

# 東北地域災害科学研究

第 60 卷 令和 6 年 3 月

論説	頁
東北地方の酒蔵の地震被害－日本醸造協会雑誌の被害報告からのまとめ－ …… 鏡味洋史・水田敏彦	1
1914 年秋田仙北地震における由利郡の被害－郷土誌邑知にみられる震災記録－ …… 水田敏彦・鏡味洋史	7
青森県階上町道仏震度観測点の地盤震動特性 …… 片岡俊一	13
日本海東縁で発生する地震の周波数特性－規模を考慮した Frequency Index 解析に基づく検討－ …………… 片山藍貴・前田拓人・高野智也	19
2011 年東北地方太平洋沖地震の際の津軽平野における長周期地震動の振幅分布 …… 小田島智弘・片岡俊一	25
仙台平野南部の伏在活断層の震度予測の試み …… 岡田知己・岡田真介	31
青森県八戸市における日本海溝地震を想定した津波避難解析 …………… 堀合紳弥・尾崎壮一・高瀬慎介・野島和也・武山 泰	37
日本海溝地震を想定した八戸市の津波遡上シミュレーション …… 尾崎壮一・野島和也・堀合紳弥・高瀬慎介	43
周辺に複数の障害物を有する建築構造物の津波力に関する実験的検討 …………… 種倉 栞・上田晴也・進藤颯人・寺本尚史・丁 威・小幡昭彦	47
消波ブロックを考慮した自由表面流れ解析 …… 古里春花・野島和也・尾崎壮一・高瀬慎介	53
海食崖に作用する砕波遡上波に関する水理模型実験 …………… 遠藤貫太・井深裕馬・桑原功太・春川祥吾・高瀬慎介・加藤雅也	57
Assessing Da Nang Coastline Dynamics Using the UAV Data …………… Nguyen Van LUC, Hitoshi TANAKA, Nguyen Trung VIET and Nguyen Danh THAO	61
2023 年 7 月秋田豪雨による秋田市中心市街地の氾濫について …… 松富英夫・鎌滝孝信・今野史子	67
令和 5 年に発生した秋田豪雨災害について …… 渡辺一也	71
令和 5 年 7 月豪雨時の馬場目川における洪水について …… 秋葉海志・自見寿孝・齋藤憲寿・渡辺一也	77
2023 年秋田県豪雨における馬場目川の河床変動特性 …… 自見寿孝・齋藤憲寿・渡辺一也	83
青森県 2022 年 8 月豪雨災害の特徴 …… 佐々木幹夫・竹内貴弘・高瀬慎介・三戸部佑太	89
河川堤防の決壊に及ぼす河道特性の影響の検討 …… 折笠聡哉・梅田 信	95
洪水浸水想定区域における避難関連施設の分布に関する研究 …… 橋本直樹・梅田 信	101
柔軟性を有する植生および流木が洪水流に与える影響について …………… 坂入海帆・自見寿孝・齋藤憲寿・渡辺一也	107
機械的固定工法防水システムの風応答の簡便な推定方法 …… 植松 康	113
円弧型独立上屋の外装材用ピーク風力係数に関する研究 …… 丁 威・植松 康	119
災害時に避難所として利用される公共建築物の被災がもたらす被害・事故等の想定 －建築基準法に基づく定期報告内容を通して－…………… 若狭潤一・福留邦洋	125
水害リスク情報に対する情報利用者の認識 …… 牛山素行・佐藤史弥・秦 康範	131
秋田市飯島地区におけるブロック塀の実態調査 …… 寺本尚史・安井 終・加藤みのり	137
多文化共生に向けた外国人住民を対象とする地域防災の試み ～岩手県奥州市江刺地区における北上川の洪水リスク認知について～ …………… 水本匡起・ケネディ芳子・渡部千春	141

# Tohoku Journal of Natural Disaster Science

Volume 60

March, 2024

## ARTICLES

Page

Earthquake Damage to Sake Breweries in the Tohoku Region - Summary of Damage Reports From the Journal of the Society of Brewing, Japan. ..... Hiroshi KAGAMI and Toshihiko MIZUTA	1
A Study of Earthquake Damage in Yuri District Caused by the 1914 Akita Semboku Earthquake -Earthquake Records Found in Local Magazine “Ouchi” - ..... Toshihiko MIZUTA and Hiroshi KAGAMI	7
Ground Motion Response Characteristics During Earthquakes at Dobutsu Station in Hashikami-cho Town, Aomori Prefecture ..... Shunichi KATAOKA	13
Characterization of Earthquakes on the Eastern Margin of the Sea of Japan Based on Spectral Shapes of Seismic Waves with Correction for Earthquake Magnitude ..... Aiki KATAYAMA	19
Vibration Distribution of Long-Period Seismic Motions in the Tsugaru Plain During the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake ..... Tomohiro ODAJIMA	25
An Attempt to Predict Seismic intensity by the Blind Active Fault Beneath the Southern Sendai Plain ..... Tomomi OKADA and Shinsuke OKADA	31
Tsunami Evacuation Analysis in Hachinohe City, Aomori Prefecture Assuming a Japan Trench Earthquake ..... Shin-Ya HORIAI, Soichi OZAKI, Shinsuke TAKASE, Kazuya NOJIMA and Yasushi TAKEYAMA	37
Tsunami Run-up Simulation in Hachinohe City Assuming a Japan Trench Earthquake ..... Soichi OZAKI, Kazuya NOJIMA, Shinya HORIAI, Shinsuke TAKASE	43
Experimental Study on Tsunami Loads on Structures in Case of Multiple Surrounding Objects ... Shiori TANEKURA, Haruya UEDA, Hayato SHINDO, Naofumi TERAMOTO, Wei DING and Akihiko OBATA	47
Free Surface Flow Analysis Considering Wave-Dissipating Blocks ..... Haruka FURUSATO, Kazuya NOJIMA, Soichi OZAKI, Shinsuke TAKASE	53
Hydraulic Model Tests on Run-Up Waves Acting on Sea Cliff ..... Kanta ENDO	57
Assessing Da Nang Coastline Dynamics Using the UAV Data ..... Nguyen Van LUC, Hitoshi TANAKA, Nguyen Trung VIET and Nguyen Danh THAO	61
On inundation in the Central District of Akita City Caused by the Akita Torrential Rainfall in July, 2023 ..... Hideo MATSUTOMI, Takanobu KAMATAKI and Fumiko KONNO	67
Damage Caused by the Flood Generated to Heavy Rain at Akita Region in 2023 ..... Kazuya WATANABE	71
Damage Caused by the Flood Generated to Heavy Rain at Akita in July 2023 ..... Kaishi AKIBA, Yoshitaka JIKEN, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE	77
Characteristics of the Riverbed Fluctuation of the Babamegawa River During the 2023 Heavy Rains in Akita Prefecture ..... Yoshitaka JIKEN, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE	83
Characteristics of the August 2022 Torrential Rain Disaster in Aomori Prefecture ..... Mikio SASAKI, Takahiro TAKEUCHI, Shinsuke TAKASE and Yuta MITOBE	89
Influence of River Channel Characteristics on River Levee Breaches ..... Toshiya ORIKASA, Makoto UMEDA	95
Distribution of Evacuation-Related Facilities in Expected Flooding Areas ... Naoki HASHIMOTO, Makoto UMEDA	101
The Impact of Vegetation and Driftwood With Flexibility on Flood Flows ..... Kaiho SAKAIRI, Yoshitaka JIKEN, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE	107
An Approximate Method For Easily Estimating the Wind-Induced Responses of a Mechanically -Attached Singleply Membrane Roofing System ..... Yasushi UEMATSU	113
Discussion of Peak Wind Force Coefficients For Designing Cladding / Components of a Vaulted Free Roof ..... Wei DING, Yasushi UEMATSU	119
Damage Assumptions of Public Buildings Used as Evacuation Center For Disaster : Contents of Periodic Reports Based on Building Standards Act ..... Junichi WAKASA, Kunihiko FUKUTOME	125
An Analysis of Understanding of Users For Flood Disaster Risk Information ..... Motoyuki USHIYAMA, Fumiya SATO and Yasunori HADA	131
A Survey of the Actual Conditions of the Concrete Block Walls in Iijima Area of Akita City ..... Naofumi TERAMOTO, Shu YASUI and Minoru KATO	137
Trial of Local Disaster Prevention Measures for Foreign Residents Working Towards Multicultural Inclusivity -A Case Study on Flood Risk Perception of the Kitakami River in the Esashi District of Oshu City, Iwate Prefecture, Northeast Japan. .... Tadaki MIZUMOTO, Yoshiko KENNEDY and Chiharu WATANABE	141

Tohoku Research Group for Natural Disaster Science

## 日本自然災害学会東北支部役員（令和5年度）

支 部 長	前 田 匡 樹（東北大学・工）
幹 事 長	柴 山 明 寛（東北大学・災害研）
評 議 員	片 岡 俊 一（弘前大学・理工）
	渡 辺 一 也（秋田大学・理工）
	本 山 功（山形大学・理）
	山 本 英 和（岩手大学・理工）
	堀 則 男（東北工業大学・工）
	仙 頭 紀 明（日本大学・工）
	佐 藤 健（東北大学・災害研）
会 計 監 査 員	飯 藤 將 之（仙台高等専門学校）

## 東北地方の酒蔵の地震被害

### ー日本醸造協会雑誌の被害報告からのまとめー\*

北海道大学 鏡味 洋史

秋田大学地域防災減災総合研究センター 水田 敏彦

#### 1. はじめに

地震災害の報道の中で酒店や小売店での酒瓶の落下・散乱被害や醸造場の被害はしばしば大きく報道される。しかし、地震被害調査報告書の中では大きく取り上げられることは少ない。被害統計では商工被害として一括して集計されていることが多い。筆者らは1963年越前岬沖地震の被害に関する文献調査を行った際、日本醸造協会雑誌に同地震の被害の報告があることを見つけた<sup>1)</sup>。1963年越前岬沖地震は日本被害地震総覧<sup>2)</sup>によると、『1963.3.27 06時34分 M=6.9, h=14 km, 敦賀湾・若狭湾沿岸沿いの約50 kmにわたって小被害。住家全壊2(美浜町), 半壊4, 非住家全壊3, 半壊2, 土砂崩れ3, その他道路の亀裂, 墓石の転倒などの小被害があった』としている。一方、日本醸造協会雑誌<sup>3)</sup>では、『主として震源地に近い福井県内の清酒工場で、おりから清酒の滓引きの時期であったため、タンク内の清酒が亡失した』とし、被害統計には福井県31, 石川県1, 富山県3の合計35醸造場での清酒の亡失が掲げられている。

東北地方は酒造業が盛んで多く被害地震のたびに酒蔵に何らかの被害が発生していたと考えられる。ここでは日本醸造協会雑誌のバックナンバーをたどり被害報告を纏めてみる。

#### 2. 日本醸造協会

日本醸造協会は同ホームページ<sup>4)</sup>によると1906年に醸造協会として設立され、醸造協会雑誌(現在の日本醸造協会誌)の発行, 全国品評会の開催, 酒造講習会の開催などの事業を行ってきたとしている。1920年に財団法人化し2011年からは公益財団法人となっている。月刊誌として「醸造協会雑誌 Vol.1-9」, 1915年から「日本醸造協会雑誌 Vol.10-82」が刊行された。1987年には日本醸造学会が設立され, 1988年から同学会の学術誌として「日本醸造協会誌 Vol.83-」と改題して現在に至っている。また, ウキペディア<sup>5)</sup>によるとは, 1904年に東京府北豊島郡滝野川村(現東京都北区滝野川)に創設の大蔵省醸造研究所の研究成果を社会に役立てる機関として醸造協会は同所内に設立され現在に至っている, としている。醸造研究所は2001年(独立行政法人)酒類総合研究所と改称し1995年より広島県東広島市に移転している。設立当時の赤煉瓦酒造工場(妻木頼黄設計)は2014年に重要文化財の指定を受け日本醸造協会が管理団体として管理活用している。

---

\* Earthquake damage to sake breweries in the Tohoku region - Summary of damage reports from the Journal of the Society of Brewing, Japan. - by Hiroshi Kagami and Toshihiko Mizuta



### 3. 日本醸造協会雑誌の検索閲覧

同誌のバックナンバーは国会図書館デジタルコレクションに収録されている。収録期間は1915年（10巻10号）から2000年（95巻12号）である。一方、「科学技術情報発信・流通総合システム」（J-STAGE）には、創刊号から現在公開されている最新号2019年（114巻12号）までが閲覧できる。しかし収録は学術論文に限られ、会告・報告など多くが欠落している。本論では全論文・報告が収録されているデジタルコレクションを主に2000年までを参照した。

東北地方の1906年以降の主な被害地震として1914年秋田仙北地震、1936年宮城県沖地震、1939年男鹿地震などが挙げられるが、いずれの地震の報告を見つけることは出来なかった。被害報告の表れるのは1962年（57巻11号）の「酒造工場の災害と事故」<sup>6)</sup>である。序で『酒造工場の災害と事故について、記録を残すことの重要性を述べ、全国鑑定室官に調査を依頼した』としている。報告は各国税局管内ごとに記載され、工場内での火災・事故の報告が大半であるが地震などの自然災害も含む。この調査はこれ以降毎年行われ1963年（58巻10号）<sup>7)</sup>では地震による被害が報告され、以降毎年（多くは各巻8号に）報告されている。国税庁は国内を12地区に区分し国税局を設置している。仙台国税局が東北6県を管轄している。

1962年から2000年までのバックナンバーを参照し表1に示す東北地方における8地震に関する報告を収集した。

表1 日本醸造協会雑誌に報告のある東北地方の被害地震一覧

地震名	日時	M	題目	巻号・刊行年
①広尾沖地震	1962.04.23	7.0	仙台国税局管内、2.地震による被害 <sup>7)</sup>	58-10, 1963
②宮城県北部地震	1962.04.30	6.5		
③岩手県沿岸地震	1962.12.28	5.9		
④新潟地震	1964.06.16	7.5	新潟地震の災害状況と今後の対策 <sup>8)</sup>	59-9, 1964
⑤十勝沖地震	1968.05.16	7.9	十勝沖地震の状況と反省 <sup>9)</sup>	64-2, 1969
⑥宮城県沖地震	1978.06.12	7.4	宮城県沖地震の災害状況 <sup>10)</sup>	73-7, 1978
⑦日本海中部地震	1983.05.26	7.7	日本海中部地震による被害状況と対策 <sup>11)</sup>	78-8, 1983
⑧三陸はるか沖地震	1984.12.28	7.6	酒造工場の災害と事故 <sup>12)</sup>	90-6, 1995

### 4. 東北地方の各被害地震による酒蔵の被害

表1に示した被害地震の報告を要約して以下に示す。

#### ① 1962年広尾沖地震<sup>7)</sup>

1962年4月23日午後3時下北半島に地震があり、2酒造場の貯蔵タンク6本から少量ずつの清酒が流失し、70を亡失したとしている（場所の記述はない）。建物その他には全く被害がなかったとしている。下北半島の地震としているが発生日時から、広尾沖の地震M=7.0であり、津波はなく十勝川流域の池田地方が被害の中心で、負傷3、住家被害158があった。下北の震度は3-4で被害の記述はない（日本被害地震総覧<sup>2)</sup>）。

#### ② 1962年宮城県北部地震<sup>8)</sup>

宮城県北部（震度4）の震源地に近い県内7税務署、岩手県2署管内の清酒生産者30場、卸売業者8、小売業者471件に上る惨害を被った、とし以下の被害を掲げている。

（1）酒類の被害（亡失および飲料に供しえないもの）、生産者：庫内 103,537、売場 323、計 103,860、卸売業者：5,908 小売業者：21,500、総計：131,268 kl

(2) 酒類以外の被害（生産者）建物の一部破損 5，機械の破損 1，煙突大破 5，タンク破損 10  
日本被害地震総覧<sup>2)</sup>では、M=6.5，被害の大きかったのは田尻町，南方村。死者 3，負傷 272，  
家屋全壊 340 などである。

### ③ 1962 年岩手県沿岸地震<sup>7)</sup>

1962 年 12 月 28 日午前 3 時 18 分地震のためアルコール工場に被害。もろみ発酵タンク攪拌  
用通気パイプ破損，もろみ 4,243ℓ流出，とある。被災場所についての記述はない，日本被害地  
震総覧<sup>2)</sup>に該当する地震がなく，気象庁震度データベース<sup>13)</sup>で日時から検索すると，岩手県  
沿岸北部：1962.12.28.03 h 45m，M=5.9，が該当し，震度は盛岡のⅣ，宮古Ⅲであった。

### ④ 1964 年新潟地震<sup>8)</sup>

詳細な報告が菊池敬よりなされている。特に被害の大きかったのは山形県鶴岡市大山町，酒  
田市の一部，秋田県由利郡の海岸端の製造場である。大山町には清酒製造場が 5 場あり，明治  
の中頃建てられた漆塗りの土蔵の壁は全部内外とも落下していた，開放式貯蔵タンクに被害が  
多かったことを指摘している。特に被害の大きかったのは山形県鶴岡市大山，酒田市の一部，  
秋田県由利郡の海岸端の製造場である，としている。鶴岡市大山町へは地震直後の 19 日被害清  
酒の調査に出向き詳細な報告を被害写真とともに掲載している。管内の酒類製造業者の被害状  
況を表 2 に示すようにまとめている。被害は広範囲にわたっている。

表 2 1964 年新潟地震の被害<sup>8)</sup>

税務署名	場数	清酒	合成清酒	焼酎	その他	計	摘要
仙台北	2				940	940	
古川	3	385				385	
福島	4	264	1,458	1,507	10,387	13,618	
須賀川	4	2,438				2,438	
会津若松	12	6,544				6,544	
喜多方	10	1,329		97	23	1,449	煙突の曲がったもの 3 基
平	3	132				132	
相馬	3	741				741	
秋田南	2	1,664				1,664	
秋田北	2	371				371	
本荘	2	2,797				2,797	貯蔵倉仕込倉壁落下 8 場，建物傾斜 1 場 2 棟
横手	2	111				111	
湯沢	11	1,103			68	1,171	
寒河江	4	2,625			336	2,961	
新庄	1	139				139	屋根毀損
酒田	9	11,428		735		12,163	土蔵壁落下 9 場 13 棟，傾斜 5 場 7 棟，うち崩壊の危機 3 棟，粕し場物置倒壊 3 場 4 棟，屋根破損 2 場，タンク破損 50 本，圧さく機 3，洗米機 1，車庫崩壊 1，自動車 1
鶴岡	15	40,599				40,599	
長井	3	1,862				1,862	
米沢	8	30,812				30,812	
会津坂下	9	4,744				4,744	
大曲	4	824				824	
赤湯	3				1225	1,225	
合計	122	110,921	1,458	2,399	12,980	127,690	

### ⑤ 1968年十勝沖地震<sup>9)</sup>

十勝沖地震では仙台国税局管内の酒造場も大きな被害を出し、鑑定官室では被害の大きかった酒造場に対してすみやかに善後策を指示している。さらに1ヶ月後被害にの最も大きかった青森県むつ、十和田、八戸の4税務署管内17酒造場について被害の状況および原因調査をおこなっている。報告は翌年の1969年2月(64巻2号)になされている。

まず、人的被害について作業場内で負傷者4名があったことを報告している。出荷作業中、6段積みの「さん箱」から飛降りて両かかと骨折(全治2カ月)、階下へ避難中階段手摺にぶつかり肋骨2本骨折(全治2カ月)、避難中大型消火器が倒れ足負傷(全治1ヶ月)。建物被害は青森太平洋側で見られ土蔵壁脱落、煙突4本の被害があった。酒類の亡失は合計131kl余で大部分が貯蔵原酒の亡失で小売業関係では92kl余りであった、としている。表3に示す酒造場の県別亡失状況が掲げられている。

表3 1968年十勝沖地震による酒造場の県別亡失状況<sup>9)</sup>

県名	免許場数	被災場数	亡失数量	左の県別比率%
宮城	72	17	2,208	1.68
岩手	69	25	5,452	4.14
福島	167	7	601	0.45
秋田	85	36	12,607	9.58
青森	54	37	107,124	81.42
山形	126	19	3,583	2.72
合計	573	141	131,575	100

亡失は合計131kl余りに達した、瓶詰被害の多かった1場の14klを除き大部分が貯蔵原酒の亡失であった。小売業関係の被害も92kl余りあった、青森県の被害107klのうち101klは太平洋側の17酒造場の被害である。亡失の原因として、1)タンク及び蓋の種類：木蓋はアトロンカバーから亡失が少ない。2)タンク台：台からの外れによる被害3)地盤及び建物の構造：基礎まわり、4)空隙深：余裕の問題、5)その他の要因、6)流出液の回収、7)瓶の積み方を挙げている。建物被害については青森県太平洋側の酒造場の被害大、土蔵壁の脱落、煙突4本、床のひび割れが、報告されている。

### ⑥ 1978年宮城県沖地震<sup>10)</sup>

建物被害は屋根瓦、壁の脱落が多い。管内の63業者にて、49.6klの亡失があり、宮城県内の亡失が、全体の68.5%であった。密閉タンクは亡失なく開放タンクのみであった。宮城県内に2ビール工場あり倉庫内に山積みしてあった製品に壊滅的な被害を受けた。管内の63業者にて、49.6klの亡失があり、宮城県内の亡失が、全体の68.5%であった。また、宮城県内の業者の93.5%が何らかの被害を受けた。建物の被害で大きなところでは約3千万円と見込まれる。タンクの転倒は1本で、踏み石がはずれたものは少なかった。

表4 1978年宮城県沖地震による県別被害<sup>10)</sup>

県別	宮城	岩手	福島	秋田	青森	山形	計
工場数	62	36	125	62	42	78	405
清酒の被害kl	34.0	6.8	7.0	0.8		1.0	49.6
建物等の被害件数	48	4	1				53

被害の特徴を次のように述べている。酒類の亡失：密閉タンクは亡失なし，開放タンクのみ。製品の被害：棒積み被害大，煉瓦積・井桁積，ロープ掛けは被害軽微，P（プラスチック）箱は木箱よりすべりやすいのでロープが必要。建物被害：屋根瓦，壁の脱落が多い。火災や全壊はなかった。古い土蔵の瓦屋根の釘止めの無いものに被害。建物（土蔵を含む）の被害，半壊 2，一部破損 16，屋根瓦損壊 34，壁の脱落 24，煙突の破損 12 件。その他：人身事故なし，地震発生が 17 時 15 分で工場内に人がいなかった。宮城県内に 2 ビール工場あり倉庫内に山積みしてあった製品に壊滅的な被害を受けた。一工場では仕込室にあった 200 kℓの半製品が廃棄，2 週間操業不能，などを掲げている。

#### ⑦ 1983 年日本海中部地震<sup>11)</sup>

秋田管内の被害は建物全半壊 3，蔵壁の剥離 6，煙突の破損 12，酒類の流出場 39（清酒 36），同流出量 160kℓ（清酒 158）であった。青森県下では建物全半壊 2 場，煙突の破損 7 被害，酒流出があった。昼過ぎの地震で工場内の人身事故はなかった。さらに、『秋田県では，酒造組合の通常総会の日で，午後 1 時に開催される予定で出席者も少人数だったのため混乱することなく避難した。この総会の例年だと午前中に開かれていたので，大勢だと会場も 3 階だけにけが人が出たのではないかと想像される』と発生時刻が幸いしたことを述べている。一方，宮城沖・十勝沖地震の教訓が日本海沿岸地域の製造場に十分生かされていなかったことを指摘している。

#### ⑧ 三陸はるか沖地震<sup>12)</sup>

地震による建物・設備関係の被害は 1 場のみ，精米機玄米タンクが落下した。負傷者はなかった。壁の亀裂，大型機械のズレは各製造場で発生した。製品の P（プラスチック）箱，段ボール箱に大きな被害がでたが，井桁組ができない，すべりやすいことが原因となっている。

### 5. 被害の特徴と対策

特に被害が大きく広範囲にわたった 4 地震の被害を比較して表 5 に示す。新潟地震は新潟に隣接の山形・福島そして秋田と東北地方の広範囲で被害を生じている。十勝沖地震・日本海中部地震は北海道とともに青森県の被害が多かった。建物被害は土蔵・煉瓦造煙突を中心に古いものの被害が後をたたない。人的被害は地震の発生時刻に関係し，工場の昼休中や終業直後のため工場内での人的被害を免れた地震が多い。唯一，十勝沖地震では就業中のため避難時の負傷が報告されている。避難時の事故防止は普段の労務災害の軽減と関わるものである。

表 5 4 地震の被害の比較

	新潟地震	十勝沖地震	宮城県沖地震	日本海中部地震
発生日・時	1964.6.16 13時	1968.5.16 9時	1978.6.12 17時	1983.5.26 12時
M	7.5	7.9	7.4	7.7
全体被害	死者 26 全壊 1960	死者 52 全壊 673	死者 28 全壊 1183	死者 106 全壊 937
報告書巻号	59-9	64-2	73-7	78-8
主被災県	山形・秋田・福島	青森	宮城	秋田・青森
建物	土蔵壁落傾斜 煙突変形	土蔵壁脱落 煙突 4 本	壁剥落，瓦落下 煙突破損	土蔵壁落下 煙突被害
亡失	127 kℓ	131 kℓ	49 kℓ	160 kℓ
人的被害	なし（昼休み）	避難時 4 人負傷	なし（終業直後）	なし（昼休）

これらの地震による被害を整理して個別に提案されている対策をまとめ表6に示す。

表6 特徴的な被害と対策

種類	項目	特徴的な被害	対策など
建物	土蔵	倒潰・傾斜	補強, 工場本体との接続部補強
	木造建物	内外壁の剥離・落下	下見板で補強
	レンガ煙突	亀裂・折損・倒潰	補強, 不使用煙突の撤去
タンク	開放型アフロン	亡失被害大	
	同 木蓋	被害大	金具で固定, 石置は危険
	密閉型	被害は軽微	
	タンク台	踏み外し	台石6個以上
箱積	さん(仕切)	ないもの被害大	
	積み方	棒積: 被害大	井桁積の被害少, 作業性は劣る
	P(プラスチック)	すべりやすい	積み方, ロープ掛け固定
人的	休業時	被害なし	
	終業時	作業時の事故	作業場の安全確保

## 6. まとめ

小論では、日本醸造協会雑誌に報告されている東北地方の地震被害報告について被害の多かった新潟・十勝・宮城県沖・日本海中部の4地震を中心にまとめ考察を行った。被害の特徴と問題点として、①古い土蔵は淘汰されてきているが被害を受けやすい②煉瓦造煙突は被害を受けやすい。使用されずシンボリックなものも多く残る。③タンクからの亡失は多く報告されており特に開放型の対策が肝要である。④箱積瓶の被害が多く積み方の工夫崩れ防止策が論じられている。⑤地震発生が作業時間外であったため人的被害を生じなかった地震も多いが作業現場の安全対策が重要である。

## 文献

- 1) 鏡味洋史・水田敏彦：1963年越前岬沖地震の被害，中部歴史地震懇談会（名古屋），2023.
- 2) 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，724pp.，2013.
- 3) 金沢国税局鑑定官室：酒造工場の災害と事故，日本醸造協会雑誌，58-10，23-24，1963.
- 4) 日本醸造協会ホームページ：<https://www.jozo.or.jp/>（2023.11.1閲覧）
- 5) 酒類総合研究所（ウキペディア）：[酒類総合研究所 - Wikipedia](#)（2023.11.1閲覧）
- 6) 国税局：酒造工場の災害と事故，日本醸造協会雑誌，57-11，47-56，1962.
- 7) 仙台国税局鑑定官室：酒造工場の災害と事故，日本醸造協会雑誌，57-11，51-52，1962.
- 8) 菊池敬：新潟地震の災害状況と今後の対策，日本醸造協会雑誌，59-9，18-19，1964.
- 9) 仙台国税局鑑定官室：酒造工場の災害と事故，日本醸造協会雑誌，64-2，51-52，1963.
- 10) 仙台国税局鑑定官室：宮城県沖地震の災害状況，日本醸造協会雑誌，73-7，550-551，1979.
- 11) 池見元宏：日本海中部地震による被害状況と対策，日本醸造協会雑誌，78-8，614-615，1984.
- 12) 編集部：酒造工場の災害と事故，日本醸造協会雑誌，90-6，435-437，1984.
- 13) 気象庁震度データベース検索：[震度データベース検索 \(jma.go.jp\)](#)，（2023.11.1閲覧）



# 1914年秋田仙北地震における由利郡の被害

## —郷土誌邑知にみられる震災記録—\*

秋田大学地域防災減災総合研究センター 水田 敏彦  
北海道大学 鏡味 洋史

### 1. はじめに

筆者らは秋田県下の明治以降の被害地震について当時の被害調査報告書、新聞記事、郷土史料の文献調査を進め、被害の詳細および分布、行政機関の対応などの実態解明を進めている。1914年（大正3年）秋田仙北地震の由利郡の状況については、由利郡金浦町の行政簿冊を見出し、他の報告書には見られない震災対応を明らかにすることができた<sup>1)</sup>。秋田仙北地震は震源に近い仙北郡・平鹿郡の被害が大きく由利郡は軽微な被害であったが、金浦町の行政簿冊の中に由利郡の被害が記載されている「由利郡震災之状況」<sup>2)</sup>が残されており、また、大内町の郷土誌「邑知」<sup>3)</sup>に震災記録を新たに発見することができた。大内町は由利郡で被害が集中した大正寺村の南部に隣接する町である。本報告では、これまで取り上げられることが殆どなかった由利郡の被害に着目し、これらの資料を中心にさらに由利郡の被害の状況を明らかにする。

### 2. 1914年秋田仙北地震と大内町の概要

1914年秋田仙北地震はM7.1の内陸地震であり、震央に近い雄物川周辺の低平地と横手盆地を中心に、死者94、負傷者324の人的被害や、全潰640、半潰575の住家被害が生じた。日本被害地震総覧<sup>4)</sup>に秋田県の郡市別被害一覧表が掲げられており、由利郡の被害は死者4、負傷者29、住家全潰18、半潰45等となっている。また、被害の概要を図1に示す。図には主な街道と由利郡で住家被害が発生した旧町村名を示し、大内町は境界を点線で表した。大内町は由利郡の北部にあり1889年（明治22年）の町村制の施行により、岩谷村、下川大内村、上川大内村が置かれ、1956年（昭和31年）これらの3村が合併して大内町となった。さらに、2005年（平成17年）の平成の大合併により本荘市および由利郡にあった他の6町と合併し現在は由利本荘市の一部となっている。

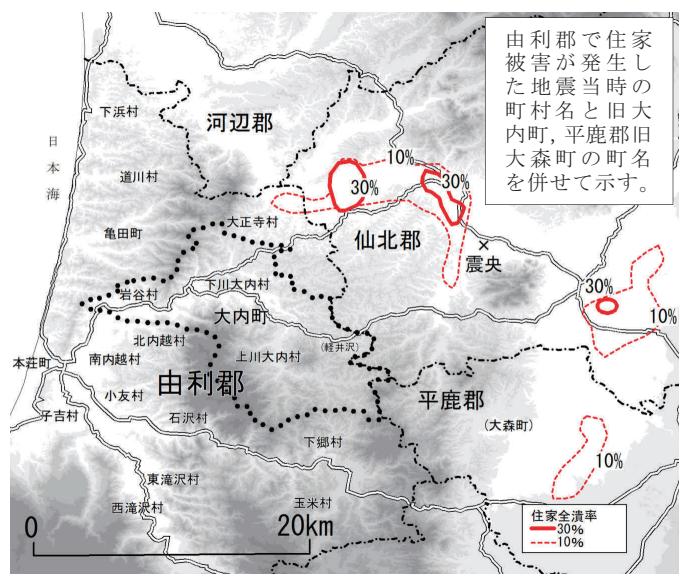


図1 秋田仙北地震の被害分布

\*A Study of earthquake damage in Yuri district caused by the 1914 Akita Semboku Earthquake  
—Earthquake records found in local magazine “Ouchi” — by Toshihiko Mizuta and Hiroshi Kagami



### 3. 由利郡の被害が記載された資料

**由利郡震災之状況<sup>2)</sup>**：本報告書は謄写刷りのもので、①震動の状況及応急処置、②視察の状況、③交通耕地及用水路の被害、④罹災者の救助、⑤罹災者の状況の5項目よりなる。①～③に被害調査結果が報告されており、①の中に被害統計には表れない個別建物や道路・水路の被害状況、②の中に町村より報告を受けて由利郡が集計した町村別被害調査表、③の中に山崩れによる道路や水路の被害状況が掲載されている。また、巻末に「余録」があり、由利郡内で被害最も激烈であった大正寺村、下川大内村、上川大内村に由利郡長が実地踏査した際の被害状況が記されている。

**新聞記事**：秋田県の代表的な新聞「秋田魁新報」があり、他の報告書にない被害が読み取れる。

**邑知<sup>3)</sup>**：大内町の惨状を記した日誌や新聞記者の記録がある。内容については次章で述べる。

**震災予防調査会報告**：第82号の今村の報告<sup>5)</sup>のなかで「被害の統計」の項がある。秋田県内の詳細な統計があり、由利郡については家屋や人的被害の市町村別一覧表、一部集落別の住家全潰数の一覧表が掲げられている。

### 4. 大内町の郷土誌「邑知」に掲載の震災記録

「邑知」は大内町文化財保護協会刊行の郷土誌で最初の頁に『「邑知、オフチ」は「大内」の古名』とある。1975年（昭和50年）の創刊から年1回刊行され現在に至っている。1995年（平成7年）発行の第21号に上川大内村軽井沢出身の畠山九洒の日誌を取り纏めた「強首地震と大内町の被害－発見された大地震の記録－」<sup>3)</sup>を見つけた。「大内町軽井沢青年夜学会－畠山九洒の日誌の一節から－」と新聞記事を引用した「山ノ崩壊と溢水－大正3年3月21日の報道から－」の2項目4頁よりなり、他の文献には見られない大内町の被害状況などが記載されている。著者はアベツトム（阿部力）氏であり、1929年（昭和4年）由利郡大正寺新波生まれ、1947年（昭和22年）より上川大内中学校教師、以来33年間教師を務めその後1990年（平成2年）に出版された大内町史編纂委員などを務めている。本報告は大内町史の編纂から5年後に書かれている。

「邑知」について主な内容を『』で引用して示す。なお（括弧）内は注として著者のアベ氏が追記した個所である。始めに『現在まで「強首地震」の話はよく口伝としてよく聞くことがあったが、大内町の記録として書き残したものは初めてである』と述べている。続いて畠山九洒の日誌の一節が紹介されている。地震時の状況は『今日は（平鹿郡）大森町の市日なれば、いつもは遅るる我家なれども皆早々と臥床（寝床）を出でて〔中略〕炉をかこみて談笑に花を咲かせつ吁々（ああ）此一刹那（いっせつな）〔中略〕生の身は忽ち炉の上に払われたり〔中略〕釣鍵の茶釜のくつがえらるに、母上とハナエとの身にも怪我あるらし』とあり、また、被害については『身ははらばいて辛くも内庭に出づれど〔中略〕暫（ようや）くにして室に入りぬれば、千古無柱の破れ寺か、餓鬼の巢窟かの如く、あれにあれはてて、時計さえ5時を指したるまま止まり』と上川大内村軽井沢のミクロな被災状況が記載されている。次に『畠山九洒の日誌の一節はここで終わっているが、その後の状況を記したものは魁新聞記者「特派員、武埜（たけはな）三山」の記録から抜粋（ばっすい）したものとして記してある』と述べ第2項「山ノ崩壊と溢水－大正3年3月21日の報道から－」で内容を紹介している。『武埜三山は大正3年

3月19日から25日まで最大被害の現西仙北町強首や刈和野、震源地と言われた布又（ぬのまた）地区の惨状を自転車で駆け巡り精力的に取材し〔中略〕新波（現雄和町，当時由利郡内）を取材して下川大内村，上川大内村へ向かったのである。途中平岫へ来てその惨状を取材している』との書き出しで始まっている。表1に「山ノ崩壊と溢水―大正3年3月21日の報道から―」の記載内容を示す。なお，武埴三山による被害踏査記録は秋田魁新報の紙面に『激震地まで（一）～（七）』との見出しで3月19日から3月25日まで表れるが，掲載されている記事は仙北郡の激震地域に限られ「邑知」で紹介されている由利郡下川大内村と上川大内村の被害については報じられていない。

表1 「山ノ崩壊と溢水―大正3年3月21日の報道から―」の記載内容

取材地域	由利郡下川大内村，上川大内村
取材日時	大内町に足を踏み入れたのは地震発生後1週間経過した3月21日の日だった
被害状況	下川大内村：田地40町歩の灌漑に要する水路に多大の故障。小栗山の地域に留関を建設し部落まで山麓に沿って水路を開鑿疎水した。太平山と称する高さ10丈の岳中腹より大亀裂下流に陥没して頂上に約3丈の断崖を見るに至った。其他無数の大亀裂を生じ断崖各所に聳（そび）えて惨憺たる光景である。芋川に沿った県道2丁の間の悉く陥落して通ずることが出来ない。 上川大内村：家屋の被害よりも山林耕地の被害甚だ多く，其仙北郡に接近したる地方の山岳の崩壊殆ど無数にして就中小栗山の内畑（沢）羽広の内軽井沢の2小部落の如きは山岳の崩壊により溪流を阻止せられ数町歩の耕地は殆ど池沼に変じ，之れがための軽井沢の如きは生計と唯一の土地を奪われ今や全部落23戸殆ど耕地を失う有様である。殊に人家は何れも山麓に沿うて谷間に建設しあり，山の崩壊と共に溢水將に床上を襲わんとするものあり。

## 5. 由利郡の町村別被害とその分布

由利郡震災之状況<sup>2)</sup>，邑知<sup>3)</sup>，震災予防調査会報告<sup>5)</sup> および秋田魁新報に記載の被害事項を当時の町村別に整理して表2に示す。震災予防調査会報告<sup>5)</sup>に掲載の被害統計は秋田県警察部調べ（3月20日午後2時現在）のものである。由利郡震災之状況<sup>2)</sup>の被害統計は，実数の違いが若干見られるが由利郡が町村ごとに集計した表を3月27日に秋田県へ報告したもので，住家の破損は大破・小破別，その他田畑，道路や斜面崩壊など他の報告に掲載されていない被災項目が集計されており併せて表中に斜字で示した。また，表2により被害の分布を示すと図2のようになる。由利郡の町村は境界を破線で表し，主な街道と河川の流路も示した。なお，表2に記載されていない町村名は（ ）内に示した。

表2 1914年秋田仙北地震における由利郡の町村別被害一覧

旧町村名	震災予防調査会報告 <sup>5)</sup> 【死/傷】《全潰/半潰/破損》 ※括弧内は住家全潰率	由利郡震災之状況 <sup>2)</sup> ：[震災]・邑知 <sup>3)</sup> ・新聞記事：[魁] 【死/傷】《全潰/半潰/破損》その他の被害(カ所)	現在
子吉村	【0/0】《0/4/4》	【0/0】《5/2/大破0小破85》 家屋倒潰数棟[魁]	由利本荘市
北内越村	【0/2】《3(2%)/8/19》 中館：全戸44，全潰3(7%)	【0/6】《3/9/大破7小破21》 中館：災害甚し[震災]	
本荘町	【0/0】《0/0/15》	【0/0】《0/0/大破5小破100》 被害少なかりし，当庁（※由利郡役所）階上階下の壁に亀裂若くは其剥落の被害頗る甚大[震災]	
鮎川村		【0/0】《0/0/大破2小破39》	
下郷村	【0/0】《1(0.2%)/0/0》 宿：全戸144，全潰1(0.7%)	【0/0】《1/0/大破2小破210》田6，宅地1，山林原野8 奥沢：道路石垣一ヶ所崩壊[魁] 少々被害あり[震災]	

岩谷村	【0/0】《0/2/18》	【0/0】《0/3/大破 17 小破 30》		
上川大内村	【0/0】《0/4/15》	【0/0】《1/8/大破 3 小破 400》田 66, 畑 10, 宅地 7, 山林原野 100, 道路決潰 4, 破損 36, 河川堤防破損 30, 橋梁破損 105, 川除 20, 樋管 50, 用水路 500, 溜池溝渠破損 45, 倒木 50, 山崩 150 家屋の被害よりも山林耕地に被害甚だ多く其仙北郡に接近したる地方は山岳の崩壊殆んど無数, 山崩多く道路の交通を遮断, 水路閉塞から灌水, 人家は何れも山麓に沿ふて谷間に建設しあり山の崩壊と共に逸水將に床上を襲へんとするものあり[震災] 家屋の被害より山林耕地の被害甚だ多く, 人家は何れも山麓に沿うて谷間に建設し山の崩壊と共に溢水床上を襲わんとする[邑知] 塹井沢: 山崩れ溪流遮られ灌水人畜に浸水, 生計上唯一の土地を奪はれ今や全部落 23 戸殆んど耕地を失ふ[震災] 山岳の崩壊により溪流を阻止耕地は殆ど池沼に変じ全部落 23 戸殆ど耕地を失う[邑知] 畑沢: 山岳の崩壊に依り溪流を阻止せられ数丁歩の耕地は殆ど池沼に変し[震災] [邑知]		
下川大内村	【0/0】《0/2/62》	【0/0】《0/2/大破 15 小破 154》山崩 38 家屋土蔵等破壊頗る多きも人畜の死傷したるものなし, 平地耕地約 50 余町歩に灌漑すへき用水線は数百間埋没又は大破損, 上川大内村に通する大曲街道山崩あり車馬行通全く断絶, 大平山と称する高さ数十丈の岳は中腹より大亀裂を生じ河流に陥没して頂上に約 3 丈の断崖を見る[震災] 灌漑に要する水路に多大の故障, 太平山中腹より大亀裂, 芋川沿県道悉く陥落通行断絶[邑知] 平岫: 灌漑に要する水路に多大の故障[震災] 葛岡: 芋川に沿ひたる県道約 2 丁の間は悉く陥落[震災] 加賀沢: 神社の付属建物一棟倒潰, 人家に数戸の大破あり其他小破頗る多数に上り[震災]		
石沢村	【0/0】《0/3/72》	【0/0】《0/0/大破 3 小破 72》 山内: 本荘街道石崩れたる通行支障なし[魁]		
小友村	【0/0】《0/0/7》	【0/0】《1/0/大破 7 小破 49》		
玉米村	【0/0】《0/0/8》	【0/0】《0/0/大破 0 小破 8》橋梁破損 1 殆ど被害なき[震災]		
東滝沢村	【0/0】《2(0.7%)/7/48》 曲沢: 全戸 51, 全潰 2(4%)	【0/0】《2/6/大破 11 小破 11》		
西滝沢村	【0/2】《1(0.3%)/3/23》 森子: 全戸 64, 全潰 1(2%)	【0/2】《1/0/大破 3 小破 70》		
南内越村	【0/0】《0/1/10》	【0/0】《1/0/大破 2 小破 24》		
亀田町	【0/0】《0/0/41》	【0/0】《0/0/大破 4 小破 146》 被害激甚家屋其他の建物の損傷多数あり[震災]		
道川村	【0/0】《0/0/1》	【0/0】《0/0/大破 1 小破 5》道路破損 2, 橋梁破損 1		
大正寺村	【4/25】《15(4%)/11/357》 新波: 全戸 91, 全潰 14(15%) 碓田: 全戸 48, 全潰 1(2%)	【4/21】《15/11/大破 40 小破 296》田 195, 山林原野 400, 道路破損 29, 橋梁破損 7, 山崩 505 萱ヶ沢より中野又部落に通する里道約半里の間欠壊又は山崩れの為め大破壊を来し交通遮断[震災] 鍵子峠は大崩壊し岩石道路に塞かり人馬の往来絶えたり[魁] 新波: 3 名圧死, 家屋全部傾斜[魁], 宿屋業家屋の半は萱葺にして半は桎葺 2 階建なり当夜階上に宿泊せる旅客 4 人は無事なりしも階下に熟睡せありし家族 3 名桁下となり圧死, 当日既に起床し商品の準備中妻を屋外に逃れしめんと奔走中梁下となり圧死 1, 倒潰家屋 13 戸の内桎葺二階建は僅かに 1 戸にして其他は悉く茅葺にして何れも鴨居下より柱を折断せられあり[震災]	秋田市	
下浜村	【0/0】《0/0/8》	【0/0】《0/0/大破 0 小破 3》		





## 6. まとめ

1914年秋田仙北地震で発生した由利郡の被害について、由利郡旧大内町の郷土誌、由利郡の被害報告書、新聞記事を参照して被害状況を整理した。明らかにされた主な項目は以下の通りである。

- 1) 大内町の郷土誌「邑知」<sup>3)</sup>には他の報告書にない上川大内村軽井沢のミクロな被災状況が記載されている。また、新聞紙面に掲載されていない秋田魁新報の記者武埜三山による下川大内村と上川大内村の被害踏査記録がある。
- 2) 由利郡が作成した「由利郡震災之状況」<sup>2)</sup>には他の報告書にない郡書記が報告した大正寺村、下川大内村、上川大内村の被害の詳細が記載されている。この他、震災予防調査会今村の報告<sup>5)</sup>に掲載されている被害統計は3月20日秋田県警察部調べのものが用いられているが、秋田県に報告した3月27日付けの町村別被害表がある。
- 3) 由利郡の被害統計に現れる大正寺村新波の死者4名の人的被害の発生状況が明らかにされた。全て地震直後の家屋倒潰により犠牲となっている。
- 4) 住家の全潰は震央に近い雄物川沿いの大正寺村新波で多いが、震央から35km程度の由利郡の広い範囲で被害が散見され、上川大内村、下郷村、北内越村、南内越村、小友村、子吉村、東滝沢村で報じられている。
- 5) 斜面崩壊に関する記事が多く、大正寺村、下川大内村、上川大内村で集中して発生していたことが明らかにされた。これらの斜面崩壊により灌漑用の水路や道路被害が報じられている。また、上川大内村では斜面崩壊による家屋の浸水被害も報じられている。

激甚な被害を受けた地域は調査研究が重点的に進められるが、それ以外の地域についても実際に起きた被害の履歴は、地域にとって軽微なものを含め将来の災害予測にとって貴重な情報であると考えている。また、他の町村についても同様の郷土史料が残されている可能性があり、引き続き郷土誌の発掘に努めていきたい。

## 参考文献

- 1) 水田敏彦，鏡味洋史：秋田県由利郡旧金浦町所蔵の行政簿冊にみられる震災記録－1914年秋田仙北地震を中心に－，東北地域災害科学研究，第50巻，pp.13-18，2014.
- 2) 由利郡：由利郡震災之状況，大正三年分事務簿，にかほ市教育委員会所蔵簿冊，16pp，1914.
- 3) アベツトム：強首地震と大内町の被害－発見された大地震の記録－，邑知，大内町文化財保護協会，第21号，pp.12-15，1995.
- 4) 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.265-268，2013.
- 5) 今村明恒：大正3年秋田県仙北郡大地震調査報告，震災予防調査会報告，82，pp.1-30，1915.

