#### 特集≫≫ 自然再生, 自然景観, 都市景観

# 日立市の河原子海水浴場付近での侵食と今後の方策

#### 宇 多 高 明·大 木 康 弘·三 波 俊 郎

衛星画像の解析と現地踏査をもとに,茨城県日立市に位置する河原子海岸の侵食の実態を明らかにし, その上で,河原子港の北約4kmに位置する会瀬漁港から河原子港間の汀線変化,河原子港周辺で1982 ~2013年に行われた深浅測量データの解析,さらには会瀬漁港と河原子港での浚渫実績などについて調 べ,河原子海岸の侵食原因について考察した。この区域では様々な改変により漂砂系全体での土砂バラン スが崩れたことが侵食の原因であり,侵食は局所的なものではない。今後の侵食対策はこの状況をよく理 解した上で進める必要がある。

キーワード:海岸侵食,河原子海水浴場,汀線変化,浚渫,浜崖,会瀬漁港,漂砂系

## 1. はじめに

茨城県日立市に位置する河原子海岸は、海水浴場と して古くから知られてきたが、近年侵食が著しく進む とともに、2011年3月11日発生の東北地方太平洋沖 地震では河原子港付近で31 cm(2014年時点ではそ の後の余効変動により23 cm)の地盤沈下<sup>11</sup>が生じた ため、護岸前面の砂浜が消失して緩傾斜護岸が直接波 に曝された状態となり、海岸利用に支障を来した。同 時に、高波浪時には海岸線に沿う道路からの越波が著 しいことから有効な対策が求められている。この海岸 は、図一1に示すように河原子港の北側に隣接し、 沖合の岩礁背後に形成された舌状砂州が海水浴場の主 要部分として使われていたが、その砂州が急速に消失 したのである。対策として護岸の嵩上げも行われたが 依然として越波が激しく、応急的に設置された大型フ トン篭が破壊され、中詰めの礫が散乱する状態となっ た。一方、当海岸沖にある広大な露岩域はアワビ・サ ザエなどの良好な漁場であるために、対策立案におい ては漁場への影響を極小化する案が求められている。 図一1の矩形域の拡大衛星画像を図一2に示すが、 河原子海水浴場は図一2に示すほぼ半円形状の突出 部に位置する。2003年以前、突出部の前面には砂浜 があり、そこが海水浴場の主要部分として利用されて いたが、この砂浜が急速に削られた。本研究では、ま ず衛星画像の解析と現地踏査をもとに河原子海岸の変 遷を明らかにし、その上で河原子港の北約4kmに位 置する会瀬漁港から河原子港間の汀線変化、河原子港 周辺で1982~2013年に行われた深浅測量データの解 析、さらには会瀬漁港と河原子港での浚渫実績などに



図-1 日立市河原子海水浴場の位置



図-2 河原子海水浴場の衛星画像

ついて調べることにより侵食原因について考察した。 さらにこれらを基に今後の侵食対策の方向性について 論じた。なお、本研究は宇多ほか<sup>2),3)</sup>の研究に新た なデータを加えて考察を深めたものである。また、当 海岸の南約18kmに位置する常陸那珂港での1991 ~ 2010年の波浪観測結果(NOWPHAS常陸那珂港、オ ンライン)によれば、この沿岸でのエネルギー平均波 の波高は1.2 m、周期は7.9 s である。

## 2. 河原子海水浴場の変遷と現況

## (1) 衛星画像の比較と現地海岸の状況<sup>3)</sup>

図-3には、河原子海水浴場周辺の2003~2016年 の衛星画像を示す。2003年には、離岸堤①の南側隣 接部において砂浜幅が23mと狭まってはいたが、河 原子海水浴場全体に砂浜があった。2009年には2003 年当時砂浜幅が狭かった付近で侵食が進み、緩傾斜護 岸が113mにわたって波に曝される状態となった。大





