

大河川河口干潟における 平衡底質粒度分布の評価方法

EVALUATION METHOD OF EQUIPOISE SEDIMENT PARTICLE SIZE DISTRIBUTION IN LARGE RIVER MOUTH TIDAL FLAT

藤田真人¹・中野晋²・黒崎ひろみ³・安藝浩資⁴

Masato FUJITA, Susumu NAKANO, Hiromi KUROSAKI and Hiroshi AKI

- ¹正会員 修(工) 徳島大学助教 環境防災研究センター(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)
²正会員 博(工) 徳島大学准教授 環境防災研究センター(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)
³正会員 博(工) 徳島大学助教 環境防災研究センター(〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町2-1)
⁴正会員 修(工) ニタコンサルタント株式会社 環境部(〒771-0122 徳島県徳島市川内町鈴江西38-2)

It is very important for an environmental assessment of tidal flat ecosystem such as some benthic animals that clarifying formation mechanism of particle size distribution of sediment. The main aim of this research is the development of a method to evaluate the equilibrium particle size distribution in large river mouth. We considered a river with larger influences of waves than river currents and modeled the formation mechanism of sediment. It was assumed that the sand particles which correspond to the critical shear stress under waves deposit and form a particle size distribution depending on the frequency of disturbance of waves in this model. The particle size distributions which estimated based on a wave statistical data well coincided with field survey data.

Key Words : tidal flat, environmental assessment, wave analysis, particle size distribution

1. はじめに

海と陸とが接する沿岸域は、多彩な自然が存在する空間であり、干潟は規則的な潮汐の干満周期によって支配された独特な生態系が作り出されている。河口や前浜に広がる干潟生態系の管理を行う上で干潟地形はもとより底質の粒度変化を予測する技術の確立は大きな課題となっている。

粒度構成は周辺の土砂供給源の影響を受けるが、最も重要なのはその場に作用する波や流れなどの外力の大きさとその頻度である。外海からの波浪の影響が無視できない大河川の河口砂州では河川流や潮汐流以上に平常時の波浪が粒度分布の平衡状態を形成する。

本研究は波浪の影響を受ける大河川河口干潟の平衡時の表層の粒度構成を評価する手法の確立を目指したものであり、詳細な現地調査と波浪統計データに基づいた平面波浪解析を通して、洪水後に短期間で平衡状態に遷移する粒度変化の特徴、平衡粒度構成の評価方法について検討している。

2. 台風直後の粒度分布変化

平成16年度に発生した台風10号の出水後、約2週間にわたり、吉野川河口2.4km付近の干潟にて表層1mm～2mm程度の底質を採取し、粒度構成の確率密度分布の経日変化を計測した。その結果を図-1に示す。図のように洪水直後には細粒分の底質が流入するために、10～20μmのシルト質の底質が堆積することが確認された。そして、平常時の擾乱の程度に応じて、形成されている元の粒度構成に遷移することが確認された。また図-1の左側は閉鎖性が大きく、波の作用があまり働かないシルト質の底質が堆積している場であり、右側は河川側に近く、波の影響を受けている砂泥質の場である。この図からは閉鎖性が小である場では底質が元の粒度構成へ早く遷移することが示されている。

このようにある程度の期間、土砂供給がない場合には洪水時に堆積した微細粒子は波浪で舞い上がった後、潮汐流によって流出し、波の擾乱に応じて表層粒度分布が決定されることが考えられる。

