

F2-57

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

Considerations on Spillage of Hazardous Materials from Urban Offices Inundated by Flood Waters

○森安祥大¹, 後藤浩², 前野賀彦³*Yoshihiro Moriyasu¹, Hiroshi Gotoh² and Yoshihiko Maeno³

Abstract: In this study, firstly, we investigated the event of hazardous material spills due to floods in Japan. Next, we conducted the survey on the offices with hazardous materials in Koto-ward of Tokyo Japan. And, the comparison between the facilities with hazardous materials and the estimated maximum inundation depth based on the hazard map were performed. Also, we analyzed the situation on the diffusion of the hazardous material spills using the planar two-dimensional diffusion equation. Furthermore, we proposed the measures to mitigate the damage by flooding with the hazardous materials.

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⁾。一般的に、洪水には、水だけでなく、土砂、流木、ごみも含まれている。そして、河川上流部、浸水エリアに工場などの危険物質を取り扱う事業所があれば、危険物質の流出が懸念される。危険物質の流出について検討することは、洪水災害からの復旧・復興だけでなく、減災対策を立てる上で役に立つ。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考察を加え、また、西日本豪雨を例にして、危険物質の流出の可能性について検討を加えた²⁾。本研究では、東京東部低地帯の一部である江東区を対象にして、事業所からの危険物質の流出リスクについて資料から調査を行った。そして、江東区を含む東京東部低地帯において、危険物質の拡散状況を平面2次元拡散方程式の解析解³⁾を利用して推算した。そして、上記を踏まえて、洪水による危険物質の流出対策について二、三の提案を行った。

2. 研究方法 我が国における危険物流出事例については、インターネット上の新聞記事などを検索して調査した。次に、江東区全域を対象にして、ゼンリン住宅地図⁴⁾を用い事業所を抽出した。抽出した事業所は、工場、ガソリンスタンド、鉄工所、工務店、印刷所、クリーニング施設、塗装会社、下水処理施設である。そして、江東区が発行するハザードマップ(高潮)⁵⁾より、各事業所の地域の最大予測浸水深を読み取り比較を行った。さらに、Fig.1に示す江東区を含む東部低地帯(荒川放水路と隅田川に挟まれた領域)に湛水し、ある事業所から危険物質が流出した場合、どれくらいの時間でどのように広がるのかを検討した。すなわち、平面2次元拡散方程式を解くことによって得られる解析解³⁾を用いて拡散の様子を解析した。なお、流出場所は、ハザードマップ浸水エリアの平面図形の図心位置と仮定し、乱流拡散係数 D (m^2/s) の値はASCE (American Society of Civil Engineers, the task committee on modeling of oil spills of water resources engineering division)⁶⁾から報告されている数値を用いた。図心位置は、浸水域平面図を $100\text{m} \times 100\text{m}$ の正方形に分割してVaringnonの定理を適用して簡易的に求めた。円筒座標系表示の半径方向(r 方向)の拡散方程式は(1)式で表示であり、(1)式を解析的に解くと(2)式が得られる。なお、深さ方向(z 軸方向)については、一様とみなすこととする。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(D \frac{\partial C}{\partial r} \right) \quad (1) \quad C = \frac{Q}{4\pi Dt} \exp\left(-\frac{r^2}{4Dt}\right) \quad (2)$$

拡散の推算には(2)式を用いた。ここに、 Q (g_0/m): 単位深さ当たりの物質の質量、 C (g_0/m^3): 任意地点での油の質量濃度、 r (m): z 軸からの平面方向への距離、 t (s): 時間である。

3. 研究結果 各検討項目について、以下に簡潔にまとめる。

わが国における危険物質の流出事例の調査結果 近年、大きく報道されたものでは、次の事象がある。2019年8月の佐賀豪雨で発生した洪水により杵島郡大町にある佐賀鉄工所の大町工場から油が流出し大きな被害を出した⁷⁾。すなわち、鉄工所から東および東南方向約1kmに油が約50m³流出し、水稲25.8ha、大豆15.3haが油に浸かり、流出面積は825000m²に影響を与えた。また、近くの病院や老人ホームでは、洪水で建物が孤立した上に建物内に油が流入し大きな被害を出した。大町工場では、床下約3mに熱処理用の油を保管しており、高さ3.5mの重量シャッターで水が流入しないようにしていたものの、シャッターを超える高さの水が流れ込み、油が浮きあがる形で工場からあふれ出した。この事例は、この地域の特殊な事情から発生したものではないと考えられ、わが国のいずれの低地帯でも発生しうる事象と考えられる。

