

津波浸水による住家被害を考慮した津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定手法の開発

平山修久¹・原田賢治²・大利桂子³・鈴木進吾⁴・河田恵昭⁵

¹正会員 博(工)人と防災未来センター(〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2)

²正会員 博(工) 埼玉大学助教 大学院理工学研究科(〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255)

³工修 人と防災未来センター(〒651-0073 神戸市中央区脇浜海岸通1-5-2)

⁴正会員 博(情報) 京都大学助教 防災研究所巨大災害研究センター(〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

⁵フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所巨大災害研究センター(〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

本研究では、住家被害を考慮した津波廃棄物発生量原単位を推定し、津波浸水による住家被害を用いて、実務的に使いやすい津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定手法を構築した。そして、構築した推定手法を用いて、東南海・南海地震発生時の津波廃棄物発生量ポテンシャルを算出した。その結果、西日本の太平洋沿岸一帯における津波廃棄物発生量ポテンシャルは28.6～47.6万tと推定された。

地方自治体の災害対応力を考慮した災害廃棄物量相対値、津波による人的被害、港湾海域に漂流した津波廃棄物の処理という観点から、津波廃棄物について検討し、広域的な連携体制の構築とともに、津波廃棄物発生量ポテンシャルをいかに減量していくのが重要であることを示した。

Key Words: *tsunami debris, potential discharge of tsunami debris, tsunami inundation, damage housing*

1. 緒言

西南日本外帯における南海トラフに沿うフィリピン海プレートの沈み込みによる巨大地震である東南海・南海地震の切迫性が指摘され、その発生が危惧されている。東南海・南海地震時には、太平洋沿岸の市町村地域においては、軒並み津波が来襲することとなる。津波来襲地域において災害対応を効果的に実施するためには、津波により被災した建物のがれきや津波の引き波により港湾海域に流出した漂流物、沈没物の津波廃棄物を迅速に撤去することが重要となる。

津波廃棄物を迅速かつ適正に処理するためには、津波廃棄物処理施策を的確かつ合理的に策定することが必要であり、そのためには、津波廃棄物発生量の推定が必要となる。これまでも地震災害による震災廃棄物発生量に関する研究はなされてきている^{1),2)}。政府の中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」では、東南海・南海地震に係る被害想定において、地震の揺れ、液状化、火災による消失など各要因による建物被害量から災害廃棄物発生量の推定を行っている³⁾。しかしなが

ら、津波による災害廃棄物に関する調査研究はほとんどなされていない。河田ら⁴⁾は、東南海・南海地震発生時に、津波により港湾海域に流出したのがれき等の津波廃棄物発生量の推定手法を提案し、和歌山県主要港湾を対象として津波廃棄物発生量の推定を行っている。ここで提案されている手法は、船舶、コンテナ、木材、自動車、家屋がれき類について、津波外力に基づく流出条件を考慮して推定しており、いわゆるミクロ的な積み上げ方式による発生量推定であることから、西日本の太平洋沿岸一帯の広範囲での津波来襲地域での津波廃棄物発生量を推定するのは困難である。

以上の観点から、本研究では、津波浸水による住家被害を用いて、精度の高い、かつ実務的に使いやすい津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定手法を検討する。そのうえで、西日本の太平洋沿岸一帯の津波来襲地域における東南海・南海地震発生後の津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定を行う。また、地方自治体の災害対応力を考慮した災害廃棄物量相対値、津波による人的被害、海洋環境整備船による処理という観点から津波廃棄物の特性について考察する。

2. 津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定手法

表-1 津波シミュレーション計算条件

(1) 津波シミュレーションモデル

東南海・南海地震発生後の津波シミュレーションを行い、津波による浸水深を推定する。

本研究での津波の計算は、非線形長波理論に基づき、沿岸部を格子間隔 1350 ~ 50m、陸域を格子間隔 50m で接続させて遡上計算を行い、格子の最大水深を算出する。津波の初期条件には、中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」で示された断層モデル³⁾の中から、東南海・南海地震が同時に発生したと想定した地盤変動量を用いる。津波シミュレーションの計算条件を表-1に示す。また、津波シミュレーションの計算領域を図-1に示す。

