

# ネットワークカメラを活用した 海浜観測システムの構築と石川県鉢ヶ崎海岸に おけるカस्प地形解析への適用

黒崎 弘司<sup>1</sup>・由比 政年<sup>2</sup>・石田 啓<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 金沢大学 自然科学研究科 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail:kurohiro7007@yahoo.co.jp

<sup>2</sup>正会員 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail:yuhi@t.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>フェロー 金沢大学名誉教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail:hishida@se.kanazawa-u.ac.jp

海象特性や漂砂のメカニズム解明には、沿岸波浪や地形変動モニタリングの技術開発が不可欠である。本研究では、鈴木ら(2008)の手法に基づき、ネットワークカメラを活用した画像観測システムを構築し、石川県珠洲市鉢ヶ崎海岸に適用して長期連続観測を行うとともに、現地測量との比較やメガカस्प地形の変動解析を通じてその適用性を検証した。その結果、ネットワークカメラによる汀線位置の定量化手法は十分な精度を有することを確認した。また、メガカस्पの発生・消滅と入射波特性との相関解析に本システムを適用し、鉢ヶ崎海岸におけるカस्प地形の発達特性と入射波特性との関係を示した。

**Key Words :** *Local remote sensing, Image processing, Network camera, Hachigasaki Beach, Cusp*

## 1. 序論

波浪災害の軽減・防止のためには、冬季風浪などの海象特性や漂砂のメカニズム解明が必要である。しかしながら、広範囲に渡る波浪や海浜流の特性、さらには、漂砂に伴う海浜地形変動を現地の複雑な条件下で解明することは容易でなく、継続的なモニタリングが必要とされる。すなわち、沿岸波浪や地形変動情報の収集・蓄積を長期・広域かつ高頻度で実施していくこと、および、そのための技術開発を進めていくことが必要となる。

波浪・海浜地形変動に対する沿岸地形の観測システムは、従来の深淺測量に基づく観測法と画像解析による観測法に大別される。従来の深淺測量は精度が高い半面、対象が広域の場合、労力、時間、そしてコスト面の制約から、高頻度で実施することは困難である。画像解析による観測法としては、武若ら(1999)による係留ビデオシステムを用いた観測法<sup>1)</sup>、米国オレゴン州立大学によるARGUSビデオモニタリングシステムによる観測法<sup>2,3)</sup>、木村ら(2006)によるデジタルビデオカメラを用いた観測法<sup>4)</sup>、そして、鈴木ら(2008)によるネットワークカメラに

よる観測法<sup>5)</sup>が代表的である。

本研究では、鈴木ら(2008)の提案した手法を石川県珠洲市鉢ヶ崎海岸に適用して、ネットワークカメラを利用した低コストの画像観測システムを構築し、その適用性検証を試みる。本システムでは、ネットワークカメラ1台を海岸に面した高層ホテル屋上に設置し、撮影方向を自動制御して、年間を通して日の出から日没まで汀線付近の画像を取得する。以下では、画像解析を用いて、現地測量との比較やビーチカस्पの発生・消滅と入射波特性との相関解析を行い本システムの適用性を検証する。

## 2. 対象領域の概要

### (1) 鉢ヶ崎海岸の概要

観測対象領域は日本海に面した能登半島の北東先端に位置する珠洲市鉢ヶ崎海岸である(図-1)。鉢ヶ崎海岸は、西は嶋島漁港、東は松林に囲まれた約2 kmに及ぶ長い砂浜海岸である。能登半島の影響から波向きはおおよそ南東方向である。



図-1 対象領域の位置



図-2 観測対象地域の航空写真  
(1991/5/18, 国土地理院に加筆)

