

混合粒径砂3次元海浜変形モデルの ベクトル並列計算

VECTOR-PARALEL COMPUTATION OF 3-D BEACH DEFORMATION MODEL FOR SEDIMENT SAND OF MIXED GRAIN SIZE

池野正明¹・清水隆夫²・中村 健³・小林英次⁴
Masaaki IKENO, Takao SHIMIZU, Takeshi NAKAMURA and Eiji KOBAYASHI

¹正会員 工博 電力中央研究所 環境科学研究所 陸・水環境領域 上席研究員
(〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646)

²正会員 工修 電力中央研究所 環境科学研究所 陸・水環境領域 領域リーダー

³ 工修 (株) JPビジネスサービス IT事業本部 エンジニアリング部

⁴正会員 工修 (株) JPビジネスサービス IT事業本部 エンジニアリング部

Simulating 3-D beach deformation numerical model with usual scalar computer, computation load is considerably heavy even for prediction of seabed evolution in the region of 4 kilometers around coastal structure in interval of 1 year. However, introducing vector-paralel computation suitable for each sub-model consisting of beach deformation model, computation performance can be efficiently increased. In this paper, a methodology of vector-paralel computation for 3-D beach deformation model subject to sediment sand of mixed grain size is investigated and proposed. This numerical model is applied to a field site of sea area around the Higashidori power plant of the Tohoku Electric Power Company and effect of vector-paralel computation is verified.

Key Words : vector-paralel computation, 3-D beach deformation model, mixed sized sand sediment

1. はじめに

発電所港湾周辺海域等の海浜変形予測を行うため、3次元海浜変形モデルが用いられる。このモデルは、波・流れの計算、漂砂量の計算、海底地形変化の計算のサブモデルで構成される。3次元海浜変形モデルを通常のスカラ計算機を用いて計算する場合、実務では海岸構造物周辺4km四方程度の領域を1年程度の期間予測するのにも相当に計算負荷がかかる。海浜変形モデルを構成するサブモデルに適したベクトル化と並列計算を取り入れることにより、計算効率が向上し、広領域での長期計算が可能になると考えられる。そこで、本研究では、混合粒径砂3次元海浜変形予測モデルのベクトル並列計算法について検討し、計算の高速化を図った。本モデルを東通発電所周辺海域に適用し、ベクトル並列化の効果を検討

した。

2. 混合粒径砂3次元海浜変形予測モデルの並列化

(1) 混合粒径砂3次元海浜変形モデルの概要

本モデルは、図-1 に示すように、波と流れ、粒径別漂砂量、粒径別地形変化計算のサブモデルから構成される^{1) 2)3)}。波は多方向不規則波を対象とする。漂砂量の計算では、掃流漂砂、浮遊漂砂に分けて算定する。海浜に岩礁域が混在する場合でも、岩盤上の砂層厚の変化が計算できるように工夫されている⁴⁾。

(2) ベクトル並列化のポイント

富士通ベクトル並列計算機 VPP5000 を用い、MPI を利用して、以下の改良を行った(図-1)。

a) 波と流れの計算の並列化

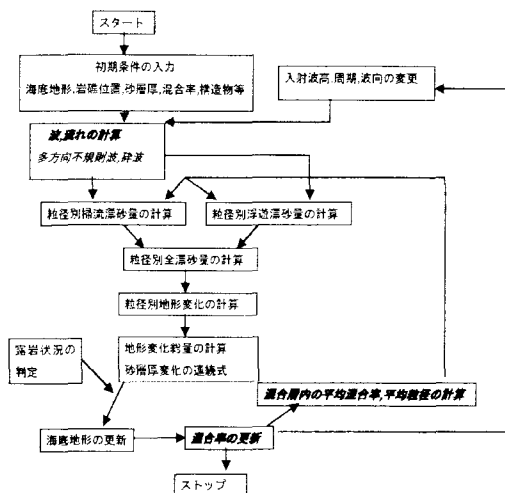


図-1 3次元海浜変形モデルの並列化対象部分
(斜文字で記載)

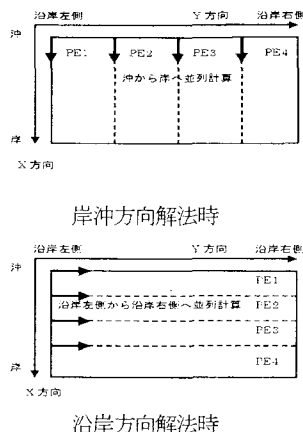


図-2 ADI 法解法時の部分並列化 (4PE とした例)

