

干潟の地形・底質粒度の安定化工法に関する平面水理実験

3-D Physical Model Test of a New Type of Method Stabilizing Bottom Topography and Sediment Size Distribution of Tidal Flat

湯浅城之¹・片倉徳男²・高山百合子²・上野成三³

Shiroyuki YUASA, Norio KATAKURA, Yuriko TAKAYAMA and Seizo UENO

Among artificial tidal flats constructed in Japan, it has been reported that the sea bed and the sediment size, which are important factors for benthos inhabiting a tidal flat, were not stable after the construction due to the wave action. In order to reduce the change of the sea bed and the sediment size, a new method which reproduces the function of the seagrass stabilizing the sea bed was developed with a net. The optimization of the dimension of the height and the interval of the net was studied by a wave flume test. Then, the effect of the method on the stabilization of the sea bed was evaluated by a wave basin model test. The result shows that the change of the sea bed and the grain-size is significantly reduced by the method developed in this study.

1. はじめに

人工干潟の造成が各地で実施されている中、波浪による侵食を受けて造成当初の地形や底質粒度が維持できないという問題が生じている。干潟に生息する底生生物にとって、地盤高や底質粒度は重要な環境因子のひとつであることから（例えば、曹ら, 2003; 上野ら, 2004; 国分ら, 2004, 2005）、人工干潟の設計には、地形・底質の安定化対策が必要であると言える。

一般に、海岸地形の侵食防止対策には、離岸堤や潜堤などの大型構造物の設置が実施されてきたが、その一方で、人工海藻による安定化技術の開発も行われてきた。人工海藻や藻場周辺の流況や漂砂については、多くの研究が行われているが（例えば、浅野ら, 1988, 1991; 間瀬ら, 1989; 菅原ら, 1990; 加藤ら, 2005）、潮位変動によって汀線位置や波浪が大きく変化する干潟域を対象とした研究例は少ない。

このような観点から、著者らは、干潟地形を対象として、潮位変動や波浪履歴を考慮した一連の水理実験を行い、干潟特有の変化特性について調べてきた（湯浅ら, 2005, 2006a）。また、コアマモ場が存在する干潟では、海底への作用流速が低減して地形・底質粒度が安定することも明らかにした（湯浅ら, 2006b）。

そこで、本研究では、干潟の地形と底質粒度を安定させる方法として、コアマモ場が持つ流速低減機能を模倣した新しい工法を開発し、その効果を平面水理実験により検証した。

2. 実験装置および方法

(1) 安定化工法

地形および底質粒度の安定化工法のイメージを図-1に示す。本工法は、天然のコアマモ場と同様に海底への作用流速を低減させる機能を維持し、かつ、底質やベントスへの影響を考慮して底面の被覆を少なくするため、柔軟性のあるネットを垂直に立てるような形状とした。硬質な材質は、洗掘が起こり、また、柔軟であっても遮水するようなシートは、対策工自体に大きな抵抗がかかってしまうため、波に追従して動揺する柔軟性のネットを用いた。なお、これらのネットを岸沖方向にチェーンで連結することにより、地形の起伏にも対応して設置することが可能な構造とした。

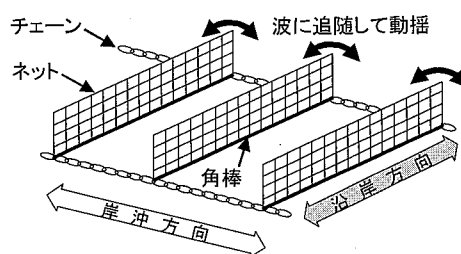


図-1 安定化工法のイメージ

(2) 実験手順

最初に、今回考案した工法の安定化機能を確認するため、試実験を実施した結果（縮尺 1/25, ネット高さ 4 cm, ネット設置間隔 5 cm）、地形変化量は非常に小さく、本工法によって地形変化を抑制できることが確認できた。しかし、この試作模型を実スケールに換算すると、高さ 100 cm, 間隔 125 cm となり、実用的な規模ではない。そこで、基本構造はこのままとして、適切なネット

1 正会員 (財)三重県産業支援センター
2 正会員 大成建設(株) 技術センター
3 正会員 博(工) 大成建設(株) 技術センター

の高さおよび設置間隔について、二次元水槽にて諸元最適化実験を行い、本工法の最適な諸元を求めた。さらに、この諸元に基づいて作製した本工法を用いて効果確認実験を平面水槽で実施し、本工法の効果を確認した。平面水槽で実施した試実験と効果確認実験は、本工法の諸元以外は全て同じ条件で実施した。

