

## 超高層ビルの構造・非構造部材における要素材料の補修モデルに関する研究

### ～アクティブ赤外線サーモグラフィ装置を用いたコンクリートのひび割れ深さ検出～

佐藤勇太\*, 田村雅紀\*\*, 岡健太郎\*\*\*

#### 1. はじめに

コンクリートは塩害や中性化、凍害、乾燥収縮などの経年劣化や施工不良、災害の被害による浮きや剥離、ひび割れ等の劣化につながるもので維持管理が必要である。コンクリートの浮きや剥離、ひび割れにより美観を損なう、構造物内へ漏水、構造耐力を損なう、鉄筋の腐食等が原因となり、補修工事が行われている。その補修工事を行う際には建物の劣化を調査し補修箇所を特定する必要がある。

そこで、補修工事を行う前の検査の方法として、破壊を伴う検査と非破壊による検査がある。本研究で用いた赤外線サーモグラフィ装置は非破壊による検査を行うことが可能である。赤外線サーモグラフィ装置は非破壊検査では主に建物の大きな面を撮像し健全部と劣化部の温度変化の違いから劣化箇所を発見するために用いられる。赤外線サーモグラフィ装置を用いた検査でひび割れの劣化をより詳しく調査できないかと考え研究を行うことにした。

そこで、本研究では研究 1 でコンクリート構造物の劣化、特にひび割れによるものについての調査。ひび割れと鉄筋との関係性について調査を行う。研究 2 でコンクリート構造物である図 2a) の工学院大学八王子校舎 15 号館のひび割れ調査、温度変化の調査を行い、コンクリートの模擬ひび割れ試験体をひび割れ幅や深さ、明度の違いのあるものをつくり劣化を評価し、赤外線サーモグラフィ装置とコンクリート構造物のひび割れとの関係性を評価する(図 1)。

#### 2. 実験概要

##### 2.1 工学院大学八王子校舎 15 号館現地報告書による調査

表 2 の文献調査に示すように、既往の工学院大学八王子校舎 15 号館現地調査報告書をもとに、コンクリート構造物である工学院大学八王子校舎 15 号館の劣化を確認した。そこで、図 2a) の写真で確認できるように、内外壁 P コン穴埋めモルタルの剥離、外壁の汚れ、防水の仕上げモルタルの剥離、コンクリート面のひび割れ等の問題を抱えていることが確認できた。今回の調査報告書によるとひび割れに関しての補修は行われず、P コン穴埋めモルタル、仕上げのモルタルの補修が行われる。そのため、さらに明確な補修箇所を特定することができるのではないかと考え、今回本実験では赤外線サーモグラフィ装置により、コンクリート面のひび割れと熱的溫度変化の関係性について研究を行う。

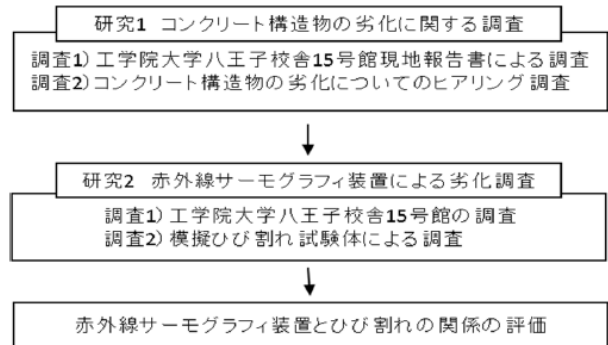


図 1 研究の流れ

表 1 使用材料

項目	材料	種類
八王子校舎 15 号館	セメント	普通 PC
	普通コンクリート	粗骨材 川砂利又は碎石
		細骨材 川砂又は山砂
		混和材 AE 減水材
試験体	セメント	普通 PC、ブリージング防止用ジェットセメント混和
	普通コンクリート	粗骨材 青梅産砂岩碎石、密度 2.59 g/cm <sup>3</sup>
		細骨材 大井川陸砂、密度 2.64 g/cm <sup>3</sup>
		混和剤 AE 剤、AE 減水剤

