

東京電力(株) 正会員 植木一浩

1. はじめに

砂浜海岸に港湾を建設する場合、防波堤の建設途上においては防波堤周辺の堆積に、また港湾完成後は港口付近の港内堆積に悩まされることが多く、維持浚渫費も高額になっている。港口から多量の冷却水を取り出す発電所港湾では、港口に定常的な流れが存在するため、一般の港湾に比べて港内への砂の流入量が多いことが特徴である。

近年、漂砂現象並びに海浜変形予測手法に関する研究が進展し、現地に対する適用も盛んに行われるようになってきた。取水港湾における港内堆積に関しても、福島第一および第二原子力地点を対象に検討を行い、港内を一次元水路にみたてた実用的な浚渫土量および浚渫範囲予測手法を確立してきている。しかし、このモデルは、平面的な堆積分布予測および任意地点への適用性については課題がある。

本研究は、港内堆砂について、港口周辺および港内の平面的な堆積分布に対しても適用可能な一般的な予測手法を確立することを目的として実施したものである。本報告では、既存の原子力発電所の取水港湾における港内堆積の現状と、それらに基づき実施した3次元海浜変形予測手法の現地適用性ならびに港口の条件と港内流入砂量の関係について述べる。

2. 海浜変形予測手法の概要

海浜変形予測には、従来、移動床実験等が用いられてきたが、近年3次元海浜変形シミュレーションが急速に発展してきた。しかし、これまで漁港等小規模の港湾への適用例を除けば、モデルの現地適用性については十分検討されていないのが現状である。

3次元海浜変形予測モデルは、対象領域の波浪と海浜流の平面分布を計算し、その結果得られた各地点の水量を用いて局所漂砂量を評価し、漂砂の連続式に基づき平面的な地形変化を計算するものである。

解析手法の概要を表-1に示す。このうち地形変化計算の基本となる漂砂の連続式を以下に示す。

$$h/t = q_x / x + q_y / y \quad (1)$$

ここに、 h : 水深、 q_x 、 q_y : x 、 y 方向の漂砂量フラックスである。

局所漂砂量フラックスは、波・流れ共存場に適用可能な渡辺ら(1984)のモデルを用いて算定した。このモデルは、波と流れが同時に外力として働くことによって移動状態になった砂粒子が、平均流あるいは波動流速によって運ばれると考えて、次のように定式化されている。

$$(q_x, q_y) = (q_{ex} + q_{wx}, q_{ey} + q_{wy}) \quad (2)$$

$$q_e = A_e \cdot (\tau - \tau_c) \cdot u_b / \rho g, \quad q_w = A_w \cdot (\tau - \tau_c) \cdot u_b / \rho g \quad (3)$$

ここに、 q_e 、 q_w : 流れ、波による漂砂量フラックス、 τ : 波・流れ共存場の底面剪断応力、 τ_c : 移動限界剪断応力、 u_b : 平均流速、 u_b : 波の底面軌道流速振幅、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度、 A_e 、 A_w : 無次元漂砂量係数である。漂砂量係数は、既往の研究結果によれば、現地スケールに対しては、流れによる漂砂量係数 A_e が2.0、波による漂砂量係数 A_w が0.2程度の値を取るものといわれている。

表-1 計算手法の概要

項目	手 法
波 浪 場 の 計 算	・基礎式: 波のエネルギー平衡方程式 [Karlsson (1969)] … 浅水変形、屈折 ・回折の考慮: 方向分散法 ・砕波の考慮: 合田 (1975) の不規則波の砕波変形モデルの簡略式
海 浜 流 場 の 計 算	・基礎式: 水平面内の平均流に関する連続式および運動方程式 ・計算法: 時間項、移流項、圧力項、底面摩擦項、水平拡散項、外力項 (波の radiation stress による項) を考慮した非定常計算法
地 形 変 化 の 計 算	・基礎式: 漂砂の連続式 ・局所漂砂量公式: 渡辺ら (1984) の評価式 漂砂量…パワーモデル 移動方向…平均流の方向に一致 ・底面剪断応力の評価: 田中・首藤 (1980) の表示

3. 3次元海浜変形予測モデルの現地適用性の検証

既存の取水港湾における港内堆砂は、

①防波堤に沿った海浜流によって砂が移動し、それが波高減衰の大きな港口付近に堆積する

②取水流によって港口から港内に砂が移動し、波高や流向・流速変化の大きな所で局所的に堆積する場合がある。

このうち、取水流による港口から港内にかけての堆積が顕著な福島第一原子力地点を対象に、モデルの現地適用性の検証を行った。高波浪時の港内地形変化の計算例を、実測の典型的な堆積状況とともに図-1に示す。地形変化の計算結果は、港口部の局所的な堆積状況を概ね再現していると判断される。

4. 港口条件と港内流入砂量の関係

通常の取水港湾で、所定の港内静穏度を有する場合には、港口からの流入砂はすべて港内に堆積する。したがって、港内堆積土量を低減するためには、港内流入砂量をできるだけ低減するような港口条件を選定す