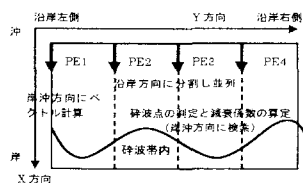


図-3 砕波判定、波高減衰時のベクトル並列化
(4PE とした例)

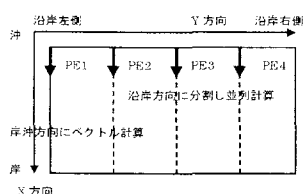


図-4 海底粒径混合率計算時のベクトル並列化
(4PE とした例)

波と流れの計算では、修正ブシネスク方程式を解いている。解法は、運動方程式をまず岸沖方向に解き、その後沿岸方向に解いて時間更新していく手法 (ADI 法) を採用している。これに適した並列化方法として、運動方程式の未知量に対する三重対角行列式中の回帰参照しない部分を対象に、図-2 に示すように、岸沖・沿岸方向に交互に領域分割して PE を割り当て、部分並列計算することとした。

浅水域に波が伝播し限界値に達すると、砕波が生じ波高が減衰する。この場合、計算領域中のどこで砕波するか検索し、砕波帯を特定して波高減衰させる必要がある。この部分を、図-3 に示すように、沿岸方向に領域分割して PE を割り当て、岸沖方向にベクトル並列計算して、砕波点を検索し砕波減衰を付加することとした。

b) 地形変化と粒径混合率計算のベクトル並列化

海底砂が複数の粒径からなる混合粒径砂の場合、粒径毎に漂砂量と地形変化量の連続式を計算し、地形変化総量を求め、海底地形と海底砂の粒径混合率を更新する必要がある (図-1)。この部分を、図-4 に示すように、沿岸方向に領域分割して PE を割り当て、岸沖方向にベクトル並列計算することとした。

3. 東通発電所港湾周辺海域への適用計算

(1) 入射波条件

本海浜変形モデルを東北電力東通発電所周辺海域に適用した。池野ら²⁾と同様に、東通地点に 1 年間 (1999 年 6 月～2000 年 5 月) に来襲した有義波高 2m 以上の波浪を表-1 の WAVE1～5 の波浪諸元と作用時間に分割した。波向きとしては、ESE、E、SE の 3 方向が卓越している。そこで、表-1 および当該期間の観測データに基づき、表-2 のように海浜変形モデルに実際に入力する時化モデルを作成した。1 年間の時化モデルを構成する波は 32step となる。

(2) 計算条件

表-3 に、計算対象ケースを示す。計算対象領域としては、広領域 (港湾を含む沿岸方向 10km 程度、CASE1) および狭領域 (港湾を含む沿岸方向 4km 程度、CASE2, 3) とした。つぎに、表-4 に、波、流れ、漂砂、地形変化の計算条件 (CASE3 の例) を示す。対象とする海底砂としては、粒径 0.25mm の細砂が単一粒径の場合 (CASE1, 2)、およびこの細砂 7 割に粒径 0.8mm の粗砂が 3 割加わり、空間的に一様に混合した砂を初期地形とした場合 (CASE3) とを比較検討した。波、流れ計算時の水平方向格子間隔を 2.5m、粒径別漂砂量、地形変化計算時の水平方向格子間隔を 5m、海底砂面下鉛直方向格子間隔を 0.2m とした。海底砂表層の混合層厚を 0.5m、砂漣高を 0.1m とした。粒径別漂砂量、地形変化、混合率の更新時間間隔は、各波浪モデルの作用時間毎と一致させた。

表-1 東通地点の入射波の特性(1999. 6-2000. 5)

波浪モデルの種類	波向	有義波高	周期	1年間の作用時間
WAVE1	ESE	2. 5m	8s	294hr
WAVE2	ESE	4. 0m	9s	80hr
WAVE3	E	2. 5m	8s	231hr
WAVE4	E	4. 0m	8s	103hr
WAVE5	SE	2. 5m	8s	106hr

＊有義波高 2m 以上の波浪 1 年間の作用時間を基に WAVE1～5 を設定.

