

南九十九里浜における沖合養浜の追算と連続土砂投入の効果検討

Numerical Simulation of Diffusion of Nourishment Sand Offshore of South Kujukuri Beach and Effect of Continuous Beach Nourishment

鶴岡春美¹・宇多高明²・芹沢真澄³・古池 鋼⁴・福本崇嗣⁵・星上幸良⁶・宮原志帆⁴

Harumi TSURUOKA, Takaaki UDA, Masumi SERIZAWA, Kou FURUIKE
Takashi FUKUMOTO, Yukiyoshi HOSHIGAMI and Shiho MIYAHARA

Sand movement in the field experiment of beach nourishment offshore of south Kujukuri Beach was numerically simulated using the BG model, given the wave field predicted by an angular spreading method of irregular waves on the basis of wave data measured at Choshi. The effectiveness of the model was confirmed, and then numerical simulation of the recovering effect of sandy beach in full-scale beach nourishment was carried out under the conditions that the artificial headlands have the present shapes, they are half and fully extended. It is found that although the best one is the shape fully extended, significant effect can be expected in artificial headland with a half length.

1. まえがき

九十九里浜南部の一宮海岸の4, 5号HL間では, 2007年3月から5月に片貝漁港の航路浚渫土砂約2万 m^3 を用いた沖合養浜の試験工事が行われ, 土砂投入後の地形変化がナローマルチビーム (NMB) 測量によって調べられた (宇多ら, 2008a). この試験工事は, 九十九里浜南部で本格運用が計画されている浚渫土砂の継続投入時の養浜効果を調べることを主眼とした. 一方, 一宮海岸では1990年から建設が進められてきたヘッドランド (HL) の効果発現を高めるため, 当初の完成形ではなく, ヘッド部が短い暫定形で完成させる案も検討されているが, このようなHLの形状変更と沖合投入の関係を定量的に明らかにすることが課題となっている. そこで, 本研究ではまず追跡調査で得られた地形変化データをもとに予測モデル (芹沢ら, 2006のBGモデル) の妥当性を検証し, その上でHLの形状を現況, 暫定完成形, および完成形とした場合における養浜効果の相違について検討する. NMB測量による追跡調査によれば, 沖合養浜では土砂投入域でのみ顕著な地形変化が生じたことを考慮し, 宇多ら (2005) と同様, 土砂投入域の海底を固定床とみなし, その上に載る投入土砂が波の作用で移動すると考える. なお, 宇多ら (2008b) は, 同じ海岸を対象とし, 波の入射方向を当該海岸の海岸線形状から推定した方向で与えて等深線

変化モデルにより海浜変形予測を行ったが, 九十九里浜では波向が強い季節変動を示すことから, このような波向変動も十分考慮可能なように方向分散法を用いて波浪場の推定精度を高めることとした. これにより九十九里浜においては, 銚子の観測値を用いた上で, 犬吠埼による北寄りの入射波の遮蔽を十分考慮して地形変化予測を行えば精度向上が可能なことを明らかにする.

2. 九十九里浜の波浪特性

図-1は, 以下の検討で波浪データを比較する8波浪観測所 (常陸那珂, 鹿島, 銚子, 名洗, 九十九里, 片貝, 鴨川, 乙浜, 波浮) の位置を示す. これらのうち九十九里浜近傍の観測所として, 名洗は銚子の南10kmに位置するが, 犬吠埼があるため北側は遮蔽されている. また九十九里は緩やかに湾入した湾の中央部に位置する. また波浮は南にはるか離れた地点との比較のため選定している. 九十九里浜の北側には犬吠埼があるため, 鹿島灘で卓越するNE方向からの波は遮蔽される. したがって九十九里浜への入射波には地形の影響が強く含まれると考えられる. 図-2, 3, 4, 5には銚子, 名洗, 九十九里, および波浮における1°刻みでの, 出現波浪の全エネルギーに対す

