

粒径を考慮した大井川河口域土砂移動機構の研究

西川友幸¹・高橋正行²・加藤善明³・中戸真一⁴
高木利光⁵・浅野 剛⁶・犬飼拓志⁷

駿河湾の西側に位置する, 大井川を土砂供給源とした駿河海岸は, 近年流出土砂量の減少や隣接する大井川港防波堤による沿岸漂砂の阻止などにより侵食が顕在化しており, サンドバイパスや新型離岸堤による対策が実施されているが, 河口域の土砂動態についてはこれまで十分な研究はなされていない。本研究は, 大井川河口域における土砂動態, 特に河川からの流出土砂量の質を含めた把握と, 河口テラスの発達および波浪による沿岸方向への土砂移動, 大井川港の通過漂砂量などを, 現地観測結果から検証した数値モデルを用いて検討するとともに河口域の土砂収支を明らかにし, 今後のサンドバイパスを含めた侵食対策に資することを目的として実施した。

1. はじめに

駿河海岸は, 大井川河口部 (図-1) から流出した土砂が沿岸漂砂として運ばれて形成された海岸であるが, 近年は大井川からの流出土砂の減少や, 大井川港防波堤の延伸に伴う沿岸漂砂の阻止により侵食が顕在化している。この侵食に対し, 新型離岸堤として有脚式の離岸堤を設置するとともに大井川港防波堤近傍に堆積している土砂をサンドバイパスすることで砂浜の維持回復に努めている。今後も安定的にサンドバイパス用土砂を確保するためには, 河口域の土砂動態把握が重要となるが, これまで河口域の土砂動態については十分な調査・研究がなされていなかった。

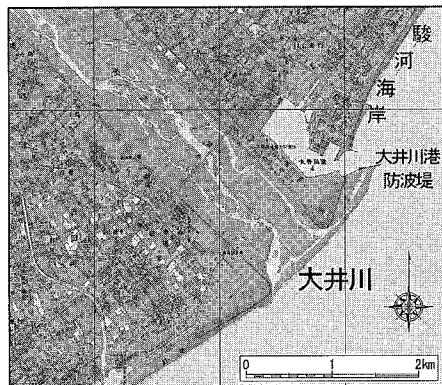


図-1 大井川河口部

- 1 国土交通省中部地方整備局河川部河川情報管理官, 前静岡河川事務所長
- 2 国土交通省中部地方整備局静岡国道事務所設計課長, 前静岡河川事務所調査課長
- 3 国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所地すべり対策課, 前静岡河川事務所調査課
- 4 国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所調査第一課, 前静岡河川事務所調査課
- 5 フェロー 博(工) (株)アイ・エヌ・ユー海岸部長
- 6 (株)アイ・エヌ・ユー海岸部
- 7 修(工)

本研究は, 大井川河口域における土砂動態を把握するために, まず出水時における流出土砂量とその質について深淺測量と底質調査により把握し, その結果を基に, 粒径を考慮した平面 2 次元地形変化モデルを構築して, 流量と流出土砂量の関係について検討した。さらに, 河口テラスの発達および波浪による沿岸方向への移動, 大井川港の通過漂砂量などを把握するために, 既往調査を基に等深線変化モデルを構築して河口周辺海域の土砂動態を把握し, 大井川河口域の土砂収支を明らかにした。

2. 現地調査

(1) 調査概要

河口前面海域での出水時における流出土砂量およびその粒度構成を把握するため, 2004 年 6 月から 11 月にかけて, 洪水前後におけるマルチビーム測深器を用いた面的測量を実施するとともに底質調査を実施した。

(2) 調査実施時期

図-2 に, 調査期間前後の河川水位時系列 (富士見橋観測所, 河口から約 4.5 km 地点) と調査実施時期を示す。第一回目は台風 6 号通過後の 7/10~7/15 に, 第二回目は台風 18 号通過後の 9/18~9/23 に, また第三回目は台風 22 号, 23 号通過後の 10/28~11/3 に実施した。