(3) 二次元水槽（諸元最適化実験）

試作した本工法の実用化に適した諸元を求めるため、異なるネット高さとし設置間隔を組み合わせた予備実験を二次元水槽で行った。

実験装置を図-2に示す。実験は、本工法を設置した干潟模型に、現地の高波浪に相当する規則波 ($H_0=6$ cm, $T=1.2$ s) を3時間作用させた後、地盤高を計測して地形変化状況を調べた。本工法の諸元は、ネット高さを0.5, 1, 2 cm, ネットの設置間隔を2, 4, 8 cmとし、これらを組み合わせた9ケースおよび対策無しの場合の計10ケースについて実施した。

地形計測後、本工法設置範囲内と設置範囲の岸・沖側の侵食・堆積量をそれぞれ算出し、その結果から最適諸元について検討した。

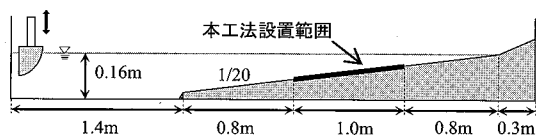


図-2 実験装置（二次元水槽）

(4) 平面水槽（試実験・効果確認実験）

平面水槽（幅17m、長さ35m、高さ1.6m）に縮尺1/25となる干潟模型（沿岸距離8m、岸沖距離9m）を造成し、その上に本工法を設置した後（写真-1）、所定波浪作用後の地盤高および底質粒度分布を計測した。試実験および効果確認実験の条件は、対策工の諸元以外は同様とした。

実験諸元を表-1、実験装置を図-3に示す。干潟地形は、LWL時の汀線 ($y=4$ m) を法肩とし、沖側法面 ($y<4$ m) の勾配を1/20、潮間帯 ($y>4$ m) の勾配を1/100とした。底質材料には、粒径が約0.02～1mmの幅広い粒度分布（中央粒径約0.25mm）を持つ混合珪砂を用いた。本工法の諸元は、試実験では、高さ4cm、間隔5cm、効果確認実験では、高さ1cm、間隔2cmとし、侵食の大きいLWL時の汀線付近 ($x=0\sim8$ m, $y=2\sim5$ m) にそれぞれ敷設した。作用波は、多方向不規則波による直角入射とし、 M_2 分潮を対象とした潮位変動を与えながら、高波浪25時間と常時波浪125時間を交互に2回ずつ作用させた（図-4）。この作用時間は、実験縮尺における潮汐周期に換算すると、それぞ

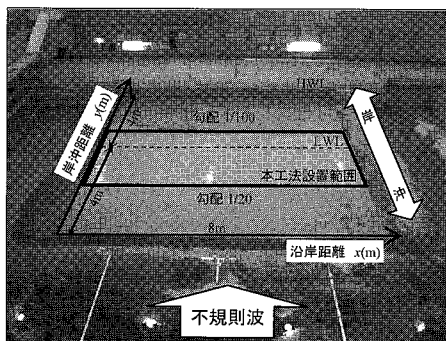
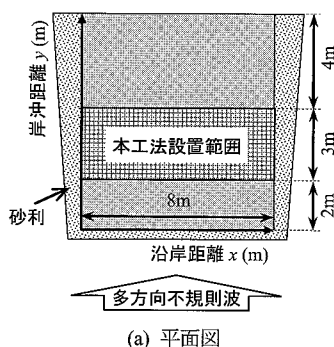


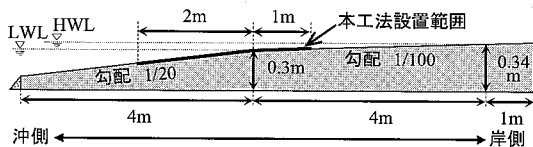
写真-1 平面水槽

表-1 実験諸元

模型縮尺	1/25
作用波	多方向不規則波（高波浪・常時波浪）
入射角度	0°
常時波浪	$H_{1/3}=2$ cm, $T_{1/3}=0.9$ s
高波浪	$H_{1/3}=8$ cm, $T_{1/3}=1.0$ s
潮位	LWL: 30 cm, HWL: 34 cm
潮汐変動	振幅: 2 cm, 周期: 2.5 h
地形勾配	沖側法面 1/20 潮間帯 1/100
底質	混合珪砂 (d_{50} : 約0.25 mm)