表 2 実験水準と要因

		実験要因	水準
研究 1	調査 1	文献調査	工学院大学八王子校舎 15 号館現地調査報告書
	調査 2	ヒアリング調査	コンクリート構造物の劣化
		要求区分	安全性、耐久性
研究 2	八王子校舎 15 号館調査	ひび割れ幅(mm)、温度変化(°C)、ひび割れ深さ(mm)、水分量(%)	
	模擬ひび割れ品質評価	圧縮強度、割裂引張強度、ひび割れ幅(mm)、温度変化(°C)、ひび割れ深さ(cm)、水分量(%)	
	測定内容	水分量(%)、温度(°C)、	



a) 工学院大学八王子校舎 15 号館



b) 劣化箇所写真

図 2 調査対象建物

##### 2.2 コンクリート構造物の劣化に関してのヒアリング調査

一度工学院大学八王子校舎 15 号館の調査を行っている大成建設の方にコンクリート構造物の劣化についてヒアリング調査を行った。コンクリート面にひび割れがあると

\*工学院大学建築学部建築学科・学部 4 年 \*\*工学院大学建築学部建築学科・教授 \*\*\*大学院建築学専攻・修士 2 年

き、その幅や長さについてはクラックアイを用い、ひび割れの幅を計測し補修を検討する。その補修方法は基本的に 0.2mm 以下の場合シール材を塗る。それ以上のひび割れ幅の場合は、Uカットシール材により補修が行われる。これらの補修方法の区別としては補修材料がひび割れに入り込むか入り込まないかという基準でわけている。また、目視でより目立つひび割れに関しては構造的に問題がないか構造設計者の確認、調査を行う場合もある。1mm 以上のひび割れがみられた場合には構造設計者の確認など深く追求されることが多い。また、柱や外壁など重要度の高い部位は特別な補修方法を設けているということもなく基本的にひび割れ幅の大きさをもとに判断し補修が行われる。しかし、壁の両側に同じようなひび割れが入っている場合はひび割れが壁面を貫通して入るため危険なひび割れとして判断する。また、補修を考慮するひび割れは基本的には外部に面する雨水のかかる箇所に発生したひび割れで建物内の壁面のひび割れは特別要望がない限り補修することはない。現在、ひび割れが鉄筋まで到達しているかの判断は雨水が鉄筋まで到達し錆びることによって出た錆汁があるかないかで判断することが多いため、コンクリート内の鉄分と雨水が反応し出た錆汁との正確な判断はできていないことがある。そのため、ひび割れ深さ、ひび割れが鉄筋まで到達しているか分かることができればその後の補修や改修に非常に役に立つことが分かった。

### 3. コンクリートのひび割れの熱的調査

#### 3.1 工学院大学八王子校舎 15 号館に関する調査

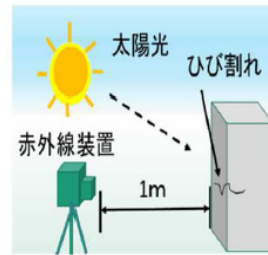
表 2 に示すように、実構造物である工学院大学八王子校舎 15 号館の屋上コンクリートを対象に実験を行った。

測定方法は、NDIS 3428 の規定にもとづきアクティブ法での試験を行った。そのため水を吹きかけ意図的な冷却を行いその後の自然環境の中での温度変化を測定した。実験の流れはまず、対象物のひび割れに十分に水が入るよう水をかける。その後赤外線サーモグラフィ装置により温度変化を測定。色差計により明度と彩度の変化、水分計により水分量の変化のデータを取りこれらとひび割れ幅との関係性について考える。実験は 2016/7/1 外気温 27°C の環境下で工学院大学八王子校舎 15 号館の屋上にて行った。実験環境は図 3 に示す。図 3a) は実験環境のイメージ図である。図 3b) は実際の実験環境である。また、ひび割れ箇所はひび割れ幅 0.4mm、0.75mm、0.5mm の 3 箇所と健全部のなかで、目視で色の違いが見られた①～④の 4 箇所のデータを比較する。図 4a) の赤外線画像は測定箇所に水をかけた際の画像である。図 4d) は水をかけてから 100 分