図-3 衛星画像に基づく河原子海水浴場の変遷

地震直後の2011年3月12日にもほぼ同じ状態が続い たが、2011年12月15日には緩傾斜護岸の大部分が 波に曝される状態となった(図-3(c)(d))。図-3 (e)に示す2016年10月26日の画像では、緩傾斜護 岸の大部分が波に直接曝された状態については2011 年12月15日と同じであったが、図示する海浜Aで 砂浜面積が減少すると同時に、河原子港内の海浜Bで 面積が増加したことから、一部の砂が河原子港内へと 運ばれたと考えられる。最終的に、図-3(e)には 2003年12月と2016年10月の汀線形状も示す。この 間、河原子海水浴場では広域で砂浜が消失し、緩傾斜 護岸が波に曝されるようになったことがよく分かる。

**写真**-1は,緩傾斜護岸上より北部に設置された 離岸堤①を図-2の地点1より望んだ写真である。 この付近には緩く湾曲した法線を有する緩傾斜護岸が 設置されていたが,そののり先には前浜が全くなく, のり先を波が洗っていた。また,緩傾斜護岸が東側に 最も張り出した地点2では緩傾斜護岸への越波が著し く,遊歩道の背後に設置されていた大型フトン篭が波 力により大きく歪んでいた(**写真**-2)。



写真―1 波に曝された緩傾斜護岸(図―2の地点1)



写真―2 護岸背後への越波により破壊の進む大型フトン篭(地点2)

#### (2) 深浅図の比較

河原子海水浴場付近では近年著しい侵食を受け砂浜 が消失したが、2003 ~ 2013 年の地形変化は図—4の ようである。2003 年の深浅図によれば、河原子港の 北側隣接部において水深1m(D.L.基準,以下同様) の等深線で囲まれた幅約200mの岩礁帯が東向きに 約300m突出し、その両側には深み岸近くまで入り 込んでいた。このため浅瀬による砕波と波の回折効果 により岩礁帯の背後には舌状砂州が形成され、これが

(a) 2003 年 12 月





(c) 地形変化(2003年12月~2013年12月)



河原子海水浴場の主要部分を構成していた。しかし 2013年12月では,河原子海水浴場の半円形の緩傾斜 護岸が露出し,海水浴場として機能しなくなった。図 -4にはこの間の地形変化量の分布も示すが,2013 年までに河原子海水浴場で集中的な侵食が起き,護岸 前面の水深が最大3mも増大したことが見てとれる。

河原子海水浴場の地形変化に関し,図―4(c)に 示す測線 No.22 と No.20 での縦断形変化を図―5に示 す。No.22 では汀線が110 m 後退すると同時に水深 2 m 以浅が大きく掘られ,急深な地形となった。この 場合,著しい侵食は 2011 年の大地震前から単調に進 んできていたことが特徴である。侵食は No.20 でも同 様に進んできている。



図-5 測線 No.22 と No.20 に沿う縦断形変化(1986~2013年)

図―4,5によれば河原子海水浴場での著しい侵食 は、岩礁背後で局所的に進んだように見える。しかし 実際には、河原子海岸の北4kmに位置する会瀬漁港 を含む広域での地形変化と密接な関係を有している。 そこで以下では、一つの漂砂系をなすと考えられる会 瀬漁港から河原子港間での地形変化について調べた。

