

フェノールフタレイン溶液を利用した コンクリート構造物の火害調査手法に 関する研究（博士学位論文要約）

Study on Fire Damage Investigation Method for Concrete Structures Using Phenolphthalein Solutions (Summary Paper of the Doctoral Dissertation)

木野瀬 透*1

1. 研究背景

コンクリート構造物において火災が発生した際、火災により劣化した部分を修繕して再利用することが一般的である。特に学校、病院、官公庁、高速道路、トンネル等の公共施設では、迅速な使用再開が求められるため、火災による劣化状況を迅速に判断し、適切な補修補強計画を立案することが重要である。

火災時の熱の影響を評価する方法のひとつとして、フェノールフタレイン溶液（PP溶液）を用いる手法が利用されている¹⁾。従来の方法では、火害を受けたコンクリートにPP溶液を噴霧し、赤紫色に呈する部分は少なくとも500℃未満、呈さない部分は500℃以上の熱を受けた領域（ Ca(OH)_2 が熱分解によりCaOに変化し、アルカリ性が低下した領域）と判断する。しかし、吉田らは約500℃以上の受熱領域でもPP溶液が呈色する事例を報告している²⁾。さらに、使用されるPP溶液は中性化深さ測定に用いられるものが使用されることが一般的であり、この場合、熱分解により生成したCaOが水と反応して再度 Ca(OH)_2 に変化する可能性がある。また、高温によるコンクリートの含水状態の変化がPP溶液の呈色状態に影響を与える可能性も指摘されており²⁾、火害を受けたコンクリートにおけるPP溶液の呈色状態については十分に解明されているとは言えない。

以上より、PP溶液を火害調査で適切に活用するためには、高温によるコンクリート中のセメント水和物および含水状態の変化およびPP溶液中の水が呈色状態に与える影響を正確に把握する必要がある。そこで、本研究では、次章で示す3つの目的を設定し、これらの課題に対する検討を行った。

2. 目的および成果の概要

2.1 セメント水和物および含水状態の変化がフェノールフタレイン溶液の呈色状態に及ぼす影響の把握（目的①）

火災時の高温を想定して、片端面から温度勾配が生じるように高温加熱したセメントペースト円柱供試体を用いて、セメント水和物および含水状態の変化がPP溶液の呈色状態に及ぼす影響を検討した。その際、PP溶液中の水が呈色状態に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、溶液中の水の有無による2種類のPP溶液（無水PP溶液、有水PP溶液）を調製して検討した。

加熱後の供試体の割裂面に対して2種類のPP溶液を噴霧すると、いずれも約150℃の受熱深さを境として、呈色状態に濃淡の変化が認められた。また、約450℃以上の受熱領域では、 Ca(OH)_2 の熱分解によるCaOの生成が確認できたが、熱分解しなかった領域と呈色状態に差が認められなかった。この結果はPP溶液中の水の有無によらず概ね同様であったが、「無水PP溶液を噴霧した直後」に観察することで、図-1に示すように濃淡の境界を明瞭に判断できた。以上より、火害を受けたセメント硬化体におけるPP溶液の呈色状態に影響する要因は、従来考えられてきた Ca(OH)_2 の熱分解ではなく、含水状態であることが明らかになった。

2.2 火災前後の諸要因がPP溶液の呈色状態に及ぼす影響の把握（目的②）

PP溶液は通常、経年によるコンクリートの中性化深さ測定に用いられている。中性化したコンクリートではPP溶液はそもそも呈色しないため、火害調査で利用す

*1 KINOSE Toru：（一財）日本建築総合試験所 試験研究センター 材料部 材料試験室 兼 構造部 耐震耐久性調査室

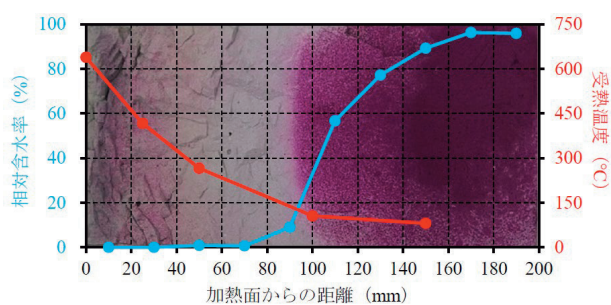


図-1 無水PP溶液の呈色状態（噴霧直後）

る際に何らかの影響を及ぼすことは明らかである。そこで、経年により中性化した建築物から採取したコア供試体を高温加熱し、中性化が高温を受けたコンクリートにおけるPP溶液の呈色状態に及ぼす影響を検討した。

