

ヘッドランド間での離岸堤と養浜を組み合わせ た養浜効果の早期発現法

RAPID FORMATION OF STABLE BEACH BY BEACH NOURISHMENT
BETWEEN ARTIFICIAL HEADLANDS USING DETACHED BREAKWATER

中山拓也¹・宇多高明²・野志保仁³・酒井和也⁴
Takuya NAKAYAMA, Takaaki UDA, Yasuhito NOSHI and Kazuya SAKAI

¹千葉県県土整備部河川整備課 (〒260-0855 千葉県千葉市中央区市場町1-1)

²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)

³正会員 博 (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正会員 修 (工) (財) 土木研究センター河川・海岸研究部
(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

Beach nourishment is planned between the artificial headland Nos. 2 and 3 on the Ichinomiya coast. In this beach nourishment, sand with the grain size coarser than that of the present beach materials ($d_{50}=0.15$ mm) is planned to use. Because such sand has a larger equilibrium slope, stable beach is easy to be formed. To obtain the effect of beach nourishment as fast as possible, the effect of constructing a small-scale detached breakwater between the headlands was investigated using the BG model proposed by Serizawa et al. (2006). The formation of a stable beach with at least 10 m width to prevent wave overtopping was confirmed by numerical simulation.

Key Words : Beach nourishment, BG model, Ichinomiya coast, artificial headland, seasonal changes

1. まえがき

九十九里浜南部に位置する一宮海岸では、太東崎方面からの漂砂供給が激減したことにより侵食が著しく進んできた。このため1990年からヘッドランド(HL)の建設が進められてきたが、HL建設中も北向

きの沿岸漂砂の流出が続いたため、一宮海水浴場のある2,3号HL付近では前浜が消失し、護岸に直接波が当たる状態となった。とくにHL先端で横堤が伸ばされて波の遮蔽効果が強まった後、中央部での水深増加が著しくなった(図-1参照)。このような状況はHL周辺で一般的に見られる現象であり¹⁾、中央



図-1 一宮海岸の2,3号HL間の空中写真(2007年)

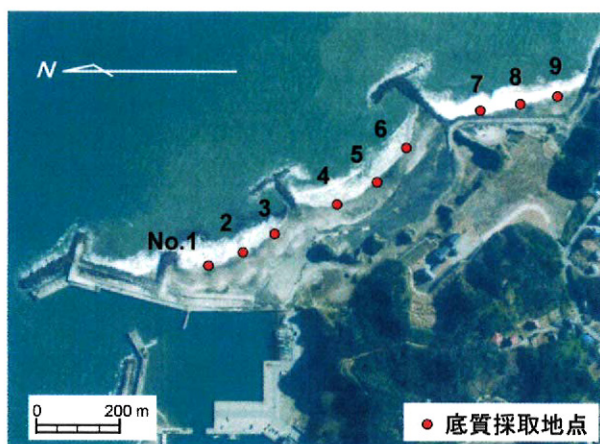


図-2 太東漁港南側の堆積土砂採取区域の空中写真



図-3 代表地点No. 5付近の前浜勾配

部での越波軽減や砂浜幅の確保上何らかの対応が求められている。とくに一宮海岸の2,3号HL間は海水浴場として利用されてきたために、できるだけ速やかに前浜を復活してほしいとの要望が出ている。このことから、2,3号HL間での養浜計画が検討されることになった。養浜の基本的考え方は、現況の一宮海岸の海浜砂の粒径（中央粒径0.15mm程度）より粒径が大きく、したがって平衡勾配の大きな砂を投入することにより安定な前浜を創出することにより、同時に養浜効果の発現を早めるために、HL間の中央部に小規模な離岸堤を設置する案が検討された。平衡勾配の大きな砂礫を養浜材として用いた場合の効果は、すでに茨城県の鹿島灘に面した神向寺海岸での粗粒材養浜により確認された。本研究でもこれと類似の考えによるが、投入砂の粒径を神向寺海岸の場合ほど大きくせず、現地砂の粒径よりは大きい、礫は含まない案について検討を進めることとし、芹沢ら²⁾のBGモデルを用いて、2,3号HL間での養浜において養浜砂が流出せずに最低浜幅10mの確保が可能かどうかの視点から検討を進めた。

