

数値計算による潜り突堤群の沿岸漂砂制御特性に関する検討

Numerical Computation on Beach Erosion Control Function of Submerged Groin System

合田良実¹・小野信幸²・宇野喜之³

Yoshimi Goda, Nobuyuki Ono and Yoshiyuki Uno

Numerical computations are made for the nearshore currents and morphology around a system of multiple submerged groins. They function in decreasing the speed of longshore currents and controlling beach erosion. Nearshore currents are computed with the PEGBIS model by Goda (2004) for wave transformation and beach morphology is estimated with the suspended sediment transport model by Katayama and Goda (2000). The computation indicates the efficacy of a submerged groin system for beach erosion control.

1. はじめに

潜り突堤群は突堤の天端を水面下に抑えて景観に配慮しつつも、海浜を安定させる工法として期待されるものである。米国、ギリシャ等では成功事例が報じられている (Goudasら, 2001, Holmberg, 2001) けれども、日本ではほとんど未紹介であり、施工事例もみられない。上記の成功事例と称するケースも定量的データは提示されていない。このため、海浜流と浮遊砂輸送の試計算を行い、潜り突堤群の機能に関する知見を得ることを目的とする。

2. 潜り突堤に期待される機能

潜り突堤群は図-1に示すように、沿岸流が卓越する海岸部に汀線に直角に突き出す構造物である。各突堤は沿岸流に対して人工粗度として機能し、沿岸流は突堤の頂部で剥離を起こし、突堤の高さの10~20倍の距離を進んだ地点で海底に着地すると考えられる。

こうした剥離流の現象を的確に再現するには、渦動粘性係数を導入したよる3次元数値計算と必要としよう。しかし、本論文においては潜り突堤群の機能の概要を検討する目的で、平面2次元計算を行う。潜り突堤による流速の減殺効果を表すため、底面摩擦係数を局所的に増大させて計算を行う。具体的には、各突堤の下手側の3格子について摩擦係数を5倍に高め、第4番目の格子の摩擦係数を2倍として計算を行った。

潜り突堤群によって沿岸流速が減殺されると、それによって運ばれてきた浮遊砂は沈降時間を長くとることができ、突堤群周辺で浮遊砂沈降による堆積が起きることが期待される。

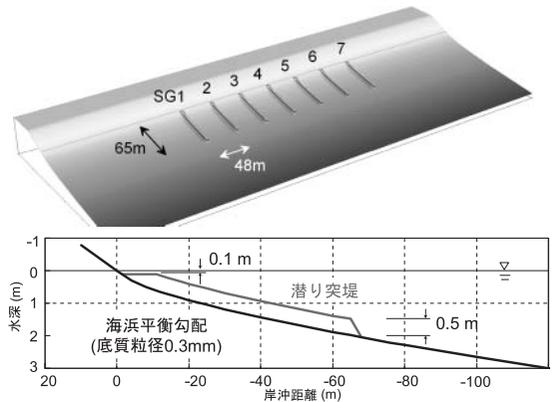


図-1 潜り突堤イメージ図

3. 波浪・海浜流・地形変化の数値計算

波浪変形、海浜流および地形変化計算は、以下のモデルを用いて行った。平面波浪場の計算は、合田 (2002, 2004) による放物型方程式に段階的碎波モデル (PEGBIS) を導入した波浪変形モデルを用いた。

海浜流場は、平面波浪場の計算結果から得られるラディエーション応力の勾配に加え、サーフェスローラーによる励起力を考慮し、平均水位と断面平均流について算定した (合田, 2008)。水平拡散項は、Larson・Kraus (1991) が提案する底面の水粒子水平速度 u_m 、代表長としての波高 H を使用する式 (1) を用いた。

$$v = \Lambda u_m H \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 u_m は微小振幅波理論により $u_m = \pi H / (T \sinh kh)$ で計算される。また、 Λ は0.3~0.5程度の定数である。底面摩擦項は、波と流れの共存場における摩擦力を算定した。各突堤の下手側では2.で述べたように、沿岸方向の摩擦係数 $C_{fx} = 0.02 \sim 0.05$ とした。岸沖方向の摩擦係数 C_{fy} については0.01を用いた。