表-2 時化モデル(1999. 6-2000. 5)

時化モデル	波向	波浪モデルの組み合わせと作用時間	1年間の作用回数
①	ESE	WAVE1+WAVE2+WAVE1 (2. 6日)	6回
②	E	WAVE3+WAVE4+WAVE3 (3. 5日)	4回
③	SE	WAVE5 (2. 2日)	2回

時化モデルの作用順：①→③→②→①→①→①→②→②→②→①→③→①

①×3WAVES×6回=18step, ②×3WAVES×4回=12step,
③×1WAVE×2回=2step
計32step

表-3 計算対象ケース

ケース	計算領域	海底砂の粒径
CASE1	広領域 (港湾周辺10km)	細砂単一粒径 0. 25mm
CASE2	狭領域 (港湾周辺4km)	細砂単一粒径 0. 25mm
CASE3	狭領域 (港湾周辺4km)	粗細砂混合粒径

砂の空隙率は 0. 4 で一定とした.

(3) 計算結果と考察

a) ベクトル並列化の効果

表-5 は, CASE2 の 1step を対象にベクトル並列化の効果調べた代表例である. ここでは, 並列計算に用いる CPU の数 (PE 数) を 8 台とした. 表-5 によれば, ベクトル並列化により計算時間がスカラー計算による計算時間の約 1/10 に短縮可能であることがわかる. この例は, 海底砂が単一粒径の場合 (CASE2) であるため, 粒径混合率計算のベクトル並列化の効果は考慮されていない. 混合粒径砂海浜の場合には, 計算時間がスカラー計算の 1/10 以下になると推察される.

また, 並列計算に用いる PE 数が増加すると, 計算時間に対する PE 相互間のデータ通信時間の割合が増加し, かつて計算効率が低下する可能性がある. そこで, 対象計算ケースに対し, PE 数を 1～10 に変化させてベク

表-4 波, 流れ, 漂砂計算条件

波, 流れ計算時水平方向格子間隔	2. 5m		細砂	粗砂
漂砂量, 地形変化計算時水平方向格子間隔	5m	代表粒径	0. 25mm	0. 8mm
海底砂面下鉛直方向格子間隔	0. 2m	沈降速度	3cm/s	9cm/s
漂砂量, 地形変化, 混合率更新時間	各波浪モデル作用時間毎	初期混合率	70%	30%
		初期平均粒径	0. 42mm	
混合層厚	0. 5m	砂粒子比重	2. 72	
砂漣高	0. 1m	空隙率	0. 4	

表-5 ベクトル並列化の効果 (CASE2の1step)

VPP5000	PE数	CPU time	計算時間比
スカラー計算	1	111, 000 s	1. 00
ベクトル並列計算	8	10, 011 s	0. 09

トル並列計算に用いる最適な PE 数を検討した. その結果, PE 数が 8 台以上となっても計算時間の短縮率が顕著に向上しないことがわかった. そこで, 対象計算ケースに対する最適な PE 数を 8 台とし以下の検討を行った.

b) 対象計算ケースの比較検討

図-5 に, CASE1 について, 有義波高, 海浜流, 海底地形等深線の計算例を示す. (a)波高分布は初期海底地形を用いた WAVE1 の計算結果, (b)海浜流分布は 1 回更新後の海底地形を用いた WAVE2 の計算結果, (c)海底地形等深線は時化モデルによる 32 回更新後の最終地形の計算結果である. 図-5 によれば, 図中央の東通港湾港口部には, 高波浪時に顕著な循環量が発生しこの影響により, 港口部付近の海底地形が沖側へ半同心円状となり 1 年後には堆積が生じていることがわかる.

図-6 に, CASE3 について, 海底砂表層の平均粒径と粗砂混合率の平面分布の計算例を示す. 平均粒径と粗砂混合率は, 海底面下鉛直方向 0. 2m 毎の粗砂混合率を表層混合層厚 0. 5m 内で平均した値を出力している. また, 初期平均粒径と粗砂初期混合率は 0. 42mm と 0. 3(30%) である. (a)は 6 回更新後の海底地形を用いて WAVE3 を作用させた時, (b)は 15 回更新後の海底地形を用いて WAVE1 を作用させた時, (c)は 24 回更新後の海底地形を用いて WAVE3 を作用させた時, (d)は 31 回更新後の海底地形を用いて時化モデル最後の WAVE1 を作用させた時の

