

4. 現地キャリブレーション項目に関する実験と

キャリブレーション方法の提案

4.1 現地キャリブレーション項目の抽出

常時監視システムを実際に現地にて運用するにあたり、システムや機器の条件だけではなく、監視の対象となる道路橋の条件や通行車両等の影響にも配慮する必要がある。

橋梁の橋面は通行する車両や人などにより、監視ターゲットが遮蔽され確認できなくなる場合があること、また夜間には車両のヘッドライトの影響を受け、画面上でターゲットと背景の区別がつきにくくなることによりターゲットの監視精度が低下することなどが想定され、その影響度合いは時刻や車両や人の交通量などにより橋梁ごとに異なる。また、カメラやターゲットの設置可能な位置も橋梁ごとに異なる。

そのため、常時監視システムを運用するにあたっては、推奨されるシステムの仕様と要求性能を示すのみではなく、個別の橋梁ごとにこれらの障害物等の影響を検証し、事前に目標とする変位を検知できるか確認するのが良いと考えた。

これらの常時監視に影響を与えると考えられる事象の影響度合いは、前述のとおり監視対象となる道路橋の条件等が1橋ごとに異なると考えられるため必ずしも机上で把握できるものではない。そこで、これらの事象の影響度合いについては実際に監視対象となる道路橋を用いて常時監視の運用前に現地にてキャリブレーションすることが望ましい。

本章では、常時監視の障害となり得る事象に対して、キャリブレーションを行うべき項目をあげる。また、そのキャリブレーション項目に対して、開発した常時監視システムを用いて検証実験を実施することで、画像処理への影響を確認し、現地キャリブレーションの必要性を検証した。

表-4.1.1に、現地にてキャリブレーションすべきと考えた項目を示す。

表-4.1.1 現地キャリブレーション項目一覧

項目	概要
変状の検出精度	想定している変状（開き、段差、横ずれ）に対して、どの程度の検出精度を有しているのかを検証
影や遮蔽物による影響	車や通行人によってターゲットが影に隠れること、ターゲットが遮蔽されることによる画像処理への影響の検証
ヘッドライトの直射・逆光の影響	夜間に車のヘッドライトがターゲットに当たることによる画像処理への影響の検証
風の影響	風の影響によりカメラ位置や向きが変化した場合の影響を検証
日照条件の変化による影響	日照条件（昼間と夜間）の違いによる画像処理への影響を検証
懐中電灯等ターゲットと同等の発光物の影響	自転車や懐中電灯等が画像に写り込むことによる画像処理への影響を検証
画像をリサイズした際の影響	ビデオ画像を利用し、道路管理用のカメラの画像と同じサイズにリサイズした場合の影響を検証

検証実験は、①簡易的に橋梁への設置を模擬した模擬実験と、②供用中の橋梁に対して実施した検証実験の2回実施した。常時監視システムの運用にあたっては、本実験方法を参考にキャリブレーションを実施し、本常時監視システムの現場への適用性を確認されたい。

4.2 模擬実験

模擬実験では影や遮蔽物による影響とヘッドライトの直射・逆光の影響を検証した。

【影や遮蔽物による影響の検証】

車や通行人によってターゲットに影がかかる状況や、ターゲットが遮蔽される状況における画像処理への影響の検証を行った。本検証では、これらの状況を傘を用いてターゲット上に影を発生させることやターゲットを遮蔽することで再現し、撮影した画像に対しテンプレートマッチングを行うことで、これらの事象の影響度合いを確認した。

【ヘッドライトの影響の検証】

夜間に車のヘッドライトがターゲット、カメラへ照射された状況を想定し、画像処理への影響を検証した。これらの状況をターゲットにヘッドライトを直射させること、また、ターゲットの背面からヘッドライトを当て逆光の状況を作りだすことで再現し、撮影した画像に対しテンプレートマッチングを行い、これらの事象の影響度合いを検証した。

また、車両のヘッドライトにはローライトとハイライトがあるため、これらの影響度合いの検証も実施した。

(1) 実験場所および装置の配置

カメラ及びターゲットの配置については、3章の分析を踏まえ、図-4.2.1および図-4.2.2に示すように配置した。道路管理カメラの通常の設定高さが6m～10mであることから、本実験のカメラの設置高さは8mとし、監視対象物までの水平方向の直線距離（カメラからP点までの距離）は12mとした。



図-4.2.1 実験場所の写真

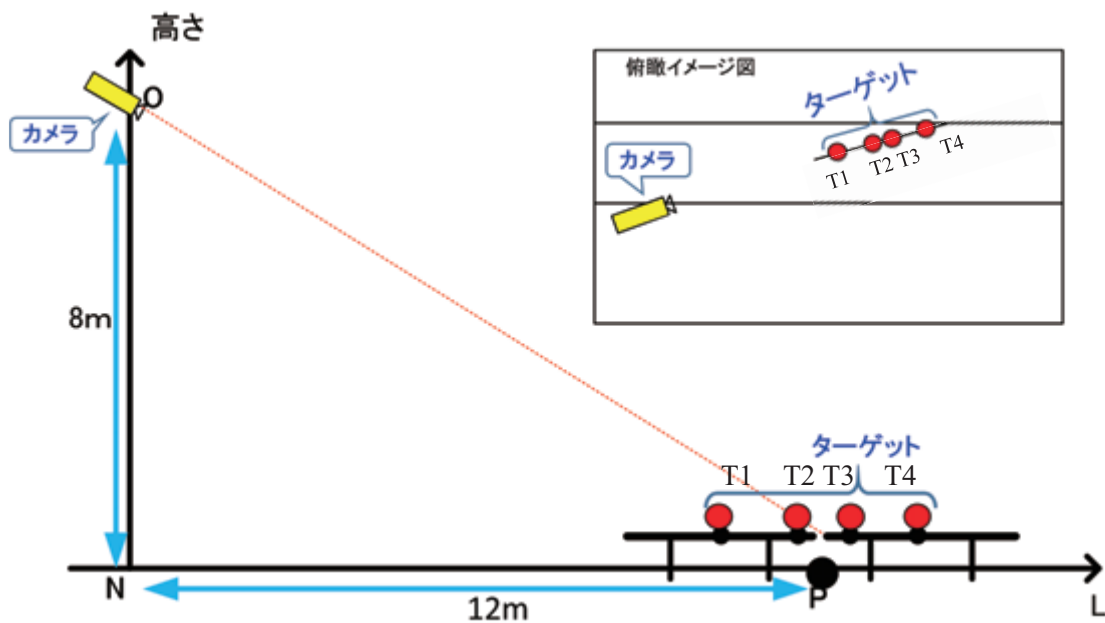


図-4.2.2 実験場所の断面イメージ

本検証においては、障害物の影響を確認することが目的であるため、橋梁端部にターゲットを設けるのではなく、単管バリケードにターゲットを設置し実験を実施した。

単管バリケードは、橋面に設置されている防護柵を想定しており、図-4.2.3のようにバリケード上部にターゲットを設けた。また、桁端部をイメージし2つで1組みの単管バリケードを用意し、カメラからみて前方のバリケードは移動させず、後方のバリケードを移動、角度の変更を行うことで道路橋の変状を模擬することとした。

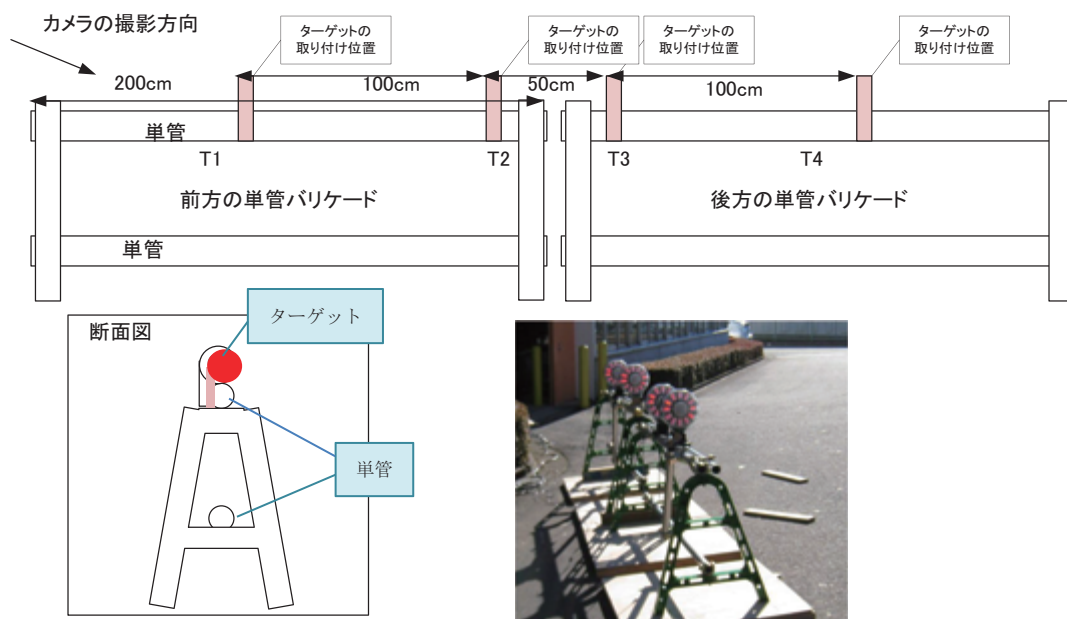


図-4.2.3 ターゲットの配置イメージ


(2) 撮影機器およびターゲット

表-4.2.1 に、本検証実験で使用した撮影機器およびターゲットを示す。

図-4.2.4 に、これらの撮影機器及びターゲットを用いて撮影した画像と画像処理のイメージを示す。

これらの撮影機器やターゲットを用いて、テンプレートマッチングを行い、設定した条件（影や遮蔽物、ヘッドライトの影響を検証するという条件）におけるターゲットの抽出精度を検証した。

表-4.2.1 検証実験に使用した撮影機材及びターゲット

デジタルカメラ		赤色ターゲット	
撮影素子	1/2.3 型高感度 CMOS (裏面照射型)	写真	
撮影画素数	約 1680 万画素	照明	LED
F 値	F2.7 (W) -5.9 (T)	ターゲット直径	240mm
焦点距離	f=4.3-21.5mm 35mm 換算値(静止画 4:3 時) f=24-120mm		
ズーム	光学 5 倍		

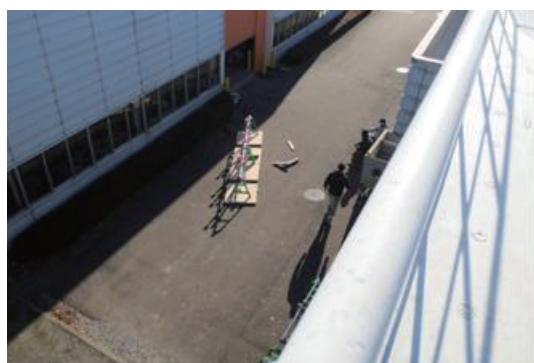


図-4.2.4 撮影画像および画像処理のイメージ（左：撮影画像、右：画像処理の様子）

(3) 実験結果

テンプレートマッチングを行うにあたり、予め T1~T4 の 4 つターゲットに対し、テンプレート画像をそれぞれ登録した。また、撮影画像の中から、それぞれのターゲットが動くと思われた範囲をサーチエリアとして登録した。

