

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24310127

研究課題名(和文)有限幅海岸林の破壊・流失と浮遊物の捕捉を考慮した津波減衰・増長影響の高精度評価

研究課題名(英文) High accuracy evaluation on the advantage and disadvantage of finite length coastal forest at a tsunami including the modeling of the tree destruction, washout and trap-function of floating debris

研究代表者

田中 規夫 (TANAKA, Norio)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80323377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,000,000円

研究成果の概要(和文)：津波は樹林帯の切れ目や河川などの弱点に集中し、樹木や家屋などの浮遊物を巻き込みながら遡上する。本研究では、1)津波で発生する家屋・樹木等浮遊物の発生・輸送と衝突による衝撃力、2)浮遊物を捕捉する樹林帯効果、3)有限盛土・樹林帯周辺や樹林帯開口部を遡上する津波による氾濫、を高精度に評価する津波解析モデルを構築した。実験とモデル解析により、(1)津波の河川遡上による堤内地への氾濫現象、(2)樹林帯の浮遊物捕捉効果、(3)海岸林の津波減勢機能と浮遊物による衝撃力増加の比較、(4)海岸林と堤防の組み合わせによる津波減災効果、(5)樹形による破断・転倒現象の相違を考慮した樹木管理、に関する知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Large tsunami sometimes overflows from embankment, usually concentrates in a gap inside a forest, breaks trees and buildings, and transports large amount of debris. It sometimes overflows from a river. This study develops a model to calculate; 1) a generation of floating debris from houses and trees, transportation and collision process, 2) a trapping mechanism by trees, and 3) a flow in a gap and the fringe of coastal forest. Using the developed model, tsunami propagation in a river and overflow phenomenon, trapping effect of coastal forest have been clarified. In addition, tsunami mitigation effect by the combination of coastal forest and embankment is analyzed, and management of coastal forest considering the destruction mode of trees is proposed.

研究分野：水防災工学

キーワード：津波 浮遊物 衝突時間 樹木管理 防潮林 衝撃力 バイオシールド

1. 研究開始当初の背景

海岸林の津波被害軽減機能は古くから知られているが、特に 1998 年のパプアニューギニア地震津波や 2004 年のインド洋大津波に際して再認識され、熱帯の開発途上国における有力な津波対策の一つとして注目されている。2006 年 8 月末には、FAO (国際連合食糧農業機関) のワークショップにおいて、津波に対する防災施設としての海岸林の機能が議論された。そこでは、津波被害を軽減する海岸林の効果に関する知見が不十分であり、今後、学際的な取り組みが必要と整理された。研究代表者の研究では、樹冠部の抵抗特性や耐性 (破壊・流失限界) についても検討していることから、FAO アジア太平洋支部における海岸林整備マニュアル (FAO, 2007) にも多くのページを割いて紹介されている。また、津波被害を軽減するという視点での樹林帯の配置方法や樹種の選定、樹木の耐性についての研究は海外論文にも引用されている。一方、日本の中央防災会議から出された防災基本計画 (平成 20 年 2 月) では津波対策としての海岸林の有効性は位置づけられていない。

しかし、東北地方太平洋沖地震津波では海岸林の多くがなぎ倒されたものの、浮遊物の捕捉以外に、海岸林周辺における家屋の残存が確認された。林野庁も海岸防災林の再生・整備を図る計画である。日本国内における海岸林の津波減災効果と機能の限界 (破壊や流木化等) を明らかにし、汎用的な耐津波設計論として高めるための研究が必要である。ここで、同じ津波であっても場所によって諸条件 (津波の状況、地形、林況) が異なるので、樹林帯の効果や耐性を定量評価するには、代表者の既往研究である実樹木に関する抵抗特性の知見、実樹木の幹折れや根鉢転倒限界の知見を取り込んだ数値解析モデルが威力を発揮する。近年、研究代表者は、樹林帯の鉛直構造を反映できる津波の数値解析モデル、破壊を考慮した数値解析モデルを開発し、海岸林の津波被害軽減機能の定量評価と海岸林の破壊限界について多くの知見を導いている。また、海岸樹林帯内通路や河口などの開口部は津波のエネルギーが集中し、津波を内陸の奥深く進行させることや、有限幅の海岸林がもたらす弊害を明らかにしている。今回の津波は、こうした弱点で津波被害が大きかったが、被災を受けた都市の復興構想では有限幅の盛土や有限幅の海岸林の整備が計画されており、新たな危険域が形成される可能性もある。そのため、海岸林の整備と開口部 (河川も含む) の処理はあわせて考える必要がある。その上で、数値解析モデルを実際の盛土・堤防、海岸林整備計画や今回被災を受けていない地域の津波影響緩和計画に活かすには、モデルの予測信頼性の向上が必要である。