計算領域	図-1参照
計算格子間隔	1350m, 450m, 150m, 50m
地盤変動量	東南海・南海地震津波
計算時間	360分
計算時間間隔	$\Delta t = 0.25 \sim 0.5$ $dt < \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{max}}}$
粗度係数	$n = 0.025$ (s/m ^{1/3})
地形データ	中央防災会議より
計算潮位	T.P. ±0.0m (東京湾平均海面)
初期条件	初期水位変動量は、地盤変動量の鉛直成分とする

(2) 津波浸水による住家被害

東南海・南海地震による津波浸水深より住家被害を推定する。鈴木ら⁵⁾は、2004年7月新潟豪雨災害における旧中之島町の家屋被害調査を実施し、氾濫流の浸水深から家屋被害の概略を推計できる家屋被害関数を構築している。ここでは、浸水深が2m以上になると全壊・流出の被害が発生しはじめることが示されており、中之島町の家屋被害関数においては、浸水深3.0mで被害率50%と推定されている。一方、1993年北海道南西沖地震津波、1986年日本海中部地震津波など既往の津波災害では、浸水深が2m以下でも全壊・流出となるなど、水害の被害よりも低い浸水深で全壊の被害が発生しており、津波災害のほうが、水害よりも低い浸水深で被害が生じることが指摘されている。

以上のことから、本研究では、津波浸水深と住家被害との関係を表-2に示すように設定した。

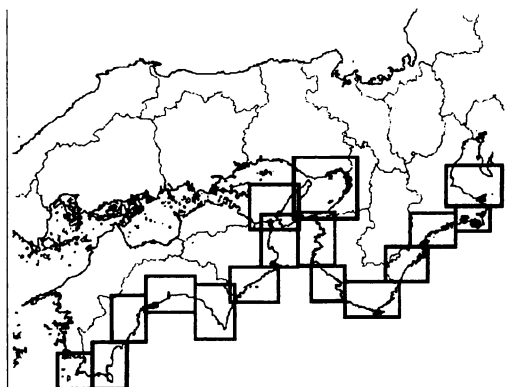


図-1 津波シミュレーション計算領域

(3) 住家被害を考慮した津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定

本研究では、住家被害を考慮した津波廃棄物の発生量原単位を用いて、発生量原単位と住家の被害区分別の世帯数や棟数との積により、津波廃棄物発生量を推定する。ここでは、あくまでも津波災害によって生じる廃棄物の量を推定するものであり、これらのがれきが陸域に残るのか、津波の流れにより海面に流出、漂流、あるいは海底に沈降するのにかに関する物理学的メカニズムについては取り扱わないものとする。したがって、本研究において推定される津波廃棄物量は、津波廃棄物となりうる量であることから、津波廃棄物発生量ポテンシャルと呼ぶこととする。

平山、河田⁶⁾は、住家被害を考慮した水害廃棄物の発生量原単位を算出している。そこでは、浸水による住家被害区分である床上浸水、床下浸水で、それぞれ

表-2 津波浸水深と家屋被害の関係

津波浸水深 H (m)	家屋被害
$0.0 \leq H < 0.5$	被害なし
$0.5 \leq H < 1.5$	床下浸水
$1.5 \leq H < 2.5$	床上浸水
$H \geq 2.5$	全壊

4.6t/世帯、0.62t/世帯と推定されている。これらのことから、住家被害区分より、床下浸水で0.62t/世帯、床上浸水以上で4.6t/世帯を津波廃棄物発生量原単位として設定することができよう。一方、2005年の米国ハリケーン・カトリーナ災害では、1棟当たりの水害廃棄物発生量は300 cubic yards (229m³)、つまり、体積・重量換算で60tとしている⁷⁾。つまり、ハリケーン・カトリーナ災害においては、水害というハザードにも係わらず、地震災害での解体家屋より発生する災害廃棄物量とほぼ同程度の水害廃棄物が発生しているといえる。

住家被害区分が全壊である場合の災害廃棄物発生量原単位については、地震災害等においても調査研究がなされてきている。高月ら⁸⁾は、阪神・淡路大震災で

表-3 津波廃棄物発生量原単位

家屋被害	水害廃棄物発生量 による原単位 (t/世帯)	津波廃棄物原単位 (t/世帯)
被害なし	0.0	0.0
床下浸水	0.62	0.62
床上浸水	4.6	60.0
全壊	60.0	60.0