2. 計算条件

初期地形には2006年の実測海底地形を固定床とし

表-1 太東漁港南側の堆積土砂の前浜勾配と d_{50}

地点 No.	前浜勾配	d_{50}
1	1/13	0.34
2	1/14	0.31
3	1/16	0.34
4	1/13	0.31
5	1/17	0.30
6	1/9	0.30
7	※	※
8	1/7	0.27
9	1/12	0.30

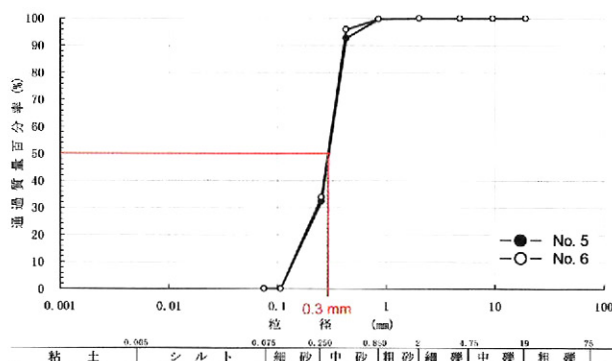


図-4 代表地点 (No. 5, No. 6) の粒径加積曲線

て与えた。入射波条件については、養浜計画策定検討に関する南九十九里浜の海浜変形計算で使用された年間のエネルギー平均波 ($H=1.6$ m, 波向 $E10^{\circ}S$) を考慮するとともに、銚子で観測された夏季・冬季の2方向性の波を作用させた場合、夏季・冬季の波のエネルギーフラックスの合計が通年の波のエネルギーと同じになるよう波の作用頻度を変えた。すなわち通年のエネルギーフラックスは $-1.6^{5/2} \times \sin 10^{\circ}$ t・m/m/sであるが、これを夏季 ($-1.4^{5/2} \times \sin 23^{\circ} \times 0.8$ t・m/m/s) と冬季のエネルギーフラックス ($1.8^{5/2} \times \sin 11^{\circ} \times 0.20$ t・m/m/s) の和と考えると、夏季と冬季の波浪出現頻度は4対1となる。

養浜材料には太東漁港南側の堆積土砂を用いることを想定し、現地で計測した底質採取と前浜勾配を条件として設定した。図-2に示すように、太東漁港の南側堆積域において、汀線沿いに北側から南側へと約100 m間隔で9測点を配置し、各点で前浜勾配と底質材料の d_{50} を測定した。例えば図-3は測点No. 5付近の前浜状況を示すが、比較的急な前浜勾配を有することが分かる。表-1と図-4には各測点における前浜勾配と底質、および d_{50} の等しいNo. 5とNo. 6における底質の粒径加積曲線を示す。前浜勾配は平均で1/12.5、 d_{50} は0.3 mmであり、よく淘汰された細砂である。その他の地点の砂もよく淘汰されており細砂で構成されていた。この結果をもとに養浜砂の粒径と平衡勾配は $d=0.3$ mm, $\tan \beta=1/12.5$ とした。

波による地形変化が起こる範囲は、本来であれば波高に依存して変化させる必要があるが、養浜砂が

表-2 計算条件

初期地形		2006年現況等深線
養浜粒径		0.3 mm
養浜砂の平衡勾配		1/12.5
交換層幅 B(m)		0.038
入射波条件	碎波波高 H_b (m)	年間 1.6 夏季 1.4 冬季 1.8
	碎波波向 α (deg.)	年間 -10 夏季 -23 冬季 11
地形変化の水深範囲	潮位条件 M.S.L.(m)	0.0
	地形変化の限界水深 h_c (m)	6.0
漂砂量係数	バーム高 h_R (m)	3.0
	漂砂量係数 A	0.3
	小笹プランクトン項の係数	1.7
土砂落ち込みの限界勾配	岸沖・沿岸漂砂量係数比	0.2
	陸域	1/2
計算範囲	海域	1/3
	沿岸方向 X(m)	1200
計算メッシュ	岸沖方向 Y(m)	750
	ΔX (m)	10
	ΔY (m)	10
計算時間間隔 Δt (hr)		1
計算ステップ数		8,670

現地海浜よりも粗い粒径であり、平衡勾配が大きいことからバーム高を $h_R=3.0$ m、波による地形変化の限界水深を $h_c=6.0$ mの一定値とした。その他の詳細な計算条件については表-2に示す。