(a) 平面図



(b) 鉛直断面図

図-3 干潟模型（平面水槽）

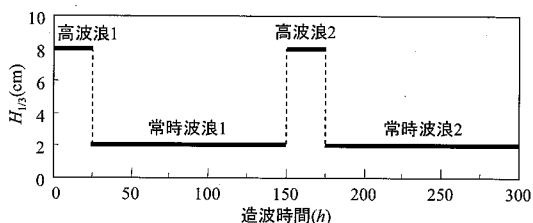


図-4 作用波パターン

れ 10 および 50 周期に相当する。

各波浪作用後に、地形計測と底質採取を行った。地形計測は、沿岸方向(x)、岸沖方向(y)ともに $0 \sim 8$ m の範囲を 10 cm 間隔で砂面測定装置を用いて測定した(計 6561 点)。底質は、沿岸方向(x)が $0.5 \sim 7.5$ m、岸沖方向(y)が $0 \sim 8$ m の測線において、 $0.5 \sim 1$ m 間隔で表層 5 mm の底質を採取した(計 111 点)。採取した試料は、レーザ回折式粒度分布測定装置を用いて粒度分布を計測し、中央粒径(d_{50})、シルト粘土含有率(粒径 0.075 mm 以下) および均等係数(d_{60}/d_{10})を算出した。

3. 実験結果および考察

(1) 試 実 験

平面水槽で実施した試実験において、造波終了後(300 時間後)の地盤高の平面分布図を図-5、底質粒度(中央粒径)の平面分布図を図-6 に示す。また、著者らが実施した対策無しの実験結果(湯浅ら, 2006a)を比

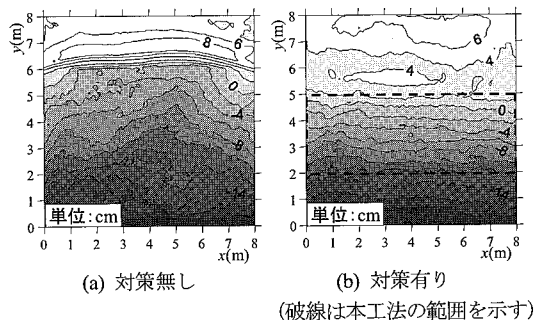


図-5 地盤高平面分布図

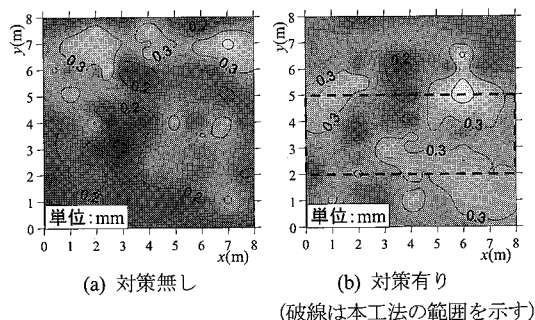


図-6 底質粒度平面分布図(中央粒径)

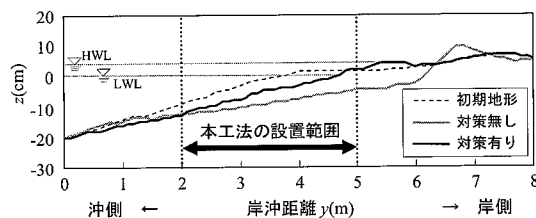


図-7 最終形状における地盤高断面 ($x = 2.46$ m 平均)

較対照するために示した。

対策無しの場合、法肩付近($y = 3 \sim 6$ m)で大きく侵食し、その岸側($y = 6 \sim 7$ m)でバームが発達した。これに対し、対策有りでは、法肩付近($y = 3 \sim 5$ m)がやや侵食して本工法設置範囲岸側($y = 5 \sim 6$ m)に小規模なバームが形成されたが、設置範囲沖側($y = 1 \sim 2$ m)では局所的な洗掘は見られず、地形変化は極めて小さかった。また、底質の中央粒径においても、対策無しではバーム形成域($y = 6 \sim 7$ m)で粗粒化し、沖側では細粒化する傾向が見られたが、対策有りでは、岸沖方向で明確な差は見られず、比較的变化の小さい分布となった。

地盤高の鉛直断面図($x = 2, 4, 6$ m 平均)を図-7 に示す。対策無しでは、法肩($y = 4$ m)で約 8 cm の侵食があったが、対策有りの侵食は約 4 cm だけとなり、半減していた。また、バームの規模も小さかったことから、非常に緩やかな初期形状を維持できた。