地形変化計算にはKatayama・Goda (2000, 2002) によ

1 名誉会員 工博 (株)エコー 技術顧問
2 正会員 工博 (株)エコー 調査・解析部課長
3 正会員 修(工) (株)エコー 調査・解析部主任

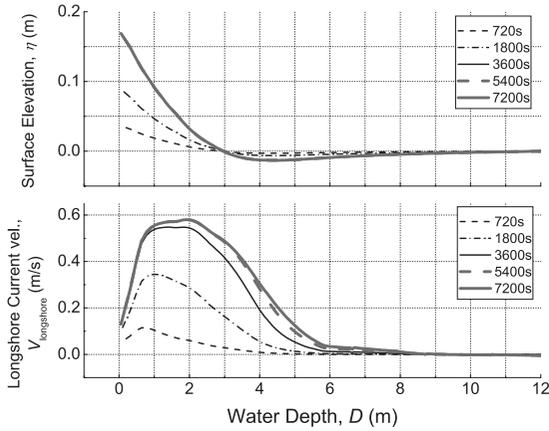


図-2 時間ステップ毎の海浜断面分布の変化図
($H_s = 2\text{m}$, $T_p = 8\text{s}$, 入射角 20°)

る浮遊砂モデルを用いた。これは浮遊砂濃度を波エネルギーフラックスの損耗率に比例して海底から浮遊砂が巻き上げられ、浮遊砂の移流による輸送・沈降に基づいて地形変化を計算する。

海底地形は、底質粒径を 0.3mm に対する Dean の平衡海浜断面とし、沿岸方向は一様な直線海岸とした。水深 0.5m , 1m , 2m (潜り突堤先端水深), 5m での海底勾配は、それぞれ 0.041 , 0.029 , 0.021 , 0.013 であり、岸から沖に向かって緩勾配となる。計算範囲は、沖側境界を水深 20m とし、格子サイズは、岸沖方向については水深 12m 以上で 16m 、その岸側では 4m とし、沿岸方向には全領域で 4m とした。

波浪条件は、潜り突堤の設置数および設置間隔を変化させた Case-1 ~ 5 については、波高 $H_s = 2\text{m}$ 、周期 $T_p = 8\text{s}$ 、入射波向が 20° の JONSWAP 型方向不規則波 ($\gamma = 1$) とし、方向集中度 S_{max} を 75 に設定した。

海浜流は水位と流速の時間変化を同時に計算させており、突堤を設けない場合の岸沖方向の水位分布と沿岸方向流速の岸沖分布の時間変化を図-2 に示す。時間間隔は、試計算に基づき 0.025 秒とした。図から分かるように、水位および沿岸流の岸沖分布は 7200 秒以降に収束することを確認した。なお、計算は汀線位置でうち切っている。

図-3 は、先端水深を 3m とする突堤を海岸に設置した場合の海浜流の平面分布図である。突堤の上手側の流れは、突堤による遮断によって一度沖側へ向かい、それから下手側で岸側へ戻る。その際に突堤の下手側では循環流が発生する。

突堤は、沿岸方向の流れを遮断することによって沿岸漂砂を制御するが、下手側の侵食や局所的な強い流れ、洗掘、段々状汀線形成等の問題点が挙げられる。また付近に海水浴等で利用される海岸がある場合には、景観の悪化が懸念される。以下に述べるように潜り突堤群では