- | | | |
|---|-----|--|
| 1 | | 千葉県土整備部河川整備課海岸主幹兼海岸砂防室長 |
| 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 (有) 海岸研究室 |
| 3 | 正会員 | (有) 海岸研究室 |
| 4 | | (有) 海岸研究室 |
| 5 | | 修(工) 東京都庁 |
| 6 | 正会員 | 博(工) 国際航業(株) |

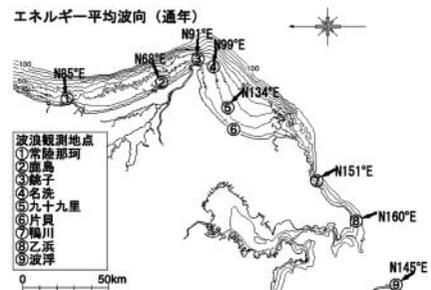


図-1 波浪観測所の位置

るエネルギー比の分布を示す。季節ごとと、通年のエネルギー比をあわせて示す。

銚子沖では(図-2)、通年でのエネルギー比のピークはN65°Eにあるが、季節変動が非常に大きく、夏季にはN125°E~N147°Eの間(中央値N136°E)にエネルギーが分布するのに対し、冬季にはN60°Eにピークがあって両者には76°もの差異がある。名洗では(図-3)、通年でのエネルギー比のピークはN77°Eにあり、銚子と比較して北側からの波が遮蔽された結果ピークが時計回りの方向にずれている。これと同時にSE方向のエネルギー比が相対的に増大している。名洗の西30kmに位置する九十九里浜沖では(図-4)、通年ではN113°EとN153°Eの2山ピークを有する。また夏季のピークはN153°E、冬季のピークはN113°Eであって、いずれも鋭くとがり、かつほぼ同一のエネルギー比を持ったピークであり、夏季・冬季の集中したエネルギーが全年のデータに大きく影響している。一方、九十九里浜から南西に約130km離れた大島波浮では(図-5)、銚子と比較して波向は全体として約45°時計回りに回転した方向から入射しているが、ラクダの背のようなエネルギー比の分布を示し、エネルギー比のピークはN128°Eに、二次のピークはほぼN202°Eにある。

以上より、九十九里浜沖では波浪エネルギー比が明確な2山ピークを示しているが、これは九十九里浜が犬吠埼の北側からの波浪に対して陰に入る結果、北側からの波が遮蔽されているためである。これより九十九里浜の波浪場を精度よく推定するには、銚子での観測データをもとに犬吠埼による波の遮蔽効果をうまくとり入れればよ

いことが分かった。

次に、図-6は、主方向を中心に方向分散性を考慮する方法(方法A)と実測の1°刻みでの方向別エネルギー強度を考慮する方法(方法B)により求めたエネルギー比の分布を示すが、両者にはかなり大きな違いが出ている。表-1は、方法A, Bによる値と、銚子での測定値を基準とした波高比、波向を比較したものであるが、方法Bで九十九里浜より南側に大きく離れた場所は別にすれば、推定精度が高まることが明らかである。

3. 波浪場の推定法と海浜変形予測

(1) 現況再現(ケース1)と放置(ケース2)

計算対象区域は、南九十九里浜の一宮川河口付近から太東漁港まで沿岸方向8km、岸沖方向2kmの区域であるが、この区域における波浪場を上記新方式により算定した。前節で述べたように、九十九里浜への入射波浪は犬吠埼や太東崎による遮蔽を受け、波向ごとに遮蔽度が変化する。そこで犬吠埼の影響が少ないと考えられる銚子沖の観測結果を用い、銚子で観測されたエネルギー平均波向を沖波向とみなし、-90°~90°の範囲の波向を1°刻みで分割し、各波向成分の波浪出現度と、波向成分ごとの遮蔽の影響を考慮して平面波浪場を求め、成分ごとの計算結果をエネルギー合成して波浪場とした。また銚子でのエネルギー平均波向N91°Eを主方向として犬吠埼や太東崎による回折を考慮した計算も行った。このようにして主波向に対する方向分散性を考慮するのではなく、実測の方向別強度を考慮することにより波浪場の推定精度を高めた。