3. 離岸堤と養浜の組み合わせ工法による養浜の早期効果発現手法の検討

(1) 中央部に小規模離岸堤を設置（ケース1）

ケース1は、2-3号HLの中央に小規模な離岸堤を設置し、その北側区域において $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で養浜を行う案である。検討対象の離岸堤は、図-5に示すように長さが100m、設置水深が1m、離岸距離が50mと小規模なもので、不透過構造を有する。また養浜効果の早期実現には、初期に養浜を行う北側区域から南側区域へと砂が流れ出ないことが有効なことから離岸堤背後には不透過の突堤を考えた。また実際にはHL間の距離と離岸堤の規模の関係が重要であるが、本研究では一般的な検討ではなく、間隔1kmのHLを有する一宮海岸を対象とし、しかも養浜効果の発現後離岸堤の撤去を想定しているため、できるだけ小規模な離岸堤を検討対象とした。

養浜区域は図-5に破線で示す水深-1mよりも陸側

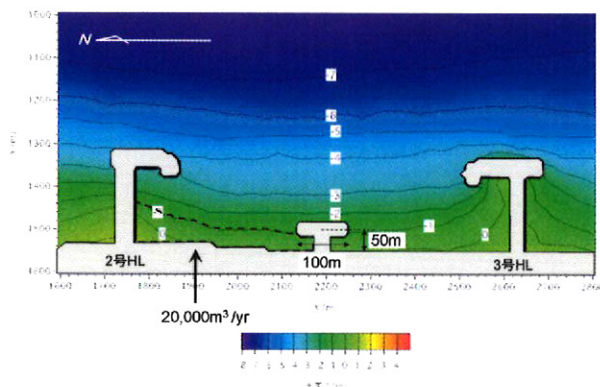


図-5 離岸堤配置と離岸堤の北側の養浜区域（ケース1）

の区域とし、養浜後右斜め 10° の方向から年間のエネルギー平均波（波高1.6m）が1年間作用した場合の海浜形状を予測した（図-6）。図-5,6の比較が

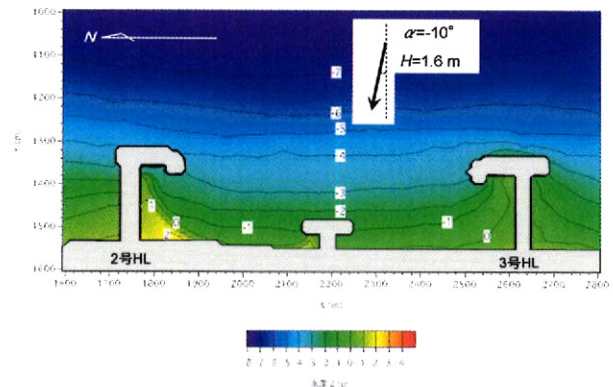


図-6 年平均波の作用1年後の海浜形状（ケース1）

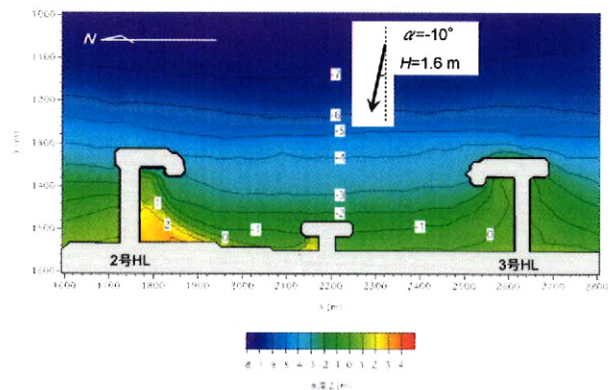


図-7 年平均波の作用2年後の海浜形状（ケース1）

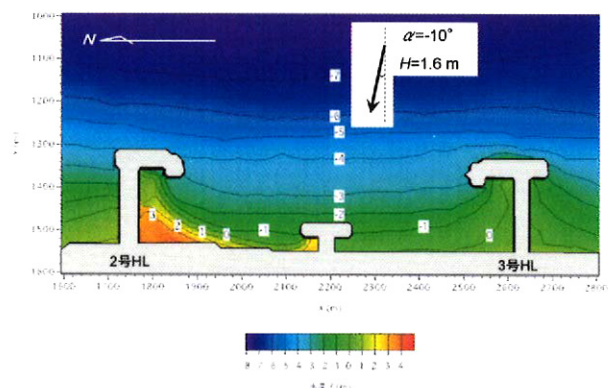


図-8 年平均波の作用3年後の海浜形状（ケース1）

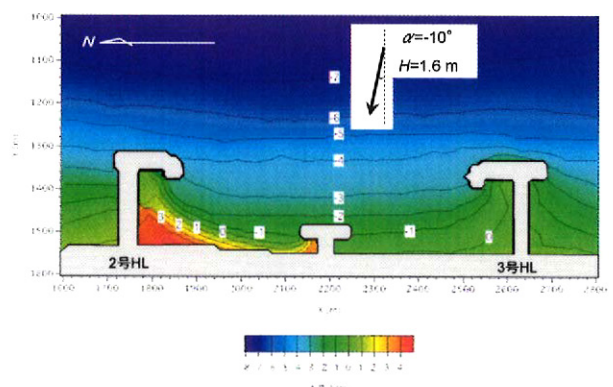


図-9 年平均波の作用4年後の海浜形状（ケース1）

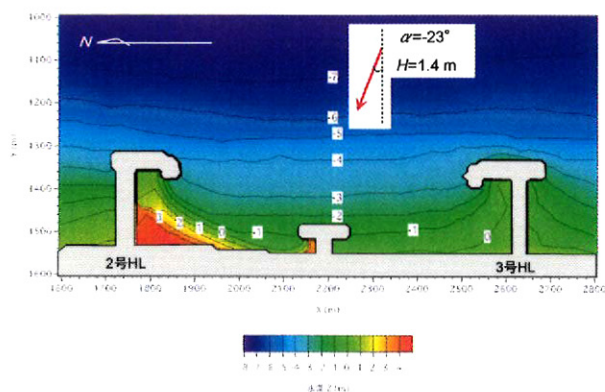


