南九十九里浜一宮海岸の長期汀線変化と沿岸漂砂量分布の推定

LONG-TERM SHORELINE CHANGES AND ESTIMATION OF LONGSHORE SAND TRANSPORT ON ICHINOMIYA COAST

宇多高明¹・熊田貴之²・清水達也³・中山拓也⁴・石井光男⁵・保田英明⁶
Takaaki UDA, Takayuki KUMADA, Tatsuya SHIMIZU, Takuya NAKAYAMA,
Mitsuo ISHII and Hideaki YASUDA

¹正会員 工博 (財) 土木研究センター常務理事なぎさ総合研究室長兼
日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4タカラビル)

²正会員 博(工) (財) 土木研究センターなぎさ総合研究室
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4タカラビル)

³正会員 修(工) (有) アイコムネット環境コンサルティング部
(〒135-0064 東京都江東区青海2-7-4-627)

⁴千葉県県土整備部河川整備課海岸砂防室長 (〒260-8667 千葉市中央区市場町1-1)

⁵千葉県県土整備部河川整備課海岸砂防室副主幹 (〒260-8667 千葉県千葉市中央区市場町1-1)

⁶千葉県県土整備部河川整備課海岸砂防室副主査 (〒260-8667 千葉県千葉市中央区市場町1-1)

Ten artificial headlands was constructed on the Ichinomiya coast located in the south part of Kujukuri Beach facing the Pacific Ocean to control northward predominant longshore sand transport. However, the south breakwater of Taito fishing port was also constructed during the same period. This resulted in the formation of wave shelter zone, inducing southward longshore sand transport. Thus, the direction of longshore sand transport entirely changed on this coast. Presently artificial headlands are useful for controlling southward longshore sand transport to prevent sand deposition in the fishing port.

Key Words : Artificial headland, Ichinomiya coast, Kujukuri Beach, longshore sand transport, wave shelter zone

1. まえがき

九十九里浜は、房総半島東部において太平洋と接し、北端の屏風ヶ浦から南端の太東崎まで伸びる長さ約60kmの砂浜海岸であり、未固結の砂岩・泥岩で構成された屏風ヶ浦と太東崎の海食崖からの崩落土砂、および太東崎の南側に流入する夷隅川からの流出土砂が沿岸漂砂によって運ばれた砂が堆積してきた海岸である。海浜は細砂から構成されているため緩勾配の海浜が形成されている。この海岸では、1970年代以降進められた海食崖の侵食防止工事、九十九里浜の北端・南端に造られた飯岡・太東漁港による沿岸漂砂の阻止などにより供給土砂量が激減した結果、近年では弧状海岸線の両端部から中央部へと侵食が進んできている^{1) 2)}。このため九十九里浜南部に位置する一宮海岸では、1988年より10基のヘッドランド(HL)の建設が進められてきた。HLは、太東崎方面からの沿岸漂砂の供給量が激減した

中で、減少した沿岸漂砂に見合うようHLによって波の入射方向と海岸線とのなす角度を減じようとする目的のもとで1980年代に計画され、1988年以降段階的に建設工事が進められてきた。このようにHLは北向きの沿岸漂砂を制御することを目的として建設が進められてきたが、同じ期間に太東崎の付け根には太東漁港の防波堤が伸ばされたことから、それによる波の遮蔽効果が無視できない可能性が高い。しかし従来の研究^{1) 2)}ではこの点が十分検討されていなかった。そこで過去の空中写真による汀線変化分析などを行い、太東漁港の防波堤の建設により一宮海岸では沿岸漂砂の方向が反転したことを明らかにする。

2. 一宮海岸の長期的変遷

九十九里浜南端部に位置する一宮海岸では近年侵

(a) 1947年

(b) 2010年

図-1 一宮海岸の1947年と2010年の空中写真

食が著しい。しかしながら侵食の結果汀線が大きく後退して陸地が失われ海浜が狭まったか、あるいは陸域での土地利用の変化に伴い、利用済み空間が海側へと前進し、自然砂丘地が狭められて海浜が狭まったかは現況の海岸を観察したのみでは分らない。いずれの場合も海浜地が狭まる点においては同一の結果ではあるが、その意味するところは大きく異なる。海浜の幅は汀線と利用済み空間の海側境界線の差として定義されるがゆえにこのような現象が起こる。この点を一宮海岸について調べるために、最も古い時期の空中写真として1947年を、また最新の空中写真として2010年の空中写真を選んで比較した(図-1参照)。

