

急斜面を有する海岸における沖合土砂流出防止壁の効果に関する実験的研究

Laboratory Study on the Effect of Walls for Preventing Offshore Sediment Movement around a Submarine Canyon

福島眞司¹・熊切良行²・福濱方哉³・山田浩次⁴・有村盾一⁵・山田文則⁶

Shinji FUKUSHIMA, Yoshiyuki KUMAKIRI, Masaya FUKUHAMA,
Kouji YAMADA, Junichi ARIMURA and Fuminori YAMADA

Fuji coast has several submarine canyons with steep slope. According to the previous surveys one of them located in front of Yoshiwara may cause the material of beach nourishment to move offshore. In this study the effect of the submarine wall proposed as the countermeasure were investigated using the 2-D hydraulic model test with sandy bed. As the results, it is found that the eddy yielded nearby the wall caused by waves has a significant effect on the sediment movement, and that effect depends on the location and the height of the wall.

1. はじめに

駿河湾の北部に位置する静岡県富士海岸は、富士山を背景とした白砂青松の風光明媚なことで知られ利用も盛んであることから、近年問題となっている海岸侵食に対しては動的養浜による対策が採用されている。この海岸は、急勾配地形の海岸であり最も急な場所では勾配が約 1/2 であり、沖海域から進行した波が海岸前面まで減衰せずに来襲する。富士海岸中央に位置する吉原では、毎年約10万^mの養浜を投入しているが、目標とする管理汀線まで砂浜が回復するまでには至っておらず、その何割かは沖向き漂砂により海底の急勾配部分に落ち込んでいることが田中ら(1997)および永井ら(2004)によって明らかにされている。

この対策として、汀線とほぼ平行に連続する垂直突堤型構造物を海中に土砂流出防止壁として設置する方法を提案した。この機能としては、高波浪時に顕著となる沖向き漂砂を急勾配部分である海底谷に落ち込む前に、効率的に捕捉することを期待している。しかしながら、池田ら(1983, 1985)によると、波動場の水中に置かれた垂直突堤型の構造物周辺で発生する渦の特性と地形変化は、水深に対するこの構造物の相対的な高さによって規定され、壁高が相対

的に高くなると沖側への渦の剥離が生じることが指摘されている。波動場での壁の設置は、壁周辺に発生する渦の作用により、沖合に流出する土砂量が増加する可能性があることから、連続壁の設置水深、壁高さの最適化を行う必要がある。

本研究では、断面2次元移動床水理模型実験により、海底断面の違いによる養浜材の流出特性、土砂流出防止壁の岸沖漂砂制御効果とその洗掘に対する安定性について検討を行った。さらに、土砂流出防止壁の現地での最適基本諸元についても検討を行った。

2. 実験方法および実験ケース

(1) 実験断面の選定

実験断面は、図-1のような静岡県に位置する富士海岸の海底地形をモデル化したものを用いた。富士海岸では汀線から海底谷外縁までの沖方向距離の長短により海底谷への土砂流出特性が異なるため、実験断面は標準断面と海底谷断面の2断面を代表断面とした。標準断面は急勾配部

- | | | |
|-------|------|-----------------------------------|
| 1 正会員 | 修(工) | 三重県 県土整備部 総括室長(前沼津河川国道事務所) |
| 2 | | 国土交通省北陸地方整備局 沼津河川国道事務所 調査第一課 |
| 3 正会員 | 工修 | 国土交通省北陸地方整備局 黒部河川事務所 事務所長 |
| 4 正会員 | 工修 | 国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部海岸研究室 主任研究官 |
| 5 正会員 | 修(工) | (株)アイ・エヌ・エー 海岸部 |
| 6 正会員 | 博(工) | (株)アイ・エヌ・エー 海岸部 |

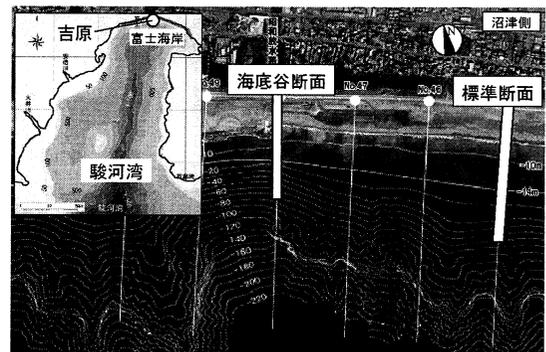


図-1 静岡県富士海岸(吉原)

