

京都大学大学院 学生会員 ○中村 繁貴 正会員 高谷 哲
正会員 山本 貴士 フェロー 宮川 豊章

1. 研究目的

赤外線サーモグラフィは非接触で広範囲の点検が可能であり、かぶりコンクリートの剥落による第三者被害防止には非常に有効である。しかし、コンクリート構造物の維持管理における調査診断では剥離部を検知するだけでなく、剥落の危険性を評価することが、補修工法の選定などのためには重要である。本研究は既報¹⁾で提案した剥落予測手法の適用限界を明らかにし、安全側の評価手法について検討した。

2. 実験概要

供試体は図1に示すような150×400×400mmの角型供試体とし、D19鉄筋を $L_p = 90\text{mm}$ ピッチで直交配筋した。実験要因はかぶり3種類(20mm, 30mm, 40mm)とし、各要因につき9体ずつ実験を行った。

図2に示すような荷重装置を用いて鉛直変位の降下速度0.01mm/sで荷重を行い、鉛直荷重、鉛直変位を計測した。剥離ひび割れを再現した時点で供試体を取り外し、環境試験装置内で日較差3種類(10℃, 7℃, 5℃)を再現し、2種類の赤外線カメラ(表1)で表面温度を測定した。測定終了後、剥落するまで再び荷重を行った。

3. 実験結果および考察

剥離部と健全部の温度差 ΔT (以下、剥離部温度差)と測定温度環境 T_e (= (健全部の温度) - (外気温))の関係を日較差ごとに調べた結果、量子型カメラの場合、温度環境係数 k が0.01~0.03の領域では現場での検知が困難であり、0.04~0.08の領域では日較差10℃の測定条件でなければ検知は困難であることが明らかになった。一方、熱型カメラの場合は温度環境係数 k が0.01~0.05の領域では現場での検知が困難であり、0.06~0.09の領域では日較差10℃の測定条件でなければ検知は困難である。また、検知可能な範囲であれば、日較差の違いによる温度環境係数 k ($= \Delta T / T_e$)の変化は見られなかった(図3)。以降は日較差10℃の測定時のデータについて考察する。また、供試体表面のひび割れの状況から、腐食膨張圧模擬実験から算出した剥落危険度 D_s が0.4から0.86の範囲では要対策範囲とし、0.86以上については交通荷重等の振動による剥

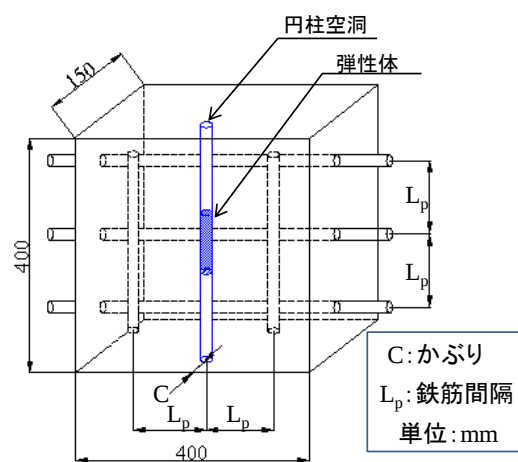


図1 供試体概要

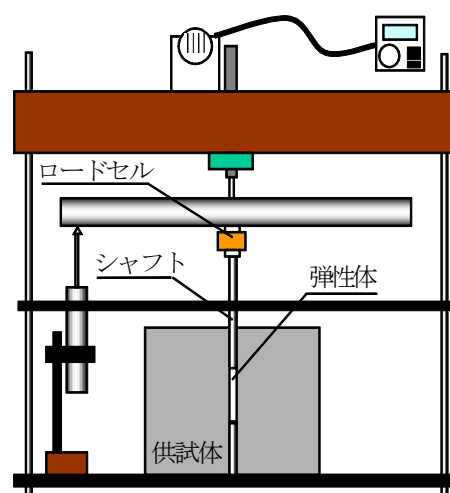


図2 荷重の様子

表1 赤外線カメラの仕様

	量子型カメラ	熱型カメラ
検出素子	InSb	μ -ボロメータ
検出波長帯	3~5 μm	8~13 μm
最小検知温度差	0.025℃	0.06℃
測定精度	±1%	±2%