の木造家屋の廃棄物重量原単位を $0.40 \sim 0.61 \text{ t/m}^2$ と推定している。渡辺⁹⁾は、阪神・淡路大震災での廃棄物発生の見積もり方法について調査し、大阪市での800棟の解体実績から、廃棄物発生量原単位を $96 \text{ m}^3/\text{戸}$ であったと推定している。また、住宅作業解体処理業連絡協議会など業界で得られている値として、 $39.7 \text{ t/戸} \sim 44.7 \text{ t/戸}$ と報告している。また、2004年新潟県中越地震での解体廃棄物発生量について、1棟当たり $57 \text{ t} \sim 85 \text{ t}$ と報告されている¹⁰⁾。これらのことから、本研究では、津波による全壊被災家屋より発生する津波廃棄物を、ハリケーン・カトリーナ災害での水害廃棄物発生量原単位や地震災害での解体廃棄物発生量と同程度の 60 t/世帯 と設定するものとした。

また、平山¹¹⁾は、大規模水害時における水害廃棄物発生量について検討しており、日本においても大規模水害発生時には、これまでの水害廃棄物発生量原単位を上回り、地震による全壊家屋から発生する災害廃棄物発生量原単位にまで水害廃棄物発生量が増大しようとしている。2004年スマトラ沖津波地震での被災地では、津波外力により住家被害が甚大であった。また、鈴木ら⁵⁾は、津波災害のほうが、水害よりも低い浸水深で全壊・流出という被害が生じると指摘している。津波廃棄物は、津波外力により発生するがれきのみだけでなく、地震の揺れで倒壊した家屋に津波浸水被害が生じる。津波により押し流されてきた漂流物により家屋が被災するなどの複合的な発生メカニズムが想定される。したがって、津波による床上浸水以上の住家被害においては、これまでに推定されてきた水害廃棄物発生量原単位である 4.6 t/世帯 だけではなく、全壊の被災家屋と同程度のがれきが生じる可能性があると考え推察することができよう。つまり、床上浸水以上の住家被害の被災区分での津波廃棄物発生量原単位を 60 t/世帯 と設定するものとした。表-3に津波廃棄物発生量原単位を示す。

以上より、津波浸水深より住家被害を推定し、この推定された住家被害に対して住家被害を考慮した津波廃棄物発生量原単位を用いることで、津波廃棄物発生量ポテンシャルを推定することが可能となる。

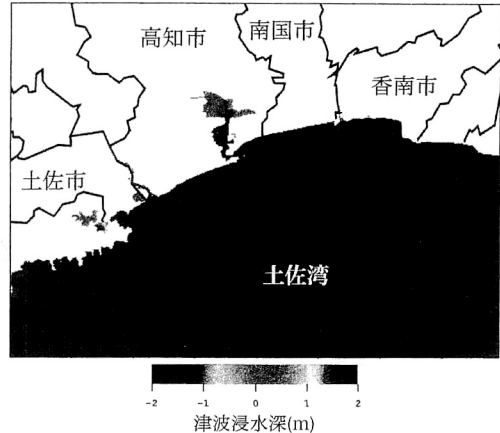


図-2 津波シミュレーションによる津波浸水深の推定結果（高知県の一部）

3. 東南海・南海地震時の津波廃棄物発生量ポテンシャル推定

本研究では、一般に入手可能な統計データを用いて、東南海・南海地震時での中部地方、近畿地方、四国地方の太平洋沿岸一帯の津波来襲地域における津波廃棄物発生量ポテンシャルを推定する。

(1) 津波シミュレーション結果

表-1に示した計算条件を用いて、津波シミュレーションにより、東南海・南海地震発生時の津波浸水深を 50 m 格子毎に計算した。図-2にシミュレーション結果の一部を示す。

(2) 津波浸水による住家被害の推定結果

津波シミュレーションで用いた 50 m 格子に対して、標準地域メッシュの基準地域メッシュ¹²⁾に同定した。次に、それぞれの基準地域メッシュにおいて、津波浸水に基づき、表-2に示した住家被害の被災区分別に 50 m 格子数を集計した。集計した 50 m 格子数より、基準地域メッシュ毎に住家被害の被災区分の割合を算出した。