それぞれのサーチエリア内に、登録したテンプレート画像と相関値が最大となる箇所の検索を行った。計算上の相関値は 0~1 の値になっているが、以降では、評価しやすくするため、相関値を 100 倍にした値を示す。

テンプレートマッチング法を用いて実施した画像処理の例(昼間および夜間)を表-4.2.2 および表-4.2.3 示す。

表-4.2.2 および表-4.2.3 から、影や遮蔽物の影響がない場合は、予め登録したテンプレート画像とターゲット画像の相関値が高く、昼間・夜間とも精度よく常時監視可能であることが分かる。

表-4.2.2 昼間のテンプレート画像および画像処理の例









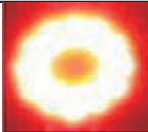
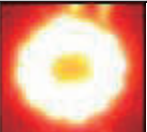
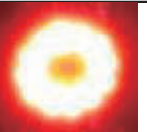

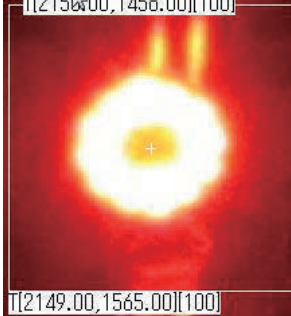

	T1	T2	T3	T4
テンプレート (昼間)				
入力画像				
【相関値×100】	【99】	【100】	【100】	【100】

表-4.2.3 夜間のテンプレート画像および画像処理の例

	T1	T3	T4
テンプレート (夜間)			
入力画像			
【相関値×100】	【100】	【100】	【100】

(4) 影や遮蔽物による影響の検証

ターゲットに影がかかること、およびターゲットが遮蔽されることの影響を検証した結果を表-4.2.4 および表-4.2.5 に示す。

まず、単管バリケードを用いた本検証実験における橋梁の掛違い部であり、変状の発生を想定している T2、T3 に対して昼間に影をかけた時、T1 の相関値が低下した。これは、T2、T3 に与えた影が、ターゲット T1 の背景にまで影が伸びたことにより、テンプレート画像との間に相違が発生した事が原因であると考えられる。一方で、T2、T3 については、背景の変化が少なかったため、T1 に比べ相関値が低下しなかったと考えられる。

次に、T3と同様に変位が生じる恐れがある道路橋側のターゲットを想定したT4に影を発生させたとき、T3の相関値が低下した。これもT4にかけた影がT3の背景を変化させたことが原因であると考えられる。T2、T3に影をかけたときのT2やT3の相関値と比較して、T4に影をかけるとT4の相関値は大幅に低下した。これは、T4本体が影にかかった事に加え、影によりT4の背景となっている単管パイプの反射が抑えられたことが原因と考えられる。T3も同様の原因で影の影響が直接ターゲットにおよばなくとも単管パイプの反射が抑えられたことにより相関値が低下したものと考えられる。

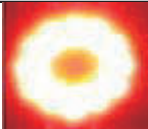
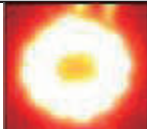
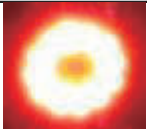
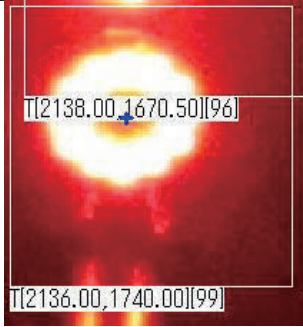


昼間に道路橋において変位が生じることを想定しているT3、T4とカメラの間に遮蔽物を設置したとき、T3およびT4の相関値が低下した。この時、遮蔽していないT1およびT2の相関値も低下した。この理由は、単管パイプの反射が抑えられ、背景が変化したことが原因と考えられる。

これに対して、夜間にT3、T4に遮蔽物を設置した時はT3、T4の相関値が低下するのは昼間と同様の傾向であったが、T1の相関値は昼間に検証実験をした結果と異なり高い数値となった。この理由は、夜間ではもともと登録したテンプレート画像においてターゲットの背景が暗く、T3、T4が遮蔽されてもT1の背景に影響を与えなかったためと考えられる。

表-4.2.4 影および遮蔽物による影響の検証（昼間）

	T1	T2	T3	T4
テンプレート (昼間)				
T2,T3に影				
【相関値×100】	【77】	【86】	【83】	【92】
T4に影				
【相関値×100】	【90】	【91】	【64】	【49】
T3,T4を遮蔽				
【相関値×100】	【75】	【72】	【51】	【49】

表-4.2.5 遮蔽物による影響の検証（夜間）

	T1	T3	T4
テンプレート (夜間)			
T3,T4 を 遮蔽			
【相関値×100】	【99】	【7】	【8】

(5) ヘッドライトの影響の検証

夜間において、車両のヘッドライトが画像処理に与える影響を検証した。

車両のヘッドライトがターゲットに当たるケースは、ターゲットの正面から直射する場合と反対に背面からヘッドライトが当たり逆光となる場合が考えられる。また、車両のヘッドライトにはローライトとハイライトがあり、ヘッドライトの当たり方によりターゲットの検出精度に影響を及ぼす可能性があると考えた。そこで、ヘッドライトを直射したケース、逆光となったケースの検証実験を行い、それぞれに対してヘッドライトをローライト、ハイライトを切り替えて画像処理に与える影響を検証した。

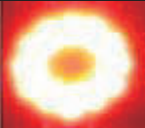
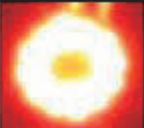





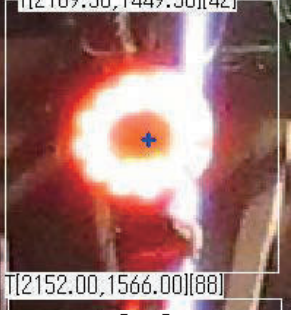

車両のヘッドライトが画像処理に及ぼす影響の検証を行った結果を、表-4.2.6に示す。

ターゲットにヘッドライトを直射した場合、ローライト、ハイライトともにターゲット中央部は自発光しないにもかかわらず、画面上で発光しているかのように映った。また、ヘッドライトを直射させた場合においてはローライト、ハイライトの違いによる相関値の違いはみられなかった。

これに対し、ターゲットに逆光となるようヘッドライトを照射したとき、撮影されたターゲットは、発光部と中央部の発光しない部位が明確になり、ターゲットの発光部の形状が鮮明に映し出されている。また、ヘッドライトのローライト、ハイライトの違いでは、ハイライトの方がローライトの場合に比べターゲットの背景の変化が大きかったため相関値が低下したものと考えられる。

表-4.2.6に示した相関値から、ターゲットにヘッドライトを直射したときに比べ、逆光になるよう照射したときの方が、相関値が高い傾向にあった。また、逆光になるように照射した場合はローライトの方が相関値が高かった。これは、ハイライトによる強い光により、画像上にハレーションが発生しやすい傾向にあったためであると考えられる。

表-4.2.6 ヘッドライトの影響の検証

	T1	T3	T4
テンプレート (夜間)			
ローライト を T1 から T4 方向に 照射(直射)	 【相関値×100】 【68】	 【85】	 【82】
ハイライト を T1 から T4 方向に 照射(直射)	 【相関値×100】 【63】	 【81】	 【80】
ローライト を T4 から T1 方向に 照射(逆光)	 【相関値×100】 【95】	 【95】	 【95】
ハイライト を T4 から T1 方向に 照射(逆光)	 【相関値×100】 【78】	 【88】	 【79】

(6) まとめ

検証実験から得られた知見は、以下の通りである。

- ①ターゲットに通常の影響（通行車等の影）がかかる程度ではテンプレートマッチングにおける相関値の低下はほとんどなく、常時監視システムへの影響は少ない。
- ②影や反射物の影響により、ターゲットの背景に変化がある場合は相関値が低下し、常時監視システムへの影響が大きい。したがって、ターゲットの背景に光を反射する物がある場合は、ターゲットの周りに遮蔽材を付けるのがよい。遮蔽材の色は、ターゲットの色彩と差異を付けることが望ましい。
- ③ターゲットにヘッドライトを直射させたときに比べ、逆光になるよう照射したときの方が相関値は高く、ヘッドライトを直射させた場合は常時監視システムに与える影響が大きい。このことから、ターゲットとカメラの設置に当たっては、カメラが車両進行方向に対して相対するよう（カメラが車両の正面側を撮影できるよう）に設置し、ヘッドライトがターゲットに対して逆光になるように設置するのがよいと考えられる。
- ④本検証では、ヘッドライトがターゲットに対して逆光になるよう、カメラやターゲットを設置した場合、ヘッドライトがローライトの方が相関値は高く、ハイライトの方が相関値は低くなった。ヘッドライトのローライト、ハイライトの影響はターゲットの設置高にもよると考えられるため、実橋において常時監視システムの運用するに当たってはその影響を事前に把握することが望ましい。

本検証実験では、影や遮蔽物、ヘッドライトの影響により相関値が下がる場合があり、これらが少なからず常時監視システムに適用するテンプレートマッチングに影響することが分かった。

そのため、本常時監視システムを用いる場合には現地にて影や遮蔽物、ヘッドライトの影響をキャリブレーションして、必要な精度を確保できることを予め把握する必要性が確認された。

4.3 供用中の橋梁に対する検証実験

4.2に加え、供用中の橋梁に対して、4.1で挙げたキャリブレーション項目が常時監視システムに与える影響の検証を行った。

4.3.1 検証実験概要

ここでは4.1の検討内容を踏まえ、以下の項目について検証を行った。

以下の(1)については、開発した常時監視システムが設計どおり運用可能か検証するための基本ケースとして位置付けている。また、(2)～(6)については、一般的な橋梁の供用環境下で想定される常時監視に支障を与えると考えられる項目として検証を実施した。

- (1) 変状量の検出精度の検証
- (2) 風の影響の検証
- (3) 日照条件の変化による影響の検証
- (4) ヘッドライトの逆光・直射の影響の検証
- (5) ターゲットと同程度の発光物の影響の検証
- (6) 画像をリサイズした際の影響の検証

