

東日本大震災の公表データにより求めた津波災害廃棄物発生量推定手法の四国地域への適用

山中 稔*・豊田 尚也**・野々村 敦子*・長谷川 修一*

Application to Shikoku District of Estimating Method of Amount of Tsunami Disaster Wastes based on Published Data of the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

Minoru YAMANAKA*, Naoya TOYOTA**, Atsuko NONOMURA*
and Shuichi HASEGAWA*

Abstract

A huge amount of disaster wastes was generated along Tohoku coastline areas by the 2011 Tohoku Earthquake. The total amount of tsunami disaster wastes was estimated to be 20 million tons. These vast tsunami disaster wastes became a serious obstacle of immediate restoration of the damaged area, and an identification and selection of temporary debris site for the disaster wastes was a very important issue in processing disposal of disaster waste. Therefore it is very important to estimate an amount of tsunami disaster wastes as for quick recover and revival of damage areas. In this paper, firstly an estimation model of tsunami disaster waste was established by investigating the relationship between number of building in the tsunami inundation areas and amount of disaster wastes. Secondly some equations between damage of buildings and tsunami depth were proposed. Next the method for estimating number of buildings in submerged area by tsunami was developed by GIS analysis. And finally we could estimate the amount of tsunami disaster waste for four prefectural capitals of Shikoku will be damaged by Nankai Trough great earthquake using this proposed method.

キーワード：災害廃棄物，津波，発生原単位，GIS

Key words：disaster wastes, tsunami, per unit generation, GIS

* 香川大学工学部
Faculty of Engineering, Kagawa University

** 香川県庁 (元・香川大学大学院)
Kagawa Prefecture (former Graduate School of Kagawa University)

1. はじめに

東北地方のみならず我が国に甚大な被害を及ぼしている東日本大震災では、津波により13道県239市町村で約2,000万トン¹⁾という莫大な量の災害廃棄物が発生した。災害廃棄物の多くは津波により流出・破壊された家屋等から発生したものであり、海水により塩分や泥を付着させると共に、あらゆるものが混在した状態で発生した。

我が国の震災廃棄物対策指針²⁾は、阪神・淡路大震災による家屋の倒壊等による災害廃棄物の発生を念頭に策定したものであり、東日本大震災のように津波による家屋の流出による災害廃棄物の発生は想定されていない。また、災害廃棄物処理計画を設けている自治体が多いとは言えず、災害廃棄物の処理を記載したとする地域防災計画あるいは廃棄物処理計画においても内容は不十分なことが多い。

一方、近い将来の発生が予測されている南海トラフ巨大地震では、想定被害域の大きさや想定津波高さから、東日本大震災に匹敵する膨大な災害廃棄物の発生が容易に予想される。特に、平野が少なく、災害廃棄物の仮置き場や移送道路の不足が懸念される四国の各都市において、南海トラフ巨大地震における災害廃棄物の発生量を精度良く推定することは、被災地の迅速な復旧・復興に向けて極めて重要である。

内閣府中央防災会議は南海トラフ巨大地震を想定した被害想定及びその手法を公表し、それに基づき各自治体は市町村毎の被害想定を発表している³⁾。しかし、国の被害想定に用いられている推定手法は家屋等の地震動による倒壊が主であり、津波による災害廃棄物の発生量の推定とは異なっている。

本研究のフローを図1に示す。本研究は、東日本大震災によって生じた津波による公表被害データを基にして、津波災害廃棄物発生原単位を算出し、GISを用いて算出した浸水域内の浸水深毎の建物棟数と、新たに構築した浸水深と建物破壊率の関係式を用いて、被害ケース毎の被害棟数を算出し、四国の各都市における津波到達高さに応じた浸水深と津波廃棄物発生量の関係を明らかに

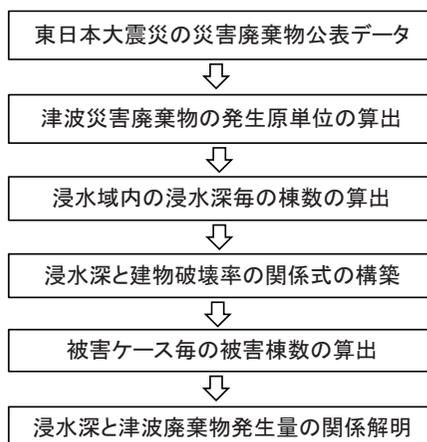


図1 本研究のフロー

しようとするものである。

2. 既往研究による災害廃棄物の発生原単位

災害廃棄物の発生量の推定には、過去の災害を踏まえて算出した災害廃棄物発生原単位を用いて、1棟当たりもしくは単位面積当たりの廃棄物量から求める場合が多い。

兵庫県は阪神・淡路大震災に伴って発生した災害廃棄物の発生量から、解体廃棄物の発生原単位を木造家屋で0.571 t/m²と推定し⁴⁾、東京都は、災害廃棄物発生量の原単位を、倒壊木造で0.31 t/m²と設定している⁵⁾。

平山は、東北地方太平洋沖地震における津波廃棄物発生量を推計する際の発生原単位として、61.9 t/世帯、113 t/棟を導いており、仮に1世帯当たりの延べ床面積を100m²とすると、1世帯を対象とした発生原単位は0.619 t/m²になるとし⁶⁾、津波廃棄物の発生原単位は、従来の震災廃棄物の発生原単位よりも大きくなることを示している。

災害廃棄物発生量の推定手法に関する研究としては、越村ら⁷⁾はスマトラ島沖地震津波を事例として、リモートセンシングや現地調査から得られた津波被害情報を地理情報システム(GIS)に統合することで、津波による家屋被害や人的被害の程度を被害率として確率的に表現する津波被害関数を構築している。一方、平山ら⁸⁾は、津波廃棄

