赤外線サーモグラフィ法における空洞部表面温度差推定式の提案

侑	〇本田	学生会員	東京都市大学大学院
正道	手塚	正会員	東京都市大学
弘道	吉川	正会員	東京都市大学
拓洋	小西	正会員	東京都市大学

1. はじめに

近年,コンクリート構造物の維持管理の重要性はより一層増加し, 点検における非破壊検査法の活用が期待されている.剥離・剥落を 対象とする赤外線サーモグラフィ法は,欠陥部の空洞がコンクリー ト内部で発生した熱流を遮断する性質を利用し,表面温度分布から 欠陥部の特定を行う方法である.表面温度は環境等によって変動し やすいため,環境条件の影響を適切に評価する必要がある.本研究 では,自然環境下でモデル供試体の測定を行い,実験を再現する解 析手法を構築した.更に解析によるシミュレーションから,環境や 空洞の深さや大きさに応じて発生しうる表面温度差を把握できる 簡易な推定式を提案する.

2. 実験概要

モデル供試体は壁高欄を模した高さ 900×幅 1050×厚さ 200mm (設計基準強度 f'_{ck}=24N/mm²)の壁体である.図-1 に示すように, 欠陥を想定した 200, 100, 50mm 四方の空洞を表面から 25・35・ 45・55mm の位置に設けている.また,供試体の健全部の厚さ方向 に設置した 6 個(表面から 5・25・55・100・165・195mm 位置)の 熱電対より内部温度分布を測定した.熱画像の測定は,赤外線カメ ラ[非冷却マイクロバロメータ型,最小分解能 0.03℃]を用いて, 屋外に直立状態で設置した供試体に正対し,6mの距離から行った. 測定時期は 2015 年 5 月 21 日 9:00~17:00 とした.

3.熱収支モデルによる熱伝導解析

有限要素熱伝導解析ソフト(PHOTON-SeriesV8.3)を用いて,3 次元非定常熱伝導解析を行った.コンクリートの対象構造物表面に 薄い発熱層,その表面に熱伝達境界を設けている.内部に空洞を設 置し,発熱層から熱流速を入力することによって日射等による環境 変化を再現した.解析モデルを図-2,物性値を表-1に示す.解析 モデルの大きさは供試体と同等であり,空洞部はメッシュを25mm としている.5月21日8:00~翌日5:00までの21時間を,1ス テップ300secずつ日射量を変化させ解析した.熱伝達境界の基準 温度は測定外気温15.6℃とし,初期条件として節点温度は熱電対の 測定値15.1℃を用いた.供試体の対象面に照射する日射量は,宇都 宮の全天日射量から方位や角度を考慮し斜面日射量推定モデル

(NEDO 新エネルギー・産業技術総合開発機構が採用)によって算

2001050 40 かぶり 熱電対 35mm × 🗉 25mm 200 906 100 50 空隙 53 単位:[mm] 供試体概要 図 1 解析モデル断面 熱伝達境界 2. 発熱層 2.5mm コンクリート 200mm 4. 空隙 5mm

図2 解析モデル

表1 物性値

	物性值	熱伝達率 W/(m・K)	比熱 J/(kg·K)	密度 kg/m ³		
1	熱伝達境界	25	-	-		
2	発熱層	1.5	1100	2300		
3	コンクリート	1.5	1100	2300		
4	空隙	0.025	1000	1.23		



キーワード 赤外線サーモグラフィ法,空洞部,日射量,表面温度差推定式 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:g1581714@tcu.ac.jp 定した.その結果、全天日射量から4割削減させた値を入力した.

図4に実験値と解析値における表面温度推移(欠陥大きさ 200× 200mm)の比較を、図5に表面温度差推移の比較を示す。欠陥検出 に必要となる表面温度差の推移は概ね再現できている. 解析手法及 び入力日射量の算定モデルが妥当であると判断できる.

4. 空洞部表面温度差推定式の提案

表面温度差と日射量は相関関係があり,日射量上昇時にその傾向 が強いことが明らかになった.日射量は日の出から徐々に増加し、5 ~6時間程度かけて南中時刻に最大となる. そこで 5時間で日射量 800W/m² まで一定増加させる入力モデルによるシミュレーションを 行った. 欠陥大きさ別(200×200, 100×100, 50×50mm) に解析を 行い,代表として図6に欠陥大きさ200×200mmについて,日射量と 欠陥深さ別(25・35・45・55mm)の発生する表面温度差の解析結果 を示す.上記,解析結果から図7に,欠陥条件値(欠陥大きさrを 欠陥深さdで除した値)と表面温度差∠tの関係を求めた.ここで両 -----提案式(200×200) -----提案式(100×100) -----提案式(50×50) 値の関係において簡易化するため切片ゼロの近似式を採用した. こ

の場合 r/d が 2 以下について近似されていないが、この範囲は測定誤差が大き い領域であり、適用外とすることとした.

次に日射量と,表面温度差/tを欠陥条件値r/dで除した値との関係を図8 に示す.この図から以下の関係式が得られる.

$$\Delta t = r / d \times 0.0008 \times I \tag{1}$$

ここで, r: 欠陥の大きさ (mm), d: 表面からの欠陥深さ (mm), I: 対象 面に照射する日射量(W/m²)である.(1)式から,実験日の日射量を入力し 算出した値を図5に合わせて示す.実験値の値と比較的よく近似した.

この簡易式は、点検計画段階および点検時に利用可能である. 例えば点検 計画時には,検知対象とする欠陥の大きさ・深さに対する必要日射量が推定 できる.また、点検時には、撮影した熱画像上の異常箇所の大きさが確認で きれば、実験時の日射量を測定することで欠陥が存在する深さが推測できる. 5.まとめ

・表面温度差の推移を日射量入力により再現する熱伝導解析手法を構築した。

- ・日射上昇時において、日射量と表面温度差には強い相関関係がある.
- ・空洞の深さや大きさに日射量に応じて発生しうる、空洞部表面温度差推定 を行う簡易式を提案した. 点検時及び点検計画時に利用できる.
- ・提案式による値は実験値と比較的よく近似したが、r/d<2 については適用 外となる.

参考文献

- 1) 魚本健人 他:温度解析に基づいたサーモグラフィー法によるコンクリート中の空 隙の検査方法に関する基礎的研究,コンクリート工学年次論文集,vol.23,No.1,2001
- 2) 中村士郎, 阪上隆英, 久保司郎, 内田美生: 内部温度測定を併用した赤外線サー モグラフィ法に関する研究,コンクリート工学年次論文集, vol.25, No.1, 2003
- 3) 福岡賢他:赤外線サーモグラフィ法の検証結果と新たな点検手法の一考察,コン クリート工学年次論文集, 2004





図7 欠陥条件値 r/d と表面温度差/t の関係

