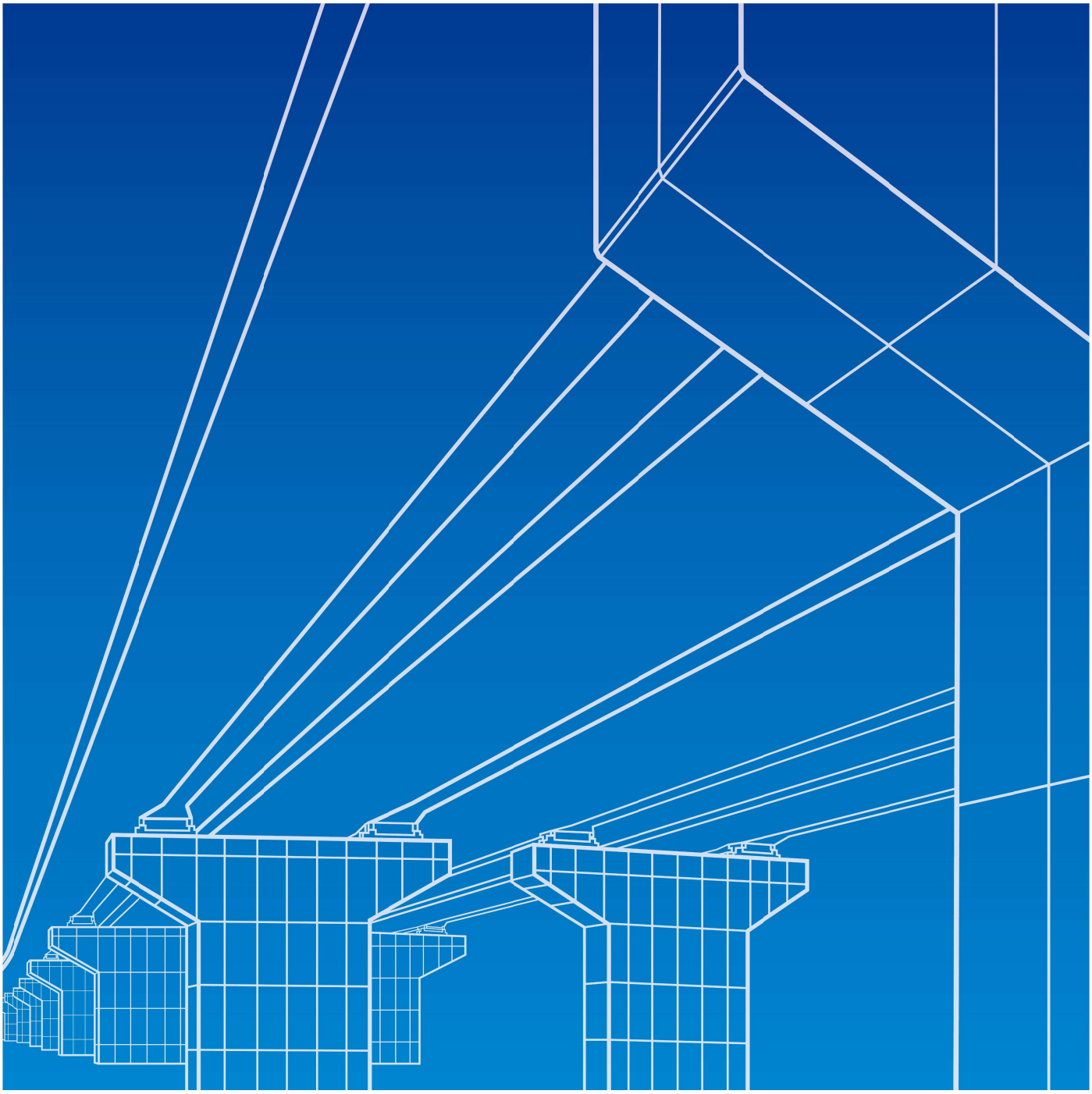


高性能赤外線カメラによる
剥落調査マニュアル

－初版－

一般社団法人 赤外線画像診断研究協会

高性能赤外線カメラによる
剥落調査マニュアル

一般社団法人 赤外線画像診断研究協会

序

コンクリート構造物は一般に耐久性に優れ、メンテナンスフリーと考えられていた。しかし近年、日本各地でコンクリート構造物の老朽化や、凍結防止剤散布による早期劣化が顕在化し、鉄筋コンクリート構造物の鉄筋腐食に伴うコンクリート片のはく落事象が報告されている。国は現状の社会インフラの老朽化対策が喫緊の課題とし、近接目視による点検を 5 年に 1 度実施することなど道路管理者の義務を明確化した「道路法施行規則の一部を改正する省令」を 2014 年 7 月 1 日に施行した。この道路法施行規則の一部改正に伴い、全国に存在する約 70 万橋のうちの 7 割以上を占める約 50 万橋を管理する市町村の役割と責務が肥大化する一方で、市町村は財政、人員、技術の面で課題を抱えており、現状ではメンテナンスを着実に行うことが困難な状況にある。