4.3.2 検証実験の条件

検証に使用した装置および実験条件について記載する。

(1) 撮影機材

本実験では、表-4.3.1に示す撮影機材を用いて実験を実施した。


表-4.3.1 実験で使用した撮影機材

	ハイビジョンビデオカメラ	デジタルカメラ
撮影素子	1/2.88型 "Exmor R" CMOS センサ	1/2.3型高感度 CMOS (裏面照射型)
撮影画素数	1980×1088 または 1440×1080	約 1680 万画素
F 値	F1.8-3.4	F2.7(W) -5.9(T)
焦点距離	f=3.8-38.0mm (35mm 換算) f=26.0-260.0mm (16:9 時) f=31.8-318.0mm (4:3 時)	f=4.3-21.5mm 35mm 換算値(静止画 4:3 時) f=24-120mm
ズーム	光学 10 倍 (デジタル 120 倍) エクステンデッド 17 倍	光学 5 倍
最低被写体照度	6lux (スタンダード時)	—
ナイトショット	ナイトショットライト内蔵	—

(2) ターゲット

表-4.3.2 に、本実験で使用したターゲットを示す。

表-4.3.2 実験で使用したターゲット

	小型ターゲット
写真	
照明	LED
ターゲット直径	90mm
設置場所	高欄

(3) 実験装置の配置

本実験で使用した橋梁は、図-4.3.1、図-4.3.2 に示す橋長 40m 程度の単純鋼鉄桁の桁端部である。



図-4.3.1 実験対象橋梁（側面写真）

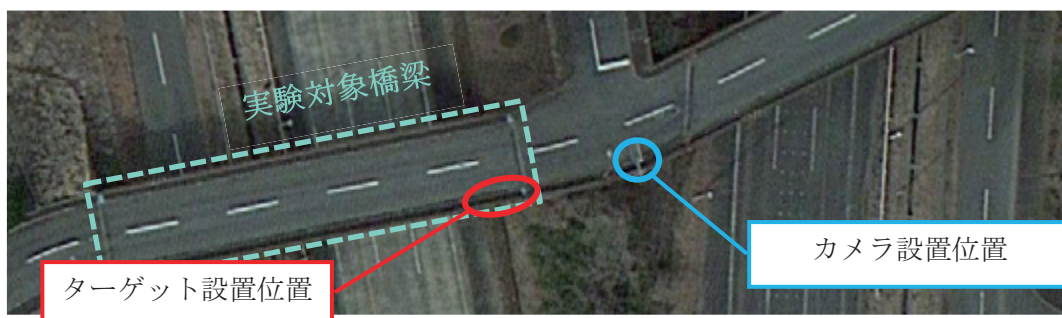


図-4.3.2 実験対象橋梁（俯瞰写真）

道路管理カメラの通常の高さは6m～10mであることを考慮し、本実験では、既設の道路標識の柱を利用して高さ5.7m及び7mのところにビデオカメラを設置し、通常の道路管理用カメラの設置範囲内で、本実験の計測対象ターゲットをカバーできる位置を選定した。カメラの設置場所及びターゲットの設置場所は図-4.3.3及び図-4.3.4に示す。

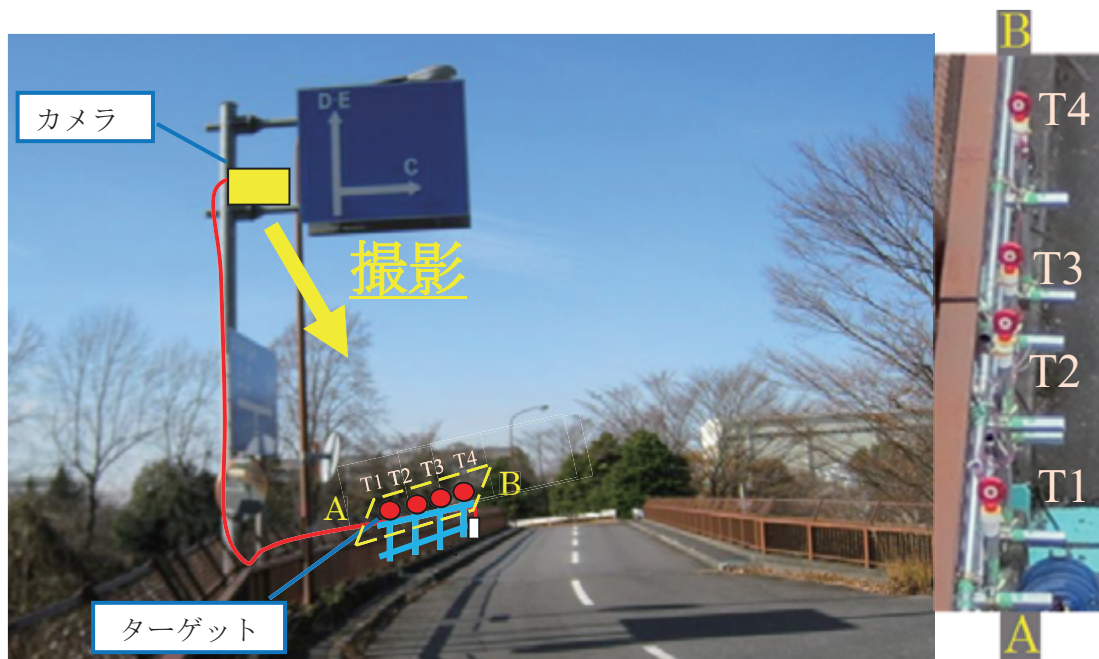


図-4.3.3 各装置の配置（左：装置の配置概要、右：カメラでターゲットを撮影した画像）

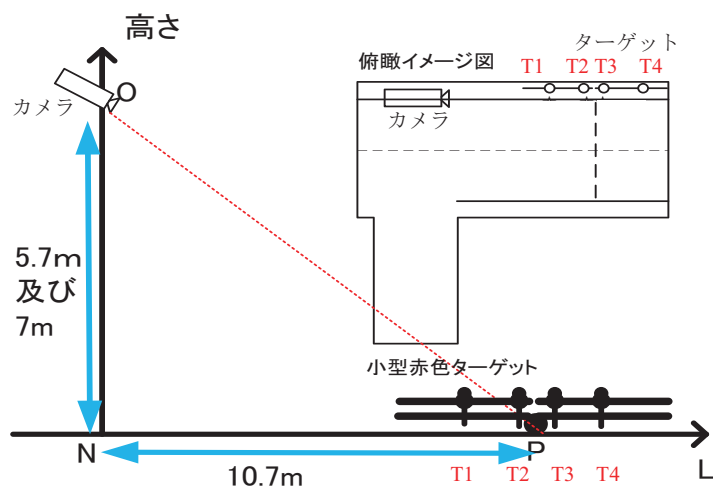


図-4.3.4 実験装置の配置

(4) ターゲットによる橋梁の変状の再現

小型ターゲットを用いて、掛け違い部や桁端部に開き、段差、横ずれが発生した場合を想定した検証を行った。実際に橋梁に開きや段差等が発生させることは出来ないため、図-4.3.6に示すように、高欄にパイプを設置し、ターゲットをずらすことで再現をした。

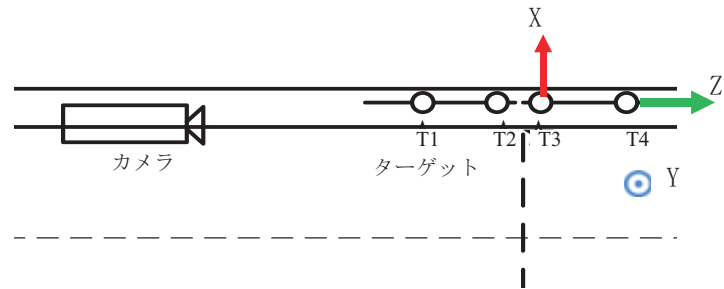


図-4.3.5 ターゲットの配置イメージ (平面図)

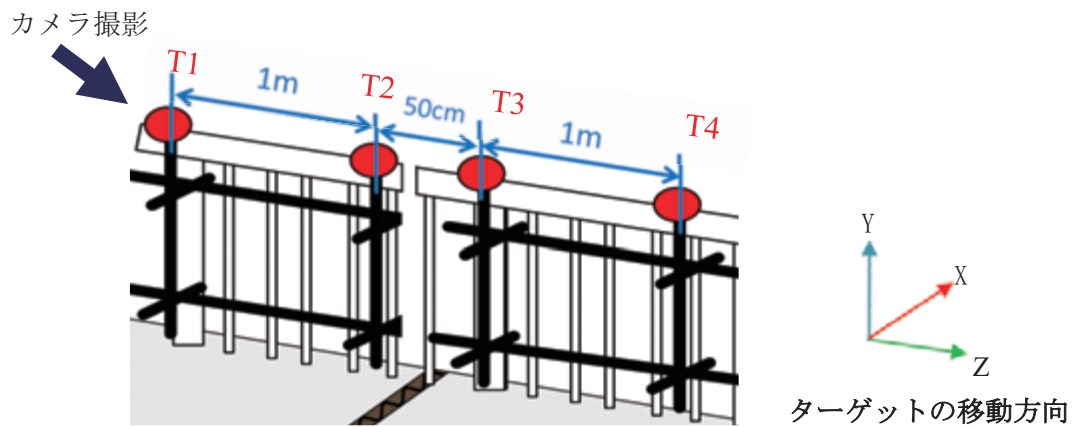


図-4.3.6 ターゲットの設置イメージ

表-4.3.3 および表-4.3.4 に、橋梁において本検討で想定する変状と、本検証におけるターゲットの移動距離を示す。本検証では、T1、T2 の位置は固定し、橋梁に設置した T3、T4 を移動させた。

表-4.3.3 監視箇所と監視対象

想定する変状	実橋のターゲットの変位状況
開き	ターゲット (T1, T2) と (T3, T4) 間の幅 (Z方向) の距離の変化
段差	ターゲット (T1, T2) と (T3, T4) 間の高さ (Y方向) の距離の変化
横ずれ	ターゲット (T1, T2) と (T3, T4) 間の横方向 (X方向) の距離の変化
橋床の回転	ターゲット (T1, T2) と (T3, T4) 間の幅 (Z方向) ・横方向 (X方向) の距離の変化

表-4.3.4 実験ケース

番号	ずれ種類	$\Delta x3$ (cm)	$\Delta x4$ (cm)	$\Delta y3$ (cm)	$\Delta y4$ (cm)	$\Delta z3$ (cm)	$\Delta z4$ (cm)
1	基準	0	0	0	0	0	0
2	横ずれ・回転	-5	0	0	0	0	0
3	横ずれ	-5	-5	0	0	0	0
4	高さ・不等	0	0	-5	0	0	0
5	高さ	0	0	-5	-5	0	0
6	高さ	0	0	5	5	0	0
7	開き	0	0	0	0	5	5
8	開き	0	0	0	0	10	10