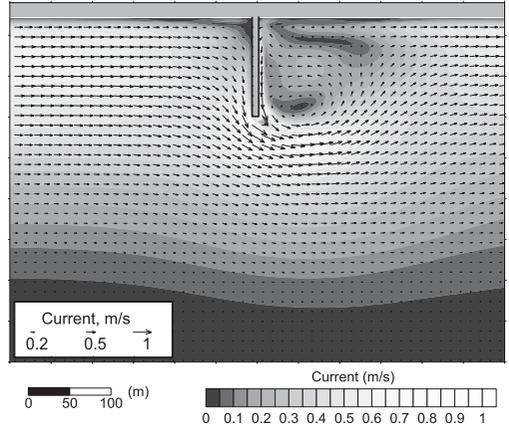


図-3 突堤周辺の海浜流分布図

こうした問題点が解消される。

潜り突堤による沿岸流速の減殺効果は、2. で述べたように摩擦係数の局所的増大で表現できると仮定している。ただし、現地観測などの検証データがないため、摩擦係数の調整による流況の変化を検討した。図-4 は今回用いた摩擦係数の局所的増大による流況であり、上が全体図、下が拡大図である。図示はしていないが、摩擦係数を海域で一様 ($C_{fx} = C_{fy} = 0.01$) としたケースでは突堤による流況の変化が小さかった。

潜り突堤の上手側では突堤のすぐ近くでやや沖側に向かって流れ、突堤の上で岸向きに変化する。突堤の間の岸近くでは二つの循環流が見られる。この循環流は、サーフェスローラー導入の効果によるものであることが試計算の結果より分かっている。

図-5 は、潜り突堤群内部 (SG4 と SG5 の中央部、図-4 参照) における海浜流の沿岸方向成分の断面分布であり、潜り突堤を設置しない場合 (Case-1) と設置した場合 (Case-2) について比較している。潜り突堤群を設置する場合は、潜り突堤が設置されている水深 $0 \sim 2\text{m}$ の範囲で、設置しない場合に比べて流速が小さくなる。さらに、水深 0.8m 未満の領域では流向が逆向きとなる。

図-6 は、3 時間後の地形変化量と地形変化後の水深分布を示す。潜り突堤の流れの上手側で堆積し、下手側で侵食している。潜り突堤を境界として浮遊砂の一部が捕捉される効果が表現されており、沖側境界を潜り突堤先端水深とする突堤間セルの中央 (図-6 中に矢印で示す範囲) で堆積していることが確認できる。この堆積域の岸側では侵食領域がみられ、潜り突堤間中央部での海浜流場 (図-4 下図) から、碎波によって巻き上げられた浮遊砂が岸から沖へ向かって移動すると考えることができる。この計算結果から、潜り突堤間では勾配が緩くなり、ステップ状の地形に近づく傾向が示唆される。

また、潜り突堤の先端部の流れは、図-3 に示す干出型

の突堤先端部の流れに比べ、流れが弱く、洗掘の懸念は少ないと考えられる。

4. 潜り突堤群による沿岸漂砂制御特性

潜り突堤が群列として機能することを検討するため、潜り突堤を1基 (Case-3) と3基設置した場合 (Case-4, 5) について、波・流れと地形変化の計算を行った。また、3基設置の場合には、設置間隔が影響すると考えられたため、間隔を48m (Case-4) と96m (Case-5) に設定した場合について計算を行った。

図-7は、Case2~5の海浜流の岸沖分布の比較図である。抽出した断面は、中央部の潜り突堤から海浜流の下手方向24mの断面である。3基を96m間隔で設置したCase-5 (図中点線) は、1基設置のCase-3 (図中一点破線) との差が小さい。つまり、設置領域の中心での沿岸漂砂を軽減させる効果は小さい。複数の潜り突堤を設置する際に、浮遊漂砂の補足率を大きくするためには、流れの下手側の潜り突堤を上手側の潜り突堤による影響が及ぶ範囲に配置する必要があると考えられる。

