

赤外線サーモグラフィ測定によるコンクリートの剥落危険性の評価手法に関する研究

京都大学 学生会員 ○中村 繁貴 正会員 高谷 哲
西日本高速道路 正会員 前田 良文 正会員 山本 貴士 フェロー 宮川 豊章

1. 研究目的

近年、かぶりコンクリートの剥落による第三者被害の防止と打音検査の効率を図る観点から、赤外線サーモグラフィを用いた構造物の点検が行われるようになってきている。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。本研究は剥落の危険性を定量評価することを目的とし、鉄筋腐食膨張圧模擬実験による各損傷段階の供試体に対して赤外線サーモグラフィ測定を行い、はく離ひび割れの進展を定量評価する手法を検討した。

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90mmピッチで直交配筋した。実験要因はかぶり2種類(20mm, 40mm)とし、各要因につき2体ずつ実験を行った。

図2に示すような載荷装置を用いて鉛直変位の降下速度0.01mm/sで載荷を行い、鉛直荷重、鉛直変位、赤外線カメラによる表面温度を計測した。剥落に至るまでの任意の5点(STEP1～STEP5)で載荷装置から供試体を取り外し、図3に示す測定環境で赤外線サーモグラフィ測定を行った。なお、(測定温度環境 T_e) = (供試体健全部の温度) - (外気温) とする。本実験で使用した赤外線カメラは素子数640×512、最小検知温度差0.025℃、検出波長帯は3～5μmで、撮影は供試体から約5m離れた地点から30秒間隔で行った。

3. 実験結果および考察

かぶり20mmの供試体(C20D19-1, C20D19-2)では剥離ひび割れが発生した(独立剥離)。一方、かぶり40mmの供試体(C40D19-1, C40D19-2)では押し出し破壊による曲げひび割れがかぶり表面に発生した後に、内部で鉄筋間をつなぐ形で水平ひび割れが発生し、その後供試体の側面に水平ひび割れが貫通した(複合破壊)。

図4はC20D19-1の剥離部温度差 ΔT と測定温度環境 T_e の関係を示している。その他の供試体についても図4と概ね

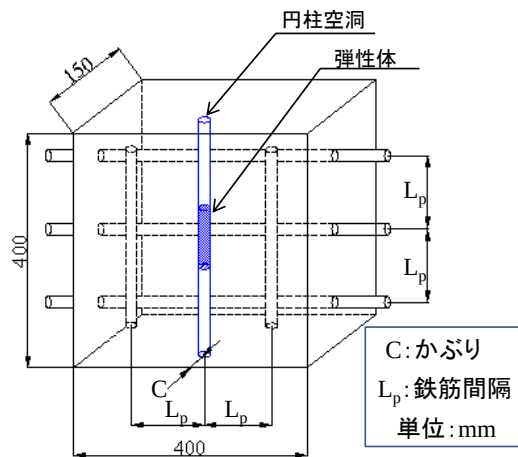


図1 供試体概要

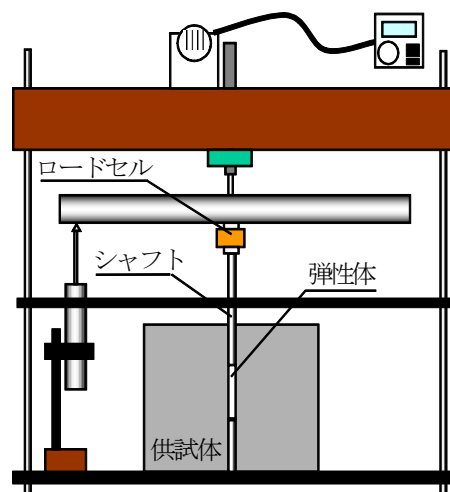


図2 載荷の様子

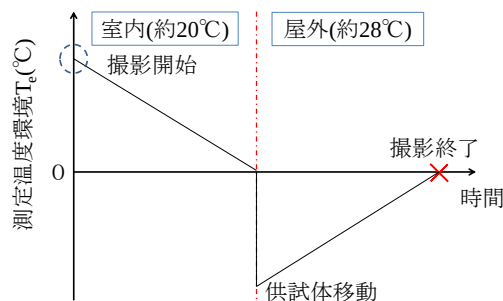


図3 測定環境の概略図

キーワード 赤外線サーモグラフィ, 鉄筋腐食, 剥離ひび割れ, 劣化予測

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-3 構造材料学研究室 TEL 075-383-3173

同様の結果が得られた。なお(剥離部温度差 ΔT) = (健全部の温度) - (剥離部の温度)とする。図を見ると、同一STEP上において ΔT が単調増加している様子がわかる。 T_e が 0°C であれば、理論上では熱流が発生しないため、 ΔT は 0°C になると考えられる。そこで原点を通る線形近似を行うと、図のように精度よく近似ができた。STEP1やSTEP2では ΔT が微小なため、STEP3以降に比べ相関係数が小さくなっている。また、腐食が進むにつれて勾配 k (以下、温度環境係数)が大きくなっていることから、勾配 k を用いて剥落危険度を評価することが可能であると考えられる。