## (2) 海象条件, 底質特性

当該海域の潮位差は小さく、漂砂移動は主に波浪に支配される。年間の沿岸方向漂砂輸送は東から西であると考えられる。この漂砂輸送は蛸島漁港の防波堤により、調査地域の西端で遮られる。珠洲ビーチホテルの東北東2.6 kmに小泊漁港、北東3.5 kmに紀の川河口が位置する(図-2)。紀の川が鉢ヶ崎海岸の土砂供給源と推測される。紀の川河口部には土砂が堆積し、年に数回浚渫が行われている。紀の川流域および鉢ヶ崎海岸背後には最大層厚約300 mの珪藻泥岩層が存在する。小泊漁港周辺の泥岩層地帯を除き、蛸島漁港と紀の川河口間の海岸地帯はかつて砂丘地帯であった<sup>9)</sup>。現在、魚つき保安林が珠洲ビーチホテル前付近から東方向に植林されている。また、蛸島漁港から東にほぼ一直線上に堤防が設置されており1972年および1988年の竣工記録が残されている。この堤防の沖側直近には所々消波ブロックが埋没している。また、珠洲ビーチホテルと小泊漁港間には過去(高度成長期と推測される)に設置された突堤群が残存しており、以前は海岸侵食が懸念されていたことを示している。

航空写真(2006年6月撮影)による解析では、堤防からの海浜幅は鉢ヶ崎海岸最西端で約60 m、珠洲ビーチホ

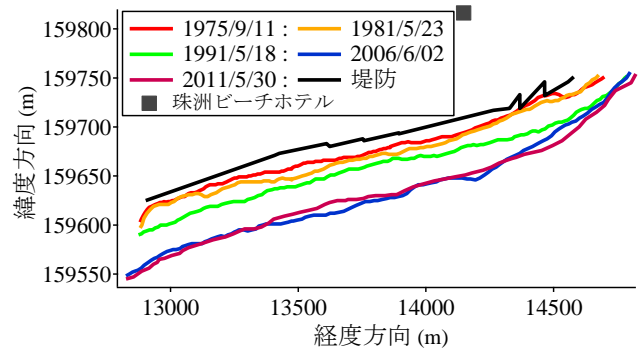


図-3 航空写真による汀線変化

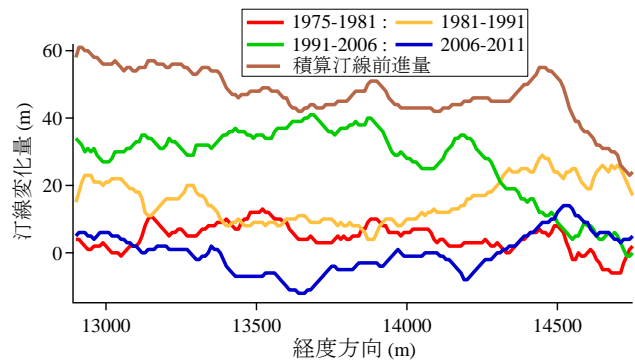


図-4 期間毎の汀線前進量

テル前で約45 m、突堤群最狭部で約6 mである。過去に遡って、航空写真(国土地理院)により長期汀線変動を確認すると、過去数十年の間に、汀線の位置が大きく変動している(図-3)。1975年における海浜幅は非常に狭く、堤防との平均距離は12 mである。その後海浜幅は2006年まで著しく増加し、堤防との平均距離は62 mに達している。図-4には、航空写真撮影期間毎の汀線前進量(m)を示す。対象とする範囲は蛸島漁港防波堤東側から珠洲ビーチホテル東側間の1850 mである。年間汀線前進量は、1975~1981年は0.7 m/年、1981~1991年は1.6 m/年、1991~2006年は1.8 m/年、2006~2011年は0.0 m/年、1975~2011年までの平均は1.3 m/年である。1975年以降汀線は徐々に前進し、2006年以降、汀線の位置は安定期に入ったと推測される。1975年から2011年までの平均汀線前進量は47 mである。以上のような海浜幅の場所による違いおよび経年変化は、1975年から1981年の間に増設された蛸島漁港東側防波堤が、西向きの沿岸漂砂を遮断し、漁港東側で堆積を進行させたためと判断される。

観測領域ほぼ中央部の汀線付近で採取した海浜砂は、中央粒径0.23 mmの細砂であり、ふるい分け均等係数は1.37である。汀線近くの海浜砂について粒度分布の沿岸方向変化を検討した結果、粒径は沿岸方向でほぼ一様であることを確認した。前浜の平均的な勾配は、1/7~1/13程度である。