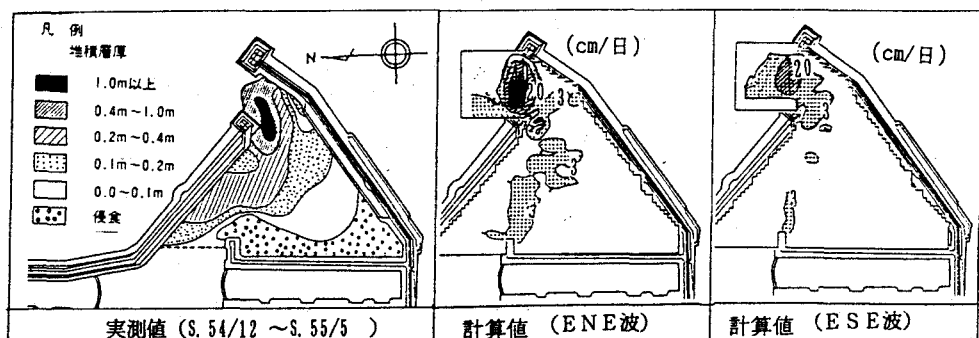


図-1 福島第一原子力地点の港内堆砂の計算例 ($H_{1/3} = 4\text{m}$, $T_{1/3} = 12\text{s}$)

ることが望ましい。一般に、港口を通過して港内に流入する砂の量は、港口断面上の外力（波高および取水流速）と港口水深および底質条件（粒径）によって決まる。本報告では、港内流入砂量の低減からみた港口条件について検討した。

港内流入砂量は、図-2に模式的に示すように、流れによる漂砂量 Q_c と波による漂砂量 Q_w に分けて、それぞれ波と流れの進行方向に運ばれるものと仮定し、両者の和として総量を評価した。

$$Q_c = q_c \cdot B \cdot \sin \theta_c, \quad Q_w = q_w \cdot B \cdot \sin \theta_w \quad (4)$$

ここに、 B ：港口幅、 θ_c 、 θ_w ：仮想港口断面における流れと波の進行方向であり、漂砂量フラックスとしては、渡辺ら(1984)のモデルを用いた。

図-3は、福島第一原子力地点を対象に、港口幅と年間港内流入砂量との関係を沖波波高に対する港口波高比毎に、計算したものである。波高は年間出現頻度を考慮して設定しており、各図とも現況の条件を基準に無次元化されている。一般的には港口の波高比を一定に保ちつつ港口幅を広げると流れによる流入砂量は流速の減少に伴い単調に減少するが、ある程度以上流速が小さくなると平衡状態に近づく傾向を示す。また、波による流入砂量は、波に対して相対的に取水流速が小さくなると、あるいは波高が大きくなると増加傾向を示す。福島第一原子力地点の場合、港口幅が狭く、取水流速が比較的大きいため、港口幅を広げたほうが流入砂量は少なくなるが、ある程度以上広げても波による流入砂量が増加するため、あまり低減効果が期待できない。

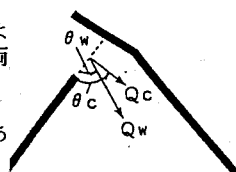


図-2 港内流入砂量算定法模式図

(基準：●) 港口波高比0.4、港口幅125m、港口水深8m、取水量 $240\text{m}^3/\text{s}$

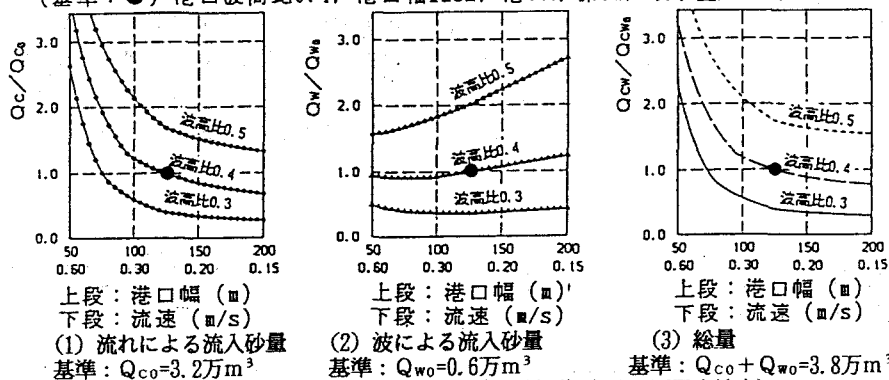


図-3 港口幅と港内流入砂量との関係 (福島第一原子力地点)

5、おわりに

既存の取水港湾における港内堆砂は、

①海浜流による防波堤に沿った砂移動とそれによる港口付近での堆積

②波と取水流による港口から港内への砂の流入・堆積

によって生じており、外郭形状、港口位置、港口幅等の港口条件によって流入砂量が変化する。したがって、港湾の設計に当たっては、港内堆砂の観点からも適切な港口条件を設定することが重要である。

また、本研究で用いた海浜変形予測モデルは、港口周辺および港内にも適用できることが確認でき、この手法を用いて合理的な港湾計画、浚渫計画を策定することが可能と考えられる。