和木波子海岸における養浜砂流出防止のための突堤・潜突堤の効果

杉原　卓行[1]・齋藤　康紀[2]・池谷　慎[2]・高木　利光[3]・高木　栄[4]
大谷　拓也[4]・瀬戸口　喜祥[5]・反町　悠子[6]

[1]島根県　浜田河川総合開発事務所（〒697-0041 島根県浜田市片庭町254）
[2]島根県　浜田県土整備事務所（〒697-0041 島根県浜田市片庭町254）
[3]フェロー会員　八千代エンジニヤリング株式会社　事業統括本部　国内事業部　河川部
（〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8）
E-mail:ts-takagi@yachiyo-eng.co.jp
[4]八千代エンジニヤリング株式会社　事業統括本部　国内事業部　河川部
（〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8）
[5]正会員　八千代エンジニヤリング株式会社　事業統括本部　国内事業部　環境計画部
（〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8）
[6]八千代エンジニヤリング株式会社　北日本支店　河川・水工部
（〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町1-23）

島根県西部に位置する和木波子海岸では，その背後の道路への越波防止を目的に人工リーフと養浜工による保全対策が実施されている．人工リーフは波浪を低減するものの，その天端上での強制砕波によって誘発された流れにより背後の養浜工の安定性が危惧されていた．ここでは，人工リーフが誘発する流れを抑制する一部潜堤構造の突堤と，隣接する小河川の河口閉塞を防ぐための導流堤とを組み合わせて，d_{50}=0.3～1mm程度の砂での養浜工により砂浜を創出している．本研究では，砂浜がほとんど存在しない地点において砂での養浜材で浜を創出しつつある事例を紹介するとともに，人工リーフおよび一部潜堤構造の突堤と導流堤の効果を，ブシネスク方程式モデルから得られた海浜流により明らかにした．

Key Words : *Wakihashi coast, beach nourishiment,artificial reef, groin, submerged groin, nearshore current, Boussineaq equation model*

1.　はじめに

島根県の江の川河口から西に連なる延長約10kmの海岸はいくつかの小規模な岬を挟んで砂浜海岸が形成されている（**図-1**）．江の川河口の西に隣接する郷田海岸では1970年代から侵食が進行し，それに伴い離岸堤とその背後に緩傾斜堤が建設されている．これら施設により郷田海岸の侵食は軽減されたものの，離岸堤建設後はさらに西へと侵食は波及し，現在，和木波子海岸にまで侵食が及んでいる．そこで和木波子海岸では人工リーフを主体とした海岸保全が計画され，進められてきた．和田ら[1]によると，これら海岸は，江の川からの流出土砂が西方向の沿岸漂砂となって供給されていると推定されており，沿岸漂砂量と供給土砂量の不均衡が海岸侵食の要因