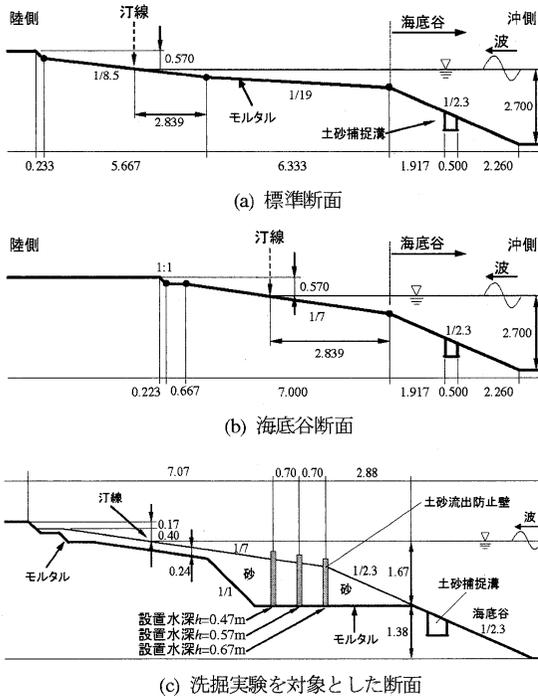


図-2 実験模型断面(縮尺 1/30)

分である海底谷までの沖方向距離が長く、海底谷断面は沖方向距離が短い断面である。

(2) 実験方法および条件

実験は、長さ140m、幅2m、深さ5mの大型断面水路を用いて行った。実験縮尺は1/30であり、断面は図-2(a), (b), (c)のような3種を用いた。図(a)および(b)はモルタルで地形を作成し、その上に養浜材を配置して実験を行った。養浜材は地形勾配に合わせて厚さ0.13mで法先が水深0.47mとなるように配置した。実験に使用した養浜材の粒径は、現地粒径 $d = 10 \sim 150\text{mm}$ ($d_{50} = 70\text{mm}$) と相似となる模型養浜材粒径 $d = 0.3 \sim 5.0\text{mm}$ の範囲とした。

図(b)には土砂流出防止壁を3地点に設置し、それに対応するように養浜材を図-3のように厚さ0.13mで配置した。土砂流出防止壁の設置位置は、実験水深 $h = 0.47\text{m}$, 0.57m および急勾配部との境界である 0.67m であり、現地水深では14m, 17m および20mに対応した3地点である。設置した土砂流出防止壁は、壁高 $B = 0.10\text{m}$ および 0.17m の2種とした。

図-2(c)は、図のように地形を作成し、その上に砂を整形して海底谷断面を作成した。使用した砂の粒径は、現地の海底砂の中央粒径 $d_{50} = 6\text{mm}$ に相当する 0.2mm を使用した。土砂流出防止壁は、壁高 $B = 0.17\text{m}$ のものを水深 0.47m , 0.57m および 0.67m に設置した。