図-8に、既に図-4に潜り突堤7基を設置したCase-2を除く3ケース (Case-3~5) の海浜流の平面分布図に示す。

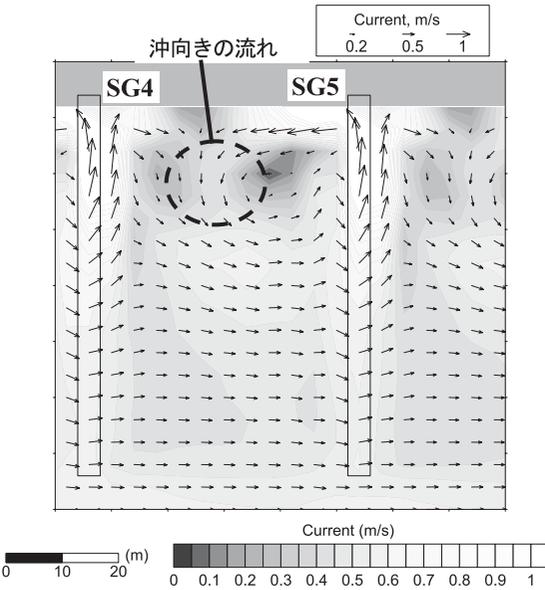
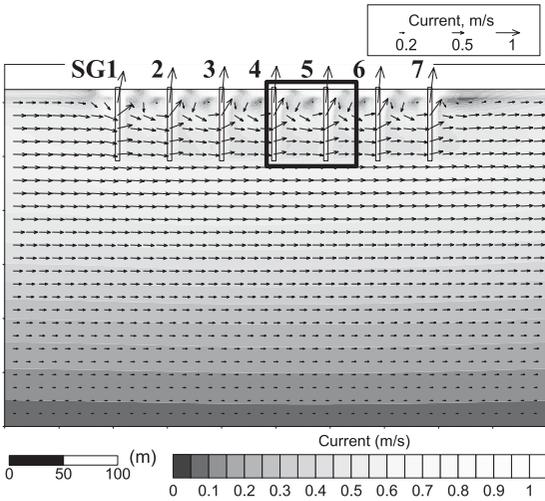


図-4 潜り突堤周辺海浜流分布 (上図：設置区間全域，下図：区間SG4~SG5の拡大図)