高温加熱した供試体の割裂面に対して、有水PP溶液を噴霧すると、図-2に示すように特徴的な呈色状態が認められた。加熱面から約40mmまでは経年による中性化が進行していたが、加熱面から約20mmまでの領域において濃い赤紫色の呈色を示した。この領域では中性化により生成した CaCO_3 が高温により脱炭酸して CaO が生成したのち、有水PP溶液中の水と反応して $\text{Ca}(\text{OH})_2$ に戻ったことで明瞭に呈色したと考えられる。以上より、中性化後に火災が生じたコンクリートにおいて、有水PP溶液を用いることで CaCO_3 の分解温度である約600℃の受熱を判断できる可能性があることがわかった。

2.3 火災を受けたコンクリート構造物におけるフェノールフタレイン溶液の利用方法の提案（目的③）

各種要因が火災を受けたコンクリートにおけるPP溶液の呈色状態に及ぼす影響を整理し、PP溶液を利用した火災調査フローを提案した。

無水PP溶液により約150℃以上、有水PP溶液により約600℃以上の受熱深さを判断するための調査フローを示した（図-3）。両PP溶液による手法が適用できた場合には、両温度の受熱深さを結ぶことで、コンクリート内部の受熱温度分布を簡易的に把握できるため、火災後の補修補強計画を立案するうえで有用な情報となる。また、経年による中性化の進行状況や火災時の受熱状況により、有水PP溶液による約600℃の受熱領域が判断できない場合、無水PP溶液により約150℃以上の受熱領域を特定したうえで、 KMnO_4 法等の詳細な分析を行うことで火災調査の効率化が図れるものとする。

CaCO_3 が脱炭酸した領域（ CaO が生成）

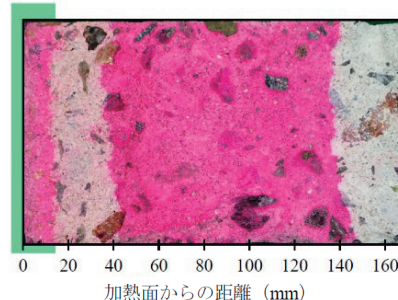


図-2 有水PP溶液の呈色状態（呈色安定後）

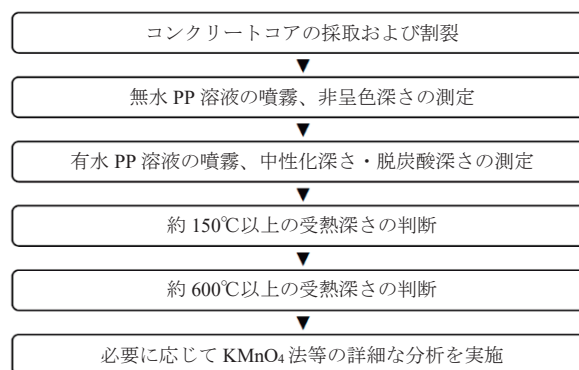


図-3 PP溶液による火災調査フロー

【謝辞】

本論文は、当法人の自主共同研究によって得られた成果を基に取りまとめられたものである。執筆にあたり、今本啓一教授（東京理科大学）の指導ならびに当法人の役職員の協力を受けた。ここに記して深く感謝の意を表す。

また、本論文の全文は東京理科大学学術リポジトリ (<https://tus.repo.nii.ac.jp/records/2000236>) で公開されているので、参照されたい。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：建物の火災診断および補修・補強方法 指針・同解説, 2015.
- 2) 吉田夏樹ほか：火災の影響を受けたコンクリートの化学的变化に関する一検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.643-648, 2017.