波浪条件は、現地への来襲頻度の高い高波 (1/1~1/3確率年) と1/30確率年の高波を想定してそれぞれ現地波高5m

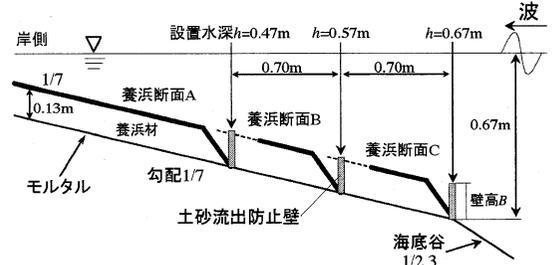


図-3 養浜材と土砂流出防止壁の配置

表-1 実験ケース一覧

CASE	断面	移動床条件	土砂流出防止壁		入射波高	作用時間
		法先水深(m)	設置水深(m)	壁高(m)	H(m)	(hr)
A1	標準断面	養浜断面A	0.47 (14.0)	無し	0.17 (5.0)	3.0 (16.5)
		養浜断面A	0.47 (14.0)	無し	0.33 (10.0)	3.0 (16.5)
		養浜断面A	0.47 (14.0)	無し	0.33 (10.0)	3.0 (16.5)
A2	標準断面	養浜断面A	0.47 (14.0)	無し	0.17 (5.0)	2.0 (11.0)
		養浜断面A	0.47 (14.0)	無し	0.33 (10.0)	2.0 (11.0)
A3	標準断面	養浜断面A	0.47 (14.0)	0.10 (3.0)	0.17 (5.0)	2.0 (11.0)
		養浜断面A	0.47 (14.0)	0.10 (3.0)	0.33 (10.0)	2.0 (11.0)
A4	標準断面	養浜断面A	0.47 (14.0)	0.17 (5.0)	0.17 (5.0)	2.0 (11.0)
		養浜断面A	0.47 (14.0)	0.17 (5.0)	0.33 (10.0)	2.0 (11.0)
A5	標準断面	養浜断面B	0.57 (17.0)	無し	0.17 (5.0)	2.0 (11.0)
		養浜断面B	0.57 (17.0)	無し	0.33 (10.0)	2.0 (11.0)
A6	海底谷断面	養浜断面B	0.57 (17.0)	0.10 (3.0)	0.17 (5.0)	2.0 (11.0)
		養浜断面B	0.57 (17.0)	0.10 (3.0)	0.33 (10.0)	1.0 (5.5)
		養浜断面B	0.57 (17.0)	0.10 (3.0)	0.17 (5.0)	1.0 (5.5)
A7	海底谷断面	養浜断面B	0.57 (17.0)	0.17 (5.0)	0.17 (5.0)	2.0 (11.0)
		養浜断面B	0.57 (17.0)	0.17 (5.0)	0.33 (10.0)	2.0 (11.0)
A8	海底谷断面	養浜断面C	0.67 (20.0)	無し	0.17 (5.0)	2.0 (11.0)
		養浜断面C	0.67 (20.0)	無し	0.33 (10.0)	2.0 (11.0)
A9	海底谷断面	養浜断面C	0.67 (20.0)	0.10 (3.0)	0.17 (5.0)	2.0 (11.0)
		養浜断面C	0.67 (20.0)	0.10 (3.0)	0.33 (10.0)	2.0 (11.0)
A10	海底谷断面	養浜断面C	0.67 (20.0)	0.17 (5.0)	0.17 (5.0)	2.0 (11.0)
		養浜断面C	0.67 (20.0)	0.17 (5.0)	0.33 (10.0)	2.0 (11.0)
B1	海底谷断面	砂による海底断面	0.47 (14.0)	0.17 (5.0)	0.17 (5.0)	1.0 (5.5)
		砂による海底断面	0.47 (14.0)	0.17 (5.0)	0.37 (11.0)	0.5 (2.75)
		砂による海底断面	0.47 (14.0)	0.17 (5.0)	0.57 (17.0)	0.08 (0.44)
B2	海底谷断面	砂による海底断面	0.57 (17.0)	0.17 (5.0)	0.17 (5.0)	1.0 (5.5)
		砂による海底断面	0.57 (17.0)	0.17 (5.0)	0.37 (11.0)	0.5 (2.75)
		砂による海底断面	0.57 (17.0)	0.17 (5.0)	0.57 (17.0)	0.08 (0.44)
B3	海底谷断面	砂による海底断面	0.67 (20.0)	0.17 (5.0)	0.17 (5.0)	1.0 (5.5)
		砂による海底断面	0.67 (20.0)	0.17 (5.0)	0.37 (11.0)	0.5 (2.75)
		砂による海底断面	0.67 (20.0)	0.17 (5.0)	0.57 (17.0)	0.08 (0.44)

※ 模型縮尺1/30 ()内は現地スケール

(波浪 A) および10m (波浪 B), 周期は長期波浪観測資料に基づいて高波浪来襲時の平均的な現地周期11sを設定した。実験ではそれぞれ波高0.17m および0.33mとし、時間縮尺はフルード則に従い1/5.5となることから実験周期2.0sとした。造波はすべてのケースで規則波とした。波の作用時間は、波浪 A を120~180分程度 (現地換算11~16.5時間)、波浪 B は60~120分程度 (現地換算5.5~11時間) として作用させた。

