水没を考慮した実務的な津波漂流物による被害リスク算定

Applicative Estimation of Damage Risk from Tsunami Wreckage in Consideration of Submergence

野島和也¹・櫻庭雅明²・小園裕司³

Kazuya NOJIMA, Masaaki SAKURABA and Yuji KOZONO

This paper presents applicative tsunami wreckage simulation and damage estimation. In order to determine the volume of wreckage and the some parameters such as the condition of wreckage motion, some studies were carried out some kind of properties of wreckages such as the position and the type of wreckage were defined by using extensional function of GIS. For the presented study, the tsunami wreckage simulation and damage estimation of Nankai Trough Quake was carried out. The validity of applicative damage estimation for tsunami wreckage was presented in this paper.

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、津波の来襲により広域にわたり甚大な被害が生じた。津波による被害は、浸水のみにとどまらず、家屋の倒壊に伴うがれきや、自動車、コンテナ、船舶などが漂流・集積した。これらのがれきや漂流物は、陸上にとどまれば災害救助の阻害となり、海に漂流、あるいは水没すれば船舶の航路に大きな阻害となりうると考えられる。また、これらは、津波来襲時においては、建物等へ衝突を繰り返すことで倒壊被害を増長させるものと考えられる。

東日本大震災を受けて、中央省庁を中心に全国で津波浸水想定を実施しているが、そのほとんどは浸水深によるハザードマップの作成のみであり、漂流物による影響を考慮した事例は少ない。一般的に漂流物の影響を検討するためには、①漂流物の位置、②漂流物の種別、③漂流物の発生機構を把握する必要がある。また、④漂流物の移動機構、⑤漂流物の集積状況を予測することが重要である。

近年では、後藤による個別要素法を用いたシミュレーション（後藤ら、2010）、船舶の形状と移動過程を表現した方法（橋本ら、2010）等による、漂流物の形状を詳細に表現するものや、衝突や回転を考慮するシミュレーション手法が開発されている。実務的な観点として、対象の分布範囲や数量が大きいく、個々の漂流物の挙動に対して複雑な処理を行う手法については、非常に計算負荷が高い。また、被害リスクの算定には、個々の漂流物の挙動の把握よりも、漂流物の広域的な挙動の把握が重要となることから、本研究では、比較的处理負荷の小さい後藤（1983）を基本モデルとした漂流物による被害リス

ク算定方法を検討した。被害リスクの算定にあたって、できるだけ現実的な挙動を仮定したモデル化が必要である。しかしながら、漂流物が漂流にともなって水中に沈むことは十分に考えられるものの、多くの漂流物シミュレーションは漂流物が水没しない仮定のもとで行われている。

そこで、本研究では漂流物の水没をシミュレーションで考慮するものとし、これが漂流物の経路や滞留場所にどのような変化をもたらすかを検討した。また、シミュレーションによって得られた漂流物の経路や滞留場所、流出箇所を、GISを用いて対象地域における建物情報等と結合することで、広域的な漂流物による被害リスクの算出を試みた。

2. 漂流物のシミュレーション

(1) 漂流物シミュレーションモデル

漂流物シミュレーションは、木材流出過程をモデル化した手法を採用した（後藤、1983）。この方法は、複数の漂流物を簡便に取り扱うことができる。また、この方法による漂流物シミュレーションにおいては、各種のパラメータ（質量、代表寸法、付加質量、流水抵抗）の設定および滞留状態を適切に表現するために、物体の停止条件を付加する必要がある。本研究では、各種漂流物において、パラメータの値の設定を実施した。詳細については次に示す。なお、津波のシミュレーションは2次元の浅水流モデルをleap-frog法により計算した（後藤・小川、1982）。

(2) 漂流物のモデル化

漂流物となり得る物体は場所により異なるが、一般的に沿岸域では、家屋、車両、船舶等の様々なものが津波漂流物となり得ると考えられる。本研究では、考えられる漂流物のうち、周辺に大きな被害を与えると考えられる船舶（小型～大型）、車両（乗用車、バス・トラック）、