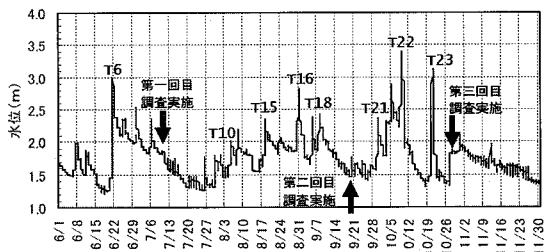


図-2 大井川富士見橋観測所水位と調査時期

(3) 調査箇所

大井川河口前面海域の沿岸約 3,000 m, 沖合約 1,000 m の範囲において面的測量を, また, 出水後の右岸側

開口部前面の9地点において表層と底層（表層下30 cm程度）の底質を採取した（図-3）。

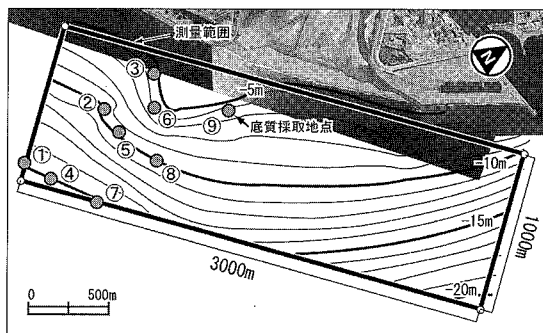


図-3 調査位置図

(4) 調査結果

図-4に、調査期間中最も地形変化の顕著であった、台風21号～23号来襲前後である第二回目から第三回目にかけての地形変化量平面分布を示す。台風22、23号来襲時には、それぞれピーク流量（神座観測所：河口から23.5 km地点）で $2.453 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $3.188 \text{ m}^3/\text{s}$ の洪水が発生した。それにより、大井川河口前面には約 30.3 万 m^3 の土砂が流出し、そのうち 24.9 万 m^3 が移動限界水深と推定されているT.P.-10 m以浅に、また 5.4 万 m^3 がT.P.-10 m以深に堆積していたことが確認された。

図-5に、底質の粒度試験結果を示す。第三回の調査結果によると、第二回に比べ砂分の割合が全体的に増え、No.9ではそれまで表層からは確認されなかった礫分が検出されている。特にシルト以下の含有率の高かったNo.1やNo.4では砂分の含有率が上がっており、第二回の調査で見られたような極端に細粒分の多い底質が見られなくなっている。全体的に表層と下層との差が少なく、大きくても数%程度の差しか見られない。また、一番