そして、地域メッシュ統計の平成12年国勢調査の世帯総数に被災区分の割合を乗ずることにより住家被害の被災区分別の世帯数を基準地域メッシュ別に算出した。図-3に府県別に集計した被災区分別世帯数を示す。

(3) 津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定結果

算出した住家被害の被災区分別の世帯数と表-3に示した津波廃棄物発生量原単位を用いて、東南海・南海地震による津波廃棄物発生量ポテンシャルを基準地域メッシュ別に推定した。図-4に基準地域メッシュ別の

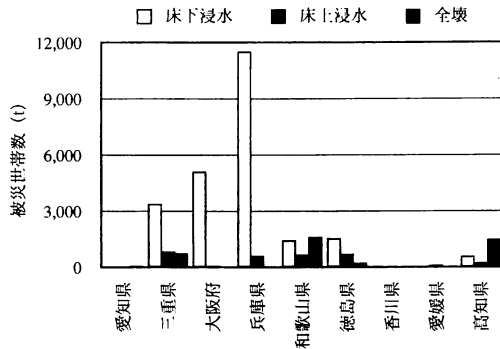


図-3 府県別の住家被害の被災区分別世帯数

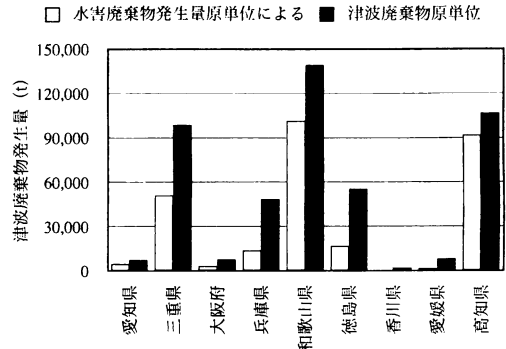


図-5 府県別の津波廃棄物発生量ポテンシャル



図-4 東南海・南海地震における基準地域メッシュ別の津波廃棄物発生量ポテンシャル

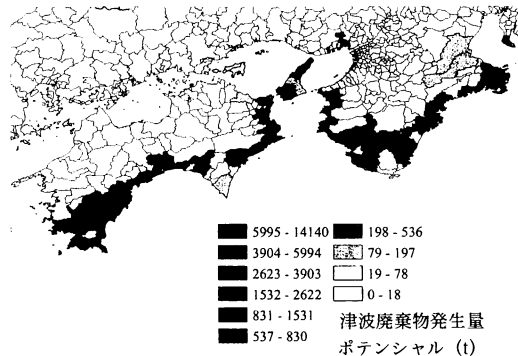


図-6 市町村別の津波廃棄物発生量ポテンシャル

津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定結果を示す。これより、東南海・南海地震発生時の津波廃棄物発生量ポテンシャルは、西日本の太平洋沿岸一帯で47.6万t、水害廃棄物発生量による原単位によれば28.6万tと推定された。

府県別に集計した府県別の津波廃棄物発生量ポテンシャルを図-5に示す。これより、三重県、和歌山県、高知県の3県における津波廃棄物発生量ポテンシャルが72.4%～85.6%となることからわかる。一方、東南海・南海地震に係る震災廃棄物発生量は6900万tと推定されている³⁾。つまり、震災廃棄物発生量における津波廃棄物の占める割合は0.68%にすぎない。一方、三重県、和歌山県、高知県では、東南海・南海地震による地震動および津波によって緊急輸送路をはじめとした道路が被災することで、地震後、地域的に孤立する可能性が懸念されている¹³⁾。これらの地域では、災害発生時の緊急輸送活動のためにリダンダンシーを考慮し、緊急輸送道路のみだけでなく、陸路と海路による緊急輸送ネットワークの構築が検討されている¹⁴⁾。