### 3. 観測および解析の手法

#### (1) 観測システムの概要

珠洲ビーチホテル屋上にネットワークカメラ (Canon 製VB-C50iR, 136×130×110 mm) 1台を設置し、蛸島漁港から東側約2 kmの範囲の汀線付近を連続撮影して、海面の様子や海浜地形変動に対する長期自動観測を実施した。ネットワークカメラは、ホテル正面の汀線より水平距離約160 m, 高度約36 mの地点に設置されており、画像観測に適している (図-5)。ノート型パーソナルコンピュータ(DELL Vostro1000)およびネットワーク利用に必要な周辺機器 (モデム, ルーター) と無停電装置を屋上機械室内に設置した。観測システムの概要を図-6に示す。現地PCは、研究室PCからリモートデスクトップ機能を利用して操作可能になっており、適宜設定の変更などを実行できる。この現地PCでは、撮影の行われない夜間に平均・分散画像の作成を行っている。撮影された画像は現地PCの外付けハードディスクに保存される。インターネット回線を通して研究室PCにデータを転送できるが、ADSL回線の速度が十分でないため、定期的 (3か月～半年に一度) に現地を訪問し、ハードディスクを交換・回収している。この外付けハードディスクの交換を除けば本システムはメンテナンスフリーで長期・広域の連続自動観測を実現している。観測は、2007年11月より現在まで継続中である。観測カメラは10分毎に撮影角度を変更し、1時間で6方向の画像を取得する。撮影域の概要を図-7に示す。実質的な画像取得時間は1方向につき8分間であり、毎秒1枚、合計480枚の画像が各方向で1時間ごとに取得される。撮影は日の出から日没まで行われる。カメラの自動制御はVisual Basic および開発用のソフトウェア(Canon Web View Livescope SDK)を用いて行われている。画像はVGA規格 (640×480画素) で保存される。

#### (2) 画像処理の概要

まず、各撮影方向で毎秒1枚撮影されるスナップ画像から8分間分の平均画像 (図-8 (a)) を作成する。次に、画像解析により汀線変化等を定量化するために、オルソ画像 (図-8 (b)) を作成する。この際、図-5に示すように観測領域内に設定したリファレンスポイント(R.P.)座標(x,y,z)を同一高度での見かけ座標(X,Y,0)に変換し、2次元の射影変換行列を算出して座標変換を行っている。図中の①から⑤はR.P.であり、これらの位置はトータルステーションによりあらかじめ測定される。