後の画像である。図 5b) は測定した結果をグラフにまとめた。図 4a) の画像からひび割れ箇所は、健全部に比べ色が明るいため温度が高いことが分かる。ひび割れ箇所が全体的に健全部より温度が高いのはコンクリート表面が水で

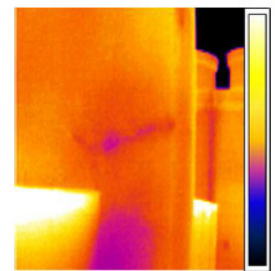
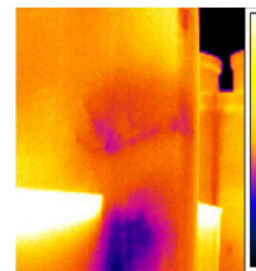
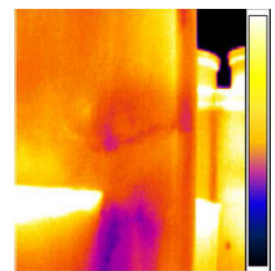
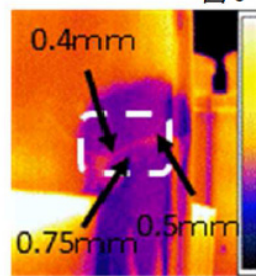
表 3 実験項目と方法

		項目	方法
研究 1	調査 1	文献調査	工学院大学八王子校舎 15 号館現地調査報告書
	調査 2	ヒアリング	コンクリート構造物の劣化についての聞き取りひび割れ箇所の劣化判断方法、ひび割れ箇所の補修方法についての聞き取り
研究 2	実構造物	八王子 15 号館	赤外線サーモグラフィ装置による温度変化の測定
	模擬ひび割れ試験体	試験体作成	円柱供試体割裂により半分に分りひび割れ深さの違いを作る。ひび割れ幅、深さ別試験体は銅板またはステンレス板を差込み計 12 種類のひび割れを作成する。
		圧縮試験	アムスラー式圧縮試験機にて圧縮強度、割裂引張強度を測定
	品質調査	圧縮強度、割裂引張強度、ひび割れ幅(mm)、温度変化(°C)、ひび割れ深さ(mm)、水分量(%)	



a) 実構造物実験風景イメージ b) 実構造物実験風景  
 a) 実構造物実験風景イメージ b) 実構造物実験風景

図 3 実構造物の実験環境



a) 水吹きかけ時 b) 測定開始から 20 分後  
 c) 測定開始から 60 分後 d) 測定開始から 100 分後  
 c) 測定開始から 60 分後 d) 測定開始から 100 分後

図 4 実構造物の赤外線画像



やされて温度低下したのに比べ、ひび割れ内にある空気が冷やされるのに時間がかかっている。図 4d)の 100 分後の赤外線画像より健全部とひび割れ箇所の色が逆になりひび割れ箇所が健全部に比べ温度が低くなるのが分かる。100 分後の結果でひび割れ箇所の温度が低くなっているのはコンクリート表面が太陽光により温められすぐに水が蒸発し温度が上昇していく温度変化に比べ、ひび割れ箇所はひび割れ内にある水が多く含まれるために蒸発するのに時間がかかり温度が上昇するのに時間がかかるためこのような結果になった。また、健全部の温度上昇が測定開始 10 分～20 分に比べ、ひび割れ箇所は 20 分～30 分で健全部がひび割れ箇所の温度を上回った。健全部の中でも図 6a)、d)に示す L\*値の低い、色の黒い箇所は温度が高くなることも確認できる。図 5a)に示すように、含水率に関しては測定開始 10 分後には健全部の値が急激に小さくなる。温度変化のグラフと比較してみても 10 分～20 分に温度が上昇していくので含水率との関係性は大きいことが分かる。ひび割れ箇所については、健全部ほど急激な変化はみられず緩やかな右下がりのグラフになっている。

