
河川堤防の変状検知システム実験結果
(ビデオ画像による検知)

令和3年3月



目次

1.システムの概要.....	1
2.システムの原理.....	1
3.技術の特徴.....	1
4.現場実装で想定する配置方法.....	2
5.実験の計画.....	3
6.実験結果.....	7
7.考察.....	15

1. システムの概要

本システムは、CCTV カメラ等で得られた映像をもとに、画像解析技術を利用した異常検知システムである。実績あるシステムでは、カメラ映像により捉えた溪流保全工や砂防堰堤等を流下する急激な土石流の流れをカメラ画角内に設定した複数の検知枠について、PIV 手法により異常な流れを瞬時かつ自動で検出し、アラートメールで異常を通知する。

2. システムの原理

記録されたビデオ映像の任意の位置に、複数の検知枠を設け、その検知枠内の計測点の動き（流向・流速）を算出することで、異常を検出する。検知枠内の計測点の動き（流向・流速）を把握するために、オプティカルフロー技法により、2 枚の画像から計測点の流向と流速の平均値を算出する。2 枚の画像は、通常、動画のフレームレートの 2 枚を表す。したがって、1/30 秒の画像を比較しており、今回は 1 秒毎の平均値を計測した。

なお、この平均値の算出時間は、任意に変更することができる。

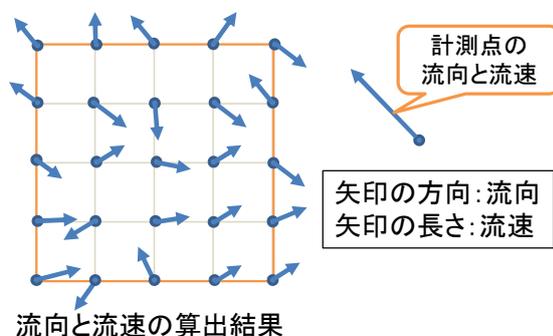


図 2.1 検知枠内の流向と流速を算出するイメージ図

3. 技術の特徴

カメラを用いた非接触型の異常検知システムである。カメラ画角内に複数の検知枠を設定できる。検知枠は任意の矩形ピクセル数を設定でき、任意の時間ごとに異常を検知することができる。検知枠が 10cm であれば、10cm 程度の変化を検知できる。堤防天端とカメラの距離が離れるほど検知枠の大きさが変化するため、必要な検知単位となるよう、カメラを設置する必要がある。堤防天端幅が 1m 程度欠損することを検出するには、カメラ性能によるが、200m 程度離れていても検出できることから、1 支柱に上下流側をみるカメラを 2 台設置すれば、400m ピッチで支柱を設置する必要がある。また、夜間については、照明施設を設置することで対応可能である。

本技術の大きな特徴を以下に示す。

- ① 非接触型であるため、繰り返し検出することができる
- ② 画像を記録できるため、検出根拠を示すことができる
- ③ 既存の CCTV カメラ（既存ストック）を活用することができる

4.現場実装で想定する配置方法

画像解析手法であるため、カメラの性能に影響を受ける。特に、カメラ解像度と記録動画フレームレート（特に夜間）が重要である。場合によっては、照明整備やワイパー等が必要である。

検出したい異常個所が 200m 先でも 10 ピクセル 10cm の解像度で記録できる場合は、400m ピッチの支柱に上下流方向に向けたカメラを設置する。支柱の高さは、高い方がよいが、風の影響による揺れが大きくなるため、バランスよく設置する。また、電源がない場合は、太陽光パネルや風力発電を設置する。電力供給可能であれば、収納 BOX に画像解析機能を持った PC を設置し、現地で解析を行い、小さなデータにして、現地からメールを送信することも可能である。

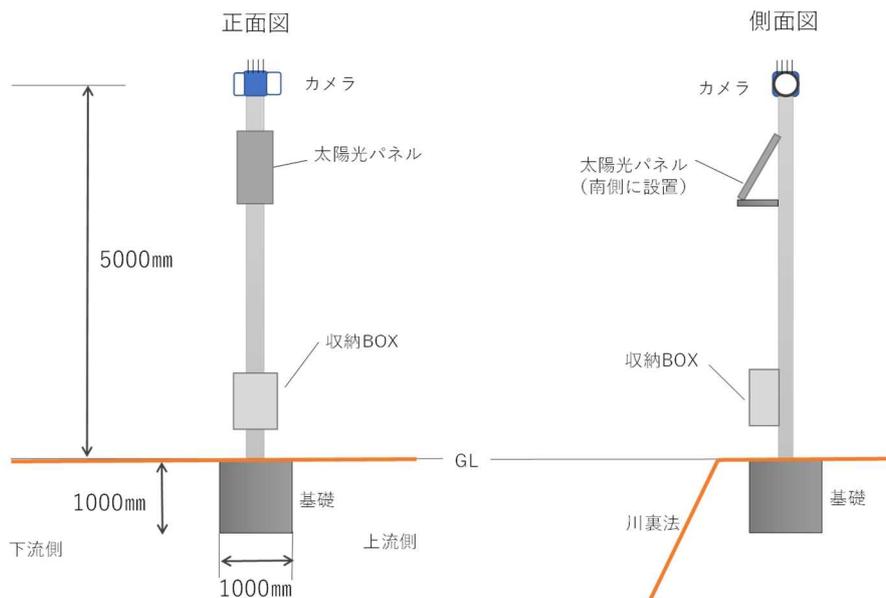
導入コストは、カメラ 1 台あたり、支柱工事費含め、200 万程度で 2 台で 400m を監視するとすると、100m あたり、100 万円程度となる。

また、維持管理コストは、画像解析システムをクラウド管理し、クラウドサーバ管理費 40 万程度、通信費が年間 4 万円程度、電気代含めても、年間 50 万円程度で維持可能と想定している。メンテナンスは年 1 回必要と想定し、年間 50 万円程度を想定すると、400 メートルあたり、合計 100 万円で、年間 100m あたりの 25 万円程度を試算した。

- カメラは、上流側と下流側に1支柱につき2台設置。
- 電源は、蓄電池を使用する。
- 収納BOX内に通信機器（ルーターおよびLTE）、解析用PC、蓄電池を収納。
- 現地の状況に応じて照明等の夜間対策を行う。



