

ヘッドランドの規模の相違が海浜変形と通過沿岸漂砂量に及ぼす影響

Changes in Bathymetry and Longshore Sand Transport around Artificial Headland with Various Shapes and Scales

宇多高明¹・渡辺宗介²・古池 鋼²・星上幸良³・長山英樹⁴

Takaaki UDA, Shusuke WATANABE, Kou FURUIKE, Yukiyooshi HOSHIGAMI and Hideki NAGAYAMA

The bathymetric changes and changes in longshore sand transport passing through the tip of the headland were investigated using the contour-line-change model, while changing the shape and scale of the artificial headland. The maximum shoreline recession and eroded area downcoast of the headland, and rate of decrease in longshore sand transport were compared each other. It is concluded that the groin part of the headland must be extended first to reduce longshore sand transport off the artificial headland.

1. はじめに

九十九里浜南部の一宮海岸では、1990年からヘッドランド (HL) 10基の建設が進められてきており、2,3号HLはすでに横堤も含めて完成している。しかし残りのHLは未完成である。このような方式によるHLの建設においては、できるだけ速やかに効果が発現される手法を選択する必要があるが、HLの諸元を変えた場合の効果を定量的意味から評価する方法が十分確立していないために、現場では試行錯誤的に検討が進められることが多い。しかし細砂で構成される緩勾配の海岸の場合、細砂の持つ平衡勾配が小さいために、HLの先端を沿岸漂砂が回り込んで下手側海岸へと通過可能であり、したがってHLの保全効果も必然的に時間の関数となり、一般的な評価を行うことは難しい。これではHLの設計に困難を来す。そこで、本研究では芹沢ら (2002) の等深線変化モデルを用いて、一宮海岸をモデルとしてHLの諸元を様々変化させ、HL周辺海岸における侵食・堆積や、HL沖の通過沿岸漂砂量の変化を定量的に評価することによりHLの最適設計法について考察する。

2. 検討方法

一宮海岸を対象とするHLの平面形状は図-1のようである。現況では長さ100mの縦堤のみが造られている。ケース1では縦堤の長さを現況の2倍の200mとする。ケー

ス2は、HL効果の早期実現を狙いとして、横堤 (離岸堤) を先に造る案である。ケース3はケース2の縦堤と横堤の開口部を塞いだものである。形状的にはHLの完成形であるケース4と同じ形状であるが、横堤が透過式である。ケース5では、縦堤長を100mに保ったまま横堤を長くしてある。ケース6は、横堤の長さをケース5と同一とするが、縦堤長を2倍とする。

宇多ら (2000) は、自然状態において太東岬の北約5kmに位置する一宮海岸を通過する沿岸漂砂量を $10\text{万m}^3/\text{yr}$ と推定した。しかし近年ではHLも設置されていることから沿岸漂砂量も減少しているはずである。そこで等深線変化モデルによる広域計算を行ったところ、一宮海岸における北向きの沿岸漂砂量は約 $7\text{万m}^3/\text{yr}$ となった。そこでHLの効果予測においては、この漂砂量が連続的に流れることによって動的平衡状態となっている海岸にHLが造られると考えて検討を進めた。等深線変化モデルにおける各種係数値は表-1の通りである。

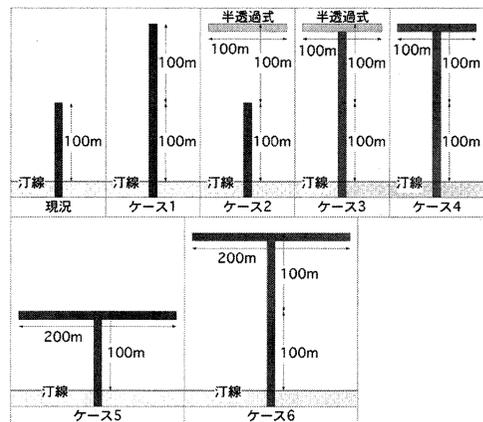


図-1 ヘッドランド (HL) の平面形状

- | | | |
|-------|----|--|
| 1 正会員 | 工博 | (財)土木研究センター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 |
| 2 | | 海岸研究室(有) |
| 3 正会員 | 工博 | 国際航業(株)海洋情報室 |
| 4 正会員 | 工修 | (財)土木研究センターなぎさ総合研究室主任研究員 |