物発生量の推定に、阪神・淡路大震災から得た一棟あたりの発生原単位と浸水域から推定した建物数から廃棄物量を算出する手法を示している。ここでは被害区分および構造別については言及していないが、災害情報として浸水深といった津波災害の物理現象を考慮することで、住家被害を全壊や大規模半壊、床上浸水といった被害区分に分けることができるとしている。

著者らはこれまでに、津波浸水深を変数とする被災棟数や津波災害廃棄物発生量推定の研究に取り組んでおり、津波浸水深 2.0m で区分した際の四国内 3 都市での津波災害廃棄物量⁹⁾や、高松市を対象とした被害ケース毎の津波浸水深と津波災害廃棄物量の関係に関する研究¹⁰⁾を実施してきた。本研究では、高松市を含む四国 4 都市での被害ケース毎の津波浸水深と津波災害廃棄物量を推定した結果を述べるものである。

3. 東日本大震災における津波災害廃棄物発生量の要因について

東日本大震災での津波により、災害廃棄物と津波堆積物が生じた。本研究では、津波災害廃棄物は津波により破壊された主に家屋等の建造物から発生する廃棄物を指し、津波堆積物は津波により浸食・流出した主に土壌等の土質材料が再堆積したものとしている。

図 2 に、津波で被災した沿岸部の自治体毎の災害廃棄物推計量¹¹⁾を示している。この災害廃棄物推計量は、仮置き場を集積された災害廃棄物の体

積の測量結果をもとに算出された値である。震源に近い岩手県よりも、平野部が広く高密度な市街地が形成されている宮城県石巻市や東松島市、仙台市等で多いことが分かる。

図 3 (a) ~ (d) に、東日本大震災における各市町村の災害廃棄物量と被災諸量¹¹⁾との関係を示す。(a) 図の浸水域内の人口との関係からは、両者に正の相関が見られる。(b) 図の浸水世帯数と災害廃棄物推計量との関係は、正の高い相関を示し、一次相関式からは 1 世帯当たりの災害廃棄物発生原単位は 135t/世帯となる。この値は、過去の水害から得られた住家全壊における災害廃棄物発生原単位の 12.9t/世帯⁶⁾と比べて一桁高い値であり、津波で発生した廃棄物量の発生原単位が大きいことを示している。(c) 図は各市町村における浸水域面積と、家屋等からのがれきからなる災害廃棄物および津波堆積物をも含んだ廃棄物等の全体量との関係である。ここでの津波浸水面積は、田畑等を含む面積である。浸水面積全体と災害廃棄物等の全体量との関係は正の相関がある。しかし、浸水面積を住居系建物密集地域のみで比較した場合、浸水面積全体の場合よりも変動幅が小さい(相関係数 0.85)。このことより、災害廃棄物量は、浸水面積全体で考えるよりも、住居系建物密集地域で区分することで相関が高くなると考えられる。

(d) 図の各市町村における建物被災棟数(全壊、半壊、一部損壊の被災数合計)¹²⁾と災害廃棄物量との関係を示す。なお、一部損壊棟数は、床上浸

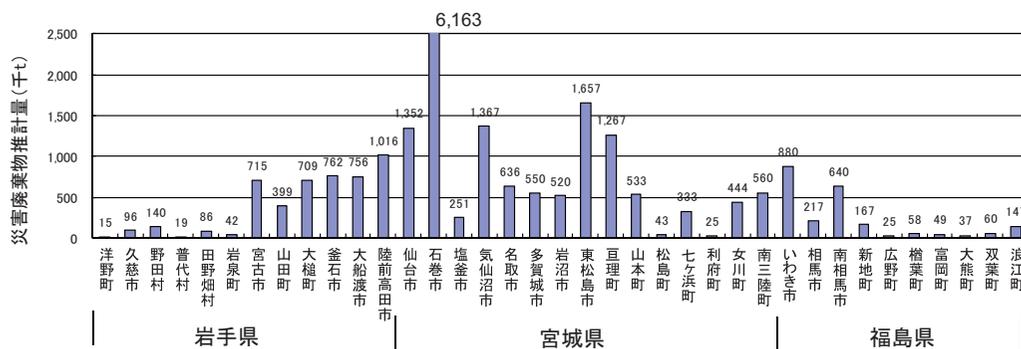
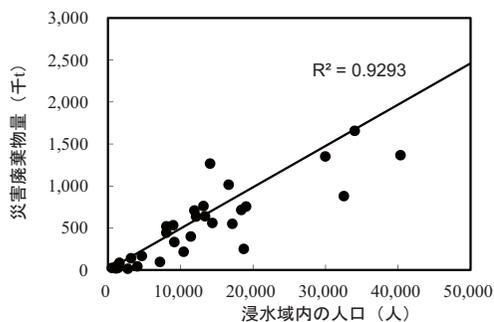
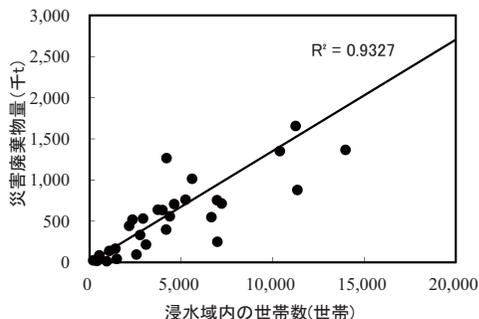