## 青森県階上町道仏震度観測点の地盤震動特性\*

弘前大学 片岡俊一

### 1. はじめに

青森県が階上町に設置した震度計（観測点名：階上町道仏（ハシカミチョウドウブツ））で観測される震度と最大加速度は、県内各地のそれと比べて大きいことが報告されている。さらに、この観測点では、2001年以降これまでに気象庁震度で5弱あるいはそれ以上の強い揺れを13回も観測している。このように多くの強震動を観測している観測点は日本でも非常に少ない。このようなことは、サイト増幅特性の影響と考えられる。以下、この観測点を道仏観測点と呼び、図表中ではDBTと表す。道仏観測点の位置や地勢などについては文献<sup>2)</sup>に記した。

しかしながら、上述した13回の強震動を含め、この地点の地盤震動特性は十分に調べられていない。唯一、2008年7月24日に岩手県沿岸北部を震源とした地震について、その地震動の紹介が紹介されている<sup>3)</sup>。文献<sup>3)</sup>には、過去に行われた微動アレー探査で推定したS波速度構造も報告されており、その地下構造から得られるSH波の増幅特性で地震動の卓越振動数が説明できるとしている。しかしながら、そこで紹介された微動アレー探査の際に用いた初期モデルの層区分は、地盤調査に基づいておらず、この点に任意性が残る。

つまり、道仏観測点は地震動指標が大きくなることが示され、周辺でも同様になるであろうとの推測がある<sup>2)</sup>ものの、地震動に基づいた地盤震動特性の検討はなされておらず、地盤構造に関する知見も不十分と言えよう。そこで、道仏観測点でボーリング調査を行い、層序を確認して表層付近のS波速度を決め直した。さら、微動観測を行うとともに、地震記録を収集し、微動と地震動から地盤震動特性を検討した。

### 2. 道仏観測点について

道仏観測点は、青森県が青森県階上町に設置した観測点であり、青森県が管理している。この観測点は1997年に設置され、現在までに庁舎の敷地内で2度移動している。

県が設置した震度観測点であるので、観測点から県庁に設置された県のサーバーには震度が送られるのみであり、加速度時系列データは震度計内部に保存されるのみで送信されない。もっとも、サーバーから震度計にアクセスし、加速度データを回収することは可能であり、必要に応じて行われている。

### 3. 浅部の地下構造

#### (1) 地盤調査結果

震度計が設置されている場所から約30m離れた地点において2022年6月にボーリング調査を行った。土質柱状図と標準貫入試験の結果を図1に示す。深さ15.85mで凝灰岩を確認したので、深さ16mで掘削を止めた。凝灰岩の上は砂礫が堆積しており、砂礫より浅い層は火山性の堆積物が堆積している。表層のN値は非常に小さい。この地盤構成は文献<sup>3)</sup>で参照したものとほぼ同じ

---

\* Ground motion response characteristics during earthquakes at Dobutsu station in Hashikami-cho town, Aomori prefecture by Shunichi Kataoka



である。

ボーリングを行った後にその孔を使って地下水位の変動を約6ヶ月間調べた。その結果、地下水位は高い場合でGL-2m、低い場合でGL-4.5mであった。

(2) 表層のS波速度

表層地盤のS波速度分布を知るために、2022年11月に微動アレー観測を行った。1辺の長さを約10mとした正三角形の頂点と重心に上下動センサーを設置し、200Hzサンプリングで微動を収録した。観測位相速度は空間相関法<sup>4)</sup>により求め、この観測位相速度を目標速度として、GPL形式の

フリーソフトウェアであるSWAMI<sup>5),6)</sup>を用いて、逆解析を行った。逆解析に当たって必要な初期モデルのうち、層厚はボーリング結果を用い、密度は周辺のデータから仮定した。

逆解析により求められたS波速度を図2に示し、層厚と仮定した密度と合わせて地下構造を表1にまとめる。さらに、位相速度を図3に示す。図3中のマークは観測位相速度であり、実線はそれを満たす最適な理論位相速度である。逆解析は初期値を5通りに変えて行っており、図示したものの二乗誤差がもっとも小さかった。図2に示したS波速度を見ると、速度が約90m/sになる層をはさんで、深さ12mまでのS波速度は約120m/sである。砂礫層のS波速度は336m/sであり、凝灰岩のS波速度は454m/sとなった。前述した文献2)では深さ14mまでのS波速度を141m/sと推定している。

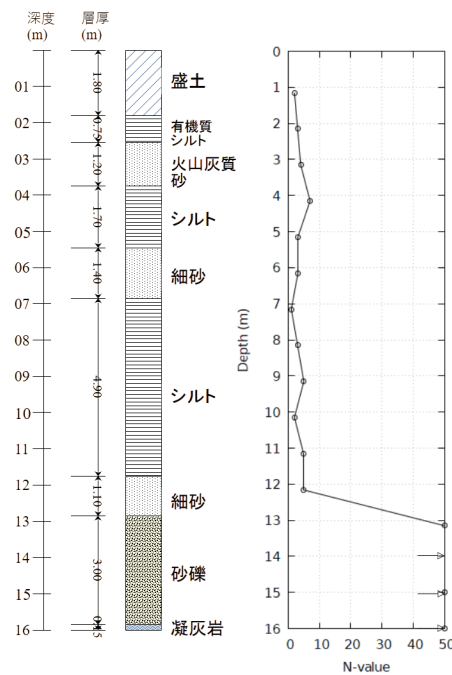


図1 道仏観測点における地盤調査結果. 柱状図とN値分布

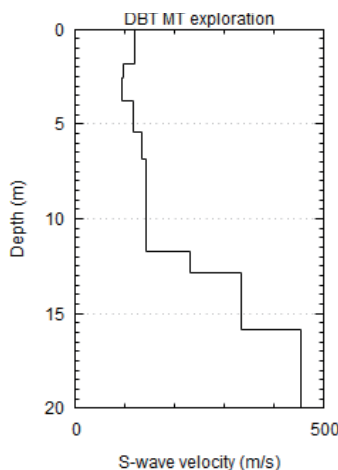


図2 推定したS波速度

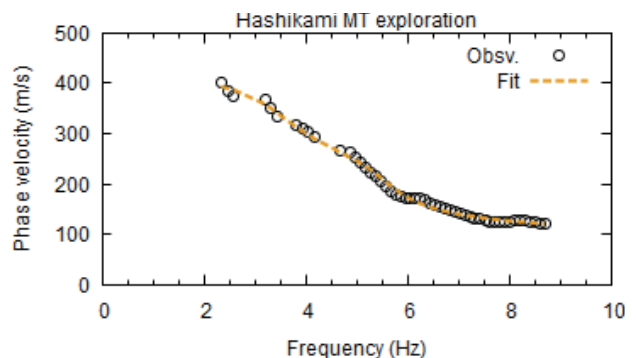


図3 観測位相速度 (○) と推定したS波速度による理論位相速度(破線)

(3) 表層の増幅特性

前項で求めた地下構造で各層の減衰を  $h=0.02$  として、重複反射理論によりSH波の増幅特性を

表 1 推定した地下構造

Thick- No. Ness	Thick- Ness (m)	density (kg/m <sup>3</sup> )	Poisson's Ratio	Vs (m/s)	Soil type
1	1.80	1.40	0.40	121.9	Bs
2	0.75	1.50	0.35	96.6	Ac
3	1.20	1.60	0.43	94.1	Dvs
4	1.70	1.80	0.43	118.8	Dc1
5	1.40	1.80	0.43	134.0	Ds1
6	4.90	1.80	0.43	144.1	Dc2
7	1.10	1.80	0.43	233.1	Ds2
8	3.00	1.90	0.41	336.3	Dg
9	inf.	2.15	0.38	454.6	

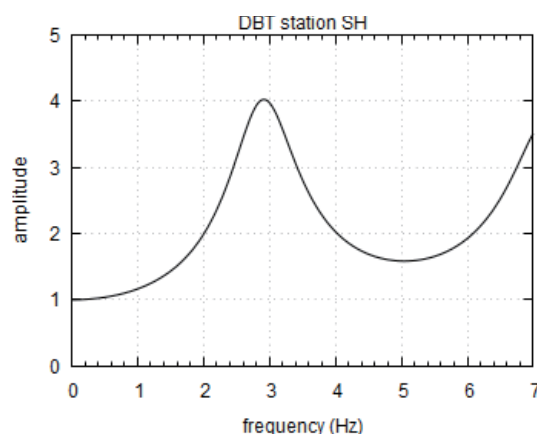


図 4 推定した地下構造から算出した SH 波の増幅特性

求めた。結果を図 4 に示す。3Hz 程度が一次ピークであることが分かる。一方、2022 年 11 月に計測した微動の水平動と上下動とのスペクトル比（以下、HV 比）を求めたものが図 5 である。この微動は、アレー観測と並行して、東京測振社製の CV-374AV で計測したものである。HV 比を求める際には、3 分間のデータ 3 組の各々のスペクトルを求め、それを平均している。スペクトルは自己相関関数から求めている。微動の HV 比を示す図では、2~3Hz の振幅が大きい。表層の増幅特性のピーク振動数は約 3Hz であるので、それよりはやや低い振動数である。よって、微動の震動特性には浅部構造だけではなく、深部構造の影響が含まれていると想像される。

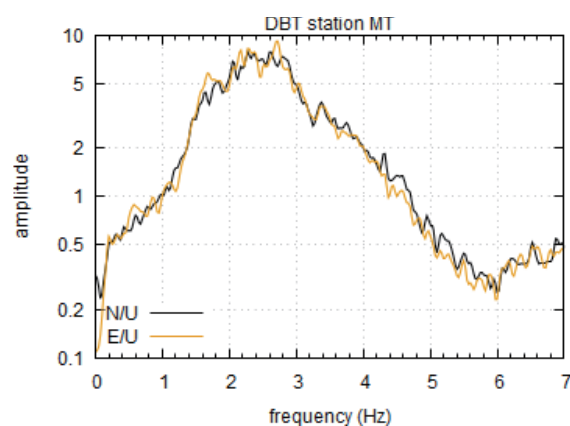


図 5 微動の水平動と上下動とのスペクトル比

#### 4. 地震動の卓越振動数

地震動の増幅特性を確認するために、表 2 に示す 7 地震の際の強震動と 10 地震の際の弱震動記録を集めた<sup>7)</sup>。強震動記録は気象庁を通して入手し、弱震動記録は青森県庁から提供を受けた。以下では、弱震動記録を利用して卓越振動数等を議論する。

地震動そのもののスペクトルは震源特性と際と増幅特性の両者の影響が含まれているので、そのままではサイト特性が分かり難い。そこで、S 波初動から約 20 秒を対象にスペクトルを求め、そこから水平動と上下動とのスペクトル比を求めた。結果を図 6 に示す。図中の灰色の線は各々の弱震のスペクトル比であり、青線がその幾何学的平均である。赤線は強震動のうち、もっとも震度が大きかった S2 event の結果を示している。弱震の平均スペクトル比は、水平 2 成分で形状はやや異なるものの、ピーク振動数は 1.6Hz で同じである。一方、赤線で示した S2 event ではピーク振動数は 1.4Hz となっており、弱震のスペクトル比の平均に比べて低い。

地震動の HV 比はサイト増幅特性そのものではない<sup>8)</sup>が、地震時にはこの振動数が卓越することは間違いない。一方で、震度は 1Hz 付近に重みを置いている<sup>9)</sup>。このことにより、道仏観測点の震度が周辺観測点よりも大きくなるのであろう。また、表層の S 波速度構造により 3Hz 付近の地震動成分を増幅させることから、加速度も大きくなるものと推察される。強震時には表層の剛性が

低下し、凝灰岩層とのインピーダンス比がより小さくなるので、弱震時よりも卓越振動数が低下するとともに、地表での振幅が大きくなる。このこと、より震度が大きくなり易いと考えられる。

地震動のHV比のピーク振動数は1.6Hzであり、微動のHV比のピーク振動数よりも低くなっている。このことは、深部地下地盤が地震動に影響を及ぼしていることを示している。そこで、表1に示した、最深部の凝灰岩の下にS波速度が3400m/sの層（地震基盤）があるとし、弱振動のHV比のピーク振動数を満たすように、凝灰岩の層厚を試行錯誤的に求めた。その結果、凝灰岩層の厚さは55mと求めた。このようにして求めた地下構造で地震基盤からのS波、P波速度の増幅倍率および以下の式で定義されるEHVRを求めて

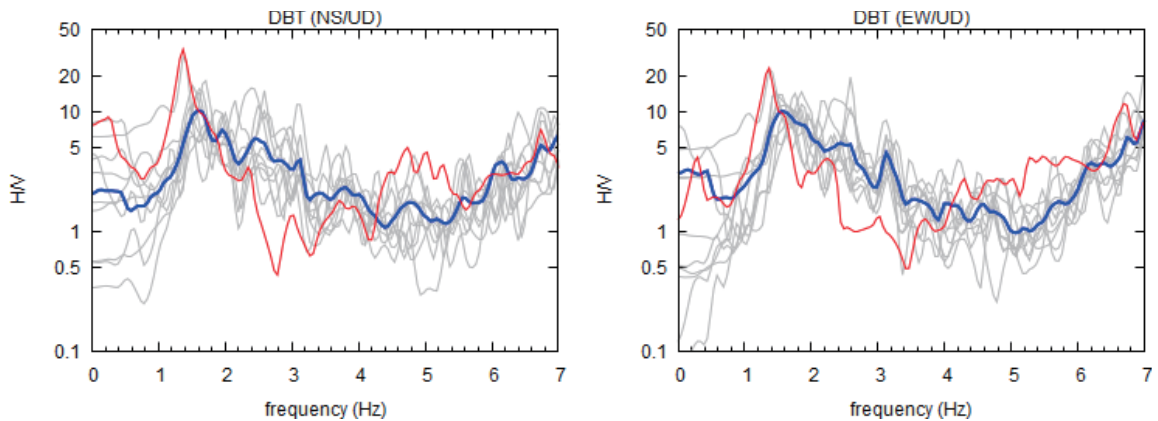


図6 地震動の水平動と上下動とのスペクトル比。灰色：各弱震動，青色：弱震動の平均値，赤：強震動（S2）

図7に示す。

$$EHVR = \sqrt{\frac{\alpha}{\beta} \frac{F_{HH}}{F_{VV}}} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha$ 、 $\beta$  は地震基盤のP波速度とS波速度であり、 $F_{HH}$ 、 $F_{VV}$  は地震基盤と表層間のS波、P波の伝達関数である。

#### 4. おわりに

階上町道仏震度観測点の震度が極局所的なものであるか、町内における臨時地震観測と微動観測を通して検討した。その結果、対象地点の震度は海岸沿いの地域に比べると大きいものの、同等と思われる地点があることが分かった。

表2 用いた地震動をもたらした地震諸元と地震動指標

(a) strong ground motion									
EQ id	date	Long.	Latti.	M	Depth (km)	PGA (cm/s/s)			
						SI_jma	NS	EW	UD
S1	20110407	141.920	38.203	7.2	66	4.9	178	244	104
S2	20150217	142.067	40.051	5.7	50	5.2	255	265	99
S3	20191219	142.107	40.307	5.5	50	4.9	266	308	108
S4	20201212	142.108	40.093	5.6	48	4.9	255	274	98
S5	20210501	141.740	38.173	6.8	51	4.5	107	107	45
S6	20211006	142.253	40.007	5.9	56	5.1	299	247	100
S7	20220316	141.622	37.697	7.4	57	4.7	173	219	59

(b) weak ground motion									
EQ id	date	Long.	Latti.	M	Depth (km)	PGA (cm/s/s)			
						SI_jma	NS	EW	UD
W1	20210127	142.012	42.426	5.4	128	2.7	29	20	14
W2	20210129	141.437	40.023	4.2	68	1.9	13	27	8
W3	20210314	142.245	40.080	4.6	40	1.5	5	9	5
W4	20210415	142.036	41.346	4.3	61	1.8	10	15	10
W5	20210526	142.075	40.205	3.7	49	1.7	14	12	10
W6	20210609	142.167	39.518	4.9	33	2.6	23	31	15
W7	20210609	142.257	40.054	5.0	38	3.0	41	55	21
W8	20210620	142.410	43.286	5.4	158	2.5	19	18	12
W9	20211009	142.147	39.592	4.7	54	2.7	28	29	19
W10	20211201	140.534	40.146	4.2	10	2.0	11	15	6

SI\_jma: Seismic intensity by JMA scale

## 謝辞

微動アレー観測およびそのデータ整理は、令和4年度の4年生に手伝って貰った。道仏観測点の地震記録は青森県から提供を受けた。階上町役場にはボーリング調査や微動アレー観測に当たって便宜を図っていただいた。地図はGMT<sup>10)</sup>を用いて作成した。本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第2次)」の支援を受けた。記して謝意を示す。

## 参考文献

- 1) 片岡俊一・山本博昭：地震動記録に基づく青森県内の強震観測点のサイト増幅度，日本地震工学会論文集，第7巻，第2号(特集号)，110-129，2007.
- 2) 片岡俊一：青森県階上町道仏震度観測点の特異性確認のための町内各地の地盤震動特性調査，東北地域災害科学研究，第58巻，13-17，2022.
- 3) 片岡俊一：2008年7月24日に発生した岩手県沿岸北部の地震の際に震度6弱を観測した青森県内の観測点の震動特性，岩手・宮城内陸地震被害調査研究グループ，平成20年北東北国立3大学連携推進研究プロジェクト岩手・宮城内陸地震被害調査研究報告書，106-110，2009.
- 4) Aki K.: Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to Microtremor, Bulletin of Earthquake Research Institute, XXXV, pp.415-457, 1957.
- 5) Lai, C. G. and Rix, G. J.: Simultaneous Inversion of Rayleigh Phase Velocity and Attenuation for Near-Surface Site Characterization, Report No. GIT-CEE/GEO-98-2, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, pp. 258, 1998,.
- 6) Lai C. G., and Krzysztof Wilmanski : Surface waves in geomechanics: direct and inverse modeling for soils and rocks, International center for mechanical sciences courses and lectures No.481, Springer Wien New York, 2005.
- 7) Kataoka, S. : Site response at the Bobutsu station in Aomori prefecture, Japan during strong and weak earthquake ground motion, submitted to 8th International conference on geotechnical earthquake engineering, Osaka, Japan, 2023.
- 8) Kawase H., F. Nagashimaa, K. Nakanob, Y. Mori : Direct evaluation of S-wave amplification factors from microtremor H/V ratios: Double empirical corrections to “Nakamura” method, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 126, 105067, 2019.
- 9) 気象庁：震度を知る：基礎知識とその活用、ぎょうせい、238p、1996年.
- 10) Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., & Tian, D. : The Generic Mapping Tools version 6. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 20, 5556–5564, 2019.  
<https://doi.org/10.1029/2019GC008515>

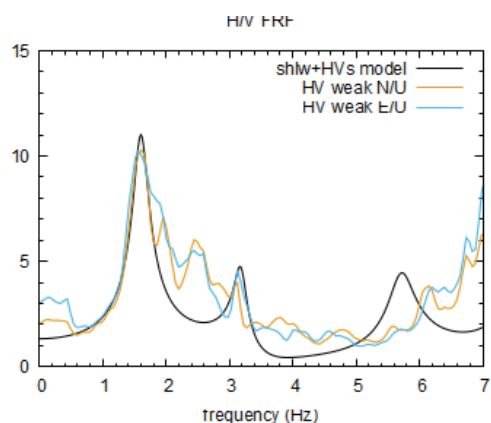


図7 地震基盤までのモデルによるEHVRと地震動の水平動と上下動とのスペクトル比



## 日本海東縁で発生する地震の周波数特性

### -規模を考慮した Frequency Index 解析に基づく検討-\*

弘前大学大学院理工学研究科 片山 藍貴・前田 拓人・高野 智也

#### 1. はじめに

地震の周波数特性の一つに低周波地震 (Low-Frequency Earthquake; LFE) がある。通常地震は規模が小さいほど高周波 (10-20 Hz) に卓越するが、低周波地震は規模が小さいにも関わらず低周波 (2-4 Hz) に卓越する。低周波地震が最初に発見されたのは活火山の北海道有珠山である (Minakami et al., 1951)。当初は火山周辺で観測されていたが、地震の検出技術の向上や気象庁の深部低周波地震の観測により火山以外の地域でも発見されるようになった。Nakajima and Hasegawa (2021)は、日本全国の内陸で発生した M0-2.5 の地震を網羅的に調べることで、深部から浅部まで幅広い地域で低周波地震を検出した。特に構造境界で多く検出されており、例えば中部地方の糸魚川・静岡構造線や北海道中央のプレート境界などの領域が挙げられる。Nakajima and Hasegawa (2021)の網羅的な解析や火山における低周波地震の周波数特性の研究 (松野・他, 2021) から、低周波地震といっても、どの程度低周波に卓越するかはさまざまであり、通常地震から特に低周波が卓越する地震まで、その特性が連続的に広がっていることが明らかとなってきた。

低周波地震の検知に関する先行研究は内陸では数多く行われているが、日本海東縁のような海域ではあまり行われていない。海域では内陸と比べて観測点との距離が遠いため、地震波形が減衰されてノイズに埋もれるからである。日本海東縁には逆断層が帯状に分布している歪み集中帯が存在し、定期的に大地震が発生している (大竹・他, 2002)。歪み集中帯の一部は北海道中央にも分布し、この地域は Nakajima and Hasegawa (2021)が検出した低周波地震の発生箇所と一致する。そのため、他の歪み集中帯においても特徴的な周波数特性をもつ地震が存在する可能性がある。

そこで本研究では、日本海東縁で発生した地震を対象に地震波スペクトルの形状から卓越周波数の高低を指標化し、空間分布を検討する。具体的な手法として Buurman and West (2010)による Frequency Index (FI 値)を用いる。また、幅広いマグニチュードの地震に対して網羅的にその周波数特性を検討できるよう、FI 値の距離と規模依存性を考慮した補正 FI 値を新たに考案する。

#### 2. 方法とデータ

本研究では卓越周波数の高低を表す指標として FI 値を用いた (Buurman and West, 2010)。その値は、以下で表される。

---

\* Characterization of earthquakes on the eastern margin of the Sea of Japan based on spectral shapes of seismic waves with correction for earthquake magnitude by Aiki Katayama



$$FI = \log_{10} \left( \frac{A_H}{A_L} \right) \quad (1)$$

ここで、 $A_H$ と $A_L$ は高周波数帯、低周波数帯の平均スペクトル振幅である。本研究では、 $A_H$ の周波数帯を10-20 Hz、 $A_L$ の周波数帯を2-4 Hzとした。FI値が大きな値であるほど高周波に、小さな値ほど低周波にそれぞれ卓越した波形であることを示す。地震波形解析には防災科学技術研究所の高感度地震観測網Hi-netの波形記録を用い、震源情報は気象庁一元化震源カタログを使用した。FI値を求める解析時間窓は気象庁のS波理論到達時間を基準に前5秒、後ろ10秒の間で最大振幅となった時間から2.56秒間とした。

本研究では日本海東縁を覆うように北海道から能登半島までの海域で発生した12289個の地震を対象としてFI値を求めた(図1)。地震発生期間は2004年4月1日から2022年12月31日までとし、深さ50km以浅の地震を使用した。地震の規模はM2からM6とした。規模をM2以上に設定したのは観測点まで震源距離が遠く、M2が観測点の検出限界だからである。使用する観測点は震央距離から200km以内の観測点を用いた。太平洋側の観測点は地震波散乱により波形が崩れる傾向が観測されたため、使用しなかった。また、S/N比が3以下の地震波形は除外した。

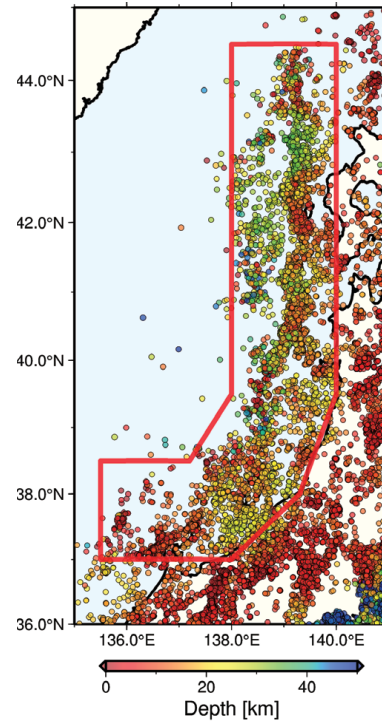


図1 | 研究対象(赤枠の範囲)とした地震の震源分布を丸で示す。色は深さを表す。

### 3. FI値の距離と規模依存性

本研究では日本海東縁全体の多くの地震と観測点を用いたため、FI値に距離依存性と規模依存性が見られた。そのため、まず平均的な地震のFI値の距離や規模依存性を表す理論FI値を新たに考案し、観測されたFI値の距離と規模依存性と比較した。その後、理論FI値を用いてFI値の依存性を改善できるよう試みた。理論FI値を構成する(1)式の $A_H$ と $A_L$ は、Boore(1986)の $\omega$ -squareモデルに基づく以下の式で表される。

$$A_H = \left( \frac{1}{f_{H2} - f_{H1}} \right) \int_{f_{H1}}^{f_{H2}} \frac{f M_0}{1 + \left( \frac{f}{f_0} \right)^2} e^{\left[ \frac{\pi f r}{\beta Q_s} \right]} df \quad (2)$$

$$A_L = \left( \frac{1}{f_{L2} - f_{L1}} \right) \int_{f_{L1}}^{f_{L2}} \frac{f' M_0}{1 + \left( \frac{f'}{f_0} \right)^2} e^{\left[ \frac{\pi f' r}{\beta Q_s} \right]} df' \quad (3)$$

ここで、 $f_{H1}$ 、 $f_{H2}$ 、 $f_{L1}$ 、 $f_{L2}$ はそれぞれ高周波数帯、低周波数帯の下限と上限であり、 $f$ と $f'$ は積

分変数を示す。 $M_0$ は地震モーメント、 $r$ は震源距離である。 $Q_s$ は  $Q$  値、 $\beta$ は平均 S 波速度である。 $f_0$ はコーナー周波数を示し、Eshelby (1957)の円形クラックモデルに基づき、

$$f_0 = \left( \frac{16 \Delta\sigma}{7 M_0} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{2.34\beta}{2\pi} \quad (4)$$

で表される。ただし、 $\Delta\sigma$ は応力降下量である。震源距離と地震モーメントは地震によって異なるため、理論 FI 値は地震の震源距離と規模に依存する。理論および観測 FI 値の距離依存性と規模依存性を図 2 と図 3 に示す。理論的に予測される FI 値の距離と規模依存性が観測 FI 値と整合していることが確かめられた。

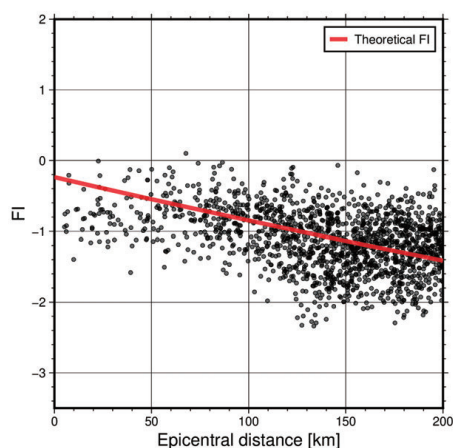


図 2 | FI 値の距離依存性。黒丸が観測記録に基づく FI 値、赤い直線が理論 FI 値。観測 FI 値と理論 FI 値は共に距離が大きくなるにつれて減少していく。

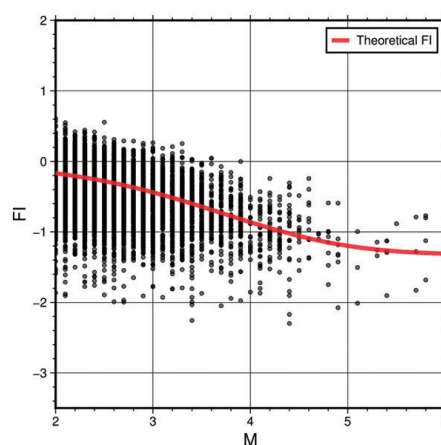


図 3 | FI 値の規模依存性。詳細は図 2 と同様。縦軸が FI 値で横軸が規模を示す。観測 FI 値と理論 FI 値は共に規模が大きくなるにつれて減少していく。

次に、FI 値の距離と規模依存性を改善する手法として補正 FI 値を新たに考えた。補正 FI 値は観測 FI 値から理論 FI 値を引くことで求めた。理論 FI 値はパラメータである  $Q$  値、S 波速度、応力降下量を適切に仮定し、観測 FI 値と一致するようにした。本研究ではそれぞれ  $Q$  値 700、S 波速度 3500 m/s、応力降下量 10 MPa とした。そのため、補正 FI 値はゼロ付近に分布し、距離や規模によらず一定の値を示す (図 4)。

#### 4. 結果

補正 FI 値を日本海東縁の地震に対して計算した結果を図 5 に示す。また、図 6 に補正前の

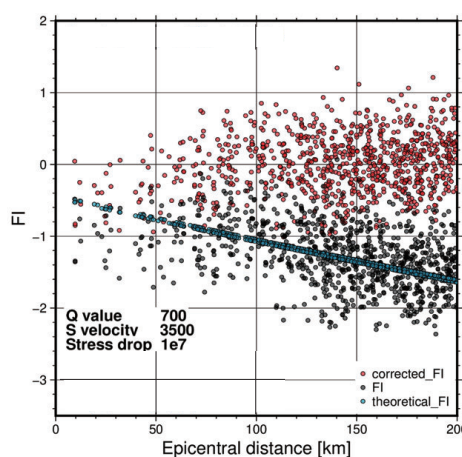


図 4 | 震央距離と FI 値の散布図。補正前 FI 値を黒丸、理論 FI 値を青丸、補正 FI 値を赤丸で表す。左下に理論 FI 値の計算に用いた  $Q$  値と S 波速度、応力降下量の値を示す。

FI 値の結果を比較として示す。図 5 より、補正 FI 値の大小が明瞭な地域がある。特に補正 FI 値が小さい地域は北海道沖、男鹿沖、新潟沖、能登半島周辺の 4 地域であり、これらの地域では相対的に低周波が卓越した地震が多く発生している。図 7 より補正前の FI 値の平均値は約-0.58 だが補正 FI 値の平均値は約-0.12 となり、補正後ではより 0 に近い場所で FI 値が分布した。また補正 FI 値での頻度分布のばらつきが小さく、標準偏差も改善されたことが分かった。

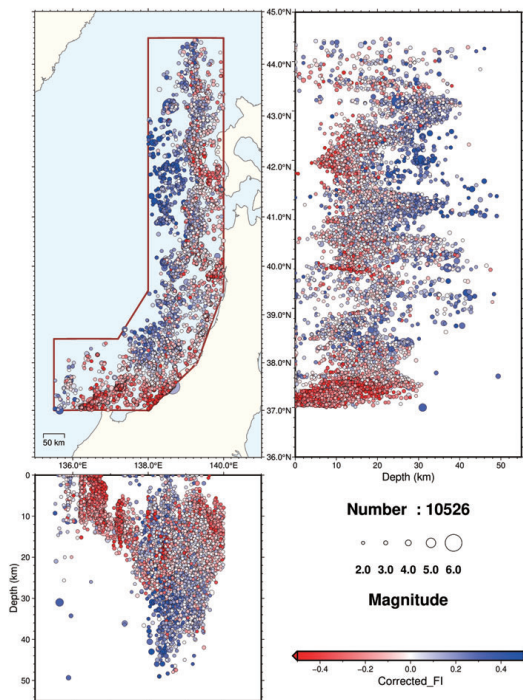


図 5 | 補正後の震源分布図。地震の震央位置と経度、緯度方向の深さ分布を示す。カラースケールは補正 FI 値に対応。

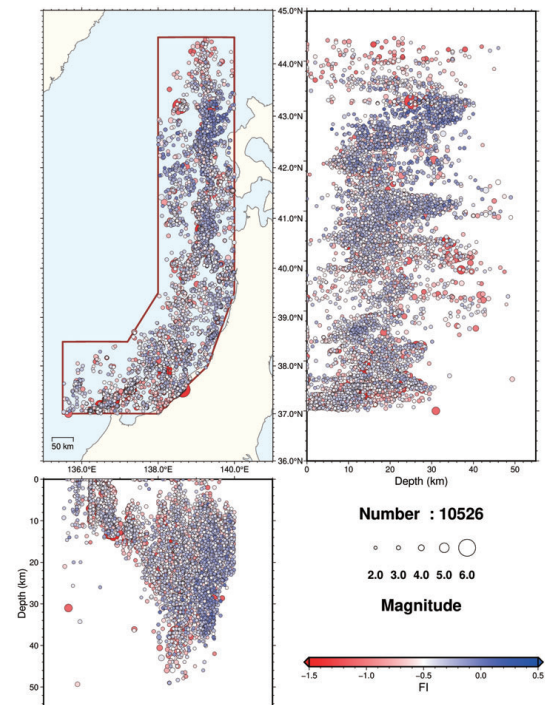


図 6 | 補正前の震源分布図。詳細は図 5 と同様。カラースケールは観測 FI 値に対応。

## 5. 議論

補正 FI 値が周囲と比べて小さい 4 地域は低周波地震が発生していると考えられる。そこで、既往研究で検出された内陸の低周波地震の分布図と比較を行った。既往研究として Nakajima and Hasegawa (2021)が検出した低周波地震 (図 8)と気象庁が検出した低周波地震 (図 9)の分布図を使用した。図 8, 9 より、4 地域周辺の内陸でも低周波地震が発生していることが分かる。これは本研究で検出された FI 値の小さい地域が内陸の低周波地震発生領域と連続して分布しているように見え、海域の低周波地震も内陸の低周波地震の発生メカニズムと同じように発生している可能性がある。例えば、Nakajima and Hasegawa (2021)では内陸の低周波地震の発生メカニズムに流体が関わっていると主張している。特に能登半島周辺は 2018 年頃から群発地震が活発に発生しており発生メカニズムに流体が関与していることが指摘されている (Amezawa et al., 2023)。そのため、能登半島周辺で検出された低周波地震も流体の関与が示唆される。ま

た、新潟沖では構造境界である糸魚川・静岡構造線が存在する。内陸と海域で低周波地震が連続して分布していることから、この構造境界が海域まで広がっている可能性が考えられる。

本研究では補正 FI 値を考案し、依存性の改善を試みた。しかしながら、規模依存性は大幅に改善されたが距離依存性は未だ残る結果となった。これは理論 FI 値のパラメータを決める際、地下構造を一様だと仮定していたからだと考えられる。よって、地下構造が深さによって変化することを考慮することで、距離依存性のさらなる改善に繋がると期待される。

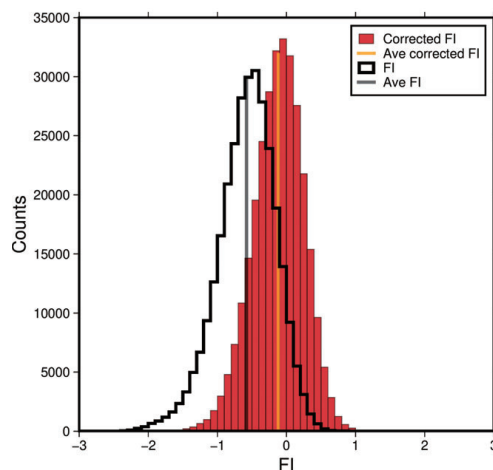


図 7 | 補正前 FI 値 (黒線) と補正 FI 値 (赤線) の頻度分布図。灰色の直線が補正前 FI 値の平均値、オレンジ色の直線が補正 FI 値の平均値を示す。

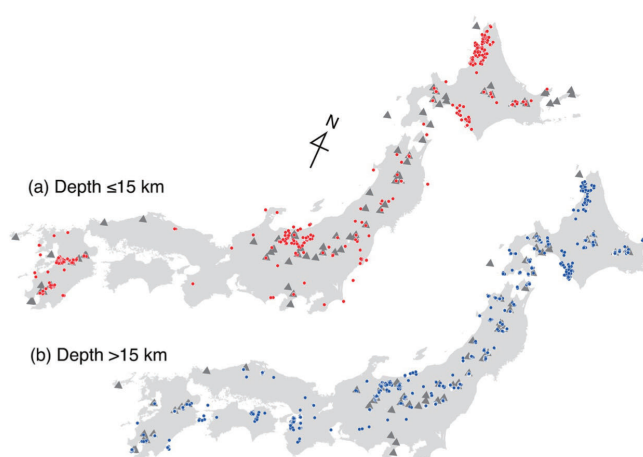


図 8 | Nakajima and Hasegawa (2021)より、検出した低周波地震の分布。上が深さ 15 km 以浅で下が深さ 15 km 以深の低周波地震を示す。黒い三角形が活火山。

## 5. おわりに

本研究では日本海東縁で発生した地震を対象に FI 値を用いることで日本海東縁の周波数特性を調べた。その際、震源距離と規模に応じた理論 FI 値を新たに考案し、補正 FI 値によって距離と規模依存性の改善を試み

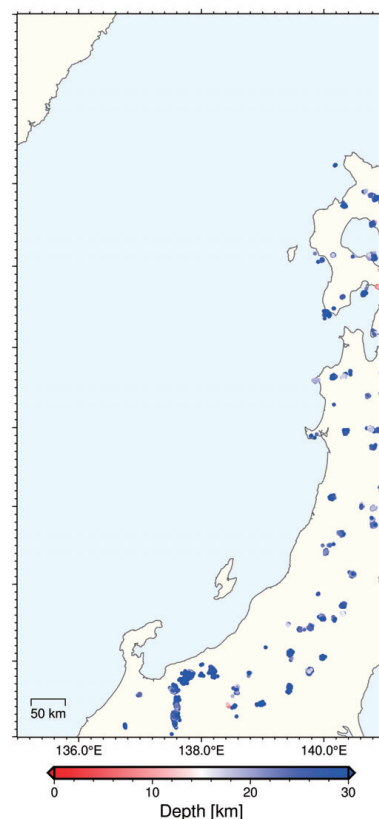


図 9 | 気象庁が検出した低周波地震の分布。カースケールは深さに対応。



た。その結果、補正 FI 値の分布に明瞭な地域性が見られた。特に補正 FI 値が小さい領域は北海道沖、男鹿沖、新潟沖、能登半島沖の 4 つの地域であることが分かった。これらの地域は低周波地震が発生していると考えられるため、4 つの地域と Nakajima and Hasegawa (2021) や気象庁が検出した内陸の低周波地震の発生領域と比較を行った。その結果、4 つの地域全てで内陸と海域で低周波地震が連続して分布していることが分かった。このことから、補正 FI 値を用いる事でこれまで調べられていなかった日本海東縁で発生した地震の顕著な周波数特性を発見することができた。

## 謝辞

本研究では、国立研究開発法人防災科学技術研究所の高感度地震観測網 Hi-net の地震波形記録と気象庁一元化震源のデータを使用させて頂きました。関係機関に感謝いたします。

## 参考文献

- Amezawa, Y., Hiramatsu, Y., Miyakawa, A., Imanishi, K., & Otsubo, M. (2023). Long-Living Earthquake Swarm and Intermittent Seismicity in the Northeastern Tip of the Noto Peninsula, Japan. *Geophysical Research Letters*, 50(8), e2022GL102670. doi: 10.1029/2022GL102670.
- Boore, D. M. (1986). The effect of finite bandwidth on seismic scaling relationships. *Earthquake Source Mechanics*, 37, 275-283. doi: 10.1029/GM037p0275.
- Buurman, H., West, M. E., Power, J. A., & Coombs, M. L. (2010). Seismic precursors to volcanic explosions during the 2006 eruption of Augustine Volcano. *The 2006 Eruption of Augustine Volcano, Alaska*, 41-57. doi: 10.3133/pp17692.
- Eshelby, J. D. (1957). The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems. *Proceedings of the royal society of London. Series A. Mathematical and physical sciences*, 241(1226), 376-396. doi: 10.1098/rspa.1957.0133.
- 松野有希, 小菅正裕, 前田拓人. (2021). 北海道雌阿寒岳における深部・浅部低周波地震活動. *東北地域災害科学研究*, 第 57 卷, 109-114.
- Minakami, T., Ishikawa, T., & Yagi, K. (1951). The 1944 Eruption of Volcano Usu in Hokkaido, Japan: History and mechanism of formation of the new dome "Syowa-Sinzan". *Bulletin Volcanologique*, 11, 45-157.
- Nakajima, J., & Hasegawa, A. (2021). Prevalence of shallow low-frequency earthquakes in the continental crust. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(4), e2020JB021391. doi: 10.1029/2020JB021391.
- 大竹政和, 平朝彦, 太田陽子. (2002). 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス. *東京大学出版会*, 27-69, 175-185.