表-1 計算条件

数値計算手法	海浜縦断形の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル：芹沢ら (2002)
計算対象範囲	ヘッドランド周辺：延長 10km
初期地形	直線平行等深線
入射波条件	砕波波高 $H_b=1.25m$, $\alpha_b=12^\circ$
潮位条件	M. S. L. =T. P. $\pm 0.0m$
地形変化の水深範囲	地形変化の限界水深 $h_c=9m$, パーム高 $h_r=3m$
漂砂量係数	沿岸漂砂量 7 万 m^3/yr で動的平衡 沿岸漂砂量係数 $K_x=0.014$ 岸沖漂砂量係数 $K_y=0.2K_x$ 小笹・ブランプトン項の係数 $K_z=1.62K_x$
沿岸・岸沖漂砂の水深分布	宇多・河野の分布 (1996)
平衡勾配	$\tan \beta_c=1/50$
土砂落ち込みの限界勾配	陸上：1/2, 水中：1/3
計算等深線範囲	$z=+3m \sim -9m$
計算メッシュ	沿岸方向 $\Delta X=20m$, 鉛直方向 $\Delta Z=1m$
計算時間間隔	$\Delta t=8.76hr$
計算ステップ数	8000steps (=8年)
境界条件	海岸線両端部で汀線固定, 岸沖端： $q_x=0$
数値計算法	陽解法による差分法
波浪計算方法	方向分散法, $S_{max}=10$
その他	透過式横堤の波高伝達率 $K_r=0.2$

3. 検討結果

(1) HL周辺の地形変化

図-2は、現況における初期、計算開始後2,8年の等深線形状を示す。長さ100mの縦堤があるため、左向きの沿岸漂砂がHLによって一部阻止される。このためHLの上手側では等深線が前進し、下手側ではHLによる波の遮蔽域の一部を除き等深線が後退する。上手側での汀線前進と、下手側での汀線後退は時間の関数となり、経過時間が長くなるほど影響圏が左右に広がる。またHL沖を沿岸漂砂が通過するために、HLの右半平面では等深線が緩やかに突出し、左半平面では後退する。

縦堤を現況に対して2倍伸ばしたケース1の予測結果を図-3に示す。現況（図-2）と比較すると、縦堤の延伸により周辺の地形変化量が大きくなった。同様に、縦堤と横堤の間に隙間があるケース2では（図-4参照）、縦堤がある場合（図-3）とほぼ同様な地形変化であって、隙間部分では等深線が急激に前進し、横堤背後には舌状砂州が形成された。しかし横堤のすぐ下手側の3mの等深線付近に深掘れが生じている。

縦堤長を100m、横堤長を200mとしたケース5では、現況と縦堤の長さは同一であるが、横堤の建設によって図-2,5の比較から明らかのように上手・下手側での汀線変化が著しくなった。HLの規模が最も大きいケース6では地形変化の規模が最大となる（図-6参照）。

