

令和 2 年度  
東北地域災害科学研究集会  
講演予稿集

開催：令和 2 年 12 月 25 日(金) ・ 26 日(土)

会場：オンライン会場 Zoom (日本大学)

## < 第 1 会場 >

### 会場 Zoom (第一会場\_25 日)

第1部 12月25日(金)13:00 - 14:15

(司会: 鎌滝 孝信先生)

### 会場 Zoom (第一会場\_26 日)

第2部 12月26日(土)10:00 - 11:30

(司会: 渡辺 一也先生)

第3部 12月26日(土)12:30 - 14:00

(司会: 片岡 俊一先生)

<第1会場:Zoom(日本大学工学部)>

令和2年(2020年12月25日(金))

【第1部】 会議名:第一会場_25日 司会:鎌滝孝信先生		
13:00-13:15	OpenFOAMを用いた構造物に加わる流体力に関する研究	○立花郁巳(八戸工業大学)、工藤真裕(八戸工業大学)、橋本憲二(八戸工業大学)、高瀬慎介(八戸工業大学)
13:15-13:30	津波漂流物による透過構造物への影響に関する基礎的研究	○橋本憲二(八戸工業大学大学院)、高瀬慎介(八戸工業大学大学院)、野島和也(日本工営株式会社)、桜庭雅明(日本工営株式会社)
13:30-13:45	土砂を含む河川遡上津波が構造物に与える影響	○小太刀旬哉(秋田大学理工学部)、鎌滝孝信(岡山理科大学理学部)、齋藤憲寿(秋田大学大学院理工学研究科)、渡辺一也(秋田大学大学院理工学研究科)
13:45-14:00	馬場目川における鉛直方向の粒度分布変化と河床変動計算に関する検討	○中川 遥(秋田大学理工学部)、谷口隼也(秋田大学大学院理工学研究科)、渡辺一也(秋田大学大学院理工学研究科)、齋藤憲寿(秋田大学大学院理工学研究科)
14:00-14:15	秋田県白雪川における津波の河川遡上に関する検討	○谷口隼也(秋田大学大学院理工学研究科)、渡辺一也(秋田大学理工学研究科)、齋藤憲寿(秋田大学理工学研究科技術部)、鎌滝孝信(岡山理科大学理学部)、田中仁(東北大学工学研究科)

15:00-17:35	公開講演 (Zoom東北大学)
-------------	-----------------

令和2年(2020年12月26日(土))

9:00~9:50	地区総会 第1会場 (会議名:第一会場_26日)
-----------	--------------------------

【第2部】 会議名:第一会場_26日 司会:渡辺一也先生		
10:00-10:15	災害発生後の教育機能継続観点による日本の災害対応評価	○熊谷 隆正(東北大学 工学部)、佐藤 健(東北大学災害科学国際研究所)
10:15-10:30	名取市閑上地区における持続可能な地域再建に関する研究	○五十嵐凜(東北大学工学部)、佐藤健(東北大学災害科学国際研究所)
10:30-10:45	新たな底面摩擦算定法を用いた津波の数値計算	○西脇 遼(東北大学大学院工学研究科)、田中 仁(東北大学大学院工学研究科)、Nguyen Xuan TINH(東北大学大学院工学研究科)
10:45-11:00	強い段波の平面二次元挙動特性	○松富英夫(中央大学研究開発機構)
11:00-11:15	流木モデルを用いた樹皮の剥離過程に関する水理実験	○佐藤 丈(秋田大学理工学部)、谷口隼也(秋田大学院理工学研究科)、齋藤憲寿(秋田大学理工学研究科)、渡辺一也(秋田大学理工学研究科)
11:15-11:30	圧力センサを用いた漂流物に作用する波力の測定	○石塚大智(秋田大学理工学部)、齋藤憲寿(秋田大学理工学研究科)、渡辺一也(秋田大学理工学研究科)

11:30-12:30	昼食
-------------	----

【第3部】 会議名:第一会場_26日 司会:片岡俊一先生		
12:30-12:45	北海道雌阿寒岳における深部・浅部低周波地震活動	○松野有希、小菅正裕、前田拓人(弘前大学大学院理工学研究科)
12:45-13:00	福島県のHi-net観測点で観測された常時微動の地震波干渉法解析によるRayleigh波位相速度の二次元分布の推定	○土屋隆(岩手大学大学院総合科学研究科)、山本英和、齋藤剛(岩手大学理工学部)
13:00-13:15	稠密微動アレイ探査による盛岡市における地盤増幅率の評価—盛岡市青山地区および本宮地区を対象とし	○山本英和、菅生琳、齋藤剛(岩手大学理工学部)
13:15-13:30	経験的手法による折爪断層による三戸郡内の地震動予測	○片岡俊一(弘前大学)
13:30-13:45	ニューラルネットワークを利用した既存一戸建て住宅の建築年代予測	○潘蔣杰(弘前大学地域共創科学研究科)、片岡俊一(弘前大学)
13:45-14:00	1943年津田島地震の被害に関する文献調査	○水田敏彦(秋田大学地方創生センター)、鏡味洋史(北海道大学(名))

<第1会場>

— 第1部 (5題) —

司会：鎌滝 孝信 先生

12月25日(金)13:00~14:15

会議名 (第一会場\_25日)

# OpenFOAM を用いた構造物に加わる流体力に関する研究

八戸工業大学 立花 郁巳  
八戸工業大学 工藤 真裕  
八戸工業大学 橋本 憲二  
八戸工業大学 高瀬 慎介

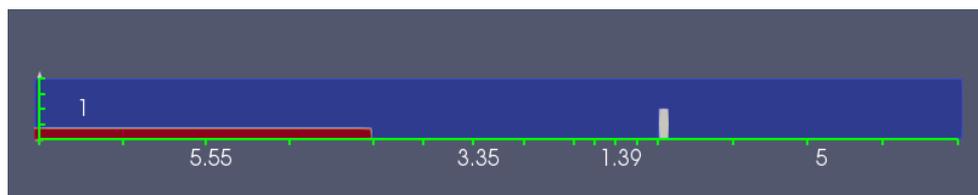
## 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震は国内観測史上最大の規模であり、発生した津波は東北地方に甚大な被害を与えた。その際、避難ビルとして指定された建物や、津波の被害を軽減する防潮林は耐え切れずに崩壊してしまった。さらに近年、台風などで河川が氾濫した際の構造物被害も増えている。これら津波などの防災・減災対策を考えるうえで構造物の被災メカニズムに関連する流体と構造物の相互作用を考慮する必要がある。

そこで本研究では、三次元熱流体解析ソフトウェアである OpenFOAM (Open source Field Operation And Manipulation) を用いて、ダムブレイクの実験値とシミュレーション解析での衝撃力の精度評価を行った。また、防潮林の減衰効果実験と解析の比較により複雑形状内での自由表面流れにおいての水位変化の精度評価を行う。それらの解析結果をもとに、実験で計測できない複雑形状内の流体力の変化について解析を試みる。

## 2. 解析概要

OpenFOAM 内の Volume Of Field (VOF) 法による二相流ソルバーである interFoam を用いて、ダムブレイク解析を行った。解析する水路の境界条件は、壁面・底に slip 条件の開水路で、角柱 (底面 150mm×150mm, 高さ 50mm) に noSlip 条件に設定した。作成した水路のモデルを図一1に示す。



図一1 水路モデル

ダムブレイク解析は、実験にあわせて貯水位を 45cm で行う。解析結果と実験の値を比較することにより、シミュレーションの精度評価に必要なデータを得られる。加えて複雑形状内での自由表面流れの解析をし、その後、複雑形状内の流体力の変化について解析を試みる。

解析で衝撃力を求めるために抗力係数を使う。角柱の抗力係数を時刻歴ごとに数値化して、その抗力係数から抗力（衝撃力）を求める。（式—1）

$$D = \frac{1}{2} C_d \rho U^2 S \quad \dots \text{(式—1)}$$

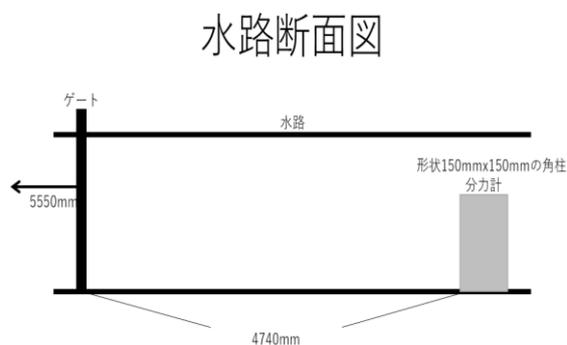
D：抗力（衝撃力 Fx）[N], Cd：抗力係数, ρ：密度[kg/m<sup>3</sup>]

U：代表速度[m/s], S：代表面積[m<sup>2</sup>]

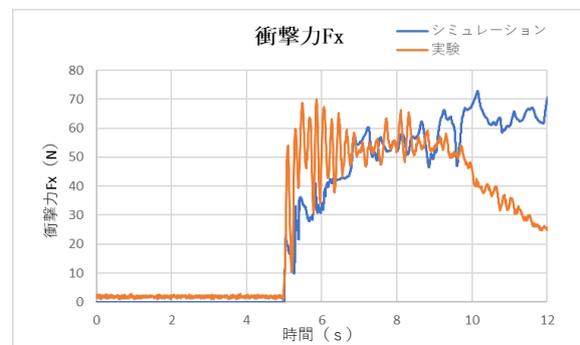
本解析では、ρ=1, U=1, S=1 とする。

### 3. 解析結果

比較に使う実験データは、図—2 の配置で角柱に分力計をつけたもので計測したデータである。実験のデータとダムブレイク解析の結果を図—3 比較グラフに示す。



図—2 実験水路断面図



図—3 比較グラフ

比較をすると最大値は同じような結果を得られているが、衝撃力の伝わり方は実験値の勢い良く伝わるのとは違い、解析では緩やかに力が伝わっている。また、力の減少は実験値が最初の衝撃から約4秒後に減少が始まっているのに比べて解析では減少が始まっておらず、これら二つの点で大きな差がみられてしまった。本解析上では、メッシュを2cmで作成したことが原因の一つになったと考えられる。この解析のままでは精度が良いといえないため、精度向上をさせるためにメッシュを細かく作成することや他の条件で条件の見直しなどをして、さらなる解析が必要である。

### 4. 考察

本解析では、OpenFOAM内のVOF法による二相流ソルバーであるinterFoamを用いてダムブレイク解析を行った。解析結果と実験値との比較から、衝撃力の伝わり方、力の減少のしかたに大きく差がみられた。この差をなくすためには、メッシュを細かくし作成する、条件の再確認をして解析を行っていく。今後、衝撃力だけでなく、自由表面流れの精度を確認して、複雑形状内の流体力の変化について解析を行っていく予定である。

# 津波漂流物による透過構造物への影響に関する基礎的研究\*

八戸工業大学大学院 橋本 憲二

八戸工業大学大学院 高瀬 慎介

日本工営株式会社 野島 和也

日本工営株式会社 桜庭 雅明

## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震に伴い発生した津波は、東北地方の太平洋沿岸地域に甚大な津波被害をもたらした。津波被害が拡大した要因の1つに、津波により破壊された建物や船舶、木材等の漂流物が濁流となって押し寄せたことが挙げられる。津波により運ばれ堆積した膨大な量の瓦礫は、被災地復興の妨げとなり、津波が引いた後も広範囲にわたり被害を拡大させた。東日本大震災の被害を踏まえ、津波災害から一時的に避難するための緊急避難場所として、図-1のような津波避難タワーが有効な対策方法とされている。しかし、津波避難タワーなどで見られるような流れを透過する構造は、津波と共に押し寄せる漂流物による衝突と滞留のリスクが高いと考えられる。構造物に被害をおよぼす漂流物の力は、接触時に発生する衝突力だけでなく、漂流物が前面に堆積することで生じる間接的な荷重が想定される。東日本大震災以降、漂流物を伴う津波の挙動について研究が進められているが、未だ不明な点が多く、この影響を説明する解析モデルや算定式は確立されていない。

本研究では、漂流物を伴った津波が透過構造物に衝突・滞留する際の力学的挙動を、水理模型実験と数値シミュレーションの2つの面から検討・考察する。まず、循環水路に透過構造物を模した模型を設置し、船舶や木材を想定した細長い模型を作用させ、水理模型実験を行った。流水深や漂流物模型の投入本数を変化させ、透過構造物に作用する漂流物による荷重、滞留後の水位・流速等の推移を計測した。また、水理模型実験の結果をもとに、数値シミュレーション手法の検討を行った。

## 2. 実験概要

水理模型実験には本大学の循環水路を用いた。循環水路中に透過構造物を模した模型を設置し、水流を発生させ瓦礫模型を投入する。その後、透過構造物に働く力や水位の変化等の数値を計測し、瓦礫模型の挙動を記録する。本研究では、長い瓦礫模型と短い瓦礫模型の2種類を使用した。2種類それぞれについて、水位3パターン、投入本数3パターンの計9ケースの条件で実験を行った。



図-1 水理模型実験

\*Simulation of Tsunami with Drifting Debris on Permeable Structures by Kenji Hashimoto, Shinsuke Takase, Kazuya Nojima, Masaaki Sakuraba

### 3. 実験結果

図-2, 3 に、流水深 20.0cm・長い瓦礫模型を投入したケースの実験結果を示す。瓦礫の挙動として、水位や瓦礫投入本数によらず、透過構造物に衝突後、一時的な滞留・移動を繰り返し、安定・閉塞して緩やかに水流による間接荷重が増加する傾向が見られた。図-2 のグラフの 50 本投入したケースでは、瓦礫が透過構造物に完全に堆積・閉塞した段階で、急激に水位差が広がっていることが確認できる。25 本投入したケースでは、徐々に水位差が変化しているが、これは投入本数が少なく、完全に閉塞されなかったからだと思われる。図-3 のグラフでは、瓦礫の衝突力よりも、堆積後の間接荷重の方が大きいことが確認できる。また、瓦礫は衝突後、移動と堆積を繰り返すため、透過構造物に働く力も段階的に増加している。堆積時に水流による間接荷重が急激に増加し、移動時には緩やかに増加していると思われる。

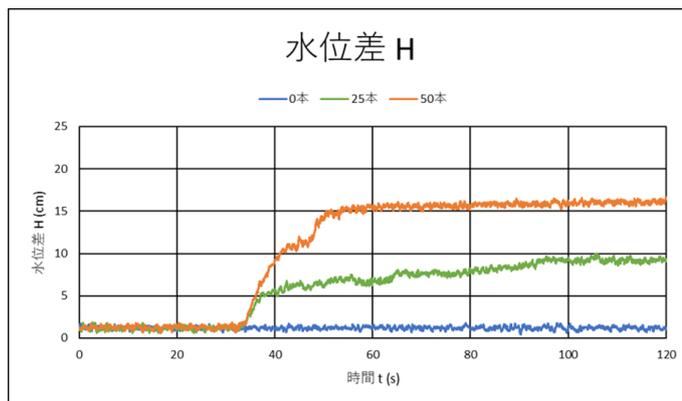


図-2 水位差の時刻変化

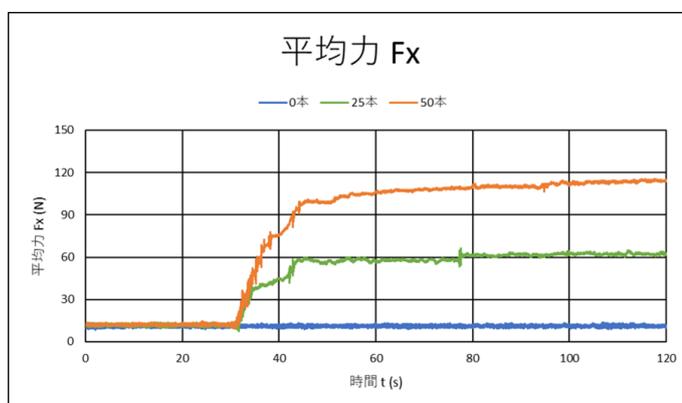


図-3 平均力の時刻変化

### 4. 数値計算結果

水理模型実験の結果をもとに、透過構造物における津波漂流物の挙動についての解析手法の検討を行った。解析手法は有限被覆法を用いており、図-4 のように現在安定して計算は流れている。