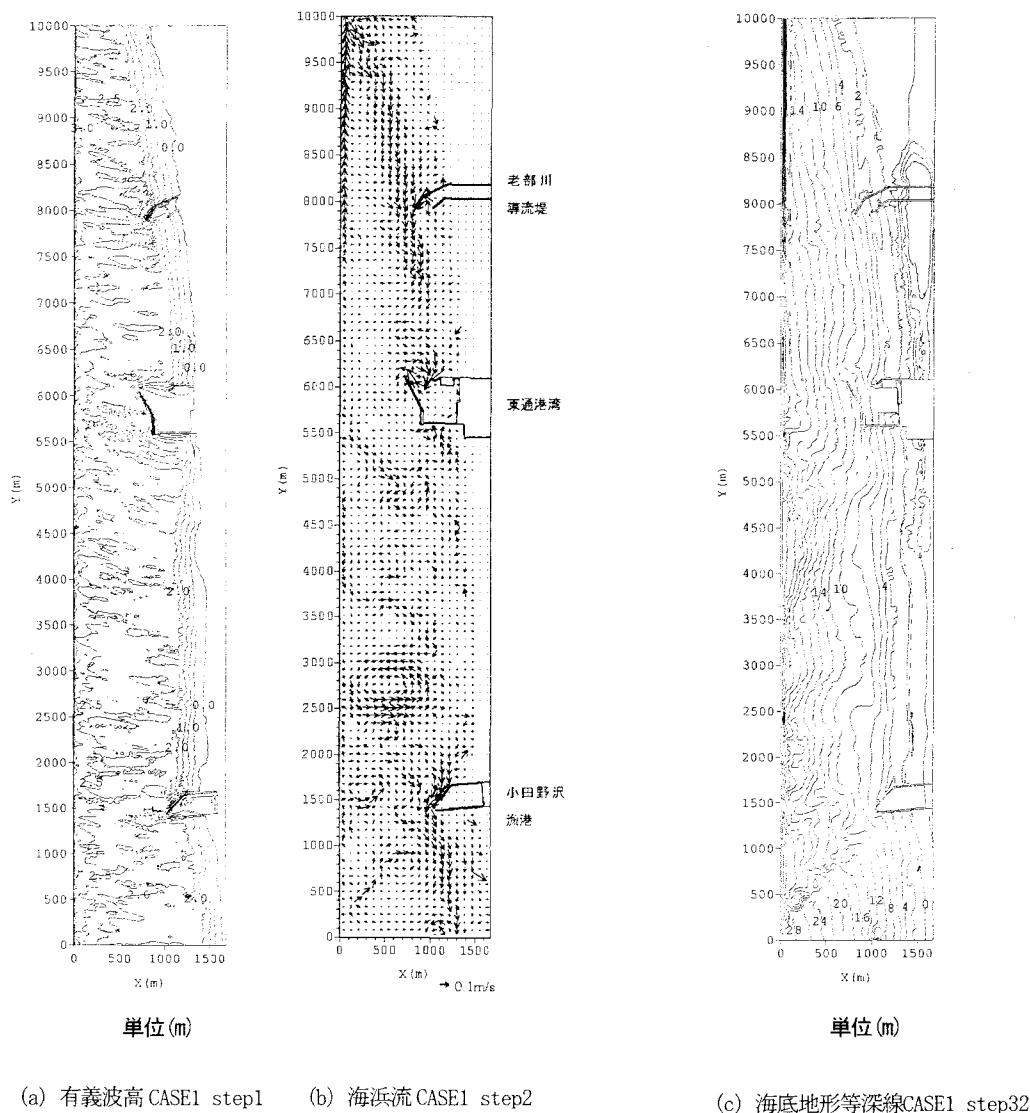


図-5 波高、海浜流、海底地形等深線の並列計算例

(港湾周辺 10km の計算領域)

