

# 火害劣化したコンクリートの削孔速度・Ca(OH)<sub>2</sub>量と強度との関係

東京都市大学 学生会員 ○竹野下優太 竹見康汰 澤田陸  
東京都市大学 正会員 栗原哲彦

## 1. 研究背景と目的

一般にコンクリート構造部材は、耐火性に優れている。しかし、近年コンクリートも加熱による熱劣化を生じることが知られている。既往の研究<sup>1)</sup>では、受熱コンクリートの劣化特性や補修・補強方法の報告が多くある。しかし既存の方法では鉄筋の存在やコア抜きにより構造物にダメージを与えるなど、適用には十分な注意が必要となる。そこで、小径のドリル孔により調査が可能なMDT微破壊試験(写真1)により、加熱されたコンクリートの内部強度、受熱温度の推定が可能であるか検討を目的として昨年より研究を継続している。よって本研究では示差走査熱量測定(写真2)を行い、コンクリートの圧縮強度と相関がある含水率・Ca(OH)<sub>2</sub>含有率・CaCO<sub>3</sub>含有率とMDT試験で計測されるコンクリートの削孔速度との関係を調査し、MDTが強度推定に利用できるのかについて検討した。

## 2. MDT工法

MDT工法(写真1)は、コンクリート床版内部の損傷を確認するための微破壊調査方法であり、極小口径のダイヤモンドビットが付いたドリルで舗装表面からの削孔と同時に削孔速度を測定することで、床版の損傷状態を把握し、調査することができる。

## 3. 実験概要

表1にコンクリートの配合を示す。加熱パターンは、非加熱、300℃、500℃、600℃、700℃(写真3)に加熱した。3℃/minで加熱し、所定の温度に到達後6時間温度維持を行い、その後自然冷却とした。図1にMDT工法の削孔箇所を示す。1辺150mmの立法試験体に1試験体5か所ずつとし、MDT微破壊試験機で削孔を行った。MDT試験後に示差走査熱・熱重量測定を行った。最大加熱温度を1,000℃とし、昇温勾配は10℃/minとした。使用する基準物質はアルミナで、加熱にはア



左写真1 MDT微破壊試験機  
右写真2 示差走査熱量測定装置

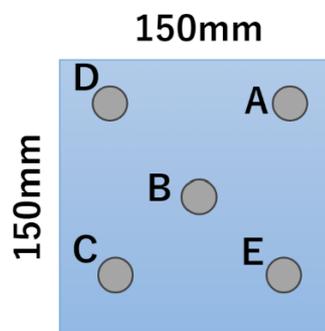


図1 MDT試験削孔箇所

表1 コンクリート配合

W/C (%)	空気量 (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	AE減水剤 (cc/m <sup>3</sup> )	補助AE剤 (cc/m <sup>3</sup> )
50	5	184	369	793	913	3686	3686

水：水道水

セメント：早強ポルトランドセメント 密度3.14g/cm<sup>3</sup>

細骨材：密度2.62g/cm<sup>3</sup> 粗骨材：密度2.67g/cm<sup>3</sup>

AE減水剤：25%水溶液 補助AE剤：1%水溶液

表2 各温度のセメント硬化体と骨材の化学反応<sup>2)</sup>

温度範囲(℃)	反応
30~120	物理的に捕らえられた水の気散・蒸発
30~300	硬化セメントペーストの脱水
120~600	化学吸着水の放水
570	石英の変態
600~700	C-S-H相の分解 β-C2Sの生成
600~900	炭酸カルシウムの分解
1100~1200	コンクリートの融解

ルゴンガスを用いた。使用する試料(1回の測定で25mg程度)はMDT試験後の試験片を粉末状にしたものとした。表2<sup>2)</sup>に各温度域で生じるセメント硬化体や骨材の化学的反応の一覧を示す。

キーワード MDT工法 火害 熱分析 残存強度

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL: 03-5707-0104 E-mail: nkuri@tcu.ac.jp (栗原)