2. 研究の目的

津波は樹林帯の切れ目や河川などの弱点に集中し、樹木や家屋など大量の浮遊物を巻き込みながら遡上する。本研究では、1)津波で発生する家屋・樹木等浮遊物の発生・輸送と衝突による衝撃力、2)浮遊物を捕捉する樹林帯の効果と破壊限界値、3)有限盛土・樹林帯周辺や樹林帯開口部 (河川・道路等) を遡上する津波による氾濫、を高精度に定量評価するための知見を導出し、その結果を組み入れた総合的な津波解析モデルを構築する。さらにそのモデルを用いて海岸林の津波被害軽減機能、破壊限界と浮遊物による二次災害軽減方法などを総合的・定量的に評価し、汎用的な耐津波設計として活用できる知見を導出する。

3. 研究の方法

大きく 4 段階に分けて実施した。

(1)樹木に作用した津波外力と樹木の破壊・流失被害の関係を津波被災地の現地調査データと数値解析をもとに定量化する。家屋被害についても、同様に津波外力と関連づける。
(2)段波発生施設で津波条件を変化させ、異なる密度・形状の浮遊物群の挙動を明らかにするとともに、家屋など物体への衝突確率と衝突時の衝撃力を明らかにする。樹林や家屋の破壊・流失と浮遊物の挙動を再現するモデルを小領域で作成する。

(3)河川遡上津波による氾濫を適切に表現するモデルを小領域で作成する。

(4)上述の成果を総合的な津波解析モデル (断層モデル + 大領域から小領域へと計算結果を境界条件で接続し小領域計算を行うモデル) に反映させ、海岸林の津波軽減機能を定量化するとともに、海岸林周辺の面的整備に関する要件を検討する。特に、)有限幅の盛土・海岸林周辺の加速域の緩和手法、)防潮堤など土木工作物との連携を考慮した樹林帯配置手法、)大量の浮遊物が発生する場合の樹林帯の捕捉機能の算定と必要な樹林帯幅、)津波遡上域における河川・海岸沿いの空間管理方法について検討し、海岸付近の面的土地計画・管理に関する提案を行う。

4. 研究成果

(1)津波の河川遡上による堤内地への氾濫現象 (雑誌論文リストの 3), 8), 9), 10) (以後、雑*) のように記載する)

東北地方太平洋沖地震津波では、河川遡上による堤内地への氾濫や、破壊により発生した浮遊物の遡上など、複雑な氾濫形態が見られた。本研究では、河川を遡上する津波による氾濫の局所性を高精度に定量評価するための総合的な津波解析モデル (断層モデル、ネスティング計算、河川の助走計算、樹木破壊・家屋破壊モデル) を構築し、阿武隈川流域の河川沿いの氾濫現象について、詳細な解析を行った。その結果、河川沿いの被害の局所性を津波の越流時のエネルギー水頭や、越流タイプ (完全越流、潜り越流) で区分する