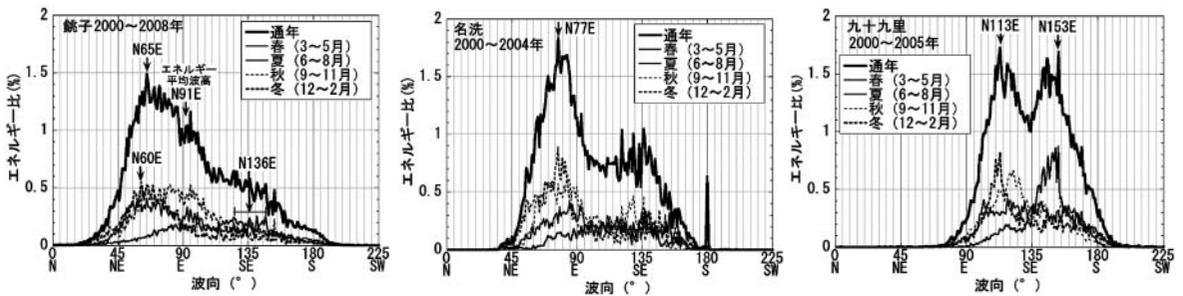


図-2 出現波浪のエネルギー比分布(銚子) 図-3 出現波浪のエネルギー比分布(名洗) 図-4 出現波浪のエネルギー比分布(九十九里)

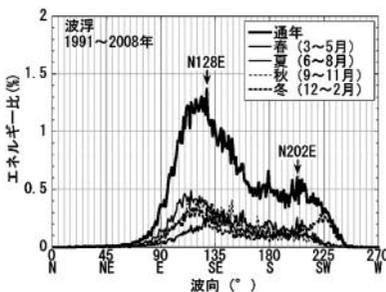


図-5 出現波浪のエネルギー比分布(波浮)

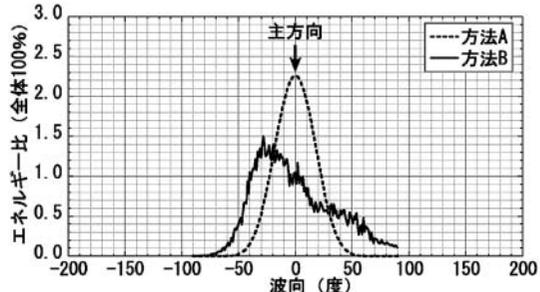


図-6 従来手法と実測のエネルギー比分布の比較

表-1 波浪観測点の実測波高比・波向との比較結果

No.	地名	エネルギー平均波高		波高比		優劣	実測		波向(度) (主方向:銚子に対する角度)		優劣	備考
		実測(m)	実測	方法B	方法A		N-E	実測	方法B	方法A		
1	常陸那珂	1.3	0.72	0.95	0.99	○	85	6	1.9	-0.3	○	
2	鹿島	1.4	0.78	0.94	0.98	○	68	23	5.4	1.2	○	
3	銚子	1.8	1.00	0.99	1.00	△	91	0	-1.6	-1.0	×	主方向
4	名洗	1.7	0.94	0.99	1.00	○	99	-8	-1.9	-1.0	○	
5	九十九里	1.4	0.78	0.86	0.91	○	134	-43	-20.4	12.3	○	
6	片貝	1.2	0.67	0.82	0.89	○	-	-	-21.7	-14.1	-	
7	鴨川	1.3	0.72	0.73	0.76	○	151	-60	-37.3	-25.3	○	
8	乙浜	1.5	0.83	0.85	0.82	×	160	-69	-23.5	-20.7	○	
9	波浮	1.5	0.83	0.86	0.92	○	145	-54	-21.8	-11.5	○	

(2) 地形変化予測

地形変化予測には芹沢ら(2006)のBGモデルを用いた。計算対象区域において上記手法で求めた波浪場を与えた。計算に必要な水深については、平成19年1月発行国土地理院50万分1地方図(4)「関東甲信越」、昭和54年11月発行海上保安庁20万分1海底地形図6367号「鹿島灘」、昭和59年3月発行海上保安庁5万分1海底地形図6367-8号「犬吠埼」、平成12年3月発行・同6366-5号「九十九里浜」、昭和61年3月発行・同6366-7号「太東崎」、昭和59年9月発行・同6366-8号「鴨川湾」を参照するとともに、2006年における一宮海岸の深浅測量の結果を加えた。