1947年には海岸線近傍には最大約600m幅の自然砂丘地が広がっていた(図-1a)。しかし2010年にな

ると、市街地と保安林区域が海側に大きく前進した(図-1b)。図-1bには1947年の自然砂丘地と背後地との境界線、および汀線をそれぞれ破線で示す。HL2号から6号間に典型的に見られるように、1947年当時原野であった自然砂丘地のほぼ1/2は2010年には市街地になり、またその海側には保安林区域が形成され、海浜地がごくわずかになった。一方、1947年と比較すると、汀線は太東漁港の北側区域では局所的に前進しているが、大部分の区域では後退傾向を示す。しかしその量は自然砂丘地が市街地および保安林区域に変わった区域の幅と比較すれば大きくはない。このように一宮海岸では侵食は進んだものの、人為的改変に伴う背後地の利用空間の広がりのほうがはるかに大きいものであった。

図-2 太東漁港の防波堤の建設経緯（南防波堤の建設時期：1983-1991年）

3. 汀線の長期的変化

(1) 太東漁港の建設経緯

一宮海岸における汀線の長期的変化については、1947年撮影の空中写真を初回とし、その後1980、2000、2010年の3時期を選んでこの間の汀線変化を調べた。太東岬の海食崖の侵食防止のために海食崖基部に消波堤が設置されたのが1975年からであり、これにより沿岸漂砂の供給量が減少したと考えられることから1980年を選定した。その後、侵食の激化とともに1988年からHLによる対策が始まった。そこでHLの工事開始後12年の2000年、および2010年の空中写真を選定した。なお対象区域での汀線変化に大きな影響をもたらす太東漁港の防波堤の建設経緯は図-2に示すようである。第1西・東防波堤の建設は1974年より始まり、また第2西防波堤の建設が1976年から始まった。海岸線からの突出量の大きい南防波堤は1983年から1991年の8年間で北向きに335m伸ばされた。南防波堤は他の防波堤と比べて海岸線からの突出長が大きかったために、その北西側に大きな波の遮蔽域を形成することになった。またHLによる侵食対策工事が始まった時期（1988年）と、南防波堤の完成時期（1991年）とがほぼ同一であることが注目される。海岸には両者の影響が同時に現れると考えられるからである。なおこの種の解析では、汀線変化を示す時期が多すぎると各測定年の区別ができず、長期の汀線変化傾向を見失う恐れが高いため、ここでは数10年間の変化を示す意味で代表的と考えられる4時期の汀線を選定した。

(2) 汀線変化

図-3には1947年を基準として1980、2000、2010年までの汀線変化を示す。図には10基のHLの配置も示す。1980年までの汀線変化では、太東漁港のごく近傍では汀線が大きく前進したが、その北側のX=3.5kmからX=7kmの3.5km区間では著しく侵食が

図-3 1947年を基準とした1980、2000、2010年までの汀線変化

図-4 太東漁港周辺の汀線変化の拡大図

図-5 1980年基準での2000年と2010年までの汀線変化

図-6 2004年と2010年における一宮海岸の深浅図

進み、 $X=5.1\text{km}$ では汀線が最大42mも後退した。このような太東漁港の北側での汀線の著しい後退状況より、1980年当時は北向きの沿岸漂砂の供給量の激減によって侵食域が漁港の北側へと広がったことが分かる。またこうした状況を受けて海浜の安定化を図るために1980年代にはHLの計画が進められた。その後、太東漁港の防波堤が1991年までに伸ばされると、汀線の変化パターンに大きな変化が現れた。すなわち2000年までの汀線変化にあつては、1980年には汀線後退が著しかった太東漁港近傍では、一度は後退した汀線が再び前進した。これに対して $X=2\sim 5\text{km}$ 区間では侵食傾向となった。1990年以降HLの

建設が本格化すると、HL周辺でのスパイク状の汀線前進が見られたものの、HL間では依然として侵食傾向が続いた。これらの汀線変化と全く独立に、太東漁港の北側隣接部の $X=5.5\text{km}$ 以南では汀線前進が著しい。汀線前進区域が北側に広がらず $X=5.5\text{km}$ 以南に留まっていることは、防波堤による波の遮蔽効果がこの付近まで及び、北側隣接域から漂砂が逆流して防波堤遮蔽域へと入り込んでいることを示すと考えられる。図-4は、 $X=5\text{km}$ (HL7号堤) 以南の区域の汀線変化を拡大して示すが、太東漁港の北側隣接部に広い砂浜が形成されたことが明らかである。 $X=6.5\text{km}$ 以南で広がった海浜は夏季には太東漁港海

