

直轄高知海岸の土砂動態解析と土砂管理計画

森本精郎¹・久藤勝明²・矢野慎二³
鷺田正樹⁴・赤川嘉幸⁵

本研究は、高知海岸の土砂動態を明らかにし対象海岸の土砂管理のあるべき姿を検討し、海岸保全計画の検証・検討および養浜に関する検討を行ったものである。具体的には、高知海岸の土砂移動モードを反映した沿岸漂砂を解析する粒径別等深線モデルを構築し、現況と海岸保全計画実施後の土砂動態について解析を行うと共に、既存の海岸保全施設の評価と将来予測を行うための基礎資料を作成した。計算の結果、仁淀川からの計画流砂量は約 10 万 m^3 /年、海岸域の沿岸漂砂量は東向きに約 2 万 m^3 /年と予測された。さらに、岸沖漂砂について SBEACH モデルを適用し、平成 17 年の地形変化について検証計算を行った。

1. はじめに

高知海岸は、土佐湾の湾奥部に位置し、その中央部には月の名所として知られる桂浜がある。高知海岸はかつて豊かな砂浜が広がる白砂青松の海岸であった。しかし、昭和 21 年の南海大地震による地盤沈下やその後の海岸侵食によって美しい砂浜も消失の脅威にさらされるようになり、昭和 44 年度には南国工区（延長 8.15 km）が、平成 6 年度には長浜～新居工区（延長 9.80 km）が直轄海岸に指定された（図-1）。

長浜～新居工区は、防護、利用、環境の調和を図りつつ、「伊勢湾台風規模の高潮・波浪に対して安全性を確保すると共に、自然環境との調和を図る」ことを目標に、ヘッドランドと養浜を主体とする対策が進められている。

仁淀川が主な砂の供給源ではあるが、河口部では過去に海底掘削（約 400 万 m^3 ）が行われた影響で、現在も河口沖に掘削穴が形成されており、そこへ仁淀川からの流出土砂が落ち込んでいると推測される。そのため、漂砂下手側に十分な漂砂供給がなされていない状況にある。

本研究は、高知海岸（長浜～新居工区）の土砂動態を明らかにし、対象海岸の土砂管理のあるべき姿を検討し、海岸保全計画の検証・検討を行ったものである。検討にあたっては、仁淀川からの供給土砂量を混合砂一次元河床変動モデルにより経年的に求めた。海岸漂砂については粒径を考慮した等深線モデルを構築し、既存の海岸保全施設の評価と将来予測を行うための基礎資料を作成した。また、SBEACH モデルを高知海岸に適用し、モデルの係数の同定を行った。

2. 高知海岸の波浪・地形特性

(1) 海 象

高知海岸では、平成 8 年（1996 年）6 月 25 日から戸原沖の T.P.-25m 地点に観測所（図-1）が設置され、継続的に波浪、水位、流況観測が実施されている。平成 8 年～16 年までの観測成果を図-2 に示す。