1 正会員 博(工) 日本工営(株)中央研究所
2 正会員 博(工) 日本工営(株)中央研究所
3 正会員 工修 日本工営(株)中央研究所

表-1 漂流物の水没に関わるパラメータ

漂流物	分類・代表諸元
船舶	既往の論文(橋本ら, 2009)を参考に設定 ・小型船舶: 長さ6.5~15 m程度, ボートや小型漁船 ・中型船舶 (長さ15~40 m程度, 中型漁船) ・大型船舶 (40~80 m程度, タンカーや客船など) 喫水については, 小型船舶: 1 m, 中型船舶: 2 m, 大型船舶: 2.6 m
車両	各車両の大きさについては自動車メーカーの資料を参考にした. ・小型車両 (軽自動車や普通乗用車) ・大型車両 (バスやトラック)
コンテナ	20 ft及び40 ftの規格寸法に分類
航空機	航空機メーカーの資料や自衛隊の装備年鑑を参考に設定 航空機・ヘリコプターに分類
屋外タンク	本研究では簡単のため, 直径10 mのタンクが1 m水をかぶり移動するものと仮定
木材 プレハブ	・木材: 太さが0.2 mの柱材を代表寸法として仮定 ・プレハブ: 15畳程度の大きさのものを代表寸法として仮定

図-1 QGISによる漂流物の入力例

$$d = h_m + \frac{W}{\rho_w BL} = h_m + \frac{V_w}{BL} \dots\dots\dots (1)$$

ここに, d は移動開始水深, h_m は最低地上高, V_w は浮上時の水面下の体積, W は総重量, B および L はそれぞれ平面上の幅及び長さを表す. なお, 最低地上高は地面から浮力が作用する部位までの高さとしており, これより低い部位には浮力は働かないものとしている. 車輪などを有する車両や航空機については, 最低地上高は地面から胴体の下面までの高さとし, 地面に直接置かれるコンテナや木材などについては, 最低地上高はゼロとする. ここで得られた移動開始水深より浸水深が上回る場合を移動開始, 下回る場合移動停止とした. 船舶については, 係留されていることを考慮した. 本研究では流速2.0m/sで係留索が破断することを仮定した. なお, 屋外燃料タンクについては上述の移動開始・停止条件を採用せず, 浸水深7m以上で移動するものとした(消防庁, 2011). 以上を踏まえて, それぞれの漂流物の体積, 投影面積および移動開始・停止条件を表-2に示すように設定した.

表-2 本検討で設定した種漂流物の代表的なパラメータ

種別	移動開始・停止水深(m)	面積(m ²)	体積(m ³)
小型船舶	1.00	2.40	6.00
中型船舶	2.00	12.60	60.00
大型船舶	2.60	18.90	163.00
小型車両	0.40	1.32	2.50
大型車両	0.70	4.95	12.30
ヘリコプター	0.60	1.90	4.20
コンテナ(20ft)	0.40	2.10	2.10
コンテナ(40ft)	0.30	3.80	3.70
木材	0.06	0.36	0.03
屋外タンク	7.00	10.00	80.00

ヘリコプター, コンテナ, 木材, プレハブおよび屋外燃料タンクを対象とした. 各種の漂流物の諸元の設定を行うにあたっては, 表-1のように仮定した.

(3) 漂流物の初期位置・属性の設定

a) 漂流物の位置情報

本研究では, 漂流物の初期条件となる位置情報の作成にあたり, 航空写真を用いた. なお, 漂流物の位置情報および各漂流物の代表諸元入力の煩雑さを解消するために, QGISのプラグインの機能(QGISプロジェクト, 2014-07-02参照)の一つであるOpenLayersプラグインにより, インターネット上の航空写真や地図を直接読み込み, 位置・属性情報を作成した. その一例を図-1に示す. この方法ではインターネット上の航空写真・地図の位置(緯度・経度)を直接GIS上で指定でき, その他の情報(X,Y座標, 種類, 諸元)も一元に取り扱うことが可能であり, 任意の検討地点での漂流物属性の作成が容易にできる.

b) 漂流物の移動開始・停止の条件

漂流物は津波来襲により移動が始まるが, シミュレーションでは各種漂流物の移動条件を数値化して設定する必要がある. 船舶については船の喫水により移動開始・停止条件となる浸水深を設定した. その他の漂流物については, 漂流物の重量より浮力が上回るときの浸水深を逆算し, 移動開始・停止条件に設定した.

具体的には, 浸水時における水面下の体積を次式のように設定して, 未知量となる移動開始水深を次式のように求めた.