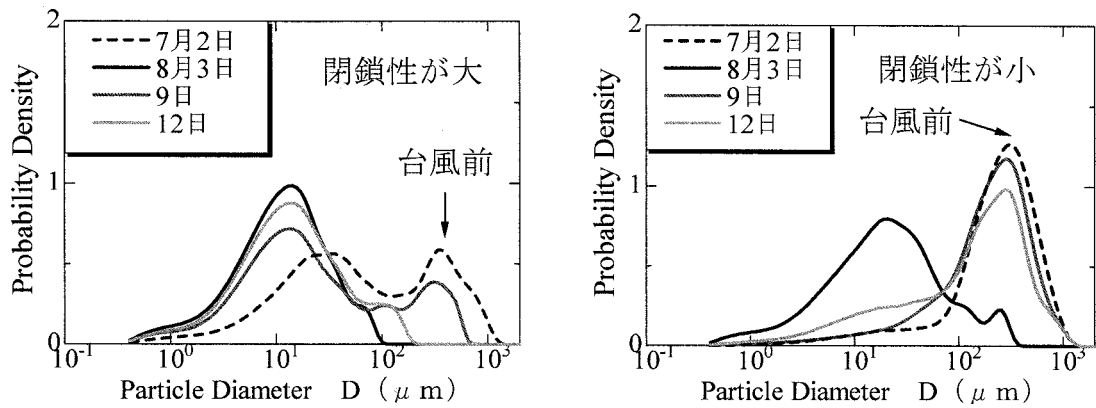


図-1 台風直後の粒度分布変化

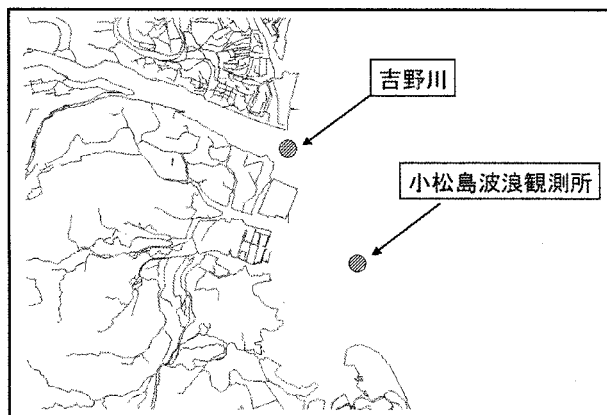


図-2 吉野川と小松島検潮所の位置

表-1 各計算条件		
吉野川河口の波浪解析の計算条件		数値
沖波主波向	度	135
メッシュ幅	$\delta x \times \delta y$	5 (m)
寸法	$(x \times y)$	7000 × 3200 (m)
メッシュ数	(i, j) 数	1400 × 640
方向集中度パラメータ	Smax	10

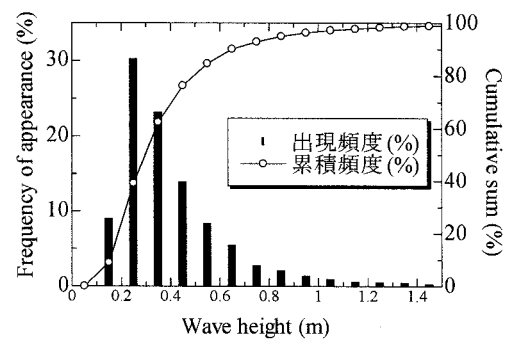


図-3 沖波有義波高の頻度分布

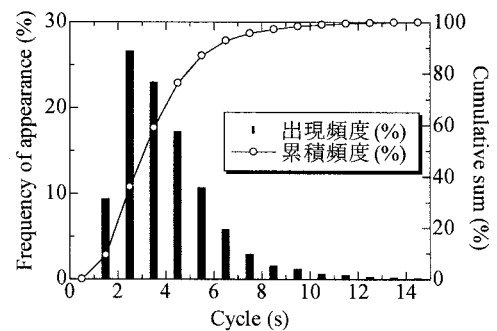


図-4 沖波有義波周期の頻度分布

3. 吉野川河口の平面波浪解析

(1) 吉野川河口部の波の特徴

吉野川河口部における、過去3年間分の小松島検潮所で観測された沖波のデータから作成した頻度分布図を示す。図-2は吉野川河口と小松島検潮所の位置を示している。図-3は沖波有義波高を、図-4は沖波有義波周期の頻度分布をそれぞれ示しており、図-5は河口部に進入してくる波の主波向の出現頻度を示している。これらの図から、沖波より進入する波の沖波有義波高は0.2m~0.4m、沖波有義波周期は2秒~4秒の波によって構成され、主波向は南東方向が卓越していることが