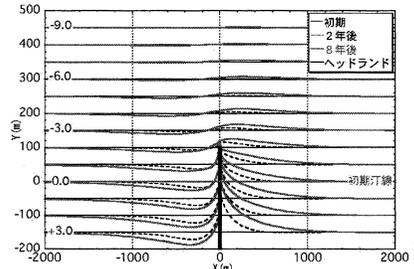


図-2 現況における初期、計算開始後2,8年の等深線形状

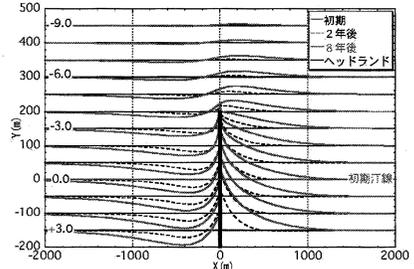


図-3 縦堤を現況に対して2倍伸ばしたケース1の予測結果

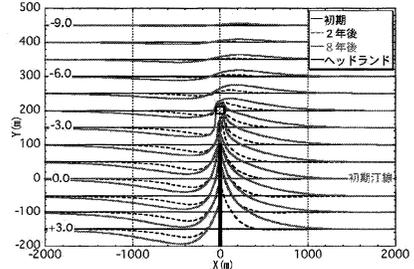


図-4 縦堤と横堤の間に隙間があるケース2の予測結果

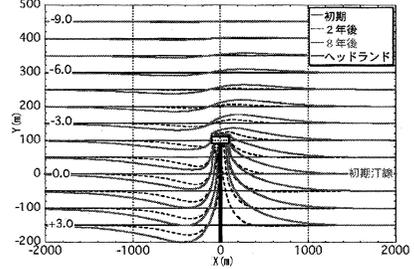


図-5 縦堤長を100m、横堤長を200mとしたケース5の予測結果

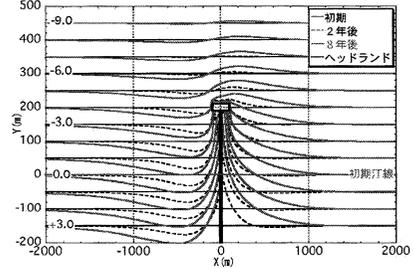


図-6 HLの規模が最も大きいケース6の予測結果

(2) HL下手側での汀線最大後退量

HL設置後の海浜変形は時間の関数となるので、HL施工

後におけるHL下手側での汀線最大後退量も時間の関数となる。表-2には各ケースのHLの諸元（縦堤長，横堤の離岸距離，横堤長，横堤透過率）をまとめて示す。これより横堤の透過性，縦堤・横堤長の効果，HLの伸張方向（縦・横）を変えた場合の機能評価を行うことができる。

図-7は，縦堤を延伸した場合の汀線最大後退量の変化を示す。現況（縦堤長100m）とケース1（縦堤長200m），ケース5（縦堤長100m+横堤200m）およびケース6（縦堤200m+横堤200m）の比較である。縦堤の長さのみ異なる現況とケース1の比較では，HL設置後約半年までは汀線最大後退量にほぼ差はないが，その後は縦堤を延伸したケース1の汀線最大後退量が大きくなり，その差も徐々に増大傾向となる。8年後では現況に対して55%汀線の最大後退量が増加する。一方，横堤の長さを200mと一定として，縦堤長を100m,200mとしたケース5，6の比較では，HL設置後約2年までは縦堤の短いケース5の汀線最大後退量が多いが，その後は逆転し縦堤の長いケース6の汀線最大後退量が大きくなり，その差も徐々に増大傾向となる。これらより横堤の有無にかかわらず，縦堤を延伸すればするほどHL下手側の汀線最大後退量は増大すること，横堤の長さが一定の場合には，縦堤が長いほどHL下手側での汀線最大後退量が大きくなること分かる。

図-8は縦堤長を200mに保って横堤を延ばした場合の汀線最大後退量の変化を示す。ケース1は横堤なし（0m），ケース4は横堤長が100m，ケース6は横堤長が200mである。2年目以降，ケース1と比較してケース4では約20%，ケース6では約30%汀線最大後退量が増大する。このことは縦堤の長さを一定に保って横堤を延伸する場合，横堤を伸ばせば伸ばすほどHL下手側の汀線最大後退量が増加することを示す。

図-9には現況に対して縦堤を沖に100m延ばした場合（ケース1）と，200mの横堤を延ばした場合（ケース5）の最大汀線後退量の変化を示す。現況とケース1の比較によれば，縦堤を伸ばすと沿岸漂砂の阻止率が高まる結果，HL下手側における汀線最大後退量は増大する。またケース5でも横堤により沿岸漂砂の阻止率が高まるため最大汀線後退量が増大する。横堤を200m延伸したケース5の方が，縦堤を100m延伸したケース1より汀線最大後退量は大きい，時間が経つにつれてその差は減少する。

表-2 各ケースのHLの諸元（縦堤長，横堤の離岸距離，横堤長，横堤透過率）

ケース	現況	1	2	3	4	5	6
縦堤長 (m)	100	200	100	200	200	100	200
横堤の離岸距離 (m)	-	-	200	200	200	100	200
横堤長 (m)	0	0	100	100	100	200	200
横堤透過率	-	-	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0