危険物流出リスクの検討 Table.1は、各事業所の事業所総数および事業所の種類と最大浸水深とのクロス集計結果である。Table.1に示されるように、全ての事業所において、多くの危険物質を個々に保管しているのかの確認まではできてはいないが、油系、塩素系、アルカリ系などの人に危害を加える可能性のある物質を扱

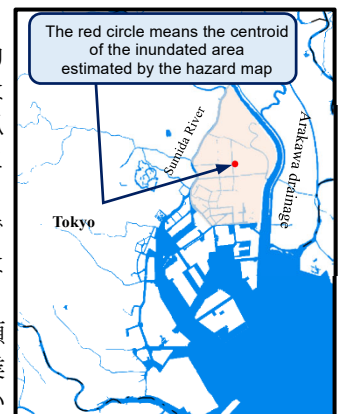


Fig.1 Study area

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

う可能性がある事業所が江東区内には多数あることが理解できる。そして、**Table.1**で着色したところが、浸水し流出の可能性を示している。特に、最大浸水深10m(2階部分まで冠水)となる事業所も多く存在している。このため、行政からの指導により、水に浸からない上層階への保管等を義務づけることが望ましい。

拡散方程式の解析解による危険物質拡散の推算
乱流拡散係数は、水平拡散における範囲とされる $D=1\sim 100\text{m}^2/\text{s}$ を用いた⁶⁾。なお、この計算は、障

害物がない状態で水面を同心円状に拡散する様子を表す単純化した計算となっており、堤防や浸水していない家屋によって流れが遮られることについては、考慮に入れていない。**Fig.2**は、与えられた汚染物質の流出位置からの距離 $r=3000\text{m}$ に対して、乱流拡散係数 D の変化に伴う物質の到達時間を示したものである。なお、濃度最大値の10%に達したとき物質が到達したものと判断した。**Fig.2**に示されるように、発生時は風や波などが強いことを鑑みると、拡散係数は1に近い値をとることがないと考えられる。**Fig.3**は、東京東部低地帯のエリアにおける2016年から2020年の水害が起きやすい時期(6~9月)における風向分布を示したものである⁸⁾。風は南からが主方向となり、風速は日平均値を単純平均した結果は 4.2m/s であった。洪水時は荒天であることからこれ以上の強風が懸念され、危険物液体が浸水域全体に早期に拡散する可能性がある。松崎ら⁹⁾によれば、油の拡散係数として $20\sim 30(\text{m}^2/\text{s})$ が示されており、特に洪水時は、荒天であろうことを考えると、 $D=20\sim 30(\text{m}^2/\text{s})$ より大きな値をとるものと考えられる。すなわち、流れ出した物質は、遅くとも6時間以内に荒川河岸付近と隅田川まで到達することがわかる。なお、東京都が発行する高潮浸水想定区域図(浸水継続時間)¹⁰⁾によると、**Fig.1**エリア内で洪水浸水が発生した場合、浸水深0.5m以上の浸水継続時間が1週間以上とされている。

Fig.4は、 $D=25\text{m}^2/\text{s}$ の条件下での $r=3000\text{m}$ における濃度の時系列変化である。なお、縦軸の濃度は、任意の時間における濃度 C を濃度最大値 C_{max} で除し無次元表示としている。**Fig.4**に示されるように、流出し始めてから、半日経たないうちに到達し、数時間で急激に濃度が上昇、約1日で最大濃度に達している。このことから、墨田川と荒川放水路に挟まれた地域が湛水した場合、1日もすれば、全域にその影響が及ぶことが容易に想像される。

危険物質を有する施設の被害に備えた対処方法の考察 油などの危険物質は、健康被害ばかりでなく、火災を起こす可能性もある。これが、浸水により広まるのが懸念される。したがって、ガイドライン¹¹⁾で指摘のように、既存の事業所の場合は、危険物の建物内高所での保管や危険時の事前に安全な場所への移動、流出を防ぐロープ固定などの指示に従うことが望ましい。また、建築基準法28条、第35条に注意しながら、建築物低層部に開口部をなるべく減らすなどの建物の耐水化を図ること、これが難しければ、少なくとも危険物質の保管場所の耐水化、ないしは、保管場所を浸水深以上にするよう行政指導が必要と考えられる。

