

水害により海へ流入した危険物質の堆積エリアの推定

Estimation for Region of Existence on Sediment Contaminated by Hazardous Materials Flowed from Rivers

○森安祥大¹, 後藤浩², 前野賀彦³

*Yoshihiro Moriyasu¹, Hiroshi Gotoh² and Yoshihiko Maeno³

Abstract: In recent years, floods have occurred frequently in Japan due to global climate change. Factories and other facilities have been inundated and result in the outflow of hazardous materials such as heavy metals and oil. These materials flow into the sea through rivers and are adsorbed by floating mud. In this study, the breaking wave depth was estimated from wave observation data in Tokyo Bay. And an attempt was made to estimate the region of contaminated sediment assuming the depth is smaller than the breaking wave depth. Also, the measures were preferred against the deposition of hazardous materials are described.

1. はじめに わが国では、地球規模の気候変動の影響を受け、近年、豪雨災害が多くなり、都市域が冠水する事象が多発している^[1]。事象の中には、洪水の流れに危険物質が混じる場合も散見され、洪水の2次被害が懸念される。そのような状況を踏まえ、最近、著者らは、ハリケーン・カトリーナによる危険物質の流出被害等に関して精査して、工場・農家・一般家屋の3種類の施設からの危険物質の流出の可能性について検討を行った^{[2]~[4]}。また、危険物質が流出した場合の冠水した都市域での物質の拡散についても推算を行った^[5]。本研究では、さらに危険物質が河川に流入・流下し海域へ到達した場合、危険物質が堆積する沿岸エリアについて検討した。すなわち、まずは、危険物質の底質への吸着特性を文献から整理した。そして、危険物質が堆積するエリアが砕波帯より内陸側の穏やかな海域であると推測し、合田の砕波式^[6]よりその領域を試算した。また、今後の水害で海に危険物質が堆積した場合の処理方法等について文献情報を基に言及した。

2. 研究方法 本研究では以下の研究を行った。

①危険物質の海域での底質の吸着特性 土壌の汚染については、土壌学の研究者を中心にして言及されている。この海域の底質土壌への各種汚染物質の吸着特性について、土壌学の文献からその情報を抽出して整理した。

②底質に吸着された危険物質の存在領域の推定 河川から海域へ出た危険物質は、河川の流れに押し出され外洋へ出れば海の流れに乗って拡散するが、一部は、砕波による底質土砂の攪拌がない波浪の穏やかな砕波帯から汀線の海域にて、底質に吸着され存在しているものと考えられる。したがって、ここでは砕波水深を推算することによって、その領域を明らかにすることを考えた。砕波水深の計算については、合田によって、現地観測から得られている経験式 (1) 式から推算した^[6]。

$$\frac{H_b}{L_0} = 0.17 \left[1 - \exp \left\{ -1.5 \frac{\pi h_b}{L_0} \left(1 + 15 \tan^{\frac{4}{3}} \theta \right) \right\} \right] \quad (1)$$

ここに、 H_b は砕波高、 L_0 は沖波波長、 $\tan \theta$ は海底勾配、 h_b は砕波水深である。記号関係を Figure.1 に示した。

ここでは、モデル調査対象海域を東京湾として、気象庁が示す近年の東京湾の波浪データ^[7]10年間分 (2013年

6月~2022年6月の10年間で、特に波浪が高くなる各年の6~9月分のデータを用いた) に観測された1日最大波波高と最大波周期を調べた。なお、砕波波高 H_b については、測定データがないため簡易ではあるが、最大波波高を沖波波高 H_0 と同じとし、さらに、砕波波高 H_b も同じと仮定して計算した。また、沖波波長 L_0 については、抽出した1日最大波周期 T を基に、微小振幅波理論から得られる (2) 式に代入して計算した^[8]。

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (2)$$

③汚染された底質への対応法 海外の事例も含め、汚染された底質対策工は複数実施されている。その事例の情報を文献より入手し、東京湾を想定して実施可能な工法を検討・考察した。

3. 研究結果 各検討項目の検討結果について、以下に簡潔にまとめる。

①危険物質の海域での底質の吸着特性 底質の汚染については、例えば、各種資料^{[9]~[12]}によれば、汚染物質などは、土壌に吸着し移動・堆積すると指摘されている。特に、粒度の細かい粘土やシルトへ汚染物質の吸着が多い理由については、「比面積の大きさに対する量的寄与が大きいこと」、「物質の分子やイオンが土壌表面に電氣的・化学的作用により引きよせられて、ぴたりと土壌粒子に沈着すること」などが挙げられている。このよ