図-10 夏季波浪作用後の海浜形状（ケース1）

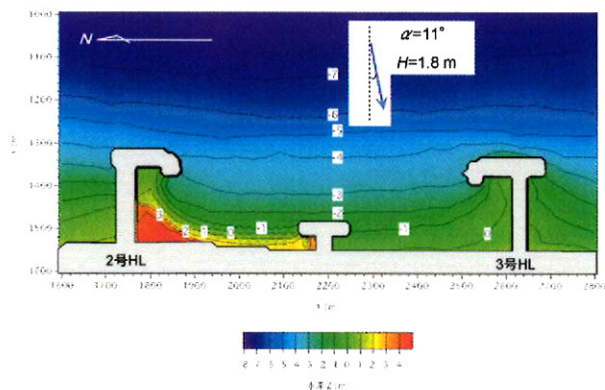


図-11 冬季波浪作用後の海浜形状（ケース1）

ら分かるように、養浜砂の大部分は2号HL背後の遮蔽域へ移動し、一部が中央の離岸堤背後に堆積している。この結果前浜の拡幅効果は認められるものの、離岸堤の北側隣接域では護岸が露出し、必要浜幅10mを達成することができないことから総量 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ の養浜では養浜量が不足することが明らかである。そこで養浜をさらに継続し、2,3年後の海浜形状を求めたのが図-7,8である。養浜の継続により着実に浜幅は広がるが、2年後でも必要浜幅10mを達成できない。3年間養浜を継続すると浜幅はさらに広がるものの、依然として全域で必要浜幅10mを確保するはできない。このことから養浜を4年間継続した（図-9）。この結果、4年間で総量 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ の養浜によれば必要浜幅10mの確保が可能となった。

以上のように養浜後年平均波が作用する条件のもとでは4年間で総量 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ の養浜を行えば目標浜幅10mの確保が可能であるが、実際には一宮海岸では波の入射方向の季節変動があるため、そのような変動があっても養浜土砂がHLと離岸堤に挟まれた区間から流出しないかどうかの検討が必要である。このことから、まず夏季波浪作用時の地形変化について調べた。養浜実施後年平均波を4年間作用させた後の海浜（図-9）に夏季波浪（波高1.4m、右斜め23°からの入射）を作用させた結果を図-10に示す。夏季波浪を作用させた場合にも2号HLよりも北に養浜砂が流出することなく、また必要浜幅10mが確保できている。同様に図-9の状態に対して冬季波浪を作用させた後の海浜形状を図-11に示す。冬季波浪を作用させても中央部の小規模HLよりも南に養浜