(2) 地 形

高知海岸では、総延長 9.8 km の範囲に約 200 m 間隔

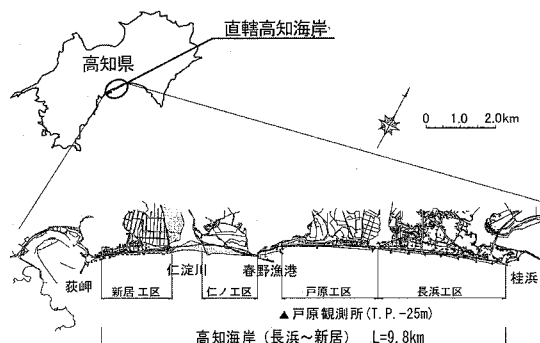


図-1 直轄高知海岸位置図

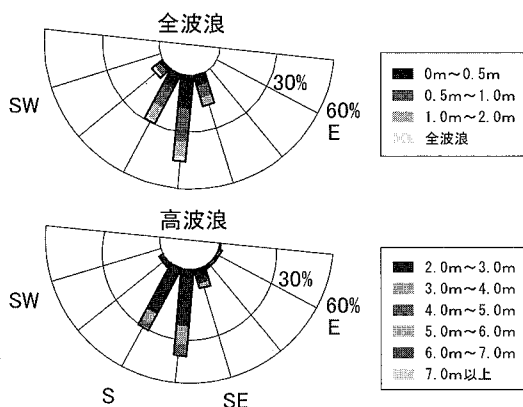


図-2 高知海岸の波浪特性（平成 8 年～平成 16 年）

1 四国地方整備局 高知河川国道事務所 前調査課長
2 四国地方整備局 高知河川国道事務所 調査係長
3 四国地方整備局 河川部河川計画課 調査第二係長
4 正会員 セントラルコンサルタント(株)環境水工部
5 正会員 工修 セントラルコンサルタント(株)環境水工部

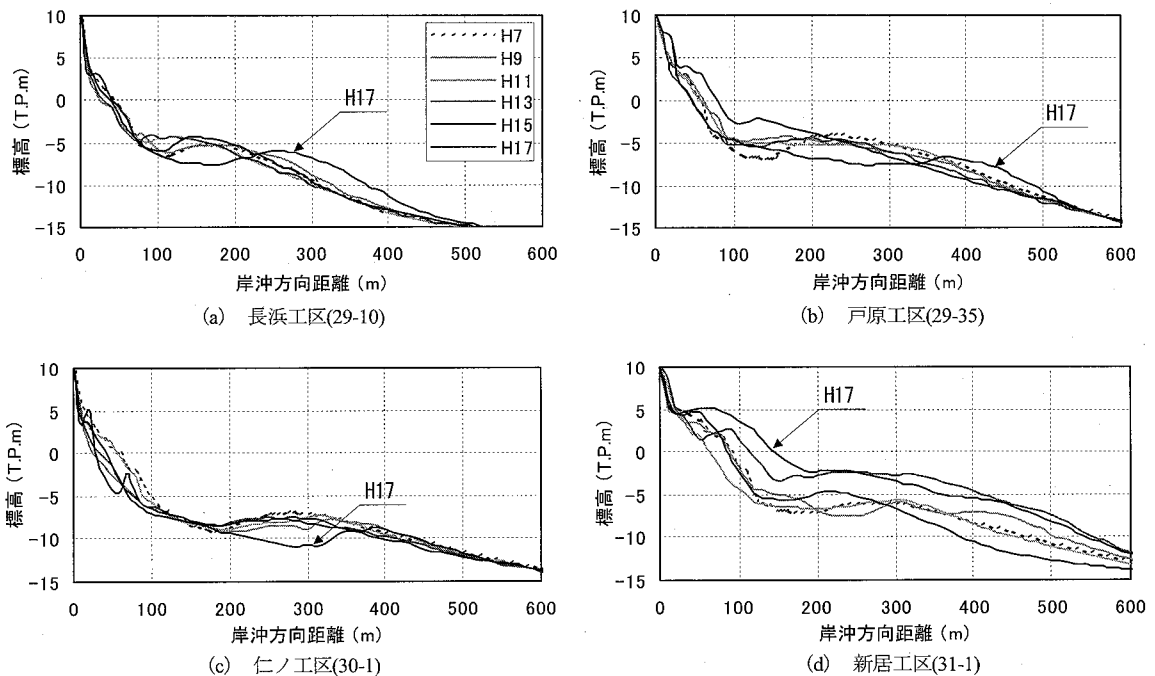


図-3 代表的な横断形状変化

で合計 57 本の測線が設定されており、平成 7 年以降、毎年 1 回 2 月頃に深浅測量が実施されている。各工区の代表的な測線における横断地形変化を図-3 に示す。