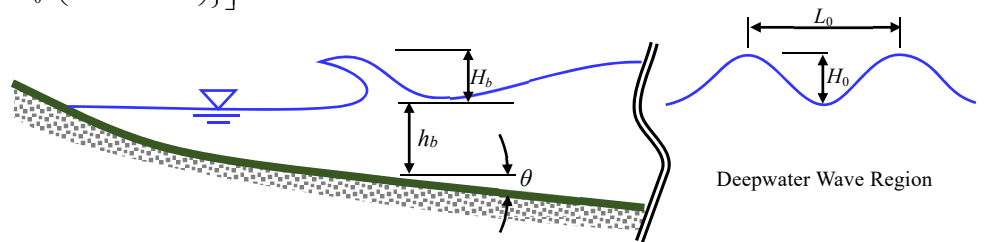


Figure.1 Schematic figure of breaking waves

1:日大理工・院(前)・まち 2:日大理工・教員・まち 3:日大理工・教員・土木

うな粘土・シルトの底質は、海の中の流れが小さく、砕波の影響を受けないエリアに堆積すると推察される。すなわち、海への出口である河口付近、そして、波の砕波の影響が小さい砕波帯から汀線近傍と考えることができる。

②底質に吸着された危険物質の存在領域の推定 ①の推論に基づき、東京湾を検討対象地として、砕波水深位置から汀線がどの領域に存在するのかを合田式より推算した。砕波波高 H_b については、気象庁が示す東京湾の波浪データ^[7] (2013年6月~2022年の6月の中で6月~9月の期間)の中で最も大きい観測値であった最大波波高 $H_{max}=2.92\text{m}$ を採用した。周期については、最大波波高 H_{max} に対応したのものであると偏りが大きかったので観測期間における1日最大波の周期の平均値を取り $T=4.3\text{s}$ を採用した。海底勾配 $\tan\theta$ については、東京湾内でありうる範囲で、1/5, 1/10, 1/25, 1/50, 1/100, 1/1000の6通りで計算を行った。なお、Figure.2に東京湾の等深線図を示す^{[12], [13]}。

Figure.3は、(1)および(2)式の計算結果を示したもので、図中に、東京湾で観測された最大波波高と周期を基にしたデータを併記してある。また、Table.1には、具体的に次元のある形で危険物質の堆積する限界の水深と考えられる砕波水深 h_b を海底勾配ごとに整理してある。Figure.3およびTable.1に示されるように、2m~5mの範囲が砕波水深であり、その水深より浅いエリアでは、底質が粘土やシルトなどの粒子の細かいもので構成されていれば危険物質を吸着した土砂の堆積が生じる可能性がある。Figure.3およびTable.1の計算結果とFigure.2の等深線図とを比べてみると、東京湾湾奥を中心として、遠浅の海が存在しているとともに、流れ込む河川の河口近くの海域では多数の干潟が存在しているので、危険物質の堆積が生じているかもしれない。

③汚染された底質への対応法 危険物質が海へ流入・堆積した場合、環境に悪影響が及ぶ。水害発生時に海に流入した危険物質は、洪水最盛期には河川からフラッシュする流れも速いため、沖合まで流され、沿岸に沈降せず沿岸流によって拡散すると考えられるが、洪水の終了近くになれば、河川流も穏やかになり、流入する危険物質は、砕波帯内の静穏領域にある微細な粘土・シルト粒子に吸着し、また、まとまることでフロック化した浮泥になり、沿岸に残存するということが考えられる。文献によれば、実績のある汚染土壌の処理方法はいくつか提案されている。覆砂による封じ込めの工法^[9]もあるが、船舶航送波やアンカーによる底質の擾乱、暴風波浪による土壌侵食なども懸念され、安易に用いるのは問題であると考えられる。したがって、本海域では汚染した土壌について固化剤を用いてまずは安定化し、将来的に回収することが望ましい。回収底質中にダイオキシン類が含まれていれば高熱で処理して無毒化し、重金属類については珪酸化塩類と一緒に焼成してガラス化し封じ込めることが考えられる。なお、処理に対するコストが高額となるため、技術革新がなされてからの回収処理となることが注意点である。

東京湾沿岸は、潮干狩りや水鳥などの生物の生活の場もある。したがって、やはり上述した底質改良の工法などを用いることが無いようにすることが重要である。すなわち、洪水頻発の昨今、上流側で危険物質の流出が無いよう、「洪水を管理すること」を考えることが肝要と考える。