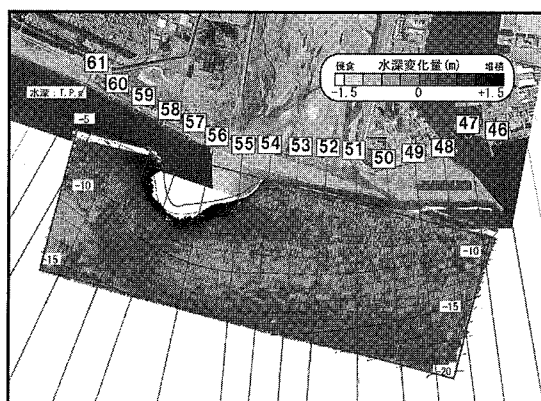


図-4 地形変化量平面分布（実測：2004.9～2004.10）

岸側の採取地点ではほとんどシルト分が検出されず、特にNo.9では表層・下層ともに礫分が検出されている。

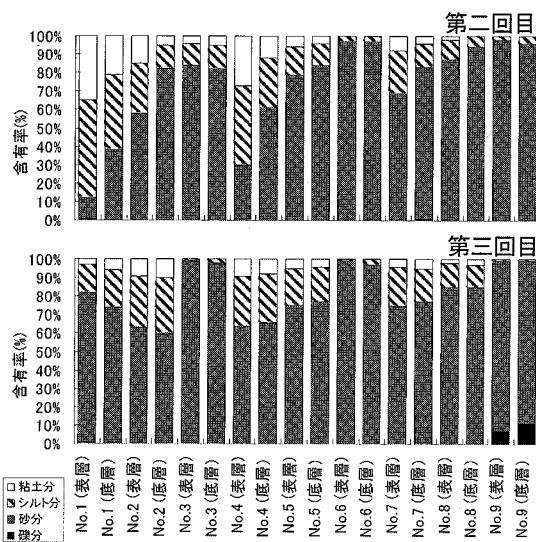


図-5 底質粒度分析結果（第二、第三回目調査）

3. 洪水時フラッシュモデルによる流出土砂量の推定

第三回目の観測による出水時の河口部地形変化量および河口部底質粒度から、洪水時の流出土砂移動モデルを構築して再現性を検証するとともに、同モデルを用いて確率流量毎の流出土砂量を算定し、河口部における1年当たりの流出土砂量期待値を、代表粒径区分毎（0.1 mm, 1.0 mm, 10.0 mm, 100.0 mm）に推定することを試みた。

(1) モデルの概要

モデルは永井ら（2004）と同様のものを用いた。基礎方程式として、流れの連続式および運動方程式には、平面2次元の浅水方程式を用いた。河床変動の方程式には、掃流砂と浮遊砂を考慮し、かつ粒径を考慮した保存則を用いた。また、掃流砂量の算定には芦田道上式を、浮遊砂の算定には浮遊砂濃度の連続式を用い、浮遊砂の浮上・沈降の算定には板倉・岸の式を用いている。これら方程式を、有限要素法により離散化して計算を行った。

(2) 境界条件

流れについては、上流端境界に所定の流量ハイドロを、海域境界には潮位を与えた。また、河岸および海岸線では境界法線流速を0とした。上流端からの掃流浮遊砂の流入土砂量は、同境界での流速を用いて流砂量式から算出した値を与えた。

表-1 計算条件一覧

項 目	条 件					
計算領域	河川：河口部から上流約 1.0 km + 仮想河道区間 0.2 km 海域：河口から半径約 4.0 km					
地形	河道部：平成 16 年 10～12 月測量地形（横断測量成果） 海域部：平成 16 年 9 月測量地形（マルチビーム測量成果） 砂州部：平成 17 年 2 月測量地形（深浅測量成果）					
流量	平成 16 年 10 月 9 日洪水時の流量ハイドロ					
潮位	上記洪水時の焼津港検潮所の潮位					
粗度係数	河道部、海域部：マンギンの粗度係数 $n=0.034$					
底 質	比重 2.65, 空隙率 0.4 粒径分布（既往調査結果より決定）					
	粒 径	河道及び砂州部		海 域		
		含有率	質量通過百分率	含有率	質量通過百分率	
		0.1 mm	2.0	2.0	60.0	60.0
		1 mm	7.0	9.0	39.0	99.0
		10 mm	14.0	23.0	0.5	99.5
100 mm	77.0	100.0	0.5	100.0		
(%)						
流砂量式	掃流砂：芦田道上式（掃流砂量補正係数 $\alpha=0.5$ ） 浮遊砂：浮遊砂濃度の連続式（浮上量補正係数 $\beta=0.1$ ）					
交換層厚	100 mm					
要素分割状況	節点数 NX = 8474, 要素数 MX = 16611					
時間差分間隔	$\Delta t=0.2$ s					