# 広域(会瀬漁港~河原子港間)での地形 変化

## (1) 会瀬漁港〜河原子港間での衛星画像の比較

会瀬漁港~河原子港間の WorldView-2 衛星画像

(2014年1月)と、この衛星画像のGreen (510-580 nm)バンドデータから作成した海底の露岩域分布を 図-6に示す。まず図-6(a)によれば、会瀬漁港 では漁港区域を取り囲む半円状の防波堤と港口部防波 堤,および漁港南側の2基の防砂突堤と離岸堤が設置 されており、離岸堤背後では堆砂が進み舌状砂州が形 成されていた。対照的に、これらの離岸堤の南側に流 入する鮎川の南側隣接部では前浜がなく,海食岸が波 に曝されていた。図-6(b)によると、図中白く見 える砂浜は、会瀬漁港と河原子港周辺を除き海岸線か ら約200m沖までに分布し、その沖は露岩域であっ た。すなわちこれらの漁港・港湾に挟まれた区域での 砂の賦存量は大きくなかった。これと対照的に、会瀬 漁港や河原子港の周辺では沖合約 600 m まで砂の堆 積が認められ、砂の偏在が起きていたことが分かる。 このためこれらの港では堆砂対策として離岸堤の設置 のみならず浚渫をも行う必要が生じていた。

(a) 2014年1月(衛星画像)



(b) 2014 年 1 月の衛星画像による岩礁域の分布



図-6 会瀬漁港~河原子港間の衛星画像と岩礁域の分布

#### (2) 会瀬漁港周辺の空中写真の比較

図-6 (a) に矩形で示すように, 会瀬漁港を中心 として南北に 2.8 km 区間を切り出し, この区域での 1984 年から 2014 年までの海岸の変遷を図-7 に示 す。1984 年には既に会瀬漁港では漁港区域を囲む半 円形状の防波堤, コの字状の泊地, さらには港口に平 行防波堤が伸ばされていた。沖防波堤は天然の磯の背 後に造られており, 天然の岩礁を補強する形を有して いた。一方, 漁港の南側では海食崖の基部に沿って鮎 川の南 200 m にある高台の突出点 A までフック状の 汀線が形成されていた。

1996 年までには漁港の南側に長さ 240 m の防砂突 堤と,その先端に接続した離岸堤が建設され,さらに (a)1984 年 7 月(茨城県撮影,潮位:M.S.L.+0.08m)





(c) 2010 年 11 月 (WorldView-2 衛星画像, 潮位: M.S.L. +0.33m)





図-7 会瀬漁港周辺の空中写真と衛星画像

は 60 m の開口部を残して別の離岸堤が建設され始め た。突堤と離岸堤が鍵状に伸び,その背後に広い波の 遮蔽域が形成されたため,その背後の 350 m 区間で 堆砂が進み,従来その基部が波に曝されていた海食崖 の前面に広い前浜が形成された。この砂浜の形成に要 する砂は主に鮎川~A 点付近から運ばれたため,こ の付近では侵食が進んだ。この結果,侵食域を防護す るため汀線に沿って消波堤が並べられた。その後, 2010 年 11 月までには防砂突堤南側の離岸堤が長さ 200 m まで伸ばされ,その背後に新たに舌状砂州が形 成された。これとともに南側に隣接する鮎川河口や A 点付近での侵食が一層著しくなった。その後,2014 年 1 月までには離岸堤背後の舌状砂州が著しく発達す る一方,鮎川と点 A 付近が侵食された状態となった。

#### (3) 会瀬漁港〜鮎川間の現地状況

会瀬漁港の南側隣接部では離岸堤の背後で堆砂が進 む一方、南側の鮎川河口付近では侵食傾向である。こ の結果変化した海岸の状況を2014年4月4日に現地 踏査により調べた。会瀬漁港は,図-8に示すよう に複雑な形状の防波堤により囲まれている。一方、漁 港の南側に隣接して離岸堤と連結されたL型突堤が 伸ばされており、その横堤(離岸堤)の長さは150 m で、さらに 40 m の開口部を開けて堤長 209 m の別の 離岸堤も設置されている。当地では東寄りの波が卓越 しているが、会瀬漁港の防波堤と2基の離岸堤による 波の遮蔽効果により、施設の背後では堆砂が進んでい る。これに対し、離岸堤以南の区域では、離岸堤によ る波の遮蔽域の外側から内側へと向いた沿岸漂砂によ り砂が北向きに運び去られたため侵食が進み、現況で は護岸と消波工を波が洗う状況となっている。図-8 には現地踏査時の写真撮影地点番号を示す。