砂が流出することなく、また必要浜幅10mも確保できている。このことから、2-3号HL間北側の海水浴場に養浜する場合には総量 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ を養浜することで、夏季・冬季の卓越波浪の影響も考慮した上で必要浜幅を確保することができると判断された。

(2) 北側区域での養浜後南側で養浜（ケース2）

ケース2は、ケース1の養浜後、離岸堤南側区域で $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の割合で養浜を行う案である（図-12）。養浜区域は図-12に示したように水深-1mよりも陸側とする。図-13は養浜後年平均波が1年作用後の海浜形状を示す。養浜砂の流出はないものの離岸堤の南側隣接部では必要浜幅10mが確保されない。そこで養浜を2年間継続すると、図-14のように $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ の養浜により必要浜幅10mが確保できることが分かる。この条件でほぼ妥当な案が得られたこと

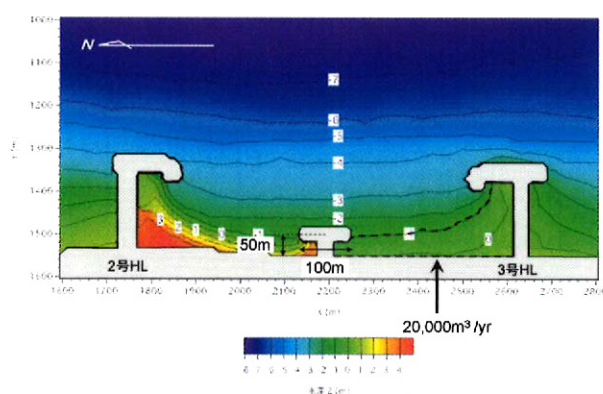


図-12 離岸堤南側での養浜区域（ケース2）

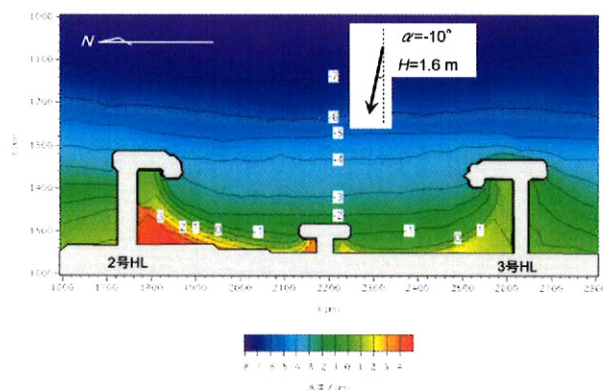


図-13 年平均波の作用1年後の海浜形状（ケース2）

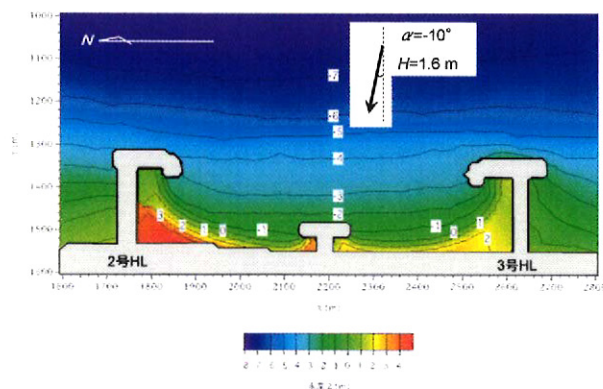


図-14 年平均波の作用2年後の海浜形状（ケース2）

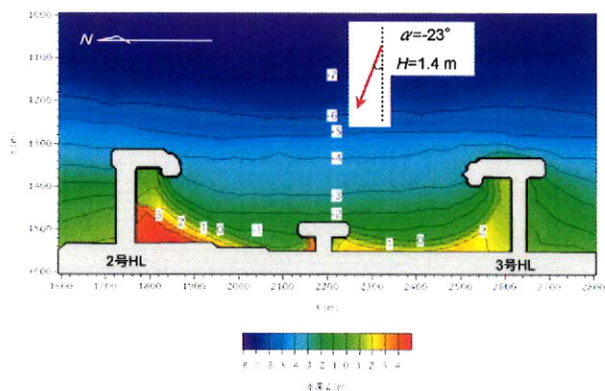


図-15 夏季波浪作用後の海浜形状 (ケース2)

