

気象情報に基づく赤外線サーモグラフィ法の効率化に関する検討

西日本高速道路エンジニアリング四国(株) 正会員 ○高畑東志明, 林詳悟, 橋本和明, 松田靖博

1. はじめに

赤外線サーモグラフィ法（以下、赤外線調査という）は、遠望非接触でコンクリート内部欠陥を検出する有用な手法である。しかし、赤外線調査は、日射や気温の変化を利用して調査を行うため、気象条件によっては調査不可となる場合がある。調査に適さない梅雨時など季節だけでなく、山間部と平野部では、気温の変化や雨の降りやすさも異なるなど、地域性も考慮する必要がある。このように赤外線調査を効率的に行うには、季節と地域性の両方を考慮した調査計画の立案が肝要であるが、現状においては、季節と地域性を定量的に評価する調査工程策定手法はなく、技術者の経験則により調査工程を策定している。そこで、筆者らは、1km メッシュにおけるピンポイントの気象情報を基に赤外線調査効率を示す調査率を月ごとに推定し、四国地方の赤外線調査工程を最適化する手法の検討を行った。本手法を活用することで、これまでの経験則と比較して赤外線調査効率の向上効果を検討した。

2. 有限要素法による赤外線調査可否判別

赤外線調査可否を推定するには、気象情報と調査可否を照合したデータ（以下、教師データという）が必要となる。気象情報には現地の気温計測データを、教師データには実際の赤外線調査の実施の有無を用いるのが理想的である。しかし、橋梁所在地、橋梁種別等の様々な条件を区分し、あらゆるパターンで現地の気温を測定し、その温度変化から赤外線調査可否を判断することは非現実的である。そこで、有限要素法（以下、FEM という）による橋梁温度解析を行った。気象庁の1時間ごとの気象情報を用いてFEMによる温度解析を行い、任意に設定したモデル橋梁の1時間ごとのコンクリート表面の温度変化を推定する。これにより外気とコンクリート間で温度差が大きい時間帯、つまり内部欠陥が検出可能な赤外線調査に適した時間帯が推定できる（図-1）。本検討では、FEM 解析により得られた調査可能時間帯の有無を、赤外線調査実施の教師データとして採用した。

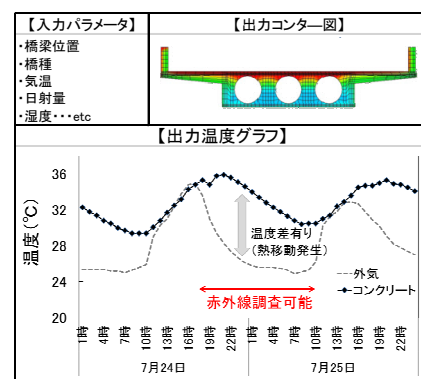


図-1 FEMによる調査可否判別

3. 気象情報の取得方法

赤外線調査が可能となる熱環境を把握するにあたり、気象情報は高精度かつピンポイントの情報が必要となる。本検討では、「農研機構メッシュ農業気象情報（The Agro-Meteorological Grid Square Data, NARO）」¹⁾提供の1kmメッシュ気象情報を用いた（図-2）。

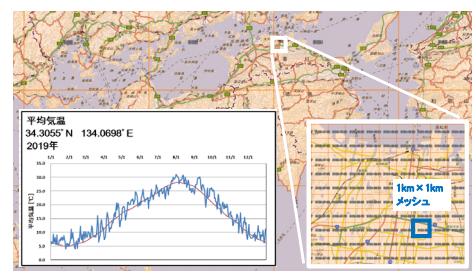


図-2 1kmメッシュ気象情報

4. 過去気象情報による調査率算出

検討は、NEXCO 西日本四国支社管内の2020年度赤外線調査予定96橋を対象とした。図-3に、2019年の気象情報で予測した各高速道路事務所の月ごとの調査率を示す。この調査率は、後述する調査率推定モデルで1橋1ヶ月ごとに平日調査可能日数を平日日数で除して求めた平均値である。季節に着目すると、全体的に梅雨時の6、7月と気温の低い2月の調査率が低い

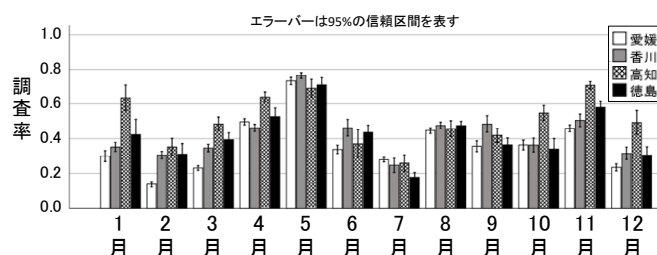


図-3 2020年対象橋梁調査率

キーワード 赤外線サーモグラフィ法, 非破壊検査, 最適化, 工程計画, Python, 橋梁

連絡先 〒760-0072 高松市花園町三丁目1番1号 TEL 087-834-1121 FAX 087-834-0150

ことがわかる。また、高知高速道路事務所管内は盆地地形に類似した山間部の橋梁が多いため、10～4月とは他と比べて調査率が高い傾向がみられる。

5. 赤外線調査工程の作成フロー

赤外線調査工程の検討フローを図-4に示す。2019年の気象庁のデータから代表5地点のFEM教師データを取得する。FEM教師データ(a)と気象情報(b)から統計解析ソフトIBM SPSS Modelerにて調査率推定モデルを構築し、各橋梁の1kmメッシュ気象情報(c)により、橋梁、月ごとの調査率(e)を求める。その後、条件設定(d)と調査率(e)をもとに、Pythonにより最適年間調査工程を求めた。