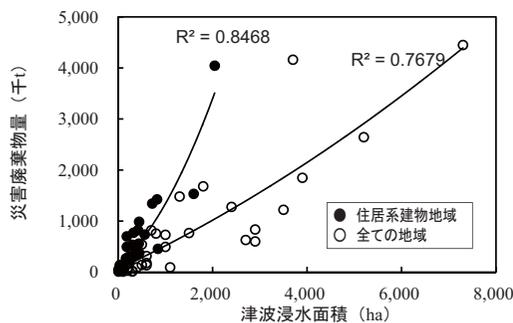
図 2 津波被災沿岸市町村別の災害廃棄物の発生量の違い



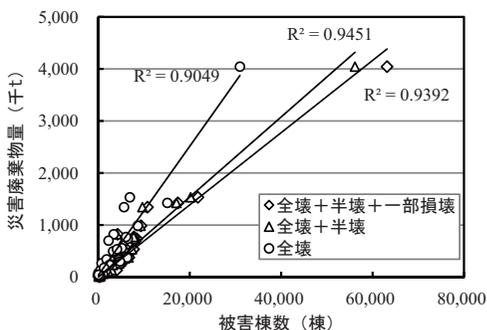
(a) 浸水域内の人口



(b) 浸水域内の世帯数



(c) 浸水面積



(d) 建物被災棟数

図3 災害廃棄物量と被災諸量との関係

水棟数および床下浸水棟数の和として表わしている。全ての関係式の決定係数は0.9以上と相関が高く、災害廃棄物量は被災棟数の影響が大きいと言える。なお、突出する値は石巻市であり、石巻市の浸水面積が被災市町村の中で最も大きかったこと、建物用地の占める浸水面積が大きかったことが影響していると考えられる。

4. 津波災害廃棄物の発生原単位

災害廃棄物の発生量は建物被災棟数に大きく影響し、発生原単位は建物被害区分によって異なる。ここで、東日本大震災で被災した35の市町村に対して、建物の被害状況と災害廃棄物量¹¹⁾の関係について重回帰分析を行った。なお、従属変数である災害廃棄物量と説明変数である建物被災棟数との関連性をみると、全壊棟数と災害廃棄物量とに高い線形の相関が見られたが、半壊や一部損壊に

表1 建物1棟当たり発生原単位の検定結果

被害	発生原単位 (t)	標準誤差 (t)	t 値	P 値 (> t)
全壊	85.44	6.62	12.898	3.20×10^{-14}
半壊	62.08	8.85	7.017	5.93×10^{-8}

おいては被害の小さい地域では大きなばらつきがあった。解析には線形回帰モデルを採用し、津波災害廃棄物の発生原単位の算出においては、建物の倒壊棟数を、全壊+半壊+一部損壊、全壊+半壊、全壊のみの場合の、3パターンで行った。

表1に、相関性の検定結果を示す。標準誤差は、一部損壊を除くことによって全壊+半壊では小さくなっている。災害廃棄物発生原単位の検定では、構造別ではデータ毎の多重共線性によって評価が困難となること、一部損壊棟数は誤差が大きく生

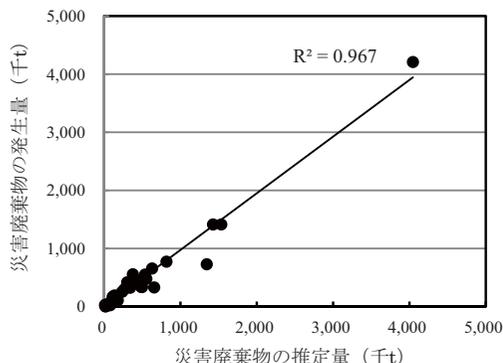


図4 災害廃棄物量の推定値と実測値との比較

じ、また推定式への影響度が小さいことがわかった。以上のことから津波に伴う災害廃棄物量推定式を(1)式のように決定した。

$$Y_i = 85.4X_{1i} + 62.1X_{2i} \quad (1)$$

ここに、 Y_i は津波災害廃棄物発生量(t)、 X_{1i} は全壊棟数(棟)、 X_{2i} は半壊棟数(棟)である。なお、ここでの発生原単位は建物構造種別に分かれていないことに留意のこと。

得られた発生原単位は、全壊で85.4t/棟、半壊で62.1t/棟であり、阪神・淡路大震災や2004年新潟県中越地震での災害廃棄物の処理実績値より求めた災害廃棄物発生原単位の113t/棟⁸⁾と比較すると、得られた全壊の発生原単位は小さな値となっている。これは、本研究において、半壊の発生原単位を統計学的手法により求めた結果、半壊は全壊の半分以上の発生原単位となったことから、全壊の発生原単位が小さな差となったものと考えられる。

図4に、災害廃棄物発生量と、上述の発生原単位を用いて推定した災害廃棄物発生量との相関図を示す。推定量は若干実測量よりも低めの値となっているが、相関係数は0.967と高く、推定式によって精度良く再現出来ていると考えられる。

5. 被災棟数の算出と比較

津波による被害は陸域および浅海域での広い範囲に及ぶ。GISを用いた既往の研究では、家屋被

害に関して、1メッシュあたりの被害家屋数を家屋占有率を元に概算する方法が提案されている¹³⁾。しかし、被災棟数と津波浸水深を関連付ける場合には、建物毎の浸水深の把握が必要であり、家屋占有率メッシュを用いた場合にはばらつきが大きく出る可能性がある。本研究では、東北地方太平洋沖地震から得られた浸水域の実測データ¹⁴⁾をGISソフト(Arc Map)により、浸水域と建物データを重ね合わせて浸水建物棟数を推定した。使用した建物データは、国土地理院基盤地図情報ダウンロードサービスの2,500分の1地形図の建築物の外周線データを用いた。また、浸水域は、津波浸水域図(作成:日本地理学会災害対応本部、都市環境デザイン会議関西ブロック)から浸水域部を抽出した。抽出した浸水域をポリゴンデータに変換して、建物棟数のポリゴンデータと重ね合わせるにより、浸水域内の全ての棟数を算出した。この方法では、浸水棟数判読において建物が一部分でも浸水域に含まれている場合に、例えば微小な面積の倉庫でも一棟として算出し、結果として建物棟数を過大に評価してしまう問題があったために、本研究では、一般的な宅地面積を総務省統計局の香川県における宅地面積表を参考に20m²ととらえ、20m²未満の建物を除外して、浸水棟数の判読を行った。対象地は平野部およびリアス部の両方の市町が含まれる宮城県沿岸の10市町村とした。

