

火害劣化したコンクリートの削孔速度・ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 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¹⁾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・ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含有率・ CaCO_3 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°C 、 500°C 、 600°C 、 700°C (写真 3)に加熱した。 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 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 $1,000^\circ\text{C}$ とし、昇温勾配は $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 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

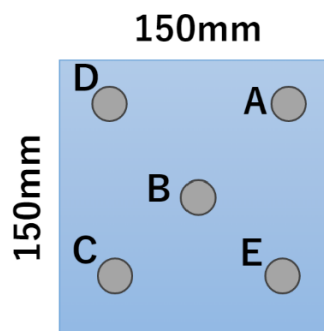


図 1 MDT 試験削孔箇所

表 1 コンクリート配合

W/C (%)	空気量 (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	AE減水剤 (cc/m ³)	補助AE剤 (cc/m ³)
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 $3.14\text{g}/\text{cm}^3$

細骨材：密度 $2.62\text{g}/\text{cm}^3$ 粗骨材：密度 $2.67\text{g}/\text{cm}^3$

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²⁾

温度範囲(°C)	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 2²⁾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 Ca(OH)_2 含有率, 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°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 Ca(OH)_2 含有率をみると他のものより 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 Ca(OH)_2 が生成され, 二酸化炭素と反応して CaCO_3 が生成された可能性があり, そのために 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°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, Ca^{2+} と OH^- が生成される³⁾. これらのイオンが結合し 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, Ca(OH)_2 含有率, 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 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 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, Ca(OH)_2 含有率, CaCO_3 含有率との相関が良く, 含水率, Ca(OH)_2 含有率, 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・ Ca(OH)_2 含有率・ CaCO_3 含有率との相関が良い.
- 2) 含水率・ Ca(OH)_2 含有率・ 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.

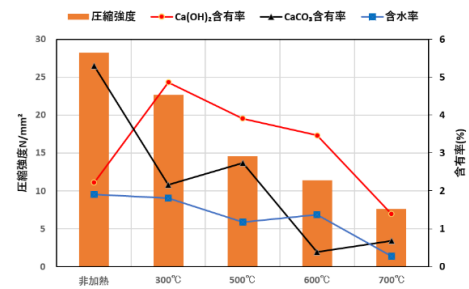


図2 圧縮強度と含有率の関係

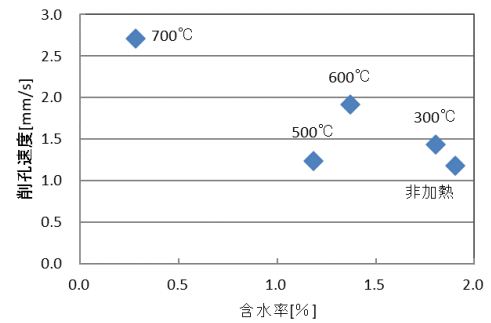


図3 削孔速度と含水率の関係

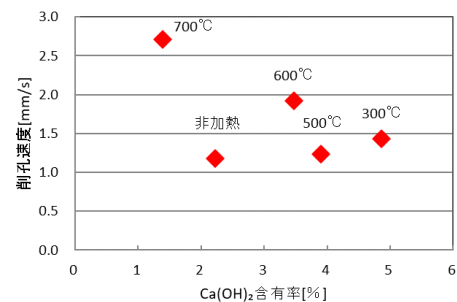


図4 削孔速度と Ca(OH)_2 含有率の関係

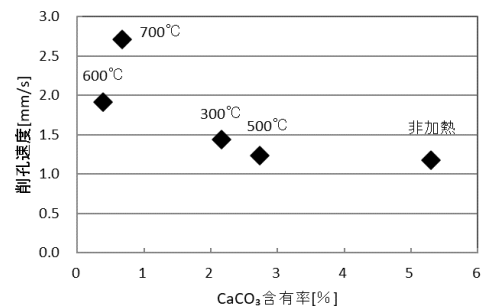


図5 削孔速度と CaCO_3 含有率の関係

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 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