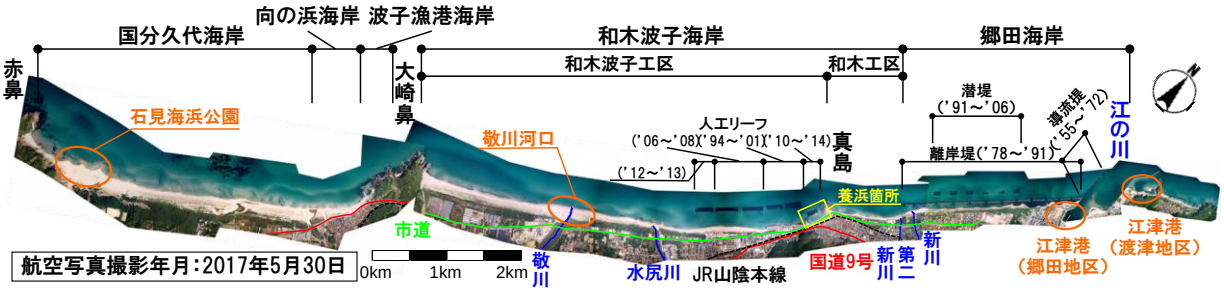


図-1　調査位置

とされている．

そのような状況において，真島の西に隣接する延長約300mの海岸は砂浜がほとんどなく，また道路が海岸に近接していることから越波による通行障害などが発生したため，人工リーフとその背後の養浜工により対策が計画された．しかし，人工リーフはその天端上で強制砕波することによって生じる向岸流と開口部の離岸流の影響で，その背後域や開口部で局所的な洗掘等が生じるなどの事象が報告されており[2),3)]，人工リーフ背後の養浜砂が流出してしまうことが懸念された．そこで，本事業では，人工リーフの端部に一部潜堤構造の突堤を設置することで，養浜土砂の流出を抑制する試みを実施した．本報告では，養浜実施に伴う砂浜の形成状況を示すとともに，現地観測により人工リーフ周辺の波浪・流況の特性を明らかにし，突堤・潜突堤の効果を数値モデルにて示した．

2. 養浜工等の保全施設計画とその施工状況

人工リーフは堤長140m，天端幅50m，天端高T.P.-1.5mであり，その背後の養浜工は浜幅約50mで計画されている（図-2，図-3）．この組み合わせにより，計画外力(H_o'=9.7m，T=12.8s，計画高潮位T.P.+1.15m)に対して護岸高(T.P.+5.5m)以下に波の打ち上げ高を抑える計画としている．さらに，養浜土砂の流出を抑制する目的で，人工リーフの西側端部に延長約43mの突堤とその先，人工リーフ天端までの延長約35m，天端高は人工リーフと同じT.P.-1.5mの潜堤を計画した．突堤長は計画している砂浜の汀線位置を目安に決めている．また，対象海岸の東側端部には小河川の和木川が流れ込んでいることから，養浜土砂で河口が閉塞することを防止する目的で導流堤を計画している．

人工リーフは2010～2014年にかけて施工され，その後，2015年に突堤・潜突堤が，2016年に導流堤が順次建設された．また2015年からは養浜が開始されている．

突堤・潜突堤および導流堤は，護岸前面に砂浜が創出されることで必要なくなる護岸前面に設置されている消波工（異形ブロック）を転用している．さらに，それら異形ブロックを施工するために設置した捨石による仮設道路を養浜工側に残置することで，異形ブロックの空隙を塞いで養浜土砂の流出を抑制するものとした（図-4）．

養浜は，2015年10月から開始され，2017年末時点で計画養浜量約6.1万m³の約9割に当たる5.3万m³が投入されている(表-1)．養浜土砂は対象海岸の西端部から，突堤工建設のための仮設道路を利用して天端高約T.P.+4.0mで投入され(図-5)，高波浪によって対象域に流し計画断面に近づける方法で実施されている．なお，養浜材は江津港の浚渫土砂など，当該海岸の漂砂系内から入手している．