図5に、各市町におけるGISで推定した被災棟数と公表された浸水域内の被災棟数を示す。ここには石巻市の値を記載していないが、これは国土地理院の公表建物データに石巻市北部の飯野川周辺の建物データが欠如していたため、石巻市内の浸水域全域の被災棟数が算出できなかったためである。東松島市と仙台市といった被害規模の大きい地域では、推定値と実測値に大きな差が生じているが、その他の地域では同程度のデータを得ることができた。また、解析結果と公表データの決定係数 R^2 は0.98と高く、精度の高い推定ができたと考えられる。

6. 木造建物の津波被害関数の構築

図6 (a) に、浸水深毎の木造建物の被害区分別棟数の変化を示す。建物倒壊数は東北沿岸部の31市町村の木造建物の合計を表している。建物倒壊数は浸水深が0.5～1.0m以下でピークを迎え、浸水深が深くなるにつれて建物倒壊数が減少しているが、この減少は浸水深が深い面積が減少したためである。また、浸水深の浅い2.0mまでをみると半壊や一部損壊の建物倒壊数が多いが、浸水深が深くなるにしたがい建物倒壊数に占める全壊の割合が多くなっていることが読み取れる。このことから、浸水深と建物被害区分の関係より建物の被害区分別割合が把握できると考えられる。

図6 (b) に、建物被害が顕著な浸水深10m以下の構造別建物被災棟数の変化を示す。構造別

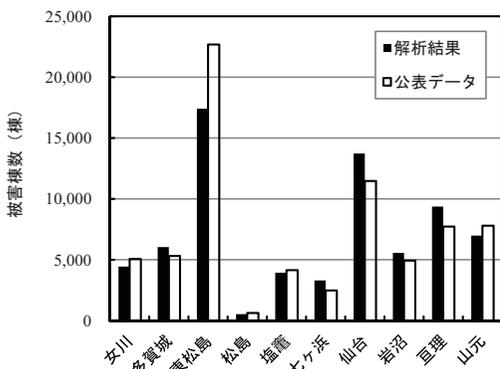


図5 被害棟数の算出結果の比較

でみると、木造の被災棟数が突出していることが分かる。また、浸水深にかかわらず鉄筋造およびRC造の被災棟数は、木造の1割程度で一定している。このことから、構造別被災棟数の差は激しいが、浸水深と構造別の被災建物の割合には大きな影響はないことが分かる。

図7に、浸水深毎の木造全壊率を示す。浸水被害を受けた全ての市町村のデータ¹²⁾を合わせて作成している。同じ浸水深であっても木造建物の全壊率に幅があることが分かる。これは、地形的要因や建物強度等の要因による地域性を有するものと考え、全壊率は幅を持った値のまま用いることとした。

そこで本研究では、浸水深毎の破壊率の幅が正規分布に従うものと仮定し、正規確率プロットをもとに目視で線形であることを確認した上で、上

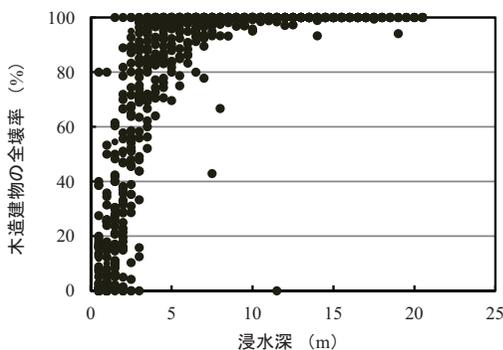
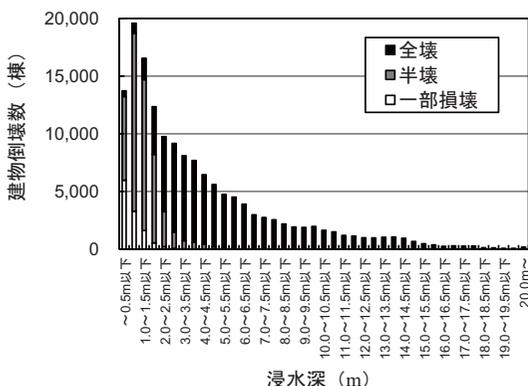
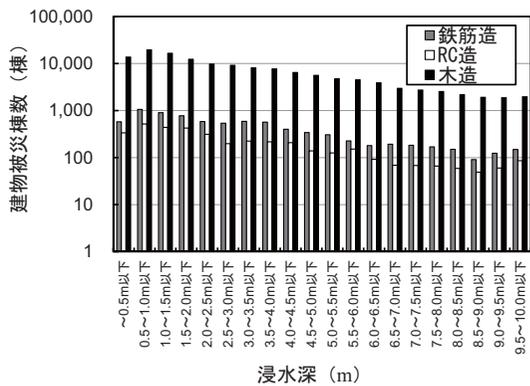


図7 木造建物の津波浸水深と全壊率の関係



(a) 建物倒壊数



(b) 建物被災棟数

図6 津波浸水深との関係

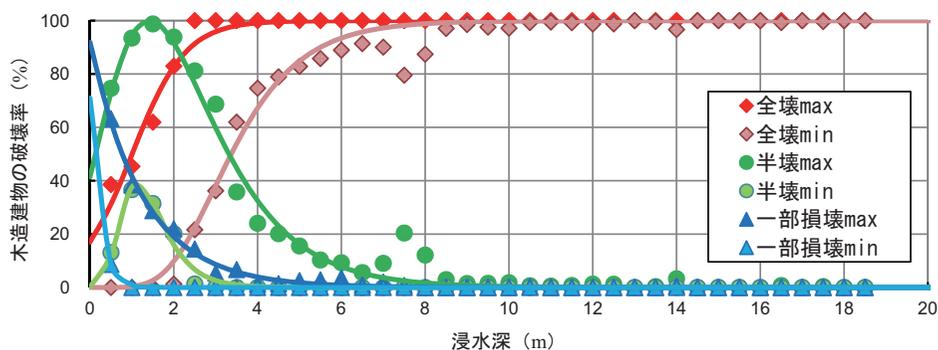
下端 5% を外れ値として除外した。そして、浸水深毎の破壊率の下端、上端それぞれを結ぶ曲線で非線形回帰分析を行い、浸水深に対応する全壊率、半壊率、一部損壊率の回帰曲線を求めた。なお、回帰曲線のプロットには、自由度 39 に対して、残渣標準誤差が 5% 以下となるように留意した。