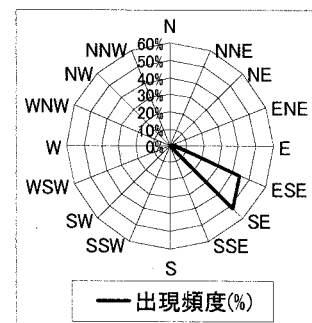


図-5 沖波の主波向

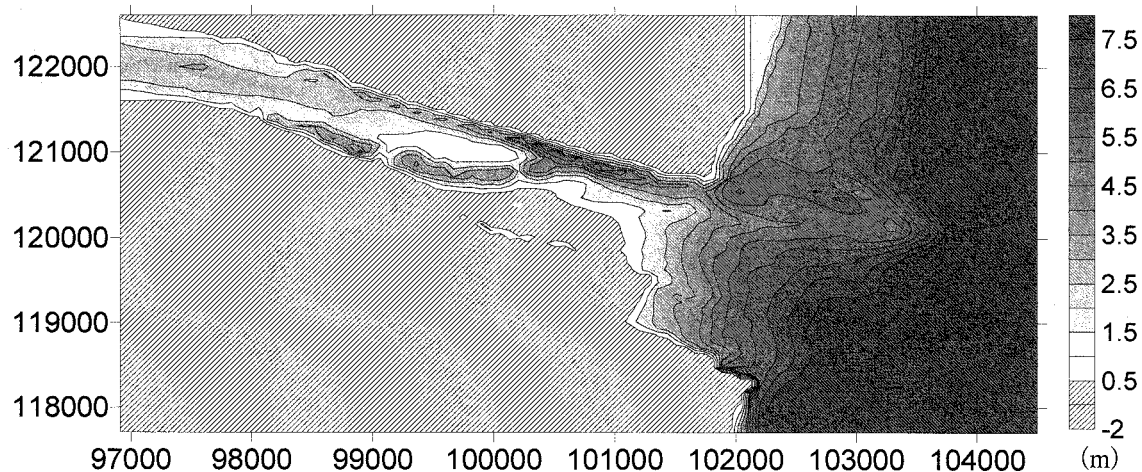


図-6 吉野川河口部の深浅図（水深分布）

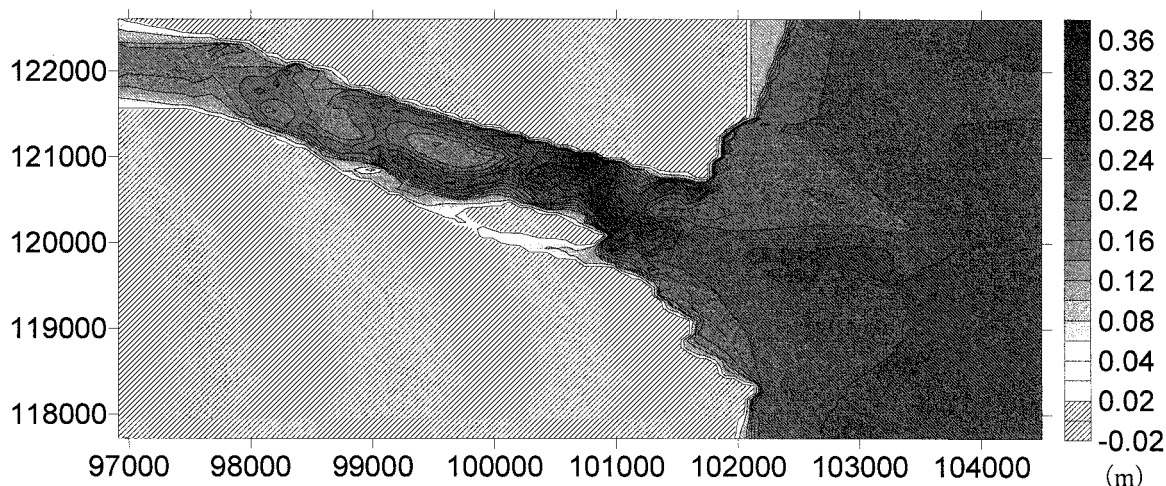


図-7 吉野川河口の波浪解析結果(波高分布)の一例

表-2 岩垣式による移動限界粒径の一例

ケース	波高 (m)	累積頻度 (%)	平均周期 (s)	底面摩擦速度 (s)	移動限界粒径 (cm)
1	0.15	9.0	4.59	0.875	0.034
2	0.25	39.2	4.60	1.309	0.098
3	0.35	62.4	4.70	1.703	0.451
4	0.45	76.3	4.85	2.037	0.754
5	0.55	84.6	5.24	2.342	0.997
6	0.65	90.1	5.62	2.599	1.196
7	0.75	92.8	5.92	2.806	1.334
8	0.85	94.9	6.46	2.998	1.465
9	0.95	96.3	7.01	3.166	1.583
10	1.05	97.2	7.31	3.309	1.685

分かる。次に吉野川河口の深浅図を図-6に示す。河口0kmから2kmの右岸側に広大な砂州が形成されており、この砂州と河口干潟では希少種を含め、数多くのベントスが生息している。