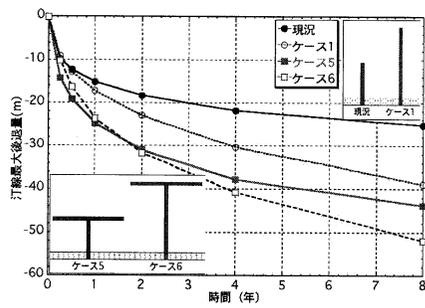


図-7 縦堤を延伸した場合の汀線最大後退量の変化

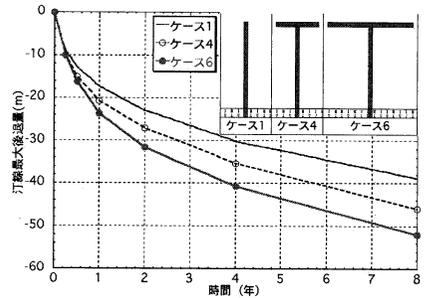


図-8 縦堤長を200mに保ったまま横堤を延ばした場合の汀線最大後退量の変化

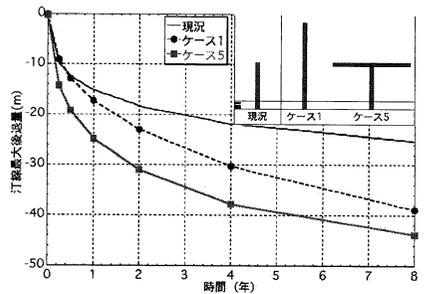


図-9 ケース1,5の最大汀線後退量の変化

(3) HL下手側での侵食面積

図-10には縦堤を延ばした場合の侵食面積の変化を示す。現況（縦堤長100m）とケース1（縦堤長200m）の比較では，縦堤長が伸びたため侵食面積が大きく増大している。また縦堤長が200mの場合（ケース1）と縦堤長100mで横堤長が200mの場合（ケース5），HL下手側での侵食面積はほぼ同一となることが注目される。また縦堤長200mのケース1と，ケース6（突堤200m+横堤200m）を比較すると横堤の延伸によって侵食面積が大きく増大している。8年目で評価すると，縦堤の延伸により，現況に対してケース1,5では侵食面積が約55%増大し，ケース6では約2倍になる。縦堤・横堤の規模を増大するといずれの場合も侵食面積が増大する。

図-11には縦堤の長さを200mに保ったまま，横堤を0, 100m, 200mと延ばしたケース1,4,6の侵食面積の変化を

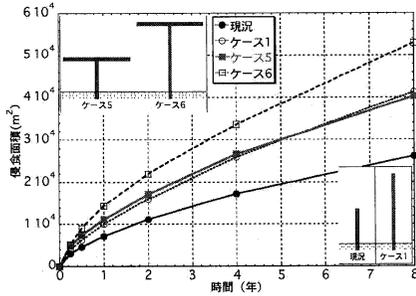


図-10 縦堤を延ばした場合の侵食面積の変化

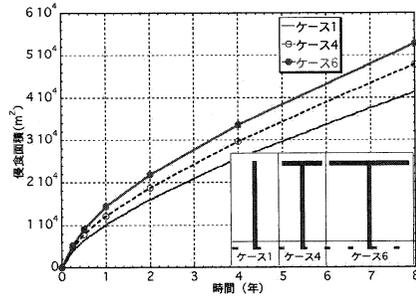


図-11 縦堤長を200mに保って横堤を延ばした場合の侵食面積の変化

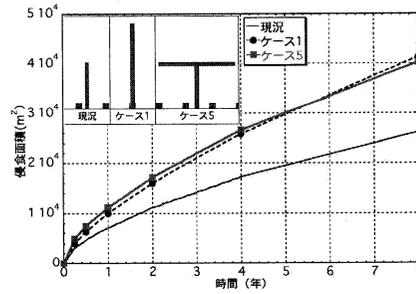


図-12 ケース1, 5の侵食面積の変化

示す。これによれば横堤長が長いほど侵食面積は増大するが、その差はそれほど大きくなく、縦堤の長さのほうが侵食面積に大きく影響している。200mの縦堤から横堤を伸ばした場合における横堤長の影響としては、2年目以降でケース1と比較してケース4では約15%、ケース6では約30%の侵食面積の増大を招く。