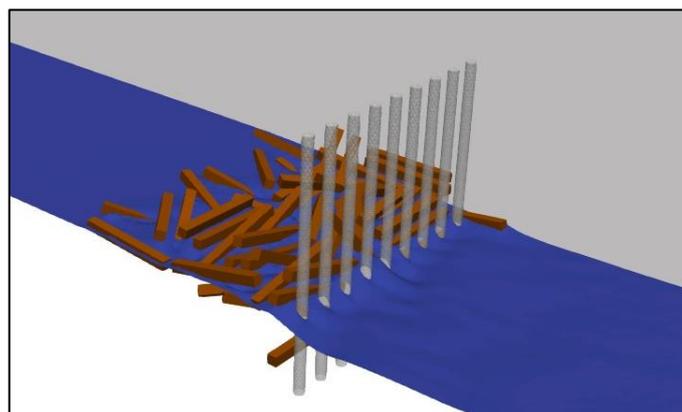


図-4 数値計算結果

### 5. おわりに

水理模型実験により、透過構造物に衝突した瓦礫が堆積・閉塞していく挙動を確認することができた。数値シミュレーションは現在も計算中のため、本発表ではシミュレーション結果まで含めて考察を行う予定である。今後は数値シミュレーションの精度向上が課題となってくる。

# 土砂を含む河川遡上津波が構造物に与える影響\*

秋田大学理工学部 小太刀 旬哉  
岡山理科大学理学部 鎌滝 孝信  
秋田大学大学院理工学研究科 齋藤 憲寿  
秋田大学大学院理工学研究科 渡辺 一也

## 1. はじめに

地震により発生した津波は、河口部などから土砂を含んで河川を遡上し氾濫することで市街地に被害を与える。津波氾濫水は、土砂を巻き込むことで密度が増加し、それに伴い水平力・鉛直力も増加することが松富ら<sup>1)</sup>により明らかにされており、河川遡上津波の実験において土砂、すなわち氾濫水密度を考慮することは重要である。また、2種類の土砂を用いて河川遡上津波を再現する研究<sup>2)</sup>は行われているが、土砂を含んだ津波氾濫水の波力に関する研究はまだ行われていない。

そこで本研究では、2種類の粒径の異なる土砂を用いて河川遡上津波を発生させ、構造物にかかる波力と土砂移動について検討を行った。

## 2. 実験方法

実験水路は、図1に示すすべり台状の開水路（幅0.34m、高さ0.2~0.3m）を用いた。また、土砂は東北硅砂株式会社の4号硅砂および7号硅砂を用い、中央粒径値はそれぞれ0.538mm、0.129mmである。水路の海側には7号硅砂を層厚6cm、川側には4号硅砂を層厚3cmで敷き、貯水槽（高さ0.5m、幅0.3m、奥行き1.7m）に水を貯めてゲートを急開することで津波氾濫流を発生させた。そして、超音波式水位計（KEYENCE社製、UD-50）で津波の波形を確認するとともに、水路末端で氾濫水を採取し、氾濫水密度を求めた。

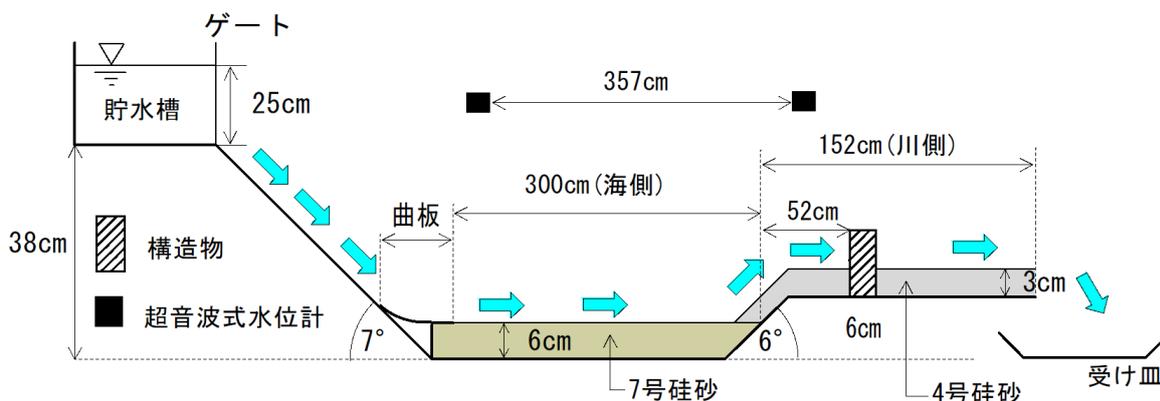


図1 実験水路

\*Influence of tsunami run up including sediments to river on a structure by Shunya KODACHI, Takano KAMATAKI, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

水路の川側には円柱状の構造物を設置し、前方に取り付けた圧力センサから津波の波力を計測した(図1, 2)。構造物の縮尺は秋田県にかほ市白雪川河口部にある白雪橋の橋脚幅を参考にし、1/19とした。圧力センサの設置位置は砂の表面から高さ1cmとし、計測間隔を0.05秒とした。貯水槽側から見た構造物の正面図を図2に示す。また、土砂層厚の変化を知るために実験前と実験後にポイントゲージを用いて土砂の層厚測定を行った。

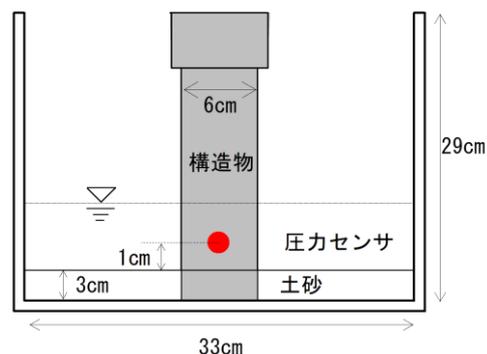


図2 構造物正面図

### 3. 実験結果

河川遡上津波の波力の経時変化を図3に示す。津波が圧力センサに衝突すると、波力が著しく増加し、その後時間が経過するにつれて徐々に減少する。また、採取した氾濫水から氾濫水密度を算出したところ  $1.12 \text{ g/cm}^3$  で、本実験の河川遡上津波が土砂を含むことを確認した。

実験前と実験後の土砂層厚を図4に示す。海側の始点から165 cmまでは洗掘により層厚が減少し、165 cmから375 cmまでは層厚が増加していることから、津波によって土砂が全体的に川側へ移動したと考えられる。また、水路表面を観察したところ、4号硅砂(川側)の上には7号硅砂(海側)の堆積が全体的に見られるが、構造物の周辺では洗掘により7号硅砂は見られなかった。

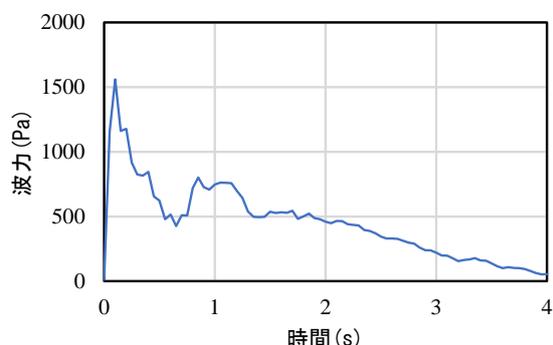


図3 波力の経時変化

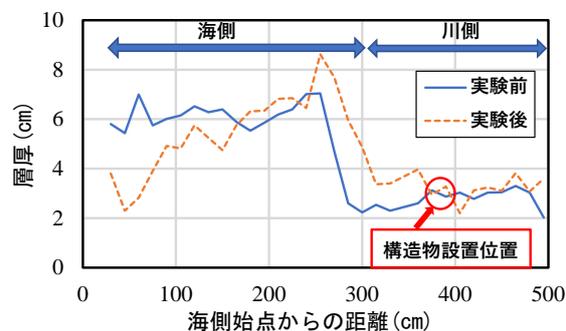


図4 土砂層厚の変化

### 4. おわりに

本研究では、河川遡上津波の衝突時に波力が増加することを確認し、水路全体と構造物周辺の土砂の堆積状況が異なることがわかった。講演では、本実験で得られた波力に関する実験値と理論値の違い、さらに堆積した土砂の分布様式と粒度分析結果について議論する。

### 参考文献

- 1) 松富英夫, 岡田隼人, 久保友寛, 今野史子: RC造建築物に作用する津波荷重の氾濫水密度への依存に関する基礎実験, 土木学会論文集(海岸工学), 74, 2, I\_265-I\_270. (2018).
- 2) 高桑充広, 鎌滝孝信, 齋藤憲寿, 渡辺一也: 河川遡上津波による土砂混合及び堆積に関する実験, 東北地域災害科学研究, 56, 69-74. (2020).

# 馬場目川における鉛直方向の粒度分布変化と 河床変動計算に関する検討\*

秋田大学工学部 中川 遥

秋田大学大学院理工学研究科 谷口隼也・渡辺一也・齋藤憲寿

## 1. はじめに

近年、台風や豪雨による洪水被害が頻発しており、河道における河床材料の粒度分布は土砂管理の観点からも重要な指標である。また、粒度分布から得られる平均粒径などは数値計算を用いた河川の実態把握や河道計画にも用いられている。しかし、粒径の考慮は河床表層に関するものが多く、より深い地点での河床材料に関する検討はあまり行われていない。

そこで本研究では、秋田県の馬場目川の中流域から河床材料を採取し、深さ方向における粒度分布を求めた。さらに数値計算を行い、混合粒径と一様粒径について検討を行った。

## 2. 研究方法

図-1 に示す砂州上から土砂の採取を行った。表層、深さ 30 cm および 50 cm から縦横 50 cm を目安に、各階層から約 6 kg の試料を採取した。土砂試料は JIS A1204 に則りふるい分け試験を行った。また、本研究では既往研究<sup>2)3)</sup>を参考とし、混合粒径として平面二次元計算を行い、土砂移動による河床変動に着目して検討する。



図-1 馬場目川平の下地区 (Google map より引用)

## 3. 結果

図-2 に採取した試料の粒径加積曲線を示す。表層と深さ 30 cm を比較すると、概形は同様であるが深さ 30 cm の方が粗いものが多い分布を示した。深さ 50 cm では粒径加積曲線の傾斜が緩く分布にばらつきがあった。また、図-3 に各ふるいに留まった砂の割合を表した占有率を示す。占有率のピークは表層で 10~19 mm、深さ 30 cm では 19~75 mm、深さ 50 cm では粒径 2 mm および 19 mm の 2 箇所で見られた。

得られた粒度分布を用いて 3 つの Pattern での数値計算を行った (表-1)。Pattern c の標高変化を図-4 に示す。全体として、おおむね滞筋に沿って河床が低下する傾向となり、特に図-1 における測線付近において河床変動は最も大きくなった。

図-1 における測線の変動計算後の横断面図を図-5 に示す。3 つの計算結果から条件に関わらず左岸側で堆積、右岸側で洗掘するという傾向が見られた。また、混合粒径の 2 つの Pattern を比較したところ違いは見られなかった。しかし、一様粒径と比較すると河床変動は小さかった。

\*Study on vertical change of particle size distribution and calculation of river topography at the Babamegawa River by Haruka NAKAGAWA, Junya TANIGUCHI, Kazuya WATANABE and Noritoshi SAITO

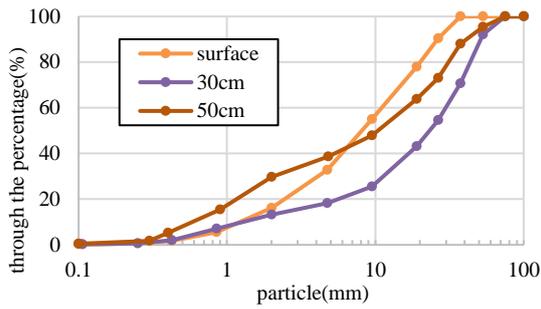


図-2 粒径加積曲線

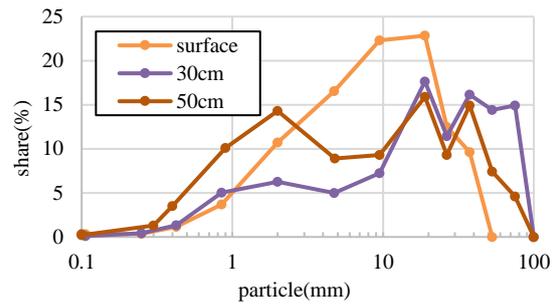


図-3 占有率

表-1 粒径入力パターン

Pattern	粒径設定	入力値
a	一様粒径	表層の中央粒径 7.8 mm
b	混合粒径	深さ 30 cm の層から得られた粒度分布
c	混合粒径	深さ 50 cm の層から得られた粒度分布

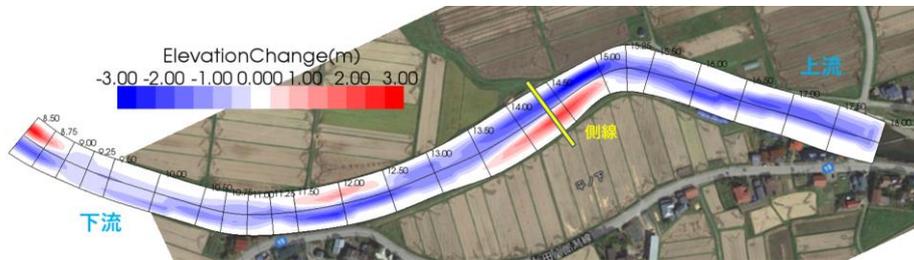


図-4 平面二次元計算による標高変化 (Pattern c)

#### 4. おわりに

計算結果から、一様粒径と混合粒径では河床変動に差が生じた。混合粒径における計算では深さの異なる地点の粒径を入れても大きな差はでなかった。今後はデータを増やして粒度分布の違いに関する考察、数値計算に関する検討を行う。

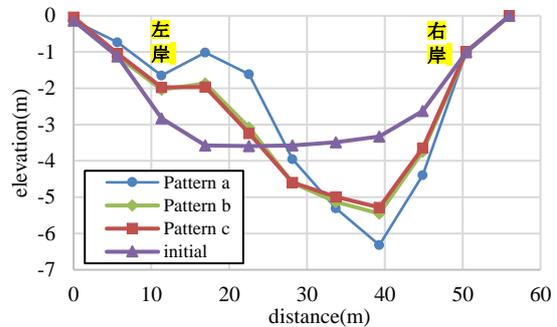


図-5 測線の横断面図

#### 謝辞

本研究を行うにあたり科学研究費補助金 (20H00256, 代表: 風間聡) の助成を受けた。ここに記し、謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 秋田県: 二級河川馬場目川水系 河川整備基本方針, 2007.  
<<http://www.pref.akita.lg.jp/pages/arghiv/10601>> (2020/7/5 アクセス)
- 2) 池森俊介, 渡辺一也, 萩原照通: 馬場目川における粒径を考慮した変動計算に関する検討, 土木学会東北支部技術研究発表会概要, II-25, 2017 (CD-ROM).
- 3) 植木洸太郎, 渡辺一也: 馬場目川における数値計算を用いた堤防被災に関する検討, 土木学会東北支部技術研究発表会概要, II-49, 2018 (CD-ROM).