落危険性大とする。

既報¹⁾では温度環境係数 k と剥落危険度 D_s に線形関係があることを明らかにした。そこで本検討では、温度環境係数 k と剥落危険度 D_s の関係から得られる近似式の傾き α に対し、安全率を導入することを考える。温度環境係数 k から剥落危険度 D_s を安全側に評価するには推定値 f_i (近似式と温度環境係数 k から推定される値) が標本値 y_i (剥落危険度 D_s) を上回る必要がある。表 2 は信頼度 100% から 70% までの安全率を導入した近似式の傾き α'_q , α'_h (添え字はそれぞれ量子型カメラ, 熱型カメラを示す) と決定係数 R^2 を計算した結果である。なおここでの信頼度 P_c は次式に定義する。

$$P_c = \frac{N_c}{N} \times 100 \tag{1}$$

ここで、 N_c : 推定値 f_i が標本値 y_i を上回る要素数, N : 評価対象データの要素数とする。

表を見ると、安全率を導入した場合、信頼度 80% 付近までは R^2 が小さく、信頼度 75% 付近から R^2 の値が最小二乗法で求めた場合の近似式の決定係数である 0.8 に急激に近づくことが分かった。すなわち、 R^2 がある程度高い値を示す範囲で安全率を導入する場合は信頼度 75% 付近の値を適用するのが望ましい。図 4 は剥落危険度と温度環境係数の関係図に、適用限界と信頼度 75% 付近の近似式を加筆したものである。熱型カメラの場合もほぼ同様の図が得られたので量子型カメラの場合のみを掲載している。図を見ると温度環境係数 k が 0.2 以上の範囲のみに着目すると信頼度は 100% であることがわかる。剥落危険度が小さい、すなわち、剥落がすぐに起こる時点ではないところでは、危険側の評価を多少出しても良いが、叩き落としなどの対策を採った方がよくなるような危険度になった段階では、間違った評価すなわち危険側の評価を与えないようにできる関係式を導入できたと考えられる。

4. 結論

表2に示す傾き α'_q または α'_h を用いて既報で提案した剥落予測を行うことで、維持管理費用の削減と適切な点検時期の設定が行えると考えられる。その際、測定条件や使用するカメラの種類²⁾によって適用限界が異なるため注意する必要がある²⁾。

参考文献

1) 中村繁貴, 高谷哲, 前田良文, 宮川豊章 : 赤外線サーモグラフィによるかぶりコンクリートの剥落予測, 土木学会論文集 Vol.69, No.4, pp.450-461, 2013.11
2) 林詳悟, 橋本和明, 明石行雄 : 赤外線サーモグラフィ法における検出精度向上のための検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1696-1701, 2012.7

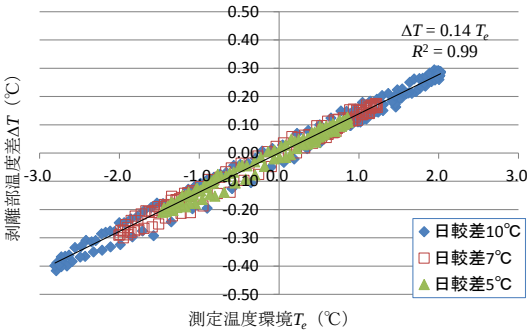


図 3 剥離部温度差と測定温度環境の関係 (量子型カメラ)

表2 傾き α'_q , α'_h と決定係数 R^2 の算定結果

P_c	α'_q	R^2	P_c	α'_h	R^2
100	3.70	-9.74	100	4.62	-23.3
94.4	2.71	-3.09	93.8	3.39	-9.26
88.9	2.20	-0.92	87.5	1.75	0.09
83.3	1.75	0.29	81.3	1.73	0.13
77.8	1.54	0.61	75.0	1.60	0.40
72.2	1.45	0.69			

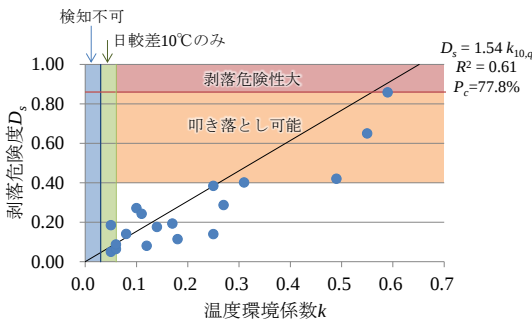


図 4 剥落危険度 D_s と温度環境係数 k の関係 (量子型カメラ)