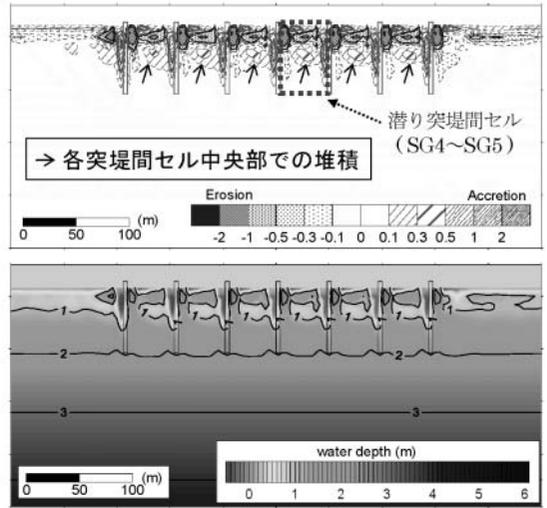


図-6 潜り突堤群周辺の3時間後の地形変化量および地形変化後の水深分布

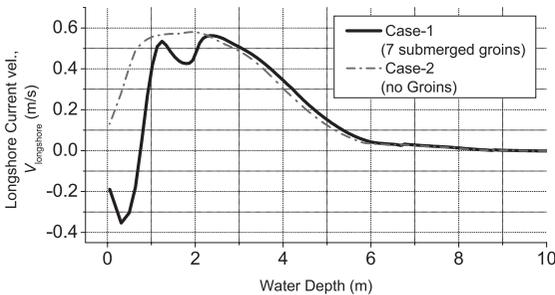


図-5 潜り突堤設置時の海浜流断面分布

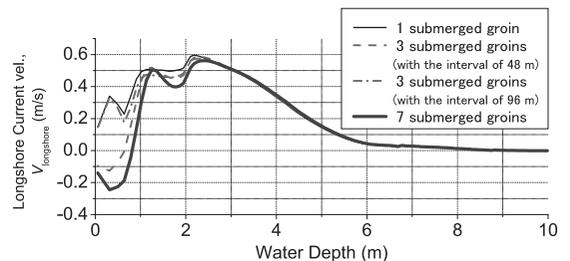


図-7 潜り突堤1基・3基設置時の海浜流断面分布比較図

図-9は、Case-3～5において外力を3時間作用させた後の地形変化量分布を示す。これらのケースでは、7基を設置したCase-2でみられた潜り突堤間セル中央に広がる堆積域の水深変化量が小さく、分断された分布になっている。このことから、海浜流の断面分布から得られた結果と同様に、Case-3～5の中ではCase-4が漂砂の捕捉効果が大きく、潜り突堤群の設置間隔はその機能に影響を与えるため、重要であると考えられる。

5. 異なる波浪条件下の潜り突堤の機能に関する検討

潜り突堤群の機能を評価するため、表-1に示す9組の波浪条件（波高3条件と波形勾配3条件の組み合わせ）下における地形変化計算を実施し、図-10に示す9つの領域の土砂の堆積・侵食量を図-11に整理した。沿岸漂砂の上手に位置するSG1の上手側領域Area1では、SG1によって浮遊漂砂量が減少し、大きく堆積傾向を示す。

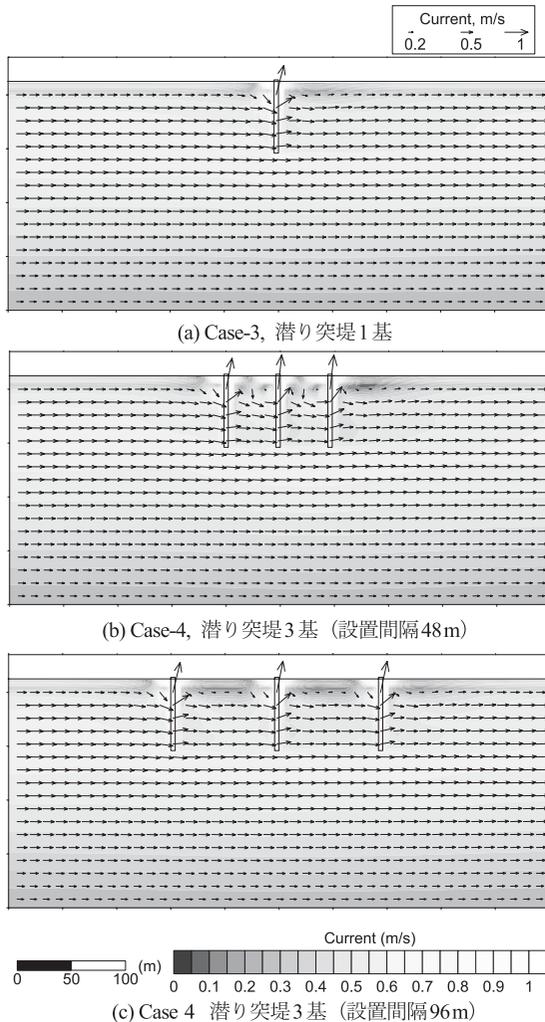


図-8 潜り突堤1基・3基設置時の海浜流分布図

表-1 検討する条件一覧（波浪，潜り突堤形状，地形）

項目	条件
波浪	波高 $H_0 = 1, 2, 3m$ 波形勾配0.005, 0.01, 0.02 (計9ケース)
潜り突堤の配置・形状	7基 (48m間隔で配置, 図-1の形状) 先端部水深2m, 天端高0.5m 最低水深0.1m (図-1参照)
海底地形	Deanの平衡海浜断面, 底質粒径0.3mm