# 秋田県白雪川における津波の河川遡上に関する検討\*

秋田大学 谷口隼也・渡辺一也・齋藤憲寿  
岡山理科大学 鎌滝孝信  
東北大学 田中 仁

## 1. はじめに

秋田県では過去の地震津波に関する情報が少ないという問題がある。そのため、今後の津波防災対策を充実させるためにも、地層中に残っている津波堆積物を調査し、古津波の情報を補完することが必要であると考えられる。秋田県南部沿岸では鎌滝ら<sup>1)</sup>によりボーリング調査が行われており、津波由来と考えられる堆積物が発見されている。

そこで本研究では、津波浸水域や浸水深と堆積物との関係を検討するため、秋田県にかほ市を流れる白雪川周辺を対象に津波の数値シミュレーションを行った。

## 2. 対象領域

本研究における対象河川は、秋田県にかほ市三森地区を流れる二級河川の白雪川である。計算領域は図1のように定めた。A、B点ではボーリング調査が行われており、B点において津波堆積物が確認されている<sup>1)</sup>。また、計算領域の沿岸部は浜堤のようになっており、計算領域とその周辺地域は最大クラスの地震が発生した場合、5～10 mの浸水が想定されている<sup>2)</sup>。

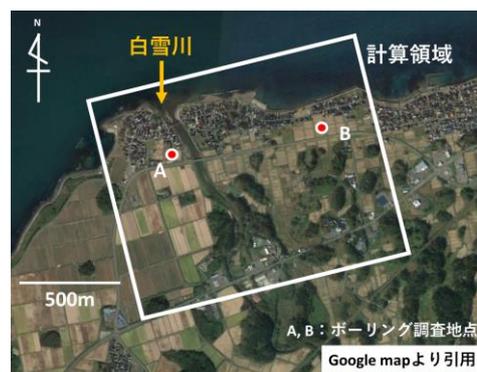


図1 計算領域

## 3. 計算手法

本研究では iRIC<sup>3)</sup>を用いて数値計算を行った。表1と表2に計算条件を、図2に入力した津波波形を示す。また、白雪川は平常時で流れがあまりない小河川であるため、河川流量は $0\text{ m}^3/\text{s}$ とした。入力した津波波形は、既往の研究<sup>7)</sup>を参考とした。

表1 使用データ

名称	データ内容
地形データ	5 m メッシュデータ
計算タイムステップ <sup>4)</sup>	0.01 s
潮位 <sup>5)</sup>	T.P. + 0.24 m
河川流量	$0\text{ m}^3/\text{s}$

表2 粗度係数<sup>6)</sup>

地形	粗度係数
海域・河川	0.025
住宅地	0.06
田畑域	0.02
森林域	0.03

## 4. 計算結果

津波到達直後の様子を図3に示す。図中のカラーバーは浸水深を示す。流速ベクトルから、津波は海岸に到達した後、浜堤を越えて

\*Study on River Run-Up of Tsunami at the Shirayukigawa River in Akita Prefecture by Junya TANIGUCHI, Kazuya WATANABE, Noritoshi SAITO, Takanobu KAMATAKI and Hitoshi TANAKA

A, B 点に到達していることが分かる。さらに、津波は海岸から 1 km 以上内陸まで到達することが明らかになった。

引き波の際、①浜堤を越える、②白雪川に流入する、③白雪川の右岸において東側に流れてから海に戻る様子が確認された。

次に、A, B 点における浸水深の変化を図 4 に示す。A 点において、最大浸水深は 10.6 m であった。ここで、最大浸水深に到達するまでに一度ピークが見られた。これは、津波が浜堤を越えて A 点に到達したほか、河川からも A 点に流入したためであると考えられる。

B 点において、最大浸水深は 6.4 m であり、A 点よりも小さい値となった。しかし、浸水深の低下が A 点よりも遅いことが分かる。これは、白雪川右岸に流入した津波が、引き波の際に東向きに流下し、B 点を通過して海に戻ったためであると考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、白雪川河口における津波到達後の様子と浸水深の変化について検討した。今後は津波波形の大きさを変化させ、感度分析を行う予定である。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、大成学術財団の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 鎌滝孝信, 安部訓史, 金澤 慎, 松富英夫: 秋田県南部の沿岸低地における過去の津波浸水域および履歴の検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 73, No. 2, I\_445-I\_450, 2017.
- 2) 秋田県: 秋田県津波浸水想定, 秋田県地震被害想定調査報告書, 553p., 2013.
- 3) iRIC Software Changing River Science <<https://i-ric.org>> (2020/11/18 アクセス)
- 4) 土木学会原子力土木委員会津波評価部会: 原子力発電所の津波評価技術, 59p., 2002.
- 5) (財) 国土技術研究センター: 津波の河川遡上解析の手引き (案), 105p., 2007.
- 6) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫: 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, 第 45 巻, pp.356-360, 1998.
- 7) 相田 勇: 1983 年日本海中部地震津波の波源数値モデル, 地震研究所彙報, 第 59 号, pp.93-104, 1984.

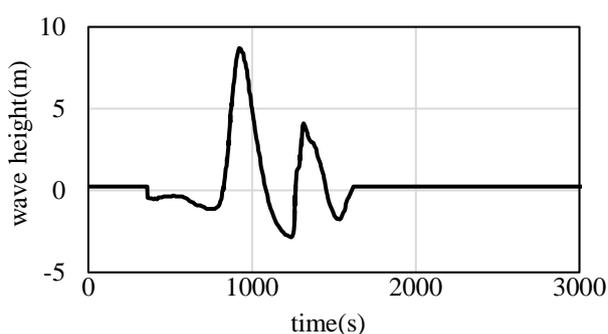


図 2 入力した津波波形

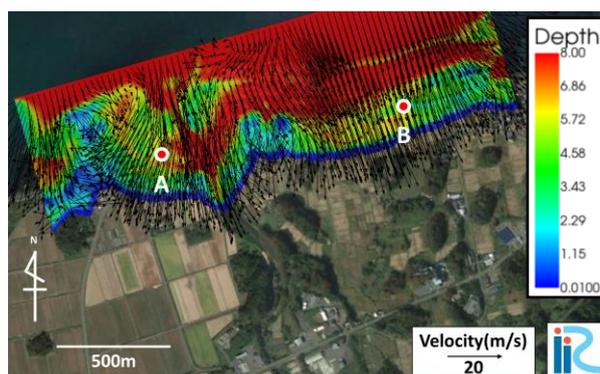


図 3 津波到達直後の様子 (920s)

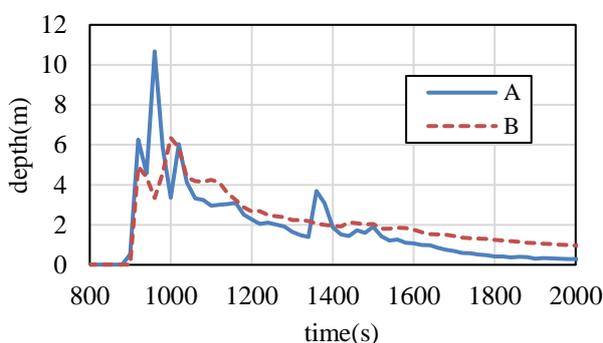


図 4 A, B 点における浸水深の時間変化

<第1会場>

— 第2部 (6題) —

司会：渡辺 一也 先生

12月26日(土)10:00~11:30

会議名 (第一会場\_26日)

# 災害発生後の教育機能継続観点による日本の災害対応評価\*

東北大学工学部 熊谷隆正  
東北大学災害科学国際研究所 佐藤 健

## 1. はじめに

### 1-1. 研究の背景

日本では発災後、小中学校を指定避難所として開設することが多い。劣悪な避難所環境改善の為に“小中学校へ避難することを前提に”様々な対策が考えられている<sup>1)</sup>。

東日本大震災時には学校教育機能の早期回復が子どものみならず、地域住民や保護者の心理的安定に寄与していた<sup>2)</sup>。学校は教育を通じて地域の復興に寄与することが期待されており、その為には学校教育機能の早期回復が必須である。

一方で、避難してきた人々が教室や体育館を使用する為、発災後長期に渡り児童・生徒が従来の学校生活を送ることが出来ない現状がある<sup>3)</sup>。他、校舎が損壊した他校の授業再開の為に自校の半分を貸し出す例<sup>3)</sup>や、学校のグラウンドが廃棄物置場や応急仮設住宅の建設地になってしまい、体育授業や部活動が制限される事例<sup>4)</sup>もある。

しかしながら、「住民の為の・住民側の視点による」研究が多くなされている一方で、「学校の教育機能維持の為の・学校側の視点による」研究は十分になされていない。

### 1-2. 研究の目的

日本と海外諸国における災害発生後の災害対応の現状、災害発生が現地の小中学校の教育機能維持に及ぼす影響を調査し、日本の災害時における適切な学校利用の条件と学校避難以外の避難可能性を明らかにすることを目的とする。比較を通じて日本と海外諸国それぞれの長短所を評価することで、小中学校の早期授業再開と日常の早期回復の一助となることが期待できる。

## 2. ヒヤリング調査

日本では災害により自分の住処を失うと、①指定緊急避難場所②指定避難所③応急仮設住宅④復興公営住宅という順番で住宅再建をしていくが、特に③④のフェーズにて小中学校では教育機能再開を妨げる要因が多々発生する。

これらの問題点が発生するフェーズやこれらの原因を作り出す制度について比較する為に、ドイツ、アメリカ、イタリア、タイ、ペルー、フランスの災害対応について、東北大学災害科学国際研究所の外国人教員を対象にヒヤリング調査を行った。成果の一部を以下に示す。

### 1) アメリカ：

スポーツ系ドームやコンベンションセンター、学校体育館等が避難所として開設された。仮設住宅としてトレーラーハウスやホテルが挙げられ、トレーラーハウスは自宅前に建てるのが基本である。尚、避難居住は米国赤十字、応急居住は FEMA がそれぞれ担当する。

### 2) イタリア：

---

\*Evaluation of Disaster Response in Japan from the Perspective of Continuing Educational Function after a Disaster by Ryusei Kumagai

国家組織である市民防護局の指示の下、発災後数日で被災者はテント避難とホテルに分かれて避難<sup>5)</sup>し、その後仮設住宅が建設される。テント村の開設にはスポーツフィールド等の広い敷地を一時的に利用するが、仮設住宅は広い空地に設置または森を開拓する例もある。

### 3) ペルー :

日本同様指定避難所の概念があり、小中学校やスポーツアリーナが指定されている。過去災害時には全避難者をアリーナ敷地内に収容しきれているが、仮に小中学校避難の場合でも基本的に屋内には避難者を入れない。その後は公園やスポーツコートにテントを張って生活をする。

日本の災害対応を基準として、各々のフェーズにおける各国の対応状況をまとめた(表1)。

表1 日本の住宅再建を基準とした各国の災害対応まとめ

	③指定避難所	④応急仮設住宅
ドイツ	体育館	親戚家で生活
アメリカ	ドーム, コンベンションセンター	トレーラーハウス
イタリア	テント・ホテル	木造仮設住宅
タイ	体育館・寺, テント	×
ペルー	スポーツアリーナ, テント	テント
フランス	無し(嵐が多い山地では小屋に避難)	×

### 3. まとめ

災害対応の初動が早いアメリカとイタリアでは、州長等が様々な権限を持ちながらも FEMA や市民防護局といった災害対策専門の国家組織が台頭している。またアメリカでは災害後の各フェーズ毎に対応に当たる機関が異なっており、対応が効率的であるという面も読み取れる。

アメリカ・ペルーでは避難所開設の際に、アリーナ等の広い施設を避難所として優先的に開放しており、学校開放は最終手段であるかのような印象を受ける。仮設住宅やテントの設置場所についても、アメリカ・イタリア・ペルーでは学校敷地を避けて設置している。

一方で日本は、災害後の全フェーズにおいて、市や県に責任が一任されている故に避難所が学校となり、仮設住宅が学校敷地に建設されている現状がある。また避難所現場では市や学校の職員へ大きな負担がのしかかっており、これらは改善していかなければいけない課題である。

### 4. 今後の予定

各国の文献や法制度の調査を進め、ヒヤリングで得られた情報の精度を高めていく。また、国連を始めとする国際的な機関が提示する災害時の学校利用についても調査し、日本の災害時における適切な学校利用の条件と学校避難以外の避難可能性を明らかにしていく。

#### <参考文献>

- 1) 文部科学省: 地域の避難所となる学校施設の在り方, [https://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2014/03/07/1344865\\_8\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2014/03/07/1344865_8_1.pdf)
- 2) 吉田尚史: 全町避難を強いられた教育委員会による「学校再開」に関する研究: 福島県浪江町を事例として, 学校経営学論集, p21-30, 2018.2
- 3) 宮城県石巻市立石巻中学校: 東日本大震災時の対応と授業再開までの道のり, <https://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/12396.pdf> (最終閲覧日: 2020.10.25)
- 4) 復興庁: 学校校庭にある仮設住宅に関する支援, [https://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat2/sub-cat2-7/20150929\\_kouteikasetu\\_gaiyo.pdf](https://www.reconstruction.go.jp/topics/main-cat2/sub-cat2-7/20150929_kouteikasetu_gaiyo.pdf) (最終閲覧日: 2020.10.25)
- 5) 塩崎賢明: <報告> イタリアの震災復興から学ぶもの, 災害復興研究, 10号, p105-124, 2018.12

# 名取市閑上地区における持続可能な地域再建に関する研究\*

東北大学工学部 五十嵐 凜  
東北大学災害科学国際研究所 佐藤 健

## 1. 研究の背景と目的

### 1-1. 研究の背景

名取市閑上地区は、東日本大震災による津波被害が同市の中でも特に甚大であり、沿岸部が災害危険区域に指定されたエリアのひとつである。閑上地区では、住民の移転先を巡った社会的合意形成に時間を要した。

本研究で取り上げる名取市閑上地区の地域再建に焦点を当てた研究を概観する。高橋ら<sup>1)</sup>は、復興計画の策定初期段階における住民協議会の形成・活動過程・機能について分析することで、震災復興における住民組織の効果と課題を挙げている。伊藤ら<sup>2)</sup>は、名取市の復興事業計画区域における自力再建者を対象としたアンケート調査を通して、自力再建者の就業種や世帯構成などの特性を明らかにした。酒井ら<sup>3)</sup>は、名取市閑上地区における震災復興計画の8年分の策定過程を文献・ヒアリング調査を通してまとめ、同地区における復興プロセスを詳細化した。

閑上地区の災害復興に関する既往研究では、主に震災発生から復興事業認可までの時期を取り上げているが、小中学校の新設後から現在までのプロセスにも着目した研究は見られない。

### 1-2. 研究の目的

本研究では、名取市閑上地区の復興・再建の経緯と特性を既往の研究よりもロングスパンで捉えることで、これからの閑上地区における持続可能な地域発展のために有効な手法と、次の災害発生時における地域の有効な再建手法を提案することを目的とする。また、持続可能な地域再建には親子世帯の導入が不可欠であると考え、それらと小中学校との関連性に着目する。

## 2. 閑上地区における地域再建の過程

閑上地区における復興再建の過程について、閑上地区で発行された地方紙「閑上復興だより」<sup>4)</sup>を参照し、閑上地区の復興再建の背景・特性について情報収集を行なった。同紙は閑上地区に密着し、復興状況に関する詳細な情報を震災後から2019年まで発信し続けた媒体である。

閑上地区の震災復興計画では、地盤の嵩上げによる現地再建が基本とされており、居住区域内は土地区画整理事業と防災集団移転促進事業が併用された<sup>5)</sup>。

また閑上小学校は震災発生後、同市内陸の不二が丘小学校に間借りをしていた。閑上中学校は不二が丘小学校に仮移転後、不二が丘小学校近くの十三塚運動公園内に仮設校舎が建設された。閑上小中学校は一貫校として2018年から新設し、県道亙理塩釜線の西側に立地した。

## 3. 閑上地区における近年の人口推移

先ず閑上地区全体の人口推移について統計調査を行なった。被災前の人口は約7000人であり、名取市全体の1割程度を占めていた。被災後人口は27年度まで大幅に減少していたが、28年以降は単調増加傾向にあり、全体で800人以上の増加がある。30年度以降は15歳未満人口が大幅に増加している。閑上地区では復興事業の難しさがあつた中でも、近年では閑上小中学校の新設