図-7 太東漁港の南防波堤の造る波の遮蔽域

水浴場として多くの人々に利用されている。

1980年以降の汀線変化を詳しく把握するために、図-5には1980年基準での2000年と2010年までの汀線変化を示す。太東漁港の防波堤は1991年までに完成したことから、防波堤による影響を明確な形で把握することができる。これによれば $X=5.5\text{km}$ 以南、すなわち8, 9, 10号堤付近では時間経過とともに汀線が前進し、8号堤から太東漁港までの 1.5km 区間において平均で2000年までに 18m 、2010年までに 47m 汀線が前進したことが明らかである。この汀線変化のみから波の遮蔽域に堆積した砂がどこから運び込まれたかを判断することはできないが、北側にはHL群が伸びており、沿岸漂砂の移動はかなり抑止される一方、HL間では侵食傾向にあること、太東漁港の防波堤南側海浜は近年安定し、土砂量の増減がほとんど見られないことなどから、北側隣接区域から逆流する形で砂が運び込まれたと推測される。

4. 沿岸漂砂量の算定

一宮海岸の汀線変化が明らかになったことから、次に一宮海岸における沿岸漂砂量分布について検討した。沿岸漂砂量の算定は、汀線変化量に漂砂の移動高を乗じる方法を用いた。この場合、一宮海岸では太東岬による波の遮蔽があるために、漂砂の移動高は北側から太東漁港に接近するに従い小さくなると考えられ、漂砂の移動高を一定値と仮定すると大きな誤差が含まれると考えられる。そこで深浅測量データを用いてまず漂砂の移動高の推定を行い、それに基づいて沿岸漂砂量を算出した。

(1) 深浅データに基づく漂砂の移動高の推定

漂砂の移動高を算出するには、2時期の深浅図をもとに縦断形を比較し、波による地形変化の限界水深 h_c とバーム高 h_R を求める必要がある。また比較期間において有意な地形変化がないと縦断形変化を調べることができない。このことから本研究では、一宮海岸全体を網羅した深浅測量が行われた2004年と現況の2010年の2時期の深浅図を用いて分析することとした。図-6は2004年と2010年の深浅図を示す。これらの深浅図によれば、4号堤より北側では汀線から -6m までの等深線が互いに平行に延びているが、

図-8 $X=4.64\text{km}$ 断面における縦断形変化

図-9 $X=6.62\text{km}$ 断面における縦断形変化

4号堤から太東漁港近傍では汀線と平行なのは -4m の等深線であり、これらの水深を境に岸側と沖側の海底勾配が急変し、岸側の海底勾配に比較して沖合では海底勾配が小さくなり、緩勾配に変わる。これは太東岬による波の遮蔽効果が現れていることによる。また細かく見ると2010年の深浅図において2～5号堤ではHLの沖合において等深線の蛇行が起きている。

一般に防波堤が伸ばされた場合、波の遮蔽域は通年のエネルギー平均波の方向（一宮海岸では $N97^\circ E$ ）方向³⁾を基準としてそれと 45° をなす方向へと広がる。図-7は、図-6bに破線で示す矩形領域を選び、太東漁港の南防波堤の先端を通して通年のエネルギー平均波の方向とそれと 45° をなす方向線を引き出したものであるが、ほぼ7号堤より南側が遮蔽域に入る。そこで波の遮蔽域外から $X=4.64\text{km}$ 断面、および遮蔽域内から $X=6.62\text{km}$ 断面を選び、これらの断面内での地形変化を調べた。

図-8は6号堤のすぐ南側を通る $X=4.64\text{km}$ 断面における縦断形変化を示す。6号堤は1991～1997年に縦堤が伸ばされた。この断面では2003、2004年にはバームと沖合のバーが並存する縦断形であったが、2005年までに侵食され凹状の縦断形となった。また、波による地形変化の限界水深はほぼ -6m にある。すなわちこの断面では $h_R=3\text{m}$ 、 $h_c=-6\text{m}$ となる。同様に図-9は、10号堤の南80mに位置する $X=6.62\text{km}$ 断面の縦断形変化を示すが、ここでは $h_R=2\text{m}$ 、 $h_c=-5\text{m}$ となる。漂砂の移動高を h_R と h_c の和で近似すれば、波の遮蔽域外と遮蔽域内ではそれぞれ 9m と 7m となる。