計測は、波高、流速、土砂流出防止壁に作用する圧力および地形変化形状について実施した。波高分布は、最終地形計測後に容量式波高計を用いて測定を行った。地形形状測定はレベルを用いて行い、造波後に水路中央測線、側面から0.3m離れた2測線の計3測線を実施し、その平均値を採用した。

(3) 実験ケース

実験ケースおよび実験条件を表-1に示す。CASE A1および A2は、海底断面の違いによる土砂流出特性の違いを対象とした実験であり、図-2(a)および(b)の断面を用いて

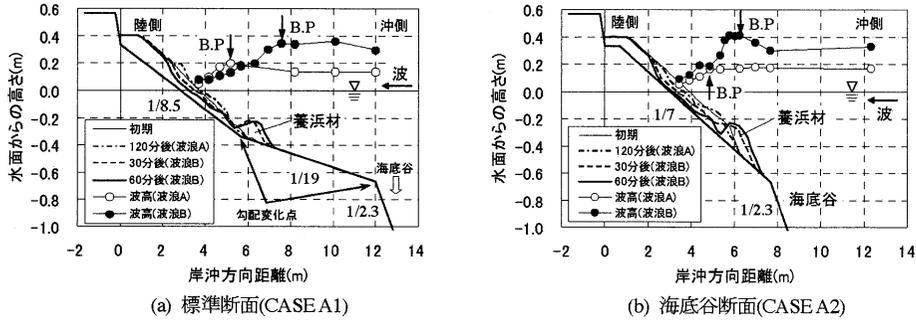


図-4 標準断面と海底谷断面の断面地形変化

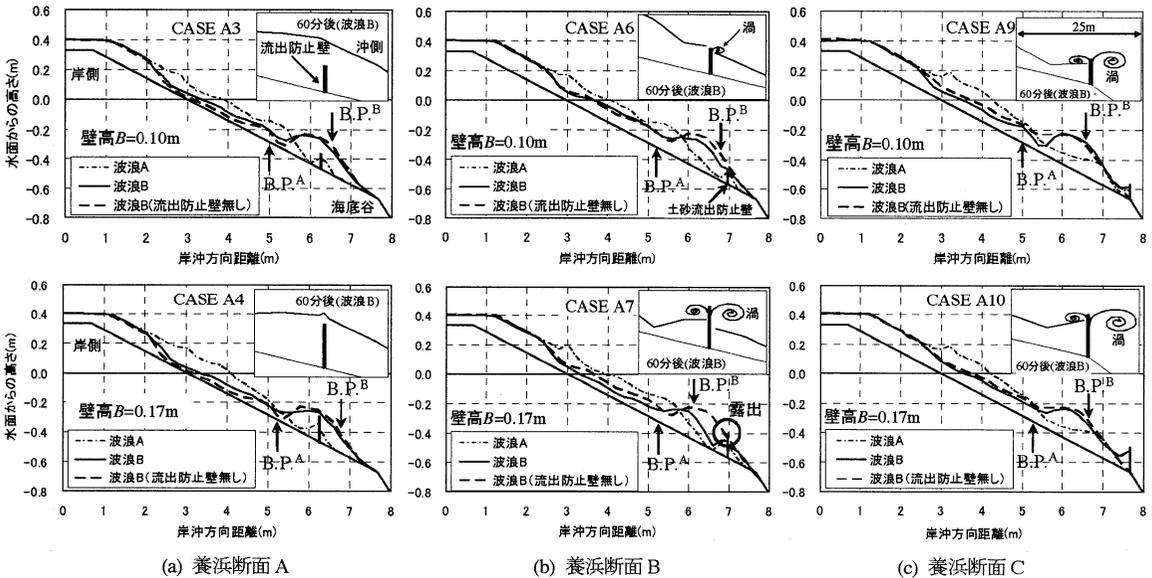


図-5 土砂流出防止壁設置時の断面地形変化図(上段:壁高0.10m設置・下段:壁高0.17m設置)

実施した。CASE A3~A10は土砂流出防止壁の養浜材の流出防止効果評価を対象とした実験であり、図-2(b)の断面に土砂流出防止壁を設置して実施した。CASE B1~B3は土砂流出防止壁周辺の洗掘による安定性の検討を対象とした実験であり、図-2(c)の断面に土砂流出防止壁を設置して実施した。