注：移動方向については図-4.3.5の矢印方向を参照。T1、T2の位置は固定した。

4.3.3 実証実験結果

(1) 変状量の検出精度の検証

開発した常時監視システムが想定したとおり、変状を検知可能か確認するための基本ケースとして、小型赤色ターゲットを移動させ、ターゲットの移動を確認できるか検証した。

ターゲットを撮影した画像は、図-4.3.7に示す通りで、カメラの設置高は5.7mとした。



図-4.3.7 ターゲット撮影画像（右図は、左図の赤枠部を拡大した画像である）

表-4.3.5に、画像処理による検出精度を整理した。検証実験の結果、橋の横ずれ、段差、開きのうち検知精度が最も低いのは開きであった。

表-4.3.5 画像処理による検出精度の検証

	T1	T3	T4
テンプレート			
入力画像	 T[2139.00,1574.02][99]	 T[2157.00,1379.04][99]	 T[2165.02,1275.02][100]
【相関値×100】	【99】	【99】	【100】
T3をX方向に-5cm移動させたとき	 T[2140.20,1572.87][85]	 T[2170.67,1378.61][49]	 T[2166.31,1274.57][88]
【相関値×100】	【85】	【49】	【88】

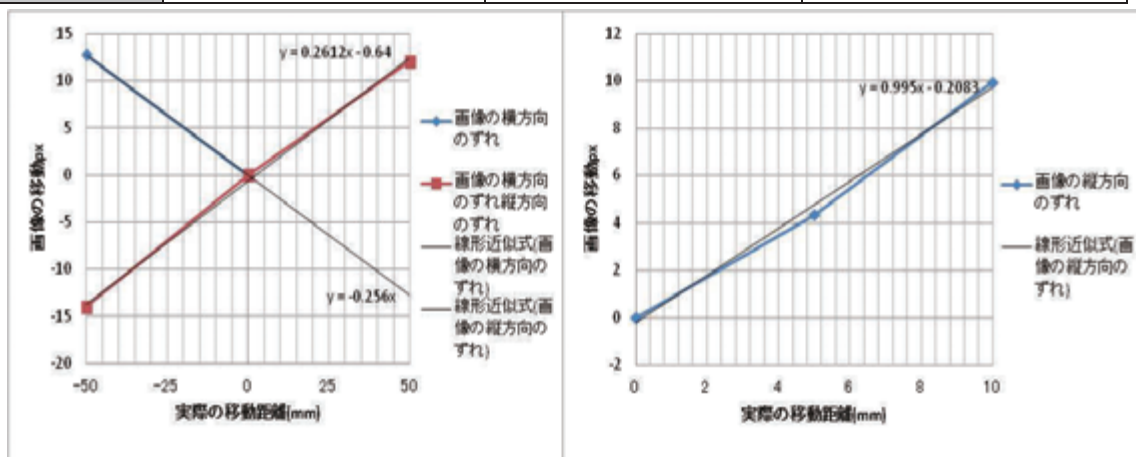


図-4.3.8 小型ターゲットT3の移動距離と画像ピクセル数のT1に対する相対変化

(2) 風の影響の検証

本実験中に、風の影響によりカメラの向き（撮影方向）がずれ、ターゲット T1、T3 の画像上の座標が変化した。ターゲットの画像上の変化量は、30px 程度（横方向）であった。

この変化量はターゲットの移動量として誤認識される恐れがあるため、T1 を基準点として T3 の相対変位量を補正した結果、**図-4.3.10** に示すように、カメラのずれによるターゲットの変化量が 1px 未満となり、誤判定を防止することができた。

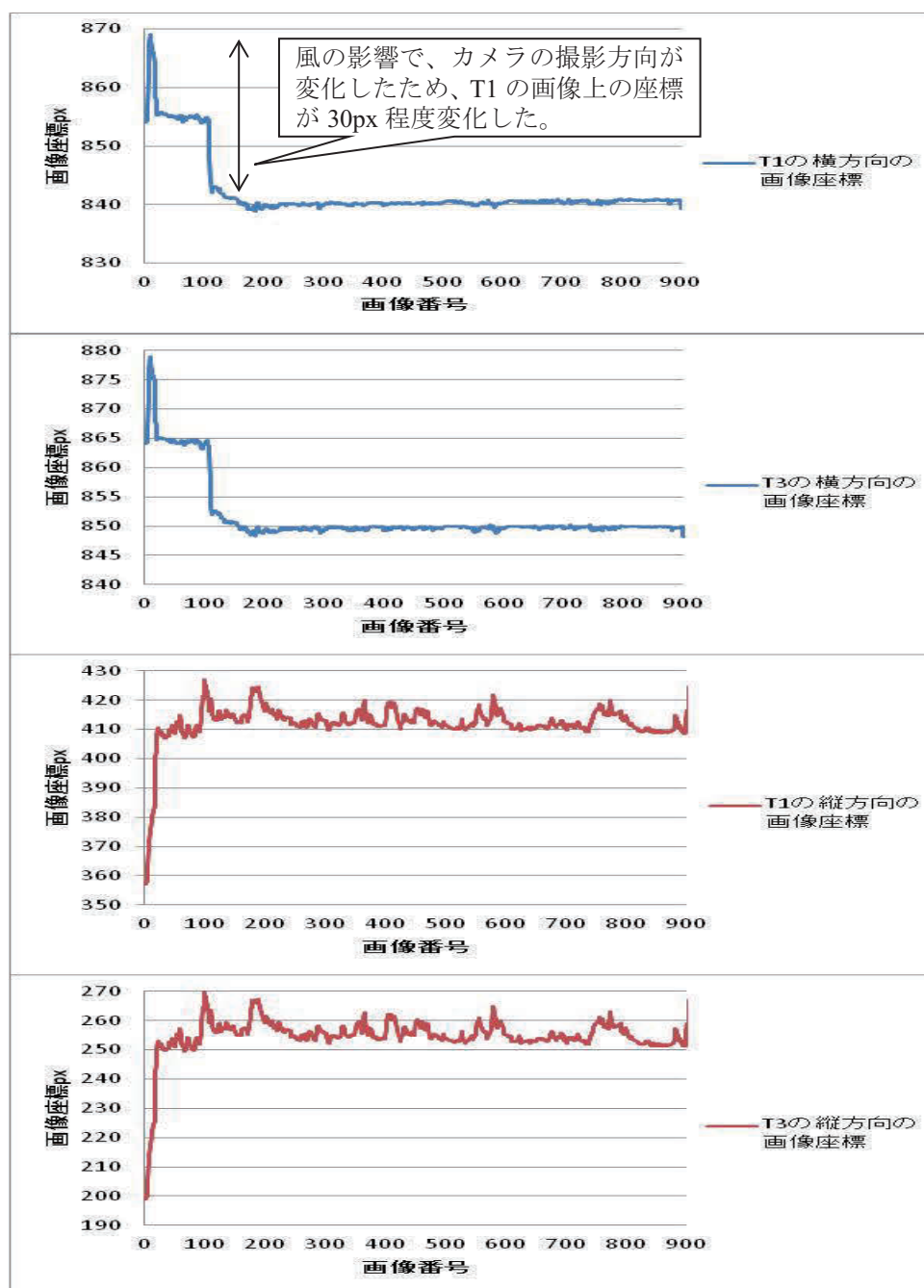


図-4.3.9 風の影響によるターゲットの画像上の変位（例として T1, T3）

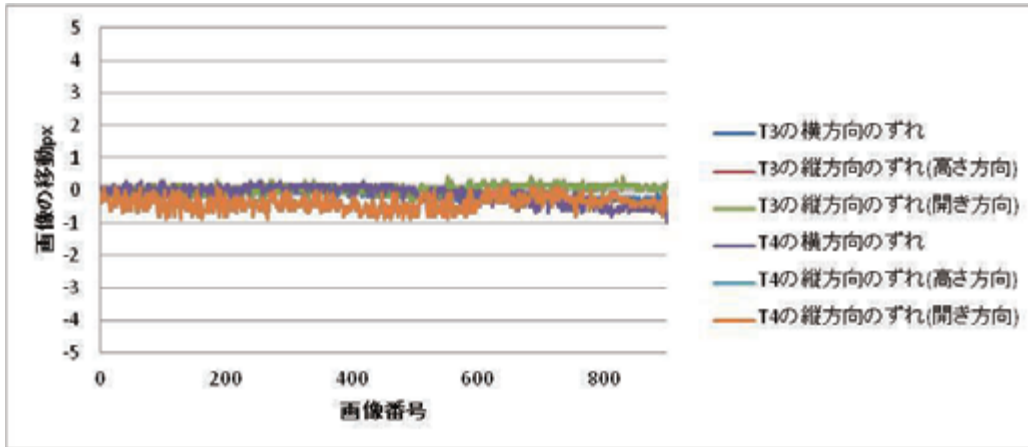


図-4.3.10 ベクトル法による補正結果

風による影響時の撮影画像例及び抽出結果例を以下に示す。



図-4.3.11 風によるカメラの角度のずれ

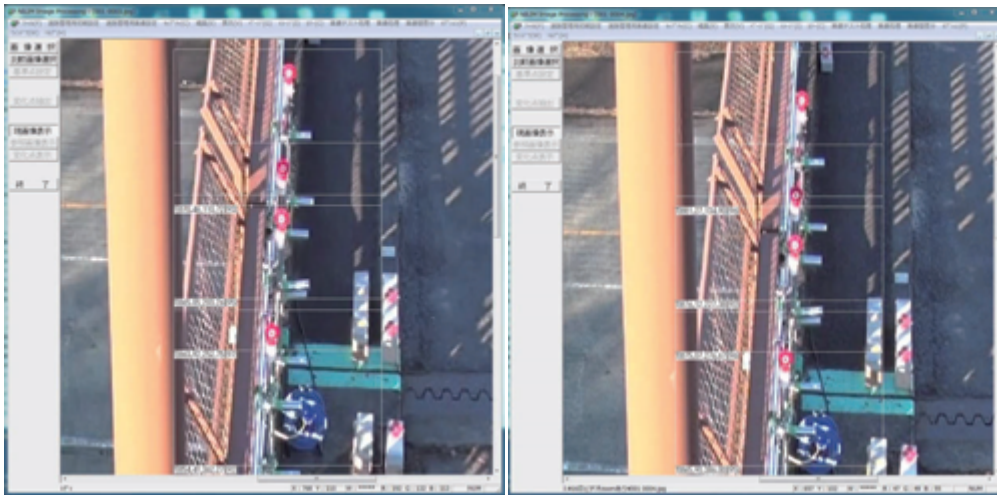


図-4.3.12 テンプレート法による抽出結果

(3) 日照条件の変化による影響の検証

日照条件の変化による影響を検証するため、実験当日の昼間から夜間（12：00～20：00）にかけて、ビデオカメラによる撮影を行い、画像処理を行った。カメラの設置高は7mであり、ターゲットまでの距離は10.7mである。なお、撮影日の天候は曇りのち雨だった。図-4.3.13～図4.3.15に、実験状況を示す。