図 8 (a) に、木造建物における浸水深と破壊率の関係を示す。全壊率の分布は、浸水深 4 m 程度までは変動幅が大きいが、浸水深 8 m 以上となるとほぼ 100% となっている。この木造建物の全壊 max と全壊 min の分布の中間値と、中央防災会議が東日本大震災の被災データを基に作成した津波浸水深さごとの建物被害率 (人口集中地区)¹⁵⁾ の木造建物の全壊率の分布とが、ほぼ同程度の値を示している。一方、半壊率は浸水深が深くなるにしたがい低下する傾向にあるが、半壊率の最大

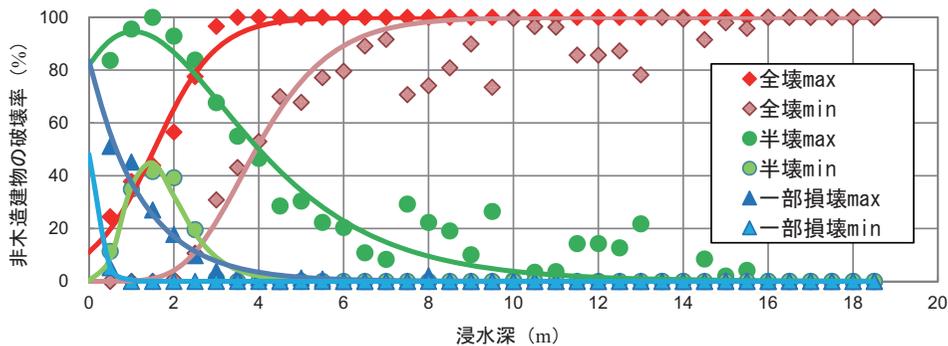
値の挙動は浸水深 2 m でピークを迎え、その後減少している。一部損壊率は、浸水深 0.5 m では 50% 以上の割合を占めているが、浸水深 4 m 付近になるにしたがい 0% に近づいており、一部損壊被害は浸水深 4 m 程度でなくなると考えられる。

図 8 (b) に、非木造建物における浸水深と破壊率の関係を示す。全壊率、半壊率、一部損壊率の傾向は木造建物とほぼ同様であるが、全壊率 max と半壊率 min の曲線においては、木造建物の場合の曲線よりも、浸水深が大きくなる右側に推移している。

そこで、得られた破壊率の近似曲線から、被害ケースの組み合わせを、被害 I (全壊被害が最大となる時に一部損壊率は最小となる場合)、被害 II (全壊被害が最小となる時に半壊率が最大となる場合)、被害 III (全壊被害が最小となる時に一部損



(a) 木造建物



(b) 非木造建物

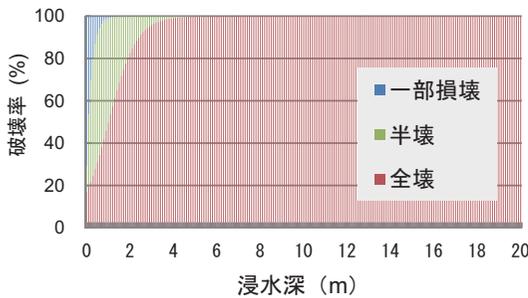
図 8 浸水深と破壊率の関係

壊率が最大となる場合)の3ケースとした。すなわち、被害Ⅰが最も全壊被害が大きいことから、津波による廃棄物の発生量を多く見積もるケースとなる。3ケースのうち、どのケースを採用するかは、津波災害廃棄物の発生量の大小をどう見積もるかに委ねられると考えている。

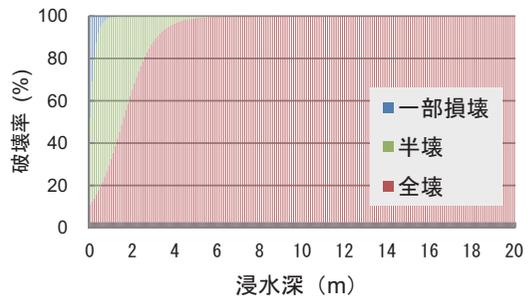
図9～11に、各被害ケースにおける木造建物

の被害率と浸水深との関係を示す。求めた被害ケース別津波被害関数を用いて、東北地方被災地の浸水域にかかる建物棟数から全壊、半壊、一部損壊棟数を算出し、被害区分別棟数から災害廃棄物発生量を求め、公表された災害廃棄物量と比較した。