(2) 吉野川河口の平面波浪解析

吉野川河口の平面波浪解析は間瀬ほか¹⁾と高山ほか²⁾らによって報告された波の回折効果を導入した多

方向不規則波の波浪変形計算法を用いて吉野川河口の波高の分布を解析した。これは放物型波動方程式を基にして、エネルギー平衡方程式に回折項を陽な形で含むことで容易かつ安定する計算としている。

次に各計算条件を表-1に示す。計算領域は7km×3.2kmを与え、メッシュ幅は5mとした。方向集中度パラメータは波の状態を表す指標であり、表中の数値は常時波浪状態であることを表している。

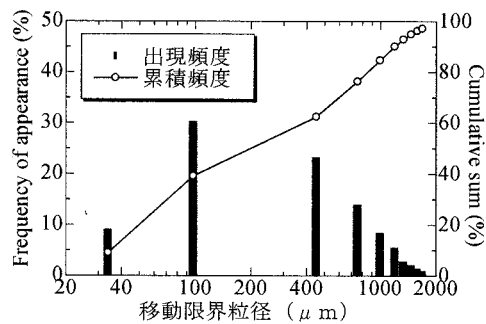


図-8 岩垣式による移動限界粒径の頻度分布図

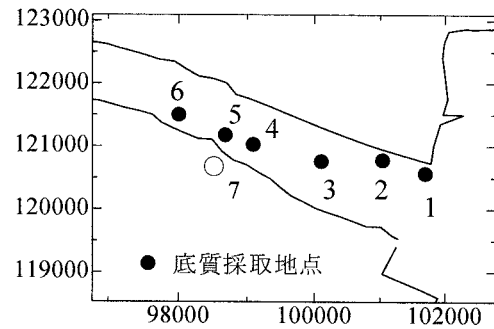


図-9 吉野川河口部の底質採取地点

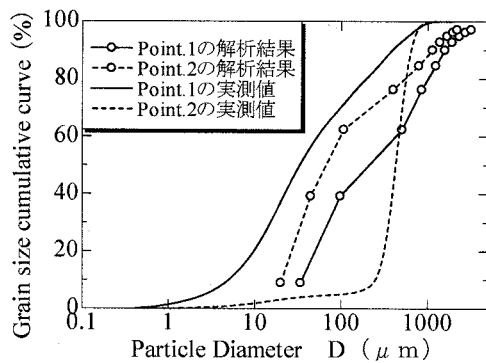


図-10 ポイント1と2の解析値と実測値の比較

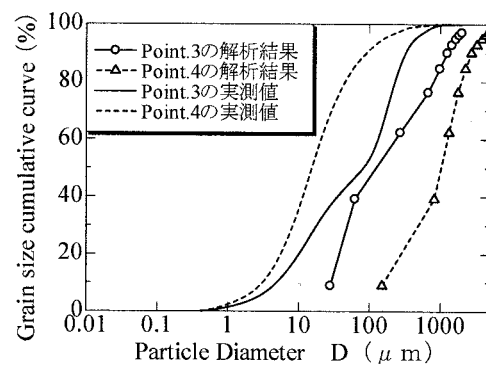


図-11 ポイント3と4の解析値と実測値の比較

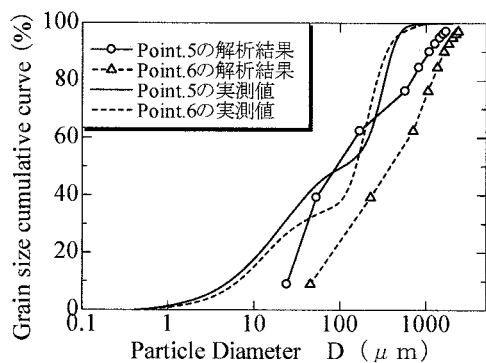


図-12 ポイント5と6の解析値と実測値の比較

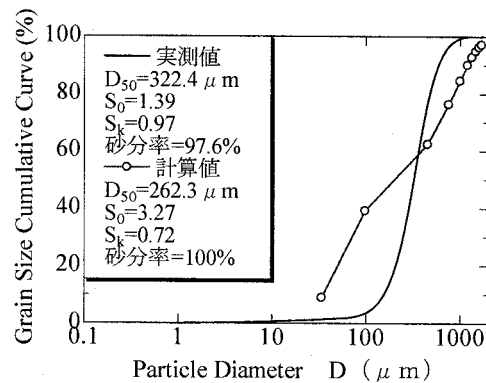


図-13 ポイント7の解析値と実測値の比較

表-3 解析値と実測値の各データ

		中央粒径 (μm)	ふるい分け係数	偏歪度	砂分率 (%)
Point.1	解析値	288.9	3.48	0.67	100.0
	実測値	33.1	3.32	1.54	34.1
Point.2	解析値	73.8	3.36	2.27	100.0
	実測値	428.9	1.26	0.98	95.2
Point.3	解析値	160.2	3.70	1.15	100.0
	実測値	82.1	3.82	0.40	51.1
Point.4	解析値	1056.0	1.85	0.78	100.0
	実測値	15.4	2.28	1.04	12.1