長浜・戸原工区の海浜形状は類似しており、勾配変化点は T.P. -5 m 付近で、汀線付近の海浜勾配は約 1/10 である。両工区とも突堤による整備が進められており、近年は大きな汀線変化はなく安定化傾向を示している。平成 16 年に大型の台風が多数来襲した影響で平成 17 年は沿岸砂州が大きく沖へ移動しているものの、汀線の後退はみられない。安定化の主要因は、突堤の効果と考えられる。新居工区は、仁淀川からの土砂の供給を受けて、顕著な堆積傾向を示しており、海浜勾配は長浜・戸原工区に比べて 1/15 と緩やかである。

(3) 土砂収支

表-1 に平成 3 年から平成 17 年における深浅測量結果をもとに算出した、工区別・岸沖方向距離別の年平均土砂収支を示す。土砂収支は、沿岸方向を工区毎に分割し、岸沖方向は 100 m 間隔で、測量精度と波による漂砂の移動範囲が卓越する範囲を考慮して沖合 400 m までの範囲で求めた。河口部周辺域（仁淀川～新居）では約 13 万 m^3 /年の堆積、漂砂下手側工区（長浜～仁ノ）では約 1 万 m^3 /年の侵食が確認された。その原因は、河口から流出した土砂が、漂砂下手側の仁ノ工区には供給されていないこと、春野漁港防波堤により沿岸漂砂の大部分が阻害されていることと考えられる。

工区別にみると、長浜・戸原については、海岸堤防か

表-1 土砂収支図 ($\times 10^3 \text{m}^3$ /年)

海岸堤防からの距離	新 居	仁淀川	仁 ノ	戸 原	長 浜
0-100 m	+26	-24	+ 4	+15	+ 5
100-200 m	+ 8	+29	-11	- 4	-29
200-300 m	+ 7	+40	-12	-31	+ 1
300-400 m	+16	+33	+ 2	- 1	+51
合 計	+13		- 1		

ら沖 100 m の範囲は堆積傾向を示しており、突堤の整備効果が発揮されていることが分かる。200 m 以深は戸原で侵食傾向であるのに対し、長浜は堆積傾向を示している。要因としては、高知海岸で生じている弱い東向きの漂砂が考えられる。仁ノ工区は、汀線付近を除く沖 100 m～300 m の範囲で侵食傾向を示している。これは、仁淀川河口掘削穴へ向かう西向きの漂砂に起因しているものと思われる。仁淀川河口は全体的に堆積傾向を示しているが、主たる原因は、河口からの流出土砂と隣接する仁ノ工区から掘削穴に向かう漂砂によるものと考えられる。新居工区も同様に堆積傾向にあるが、これは仁淀川河口開口部が右岸側に固定されていることで、流出土砂が新居工区に向かって流出堆積していると考えられる。

(4) 河口からの流出土砂

漂砂の供給源である仁淀川から海岸に流出する土砂量について、昭和 16 年～平成 14 年を対象に混合砂一次元河床変動計算により求めた。図-4 は河口からの流出土砂量を粒径別に経年比較したものである。平成 11 年は、1,000