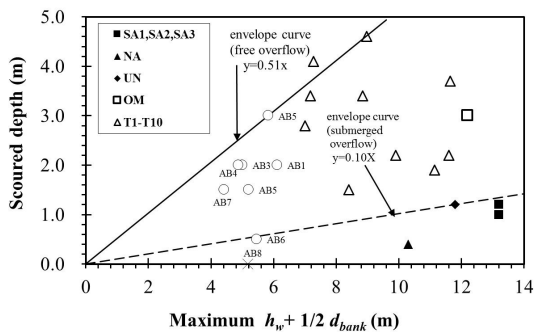


図-1 最大エネルギー水頭と洗掘深の関係¹⁰⁾

ことに成功し、得られた傾向は他地点での研究事例を満足した¹⁰⁾。なお、物理的メカニズムを深く理解するための水理実験も行い、洗掘現象の変化についても取りまとめた^{3), 8), 9)}。

(2) 家屋流失被害関数の構築にもとづく、樹林帯の浮遊物捕捉効果の解明^{1), 6), 7)}

海岸林や家屋の破壊限界を含むモデルを用いて、家屋の破壊関数を浸水深ではなく他地点にも応用可能な流体力指標と流体力によるモーメント指標を用いて表現するのに成功した。また、破壊されなかった樹木の浮遊物捕捉機能を組み込むことが流体力による家屋被害の評価には重要であることを示した。浮遊物群の樹林帯による捕捉と流れ場の変化、を実験により把握し、その機構を組み入れた総合的な津波解析モデルを構築した。浮遊物に関するモデルは海岸樹林帯の破壊と残存樹林帯による浮遊物捕捉機能が確認された仙台平野の津波浸水域に適用した。解析の結果、浮遊物を捕捉した樹林帯の周辺の一部地域では流速が加速されるものの、加速域は小さいのに対して、流速低減域は樹林帯背後にとどまらず、その下流域（内陸側）まで広い範囲に広がっていることが確認された。

(3) 海岸林の長所（津波減勢機能）と短所（浮遊物による衝撃力増加）の比較^{1), (学会発表の6): 以後、学6)}

流木の衝撃力を定量評価するための流木衝突実験をおこない、その知見を踏まえ、海岸林の長所（流体力を減少させる効果）、短所（流木化した際に衝突力を増加させる影響）を直接比較した。具体的には、海岸林で発生した流木群による衝突力を非線形長波方程式と運動量変化に基づく力積方程式で解く手法で解析した。仙台平野の事例において、樹林帯の津波力低減効果と、流木の衝突力を比較した結果、検討地点においては、流木衝撃力は海岸林の津波力減少量を大きく下回っていることが確認された。しかし、家屋前面部に流木が集積した場合や、樹林帯が薄く津波外力低減効果が低い場合も含む一般化には更なる実験と解析が必要と判断された。