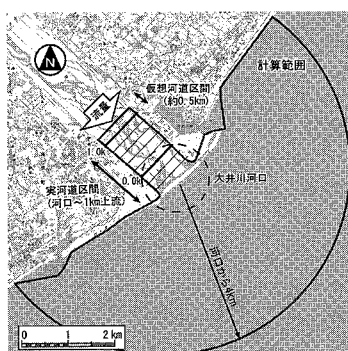


図-6 計算領域

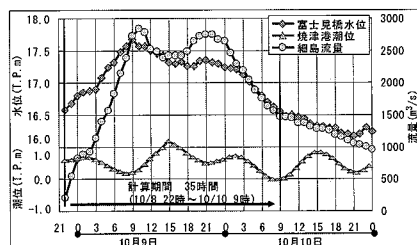


図-7 流量ハイドロと潮位

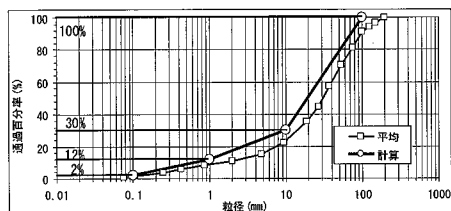


図-8 底質粒度組成

(3) 検証計算条件

表-1 に計算条件を，また図-6 に計算領域，図-7 に流量ハイドロと潮位，図-8 に初期の底質粒度組成を示す．流砂量の補正係数は，地形変化の実測値と計算結果が一致する条件を設定した．

(4) 検証計算結果

図-9 に計算結果の地形変化量平面分布を，図-10 に河口前面堆積土砂量を示す．ここで，駿河海岸の移動限界水深は水深 10 m と推定されていることから，この水深より深い場所に堆積した土砂は駿河海岸に寄与できず失われた土砂と考えられる．そこで，T.P.-10 m 以浅に堆積した土砂を「河口テラス堆積土砂」，T.P.-10 m 以深を「流失土砂」として定義して，実測と計算結果の土砂量の比較を行った．その結果，実測の河口テラス堆積土砂量および流失土砂量はそれぞれ 24.9 万 m^3 ，5.4 万 m^3 であるのに対し，計算はそれぞれ 21.9 万 m^3 ，6.6 万 m^3 と，実測に近い値となった．また，図-11 に実測と計算の粒度構成比較を示す．比較地点は，図-9 で示した水深 5 m 付近の河口テラス部である．0.1 mm の割合が

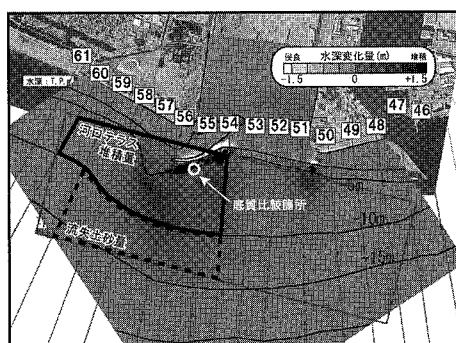


図-9 地形変化量平面分布（計算）

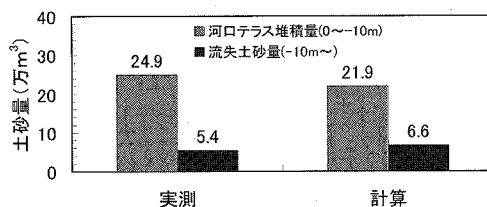


図-10 河口前面堆積土砂量

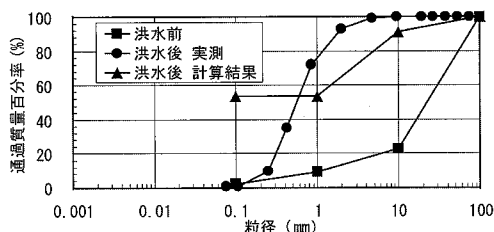


図-11 河口テラス部底質粒度（河口テラス部）

実測に比べて多いものの、1 mm および 10 mm の割合が増え、実測の粒度分布に近づいていることがわかる。

以上の結果より、本モデルにより実際の出水時における土砂の堆積状況を量・質共に比較的精度よく再現できることが確認された。

(5) 流出土砂量期待値の推定

洪水規模別のフラッシュシミュレーションを実施することで、河口からの流出土砂量期待値を算定した。期待値の算定方法として、ここではダム堆砂の予測に用いられる竹林・廣瀬 (1993) の方法を用いた。確率流量毎のシミュレーション結果から、ピーク流量と流出土砂量の関係を明らかにし、さらに洪水流量の発生確率を考慮して、流量規模別の流出土砂量から1年当りの流出土砂量期待値を代表粒径区分毎に算定した。