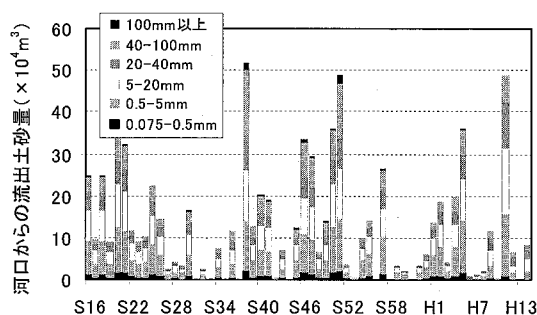


図-4 仁淀川からの流出土砂量の経年変化

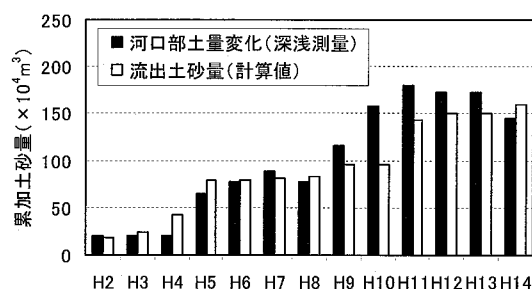


図-5 掘削穴周辺の土量変化と流出土砂量の比較

m^3/s 以上の洪水が8回発生し、約50万 m^3 の土砂が海岸に供給された。一方、平成13年などのように供給土砂量がない年も存在する。年によって変動は大きいものの、河口からの流出土砂量は平均10万 $\text{m}^3/\text{年}$ 程度である。

河口流出土砂の海岸漂砂への寄与を明らかにするために、河床変動計算から得られた流出土砂量と仁淀川河口部の土量変化(深浅測量)との比較を行った。河口部では過去に海底掘削が行われた影響で、現在も河口沖に掘削穴が形成されており、そこへ仁淀川からの流出土砂が落ち込み、漂砂下手側(長浜～仁ノ)に供給されていない状況にある。図-5は海底掘削が行われなくなった平成2年から平成14年までの仁淀川河口部の土量変化と流出土砂量を比較したものであるが、両者は良く整合している。平成17年時点の河口部累加土量は約250万 m^3 であり、過去の掘削量と比べると河口掘削穴は6割程度まで埋め戻されている。

3. 粒径別等深線モデルによる土砂動態検討

(1) 検討手法

高知海岸の土砂動態を解析するにあたり、沿岸漂砂、岸沖漂砂を計算できるモデルが必要であることから、等深線モデルを選定した。ただし、沿岸砂州や河口掘削穴など地形が逆勾配である箇所については、順勾配となるようにモデル内で補正を行った。また、高知海岸は汀線付近の粒径は2～10mm程度、T.P.-5m以深は0.3mm程度の砂礫で構成されており、粒径の違いによって

表-2 計算に用いた代表粒径(単位:mm)

	下限	上限	代表値	分類
粒径区分-1	0.062	0.25	0.156	微細砂, 細砂
粒径区分-2	0.25	1	0.625	中砂, 粗砂
粒径区分-3	1	4	2.5	極粗砂, 細礫
粒径区分-4	4	16	10	中礫
粒径区分-5	16	64	40	大礫
粒径区分-6	64	256	160	大礫

汀線付近とT.P.-5m以深で移動モードが異なることから、粒径別の土砂動態計算を実施した。ここで、限界勾配は宇多・河野(1996)と同様に、陸側1/1.7、海側1/2とし、平衡海浜勾配は、深浅測量結果より工区毎水深毎に設定した。また、底質粒径は既往の底質調査成果および河川からの供給土砂の粒径分布をもとに表-2に示すように6区分の代表粒径で設定した。

(2) 再現計算

平成3年を初期地形として平成17年の海浜地形の再現計算を行った。両者の等深線変化量からT.P.+4m～T.P.-10mの範囲における土砂収支を算出したものを図-6に示す。長浜・戸原工区では波浪に応じて東向きと西向きを繰返しながらも、東向き沿岸漂砂がやや卓越している。また、仁ノ工区では河口掘削穴に向かう西向きの沿岸漂砂が生じている。

粒径の変化については、仁淀川河口部前面では河川からの粗砂、礫の供給により平均粒径は大きくなっており、海浜部では侵食域で粗粒化、堆積域で細粒化の傾向を示した。水深毎粒径区分毎の沿岸漂砂量は、粒径区分1(代表粒径0.156mm)の砂は沖側に分布し、T.P.-4m以深で移動量が多く、逆にT.P.-2mより岸側での移動量は少ない。また、粒径区分3(代表粒径2.5mm)は、汀線付近で移動量が多い。さらに粒径区分5(代表粒径40mm)は、主に仁淀川河口部に分布し、河口前面で移動が見られた。