# 2011年東北地方太平洋沖地震の際の 津軽平野における長周期地震動の振幅分布

弘前大学大学院地域共創科学研究科 小田島智弘  
弘前大学 片岡俊一

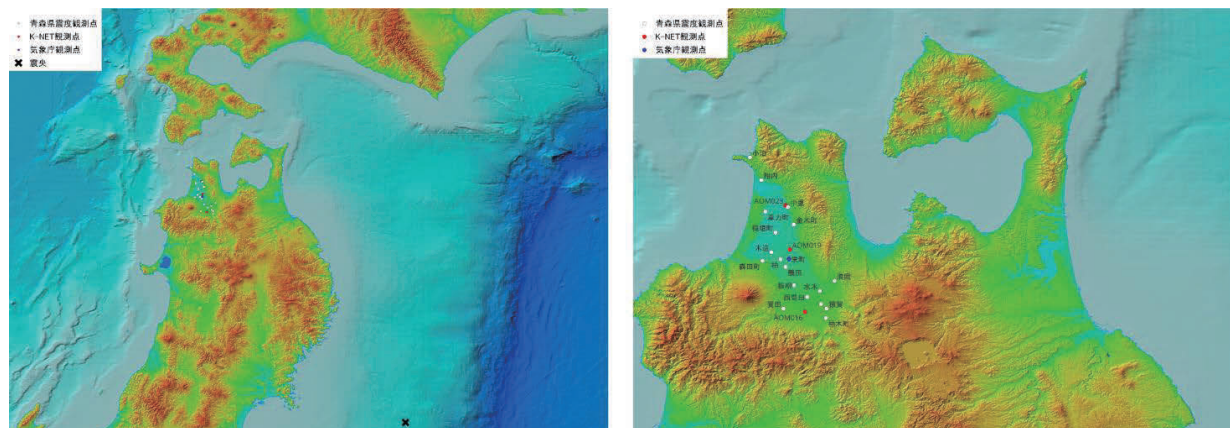
## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震の際のつがる市車力町観測点における震度は周辺の観測点に比べやや大きかった。その理由として、NS成分に周期2秒程度のパルス的な位相の影響が考えられる。また、1983年日本海中部地震の際に津軽平野の中心部に位置する津軽大橋観測点の記録も周期2.5秒の地震動が卓越していた。このように津軽平野では、地盤構造によって長周期成分の地震動が増幅、励起する可能性が高い。そこで、本研究では2011年東北地方太平洋沖地震の際の津軽平野の長周期地震動について観測記録を収集して分析検討した。

## 2. 観測点と観測記録

用いた地震動記録は青森県が設置した18カ所の震度観測点、津軽平野周辺の3カ所のK-NET観測点、1カ所の気象庁観測点で得られたものである。観測点と震央の位置を図1(a)、観測点分布を図1(b)に示す。青森県設置の震度計による記録は青森県から提供を受けたものである。

地震動記録は全て加速度成分であるが、以下ではそれを積分して0.1Hzから1.2Hzのバンドパスフィルターを施した速度波形で考察した。



(a)観測点と震央

図1 観測点と震央分布図

(b)観測点分布

## 3. 津軽平野における卓越振動数

### 3.1 手法

津軽平野において卓越する振動数を確認するためにフーリエ解析を行い、スペクトル振幅の

\*Vibration distribution of long-period seismic motions in the Tsugaru Plain during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by Tomohiro Odajima



空間分布を求めた。

スペクトル振幅を空間的に比較するためには、比較する波動成分を観測点間で対応させる必要がある。そこで、気象庁の JMA2001 走時表を基に理論走時を求め、各観測点における P 波初動時刻と S 波初動時刻を求めてみた。初動時刻と記録開始時刻とを比較した結果、五所川原市金木町観測点とつがる市木造観測点以外の他の観測点では P 波初動時刻より後に記録を開始していることが分かった。また、各観測点記録には長短があり、走時に合わせて比較すると、S 波初動から 140 秒間が全地点を統一的に比較できる最長の長さであった。よって、この区間を対象にフーリエスペクトルを求めることにした。

### 3.2 結果

各観測点の卓越振動数は異なっていたので、空間分布を調べることにした。得られたスペクトル振幅を 0.2Hz, 0.3Hz, 0.4Hz, 0.5Hz を中心としたバンド幅 0.6Hz の帯域に区切り、その平均値を求め、更に水平動成分は NS 成分と EW 成分の平均値をそれぞれ二乗し和を取ったものの平方根を返したもので空間分布を調べた。水平動成分の空間分布を図 2 に示す。

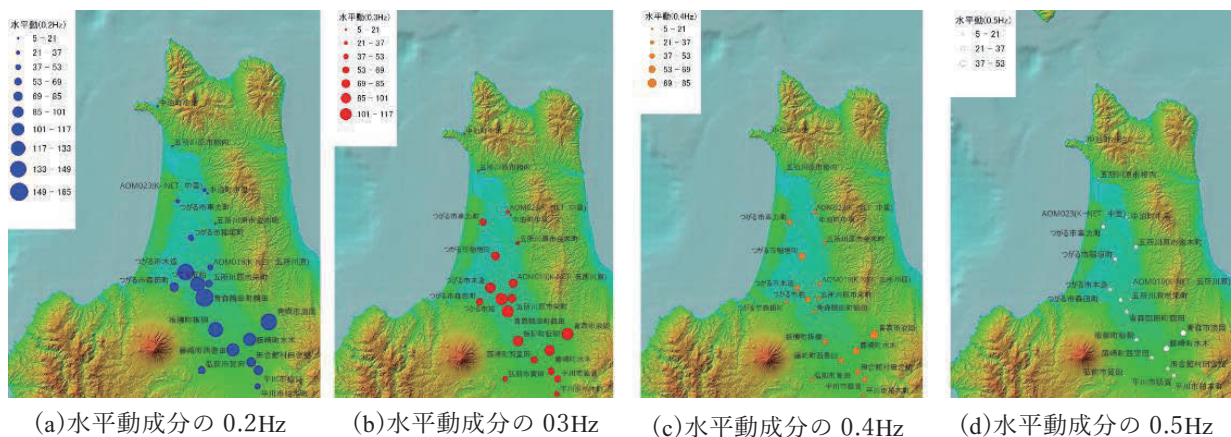


図 2 水平動成分の空間分布

図 2 から平野内でスペクトル振幅が顕著に大きいのは、津軽平野の南部に位置するつがる市木造観測点から青森鶴田町鶴田観測点における 0.2Hz, 0.3Hz であった。津軽平野の北側には十三湖があり、津軽平野はここで海につながる。つまり、標高が低いのは北部であるが、津軽平野の南部で長周期の振幅が大きいことは興味深い。但し、津軽平野の北部には観測点がないことにも注意が必要であろう。

また、隣接した観測点でも振幅が大きくなる地点があることも分かった。例えば、つがる市柏観測点と気象庁観測点の五所川原市栄町観測点、K-NET 五所川原では観測点同士の距離が近いにも関わらず、0.2Hz のスペクトル振幅が異なっている。さらに、青森市浪岡観測点は 0.2Hz の成分のスペクトル振幅の値が周辺の観測点に比べて大きいことがわかる。図示はしていないが、上下動成分でも 0.2Hz, 0.3Hz 程度が卓越していた。

## 4. 考察

### 4.1J-SHIS モデルの増幅倍率の空間分布

一般に観測地震記録は震源特性とサイト増幅特性の両者の重積の結果である。しかしながら、

同じ地震に対する各観測点の比較を行なっているため、サイト増幅特性の影響が強いと考えられる。本報告で対象としている振動数であれば、地震基盤までの地下構造の影響も大きいであろう。そこで、地震ハザードステーションにて公開されている深部地盤構造(以下、J-SHIS モデル)<sup>2</sup>を利用して、観測結果が説明できるのか検討した。

各観測点の緯度経度を用いて、WebAPI を用いて、J-SHIS モデルを求め、地震基盤から鉛直入射する SH 波の増幅倍率を求めた。増幅倍率を 0.2Hz, 0.3Hz, 0.4Hz, 0.5Hz を中心としたバンド幅 0.6Hz の帯域に区切り、その平均値を求め、空間分布を行なった。その結果を図 3 に示す。

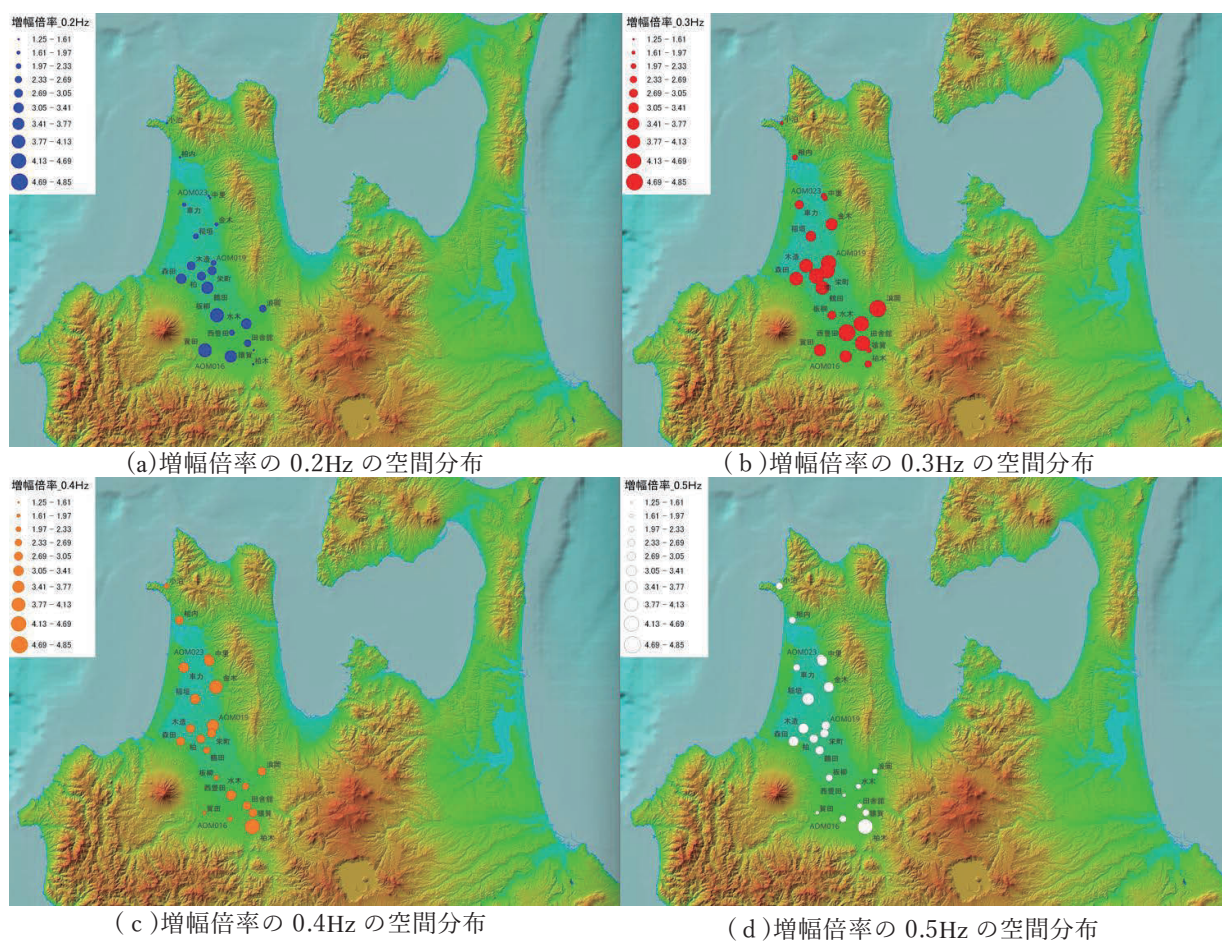


図 3 増幅倍率の空間分布

前述したように観測されたスペクトル振幅が最も大きい、津軽平野の南部に着目すると、木造観測点や柏観測点、鶴田観測点に比べて K-NET 五所川原の増幅倍率の大きさが小さくなっていることがわかる。

#### 4.2 スペクトル振幅と J-SHIS モデルの増幅倍率の比較

2011 年東北地方太平洋沖地震の際に観測されたスペクトル振幅と J-SHIS モデルから想定される増幅倍率の平均値とを振動数幅毎に比較した。

比較に際しては振動数毎にスペクトル振幅、増幅倍率の最大の値のものを 1 とし、他の観測点の値と比を取った。

地震動記録のスペクトル振幅の平均値の比を取ったものを横軸とし、増幅倍率の平均値の比を取ったものを縦軸とした結果を図4に示す。

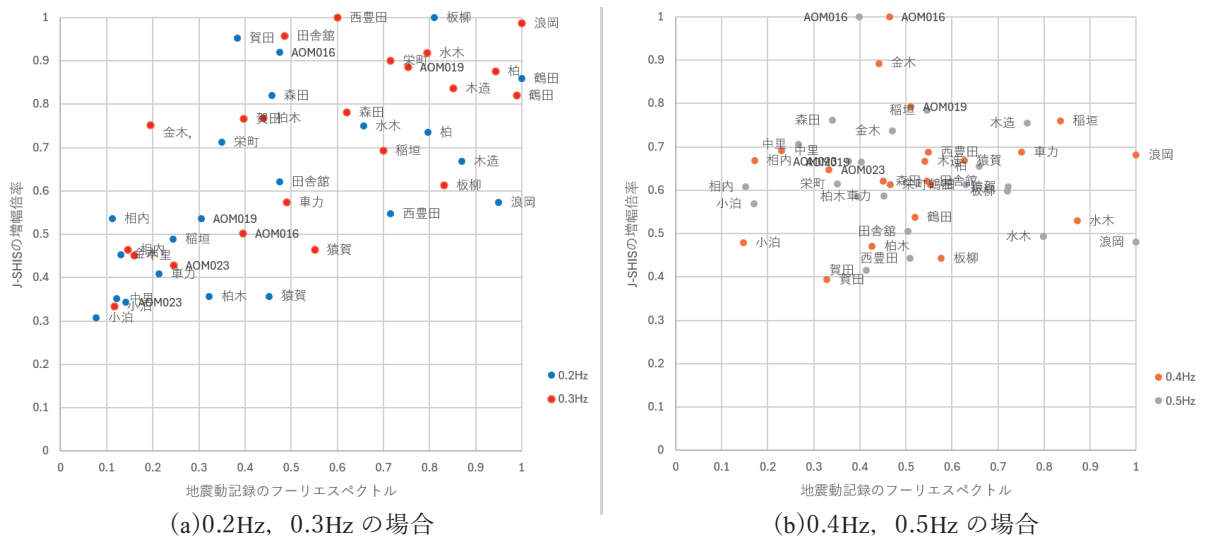


図4 スペクトル振幅と増幅倍率の比較

図4では、振動数毎にマークを変え、(a)では0.2Hz, 0.3Hzを(b)では0.4Hz, 0.5Hzの結果を示している。全体的には右上がりの傾向が見られるので、観測振幅と増幅倍率とは対応しているように見える。しかしながら、例えば0.2Hzでは、弘前市賀田観測点、K-NET弘前、つがる市森田町観測点気象庁観測点の五所川原栄町、青森市浪岡観測点がスペクトル振幅と増幅倍率の平均値との対応が悪い。また、0.3Hzでは、弘前市賀田観測点、K-NET弘前、藤崎町西豊田観測点、田舎館村田舎館観測点、0.4Hzにおいては平川市柏木観測点、K-NET五所川原、五所川原市金木町観測点、0.5Hzにおいては平川市柏木観測点、青森市浪岡観測点の地震動記録のスペクトル振幅とJ-SHISモデルの増幅倍率の平均値との対応が悪い。

## 5. まとめ

まず、2011年東北地方太平洋沖地震の際に津軽平野において卓越した振動数成分を調べるために、全地点の観測記録が同等に比較できるS波初動から140秒間を対象にフーリエスペクトルを求めた。さらに、スペクトル振幅を0.2Hz, 0.3Hz, 0.4Hz, 0.5Hzを中心としたバンド幅0.6Hzの帯域に区切り、その平均値の空間分布を比較した。その結果、津軽平野において一様に卓越する振動数は確認できず、津軽平野の南部に位置するつがる市木造観測点から青森鶴田町鶴田観測点にかけては水平動成分の0.2Hz, 0.3Hzが卓越していた。本報告では図示していないが、この地点では上下動成分でも0.2Hz, 0.3Hzが卓越していた。

次に観測点においてJ-SHISの深部地盤構造モデルを求め、その構造に対して地震基盤から鉛直入射するSH波の増幅倍率を求めた。その結果を地震動の処理と同様に行ない、空間分布を求めた。観測記録で見られた、観測点同士の距離が近いにも関わらず、スペクトル振幅の大きさが異なる現象は、J-SHISモデルでも確認された。

観測された地震動記録のスペクトル振幅の平均値と増幅倍率の平均値を比較したところ、両

者は概ね対応していた。しかしながら、振動数毎に対応が悪い観測点が存在することも分かった。

### 謝辞

青森県から震度計の地震動記録の提供を受けた。記して謝意を示す。

### 参考文献

- 1) 気象庁：走時表・射出角度・速度構造データファイル，  
[https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/bulletin/catalog/appendix/trtime/trt\\_j.html](https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/bulletin/catalog/appendix/trtime/trt_j.html)（2024年1月14日確認）
- 2) 地震ハザードステーション：地震動予測地図データの利用約款，<https://www.jshis.bosai.go.jp/map/JSHIS2/download.html?lang=jp>（2024年1月14日確認）





## 仙台平野南部の伏在活断層の震度予測の試み\*

東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター 岡田知己  
岩手大学理工学部 岡田真介

### 1. はじめに

岡田真介・他 (2017, 2022, 2023) は、反射法地震探査や重力探査により、仙台平野南部において伏在活断層の存在を確認した。その長さは 25km となり、気象庁マグニチュード換算で 7.2 となる。走向はおおよそ南で西傾斜が考えられる。一方、平野の軟弱地盤は地震波の増幅率が大きいことから、軟弱地盤下の断層・地震はその規模に比べて、地表での大きな振幅・震度をもたらすことが想定される。本研究では、伏在活断層の震度予測の例として、岡田真介・他 (2017, 2022, 2023) の仙台平野南部の伏在活断層について、震度予測を試みた。

### 2. 方法

岡田真介・他 (2017, 2022, 2023) の想定断層に従うように仙台平野南部下に伏在断層を設定した。断層長は 25km とした。手続きは、「簡便法」に従った。簡便法 (例えば、香川, 2017) では、1) 断層長を基本の値とし、これまで発生した大規模地震における断層長と規模 (マグニチュード) との平均的な関係から、マグニチュードや断層の幅や深度といったパラメータを求める。2) 距離減衰式と呼ばれる震源距離と地震動との関係式を元に、基盤における地震動の最大速度を求める。3) 基盤における地震動に、微地形区分から推定される地震動の増幅率をかけることで各地点の地表での最大速度を求め、最大速度から震度に換算する、という手順をとる。この方法では、断層でのすべりや地下構造の不均質性など詳細な情報は考慮されないが、簡易な地震動・震度の推定方法として、全国の活断層の震度予測に用いられている。

各パラメータは、「全国地震動予測地図 技術報告書 ([https://jishin.go.jp/main/chousa/09\\_yosokuchizu/g\\_model.pdf](https://jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_model.pdf))」により設定した。断層長 25km は Mw 6.7 と換算された。近傍の活断層である双葉断層帯における設定と同じく、岡田知己・他 (2022) の震源分布なども参考に、地震発生層の下限は 20km、上限は 2km と仮定した。傾斜角は逆断層の平均的な値として 45 度と仮定した。「全国地震動予測地図 技術報告書」により、断層幅は 18km とした。防災科研より公開されている「距離減衰式による地震動予測ツール (先名・藤原, 2011)」を使用した。

### 3. 結果

図 1 に微地形区分を示す。図 2 に想定される震度分布図を示す。震度 6 弱を超える地域は仙台市付近から福島県南相馬市付近まで南北に約 70km、東西に広いところで約 20km となった。仙台平野南部や断層より西の宮城県角田市付近の盆地では震度 6 強以上が推定された。断層の

---

\* An attempt to predict seismic intensity by the blind active fault beneath the southern Sendai plain by Tomomi Okada and Shinsuke Okada

地表トレースと西側の山地境界の間には帯状の震度7程度の領域も確認された。

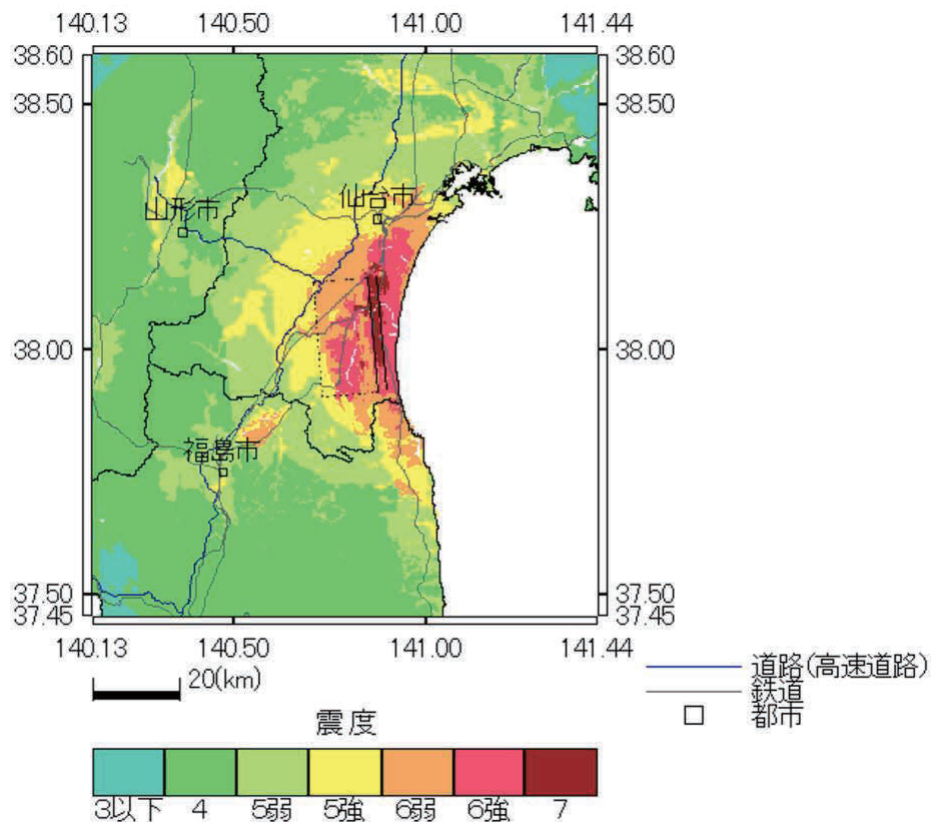
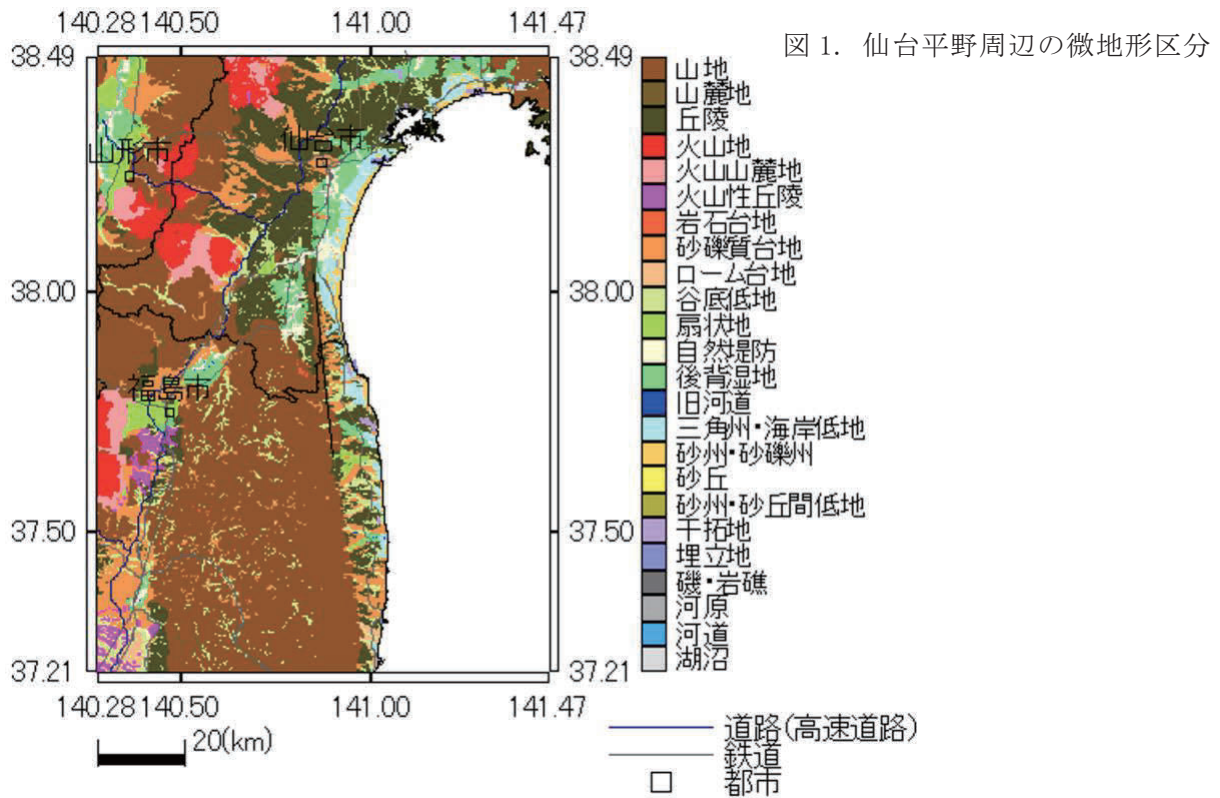


図2. 仙台平野南部の伏在断層による震度分布

#### 4. 議論

本研究による震度分布について、周辺の他の断層の震度予測と比較した(図3)。仙台平野南部の伏在断層の Mw は 6.7 で、想定断層長は 26km である。長町・利府断層や双葉断層は Mw6.9 で想定断層長は 42km である。仙台平野南部の伏在断層はそれら2つの断層と比べると震度6弱以上の範囲は狭いものの、断層の地表トレースと西側の山地境界の間に見られる帯状の震度7程度の領域は他の2つの断層よりも顕著に確認できる。

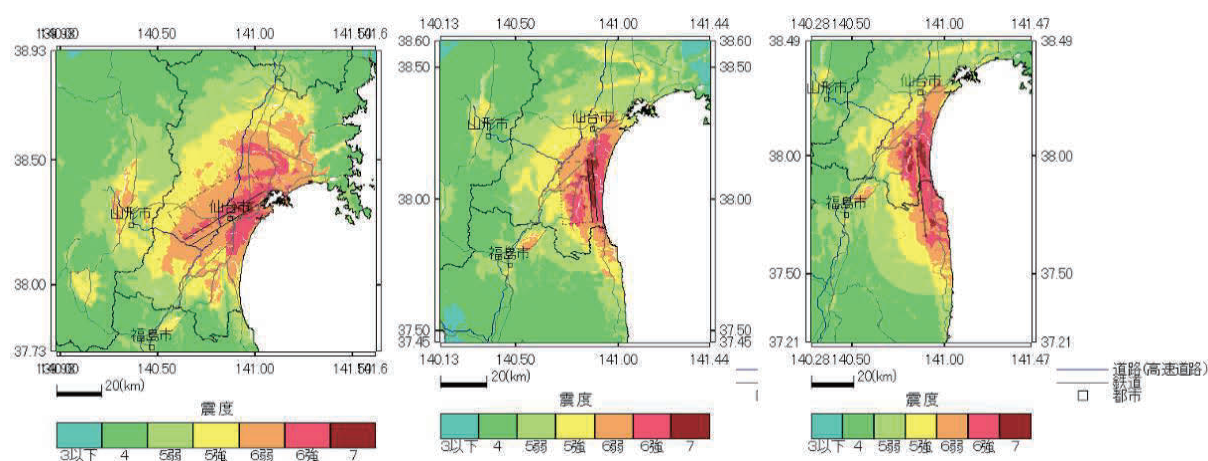


図3. 左から「長町・利府断層」「仙台平野南部の伏在断層」「双葉断層」による震度分布図。

本研究で仮定したパラメータは、不確実性が大きいので、仮定の範囲による震度分布の範囲を検討した。一例として、傾斜角を変えた場合の震度分布を確認した(図4)。断層の地表トレースと西側の山地境界の間に見られる帯状の震度7程度の領域は傾斜30度では顕著ではないが、傾斜が大きくなるほど、より顕著となる。

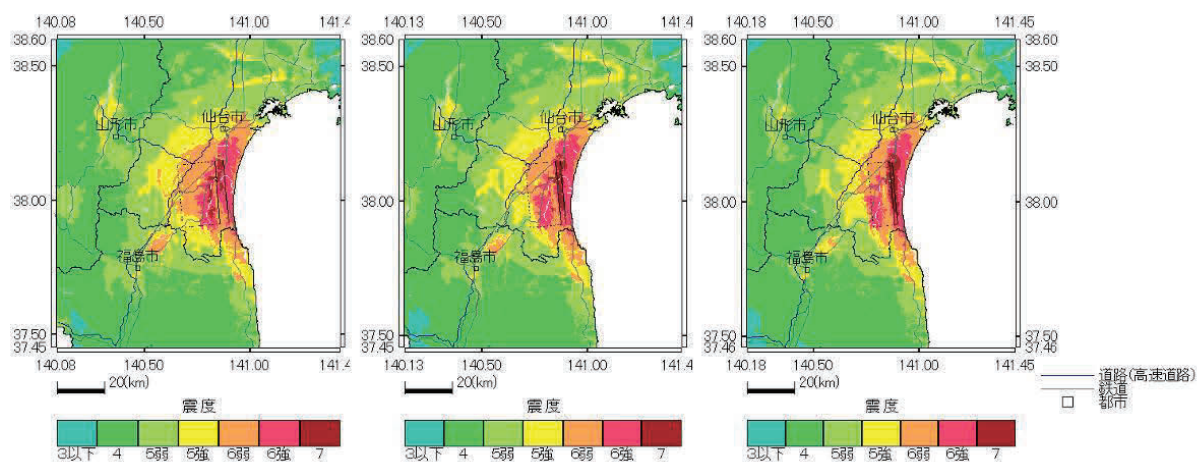


図4. 傾斜角を変えた場合の震度分布。左から30度, 45度, 60度とした場合を示す。

さらに断層の最も浅い滑り領域の深度を変えた場合の震度分布を確認した(図5)。断層の地表トレースと西側の山地境界の間に見られる帯状の震度7程度の領域は、最も浅い滑り領域の深度がより浅くなるほどより顕著となる。

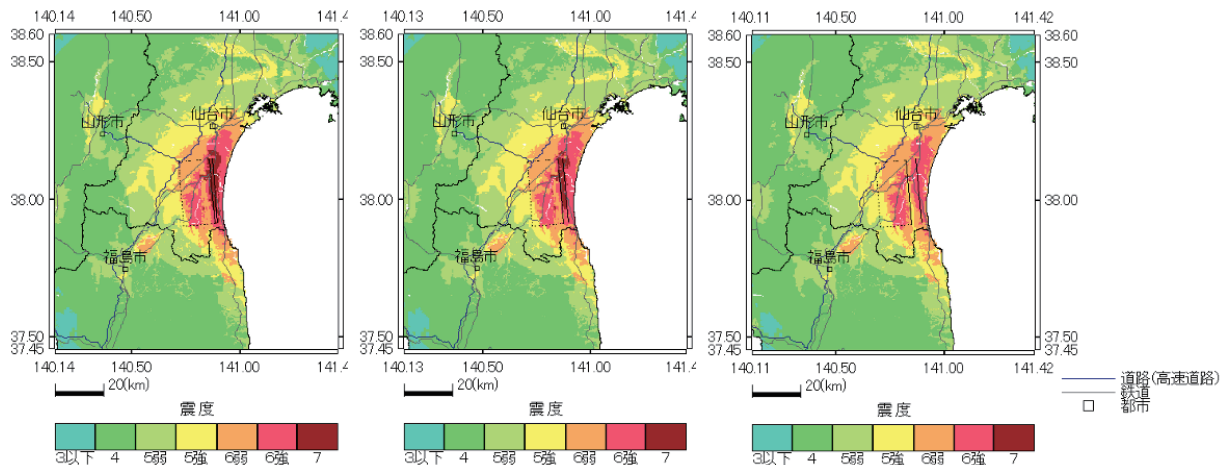


図. 断層の最も浅い滑り領域の深度を変えた場合の震度分布。左から 1km, 2km, 4km とした場合を示す。

## 5. まとめ

震度 6 弱を超える地域は仙台市付近から福島県南相馬市付近まで南北に約 70km、東西に広いところで約 20km となり、仙台平野南部や断層より西の宮城県角田市付近の盆地では震度 6 強以上が、断層地表トレースと西側の山地境界の間には帯状の震度 7 程度の領域も確認された。このような震度分布は仮定に依存している。現状では不確実性が大きく、より正確な推定・あるいは推定の幅の確認のためには、断層の傾斜角やすべりが発生する深さ上限・下限の推定や推定範囲の見積が必要である。なお、「全国地震動予測地図 技術報告書」に従い、今回は、断層の幅を 18km としたが、この地域の地震発生層の厚さと断層の傾斜角からはより大きな幅が期待されるため、断層幅について本断層に適した推定値・設定値を用いることも考えられる。さらに、今後、微地形区分やサイト増幅特性については、より最新のものを活用し、より高分解能で信頼性の高い推定を行う予定である。また、本断層の活動特性については、周囲の活断層、特に、一部並行し近傍の活断層である双葉断層帯との関係(例えば、佐藤・他, 2013)についても検討する必要がある。

## 謝辞

本研究は、「距離減衰式による地震動予測ツール(先名・藤原, 2011)」を使用しました。福島洋氏・中原恒氏のご助言、市來雅啓氏・高木涼太氏のご協力に感謝いたします。本研究は文部科



学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」の支援を受けました。

## 参考文献

岡田 真介・今泉 俊文・楮原 京子・越後 智雄・戸田 茂・松原 由和・三輪 敦志・住田 達哉, 2017, 反射法地震探査および重力探査から明らかになった仙台平野南部の伏在活断層, 地震第2輯, 70, 109-124, doi:10.4294/zisin.2016-20.

岡田真介・越谷 信・田中美咲・平出裕博・岡田知己, 2022, 重力探査による仙台平野南部の伏在活断層南端部の連続性, 東北地域災害科学研究集会

岡田真介・越谷信・住田達哉・新沼徹磨・田中美咲・平出裕博・岡田知己, 2023, 地下構造探査から明らかになった仙台平野南部の伏在活断層, 東北地域災害科学研究集会

岡田知己・中山貴史・平原 聡・立岩和也・堀内茂木・勝俣 啓・大園真子・小菅正裕・前田拓人・山中佳子・片尾 浩・松島 健・八木原寛・2011 年東北地方太平洋沖地震緊急観測グループ, 2022, 東北地方中南部における臨時地震観測, 東北地域災害科学研究, 58, 19-24, <http://nds-tohoku.in.arena.ne.jp/ndsjournal/volume58/58-4.pdf>

香川敬生, 2017, 強震動予測手法の概要, 日本地震学会ニューズレター, 70, NL\_3\_35-NL\_3\_37.

佐藤比呂志・越谷 信・石山達也, 2013, 双葉断層における高分解能反射法地震探査・重力探査, 82-86, 東北地方太平洋沖で発生する地震・津波の調査観測, 平成24年度 成果報告書, 文部科学省 研究開発局・国立大学法人東京大学地震研究所, [https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/tohoku\\_tsunami/h24/24Report\\_Chap3\\_2\\_2.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/tohoku_tsunami/h24/24Report_Chap3_2_2.pdf).