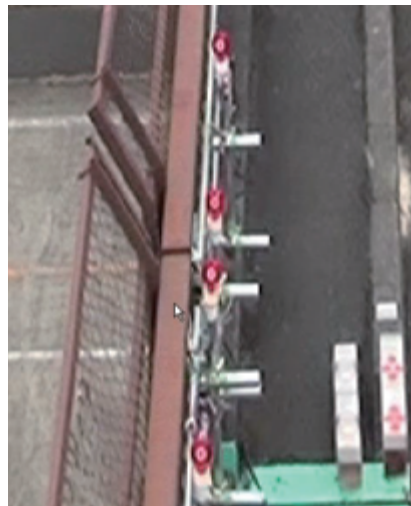


図-4.3.13 実験状況写真（昼間：曇り時）



図-4.3.14 実験状況写真（昼間：雨天時）

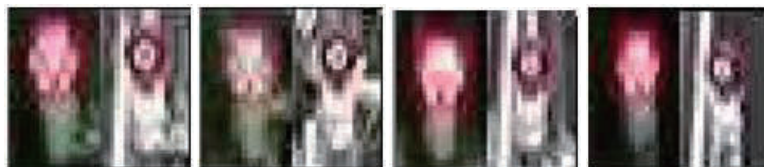


図-4.3.15 登録したテンプレート（左からT1、T2、T3、T4である）

実際のターゲットの移動量とビデオ画像から取得した画像上の移動量の変化を図-4.3.16に示す。グラフ内に黒線で示した近似式により、ターゲットが50mm移動した場合、画像上は2.5px以上の動きがあり、今回の実験環境下において50mmの変位を検出することが可能であることを確認した。

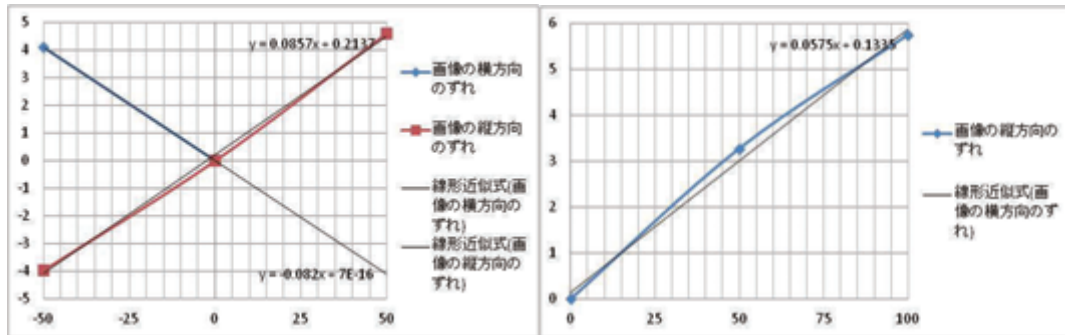


図-4.3.16 移動距離と画像のピクセル数の変化のグラフ

対象とした画像は、ビデオカメラで取得した動画から10秒1枚の間隔で抽出した画像とした。

12時から20時までの画像を利用し、以下のようにテンプレートを2パターン設定し、自動処理を行った。

- (A) 昼間撮影した代表的な画像3枚をテンプレートとして設定
- (B) 昼間撮影した代表的な画像3枚、夜間撮影した代表的な画像2枚をテンプレートとして設定

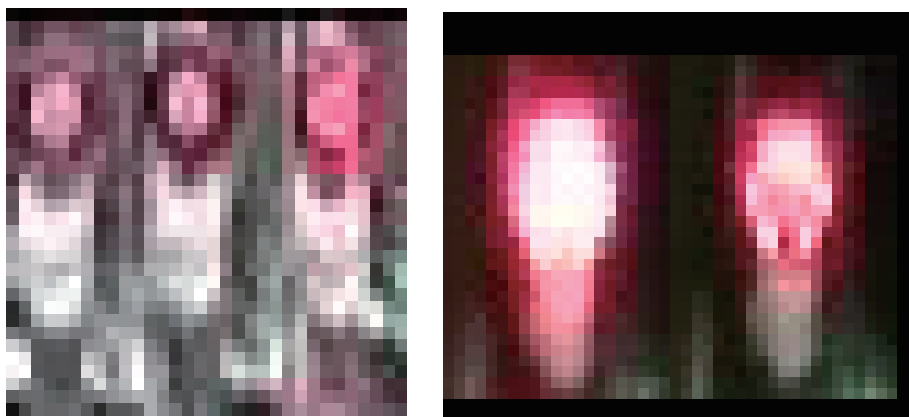


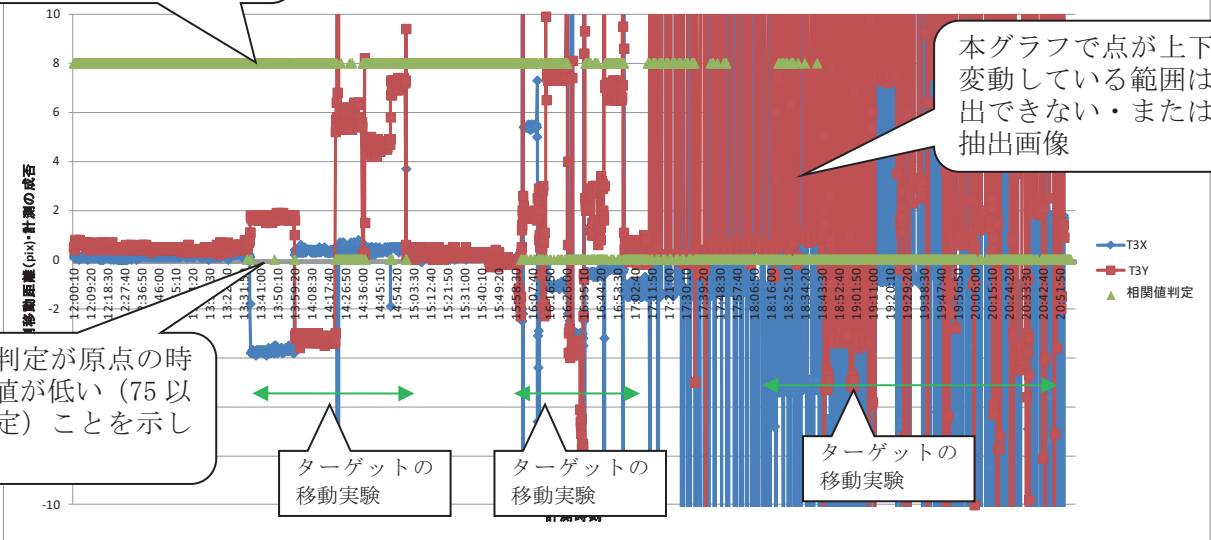
図-4.3.17 テンプレート画像（左：昼間撮影、右：夜間撮影）

(A) 昼間撮影した代表的な画像3枚をテンプレートとして設定したケース

検証実験当日は、17:00頃から暗くなり始めターゲットを点灯させた。ターゲットが点灯した場合、ターゲットの特徴は登録済みの昼間のテンプレートの特徴と大きく異なるため、昼間の点灯中のテンプレートを1枚追加して3枚の画像を登録した。

相関値判定が上部の時は相関値が高い（75以上を設定）ことを示している。

屋間テンプレート3枚の場合の認識状況



本グラフで点が上下に変動している範囲は抽出できない・または誤抽出画像

相関値判定が原点の時は相関値が低い（75以下を設定）ことを示している。

図-4.3.18 常時監視システムの処理結果（テンプレートは屋の3枚）

屋間テンプレート3枚の場合の認識状況

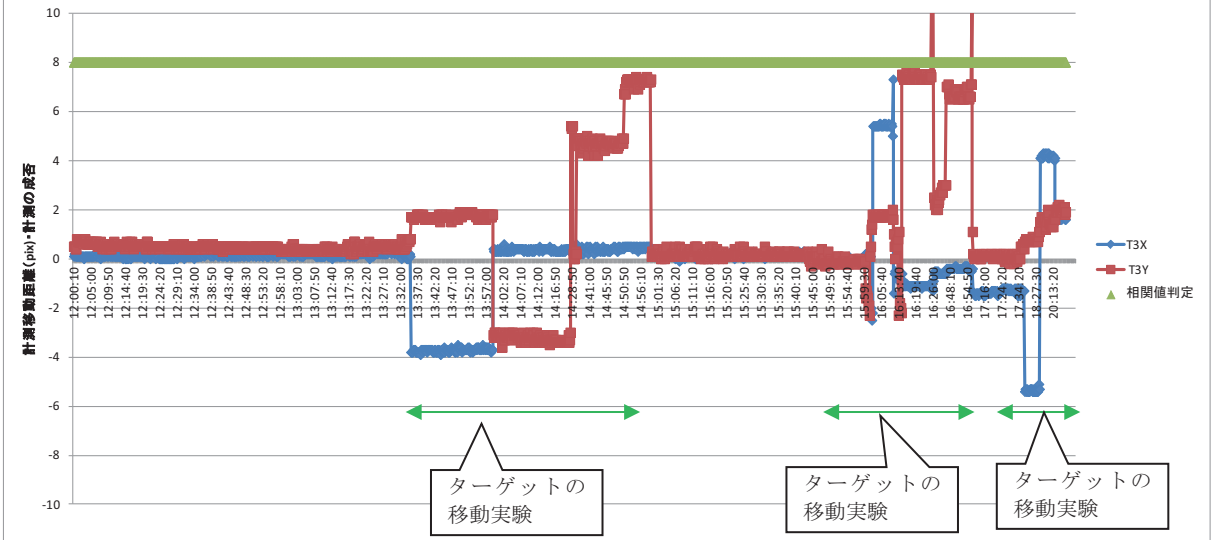


図-4.3.19 誤認識した画像を取り除いた場合の処理結果（テンプレートは屋の3枚）

(B) 屋間撮影した代表的な画像3枚、夜間撮影した代表的な画像2枚をテンプレートとして設定したケース

昼間のテンプレート画像を3枚、夜間テンプレート2枚を採用した場合の処理結果を以下に示す。夜間テンプレートによる誤認識を減らすため、ターゲットのみではなく背景も含め広くした範囲を夜間のテンプレートとして登録した。