計算は全体で8ケース行った(表-2)。ケース1, 2は、沖合養浜の試験工事結果に対する追算である。またHLの建設段階に応じた養浜効果の相違を比較するために、HL形状を現況、暫定完成形、および完成形と変え、投入土砂の中央粒径を試験施工時と同じ $d_1 = 0.15\text{mm}$ とした場合をケース3, 4, 5とする。さらに構造物条件は同様に変化させ、中央粒径を $d_2 = 0.25\text{mm}$ と粗くした場合をケース6, 7, 8とする。波浪条件は、試験養浜時については2007年3月9日から8月6日までの銚子における観測データをもとに算定したエネルギー平均波高($H = 1.7\text{m}$)を用いた。また将来予測では、同じく銚子における2000~2008年の観測結果に基づくエネルギー平均波高($H = 1.8\text{m}$)を用いた。予測期間は10年間である。また養浜砂の平衡勾配については、宇多ら(2008b)を参照し、片貝漁港に近い場所での観測で $d_1 = 0.15\text{mm}$ での実測海底勾配がほぼ1/100となることを考慮し1/100とした。また $d_2 = 0.25\text{mm}$ の砂についても宇多ら(2008b)と同様1/40と仮定した。境界条件として、両端および岸沖端は固定境界とし、漂砂の出入りが無いとする。そのほかの条件をまとめて表-2に示す。

4. 養浜試験施工データに対する検証計算の結果

図-7, 8は、NMB測量期間(2007年3月9日~8月6日)

表-2 計算条件

計算モデル	BGモデル(芹沢ら, 2006) 回折計算:方向分散法(酒井ら, 2003)
計算対象区域	南九十九里一宮海岸:一宮川~太東漁港 沿岸方向800m×岸沖方向2000m
初期地形	2007年3月9日養浜前
再現対象地形	2007年5月9日(養浜後61日)と6月12日(養浜後95日)
計算ケース	再現計算 ケース1 養浜後150日(分布考慮) ケース2 養浜後150日(分布考慮なし) 将来予測 ケース3 HL現況 d_1 ケース4 HL暫定形 d_1 ケース5 HL完成形 d_1 ケース6 HL現況 d_2 ケース7 HL暫定形 d_2 ケース8 HL完成形 d_2
入射波条件	再現計算 継続時間3600h(2007年3月9日~2007年8月6日) 波高 $H = 1.7\text{m}$,波向 $N93^\circ E$ 予測計算 継続時間87600h(2008~2018年) 波高 $H = 1.8\text{m}$,波向 $N91^\circ E$
潮位条件	M.S.L. $\pm 0.0\text{m}$
計算空間メッシュ	$\Delta X = 40\text{m}$
計算時間間隔 Δt	$\Delta t = 50\text{hr/step}$ (実時間換算: $t \times 1.0$)
計算ステップ数	175step/yr ケース1 72steps(3600時間相当) ケース2 1752steps(87600時間相当)
粒径, 平衡勾配	粒径 $d_1: d_{50} = 0.15\text{mm}$ (2007年実績) $d_2: d_{50} = 0.25\text{mm}$ 養浜砂の平衡勾配 $d_1: \tan\beta = 1/100$ $d_2: \tan\beta = 1/40$
漂砂の水深方向分布	宇多・河野の分布
移動限界水深	$h_c = 9\text{m}$
バーム高	$h_R = 3\text{m}$
漂砂量係数	沿岸漂砂量係数 $K_c = 0.02$ 岸沖漂砂量係数 $K_s/K_c = 0.2$ 小笹Brampton係数 $K_2 = 1.62K_1$ ($\tan\beta = 1/30$) 重力係数: 0.2 安息勾配(土砂落ち込みの限界勾配) 陸上:1/2,水中:1/3 エネルギー逸散率に使用する勾配 0.025 鉛直境界補正の勾配 0.025
境界条件	現地盤および構造物を固定床とする。 左右端: $q = 0$ (漂砂の流入流出なし) 岸沖端: $q = 0$ (漂砂の流入流出なし)
養浜・浚渫条件	検証計算 2~3号HL: 2万m^3 範囲 $X = 3800 \sim 3920\text{m}$, $Y = 2440 \sim 2520\text{m}$ 将来予測 2~3号HL: $2\text{万m}^3/\text{yr}$, 範囲 $X = 2200 \sim 2360\text{m}$, $Y = 2400 \sim 2560\text{m}$ 7~8号HL: $4\text{万m}^3/\text{yr}$, 範囲 $X = 5600 \sim 5760\text{m}$, $Y = 2360 \sim 2520\text{m}$
構造物条件	構造物の波高伝達率:太東漁港と一宮川導流堤 $K_t = 0.0$, 1~10号HL $K_t = 0.0$