先名重樹・藤原広行, 2011, 地震動予測地図作成ツールの開発, 防災科学技術研究所研究資料第354号, [https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied\\_tech\\_note/pdf/n354.pdf](https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/pdf/n354.pdf)





## 青森県八戸市における日本海溝地震を想定した津波避難解析\*

八戸工業大学大学院 堀合 紳弥  
八戸工業大学大学院 尾崎 壮一  
八戸工業大学大学院 高瀬 慎介  
日本工営(株)中央研究所 野島 和也  
八戸工業大学大学院 武山 泰

### 1. はじめに

東北地方の太平洋沿岸部では、千島海溝および日本海溝沿いを震源とする地震(以下、日本海溝地震)が想定<sup>1)</sup>され、東日本大震災津波を超える規模の津波襲来が予想される。東日本大震災以前より、津波避難計画等においては、避難行動時の移動手段は原則徒歩避難を推奨している。しかし、日本海溝地震想定を受け、身体的状況や避難場所までの移動距離が長距離となる場合に限り、車両避難を容認する自治体が増加している。同地方では、冬季間において降雪や積雪など、気象条件の悪化による避難行動への影響が懸念される。このような気象条件の場合、避難速度の低下などにより迅速な避難行動が困難となる可能性がある。また、将来的に少子高齢化が深刻化し、高齢層が増加した場合には、津波到達時刻までに避難を完了できる人口の減少が懸念される。過去の津波災害では、車両避難時に渋滞等の交通障害による影響を受け、津波に遭遇し犠牲または被災する事例が多く確認されている。牧野鳴ら<sup>2)</sup>、亀田ら<sup>3)</sup>によって歩車混在避難を想定した解析は行われているが、これらは東日本大震災での事例に適用した再現解析や、南海トラフ巨大地震の被災想定地域を対象とした事例であり、日本海溝地震を想定した研究や、積雪地域の気象条件を考慮した事例は多くはない。想定津波に対し、各自治体が車両避難を容認する場合、その有用性と安全性を十分に事検証しておく必要がある。

本研究では、将来発生が予想される日本海溝地震津波の被災対象地域において、積雪寒冷地での冬季夜間避難時を想定した避難行動解析を実施する。少子高齢化が懸念される地域での避難方法として、歩行および車両の選択比率を変化させた場合の犠牲率とその増減率の推移を検証する。

### 2. 日本海溝地震を想定した津波遡上解析

日本海溝地震にて発生した津波遡上を再現するため、日本工営株式会社の津波計算コード<sup>4)</sup>による遡上解析を行った。解析条件を表-1に示す。内閣府が公開する日本海溝地震断層パラメータから、断層モデルにより地殻変動量と水位変動量を算出した。その後、水位変動量を用いて、非線形長波方程式に基づく津波遡上計算を実施し、陸上部での浸水深データを作成した。遡上津波による避難行動への影響を検証するため、建物による影響を考慮する。計算メッシュには、国土地理院が公開する基盤地図情報の建築物データを用いて、全建物高さを考慮した地形と堅ろう建物のみの建物高さを考慮した地形メッシュ(図-2)を作成した。

\* Tsunami evacuation analysis in Hachinohe City, Aomori Prefecture assuming a Japan Trench earthquake by Shin-ya HORIAI, Soichi OZAKI, Shinsuke TAKASE, Kazuya NOJIMA and Yasushi TAKEYAMA

解析結果における市街地の最大水位を図-3、図-4に示す。建物の配置により内陸部の水位は変化するものの、海岸部では10m前後の水位を観測していることが分かる。また、解析結果から、浸水区域内に位置する避難施設の簡易的な利用可能判定を行った。この判定は、建物近傍の最大浸水深と、建物階数にフロア高さ3mを乗じた値を比較し、避難階として3m以上を確保できる施設を判定しており、避難行動解析の避難目標地点とする。判定結果を図-5に示す。○マークは避難階1フロア以上利用可能、△マークは屋上のみ利用可能、×マークは利用不可を示している。

この簡易判定結果を基に、避難行動解析での避難目標地点を設定した。

表-1 遡上解析条件

計算格子間隔	領域1：450m 領域2：150m 領域3：50m 領域4：10m 領域5：2m
陸海境界条件	領域1,2：反射条件 領域3,4,5：遡上条件
基礎方程式	非線形長波方程式
計算手法	Staggerd格子・Leap-Frog法
断層モデル	Fujii-SatakeモデルVer8.0
断層パラメータ	日本海溝モデル2(青森沖開始)
初期波源	Okada(1992)で地殻変動量計算
粗度係数	小西ら(1998)
塑望潮位	T.P.0.7m
時間増分	0.01sec
解析時間	地震発生4時間後まで
構造物	全建物or堅ろう建物のみ、堤防有無

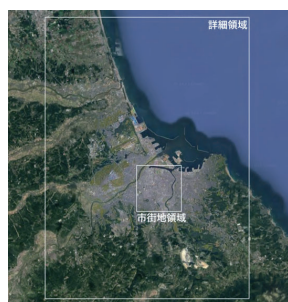
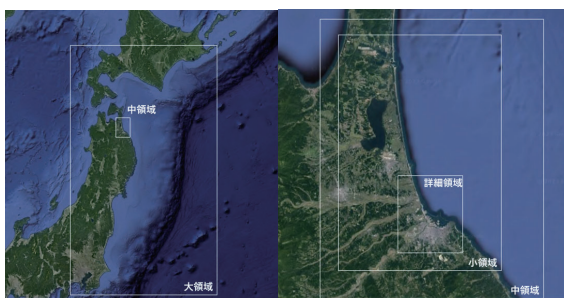


図-1 計算領域

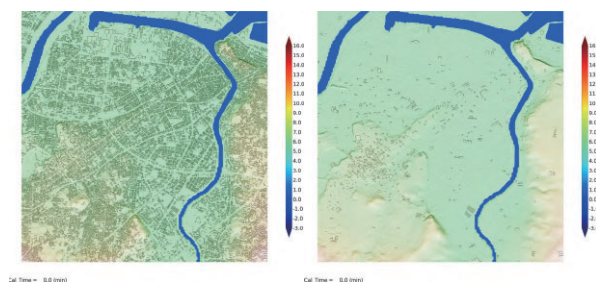


図-2 地形(左:全建物, 右:堅ろう建物のみ)

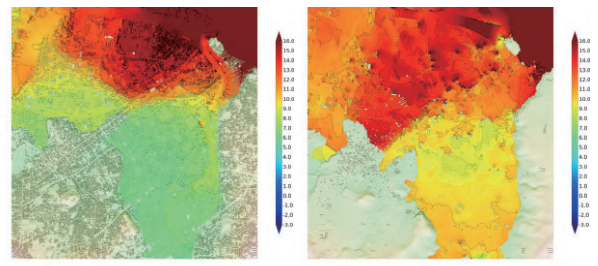


図-3 最大水位(左:全建物, 右:堅ろう建物のみ)

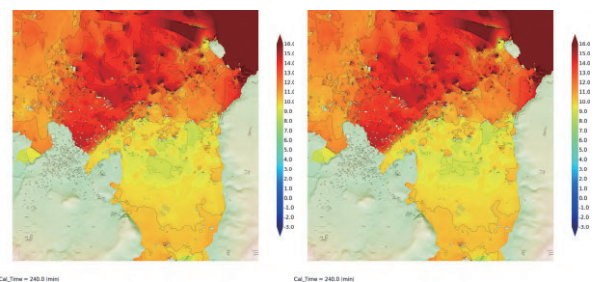


図-4 最大水位(左:堤防なし, 右:堤防あり)



図-5 利用可能判定避難施設

### 3. 積雪夜間帯を想定した避難行動解析

津波遡上解析により得られた遡上数値データを活用し、積雪時を想定したマルチエージェントシミュレーションによる避難行動解析を行った。避難解析条件を表-2に示す。解析には、マルチエージェントシステム“NetLogo6.2.2”(図-6)を使用し、玉ら<sup>9)</sup>を参考にした計算コードにより解析を行った。避難者エージェントは、地震発生時の初期位置から最寄りの避難目標に向け、A\*アルゴリズムに従い最短経路探索を行いながら移動する。避難方法は、歩行または車両とし、歩行避難者エージェントは年齢別で6区分、車両避難者エージェントは年齢および世帯構成別と要介護認定者で7区分、合計13区分(表-3)とした。歩行速度は、小坂ら<sup>7)</sup>の避難速度を基準とし、これに内閣府の被害想定<sup>8)</sup>で適用している、積雪・未除雪・夜間の各係数を考慮した値を用いた。車両はGMモデルに基づき、先行車両との車間距離を考慮しながら加減速を実行する。車両速度は、夜間での未除雪道路の交通条件を再現するため、基準速度40km/hに積雪・未除雪・夜間係数を考慮した15.36km/hを最大速度とした。なお、停電による信号の消灯を想定し、交差点部分での信号操作については考慮していない。エージェントの避難目標として、浸水区域内に位置する避難利用可能な避難施設(垂直避難)、浸水区域外に位置する指定避難所(水平避難)、地理的に安全な地点(水平避難)の計3種類の避難目標地点を設定した。歩行者および要介護認定者には水平または垂直避難、車両避難者は水平避難を避難先属性として与えた。なお、今回は避難先の収容制限を設けない条件としている。避難開始時間は、過去の津波災害での調査結果<sup>9)</sup>から、歩行避難者は地震発生後15分後から、車両避難者は25分後から、要介護認定者は森下ら<sup>10)</sup>の調査結果を考慮して27.8分後から順次避難を開始する設定とした。津波の遡上数値データは、避難解析対象地区に遡上を開始する地震発生32分後から60分後まで、10秒ステップで読み込む。エージェントの犠牲判定は、浸水深0.5m以上のメッシュに10秒間滞在した場合、犠牲者エージェントに変化する設定とした。

表-2 避難解析条件

解析環境	NetLogo6.2.2
経路探索法	A*アルゴリズム法
解析ステップ	1ticks(step)=1sec
想定環境	夜間避難(冬季積雪・夏季)
避難目標	歩行者：最寄りの避難先 車両：浸水区域外の水平避難先 要介護者：最寄りの避難先
車両走行	GMモデルに従う
犠牲判定	水深0.5mに10秒間滞在
避難開始時間	歩行避難者 15min～順次 車両避難者 25min～順次 要介護者 27.8min～順次
遡上開始時間	地震発生32min～60min

表-3 エージェント区分

歩行避難者	車両避難者
20歳未満男性	20～59歳夫婦+子1人
20歳未満女性	20～59歳夫婦+子2人
20～59歳男性	20～59歳夫婦
20～59歳女性	20～59歳単独
60歳以上男性	60歳以上夫婦
60歳以上女性	60歳以上単独
—	60歳以上要介護認定者



図-6 NetLogo 解析画面



エージェント配分数の内訳を表-4に示す。歩行割9：車両1割から、歩行割1：車両9割の選択割合まで1割ずつ変化させて配分した。歩行者エージェントは1人/エージェント、車両エージェントは、性別・世帯構成別に数名乗車/エージェントとして扱う。図-7に避難解析フロー、図-8に避難解析過程(一例)のスナップショットを示す。地震発生後を0分とし、15分後から歩行避難者が避難を開始、25分後から車両避難者が避難を開始する。また、32分後から遡上数値データの読み込みが始まり、浸水深に従い青色で示す浸水区域が10秒ステップで拡大していく。解析対象地区は60分後には全域が浸水するため、地震発生60分後に避難解析計算を停止する。

避難方法の歩車選択割合を変化させて検証した結果のうち、3回平均歩行・車両犠牲者数の推移を図-9に、3回平均犠牲率の推移を図-10に示す。解析結果から、車両選択割合が増加すると、歩行犠牲者数3863人から420人に減少していくものの、車両避難者数は21人から228人へ増加する結果となった。犠牲率として見ると、歩行犠牲率は20.65%から2.25%へと18.4pt減少するものの、車両犠牲率は0.08%から1.26%へ1.18pt増加する結果となった。

車両選択割合を増加させた場合、全体の犠牲率を抑えられる傾向となるが、車両犠牲率は増加する結果である。そこで、選択割合を1割ずつ変化させた場合の増減率を算出し、傾向を確認した。増減率のプロットを図-11に示す。橙色で示すプロットは歩行犠牲者の増減率、緑色で示すプロットは車両犠牲者の増減率を表し、青色のプロットは両増減率の合計を表している。歩車割合を変化させていくと、歩行犠牲者は減少するため、増減率は減少を表す負の値を示す。その一方、車両犠牲率は増加していくため、正の値を示すが、歩車割合6対4から5対5へ変化する際に、増減率が微小な値となっていることが分かった。歩車割合5対5の場合、歩行増減率-2.60ptと、車両増減率0.06ptであり、総増減率は全体で最も犠牲率の増加が抑えられる-2.54ptであった。この割合で車両の増減率が抑制された点について、避難車両の交通流に対し、増加台数の影響が受けにくい車両台数であったのではないかと考えられる。

表-4 エージェント配分数

歩対車	歩行数(人)	車両数(台)
9対1	16838	1332
8対2	14966	2460
7対3	13097	3589
6対4	11226	4718
5対5	9356	5847
4対6	7483	6976
3対7	5613	8105
2対8	3742	9234
1対9	1871	10363

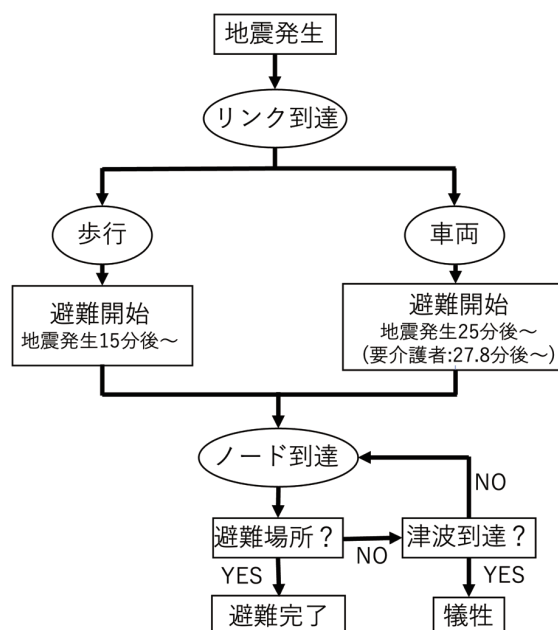


図-7 避難解析フロー

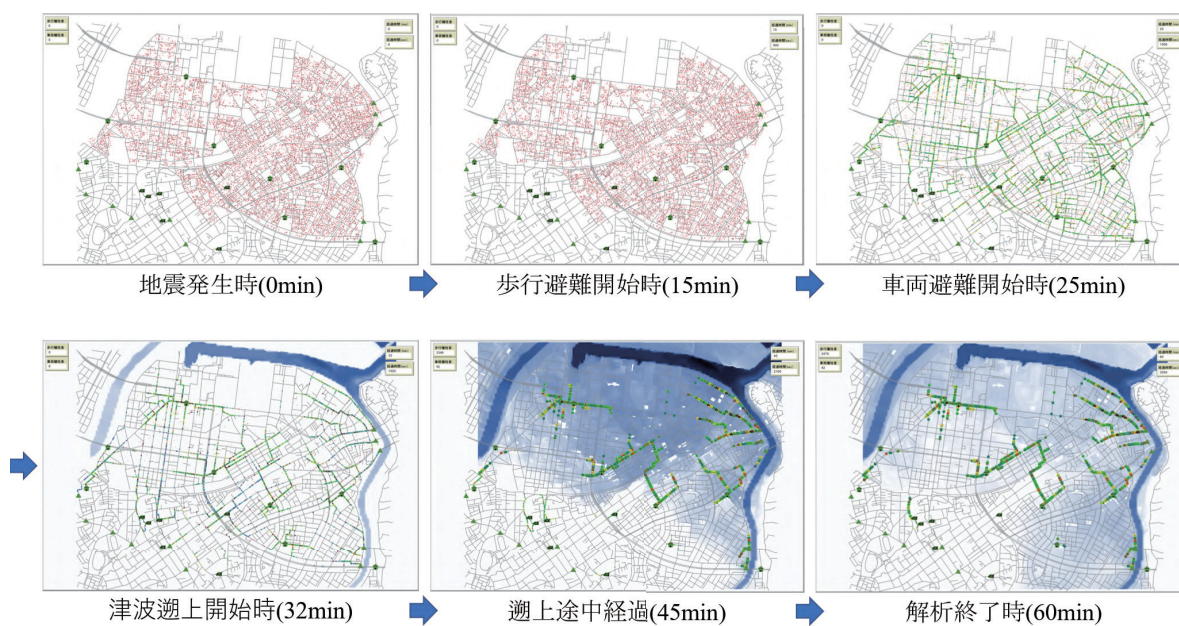


図-8 避難解析過程の一例

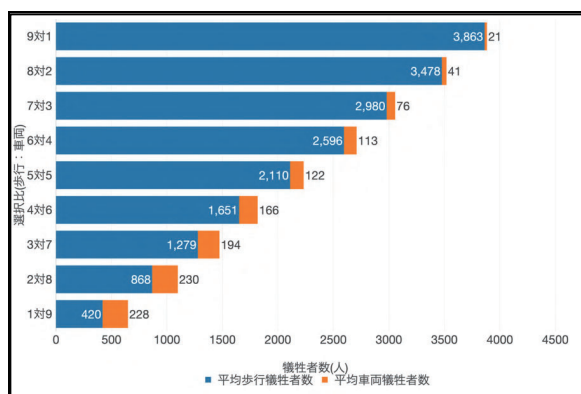


図-9 3回平均歩行・車両犠牲者数の推移

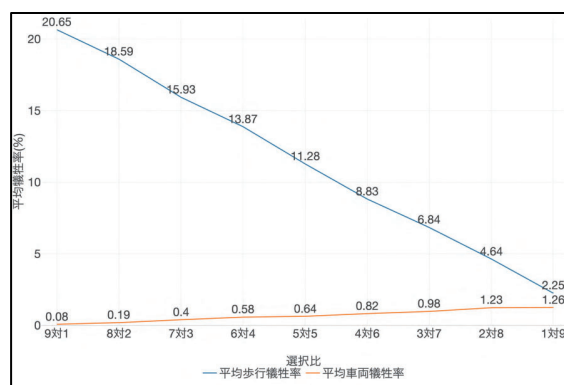


図-10 3回平均歩行・車両犠牲率の推移

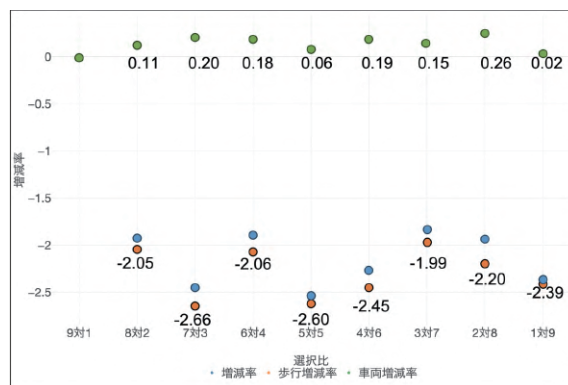


図-11 増減率の推移

#### 4. おわりに

本研究では、将来発生が予想される日本海溝地震を想定し、八戸市における人口変動および気象条件を考慮した避難行動解析を実施し、車両による避難行動の有用性の検証を行った。その結果、車両選択割合を1割ずつ増加させていくと、歩行避難者と全体の犠牲率は抑制される一方、車両避難者の犠牲率は増加する結果となった。また、選択割合を変化させた場合の増減率について着目したところ、歩車割合6対4から5対5に変化する際、車両犠牲者の増減率が他ケースに比べ、微小増加となることが分かった。このケースでの歩行犠牲者の増減率は全体で2番目に多い減少値であり、総増減率では最も増減値が低い結果となっていた。この結果から、車両避難による犠牲を抑制するために有効な選択割合であると考えられる。しかし、本解析条件では、車両はすべて地理的に安全な場所への水平避難と指定しており、避難場所周辺での駐車台数制限や駐車待ち時間等の交通環境は考慮しきれていない。今後は、この点も考慮した解析へ展開することで、想定される津波に対し、自治体の容認が進む車両避難を有効的に活用するための、歩車選択割合について検証し、犠牲率抑制のための検討を進める必要がある。

#### 5. 参考文献

- 1) 中央防災会議防災対策実行会議 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ：日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の対策について 報告書，2022.
- 2) 牧野嶋文康，今村文彦，安倍祥：歩車混在を考慮した津波避難シミュレーションの開発-2011年東日本大震災での気仙沼市での検証-，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.71，No.2，I\_1645-I\_1650，2015.
- 3) 亀田知沙，高橋智幸：津波避難時における歩車の相互作用を考慮した数値シミュレーションの開発，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.73，No.2，I\_349-I\_354，2017.
- 4) 小園裕司，高橋智幸，桜庭雅明，野島和也：津波波力に基づく建物倒壊を考慮した津波解析の検討，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.71，No.2，I\_163-I\_168，2015.
- 5) 青森県県土整備部河川砂防課：平成24年度津波浸水想定業務委託報告書，2013.
- 6) HaiZhong Wang, Alireza Mostafizi, Lori A.Cramer, Dan Cox and Hyoungsu Park : An agent-based model of a multimodel near-field tsunami evacuation : Decision-making and life safety , Transportation Research Part C, 2015.
- 7) 小坂陽介，野村尚樹，大藤愛子，宮島昌克：マルチエージェントシステムを用いた津波避難に関する解析-輪島市臨海地域を対象とした事例研究-，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.73，No.4(地震工学論文集第36巻)，pp.I1010-I1017，2017.
- 8) 内閣府(防災担当) 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ：被害想定手法について(これまでのワーキンググループでの意見を踏まえた手法の検討)，2020.
- 9) 内閣府 防災対策推進検討会議津波避難対策検討ワーキンググループ：自動車で安全かつ確実に避難できる方策(補足資料)，2012.
- 10) 森下朔，水口竜一，金井純子，馬場俊孝：要介護者の避難行動速度，自然災害科学 J.JSND37-4，pp.397-406，2019.

## 日本海溝地震を想定した八戸市の津波遡上シミュレーション\*

八戸工業大学 尾崎 壮一  
 日本工営株式会社 野島 和也  
 八戸工業大学 堀合 紳弥  
 八戸工業大学 高瀬 慎介

## 1. はじめに

日本海溝・千島海溝沿いの領域では、M7.0 から M8.0 を超える巨大地震や地震の揺れは小さいものの大きな津波を引き起こす地震まで多種多様な地震が観測されており、大きな被害を与えている。このことから過去に発生している地震をもとに地震や津波に対する防災対策が進められた。しかし 2011 年にこれまでの予想をはるかに超える M9.0 の東北地方太平洋沖地震が起きたことにより、東北地方を中心とした地域では津波による大きな被害を受け、青森県八戸市では 6.4m の津波が八戸港を中心とした地域を襲った。このような被害を受けて 2020 年には内閣府中央防災会議では日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会のもと、新たに東北地方太平洋沖地震を踏まえた予想が出された。その際に八戸港を襲う津波は 26.1m と推計された。この予測は東北地方太平洋沖地震の約 4 倍であったため、再度津波発生時の防災や減災対策が必要となっている。そこで本研究では、内閣府の日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会で新たに検討された日本海溝地震の津波断層パラメータについて津波遡上シミュレーションを行う。

## 2. 解析概要

解析条件を表-1に示す。津波断層パラメータは内閣府中央防災会議の日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会で用いられた津波断層パラメータを使用した。また地形等は、平成24年度津波浸水想定業務委託書<sup>1)</sup>を参考にして設定した。構造物のデータは国土地理院の基盤地図情報を参考にした。今回使用したメッシュデータ範囲を図-1に示す。津波遡上解析<sup>2) 3)</sup>は、津波断層モデルより地殻変動量を作成し、既存のメッシュと結合したのちに津波を発生させた。この際に堤防の有無によって津波の遡上の変化から堤防の

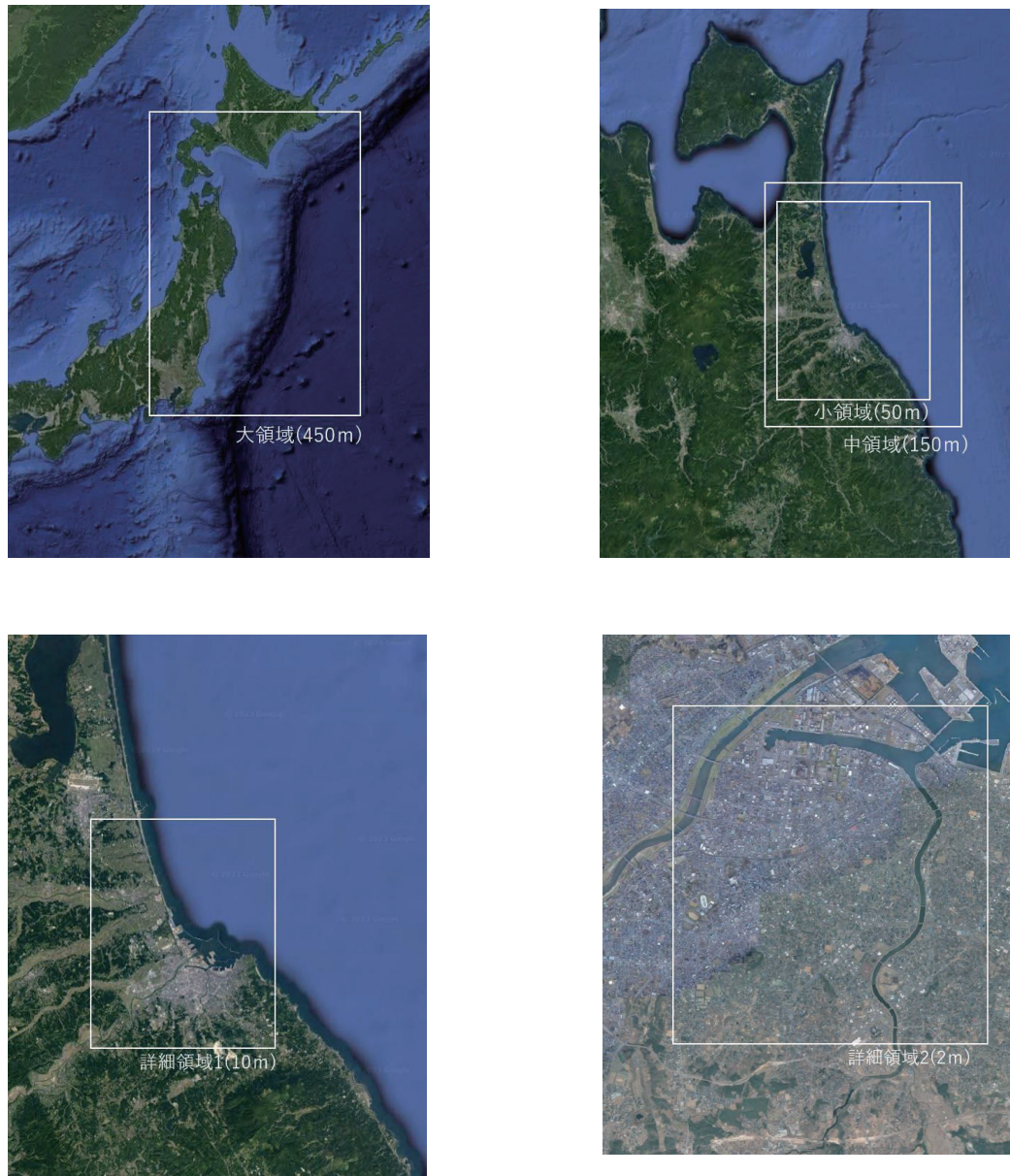
表-1 解析条件

項目	設定条件
解析領域	太平洋～八戸港
モデル	日本海溝地震モデル 2
計算格子間隔	大領域：450m（東日本沖） 中領域：150m（青森県沖） 小領域：50m（下北八戸） 詳細領域 1：10m（八戸港） 詳細領域 2：2m（八戸市）
計算潮位	T.P. +0.700m
基礎方程式	非線形長波方程式
断層モデル	Fujii-Satake モデル Ver8.0
計算時間	地震発生から 4 時間
津波初期波源	Okada(1992)の方法により断層モデルから地殻変動量を計算
構造物・堤防	あり(堤防は越流した際に決壊する)

\*Tsunami run-up simulation in Hachinohe city assuming a Japan Trench earthquake by Soichi Ozaki, Kazuya Nojima, Shinya Horiai, Shinsuke Takase



効果について確認する。また本実験では波形データの取得のために観測点を設けている。観測点には八戸市の避難所・避難場所を対象としており、避難場所の有効性についての検証を行う。今回の解析では八戸市が東北地方太平洋沖地震後に改築、新築を行った八戸市防災センターと小中野公民館を観測地点として設定している。

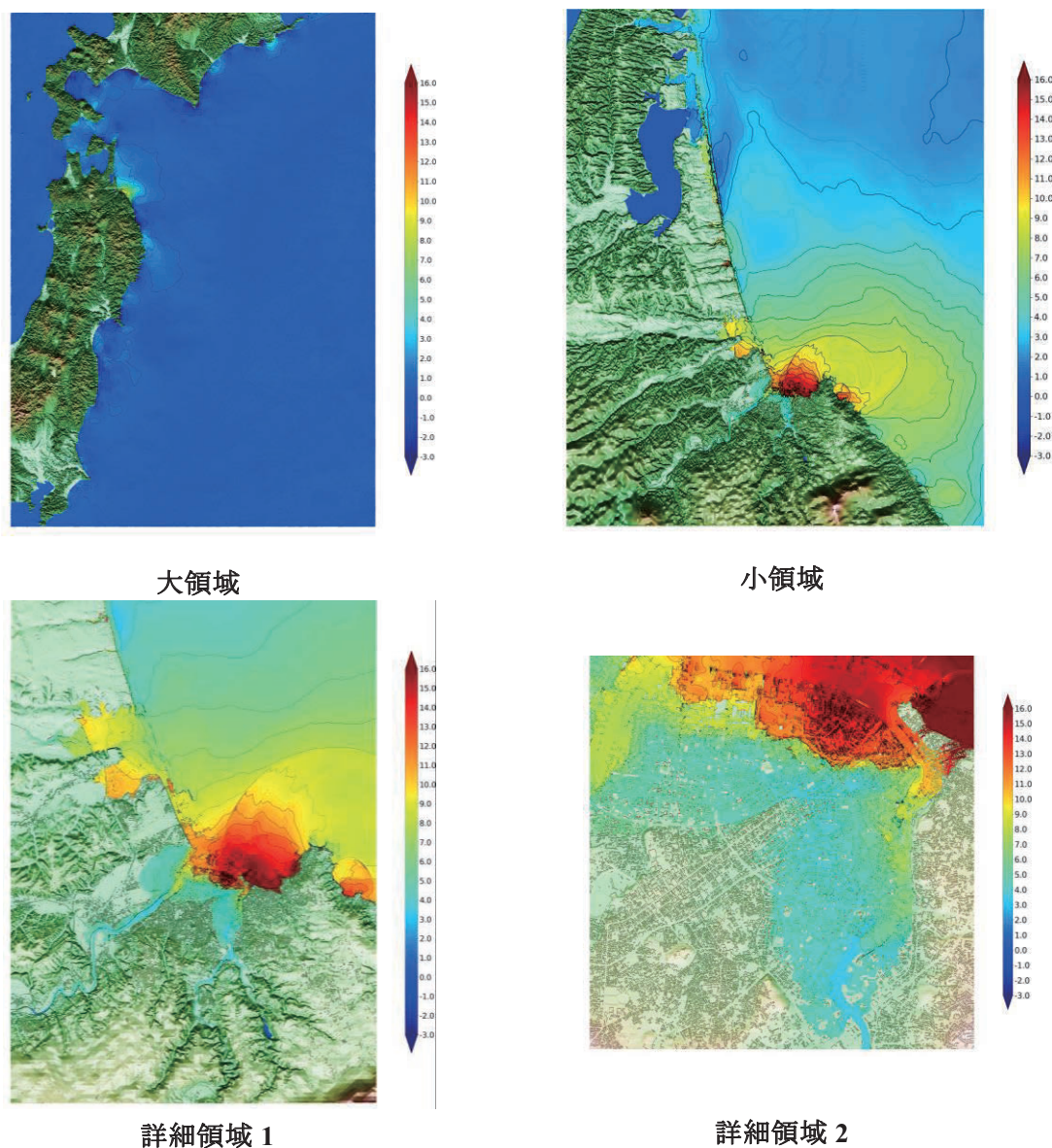


図一1 メッシュデータ範囲

### 3. 解析結果

遡上領域結果を図-2に示す。この遡上解析は堤防あり、構造物ありの結果である。そのため、実際の八戸市の津波遡上を考慮したケースであると考ええる。図-1の詳細領域1, 2よ

り八戸港を中心に16mを超える津波が八戸港を襲っていることがわかる。また八戸を襲った津波は八戸港、河口から遡上していることが確認できる。



図一2 遡上解析結果

図一3 に観測地点における津波の浸水高さを表すグラフを示す。八戸防災センターでの堤防がないときの最高浸水高さは約 9.62mであった。また堤防があるときの最高浸水高さは約 8.52mであることが確認できる。八戸市防災センターの避難階は3階であり、その底面高さは 10.96mであることから3階の避難階が浸水する可能性は低いと考えられる。また堤防がある場合とならない場合で最大で約 2mの浸水高さを軽減できることが確認できた。小中野公民館での堤防がないときの最高浸水高さは約 9.46mであった。また堤防があるときの最高浸水高さは約 8.55mであることが確認できる。小中野公民館の避難階も3階であり、その避難階底面高さは 9.95mで

あり、堤防がないときの浸水高さと 0.5m しか違いがないことが分かる。このことから小中野公民館では避難階は浸水しないものの浸水の危険が高いことが確認できる。

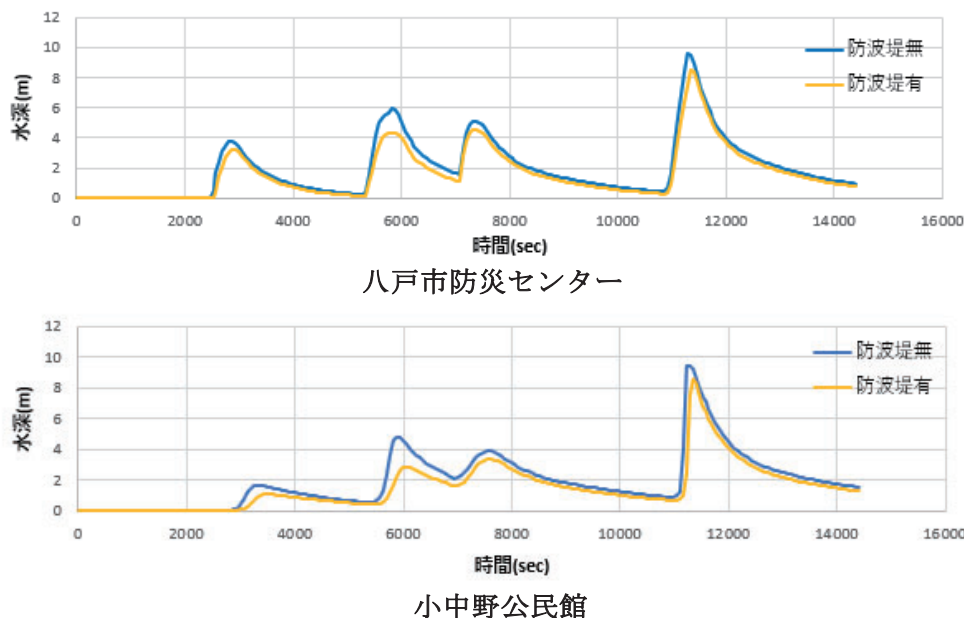


図-3 避難場所における津波遡上波形

#### 4. おわりに

本研究では内閣府中央防災会議の日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会で検討されることとなった日本海溝地震についての津波遡上解析を行った。堤防並びに構造物を考慮した場合の津波遡上シミュレーションでは、海沿いと河川を中心に津波が遡上してくることが確認できた。また観測地点の水位変化のグラフより八戸市防災センターと小中野公民館の避難場所としての有効性について確認した。また堤防を設置することによって浸水高さが低くなっていることから、堤防が津波を軽減する役割を果たしていることが確認できた。今後の課題として構造物を限定した際の遡上の比較等について検討していく。

謝辞：一般社団法人東北地域づくり協会防災・社会資本に関する新技術開発に対する支援事業の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- 1) 青森県県土整備部河川砂防課，パシフィックコンサルタンツ株式会社：平成 24 年度津波浸水想定業委託報告書，2013
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室，国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究部；津波浸水想定の手引き Ver 2.1.0，2019
- 3) 後藤智明，小川由信：Leap-Frog 法による津波の数値計算法，東北大学土木工学科資料，52p, 1982



# 周辺に複数の障害物を有する建築構造物の津波力に関する実験的検討\*

秋田工業高等専門学校 種倉 栞, 上田 晴也, 進藤 颯人, 寺本 尚史, 丁 威  
 秋田県立大学 小幡 昭彦

## 1. 背景・目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、地震動による構造被害よりも津波による被害が圧倒的に多かったことから、建築構造分野において耐津波設計の確立は早急に取り組むべき課題となっている。建築学会の「建築物荷重指針・同解説(2015)」<sup>[1]</sup>においては、構造物前面の浸水深と流速を用いた合理的な津波力評価方法が示されているが、設計においてはそれぞれ単棟での設計が前提とされており、建築構造物が複数棟となった場合に対応する考え方は示されていない。これらを背景に、既往研究<sup>[2]</sup>などでは津波の進路方向に対して複数棟の障害物を有する建築構造物の受ける津波の影響の把握を目的として、2棟、3棟の配置による水理実験を行い、障害物が前方に配置された場合や側方に配置された場合など、棟の位置関係が津波力に影響を及ぼすことが確認された。一方、密集して建てられた建築構造物を想定した、前方及び側方同時に配置された場合については検討が行われていなかった。

本研究では、構造物を4棟に増やすことでより現実に近い建築構造物群を想定し、前方及び側方同時に配置して水理実験を行った。配置パターンによって建物が受ける津波荷重がどう変化するかを確認することで、周辺に複数の障害物を有する建築構造物の津波力に関する実験的検討を行う。

## 2. 実験概要

### 2-1. 実験水路概要

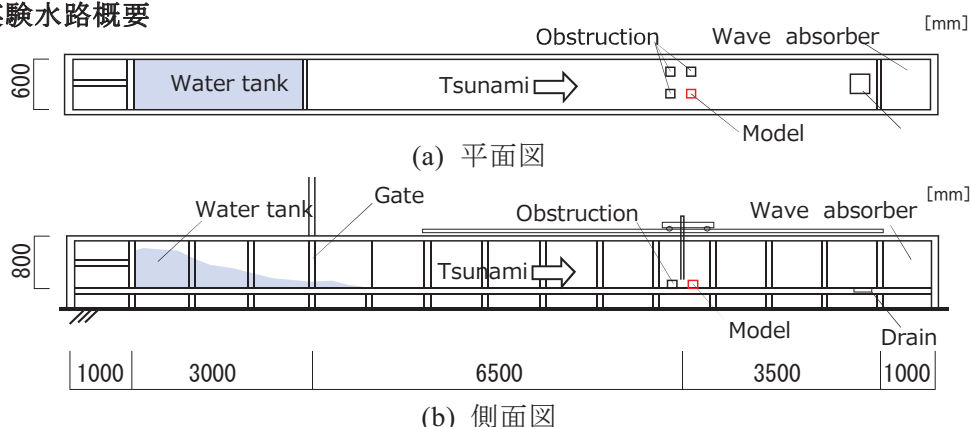


図1 水路図概要

\* Experimental study on Tsunami loads on Structures in Case of Multiple Surrounding Objects by Shiori Tanekura, Haruya Ueda, Hayato Shindo, Naofumi Teramoto, Wei Ding and Akihiko Obata



本実験は、秋田工業高等専門学校が所有する水理実験室で行った。図1に実験水路の概要を示す。水路の全長は約15m、断面形状は長方形であり、水路の幅は0.6m、高さは0.8mである。水路の上に板を敷き、その上に模型を配置する二重床とし、模型は二重床上に計測用1体、津波の流れに影響を与える障害物用3体の計4体を配置する。実験手法は水路先頭にある貯水槽に一定量の水を溜め、遮水壁を瞬間的に開放することで津波の押し波を再現するダムブレイク式とした。

## 2-2. 試験模型と配置パターン

実験に用いる計測用模型および障害物模型は、アクリル板で制作した。幅×奥行き×高さが80mm×80mm×120mmの矩形構造物とした。また、計測用模型の各側面に波圧計を取り付けた。取り付け箇所は津波の進行方向に対して正面と左側面に上部と下部の二点、背面と右側面に下部のみ一点の計六点とした。図3に計測用模型の寸法図と計測模型の波圧計取り付け位置の概要を示す。実験は4つの模型の配置パターンを変化させて行った。実験変数は、計測用模型の前方に設置する2つの障害物模型の横間隔(L)と、前方障害物模型と計測用模型間の縦間隔(H)とし、この2方向の間隔をそれぞれ変える事により配置パターンを変化させる。また、流速計と波高計を、水路の端から150mm、後方の模型の中心から385mmの位置に設置した。流速計は水路の前方と後方にも1か所ずつ設置した。模型および計測器の配置状況を図4に示す。

模型幅および奥行き（いずれも80mm）

をDとして、横間隔(L)は、1.0Dから3.0Dまでの0.5D刻みで5通り、縦間隔(H)は、2.0Dと3.0Dの2通りで、計10パターンの配置とした。なお、後方2つの模型間の距離はいずれのパターンも2.0Dとした。図5に各配置パターンを示す。なお閉塞率は26%~40%である。

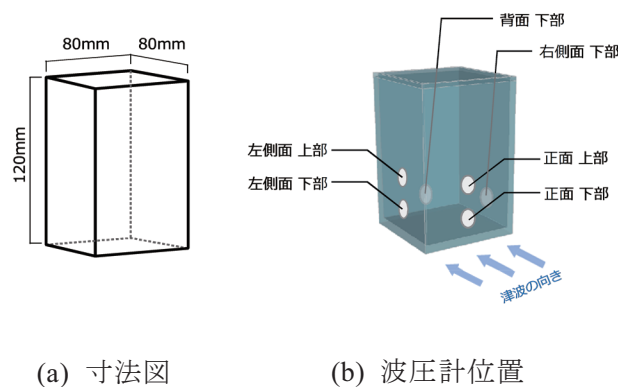


図3 試験模型概要

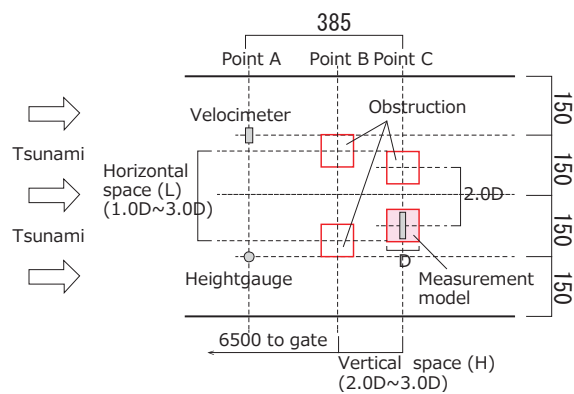


図4 模型および計測器の配置状況

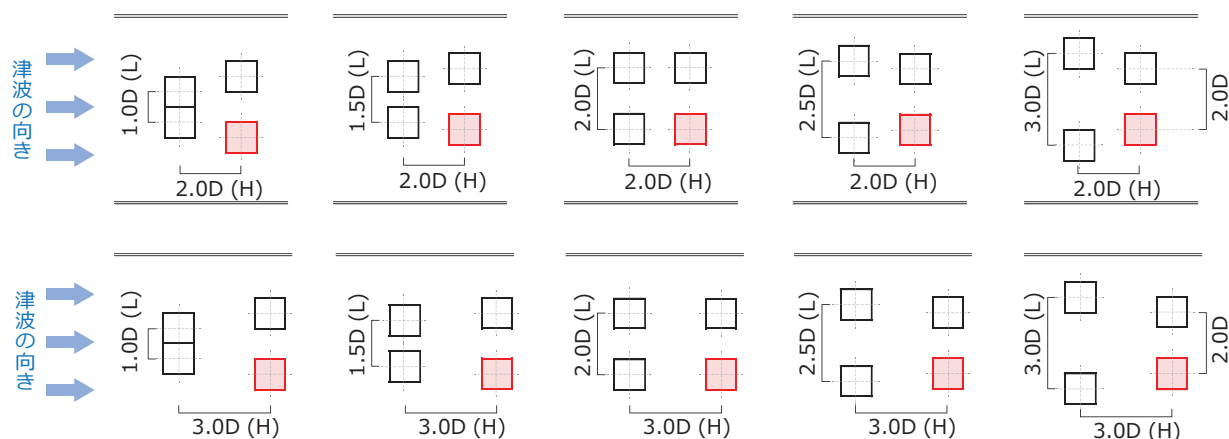


図5 実験の各配置パターン

また、遮水壁後方の貯水槽の貯水高さ  $h_w$  を 140mm, 180mm と変化させた 2 パターンで実験を行い、配置の 10 パターンと組み合わせて計 20 パターン、各ケース 5 回の実験を行った。なお実験結果は 5 回の実験のアンサンブル平均値を用いる。

なお 4 棟実験結果との比較を行うため、1 棟のみおよび下流側 2 棟のみでの実験や、フルード数の計測を行うことを目的に水路に模型を設置しない状態での実験も併せて行っている。

津波力は計測用模型を吊るした鋼板に作用する曲げモーメント勾配より計測し、波圧は計測模型に取り付けた波圧計で計測する。図 6 に計測模型側面の詳細図を示す。

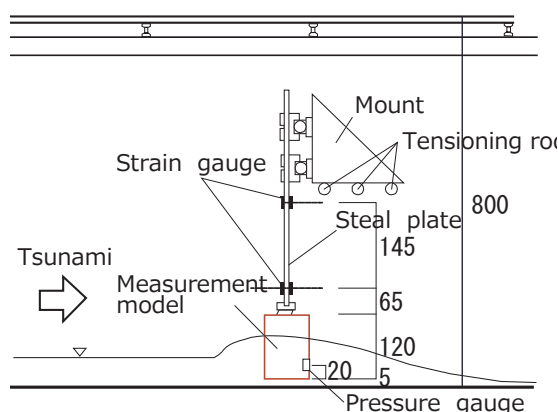


図6 計測模型側面図詳細

### 3. 結果および考察

貯水高さ 140mm および 180mm 時における、横間隔と最大津波力の関係を図 7 および図 8 に示す。なお、図中の実線は縦間隔が 2.0D および 3.0D の結果を示し、併せて前方に障害物がない配置パターン (1 棟のみおよび 2 棟) の最大津波力を破線で示す。前方に障害物がない配置パターンについては、貯水高さ  $h_w$  が 140mm および 180mm のいずれにおいても、2 棟よりも 1 棟のみの方が最大津波力は小さくなった。これは 1 棟のみよりも 2 棟の方が津波を堰き止める効果 (堰き止め効果) が大きくなるためだと考えられる。また 4 棟配置と前方に障害物がない配置パターンの比較では、4 棟配置いずれの配置パターンも、前方に障害物がない配置パターンの 1