---

\*The Research of Sustainable Regional Reconstruction in Yuriage, Natori City by Ryo Igarashi

が人口増加に好影響を与えていると考えられる。

#### 4. 閑上小中学校の児童・生徒数の推移

続いて、震災後から現在までの閑上小中学校の全学年の児童・生徒数の推移データ\*から、閑上地区の人口推移と閑上小中学校の生徒数との関連性を明らかにする。新設直後の3年間、全生徒数が大幅に増加しているのが見てとれる。特に1年生、7年生(中学1年生)といった区切りの学年の増加分が他学年と比べて多いことから、学校の新設によって就学児童生徒の所属する親子世帯の導入がなされていると推察できる。

#### 5. ヒアリング調査

統計調査の結果を受け、人口増加の要因と世帯構成の変化をより詳細に調査するため、一般社団法人「ふらむなとり」にヒアリング調査を実施した。同団体は閑上地区住民を中心に構成され、震災後から現代にかけて閑上地区の復興状況に関する情報を発信している。

##### 5-1. ヒアリング調査の結果

閑上地区外からの移住人口(震災前に名取市の閑上以外の地区または仙台市街地に居住していた人口)が推定600~700人いる。また小中学校の生徒数は約300人程度であるが、そのうちの6割程度(約180~200人)が閑上地区外からスクールバスで通学している。

世帯構成としては親子世帯よりも高齢世帯が多いことがわかった。

また新規住民に対して閑上地区の風土や伝統といった文化的背景を伝える人材・機会が少ないことから地域への密着度が高くなく、今後は人口減少の可能性もある。

##### 5-2. ヒアリング調査結果の考察

増加分人口を占めているのは主に移住による新規住民であることがわかった。移住による新規住民が導入された要因として、移住時に支給される助成金が望めることや、仙台市街地よりも土地価格が安いなどといった経済的な要因と、区画整理事業による道路の使いやすさや街並みの一新といった生活的な要因が考えられる。

親子世帯よりも高齢世帯の方が多くことと、移住者の地区に対する密着度が低いことから、今後は人口が減少する可能性も考えられる。

#### 6. 総論と今後の展望

統計調査とヒアリング調査を通して、閑上地区の増加人口の内訳では震災で地区外への転居を余儀なくされた住民が戻ってきているよりも、移住による新規住民が多くを占めているということがわかった。また、閑上小中学校では閑上地区外から通っている児童生徒が多いことから、親子世帯が閑上地区に集中しているわけではないことがわかる。

今後は閑上地区の人口分布を年齢別・エリア別(丘区を含む)でより詳細に調査し、就学児童生徒の人数を定量的に調査する。震災前の閑上地区の住民の動向を調査し、住民が地区に密着するための手法を模索していく。

<参考文献>

1)高橋祐紀、姥浦道生:「震災復興計画策定初期における住民組織の形成とその機能に関する研究—名取市閑上地区を対象として—」,都市計画報告集, No.11, 2012.8

2)伊藤圭祐、立木茂雄、牧紀男、佐藤翔輔:「名取市の復興事業区域における自力再建者の特性に関する研究」,地域安全学会論文集, No.30, 2017.3

3)酒井俊史、村尾修:「名取市閑上における震災復興まちづくりの計画策定過程」,都市計画報告集, No.18, 2019.5

4)閑上復興だより実行委員会:閑上復興だより

5)名取市:閑上地区復興まちづくり全体説明会資料 [http://42.125.242.77/soshiki/kensetsu/yuriage-kitakama/node\\_28203](http://42.125.242.77/soshiki/kensetsu/yuriage-kitakama/node_28203)(最終閲覧日 2020.11.4)

6)名取市:地区別人口 <https://www.city.natori.miyagi.jp/soshiki/soumu/soumuka/toukei/tikubetsu>(最終閲覧日 2020.10.27)

\*閑上小・中学校の児童・生徒数のデータは宮城県教育委員会から提供していただきました。

# 新たな底面摩擦算定法を用いた津波の数値計算\*

東北大学大学院工学研究科 西脇 遼  
東北大学大学院工学研究科 田中 仁  
東北大学大学院工学研究科 Nguyen Xuan TINH

## 1. はじめに

従来の津波シミュレーションや海岸構造物の設計において、底面せん断力は定常流抵抗則により計算されていた。しかし津波のような長波においてマンシングの粗度係数を用いた底面摩擦の評価は妥当ではないとの報告が既往研究にてなされている。そのため、底面せん断力を適切に評価する新たな計算手法が必要とされている。本研究ではマンシングの粗度係数  $n$  に補正係数  $a$  をかけた新たな粗度係数  $n_0$  を用いた平面二次元計算を行い、マンシングの粗度係数を用いた従来の手法との比較を行った。

## 2. 研究方法

数値計算においては2次元浅水方程式(SWE)を用いた。式(1)が連続式、式(2)、(3)が  $x$ ,  $y$  方向の運動方程式である。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn_0^2 M}{D^3} \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn_0^2 N}{D^3} \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

ここで  $\eta$ : 水位(m),  $h$ : 水深(m),  $D$ : 全水深(m) ( $\eta+h$ ),  $g$ : 重力加速度( $m/s^2$ ),  $M$ :  $x$ 方向流量フラックス( $m^2/s$ ),  $u$ :  $x$ 方向の流速( $m/s$ ),  $N$ :  $y$ 方向流量フラックス( $m^2/s$ ),  $v$ :  $y$ 方向の流速( $m/s$ )である。

次に新たな粗度係数 $n_0(=an)$ の導出を示す。底面せん断力を求める際に用いる波動摩擦係数 $f_w$ と定常摩擦係数 $f_c$ の大小関係により補正係数 $a$ を算出する。 $f_w > f_c$ の場合 $a = \sqrt{f_w/f_c}$ となり、 $f_w < f_c$ では $a = 1.0$ となり、新たな粗度係数 $n_0$ が求まる。計算にて波動摩擦係数を使用するうえで底面水粒子軌道振幅 $a_m$ を求める必要がある。 $a_m$ は境界層外縁最大流速と周期を用いて表わされるが、津波などの実際の波は不規則波であるために規則波を用いることはできない。そこで今回は対象領域のメッシュごとの波高の時間的変化を求め、不規則波の最大値と最小値までの時間を半周期とし周期を求めた。数値計算ではSWEを陽形式のLeap-frog schemeで離散化して行う。数値計算の条件を表-1に示す。波の初期条件となる波源モデルには1枚の矩形断層における一様滑りを仮定した震源断層モデルを使用した。また計算領域には4つの領域を用いた。

---

\*Tsunami calculation using new bottom friction method by Ryo NISHIWAKI, Hitoshi TANAKA and Nguyen Xuan TINH

表-1 計算条件

項目	内容
断層モデル	東日本大震災 Ver6.2 の 44 小断層モデル
メッシュ構成	正方形格子を用いる 沖合から格子長を小さくした計算領域を接続
計算時間	地震発生から 5400 秒
初期条件	初期水位変動量を 海底地盤変位量の鉛直成分とする
境界条件	沖側は自由透過、 陸側は完全反射
計算時間間隔	0.5 秒
底質粒径	$d=0.3\text{mm}$

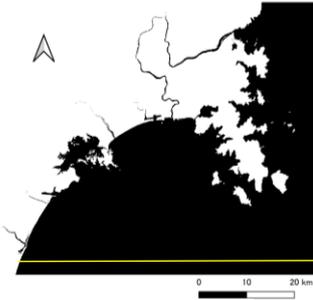


図-1 計算領域

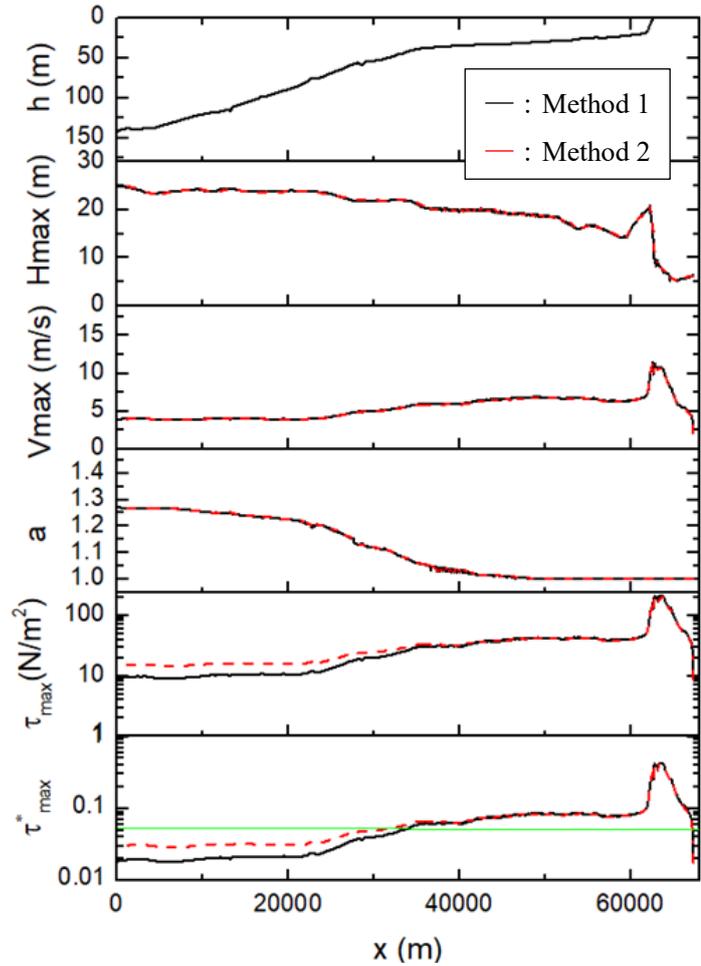


図-2 従来の手法と新たな手法の比較

### 3. 結果

図-1 に示した領域での計算結果を示す。この領域でのメッシュサイズは  $\Delta x = \Delta y = 45\text{m}$  である。従来の手法 (Method 1) と新たな手法 (Method 2) の比較を行うため、図-1 にて黄色の直線で示した一次元断面を取り、最大波高  $H_{max}$ 、最大流速  $v_{max}$ 、補正係数  $a$ 、底面せん断力  $\tau_{max}$ 、シールド数  $\tau_{max}^*$  を求めた。図-2 はその結果である。図の一番上は水深  $h$  の変化を示している。図の 2, 3 段目より  $H_{max}$  および  $v_{max}$  は手法による違いは無いことが確認された。また図の 4 段目の補正係数  $a=1.0$  となる水深 30m 以浅にて定常流摩擦係数が使用できることが示された。次に図の 5 段目の  $\tau_{max}$  では手法による違いが明らかとなった。図の一番下の部分では緑の直線で示した限界シールド数  $\tau_c^*(=0.05)$  を用いて底質の移動する深さを求めた。すると新たな手法では従来の手法と比べてより深い場所からの底質の移動が発生することが明らかとなった。

### 4. 終わりに

従来の手法と新たな手法におけるパラメータの共通点と相違点が明らかとなった。今後は、場所よるパラメータの特徴と実測値との比較を行う。

# 強い段波の平面二次元挙動特性\*

中央大学研究開発機構 松富英夫

## 1. はじめに

Matsutomi (2003)は斜面海域に斜め入射する津波によって形成されるエッジ・ポアの海域側での基礎的な平面二次元挙動特性を実験と理論（「段波における波向線法」と呼べる方法）の両面から検討した。その検討に対して、実験では測定の方法や精度の改善が望まれた。理論では強い段波（～砕波段波）の斜面上での基礎的な平面二次元挙動の解析結果が示されたが、強い段波の伝播がSnellの法則に従う水波（長波）の伝播に比べて直進性が強い理由の説明や他の挙動特性の深化が望まれた。

本研究は上記を背景に「段波における波向線法」用などとして導出された基礎式(Matsutomi, 2003)の考察・解析を通して、一様勾配斜面上に斜め入射する強い段波の伝播が水波の伝播に比べて直進性が強い理由を示すとともに段波高の増幅特性の深化を目的とする。

## 2. 基礎式

Matsutomi (2003)は斜面上に斜め入射（入射角 $\alpha$ 、初期入射角 $\alpha_0$ ）する強い段波の挙動を解析するため、次の仮定

- 1) 圧力は静水圧、
- 2) 段波前面の（海）水は静水状態、
- 3) 段波伝播方向（x軸方向）の水面傾斜角 $\delta$ は一定、
- 4) 検査領域内のx軸方向の流速 $u$ とy軸方向の流速 $v$ は $x$ や $y$ に依存せず、時間だけの関数、すなわち $u(t)$ と $v(t)$ 、

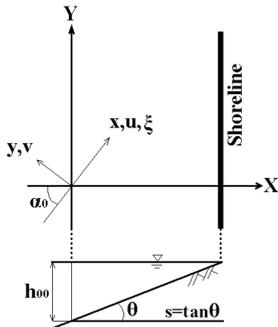


図-1 対象の海底地形と座標系

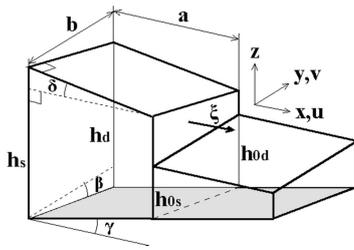


図-2 段波モデルと諸記号の定義

5) 検査領域内の段波高 $\Delta(y, t)$ の空間分布は直線

を導入し、段波における波向線法と呼べる方法の基礎式群(1)～(5)を提示した。対象の海底地形や座標系、諸記号の定義を図-1と2に示す。

$$\frac{dV}{dt} = f_1(V, u, v, \xi, V_y) = bh_{rc}u - b(h_{fc} - h_{0fc})\xi - vV_y \quad (1)$$

$$\frac{du}{dt} = f_2(V, u, v, \xi, V_y) = -\frac{bh_{0fc}u\xi}{V} + \frac{gb}{6V} \left( 3h_{rc}^2 + \frac{V_y^2}{4a^2} - 4h_{0fc}^2 + h_{0s}h_{0d} \right) - g \tan \gamma - f \frac{abu\sqrt{u^2 + v^2}}{V} \quad (2)$$

$$\frac{dv}{dt} = f_3(V, u, v, \xi, V_y) = -\frac{bh_{0fc}v\xi}{V} - \frac{gV_y}{ab} + g \tan \beta - f \frac{abv\sqrt{u^2 + v^2}}{V} \quad (3)$$

$$\frac{dV_y}{dt} = f_4(u, \xi, V_y) = \frac{V_y u}{a} + b \left( -\frac{V_y}{ab} + \tan \beta \right) \xi \quad (4)$$

$$\xi = f_5(V, V_y) = \sqrt{\frac{gh_{fc}(3h_{rc}^2 + V_y^2/4a^2 - 4h_{0fc}^2 + h_{0s}h_{0d})}{6h_{0fc}(h_{fc} - h_{0fc})}} \quad (5)$$

ここで、 $V$ は平面場 $a \times b$ における検査領域の体積、 $a$ と $b$ は平面場の各辺の長さ（両者の長さの影響は議論済み(Matsutomi, 2003)）、 $\xi$ は段波伝播速度、 $V_y$ は体積 $V$ の $y$ 微分、 $g$ は重力加速度、 $f$ は摩擦損失係数、 $\beta$ は $y$ 軸方向の斜面傾斜角、 $\gamma$ は $x$ 軸方向の斜面傾斜角、 $s$ は $x$ 軸方向の斜面勾配、 $h_s$ と $h_d$ は検査領域後端（沖側）の浅い側端と深い側端の全水深、 $h_{0s}$ と $h_{0d}$ は検査領域先端（陸側）の浅い側端と深い側端の全水深で、次式群の関係も用いている。

$$h_{rc} = \frac{h_s + h_d}{2} = h_{fc} + a(\tan \gamma + \tan \delta) = \frac{V}{ab} + \frac{a}{2}(\tan \gamma + \tan \delta) \quad (6)$$

$$h_{0fc} = \frac{h_{0s} + h_{0d}}{2} = h_{0s} + \frac{b}{2} \tan \beta = h_{0d} - \frac{b}{2} \tan \beta \quad (7)$$