における波高・波向分布について、方法Bと、主方向波浪の方向分散性を考慮した方法Aの計算結果を比較したものである。ここにX軸を南向き、Y軸を東向きに定めている。波向はE方向を基準として時計回りに測った角度としてい

る。これらによれば、東側からの入射波浪に対し犬吠埼による回折効果に差異が出ており、九十九里浜では犬吠埼による波の遮蔽の影響が無視できないことがわかる。そこで

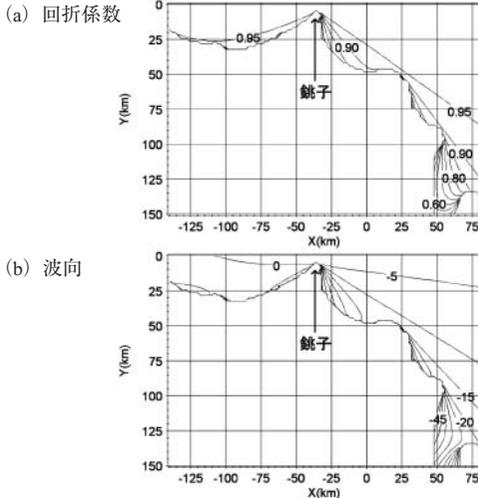


図-7 NMB測量期間における波高・波向の計算結果 (方法A)

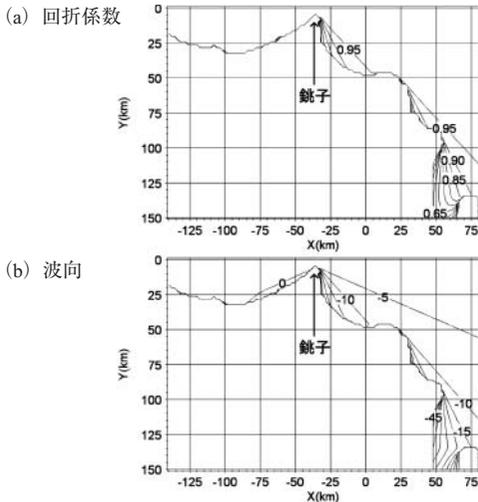


図-8 NMB測量期間における波高・波向分布 (方法B)

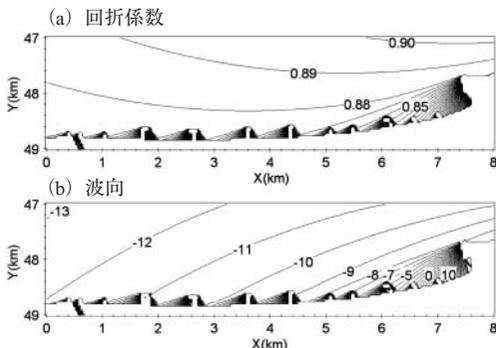


図-9 試験養浜区間の回折係数と波向分布

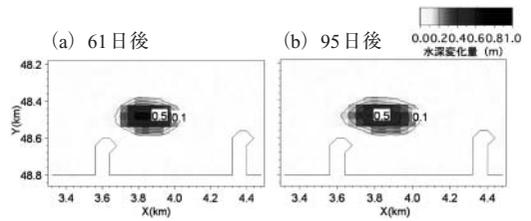


図-10 沖合養浜砂の拡散状況 (計算)