#### (3) 海象データ

対象領域周辺における海象データとして、波浪諸元 (有義波高, 有義周期) に関しては国土交通省のナウファスシステム (輪島港), 潮位に関しては気象庁観測地

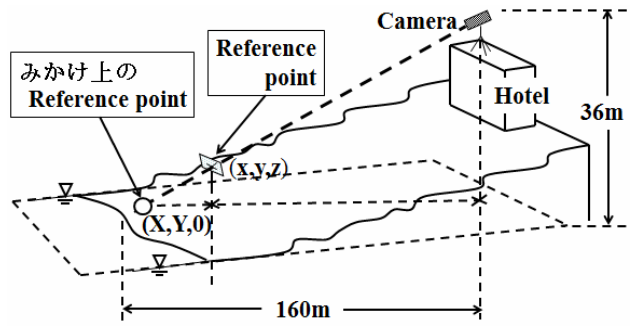


図-5 ネットワークカメラ設置図

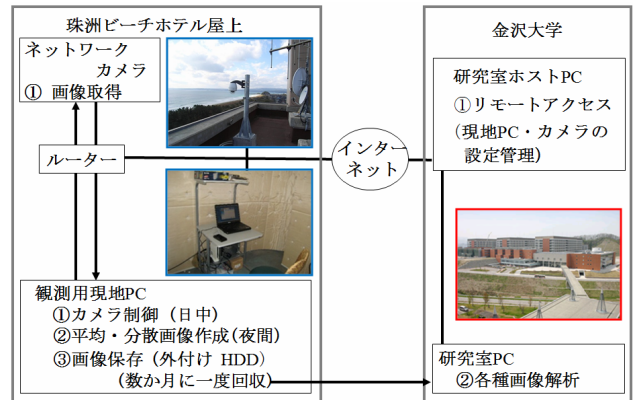


図-6 観測システムの概要

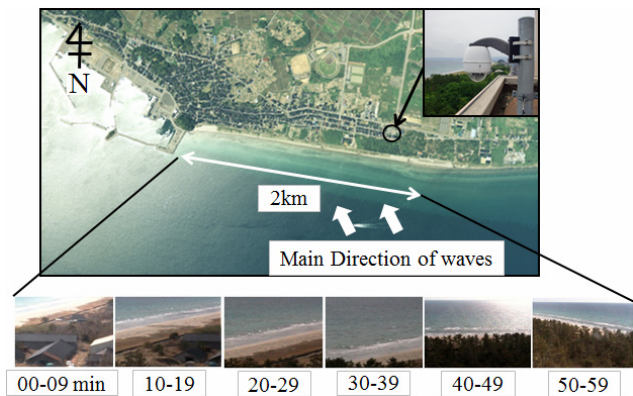


図-7 撮影域の概要

点 (珠洲市長橋町) の潮汐観測資料を用いた (図-1)。

### 4. 解析結果および考察

#### (1) 画像解析の精度検証

画像解析により汀線位置などを算定する際には、各種の要因による誤差が混入する。ここでは、その中でも影響が大きいと思われる、撮影画像をオルソ画像へ変換する際の座標変換誤差に着目し、各撮影範囲に設けられた

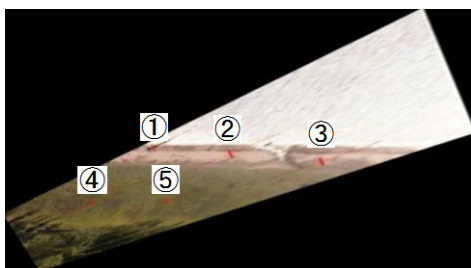
R.P.の座標変換精度とカメラからの距離との関連を検討した(表-1, 図-9). 表-1は図-7に示す各撮影方向のうち0分台から40分台の各撮影範囲に設けられたR.P.の最東点および最西点を対象に観測カメラ正面からの沿岸方向距離(m)およびその座標変換誤差を示したものである. 表-1中のR.P.E.D.およびR.P.W.D.はそれぞれ観測カメラからR.P.の最東点および最西点までの沿岸方向距離を表す. 図-9中の直線は, 表-1に示したR.P.W.D.とR.P.E.D.で区分される沿岸方向観測範囲であり, マーカーは各撮影方向の座標変換時に生じるR.P.の位置推定誤差(自乗平均平方根RMS(m))を表す.

まず, 観測カメラからR.P.までの距離とRMSが最大となる撮影方向0分台について考察する. 10点のR.P.が設定されており, 撮影カメラとの平均直線距離は710 m, RMSは1.73 mであり, その割合は0.24 %となる. 次に, RMSが最小となる撮影方向30分台では, 観測カメラとR.P.との平均距離は327 m, RMSは0.35 mであり, その割合は0.11%となる. また, 40分台の撮影範囲は松林であり, R.P.の設定に制限があったことが原因で精度が低下したと考えられる. 以上の結果より, ネットワークカメラによる画像を用いたオルソ画像は十分な精度を有すると考えられる.

次に, オルソ画像(20分台)において視認により汀線位置を判断し, デジタイズ用ソフトを用いてその座標値を求め, トータルステーション測量による結果と比較し



(a) 8分間平均画像



(b) オルソ画像

図-8 画像処理手順

て画像解析による汀線抽出精度を検証した(図-10). 図中の○印が現地測量結果であり, 実線が画像解析による汀線である. 座標原点はカメラ位置に対応する. 汀線位置岸沖方向の平均誤差は0.13 m, RMS誤差は0.56 mであり, 十分な精度を有することが確認できた.

(2) メガカスプの発達特性

2007年11月から2011年5月までの観測画像から作成されたオルソ画像(メガカスプ地形の観察例: 図-11)を用いて, メガカスプの発生・消滅の変化を観察し, メガカスプの振幅( $\eta$ ), 波長( $\lambda$ ), 汀線変動強度( $Ys'rms$ )と波浪諸元(有義波高 $H_{1/3}$ , 有義周期 $T_{1/3}$ )との相関を解析した. ここでのカスプ地形諸元の定義を図-12に示す. 図-13は2010年5月8日から13日にかけて観察されたメガカスプの発生から消滅までの汀線変化を日平均画像に基づいて