図-12には現況に対して縦堤を沖に100m延ばした場合(ケース1)と、200mの横堤を延ばした場合(ケース5)の侵食面積の変化を示す。図によると、ケース1と5は全期間でほぼ同一の結果となっており、8年目では約55%侵食面積が増大している。よって現況と比較して、縦堤を100m延長する案と、200mの横堤延長案はほぼ等しい結果となることがわかる。

(4) HL下手側での通過沿岸漂砂量の変化

図-13には現況、ケース1(縦堤長200m)、ケース5(縦

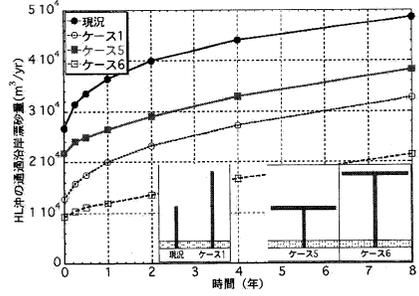


図-13 現況、ケース1,5,6におけるHL沖の通過沿岸漂砂量の変化

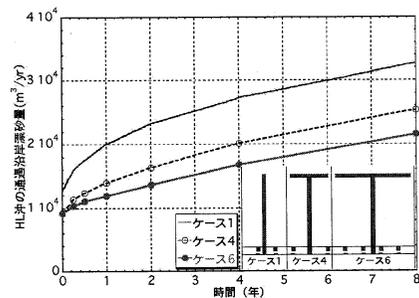


図-14 縦堤長を200mに保ったまま横堤を延ばした場合のHL沖の通過沿岸漂砂量の変化

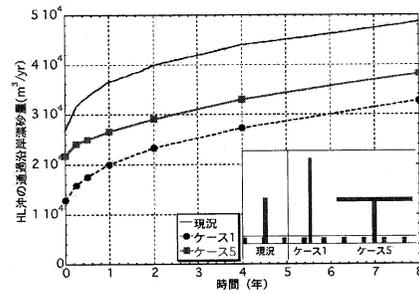


図-15 ケース1,5におけるHL沖の通過沿岸漂砂量の変化

堤長100m+横堤長200m)、ケース6(縦堤長200m+横堤長200m)における、HL沖の通過沿岸漂砂量の変化を示す。通過沿岸漂砂量の低減上効果が高いのは、縦堤の長さである。一方、横堤による沿岸漂砂量の低減効果は縦堤よりも小さいが、それなりの低減効果は見られる。これより縦堤を早期に建設するほうが通過沿岸漂砂量の低減には役立つことが明らかである。

図-14には、縦堤長を200mとしたまま横堤を延ばした場合におけるHL沖の通過沿岸漂砂量の変化を示す。ここにケース1の横堤は0m、ケース4は100m、ケース8は200mである。これによると、横堤を延伸するほどHL沖の通過沿岸漂砂量が減少しており、2年目以降ではケース1と比較してケース4では約25%、ケース6では約35%通過沿岸漂砂量が減少する。またケース6はケース4に対し約15%沿岸漂砂量が減少している。したがって横堤を

延ばすほどHL沖の通過沿岸漂砂量は減少するが、横堤を初期に100m延ばす方が、100mの再延長よりも阻止効率が低いことがわかる。

図-15は、現況に対して縦堤を100m延ばした場合(ケース1)と、縦堤長は現況と同一のまま200mの横堤を延ばした場合(ケース5)における、HL沖の通過沿岸漂砂量の変化を示す。これによれば現況と比較していずれの場合も通過沿岸漂砂の低減効果があるが、全期間でケース1の方がケース5より通過沿岸漂砂量が少ない。2年目以降では現況と比較してケース1では約35%、ケース5では約20%通過沿岸漂砂量が低減している。このことから、HL沖を通過する沿岸漂砂の阻止能力を高めるには、やはり縦堤を早期に建設することが有効なことが分かる。