我々は、コンクリートの表面温度分布を測定し、表面温度差から浮き・はく離・内部欠陥を推定する赤外線サーモグラフィ法による非破壊調査（以下、赤外線調査という）について研究してきた。赤外線調査でコンクリートの浮き・はく離・内部欠陥を推定し、調査結果とその後実施する打音検査結果を照合することで、損傷の判別精度向上を図ってきた。赤外線調査は、非接触で迅速に大面積が調査でき、コンクリート表面の温度分布と可視画像を記録に残せることから、調査後に劣化過程の追跡や客観的評価が可能である。また、コンクリート内部に生じる変状箇所の大きさや深さなどの劣化程度を捉えることが可能で、特に鉄筋腐食などコンクリート内部から進行する浮き・はく離が表面化する前に早期発見可能な手段として有用である。従来の近接目視による点検記録では把握できない劣化進行を捉える記録としても利用価値がある。したがって、赤外線調査は、打音検査や詳細調査の補助や代替えとして使用できる調査方法といえる。

本マニュアルは、高性能赤外線カメラによるはく落調査に関して、これまでの知見をまとめるとともに、調査計画から解析方法、結果取りまとめまでの手順を整理している。本マニュアルに基づいて調査することで、赤外線調査の効率化と信頼性が向上できるものと考えている。

本マニュアルが赤外線調査員の手助けとなれば幸いである。

一般社団法人 赤外線画像診断研究協会

目　次

〈本編〉

１．総則　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　１
２．赤外線法の概説　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　４
３．赤外線カメラの性能と撮影条件　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　９
４．調査環境　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　２３
５．調査方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　５１
６．調査結果の取りまとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　５９
７．その他留意点　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　７１

〈資料編（画像診断支援システム)〉

１．はじめに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　７３
２．損傷未検出と誤検出の原因　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　７４
３．画像のフィルター処理の導入による未検出率の改善　・・・・・・・・・・　７８
４．統計学的処理の導入による判別精度の向上　・・・・・・・・・・・・・・　８７
５．自動診断支援システムの提案　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０５
６．おわりに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０８
７．参考文献　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１１０

〈巻末資料〉

日本全国の主要都市における橋種別の調査可能時間帯　・・・・・・・・・・１１１
高性能赤外線カメラによる損傷判定事例集　・・・・・・・・・・・・・・・１４３

本　編

目　　次

頁

１．　総則 1

１－１ 適用 1

１－２ 用語の定義 1

２．　赤外線法の概説 4

２－１ 赤外線法の原理 4

２－２ 赤外線法によるコンクリート構造物の調査 6

２－３ 調査品質に影響を与える要因について 8

３．　赤外線カメラの性能と撮影条件 9

３－１ 赤外線カメラの撮影原理 9

３－２ 赤外線カメラの性能 11

３－３ 赤外線カメラの撮影条件 14

４．　調査環境 23

４－１ 調査環境 23

４－２ 調査環境の把握技術（熱環境測定装置） 33

４－３ 橋梁を対象とした最適な調査時期と調査可能時間帯 40

５．　調査方法 51

５－１ 現地調査の流れ 51

５－２ 調査条件の把握 52

５－３ 調査計画および現地踏査 53

５－４ 調査準備 55

５－５ 調査実施時間帯の判断 56

５－６ 可視画像の撮影・記録 57

５－７ 赤外線画像の撮影・記録 58

６．　調査結果の取りまとめ 59

６－１ 調査結果の整理手順 59

６－２ 赤外線画像の判読に関する留意事項 59

６－３ 画像解析技術を活用した損傷判定 64

６－４ 調査結果の記録・保存 70

７．　その他の留意点 71

２－３ 調査品質に影響を与える要因について

赤外線法による調査の品質を確保するためには、本法による調査の適用性を明確化する必要がある。以下に調査精度（品質）に影響を与える赤外線法の要因を示す。なお、本マニュアルに記載する赤外線法は、この要因に対して適用性を明確化するための手法について解説するものである。