表-1 撮影方向毎のR.P.位置と座標変換精度

(単位:m)	0分台	10分台	20分台	30分台	40分台
R.P.E.D.	559.88	374.71	301.02	250.83	-40.49
R.P.W.D.	857.35	668.14	433.76	336.49	60.12
ERROR MAX	2.66	2.16	0.81	0.65	0.83
ERROR MIN	0.88	0.34	0.18	0.19	0.12
ERROR AVE	1.63	1.36	0.53	0.31	0.41
ERROR RMS	1.73	1.49	0.57	0.35	0.47

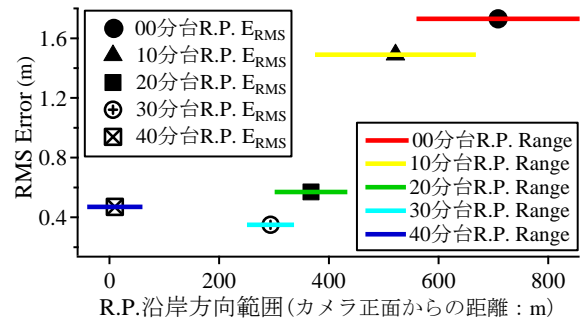


図-9 座標変換時の位置推定誤差の評価  
(図中の横線がR.P.の存在範囲に対応する)

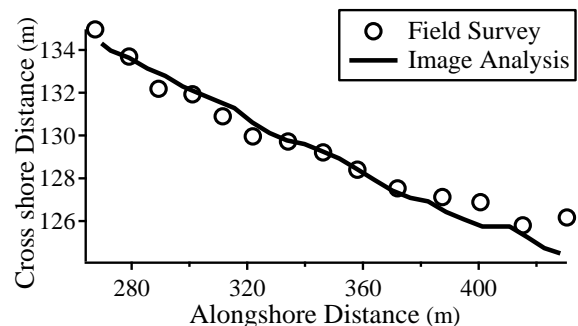


図-10 画像解析による汀線位置と測量による汀線位置の比較  
(2010/1005)



図-11 メガカスプ地形の観察例(2010/05/11)

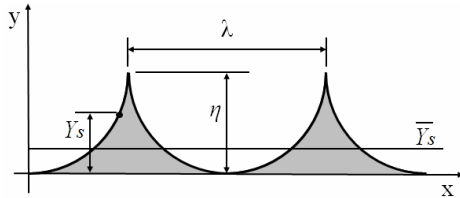


図-12 カスプ諸元の定義

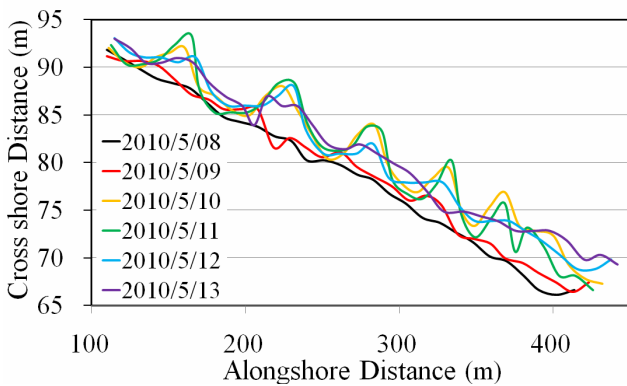


図-13 メガカスプの発達観察例

解析した結果を示している。なお、図-13では縦方向のスケールを拡大して表示している。5月8日の汀線形状はほぼ直線的であるが、9日には少し波打つ様子が見られる。10日、11日にかけてメガカスプ地形が発達し、12日には縮小に転じている。11日の図中左3つのメガカスプの平均波長は53.7 m、平均振幅は5.7 mである。これらは2時間毎の平均画像より求めた波長および振幅をさらに日平均した値である。この期間内に輪島港で観測された波高と周期の変化を表-2に示す。メガカスプが発達する期間は波高および周期が小さくなる期間に対応しており、波高および周期が大きくなるとカスプは縮小に転じている。

次に、カスプ形状変動と波浪諸元の相関を把握するためにカスプ振幅・汀線変動強度について検討した。汀線平均位置や変動強度の定義は武若ら(2006)<sup>7)</sup>による。