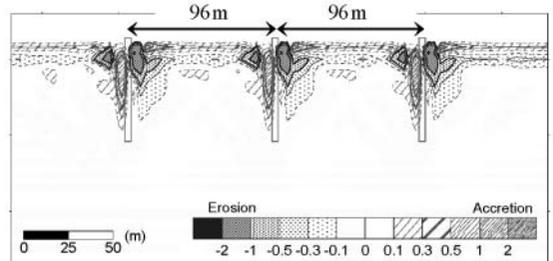
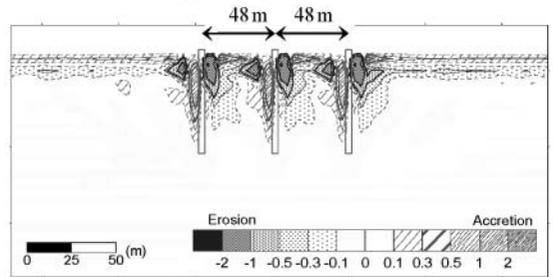
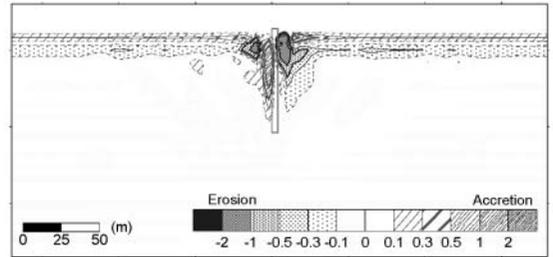


図-9 潜り突堤1基・3基設置時の3時間後の地形変化量

Area2～7は潜り突堤により上手および下手の両側を制御されている領域であり、図-6や図-9で潜り突堤付近で地形変化がみられるものの、潜り突堤によって挟まれた区間においては、土砂変化量は小さい。これは、各突堤上を通過する漂砂量の差異が少ないためである。

また、変化量としては少ないものの、Area7で侵食傾向がみられる。侵食量は、波形勾配がより大きい場合や波高が大きい場合にみられる。海浜流分布図から土量解析領域から沖側に運ばれている可能性が考えられる。

図-12に、波形勾配 $H_0/L_0 = 0.01$ の3ケースについての浮

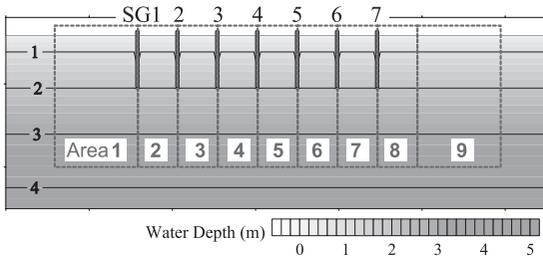


図-10 潜り突堤周辺の堆積土砂解析の領域区分図

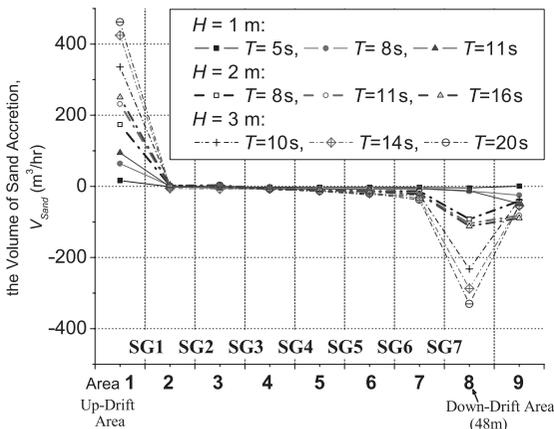


図-11 潜り突堤群周辺の堆積土砂量 (マイナスは侵食)

遊砂濃度, 海浜流の沿岸方向成分および浮遊漂砂フラックス沿岸方向成分の岸沖分布を示す. 抽出した断面は, SG4とSG5の中央の断面である.

浮遊砂や海浜流は, 砕波が生じる領域で発生しており, ケース別にみると, 波高が高いほど沖側に広がっている.

先端水深を2mとする場合に, 先端水深以下の水深帯では波の屈折効果によって波向は12°程度になり, 潜り突堤間における波エネルギーフラックスおよび浮遊砂濃度は, 潜り突堤の影響は小さい. 図-5と同様に, 潜り突堤群が設置される水深帯では, 流速の軽減や汀線付近での海浜流の反対方向の流れが確認できる. よって, 潜り突堤による漂砂制御機能は, 主に海浜流を変化(軽減, 制御)させることによって発揮されると考えられる.