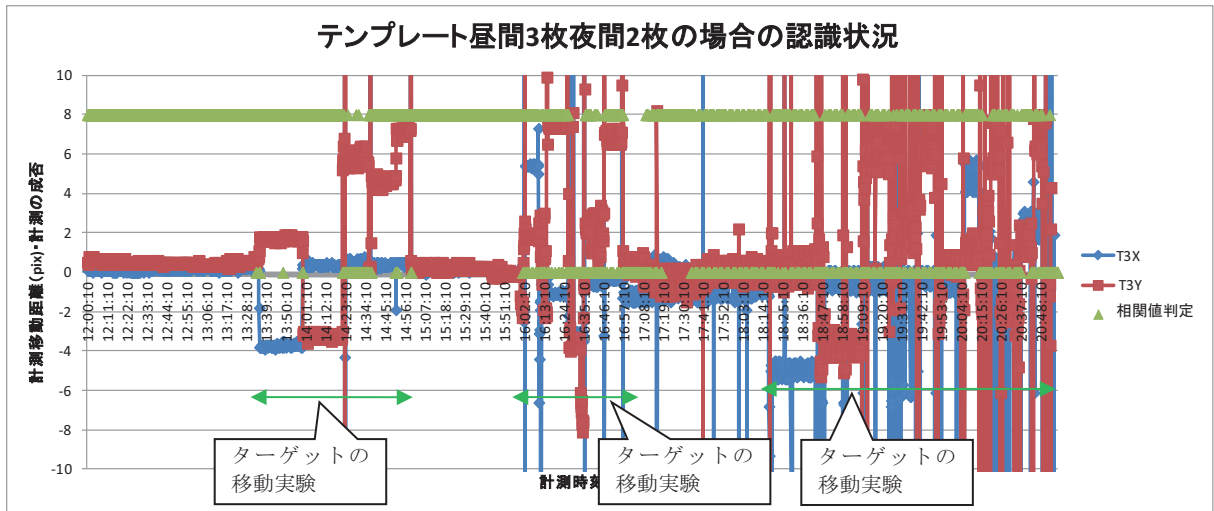


図-4.3.20 常時監視システムの処理結果(テンプレートは昼:3枚 夜:2枚)

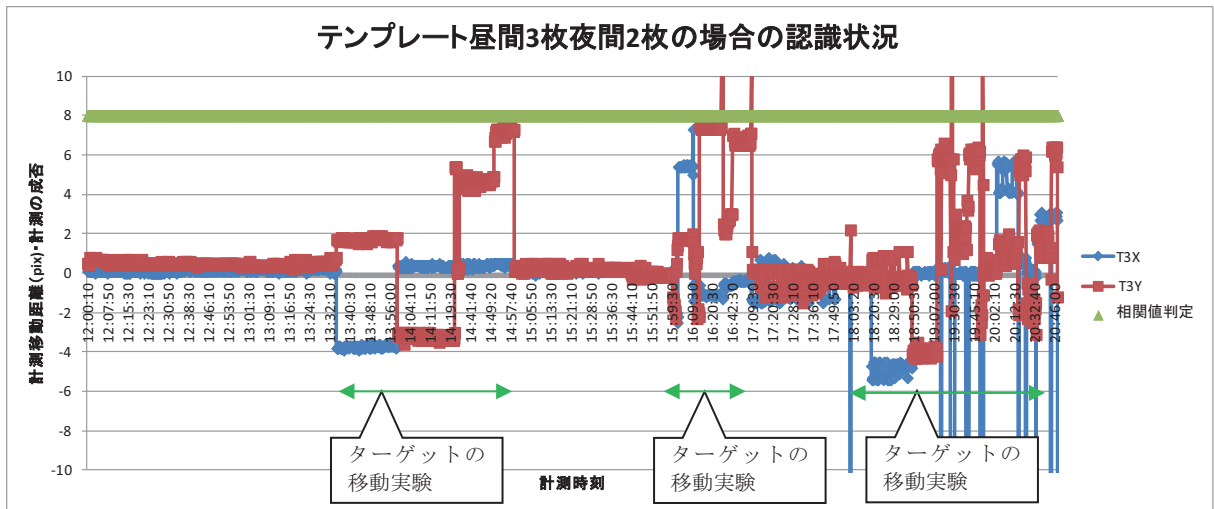


図-4.3.21 誤認識した画像を取り除いた場合の処理結果(テンプレートは昼:3枚 夜:2枚)

(A) (B) の結果から、以下のことを確認した。

- ・ 図-4.3.18 と 図-4.3.20 を比較すると、夜間のテンプレートを追加することで夜間の誤認識が大きく減少し、夜間のテンプレートを追加することが有効であることが確認された。
- ・ 図-4.3.19 及び 図-4.3.21 は、図-4.3.18 と 図-4.3.20 の誤認識した画像を取り除いた処理結果である。本研究では、誤認識の定義を相関値 75 以下のものとして処理を行った。誤認識した画像を取り除いた場合においても、表-4.3.3 や 表-4.3.4 に示したターゲットの移動を捉えることができている、また、グラフ上でターゲットの移動を判定することも容易となった。そのため、画像処理においては、誤認識した画像を取り除いた上でターゲットの移動(橋の変状)を確認するのが良い。

(4) ヘッドライトの影響の検証

夜間ヘッドライトの影響を検証するため、**図-4.3.22**のように車を通行させ、ターゲットにヘッドライトを直射させた場合、逆光を照査させた場合の映像を撮影する

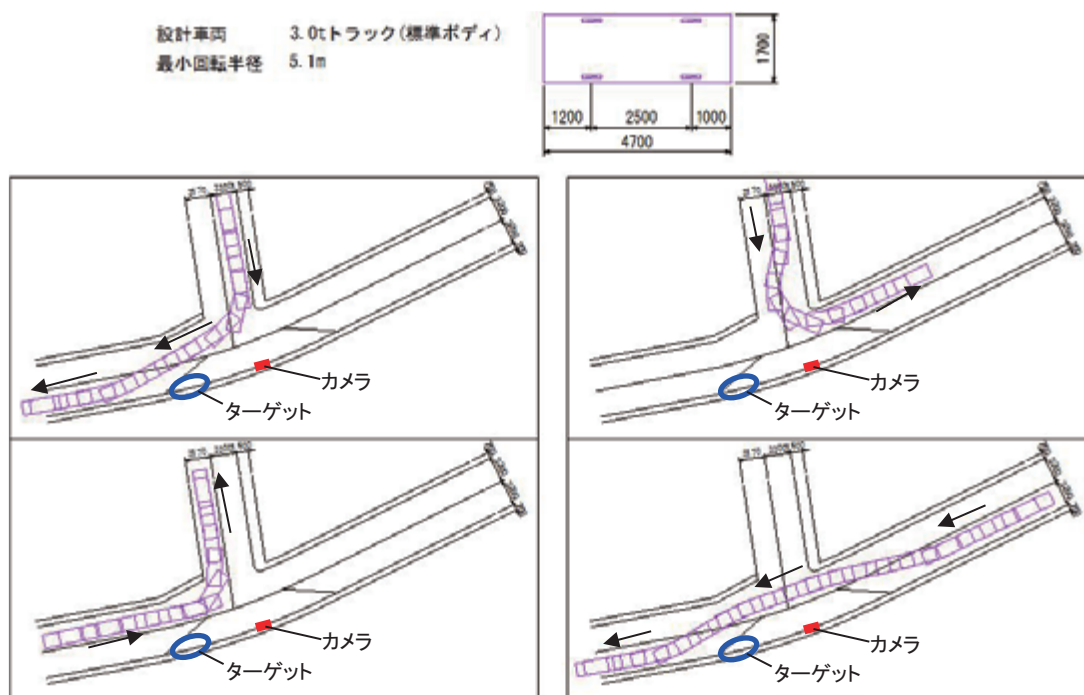


図-4.3.22 車両の走行軌跡図

実験当日の夜間のビデオ画像を利用し、ヘッドライトの逆光・直射の影響を検証した。その結果を**図-4.3.23**~**4.3.24**に示す。ビデオ画像の計測条件時のカメラの設置高は5.7mであり、ターゲットまでの距離は10.7mである。

図-4.3.23は、19:12からの30分間の映像を1秒1枚の間隔で抽出した画像を対象に処理した結果である。ターゲットが点滅していることから、ターゲットが消灯している時には、ターゲットの位置を抽出できないため、グラフ上でターゲットT3のX,Yの値が上下し変化している。**図-4.3.24**は、ターゲットの抽出結果からすべてのターゲットの相関値が75以上の場合の画像に絞った結果のグラフである。抽出したターゲットT3のX,Yの相対移動量は安定していることを確認できた。