4. まとめ 本研究では、まず、2019年の佐賀豪雨により危険物質流出事例を抽出・参照し、どの地域でも起きる事象であることを指摘した。次に、低地帯である東京都江東区の事業所をすべて抽出し、多くの危険物質保管施設の浸水の危険性がかなり高いことを示した。また、湛水した東京東部低地帯に危険物質が流出した場合、その様子を拡散方程式を用いて解析した結果、1日以内に浸水域全体に広がることを推算した。上記より、今後の水害に備え、事業所の新設に当たっては、ガイドラインを遵守した上で、さらには、危険物の高所への保管先移動の指導などが望ましいことを提案した。

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：洪水によって冠水する地域に存在する危険物取扱い事業所の水害対策に関する考察, 第48回土木学会関東支部技術研究発表会, 土木学会, IV-38, CD-ROM, 2021, 3) 和田明：海洋環境水理学, 丸善, 4) ゼンリン：住宅地図(東京都江東区), 2020, 5) 江東区：水害ハザードマップ, <https://www.city.koto.lg.jp/> (2021.7.15 閲覧), 6) ASCE Task committee on modeling of oil spills: State of the art review of modeling transport and fate of oil spills, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.122, Issue 11, pp.594-609, 1996, 7) 佐賀新聞：鉄工所の油「想定越え」で流出 住民は「30年前と同じ」と憤り, <https://www.saga-s.co.jp/> (2020.12.22 閲覧), 8) 国土交通省：過去の気象データ, <https://www.jma.go.jp/> (2021.8.11 閲覧), 9) 松崎義孝, 藤田勇：海水面における流出油の拡散・移流に関する数値計算法の開発と油流出事故の再現計算, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol 70, No 1, pp. 15-30, 2014, 10) 東京都：想定し得る最大規模の高潮による浸水想定区域図を作成, <https://www.metro.tokyo.lg.jp/> (2021.7.15 閲覧), 11) 消防庁：消防危第86号 危険物施設の風水害対策ガイドラインについて, <https://www.fdma.go.jp/> (2021.7.13 閲覧)。

Table.1 Cross tabulation of relationships between kind of facilities and maximum inundation depth

Kind of facilities	Estimated maximum inundation depth					Total Case
	0m	0.5m	3m	5m	10m	
Factory	26	10	48	115	89	288
Gas station, Oil depot	6	1	5	6	6	24
Ironworks	0	1	8	24	24	57
Construction shop	3	1	13	35	32	84
Print shop	3	1	45	93	16	158
Cleaning shop	0	0	1	8	5	14
Paint shop	0	0	3	15	10	28
Waste disposal facility, Sewage treatment facility	9	0	4	0	0	13
Total	47	14	127	296	182	666

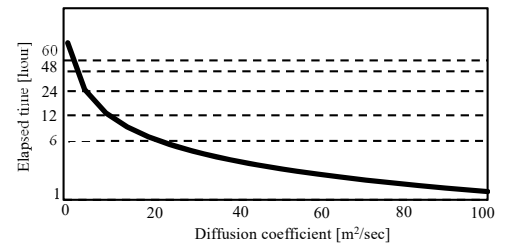


Fig.2 Difference in hazardous material spillage arrival time with turbulent diffusion coefficient

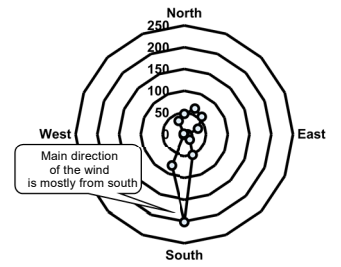


Fig.3 Wind direction diagram around Tokyo Bay

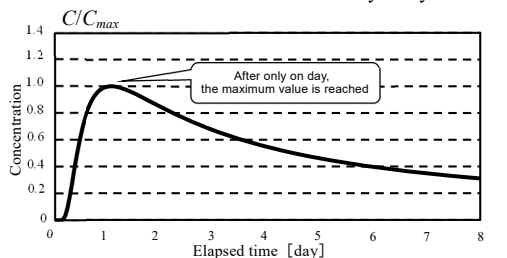


Fig.4 Change of concentration at the position of $r=3000\text{m}$ with elapsed time under conditions of $D=25\text{m}^2/\text{s}$.