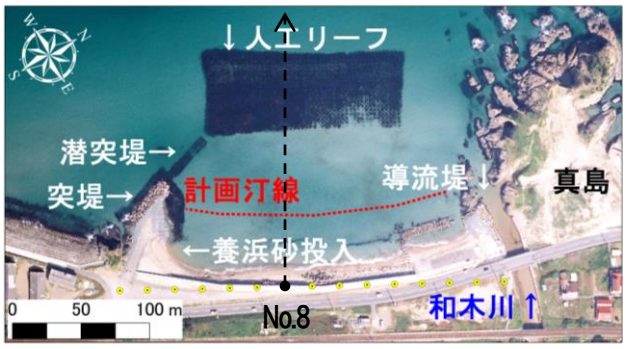


図-2　海岸保全施設配置（2017年5月撮影）

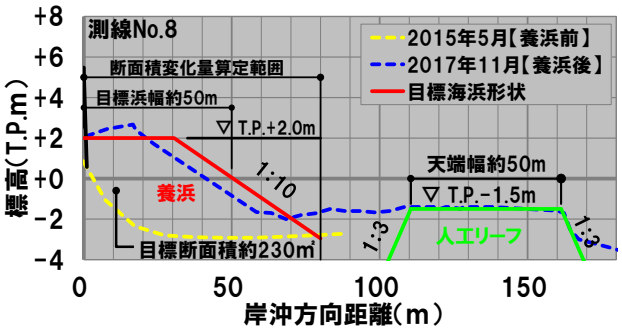


図-3　人工リーフ・養浜標準断面地形

図-4　突堤・導流堤の建設状況

表-1　養浜工施工履歴（注)養浜材入手箇所は図-1 参照）

年度	投入時期	養浜量（万m³）	養浜材内訳（万m³）			
			石見海浜公園	敬川河口	江津港	
					渡津地区	郷田地区
2015年	10月～11月	1.0	1.0	-	-	-
2016年	5月～6月	1.6	-	1.2	-	-
	10月		-	-	0.4	-
2017年	7月～10月	2.7	0.5	1.0	0.8	0.4
累計		5.3	1.5	2.2	1.2	0.4

図-5　養浜砂投入状況（2015年10月撮影）

3. 養浜前後の地形変化

人工リーフが施工中の2012年から，その後，突堤等の施設および養浜工施工過程における砂浜の形成状況を**図-6**に示す．2015年に養浜が開始されてから，養浜投入地点から砂浜が形成され始め，2017年11月ではほぼ全域に砂浜が形成されている．また，冬季風浪経験後の2018年2月時点でも安定した砂浜が維持されている．

対象海岸の東端に流出している和木川は2012年時点は河口閉塞状況にあったが，導流堤建設後においては養浜により砂浜が形成されたにもかかわらず，閉塞状況は回避されていることから，導流堤が有効に機能していると考えられる（**図-7**）．

次に和木波子海岸における深浅測量成果を比較した．

図-6　養浜前後の全景比較

2013年，2015年および2017年の等深線図と各々の期間の水深変化量分布を**図-8**に示す．等深線図から水深9m付近を境に沖はほぼ平行な等深線形状に対し，岸側はバー・トラフ地形の複雑な水深を呈している．このことからも当該海岸の顕著な土砂移動の限界水深は約9m程度と推定され，水深9m以浅ではバー・トラフの移動に伴う水深変化が顕著である．

