

河口周辺の海浜変形モデルとその検証

柴山知也*・山田晶子**・小林 顕***

1. はじめに

河口域では、河口閉塞、河口砂州や沿岸砂州の発達など、工学的にも重要な地形変化の問題が起こっている。特にメコン、チャオプラヤをはじめとしてアジアの大河川では、他地域よりも海への流出土砂量が多く、また河道を河港への交通路として利用しているために河口付近では航路維持に大きな努力を必要とする。

このような地形変化、あるいは所用の浚渫土砂量の予測手法として、今までにも様々な地形変化モデルが提案されているが、河口部への適用については十分に検討され、確立されているわけではない。河口前面での土砂の堆積に関しては榎木ら(1987)、田中・秦(1993)などの研究があるが、これらは流送土砂の沈降過程のモデルを扱い、河口テラスの形成過程を説明しているのみである。本研究では、河川による土砂輸送とその沈降過程のみならず、波流れによる土砂の再配置の過程をも含んだ河口部における海浜地形変化の数値予測モデルの開発を行った。さらに、新たに河口流、波浪を含んだ平面移動床の水理実験を行い、波高、定常流、地形変化の諸量を比較することにより、数値モデルの精度および有用性の検証を行った。

2. 数値モデルの構成

本数値モデルではまず、非定常緩勾配方程式に波流れの干渉を考慮した方程式(大中・渡辺, 1987)を用いて、波浪変形と流れ(海浜流と河川流を共に含む)の相互干渉を含めて波・流れ場を算定した。次にこの波、流れの算定結果に局所漂砂量則および浮遊砂の移流沈降モデル(沼野ら, 1989)を用いて波、海浜流、河川流のそれぞれによってもたらされる地形変化を算定した。

全体の海浜変形モデルは、波浪場・海浜流場の計算および地形変化量の計算から構成されている。波浪場・海浜流場の計算については、波と流れのルーチンの中で各々収束計算を行い、さらに干渉を考慮して波・流れの

収束計算を行った。また、地形変化と波流れ場の干渉については計算量の制約から1回だけ(具体的には合計3時間の計算で1時間30分後に地形変化を考慮して波流れ場を計算しなおしている)地形を変化させて干渉を計算している。

波流れ場の算定方法は大中・渡辺(1987)のものと同様である。砕波点の決定方法は磯部(1986)と同様にして流速波速比を用いて決定している。また、砕波減衰係数はDibajnia・渡辺(1987)にならって与える。

河川流の与え方は河口最奥部において強制的に定常水位を与えて河口流量を表現した。ただし、流れのルーチンの進行に合わせて徐々に流速を増加させて計算の安定を図った。

漂砂量については局所漂砂量と浮遊漂砂量に分けて考えている。局所漂砂量については渡辺ら(1984)の漂砂フラックスの式を用いている。次に浮遊漂砂量の計算とその沈降過程については、沼野ら(1989)の方法を用いている。砕波による底質の巻き上げと河川上流からの流送土砂を考慮して砕波帯と河口部に浮遊砂を与え、その移流拡散による底面変化高を底質の連続式に含めて計算を行った。具体的には河口での浮遊砂量 q はBrown型の流砂量式を参考にして以下のように与えた。

$$q = A \frac{q_b}{1 - \lambda} \dots \dots \dots (1)$$

ここで

$$\frac{q_b}{u_* d} = 10 \left(\frac{u_*^2}{sgd} \right)^2 \dots \dots \dots (2)$$

ただし u_* は底面摩擦速度、 λ , s , d はそれぞれ底質の空隙率、水中比重、粒径である。 A は実験定数で試行の結果、 5×10^{-4} で与えることとした。

以上で算定した変化後の地形を、波浪場・海浜流場の入力条件として、再び一連の波浪場・海浜流場、地形変化量の計算を行い、最終的な地形を求めた。

数値計算は表-1に示すように後に述べる水理実験と同じ条件で3ケースについて行った。すなわち波浪・河川流共に平常時の場合(Case 1)、波浪が卓越する場合(Case 2)、河川流が卓越する場合(Case 3)について計算を行った。表には出口(1991)により与えられた地形