図-2 津波の計算範囲

c) 漂流物の水没条件

車両とコンテナは津波の浸水に伴い、水が充填されて、重量が増加することが考えられる。この影響を考慮するために、車両とコンテナについては、漂流物内部に水が浸水して水没することを考慮した。これらの漂流物については、移動開始水深よりも浸水深が大きくなった時点から、徐々に水没の度合いが進行するものとし、予め定めた水没に要する時間が経過すると漂流物は完全に水没して移動を停止するものとした。また漂流物は、一度完全に水没して移動を停止した場合でも、周囲が干上がった状態になった場合には、漂流物内部の水が排水されるものとして、以降の津波浸水時に再び移動できるものとした。水没に要する時間は、車両については東北地方太平洋沖地震の映像記録（日本テレビ、2011など）から10分と仮定し、コンテナについては様々な研究（熊谷ら、2008）や事例があり、水没に要する時間については、数十分から数日と様々である。本研究においては、平均的な値として浸水開始4時間後と仮定した。なお、排水に要する時間は水没に要する時間と同じと仮定した。水没の状態設定に関わる、水没時間と漂流物の全高については、表-3に示すように設定した。

表-3 漂流物の水没に関わるパラメータ

種別	水没時間・排水時間（分）	全高（m）
小型車両	10	1.7
大型車両	10	2.4
コンテナ（20ft）	240	2.6
コンテナ（40ft）	240	2.6

3. 計算結果

(1) 対象領域

漂流物の被害リスクの検討対象地域として、徳島県の小松島周辺（図-2参照）を採用した。本検討では、中央防災会議による南海トラフの巨大地震モデル（内閣府、2012）の、津波条件（ケース③）と地形条件を使用した。計算範囲は図-2に示すとおりであり、小松島周辺では10m幅の計算格子を用いた。堤防などの構造物は漂流物被害が最大となることを想定して、地震時にすべて破壊する条件とした。潮位は年間最高潮位であるT.P.+1.15m、計算対象時間は地震発生から6時間までとした。この条件における小松島周辺では最大津波高さが6m程度であり、最大波の到達時間は概ね地震発生後55分程度である。

(2) 漂流物の移動状況

漂流物のパラメータについては前述の表-2に示すとおりである。図-3に対象となる漂流物の移動状況の一部（地震発生から80分後）を示す。この結果より、陸域へ広く漂流物が移動していることが確認できる。なお、地震発生後80分後は最大波が陸上を遡上する時間であり、この時間帯において漂流物の移動が最も広く大きくなる。その後滞留する漂流物や引き波により沖合に移動する漂流物が存在する。コンテナ及び車両の漂流軌跡を図-4と図-5に示す。それぞれについて、水没を考慮した場合と考慮しない場合の両方について比較した。この結果では、水没を考慮しない場合に、河川及び海域に流出する傾向が見られる。陸上においては、押し波により漂流物が遠くまで押し流されるのではなく、浸水に伴う水没

図-3 対象となる漂流物の移動状況(80分後)

の影響により、平野部に漂流物が滞留する傾向が見られている。

4. 漂流物の被害リスク算定

(1) 漂流物の被害分類

本研究では津波および漂流物シミュレーションの結果を参考にして、漂流物による被害リスクの算定を試みた。津波による漂流物の被害リスクは複数考えられるが、本研究では被害リスクを①流出（海域で水没）、②座礁、③滞留、④衝突などによる破損に大別した。③の滞留そのものは被害ではないが、可燃性や助燃性の漂流物が多く集まると、外部からの要因により引火した場合に火災を起こすリスクが懸念される。④の衝突については漂流物同士の衝突や漂流物と構造物等の衝突が考えられる。本研究では、漂流物が周辺に影響する度合いを推定することを目的として、漂流物と構造物等との衝突の危険性を対象とした。

本研究では、①～④のような複雑な諸現象をできるだけ巨視的に把握することを目的として、シミュレーション結果から得られる軌跡の範囲と密集度合いについて考察した結果を被害リスクとして考えるものとした。衝突の影響については、基盤地図情報サイト（国交省国土地理院、