4. まとめ 本研究では、流出した危険物質が、特に粒度の小さい粘土やシルト質の土砂に吸着されるとの実態を文献から情報を整理した。そして、粘土やシルト質が流出しない砕波帯から汀線までの領域を明らかにするために、東京湾をモデルに実測データから砕波水深を計算し、その値が2~5mであることを推算した。そして、流出した場合の対応策については、将来的には汚染底質の回収を行い、高温での焼却処理するなどの工法を用いるべきとの意見を述べた。

参考文献：[1] 国土交通省：河川データブック 2020, <https://www.mlit.go.jp/> (2020.12.22 閲覧), [2] 森安祥大他：浸水想定区域に存在する危険物質を取扱う事業所に関する調査 土木学会, 第76回年次学術講演会, II-174, 2021, [3] 森安祥大他：水害によって浸水した地域の家屋に保管されている危険物質流出の可能性の考察, 土木学会, 第49回関東支部技術研究発表会, 2021, [4] 森安祥大他：洪水による浸水被害発生時の農家等からの農薬流出リスクに関する考察, 土木学会, 第77回年次学術講演会, IV-109, 2022, [5] 森安祥大 他：洪水によって冠水した都市内事業所からの危険物の流出に関する考察 (F2-57), 第65回日本大学理工学部学術講演会, 日本大学理工学部, 2021, [6] コロナ社：海岸工学(2003年4月発刊), [7] 東京都港湾局：東京港の潮位・波浪, <https://www.kouwan.metro.tokyo.lg.jp/>, (2022.08.01 閲覧), [8] 技報堂出版：沿岸域工学の基礎(2019年1月発刊), [9] 日本港湾協会：ノルウェーが取り組む覆砂による底質環境改善, 港湾, 日本港湾協会, 2012.10, [10] 和田信一郎：和田信一郎の土の科学情報 <https://www.soilsci.info/Books.html>, [11] 相馬光之, 谷幸則：底質土壌中の汚染物質の挙動と粘土, 粘土化学, 第39巻, 第3号, pp.130-136, 日本粘土学会, 2000, [12] 日本土壌肥科学会：土壌の吸着現象—基礎と応用, 2007, [13] 国土交通省：東京湾及びその流域の概要, <https://www.mlit.go.jp/> (2022.09.01 閲覧), [13] 国土地理院：地理院地図/GSI MAPs, <https://www.gsi.go.jp/>(2022.09.01 閲覧)。

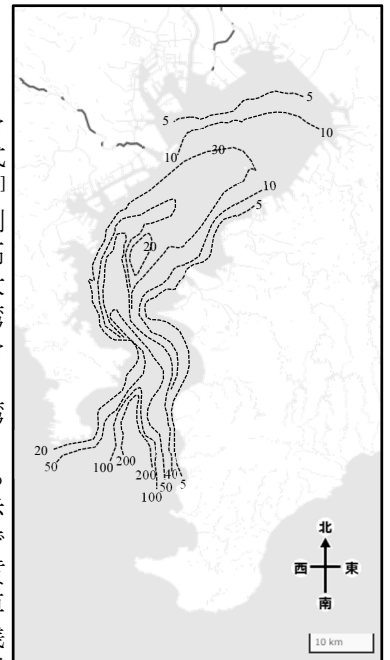


Figure.2 Submerged contour map in Tokyo Bay[m]

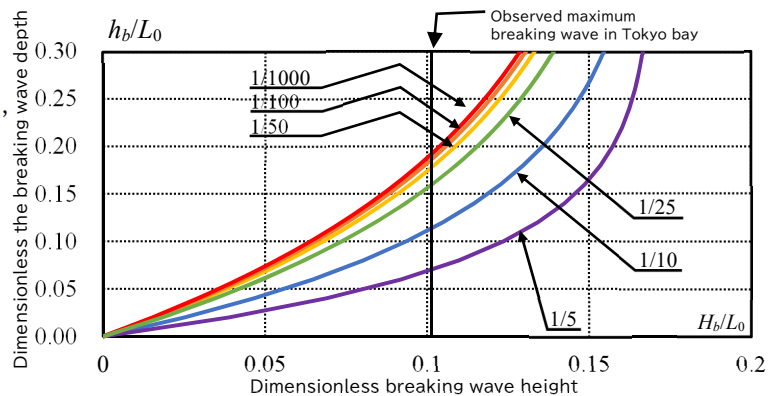


Figure.3 Estimated values on breaking wave depth

Table.1 Breaking wave depth as function of seabed slope

$\tan\theta$	Breaking wave depth h_b [m]
1/5	2.03
1/10	3.33
1/25	4.57
1/50	5.07
1/100	5.36
1/1000	5.50