図-7　養浜前後の和木川河口部の比較

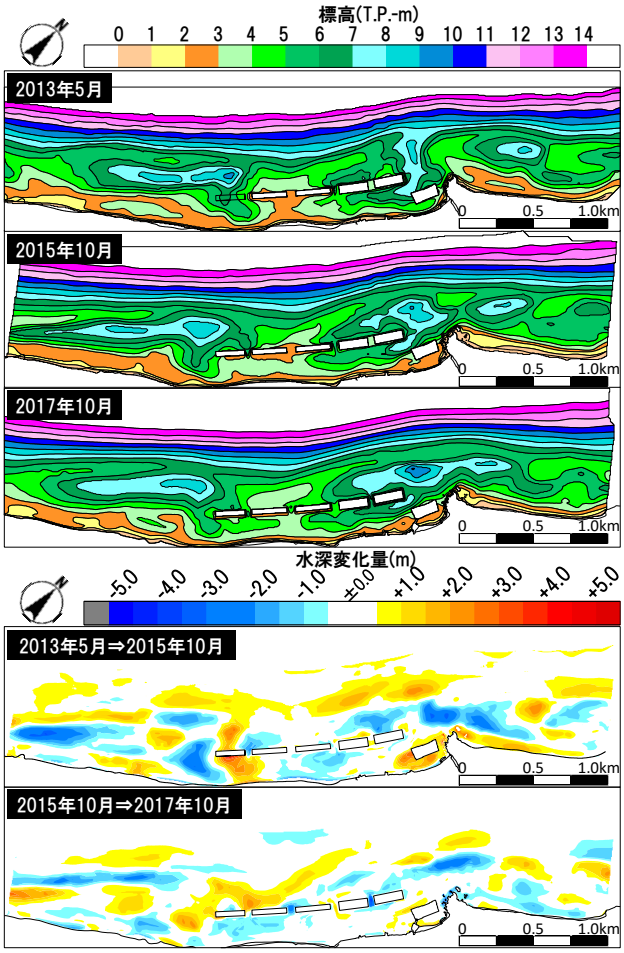


図-8　和木波子海岸の深浅図および水深変化

その年の土砂投入直前と直後での養浜箇所の測量成果から算出した砂浜幅と海浜断面積（**図-3**の沖80mまでの範囲）の時間変化を**図-9**に，また海浜断面積から土砂量を算定し投入した土砂量と併せて**図-10**に示す．養浜実施とともに土砂投入しているNo.9～No.11より東へと時間とともに海浜断面積が増加，汀線も前進している．2015年から開始した養浜は2冬経過した2017年（養浜前）時点で，累計養浜量約2.6万m³に対して約1万m³程度土砂量が増加し，平均的な浜幅としては16mまで広がっている．なお，投入した養浜材は算定範囲外である人工リーフ直背後にも堆積している状況が確認されている．養浜前後の底質粒径の変化は，養浜材の影響を受け，中央粒径0.35mmから0.48mmとやや大きくなっている（**図-11**）．

4. 波浪・流況観測

当初想定された人工リーフ周辺の流れの状況を確認するとともに，養浜土砂流出を抑制するために設置した突堤・潜突堤の効果を数値モデルで検証する目的で，波浪・流況観測を実施した．