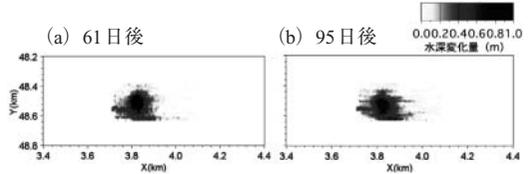


図-11 沖合養浜砂の拡散状況 (実測)

検証計算については方法Bによる計算結果を用いることとし、試験養浜区間の回折係数と波向分布を図-9に示す。

検証期間はNMB測量期間 (2007年3月9日～8月6日) である。図-10には試験養浜と同一条件で沖合養浜を行った場合の計算結果を示す。併せて実測の養浜土砂の広がり状況を図-11に示す。当初のHL沖の等深線の膨らみが減少し、投入土砂が拡散していく状況が計算されている。実測では投入土砂は拡散するのみでなく、やや岸向きの移動も見られるが、予測計算では岸向きの移動量は小さく、沿岸方向の拡散が顕著となっている。この理由は条件として与えた $d_{50} = 0.15\text{mm}$ に対応する平衡勾配1/100が実海底勾配と比較してやや小さすぎたことが原因と考えられる。

5. 予測計算

検証計算と同様な手法により、波浪場の計算を行った。2000～2008年における銚子沖の波浪観測データを用いて方法Bによって求めた波高・波向分布を図-12に示す。九十九里浜における波高・波向分布は検証期間と同様、犬吠埼の影響を強く受けたものとなっている。図-13は、一例として現況のHLに条件を与えた場合の一宮海岸の回折係数と波向分布を図-9と同様に求めたものである。両者ではほぼ同様な結果が得られている。HLのヘッド部を暫定的に100mとした場合と200mの完成形にした場合についても同様な計算が可能である。

図-13に一例を示した波浪場を与え、一宮海岸の2, 3号HLと7, 8号HL沖の水深5～6mで、それぞれ2万 m^3/yr と4万 m^3/yr の割合で養浜の効果検討を行った結果 (ケース3, 4, 5) をまとめて図-14に示す。 $d_1 = 0.15\text{mm}$ と細かい粒径の土砂を投入した場合、HLの形状の如何に関わらず、投入土砂はHL沖に帯状に広がるという結果になり、前浜の拡幅はできないことがわかる。図-15は $d_2 = 0.25\text{mm}$ と相対的に粒径を粗くした場合 (ケース6, 7, 8) の予測結果である。このような粒径の砂を用いた場合、HLを現況、