粒径別等深線変化モデルによる計算結果は、河口部での粒径変化、海岸域での粒径変化といった現象を再現しており、既往の底質調査成果とも整合がとれ、各水深帯での粒径分布に応じた漂砂移動状況を的確に反映しており、現地への適用性も充分と判断される。

(3) 土砂管理のための土砂動態の予測

高知海岸では、7基のヘッドランドにより沿岸漂砂を止め、防災上必要となる砂浜幅70mを養浜により構築することを目指している(図-7)。現在の将来計画(基本方針)は、ヘッドランド間隔1,000m、離岸距離300m、先端標高T.P.-9m規模のヘッドランドである。暫定計画(事業計画)としては、延長150mの突堤7基を建設し、仁ノ工区に延長100mの離岸堤4基を設置する計画であり、現在延長100mの突堤6基と150mの突堤1基、仁ノ離岸堤の一部が整備されている段階である。

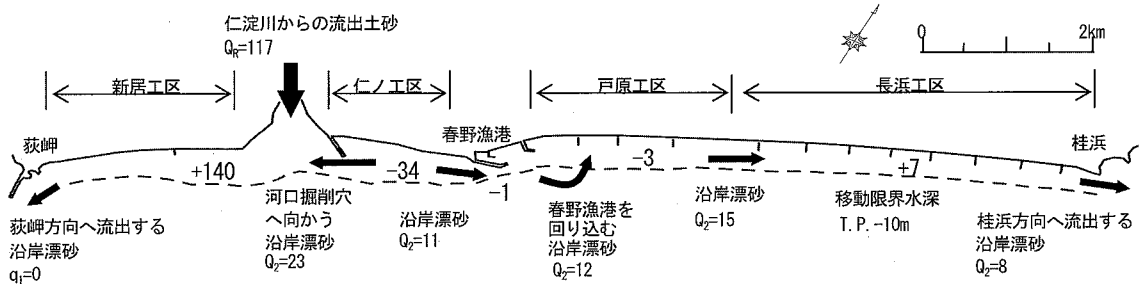
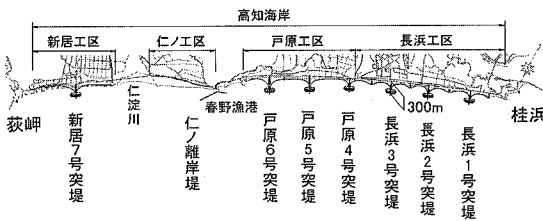
図-6 高知海岸における土砂動態の推定図 (単位: $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{年}$)

図-7 高知海岸の土砂管理の基本方針

土砂管理計画の基礎資料とすべく、砂浜幅 70 m を確保する場合について、事業計画、基本方針および両者の中間案 (突堤長 200 m) を対象に、今後 30 年間ににおける土砂動態を粒径別等深線モデルにより予測した。