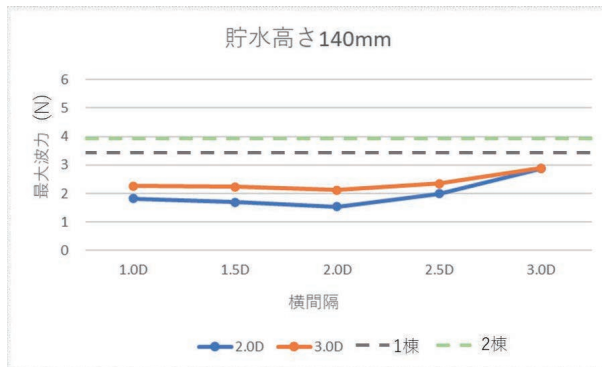


図7 各配置ごとの最大津波力関係  
(貯水高さ 140mm)

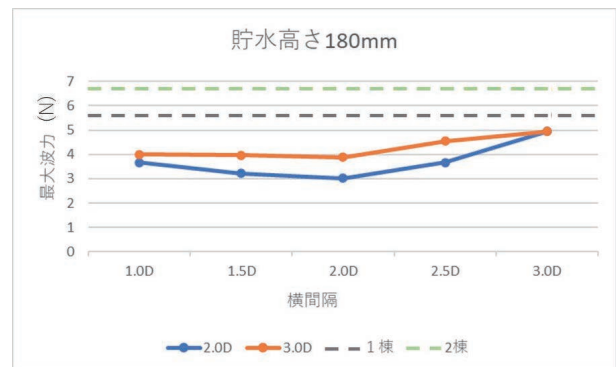


図8 各配置ごとの最大津波力関係  
(貯水高さ 180mm)

棟と2棟の最大津波力を超えるものではなく、障害物模型が測定模型の前方に配置されることで津波力が低減される効果（シールド効果）で最大津波力が低減される事が確認された。

前方障害物と測定模型間の間隔（縦間隔）については、横間隔 3.0D の場合を除き、縦間隔 2.0D よりも縦間隔 3.0D の方が、最大津波力が大きくなった。これは、縦間隔が狭い方がシールド効果の影響が大きく表れるためであると考えられる。

次に前方障害物の横間隔の違いにおける最大津波力の影響については、縦間隔 2.0D, 3.0D のいずれも場合も横間隔 2.0D で最大津波力が一番小さくなり、横間隔が広がる（もしくは狭まる）につれて最大津波力は増大した。津波力が最大となったのは横間隔 3.0D となった。この傾向は貯水高さ  $h_w=140\text{mm}$ ,  $180\text{mm}$  いずれの場合も同様となったが、 $h_w=180\text{mm}$  の方が津波力が全体的に大きくなった。

各横配置の波の動きの概要図を図9に示す。横間隔 2.0D の場合、計測模型の真正面に障害物があるため津波力が最小となる。横間隔 1.0D と 3.0D は、計測模型との被り具合は同じであるが、1.0D の場合、前方の障害物模型が閉じているため水が侵入できず津波は横へ逃げるように動くのに対し、3.0D の場合は前が大きく開いているためそこから模型の間に波が侵入し、さらに後方の模型の横間隔が前方に対して狭まっているため波が滞留しやすいことから津波力がより大きくなったことが考えられる。この滞留効果は、横間隔 2.5D よりも 3.0D の方が大きいと考えられ、また横間隔 3.0D の場合は縦間隔の違い（2.0D, 3.0D）に関わらず最大津波力はほぼ同じ値となった。

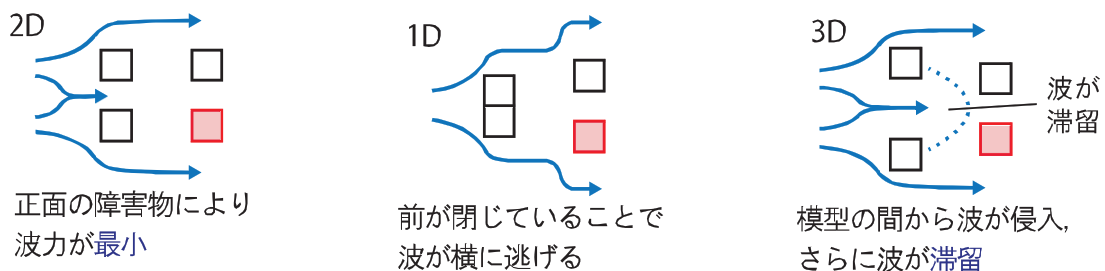


図9 各横間隔の波の動き

計測模型正面の下部と上部の波圧結果の時刻歴を、横間隔ごとに並べて比較したものを図 10、図 11 に示す。図を見ると横間隔 2.0D では、津波力と同様に波圧でも最小となっている。一方、横間隔 1.0D と 3.0D の最大波圧は、正面下部の値(図 10)はあまり変わらないのに対して、正面上部の最大波圧は、横間隔 3.0D の方が明らかに大きい。これは、横間隔 3.0D では滞留があったことで、模型の上部まで波が届き、より大きい波圧となったためであると考えられる。

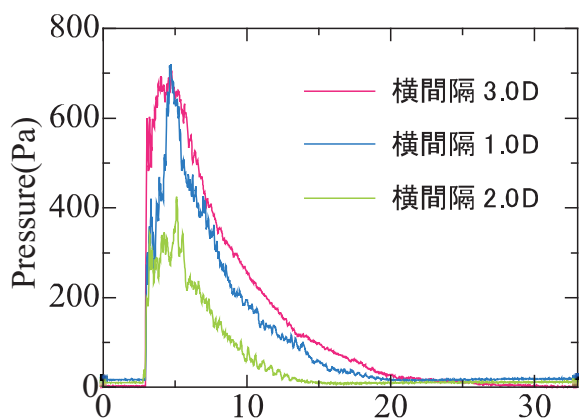


図 10 計測模型正面下部の横間隔ごとの波圧-時間関係

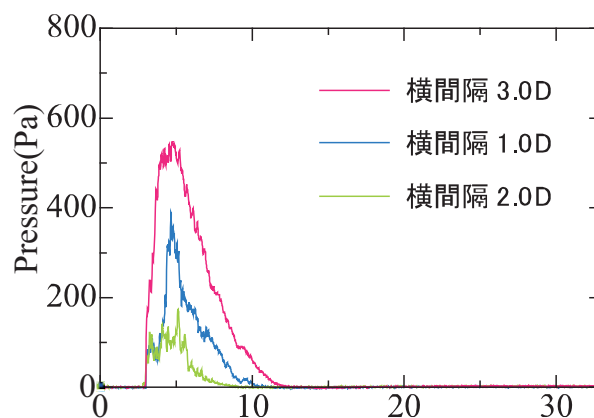


図 11 計測模型正面上部の横間隔ごとの波圧-時間関係

#### 4. まとめ

本研究ではより現実に近い建築構造物群を想定し、前方及び側方に建物が合計 4 棟配置された場合に作用する津波荷重の評価を目的として、ダムブレイク式水理実験を行った。縦間隔および横間隔を変化させながら実験を行った結果、以下の事が分かった。

- ・前方に障害物がない場合と比べ、前方に障害物がある全ての配置パターンにおいて、最大津波力は小さくなり、前方障害物の影響によるシールド効果で最大津波力が低減される事が確認された。
- ・前方障害物と測定模型間の間隔（縦間隔）については、縦間隔が狭い方が最大津波力は小さくなり、シールド効果が大きいことが分かった。
- ・前方障害物の横間隔の影響については、前方の 2 棟の障害物模型の横間隔が、後方の計測用模型と障害物模型の横間隔よりも大きくなると、縦間隔によらず滞留効果により最大津波力も大きくなる傾向が見られた。

#### 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP 22K04412 の一部によるものです。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- [1]日本建築学会:建築物荷重指針・同解説書(2015), 2015
- [2]小幡昭彦, 寺本尚史, 西田哲也:二棟配置された矩形構造物に作用する津波力に関する検討, 日本建築学会技術報告集, 第 2 巻, 第 70 号, pp.1131-1136, 2022





## 消波ブロックを考慮した自由表面流れ解析\*

八戸工業大学 古里春花

日本工営株式会社 野島和也

八戸工業大学 尾崎壮一

八戸工業大学 高瀬慎介

### 1. はじめに

津波や高潮時における港湾構造物への波の影響を軽減するために、消波ブロックが設置されている。これらの消波ブロックを対象とした自由表面流れを考慮した解析は数多く行われているが、それらの多くは、消波ブロックを多孔質体とモデル化して解析が行われている。しかし、多孔質体での解析は、消波ブロック群の間を流れる水の流れ速度分布などは考慮されていないため、これを確認するためには、消波ブロックを直接モデル化した解析を行う必要がある。

そこで本研究では、消波ブロック単体を CAD によりモデル化し、個別要素法を用いて消波ブロック群の配置を計算する。その後、配置を考慮したメッシュを作成し、自由表面流れ解析を行い、消波ブロック群周辺の流速分布を確認して本モデル化の有効性について検討を行った。

### 2. 解析方法概要

#### (1)個別要素法を用いた消波ブロック解析

消波ブロックのモデル化には FreeCAD<sup>2)</sup>を用いた。寸法については株式会社不動テトラ<sup>1)</sup>の 2t 型テトラポッドを 1/25 に縮小した寸法を参照し、個別要素法を用いるため表面にメッシュを作成し節点に球体を配置した。図-1 にモデル化した消波ブロックを示す。

シミュレーションによる消波ブロックの初期配置を図-2 に示す。208 個の消波ブロックを用いて 1 列あたり 8 個ずつ、下段から 6, 5, 4, 3, 3, 2, 2, 1 列のおおむねピラミッド型に配置している。また、下から 2, 4, 5, 8 段目については、消波ブロックを 180 度回転させて配置した。

以上の初期条件から実際に消波ブロックを自重に従って落としていく。最終的な状態が図-3 である。条件としては、最下段を固定し、その他は剛体運動をする設定にした。

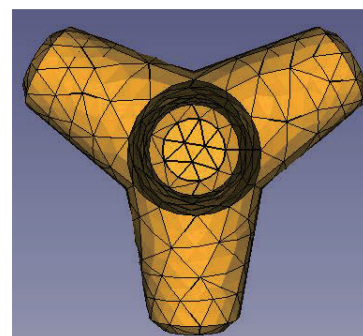
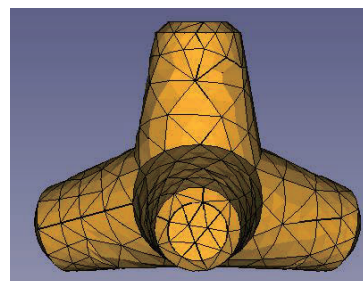


図-1 モデル化した消波ブロック

\* Free surface flow analysis considering wave-dissipating blocks by Haruka Furusato, Kazuya Nojima, Soichi Ozaki, Shinsuke Takase

## (2) 自由表面流れ解析

解析に用いる水路を図-4に示す。初期条件として、水路と消波ブロック群に作成するメッシュは消波ブロックが配置されている周辺は0.02m、自由表面付近流付近は0.03m、水路上部は0.5mの大きさとした。また、解析条件は、水深、周期、波高を変化させて表-1のとおり5ケース行った。なお、解析はOpenFOAM<sup>3)</sup>を用いた。

## 3. 解析結果

自由表面流れについて解析した結果のケース1、ケース4を図-5、図-6に示す。図-5は消波ブロック群前後の時間と水面高さの関係をまとめたものである。周期の違いにより異なる結果を示し、周期が1秒のケース4では消波ブロック群前方と比較して後方で水面高さの減少を確認できたものの、周期2秒のケース1ではそのような効果はみられなかった。

また、図-6に水路中心部の、ブロック群周辺の流速ベクトルを示す。各ケースで左上は波が到達する直前、右上は波が到達したとき、左下は波の去り際、右下は新しい波が到達したときである。全ケースで波が到達してから去るまでの間に消波ブロック群後方に渦が形成されていた。この渦は消波ブロックの隙間を流れた流体と越流した流体との流速差によって生じていると思われる。周期1秒のケース4では、渦が発達する前に次の波によりかき消されていたのに対し、周期2秒のケース1では渦と次の波の越流が重なり、より高い波に変化していた。

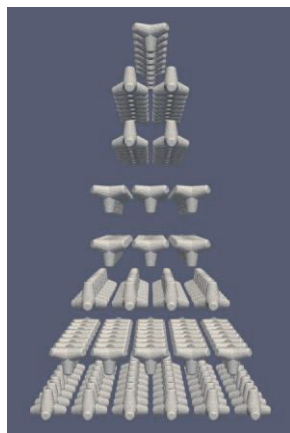


図-2 消波ブロック設置のための初期配置

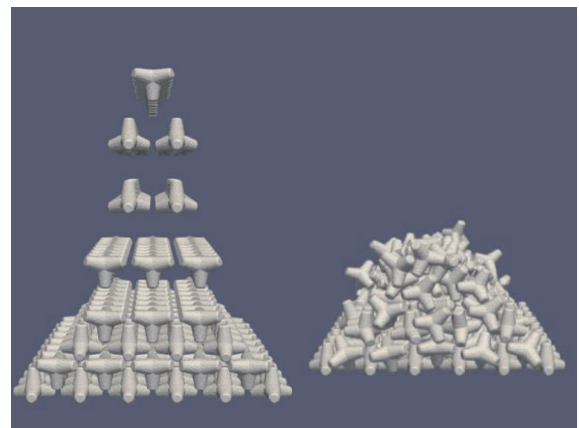


図-3 設置した消波ブロック

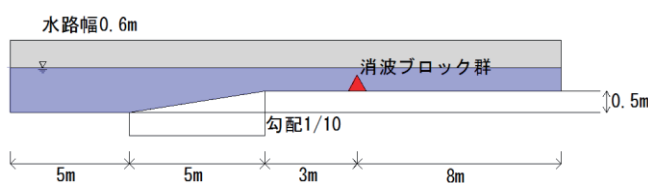


図-4 自由表面流れ解析に用いた水路

表-1 解析したケースの条件

ケース番号	波高 [m]	周期 [s]	水深 [m]
1	0.3	2	0.7
2	0.3	2	0.8
3	0.2	2	0.7
4	0.3	1	0.7
5	0.2	1	0.7

#### 4. まとめ

本研究では、CADによりモデル化した消波ブロックを、個別要素法を用いて配置を計算して設置し、その後に自由表面流れを行った。その結果、消波ブロック群に自由表面流れを作用させたとき、消波ブロック群後方の渦の発達の違いで、周期により消波ブロック群前後の水面高さの増減に差ができることを確認した。また、消波ブロック群中では流速が増加することも分かった。

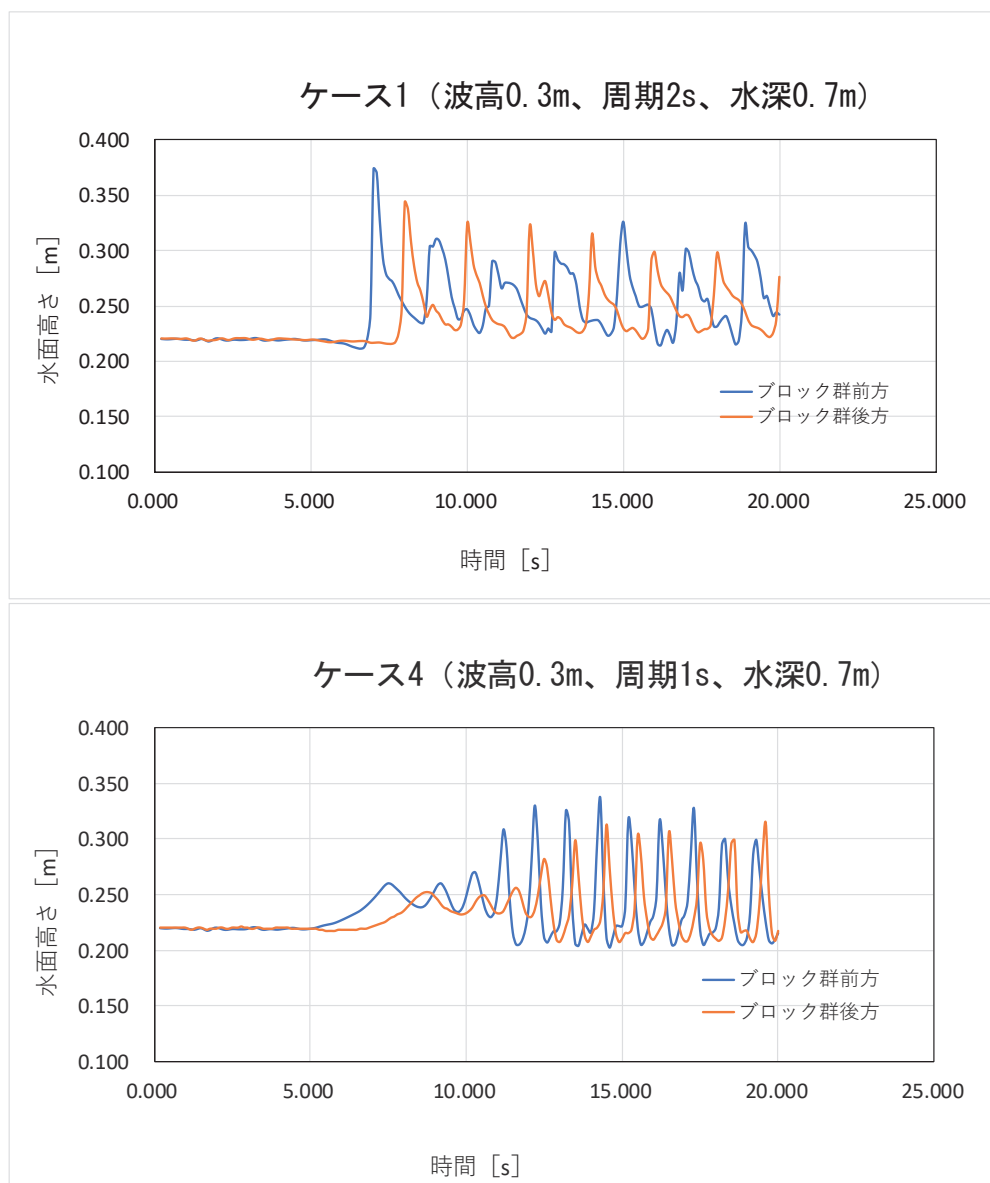
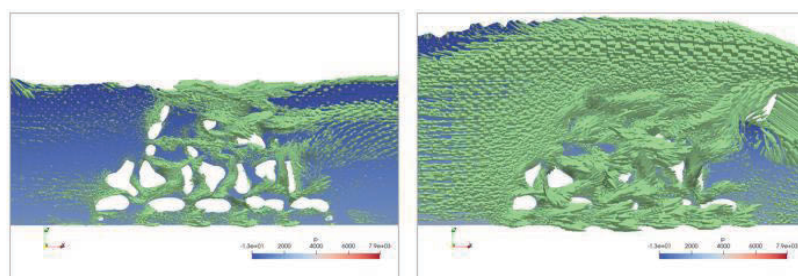


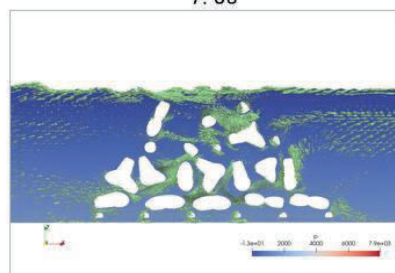
図-5 消波ブロック群前後の時間と水面高さの関係



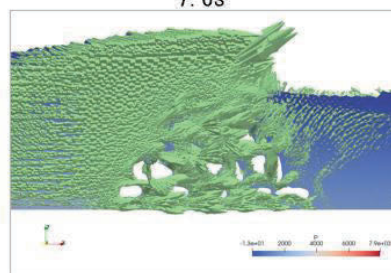


7. 3s

7. 6s

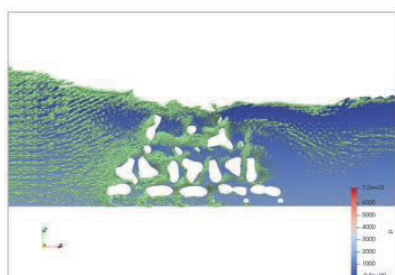


8. 9s

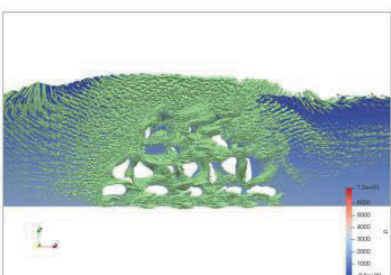


9. 4s

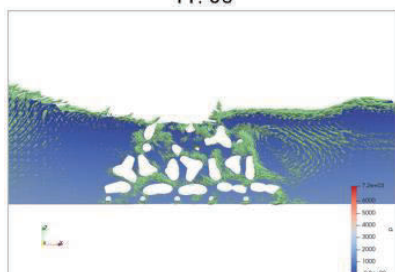
ケース1 (波高0.3m、周期2s、水深0.7m)



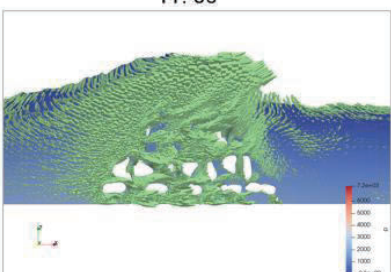
11. 5s



11. 8s



12. 4s



12. 8s

ケース4 (波高0.3m、周期1s、水深0.7m)

図-6 ブロック群周辺の流速ベクトル

## 参考文献

1) 株式会社不動テトラ テトラポッドの形状図・寸法表

[https://www.fudotetra.co.jp/wp-content/uploads/2019/04/tetrapod\\_fig03.pdf](https://www.fudotetra.co.jp/wp-content/uploads/2019/04/tetrapod_fig03.pdf)2) <https://www.freecad.org/>3) <https://www.openfoam.com/>

## 海食崖に作用する砕波遡上波に関する水理模型実験

八戸工業大学大学院 遠藤貫太

八戸工業大学工学部 井深裕馬・桑原功太

八戸工業大学大学院 春川祥吾・高瀬慎介・加藤雅也

### 1. はじめに

海食崖は周辺沿岸への土砂供給源であるが、その後退は背後地の災害につながる場合がある。そのような災害を防ぐためには、海食崖の中・長期的な変動を定量的に評価する必要があり、それが可能な計算モデルを構築するためには、海食崖に作用する波の特性を詳細に調べる必要がある。海食崖に関する研究は古くから行われているが（例えば堀川・砂村<sup>1)</sup>、川村ら<sup>2)</sup>、五十里ら<sup>3)</sup>など）、多くの場合崖尻が静水面あるいはそれ以下となる場合を対象としている。そのため、崖尻と汀線の間の前浜を有する場合についての研究は少なく、砕波後の遡上波と海食崖の侵食・後退の関係に関する知見が十分あるとは言えない。本研究では、海食崖に作用する砕波後の遡上波の波圧特性に関する水理模型実験を行った。

### 2. 実験方法

実験は、図-1 に示す幅 0.6m、長さ 20m の二次元造波水路にコンクリート型枠用塗装合板で製作した地形を設置して行った。地形は、沖側先端部 1m の勾配を  $\tan\beta=1/10$  とし、その後は岸側端部まで  $\tan\beta=1/30$  の一様勾配とした。さらに、斜面勾配  $70^\circ$  の海食崖模型を、後述する実験条件に応じた位置に配置して、海食崖崖尻に作用する波圧を測定した。

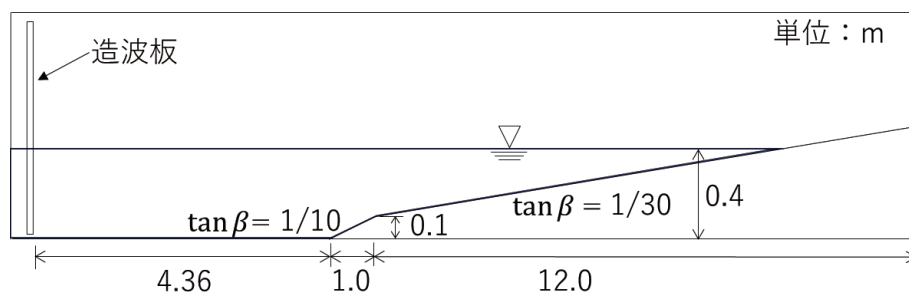


図-1 二次元造波水路と地形

表-1 に実験条件を示す。表中の距離は初期汀線から崖尻までの距離で、陸側を正 (+)、海側を負 (-) で示している。実験は、ピストン型造波装置を用いて、予め造波検定により求めた造波板振幅と波高の関係から設定波高となる造波振幅により造波した。波圧の測定は、波圧計 P310-02 ((株) エス・エス・ケイ製) を、海食崖崖尻に設置して行った。また、海食崖崖尻が静水面以下の水中となるケースでは、波圧計を静水面位置にも設置した。計測は、サンプリ

ング周波数 5kHz で、造波開始から 1 分間行った。さらに、水平床部分（地形端部と造波板との中央）に波高計を設置して波高を測定した。なお、考察に用いる沖波波高はこの測定値から浅水係数を用いて算出した。実験はデータのばらつきを考慮して同条件を 3 回ずつ行った。

表-1 実験条件

CASE 名	海食崖崖尻と汀線の距離 (m)	周期 $T$ (s)	設定波高 $H$ (m)
A	+0.4m	1.2, 1.6, 2.0, 2.4	周期 1.2s については、0.04m と 0.06m の 2 ケース その他の周期については、0.02m 毎に 0.04m~0.12m の 5 ケース
B	+0.3m		
C	+0.2m		
D	+0.1m		
E	0.0m		
F	-1.2m (水深 0.04m)		

### 3. 実験結果と考察

図-2 に  $T=2.0s$ ,  $H=0.1m$  の場合の波圧の時系列変動の比較を示す。砕波遡上波の波圧変動 (CASE-C) は、海食崖前面に水深を有する場合の静水面位置の波圧変動 (CASE-F) とは大きく異なることが分かった。以下では、主に海食崖崖尻に作用する砕波遡上波の波圧変動について検討した結果を示す。

図-3 に、海食崖崖尻に作用する波圧の計測データ (造波開始から 1 分間) の一例を示す。図に示すように、作用波圧に入射波周期より長い周期的な変動が見られる。そこで、波圧と波高の計測データについて入射波周期で移動平均を行ったところ、どちらも概ね周期 20s の変動が確認された。この変動を引き起こした要因としては、砕波、遡上と戻り流れ、海食崖からの反射等による影響が考えられる。さらに、図-4 に示すように本実験の計測系を矩形水槽に置き換えて、以下の式 (1) により固有周期を計算したところ、1 次モードの固有周期は 18.74s となった。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot g}{L} \cdot \tanh \frac{(2n-1) \cdot \pi \cdot h}{L}} \quad (1)$$

以上の結果、この長周期変動は、本実験の計

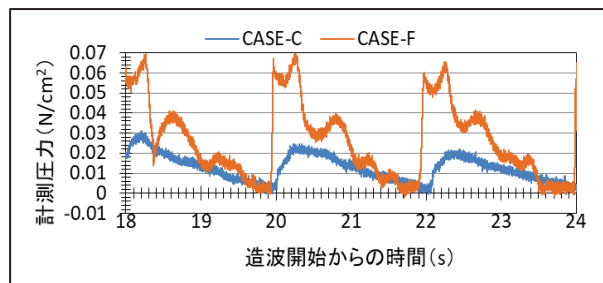


図-2 波圧の時系列変化の比較

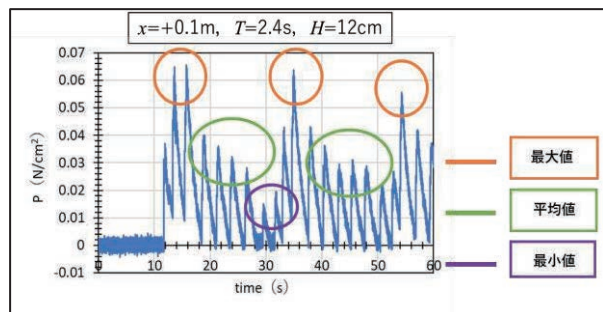


図-3 海食崖崖尻に作用する波圧の計測

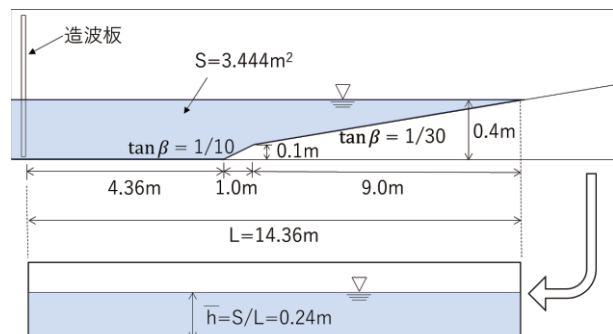


図-4 固有周期の概算

測系固有の振動と考えられる。そこで以下では、図-3中に示した実線で囲った部分のデータを各々最大値  $P_{max}$ 、平均値  $P_{ave}$ 、最小値  $P_{min}$  と定義し、主として平均値  $P_{ave}$  に基づき検討することとした。

図-5に汀線から+0.2m陸側の地点での海食崖崖尻の波圧の平均値の結果を示す。汀線から+0.2mの陸側の地点では、入射波の沖波波高の増加とともに波圧は直線的に増加することが分かった。

図-6に汀線から±0.0m地点での海食崖崖尻の波圧の平均値の結果を示す。汀線から+0.2m地点と同様に入射波の沖波波高の増加に対して波圧は増加傾向にあることを確認した。その他の陸側の各地点でも沖波波高の増加に従って概ね直線的に増加することが分かった。

図-7に汀線から-1.2mの海食崖崖尻が水面下に位置する場合の崖尻の波圧の平均値の結果を示す。陸側地点と同様に沖波波高の増加に従って波圧は増加傾向にある。また、汀線より陸側に位置する場合と比較して波圧は非常に大きくなっていることを確認した。

図-8に、砕波形態を分類する指標である surf similarity parameter と海食崖崖尻に作用する無次元波圧の関係を示す。ここで、surf similarity parameter  $\xi_0 = \tan \beta / \sqrt{H_0/L_0}$  の算出および波圧の無次元化には、波圧計測時に造波板と斜面先端部との中間地点で測定した波高と浅水係数から算出した沖波波高  $H_0$  を用いている。波圧は surf similarity parameter の増加とともに概ね直線的に増加し、その増加率は崖尻が汀線に近づくに従って大きくなる傾向があることが分かった。そこで、海食崖設置位置毎に原点を通る近似直線を Excel の

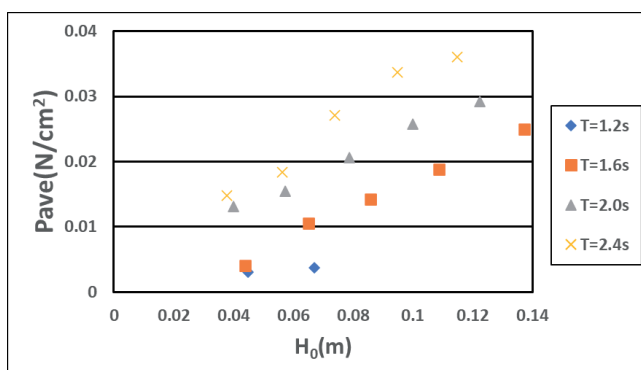


図-5 沖波波高と波圧の関係  
(汀線から+0.2m)

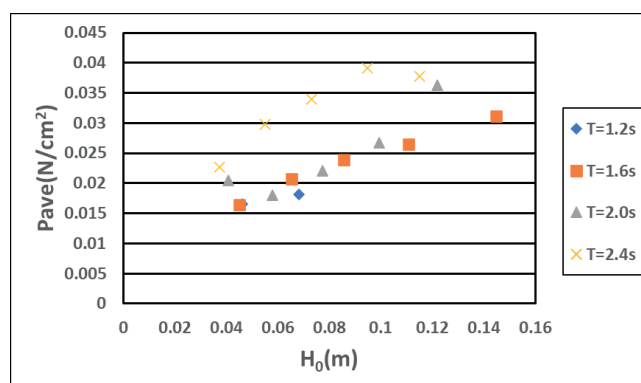


図-6 沖波波高と波圧の関係  
(汀線から±0.0m)

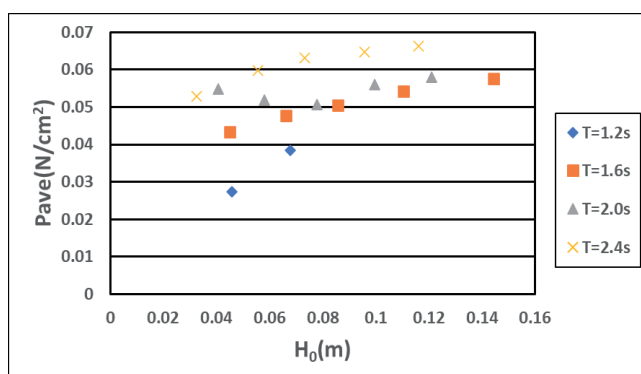


図-7 沖波波高と波圧の関係  
(汀線から-1.2m (崖尻))



機能を用いて求めたところ図に示すとおりになった。また、各近似線の傾きと決定係数は表-2に示すとおりである。さらに、直線の傾きは海食崖の位置により異なるので、海食崖崖尻の汀線からの距離と直線の傾きとの関係を図-9に示す。なお、図中には一次式と二次式の近似線を合わせて示している。各近似線の決定係数は表-3に示すとおりであり、どちらも高い相関があるが、二次式の方が若干高くなった。

以上の近似式により、本実験条件に限定されるが、海食崖崖尻に作用する波圧の推定が可能であることが分かった。

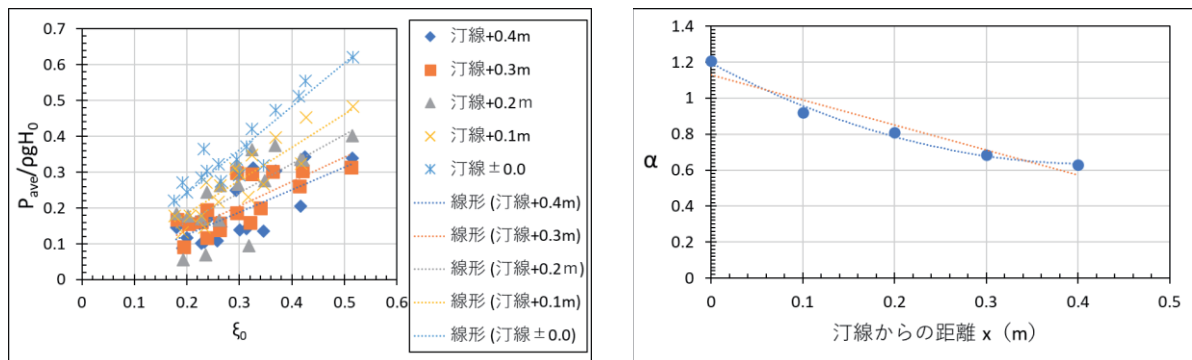


図-8 陸側に位置する海食崖崖尻に作用する波圧 図-9 海食崖の位置と近似線の傾きの関係

表-2 図-8の近似線の傾き $\alpha$ と決定係数 $R^2$

崖尻位置	近似線の傾き $\alpha$	決定係数 $R^2$
汀線+0.4m	0.6285	0.9276
汀線+0.3m	0.6840	0.9581
汀線+0.2m	0.8092	0.9284
汀線+0.1m	0.9217	0.977
汀線±0.0m	1.2084	0.9878

表-3 図-9の近似線

	近似線の式	決定係数 $R^2$
線形近似	$\alpha = -1.3975x + 1.1299$	0.9218
多項式近似	$\alpha = 3.2121x^2 - 2.6824x + 1.1941$	0.99

## 参考文献

- 1) 堀川清司・砂村継夫：海蝕崖の侵蝕に関する実験的研究，第15回海岸工学講演会講演集，pp.149-157，1968.
- 2) 川村志麻・栗林正樹・三浦清一：波の侵食作用を受ける海岸斜面の力学特性とその評価，海岸工学論文集，第55巻，pp.536-540，2008.
- 3) 五十里洋行・後藤仁志・新井智之：海食崖の侵食過程の計算力学のための流体・弾塑性体ハイブリッドモデルの構築，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol. 66, No.1, pp.916-920，2010.

## Assessing Da Nang coastline dynamics using the UAV data

Nguyen Van Luc<sup>1</sup>, Hitoshi Tanaka<sup>2</sup>, Nguyen Trung Viet<sup>3</sup> and Nguyen Danh Thao<sup>4</sup>

### Abstract

Traditional methods for assessing coastal changes often rely on land surveying equipment, such as total station instruments, measuring the research area's topography. The coastal changes over time can be evaluated by comparing the results from multiple surveying. However, this approach is typically time-consuming and expensive, leading to relatively low efficiency. Currently, many researchers have used satellite imagery sequences to assess coastline dynamics. While this approach offers a more modern alternative, their accuracy is often hampered by the limited resolution of freely available data, typically with the resolution of more than 10 meters. This paper utilizes Unmanned Aerial Vehicle (UAV) aerial surveying technology to study a 4km stretch of coastline in Da Nang, Vietnam. After each aerial survey, captured images are processed to generate point clouds or Digital Elevation Models (DEMs) and are further refined using Ground Control Points (GCPs). This data then enables the extraction of coastline profiles, analysis of overlapping areas, and ultimately evaluate the coastline dynamics.

### 1. Introduction

Vietnam has 3,260 km of coastline, ranking 33<sup>rd</sup> out of 153 coastal countries, stretching from Quang Ninh to Kien Giang Province (Duy et al., 2022; Thao et al., 2014). Many beautiful beaches have been recognized and lauded by international organizations such as Nha Trang, Cua Dai, My Khe, etc. However, the past decade has witnessed a significant trend of coastal erosion. Many of these beautiful beaches are now threatened by landslides and the risk of complete disappearance (Dan & Viet, 2017; Tam, 2021).

Since the late 20<sup>th</sup> century, coastal erosion in Vietnam has intensified, likely associated with the rapid economic and societal changes following the Doi Moi economic reforms in 1986. The average erosion rate ranges from 5 to 10 m/year, but can reach to 50-100 m/year or more (Duy et al., 2022). This poses the significant threats where approximately 12 million people in coastal provinces are at risk of flooding, and over 35% of coastal settlement areas experience erosion. The coastal tourism sector heavily relies on attracting visitors with pristine beaches and ecosystems, but about 42% of resorts and hotels built along the coast face eroding beaches (Binh and Duong, 2018; Duy et al., 2022; Trang et al., 2023).

In Da Nang city, while experiencing accretion at an average rate of 1.01 m/year from 1965 to 1995, the accretion rate decreased to about 0.98 m/year between 1995 and 2005 (Trang et al., 2023). However, since 2005, the coastline has eroded at an alarming average rate of -0.65 m/year.

Recently, there are many methods for studying coastal evolution. Traditionally, topographic survey machines and echo sounders were employed to survey the study area and determine the shoreline, which is a highly accurate but time-consuming and expensive (May et al., 1983). Simpler methods involved analyzing past photographs or coastal maps (Boak & Turner, 2005). Aerial photos offered a more bird's-eye view for data analysis (Anders & Byrnes, 1991). A more recent innovative method employed kinematic differential GPS mounted on vehicles to map the shoreline (Morton et al., 1993).

Today, with the development of science and technology, many advanced methods have been applied to detect shorelines and evaluate beach developments. Many scientists around the world leverage remote sensing technology as an effective tool to detect sedimentation and erosion trends of beaches

---

<sup>1</sup> Thuyloi University, 175 Tay Son, Dong Da, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup> Tohoku University, 41 Kawauchi, Aoba-ku, Sendai 980-8576, Japan.

<sup>3</sup> Thuyloi University, 175 Tay Son, Dong Da, Hanoi, Vietnam

<sup>4</sup> Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam.

(Binh and Duong, 2018; Tinh et al., 2018; Tung & Graaff, 2006; Viet et al., 2022). Additionally, other researchers have developed shoreline interpretation technologies from video-camera data (Thuan et al., 2019). Each method has its own advantages and limitations.

With the rapid development of UAV production technology, these versatile drones have become valuable tools for various fields, including coastal studies. This paper will present the process of utilizing UAV technology to interpret beach topography, extract the shoreline, and ultimately, evaluate the coastal evolution.

## 2. Case study and data collection

### 2.1. Case study

Da Nang, located along the beautiful coast in Vietnam's Central region, attracts nearly 8 million tourists each year, both international and domestic (Van, 2023). One reason for this wonder lies in its stunning coastline, stretches of golden sand and clear blue waters.

Da Nang includes two distinct coastlines (Figure 1), where Da Nang Bay is less developed in tourism, while the coast from Son Tra peninsula to Cua Dai estuary is spanning about 17 km. This stretch boasts some of the city's most beautiful beaches, including the renowned My Khe beach (Figure 2).

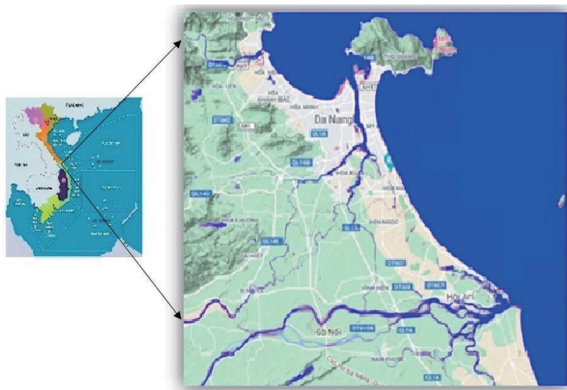


Figure 1. The location of Da Nang City

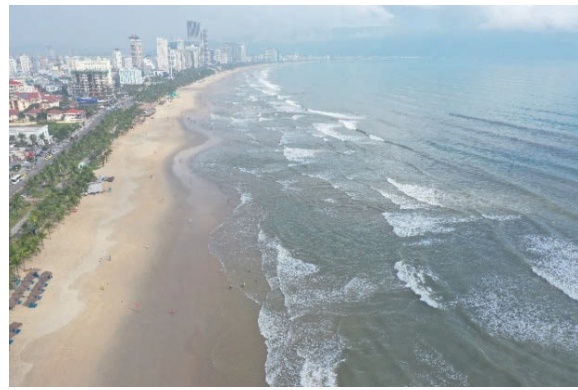


Figure 2. My Khe beach in Da Nang city

My Khe, a 4 km stretch, serves as the main and most beautiful beach of Da Nang. Prior to 2015, this area enjoyed a steady accretion trend (Tanaka et al., 2018; Tinh et al., 2018; Trang et al., 2023; Viet et al., 2018, 2022). However, from 2017 to 2021, powerful waves unleashed a series of erosion attacks, destroying many coastal structures and significantly narrowing the once-spacious beach (Figure 3, Figure 4).