* 正会員 工博 横浜国立大学助教授 工学部建設学科

** 正会員 工修 五洋建設(株)

*** 学生会員 横浜国立大学大学院 工学研究科

表-1 計算および実験条件

	T (s)	H (cm)	V_m (cm/s)	Q_m (cm ³ /s)	河口地形の特徴(出口,1991)
ケース 1	1.34	3.11	20.0	222	切れ目のある沿岸砂州の形成
ケース 2	1.39	5.56	20.0	222	砕波点近傍に沿岸砂州の形成
ケース 3	1.38	2.51	18.5	421	テラスと角状砂州の形成

変化の特性が記してある。

3. 水理実験の概要

本研究では、さらに新たに河口部の移動床実験を行い、河口部における河川水の流入による海浜流況の変化、河川流、海浜流と波浪場の相互干渉等について数値モデルの検証を行った。実験は数値計算と同じ条件で行った。

図-1に実験装置の概要を示す。

実験装置は1/20の一樣勾配をもつ平面水槽を使用した。一樣勾配床の中央に縦2.5m横2.3mの移動床部分を設け、ここに砂(中央粒径0.15mm)を敷いて移動床実験を行った。波浪条件としては規則波を汀線に直角に入射させた。汀線付近の中央部分に河口模型を設置し、水を流して河口を再現し、波流れ共存場を作成した。この海浜模型で初期地形に対応する波高分布、流速分布を測定し、さらに3時間経過後の地形変化を測定した。

実験結果の概要はおおよそ以下のように集約できる。ケース1は平水量、平常波の場合に対応しているが、切れ目のある沿岸砂州が形成され、際だった河口閉塞は観察されない。河川流が沿岸砂州に達する辺りでは侵食により局所的な沖方向の移動が生じていた。時間の経過と共に河川流は方向を変え、これが沿岸砂州に切れ目のできる原因である。

次にケース2は波が河川流よりも卓越する場合であるが、この場合は沿岸砂州がはっきりと形成され、河口内部にも砂が堆積し、河口閉塞が起こっている。河口断面が減少して河口流速が速くなり、局所的に大きな侵食が現れている。

ケース3は河川流が卓越する場合であるが、河口からの掃流砂、浮遊砂によりテラスが形成されている。河口流速が大きいため、河口閉塞は起こらない。

また、水位上昇を調べてみると、特にケース1、ケース2の河川流が比較的大きい場合に、河口付近で有意な水面上昇が河川流により生じていた。

4. 水理実験結果と数値モデルの比較

波高分布、平均水位上昇、河口周辺の循環流の形成などの流速場については、水理実験と数値計算の結果は傾向としては良く一致していた。

まず、図-2(1)から(3)に波高分布の平面分布および

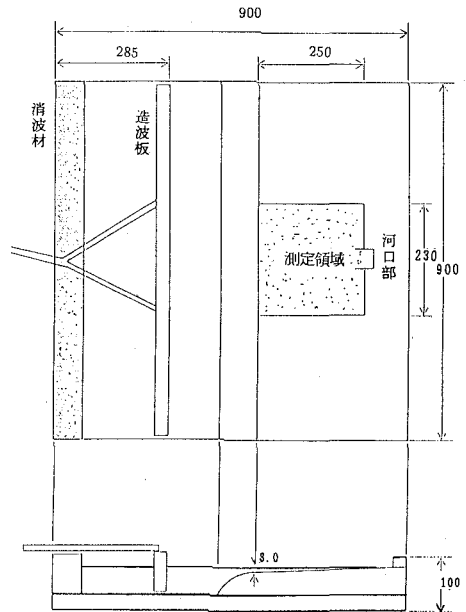


図-1 実験装置の概要

河口前面での岸沖分布の比較を示す。河口前面での岸沖分布をみると、特に砕波点近傍でモデルと実験値が相違しており、今後の課題といえる。砕波点付近でモデルによる算定値が過小になる傾向は特にケース3の流れが大きい場合に顕著に現れていた。