（１） 赤外線カメラの性能

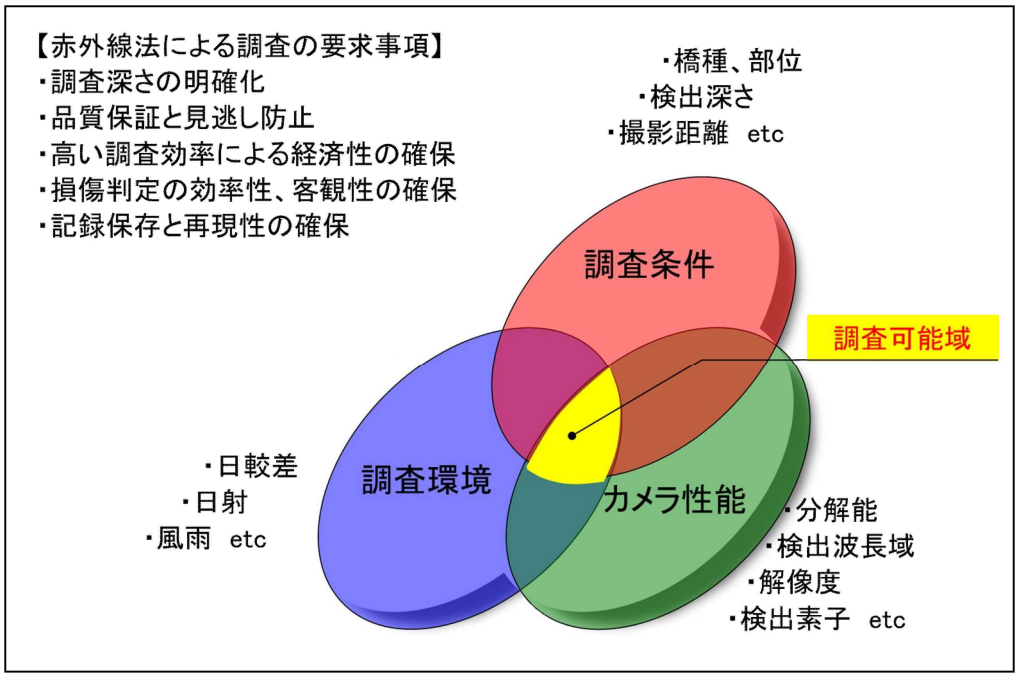
（２） 調査環境

（３） 調査条件

【解説】

図解－ ４は赤外線法による調査結果の精度（品質）に影響を与える要因とその関係性を視覚化したものである。赤外線法は、調査対象とする構造物や検出限界となる深さなどを把握した上で、調査適用範囲を設定する必要があり、目的および環境に適した赤外線カメラを選定することが重要となる。また、調査対象の気象特性や、現地の熱環境を把握することで、調査品質を確保できる時間帯に調査を確実に実施することが肝要となる。

本マニュアルはこの３つの要因について、調査適用性を明確化したものである。



図解－ ４ 赤外線法による調査結果の精度（品質）に影響を与える項目

資　料　編
（画像診断支援システム）

目　　次

頁

１．　はじめに 73

２．　損傷未検出と誤検出の原因 74

２－１　浮き・剥離領域を見逃す事例 74

２－２　誤検出の発生事例 75

３．　画像のフィルター処理の導入による未検出率の改善 78

３－１　浮き・剥離領域の自動認識 78

３－２　浮き・剥離領域と画像処理の関係 83

３－３　打音結果に即したフィルターの改良 84

４．　統計学的処理の導入による判別精度の向上 87

４－１　打音結果と熱画像の関係 87

４－２　熱画像の幾何学的特徴を用いた鑑別指標 91

４－３　熱画像の空間的特徴を用いた鑑別指標 94

５．　自動診断支援システムの提案 105

５－１　損傷判別に用いる判別手法の精度 105

５－２　解析画面での識別指標（予測確率）の表示 106

６．　おわりに 108

７．　参考文献 110

１．はじめに

経験のある医師であっても、がん領域（病変領域）を見逃す場合がある。そこで、生体・医用業界では、医師の画像診断を支援するシステムが提案されている。そのシステムは、マンモグラフィ（乳房 X 線画像）、胸部 X 線画像、胸部や腹部の CT 画像を対象にがんの検出を支援するものである。具体的には、X 線画像の画像処理を行い、病変領域を強調させることで、医師ががんの領域を見逃すことを防止している。

赤外線サーモグラフィ法においても同様に、調査員が、浮き・剥離領域を見逃したり、誤検出したりする。見逃す原因は、赤外線サーモグラフィ法の技術的な問題とヒューマンエラーの２種類存在している。また、赤外線サーモグラフィ法は大量の熱画像を調査員が読み取ってコンクリート損傷を診断（以下、読影という）するため、調査員への負担が大きくなる。さらに、特異な温度分布領域の読影は容易なものでなく調査員間や同じ調査員であっても診断結果に変動があるという問題もある。