Figure 3. A corner of the guard house and fence of a resort were destroyed by waves (January 28<sup>th</sup>, 2018)



Figure 4. Erosion of My Khe beach (February 21<sup>st</sup>, 2021)

### 2.2. Data collection

Since 2021, numerous UAV surveys have been conducted along My Khe beach, capturing data at different times and seasons. The popular DJI Mavic 2 Pro aircraft, capable of taking aerial photos with

a 20-megapixels resolution were used. Its impressive technical specifications for in-depth coastal analysis are shown in Table 1 (DJI, 2018).

Table 1. DJI Mavic 2 pro specifications

No	Information
1	Sensor: 1" CMOS/ 20Mpx (Hasselblad camera )
2	Lens: 28mm f/2.8-11 fixed
3	ISO range: 100-6400
4	Maximum speed: 44.7mph
5	Advanced HDR photo with 14EV
6	Technology OcuSync 2.0 transmission
7	Flight time: 31 minutes
8	Video recording: 4K, 2.7K, Full HD
9	3-axis anti-shake gimbal
10	Weight 907g

During each survey, the aircraft adheres to strict parameters: flight altitude 70 m, front overlap 75%, side overlap 65%, ground resolution 1.6 cm/pixel. These consistent settings ensure high-quality, comparable data across our various surveys.

Moreover, in February 2023, the author further enriched the dataset by employing echo sounder equipment and an electronic total station to measure the study area's topography. This additional data will serve as a valuable verification tool for the terrain interpretation derived from the UAV surveys.

### 3. Methodology

The process of assessing shoreline developments with UAVs is carried out in 3 main steps: i) UAV survey; ii) generate topographic data of the study area; and iii) accuracy assessment (Figure 5).

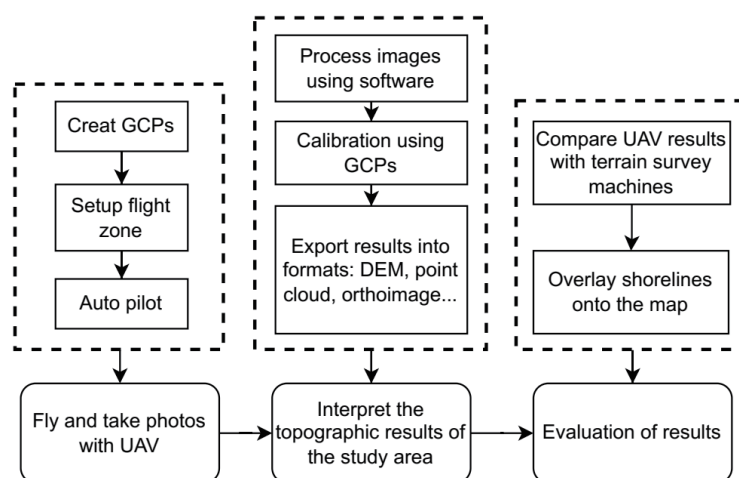


Figure 5. Process for determining shoreline developments

During each flight, consistent parameters as described previously are maintained to ensure data uniformity. Then, Trimble Business Center software was leveraged to interpret the captured images into a detailed topographic analysis of the beach. 24 GCPs were used to (Figure 6) evenly spread across the flight range, serve as anchors for calibrating and rectifying the images. Finally, the deviation between point clouds was assessed to evaluate the accuracy of the interpretation process. By comparing the elevation values of the measured GCPs and the results after interpretation on February 7<sup>th</sup>, 2023, the Average Error (AE) and Root Mean Square Error (RMSE) were calculated. Table 2 reveals that the average error (AE) is 0.02 m and the root mean error (RMSE) is 0.026. This remarkable accuracy confirms the effectiveness of the UAV-based methodology for interpreting beach terrain and assessing shoreline developments



Table 2. GCPs calibration results

Name	Elevation value of GCPs (m)	Mavic 2 Pro			
		Check point elevation (m)	Actual error (m)	Absolute value (m)	Square of the real error
MK1	4.620	4.5689	-0.051	0.051	0.00261
MK1a	4.693	4.7081	0.015	0.015	0.00023
MK2	4.648	4.5998	-0.048	0.048	0.00232
MK2a	4.650	4.6559	0.006	0.006	0.00003
MK3a	4.235	4.2294	-0.006	0.006	0.00003
MK5	5.036	5.0203	-0.016	0.016	0.00025
MK5a	5.003	5.0027	0.000	0.000	0.00000
MK6	4.257	4.2394	-0.018	0.018	0.00031
MK7	4.181	4.1583	-0.023	0.023	0.00052
MK14a	3.466	3.4397	-0.026	0.026	0.00069
MK15	3.733	3.7428	0.010	0.010	0.00010
MK19	4.505	4.5206	0.016	0.016	0.00024
MK20	4.505	4.5223	0.017	0.017	0.00030
T1	4.490	4.4893	-0.001	0.001	0.00000
T2	4.424	4.4174	-0.007	0.007	0.00004
T3	4.370	4.3797	0.010	0.010	0.00009
T4	4.909	4.9036	-0.005	0.005	0.00003
T5	4.082	4.0722	-0.010	0.010	0.00010
T6	4.137	4.1283	-0.009	0.009	0.00008
T7	4.134	4.0960	-0.038	0.038	0.00144
T8	4.189	4.1484	-0.041	0.041	0.00165
T10	4.023	3.9746	-0.048	0.048	0.00234
T11	3.948	3.9234	-0.025	0.025	0.00061
T12	3.848	3.8045	-0.043	0.043	0.00189

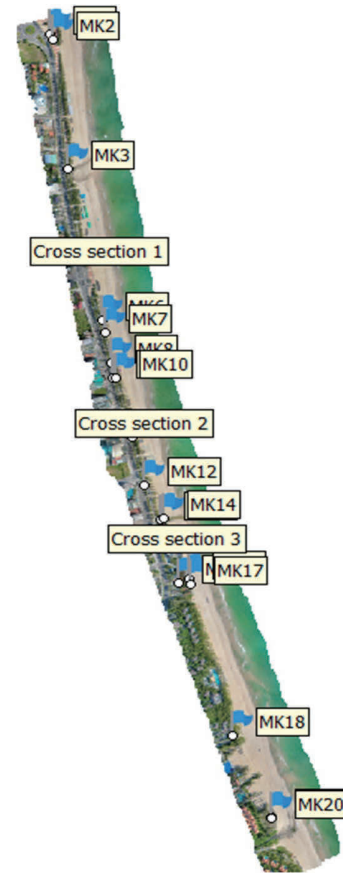


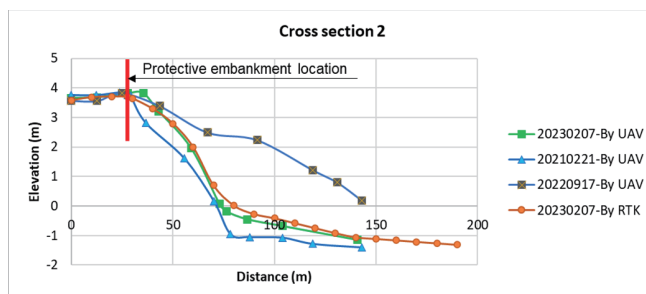
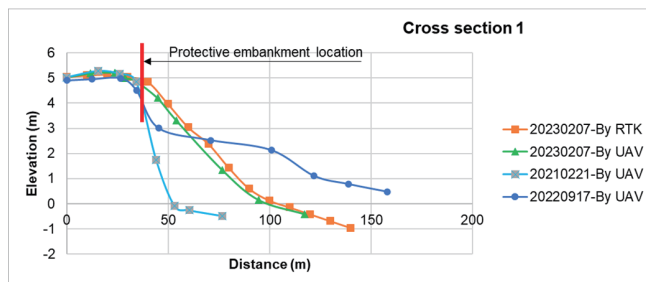
Figure 6. Arrange GCPs on the ground

4. Results and discussion

4.1. UAVs: validated for coastal terrain analysis

To verify the accuracy of UAV data, traditional surveying methods to collect beach cross section data using both total station and echo sounder (RTK) technology alongside the UAV flight were conducted on February 7<sup>th</sup>, 2023. Three strategically chosen cross-sections spanning the study area were analyzed (Figure 6). By superimposing the cross-sections obtained through both methods, a remarkable similarity between the UAV and RTK data for February 7<sup>th</sup>, 2023, was observed (Figure 7). This strong agreement validates the accuracy of mentioned UAV-based terrain interpretation, demonstrating its suitability for coastal research and development assessment.

In addition, by analyzing data from



different time periods, the dynamic story of My Khe beach was obtained. The cross section from February 21<sup>st</sup>, 2021 (northeast monsoon season) reveals significant erosion, completely aligning with the visual evidence shown in Figure 4 and highlights the erosive impacts of the season. In contrast, the cross section from September 17<sup>th</sup>, 2022 (end of the southwest monsoon season) paints a different phenomenon with the evidence

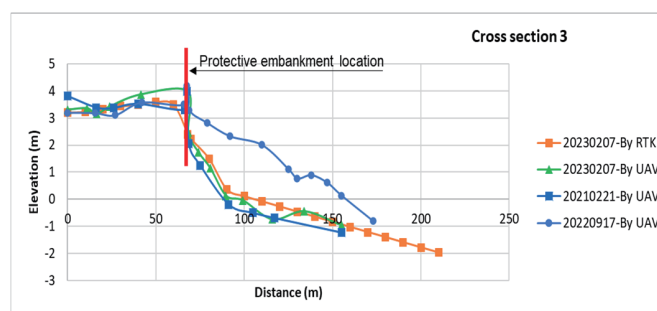


Figure 7. Compare the cross-sections evolution at a fixed location on the beach

of substantial accretion, demonstrating the coastline's dynamic response to different seasonal conditions.

In the future, the research aims to delve deeper into the quantitative analysis of My Khe's sediment dynamics. By superimposing cross-sections from various flights, we will calculate the precise volume of sediment and sand changes over time. Based on that, the sedimentation-erosion trend of the beach as well as the source of sand and mud supply of My Khe beach can be identified. This comprehensive data analysis will be an important basis of understanding the origin of sediment supply and is essential for addressing the root causes of beach erosion and developing effective solutions for stabilization.

#### 4.2. Results of shoreline interpretation

The comprehensive UAV surveys, spanning 18 flights from January 2021 to December 2023, captured the dynamic coastline of My Khe beach. The results of shoreline interpretation were superimposed on the map dated September 26<sup>th</sup>, 2022, allowing for clear comparisons across time (Figure 8).



Figure 8. Extracted shorelines from UAV data

From the above results, it can be seen that in the southwest monsoon season (from May to September), the coastline has a width from 55.1 m to 93.2 m. However, during the Northeast monsoon season (from October to April next year), the coastline undergoes a dramatic transformation. The beach retreats with widths shrinking to a mere 27.9 m to 76.2 m. In extreme cases, erosion can reach the foot of the concrete embankment. Thus, the seasonal fluctuation in beach width can be staggering, ranging in between 17 m and 27.2 m depending on the time.

The primary results show that the coast is most strongly eroded around the period of December to January of the following year. This is also the time when the area is most strongly influenced by the northeast monsoon, causing wave towering from 1.0 m to 1.5 m, and occasionally reaching 2.0 m (Binh et al., 2022).

#### 5. Conclusion

This study has successfully explored the potential of UAV technology as an advanced tool to analyze beach changes and its evolution. UAV data were used to extract the detailed topographic map of the area in DEM or point cloud form. Accurate pictures of the beach profiles were generated, including the shorelines, beach terrain and cross sections. The cross-section analysis from UAV interpretation gives good agreement with traditional ground measurements, validating its effectiveness for assessing sediment deficiencies. The collection of 18 shorelines from 18 surveys clearly shows the impact of the monsoon on the erosion and sedimentation process of My Khe coast. In the northeast monsoon season, the beach is rather narrow with averaging 52 m, while in the southwest monsoon season the beach will be increased into 74 m. In conclusion, UAVs can be used effectively as a versatile and cost-effective tool for studying coastal developments. By employing advanced technologies like

UAVs, a deeper understanding of the dynamic coastal processes could be obtained and utilized for future development.

### Acknowledgements

This paper was completed within the framework of the state-level science and technology research project: "Development of model systems to assess and forecast morphological changes and countermeasures to stabilize the beaches in the Mid-Central Vietnam region" funded by Ministry of Science and Technology (MOST), Vietnam under the Program 562.

### Reference

- Anders, F. J., & Byrnes, M. (1991). Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach*, 59, 17–26.
- Binh, H. T., Cham, D. D., Thao, D. T., Hanh, L. D., Son, N. T., Huan, N. M., & Trinh, N. Q. (2022). Research on integrated hydrodynamic processes (waves, currents and water levels) by MIKE 21/3 coupled with FM model in the Da Nang coastal zone. *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, 735(3), Article 3.
- Binh, N. Q., & Duong, V. N. (2018). Building a map of shoreline developments using remote sensing imaging technology, applied to Da Nang Bay. *Journal of Science and Technology University of Da Nang*, 3.
- Boak, E. H., & Turner, I. L. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 214, 688–703. <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>
- Dan, N. K., & Viet, N. T. (2017). Study on the erosion process and the measures for sustainable protecting the Hoi-An beaches from erosion. Report on Vietnam - France cooperation project.
- DJI. (2018). Support for Mavic Pro. DJI. <https://www.dji.com/global/support/product/photo>
- Duy, N. T., Thao, N. D., An, N. N., & Cong, L. V. (2022). Coastal erosion problems in Vietnam: Present status, causes and proposed solutions. *Coastal Disaster Surveys and Assessment for Risk Mitigation* (pp. 232–240). CRC Press.
- May, S. K., Dolan, R., & Hayden, B. P. (1983). Erosion of U.S. shorelines. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 64(35), Article 35. <https://doi.org/10.1029/EO064i035p00521>
- Morton, R. A., Leach, M. P., Paine, J. G., & Cardoza, M. A. (1993). Monitoring Beach Changes Using GPS Surveying Techniques. *Journal of Coastal Research*, 9(3), Article 3.
- Tam, H. S. (2021). Investigation of countermeasures to the overall stabilization the Truong Giang river, Nui Thanh District in order to satisfy the requirement the economics of sustainable developments in the study area and neighbored. Report on scientific research topics under the Vietnam-France Protocol cooperation program.
- Tanaka, H., Duy, D., Tinh, N., & Viet, N. (2018). Recent acceleration in shoreline retreat of My Khe Beach, Central, Vietnam. *Doboku Gakkai Ronbunshuu B*, 74. [https://doi.org/10.2208/jscejoe.74.I\\_701](https://doi.org/10.2208/jscejoe.74.I_701)
- Thao, N. D., Takagi, H., & Esteban, M. (2014). Coastal disasters and climate change in Vietnam: Engineering and planning perspectives. Elsevier.
- Thuan, D. H., Almar, R., Marchesiello, P., & Viet, N. T. (2019). Video Sensing of Nearshore Bathymetry Evolution with Error Estimate. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/jmse7070233>
- Tinh, N. X., Tanaka, H., Viet, N. T., Zviely, D., Luc, N. V., Duy, D. V., & Huy, T. D. (2018). Investigation of mega-cusp formation causing coastal erosion in Viet nam. *Proceedings of the 8th International Conference on Fluid Mechanics (ICFM8)*. 7.
- Trang, N. T., Minh, N. Q., Son, N. T., Hai, N. M. & Ngoc, N. A. (2023). Research on shoreline evolution and the process of erosion and deposition along the coastal strip of Da Nang city. <http://tapchikttv.vn/article/3629>
- Tung, T. T., & Graaff, J. van de. (2006). Coastal morphology. Curriculum taught at Thuy Loi University.
- Van N. A. (2023, December 31). In 2023, Da Nang tourism will grow strongly. *Economic life in Vietnam & the World*. <https://vneconomy.vn/nam-2023-du-lich-da-nang-tang-truong-manh.htm>
- Viet, N. T., Quang, D. N., & Luc, N. V. (2022). Research and develop a toolkit to serve the assessment and prediction of morphological changes and solutions to stabilize beaches in the Mid-Central Vietnam. Report on state-level scientific research project.
- Viet, N. T., Tanaka, H., Tinh, N. X., Duy, D. V., & Luc, N. V. (2018). Recent Shoreline Retreat of My Khe Beach, Da Nang, Central Vietnam. *Proceedings of the 8th International Conference on Fluid Mechanics (ICFM8)*. 5.



## 2023年7月秋田豪雨による秋田市中心市街地の氾濫について\*

中央大学研究開発機構 松富 英夫  
 岡山理科大学理学部 鎌滝 孝信  
 日本工営(株) 今野 史子

### 1. はじめに

秋田県では2023年7月14日～16日の記録的な停滞前線性豪雨により県内各地で外水や内水の氾濫が発生した。

豪雨時の堤内地氾濫には大なり小なり内水が関与する。したがって、豪雨時の氾濫は(1)主に外水氾濫、(2)外水氾濫+内水氾濫、(3)主に内水氾濫の3ケースに大別されよう。

雄物川の一次支川旭川と旭川の支川太平洋川、羽越本線、奥羽本線に囲まれた地域(図-1)の南半分の秋田市中心市街地で発生した今次の氾濫はケース(3)、太平洋川と奥羽本線に挟まれた秋田駅東側地域の今次の氾濫はケース(2)に相当しよう。ただし、貢献度評価は課題であるが、明田地下道を通過した秋田駅東側地域の氾濫水が中心市街地の氾濫に関与している(後述)。

著者らは津波波力評価や歴史津波規模評価の高度化を目指し、水理実験<sup>1)</sup>や現地調査<sup>2,3)</sup>、理論解析<sup>4)</sup>を通して、氾濫水密度 $\rho$ の検討を行ってきた。氾濫水密度は、相対的であるが、ケース(1)で高く、ケース(3)で低く、ケース(2)で前二者の間と推定される。

著者らは上述を背景に、(1)氾濫状況の実態把握、(2)氾濫ケース毎の氾濫水密度の把握、(3)外水氾濫による土砂堆積状況の把握を目的に今次豪雨による氾濫の現地調査を実施した。目的(3)は津波氾濫と洪水氾濫による土砂堆積状況の違いを解明するためである。この解明は歴史津波規模評価の高度化に役立つことになる。本研究は現段階での目的(1)の成果報告を目的とする。

### 2. 現地調査

目的(1)における現地調査地域は水収支を検討し易いと考えた旭川、太平洋川、羽越本線、奥羽本線に囲まれた地域の南半分(以下、中心市街地)を中心とした。この秋田市中心市街地と明田地下道の東口近傍の氾濫域における現地調査は2023年7月29日～10月4日にかけて行った。調査時の天気は晴れや曇りである。

現地調査項目は氾濫域内の各調査地点(図-2中の●)における最大の氾濫浸水痕跡位と氾濫浸水深 $h$ (調査地点の地面からでない場合あり)である。したがって、水面勾配や氾濫流向、流速などの推定が可能である。調査地点は氾濫域内で偏りがないように心がけた。氾濫浸水痕跡は家屋側壁でのものが主で、その



図-1 現地調査地域 (Google Earth(こ加筆))

\* On inundation in the central district of Akita city caused by the Akita torrential rainfall in July, 2023 by Hideo MATSUTOMI, Takanobu KAMATAKI and Fumiko KONNO



位置特定は現地撮影写真とGoogle Earthを用いて行った。選定した氾濫浸水痕跡は瞬時的に堰上がって形成されたものでないことを断っておく。

水準測量は自動レベルと標尺を用いて行った。

### 3. 結果と考察

図-2に氾濫浸水痕跡位置(●)と測器の移器点位置(●)を示す。図中の黄色数値は最大氾濫浸水痕跡位、白数値は移器点の地盤高(地盤でない場合あり)である。基準はT.P.である。明田地下道の東西両口近傍における最大痕跡位は東口側が高く、0.35 m程度の差が認められる。この差は明田地下道を通して中心市街地へ氾濫水が流入したことを示す。中心市街地への水供給は降水と明田地下道からの流入水だけではない。影響範囲は限定的であるが、太平川からの外水もある。また、概略的に引かれた等痕跡位線(水色の折線)が明田地下道の西口側からほぼ同心半円状に広がっていることが判る。これは中心市街地の氾濫に明田地下道からの流入水が無視できないことを示している。旭川左岸の崩落地点(★)付近における等痕跡位線がやや複雑である。今後、その理由を検討したいと考えている。

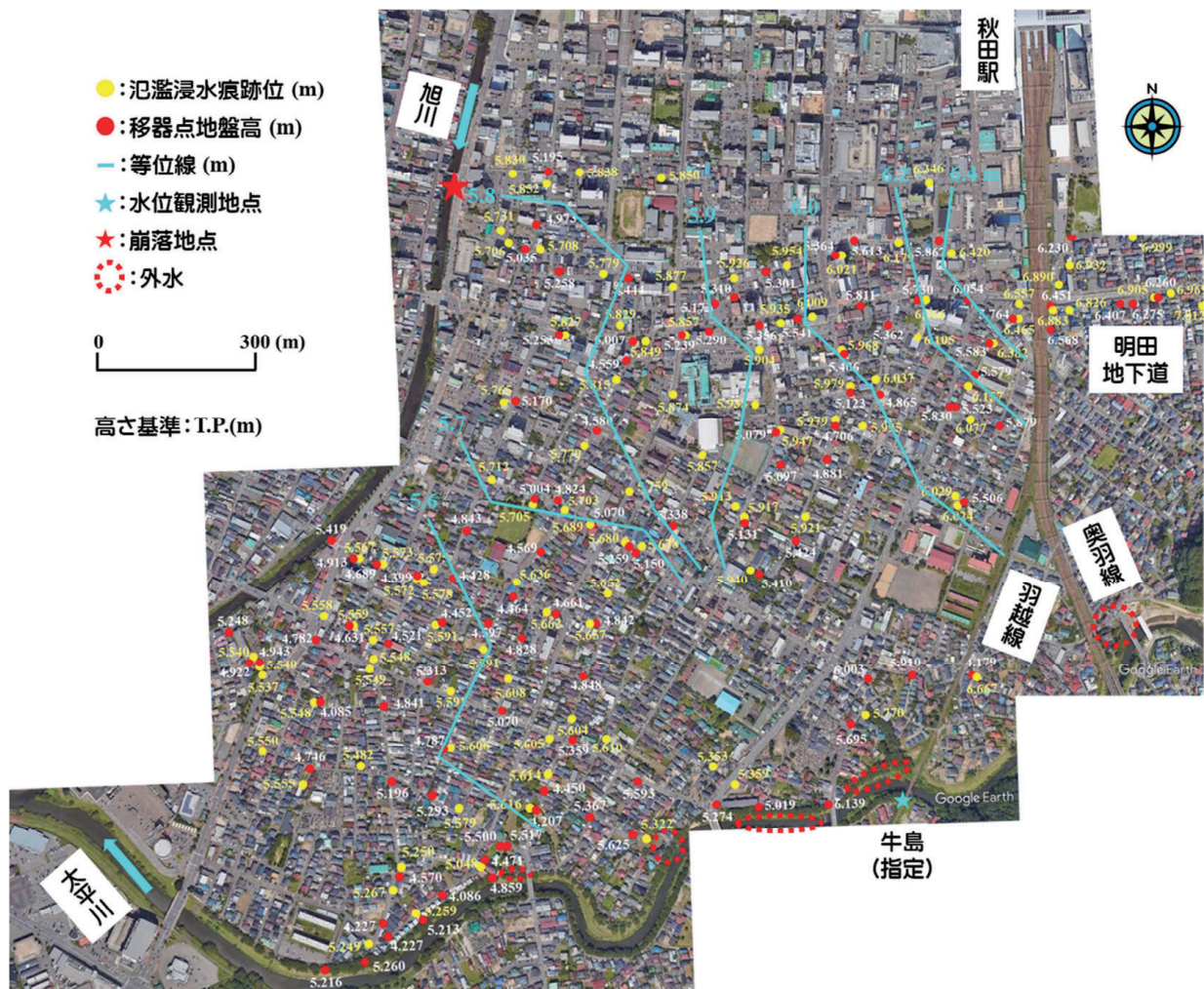


図-2 現地調査地域における氾濫浸水痕跡位に関する調査結果 (Google Earthに加筆)

中心市街地の地形とそこにおける推定氾濫流向（⇒）を図-3に示す。図中には古地図（出羽国秋田郡久保田城画図<sup>5)</sup>）を加筆している。秋田駅前から南大通りや櫛山登町にかけて低地の連なりが認められる。この低地の連なりは、現在は道路であり、昔はみず道であった。氾濫水はこのみず道に沿って卓越的に流れているように判断される。

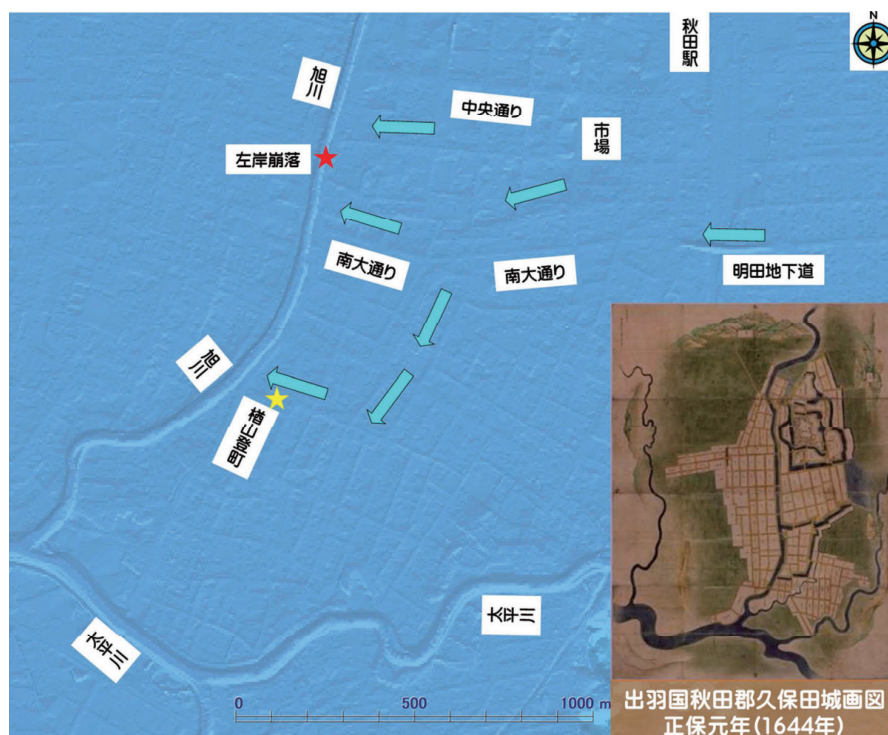


図-3 調査地域における地形と氾濫流向(国土地理院データに加筆)  
旭川左岸が崩落した箇所(★)はこのみず道に沿った氾濫水が旭川へ流れ込むところに位置している。

#### 4. 治水観点からの課題

治水の観点から次の評価が必要と考えられる。

- (1) 今次降水の各種時間降水量（期間最大を含む）の確率年と経時的なパターンの位置付け
- (2) 明田地下道の東西両口における氾濫水位の経時変化（少なくとも片方は必要）
- (3) 明田地下道を通して中心市街地へ流入した氾濫水の流入量と今次氾濫規模への貢献度
- (4) 下水道（汚水、雨水）や排水機場ポンプの実排水能力と稼働実態、樋門の開閉状況、樋管の排水口タイプ

(1)の降水パターンの位置付けでは秋田（アメダス）の降水パターンが対象となろう。(2)はテレビ局やコンビニなどにおけるCCTV記録などの収集が必要となろう。(3)は(2)の記録などが収集されれば可能となろう。(4)は悉皆調査が必要となろう。

次のことも考慮する必要があるだろう。

今次の豪雨では調査対象地域において旭川が氾濫していない。同じ総降水量であっても時空間的な降水パターン次第では氾濫することが考えられる。この場合は被災状況が異なってくる。時空間的な降水パターンの多様性は厄介な課題で、下水道や排水ポンプの施設などを整備さえすればよいというものではなかろう。河川の水位次第で施設などを利用してはいけないという場合があるだろう。施設を整備すれば（例えば、明田地下道の東西両口に防水ゲートを設置など）、維持・管理（予算や人手の永続的な確保を含む）も大変となる。

今次被災に対する諸対策を検討する今が永続的な減災への最適解導出に向けて知恵の出



しどころである。

## 5. おわりに

本調査研究で得られた主な結果は次の通りである。

- (1)秋田市中心市街地における今次の氾濫は明田地下道から流入した氾濫水の影響を有意に受けている。その根拠は明田地下道の東西両口近傍における最大氾濫浸水痕跡位に有意な差が認められ、東口側が $0.35 = (6.890+6.826)/2 - (6.557+6.465)/2$  m程度高いこと、西口側を原点に最大氾濫浸水痕跡位の等位線が地形や街並みの影響を受け、その値を下げながらほぼ同心半円状に広がっていることである。
- (2)中心市街地における今次の内水氾濫規模は秋田市が公表している150 mm/h（1000年に1度程度）の想定降水による内水氾濫規模<sup>6)</sup>を超えている。その根拠は秋田市の想定内水氾濫における浸水深に比べて今次の実測氾濫浸水深が深いこと（中央通りの一部などで、浅いところも認められる）、秋田市の想定内水氾濫において氾濫水が河川（旭川）へ流れ込む場所以外でも河川への流れ込みが現地調査で確認されたことである。
- (3)秋田市檜山登町地区（★）における最大氾濫浸水位時、旭川中島水位観測所（指定）における最大水位時<sup>7)</sup>と秋田港における満潮位時<sup>8)</sup>はほぼ同じ16日02:00～03:00であり、潮汐が檜山登町地区の氾濫に少なからず影響を及ぼしたと考えられる。

謝辞：国土交通省東北地方整備局秋田河川国道事務所，秋田県建設部河川砂防課，秋田市上下水道局から情報の提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 松富英夫，川島峻：津波氾濫流の密度に関する基礎実験，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.71, No.2, pp.355-360, 2015.
- 2) 松富英夫，鎌滝孝信：2018年7月西日本豪雨による真備町氾濫域における土砂堆積の実態と氾濫水密度の概算，土木学会論文集B1（水工学），Vol.75, No.5, pp.1477-1482, 2019.
- 3) 松富英夫，鎌滝孝信：破堤氾濫域における土砂堆積と湛水の状況から概算される氾濫水密度，東北地域災害科学研究，第57巻，pp.23-28, 2021.
- 4) 松富英夫，有川太郎：氾濫水密度の時間変化を考慮した津波遡上，土木学会論文集B2（海岸工学），Vol.78, No.2, pp.247-252, 2022.
- 5) 国立公文書館デジタルアーカイブ：出羽国秋田郡久保田城画図，<https://www.digital.archives.go.jp/gallery/0000000412>，2023年7月25日参照.
- 6) 秋田市：秋田市内水浸水想定区域図，<https://www.city.akita.lg.jp/suido/1011432/1034477.html>，2023年7月20日参照.
- 7) 秋田県建設部河川砂防課からの情報提供による.
- 8) 国土交通省港湾局：ナウファス，<https://nowphas.mlit.go.jp/>，2023年7月18日参照.

## 令和5年に発生した秋田豪雨災害について\*

秋田大学大学院理工学研究科 渡辺一也

### 1. はじめに

令和5年7月に発生した豪雨により秋田県においては甚大な被害を受けた。これは前線の影響により、秋田県を中心に記録的な大雨となり秋田県において水害が発生したことが報告されている(例えば<sup>1)</sup>)。秋田県においては前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだため、14日から16日にかけて県内は広い範囲で大雨となり、白神山地や太平山地付近を中心に激しい雨や非常に激しい雨となった。その降水量は多い所で400ミリを超え、記録的な大雨となり藤里、男鹿、秋田、秋田市岩見三内、秋田市仁別、角館では、72時間降水量が1位を更新した<sup>2)</sup>。秋田市では外水だけでなく内水氾濫が発生し、被害が拡大した<sup>3)</sup>。また、五城目の内川川においては2年連続で甚大な被害が生じている<sup>4)</sup>。

そこで、本研究では特に被害の大きかった、秋田市、五城目町を中心に現地観測を行い、秋田県の被害の状況について把握した。

### 2. 秋田県内の被害概要

秋田県における現地調査について述べる。ここでは特に被害の顕著であった秋田市内、新城川、旭川、馬場目川、内川川、三種川、岩見川、太平川の状況について述べる。

#### (1) 秋田市内の被害

##### a) 被害概要

秋田市内では7月14日未明からの豪雨により、太平川において氾濫が生じた。また、秋田市内においては外水だけでなく内水の影響により広範囲で被害が生じた。11/7時点では秋田県内の広い範囲で住宅が浸水し、秋田県によると6984棟の住宅で被害が確認されている<sup>5)</sup>。秋田市での被害では727棟と最も多く、全壊が11棟、半壊が2417棟、一部損壊が20棟、床上浸水が598棟、床下浸水が2681棟となっている。

##### b) 被害領域概要

秋田市は、秋田県の人口の約3割にあたる約31万人を有する中核市となっている。面積905.67km<sup>2</sup>となっており、今回の豪雨では秋田市内の広範囲において家屋の浸水や車の水没などの被害が生じた。

##### c) 被害調査

本研究では市内の各地域において被害の状況について調査を目視により行った。写真-1に示されるように市内各所において車の水没が確認された(写真は広面地区ツルハドラッグ近くで水没した車である)。また、市内の多くの地点で道路の冠水が見られた(写真-2, 手形陸橋近くの道路の卷子状況である)。

---

\*Damage caused by the Flood generated to Heavy Rain at Akita Region in 2023 by Kazuya WATANABE





写真-1 水没した車



写真-2 道路の冠水による被害

## (2) 新城川での被害

### a) 被害概要

新城川では槻ノ木や飯島地区の桜並木<sup>6)</sup>などの広範囲において被害が生じた。

### b) 新城川概要

新城川は秋田市の北部を源流として流れる雄物川水系旧雄物川支流の一級河川であり幹川流路延長 19.1km, 流域面積 69.9km<sup>2</sup>となっている。

### c) 被害調査

写真-3 に示されるように河川から田んぼへの浸水が確認できた。また、住宅地域においては家屋への被害を確認した。



写真-3 田んぼへの越水



写真-4 家屋への被害

## (3) 旭川での被害

### a) 被害概要

旭川においては上流部にあるダムによる影もあり、氾濫が確認されていないが河岸が洗堀されるなどの被害があった。

### b) 旭川概要

旭川は、秋田県秋田市を流れる雄物川水系旧雄物川支流の一級河川である。幹川流路延長 22km, 流域面積 227km<sup>2</sup>となっている。上流部には旭川ダムがあり、目的は治水となっている。

### c) 被害調査

写真-5 に示されるように本川で増水していた。また、上流の旭川ダムでは緊急放流が行われた。また、写真-6 のように左岸側で洗堀が確認された。そのため道路が通行止めになるなど交通にも被害が生じた。



写真-5 河川の様子



写真-6 左岸の洗堀の状況

#### (4) 馬場目川での被害

##### a) 被害概要

中屋敷橋下流右岸において氾濫があった。また、馬場目川に近い浄水場が浸水し、町全体の9割の世帯約3500戸で断水が生じた<sup>7)</sup>。

##### b) 馬場目川概要

馬場目川は流域面積 910.5 m<sup>2</sup>、幹川流路延長 47.5 km の秋田県内最大の二級河川である。

##### c) 被害調査

写真-7 に示されるように山地から流出した流木が橋脚により堰止められていた。また、写真-8 の様に住宅地への溢水を確認した。



写真-7 橋脚に堰止められた流木



写真-8 住宅への被害

#### (5) 内川川での被害

##### a) 被害概要

五城目町の内川川では氾濫が発生した。昨年も被害を受けており、2年連続での被害となった<sup>8)</sup>。人的被害は確認されていないが、7月17日の時点で、住家の浸水被害が331棟と昨年の88棟に比較して被害が拡大している。内川川にかかる橋には流木がひっかかり、水位が堰上げしたことにより被害が大きくなった。



## b) 内川川概要

内川川は馬場目町流れる幹川流路延長が 6.8km で、馬場目川の支川富津内川の支川となっている。

## c) 被害調査

写真-9 に示されるように、昨年と同じように橋に流木が引っ掛かり、水位の堰上げが生じ、そのための浸水被害が生じた。写真-10 に示されるように、田んぼへの越水も確認した。



写真-9 橋に引っ掛かった流木



写真-10 田んぼへの被害

## (6) 三種川での被害

## a) 被害概要

三種川流域では7月中旬の記録的大雨による建物の浸水被害が 100 棟に上った。床上浸水が 14 棟、床下浸水が 24 棟、小屋などの非住居が 62 棟であった<sup>9)</sup>。

## b) 三種川概要

三種川は房住山に源を発し、三種町流れ、八郎湖へと注ぐ二級河川である。

## c) 被害調査

写真-11 に示されるように上岩川周辺で橋を越える浸被害を確認した。写真-12 に示されるように護岸の洗堀が生じていた。既に改修が始まっていた。



写真-11 上岩川周辺の被害



写真-12 護岸の洗堀と改修

## (7) 岩見川での被害

## a) 被害概要

岩見川においては、河川の増水等の影響により3箇所で堤防が決壊した。

## b) 岩見川概要

岩見川は秋田市を流れる、幹川流路延長が39.3kmで、流域面積310km<sup>2</sup>となっている。

## c) 被害調査

写真-13に示されるように上流部において河岸洗堀を確認した。その近くでは、写真-14に示されるように落橋して道路が寸断されていた。



写真-13 河岸洗堀の様子



写真-14 落橋して寸断された道路

## (8) 太平川での被害

## a) 被害概要

太平川においては、内水及び外水の影響により大規模な被害が生じた。上流部においても各所において越水が生じた。

## b) 岩見川概要

太平川は平山に源を発して秋田市を流れる、幹川流路延長が26.3kmで、流域面積148.1km<sup>2</sup>となっている。



写真-14 河岸洗堀の様子



写真-15 落橋して寸断された道路



## c) 被害調査

写真-14 に示されるように橋に流木が引っ掛かっていた。田んぼにおいても、写真-15 に示されるように流木が多く流れ着いていた。

## 3. おわりに

本研究では2023年7月に起きた秋田県における豪雨災害について調査を行ったものである。今回の災害では秋田県の広範囲におよび、普段、被害が出ていない地域においても被害が目立った。災害記録を自然災害デジタルアーカイブとして残し、後々の災害に対して役立てて頂ければ幸いである。

## 参考文献

- 1) 国土交通省東北地方整備局：令和5年7月15日からの梅雨前線による大雨に係る出水の概要，  
<<https://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00037/k00290/river-hp/kasen/syussuisokuhou/R5.7/shussuisokuhou230715-3.pdf>>（2024年1月9日閲覧）
- 2) 秋田地方気象台：秋田県災害時気象資料，2023年（令和5年）7月14日から16日の記録的な大雨<[https://www.jma-net.go.jp/akita/data/saigai/pdf/saigai\\_20220808\\_15akita.pdf](https://www.jma-net.go.jp/akita/data/saigai/pdf/saigai_20220808_15akita.pdf)>（2024年1月9日閲覧）
- 3) FNNプライムオンライン：秋田豪雨でタクシーが浸水…カメラ捉えた“内水氾濫”の恐怖 天達気象予報士「きょうも警報級の大雨予報に注意」，  
<<https://www.fnn.jp/articles/-/558425>>（2024年1月9日閲覧）
- 4) 毎日新聞：「1年に2度も被災」秋田大雨、肩落とす住民 断水で苦境続く，  
<<https://nordot.app/927761059617161216?c=113147194022725109>>（2024年1月9日閲覧）
- 5) NHK：秋田 記録的大雨から4か月 被災した人たちへの継続支援課題に，  
<<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20231114/k10014256711000.html>>（2024年1月9日閲覧）
- 6) 秋田魁新：秋田市・新城川の堤防崩壊 桜並木の道路、湾のようにえぐれる，  
<<https://www.sakigake.jp/news/article/20230720AK0060/>>（2024年1月9日閲覧）
- 7) 日テレ NEWS：大雨で断水…全世帯への水供給再開 秋田・五城目町，  
<<https://news.yahoo.co.jp/articles/71cc1bbc6c8ace55c2972372482d057fb3eff>>（2024年1月9日閲覧）
- 8) FNNプライムオンライン：五城目町の「内川川」…1年たたずに再び氾濫 流域の住宅の浸水被害は300棟超 秋田・記録的大雨，  
<<https://www.fnn.jp/articles/-/558468>>（2024年1月9日閲覧）
- 9) 秋田魁新：建物浸水被害100棟，7月の記録的大雨 三種町，  
<<https://www.sakigake.jp/news/article/20230829AK0005/8>>（2024年1月9日閲覧）

## 令和5年7月豪雨時の馬場目川における洪水について\*

秋田大学工学部

秋田大学大学院理工学研究科

秋田大学大学院理工学研究科

秋田大学大学院理工学研究科

秋葉海志

自見寿孝

齋藤憲寿

渡辺一也

### 1. はじめに

秋田県では令和5年7月による記録的な大雨による洪水<sup>1)</sup>により、秋田県内最大の二級河川である馬場目川<sup>2)</sup>で河床変動が起こった。洪水による被害を減らすために河床変動の特性を把握し、管理することは大切である<sup>3)</sup>。本研究では馬場目川を対象とし2010年から2023年までの河床変動と秋田県により久保観測所で観測された2017年から2023年の水位変動<sup>4)</sup>、数値計算を行い令和5年7月の豪雨時における馬場目川の水位、流量が河床変動や流速にどのような影響を与えたかについて検討した。

### 2. 研究対象

馬場目川は八郎潟へ流れる河川である。図1に馬場目川の概要図を示す。図2は観測領域の秋田県五城目町平ノ下地区にある馬場目川を示したものである。赤線の矢印が流れの方向を示しており、上流側から測線1～測線3とした。2010年～2022年は光波測量で測量し、2023年はRTKで測量した。

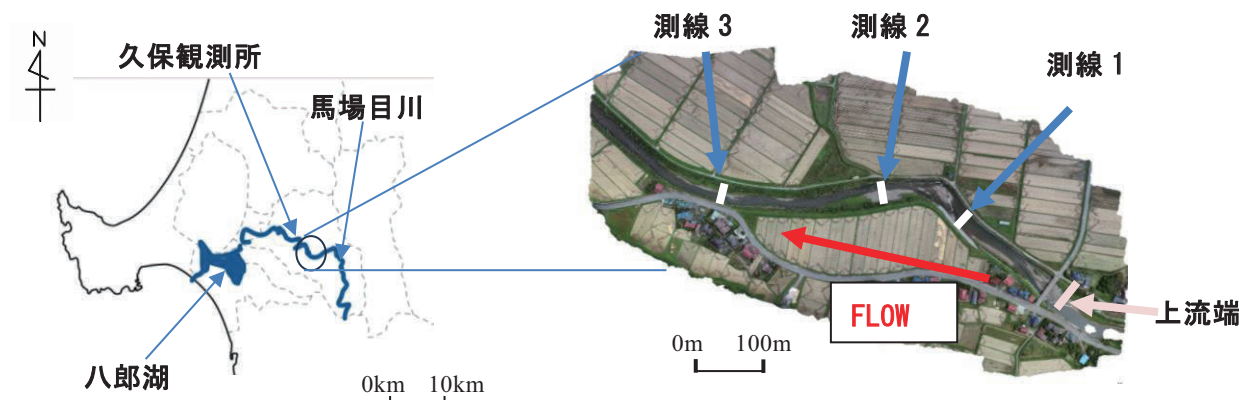


図1 対象領域

### 3. 水位変化

図3は観測領域から4km下流にある久保観測所の2017年から2023年にかけての水位の変動<sup>4)</sup>であり、赤線は測量時期を表している。毎年7月から8月にかけて水位が高くなっており、