汀線平均位置：

$$\bar{Y}_s(t) = \frac{1}{x_1 - x_0} \int_{x_0}^{x_1} Y_s(t, x) dx$$

表-2 対象期間の有義波高と有義周期 (輪島港)

	5/8	5/09	5/10	5/11	5/12	5/13
$H_{1/3}$ (m)	0.97	0.86	0.66	0.64	1.41	1.70
$T_{1/3}$ (s)	7.2	7.3	5.1	5.6	5.9	6.9

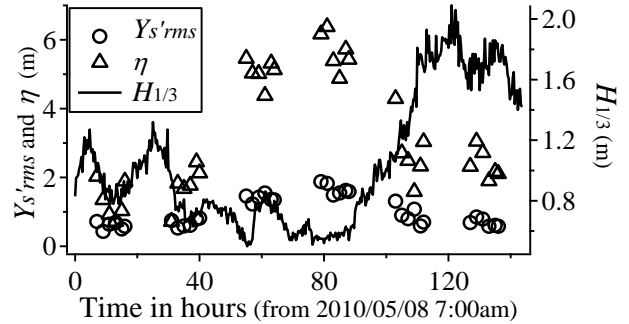


図-14 波高と汀線変動強度・カスプ振幅の相関

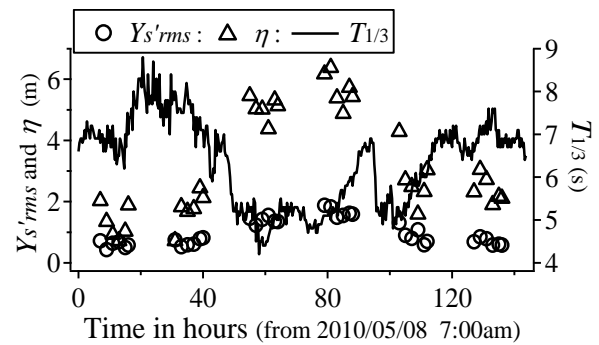


図-15 入射波周期と汀線変動強度・カスプ振幅の相関

汀線変動強度：

$$Y_s'rms(t) = \sqrt{\frac{1}{x_1 - x_0} \int_{x_0}^{x_1} (Y_s(t, x) - \bar{Y}_s(t))^2 dx}$$

ここで、 $Y_s(t, x)$ は2時間毎の汀線位置、 $t$ は時間、 $x$ は沿岸方向座標、 $x_0, x_1$ は観測範囲の始点と終点である。振幅の値は、図-13における左3つのメガカスプを対象に2時間毎の平均値として算出した。図-14、図-15より、波高が低下あるいは周期が短くなるとメガカスプ振幅が増大し、波高が上昇あるいは周期が長くなると振幅が縮小する傾向が観察される。汀線変動強度との対応も同様である。なお、観測データにおける入射波諸元は、観測地である鉢ヶ崎海岸から直線距離で約38 km 離れた輪島港での観測データを用いていることに留意が必要である。

次に入射波周期とカスプ波長の関係について検討を行った。従来の研究では、カスプ波長と周期の3乗に相関が認められると報告されてきた。図-16中の青色点線は堀川ら(1974)<sup>8)</sup>による離岸流の発生間隔と周期の関係式で

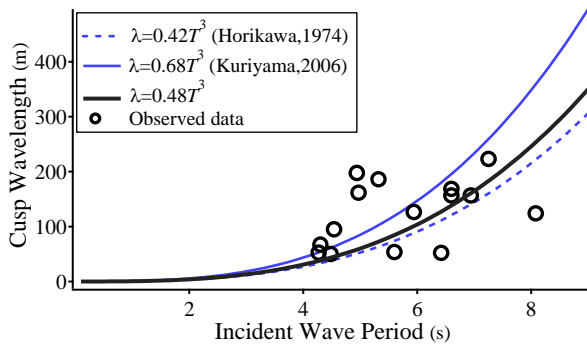


図-16 入射波周期とカスプ波長の相関

あり、青色実線は栗山ら(2006)<sup>9)</sup>によるカスプ波長と周期の関係式を示す。○印は今回の画像観測により得られたメガカスプ波長(50 m以上)の観測データであり、観測画像中の代表的なカスプに対する値を用いている。最小自乗近似によりカスプ波長と入射波周期の関係を算出した結果を黒色実線で示す。今回の観測結果は、およそ既往の報告に従う形となっているが、周期5秒前後での観測値は両者から乖離している。