図―8 会瀬漁港周辺の衛星画像と写真撮影地点

まず、会瀬漁港南側のL型突堤の付け根の地点1 から南西方向を望んだのが写真-3であり、離岸堤 による波の遮蔽域では細砂が大量に堆積し緩勾配の広 い砂浜が形成されていた。遠方には急傾斜地保全対策 の行われた海食崖が遠望されるが、この海食崖を崖下 の地点2から撮影したのが写真-4である。崖の基 部には沿岸方向に低い直立護岸が直線状に伸びてい た。図-7に示したように、会瀬漁港の南側に離岸 堤が建設される前には、海食崖に波が直接作用して侵 食が進んでいたが、その当時対策として護岸が設置さ れたと推定される。その後防波堤が延長されるととも に離岸堤が建設された結果、波の遮蔽域に砂が堆積 し、旧海食崖を防護していた護岸の前に砂浜が形成さ れたと推定される。

写真-4では護岸前面に帯状の礫の堆積域がある



写真-3 会瀬漁港南側のL型突堤の付け根から南西方向を望む(図-8 の地点1)



写真一 6 鮎川河口(地点 4)



写真-4 海食崖を崖下から撮影(地点2)



写真-5 波に曝された護岸(地点3)

が、礫の堆積量は南向きに次第に増加すると同時に前 浜幅が狭まり、護岸前面が波に曝される状態となって いた(写真-5,地点3)。さらに南側の鮎川河口に 到達したところ,河口部では礫の堆積が著しかった(写 真-6,地点4)。このことから、会瀬漁港の海食崖 の基部に堆積していた礫は鮎川起源であり、それが波 の遮蔽域へと向かう北向きの沿岸漂砂により運ばれ堆



写真-7 消波堤の裏側に残された狭い礫浜(地点5)

### 積したと考えられる。

このように鮎川からの流出砂礫は北向きに運ばれた のみでなく,南側にも運ばれていた。写真—7(地点5) は鮎川河口右岸の消波堤背後への礫の堆積状況を示 す。消波堤とその背後の海食崖の間の狭い区域に鮎川 起源の砂礫が堆積していた。鮎川は調査対象区域への 土砂供給源となりうるものの,現在では河口周辺部で の砂の堆積量は小さく,消波堤の背後にわずかに礫が 堆積している状況から鮎川からの海岸への砂の供給量 は小さいと考えられる。

#### (4) 河原子海岸北部の現地状況

図-9には2014年4月5日に行った河原子海岸北 部の現地踏査時の写真撮影地点番号を示す。踏査地域 は海側を海食崖で切られた台地の下である。地点1よ り南側の桜川河口までの区域には日立市により旧海食 崖の前面に公園が整備された。この公園が始まる地点 1では,前出しされた造成地の海側斜面に比高4.5 m もの浜崖が形成され,のり面に植えられていた松が地 盤ごと滑っていた(写真-8)。地点1までは露頭を 見れば明らかなように斜面は粘性土層で構成されていたが、地点1より南側には砂丘状の高まりがあり、そこに比高約3.5mの崖が形成されていた(写真-9,地点2)。この砂丘地は南側に向かって次第に標高が低下していたものの浜崖は連続的に伸びており、地点3、4では斜面上の松の倒木も起きていた(写真-10,11)。背後地上の地点5より北側に連なる浜崖の



図― 9 河原子海水浴場周辺の写真撮影地点





写真―10 浜崖は連続的に続く浜崖と斜面上の松の倒木(地点3)



写真―8 前出しされた造成地の海側斜面にできた比高 4.5 m の浜崖(図 ―9 の地点 1)



写真―11 次第に比高が低下しつつ南側へと続く浜崖(地点4)



写真― 9 砂丘地に形成された比高約 3.5 m の浜崖(地点 2)