a) 計算条件

流量と潮位については表-2 に示すとおりであり、他の計算条件は先の検証計算と同様とした。

表-2 計算条件一覧

項目	条件
ピーク流量： 確率流量 (神座地点)	2年確率：3,500 m ³ /s 5年確率：5,300 m ³ /s 10年確率：6,400 m ³ /s 20年確率：7,400 m ³ /s 50年確率：8,600 m ³ /s 100年確率：9,500 m ³ /s
ハイドロ形状	計画洪水ハイドロ (既往最大昭和54年10月：約5,900 m ³ /s)
潮位	焼津港検潮所の2004年平均潮位 T.P.+0.257 m

b) 計算結果

図-12、表-3 に流量別流出土砂量算定結果を、図-13 に粒径別流出土砂量期待値を示す。全流出土砂量期待値は23.9万m³/年 (図-13) であり、そのうちの72%の17.3万m³/年が河口テラスに堆積し、28%の6.6万m³/年が沖へ流失する結果となった。沖に流失する土砂量は1 mm 以下の細粒分のみであり、その95%は粒径0.1 mm である。一方、河口テラスに堆積する土砂についても、全土量17.3万m³/年のうち75%にあたる

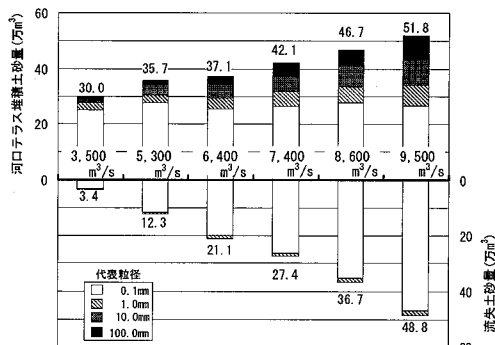


図-12 流量規模別流出土砂量

表-3 流量規模別流出土砂量

	ピーク流量											
	2年確率 3500m³/s		5年確率 5300m³/s		10年確率 6400m³/s		20年確率 7400m³/s		50年確率 8600m³/s		100年確率 9500m³/s	
全粒径	33.4	30.0 3.4	48.0	35.7 12.3	58.2	37.1 21.1	69.5	42.1 27.4	83.4	46.7 36.7	100.6	51.8 48.8
0.1mm	28.3	25.2 3.1	39.4	27.6 11.8	45.3	25.3 20.0	52.8	26.4 26.4	63.0	27.7 35.3	73.8	26.7 47.1
1.0mm	2.7	2.4 0.3	3.3	2.8 0.5	5.3	4.2 1.1	6.2	5.2 1.0	7.1	5.7 1.4	9.0	7.3 1.7
10mm	1.0	1.0 0.0	3.5	3.5 0.0	5.0	5.0 0.0	5.8	5.8 0.0	8.0	8.0 0.0	9.2	9.2 0.0
100mm	1.4	1.4 0.0	1.8	1.8 0.0	2.6	2.6 0.0	4.7	4.7 0.0	5.3	5.3 0.0	8.6	8.6 0.0