以上のことから、本工法の試実験において、地形および底質粒度の変化が抑制されており、本工法に安定化機能があることが明らかになった。

(2) 諸元最適化実験

図-8 に規則波作用後の地形変化状況を示す。ここでは、対策無しとネットの高さを 1 cm とした 3 ケース(ネット設置間隔 2, 4, 8 cm)の結果について表した。

対策無しでは、 $x = 1.4$ m 付近で碎波によって大きく侵食し、沖側に輸送・堆積してバームを形成した($x < 0.6$ m)。これに対し、本工法を設置した場合も、地形変化は見られたが、変化量は対策無しよりも小さく、また、ネットの設置間隔が狭いほど、本工法設置範囲内および岸側での変化量が小さくなっていた。

図-9 に初期地形と造波後の変形量(変形後-初期地形)を示す。ここでは、ネットの高さを 1 cm とした 3 ケースについて、本工法設置範囲とその沖・岸側におけ

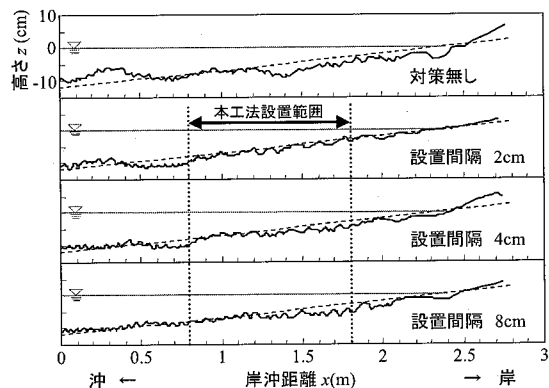


図-8 地形変化状況(ネット高さ 1 cm)

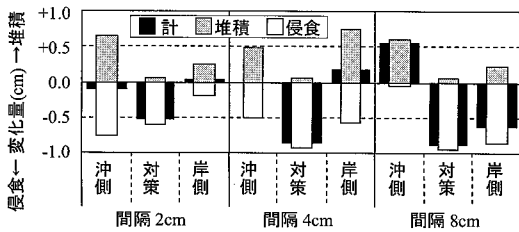


図-9 地形変化量 (ネット高さ 1 cm)

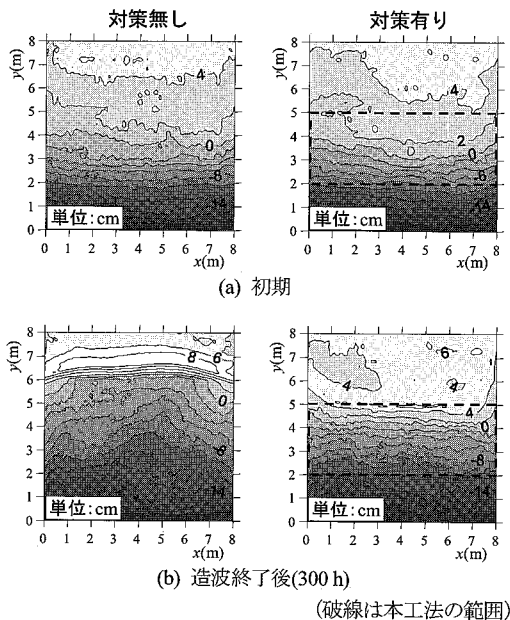


図-10 地盤高平面分布図

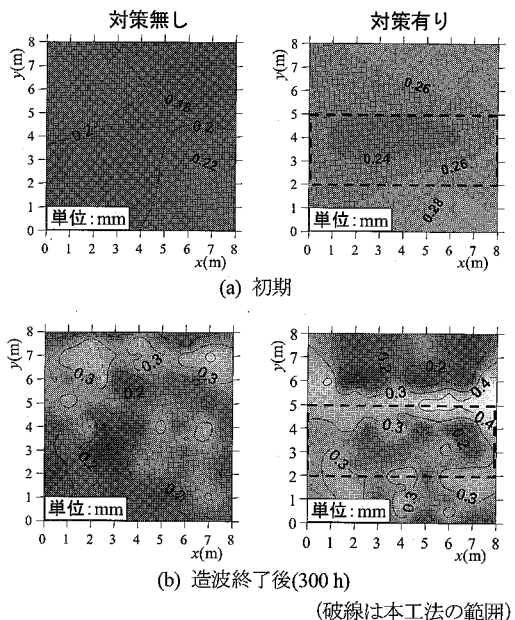


図-11 底質粒度平面分布図 (中央粒径)