次に海浜流分布の比較を図-3に示す。ここでは河川流が卓越する場合(ケース3)の比較結果を示している。数値モデルでは波浪場・海浜流場と地形変化の計算との干渉によって流況が非対称になっている。このことは干渉を考慮しない場合の、河川流に関して対象な流況と比べてかなり変化しており、実験値をより忠実に再現するようになっている。なお、図では実験値が計算値に比べて大きく現われているが、計算値は断面平均の流速を表し、実験値は底面付近での流速を表しているため、実験値に定常流速の鉛直分布の効果すなわち undertow の影響が現われたと思われる。

図-4(1)~(3)は平面の等深浅図の実験値と計算値の比較を表している。また、図-5(1)~(3)は河口部での岸沖方向の地形の断面図の比較を示している。ケース3の場合、河口前が侵食され、その沖側にテラスが形成されている。ここでは河川上流からの流送土砂を含めており、それが卓越した河川流出流によって運ばれた結果と考えられる。図には示していないが断面図の経時変化からはテラスが計算の進行によって次第に沖向きに進んでいくのが分かる。

ケース2、ケース3の場合では沿岸砂州の形成が見ら

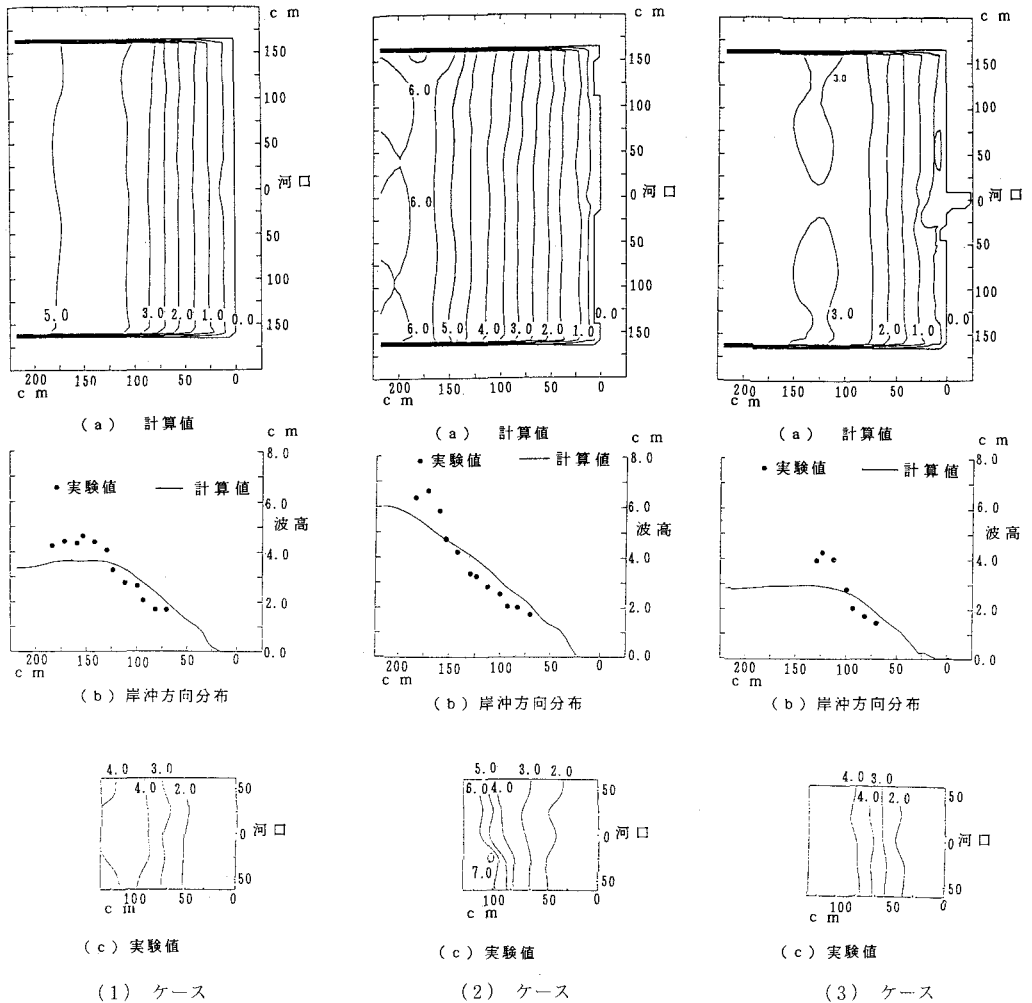


図-2 波高の平面分布の比較及び岸沖分布（河口前面）の比較

れるが、実験時の観察によって得られたような時間変化と共に河川流の流軸が複雑に変化するような現象は再現できていない。全体として現在の数値モデルは、波による地形変化、河川流送土砂による砂州、テラス形成の機構を時間的な変化を含めて現象を再現できる段階には至っていない。