図12に、東日本大震災によって発生した災害

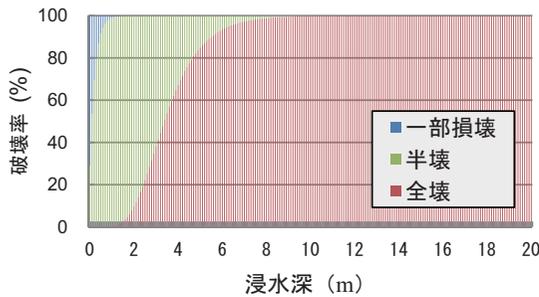


(a) 木造建物

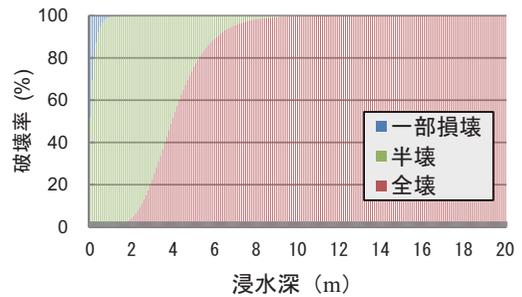


(b) 非木造建物

図9 被害Ⅰ(全壊 max + 一部損壊 min + 相対半壊)における浸水深と破壊率の関係

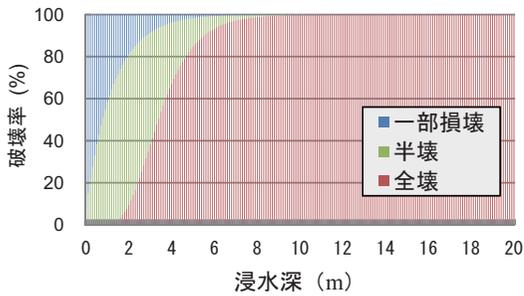


(a) 木造建物

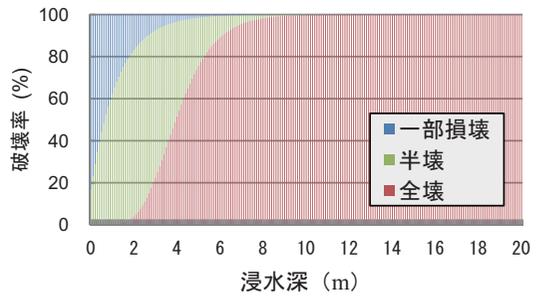


(b) 非木造建物

図10 被害Ⅱ(全壊 min + 一部損壊 min + 相対半壊 max)における浸水深と破壊率の関係



(a) 木造建物



(b) 非木造建物

図11 被害Ⅲ(全壊 min + 一部損壊 max + 相対半壊 min)における浸水深と破壊率の関係

廃棄物量と本研究で推定した津波災害廃棄物量との関係を示す。各被害ケースにおいて相関係数は0.96と高い値を示している。推定量が実際の発生量に最も近いのは被害Ⅱの場合であり、被害Ⅰはより多く推定し、被害Ⅲは逆により少なく推定している。このことから、被害ケースで分けた津波被害関数を用いることで、地域によるばらつきを踏まえた推定ができることが確認できた。

7. 津波災害廃棄物量推定手法と適用事例

提案手法による津波災害廃棄物の発生量推定の適用事例として、近い将来に南海トラフ巨大地震により津波被害が予想される四国の県庁所在地4都市において、到達津波高さの違いに応じた津波災害廃棄物発生量の推移を検討した。

図13(a)～(d)に、高松市、高知市、徳島市、松山市のそれぞれの都市における、設定した津波到達高さでの浸水域図の一例を示す。この津波到達高さの設定は、各県の公表被害想定^{16)～19)}での津波高さを参考とした。図中の凡例は津波浸水深(m)を示している。一般に津波の遡上挙動は地形や沿岸部の状況に左右され、平野では沿岸部で一時的に津波高が大きくなり、内陸に侵入するにしがたい小さくなる。浸水域図の作成においては、国土地理院の10mメッシュの数値標高図を用いて、津波高さは変化せず内陸部まで標高一定のまま浸入するものとした。この理由としては、津波浸水想定図が作成されていない地域において

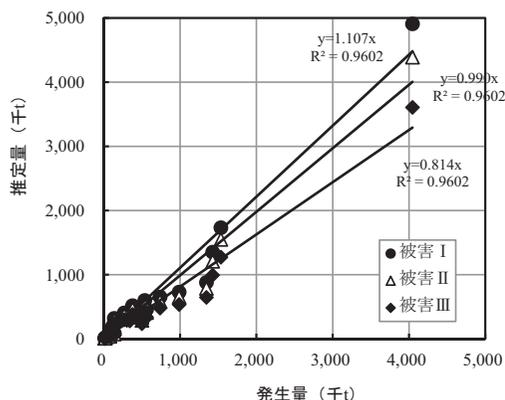


図12 被害関数を用いた津波廃棄物推定量の相関性

も、本手法を適用することで簡便に津波浸水深が得られるとともに、津波浸水深と津波災害廃棄物発生量との関係を明らかにするためである。

また、特に(b)図の高知市域の津波浸水図では、標高データが欠如していることに起因する白抜きの箇所が分布しているが、その箇所であっても浸水深さは妥当な値が計算でき、建物数の算出も可能であることを確認している。

(a)図の高松市域では、T.P. + 3.0mの到達津波高さによって、津波浸水域は内陸部まで広がり、高松市中心市街地付近で浸水深が2mを越える箇所が生じていることが分かる。(b)図の高知市域は内陸部に低地が広がるために、T.P. + 9.0mの到達津波高さにより内陸奥深くまで5mを越える浸水深が広く分布している。(c)図の徳島市域は平坦な平野が広がるため、T.P. + 9.0mの到達津波高さにより内陸域まで広範囲に津波浸水域が広がり、浸水棟数が多いことが予想できる。(d)図の松山市域では、到達津波高さT.P. + 3.0mで解析した津波浸水面積は、地盤標高の高さを反映して比較的小さいことが分かる。

図14(a)～(d)に、高松市、高知市、徳島市、松山市のそれぞれの都市における、到達津波高さとの浸水棟数及び津波災害廃棄物発生量の関係を示す。(a)図の高松市域では、浸水棟数は到達津波高さが3.0mでは約4万8千棟が浸水域に入る推定となっている。また、建物棟数から全壊、半壊、一部損壊棟数を算出し、被害ケース毎に災害廃棄物発生量を求めているが、被害Ⅰ(全壊被害率が最大で一部損壊率が最小となる場合)において、到達津波高さが50cm高くなる毎に、津波災害廃棄物量が約100万t増加する結果となっている。これは、高松市の一般ごみ年間処理量(約21万t)の5年間の災害廃棄物が増加するほどの量である。津波災害廃棄物量が最も少ない条件での被害Ⅲであっても、被害Ⅰの約半分の廃棄物が発生することが分かる。