本資料編では、生体・医用業界の画像診断システムを参考に、熱画像を対象にした画像診断支援システムの検討内容について整理したものである。

２．損傷未検出と誤検出の原因

赤外線サーモグラフィ法による損傷検出を実施した後、打音検査で確認すると、未検出個所が確認された。未検出とは、赤外線サーモグラフィ法で健全と判断された範囲に、浮き・剥離領域が存在することをいう。この未検出は調査員が、単純に浮き・剥離領域を見逃した場合、あるいは温度変化領域が明瞭に検出されていないため健全と判断した場合に生じる。ここで、温度変化領域が明瞭に検出されない主な原因は、橋梁自体に温度むらが出現しているためで、これが赤外線サーモグラフィ法の技術的な問題である。

調査員は、未検出のリスクを考慮して微小な温度変化領域であっても浮き・剥離領域と判定する。この場合、誤検出個所が増加する。誤検出とは、赤外線サーモグラフィ法で浮き・剥離と判断しても打音検査で健全とされたものをいう。

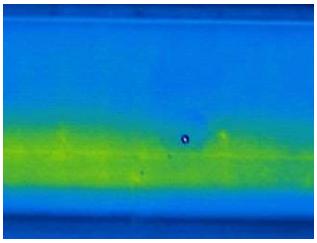
本研究は、未検出と誤検出を排除することを目的に熱画像の解析手法の開発を行うものである。

２－１　浮き・剥離領域を見逃す事例

（1）橋梁構造物における温度むらの発生

コンクリート構造物は部材厚が均一でないため、太陽光等の外的要因で、部材厚の厚い部分と薄い部分で温度差が発生する。温度差が発生している橋梁を調査する場合、調査員の経験が必要となる。また、コンクリート損傷領域の面積が小さいと経験豊富な調査員であっても見逃す可能性が高くなる。

水抜きパイプの周辺に欠陥部がある事例を紹介する（写真-1）。橋梁の張出し部に温度変化（勾配）があり、水抜きパイプが塩ビ管であるため、他のコンクリートと比較して特異な温度変化部がある。塩ビ管の周辺に浮き・剥離部が潜んでいるものである。熱画像で確認すると、水抜きパイプ周辺に特異な温度分布が確認できるものの、調査員は水抜きパイプと張出し部の温度変化に気を取られ、見落す危険性が高い。



a）熱画像

b）打音検査前

c）打音結果後

写真-1　張出部の熱画像と打音状況写真

巻末資料

巻末資料

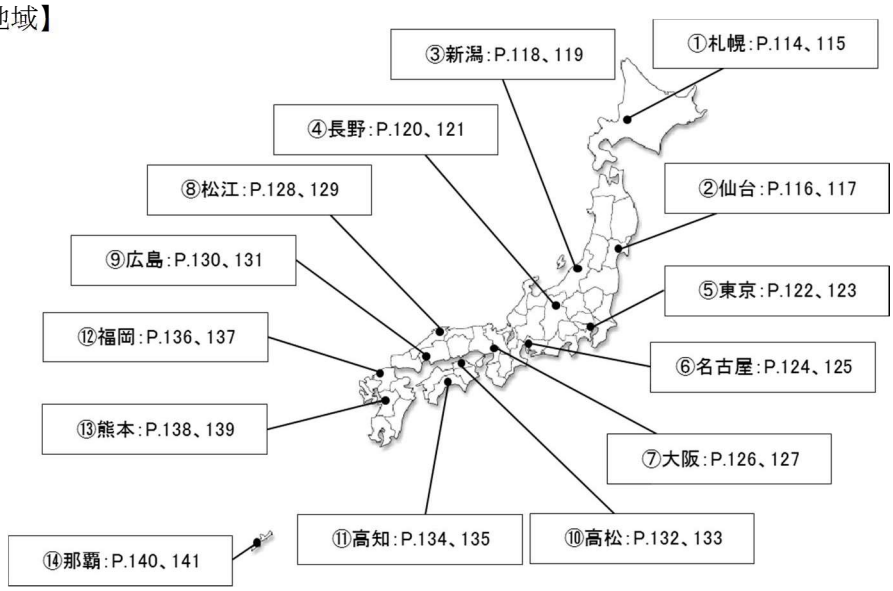
「日本全国の主要都市における橋種別の調査可能時間帯」

本資料は、日本全国の主要都市（①札幌、②仙台、③新潟、④長野、⑤東京、⑥名古屋、⑦大阪、⑧松江、⑨広島、⑩高松、⑪高知、⑫福岡、⑬熊本、⑭那覇）における橋種別調査可能時間帯についてまとめたものである（**※本編「４－３(3) FEMによる橋梁温度予測解析に基づく日本全国の調査可能時間」参照**）。