(5) 各案の総合比較

8年後の計算結果より、図-16には現況と各ケースの汀線の最大前進・後退量、堆積・侵食面積、HL沖の通過沿岸漂砂量を示す。汀線の最大後退量はHLの長さや形状にあまり依存しないが、汀線最大前進量は縦堤と横堤の長さ両者に依存し、構造物の全体規模が増すほど増加する。また侵食面積と堆積面積には高い相関があり、大きな堆積面積を期待すれば同時に侵食面積も増加することとなる。さらに侵食・堆積面積と汀線最大前進量の間でも高い相関があり、汀線最大前進量が大きければ大きいほど堆積面積、侵食面積も増大している。一方、HL沖を通過する沿岸漂砂量には汀線最大前進量と逆相関が見られ、汀線最大前進量が大きい形状ほどHL沖の通過沿岸漂砂量が小さくなる。一定のコストでHLを造る場合には縦堤の長さが長いほど効果が大きいことから、ケース1,3,4が有効であり、その場合横堤が透過でも不透過でもほぼ同様な結果となる。また現況と比較して透過式であってもケース2のように横堤を早期に造ることも沿岸漂砂の低減に役立つ。

4. 結論

①今回検討対象とした横堤の透過率の差(0.2と0.0)は、汀線最大後退量、侵食面積、HL沖の通過沿岸漂砂量に与える影響はほとんどない。②縦堤の長さを一定に保って横堤を延伸する場合、横堤を伸ばせば伸ばすほどHL下手側の汀線最大後退量が増加する。また横堤の長さが一定の場合、縦堤が長いほどHL下手側での汀線最大後退量が大きくなる。③縦堤・横堤の規模を大きくすると侵食面積が増大する。横堤長が長いほど侵食面積は増大するが、その差はそれほど大きくなく、縦堤の長さのほうが侵食面積に大きく影響する。④横堤を延ばすほどHL沖の通過沿岸漂砂量は減少するが、横堤を初期に100m延ばす方が100mの再延長よりも阻止効率が低い。

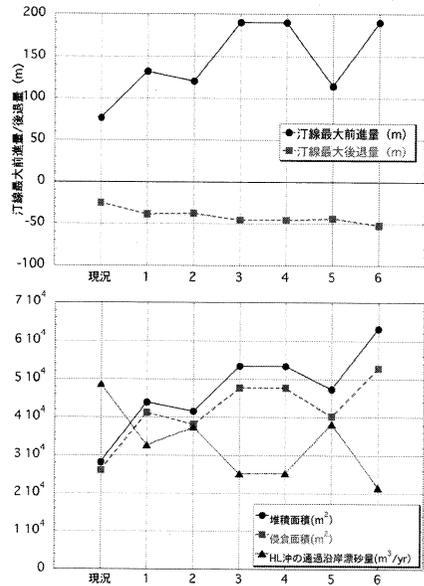


図-16 各ケースの汀線最大前進・後退量、堆積・侵食面積、HL沖の通過沿岸漂砂量

⑤通過沿岸漂砂量の低減上効果が高いのは縦堤の長さである。これに対して横堤による沿岸漂砂量の低減効果は縦堤よりも小さいが、それなりの低減効果は見られる。これより縦堤を早期に建設するほうが通過沿岸漂砂量の低減には役立つ。⑥現況と比較して縦堤を100m延長する案と、200mの横堤延長案はほぼ等しい結果となる。このことから、HL沖を通過する沿岸漂砂の阻止能力を高めるには縦堤の早期建設が有効である。なお、本計算で用いた波高条件では、砕波位置がHL先端よりも岸側にくるが、荒天時には、砕波はHL先端沖合で生じ、砂の動く範囲はHL外側に及ぶ。このような現象はここでは考慮していないが、そのような条件となればHLの漂砂制御効果がその分低下することとなる。ここではHL単体としての最適設計法を示したが、複数基のHLについても同様な手順で検討が可能である。

参考文献

- 宇多高明・青木高臣・星上幸良・古池 綱・長山英樹(2007)：ヘッドランドの沿岸漂砂阻止機能の定量的評価，海洋開発論文集，第23巻，pp.1237-1242。
 宇多高明・河野茂樹(1996)：海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発，土木学会論文集，No.539/35，pp.121-139。
 宇多高明・高田 修・星上幸良・芹沢真澄・三波俊郎・古池 綱(2000)：九十九里海岸における地質年代スケールの沿岸漂砂量の推定，海岸工学論文集，第47巻，pp.686-690。
 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 綱・熊田貴之(2002)：海浜縦断形の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル，海洋開発論文集，第49巻，pp.496-500。