写真―12 背後地上より北側に連なる浜崖の広がり状況を撮影(地点5)

図一3に示したように,河原子海水浴場では2003 年以降侵食が進んだが,ほぼ同じ時期に河原子海水浴 場の北側の区域でも浜崖侵食が進んでいたことは,河 原子海水浴場の侵食が局所的現象として起きたのでは なく,会瀬漁港から河原子港に至る全域での海浜変形 と連動していたことを表している。

## 4. 広域汀線変化と深浅図の解析

図一10には会瀬漁港~河原子港間における1975, 2010,2014年の汀線形状と,1975年基準での汀線変 化を示す。図によれば、1975~2010年の間,会瀬漁 港の離岸堤背後で堆砂が進み、汀線が最大80m前進 し、同時に河原子港に隣接する離岸堤背後でも堆砂が 進んだ。これに対し、これらに挟まれた鮎川~桜川間 では汀線が後退したことが見て取れる。汀線後退量は 最大でも30m程度と離岸堤背後での前進量と比べて 小さかったものの、鮎川~桜川河口間の全域で侵食が 進んだことが特徴である。このような侵食によって写 真-8~12に示す浜崖侵食が進んだことが分かる。 その後、2010~2014年では河原子港北側の離岸堤背 後で前進していた汀線が大きく後退する一方,会瀬漁 港の南側の離岸堤の背後では汀線が大きく前進した。 この間,鮎川~桜川間の汀線には大きな変化が見られ なかったことから,河原子港の北側隣接部から削り取 られた砂が北向きに移動し,会瀬漁港の南側の離岸堤 の背後に堆積したことが分かる。

以上のように,2010年まではポケットビーチの両 端を区切る岬部分で離岸堤が造られて波の遮蔽域が形 成されたため,波の遮蔽域外から遮蔽域へと砂が沿岸 漂砂により運ばれたことにより地形変化が起きたが, 2010~2014年では河原子港の北側隣接部から会瀬漁 港方面への沿岸漂砂が新たに起きたと推察される。す なわち河原子海水浴場での侵食は会瀬漁港から河原子 港全体での砂移動と密接に関係していることが分かっ た。

## 河原子港内での堆砂と会瀬漁港・河原子 港での浚渫土砂量

図— 11 には河原子港内の 1986, 1999, 2013 年の深 浅図を示す。これらによれば, 堆砂は東防波堤と泊地





図-11 河原子港内の深浅図

の北側を区切る中防波堤の間で集中的に起きている。 この堆砂は、その堆積状況から、主に東防波堤の付け 根にある烏帽子岩付近を横断して飛砂や越波により運 び込まれたと推定される。図—12は、東防波堤と泊 地の間の堆砂域の面積を求めた上、堆積域の前面水深



と後浜高を考慮して算出した堆積土砂量の経年変化を 示す。堆積土砂量は1987年から2000年頃までに急速 に増大し,この間の堆積量は1.5万m<sup>3</sup>(堆積速度: 1,200m<sup>3</sup>/yr)であった。

図一 13 には会瀬漁港と河原子港での浚渫土砂量の 経年変化を示す。会瀬漁港では 1955 年以降 2000 年ま で継続的に浚渫が行われ,この間の総浚渫量は 7.1 万 m<sup>3</sup>(平均浚渫量:1,580 m<sup>3</sup>/yr)であった。また,会 瀬漁港の防波堤港口部の概形は 1976 年にはほぼ完成 しており,漁港南側の防砂堤の建設は 1990 年からな ので,1976 ~ 1990 年での年平均浚渫量は 1,300 m<sup>3</sup>/yr となる。一方,2000 年以降,漁港の南側に隣接して 離岸堤と防砂突堤が造られて漂砂が阻止されたため堆 積量の増加は小さくなった。

河原子港では1983年から浚渫が始まり,2002年ま での総浚渫量は7.6万m<sup>3</sup>(年平均浚渫量:4,000m<sup>3</sup>)