なお、本資料は代表的なモデルケースであることから、調査時の実績を整理することで、実調査箇所の実績調査歩掛を蓄積していくことを推奨する。

解析パターン

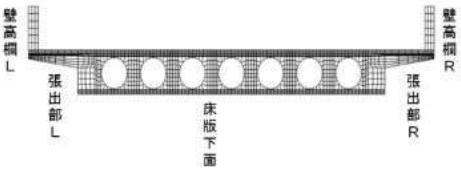
【地域】



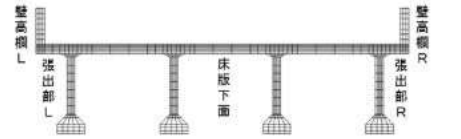
【橋種】

Ⅰ. 橋種:Me

Ⅱ. 橋種:RC



Ⅲ. 橋種:多主桁

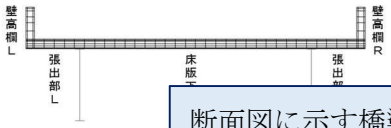


図表の解析

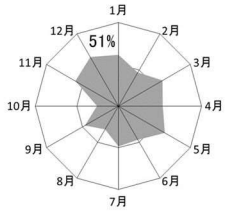
⑤東京

地域

Ⅰ. 橋種:Me　調査可能日数・割合

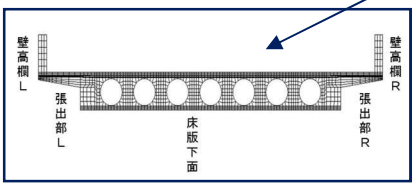


調査月	全日数	調査可能日数	調査可能割合
1月	31	19	61%
2月	28	13	46%
3月	31	19	61%
4月	30	16	53%
5月	31	20	65%
6月	30	14	47%
7月	31	15	48%
8月	31	10	32%
9月	30	14	47%

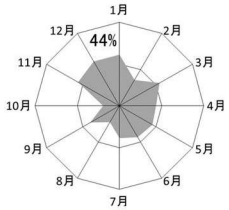


断面図に示す橋梁は
東向き方向を示す。

Ⅱ. 橋種:RC　調査可

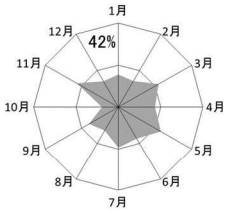


調査月	全日数	調査可能日数	調査可能割合
2月	28	10	36%
3月	31	17	55%
4月	30	13	43%
5月	31	14	45%
6月	30	13	43%
7月	31	12	39%
8月	31	7	23%
9月	30	12	40%
10月	31	6	19%
11月	30	17	57%
12月	31	19	61%
全体	365	159	44%



Ⅲ. 橋種:多主桁　調査可能日数・割合

調査月	全日数	調査可能日数	調査可能割合
1月	31	12	39%
2月	28	10	36%
3月	31	17	55%
4月	30	13	43%
5月	31	18	58%
6月	30	13	43%
7月	31	15	48%
8月	31	10	32%
9月	30	12	40%
10月	31	6	19%
11月	30	17	57%
12月	31	11	35%
全体	365	154	42%



Ⅰ. 橋種:Me　調査部位・時間ごとの調査可能率

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	時間ごとの調査可能率 19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
1月～3月	90	51	57%	(1)壁高欄L	49%	45%	69%	65%	69%	71%	67%	61%	53%	61%	51%	47%	9h
				(2)張出部L	41%	45%	76%	84%	75%	86%	90%	82%	78%	78%	76%	75%	10h
				(3)床版下面	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	7h
				(4)張出部R													10h
				(5)壁高欄R													11h

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	調査可能時間
4月～6月	91	50	55%	(1)壁高欄L	9h
				(2)張出部L	11h
				(3)床版下面	12h
				(4)張出部R	11h
				(5)壁高欄R	9h

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
7月～9月	92	39	42%	(1)壁高欄L													7h
				(2)張出部L													12h
				(3)床版下面													11h
				(4)張出部R													12h
				(5)壁高欄R	72%	64%	67%	77%	69%	59%	59%	46%	46%	49%	49%	8%	7h

【調査可能日】
　全部位において、橋梁躯体と気温の温度差が 1℃以上の時間帯（1 時間以上）が発生する日を調査可能日とした。
ただし、降雨、降雪が確認された日は調査不可とした。