(b)図の高知市域では、到達津波高さが低くとも、浸水棟数が多く、浸水棟数から算出される津波災害廃棄物発生量も大きくなっている。(c)図の徳島市域では、地形的要因により津波到達高さ

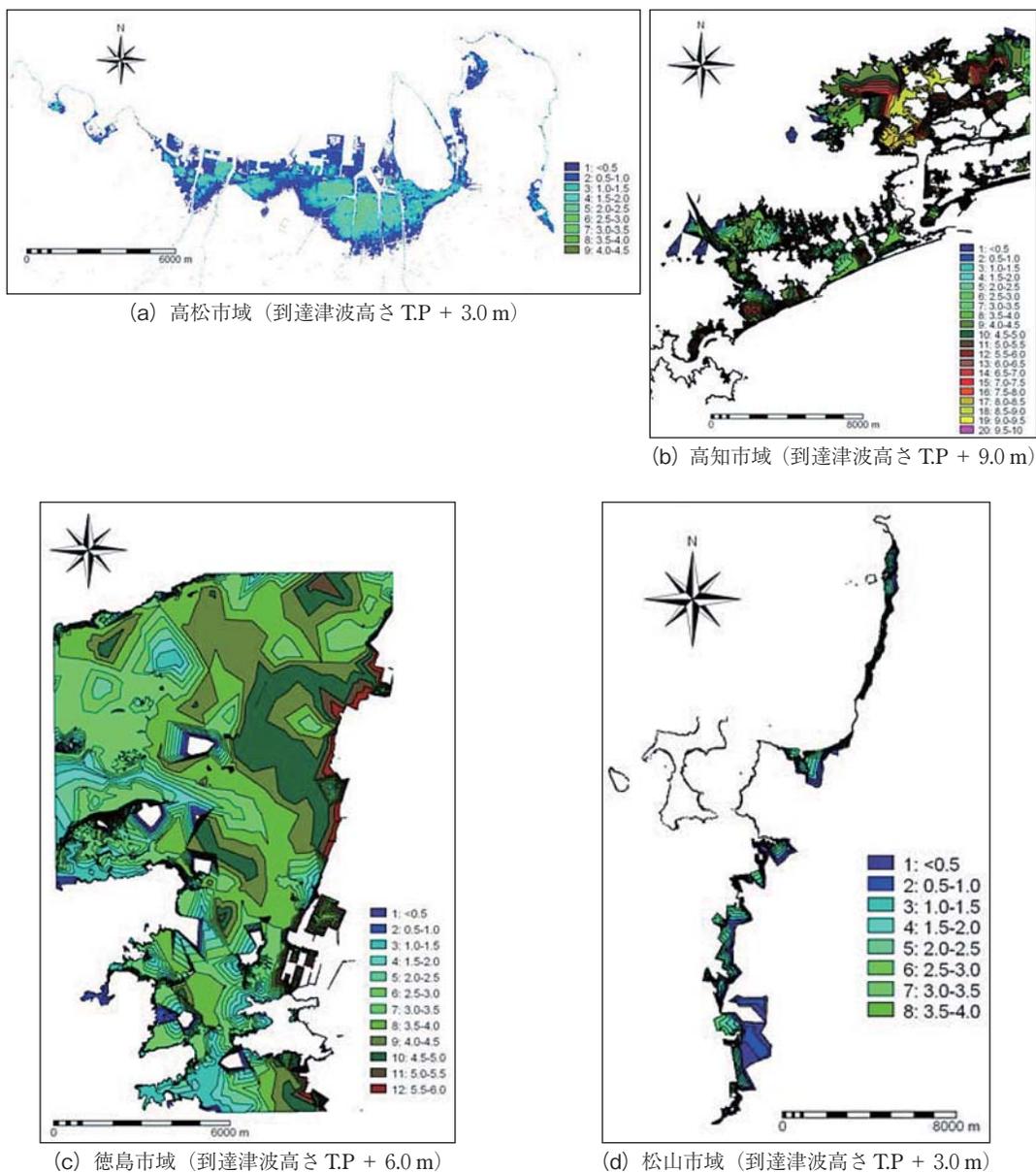


図 13 四国 4 都市の津波浸水深の解析図

が 2.0m を越えると浸水棟数が急激に大きくなり、解析した四国 4 都市の中では最も津波災害廃棄物発生量が多いと推定されている。(d) 図の松山市域では、5.0m 以下においては他都市と比べて浸水棟数および津波災害廃棄物発生量は少ないことが分かる。

8. おわりに

本研究により、以下のことが明らかとなった。

- 1) 東日本大震災を対象として津波災害廃棄物の発生原単位を求めた結果、全壊家屋 85.4 t/棟、半壊家屋 62.1 t/棟を得た。
- 2) 被害 I, 被害 II, 被害 III の各被害ケースの津波被害関数を用いることによって、到達津波高