4. 結 論

河口部をモデルとして、波・流れの干渉を考慮した波浪場・海浜流場と、さらに地形変化との干渉を考慮して数値計算を行った。また、移動床実験結果を用いてモデルの検証を行った。この結果、地形変化量の計算をする際、河川上流からの流送土砂および河川流による浮遊砂の移動を考慮することによって、河口テラスの形成、沿岸砂州の形成や河口閉塞等の河口特有の現象が定性的には再現できた。河川流の主流方向が時間的に変化するな

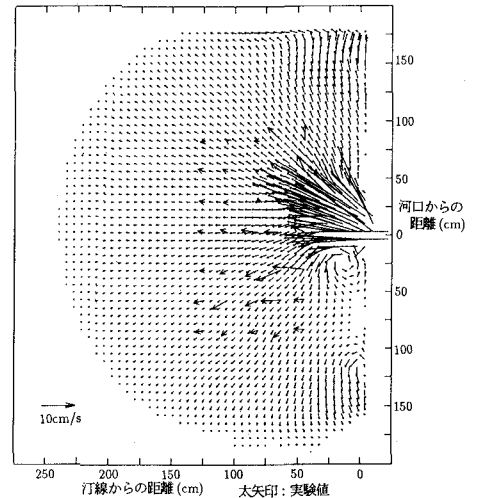


図-3 定常流速場の平面分布の比較（ケース3）

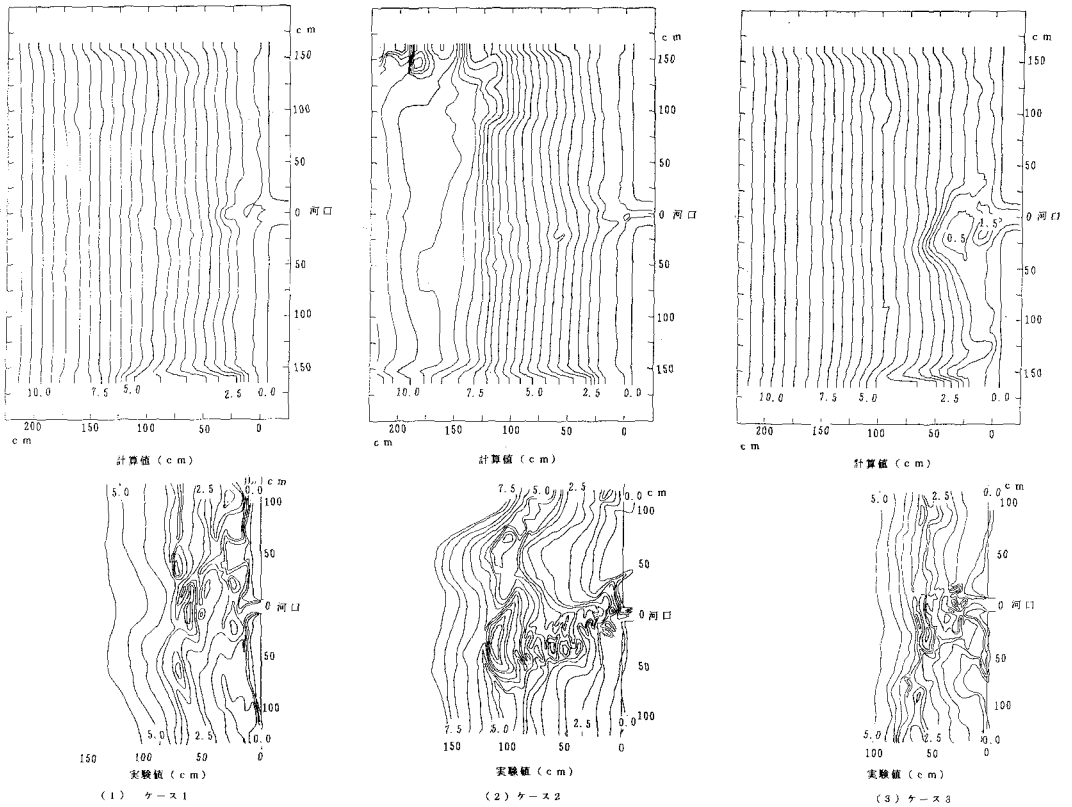


図-4 地形変化の平面分布の比較

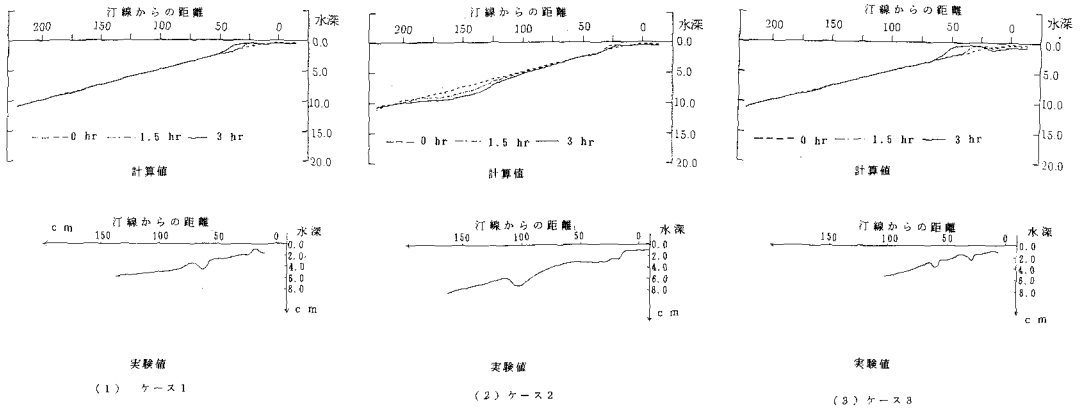


図-5 地形変化の岸沖分布の比較 (河口前面)

ど、より詳細な地形変化の機構については現段階では評価できない。

本研究は文部省科学研究費 (国際学術研究, No. 04041049 代表者柴山知也) による研究の一部であることを付記する。

参考文献

磯部雅彦 (1986): 放物線方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 134-138.
 大中 晋・渡辺 晃 (1989): 波・流れを考慮した波動場・海浜

- 流場・地形変化の数値計算, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 399-403.
- 大中 晋・渡辺 晃・磯部雅彦 (1987): 波・流れ共存場に拡張した非定常緩勾配方程式による波動場の数値計算, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 160-164.
- 小林 顕・柴山知也 (1993): 河口部の波・流れ共存場での地形変化に関する実験, 第48回土木学会年次学術講演会講演概要集, 第2部門, pp. 912-913.
- 榎木 享・出口一郎・片上貴文 (1987): 河口流出砂の堆積形状に関する数値予測モデルと堆積形状に及ぼす河口処理工の影響, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 377-381.
- 出口一郎 (1991): 河口処理構造物, 榎木 享編, 波と漂砂の構造物, p. 293-391.
- 田中 仁・首藤伸夫 (1980): 波流れ共存時の底面摩擦に関する研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 163-167.
- 田中 仁・秦 恵敏 (1993): 出水時における河口前面でのテラス形成過程の計算, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 476-480.
- Dibajnia, M.・渡辺 晃 (1987): 波浪場と海浜縦断地形変化の数値モデル, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 291-295.
- 沼野祐二・佐藤慎司・柴山知也 (1989): 海浜変形数値シミュレーションにおける浮遊砂の移流過程と undertow の効果, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 394-398.
- 李 宋燮 (1986): 河口閉塞に関する基礎的研究, 大阪大学博士論文
- 渡辺 晃・丸山康樹・清水隆夫・楠山 勉 (1984): 構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第31回海岸工学講演会論文集, pp. 406-410.
- Nielsen, P. (1986): Suspended sediment concentrations under waves, Coastal Eng., Vol. 10, pp. 23-31.
-