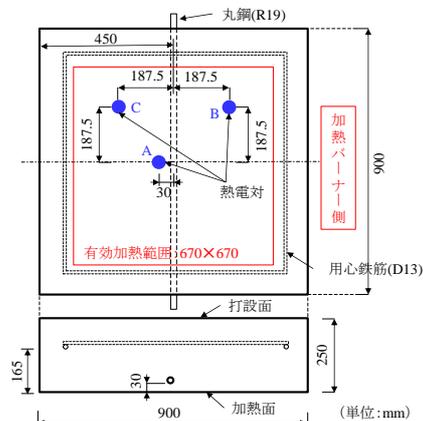


図-1 試験体の形状、熱電対の設置位置

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
		W	C	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	G	A
57.0	44.7	168	295	560	240	1023	2.950

注) W/C：水セメント比，s/a：細骨材率，W：地下水，C：セメント(普通ポルトランドセメント)，S<sub>1</sub>，S<sub>2</sub>：細骨材(大分県津久見市産砕砂，京都府亀岡市産砕砂)，G：粗骨材(京都府亀岡市産砕石)，A：混和剤(AE減水剤標準型I種)

表-2 フレッシュコンクリートの性状

項目	スラブ(cm)	空気量(%)	圧縮強度 <sup>注)</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
実測値	9.0	4.1	32.4

注) 28日間室内気中養生した供試体の圧縮強度を示す。

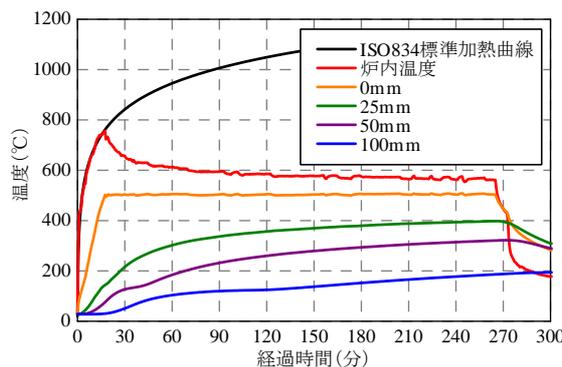


図-2 試験体と炉内の温度履歴(4.0h試験体)

キーワード コンクリート，火害，劣化範囲，非破壊試験，機械インピーダンス

連絡先 〒565-0873 大阪府吹田市藤白台 5-8-1 (一財) 日本建築総合試験所 TEL 06-6872-0391

に静置した。なお、加熱時の材齢は 184 日である。

### 3. 測定概要

機械インピーダンスの測定は、NDIS 3434-3「コンクリートの非破壊試験—打撃試験方法—第3部：機械インピーダンス試験方法」<sup>2)</sup>に基づいて行った。機械インピーダンスは、コンクリート表層部の機械的な動きにくさを示す指標である。打撃体がコンクリートに衝突した時に発生した力： $F$ とその結果生じる力と同じ方向の速度： $V$ との比として求めることができる。機械インピーダンスは、式(1)および式(2)に定義される。図-3にハンマでコンクリートの表面を打撃した時の打撃波形の例を示す。コンクリートは完全な弾性体ではないため、 $V_1$ と $V_2$ は異なる値となる。 $V_1$ には塑性変形分が含まれ、 $V_2$ には塑性変形後の弾性変形のみが反映された値となる。前者を貫入過程の機械インピーダンス： $Z_A$ 、後者を反発過程の機械インピーダンス： $Z_R$ と定義される。

$$Z_A = F_{max} / V_1 \quad (1)$$

$$Z_R = F_{max} / V_2 \quad (2)$$

ここで、 $F_{max}$ ：最大打撃力、 $V_1$ ：ハンマの打撃速度、 $V_2$ ：コンクリートの反発速度である。測定に使用したハンマは、質量 380g、球冠半径 30mm である。

### 4. 測定結果

図-4 および図-5 に、加熱前および加熱後の各試験体で得られた機械インピーダンス： $Z_A$ 、 $Z_R$ の結果を示す。図に示す $Z_A$ 、 $Z_R$ は平均値であり、エラーバーはその標準偏差を示す。

機械インピーダンスは、加熱前では $Z_A$ ：1.03Ns/mm、 $Z_R$ ：1.51 Ns/mm、1.0h試験体では $Z_A$ ：0.88 Ns/mm、 $Z_R$ ：1.25 Ns/mmであった。4.0h試験体では1.0h試験体と比較して、それぞれ1割程度低下した。表-3は、加熱後の試験体から採取したコアの圧縮強度試験結果である。加熱によって圧縮強度、静弾性係数は低下し、加熱継続時間が増加することで、さらに低下している。機械インピーダンスはコンクリート表層部の機械的な動きにくさを示す指標であることから、コンクリート表層の静弾性係数の変化を機械インピーダンス指標値の結果として表すことができた。

### 5. まとめ

本研究で得られた機械インピーダンス： $Z_A$ 、 $Z_R$ は、加熱温度 500°Cにおいて加熱前の $Z_A$ 、 $Z_R$ より小さくなった。さらに、同加熱温度で4.0間加熱継続した場合は、1時間加熱継続の $Z_A$ 、 $Z_R$ より1割程度小さくなった。

### 謝辞

本研究は、日本コンクリート工学会 2016 年度 研究助成（研究代表者：立命館大学 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る。

### 参考文献

- 1)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, No.1, pp.1903-1908, 2017.6
- 2)NDIS 3434-3<sup>2017</sup>：コンクリートの非破壊試験—打撃試験方法—第3部：機械インピーダンス試験方法, 日本非破壊検査協会, 2017

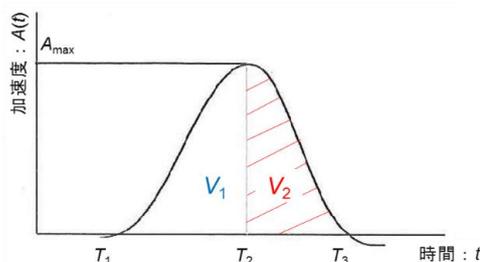


図-3 打撃波形の例

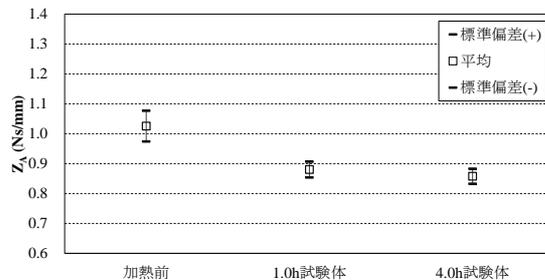


図-4 機械インピーダンス： $Z_A$ の平均値と標準偏差

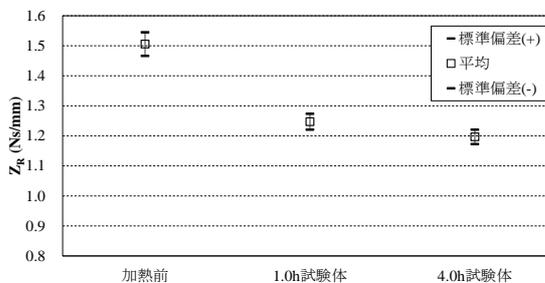


図-5 機械インピーダンス： $Z_R$ の平均値と標準偏差

表-3 コアの圧縮強度・静弾性係数

試験体名称	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
円柱供試体	32.4	31.5
1.0 試験体	21.5	17.6
4.0 試験体	20.4	14.5

注：各試験結果は3体の平均値を示す。