図5に剥落危険度 D_s と温度環境係数の平方根 $\sqrt{k}$ の関係を示す。なお剥落危険度 D_s は鉄筋腐食膨脹厚模擬実験から算出した。図を見ると、 R^2 乗値は小さいものの、 D_s が0.2以上の領域をかぶりや破壊形態によらず、近似式から評価することができた。本実験より求められた D_s と $\sqrt{k}$ の関係式を以下に示す。

$$D_s = 1.2 \times \sqrt{k} \quad (1)$$

$$k = \frac{\Delta T}{T_e} \quad (2)$$

図6に本研究で提案する剥落予測のフローを示す。赤外線サーモグラフィ測定を行う際に外気温を計測し、はく離部温度差 ΔT と測定温度環境 T_e を読み取る。(2)式から温度環境係数 k を算出し、(1)式を用いて剥落危険度を D_s 算出する。例えば、 t 年前の点検結果による剥落危険度が D_{s1} で、本年度の点検結果による剥落危険度が D_{s2} であったとすると、次式により剥落時期は t_s 年後であることが求まる。

$$t_s = \frac{1 - D_{s2}}{D_{s2} - D_{s1}} \times t \quad (3)$$

(1)式の R^2 が小さい原因としては鉄筋腐食膨脹厚模擬実験によるばらつきや、赤外線サーモグラフィ測定の測定精度などが考えられる。また、実構造物での適用を考える際には、その他の環境要因の影響や対象構造物の構造形式による影響も加わると考えられる。これらの影響については今後さらに検討する必要がある。

4. 結論

測定温度環境と剥離部温度差には単調増加の関係があり、腐食が進行するにつれてその勾配は大きくなる。また剥落危険度と温度環境係数の平方根には比例関係が見られる。これらの関係を用いてかぶりや破壊形態によらず定量的な剥落予測手法を提案することができた。

参考文献

- 1) 中村繁貴, 高谷哲, 阿川清隆, 宮川豊章: 剥離形態が赤外線サーモグラフィによる剥落予測に与える影響, コンクリート工学年次論文集 Vol.34, No.1, pp.1720-1725, 2012.
- 2) 橋本和明, 明石行雄, 川西弘一: 橋種別の熱的環境と部材内の熱流を考慮した赤外線サーモグラフィ法の留意点, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.2041-2046, 2009.

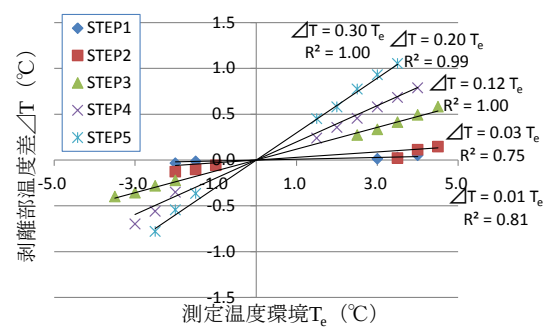


図4 剥離部温度差と測定温度環境の関係

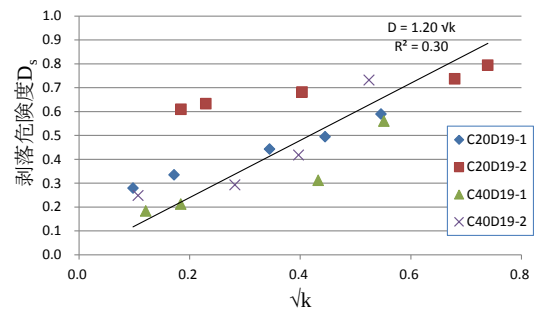


図5 剥落危険度 D_s と温度環境係数平方根 $\sqrt{k}$ の関係

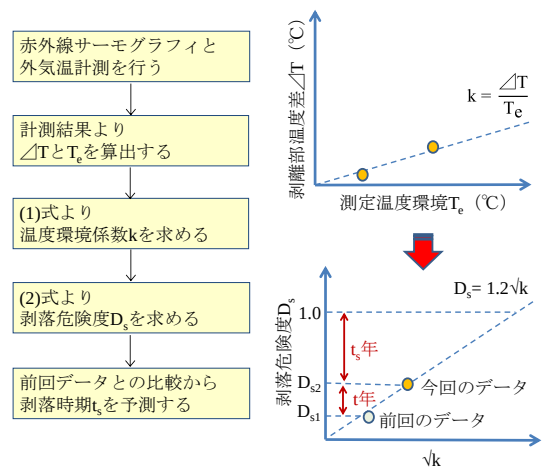


図6 剥落予測のフロー