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
10月～12月	92	47	51%	(1)壁高欄L	34%	38%	68%	62%	60%	66%	64%	64%	57%	45%	43%	43%	7h
				(2)張出部L	26%	40%	53%	64%	64%	72%	70%	68%	77%	68%	64%	60%	10h
				(3)床版下面	2%	9%	21%	30%	40%	49%	47%	47%	60%	62%	68%	72%	4h
				(4)張出部R	19%	32%	47%	49%	51%	64%	68%	66%	70%	68%	64%	60%	8h
				(5)壁高欄R	60%	55%	68%	62%	62%	66%	64%	64%	57%	45%	43%	43%	9h

（例）７月～９月の場合
全９２日のうち、３１日は調査可能日と判断する。

Ⅱ．橋種:RC　調査部位・時間ごとの調査可能率

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	時間ごとの調査可能率 19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
1月～3月	90	46	51%	(1)壁高欄L	59%	63%	76%	74%	76%	78%	83%	74%	72%	74%	76%	63%	12h
				(2)張出部L	43%	37%	63%	63%	63%	74%	78%	65%	61%	70%	65%	57%	10h
				(3)床版下面	9%	13%	26%	30%	33%	43%	57%	65%	57%	63%	67%	67%	6h
				(4)張出部R	9%	15%	30%	35%	39%	52%	52%	57%	52%	52%	52%	48%	6h
				(5)壁高欄R	89%	89%	85%	78%	83%	80%	83%	74%	72%	74%	76%	65%	12h

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	時間ごとの調査可能率 19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
4月～6月	91	40	44%	(1)壁高欄L	93%	95%	95%	95%	88%	83%	85%	80%	85%	70%	60%	23%	11h
				(2)張出部L	80%	88%	88%	93%	85%	85%	85%	80%	83%	73%	68%	23%	11h
				(3)床版下面	25%	33%	45%	50%	53%	60%	58%	73%	83%	78%	75%	30%	8h
				(4)張出部R	53%	65%	75%	80%	73%	68%	65%	73%	75%	65%	60%	20%	11h
				(5)壁高欄R	88%	88%	93%	95%	88%	83%	85%	80%	85%	70%	60%	20%	11h

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	時間ごとの調査可能率 19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
7月～9月	92	31	34%	(1)壁高欄L	90%	74%	77%	87%	87%	74%	71%	65%	77%	68%	74%	29%	11h
				(2)張出部L	74%	71%	81%	90%	94%	81%	77%	74%	84%	71%	77%	35%	11h
				(3)床版下面	16%	19%	29%	39%	45%	45%	48%	52%	71%	71%	77%	42%	4h
				(4)張出部R	35%	39%	52%	68%	68%	58%	55%	52%	68%	65%	77%	13%	9h
				(5)壁高欄R	77%	74%	77%	8[illegible]%	87%	74%	71%	65%	77%	71%	74%	29%	11h

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	時間ごとの調査可能率 19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
10月～12月	92	42	46%	(1)壁高欄L	43%	67%	71%	79%	71%	83%	79%	81%	81%	71%	64%	60%	11h
				(2)張出部L	24%	31%	48%	60%	55%	69%	71%	69%	67%	60%	52%	52%	9h
				(3)床版下面	12%	17%	31%	33%	43%	50%	62%	57%	60%	64%	60%	64%	7h
				(4)張出部R	10%	26%	31%	36%	43%	45%	57%	52%	45%	40%	43%	43%	2h
				(5)壁高欄R	74%	76%	81%	81%	71%	83%	79%	81%	81%	74%	64%	60%	12h

調査可能日において、１時間ごとに調査可能の割合を示す。（５０%以上を着色）
橋梁躯体と気温の温度差が１℃以上発生する時間帯を調査可能時間とした。

Ⅲ．橋種:多主桁　調査[illegible]

調査月	全日数	稼働日数	稼働[illegible]	6	調査可能時間
1月～3月	90	39	43	69%	12h
				38%	10h
				67%	7h
				49%	5h
				69%	12h

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	時間ごとの調査可能率 19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
4月～6月	91	44	48%	(1)壁高欄L	98%	98%	98%	98%	91%	86%	86%	80%	77%	70%	57%	20%	11h
				(2)張出部L	93%	95%	95%	98%	84%	82%	64%	64%	66%	50%	43%	9%	10h
				(3)床版下面	77%	89%	91%	93%	95%	95%	93%	91%	89%	89%	82%	59%	12h
				(4)張出部R	64%	70%	80%	80%	75%	64%	57%	64%	66%	59%	45%	11%	10h
				(5)壁高欄R	91%	95%	95%	98%	91%	86%	86%	80%	77%	70%	57%	20%	11h