単位 万 m³

A	B
	C

A: 河口流出土砂量
B: 河口テラス堆積土砂量
C: 流失土砂量

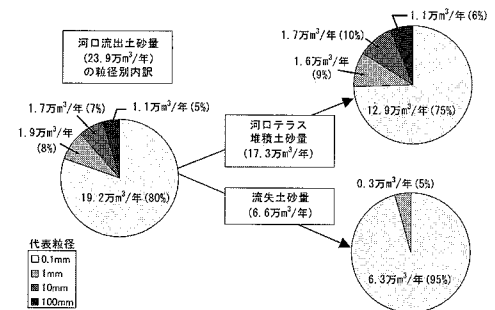


図-13 粒径別流出土砂量期待値

12.9万m³/年は粒径0.1 mm が占め、粒径1 mm～100 mm の合計の粒径成分は4.4万m³/年 (25%) に過ぎない。

4. 等深線変化モデルによる沿岸漂砂の推定

洪水時フラッシュモデルにより推定した流出土砂量期待値と、最近7年間の浅深測量成果および実測流量データ、波浪観測データを基に、河口部に流出した土砂が波浪により沿岸方向に移動する状況を等深線変化モデルにより再現した。河口からの供給土砂量については、流量規模別流出土砂量と実測の流量データから再現期間中の河口テラス堆砂量を年毎に算出し、河口部からの土砂供給量として与えた。また、波浪によって沿岸方向に移動する漂砂量を水深別に推定するとともに、洪水時フラッシュモデルと同じ区分で粒径を考慮し、沿岸方向及び岸沖方向の粒度分布についても推定した。

(1) モデルおよび計算条件

モデルは宇多・河野 (1996) の等深線モデルを基本として田中・鈴木 (1998) や熊田ら (2002) が提案している海浜底質の分級効果を含むモデルとした。計算条件を表-4 に示す。

(2) 計算結果

等深線形状および粒度分布ともに比較的良好に再現可能

表-4 計算条件一覧

項 目	条 件					
計算領域	沿岸方向約 5.7 km (大井川港北～吉田漁港南) 計算メッシュ間隔 10 m					
計算期間	1997 年 9 月～2005 年 2 月					
波浪	以下の手順で波高、周期、波向の沿岸方向分布を抽出 1. 駿河海洋観測所で観測された波浪データより波向主方向およびエネルギー平均波を算出 2. 平面二次元の波浪場において観測所地点の波向、エネルギー平均波の波浪諸元が算出されるように沖波を設定 3. 上記の沖波を設定して算出された波浪場において、大井川港から吉田漁港までの水深 T.P. -20 m 地点の波高、周期および波向を抽出					
地形	初期：1997 年 10 月深浅測量成果 終了：2005 年 2 月深浅測量成果					
構造物	大井川南防波堤、吉田漁港北防波堤 両防波堤は突堤と設定					
潮位	上記洪水時の田子の浦港検潮所の潮位					
粗度係数	河道部、海域部：マンニングの粗度係数 $n=0.035$					
底質	粒径分布 (1975 年底質調査成果より決定)					
	粒 径	T.P. + 5～-3 m		T.P. - 3～-10 m		
		含有率	質量通過百分率	含有率	質量通過百分率	
		0.1 mm	5.0	5.0	93.0	93.0
		1 mm	30.0	35.0	2.0	95.0
		10 mm	65.0	100.0	5.0	100.0
100 mm	0.0	100.0	0.0	100.0		
(%)						
境界条件	沖流出土砂：沖合流出土砂量は無し 河口供給土砂：フラッシュモデルにより算定 土砂採取量：土砂採取量の実績より設定					
沿岸漂砂係数	$K1=A(D)-1/2$ Kamphuis ら (1986) A：係数 (=0.002) D：各粒径 $K2=1.62$					
沿岸漂砂分布関数	再現計算期間中の深浅測量成果より地形断面の変化量で設定					