しかしながら、港湾に流出し、漂流する津波廃棄物は、災害後の港湾機能の停止や低下につながるものが想定されよう。図-6に市町村別の津波廃棄物発生量ポ

テンシャルを示す。これより、三重県、和歌山県、高知県の孤立が懸念されている地域において、津波廃棄物発生量ポテンシャルが大きくなっている。したがって、津波廃棄物が東南海・南海地震後の孤立地域にどのような影響があるのか明らかにし、三重県、和歌山県、高知県において、孤立地域の解消や地域の復旧・復興という観点から、いかに迅速かつ適正に津波廃棄物処理していくのかについて検討しておくことが必要であるといえよう。

4. 災害対応からみた津波廃棄物特性に関する考察

ここでは、災害廃棄物量相対値、海洋環境船による処理、人的被害の観点から津波廃棄物特性について検討する。

平山、河田¹⁵⁾は、災害廃棄物量を平常時の1年間での一般廃棄物排出量であるごみ総排出量で除した災害廃棄物量相対値を、被災市町村の災害対応力を考慮した被災状況を示す指標のひとつとして提案している。ここでは、津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定結果

表-4 市町村の津波廃棄物に対する災害廃棄物量相対値

都道府県	市町村名	津波廃棄物発生量ポテンシャル (t)	災害廃棄物量相対値 (ヵ月)
和歌山県	広川町	11819.5	57.6
和歌山県	美浜町	13585.3	57.0
和歌山県	由良町	8451.5	45.9
三重県	南伊勢町	17707.7	34.2
高知県	上佐市	28828.8	31.3
高知県	大月町	4129.5	30.9
高知県	黒潮町	9051.0	23.8
高知県	土佐清水市	13422.4	22.1
和歌山県	湯浅町	10051.5	20.1
和歌山県	太地町	2546.6	20.1

□ 水害廃棄物発生量原単位による ■ 津波廃棄物原単位

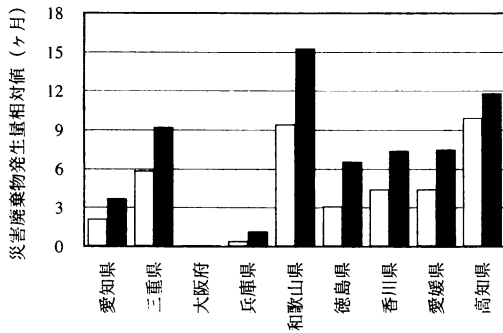


図-7 府県別の災害廃棄物量相対値の平均

に対して、一般廃棄物処理事業実態調査結果¹⁶⁾を用いて、市町村別に津波廃棄物発生量ポテンシャルに対する災害廃棄物量相対値を算出した。表-4に災害廃棄物量相対値の上位10の市町村を、図-7に府県別の災害廃棄物量相対値の平均を示す。これより、和歌山県、高知県、三重県では災害廃棄物量相対値が20ヵ月以上の市町が多くあり、県内の市町村の平均災害廃棄物量相対値が9ヵ月以上となっている。また、高知県以外の四国3県においても、市町村の平均が6ヵ月以上となり、津波廃棄物の発生が推定される9府県78市町のうち、平常の一般廃棄物処理排出量の1年以上となる市町が19市町、また、6ヵ月以上となる市町が28市町と推定された。以上のことから、津波廃棄物は、津波来襲地域の市町村の多くにおいて、その災害対応力を超える膨大な量が発生するものと推察される。

津波廃棄物は、その発生量ポテンシャルの一部は、津波の引き波により港湾にまで押し流され、港湾海域の漂流物となる。このような津波廃棄物を処理するためには、海面に浮遊するゴミの回収を始め、海難事故などで流出した油の回収などを行う海洋環境船が必要となる。そこで、海洋環境船の必要船数を算出した。なお、ここでは、津波廃棄物発生量ポテンシャルの50%が港