イメージ写真



- ・カメラはネットワーク接続により、遠隔操作によるメンテナンスが可能です。
- ・1m3の基礎付き支柱（既製品）を想定。強度計算を行い、大きさ、設置位置を決定します。

図 4.1 現場実装で想定するカメラ設置イメージ図

5.実験の計画

河岸侵食が起きる対象箇所である一般部、橋台部、橋台・護岸部のそれぞれを上流側から監視するカメラを3台設置した。

設置したカメラの平面図および横断面図を示す。

記録する動画は、フルHD、30FPSとした。

本実験で確認する事項を以下に示す。

- ・一般部、橋台部、橋台・護岸部のそれぞれの上流側および下流側の河岸侵食が開始される時刻および堤防天端が10cm侵食される時刻を目視で抽出しつつ、画像解析によって自動で検知した時刻とを比較する。
- ・考察対象箇所は、一般部、橋台部、橋台・護岸部のそれぞれの中央部近傍の上流側および下流側の2地点、合計6箇所とする。

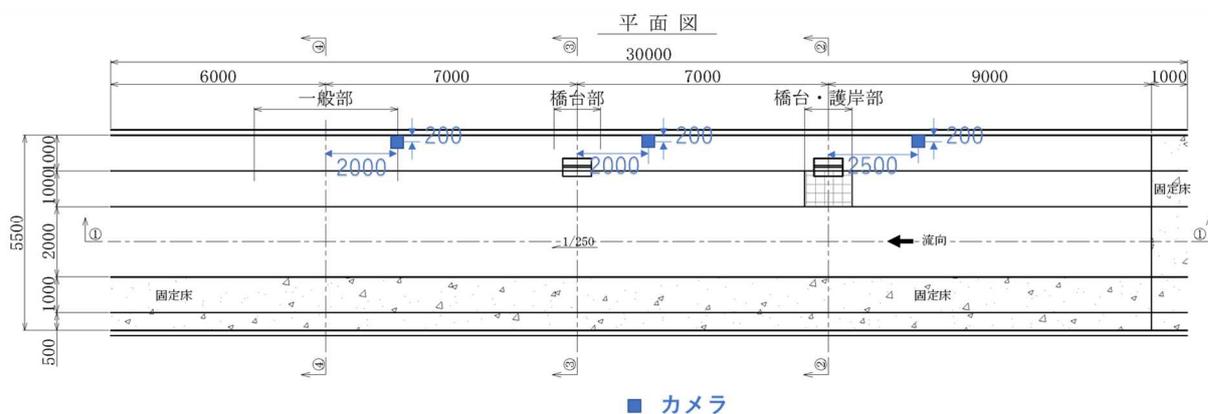


図 5.1 カメラ設置平面図（全体）

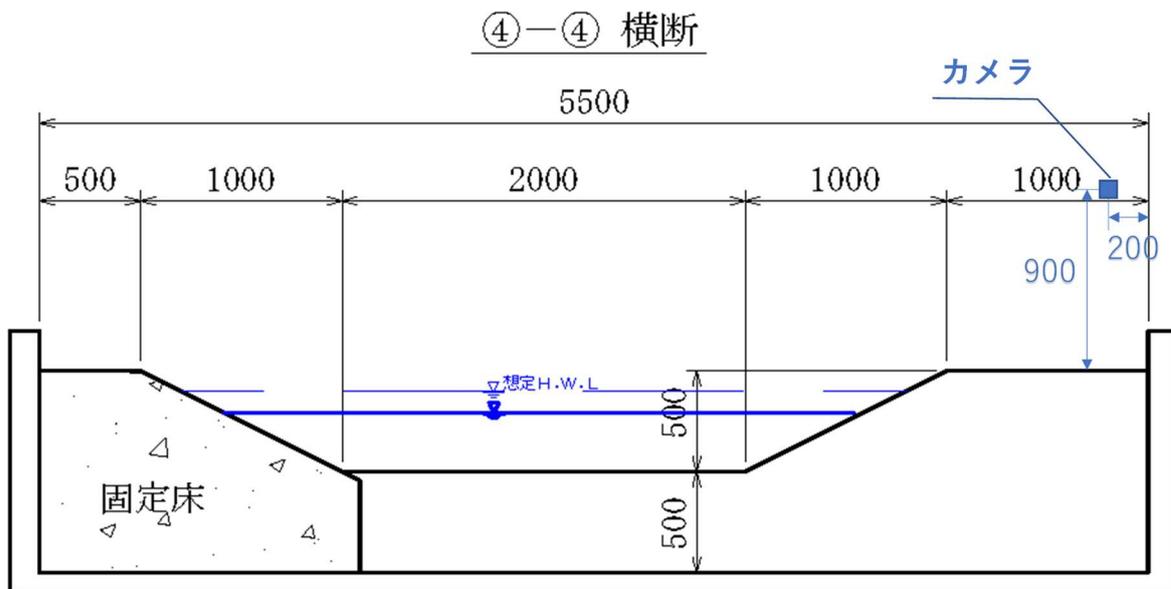


図 5.2 カメラ設置横断面図（一般部）

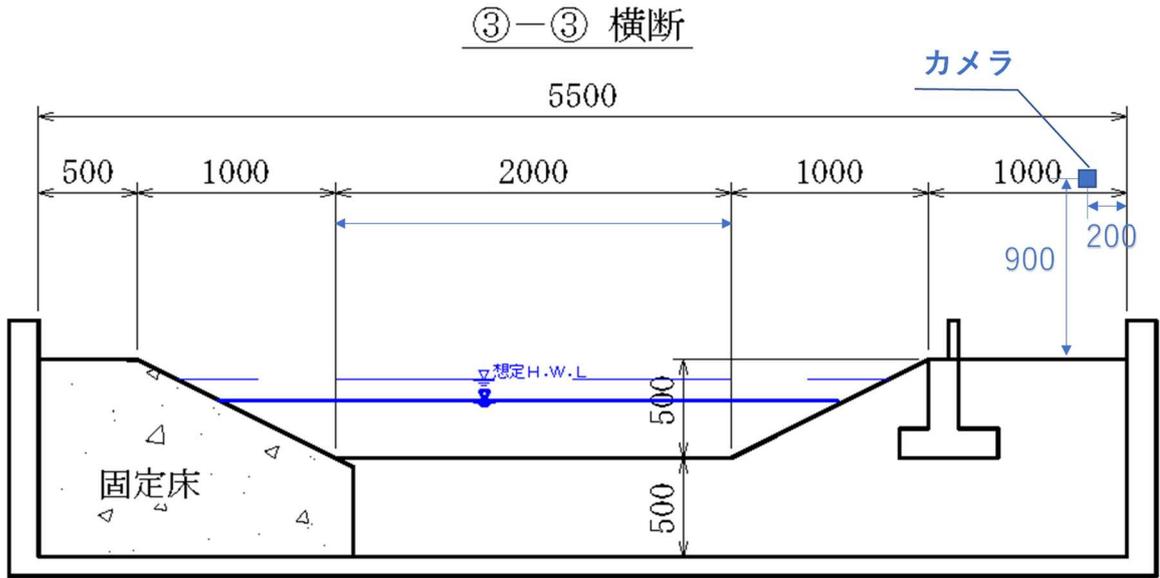


図 5.3 カメラ設置横断図（橋台部）

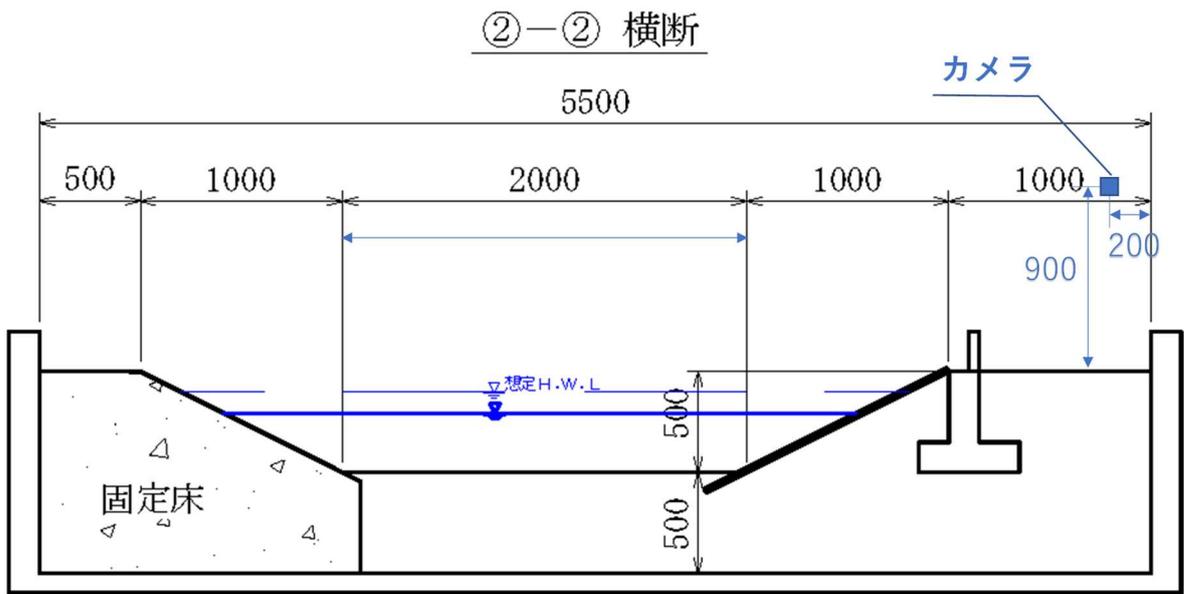


図 5.4 カメラ設置横断図（橋台・護岸部）



【一般部】



【橋台部】



【橋台・護岸部】

写真 設置したカメラの状況



写真 設置したカメラ全体写真

6.実験結果

河岸侵食の検出には、以下の3つパラメータを算出して検討した。

- ① 検知枠面積に対する土砂の動き割合
- ② 検知枠面積に対する水の流れ割合
- ③ 土砂移動割合の累加値

まず、表 6.1 に目視（ビデオ映像）により、一般部、橋台部、橋台・護岸部のそれぞれの
上流側および下流側の河岸侵食が開始される時刻および堤防天端が 10cm 侵食された時刻