(2) 沿岸漂砂量分布の推定

漂砂の移動高が与えられたことから、南端の太東漁港を基点として1947年基準での汀線変化から海浜面積変化量を算出し、その上で図-10の上段に示す漂砂の移動高を乗じ、太東漁港から北向きに積分した海浜土砂変化量を図-10下段に示す。これによれば太東漁港の防波堤が大きく伸ばされる前の1980年では $X=5\text{km}$ 以南で堆積が起きていたが、時間経過とともに堆積域は北側へと広がり、2010年では $X=2\text{km}$ 以南が堆積域に変わった。

太東漁港の防波堤は1974年から伸ばされ、1980年には南防波堤を除きほぼ概成していたことから、ほぼ1980年以降太東漁港を回り込む沿岸漂砂量は大きく減少していたと考えられる。そこで1980年以降太東漁港を横切る沿岸漂砂量を0と仮定して1990、2000、2010年までの平均沿岸漂砂量を求めた。結果を図-11に示す。正の沿岸漂砂量は南向きの沿岸漂砂を表すが、3号堤より南側の区域ではいずれも太東漁港方面への沿岸漂砂となっている。また、北向きの沿岸漂砂は3号堤以北でのみ生じているが、それも近年では消失しつつある。

5. まとめ

南九十九里浜の一宮海岸では、太東崎方面から供給される北向きの沿岸漂砂の枯渇状況に対応し、減少した沿岸漂砂のもとで海岸線の安定化を図ることを目的として1988年からHLの建設が進められてきた。しかしHLの建設時期と重なる時期（1981-1991年）に太東漁港の南防波堤が建設され、これによる波の遮蔽効果が北側海浜に及び、波の遮蔽域の外側（北側）から内側（南側）への沿岸漂砂が生じ、太東漁港の近傍では著しい堆砂が生じた。沿岸漂砂の方向は太東漁港の防波堤建設前と比較して逆転することになった。HL群の建設には長い時間を要しているが、それらの建設期間中に当初設定された諸条件のうち最も基本となる沿岸漂砂の方向の反転が起きた。現在、太東漁港では堆砂が著しいが、これに伴って漁港の航路維持に支障を来しており、毎年浚渫が繰り返して行われているが十分な効果が現れていない。このように一宮海岸HL群は、当初は北向きの沿岸漂砂を阻止し海浜を防護することが目的であったが、基本となる沿岸漂砂の向きが反転した条件のもとでは、それらの施設の持つ意味がむしろ漁港への沿岸漂砂の逆流を防止し、漁港への過剰な堆砂を防止する役目が変わったと言える。一宮海岸のHLは侵食対策として建設に長い年月を要したが、その間にHLの建設の前提としてきた沿岸漂砂の条件が別の目的として造られた施設（防波堤）建設による影響で大きく変化したのである。これと同様な

図-10 太東漁港の北側区域での堆積侵食土砂量

図-11 太東漁港の北側区域での沿岸漂砂量分布

状況をたどった施設は全国に数多いと考えられるが、海岸状況のモニタリングなどを通じて海岸状況の変化を確認し、漂砂環境の変化に合わせて様々な改良を加えていくことが必要と考えられる。また、一宮海岸沖では沖合養浜⁴⁾も行われてきているが、従来その土砂は北向きの沿岸漂砂によって緩やかに拡散すると考えられ³⁾てきたが、上記分析結果によれば、土砂投入箇所によっては太東漁港への逆流を促進する可能性もあることから、沖合養浜の場所の選定にも十分注意を払う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 宇多高明：日本の海岸侵食，山海堂，p. 442，1997。
- 2) 宇多高明，古池 鋼，三波俊郎，芹沢真澄：海食崖に続く堆積性弧状海岸線の形成とその変形予測，地形，Vol. 30，pp. 331-348，2009。
- 3) 宇多高明，古池 鋼，星上幸良，長山英樹：南九十九里浜における侵食対策としての養浜の効果検討，海岸工学論文集，第55巻，pp. 731-735，2008。
- 4) 宇多高明，田代洋一，長山英樹：ナローマルチビーム測量による沖合養浜時の土砂移動観測，海岸工学論文集，第55巻，pp. 776-780，2008。