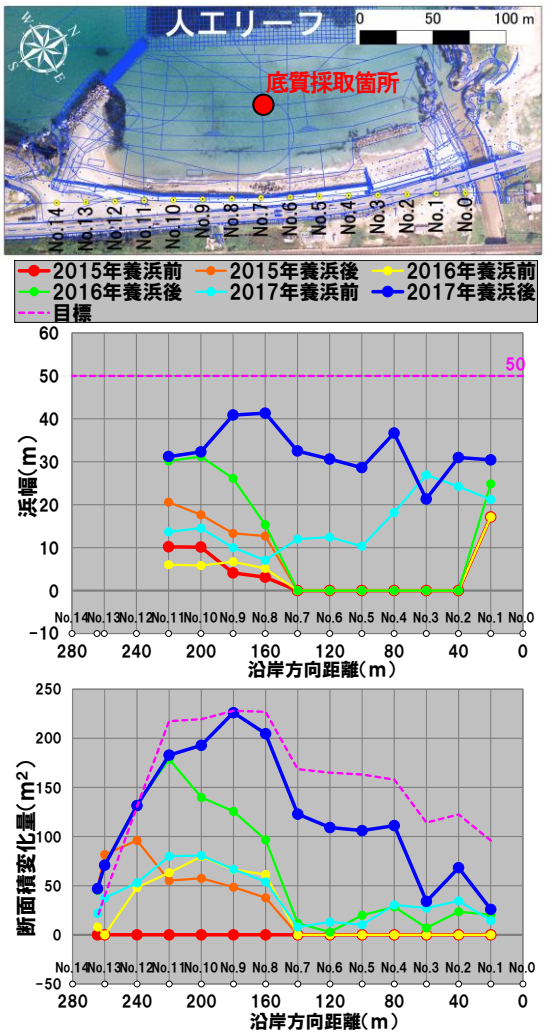


図-9　養浜箇所の浜幅・断面積の変化

観測は，2015年12月～2016年1月までの約1ケ月間において，**図-12**に示す地点の海底面に自記式波浪・流速計を設置して実施した．観測期間中の波向別波高頻度および流向別流速分布を**図-13**，**14**に示す．入射波浪（St.D）の波向はNNWが卓越しており，高波浪の頻度はNW方向からが多い．なお，当該海岸の平均的な海岸線の法線はほぼNWである．人工リーフ周辺のSt.A，B，C地点の波浪は屈折の影響もあり，卓越波向がNW～WNWに変化している．人工リーフ周辺の流れについては，人工リーフ開口部に当たるSt.Aでは沖方向，St.Bではその開口部方向，St.Cでは潜突堤方向への流れが卓越していた．特に人工リーフ開口部では高波浪時には1.0m/sを越える流速が観測されている．

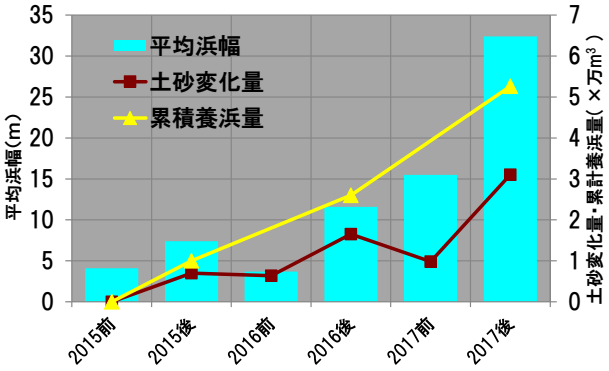
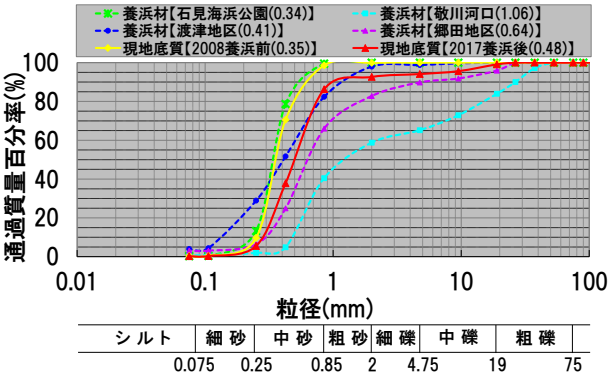


図-10　平均浜幅と養浜量の関係（2018年は除く）



（採取地点は人工リーフ背後，凡例の( )内は中央粒径mm）

図-11　養浜材と養浜前後の底質の粒度組成比較

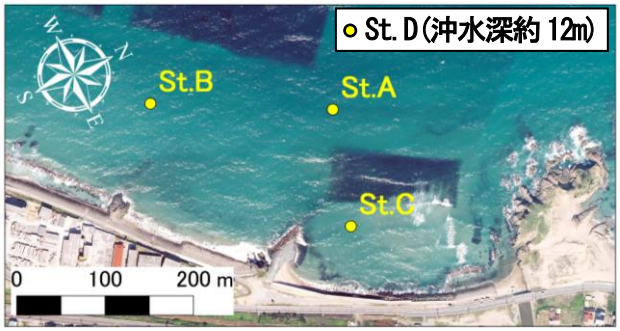


図-12　観測位置（2016年5月撮影）

5. 数値モデルによる突堤・潜突堤の効果評価

先に示した波浪・流況観測成果をもとに，人工リーフ周辺に発生する流況を再現する数値モデルを検証した．モデルには修正ブシネスク方程式を用い [4]，流速場は方程式中の変数である単位幅流量を時間で平均し水深で除して求めた．なお，砕波については佐藤らの方法 [5]を採用した．観測期間において代表的な高波浪時の再現計算結果を観測時の有義波高値および流速ベクトルと合わせて**図-15** に示す．波高は St.A，B ではやや計算値が大きいものの，St.C ではほぼ合致している．人工リーフ背後の St.C では人工リーフ天端から岸に向かう流れが西端部の潜堤部方向に流れ，その流れが隣接する人工リーフ(No.2)との開口部から沖に流出する流況場が再現されている．ただし，観測と計算の流速値は，St.A で 0.91m/s に対し 0.54m/s，St.B で 0.32m/s に対し 0.09m/s，St.C で 0.42m/s に対し 0.29m/s と，計算値がいずれの地点も小さい結果となった．