を抽出した結果を示す。抽出対象箇所は、一般部、橋台部、橋台・護岸部のそれぞれの中
央部近傍の上流側および下流側の 2 地点、合計 6 箇所とした。

つぎに、表 6.2 に河岸侵食が開始した時刻における画像解析パラメータ（土砂の動き割
合、水の流れ割合、土砂移動割合の累加値）を示す。ここで、注意すべきは、ビデオ映像
をみると、橋台・護岸部については、バックホウの影によって、画像解析パラメータが検
知しており、参考にならない。一般部および橋台部の画像解析パラメータをみると、河岸
侵食開始を検知するには、①検知枠面積に対する土砂の動き割合と③土砂移動割合の累加
値が同じことから、①が 0 以上となる時刻であることがわかった。

表 6.1 目視による河岸侵食開始時刻および堤防天端が 10cm 侵食された時刻一覧表

	抽出対象 検知枠番号	河岸侵食開始時刻	堤防天端が 10cm 侵食された 時刻
一般部	Rect7	13:41:37	13:41:37
	Rect8	13:41:37	13:41:38
橋台部	Rect7	14:12:43	14:12:44
	Rect8	14:10:34	14:12:22
橋台・ 護岸部	Rect8	14:38:09	14:38:09
	Rect9	14:37:37	14:38:17

※検知枠番号の位置の詳細は、後述する。

表 6.2 目視による河岸侵食開始時刻の画像解析パラメータ一覧表

	抽出対象 検知枠番号	河岸侵食開始 時刻	① 土砂の動き 割合	② 水の流れ 割合	③ 土砂移動割 合の累加値
一般部	Rect7	13:41:37	0.344697	0	0.344697
	Rect8	13:41:37	0.237762	0	0.237762
橋台部	Rect7	14:12:43	0.17037	0	0.17037
	Rect8	14:10:34	0.002814	0	0.002814
橋台・ 護岸部	Rect8	14:40:52	0.052632	0	4.338346
	Rect9	14:37:37	0.002404	0	0.002404