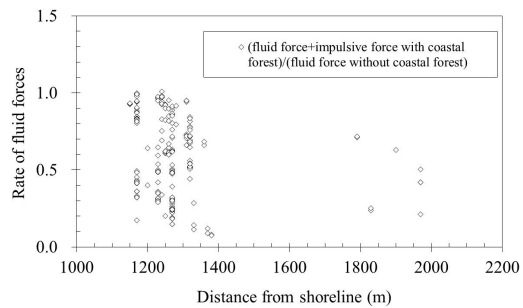


図-2 海岸林の有無（有の場合は浮遊物衝撃力含む）による流体力の比（1以上が増える可能性のある箇所）^{学6)}

(4) 海岸林と堤防の組み合わせによる津波減災効果^{2), 5), 11)}

東日本大震災の事例として仙台平野の海岸林と堤防が家屋流失距離を低減した効果を算定した¹¹⁾。同研究より堤防と海岸林を組合せた多重防御構造による効果は越流量の変化を把握することを目的として非定常水路において水路模型実験を行った²⁾。第一段階として、水路に種々の多重防御模型を設置し、越流した背後での水位と流速を計測し、津波の越流量を算出することで、樹林帯と堤防の有効な位置関係を検討した。また、流況の把握において、樹林帯による反射が樹林帯の最前面部でなく樹林帯内部で発生していたことから、樹林帯列が極端に少ない場合は、段波が射流のまま樹林帯を通過し、通過後の流下方向ベクトルが水平より上方に傾くことで、背後に設置した堤防による反射が小さくなり、越流量が増加してしまうことが考えられる。そのため、第二段階として樹林帯列を極端に少なくした場合に関して、越流量を直接計測するための水路模型実験を行い、越流量の変化の把握を行った。その結果、樹林帯と堤防の位置関係による越流量の差異については、樹林帯が十分に長い（反射点が樹林帯内部に含まれる）場合、樹林帯が海側で海岸堤防が内陸側の方が越流量の減少効果大きい。堤防より海側に極端に短い樹林帯を配置した場合については、津波が樹林帯を射流のまま通過するため、樹林帯による反射の効果は認められない。しかし、樹林帯通過時の水位の上下動から樹林帯と堤防の間で反射を促す回転が発生し、越流量が減少した。海側に十分な樹林帯スペースが取れない場合でも、越流量を減らせる可能性があり、注目すべき現象としてその解明を行なった。

また、防潮堤に腹付けし海岸林を植える場合^{学3)}や、二線堤を構築した場合の減災効果⁵⁾の解明も行なった。

(5) 樹形による破断・転倒現象の相違を考慮した津波計算法による海岸管理⁴⁾

既往研究では、樹木の破壊形態を破断と転

倒の2種類に分類しその破壊判定式を二次元津波計算に組み込み、樹木破壊の傾向把握及び破壊後の樹木の減勢効果を求めている。海岸樹木の成長と密度を管理するという林野の分野においては、樹木の立体構造（特に枝下高、樹冠構造）にもとづく樹木破壊形態をさらに精緻に取り入れ、津波減災という視点での海岸樹木の管理に資する解析手法を構築し、その知見を得ることが必要である。本研究では、北海道白糠郡白糠町を対象として数値解析手法を構築し検討を行った。同地区では汀線から50m-150m付近に海岸林が設置されているが、その背後にレベル11津波に対して守るべき資産（特に海岸林背後に養護施設や老人ホーム）がある。また同地区は、北海道庁のモデル事業対象地区であり、海岸防災林の整備手法や、効果をあげるための海岸林帯幅の増加、そのオプションとして盛土や切土を整備する予定であり、多重防御効果の検討地点としても好ましいことが挙げられる。

樹木管理に資する知見として、枝下高が高く根張りが弱い樹木は、幹の破断が生じやすい（流木が発生しやすい）こと、破断はフルード数が小さく水深が大きい場合や、堤防による減勢を組み合わせた場合に生じる傾向が得られた。また、樹木が転倒しても残存した場合には、樹冠が発達した樹木は抵抗としての働きは大きいことが示唆された。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 11件)

1) Pasha, G.A., Tanaka, N., Effectiveness of finite length inland forest in trapping tsunami-borne wood debris, Journal of Earthquake and Tsunami Vol. 10, No. 2 (2016) 1650008 (26 pages).(DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S1793431116500081>) (査読有)

2) 五十嵐善哉, 田中規夫, 樹林帯と海岸堤防の組合せ配置による津波の海岸堤防越流量の変化, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.72, No.4, I_397-I_402, 2016. (査読有)

3) Sazia, A., Yagisawa, J., Tanaka, N., Three dimensional downstream scour analysis after levee overtopping, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 72, No. 4, I_823-I_828, 2016. (査読有)

4) 田中規夫, 庭田侑, 佐藤 創, 鳥田宏行, 野口宏典, 樹形による破断・転倒現象の相違を考慮した海岸林管理に資する津波計算法の構築 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2 : I_307-312, 2015. (査読有)

5) 五十嵐善哉, 田中規夫, レベル2津波の堤

防越流に対する減勢に適した裏法側堤防構造の検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 71, No. 2, pp. I_325-I_330, 2015. (査読有)

6) 田中規夫, 小内 堯, 近藤康太, 津波流体力とそのモーメントによる破壊規模ごとの家屋被害関数, 土木学会論文集 B2(海岸工学) Vol.71, No.1, 1-11, 2015. (査読有)