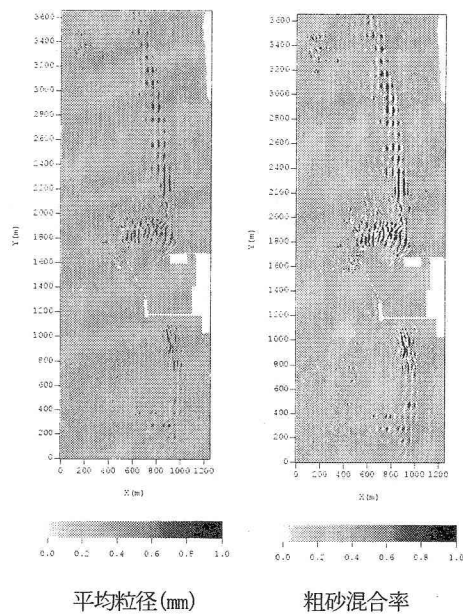
平均粒径と粗砂混合率の更新計算結果である。図-6によれば、海底砂の粗粒化は、初め循環流が顕著となる東通港湾の港口部付近と砕波帯となる $X=800\sim1000\text{m}$ 付近に現れ、次第に周辺に広がって行く。粗砂は岸向き掃流漂砂が卓越し、細砂は砕波帯内で戻り流れによる沖向き浮遊漂砂が卓越する。このため、特に $X=900\sim1200\text{m}$ の比較的水深が浅い領域では概して粗粒化が進むことになる。この領域では、局所的には岸沖方向に $15\sim25\text{m}$ 毎に平均粒径や粗砂混合率が微変動している。この変動間隔は、地形変化計算格子間隔 (5m) の $3\sim5$ 倍に相当する。

図-7 は、海底砂が細砂単一粒径 CASE2 と混合粒径 CASE3 の場合とで海底地形等深線の最終計算結果を比較した例である。参考のため、当該期間に対応した海底地形等深線の観測値も併記した。現地の実地の海底地形砂の粒径は 0.25mm でほぼ一様である。まず、図-7 の CA-

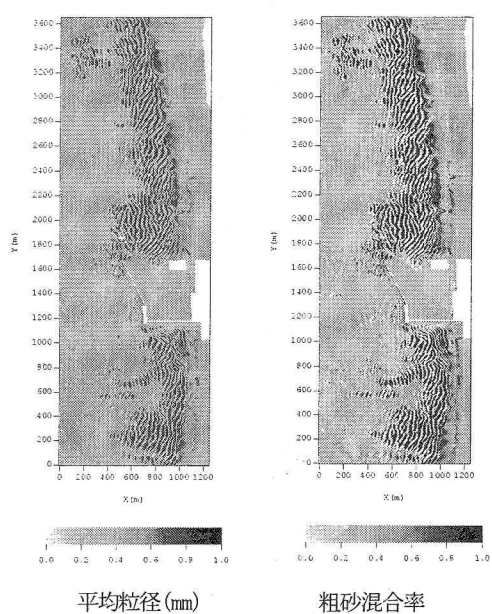
SE2と観測値を比較すると、回折波や循環流の影響により東通港湾港口部付近の砂が堆積し、海底地形等深線が半円状に沖側へ張り出し浅瀬が形成されている状況を再現している。つぎに、CASE2とCASE3を比較すると、浅海域では、概して粗砂が岸向きに移動し、砕波帯内では細砂が沖向きに移動する。このため、浅海域における粗粒化が進み、1年後には混合粒径海浜の方が細砂単一粒径海浜よりも浅海域の堆積量が増大していることがわかる。