2014-05-22参照）から得られる建物の分布と漂流軌跡の重なる部分を被害リスクのある区域として設定した。

(2) 漂流物被害推定リスク分布

各漂流物に対する各種被害範囲を示したものを図-6に示す。船舶については、対象とした船舶が限定的であったために、座礁する範囲は対象地域の中でも一部となる。

また、車両とコンテナについては水没の有無の両方を条件としてシミュレーションしているため、この違いによる影響をある程度明確に記載することができる。更に、水没を考慮することにより、沿岸から比較的近い平地に滞留することが説明できるため、平地での火災のリスクも考えられることがわかる結果となった。衝突の影響については、漂流軌跡と建物の集積の重ね合わせにより影響の大きいところを推定することが可能となった。

5. おわりに

本研究では、津波で発生する漂流物による被害を推定することを目的として、想定される漂流物の分類、諸元・条件の設定及び移動過程のシミュレーションを行った。シミュレーション結果を用いて、津波漂流物被害リスクの算定を行った。この結果、以下の結論が得られた。

a) 代表的な漂流物の種類に対し、大きさ、移動開始・

a) 水没を考慮しない

b) 水没を考慮

図-4 漂流物の軌跡(コンテナ)

a) 水没を考慮しない

b) 水没を考慮

図-5 漂流物の軌跡(車両)

停止条件を一般化して、実務的な津波漂流物被害推定の基礎条件を作成した。

- b) 代表的な漂流物の種類に対し、大きさ、移動開始・停止条件を一般化して、実務的な津波漂流物被害推定の基礎条件を作成した。
- c) 本手法では、「津波浸水想定設定の手引き（国交省，2012）」に示されている計算方法や地形データに加えて、航空写真からデータを入力するのみで沿岸数十kmに及ぶ範囲の津波来襲・浸水に伴う漂流物の移動・滞留状況を推定することが可能となった。
- d) 車両とコンテナについては水没を考慮して軌跡と滞留箇所を算出した結果、水没を考慮しない場合と比較して、滞留箇所が一箇所に固まらずに分布することを確認し、水没が結果に影響することを明らかにした。
- 今後の課題としては、漂流物の転倒や底面摩擦などを考慮した問題に取り組むことを予定している。

参 考 文 献

- 熊谷兼太郎，小田勝也，藤井直樹（2008）：コンテナ沈没挙動測定の現地実験と港湾における漂流数値シミュレーション，海岸工学論文集，第55巻，pp. 271-275。
- 国交省国土地理院：基盤地図情報サイト，<http://www.gsi.go.jp/kiban/>，参照2014-05-22。
- 国交省水管理・国土保全局海岸室，国交省国総研河川部海岸研究室（2012）：浸水想定設定の手引きVer.2.00，https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/saigai/tsunami/shinsui_settei.pdf，参照2014-04-03。
- 後藤智明，小川由信（1982）：Leap-Frog法を用いた津波の数値計算法，東北大学工学部土木工学科，52p。
- 後藤智明（1983）：津波による木材の流出に関する計算，第30回海岸工学講演会論文集，pp.594-597。
- 後藤仁志，五十里洋行，柴田卓詞，小倉和己，殿最浩司，志方建仁（2010）：津波来襲時のコンテナ群漂流・水没シミュレーション，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol. 66，No.1，pp.806-810。
- 消防庁危険物保安室・特殊災害室（2011）：東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書，http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h23/2312/231222_1houdou/02/index.pdf，参照2014-04-03。
- 内閣府，南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告），<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/index.html>，参照2014-04-03。
- 日本テレビ（2011）：NEWS ZERO津波にのめれた車載カメラ，http://www.dailymotion.com/video/xmxleo_津波にのめれた-車載カメラ-20110616-放送-news-zero_news，参照2014-05-22。
- 橋本貴之，越村俊一，小林英一（2009）：津波による大型船舶の漂流挙動解析－インドネシア・バンダアチエにおける事例－，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol. B2-65，No.1，pp.316-320。
- 橋本貴之，越村俊一，小林英一，藤井直樹，高尾 誠（2010）：津波来襲時における船舶漂流・座礁モデルを用いた臨海都市域危険度マップの開発，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol. 66，No.1，pp. 236-240。
- QGIS Project：QGISホームページトレーニングマニュアル，http://docs.qgis.org/2.2/ja/docs/training_manual/qgis_plugins/plugin_examples.html，参照2014-07-02。

a) コンテナの衝突

b) 車両の衝突

c) 車両の滞留・流出

d) 船舶の座礁

図-6 漂流物被害推定マップ