さらに、表 6.3 に堤防天端が 10cm 侵食された時刻における画像解析パラメータ（土砂の動き割合、水の流れ割合、土砂移動割合の累加値）を示す。ここで、注意すべきは、ビデオ映像をみると、橋台・護岸部については、バックホウの影によって、画像解析パラメータが検知しており、参考にならない。

ここで、着目すべきは、一般部 Rect7 と橋台部 Rect8 は、①と③が同じ値となっていることから、一気に河岸侵食が進行したことがわかる。では、それ以外の一般部 Rect8 と橋台部 Rect7 をみてみよう。この 2 箇所については、一気に河岸侵食が進行したのではなく、③－①の差分があることから、この時刻より前に一部、河岸侵食が進んでいる。一般部の Rect8 の差分は、 $0.496503 - 0.258741 = 0.237762$ で、以前に検知枠の面積割合で 0.24 程度の河岸侵食が発生している。したがって、0.24 以上の検知では早すぎ、その後の 0.258741 の割合が加算されたときに堤防天端 10cm の河岸侵食が検知できることになる。したがって、堤防天端が 10cm 侵食されたことを検知するには、土砂移動割合の累加値が 0.3 程度以上となる時刻であることがわかった。

確実に、堤防天端が 10cm 侵食された時刻を検知するには、横断方向にもう一つ検知枠を移動させ、河岸侵食開始時刻を検出する方がよいかもしれない。

表 6.3 目視による堤防天端が 10cm 侵食された時刻の画像解析パラメータ一覧表

	抽出対象 検知枠番号	堤防天端が 10cm 侵食され た時刻	① 土砂の動き 割合	② 水の流れ 割合	③ 土砂移動割 合の累加値
一般部	Rect7	13:41:37	0.458874	0	0.458874
	Rect8	13:41:38	0.258741	0	0.496503
橋台部	Rect7	14:12:44	0.8	0	0.97037
	Rect8	14:12:22	0.868668	0	0.868668
橋台・ 護岸部	Rect8	14:41:56	0.308271	0	4.646617
	Rect9	14:39:50	0.024038	0.105769	2.766827

なお、本システムでは、河岸侵食 10cm 発生検知に加え、河岸侵食が発生した時刻も合わせて整理した。参考データとして、検出した動画を添付する。

(1) 一般部

一般部の検知棒（赤棒）の設定は、以下である。全体で縦断方向 3.2m（中央 F から 1.6m 上下流分）の範囲で横断方向 0.1m の河岸侵食箇所を検知できるよう、15 個の検知棒を設定した。下流から rect0 として、一番上流側を rect15 としている。検知棒の縦断方向（赤棒の縦方向）の長さは 0.2m、横断方向（赤棒の横方向）は 0.1m である。

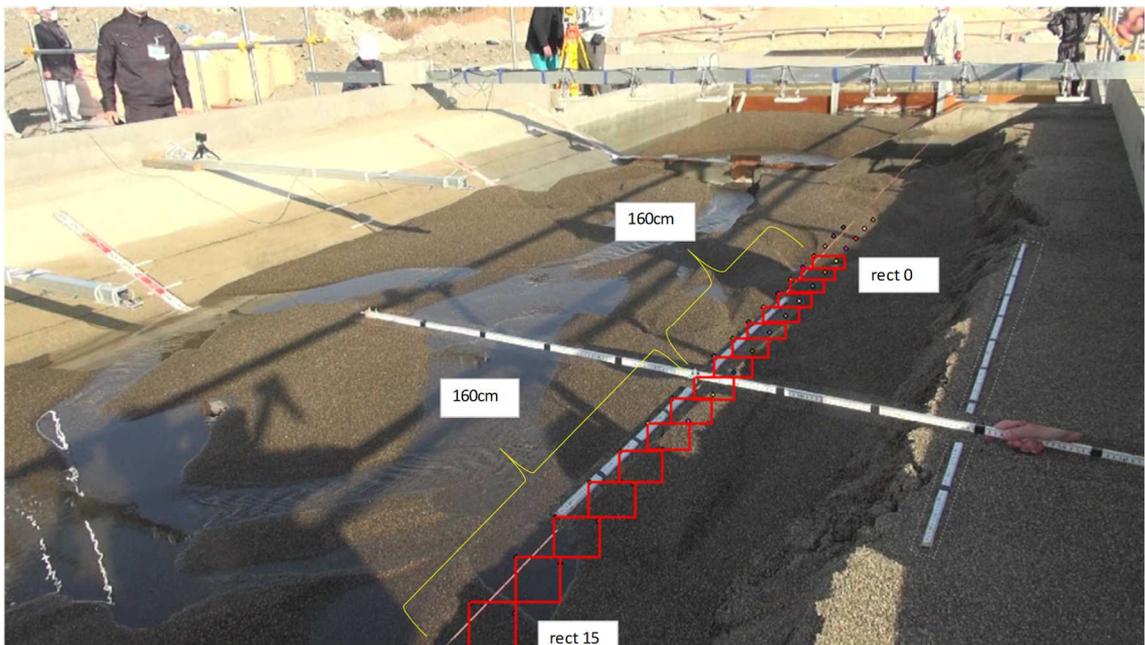


図 6.1 検知棒の設定（一般部）

表 6.4 河岸侵食検知結果一覧表（一般部）

検知枠番号	河岸侵食開始時刻	河岸侵食 10cm 検知時刻
Rect0	13:43:22	13:44:18
Rect1	13:43:22	13:44:18
Rect2	13:43:22	13:43:22
Rect3	13:43:22	13:45:20
Rect4	13:41:37	13:45:21
Rect5	13:41:37	13:41:37
Rect6	13:41:37	13:41:37
Rect7	13:41:37	13:41:37
Rect8	13:41:37	13:41:38
Rect9	13:41:37	13:43:10
Rect10	13:43:10	13:46:20
Rect11	13:43:10	13:48:40
Rect12	13:43:59	13:44:00
Rect13	13:43:59	13:44:00
Rect14	13:43:59	13:43:59
Rect15	13:43:59	13:44:00