る地形変化量 (侵食量・堆積量) を表した。ネットの設置間隔が広いほど、沖側では侵食がなくなって堆積傾向となり、対策範囲と岸側では侵食傾向が見られた。ここでは示していないが、この傾向は、他のネット高さのケースにおいても、概ね同様であった。なお、当初はネットが高い方が浪低減効果を得られやすいと考えていたが、ネット高さ 1 cm より 0.5 cm と 2 cm の方が地形変化が大きくなっており、予想と反する傾向にあった。

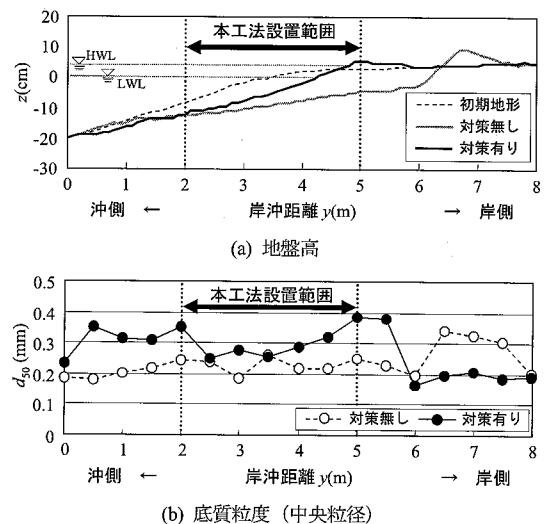
以上より、地形安定化効果と実スケールでの施工性を考慮して、本工法の諸元は、ネット高さを 1 cm、設置間隔を 2 cm に決定した。

(3) 効果確認実験

初期および造波終了後における地盤高の平面分布を図-10、底質粒度 (中央粒径) の平面分布を図-11 に示す。また、対策無しの結果 (湯浅ら, 2006a) についてもそれぞれ示した。

対策有りの地盤高は、試実験と同様に、本工法範囲内 ($y=2 \sim 4$ m) でやや侵食し、一部の砂が岸方向に輸送されて設置範囲岸側付近 ($y=5 \sim 6$ m) で僅かにバームが形成される傾向が見られた。対策無しと比較すると、侵食量やバーム規模が明らかに小さくなっており、緩やかな干潟の形状を維持することが出来た。底質粒度は、堆積が見られた $y=5$ m 付近で粗粒化したが、本工法岸側 ($y=6 \sim 8$ m) では、減衰した波浪によって細粒分だけが輸送され、細粒化する傾向が見られた。

造波終了後の岸沖方向における断面図を図-12 に示す。ここでは、 $x=2, 4, 6$ m の平均で表した。対策無しは、法肩付近 ($y=3 \sim 6$ m) の侵食と、岸側 ($y=6 \sim 7$ m) でバーム形成による変化が大きかったが、対策有りの場

図-12 岸沖方向における鉛直断面 ($x=2.4, 6$ m 平均)

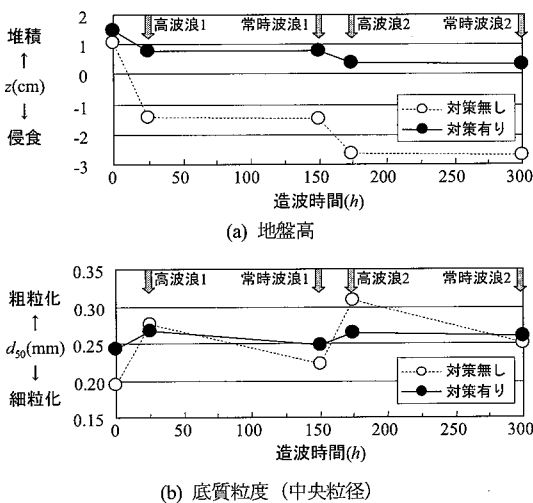


図-13 地盤高・底質粒度の経時変化 ($y=2 \sim 8$ m 平均)

合、侵食域や堆積域（バーム形成域）の規模が著しく減少し、なだらかな形状となった。底質中央粒径をみると、対策有りでは、バーム形成域 ($y=5 \sim 5.5$ m) と本工法設置範囲の沖側 ($y=0.5 \sim 2$ m) で粗粒化していたが、バームの岸側 ($y>6$ m) では流れの弱い静穏域となることから、細粒化した。