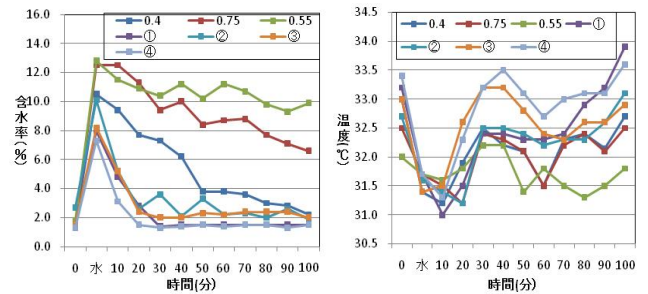
### 3.2 円柱供試体割裂による模擬ひび割れ試験体による調査

ひび割れ幅だけでは劣化度を測ることが難しいため、本研究ではひび割れ深さに違いのある試験体により調査を行う。試験体をアムスラー式圧縮試験機により一度半分に割る。割ったものをひび割れ深さの違いができるように、断面を斜めに二等分し、二等分した片側に接着剤をつけ貼り付け模擬ひび割れ試験体を作成する。ひび割れ幅は 1mm でひび割れ深さは 0～100mm のひび割れができる。

測定方法は NDIS 3428 の規定にもとづきアクティブ法により行う。まず、試験体に水を吹きかけ冷却する。しかし、今回は赤外線ランプを照射し測定中一定の距離から模擬ひび割れ試験体に熱を与え続け意図的に、温度変化を生じさせるアクティブ法により行う。また、今回の実験は日射の無い場所で行った。実験の流れとしては、まず試験体に十分に水が染み込むよう水をかける。水を十分に染み込ませた後、赤外線ランプにより模擬ひび割れ試験体を照射し加熱させる。加熱され温度が上昇していく様子と水分量の変化を赤外線サーモグラフィと水分計で測定する。

結果、実構造物を対象にした実験の結果と同様に温度変化からひび割れ箇所を検出することはできた。図 8 の赤外線画像を確認すると、健全部とひび割れ箇所は色の違いにより判断することができる。図 8a)の測定開始時の画像では、ひび割れ箇所が明るい色を示し特定することができる。図 8b)の水を吹きかけた際の赤外線画像もまた a)の時と同様ひび割れ箇所が健全部より明るい色を示しているため

ひび割れを確認できる。図 8c)の測定開始から 60 分後の赤外線画像は健全部に比べひび割れ箇所の色が暗くなっている。この時に健全部の温度上昇に比べ、ひび割れ箇所の温度上昇が遅いためこのような結果になった。



a) 実構造物の含水率変化 b) 実構造物の温度変化

図 5 実構造物の含水率、温度変化

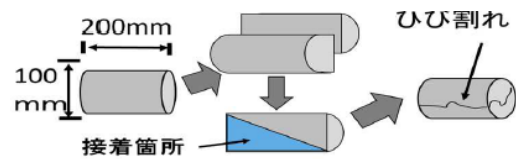
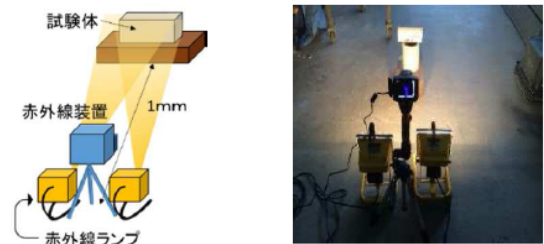