6. 最適化計算方法の検討

本検討では、倉庫群から工場群への最適輸送量を出力し、輸送コストを最小化する輸送最適化の運用例²⁾を参考に、PythonのライブラリであるPuLPとpandasを組み合わせ最適化計算を行った。調査対象となる橋梁を $I \sim i$ 、調査月を $J \sim j$ とすると、各橋梁の調査予定面積は $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{ij}$ と表され、各橋梁の調査対象面積を $a_1 \sim a_i$ 、調査能力を $b_1 \sim b_j$ 、各橋梁の月別の調査率を $c_{11} \sim c_{ij}$ とすると、本検討に用いる各変数は表-1のように表される。調査予定面積 X_{ij} と調査率 c_{ij} の積の合計を目的変数 Z (式(1))とすると、 Z が最大になるとき、最適な調査予定面積 $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{ij}$ が得られる。本検討では調査対象面積 a_i 、調査能力 b_j を固定の値とするため、式(2)、(3)の制約条件を設定する。

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} X_{ij} \tag{1}$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = a_i \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq b_j \tag{3}$$

検討では、1～3月は報告書作成(内業)

のため、また7月は調査率が低いため、調査(外業)は行わない条件で最適化計算を行った。 Z を全調査面積で除した値と比較すると、今までの経験則による調査工程では0.47程度(4,5,8～12月の全橋梁の調査率の平均値)と推定されるが、上記の最適化計算では0.60となり、約13%の効率改善につながると考えられる。表-2に、2020年度の香川高速道路事務所管内の年間工程案を示す。月ごとの調査面積は調査率の高い5月が最も多く、調査面積が多い橋梁は、月ごとの調査能力を超えないよう複数月にまたがって工程調整がなされている。

7. まとめ

今後の導入効果については2020年度赤外線調査業務にて、過年度との比較検証を行う予定である。本検討における工程の最適化手法は、他の点検業務や維持管理作業の効率化にも有用な手法として幅広く活用できると考えられる。

参考文献

1) 農研機構 メッシュ農業気象情報システム, <https://amu.rd.naro.go.jp/>, アクセス日 2020年3月30日
2) 福島雅夫; 新版 数理計画入門, 朝倉書店, 2018年, p. 19

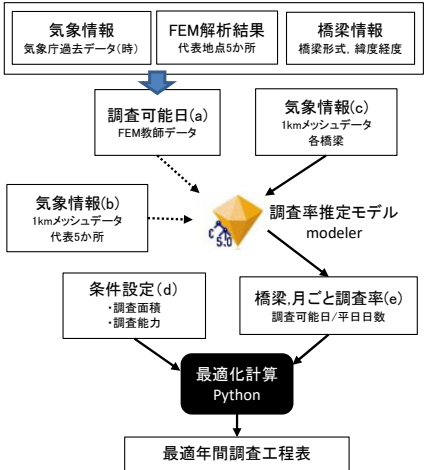


図-4 検討フロー

表-1 検討に用いる各変数と条件

項目		1月目	2月目	3月目	...	j月目	調査対象面積
橋梁1	調査予定面積	X_{11}	X_{12}	X_{13}	...	X_{1j}	a_1
	調査率	c_{11}	c_{12}	c_{13}	...	c_{1j}	
橋梁2	調査予定面積	X_{21}	X_{22}	X_{23}	...	X_{2j}	a_2
	調査率	c_{21}	c_{22}	c_{23}	...	c_{2j}	
	*	*	*	*	*	*	*
	*	*	*	*	*	*	*
	*	*	*	*	*	*	*
橋梁i	調査予定面積	X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	...	X_{ij}	a_i
	調査率	c_{i1}	c_{i2}	c_{i3}	...	c_{ij}	
	調査能力	b_1	b_2	b_3	...	b_j	—

表-2 香川高速道路事務所管内最適化工程案

橋梁名	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	計
A橋(M)						257.0							257.0
A橋(RC)					240.2								240.2
B橋(M)			386.7										386.7
C橋(PC, PRC)		224.9											224.9
D橋(RC)				277.4									277.4
E橋(M)	150.9												150.9
F橋(M)			187.9										187.9
G橋(PC, PRC)			1,740.3		8,142.6	2,518.6							12,401.5
H橋(RC)				224.0									224.0
I橋(PC, PRC)				554.5									554.5
J橋(RC)						117.3							117.3
K橋(M)			3,194.6										3,194.6
K橋(PC, PRC)	6,206.6				7,233.0			16,891.0					30,330.6
K橋(RC)			1,329.0										1,329.0
L橋(PC, PRC)					988.1								988.1
M橋(PC, PRC)					1,683.1								1,683.1
N橋(M)			1,662.2										1,662.2
N橋(PC, PRC)		2,132.1											2,132.1
N橋(RC)			4,741.2										4,741.2
O橋(RC)			416.5										416.5
O橋(M)			584.4										584.4
O橋(RC)			712.9										712.9
P橋(PC, PRC)			375.8										375.8
Q橋(PC, PRC)	194.4												194.4
R橋(PC, PRC)		12,944.4				6,605.4							19,549.8
S橋(PC, PRC)			172.5										172.5
T橋(PC, PRC)				2,891.2									2,891.2
U橋(RC)				1,012.5									1,012.5
計	345.3	21,508.0	15,504.0		15,104.0	15,005.0	2,635.9	16,891.0					86,993.2