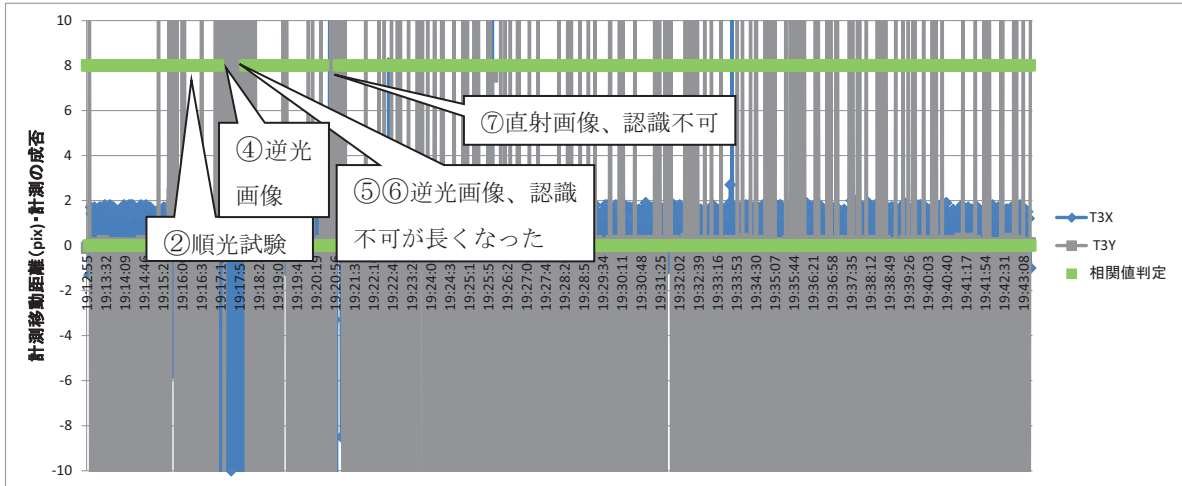


図-4. 3. 23 常時監視システムの処理結果

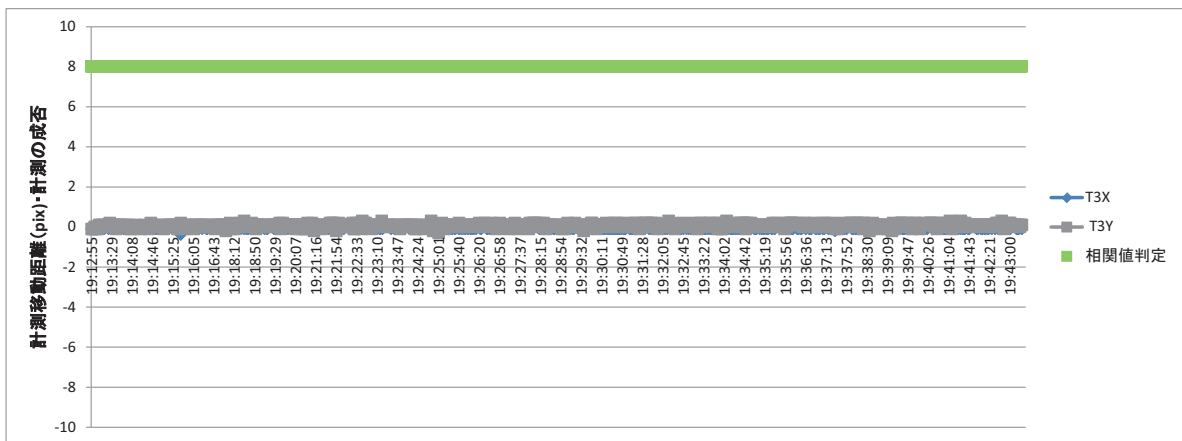

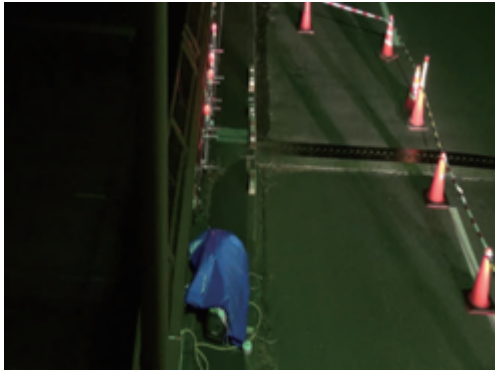
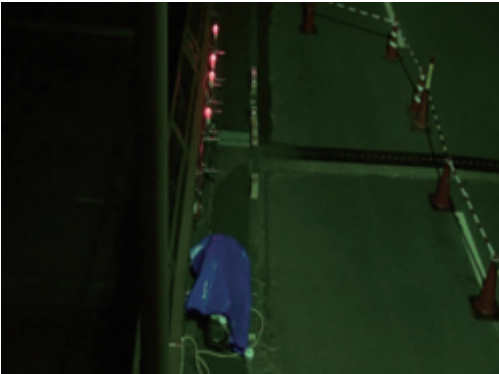
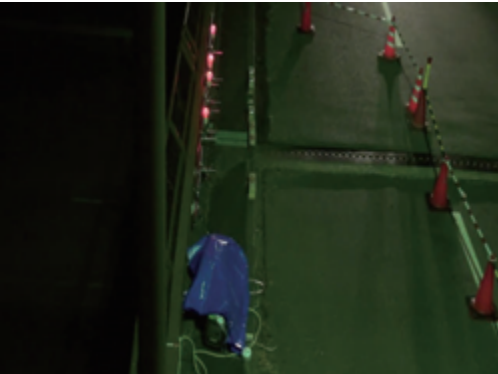





図-4. 3. 24 誤認識した画像を取り除いた場合の処理結果

表-4.3.6 ヘッドライトの逆光・直射の影響実験時の主な画像一覧

<p>①通常の夜間画像 (19:13:02) 認識可能</p> 	<p>②順光画像 (19:15:42) 認識可能</p> 
<p>③通常の夜間画像 (19:15:49) 認識可能</p> 	<p>④逆光画像 (19:16:42) 認識可能</p> 
<p>⑤逆光画像 (19:17:23) 認識不可</p> 	<p>⑥逆光画像 (19:17:56) 認識不可</p> 
<p>⑦直射画像 (19:20:37) 認識不可</p> 	

ヘッドライトの逆光・直射の影響実験の結果、以下のことを確認した。

- ①ヘッドライトの影響で、ターゲットが認識できない場合があることを確認した。特にヘッドライト直射時に、ターゲットを認識しにくくなることを確認した。
- ②表-4.3.6の【⑤逆光画像(19:17:23)認識不可】では、画像上のターゲットの形状変化は少なかったが、ターゲットを認識できなかった。この理由は、ヘッドライトの影響により背景が大きく変化していることが原因であると考えられる。
- ③夜間にターゲットを認識しやすくするため、点滅時のターゲットと背景を区別できるようにテンプレート画像の範囲を広く設定した。しかし、テンプレート画像の範囲を広くしたことによりヘッドライトの直射時だけでなく、背景の変化の影響も受けやすくなり認識ができなくなる場合があることを確認した。

以上のことから、ヘッドライトの逆光・直射の影響の対策として、以下のことが考えられる。

- ①背景の変化の影響を最小限にするため、ターゲットに背景遮蔽パネルを付加する。
- ②発生頻度の高い逆光画像を対象としたテンプレートを追加する。

(5) ターゲットと同程度の発光物の影響の検証

ターゲットと同程度の発光物の影響を確認するため、通行人が懐中電灯を発光させターゲット付近を通行したときの影響を検証した。ビデオ画像の計測時のカメラの設置高は5.7m、ターゲットまでの距離は10.7mとした。

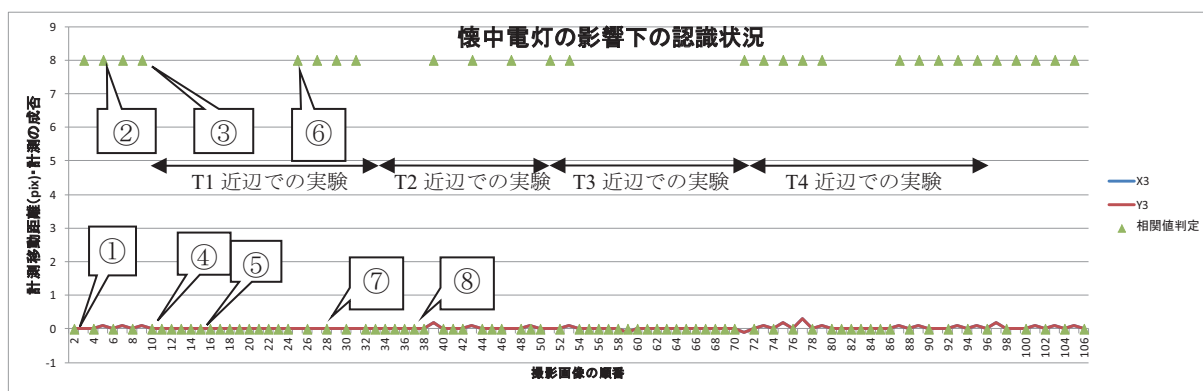



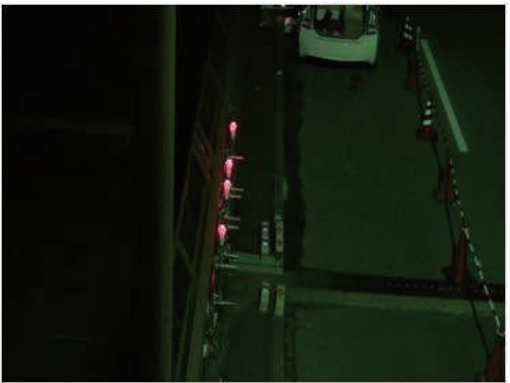


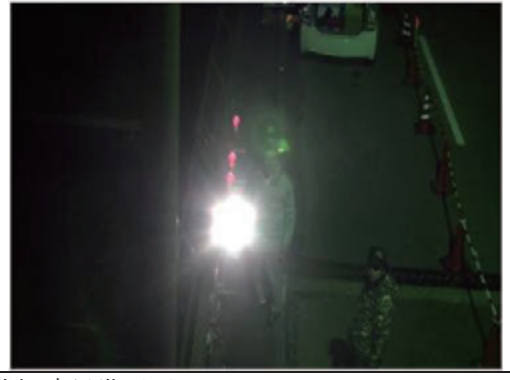
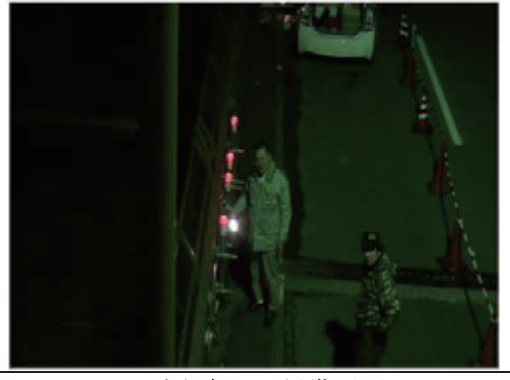


図-4.3.25 懐中電灯の影響時の計測結果グラフ

図-4.3.25に、懐中電灯の影響を計測した結果を、表-4.3.7に、実験中の代表画像を示す。図-4.3.25中の①～⑧は、表-4.3.7に示した画像と対応しており、①、④、⑤、⑦、⑧はターゲットが認識できなかったこと、②、③、⑥はターゲットを認識できたことを示している。

図-4.3.25および表-4.3.7より、以下のことがわかった。

- ・ターゲットと同程度の発光物として用いた懐中電灯は常時点灯しており、ターゲットは点滅している。表-4.3.7③より、ターゲットと異なる形状の発光物が画像上に移り込んだ状態でもハレーションが生じなければ誤認識されなかった。
- ・表-4.3.7⑤⑧より、懐中電灯によるハレーションが発生した場合、認識不可になっていることを確認した。

表-4.3.7 懐中電灯による影響の検証実験時の代表画像

<p>①ターゲットの消灯時は認識できない</p> 	<p>②点灯時認識可能</p> 
<p>③懐中電灯の影響はなく、認識可能</p> 	<p>④ターゲットを一部隠れのため、認識不可</p> 
<p>⑤ハレーションが発生し、認識不可</p> 	<p>⑥発光パターンが異なるため影響なし</p> 
<p>⑦消灯時認識不可</p> 	<p>⑧ハレーションが発生し、認識不可</p> 