\* Two-dimensional behavior characteristics of a strong bore over a sloping beach by Hideo MATSUTOMI

$$V_y = a(h_d - h_s) \quad (8)$$

$$\tan \gamma = s \cos \alpha, \quad \tan \beta = s \sin \alpha \quad (9)$$

### 3. 段波条件式

式(5)は次のように変形(伝播特性の見える化)ができる。

$$\xi = \sqrt{\frac{gh_{fc} [h_{fc}^2 - h_{0fc}^2 + \{(h_d - h_s)^2 - b^2 \tan^2 \beta\} / 12]}{2h_{0fc} (h_{fc} - h_{0fc})}} \quad (10)$$

見える化された式(10)は、段波先端における段波面 (y 軸) 方向の全段波水深 $h_{fc}$ の変化率(= $h_d - h_s / b$ )が同方向の斜面勾配(= $\tan \beta$ )より大きい場合は理想段波の伝播速度より速く伝播し、小さい場合は遅く伝播することを示す。

### 4. 段波高の増幅

段波先端の全段波水深 $h_{fc}$ に関して次の方程式を得る。

$$\begin{aligned} \frac{dh_{fc}}{dt} &\cong (\tan \gamma + \tan \delta) \left(1 - \frac{h_{0fc}}{h_{fc}}\right) \xi \\ &+ \frac{ag}{h_{0fc} \xi} \left(h_{fc} + \frac{a}{2} (\tan \gamma + \tan \delta)\right) \frac{d\Delta(y)}{dy} \left(\frac{d\Delta(y)}{dy} + \tan \beta\right) \end{aligned} \quad (11)$$

段波伝播方向に対して直角方向の水面勾配が0, すなわち段波高 $\Delta(y)$ の分布が一様 ( $d\Delta/dy=0$ ) な場合, 強い段波先端の全段波水深 $h_{fc}$ の増幅式として次式を得る。

$$h_{fc} = h_{fc0} \exp \left( \sqrt{\frac{g}{2h_{0fc}}} (\tan \gamma + \tan \delta) t \right) \quad (12)$$

ここで,  $h_{fc0}$ は初期 $t=0$ のときの $h_{fc}$ である。

### 5. 段波の挙動例と増幅式の検証例

強い段波の伝播, 段波高の増幅を論じ, 段波高増幅の一部の理論解(式(12))については実験値との比較・検討を通して有用性を検証する。そのときの実験値としてゲート急開による段波で得たMatsutomi(2003)のものを採用する。実験値例と実験装置の概略を表-1と図-3に示す。表中,  $h_1$ と $h_0$ はゲート上・下流側の静水深,  $\Delta_A \sim \Delta_D$ は測点A~Dにおける段波高,  $T_{AC}$ と $T_{BD}$ は測点AC間とBD間の段波の伝播時間である。

検証結果例を図-4に示す。 $\Delta$ は測点CまたはD,  $\Delta_0$ は測点AまたはBにおける段波高で, 添字 $e$ と $l$ は実験値と理論値の区別を示す。凡例の( )内の数値は水面勾配 $\tan \delta$ で, 理論解の検証例において採用した値である。

### 6. 主な結果

- 1) 段波伝播速度 $\xi$ は段波前面静水深 $h_{0e}$ , 段波高 $\Delta(y)$  (全段波水深 $h_{fc}$ と $h_{0e}$ の比である相対水深 $h_{fc}/h_{0e}$ とも言える), 段波伝播方向に対して直角方向の斜面勾配 $\tan \beta$ と段波高の分布勾配 $d\Delta(y)/dy$ に依存する。
- 2) 段波高の分布勾配 $d\Delta(y)/dy$ や斜面勾配 $\tan \beta$ の段波伝播速度 $\xi$ への影響を論じ, 強い段波の伝播は水波の伝播に比べて, 一部の条件(段波高 $\Delta(y)$ が沖へ行くにつれて高くなり,  $d\Delta/dy \geq 0$ の場合)を除き, 直進性が強いことを示した。

表-1 段波挙動実験の条件と結果例(Matsutomi, 2003)

$h_1$ (cm)	$h_0$ (cm)	$s$ (-)	$\alpha_0$ (°)	$\Delta_A$ (cm)	$\Delta_B$ (cm)	$\Delta_C$ (cm)	$\Delta_D$ (cm)	$T_{AC}$ (s)	$T_{BD}$ (s)
7	2	0.01	60	2.070	2.064	2.127	1.971	1.0397	1.0383
8				2.408	2.410	2.434	2.253	0.9621	0.9623
9				2.802	2.790	2.755	2.580	0.8840	0.8895

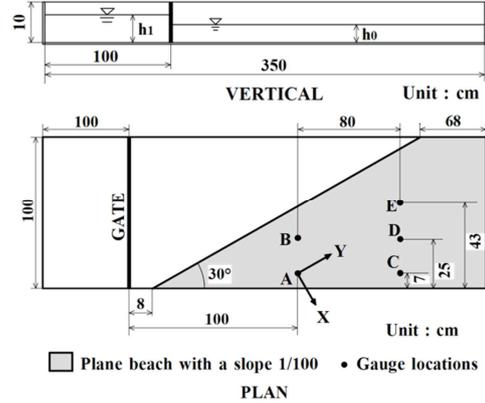


図-3 実験水路の概略と一様勾配斜面・測点の配置( $s=1/100$ )

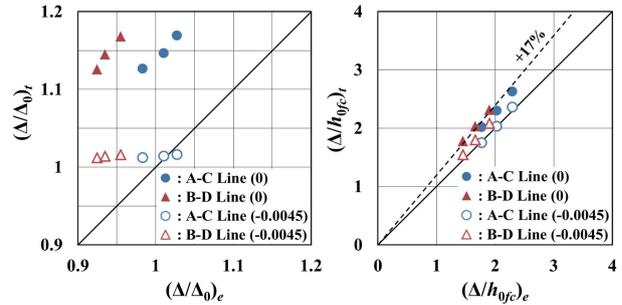


図-4 実験値と理論値の比較例 (左図: 段波高増幅率, 右図: 相対段波高, 凡例の( )内の数値は水面勾配 $\tan \delta$ )

- 3) 諸条件下の段波伝播速度 $\xi$ は段波前面静水深 $h_{0e}$ と相対水深 $h_{fc}/h_{0e}$ でほぼ決まり, 理想段波の伝播速度 $\xi$ で近似できる。
- 4) 全段波水深 $h_{fc}$ の増幅率 $dh_{fc}/dt$ は段波前面静水深 $h_{0e}$ , 相対水深 $h_{fc}/h_{0e}$ , 斜面勾配 $\tan \beta$ , 段波伝播方向の斜面勾配 $\tan \gamma$ と水面勾配 $\tan \delta$ , 段波高の分布勾配 $d\Delta(y)/dy$ に依存し, 諸勾配が大きくなれば, また段波前面静水深が浅くなれば, 大きくなる。
- 5) 段波高 $\Delta(y)$ の分布が一様 ( $d\Delta/dy=0$ ) かつ非常に強い段波の場合については全段波水深 $h_{fc}$ の解析解を導出し, 段波伝播方向の斜面勾配 $\tan \gamma$ や水面勾配 $\tan \delta$ が大きくなれば, 全段波水深 $h_{fc}$ の増幅高が高くなることを示した。
- 6) 勾配 $\tan \beta$ ,  $\tan \gamma$ ,  $\tan \delta$ が0かつ非常に強い段波の場合についても全段波水深 $h_{fc}$ の解析解を導出し, 段波高の分布勾配 $d\Delta(y)/dy$ は全段波水深 $h_{fc}$ の増幅にほとんど寄与しないことを示した。
- 7) 水面勾配が負の実段波の存在が示唆された。相対段波高による段波高増幅の検証は実態を反映しにくい。

# 流木モデルを用いた樹皮の剥離過程に関する水理実験\*

秋田大学工学部 佐藤 丈  
秋田大学大学院理工学研究科 谷口 隼也  
秋田大学大学院理工学研究科 齋藤 憲寿  
秋田大学大学院理工学研究科 渡辺 一也

## 1. はじめに

台風等の大雨による河川流量の増加に伴い水や土砂とともに流域の森林から樹木が流木となって流出し、河川周辺の地域に大きな被害を与えるという事例が頻発している<sup>1)</sup>。流木は流下中に樹皮が剥離する。この樹皮剥離過程を明らかにすることは流木の発生源の推定に繋がり、今後の森林管理にとって有用である。

そこで本研究では生木の樹皮を用いて流木モデルを作成し、平面循環水路を用いた水理実験により流木の樹皮剥離過程を検討する。

## 2. 流木モデルの作成

既往の研究<sup>2)</sup>では木の枝を流木モデルとして使用していたが、本研究では生木の幹部分の樹皮を用いて流木モデルを作成した。作成した流木モデルを図1に示す。樹皮を短冊状に切り、芯材に貼り付けた。さらに剥離箇所を画像解析するため、白色のスプレーを塗布した。

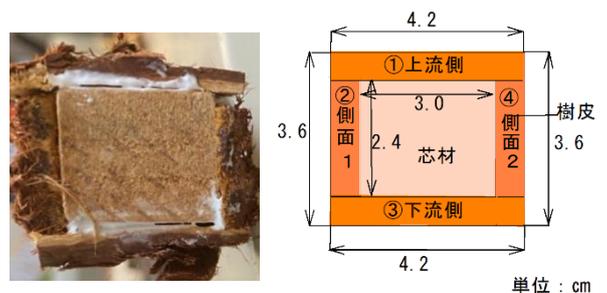


図1 流木モデル断面図

## 3. 実験概要

平面循環水路を用いて実験を行った。土砂は水路床から4 cm、水位は水路床から18 cmとした。水路の両壁にアクリル板を設置し、その上にクランプで芯材を挟んだ流木モデルを置くことで固定させた。固定した流木モデルの様子を図2に示す。実験時間は120分とし、60分までは10分おきに、その後は20分おきにポンプを停止させ、流木モデルの表面観察を行った。さらに流木モデルの各面を撮影し、画像解析を行うことで流木モデルの面積と剥離箇所の面積から剥離率を求めた。剥離率は以下の式(1)で求めた。

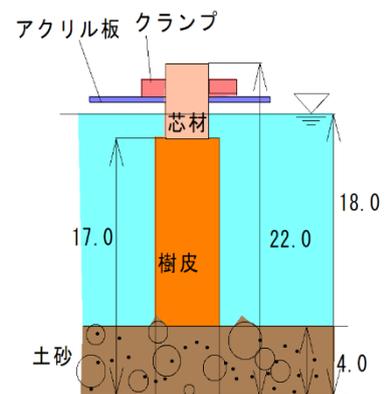


図2 実験概要

$$\text{剥離率(\%)} = \frac{\text{剥離箇所の面積(pixel)}}{\text{流木モデルの面積(pixel)}} \times 100 \quad (1)$$

\*Experimental study on the process of bark exfoliation using driftwood model by Jo SATO, Junya TANIGUCHI, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

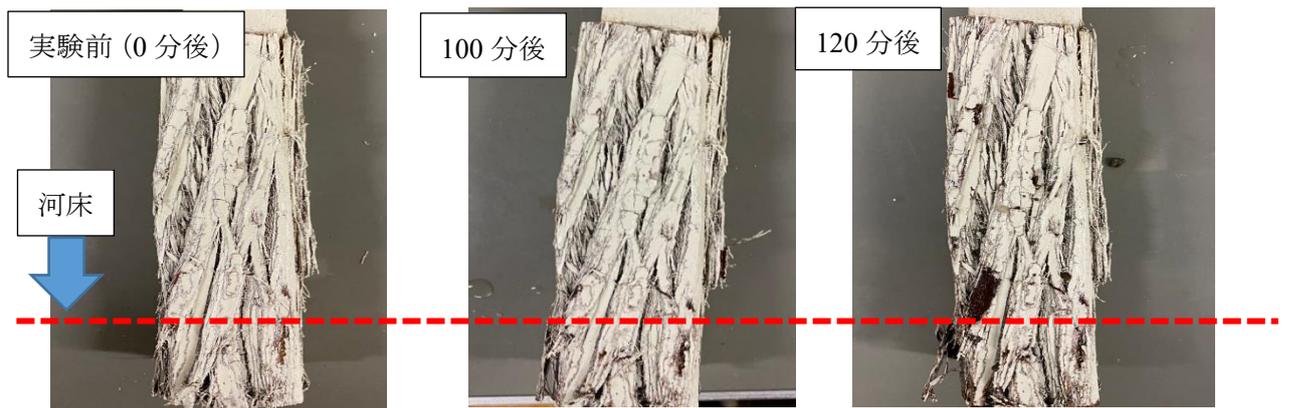


図3 流木モデルの変化（下流側）

#### 4. 実験結果

土砂を流木モデルに衝突させる実験を 120 分間行った。その結果、最も剥離率の値が大きくなったのは流側の 3.57 %，小さかったのは側面 2 の 1.77 % となった。下流側の実験前と、最も剥離率の変化が大きかった 100 分から 120 分の変化の様子を図 3 に示す。流木モデルの水面付近と河床付近を比べると、側面 2 では水面付近と河床付近の剥離は同程度であったが、他の 3 面では河床付近の樹皮の方が水面付近よりも剥離面積が大きくなった。粒径の大きい土砂は、浮き上がらずに河床を転がって流木モデルに衝突したため、河床付近の剥離の方が進行したと考える。

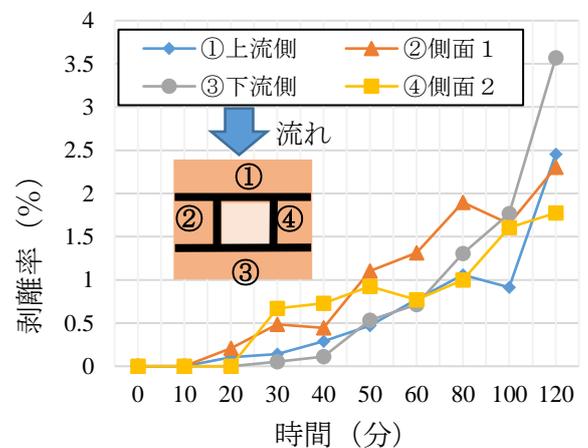


図4 剥離率の時間変化

#### 5. おわりに

本実験では流木モデルの樹皮の剥離が確認され、画像解析によって剥離率を算出できた。今後は各面の水面および河床付近での剥離率について検討していく予定である。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、秋田県木材産業共同組合連合会から試料の提供を受けた。ここに記し、謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：平成 29 年 7 月九州北部豪雨による土砂災害の概要＜速報版＞Vol. 6, ([http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h29\\_kyushu\\_gou/gaiyou.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h29_kyushu_gou/gaiyou.pdf)), (2020 年 11 月 15 日アクセス) .
- 2) 谷口隼也, 齋藤憲寿, 渡辺一也：平面循環水路を用いた樹皮の剥離過程に関する検討, 令和元年度土木学会東北支部技術研究発表会, II-40, 2020.