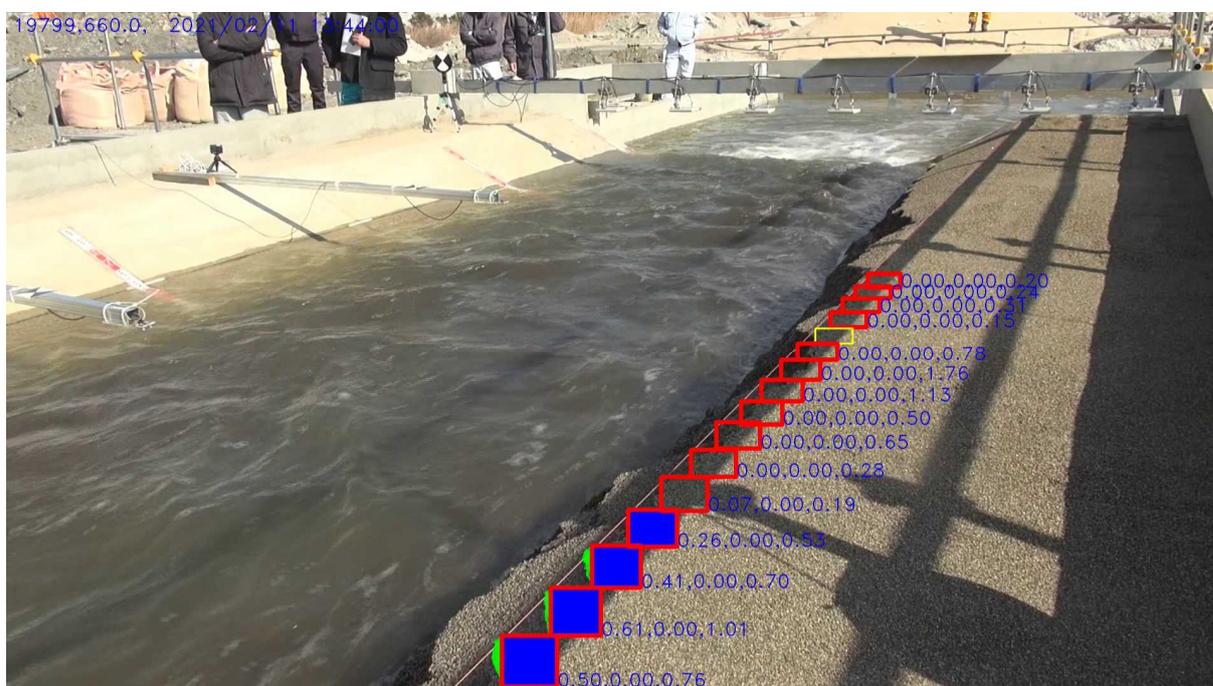


図 6.2 検知画像例（一般部） 13:44:00

※青塗りは変状を検知したことを示す。黄色枠はまだ、変状を検知していない状況を示す。
赤枠は、以前に変状を検知したことを示す。青色の数字は、左から、検知枠面積に対する土砂の動き割合、検知枠面積に対する水の流れ割合、土砂移動割合の累加値を示す。

(2) 橋台部

橋台部の検知棒(赤棒)の設定は、以下である。橋台部を挟み、下流側縦断方向 1.6m、上流側 0.8m の範囲で横断方向 0.1m の河岸侵食箇所を検知できるよう、12 個の検知棒を設定した。下流から rect0 とし、一番上流側を rect11 としている。

なお、橋台部の川側は橋台の死角となって、検出できない範囲が、中央から下流に 0.8m、上流側に 1.0m の範囲で存在する。検知棒の縦断方向の長さは 0.2m、横断方向は 0.1m である。

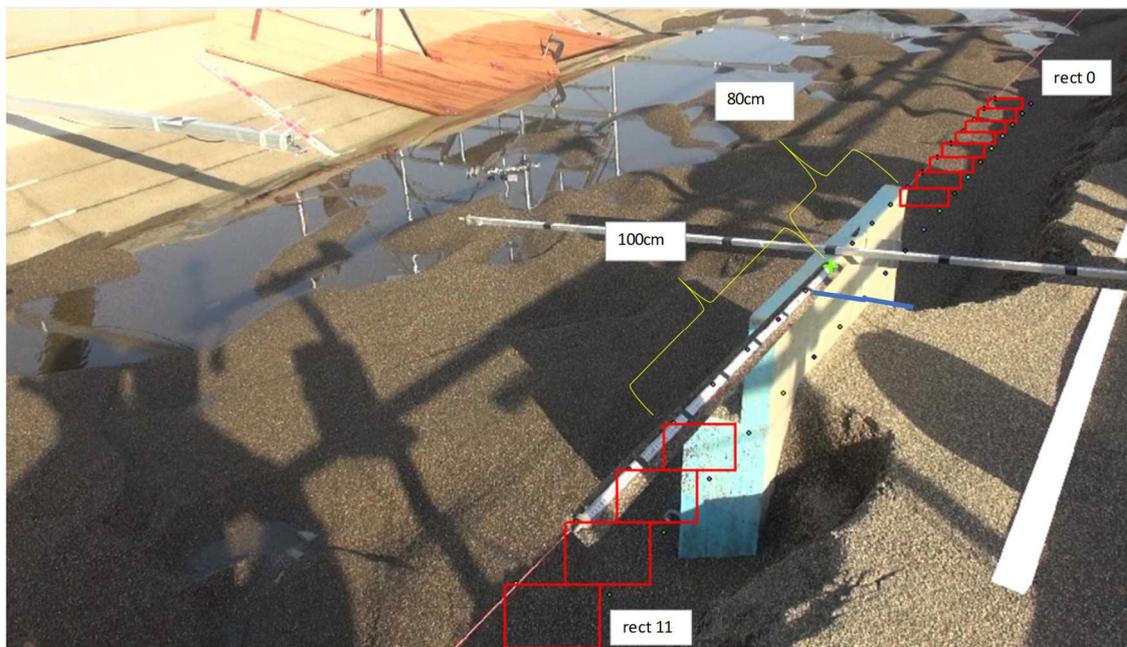


図 6.3 検知棒の設定（橋台部）

表 6.5 河岸侵食検知結果一覧表（橋台部）

検知棒番号	河岸侵食開始時刻	河岸侵食 10cm 検知時刻
Rect0	14:14:12	14:14:12
Rect1	14:12:21	14:14:12
Rect2	14:12:21	14:15:28
Rect3	14:12:21	14:19:47
Rect4	14:10:12	14:14:42
Rect5	14:12:43	14:14:42
Rect6	14:11:14	14:12:44
Rect7	14:12:43	14:12:44
Rect8	14:10:34	14:12:22
Rect9	14:09:29	14:10:12
Rect10	14:10:12	14:10:12
Rect11	14:10:12	14:10:12