\* Damage caused by the Flood generated to Heavy Rain at Akita in July 2023 by Kaishi Akiba, Yoshitaka Jiken, Noritoshi Saito and Kazuya Watanabe

氾濫危険水位である 3.4m を超えている年は 2017 年, 2022 年, 2023 年である。2023 年の水位は 523m<sup>3</sup>/s であり, 他の年に比べ一番水位が大きくなっている。

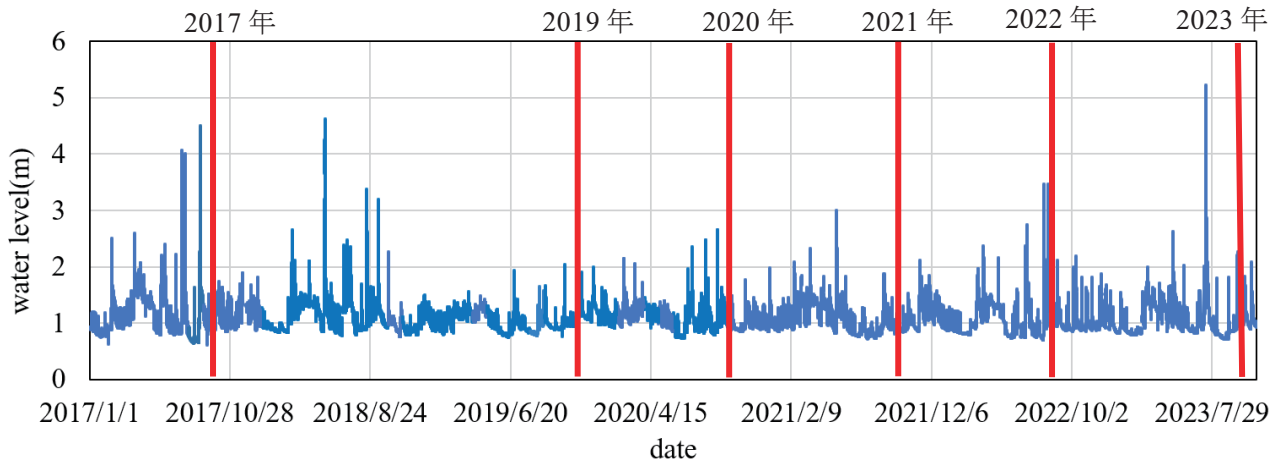


図 3 水位の変動 (久保観測所)

#### 4. 断面図の変化

図 4, 図 5, 図 6 は 2010 年~2023 年の断面図である。図 4 が測線 1, 図 5 が測線 2, 図 6 は測線 3 である。図 4 の 2010 年と 2023 年を比較すると左岸側が 1m 堆積している。2022 年と 2023 年を比較すると左岸側が 0.5m 堆積, 右岸側が 0.5m 堆積している。図 5 の 2010 年と 2023 年を比較すると左岸側が 2m 堆積している。2022 年と 2023 年を比較すると左岸側が 2m 堆積, 右岸側が 0.5m 堆積している。図 6 の右岸側が 2010 年と 2023 年を比較すると 1.5m 堆積している 2022 年と 2023 年を比較すると左岸側が 0.5m 洗堀, 右岸側が 1.2m 堆積している。

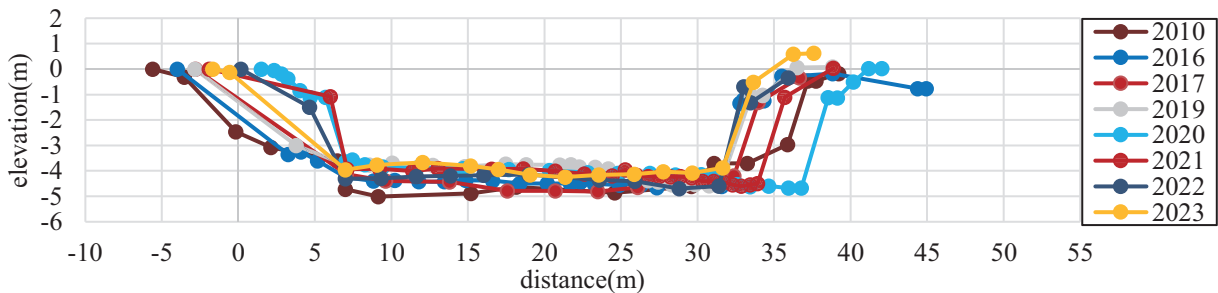


図 4 測線 1 断面図

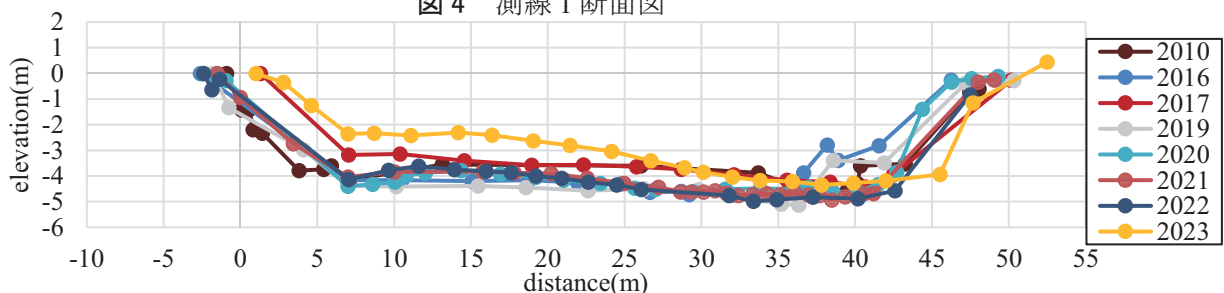


図 5 測線 2 断面図

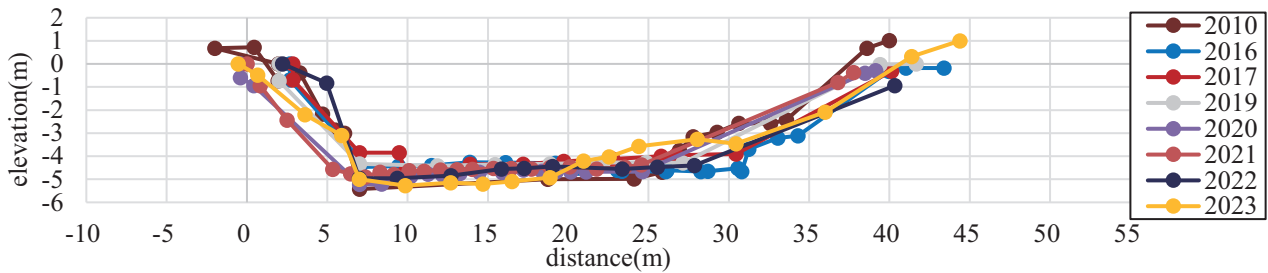


図6 測線3断面図

## 5. 数値計算

河床変動の解析には平面2次元計算式を使用した。以下の(1)~(9)が計算式である。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{d(hu)}{dx} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{d(hu^2)}{dx} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{dH}{dx} - \frac{t_x}{\rho} + D^x \quad \dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{d(hv^2)}{dx} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{dH}{dy} - \frac{t_y}{\rho} + D^y \quad \dots\dots(3)$$

$$\frac{t_x}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots\dots(4)$$

$$\frac{t_y}{\rho} = C_f v \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots\dots(5)$$

$$C_f = \frac{gn_m^2}{h^{\frac{1}{3}}} \quad \dots\dots(6)$$

$$n_m = \frac{k_s^{\frac{1}{6}}}{7.66\sqrt{g}} \quad \dots\dots(7)$$

$$D^x = \frac{d}{dx} \left[ V_t h \frac{du}{dx} \right] + \frac{d}{dy} \left[ V_t h \frac{du}{dy} \right] \quad \dots\dots(8)$$

$$D^y = \frac{d}{dx} \left[ V_t h \frac{du}{dx} \right] + \frac{d}{dy} \left[ V_t h \frac{du}{dy} \right] \quad \dots\dots(9)$$

ここに、 $h$  は水深、 $t$  は時間、 $u$ 、 $v$  は  $x$ 、 $y$  方向の水深平均流速、 $g$  は重力加速度、 $H$  は水位、 $t_x$ 、 $t_y$  は  $x$ 、 $y$  方向の河床せん断力、 $D_x$ 、 $D_y$  は拡散項、 $C_f$  は河床摩擦係数、 $n_m$  はマンニングの粗度係数を示している。式(1)が連続式であり、式(2)(3)が運動方程式である。

## 6. 境界条件

上流端流量を2023年7月15日から16日までの1時間あたりの流量変化を使用し、図7に示した。15日の午前0:00から水位が上昇し、19時間後に流量がピークに達しており、その値は $485\text{m}^3/\text{s}$ であった。



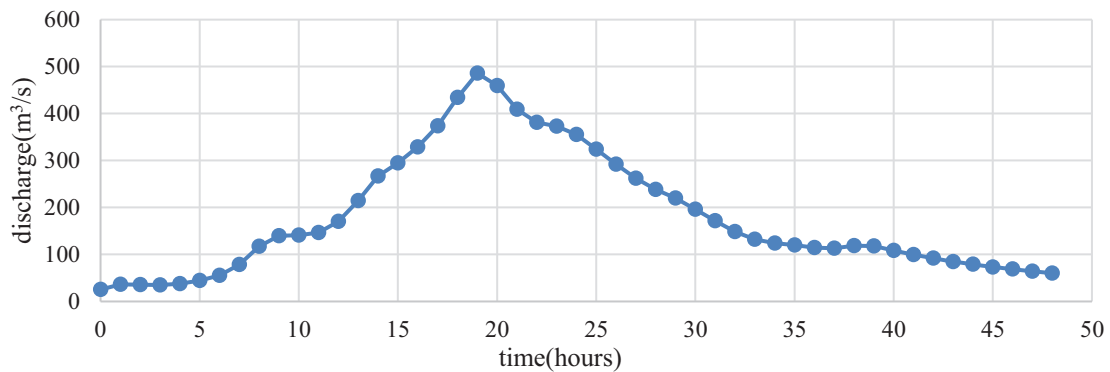


図7 流量 2023年7月15日～16日

## 7. 計算条件

計算条件を表1に示した。既往研究<sup>5)</sup>を参考にしてマンニングの粗度係数は河床は0.03，その他を0.04，粒径は混合粒径を選択した。本研究では，交換層と堆積層の粒度分布の与え方として粒径加積曲線を使用した。その粒径加積曲線は図8に示している。

表1 計算条件

考慮する層	混合粒径
マンニングの粗度係数	河床0.03 その他0.04
時間ステップ	0.1s
計算格子	非正方格子
流砂の種類	掃流砂と浮遊砂
掃流砂ベクトル式	渡邊の式
浮遊砂浮上量式	板倉・岸の式
交換層の厚さ	0.3m
堆積層一層の厚さ	0.4m
初期河床以下の全移動層厚	1m
考慮可能な層厚	25

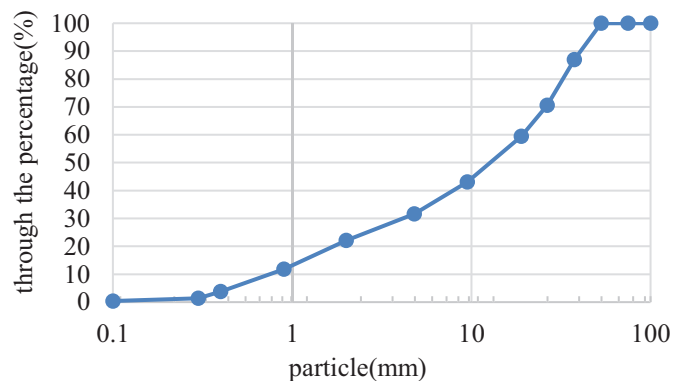


図8 粒径加積曲線

## 8. 水深，流速，標高変化

水深，流速，標高変化の比較には既往研究<sup>6)</sup>を参考にした。図9は初期とピーク時と48時間後の水深である。初期は水深が0m，ピーク時の水深は中心線のあたりが6m，左岸右岸側が0m，48時間後の水深は中心線のあたりが3m，左岸右岸側が0mであった。図10は初期とピーク時と48時間後の流速ベクトルである。初期は流速ベクトルが小さく，ピーク時は流速ベクトルが大きく，測線1から測線2の間の湾曲部の右岸側へ流速ベクトルが向いていた。48時間後は初期よりは流速ベクトルが大きかった。図11はピーク時と48時間後の標高変化である。どちらも測線1から測線2の湾曲部の標高変化が一番大きい。ピーク時と48時間後ではあまり違いは見られなかった。48時間後の流速ベクトルが小さかったため，堆積や洗堀があまり起こらなかったためだと考えられる。

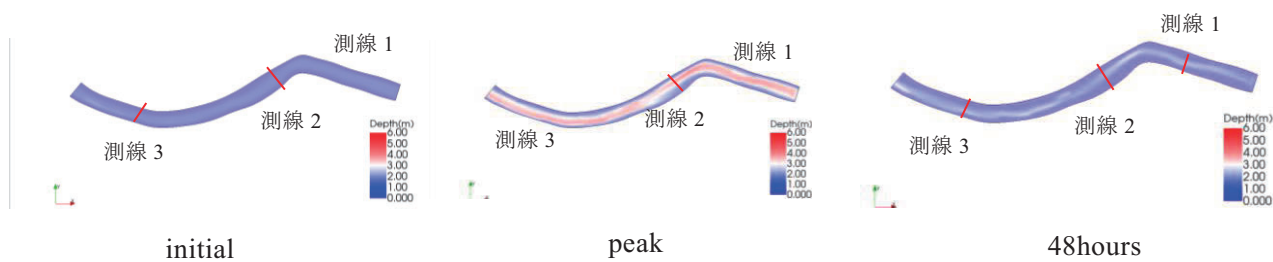


図 9 水深

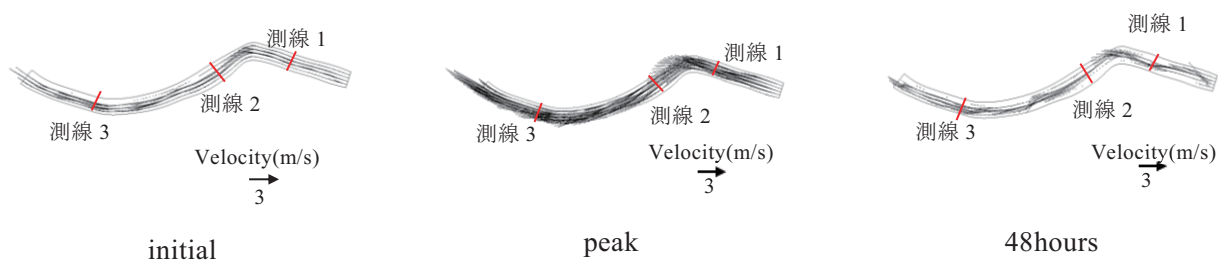


図 10 流速ベクトル

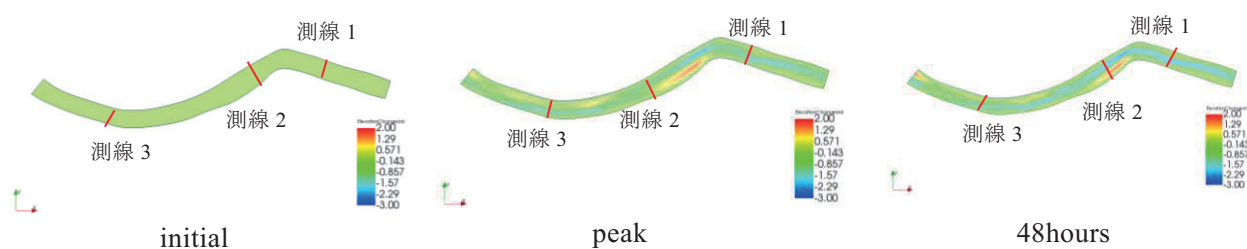


図 11 標高変化

数値計算による断面図の変化を比較した。図 12～図 14 は初期，ピーク時，48 時間後の数値計算の結果と測量結果の断面図を比較したものである。図 12 は測線 1，図 13 は測線 2，図 14 は測線 3 である。図 12 は測量結果と数値計算で結果が異なった。測量結果は初期と同じ-4m 付近の高さであったが，ピーク時と 48 時間後は-6m であり，2m の違いがあった。図 13 は測量結果も数値計算も左岸が堆積し，右岸が浸食していたが，測量結果は初期と比べて 1m 堆積し，ピーク時と 48 時間後は 2m 堆積しており，堆積の高さが異なっていた。右岸の測量結果は 1m 洗堀されており，ピーク時と 48 時間後は 2m 洗堀されていた。図 14 は測量結果も数値計算も初期と比べ左岸側が洗堀されていたが，測量結果は 2m 洗堀され，数値計算は 1m 洗堀されていた。右岸側の測量結果は初期と比べ 1.2m 洗堀されていたが，数値計算の変化はなかった。

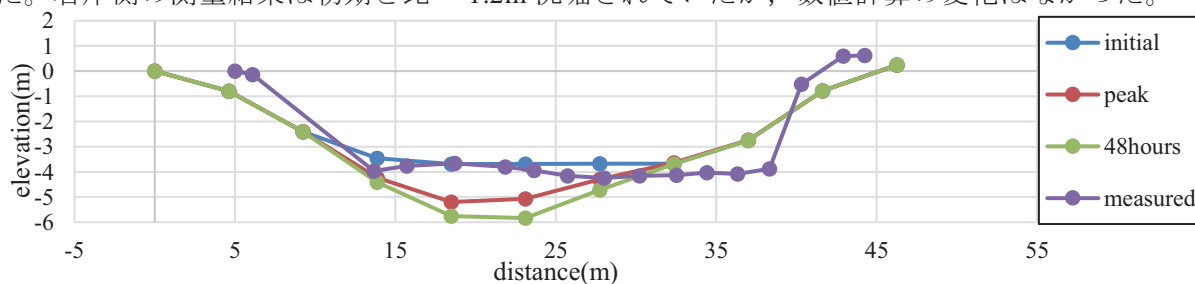


図 12 測線 1 数値計算と測量結果の断面

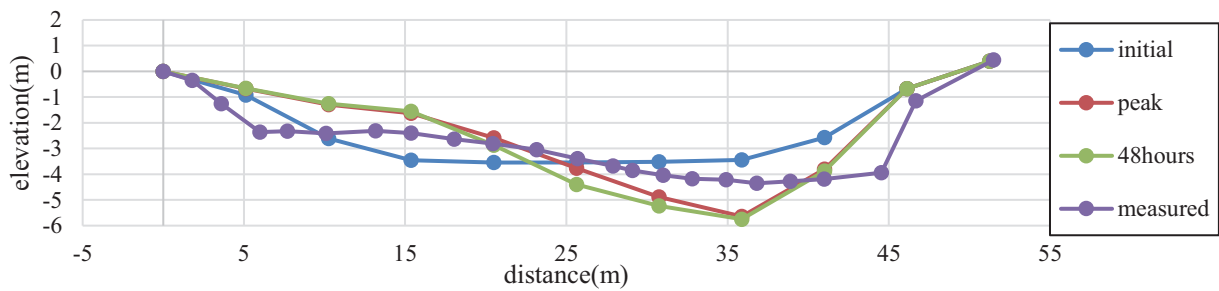


図 13 測線 2 数値計算と測量結果の断面

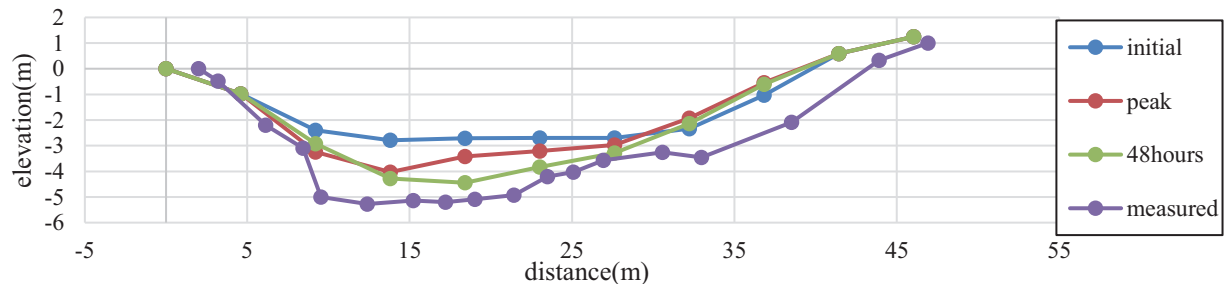


図 14 測線 3 数値計算と測量結果の断面

#### 4. おわりに

本研究では令和 5 年 7 月の馬場目川の洪水について検討した。2010 年～2023 年の横断図の変化は 2023 年では測線 1 は左岸側が 1m 堆積，測線 2 の左岸側が 2m 堆積，測線 3 は右岸側が 1.5m 堆積していた。数値計算と測量結果の比較では過去の測量した 13 年間の河床変動と洗堀，堆積の高さを分析し，数値計算が再現できているかを確認した。測量結果と数値計算で堆積，洗堀の高さが異なることが分かった。

#### 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，謝意を表する。

#### 参考文献

- 1)秋田県総務部総合防災課：秋田県防災ポータルサイト<[https://www.bousai-akita.jp/pages/?article\\_id=71](https://www.bousai-akita.jp/pages/?article_id=71)>，（2023 年 11 月 18 日閲覧）。
- 2)秋田県：二級河川馬場目川水系，馬場目圏域河川整備計画変更<[https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive\\_0000010601\\_00/seibi\\_babame.pdf](https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000010601_00/seibi_babame.pdf)>（2024 年 1 月 10 日閲覧）。
- 3)国土交通省：河川の維持管理について<[https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/r-jigyohyouka/dai02kai/dai02kai\\_siryous.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/r-jigyohyouka/dai02kai/dai02kai_siryous.pdf)>（2024 年 1 月 12 日閲覧）。
- 4)秋田県建設部河川砂防課：秋田県河川砂防情報システム，<<https://kasen.pref.akita.lg.jp/pc/>>（2024 年 1 月 11 日閲覧）。
- 5)植木洗太朗，渡辺一也：平成 29 年 7 月秋田豪雨における馬場目川洪水の再現と堤防被災について，東北地域災害科学研究，第 54 巻，pp.149-154，2018。
- 6)中川遥，谷口隼也，渡辺一也，齋藤憲寿：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，東北地域災害科学研究 第 57 巻，pp35-40，2021。

## 2023 年秋田県豪雨における馬場目川の河床変動特性\*

秋田大学大学院理工学研究科 自見寿孝・齋藤憲寿・渡辺一也

### 1. はじめに

全国で台風などの大雨に伴い、河川流量が増加することで洪水被害が多発している。秋田県においては 2023 年 7 月 14 日から 16 日にかけて広い範囲で大雨となり、白神山地や太平山地付近を中心に、激しい雨や非常に激しい雨となった所があった。総降水量は、多い所で 400 ミリを超え、解析雨量では局地的に約 500 ミリとなるなど記録的な大雨となり、秋田市、五城目町などで河川が氾濫し、床上・床下浸水が発生した。秋田県の五城目町に流れる馬場目川は、2 年連続で大雨による洪水が発生しており、今年の大雨では中流域などで氾濫が発生した。

本研究では、馬場目川の中流域を対象とし、砂州上における土砂を採取し、粒度分析から 2023 年に発生した洪水の影響による河床変動特性について検討した。

### 2. 研究方法

馬場目川は流域面積 910.5 m<sup>2</sup>、幹川流路延長 47.5 km の秋田県内最大の二級河川である。図 1 に対象領域である秋田県五城目町平の下地区に位置する河川湾曲部後の左岸の砂州を示す。図中の St.1~3 を横断方向、St.4~6 を縦断方向とし、土砂の採取を行った。対象領域から 4 km 下流にある久保観測所氾濫危険水位は 3.4 m であるが、2023 年 7/15 から 7/16 にかけて氾濫危険水位を超える 5 m 超えの水位を確認された。その結果、対象地域では氾濫が発生した。

河床変動特性については様々な検討<sup>2)~4)</sup>が行われてきたが、実河川の土砂粒径を調査することはコストや労力がかかる<sup>5)</sup>ため、表層のみを考慮した研究が多い。ここでは図中における St.1~St.6 において表層、深さ 30 cm, 50 cm, 70 cm の土砂を採取した。土砂は各 6000 g 採取し、JIS A1204<sup>6)</sup>に則りふるい分け試験を行った。また、図 1 中に洪水後の標高を St.2 を 0 m とした場合における標高差を示す。

### 3. 結果

土砂分析結果の代表として図 2 に 2020 年から 2023 年の久保観測所の水位データと横断方向における中央粒径 D50 を示す。St.2 を見ると、2022 年の 8 月や 2023 年の 7 月の洪水など、氾

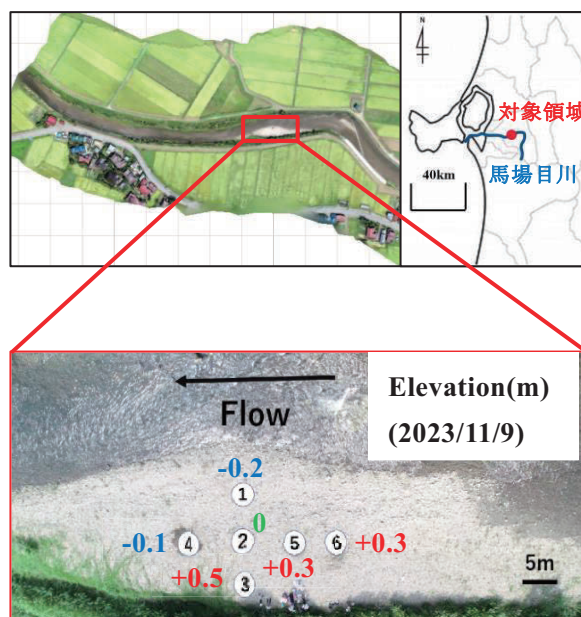


図 1 対象領域および土砂採取場所の詳細

\*Characteristics of the riverbed fluctuation of the Babamegawa River during the 2023 heavy rains in Akita Prefecture by Yoshitaka JIKEN, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE



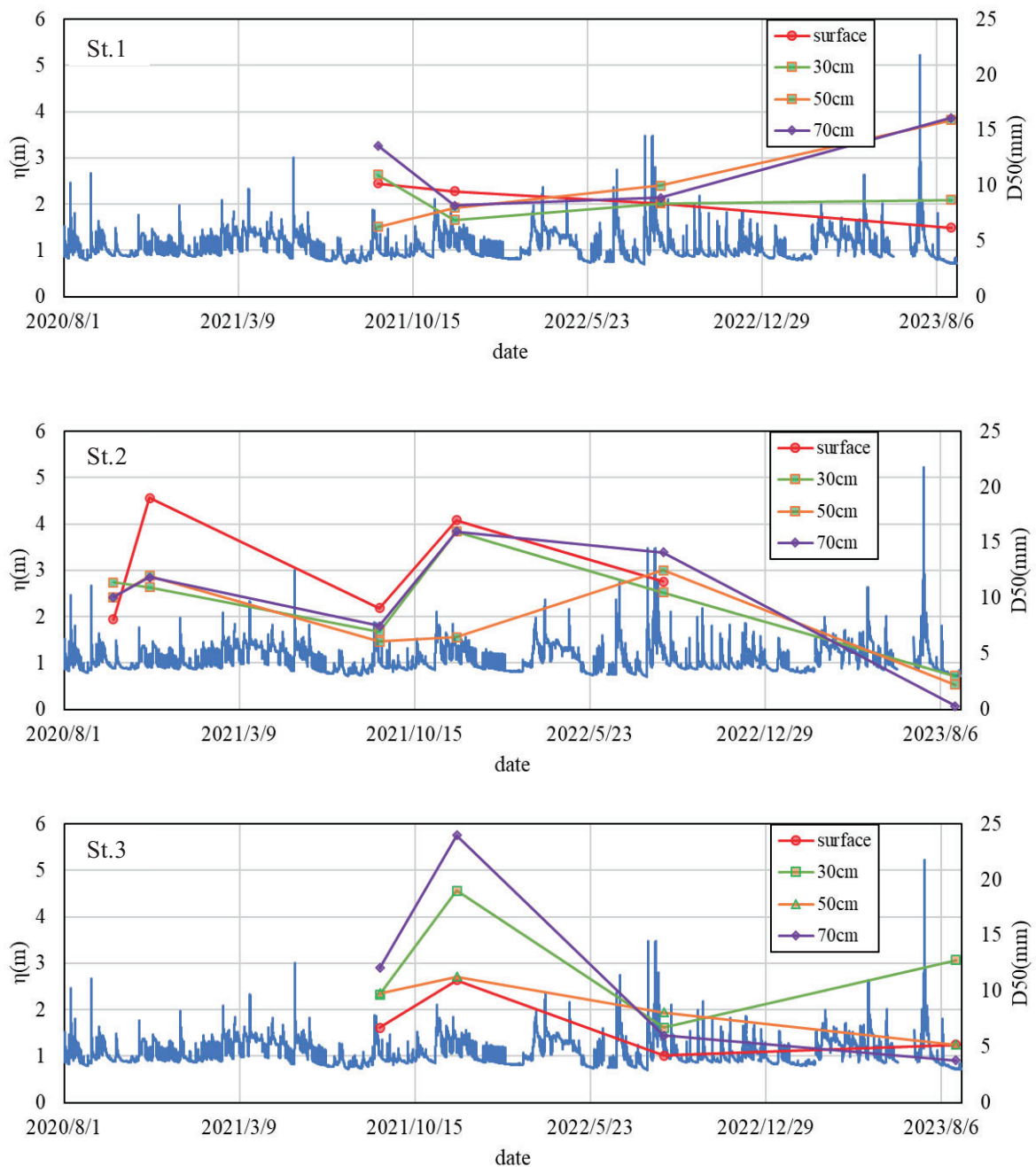


図2 横断方向における水位と D50 の時系列的関

濫危険水位 3.4 m と同様またはそれを超えるような大規模な洪水のケースは深さに関わらず洪水後 D50 が小さくなることが分かった。また、氾濫危険水位を下回る小規模な洪水のケースは、洪水後 D50 の変化が大規模洪水のケースよりも大きくなった。St.1 では水衝部であるため、土砂交換が頻繁に行われている。そのため粒径変化の傾向を掴むことが出来なかった。一方で St.3 においては 2021 年では粒径が大きくなり、2022 年や 2023 年では粒径が小さくなっていった。また St.3 では小規模洪水での水の浸水量は少ない。そのため、砂州の堤防側では小規模洪水の場合浸水量が小さいため細かい土砂が多く流されていると考えられる。また、大規模洪水の場合、浸水量が多いため、粗い土砂が掃流され、細かい土砂が堆積していると考えられる。

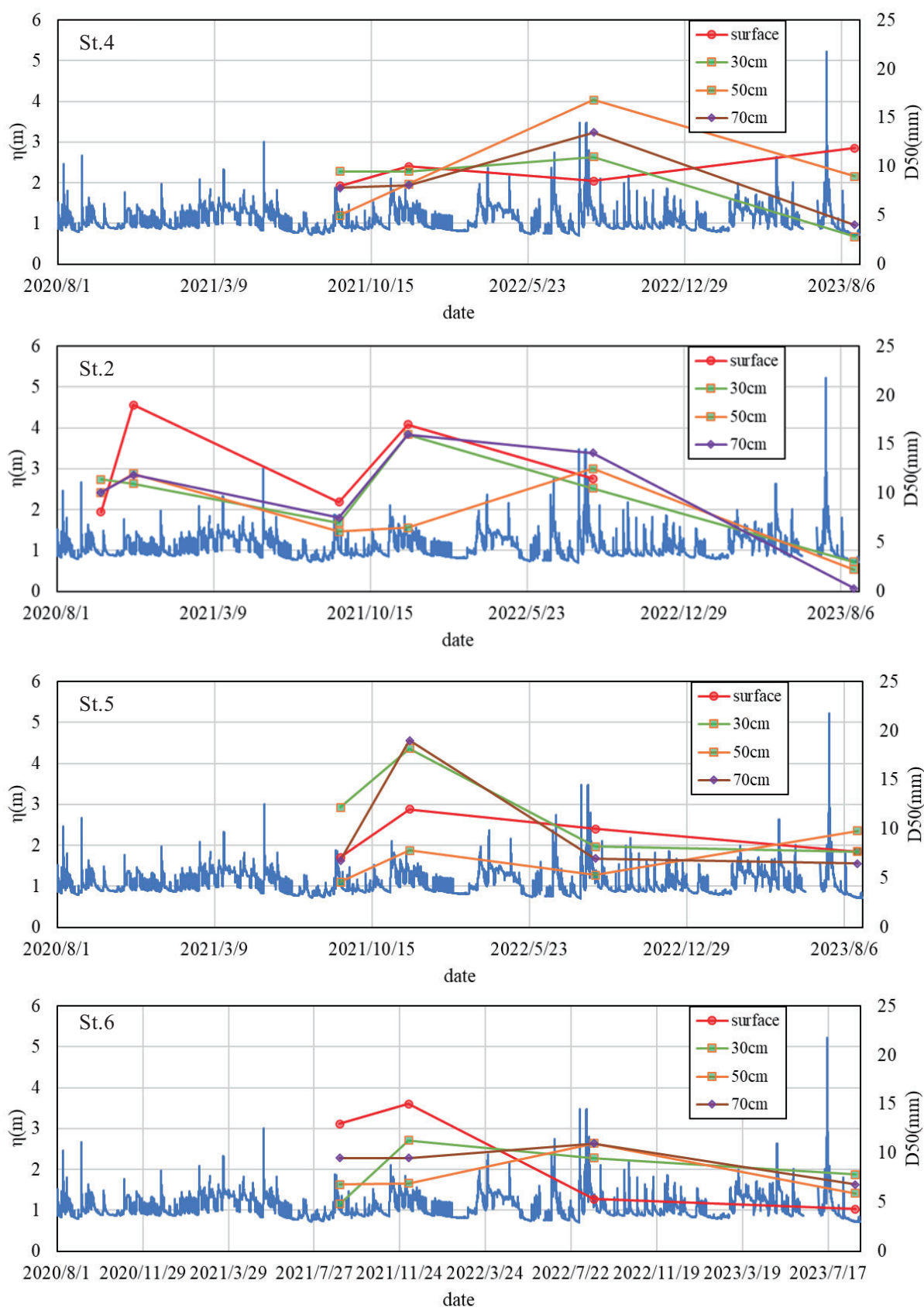


図3 縦断方向における水位と D50 の時系列的関係

図3に2021年から2023年の久保観測所の水位データと縦断方向における中央粒径D50を示す。これを見ると表層の粒径変化は他の深さの粒径変化の傾向と異なっていることが分かる。縦断方向では、大規模洪水後の粒径に大きな変化は見られず、粒径が小さくなった。小規模洪水後では粒径の細かい土砂のみが掃流し、粒径が大きくなった。また、砂州の下流側に位置するSt.4の粒径変化は他の地点の粒径変化と異なっていた。St.4は他の地点と比べ標高が低いいため、土砂堆積量が少ないためだと考えられる。

図4に対象砂州上における洪水後の横断面図と、土砂採取範囲を示す。これを見ると2023年と2020年から2022年を比較すると、土砂を採取した時の標高が異なっていることが分かった。2023年の秋田県豪雨では、3年間で特に大規模な洪水であったため、昨年と比較して最大約2mの標高差があった。ここで、2023年は、洪水後粒径の小さい土砂を多く占める土砂が堆積し、その影響でD50が小さくなったと考えられる。

図5に2023年の洪水後の表層の地点別粒径加積曲線を示す。これを見ると表層では標高の高いSt.2で粗い土砂が掃流され、10mm以下の粒径の細かい土砂が多く堆積した。標高の高いSt.4では細かい土砂のみ掃流され粒径の粗い土砂は残留したと考えられる。また、St.6のような水衝部ではSt.4よりも粒径が細かい土砂の割合が大きく、土砂の交換が激しかった。図6に各地点の表層における粒径の占有率を示す。これを見るとSt.6で占有率のピーク値が2mmとなっており、最も細かかった。占有率のピーク値が最も大きかったのはSt.4であり、砂州の一番下流に位置する場所である。そのため、今回の洪水では砂州の上流側から順に土砂が掃流され、細かい土砂が堆積したと考えられる。またSt.4は、図1における各地点の標高差を見ても他の地点より低くなっている。結果として砂州の下流側は細かい土砂があまり堆積せず、粗い土砂の占有が見られたと考えられる。

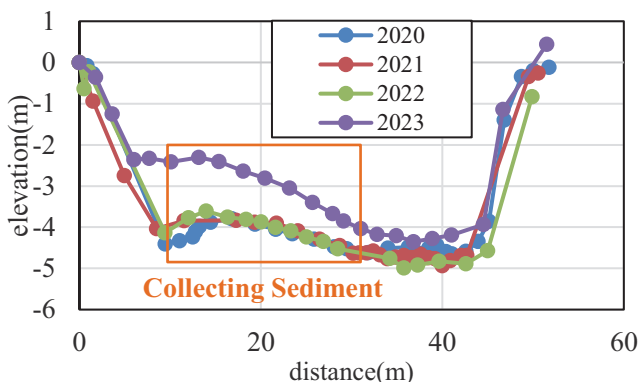


図4 対象砂州における横断面図

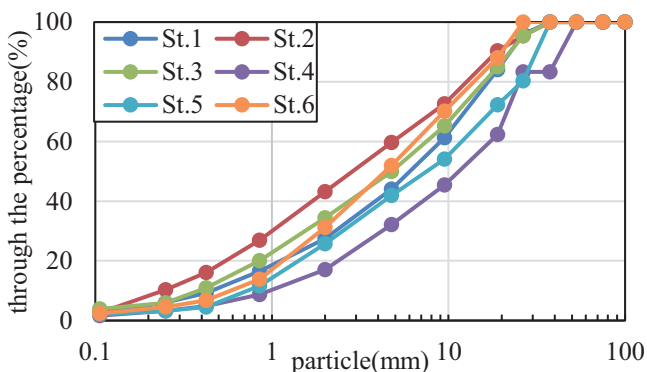


図5 表層の地点別粒径加積曲線(2023)

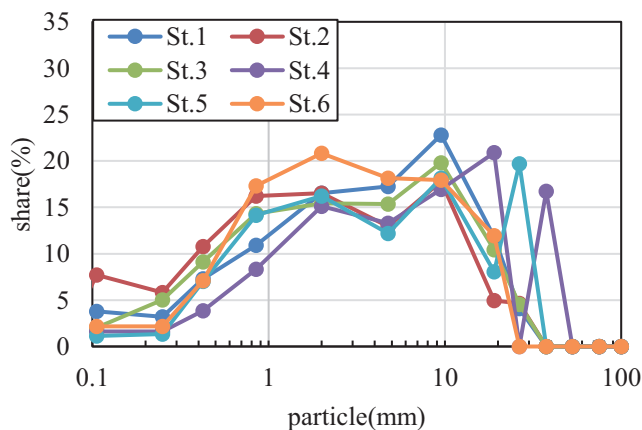


図6 表層の地点別占有率(2023)

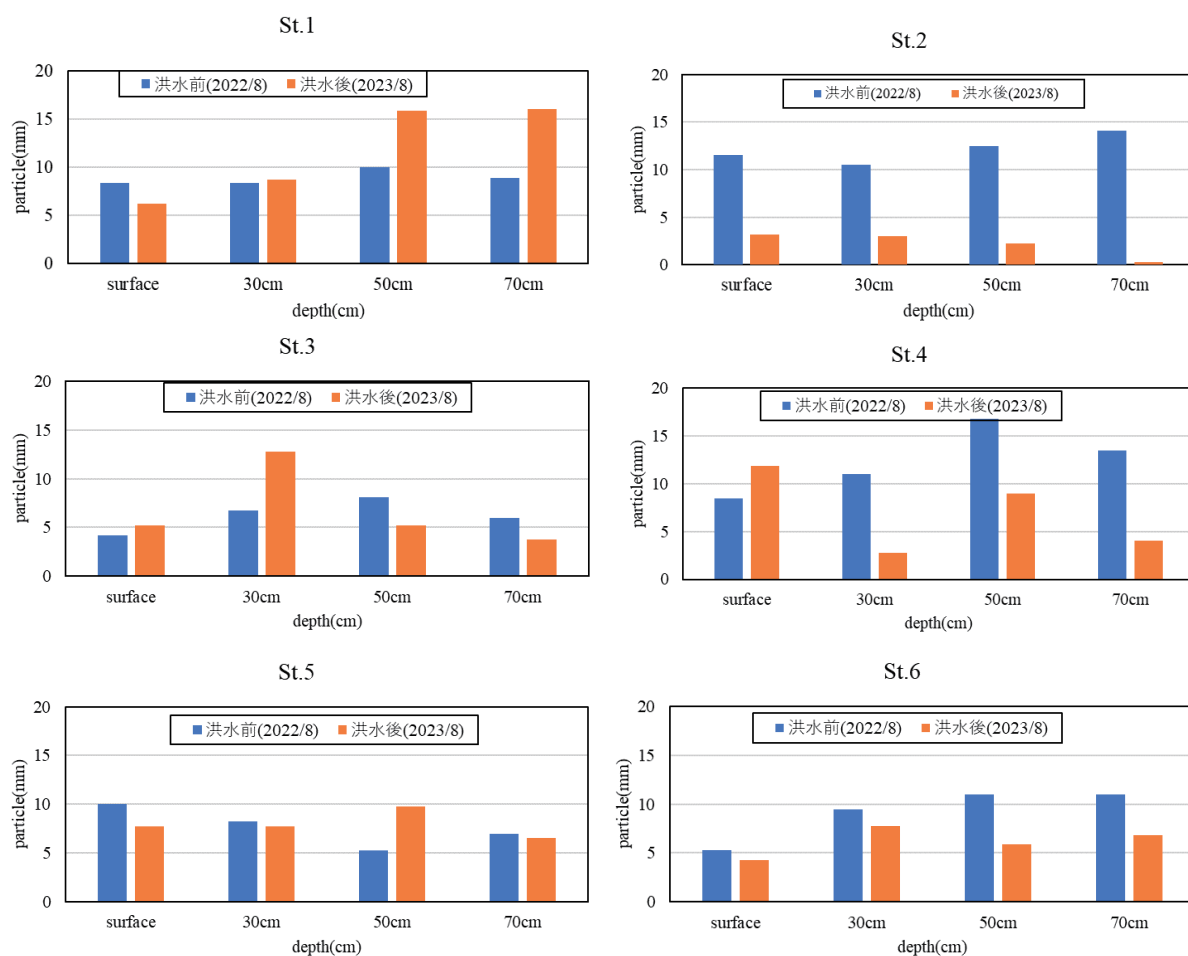


図7 2023 秋田豪雨洪水前後における粒径変化(D50)