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	時間ごとの調査可能率 19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
7月～9月	92	37	40%	(1)壁高欄L	95%	76%	81%										
				(2)張出部L	84%	86%	86%										
				(3)床版下面	54%	59%	68%										
				(4)張出部R	38%	51%	57%										
				(5)壁高欄R	78%	81%	81%										

調査可能率が５０%以上である時間の合計値を示す。

調査月	全日数	稼働日数	稼働率	調査部位	時間ごとの調査可能率 19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	調査可能時間
10月～12月	92	34	37%	(1)壁高欄L	59%	82%	82%	82%	65%	76%	79%	79%	79%	76%	65%	68%	12h
				(2)張出部L	47%	56%	59%	59%	50%	53%	62%	62%	41%	38%	44%	44%	7h
				(3)床版下面	9%	21%	32%	35%	38%	56%	47%	53%	62%	65%	56%	65%	6h
				(4)張出部R	21%	38%	38%	38%	44%	44%	59%	59%	47%	44%	47%	47%	2h
				(5)壁高欄R	79%	85%	85%	82%	65%	76%	79%	79%	79%	76%	65%	68%	12h

巻末資料

「高性能赤外線カメラによる損傷判定事例集」

高性能赤外線カメラによる損傷判定事例集

主旨・説明 ---------- 144

一赤外線調査後の打音点検結果ごとに分類一

剥離 ---------- 145

浮き ---------- 150

異物混入 ---------- 167

異物付着 ---------- 170

遊離石灰 ---------- 172

漏水 ---------- 175

錆汁 ---------- 177

豆板 ---------- 179

ノロ ---------- 181

砂すじ ---------- 183

鉄筋露出 ---------- 184

補修跡 ---------- 187

ピーコン跡 ---------- 192

汚れ・色むら ---------- 193

段差 ---------- 199

蜘蛛の巣 ---------- 203

健全 ---------- 204