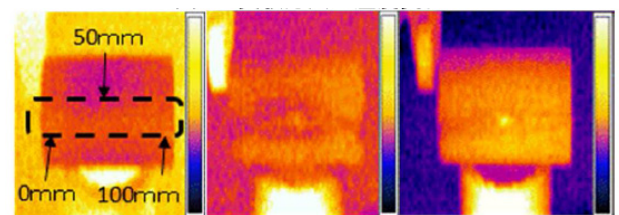
図 6 試験体作成方法



a) 試験風景イメージ b) 試験体実験風景

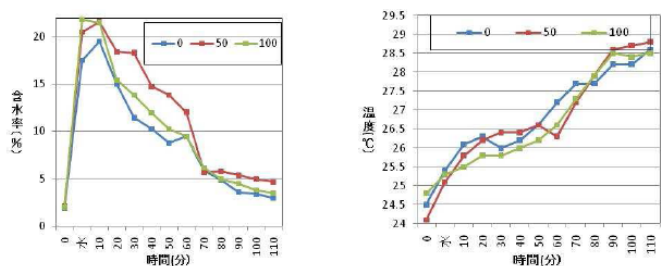
a) 試験風景イメージ b) 試験体実験風景

図 7 実験方法と温度変化



a) 測定開始 b) 測定開始から 60 分 c) 測定開始から 110 分

図 8 円柱供試体による模擬ひび割れ試験体赤外線画像



a) 試験体の含水率変化 b) 試験体の温度変化

図 9 円柱供試体による模擬ひび割れ試験体の試験結果

図 8d)の測定開始から図 9a)の含水率の変化を見てみるとひび割れ深さが 0mm の箇所はひび割れ深さ 50mm、100mm の箇所と比べ水吹きかけ時から測定終了まで一番低い値であったが、100mm の箇所を比べてみると 50mm の箇所の方が含水率の値は高い。図 9b)の温度変化のグラフではひび割れ深さ 0mm の箇所と比べひび割れ深さ 50mm、100mm の箇所は水吹きかけ後温度が低い。

### 3.3 ひび割れ幅・深さ別模擬ひび割れ試験体による調査

図 10a)にあるように角柱試験体に幅 0.1mm、0.3mm、0.5mm、1mm の銅板をそれぞれ深さ 2cm、4cm、6cm の深さの違いをつくり差込み、固まる前に引き抜き模擬ひび割れ試験体を作成する。試験体を測定方法は図 7a)にあるように実建造物の調査の際に行った時と同様に NDIS 3428 の規定にもとづきアクティブ法により行う。まず、試験体に水を吹きかけ冷却する。また、今回はその後赤外線ランプを使用し測定中一定の距離から模擬ひび割れ試験体に照射し熱を与え続け意図的に、温度変化を生じさせるアクティブ法により行う。測定結果は図 11、図 12 にあるように、ひび割れ幅、深さが大きくなるほど温度上昇は遅くなることが確認できた。ひび割れ幅 0.1cm の試験体では健全部との差もあまり見られず、補修の検討の目安となる 0.3cm 以上の試験体では差がみられるため補修検討の際の調査に用いることができるのではないかと考えられる。図 13 のひび割れ深さと幅の関連図では、ひび割れ幅を測り調査後、測定開始からの温度差を求める。その二つの情報からひび割れ深さが分かり、ひび割れ深さと幅、補修材料費の関係性を図にまとめたものである。