3. 実験結果および考察

(1) 断面の違いによる養浜材の流出特性

標準断面と海底谷断面の各断面地形変化のようすを図-4に示す。図中には波浪AおよびBを作用させた場合の最終地形、碎波点(B.P.)および最終地形に応じた波高分布を示す。図に示すように、太線の波浪Bを60分作用後の地形では、どちらの断面においても養浜材の沖方向先端部にバーが形成されている。図(a)の標準断面では、岸沖方向距離6mに位置する底面の勾配変化点周辺に養浜材が溜まっており、海底谷が始まる岸沖方向距離12mの位置まで

到達していない。一方、図(b)に示す海底谷断面では、海底谷となる1/2.3勾配との境界地点まで、太線で示すバーが進行しており、養浜材の海底谷への流出が見られた。

(2) 土砂流出防止壁による養浜材の流出防止効果

a) 土砂流出防止壁設置による断面地形変化

土砂流出防止壁設置時の断面地形変化のようすを図-5(a), (b), (c)に示す。図中の断面は、各養浜断面の法先の位置に壁高0.10mおよび0.17mの土砂流出防止壁を設置した場合の結果である。図の上段が壁高0.10m、下段が0.17mを設置したものである。点線は波浪Aを120分、実線は波浪Bを60分作用させた場合を示す。太い点線は、流出防止壁を設置せずに養浜だけの状態で波浪Aを120分および波浪Bを60分作用させたときの地形である。記号B.P.は碎波点であり、添字Aは波浪Aを作用させた場合、添字Bは波浪Bを作用させた場合の位置である。

図-5(a)は養浜断面Aの法先に壁高0.10mおよび0.17mの土砂流出防止壁を設置した場合の結果である。図に示す

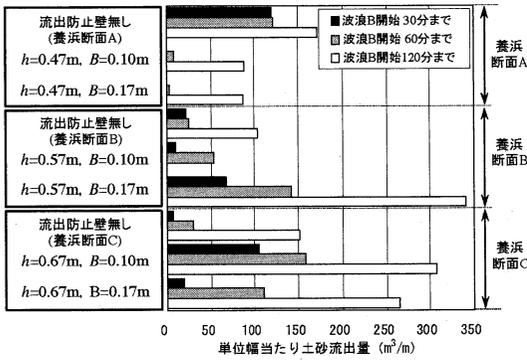


図-6 海底谷への養浜材の流出量

ように、点線の波浪 A 作用後では、養浜材は流出防止壁周辺で三角形に堆砂している。波浪 B 作用後では、どちらのケースも流出防止壁が養浜材中に埋没し、この周辺にバー地形が形成される結果となった。

図-5(b)は養浜断面 B の法先に流出防止壁を設置した場合の結果である。図に示すように、波浪 A 作用後では、設置水深0.47mと同様に流出防止壁の両サイドに三角形に養浜材が堆砂している。上段の図に示す壁高0.10m 設置時に、波浪 B 作用させた場合では、図中の実線のように流出防止壁は養浜材にはほぼ埋没している。一方、壁高0.17m の場合では、流出防止壁の天端が養浜材から露出した形になっており、その周辺で図中の右上図に示すような渦が形成されていた。養浜材はその渦により舞い上げられ、急勾配部分である海底谷に流出する傾向が見られた。

図-5(c)は養浜断面 C の法先に流出防止壁を設置した場合の結果である。図に示すように、波浪 A 作用後では、壁高0.10m および0.17m ともに大きな地形変化は見られなかった。波浪 B 作用後では、養浜材は流出防止壁の沖側には堆積せず岸側のみで堆積している。どちらの壁高の場合においても流出防止壁周辺では、右上の図のような渦が形成されており、その渦によって養浜材が舞い上がっていた。

これらの結果より、図-5(b)下段の点線で示すように土砂流出防止壁を設置しない場合の地形より、流出防止壁の天端が露出しているような場合では、この周辺に渦が生成される傾向があることがわかった。

b) 海底谷への養浜材の流出量

図-6は急勾配 (1/2.3勾配) 部分である海底谷への養浜材の流出量を示したものである。図の養浜材の流出量は造波終了後に海底谷に落ち込んだ総流出量を直接計測し、単位幅当たりの養浜材の流出量に換算したものである。養浜材の流出量は、波浪 B の造波30分後、造波60分後および造波120分後の結果である。ただし、造波30分後および60分後は、地形変化量に基づく推定値である。