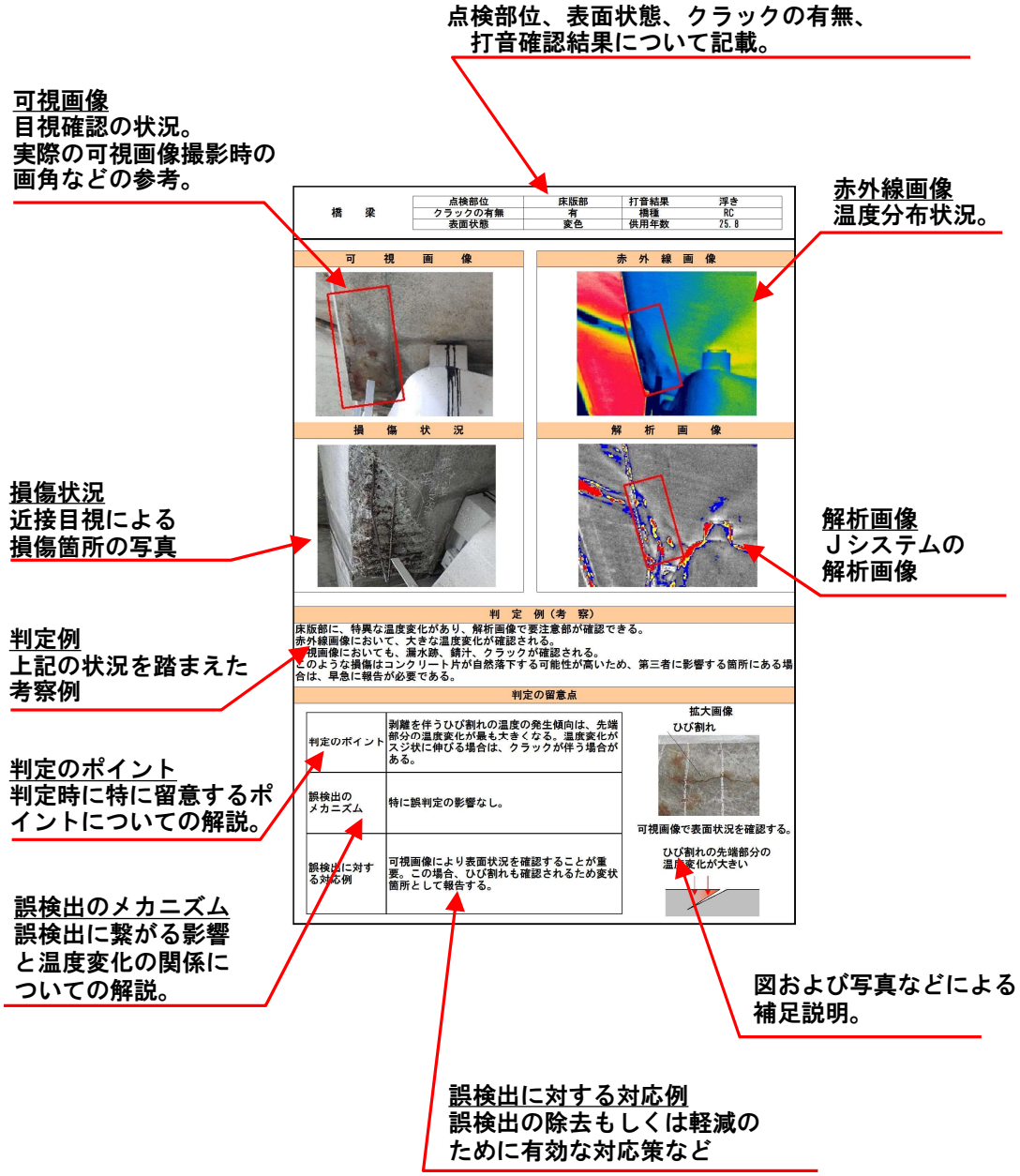
１．主旨

本事例集は、Ｊシステムを用いて赤外線調査を行なう際に、留意すべき点について記載している。赤外線調査では、変状箇所による温度変化のみならず、様々な影響による温度変化を検出するため、温度変化部の判断を誤ると、変状箇所の見逃しに繋がる恐れがある。このため、実際の点検に際しては、本事例を参考としながら、変状箇所の見逃しが発生しないよう、常に安全側の判定を行うことを意識しながら判断することが重要である。

また、赤外線調査結果を踏まえた上で、コンクリート表面の状態を確認することは、損傷の可能性を推定する上で非常に有効であることを意識する必要がある。

２．説明

赤外線カメラによる点検では、変状箇所のみの温度変化だけを検出できる例のほうが少ない。常に剥落の可能性と誤検出の可能性について意識する必要がある。事例では、判定を行う際の考え方に重点を置いて作成している。本事例集の説明は以下のとおりである。

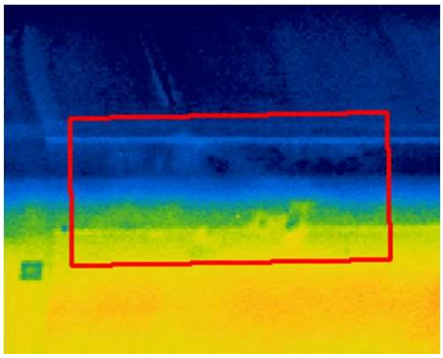


事例 － 1

点検部位	張出部	打音結果	剥離
クラックの有無	無	橋種	RC
表面状態	錆汁	供用年数	26

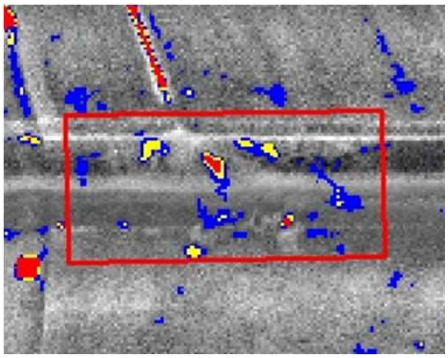
可　視　画　像

赤　外　線　画　像



損　傷　状　況

解　析　画　像



判　定　例（考　察）

壁高欄部・水切部に、特異な温度変化があり、解析画像で要注意部が確認できる。
可視画像においては漏水跡による変色部が確認される。
コンクリート表面変色部の色むらと温度変化部の形状が異なることから、温度変化の要因は色むらだけでなく、浮きの可能性が考えられる。

判定の留意点

判定のポイント	温度変化の形状と変化の大きさを確認する。過去の赤外線調査から水の影響を受ける部位は、損傷を発見することが多い。
誤検出のメカニズム	色むらや汚れ（黒色）の影響を考慮する。熱吸収率は、色などの表面状態に依存し、吸収率＝放射率となり、熱しやすい部位は、冷めやすい性質をもつ。
誤検出に対する対応例	色むらと温度変化の形状が一致する場合は誤検出の可能性が高い。可視画像により表面状況を確認することが重要。この場合、赤外線画像の温度変化状況から判断し、変状箇所として報告する。

高性能赤外線カメラによる剥落調査マニュアル

2018年6月　初版発行

編　集　　西日本高速道路エンジニアリング四国　株式会社
発　行　　一般社団法人　赤外線画像診断研究協会
〒760-0072　香川県高松市花園町三丁目1番1号
TEL(087)834-2416
FAX(087)834-0150
定　　価　（本体9,000円＋税）

本書の内容を無断で複写複製（コピー）することはお断り致します。