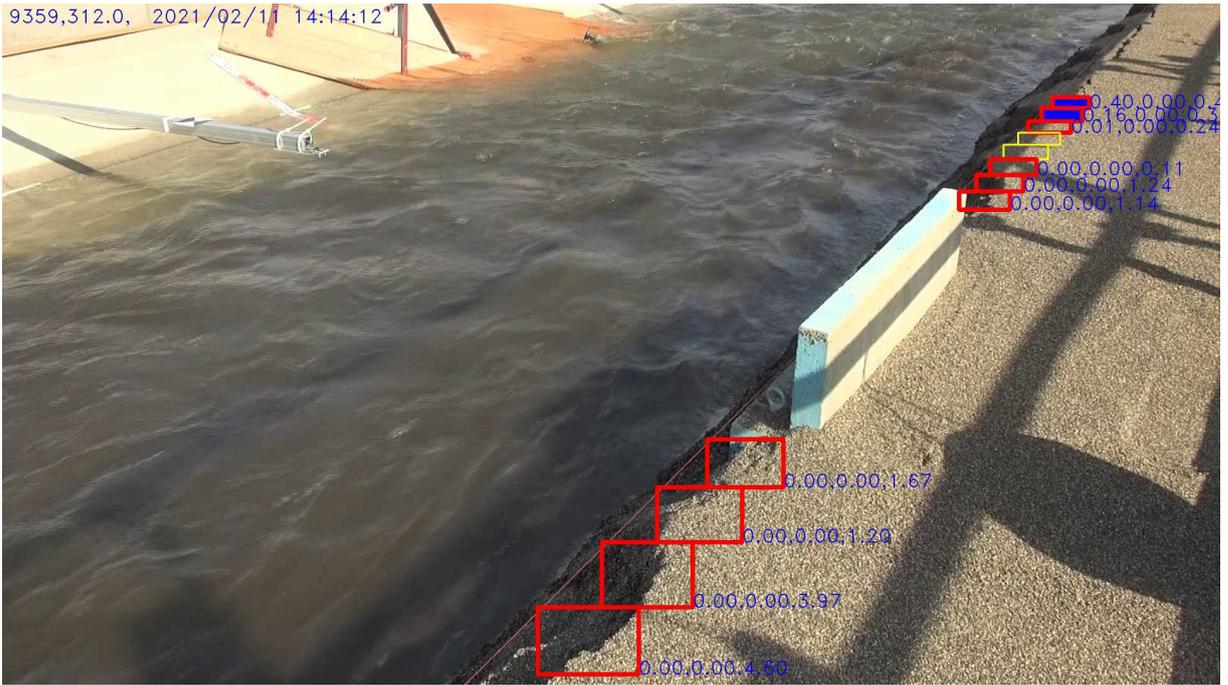


図 6.4 検知画像例（橋台部）14:14:12

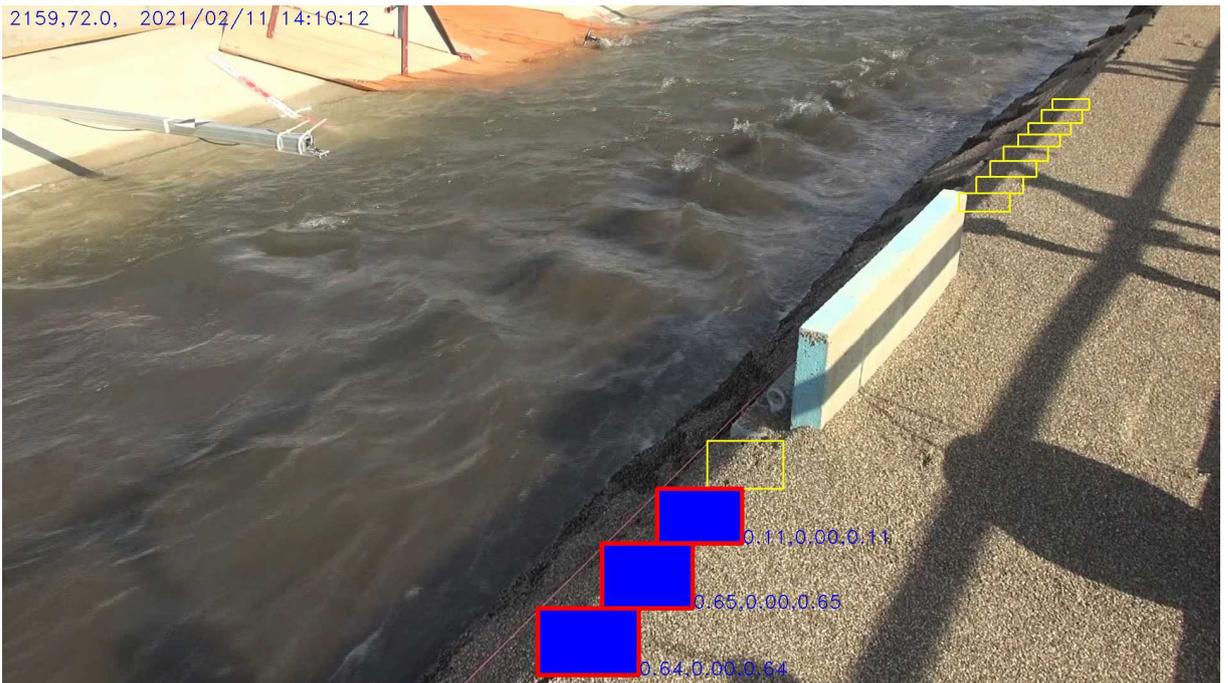


図 6.5 検知画像例（橋台部）14:10:12

※青塗りは変状を検知したことを示す。黄色枠はまだ、変状を検知していない状況を示す。
赤枠は、以前に変状を検知したことを示す。青色の数字は、左から、検知枠面積に対する土砂の動き割合、検知枠面積に対する水の流れ割合、土砂移動割合の累加値を示す。