# 圧力センサを用いた漂流物に作用する波力の測定\*

秋田大学工学部 石塚 大智  
秋田大学大学院理工学研究科 齋藤 憲寿  
秋田大学大学院理工学研究科 渡辺 一也

## 1. はじめに

津波発生時において、浮体式津波避難シェルターなどの漂流物を用いた避難方法が有効であることが示されており、既往の研究<sup>2)</sup>では建物上に設置したシェルター模型の挙動や波力について検討が行われている。しかし、その検討においては、シェルター模型を固定した状態で波力を計測していたため、実際の津波に対する挙動とは大きく異なっていると考えられる。

そこで本研究は、漂流物に圧力センサを取り付け、移動可能な状態で波力を計測することを目的とし、今回は圧力センサの設定値について検討した。

## 2. 実験方法

幅 0.30 m、高さ 0.50 m、全長 11.0 m のうち海側の貯水槽が 5.0 m、陸側に斜面勾配 1/26 の斜面がある鋼製矩形水路を使用した。波高の計測は超音波式水位計を用い、圧力センサの先端から 8 cm 前方に設置した。本研究では、津波の第一波目を対象として、海側の水深を 6.7 cm とし、ゲートを急開することにより模擬段波を発生させた。実験水路の概略と測定機器の配置を図-1 に示す。

圧力センサは Measurement Specialties 製の MS5837-02BA を使用し、水路の底面から 2 cm の高さに設置した。なお、OSR（オーバーサンプリング比、以下 OSR）により計測の間隔や精度が異なるため、貯水深  $h$  を 20 cm 一定として波力の計測に最適な OSR 値を求めた。OSR 値と計測間隔の関係を表-1 に示す。

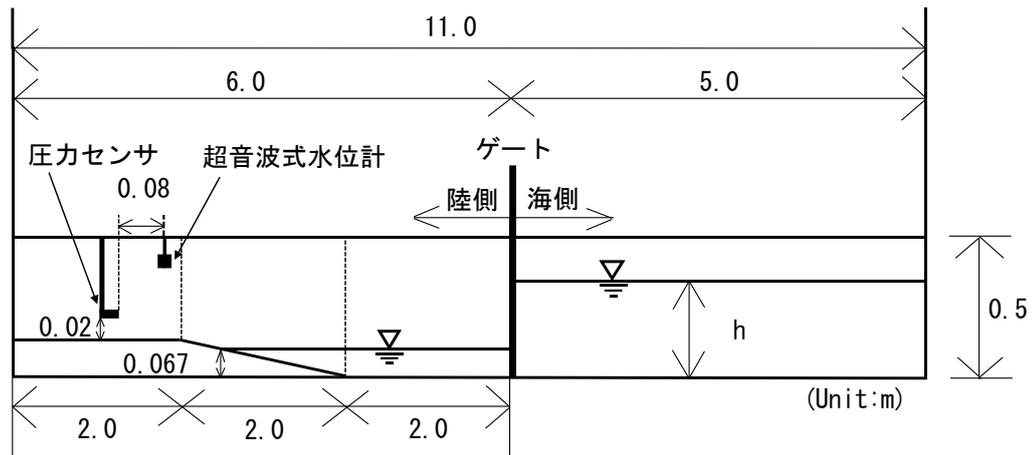


図-1 実験水路

\*Measurement of wave force acting on drifting objects using a pressure sensor by Daichi ISHIZUKA, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

### 3. 実験結果

OSR 毎の波力の経時変化を図-2 に示す。図-2 における OSR : 8192 の波形を見ると、津波が圧力センサに衝突すると波力は急上昇し、その後緩やかに低下している。さらに OSR : 2048 及び 1024 の波形と比較すると、波形及び最大波力は概ね一致しており、全ての OSR において、波力の計測が可能であると考えられる。したがって、計測の間隔と精度を考慮して、本研究では OSR : 2048 を採用することとした。

次に、貯水深  $h$  を 20 cm、30 cm 及び 40 cm とした場合における波高の経時変化を図-3、波力の経時変化を図-4 に示す。貯水深が高くなる程流速が増加し、津波が圧力センサへ到達する時間が短くなった。また、最大波高が大きくなる程最大波力が大きくなっていることから、圧力センサを用いて津波の波力を計測することが可能であることを確認した。

### 4. おわりに

本研究では、圧力センサの設定値について検討し、津波の波力の計測が可能であることを確認した。今後は、漂流物が移動可能な状態において、より細かく貯水深を設定し実験し、波力と貯水深の関係を検討する。

### 参考文献

- 1) 重松孝昌, 明知顕三, 小池敏也: 浮体式津波避難シェルターに関する基礎的実験, 海洋開発論文集, 第 24 巻, pp. 105\_110, 2008.
- 2) 蒔苗純, 齋藤憲寿, 渡辺一也: ロードセルを用いた浮体式津波避難シェルターの波力に関する検討, 東北地域災害科学研究, 第 55 巻, No56, pp. 101\_106, 2020.

表-1 OSR 値と計測間隔の関係

OSR	計測間隔 (s)
8192	0.07
2048	0.05
1024	0.04

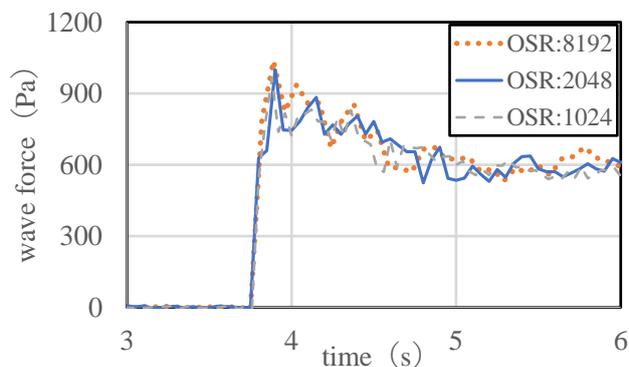


図-2 各 OSR の波力の経時変化

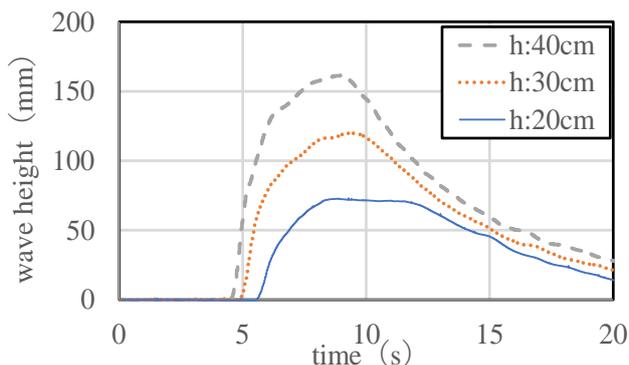


図-3 各貯水深の波高の経時変化

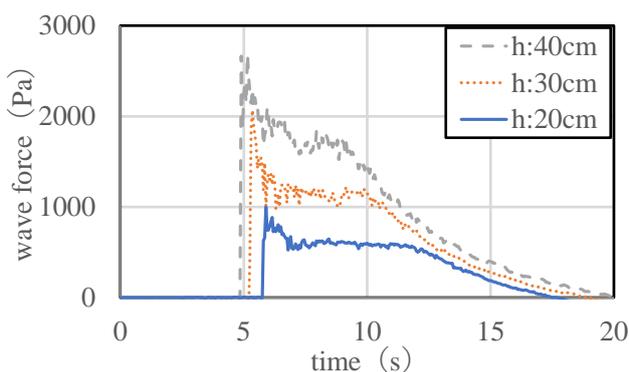


図-4 各貯水深の波力の経時変化

<第1会場>

— 第3部 (6題) —

司会：片岡 俊一 先生

12月26日(土)12:30~14:00

会議名 (第一会場\_26日)

# 北海道雌阿寒岳における深部・浅部低周波地震活動\*

弘前大学大学院理工学研究科 松野有希・小菅正裕・前田拓人

## 1. はじめに

内陸における深部低周波地震は、波形の卓越周波数が地震の規模に比して顕著に低く、岩石が脆性破壊を起こす下限深度（約15 km）を超える深さで発生する地震である。しかし最近、北海道函館付近では深さ10 km以浅での低周波地震の活動が報告された（野口・他，2017）。そこで我々は函館付近で臨時地震観測を行い、浅部低周波地震の発生を確認した。浅部低周波地震は脆弱破壊域での低周波地震であることから、その発生メカニズムが注目される。

これまで、函館以外の地域での浅部低周波地震の活動は明らかになっていないので、本研究では、浅部低周波地震が発生している可能性がある地域として雌阿寒岳に着目した。雌阿寒岳では深さ15~30 kmで低周波地震が発生し、深さ10~20 kmの範囲では低周波地震と通常の地震が重なって発生しているように見える。本研究では、地震の周波数成分の特徴を1つのパラメータで表すFI値を用いて低周波地震の客観的な判別を行い、雌阿寒岳近傍で発生する低周波地震活動の特徴を解明することを目的とする。

## 2. 低周波地震の識別

本研究ではFI値（Buurman and West, 2010）を用いて低周波地震の検出を行った。FI値は高周波帯域と低周波帯域の平均スペクトル振幅比の常用対数で表され、FI値が負の場合は低周波成分が卓越する。高周波・低周波の帯域は10~20 Hzと2~4 Hzに設定した。解析には、防災科学技術研究所高感度地震観測網Hi-net観測点と気象庁観測点の波形記録と観測値を用いた。解析期間は、2004年4月1日から2018年11月30日である。

一般に地震はその規模が大きいほど卓越する周波数が低いため、推定されたFI値にはマグニチュードによるバイアスがかかる。そこで、FI値のマグニチュード依存性を考慮して低周波とみなすしきい値を決めて低周波地震を判別した。推定されたFI値を用いた震源分布（図1左）を見ると、低周波地震は深さ10 kmより浅部でも発生している。1998年以降、気象庁一元化震源カタログに低周波地震を表すフラグが付けられるようになったが、その対象は10 km以深の地震であったため、雌阿寒岳周辺の浅部低周波地震にはフラグが付いていなかったと考えられる。

一元化震源データでは、平面的な位置は異なるが、深さ10~15 kmでは高周波地震と低周波地震の両方が発生しているように見える（図1右）。これは震源決定精度に起因する可能性があるため、近接する地震ペアからの観測走時差と理論走時差を用いた高精度震源決定であるDouble Difference（DD）法（Waldhauser and Ellsworth, 2000）を用いて震源再決定を行った。再決定の結果（図1右）では、高周波地震と低周波地震の震源は深さ13 km程度を境に分かれている様子が明らかになった。また、低周波地震は深さ15 kmを境に2つのクラスターに分か

---

\*Deep and shallow low-frequency seismic activity at Meakan-dake volcano in Hokkaido by Yuki Matsuno et al.

れているようにも見える。深さ 10 km よりも浅部での低周波地震の震央は雌阿寒岳に近く、それらの活動は雌阿寒岳の火山活動時期と対応する場合としない場合があることがわかった。

### 3. 波形相関に基づく地震の分類

低周波地震の発生時系列を調べたところ、2016年11月から2017年1月にかけて、地震波形がよく似た低周波地震がほぼ等しい時間間隔で発生していることを見いだした。プレート境界においては繰り返し地震が多数報告されている (Uchida and Matsuzawa, 2013) が、繰り返し低周波地震の報告例はない。そこで、地震波形の相互相関を用いて地震の分類を行い、震源位置と発生時間間隔を調べた。

その結果、深さ 15 km 以深の低周波地震は3つのグループに分けられた。上記の地震グループは深さ 16 km 付近で発生したもので、長期的には数年間隔で、短期的には4~8日間隔で発生する特徴が明らかになった。また、深さ 21 km 付近の低周波地震グループは、2015年12月23日~2016年4月7日の比較的短期間に135個も発生した。これらは小規模でFI値が求められなかったため、図1には示されていない。このグループの地震は2008年と2018年にも発生したが、いずれも短期間に集中的に発生するという特徴があった。

### 4. まとめ

本研究では、FI値を用いて低周波地震の客観的な判別を行い、さらにDD法を用いた精密震源決定を行った。その結果、高周波地震と低周波地震の震源は深さ13 km程度を境に分かれることが明らかになった。地震波形の相互相関を用いて地震の分類を行ったところ、深部低周波地震は3グループに分けられ、発生時系列の特徴が異なることが明らかになった。

### 謝辞

本研究では気象庁観測点の波形データ、一元化処理震源と検測値、及び国立研究開発法人防災科学技術研究所高感度地震観測網 Hi-net の波形記録を使用した。関係機関に感謝いたします。

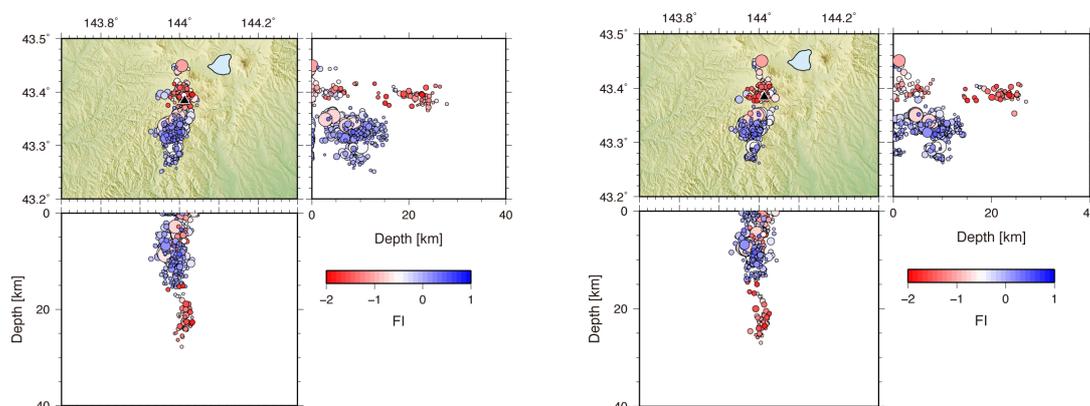


図 1. 気象庁一元化震源による震源分布 (左) と DD 法によって再決定された震源分布 (右)。震源を表す丸の大きさはマグニチュードに比例し、色は FI 値を表す。雌阿寒岳の位置を黒い三角印で示す。

# 福島県の Hi-net 観測点で観測された常時微動の地震波干渉法 解析による Rayleigh 波位相速度の二次元分布の推定\*

岩手大学大学院総合科学研究科 土屋隆  
岩手大学理工学部 山本英和 齊藤剛

## 1. はじめに

我々は、2012 年度から(公財)地震予知総合研究振興会の協力のもと福島県直下で発生する地震の発生メカニズムを解明するために研究を行ってきた (山本ほか, 2016)。本研究では福島県の Hi-net および地震予知総合研究振興会が設置した広帯域地震計リニアアレイで観測された常時微動記録に Ekström et al. (2009) が提案したゼロクロス法をそれぞれ適用し、2 点間の位相速度の推定法について検討を試みる。また、Hi-net と広帯域リニアアレイから得られるそれぞれの位相速度の結果を比較検討し、結果の妥当性を検証する。

## 2. 使用データとクロススペクトルの算定

図 1 に Hi-net 観測点と広帯域リニアアレイの位置を示す。使用した Hi-net 観測点は福島県内の全 21 観測点で、期間は 2012 年 9 月から 2013 年 1 月までの 5 ヶ月間である。また、広帯域リニアアレイ観測は 2011 年 8 月から 2014 年 2 月まで実施され、使用期間は Hi-net 観測点と同様である。観測システムは山本ほか.(2016)に示されている。

また、前処理として時間規格化、二値化、スペクトルホワイトニングを行い(例えば、Bensen et al., 2007)、一時間波形に対して FFT 処理により規格化クロススペクトルを算出した。例として、Hi-net 観測点 H.YBKH(矢吹)と H.MKJH(都路) の 2 点間の規格化クロススペクトルの実部を図 2 に示す。上から順に一時間、一日、一ヶ月、五ヶ月と平均した規格化クロススペクトルを表している。短時間平均では見られなかった特徴的な振動が長時間平均により確認できるようになった。さらに、算出したクロススペクトルにノイズによる小さな影響を除くため移動平均操作を行い、平滑化した。

## 3. ゼロクロス法による位相速度推定

図 3 に、観測点 H.YBKH(矢吹) と H.MKJH(都路) のクロススペクトルとゼロクロス法から推定した Rayleigh 波位相速度分散曲線を示す。同時に気象庁(JMA)の一次元速度構造から計算された位相速度分散曲線 (上野ほか, 2002) も示し、比較することにより一番近い分散曲線を選定した。図より 0.13Hz から 0.96Hz までスペクトルの振動を確認し、ゼロクロス点を判別することができた。これから計算された位相速度は 0.2Hz で 3200m/s, 0.4Hz で 3100m/s, 0.6Hz で 3000m/s, 0.8Hz で 2800m/s となった。また、同等の距離(約 45km)であっても観測点の組み合わせが変わると、地域によって位相速度分散曲線が変わることもわかった。このような方法で Hi-net の組み合わせ 96 通り、および広帯域リニアアレイの組み合わせ 28 通りでそれぞれ位相速度を推定した。

---

\* Estimation of two-dimensional distribution of Rayleigh wave phase velocities by seismic interferometry analysis of microtremors observed with Hi-net stations in Fukushima Prefecture by T. Tsuchiya, H. Yamamoto and T. Saito

#### 4. 位相速度の二次元分布推定と比較

図4に0.5HzにおけるHi-net観測点と広帯域リニアアレイから得られた位相速度を経路ごとに示す。リニアアレイの西側のNo.8からNo.10周辺では2300から2500m/sを示している。同じ地域でHi-netから得られた経路ごとの位相速度も同様の速度を示している。また、リニアアレイの中央部のNo.5からNo.7周辺では約3000m/sを示している。同様に同じ地域でHi-netから得られた経路ごとの位相速度も速い速度を示している。これらの結果からリニアアレイの場合もHi-netの場合も同じ領域の経路の位相速度は調和的であることがわかる。よって本研究で得られた速度は妥当なものであると考えられる。

#### 謝辞

広帯域リニアアレイの記録は(公財)地震予知総合研究会から提供していただいた。Hi-netの記録は(国研)防災科学技術研究所から提供していただいた。深く感謝いたします。

#### 参考文献

- Bensen, G.D., et al. (2007), Geophys. J. Int., 169, 1239-1260.  
 Ekström et al., (2009), Geophys. Res. Lett. 36, L18301  
 山本ほか (2016), 東北地域災害科学, 52 巻, pp. 263-268.  
 上野ほか (2002), 験震時報, 65, pp. 123-124.