□ 水害廃棄物発生量原単位による ■ 津波廃棄物原単位

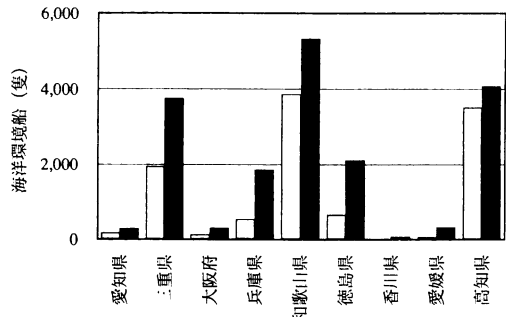


図-8 府県別の津波廃棄物(50%が港湾海域に漂流)処理に必要な海洋環境船数

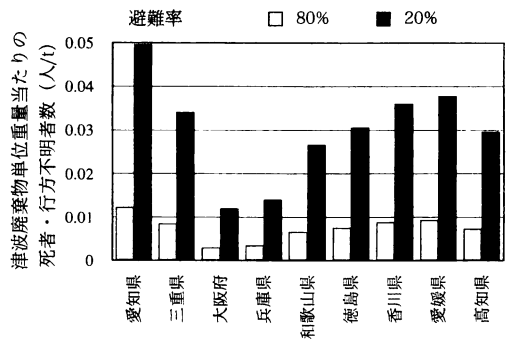


図-9 津波廃棄物単位重量当たりの人的被害

湾海域に流出するものとした。また、海洋環境船1隻当たりの処理能力として、国土交通省近畿地方整備局において海洋環境整備事業に従事している「Dr. 海洋」の12.5m³×4を用いた。また、重量体積換算は、津波廃棄物1トン当たり3.8m³とした。図-8に府県別の海洋環境船の必要数を示す。これより、津波廃棄物発生量ポテンシャルの50%が港湾海域に漂流した場合の津波廃棄物処理に必要な海洋環境船数は、18191隻と推定された。現在、我が国に整備されている海洋環境船は11隻であることから、その約1650倍であり、津波廃棄物処理が長期間となり、港湾機能の停止や低下が長期間に及ぶものと推察されよう。したがって、迅速かつ適正な処理を可能とするための、広域的な連携体制をいかに構築していくかが重要であるといえる。

東南海・南海地震発生後の津波来襲地域においては、47.6万tの津波廃棄物とともに、100%の避難率でない限り多数の死者・行方不明者が生じることとなる。このことから、津波廃棄物は、津波浸水により被災した建物等のがれきりであるが、そこには、死者・行方不明者、つまり遺体が含まれているといえる。図-9に府県別の津波廃棄物単位重量当たりの人的被害を示す。これより、津波浸水地域の避難率が20%であった場合に

は、津波廃棄物 35t に 1 遺体、避難率が 80% であった場合には、津波廃棄物 140t に 1 遺体が含まれるということである。我が国の災害対応においては、1993 年北海道南西沖地震での奥尻島の対応事例においても、初動時は救命救助とともに行方不明者や遺体捜索活動が優先される。つまり、初動時の津波廃棄物処理においては、処理速度や撤去速度を優先した処理が困難であるといえよう。このことから、人的被害の軽減とともに、いかに津波廃棄物発生量を減量するのかが重要な課題であるといえる。

今後は、津波廃棄物の発生メカニズムを解明し、いかに津波廃棄物を減量することができるのか検討することが重要である。また、迅速かつ適正な処理を可能とする津波廃棄物の処理方法や処理技術を開発することが急務である。さらに、津波廃棄物が、孤立集落やその地域の復旧・復興にどのような影響があるのか、定性的かつ定量的に明らかにし、都道府県を超えた広域的な連携方策など効果的な災害対応方策について検討することが必要である。

5. 結言

本研究では、津波浸水による住家被害を用いて津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定手法を検討した。以下に得られた知見を示す。

1. 住家被害を考慮した津波廃棄物発生量原単位を推定し、津波浸水による住家被害を用いて、実務的に使いやすい津波廃棄物発生量ポテンシャルの推定手法を構築した。
2. 構築した推定手法を用いて、東南海・南海地震時の津波廃棄物発生量ポテンシャルを算出した。その結果、太平洋沿岸一帯の津波廃棄物発生量ポテンシャルは 28.6～47.6 万 t と推定された。
3. 府県別の津波廃棄物発生量ポテンシャルについて検討し、三重県、和歌山県、高知県の 3 県にその約 8 割が集中しており、孤立地域の解消や地域の復旧・復興という観点から、いかに迅速かつ適正に津波廃棄物を処理していくのかについて検討しておくことが必要であることを示した。
4. 港湾海域に漂流した津波廃棄物処理について検討し、津波廃棄物発生量ポテンシャルの 50% が港湾海域に流出した場合、その処理に必要な海洋環境船が延べ 18191 隻と推定された。災害廃棄物量相対値や人的被害の視点から、津波廃棄物発生量ポテンシャルについて検討した。その結果、津波廃棄物の減量とともに、広域的な連携体制構築の重要性を指摘した。