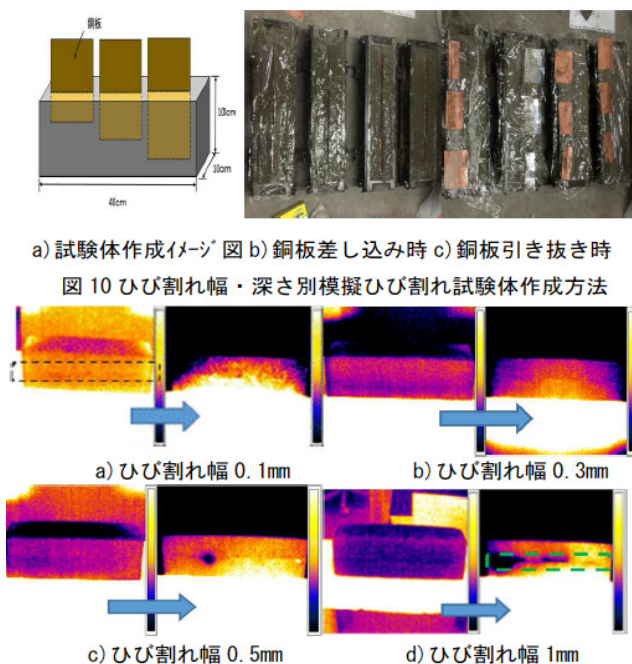


図 11 ひび割れ幅・深さ別模擬ひび割れ試験体赤外線画像

### 4 まとめ

- 1) 赤外線サーモグラフィ装置を用い、ひび割れ幅と深さの違いを読み取ることができ、ひび割れ補修に関わる外壁調査による一次診断の技術情報を検討した。
- 2) 外壁調査によるひび割れ幅と深さの関係から補修材料コストを求める関連図を作成した。

### 参考文献

- 1) 鉄筋コンクリート構造建築物劣化調査報告書
- 2) NDIS 3428 赤外線サーモグラフィ法による建築・土木構造物表層部の変状評価のための試験方法
- 3) 公表価格 HP <http://kohyo.kensetsu-plaza.com/>

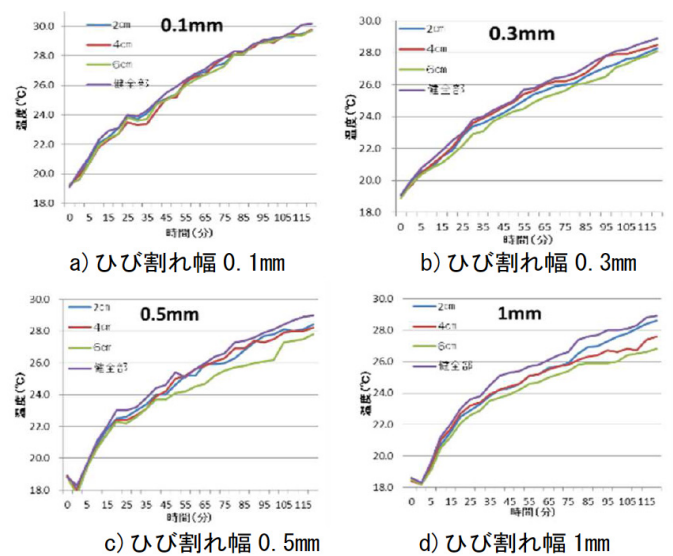


図 12 ひび割れ幅・深さ別模擬ひび割れ試験体温度変化

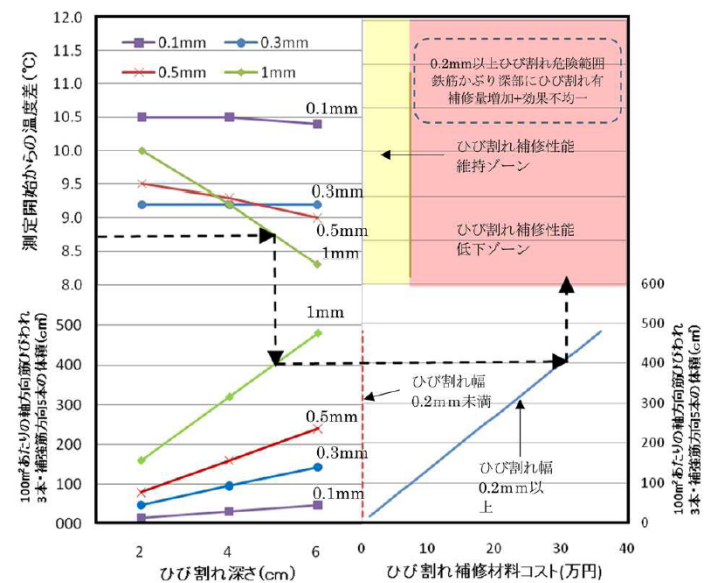


図 13 ひび割れ深さと幅の関連図