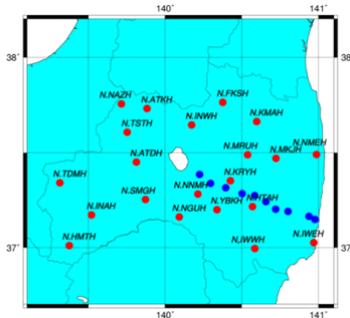


図1 福島県のHi-net観測点(赤)と広帯域リニアアレイ観測点(青)

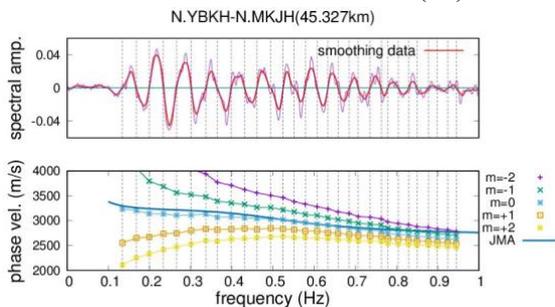


図3 観測点N.YBKH(矢吹)と観測点N.MKJH(都路)のクロススペクトルと推定位相速度

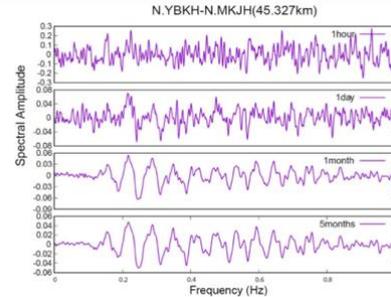


図2 Hi-net観測点H.YBKH(矢吹)H.MKJH(都路)の2点間の規格化クロススペクトル

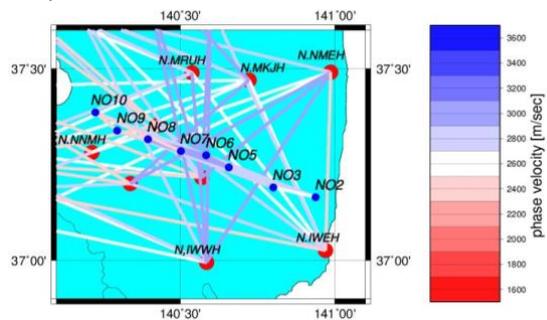


図4 0.5HzにおけるHi-net観測点と広帯域リニアアレイから得られた経路ごとの位相速度分布の比較

# 稠密微動アレイ探査による盛岡市における地盤増幅率の評価\*

## -盛岡市青山地区および本宮地区を対象として-

岩手大学理工学部 山本英和, 菅生琳, 齊藤剛

### 1. はじめに

我々は、岩手県盛岡市青山地区および本宮地区においてアレイ半径 60 cmの極小アレイ探査を行い、表層 10m 程度までの地盤構造の推定（多田ほか, 2019）、および地盤増幅率の評価を行ってきた（大場, 2019）。しかし、地盤増幅率を正確に把握するためには、地表から 30m 程度までの地盤構造を把握することが重要である。そこで本研究では、同地域で微動計間隔 10~20m の 3 点微動アレイ探査を行い、地表から 30m 程度までの地盤構造の推定し、地盤増幅率の評価を行った。

### 2. 3 点微動アレイ観測及び位相速度の解析

微動観測は、2019 年 10 月 10 日, 23 日, 24 日および 11 月 6 日に岩手県盛岡市青山地区および本宮地区で実施した。大場 (2019) による 2018 年に微動観測した地点と同じ地点で、約 200m 間隔で観測を実施した。微動観測には白山工業株式会社製の微動計 JU310 を 3 台用いた。サンプリング周波数 200 Hz, 1 ヶ所の測定時間は 15 分である。微動計間隔は 10~20 m である。

空間自己相関 (SPAC) 法により、位相速度分散曲線を計算した。観測された上下動微動を 20.48 秒区間ごとに分割し、クロススペクトルを算出し、方位平均をとり、空間自己相関係数を算定した。観測された SPAC 係数を第 1 種 0 次のベッセル関数に適合し、レイリー波位相速度分散曲線を得た。

### 3. S 波速度構造モデルの推定

レイリー波位相速度分散曲線から S 波速度構造モデルを推定した。まず、観測位相速度分散曲線を満足するような S 波速度と層厚を仮定する。次に、位相速度とレイリー波楕円率の理論値を計算し、両者の観測値に適合するように S 波速度構造モデルの修正を行った。また、大規模アレイ微動探査から得られた深部速度構造の結果も参考にした。

図 1 は、本研究で推定された深部 15m までの S 波速度構造に、大場 (2019) で推定された深部 15m までの S 波速度構造を重ね合わせた図の例である。本研究の観測を「2019」、大場 (2019) を「2018」と観測年で示している。本宮地区の観測点 B2 では、本研究と昨年得られた S 波速度構造が浅部ではほぼ同じ構造をしていることがわかる。極小アレイ観測だけでも位相速度 350m/s という比較的速い値を観測できたためだと考えられる。一方、青山地区の観測点 D3 では、本研究と昨年得られた S 波速度構造が、特に、基盤の深度などが大きく異なっていることがわかる。その理由として、極小アレイ観測だけでは速い位相速度（長い波長の位相速度）を観測できず、昨年の解析では、硬い層の深さをあくまでも仮定して S 波速度構造を推定していたためと考えられる。

---

\*Evaluation of site amplification in Morioka City by using dense microtremor array exploration by Hidekazu Yamamoto, Rin Sugo and Tsuyoshi Saito

#### 4. 増幅率の算出

地盤増幅率を算出するために、30m 平均 S 波速度(AVS)を算出する必要がある。前節で推定した S 波速度構造から、地表から深さ 30m までの平均 S 波速度 (AVS) を算出する。そして得られた AVS の値を、藤本・翠川の式に代入することにより増幅率を算出する。その結果を、J-SHIS(地震ハザードステーション)で公開されている増幅率の図面上に今回の観測で得られた増幅率の値を丸印でプロットした (図 2)。青山地区では増幅率の実測値は 1.3~1.8, 本宮地区では 0.9~1.3 の値を示していた。本宮地区に関しては、多くの観測点で昨年との結果とあまり差がないことが確認された。また、青山地区では本研究の結果と昨年との値が 0.1 以上異なっていることがわかり、最大で -0.25 の差が確認された観測点が存在した。

#### 5. まとめ

本研究では J-SHIS で公開されている増幅率が大きい青山地区, 小さい本宮地区で観測を行った。J-SHIS の増幅率が小さい本宮地区では本研究の増幅率と昨年のものとの差が認められなかった。一方、J-SHIS の増幅率が大きい青山地区では昨年との差が大きかった。このことから、増幅率の大きいとされている地域では、極小アレイ(半径 0.6m)の観測だけでは精度の高い増幅率を得ることができないため、間隔 10~20m のアレイ観測をする必要があると考えられる。

#### 参考文献

藤本, 翠川 (2006) : 日本地震工学会論文集, Vol.6, No.1, pp. 15 - 20.

大場 (2019) : 岩手大学工学部 卒業論文.

多田ほか (2019) : 東北地域災害科学研究, 第 55 巻, pp. 191-196.

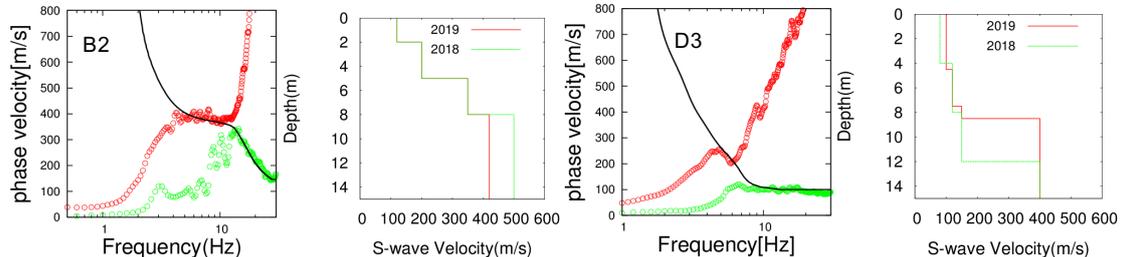


図 1 観測点 B2 で得られた位相速度分散曲線, S 波速度構造と, 観測点 D3 で得られたもの. 位相速度は極小アレイの結果が緑色, 10m アレイの結果を赤色で示す。大場 (2019) の結果を緑色, 「2018」, 本研究の結果を赤色, 「2019」と示す。

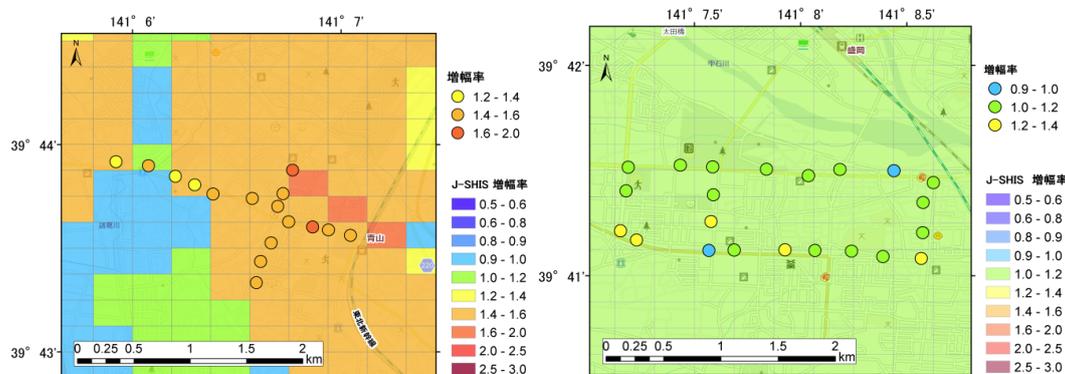


図 2 J-SHIS の増幅率と観測から得られた増幅率(左: 青山地区 右: 本宮地区)

# 経験的手法による折爪断層による三戸郡内の地震動予測\*

弘前大学 片岡俊一

## 1. はじめに

青森県には幾つかの活断層があり、その活断層が活動した際の地震動の強さは地震本部が推定している。しかしながら、そこで用いられている地盤増幅度は経験的に推定されたものである。そこで、著者らは微動アレー観測から求めた波長 40m の位相速度（以下、C40）や K-NET 等の速度構造データ等の実測値を用いて、青森県内とその周辺の強震観測点の位置での震度を予測した<sup>2)</sup>。

既報では実測結果を重視したために、断層近傍での推定が少ない。そこで、本報告では青森県南東部に位置する折爪断層を対象に、その近傍に位置する三戸郡階上町、五戸町、南部町で微動アレー観測を行い、C40 を求め、その結果を利用して折爪断層による地震動を評価した。

## 2. 新たに観測した地点の C40

本報告では、階上町 5 地点、五戸町 8 地点、南部町 6 地点で微動アレー観測を行った。これらの地点の多くは、各町の避難所となっている。計測した地点を図 1 に示す。

辺長が約 10m の正三角形の頂点と重心に鉛直動が計測できる微動計を設置し、200 秒の微動を 3~5 回計測した。空間自己相関法を用いて、その結果から位相速度を振動数毎に求め、さらに、波長 40m での位相速度（C40）を求めた。

C40 は表層 30m の平均 S 波速度（以下、AVS30）とほぼ同一であることが知られており<sup>3)</sup>、青森県の数カ所でも、このことは確認している<sup>4)</sup>。そこで、J-SHIS で公表されている Web API を用いて、アレー観測地点の AVS30 を求めて比較したところ、対応関係はあまり良くなかった。

## 3. 折爪断層のモデル化と地震動予測結果

折爪断層のモデルは、地震本部が地震動予測に用いているパラメータ<sup>5)</sup>と全く同じ、マグニチュードは 7.6、断層長さ 47km とした。断層面の走向、傾斜、上端面の深さも同じとした。

司・翠川による最大速度を予測する式<sup>6)</sup>のうち、断層面最短距離を用いる式を用い、最大速度を求め、C40 を AVS30 とし、藤本・翠川による増幅率<sup>7)</sup>を利用して地表の最大速度を求めた。その結果を翠川・他による経験式<sup>8)</sup>により、計測震度に変換した。

予測された震度を表 1 に示す。階上町は震源断層から遠いために、

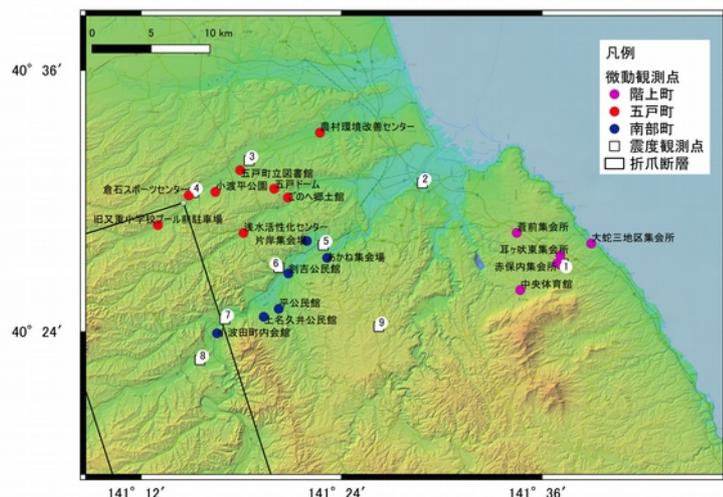


図 1 観測した地点と既設の震度観測点折爪断層の投影位置

\* Estimation of ground motion intensity induced by Oridume fault in Sanriku-gun district using empirical method by Shunichi Kataoka

いずれの観測点も震度5強以下であるが、五戸町と南部町の観測点はいずれも震度6弱以上となっている。推定した計測震度の最大値である6.3となるのは、震源断層にもっとも近い地点と比較的に増幅倍率が大きい地点の2箇所であった。