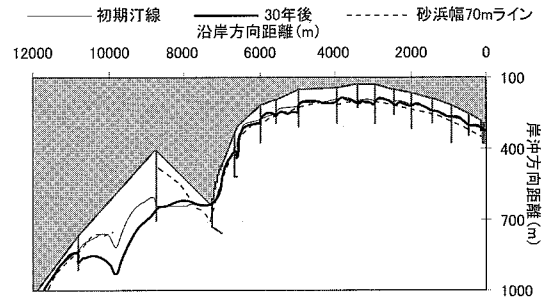
(4) 考察

a) 汀線形状と維持養浜量

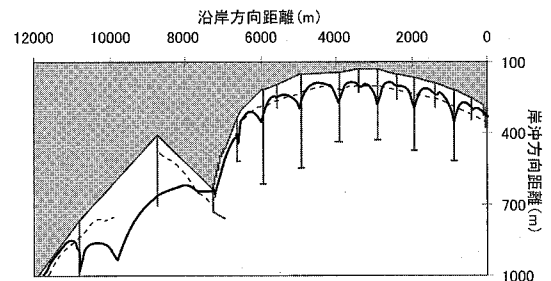
現況に初期養浜を行い、砂浜幅 70 m を確保した状態から外力を与え、30 年後の汀線形状について予測を行った結果を図-8 および表-3 に示す。事業計画規模で砂浜幅 70 m を維持する場合、維持養浜量は 237 万 m^3 に達する。基本方針ではヘッドランド基部 (遮蔽域) に砂を引き込み、砂浜幅が約 50 m となる場所が発生し、維持養浜が 115 万 m^3 必要となる。これらの計画に対し、突堤長を 200 m とした場合の維持養浜量は 80 万 m^3 と予測された。

b) 土砂動態

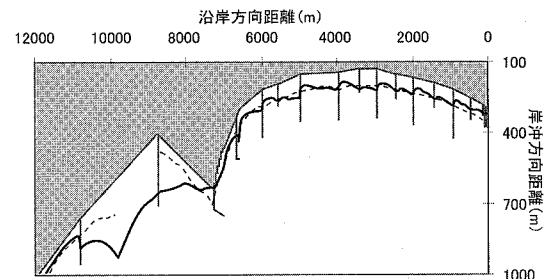
図-9 に今後 30 年間の土砂動態の平均値を示す。基本方針では、ヘッドランドの効果により沿岸漂砂の移動を抑制でき、T.P. $\pm 0 \text{ m} \sim -6 \text{ m}$ 間の堆積が生じ、海岸東端 (桂浜) 方向に流出する沿岸漂砂は $4.6 \times 10^3 \text{ m}^3$ と予測された。しかし、陸上部と T.P. -7 m 以深については、他案とはほぼ同値となり、ヘッドランドの効果は遮蔽域に限定される結果となった。基本方針に比べ、施設規模を縮小した中間案では、海岸東側の長浜工区 T.P. $\pm 0 \text{ m} \sim -6 \text{ m}$ 間で若干の侵食が生じるものの、土砂動態は基本方針と同様の傾向を示している。これは、岸沖方向の粒径の差異に起因するものと考えられる。すなわち、汀線付近を構成する粒径 $2 \sim 10 \text{ mm}$ と T.P. -5 m 以深を構成する



(a) 事業計画 (突堤 150m, 初期砂浜幅 70m)



(b) 基本方針 (ヘッドランド 300m, 初期砂浜幅 70m)

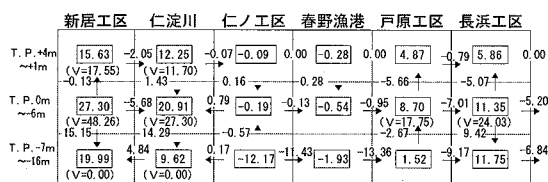


(c) 中間案 (突堤 200m, 初期砂浜幅 70m)

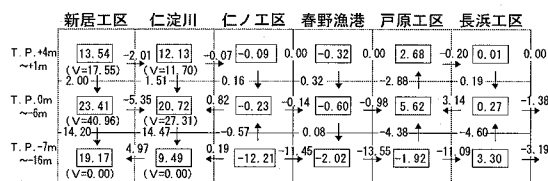
図-8 各ケースの土砂収支と土砂動態

表-3 各計画の維持養浜量

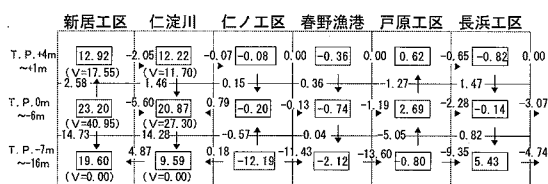
計画	規模	維持養浜量
事業計画	突堤 150 m	237 万 m^3
基本方針	ヘッドランド 300 m	115 万 m^3
中間案	突堤 200 m	80 万 m^3



(a) 事業計画 (突堤 150m, 初期砂浜幅 70m)



(b) 基本方針 (ヘッドランド 300m, 初期砂浜幅 70m)