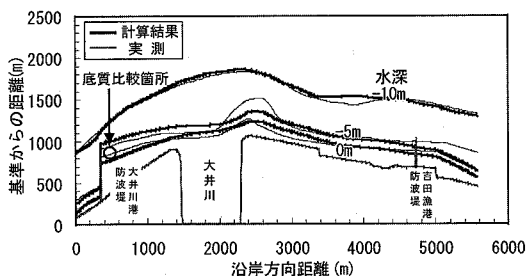


図-14 初期地形と計算終了時地形の比較

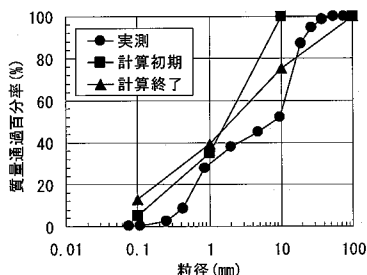


図-15 実測底質粒度と計算底質粒度の比較

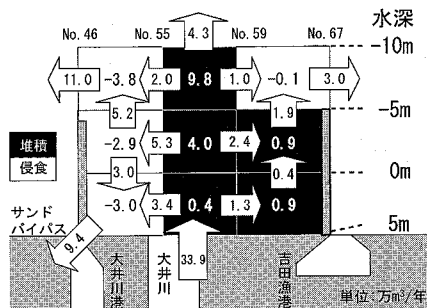


図-16 大井川河口域の近年7年間の平均的土砂収支

(3) 大井川河口域の土砂収支

等深線モデルで推定した沿岸漂砂量および各ブロックにおける実質の土量変化量, さらにサンドバイパス量を考慮して, 近年7年間の土砂収支図を作成した (図-16). 大井川港防波堤先端を通過する沿岸漂砂量は $11.0 \text{ 万 m}^3/\text{年}$, 吉田漁港防波堤の通過沿岸漂砂量は $3.0 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ と推定された。

5. 結 論

粒径を考慮した洪水時フラッシュモデルおよび等深線変化モデルを用いて大井川河口域の土砂移動機構について検討した結果, 大井川からは年間約 24 万 m^3 の土砂流出 (粒径 0.1 mm 以上) が期待でき, うち約 25 % に相当する約 $6 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ が粒径 1 mm 以上の土砂であることが推定された。一方で, 最近7年間の土砂収支から年平均約 30 万 m^3 の土砂が大井川から流出しているが, うち $11 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ は大井川港防波堤の先端より沖へと移動し, 現在サンドバイパスが実施されている江線部付近には $6.4 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ しか供給されておらず, サンドバイパス量 $9.4 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ に満たないことが推定された。今後は, より効率的なサンドバイパスの実施を目指し, 大井川港防波堤沖側より流出している土砂をコントロールする手法について検討することが望まれる。

参 考 文 献

- 永井健二・芥川哲・高木利光・浅野剛・犬飼拓志 (2004): 粒径を考慮した平面2次元地形変化モデルによる河口テラス地形変化に関する研究, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 566-570.
- 竹林征三・廣瀬昌由 (1993): 新しいダム貯水池計画堆砂量推定法についての提案, 水理科学, 37-1, pp. 1-24.
- 宇多高明・河野茂樹 (1996): 海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発, 土木学会論文集, No. 539/II-35, pp. 121-139.
- 田中仁・鈴木正 (1998): 海浜粒度組成の予測モデル, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 511-515.
- 熊田貴之・小林昭男・宇多高明・芹沢真澄・三波俊郎・増田光一 (2002): 河口デルタの江線・粒径変化の予測モデル - 沿岸漂砂による分級作用の再現, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 481-485.
- Kamphuis, J. W., Davies, M. H., Narim, R. R. B. and Sayo, O. J. (1986): Calculation of littoral sand transport rate, Coastal Engineering, Vol. 10, pp. 1-12.

であることがわかった (図-14, 図-15)。また, 大井川港防波堤を越えて東方向へと移動する沿岸漂砂量は, 本検証計算結果によると $7.6 \text{ 万 m}^3/\text{年}$ と推定された。