(3) 橋台・護岸部

橋台・護岸部の検知棒（赤棒）の設定は、以下である。橋台部を挟み、下流側縦断方向 1.8m、上流側 1.2m の範囲で横断方向 0.1m の河岸侵食箇所を検知できるように、15 個の検知棒を設定した。下流から rect0 とし、一番上流側を rect14 としている。

なお、橋台部の川側の護岸部は橋台の死角となって、検出できない範囲が、中央から下流に 0.6m、上流側に 1.2m の範囲で存在する。検知棒の縦断方向の長さは 0.2m、横断方向は 0.1m である。

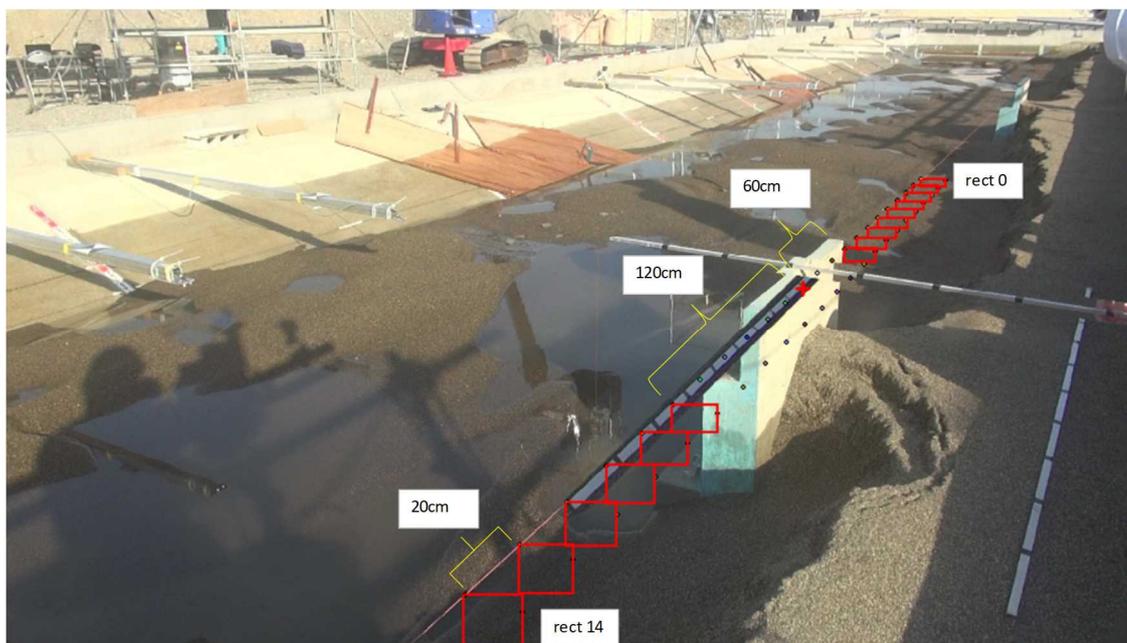


図 6.6 検知棒の設定（橋台・護岸部）

表 6.6 河岸侵食検知結果一覧表（橋台・護岸部）

検知棒番号	河岸侵食開始時刻	河岸侵食 10cm 検知時刻
Rect0	14:36:01	14:36:01
Rect1	14:36:01	14:36:01
Rect2	14:36:01	14:36:01
Rect3	14:37:48	14:38:09
Rect4	14:36:53	14:38:11
Rect5	14:36:55	14:38:09
Rect6	14:37:07	14:38:09
Rect7	14:38:08	14:38:09
Rect8	14:38:09	14:38:09
Rect9	14:37:37	14:38:17
Rect10	14:38:17	14:38:18
Rect11	14:38:18	14:38:18
Rect12	14:38:14	14:39:15
Rect13	14:38:23	14:39:24
Rect14	14:37:52	14:41:58