7) 小内 堯, 田中規夫, 樹林帯による漂流物捕捉効果を考慮した数値解析による家屋被害関数, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.71, No.4, I_727-I_732, 2015. (査読有)

8) Sazia, A., Yagisawa, J., Tanaka, N., Investigation of scour pattern downstream of levee toe due to overtopping flow, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol.71, No.4, I_175-I_180, 2015. (査読有)

9) Binh, D.V., Yagisawa, J., Tanaka, N., Geometrical characteristic of scour holes caused by overtopping flow of embankment covered with different lengths of protection works, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol.71, No.4, I-163-I_168, 2015. (査読有)

10) Tanaka, N., Sato, M., Scoured depth and length of pools and ditches generated by overtopping flow from embankments during the 2011 Great East Japan Tsunami, Ocean Engineering, 109, pp.72-82, 2015. (DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.08.053) (査読有)

11) Tanaka, N., Yasuda, S., Iimura, K., Yagisawa, J., Comparison of the effects of coastal forest and those of sea embankment on reducing the washout region of houses in the tsunami caused by the Great East Japan Earthquake, Journal of Hydro-environmental Research Vol.8, pp. 270-280, 2014. (査読有)

〔学会発表〕(計 8件)

1) Pasha, G.A., Ogino, K., Tanaka, N., Dynamics of tsunami drifted wood debris upon collision with finite length forest – a flume experiment, JSCE 17th Int. Summer Sym., CS2-021, pp. 41-42, 2015. (Okayama University, 2015.9.17.)

2) 五十嵐善哉, 田中規夫, 水路模型実験における堤防越流量の減少に効果的な多重防御構造の検討, 平成27年度土木学会全国大会第70年次学術講演会, -185, pp. 369-370, 2015. (岡山大学, 発表日 2015.9.18.)

3) 狩野匠, 八木澤順治, 田中規夫, 堤防裏法尻付近の樹林帯密度が落掘の洗掘深・洗掘長に及ぼす影響, 土木学会関東支部発表会,

-49(CD-ROM), 2015.3 (東海大学, 発表日 2015.3.6)

4) 小内 堯, 八木澤順治, 田中規夫, Weerakoon S.B., Jinadasa K.B.S.N., 転倒樹木の抵抗特性に関する実験的研究, 平成 26 年度土木学会全国大会 第 69 回年次学術講演会, -148, pp.295-296, 2014.(大阪大学, 発表日 2014.9.12)

5) Binh, D.V., Afreen, S., Yagisawa, J., Tanaka, N., The effect of submerged water depth on shear stress acting on the bed and downstream slope of levee due to overtopping, Proc. of JSCE 16th International Summer Symposium, pp. 59-60, 2014. (大阪大学, 発表日 2014.9.10)

6) Tanaka, N., Suzuki, I., Comparison between drag force on a house behind coastal forest and impulsive force by tsunami-driven woody debris from the forest at the Great East Japan Earthquake, Proceedings of IAHR2013 (A11303:electric version), Chengdu, China, 2013. (発表日 2013.9.9)

7) Sato, M., Tanaka, N., Quantitative analysis on the damage of river embankment and hinterland along the Abukumagawa River at the Great East Japan Earthquake tsunami, Proceedings of IAHR2013, (A11354: electric version), Chengdu, China, 2013. (発表日 2013.9.10.)

8) Kondo, K., Tanaka, N., Yagisawa, J., Effect of drifted houses on inundation region and the washout region of houses at the tsunami caused by the Great East Japan Earthquake, International Conference on Sustainable Built Environment (ICSBE-2012), Kandy, Sri Lanka, 2012. (発表日 2012.12.15)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中規夫 (TANAKA, Norio)

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 8 0 3 2 3 3 7 7

(2) 研究分担者

八木澤 順治 (YAGISAWA, Junji)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 7 0 5 4 9 9 9 8