波高2m, 周期11秒のケースについて, 潜り突堤内部と設置されていない断面について浮遊漂砂フラックスを積分し沿岸漂砂量を算出した. この結果から, 沿岸漂砂が3割ほど軽減されていると分かった.

6. まとめ

本論文は, 潜り突堤の沿岸漂砂制御工としての機能および有効性に関する一つの試論であり, 今後検討を進めるべき課題が多く残されている. ここまでの段階で明らかになった事項は以下のようなものである.

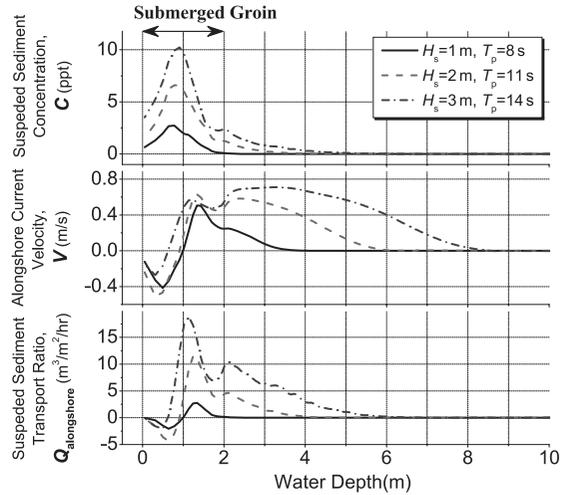


図-12 潜り突堤群設置時の浮遊砂濃度, 海浜流, 沿岸漂砂量の岸沖断面分布 (波形勾配 $H_0/L_0 = 0.0$ の3ケース)

- 1) 数値計算によって, 突堤を没水型としても沿岸流速を減殺し, 海浜流を制御できることが明らかになった.
- 2) Katayama・Goda (2000, 2002) による砕波による浮遊砂巻き上げ・移流モデルを用い, 潜り突堤のそれぞれの上手側で堆積, 下手側で侵食が起きることを示すことができた.
- 3) 潜り突堤群の機能を発揮するには, 設置間隔をその延長に対して適切に選ぶことが必要である.

今回は潮位変化がない海浜を対象としたが, 現地適用の際は汀線付近を埋設するので, 機能的には潮位変化のある場所でも適用可能と考える. ただし, 今後は移動境界も取り入れ, 多くのケースについて数値計算を行い, 潜り突堤群の機能についてさらに検討していきたい.

参考文献

片山裕之・合田良実 (2002) : 砕波巻き上げによる浮遊砂の輸送・沈降過程に着目した地形変化の計算, 海岸工学論文集, 49, pp.486-490.
 合田良実 (2008) : 耐波工学, 鹿島出版会, pp.310-312.
 合田良実 (2002) : 段階的砕波係数を導入した3次元地形場の不規則波浪計算, 海洋開発論文集, 18, pp.197-202.
 Goda, Y. (2004) : A 2-D random wave transformation model with gradational breaker index, Coastal Eng. Journal, 46 (1), pp. 1-38.
 Goudas, C. L. et al. (2001) : Soft protection using submerged groin arrangement, Proc. 1st Conf. Soft Shore Protection, pp. 167-186.
 Holmberg, D. (2001) : Alternative to traditional ways of treating shoreline erosion, Proc. 1st Conf. Soft Shore Protection, pp. 139-150.
 Katayama, H. and Y. Goda (2000) : A sediment pickup rate formula based on energy dissipation rate by random breaking, Proc. 27th Int.Conf. Coastal Eng., pp. 2859-2872.
 Larson, M. and N. C. Kraus (1991) : Numerical model of longshore current for bar and trough beaches, J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., ASCE, 117 (4), pp. 326-347.