## 5. 結論

石川県珠洲市鉢ヶ崎海岸に設置したネットワークカメラを活用して海岸地形の連続画像観測を実施した。撮影画像をオルソ画像に変換する際に生じる位置推定誤差は観測距離に対して0.11~0.24%であり、画像解析により抽出された汀線とトータルステーションによる観測も定量的に良く一致した。その結果、ネットワークカメラを利用した画像観測手法は、汀線変動の解析に対して十分な精度を有すると判断された。続いて、メガカスプの発生・消滅と入射波特性の相関を検討した結果、汀線変動強度およびカスプ振幅は、波高あるいは周期が減少すると増大し、波高あるいは周期が増加すると縮小する傾

向が観察された。入射波周期とカスプ波長との相関を検討した結果、堀川ら(1974)および栗山ら(2006)による経験式と同様の傾向が認められた。

**謝辞:** 本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金の補助を受けた。本研究に際し、独立行政法人港湾空港技術研究所鈴木高二郎主任研究官に観測手法をご指導頂いた。珠洲ビーチホテルの松家清吾総支配人および従業員の方々には現地観測およびカメラのメンテナンス等にご協力を頂いた。金沢大学卒業生若林祐太君、犬伏章文君、大洞允志君、金沢大学大学院修士生茨城和君、杉浦匠君には多大な協力を得た。記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 武若 聡, 中村 崇: 係留ビデオシステムによる砕波帯の水理現象観測の試み. 海岸工学論文集, 46, 151-155, 1999.
- 2) Lippman, T.C. and Holman, R.A.: Quantification of Sand Bar Morphology: A Video Technique Based on Wave Dissipation, *J. Geophysical Res.*, 94, 995-1011, 1989.
- 3) 鈴木高二郎, 高橋重雄, 山縣延文, 堀田 治, 栗山善昭, Aaminkho, S., Ruessink, G., Elshoff, I.: ARGUS ビデオ解析による宮崎住吉海岸の長期地形観測. 海岸工学論文集, 49, 571-575, 2002.
- 4) 木村 晃, 大野賢一: 鳥取海岸における海底地形の短期変化について. 海岸工学論文集, 53, 571-575, 2006.
- 5) 鈴木高二郎, 有路隆一, 諸星一信, 柳島慎一, 高橋重雄, 松坂省一, 鈴木伸昭: WEB カメラを用いた海岸の連続観測手法の開発について. 海岸工学論文集, 55, 146-1450, 2008.
- 6) 粕野義男: 北陸の丘陵と平野, アーバンクボタ, No.23, 36-39, 1984.
- 7) 武若 聡, 松本亮介, 笹倉慎也, El Sayed Galal: 汀線とバーの変動と沿岸方向移動. 海岸工学論文集, 53, 576-580, 2006.
- 8) 堀川清司, 佐々木民雄, 堀田新太郎, 桜本 弘: 海岸流に関する研究(第2報)ー海浜流の現地観測ー. 第21回海講論文集, 347-354, 1974.
- 9) 栗山義昭, 友田尚貴: 汀線近傍地形の沿岸方向の変動特性. 海岸工学論文集, 53, 551-555, 2006.

## APPLICATION OF A NETWORK CAMERA SYSTEM FOR CUSP FORMATION ON THE HACHIGASAKI BEACH, ISHIKAWA, JAPAN

Hiroshi KUROSAKI, Masatoshi YUHI, Hajime ISHIDA

We have developed a local remote sensing system that allows the quantification of nearshore morphology. In this system a network camera is installed on a high building. The camera is connected to a laptop computer which controls the data acquisition procedure. Image processing such as averaging (time exposure) and rectification are conducted in order to examine the morphological variation. The system has been applied to the field observation of Hachigasaki Beach, Ishikawa, Japan. Continuous observations have been conducted since November 2007. The comparison between image analysis and ordinary field survey shows good accuracy of the measurement. Various morphological features have been captured such as the formation of cusped features of shoreline. These results show the high capability of the developed system to remotely measure the coastal morphology on sandy beaches.