図に示すように、養浜断面 A の条件で土砂流出防止壁

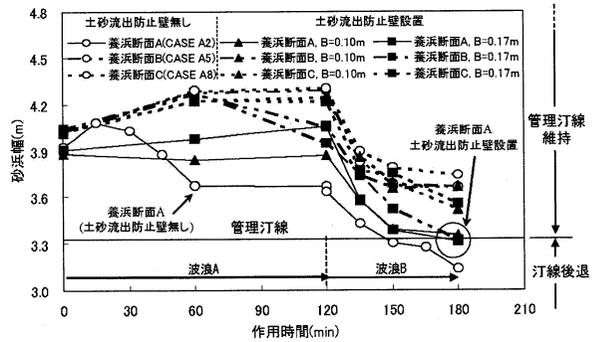


図-7 砂浜幅の時間変化

を設置した場合では、流出防止壁を設置しない場合と比較して、海底谷への養浜材の流出量が減少している。これは、流出防止壁が障害物となることで、養浜材の沖方向への移動を遅らせているためと考えられる。図の中央に示す養浜断面 B の法先に壁高0.10m の流出防止壁を設置した場合では、波浪 B の作用時間30分までは、養浜材だけを配置した CASE A5 より、養浜材の流出量が減少している。ただし、波浪 B の60分作用後の結果では、逆に土砂流出防止壁を設置することで養浜材の流出量が増加する結果となった。これは、土砂流出防止壁を設置することで、その周辺で養浜材が舞い上がることで、流出防止壁によって波の状態が変化したことが原因と考えられる。

養浜断面 B の法先に壁高0.17m、養浜断面 C の法先に壁高0.10m および0.17m を設置した3つのケースでは、流出防止壁を設置しない場合より、すべての時間で沖方向への養浜材の流出量が増加する傾向が見られた。これより、土砂流出防止壁の設置位置、壁高および波浪条件によって、養浜材の流出防止効果が大きく変化することが示された。また、この結果と図-5の断面地形変化図から、土砂流出防止壁周辺で渦が形成されるような場合に、海底谷への養浜材の流出量が大きくなることがわかった。

c) 管理汀線の維持効果の確認

図-7は砂浜幅の時間変化を示したものである。図の砂浜幅は、図-5の岸沖方向距離0m から汀線までの距離を示した値である。図に示すように、波浪 A 作用時では、大部分のケースで砂浜幅の減少は見られなかった。白丸の実線で示す養浜断面 A の流出防止壁設置無しの条件では、砂浜幅が0.30m 程度減少している。この条件では、養浜量が少なく、土砂流出防止壁のような構造物がないため、ほかのケースより入射波波高が減衰しにくかったことが原因と考えられる。

波浪 B を作用した場合は、すべての断面で汀線が後退し、砂浜幅が減少している。養浜断面 A では、流出防止壁を設置した場合においても、砂浜幅が3.3m 程度 (管

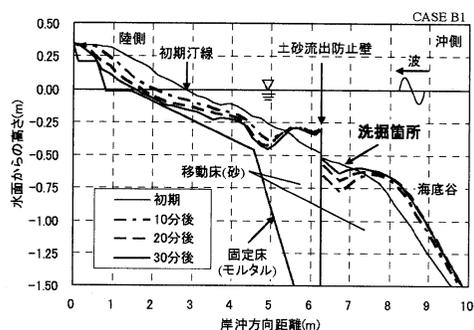


図-8 土砂流出防止壁周辺の洗掘状況

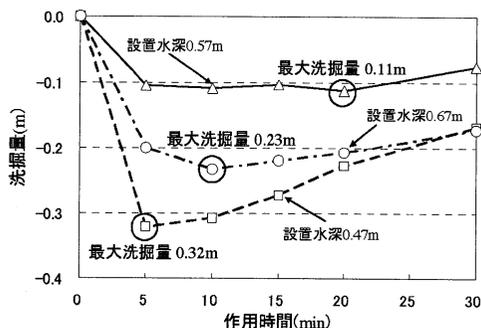


図-9 洗掘量の時間変化

理汀線位置)まで減少する傾向が見られた。

今回実験の対象としている富士海岸では、海岸の維持管理上において現地スケールで砂浜幅100mを維持する必要があり、実験スケールでは3.3m程度となる。今回の実験結果から、図の白丸の実線で示す養浜断面Aの流出防止壁設置無し以外の場合では、管理上に必要な砂浜幅をほぼ維持できることがわかった。