#### 4. 実験結果及び考察

図2に各温度における圧縮強度と  $\text{Ca(OH)}_2$  含有率,  $\text{CaCO}_3$  含有率, 含水率の関係を示す. 図2より圧縮強度と含水率の関係は  $500^\circ\text{C}$  を除き, 含水率の低下に伴い圧縮強度が低下していることが読み取れた. 非加熱の  $\text{Ca(OH)}_2$  含有率をみると他のものより  $\text{Ca(OH)}_2$  含有率が低くなっていることが分かる. これは試験体をサンプル状にしてから試料の取扱いには十分な注意を払ったが, 試料が空气中に触れてしまった可能性があると考えられる. この結果, 新たに  $\text{Ca(OH)}_2$  が生成され, 二酸化炭素と反応して  $\text{CaCO}_3$  が生成された可能性があり, そのために  $\text{Ca(OH)}_2$  の含有率が低下したと考えられる. また非加熱から  $300^\circ\text{C}$  までの加熱の際に熱変性が発生し, セメント中の成分の一部が解離し,  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{OH}^-$  が生成される<sup>3)</sup>. これらのイオンが結合し  $\text{Ca(OH)}_2$  の生成が促進されたと考えられる. 削孔速度に対する含水率,  $\text{Ca(OH)}_2$  含有率,  $\text{CaCO}_3$  含有率の関係を図3~5に示す. 図3より, 含水率が小さいほど削孔速度が大きくなる傾向がある. 加熱温度が高いほど含水率は低下しコンクリートの熱劣化が進んだことが分かる. 図4においても  $\text{Ca(OH)}_2$  含有率の低下に伴い削孔速度が大きくなっている. これは上述のように加熱による熱劣化の進行を示している. 図5においても同様で  $\text{CaCO}_3$  含有率の低下に伴い削孔速度が大きくなっている. 以上から, 熱劣化したコンクリートの圧縮強度は, 含水率,  $\text{Ca(OH)}_2$  含有率,  $\text{CaCO}_3$  含有率との相関が良く, 含水率,  $\text{Ca(OH)}_2$  含有率,  $\text{CaCO}_3$  含有率は削孔速度との相関も良いことが分かった. これにより, 熱分析から圧縮強度を推定する代わりに, 削孔速度から圧縮強度を十分に推定できる可能性があることが分かった.

#### 5. まとめ

- 1) 熱劣化したコンクリートの圧縮強度は, 含水率・ $\text{Ca(OH)}_2$  含有率・ $\text{CaCO}_3$  含有率との相関が良い.
- 2) 含水率・ $\text{Ca(OH)}_2$  含有率・ $\text{CaCO}_3$  含有率は削孔速度と相関がある.
- 3) 削孔速度から熱劣化したコンクリートの圧縮強度を推定できる可能性がある.

#### 謝辞

本研究を進める上で施工総合技術研究所の内田様, 羽二生様に多大な助力をいただいた. ここに記し, 謝意を表す.

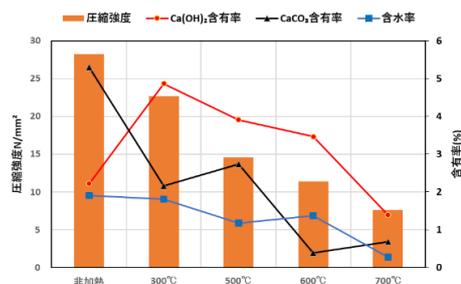


図2 圧縮強度と含有率の関係

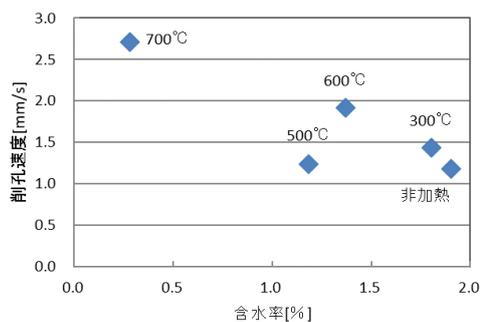


図3 削孔速度と含水率の関係

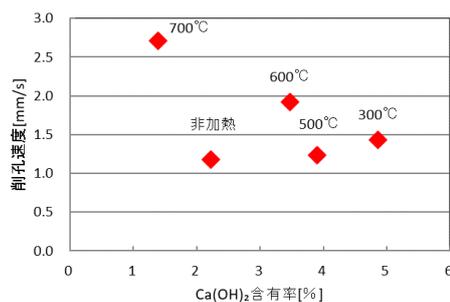


図4 削孔速度と  $\text{Ca(OH)}_2$  含有率の関係

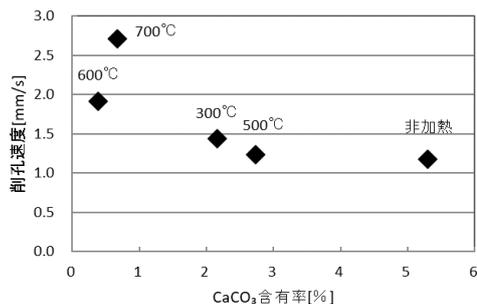


図5 削孔速度と  $\text{CaCO}_3$  含有率の関係

#### 参考文献

- 1) 吉田正友他: 火害を受けたコンクリート構造物の調査診断および補修補強特集/耐火技術とコンクリート調査診断補修技術 Vol.45, No.9, pp.125-132, 2007
- 2) 安田僚介他: 炭酸化を受けたセメント系材料の  $\text{CO}_2$  含有率に向けた分析方法の検討 Vol.75, pp.442-447, 2022
- 3) 新大軌他: 加熱によるセメント硬化体の化学的変化コンクリート工学年次論文集 Vol.39, pp.649-654, 2017