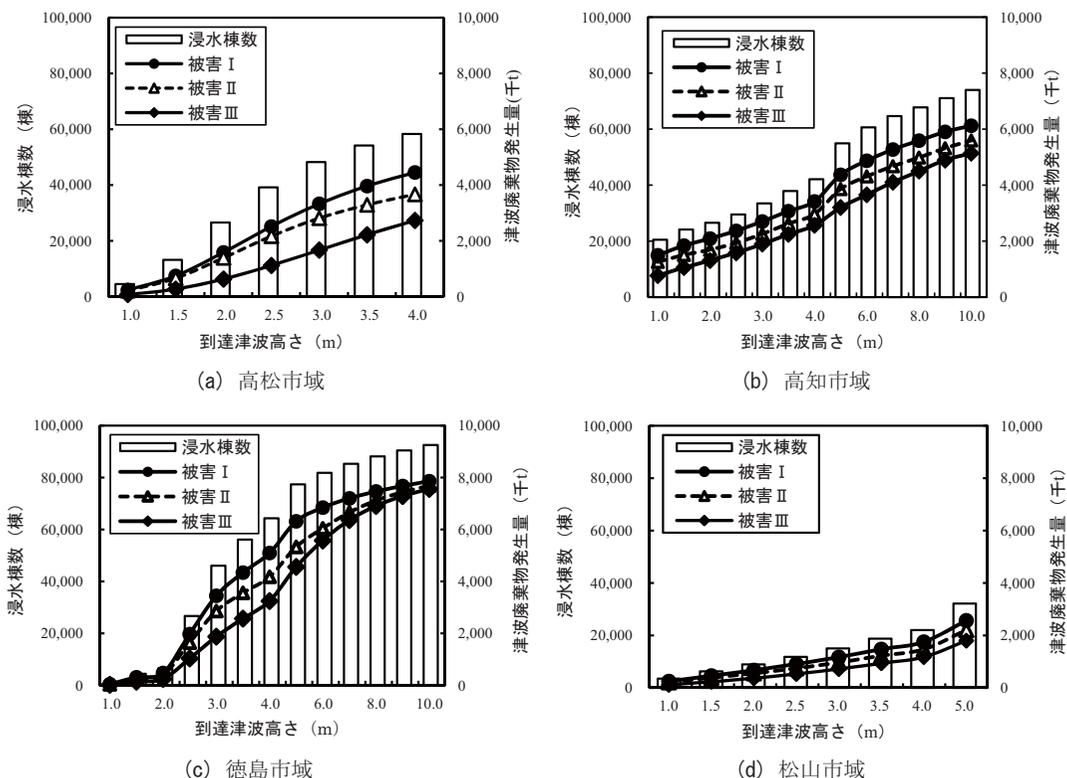


図 14 四国 4 都市における津波到達高さと同水棟数および津波災害廃棄物発生量の関係

さによる津波廃棄物発生量を被害程度に応じて推定できた。

- 3) 四国 4 都市での津波災害廃棄物発生量を提案手法により算出した結果、到達津波高さが 5.0m 以下においては、徳島市の発生量が最も多く、松山市の発生量が最も少ない結果が得られた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、日本応用地質学会廃棄物処分における地質環境調査・解析手法に関する研究小委員会（登坂博行委員長）および地盤工学会東北地方太平洋沖地震対応地盤環境研究委員会（勝見武委員長）での議論が参考となった。感謝の意を表する次第である。また本研究の実施においては、四国建設弘済会および日本建設情報総合センターからの 2012 年度研究助成を使用したことを付記する。

参考文献

- 1) 環境省廃棄物・リサイクル対策部、沿岸市町村の災害廃棄物処理の進捗状況, 2p, (2013.12.20 公表), https://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat1/sub-cat1-10/20131220_shincho_ku131130.pdf, 2013 年 11 月 30 日
- 2) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課：震災廃棄物対策指針, 17p, 2008.
- 3) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一報告）, 防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ, 191p, 2012.
- 4) 中道民広：阪神・淡路大震災における災害廃棄物処理事業, 災害廃棄物（島岡隆行・山本耕平編）, 中央法規, pp.23-46, 2009.
- 5) 島岡隆行：地球温暖化に伴う異常気象と災害廃棄物, 災害廃棄物（島岡隆行・山本耕平編）, 中央法規, pp.3-20, 2009.
- 6) 平山修久・河田恵昭：水害時における行政の初動対応からみた水害廃棄物発生量の推定手法に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.33,

- pp.29-36, 2005.
- 7) 越村俊一・行谷祐一・柳澤英明：津波被害関数の構築，土木学会論文集，Vol.65, No.4, pp.320-331, 2009.
 - 8) 平山修久・河田恵昭・奥村与志弘：東日本大震災における災害廃棄物量の推定と災害対応，廃棄物資源循環学会誌，Vol.23, No.1, pp.3-9, 2012.
 - 9) 山中 稔・豊田尚也・野々村敦子・長谷川修一：東南海・南海地震による四国各都市の津波災害廃棄物発生量の推定，材料，Vol.63, No.2, pp.131-136, 2014.
 - 10) 山中 稔・豊田尚也・野々村敦子・長谷川修一：東日本大震災による津波災害廃棄物の発生原単位と発生量推定手法，地盤工学会特別シンポジウム－東日本大震災を乗り越えて－発表論文集，pp.69-73, 2014.
 - 11) 総務省統計局，東日本大震災地域のデータ及び被災関係データ「社会・人口統計体系」(2013.5.20公表)，<http://www.stat.go.jp/info/shinsai/>，2013年6月4日
 - 12) 国土交通省都市局：東日本大震災の津波被災現状調査結果（第2次報告），3p, 2011.
 - 13) 小谷美佐・今村文彦・首藤信夫：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，Vol.45, pp.356-360, 1998.
 - 14) 原口強・岩松暉：東日本大震災津波詳細地図上巻：青森・岩手・宮城，古今書院，pp.44-79, 2011.
 - 15) 内閣府中央防災会議：南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要，南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ（第一次報告），32p, 2012.
 - 16) 香川県，香川県地震・津波被害想定（第四次公表）(2014.3.31公表)，<http://www.pref.kagawa.lg.jp/bosai/tunami/4jikouhyou/kendokuji.html>，2014年4月1日
 - 17) 高知県，南海トラフ巨大地震による被害想定（2013.5.15公表），<https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/010201/higaisoutei-2013.html>，2013年6月2日
 - 18) 徳島県，徳島県南海トラフ巨大地震被害想定（第一次）(2013.7.31公表)，<http://anshin.pref.tokushima.jp/docs/2013071900016/>，2013年8月5日
 - 19) 愛媛県：愛媛県地震被害想定調査報告書，446p, 2013.

(投稿受理：平成26年4月18日)