(6) リサイズした場合の実験結果

図-4.3.26に、ビデオ画像を利用し道路管理用カメラの画像と同じサイズ（640×480）にリサイズした画像を示す。



図-4.3.26 道路管理用カメラの画像と同じサイズにリサイズした画像

また、ターゲット部分の拡大図を図-4.3.27に示す。

図-4.3.27より、道路管理用カメラの画像と同じサイズにした場合は、ターゲットの横方向画素数は3ピクセル程度になる。

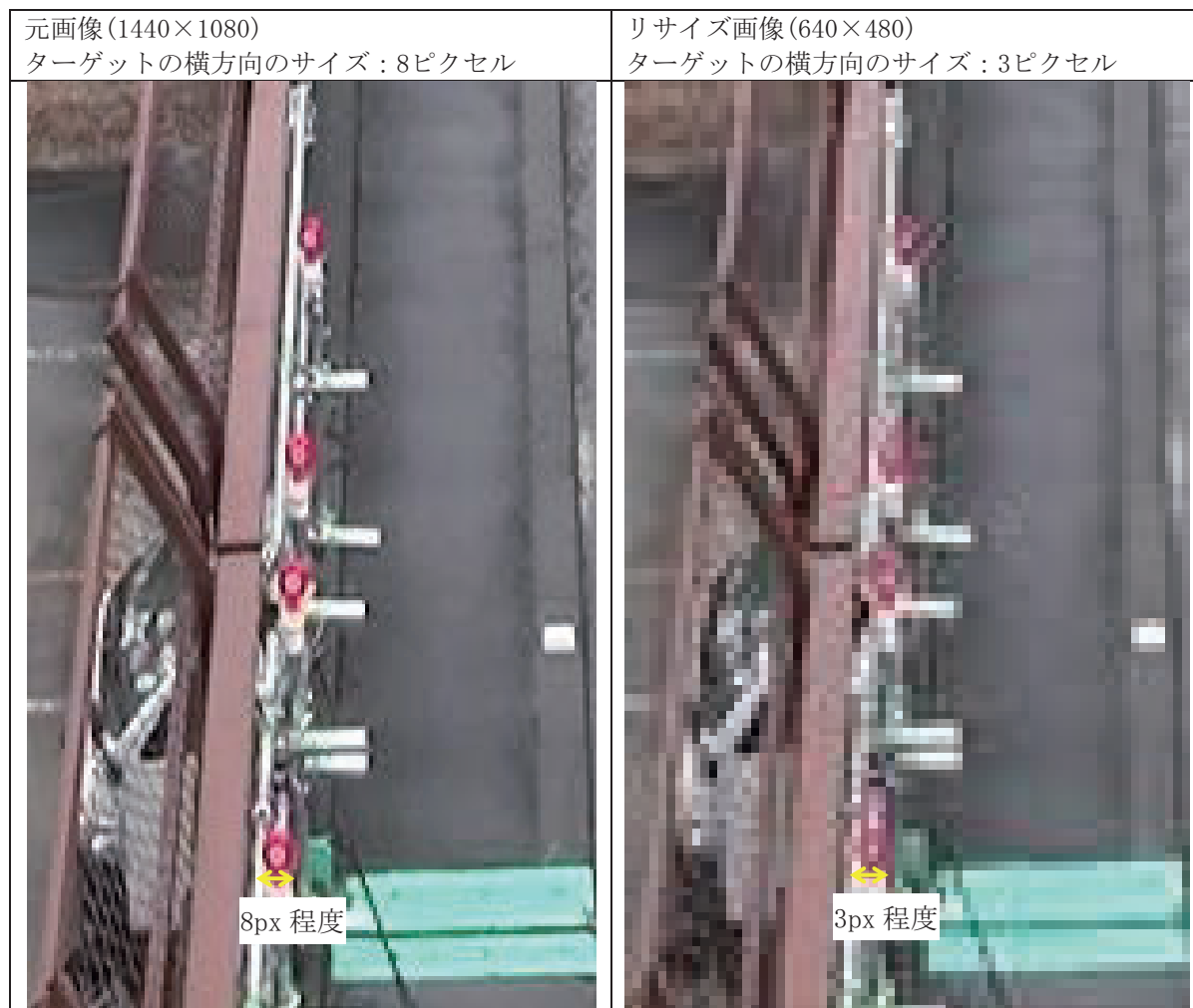


図-4.3.27 道路管理用カメラの画像と同じサイズにリサイズした拡大画像

リサイズした画像を処理した結果を図-4.3.28に示す。ここではT3に着目した結果を示しているが、リサイズした画像を用いても50mmの移動を検出することができていることが分かる。本検証結果から、以下のことがいえる。

- ・リサイズした画像を用いてもターゲットの動きを一定程度把握することができることを確認した。ただし、50mmの移動量に対し、検出した画像上の移動量は2ピクセル未満であるため、要求精度（50mm）の検出はできないと考えられる。
 - ・テンプレートのサイズが小さい画像をリサイズしたため、ターゲットの形状や色彩といった特徴が把握しづらくなり、ターゲットの移動を正確に捉えられない可能性がある。
- 今回リサイズした画素程度のカメラを用いて実用化する際には、ターゲットのサイズを大きくすることが有効である。

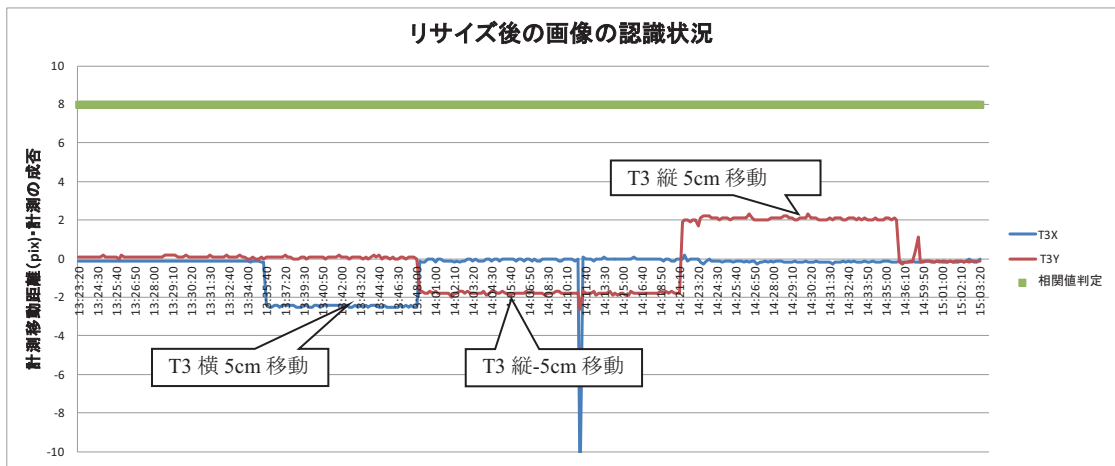
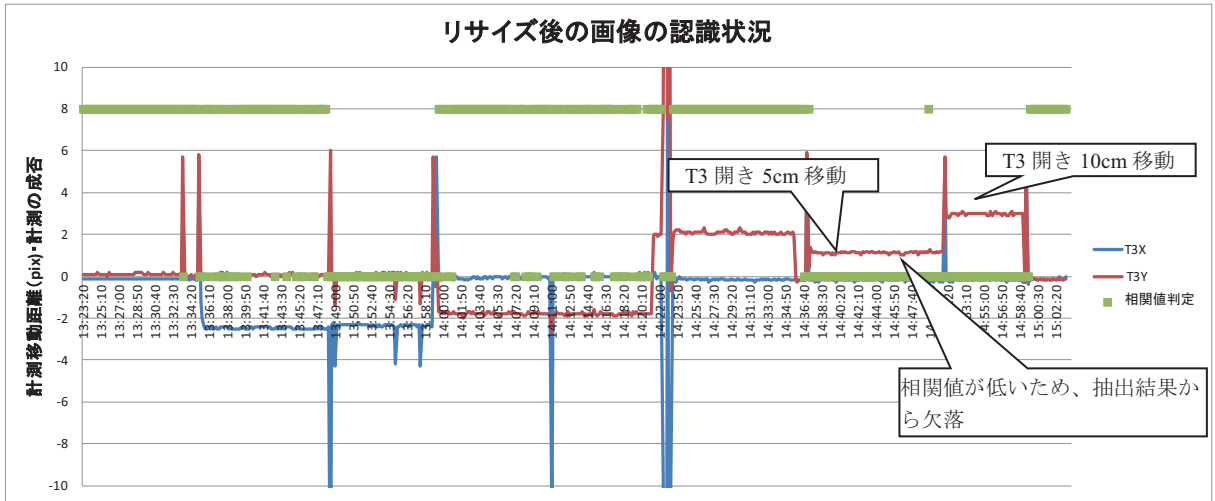


図-4.3.28 リサイズした画像の処理結果(上図：全データ 下図：抽出できた画像)

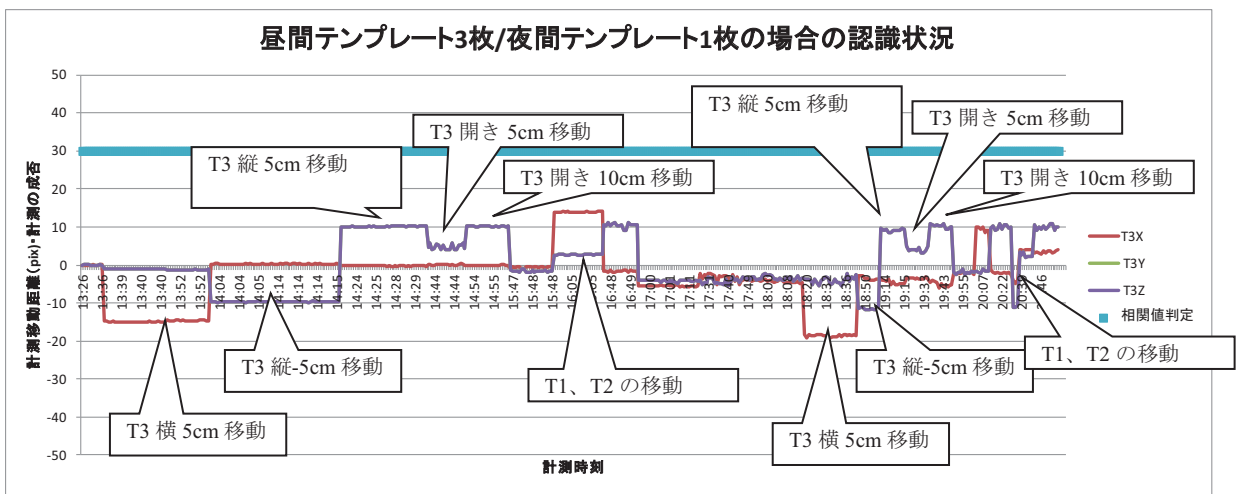


図-4.3.29 デジタルカメラの撮影画像の処理結果(ターゲットを抽出できた画像のみ)

4.3.4 供用中の橋梁に対する検証実験結果のまとめ

供用中の橋梁に対する検証実験の結果は以下の通りである。

- ① ターゲットを正確に認識できれば、変状を認識可能な距離は、机上検討の結果と同等となった。
- ② ターゲット抽出時に使用しているベクトル法による補正の結果、風等によりカメラの設置角度が変更されてもその影響を補正することができることを確認した。
- ③ テンプレートマッチング法による画像処理手法では、各種天候の条件に合わせ、適切にテンプレートを追加することにより、ターゲットの抽出精度が向上することを確認した。
- ④ ターゲット周辺の明るさの条件（昼間、夜間など）によって、画像上のターゲットのサイズが見かけ上異なる。背景に比べてターゲットが明るい場合はターゲットが大きく映る傾向がある。一方、背景に比べてターゲットが暗い場合はターゲットが小さく映る傾向がある。この影響を無くすためには、自発光ターゲットの周辺に背景を遮蔽する枠を付けるのが有効である。
- ⑤ 夜間のターゲットの点灯の周期とカメラの撮影周期によって、消灯している状態を連続で撮影してしまい相関値が低くなる場合があるため、カメラの撮影周期をターゲットの点灯周期と比べて1割程度短くするなどの対策をすることが望ましい。
- ⑥ 本研究における常時監視システムでは、同じ画面上で全てのターゲットを抽出する必要があり、夜間でもすべてのターゲットを抽出するには、4つのターゲットを同時に点灯させる必要がある。