次に，このモデルにより，突堤・潜突堤の有り無しのケースで波浪場および流況場を計算した（**図-16**，**17**）．突堤・潜突堤の効果を確認する目的から，両ケースとも養浜前の地形（2015 年 10 月測量）とし，養浜後の地形とした場合，突堤周辺で不連続な地形条件となることを避けた．波高分布については突堤の遮蔽域で波高が低下している以外は両者にほとんど違いはない．一方，流速分布については突堤部により人工リーフ背後域の流速が緩和されている．突堤・潜突堤付近の沿岸・岸沖断面での流速分布の比較（**図-18**）からも，人工リーフおよび潜突堤の天端での流速は大きく変わらないものの，それ以外の区域での流速は，突堤・潜突堤があることで大きく低減している．

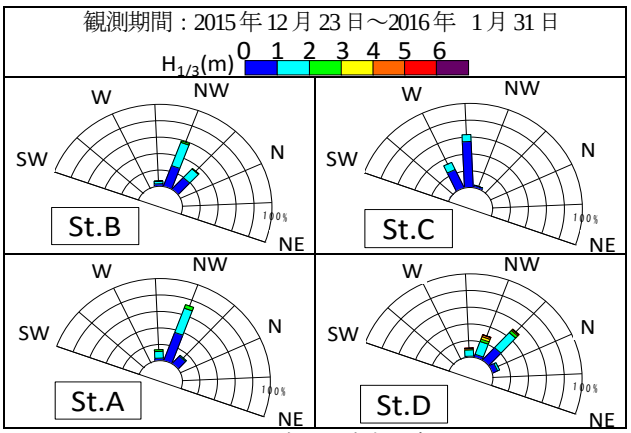


図-13 波向別波高頻度

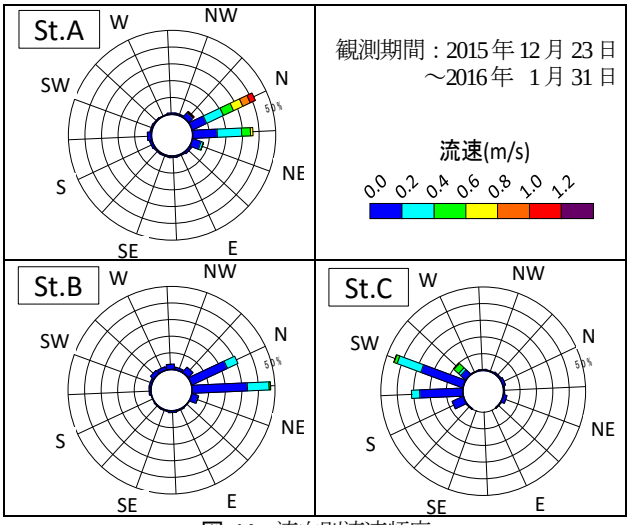


図-14 流向別流速頻度

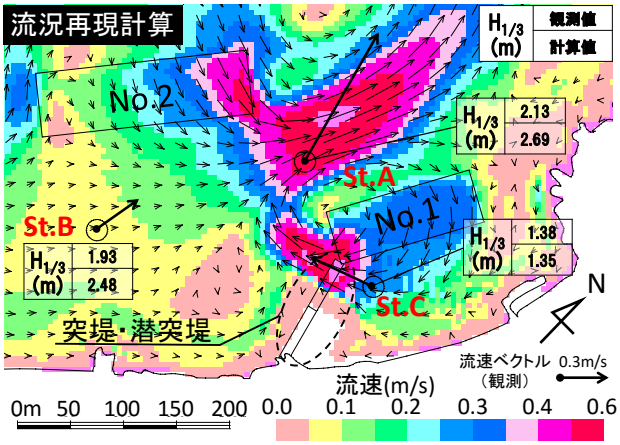


図-15 波浪・流況再現計算結果

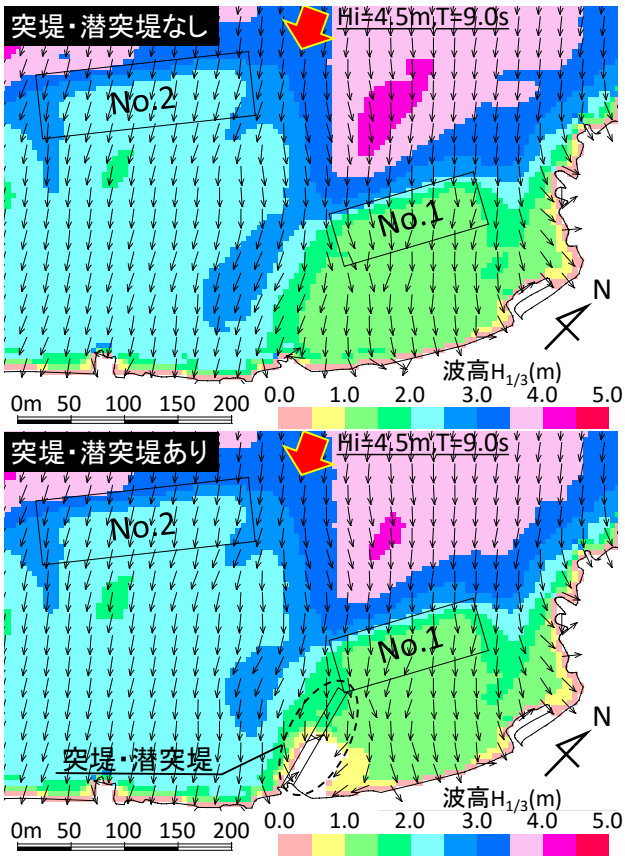
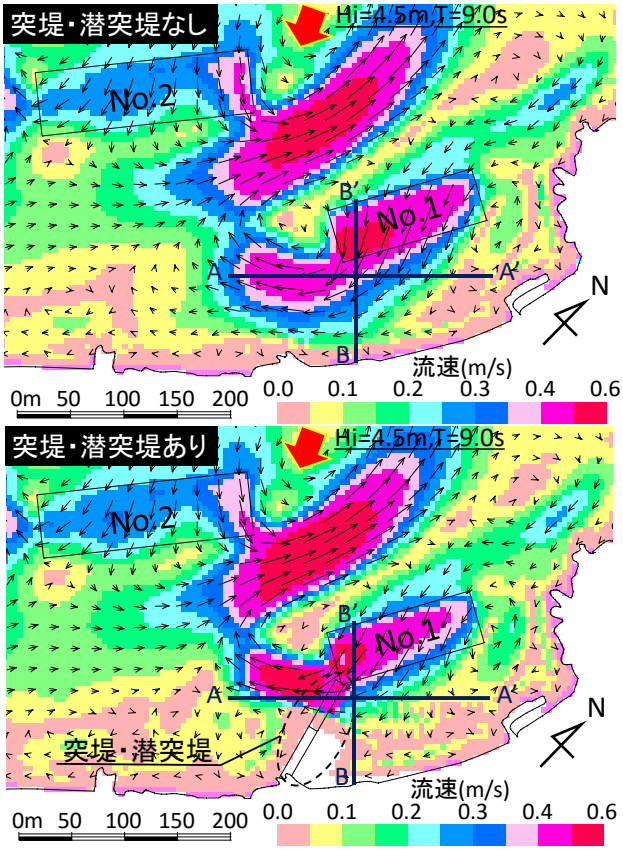
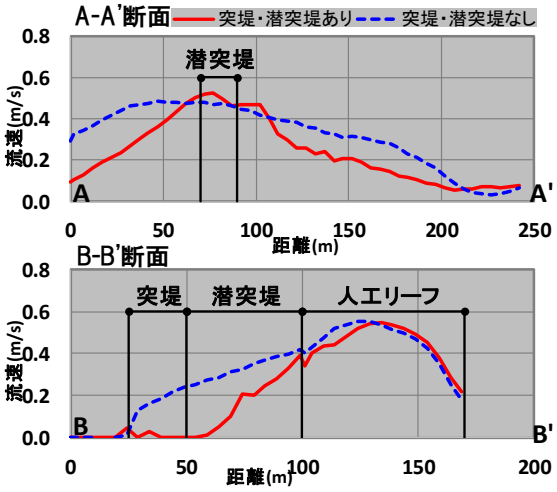