参考文献

- 1) 高月紘, 酒井伸一, 水谷聡, 浦野真弥, 小林純一郎, 伊藤宏: 震災により生じる廃棄物の性状と発生量に関する検討, 災害廃棄物フォーラム, pp.19-29, 1996.
- 2) 廃棄物学会研究委員会: 災害等の特殊環境における廃棄物処理の在り方 災害廃棄物処理現地調査報告書 - 阪神・淡路大震災の復興初期における処理状況 -, 1995.
- 3) 中央防災会議「東南海・南海地震等に関する専門調査会」: 東南海・南海地震の被害想定について, 2003.
- 4) 河田恵昭, 小鯛航太, 鈴木進吾, 平山修久: 東南海・南海地震発生時の津波廃棄物発生量の推定手法に関する研究, 第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.249-251, 2007.
- 5) 鈴木進吾, 越村俊一, 原田賢治, 岡本学, 福留邦洋, 菅磨志保, 河田恵昭: 2004 年 7 月新潟豪雨水害の災害調査による家屋被害関数の構築, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.439-444, 2005.
- 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災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) 近藤伸也, 近藤民代, 永松伸吾, 平山修久, 河田恵昭: 米国ハリケーン・カトリナ災害における水害廃棄物処理マネジメント, 第 18 回廃棄物学会研究発表講演論文集, pp.246-248, 2007.
- 8) 高月紘, 酒井伸一, 水谷聡: 災害と廃棄物性状-災害廃棄物の発生原単位と一般廃棄物組成の変化-, 廃棄物学会誌, 第 6 巻, 第 5 号, pp.351-359, 1995.
- 9) 渡辺信久: 阪神・淡路大震災における災害廃棄物の発生特性, 災害廃棄物フォーラム講演論文集, pp.93-110, 1996.
- 10) 環境省関東地方環境事務所廃棄物・リサイクル対策課: 大規模災害時の建設廃棄物等の有効利用及び適理法策検討調査報告書, 2006.
- 11) 平山修久: 近年の水害, 地震災害の特徴と災害廃棄物発生量について, 平成 19 年度廃棄物学会東海・北陸支部市民フォーラム, pp.10-19, 2008.
- 12) 総務省統計局: 地域メッシュ統計の概要, 1999.
- 13) 内閣府: 中山間地等の集落散在地域における地震防災対策に関する検討会, 2005.
- 14) 河田恵昭, 小鯛航太, 鈴木進吾: 東南海・南海地震発生時の港湾機能を活用した緊急輸送戦略, 第 54 回海岸工学論文集, 2007.
- 15) 平山修久, 河田恵昭: 水害時の行政対応における災害廃棄物発生量に関する研究, 地域安全学会論文集, Vol.7, pp.325-330, 2005.
- 16) 環境省: 平成 17 年度一般廃棄物処理事業実態調査結果, 廃棄物処理技術情報, 2007.

ESTIMATION PROCEDURE FOR POTENTIAL AMOUNT OF TSUNAMI DEBRIS INCLUDING DAMAGE HOUSING CAUSED BY TSUNAMI INUNDATION

Nagahisa HIRAYAMA, Kenji HARADA, Keiko OTOSHI,
Shingo SUZUKI and Yoshiaki KAWATA

Based on the fragility function for wooden house and the per unit generation of flood disaster debris, the per unit generation of tsunami debris was estimated. An estimation procedure for potential amount of tsunami debris including damage housing caused by tsunami inundation was developed. The potential generation of tsunami debris in the presumed Tonankai-Nankai Earthquake was calculated. As a result, the tsunami debris potential in the Pacific coast area of West Japan was estimated at 286-476 thousand tons. In addition, it was indicated that not only reduction of the potential amount of tsunami debris but also establishment of the wide area cooperative measures for tsunami debris operation were indispensable.