Point.5	解析値	107.4	3.68	1.83	100.0
	実測値	108.9	4.30	0.41	52.8
Point.6	解析値	451.3	2.68	0.71	100.0
	実測値	153.5	3.42	0.22	64.8

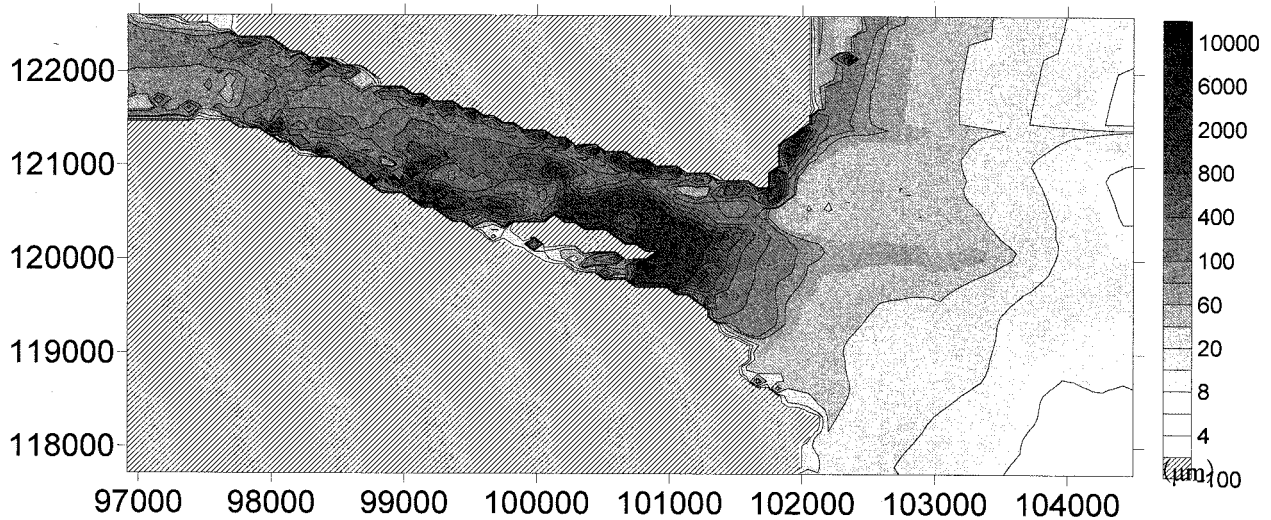


図-14 吉野川河口における解析した中央粒径の分布図

(3) 計算結果

頻度分布の最頻値である沖波有義波高を 0.25m, 沖波有義波周期を 4 秒とした時の平面波浪解析の結果を図-7 に示す。南東から進入した波が河口砂州のある辺りで収束するために、左岸側で波高が高い結果となった。今回波高計を設置していないために、実測と比較はしていないが、河口の左岸部分で波が荒くなることが経験的に分かっている。今後この点について実測値と比較する必要がある。

4. 河口部に堆積する底質の粒度構成の検討

(1) 粒度分布の検討方法

大河川河口部の河口干潟に堆積している底質の粒度構成のメカニズムは未だ解明されておらず、河川河口部の環境影響評価を行う上で今後課題となる分野である。

粒度分布のシミュレーションには 2. で述べたように波の擾乱作用が大きく影響していると考えられる。過去の長期的な波の頻度分布に注目して粒度構成を検討する。宇野ほか³⁾の研究によると、移動限界粒径と干潟に堆積した底質の細粒分中央粒径がほぼ一致することが確認されており、細粒分の粒度特性を知る手がかりになると報告されている。一般に土砂供給が少ない場合の底質表層の平衡的な粒度分布は移動限界粒径で近似され、一方で外力として波浪が卓越する場では移動限界粒径は波の最大摩擦速度に対応すると考えられる。つまり、波浪の影響による擾乱が発生することで移動限界粒径付近より小さな粒径の底質が巻き上げられ、小さな粒径の底質はフラッシュされることで、移動限界粒径付近の底質がその場付近に堆積し粒度構成を形成するということである。そして、その場の粒度構成は粒度構成に影響した期間の最大摩擦速度の頻度分布に対応することから、長期的な波浪のデータを用いて、図-3 と図-4 のような頻度分布を作成し、それに対応した底面摩擦速度の分布を用いて移動限界粒径