単位: $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{年}$ 凡例 (+: 変化土量, $\rightarrow$: 漂砂の方向)

(c) 中間案 (突堤 200m, 初期砂浜幅 70m)

図-9 各ケースの土砂収支と土砂動態

0.3 mm 程度の砂礫は移動モードが異なり、沖合の小粒径の土砂移動は構造物で囲まれた汀線付近の土砂動態と関連性が薄いことを示している。特に T.P.-7m 以深では、各ケースともほぼ同値の土砂動態を示しており、汀線付近から沖合 300 m 程度までの構造物による沖合の土砂動態への影響は極めて小さいと予測された。

本検討により、突堤間の土砂移動を許容することで、維持養浜量を 30 % 程度減らしてヘッドランドと同等の砂浜を維持できる可能性を示すことができた。高知海岸における突堤長としては 200 m 前後が目安であり、今後は施設規模、維持養浜量について詳細に検討していく予定である。

4. 養浜に関する検討モデルの構築

先に述べた粒径別等深線モデルでは、養浜材料は現地海岸と同一粒径を用いることを前提として検討を行っている。しかし、養浜材料の入手先によっては異なる粒径を採用することも想定されるため、養浜形状・歩留まりの検討には岸沖漂砂を適切に反映できる計算モデルの構築が必要とされる。ここでは、SBEACH モデル (Larson・Kraus, 1989) を用いて岸沖漂砂の試算を行った。

平成 16 年地形を初期地形とし、平成 16 年 1 月から平成 17 年 1 月までに観測された有義波高 2.0 m 以上の波

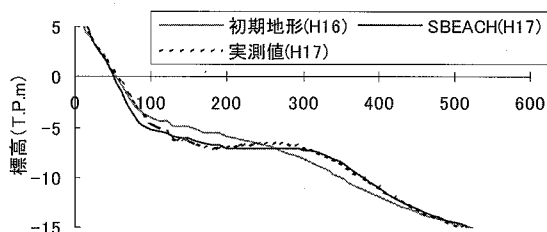


図-10 SBEACH モデルによる地形変化の再現

浪を入射波として与えた。図-10 に長浜工区の計算結果を示すが、実測値と計算値の整合性は高く、沿岸砂州の形成がよく再現されており、岸沖漂砂の移動を反映したモデルを構築できたといえる。

5. ま と め

本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- 1) 一次元河床変動計算から得られた仁淀川河口からの流出土砂量は変動はあるものの平均 $10 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ である。
- 2) 粒径を考慮した等深線モデルにより検証計算を行った結果、河川流出土砂による河口部での粒径変化、侵食域での粗粒化と堆積域の細粒化現象、さらに、各水深帯での粒径分布に応じた漂砂移動状況を的確に反映した現地への適用性の高いモデルを構築できた。
- 3) 汀線付近を構成する砂礫 (2~10 mm) と T.P.-5 m 以深を構成する砂礫 (0.3 mm) は移動モードが異なり、沖合の土砂移動は、汀線付近の土砂動態と関連性が薄い。
- 4) 突堤間の土砂移動を許容し、動的海岸を形成することで、施設規模を縮小しても砂浜を維持できる可能性がある。
- 5) 岸沖方向の漂砂移動が卓越した平成 16 年~平成 17 年の地形変化を SBEACH モデルにより再現を試みた。計算結果は実測値と高い整合性を示し、高知海岸における SBEACH モデルの係数を同定することができた。

謝辞：本研究をとりまとめるにあたり、「高知海岸保全技術検討委員会」(委員長 大阪大学大学院 出口一郎教授) より数々のご指導を頂いた。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 宇多高明・河野茂樹(1996): 海浜変形予測のための等深線モデルの開発, 土木学会論文集, No. 539/II-35, pp. 121-139.
- Larson, M., and N. C. Kraus(1989): SBEACH: Numerical model for simulating storm-induced beach change, US Army Engineering Research Center, 256p.