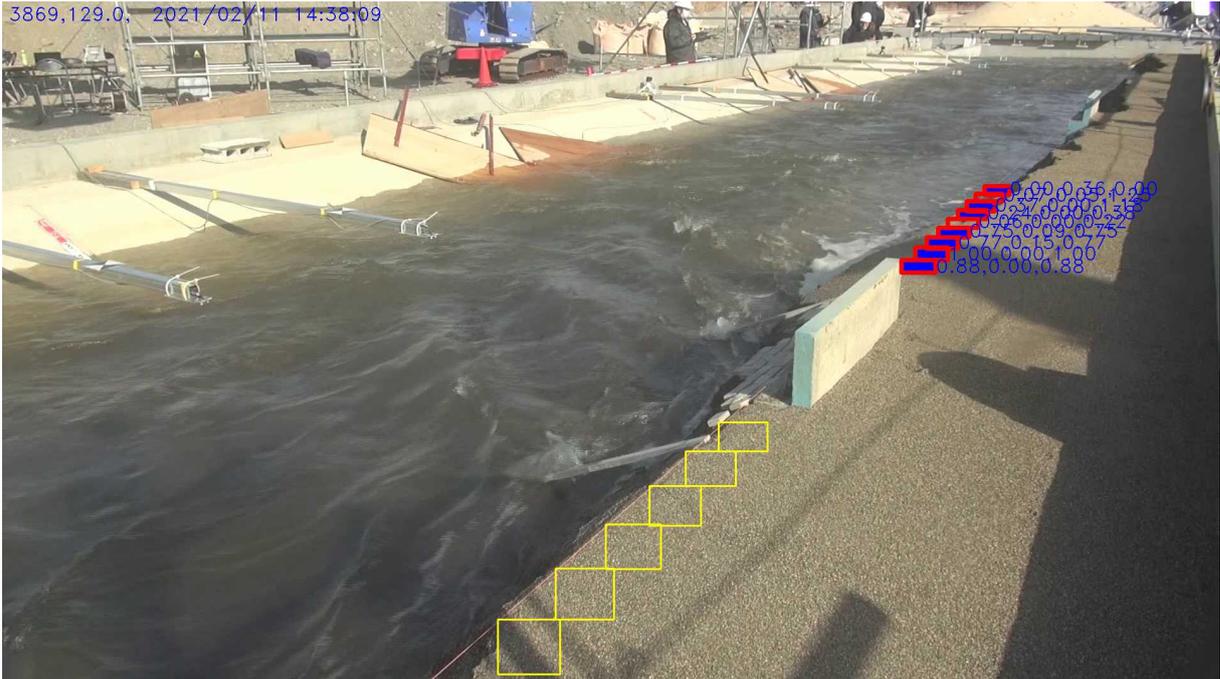


図 6.7 検知画像例（橋台・護岸部）14:38:09
バックホウの影による誤検知

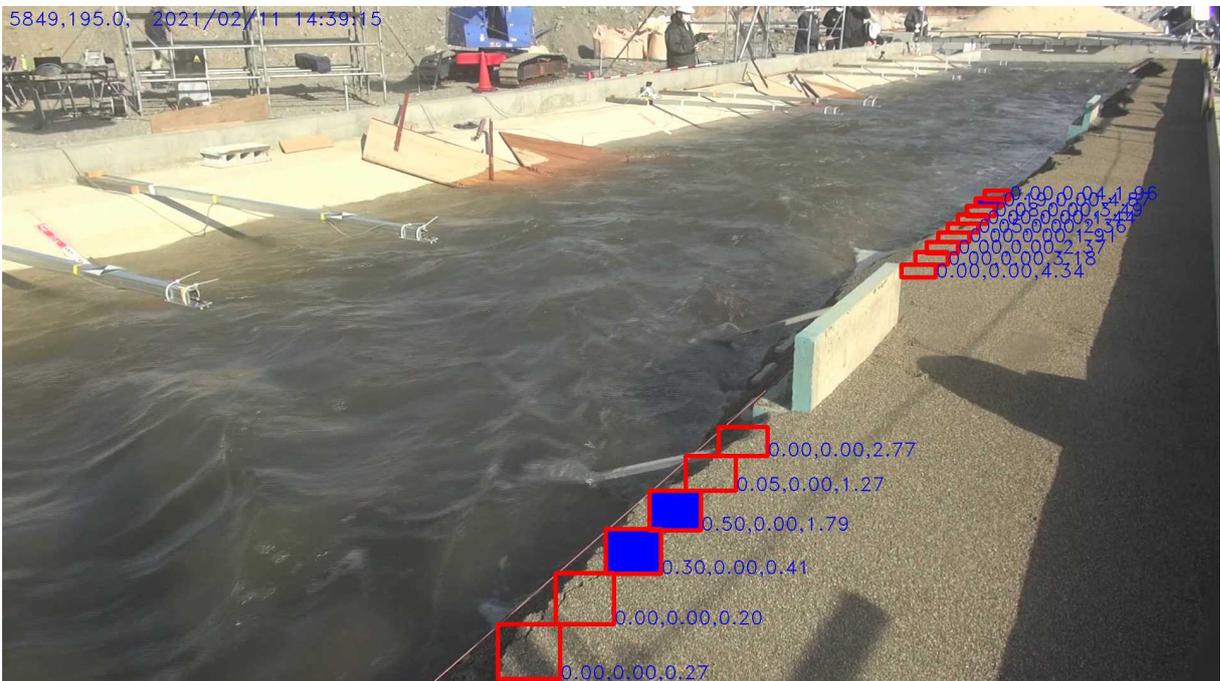


図 6.8 検知画像例（橋台・護岸部）14:39:15

※青塗りは変状を検知したことを示す。黄色枠はまだ、変状を検知していない状況を示す。
赤枠は、以前に変状を検知したことを示す。青色の数字は、左から、検知枠面積に対する土砂の動き割合、検知枠面積に対する水の流れ割合、土砂移動割合の累加値を示す。

7.考察

実験結果を踏まえ、以下について考察する。

- ① 誤検知の発生の恐れがあり、運用面で対策が必要
- ② 電源と通信の確保
- ③ カメラ性能によっては夜間や霧での検知不能

(1)誤検知の発生

実験においても、バックホウの影を異常と検知していた。現場実装の際には、バックホウの影が発生することは考えられないが、画像解析では、素直に変化を捉え、変状と検出することになる。平常時においては、河川によっては、堤防天端道路において散歩やサイクリングなどの河川利用者が多く、これを異常と検知することが想定される。

対策案としては、ある程度の水位以上となった場合に、河岸侵食の変状検知システムを起動させることが考えられる。また、AIによる変状検知の開発が進めば、人やバックホウなどの変化は、変状と捉えないように教えることで、誤検知の発生を抑えることが可能であろう。イメージとしては、ある水位以上でシステム起動後、第一段階として画像解析による変状検知を実施、第2段階では、AIによって、河岸侵食なのかどうかを判断して、アラートメールを発信するなどのシステムが考えられる。

(2)電源と通信の確保

本システムでは、カメラ性能によるが、遠方の変状検知精度は低くなるため、200mピッチでカメラを設置することが想定される。カメラには通信や処理を含め、電源が必要である。場所によっては、容易に電源確保可能ば場合（既設のCCTVカメラの活用など）もあるが、山間部では、電源確保や通信確保が課題になることが想定される。

対策案としては、発電機、太陽光パネルの設置や風力発電装置との併用で電源を確保する対策が考えられる。通信については、無線通信やメッシュネットワークの構築等での対策が考えられる。今後、通信については、5Gや6Gなどの通信網が整備されれば課題解消になるが、電源確保の課題は残る。

(3)検知不能

本システムでは、画像解析によるものであるため、カメラ性能に依存する。特に、夜間や霧などで光学的に視認できないような場合は、検知不能となる。

対策としては、高感度カメラの設置や赤外線カメラの設置が考えられるが、夜間であれば、照明の自動点灯による対策も有効である。

以上