本報告の推定値とJ-SHISの推定値とを比較したところ、19地点中14地点で同じ震度階級となった。震度の違いは1階級であり、2階級異なる地点はなかった。また、五戸町と南部町では「ゆれやすさマップ」が用意されている。この地図の作成方法は不明であるが、様々な地震を考慮した上で最大の

震度を表示したものである。この地図と推定結果とは14地点中6地点で同じ震度階級となった。

#### 4. おわりに

三戸郡の19地点において地盤増幅度を実測値から推定して、折爪断層が活動した場合の震度を求めた。地震動予測地図で利用された平均S波速度と本検討の結果は異なっていたが、最終結果である震度では19地点中14地点で同じ階級となった。

#### 謝辞

本報告は、弘前大学理工学部地球環境防災学科の令和元年度卒業研究として木島悠介君が行ったものを再整理したものである。微動観測は、当時の4年生に手伝って貰った。

#### 参考文献

- 1) J-SHIS 地震ハザードステーション 想定地震地図、<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>
- 2) 片岡・上口：青森県周辺の活断層による県内各地の震度予測、平成25年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集、I-41、2014
- 3) 長尾・紺野：常時微動アレー観測に基づく表層地盤の平均S波速度の推定精度に関する研究、土木学会論文集、No.654/I-58、225-235、2002
- 4) 片岡・菅原：青森県津軽地域の震度観測点における表層地盤の平均S波速度の推定、第38回地盤工学研究発表会（秋田）、2091-2092、2003
- 5) J-SHIS 地震ハザードステーション、<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/JSHIS2/data/S/V2/F001101/S-V2-F001101-DEF.pdf>
- 6) 司・翠川：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集、No.523、63-70、1999
- 7) 藤本・翠川：近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係、日本地震工学会論文集、6、No.1、11-22、2006
- 8) 翠川三郎・他：計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係、地域安全学会論文集、vol.1、51-56、1999

表1 予測結果など

町名	観測点名	微地形区分	本研究		J-SHIS		ゆれやすさマップ
			AVS30	計測震度	AVS30	予測震度	
階上町	蒼前集会场	ローム台地	206	5.4	306	5強	
	中央体育館	丘陵	195	5.5	350	5強	
	赤保内集会场	丘陵	179	5.5	340	5強	n.a.
	耳ヶ吠東集会所	丘陵	263	5.2	385	5強	
	大蛇三地区集会所	ローム台地	389	4.9	269	5強	
五戸町	旧又重小学校プール前 駐車場	谷底低地	352	6.0	334	6強	6強
	倉石スポーツセンター	ローム台地	265	6.2	320	6強	6強
	小渡平公園	ローム台地	264	6.1	297	6弱	6強
	農村環境改善センター	砂礫質台地	157	6.0	285	6弱	6強
	五戸ドーム	ローム台地	199	6.1	309	6弱	6弱
	町立図書館	ローム台地	276	6.0	293	6弱	6強
	ごのへ郷土館	ローム台地	244	5.9	323	6弱	6弱
	浅水活性化センター	谷底低地	403	5.8	328	6弱	6強
南部町	あかね集会场	ローム台地	207	5.9	303	6弱	6弱
	片岸集会场	砂礫質台地	117	6.3	363	6弱	6弱
	剣吉公民館	谷底低地	243	6.0	257	6弱	6強
	平公民館	砂礫質台地	286	6.0	417	6弱	6強
	上名久井公民館	砂礫質台地	295	6.0	463	6強	6強
	小波田町内会館	砂礫質台地	214	6.4	474	6強	6強

# ニューラルネットワークを利用した既存一戸建て住宅の建築年代予測\*

弘前大学大学院地域共創科学研究科 潘 蔣杰

弘前大学 片岡 俊一

## 1. 研究背景・目的

日本は地震による多くの被害を受けてきた世界有数の地震国である。地震による建築物の被害想定を行う際には、建築物の建築年数が必要となるが、対象地域全体の建築物の建築年数を把握することは容易ではない。そこで、本研究ではニューラルネットワークを用い、建築物の外観特徴から建築年代区分を予測するモデルを構築した。

## 2. 使用したデータセットとモデルの構築

本研究では平成 25 年度（2015 年度）の弘前大学工学部地球環境学科の卒業研究として長内奈津美さんが不動産サイト「@nifty 不動産」から収集した青森県青森市、福島県福島市、兵庫県明石市の三つの地域の合計 270 件の住宅データを使用した。長内は、公表されている情報から表 1 に示す 16 項目の住宅の外観特徴を各住宅について整理している。

建築年代の判定モデルは、プログラミング言語 R を用い、階層型ニューラルネットワークで構築した。出力判定は建築物の耐震性能が大きく変わることになる建築基準法改正に着目し、2 つのモデルを考えた。一つは、1981 年より前と以降に区分した 2 区分のものであり（以下、2 区分モデル）、もう一つは 1971 年と 1981 年を区切りにした 3 区分のものである（以下、3 区分モデル）。

## 3. 予備調査

いくつかの外観特徴について、建築年代とその内容の関係を調べたところ、定性的には年代によって内容が変わることが分かった。最近になって現れた特徴の内容が、建築年代の古い住宅にも見られたが、これはその部分を交換したものと考えれば、説明できよう。建築年代によって特徴の内容が異なることは、今回の試みの妥当性を示している。そこで試行的に、16 項目全てを入力データとして、2 区分と 3 区分で建築年代を判定するニューラルネットワークモデルを構築してみたが、良い結果が得られた。

## 4. モデルの選択

モデルの構築に使用した 16 項目の外観特徴は全てが分かっている訳ではない。また、目視では簡単に調べられない外観特徴もある。そこで表 1 のように 4 つのグループに分けて、必要な項目を絞ることとした。この 4 グループのうち、不明データが多いグループ、特定の特徴に集中するグループ及び年代判定に影響を及ぼさないと考えられるグループを交互に外した入力データモデルを考えることとした。結局、入力モデルは計 7 パターンになる。さらに中間層ユ

---

\*A Neural Networks Model for Predicting the Age of Housings by Pan Jiangjie and Shunichi Kataoka

ユニット数を3と4とし、合計14パターンのモデルを構築し、その性能を調べた。具体的なモデルパターンを表2に示す。

表1 外観特徴のグループ分け

グループ分け	原則として使用(以下A)	不明のデータが多い(以下B)	特定の特徴に集中(以下C)	年代判別に影響を及ぼさないと考えられる(以下D)
外観特徴	階数	ドアノブ	構造	壁の色
	外壁	換気口	蔦	壁素材(色が条件)
	玄関フード		店舗兼用	窓のサッシの色
	屋根			
	塀			
	庭の草			
	門			
基礎				

表2 入力モデルのパターン

モデル番号(大文字が中間層ユニット数3を表し、小文字が中間層ユニット数4を表す)	使用する入力データのグループ
(A)、(a)	ABC
(B)、(b)	ABD
(C)、(c)	ACD
(D)、(d)	AB
(E)、(e)	AC
(F)、(f)	AD
(G)、(g)	A

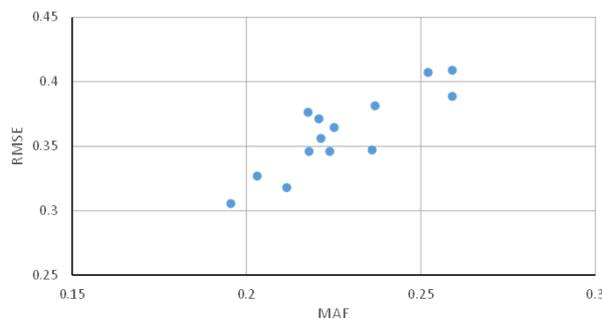


図1 各モデルのMAEとRMSE

## 5. 結果

14個のモデルのうち、原則として使用する外観特徴の項目のみを入力し、中間層ユニット数を4としたモデル(モデルg)の平均絶対誤差(MAE)と平均平方二乗誤差(RMSE)が共に最小となり(図1)、混同行列の正解率と敏感度がそれぞれ65.6%と83.9%となった。当モデルは全モデルの中で最も性能が良い。

## 6. 今後の課題

本研究に使用したデータは、青森県青森市、福島県福島市、兵庫県明石市の限定された3つの地域から収集したものである。そのため、本研究で構築したモデルの汎用性は高くはない。また、今回使用したデータ数は270件であり、ニューラルネットワークモデルを構築するには少ない。しかしながら、建築物の外観を利用して建築年代を判定できることを示したことの意義は高いと判断している。

今後は、より多くの住宅データを収集し、汎用性の高いかつ予測精度の高いモデルを構築したいと考えている。

# 1943 年会津田島地震の被害に関する文献調査\*

秋田大学 地方創生センター 水田 敏彦  
北海道大学 名誉教授 鏡味 洋史

## 1. はじめに

1943 年田島地震は福島県会津地方を襲った  $M=6.2$  の内陸地震である。明治以降の会津地方での被害地震として知られ、日本被害地震総覧<sup>1)</sup>では「田島地震」と名称がつけられている。1936 年に  $M=4.1$ 、1987 年に  $M=4.4$  の地震が発生しているが、いずれも被害は軽微であった。1943 年の田島地震は太平洋戦争中の地震であったが戦時の諸制約のなか福島測候所による調査報告書が残され、関連論文もある。小論では 1943 年田島地震の文献調査を行い被害の状況を明らかにする。

## 2. 1943 年田島地震の概要

本地震の緒元は日本被害地震総覧<sup>1)</sup>によれば、発震時 1943 年 8 月 12 日 13 時 50 分、福島県田島付近、経度  $139^{\circ} 52' E$ 、緯度  $37^{\circ} 20' N$ 、 $M=6.2$ 、 $h=26\text{km}$  である。人的被害は震央付近で負傷 3、その他、土蔵や住家の壁落ちや亀裂、小規模な崖崩れがあったことが掲載されている。図 1 に示す震度分布図を福島測候所の報告から引用している。

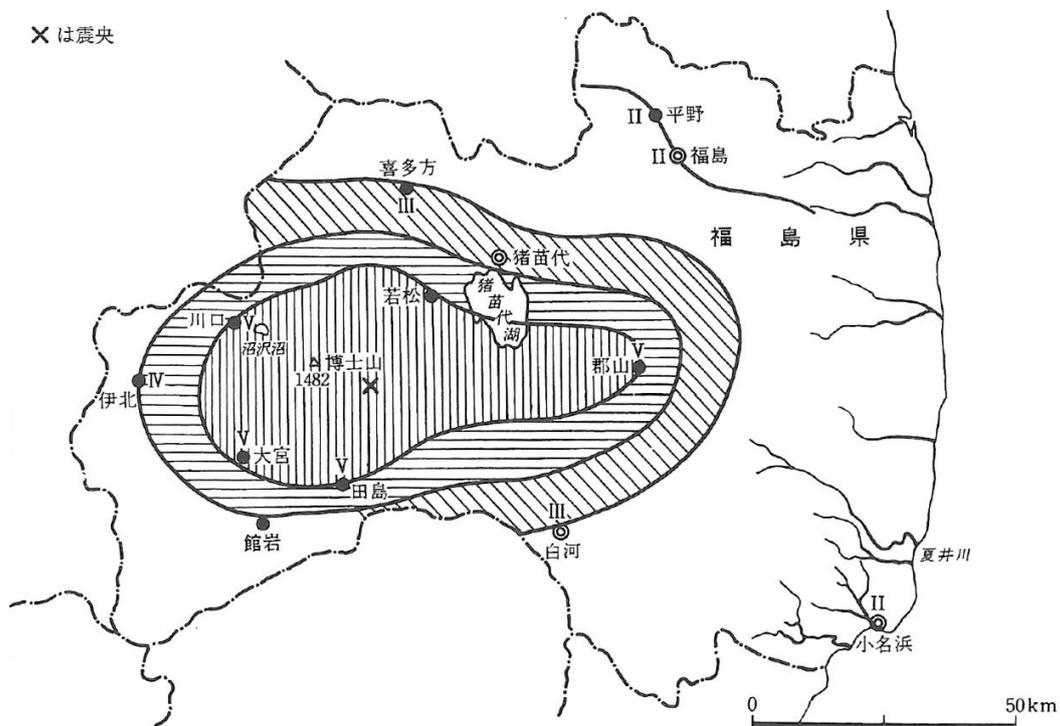


図 1 1943 年田島地震の震度分布 (日本被害地震総覧<sup>1)</sup>による。原図は福島測候所)

\* Literature survey on damage due to the 1943 Tajima earthquake, Aizu district of Fukushima prefecture by Toshihiko Mizuta and Hiroshi Kagami

### 3. 被害を記載した資料

1943年田島地震に関する調査報告・論文、新聞に被害が記載されているものを以下に示す。  
被害調査報告：1943年に福島測候所が調査結果を「昭和18年8月12日福島県会津地方の強震概報」<sup>2)</sup>と題し報告している。中央气象台発表による各地の震度と区内観測所の報告に基づく等震度図が掲げられ、被害地震総覧<sup>1)</sup>に掲載の震度分布図の基になっている。また、福島県警防課による被害調査結果『被害が最も多かったのは大沼郡尾岐で高田警察署管内重傷1、軽傷2、馬負傷1、土蔵亀裂760棟、土蔵剥落193件、住家墜壁落5戸、道路陥没県道8里』等掲載されている。家屋や個別建物の破損、落石・土砂崩れ、墓石の転倒状況なども記されている。  
学術論文：地震学会発行の地震に1943年小林が「会津地方の地質構造と地震との関係」<sup>3)</sup>と題し調査報告している。1943年田島地震については『会津若松附近に音響を伴った上下動の可成り強い地震が起こり、時計が止まり、壁に亀裂が生ずる位の強震であった』とし、会津地方の地質・地殻変動について述べている。国民学校80校に報告を求め震域を明らかにしている。  
新聞：福島県の代表的な新聞に「福島民報」があり、福島県立図書館で閲覧コピーし資料とした。また、全国紙である朝日新聞の東京版と福島版について、朝日新聞記事データベース聞蔵IIを使用し紙面を収集資料とした。記事は地震発生翌日から表れ、内容は次章で述べる。

### 4. 新聞記事

太平洋戦争中に発生した地震で新聞記事は非常に少なく、被害に関する記事は地元紙福島民報の8月14日付け紙面のみである。地震に関連する記事を以下に示す。○印は見出し、《 》は記事の要約・説明を示す。

福島民報：8月13日朝刊3面○昨日の地震《本県一帯に相当の地震があった若松地方では物が落ちた》、14日朝刊3面○地震の被害《大沼郡尾岐村を中心に被害あり県警防課の報告によると重傷1名、軽傷2名、馬1頭負傷、土蔵壁亀裂脱落867棟、住家壁落5戸その他煙突倒壊》

朝日新聞(東京版)：8月13日3面○昨日の地震《中央气象台12日14時30分発表各地の震度、震源は福島県南会津郡田島町附近で何処も大したことはなかった》

朝日新聞(福島版)：8月17日4面○物不足は工夫が足らぬ亀山知事さん南会視察の弁《福島測候の報告<sup>2)</sup>には亀山知事が防空演習視察中に地震に遭遇したことが記されているが、地震のことは全く触れられていない》

### 5. まとめ

1943年会津田島地震について、当時の被害調査報告、新聞を収集し記載されている被害を整理した。福島測候所の報告<sup>2)</sup>には全体の被害統計や各地の状況、小林の論文<sup>3)</sup>には時計の状況や器物の様子など震域に関する報告が掲載されている。一方、新聞記事については太平洋戦争中であり被害状況が殆ど記載されてなかった。今後は文献調査の範囲を広げ進めていきたい。

### 参考文献

- 1) 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子：日本被害地震総覧，東京大学出版会，pp.332-333，2013.
- 2) 福島測候所：昭和18年8月12日福島県会津地方の強震概報，験震時報，13-2，pp.479-480，1943.
- 3) 小林学：会津地方の地質構造と地震との関係，地震 第1輯，15-12，pp.312-330，1943.