であったが、2002 ~ 2009 年では年平均浚渫量は 2,300 m<sup>3</sup>/yr まで低下している。河原子港内での 2002 年ま での総浚渫量は 7.6 万 m<sup>3</sup>であるが、この間、図— 11 に示したように港内では 1.9 万 m<sup>3</sup>の砂が堆積してい るので、2002 年までの河原子港内への総堆砂量は 9.5 万 m<sup>3</sup>となる。浚渫量には泊地の水深を増すための掘 削も含まれているので、この総量が東防波堤を超えて 運び込まれたとは断定できないが、かなり多くの土砂 が浚渫により海岸域から除去されたことが分かる。

#### 6. おわりに

河原子海水浴場の位置する沿岸では、主として鮎川 や桜川からの供給土砂が汀線に沿って堆積し、汀線か ら200m沖までの狭い砂浜を形成していたと考えら れる。砂はその沖にも存在したが、沖合海域は露岩域 が発達した海底であり、砂は露岩の間にパッチ状に堆 積し、その量は多くはなかったと考えられる。このよ うな状況下で、会瀬漁港と河原子港の防波堤が伸ばさ れて港内では徐々に堆積が進み、さらに会瀬漁港では その南側隣接部に離岸堤が設置されたことにより、波 の遮蔽域へと北向きの沿岸漂砂が誘起され、海浜砂が 流出したことが主因となって著しい侵食が起きたと考 えられる。それに加え、2011年の大地震時の地盤沈 降が侵食を助長したと考えられる。会瀬漁港と河原子 港での総浚渫土砂量はそれぞれ 7.6 万 m<sup>3</sup>, 7.1 万 m<sup>3</sup> であり、他の外海・外洋に面した海岸での浚渫量と比 べて少なくとも1オーダー小さかったが, 元々の海浜 砂の賦存量が小さかったため、これらが海浜変形に大 きな影響を及ぼしたと推定される。

以上のように、当沿岸での侵食は広域での土砂バラ ンスの喪失により起きたことから、河原子海水浴場周 辺でのみ元の砂浜を復元しようとする試みは不成功に 終わることは明らかであろう。浚渫により海域から取 り出された砂は既に処分されているから失われた砂の 質量を取り戻すことは困難であり,また,会瀬漁港の 南側での砂の偏在は離岸堤などの施設がある限り続く ので,過去にあった砂浜の回復は容易ではない。この ような条件下で,現実的に取り得る方法としては,神 奈川県の茅ヶ崎中海岸<sup>4)</sup>で行われたように,ある程 度施設で囲まれた区域において,汀線近傍に集中的に 堆積するという特性を有する礫を含む粗粒材養浜を行 うことである。養浜は数年かけて繰り返し実施し,こ の間の成果を確認しつつ砂浜の回復を進めていく必要 があると考えられる。

JCMA

#### 《参 考 文 献》

- 1) 国土地理院 online: http://mekira.gsi.go.jp
- 字多高明,大木康弘,三波後郎:日立市河原子海水浴場で進む急激な 侵食の実態,土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 72, No. 2, pp. I\_103-I\_108, 2016.
- 字多高明,大木康弘:日立市河原子海水浴場の侵食の実態,土木技術 資料, Vol.59-8, pp.58-61, 2017.
- 4) 字多高明,三波俊郎,高橋幸一,蛸 哲之,石川仁憲:土砂バランスの崩れにより進む海浜変形と今後の土砂管理-湘南海岸の例,土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I\_751-I\_756, 2016.

[筆者紹介]
字多 高明
一般財団法



宇多 高明(うだ たかあき) 一般財団法人土木研究センター なぎさ総合研究所長

大木 康弘(おおき やすひろ) (㈱水圏科学コンサルタント

三波 俊郎 (さんなみ としろう) 海岸研究室 (有)