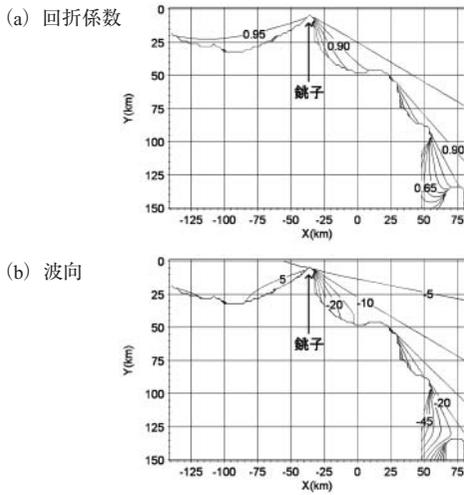


図-12 地形変化予測計算に用いた広域波浪場計算結果

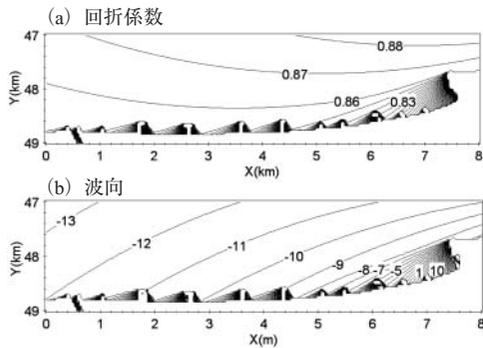


図-13 一宮海岸における波浪場の計算結果

暫定完成形、および完成形とするに従いHL上手側での砂の堆積量が増加し、効果が高まり、暫定完成形でもかなり高い効果が期待できることが分かる。

6. まとめ

各地の波浪観測データをもとに広域波浪場を方向分散法により推算する手法を考え、九十九里浜の波浪場の推算に適用した。また九十九里浜の波浪特性を鹿島灘～銚子～大島波浮まで広域の海域の中で位置付け、九十九里浜については犬吠埼による北寄りの入射波の遮蔽を十分考慮すべきことを明らかにした。その上で、南九十九里浜において行われたNMBによる追跡調査結果をもとに予測モデルの妥当性を検証し、モデルの妥当性を確認した上で一宮海岸のHLの形状を現況、暫定完成形、および完成形とした場合における養浜効果の相違について検討した。この結果、 $d_{50} = 0.15\text{mm}$ の砂では汀線付近での養浜効果は低いが、 $d_{50} = 0.25\text{mm}$ の砂ではHLの現況、暫定完成形、および完成形の順に前浜復元効果が高まり、暫定完成形でもかなり高い効果が期待できることが明らかになった。

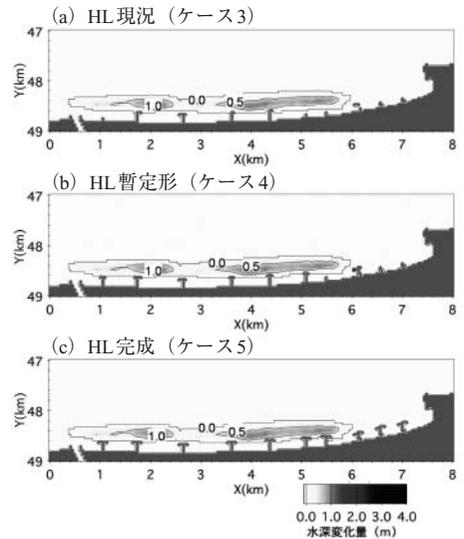


図-14 一宮海岸における養浜効果検討結果(養浜砂 $d_{50}=0.15\text{mm}$)

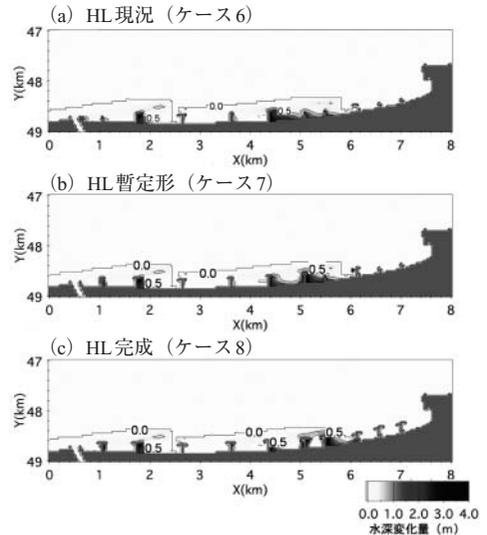


図-15 一宮海岸における養浜効果検討結果(養浜砂 $d_{50}=0.25\text{mm}$)

参考文献

宇多高明・清野聡子・大矢忠一・安田武夫・高橋 功・古池 鋼・星上幸良 (2005) : 沖合投入土砂の養浜効果予測手法の開発, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.641-645.
 宇多高明・田代洋一・長山英樹 (2008a) : 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.
 宇多高明・古池 鋼・星上幸良・長山英樹 (2008b) : 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.
 酒井和也・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・熊田貴之 (2003) : 波の遮蔽構造物を有する海岸における3次元静的安定海浜形状の簡易予測モデル, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.496-500.
 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼 (2006) : Bagnold概念に基づく海浜変形モデル, 土木学会論文集B, Vol.62, No.4, pp.330-347.