常時波浪と高波浪の波浪履歴による地盤高・底質粒度の経時変化を図-13に示す。ここでは、本工法設置範囲とその岸側における全測点 ($x=0 \sim 8$ m, $y=2 \sim 8$ m) の計測値を平均して表した。造波による平均侵食量は、対策無しでは約 3.8 cm (現地スケールで約 95 cm) であったが、対策有りでは約 1.2 cm (現地スケールで約 30 cm) となり、対策無しの約 1/3 に減少した。また、対策無しでは、波浪履歴に連動して高波浪時に侵食・粗粒化し、常時波浪時には細粒化する現象がみられた。これは、著者らが行った実験結果と同様の結果である (湯浅ら, 2005, 2006a)。これに対し、対策有りでは、地盤高・底質粒度ともに変動が小さく、ほとんど変化がなかった。

なお、均等係数およびシルト粘土含有率の結果においても同様の整理を行ったところ、中央粒径と同様の変化特性が見られたため、掲載は省略した。

以上より、柔軟性ネットを用いた本工法は、干潟の地形形状と底質粒度の変化を抑制し、安定させる効果が有ることが確認できた。今後は、本工法の実用化に向けた実証を得るため、本工法を用いた現地実験を実スケールで実施していくことが課題となる。

4. 結 論

本研究では、干潟を対象とした地形と底質粒度の安定

化工法を開発し、水理実験によりその効果を確認した。主要な結論を以下に示す。

- ・干潟の地形および底質粒度を安定させるため、コアマモ場の流速低減機能を模倣した対策工を開発した。
- ・異なるネット高さと設置間隔を組み合わせた実験を行った結果、本工法の最適な諸元を高さ 1 cm、間隔 2 cm とした。
- ・開発された本工法を用いた水理実験の結果、地形および底質粒度の変化は小さくなり、本工法に安定化効果があることが確認できた。
- ・今後は、実用化に向け、現地海域における実証実験が必要である。

謝辞：本研究は、三重県地域結集型共同研究事業の一部で実施された。また、水理実験にあたり、大成サービス(株) から多大な協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 浅野敏之・筒井勝治・酒井哲郎(1988)：海藻が繁茂する場の波高減衰の特性，海岸工学論文集，第 35 巻，pp. 138-142。
- 浅野敏之・出口 浩・間瀬 肇・小林信久(1991)：揺動する海藻群落上を伝播する波の特性，海岸工学論文集，第 38 巻，pp. 26-30。
- 上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004)：人工干潟の設計資料として整理した三番瀬干潟における底生生物の出現特性：海岸工学論文集，第 51 巻，pp. 1006-1010。
- 加藤 大・島谷 学・柴山知也(2005)：アマモ群落における底質輸送機構と底質安定性向上効果について，海岸工学論文集，第 52 巻，pp. 1001-1005。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004)：英虞湾における浚渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られた干潟底質の最適条件，海岸工学論文集，第 51 巻，pp. 1191-1195。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2005)：英虞湾における浚渫ヘドロを用いた大規模造成干潟の底質と底生生物の特性について，海岸工学論文集，第 52 巻，pp. 1196-1200。
- 菅原一晃・入江 功(1990)：人工海草による底質移動の制御効果について，海岸工学論文集，第 37 巻，pp. 434-438。
- 曹 慶鎮・丁 仁永・西嶋 渉・滝本和人・岡田光正(2003)：人工干潟の創出及び復元における斜面勾配の影響，土木学会論文集，No.727/Ⅶ-26，pp. 23-30。
- 間瀬 肇・古田幸也・酒井哲郎・浅野敏之・柳生忠彦(1989)：傾斜海浜に設置した人工海藻による波浪変形解析，海岸工学論文集，第 36 巻，pp. 90-94。
- 湯浅城之・上野成三(2005)：干潟地形を対象とした地形と底質粒度に関する二次元水理実験，海岸工学論文集，第 52 巻，pp. 436-440。
- 湯浅城之・上野成三・高山百合子・織田幸伸(2006a)：干潟地形を対象とした地形と底質粒度に関する平面水理実験，海岸工学論文集，第 53 巻，pp. 481-485。
- 湯浅城之・上野成三・高山百合子・織田幸伸(2006b)：コアマモ場の干潟地形安定化効果に関する二次元水理実験，海岸工学論文集，第 53 巻，pp. 496-500。