(3) 洗掘に対する安定性の評価

図-8は砂で整形した移動床模型に波高0.37mを30分間造波させ、10分間隔の断面測量結果を示したものである。図はCASE B1の土砂流出防止壁を水深0.47mに設置した結果である。図に示すように、土砂流出防止壁の岸側で土砂が堆砂状態となり、逆に沖側では波の通過と同時に流出防止壁沖側に渦が形成され、流出防止壁の沖側が洗掘される傾向が見られた。

図-9は波の作用時間と土砂流出防止壁の沖側の洗掘量の関係を示したものである。図の四角印が設置水深0.47m、三角印が設置水深0.57m、丸印が設置水深0.67mの結果である。図に示すように、洗掘量は造波開始から5分から10分程度で最大となり、その後は、逆に土砂が堆砂している傾向が見られる。各設置水深の洗掘量は、設置水深0.47mで最大洗掘量0.32m程度と最も大きく、設置水深0.57mで最大洗掘量0.11m程度と最も小さい結果であった。これは、設置水深0.47mでは流出防止壁の設置水深が浅く、碎波の

打ち込みの影響を強く受けるためと考えられる。

この結果より、今回の実験条件では、土砂流出防止壁を水深0.57mに設置した場合が、最も洗掘量が少なく安定性が高くなることが示された。

4. 結論

土砂流出防止壁を用いた断面2次元移動床水理模型実験を行い、以下の結果が得られた。

- 海底谷断面で養浜材の海底谷への流出が見られること
- 土砂流出防止壁の養浜材の流出防止効果は、流出防止壁の設置位置、壁高および波浪条件によって変化し、今回の条件では設置水深 $h = 0.47\text{m}$ の壁高 $B = 0.10\text{m}$ および 0.17m で養浜材の流出防止効果が高いこと
- 最終地形形状に近い状況下において土砂流出防止壁周辺で渦が形成される場合に、海底谷での土砂流出量が増加する傾向にあること
- 土砂流出防止壁の設置水深 $h = 0.57\text{m}$ で最大洗掘量が最も小さく、安定性が高いこと

以上より、土砂流出防止壁の最適基本諸元としては、養浜材の流出防止効果が高く、総養浜量が少ない養浜断面Aの法先に土砂流出防止壁を設置する設置水深 $h = 0.47\text{m}$ (現地水深14m) が有効的であることが示された。ただし、この条件では、流出防止壁周辺の洗掘量が大きいため洗掘安定性問題への対応が必要である。また、洗掘に対する安定性の高さから、短期的に養浜材の流出防止効果がみられる設置水深 $h = 0.57\text{m}$ (現地水深17m) の壁高 $B = 0.10\text{m}$ (現地壁高3m) も有効的である。

今後は、より波浪条件が厳しい場合の養浜材の流出防止効果の検討を行う予定である。さらに、富士海岸現地において、土砂流出防止壁の試験施工を行い、その結果について長期に及ぶモニタリングおよび洗掘対策についての提案を行っていく予定である。

謝辞：富士海岸の侵食対策は、「富士海岸保全検討委員会」において、委員の方々に数々の貴重なご助言を頂きました。ここに記して深甚の謝意を示す。

参考文献

- 池田駿介・浅枝 隆・杉本光由・玉川雅文(1983)：波動場に置かれた垂直板付近の流れと砂の移動に関する研究，第30回海岸工学講演会論文集，pp.284-287。
- 池田駿介・浅枝 隆・野本健司・木村恵利子(1985)：波動場に置かれた垂直板付近の発生渦の特性とエネルギー逸散，土木学会論文集，第363号/II-4，pp.87-96。
- 田中茂信・山本幸次・伊藤仁志・有澤俊治・高木利光(1997)：新型トレーサーを用いた富士海岸海底谷への土砂移動機構調査，海岸工学論文集，第44巻，pp.611-615。
- 永井健二・星 典行・浅野 剛・高木利光(2004)：蛍光X線分析法を用いた養浜材の移動追跡，海岸工学論文集，第51巻，pp.506-510。