図-16 突堤・潜突堤の有無による波高・波向分布比較



図−17　突堤・潜突堤の有無による流況比較



図−18　潜突堤部周辺の流速分布比較

6.　まとめ

砂浜のほとんど存在しなかった海岸において，人工リーフと養浜工とで海岸保全計画を策定，その際に養浜砂の流出を抑制するための突堤・潜突堤，さらには河口閉塞を防止するための導流堤を補助施設として設置し，砂浜を創出した事例を紹介した．人工リーフは波浪を低減させる効果はあるものの，天端上での砕波に伴い誘発される流れにより，人工リーフ背後および開口部で定常的な流れが発生していることが波浪・流況観測により明らかとなった．また，この流れを制御する突堤・潜突堤の効果をブシネスク方程式モデルによる波浪変形および海浜流計算により明らかとし，人工リーフと養浜を組み合わせた海岸保全工法に対する補助施設としての突堤・潜突堤の有効性を示した．今後は，養浜完了（2018年予定）後の砂浜の安定性をモニタリングし，維持養浜の必要性も含めて砂浜の維持管理方法を検討する方針である．

参考文献

1) 和田耕作，上野博史，宇名手環，高木利光，永田千広，三宅由衣: 島根県和木・和木波子海岸の侵食実態, 海洋開発論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.766-771, 2013.
2) 宇多高明，森川数美，上橋昇，大木孝志，芹沢真澄，神田康嗣，福本崇嗣: 皆生海岸のクレスト型人工リーフ周辺の地形変化実態とその予測，土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.65, No.1, pp.571-575, 2009.
3) 黒岩正光，松原雄平，市村康，丸毛裕治，中野伸太郎，津留秀臣:人工リーフ開口部における地形変化に関する研究，土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.566-570, 2012.
4) Madsen, P. A. and O. R. Sorensen: A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics, Part. 2 A slowly-varying bathymetry, Coastal Eng. , 18, pp. 183-204, 1992.
5) 佐藤愼司，Michael Kabiling: Boussineaq 方程式を用いた波浪・海浜流・海浜変形の数値計算，海岸工学論文集　第 40 巻, pp.386-390, 1993.

(2018. 3. 15 受付)

PERFORMANCE OF GROIN AND SUBMERGED GROIN FOR BEACH NOURISHMENT IN WAKIHASHI COAST

Takuyuki SUGIHARA,　Yasunori SAITHO,　Makoto IKETANI,
Toshimitsu TAKAGI,　Sakae TAKAGI,　Takuya OTANI,　Yoshinaga SETOGUCHI
and Yuko SORIMACHI

The beach nourishiment works with sand(d_{50}=0.3-1mm) behind the artificial reef for protection of Wakihashi coast in Shimane prefecture have made good achievement. This works have begun to yield the stable beach. This performance can attribute to the groin and the submerged groin conneted to the edge of the artificial reef, because it was comfirmed that these structures reduce the nearshore current due to the artificial reef by computing of the Boussinesq equation model.