の累積頻度を求めるものである。これによって、その場の平衡状態の粒度分布が構成すると考えた。

そこで、本研究ではこのプロセスの信憑性を求めるため、図-3 と図-4 の吉野川河口に最も近い小松島港での波浪観測データから頻度の高い順から 10 種類の波高・周期の計算条件に対して、平面波浪解析を実施した。有義波を用いた理由は、数年規模の長期的な波のデータが必要であったため、波浪観測所の豊富なデータを活用した。そして、波高と水深から微小振幅理論で水粒子の水平成分を求め、これと摩擦係数により、その場の底面に及ぼす最大摩擦速度の分布を求めた。そして移動限界粒径付近の底質が堆積することでその場の粒度分布を構成すると考えた。表-2 に波高の累積頻度と平均周期、解析された吉野川河口のある地点の移動限界粒径の一例を示し、図-8 にこの方法による移動限界粒径の出現頻度と累積頻度を示している。なお、底面摩擦速度を求めるための摩擦係数については、式 (1) の Jonsson の抵抗則を用いた。

$$\frac{1}{4\sqrt{f_w}} + \log\left(\frac{1}{4\sqrt{f_w}}\right) = -0.08 + \log\left(\frac{a_b}{k_s}\right) \quad (1)$$

ここに、 k_s は底部における粗度高さ、 a_b は境界層外縁における波の水粒子の軌道振幅である。

求めた摩擦係数と水粒子の軌道運動方程式の水平成分により、底面摩擦速度を算出し、岩垣式を用いて移動限界粒径を計算した。

(2) 計算結果

吉野川河口において、1997 年の 12 月に行った河川中央の底質調査の粒度分析結果と解析結果を比較した。図-9 のポイント 1 とポイント 4 では解析結果と実測値が大きく異なったが、他の 4 点では比較的良好な再現ができ、その他の場所でも良好な結果が得られた。しかし比較したデータが古いために、河口の地形が以前より大きく変化していた可能性が示唆され、今後、新

規の底質データと地形データで改めて検討する必要がある。また、図-13 はポイント 7 における地形と底質の採取が同時期のものであり、中央粒径の値が近く、比較的良好な結果が得られている。

5. まとめ

本手法はその場の擾乱だけによって平衡的な粒度分布を評価する手法である。したがって、短期間の粒度変化を表現するには適していない。しかし、波浪統計データを用いて評価した所、多くの地点で測定された粒度分布と概ね一致する結果が得られた。また、この手法では広域的な波浪場を評価することにより、図-12 に示すように広域的な粒度分布特性を評価できる可能性がある。この技術が確立できれば、底質によって生息環境が大きく作用されるベントスの生息について、広範囲の環境影響評価が可能になると考えられる。近年、吉野川河口とその周辺では広域的な粒度分布調査が行われていないため、信頼性を高めるために広域的な底質調査と、波高分布の解析値と実測値の比較をするという課題が残った。今後これらを改善するとともに、流れを考慮することでより精度の高い方法を検討する予定である。

謝辞：本論文を構成するにあたり、波浪解析用のプログラムを提供して頂いた間瀬 肇先生に深甚なる謝意を表します。また、本研究の一部は科学研究費・基盤研究 (B) 課題番号 17360236 (代表：中野 晋) の補助を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 間瀬 肇・高山知司・国富将嗣・三島豊秋：波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究，土木学会論文集，No. 628，II-48，pp. 177-187，1999
- 2) 高山知司・池田直太・平石哲也：砕波および反射を考慮した波浪変形計算，港湾技術研究所報告，Vol. 30，No. 1，pp. 21-67，1991
- 3) 宇野宏司・中野 晋・古川忠司：河口干潟および砂州の底質移動に及ぼす潮汐流の効果，河川技術論文集，Vol. 9，pp. 281-286，2003.