4. 結 論

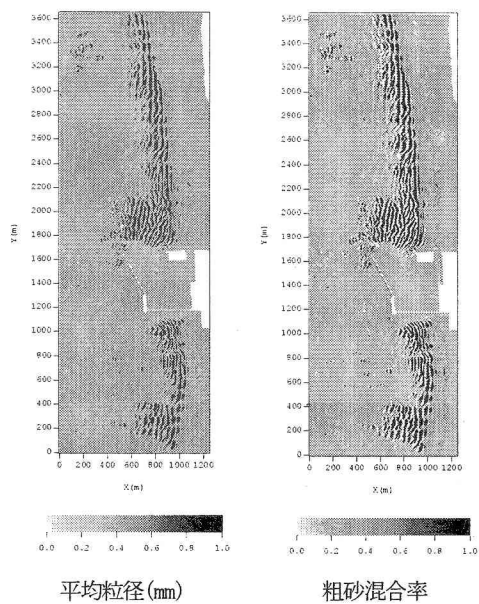
- 1) 東通発電所港湾周辺の海浜変形へ適用し、ベクトル



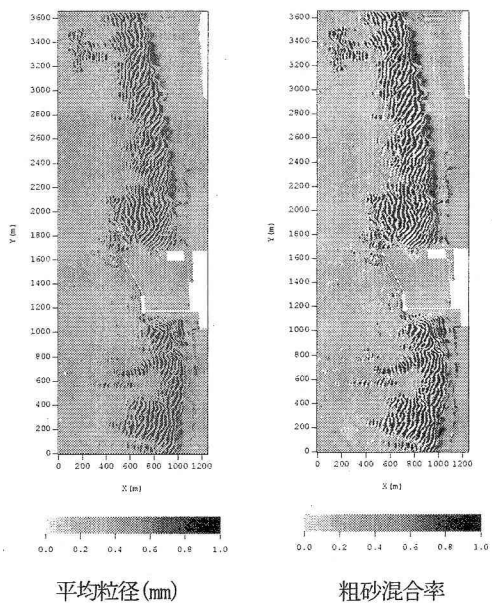
(a) CASE3 step7



(c) CASE3 step25

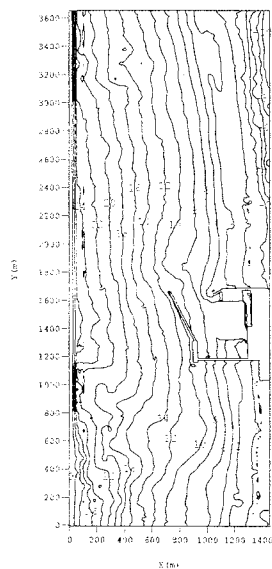


(b) CASE3 step16



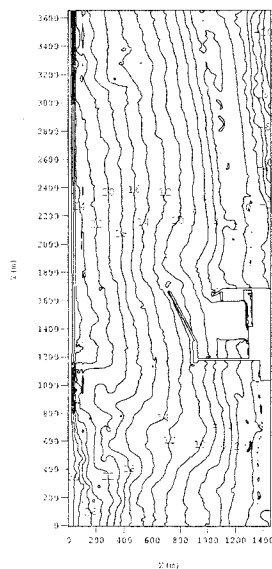
(d) CASE3 step32

図-6 海底砂の平均粒径と粗砂混合率の並列計算例 (港湾周辺4kmの計算領域)



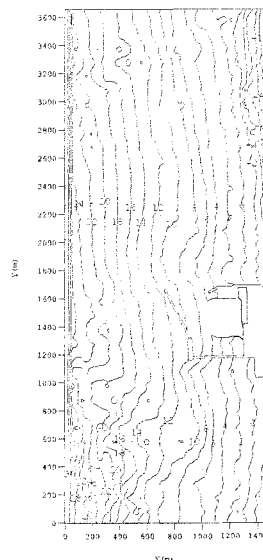
単位(m)

CASE2 step32 細砂単一粒径



単位(m)

CASE3 step32 混合粒径



単位(m)

観測結果 (ほぼ細砂一様粒径)

図-7 海底地形等深線計算結果の比較

(港湾周辺 4km の計算領域)

並列化の効果を検討した。その結果、計算時間が通常のスカラー計算よりも約 1/10 に短縮され高速化できることがわかった。

- 2) 細砂単一粒径海浜と細砂7割に粗砂が3割混じった混合粒径海浜とを比較すると、概して粗砂が岸向きに移動し砕波帯内では細砂が冲向きに移動するため、浅海域の粗粒化が進み、1年後には混合粒径海浜の方が堆積量が増大する可能性がある。

参考文献

- 1) 池野正明・清水隆夫・小林英次・石井敏雅・斉藤知秀 (2001)：露岩域を有する砂浜海岸に港湾を建設する場合

の3次元海浜変形数値予測モデルの適用，海岸工学論文集，第48巻，pp.561-565.

- 2) 池野正明・清水隆夫・石井敏雅・斉藤知秀 (2001)：露岩域を有する砂浜海岸に港湾を建設する場合の海浜変形予測モデルの適用，電力中央研究所報告，研究報告 U01018.
- 3) 池野正明・清水隆夫・小林英次 (2002)：粒径別浮遊・掃流漂砂モデルを用いた混合粒径砂大型岸沖海浜変形実験の再現，海岸工学論文集，第49巻，pp.466-470.
- 4) 板井雅之・伊藤 裕・小林正典・池野正明・清水隆夫・榊山 勉 (2004)：捨石式傾斜堤からの越波・透過漂砂量を考慮した港内堆砂予測手法について，海洋開発論文集，第20巻，pp.491-496.