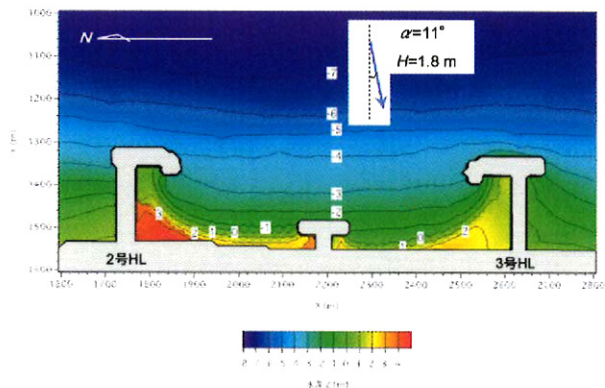


図-16 冬季波浪作用後の海浜形状 (ケース2)

から、再び入射方向の季節変動があった場合の海浜変形を調べるために、図-14の状態において夏季波浪を作用させたときの海浜形状を図-15に示す。夏季波浪を作用させても中央の離岸堤より北への養浜の流出はなく、また必要浜幅10mも確保される。逆に冬季波浪を作用させると図-16のようになり、冬季波浪を作用させた場合にも3号HLよりも南に養浜砂が流出することはなく、また必要浜幅10mも確保できることがわかる。このように2-3号HL間の中央に離岸堤を設置後その南側で総量 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ を養浜することで、夏季・冬季の波向変動を考慮した上でも必要浜幅を確保することができる。

(3) 突堤の撤去 (ケース3)

離岸堤両側区域における養浜終了後、海浜中央を分断するため景観を損なうと考えられる突堤を撤去することが可能かどうかについて検討した。突堤を撤去しても海浜の維持が可能かどうかを調べるために、ケース2で冬季波浪を作用させた後得られた海浜形状(図-16)をもとに突堤を撤去した場合の計算を行った。図-17は年平均波の作用後1年の海浜形状を示すが、離岸堤の長さが離岸距離に比べて十分長いために離岸堤背後からの砂の移動はなく、安定した海浜が維持できる。さらに図-18のように夏季波浪を作用させると、北向きの沿岸漂砂が生じて離岸堤の南端付近まで砂が堆積するが、離岸堤の北側隣接部でも浜幅の確保が可能である。逆に冬季波浪が北寄りから入射すると、沿岸漂砂の方向が反転して離岸堤の南端付近では砂が削り取られるが、離

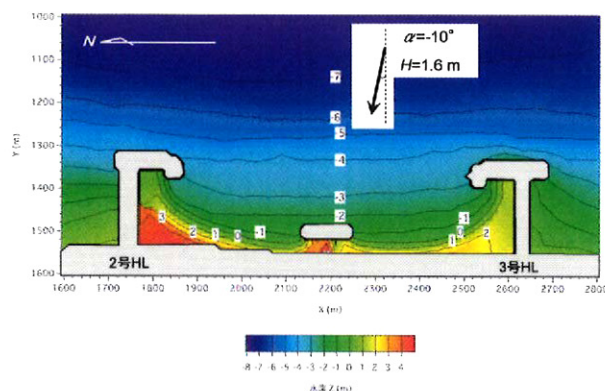


図-17 年平均波の作用1年後の海浜形状 (ケース3)

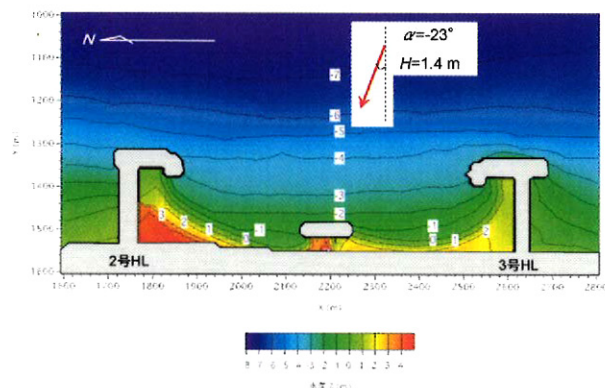


図-18 夏季波浪作用後の海浜形状 (ケース3)

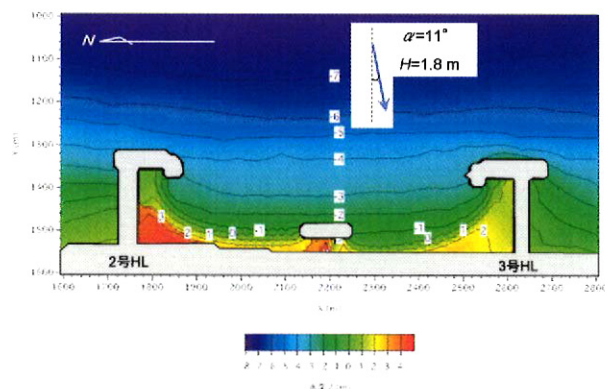


図-19 冬季波浪作用後の海浜形状 (ケース3)

岸堤の南側隣接部では必要浜幅が確保される(図-19)。ケース3では、2-3号HL間で総計 $1.2 \times 10^5 \text{ m}^3$ の砂が養浜されているが、これにより必要浜幅を確保しつつHL中央部の防護が可能となる。なお、実際には一宮海岸の沖合部では沿岸漂砂の枯渇のため緩やかな海底地盤の低下が起きている³⁾。本研究では初期地形を固定床として養浜砂のみの移動を検討したが、このような沖合地盤低下に対しては本研究で述べた養浜のみでは不十分であり、別途細砂投入も必要と考えられる。

4. 結論

- (1) 海水浴場として長らく使われてきた一宮海岸の2,3号HL間は、現況では大部分の区域で護岸が

露出し、海水浴に適さない状態となっている。
このため地元からは早急に海水浴場を復元してほしいとの強い要望が出されている。

- (2) この場合、中央に小規模な離岸堤と突堤を造りその北側で養浜を行えば、中央より北側の海の家前面付近での砂浜の急速な回復が可能である。
- (3) これらの施設を設置した条件では、 $2 \times 10^4 \text{m}^3/\text{yr}$ の割合で $8 \times 10^4 \text{m}^3$ の土砂投入を行えば初年度からそれなりの浜幅拡張が可能であり、 $8 \times 10^4 \text{m}^3$ の土砂投入時点で中央より北側では必要浜幅の確保が可能となる。この案の利点は土砂投入の効果が早期に発現できることである。
- (4) 北部での養浜完了後、離岸堤南側での養浜では $4 \times 10^4 \text{m}^3$ の養浜により夏季・冬季の卓越波浪の影響も考慮した上で必要浜幅を確保することができる。
- (5) 最後に突堤部分を撤去して年平均波が1年作用後も離岸堤背後からの砂の移動はなく、安定した海浜が維持できる。この意味から突堤は仮設構造物でも十分効果を発揮可能と考えられる。
- (6) 一般にHLの建設後その中央部ではHLによる波の遮蔽効果により、汀線が凹状となり、そこでは浜幅が異常に狭まり越波が起こることがしばしばある。このような場合中央に小規模な離岸堤を造り、その上で下手側区域に養浜を集中的に行う方法は養浜の効果の早期発現に有効である。

- (7) 本検討で用いた養浜砂は太東漁港の南側の前浜堆積土砂を想定している。ここに堆積している砂は主に太東崎の崩落土砂のうち相対的に粒径の大きな0.3mm程度の砂が淘汰されて集積している。このように粒径が大きいために平衡勾配も $\tan\beta=1/12.5$ と大きい。そのためHL間から養浜砂が流出することなく砂浜を維持することができた。すなわち、粒径が大きいために砂浜の安定性を高める上で最も重要である。
- (8) 養浜材として想定した砂は一宮海岸の南6kmに位置する太東漁港の南側に実際に堆積し、安定な前浜を構成している砂が用いられる予定である。この場合同一海域のしかも近接した場所にある砂を用いる手法であるがゆえに不確実な仮定が少ないという特徴がある。

参考文献

- 1) 土子浩之・宇多高明・松浦健郎・阿部 良・熊田貴之・大木康弘：根固め効果から見た粗粒材養浜の追跡調査，海岸工学論文集，第 56 巻，pp. 741-745，2009.
- 2) 芹沢真澄・宇多高明・熊田貴之・三波俊郎・古池鋼・石川仁憲・野志保仁：Bagnold 概念に基づく混合粒径海浜の予測変化モデル，海岸工学論文集，第 53 巻，pp. 626-630，2006.
- 3) 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.