図7に2023年秋田豪雨におけるSt.1～St.6の洪水前後の粒径変化を示す。これを見ると特にSt.1とSt.2で粒径変化に大きな違いがあることが分かった。St.1とSt.2の距離は6mであり、洪水後の標高差は0.2mでSt.2の方が高く、図4の横断面図結果と一致した。このことから、St.2の方が堆積量が多く、細かい土砂が多く堆積したと考えられる。一方St.1では水衝部に近く、洗掘や堆積が頻繁に繰り返されたと考えられる。また、深さ50cm, 70cmでは粒径が大きくなっており、深い地点に粒径の大きい土砂が堆積したことが確認できた。またSt.4では他の地点と比べ

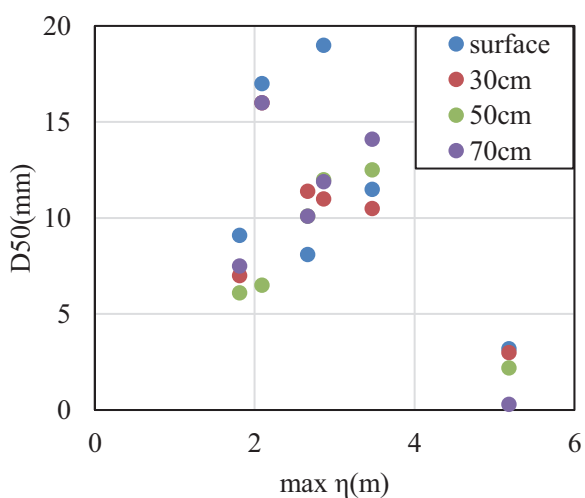


図8 St.2における洪水時最大水位と深さ別の平均粒径D50



て深さ 30~70 cm で大きく粒径が小さくなっていることが分かった。また、深さ 50 cm や深さ 70 cm に注目して見てみると、変化の大小はあるものの、全ての地点で粒径変化が確認出来た。このことから今回の洪水では深い地点での細かい土砂も掃流されたと考えられる。

図 8 に代表として St.2 における洪水時の最大水位とそれぞれの深さの平均粒径 D50 を示す。これを見ると氾濫危険水位 3.4m 以下の場合、深さに関係なく最大水位と D50 に正の相関関係があった。

#### 4. おわりに

本研究では、2023 年秋田県豪雨を背景に、馬場目川の中流域を対象とし、砂州上における土砂を採取し、粒度分析から洪水の影響による河床変動特性について検討した。

横断方向では、大規模洪水の場合、浸水量が多いため、粗い土砂が掃流され、細かい土砂が堆積していると考えられる。洪水後に堆積が見られるケースは、粒径の小さい土砂を多く含むため、D50 が小さくなったと考えられる。一方で砂州の堤防側では 2021 年では粒径が大きくなり、2022 年や 2023 年では粒径が小さくなっていた。小規模洪水の場合浸水量が小さいため細かい土砂が多く流されていると考えられる。

縦断方向では、大規模洪水後の粒径に大きな変化は見られず、粒径が小さくなった。小規模洪水後では粒径の細かい土砂のみが掃流し、粒径が大きくなった。また、砂州の下流側では粒径変化は他の地点の粒径変化と異なっていた。砂州の下流側では他の地点と比べ標高が低いいため、土砂堆積量が少ないためだと考えられる。2023 年は、洪水後粒径の小さい土砂を多く占める土砂が堆積し、その影響で D50 が小さくなったと考えられる。また水衝部の、深さ 50 cm, 70 cm では粒径が大きくなっており、深い地点に粒径の大きい土砂が堆積したことが確認できた。そのため水衝部に近い地点で、洗掘や堆積が頻繁に繰り返されたと考えられる。

洪水前後の土砂粒径を検討すると、深さ方向においても土砂交換が行われていることが分かった。

#### 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) 秋田地方気象台：秋田県災害時気象資料<[https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2023/20230808/pdf/2023\\_2\\_akita\\_1.pdf](https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2023/20230808/pdf/2023_2_akita_1.pdf)>（2024/1/15 閲覧）
- 2) 竹林洋史，江藤進治：土砂の粒度分布形状及び粒度の予測法が 交互砂州の変動に与える影響，水工学論文集，第 52 巻，p.595-600，2008 年．
- 3) 原田大輔，知花武佳，Agus SANTOSO：河床材料の粒度分布の特徴とその規定要因について，土木学会論文集 B1(水工学)Vol.73, No.4, I\_931-I\_936, 2017.
- 4) 忠津哲也，内田龍彦，下條康之，福岡捷二：砂礫河川における砂州の粒度構成と洪水流による砂州の移動，変形，第 38 回土木学会関東支部技術研究発表会，II -26, 2010.
- 5) 村上正人：河床材料調査，砂防学会誌，Vol.71, No.6, p.59-63, 2019.
- 6) 日本産業規格 JIS A1204:2020：土の粒度試験方法<<https://kikakurui.com/a1/A1204-2020-01.html>>(2023/11/1 閲覧)

## 青森県 2022 年 8 月豪雨災害の特徴\*

八戸工業大学 佐々木幹夫・竹内貴弘・高瀬慎介  
東北学院大学 三戸部佑太

### 1. 緒言

青森県では昨年 2022 年 8 月過去経験したときのない大雨に見舞われ県の全土にわたり被害が発生している<sup>1)</sup>。降雨は 2 段の降雨となっており、前期降雨が 3 日、後期降雨が 8 日～13 日に降っている。被害は河川氾濫だけでなく家屋、農作物、道路、鉄道、交通等全般に及んでいる。この豪雨災害を対象にして、著者らは災害調査チームを結成し、2022 年 8 月豪雨の降雨特性、豪雨による災害の被害状況および災害の特徴等を明らかにすることを目的に調査研究を進めている。この研究により、今後における防災・減災力向上のための課題、およびその解決の方向性を見いだせれば幸いと考えている。

### 2. 青森県で発生した線状降水帯 (担当: 三戸部佑太)

今回の豪雨で発生した線状降水帯の特徴を調べるため、近年各地で発生したその他の線状降水帯との比較を行った。2019 年～2022 年の 4 年間で発生した各地域の大雨について国土交通省の XRAIN 合成雨量データを取得した。各地域の大雨については北本<sup>2)</sup>による気象庁防災情報 XML データベースの記録的短時間大雨情報の履歴を参考に抽出した。1 分間隔の合成雨量データから 1 時間毎の積算降水量を求め、さらに 5km メッシュのデータに変換した上で線状降水帯の抽出を行った。なお、XRAIN のデータ整備における地域区分のまま解析を実施している。

線状降水帯の抽出は Ohya and Yamada<sup>3)</sup>を参考とし、次の手順・方法で行った。①連続する 3 つの 1 時間積算降水量データから 3 時間積算降水量データを作成する。②3 時間積算降水量が閾値を上回る領域のうち面積が 500km<sup>2</sup>を超えるものを抽出する。③時刻を 1 時間ずつずらし①②を実施する。このとき、前の時刻と重複率 40%以上の降水域は同一の大雨イベントとする。④抽出した降水域のうち長軸-短軸比が 2.5 以上のものを線状降水帯とする。表 2-1 にこの方法で自動収集した降水域の数を示す。気象庁が線状降水帯の抽出規準とする 3 時間積算降水量に対する閾値 (100 mm) を用いた場合、東北地方ではほとんど線状降水帯が検出されず、今回の青森県における豪雨についても前期降雨のみで線状降水帯が検出された。降水量の閾値を段階的に変えたところ (図 2-1)、閾値を 40 mm および 60 mm とした 2 つの条件で東北地域でも数十個の線状降水帯を検出できた。閾値 60 mm に対する線状降水帯の検出数は表 2-1 に示す通りであり、その中に今回の後期降雨も含まれることから、閾値 60 mm を採用した。Ohya and Yamada<sup>3)</sup>では北海道地方を対象に地域の水害特性を考慮した閾値の設定を行っているが、現状ではそのような解析を各地方で実施するために十分なデータを収集できていないため、今回は一律の閾値で線状降水帯の抽出を行った。

\*Characteristics of the August 2022 torrential rain disaster in Aomori Prefecture by Mikio Sasaki, Takahiro Takeuchi, Shinsuke Takase and Yuta Mitobe

表 2-1 降水域の検出数

地域	降水域の検出数			
	閾値100mm		閾値60mm	
	形状制限なし	線状	形状制限なし	線状
北海道	0	0	6	4
東北	9	6	45	32
関東	12	10	55	41
中国	14	11	77	64
九州	46	44	177	159
沖縄	4	3	16	10

前期降雨のみ含む  
 前期・後期降雨いずれも含む

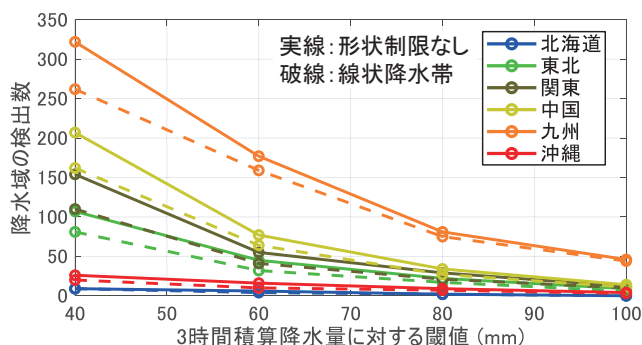


図 2-1 降水域の検出閾値に対する検出数の変化

まず、抽出した各線状降水帯について、その継続期間中における3時間積算降水量の最大値を取得し、頻度分布を作成した(図2-2)。線状降水帯の発生数が多い中国地方や九州地方と比較して、東北地方における線状降水帯の発生数は少なく、また最大降水量も小さいことがわかる。一方で、頻度分布のピークとなる降水量は他の地方と大きな差はなく、検出数が少ない北海道・沖縄を除く全ての地域で降水量100mm前後が最頻値となっている。今回の前期降雨・後期降雨期間における東北地方の線状降水帯発生数も最大降水量100mm程度をピークとしている(図2-2青・緑)。今回の分析では記録的短時間大雨情報を参考にデータ抽出を行ったため取りこぼしの可能性はあるものの、2019年~2022年の4年間で東北地方において検出された線状降水帯のうち今回の豪雨発生期間中に生じたものが約44%を占める結果となった。

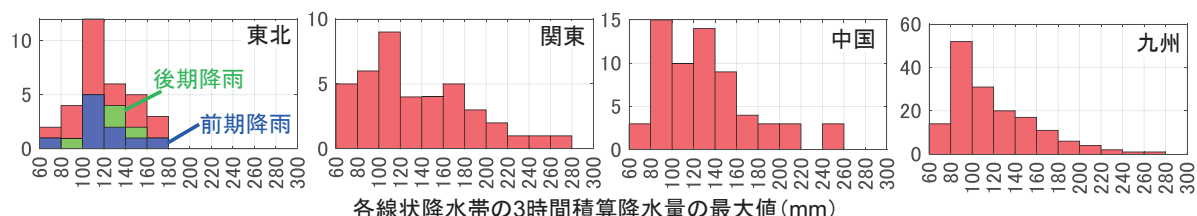


図 2-2 3時間積算降水量の最大値の頻度分布。青・緑はそれぞれ前期降雨および後期降雨の期間における東北地方(青森県以外も含む)の線状降水帯発生数を示す

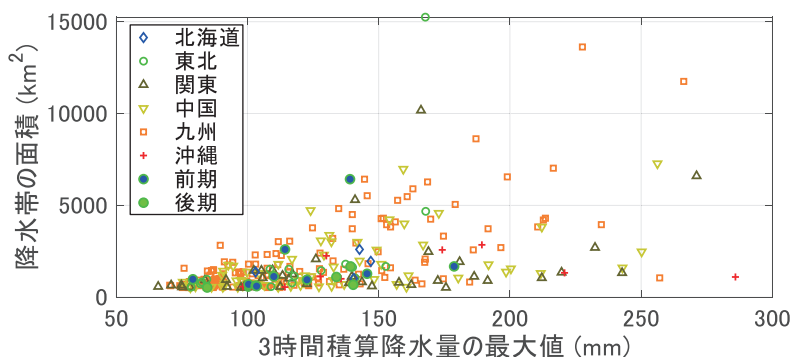


図 2-3 検出した各線状降水帯の3時間積算降水量の最大値と面積の関係。今回の青森県における前期・後期降雨期間の東北地方のデータは塗りつぶしのマーカーで示す

また、検出した線状降水帯の最大降水量および面積の関係を図 2-3 に示す。前期降雨において確認された最大の線状降水帯の面積は、東北地方では令和元年台風 19 号に次いで対象期間中で 2 番目であり、さらに他の地域における線状降水帯を含めても大規模な降水帯であったことがわかる。ただし、前期降雨において最大の面積を記録した降水帯は低気圧に伴う移動性のもの<sup>1)</sup>であり、代表的な線状降水帯の発生メカニズムとして知られるバックビルディング型の線状降水帯とは異なる。一方で、後期降雨においては比較的面積の小さい線状降水帯が発生しており、全国的に見ても同規模の線状降水帯が多く発生している。一方で気象庁の顕著な大雨に関する気象情報の基準となる 3 時間積算降水量の最大値は 150 mm であり、今回の後期降雨は該当しない。災害につながる規模の降水量は地域毎に差があるため、前述の降水帯検出における閾値と同様、最大降水量に関する閾値も地域毎の特性に応じた検討が必要だろう。

### 3. 降雨量の極値データの更新 (担当：竹内貴弘)

前報<sup>1)</sup>では降雨の概要を前期後期に分け報告すると共に、被害の大きかった鯉ヶ沢町中心部を流れる中村川や期間降水量が多い岳地区に雨量データから最大日雨量の再現期間を報告した。近年の気候変動に伴い降雨量が増加するため、東北では降雨量変化倍率が 2℃ 上昇時で 1.1 倍とされている。本間・牛山<sup>4)</sup>は 7 指標 (各算出期間の降雨指標と土壤雨量指数) の既往最大比最大値を活用することで豪雨災害における犠牲者の発生数を大局的に推計できる可能性があることを示した。2022 年 8 月の降雨では青森県や秋田県 (3 日朝には青森県とともに線状降水帯発生) で多くの極値データの更新があり (図 3-1 観測地点参照)、ここでは、[通年の 1 位を更新した観測地点及び観測]として公開されたデータ<sup>5)~8)</sup>を基に、降雨指標毎に観測値および従来の極値との比率を計算したものを前期降雨・後期降雨に分けて図 3-2~3-3 (青森県)、図 3-4~3-5 (秋田県) に整理した。図 3-2~3-3 の青森県では、前期降雨・後期降雨ともに多くの地点で 1.1 以上の比率を示し、特に「深浦」(後期降雨)は 24 時間降水量で 2.14 と非常に高い比率を示した。後期降雨の日降水量 (mm) の比率として、「深



図 3-1 観測地点 (青森県日本海側：上図)；秋田県北部：下図)

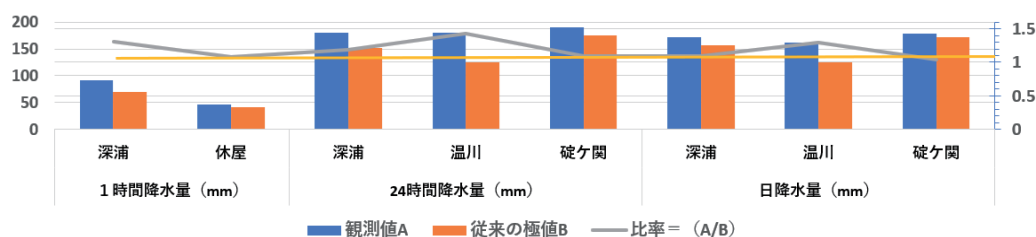


図 3-2 観測値および従来の極値との比率 青森県 <前期降雨>



浦」で 1.99、「青森大谷」で 1.42、「市浦」で 1.39、「岳」で 1.28 と高い値であった。また、図 3-5 の秋田県では、後期降雨の多くの地点で 1.1 以上の比率を示し、特に青森県側に近い観測地点の比率として、「八森」で 1.33、「大館」で 1.32、「脇神」で 1.29、「藤原」で 1.25 と比較的期間の長い 72 時間降水量で示した。さらに、8 日 13 時から 13 日 13 時までの総降水量が 433.5 mm にも達した「深浦」に近い「八森」の比率は 48 時間降水量においても 1.31 となった。

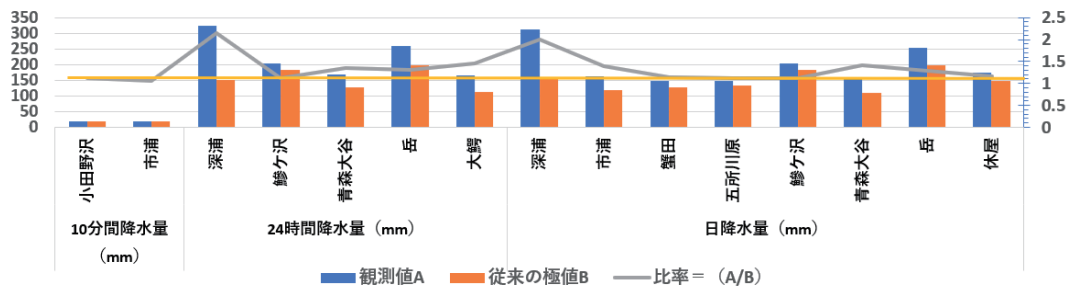


図 3-3 観測値および従来の極値との比率 青森県 <後期降雨>

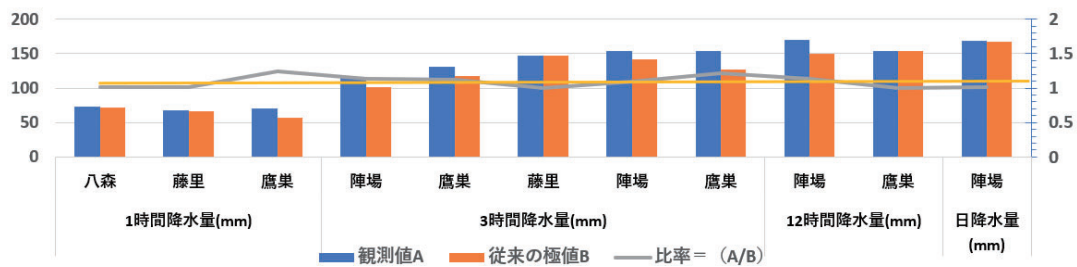


図 3-4 観測値および従来の極値との比率 秋田県 <前期降雨>

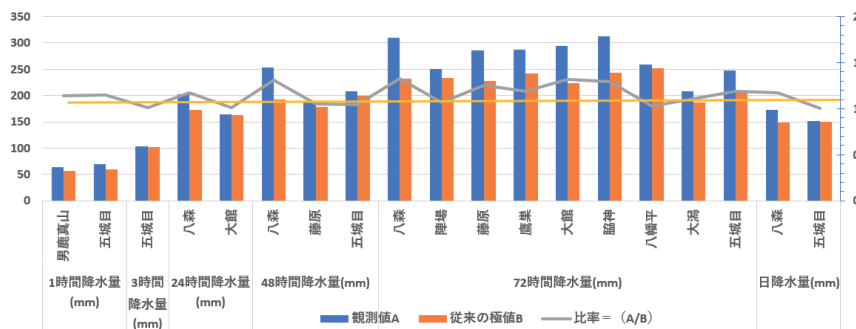


図 3-5 観測値および従来の極値との比率 秋田県 <後期降雨>

#### 4. 洪水被害の特徴 (担当: 佐々木幹夫・高瀬慎介)

##### 4.1 余盛の土で越流を防いだ岩木川堤防

今回の豪雨による被害は前報<sup>1)</sup>に示したように道路、鉄道、港湾、農作物、家屋、公共施設など全般にわたり起きており、その発生個所も全県に及んでいる。この原因は何よりも県の全土に大量の雨が降ったことによる。本調査研究により三戸部が明らかにしているように青森県では線状降水帯が前および後期の両降雨期で発生している<sup>1)</sup>。前期降雨の8月3日に発生した線状降水帯については気象庁もその発表をしている。しかし、8～13日にかけての後期降雨で発生した線状降水帯については気象庁からの発表はなかった。被害は後期降雨で多く発生している。国の直轄河川岩木川では前期降雨には余裕をもって堤防内に治まる水位であったが後期降雨では計画高水位を越えた水位上昇が続いた。岩木川幡龍橋では9日19時～10日2時までの7時間にわたり計画高水位を上回る危険な水位上昇が続いていた。最高水位は9日21時に発生し、51cm上回る最大水位となっている(図示省略)。堤防には余分に土が盛られており(余裕高)、今回の洪水ではこの余盛土(余裕高)で堤防からの越流が防がれている。しかし、一部で堤防を越えたところもあり、ここは土(土嚢)を積んで越流を防止している。計画高水位を上回る水位上昇となった原因は、高水敷の樹林化が進んだこと、および土砂による埋没のため流積(断面積)が不足していた為である。洪水流量は計画高水流量を超えていない(青森河川国道事務所の見解)。

#### 4.2 岩木川河川敷のりんご園の被害と解決の方向性

岩木川中流部の河川敷の8割はりんご園となっており、このりんご園が今回の洪水で浸水し被害を受けている。りんごの実は浸水すると商品にならぬので大量のりんごが棄却された。弘前市だけで8.2億円の被害となっている。8月19日の東欧日報によると板柳町ではリンゴ農家の皆さんが町長に「河川敷りんご園の買い上げを県・国が早期にするように要望していただきたい」、と町長に要望書を提出している。国がりんご園を買い上げても農家のように管理できないので河川敷を樹林化して荒らしてしまうだけであり、治水上はこのままりんご園を続けて頑張ってもたった方がよい。また、弘前市では弘前市役所が河川敷以外の空りんご園を紹介・斡旋している。この弘前市の紹介・斡旋は問題の解決にはならない。リンゴ園基金等を設置し、水害時の補償、リンゴ農家の支援をしていくのも1つの方法と考えられる。

#### 4.3 中村川における洪水の特徴

中村川は鯨ヶ沢町にある県管理の河川であり、この河川水系一帯に大量の雨が降り甚大な被害を被っている<sup>1)</sup>。流域平均日最大雨量は268.5mm、既往最大値との比121%。確率年1/600の大雨による大洪水であった。河道だけでは河川流量を流しきれず河道周辺が川となって洪水が流下している。今回の洪水による浸水範囲を県河川砂防課が示している過去の浸水実績図(県庁HP)と比較すると、今回の浸水は過去の浸水範囲の周辺にあり(図示省略)、過去に浸水した場所は大雨になると必ず浸水することを教えている。また、県河川砂防課が示している洪水浸水想定区域図(想定最大規模(県庁HP))と比較すると今回の浸水はそれより狭いがその近くに及んでいるところがある(図示省略)。県の最大規模浸水想定は700～1000年確率の大雨による洪水であるがこの規模の洪水に対応しておくことも必要な時が到来していると考えられる。

#### 4.4 土砂流出災害発生の限界降水量

今回の洪水では土砂流出により通行止めになった道路が多く出ている。通行止めになった時刻が発表されている。通行止め道路を代表する雨量観測所の降雨連続波形において通行止め時

刻直近の降雨量を求めてみた。その結果を図 4.1 に示す。図の横軸は気象庁の雨量観測所に付した番号であり、縦軸は通行止め時刻直近の時間雨量値を示す。図の緑色○印は通行止めにならなかった雨量観測所降雨波形最大値である。土砂流出により通行止めになった道路は 16 路線に及んでいるが深浦の中山峠の 8 日 12 時通行止めは直近の降雨がないため除外している。図より以下ことが言える。時間雨量が 30 mm を超えると間違いなく土砂流出が起き、通行不能となる道路が発生する。20 mm～39 mm では土砂流出が発生する道路とそうでない道路が混在している。安全を見れば、土砂流出による通行不能となる道路は連続降雨が 20 mm を超えると発生する。

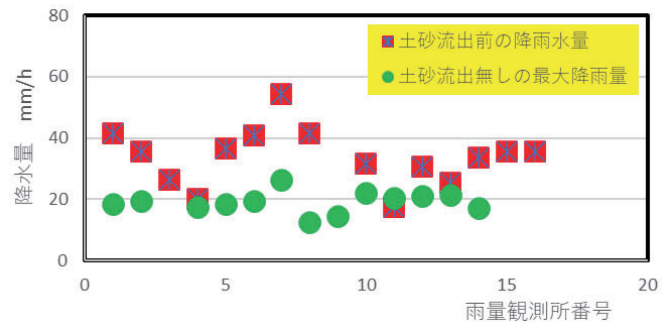


図 4-1 土砂流出災害発生時の時間降雨量

## 5. 結言

本調査研究により青森県において発生した線状降水帯による豪雨災害の特徴を明らかにしてみた。

**謝辞** 2 章において利用した XRAIN データは国土交通省より提供された。このデータセットは、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で、収集・提供されたものである。ここに記して深甚なる謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 佐々木幹夫・竹内貴弘・高瀬慎介・三戸部佑太: 青森県 2022 年 8 月豪雨災害調査研究, 東北地域災害科学研究, 第 59 巻, pp. 93-98, 2023.
- 2) 北本朝展: フローとストックのシームレスな統合に基づく気象庁防災情報 XML の利活用, 日本地球惑星科学連合(JpGU)2015 年大会, No. M-GI37, 2015.
- 3) Ohya, Y. and Yamada, T.J.: Characteristics of line-shaped rainbands regarding duration, shape, and rainfall intensity in northern Japan using the Radar/Raingauge-Analyzed Precipitation Product, 2023 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1136, 012025, 2023.
- 4) 本間基寛・牛山素行: 豪雨災害における犠牲者数の推定方法に関する研究, 自然災害科学, Vol. 40, 特別号, pp. 157-174, 2021.
- 5) 青森県災害時気象資料「前線と低気圧による大雨」、令和 4 年 8 月 8 日、青森地方気象台  
[https://www.data.jma.go.jp/aomori/obs-fcst/pdf/disaster/20220808\\_stationary\\_front.pdf](https://www.data.jma.go.jp/aomori/obs-fcst/pdf/disaster/20220808_stationary_front.pdf)
- 6) 青森県災害時気象資料「北日本に停滞した前線による大雨」、令和 4 年 8 月 26 日、青森地方気象台  
[https://www.jma-net.go.jp/aomori/obs-fcst/pdf/disaster/20220826\\_stationary\\_front.pdf](https://www.jma-net.go.jp/aomori/obs-fcst/pdf/disaster/20220826_stationary_front.pdf)
- 7) 秋田県災害時気象資料「令和 4 年 8 月 3 日の秋田県の大雨」、令和 4 年 8 月 24 日、秋田地方気象台  
[https://www.data.jma.go.jp/akita/data/saigai/pdf/saigai\\_20220803\\_akita.pdf](https://www.data.jma.go.jp/akita/data/saigai/pdf/saigai_20220803_akita.pdf)
- 8) 秋田県災害時気象資料「令和 4 年 8 月 8 日から 15 日の秋田県の大雨」、令和 4 年 9 月 2 日、秋田地方気象台  
[https://www.data.jma.go.jp/akita/data/saigai/pdf/saigai\\_20220808\\_15akita.pdf](https://www.data.jma.go.jp/akita/data/saigai/pdf/saigai_20220808_15akita.pdf)

## 河川堤防の決壊に及ぼす河道特性の影響の検討\*

日本大学大学院工学研究科 折笠 聡哉

日本大学大学院工学研究科 梅田 信

### 1. はじめに

近年、気候変動の影響によると考えられる豪雨災害の激甚化が問題となっている。令和元年台風第19号では、10月10日から13日にかけて記録的な大雨となり、関東、北陸、東北地方の広い範囲で堤防の決壊や河川の氾濫が相次いだほか、土砂災害や浸水害が発生した。この台風による被害額は1兆8600億円で、統計開始以来最大であった。このような大きな被害につながる要因の一つとして、堤防の決壊が挙げられる。

堤防決壊に関する既往研究のうち、島田ら<sup>1), 2)</sup>は破堤拡幅現象について背水区間、川幅、フルード数、河床勾配が影響することを数値解析により示しているが、実河川において堤防が決壊した場合、どのような破堤拡幅過程を示すかまで明確に示すには至っていない。また令和元年台風第19号に関する既往研究のうち、川越ら<sup>3)</sup>は、福島県の降雨、人的被害、堤防決壊について、末次ら<sup>4)</sup>は、千曲川破堤災害調査結果と治水対策についてまとめられているが、この二つの例のように、県単位、流域単位の文献が多い。

本研究では、令和元年台風第19号での破堤災害を対象に、著者らが既に行った福島県内の決壊地点に加えて<sup>5)</sup>、他県での決壊地点を調査した。特に破堤幅の拡幅現象に影響を与える河道特性として、川幅・勾配・蛇行度の3点に着目して解析を行い、決壊しやすい場所、リスクの高い場所の傾向を把握することで、重点的に強化すべき場所を見出し、今後の水害対策に寄与することを目的として研究を行った。

### 2. 研究方法

堤防決壊に関する情報は、国土交通省<sup>6)</sup>から収集した。収集事項は、決壊があった河川名、決壊地点である。ただし、決壊地点については、地区名の記載しかなく、詳細な位置を特定ができるまでの情報が得られなかった。そこで、各県のホームページ等の被災状況が掲載されている資料の写真や地図などを参照しながら、具体的な破堤位置を特定した。破堤位置を特定し、記録をするために、Google Earthの衛星写真を用いた。撮影時期によっては、堤防の復旧工事後の状態が掲載されており、位置の特定にも役立った。

決壊地点の被害の大きさを示す要素の一つである破堤幅について、国土交通省や各県で公開されている情報から整理を行った。取得した情報は、国管理河川の14ヶ所、福島県管理河川の49ヶ所、埼玉県管理河川の2ヶ所、新潟県管理河川の2ヶ所である。宮城県、茨城県、栃木県、長野県については、各県のホームページに掲載がなく情報が取得できなかった。福島県が現在公表している資料<sup>7)</sup>では、ごく一部の地点で堤防復旧時の河川と堤防の断面図の掲載があるのみである。また寸法が記載されていないものが多かった。

---

\*Influence of river channel characteristics on river levee breaches by Toshiya Orikasa, Makoto Umeda



破堤幅の拡幅現象に影響を与える河道特性の要素として、川幅、河川の縦断勾配、河道の蛇行度について検討した。川幅は Google Earth に掲載のある衛星写真から測定した。堤防の決壊箇所において、堤防の天端間の距離を測定し、洪水時の川幅とした。これは、堤防が決壊した時の水位状況を想定したものである。

河道形状については、国土数値情報から入手した河川ラインデータを GIS ソフトで処理し、解析を行った。本川の場合は河口を、支川の場合は合流点（下流端）を始点とし、流路に沿って水平方向 100m 間隔に地点を設定し、それぞれに基盤地図情報による 10m メッシュの数値標高モデル（DEM）を付与して河道標高を求めた。しかし、河川ラインデータに示される河道は、堤外地を通っているものの、高水敷に地点があたる場合などがあり、横断面内の最深部に対して数 m 程度高い標高が示される箇所や区間があった。そこで、上下流それぞれ 1km の移動平均により平滑化して標高データとして用いた。

このようなデータに対して、河床勾配と流路の蛇行度を算出した。河床勾配は、対象地点の上下 100m の地点の標高を中央差分して、各地点の勾配とした。ただし、上記に記したような理由で上り勾配と算出された区間については除外した。流路の蛇行度は、対象地点の上下流 1km ずつの範囲における直線距離に対する流路に沿った長さの比によって算出した。

### 3. 結果

令和元年台風第 19 号における堤防の決壊地点の情報を国土交通省ホームページより収集した結果を表-1 に示す。表中の詳細情報の欄は、破堤幅の情報の有無を表しており、情報が取得できたものを丸印、取得できなかったものを三角印で表記した。また国土交通省ホームページに併記されていた決壊地点の地区名の情報と各県のホームページに掲載されている破堤状況の写真や地図を参考に地図上にプロットした結果を図-1 に示す。図より、決壊地点の多くは台風の通過経路周辺の一級河川およびその支川であるが、新潟県や長野県のように台風の通過経路から離れた場所でも決壊が発生していることがわかる。

表-1 決壊箇所の内訳

国管理河川				詳細情報
都道府県	水系	河川	決壊箇所	
宮城県	鳴瀬川	吉田川	1	○
福島県	阿武隈川	阿武隈川	1	○
茨城県	久慈川	久慈川	3	○
	那珂川	那珂川	3	○
埼玉県	荒川	越辺川	2	○
		都幾川	3	○
長野県	信濃川	千曲川	1	○
小計	6	7	14	
県管理河川				詳細情報
都道府県	水系	河川	決壊箇所	
宮城県	4	18	36	△
福島県	11	23	49	○
茨城県	2	4	6	△
栃木県	2	13	27	△
埼玉県	1	2	2	○
新潟県	2	2	2	○
長野県	1	5	6	△
小計	20	67	128	
		合計	142	

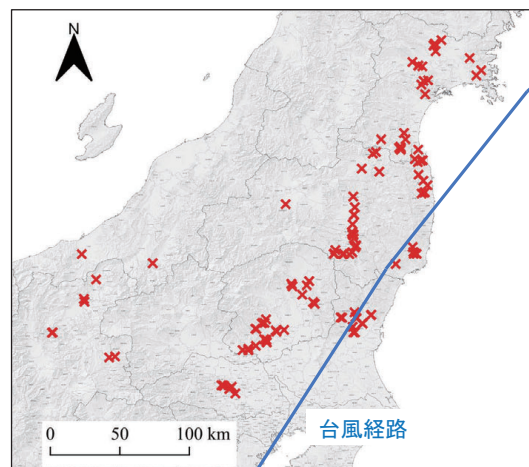


図-1 決壊箇所

河道特性と決壊の大きさに何らかの関係がありうると予想される。そこで、各決壊地点における川幅と破堤幅の関係を調べた。両者をプロットしたものを図-2に示す。川幅には洪水時の河道全幅を考えた。図には既に調査を行った福島県の破堤幅に加え、情報を取得できた国管理河川、埼玉県管理河川、新潟県管理河川の破堤幅の調査結果も示した。破堤幅と川幅に関しては、建設省土木研究所が整理した事例に基づく経験式<sup>8)</sup>がある。川幅を  $B$ 、決壊延長を  $L$  としたとき、

$$L = 2.0(\log B)^{3.8} + 77 \quad (1)$$

で示されている。図-2にはこの線もプロットした。図より、経験式は真ん中付近を通っていると言えそうである。しかし、本研究で得られたデータから、川幅と破堤幅の相関を調べたところ、決定係数が 0.1 未満とほぼ無相関であることがわかった。

河床勾配と破堤幅の関係を調べた結果を図-3に示す。図より、ほとんどの決壊地点の勾配が 1000 分の 1 以上であることがわかるが、破堤幅の大小に寄与した可能性は低いと言える。

流路の蛇行度と破堤幅の関係を調べた結果を図-4に示す。蛇行度は谷長に対する水路長の比、あるいは蛇行の水路長と蛇行波長の比として定義される<sup>9)</sup>。図より、半数以上の決壊地点で蛇行度が 1.2 以下であることがわかる。阿武隈川や越辺川の一部では蛇行度が大きい箇所での決壊もあるが、破堤幅が大きくなってはいないため、蛇行度が破堤幅の大きさに影響したとは考えにくい。

決壊の多かった阿武隈川上流域の河道特性を図-5に示す。阿武隈川 145km から 175km 区間の縦断図を上段に、勾配図を中段に示す。図中のバツ印は決壊地点を示しており、赤色を直轄管理区間、青色を県管理区間とした。県管理区間の決壊 6 地点については、上流の勾配が大きい区間から下流の勾配が小さい区間へ変わった下流側で決壊が発生している。浜尾での決壊は、上流の越水で流下した越流水により堤内地側から決壊している。越水箇所 (153.8km 地点) の勾配は 758 分の 1 であり、その上流 1km 区間の勾配は 2000 から 3000 分の 1 と緩勾配であることから、勾配が越

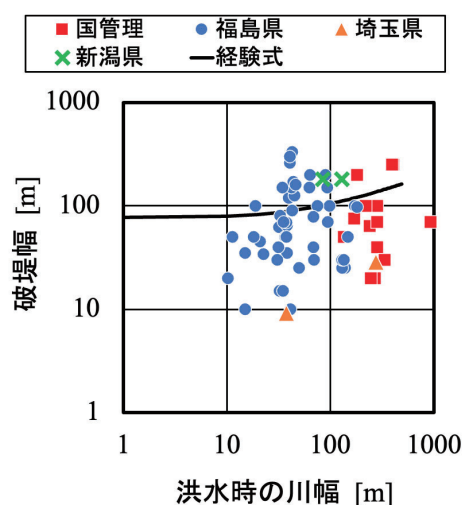


図-2 川幅と破堤幅の関係

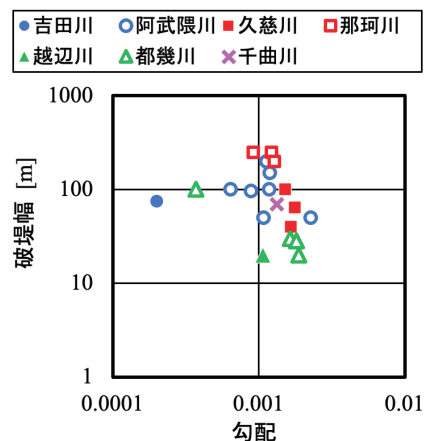


図-3 勾配と破堤幅の関係

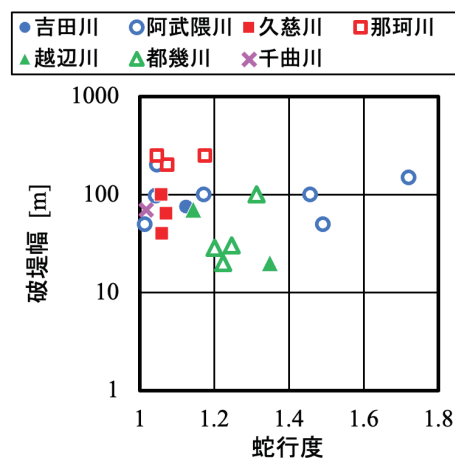


図-4 蛇行度と破堤幅の関係

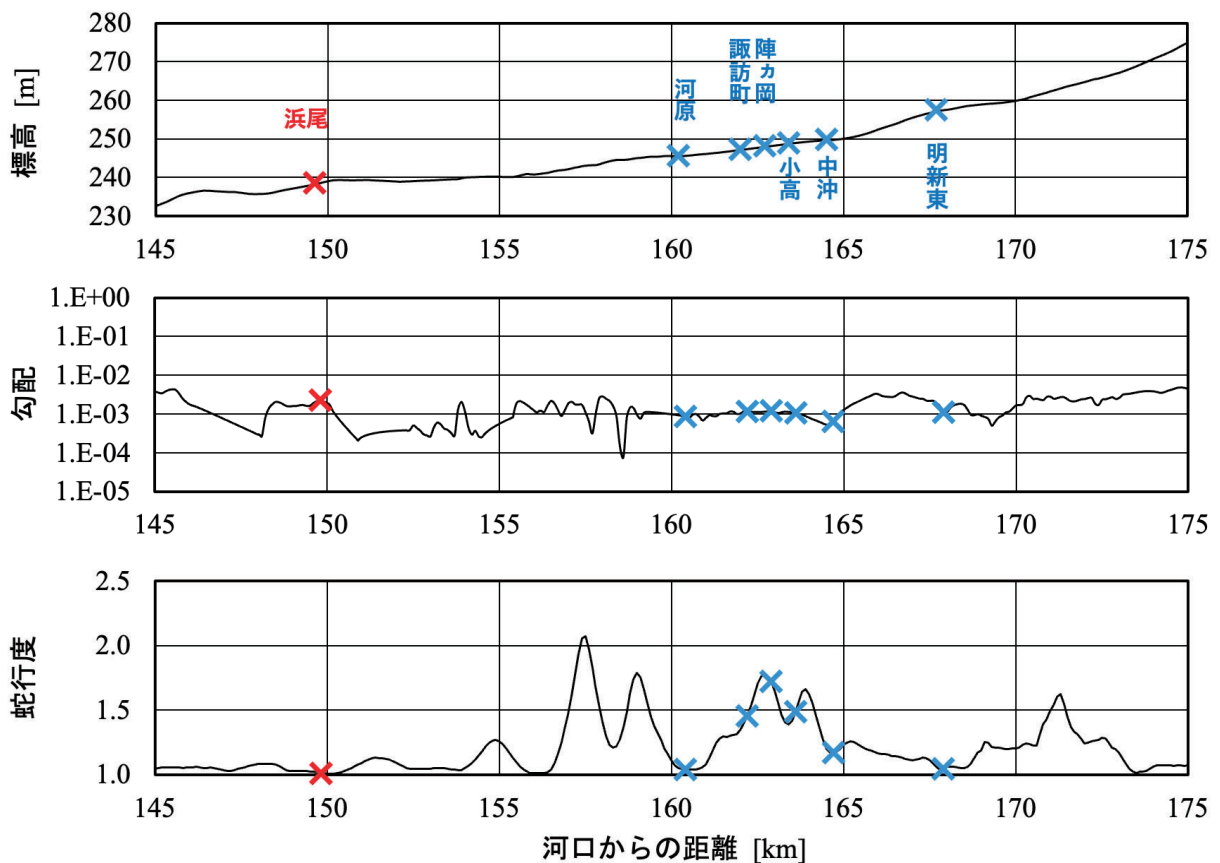


図-5 阿武隈川上流域河道形状と決壊地点

水の要因となった可能性は低いと考えられる。

阿武隈川 145km から 175km 区間の流路の蛇行度を図-5 の下段に示す。図より、蛇行度の大きい区間と小さい区間の両方で決壊があったことがわかる。小高，陣ヶ岡，諏訪町の 3 地点では蛇行度の大きさが決壊の要因になった可能性があるが，それ以外の地点は別の要因での決壊であると考えられる。

各要素単独では相関が見られなかったため，説明変数を川幅  $B(m)$ ，河床勾配  $I$ ，流路の蛇行度  $S$  の 3 つとして，破堤幅  $L(m)$  を目的変数とする重回帰分析を行った結果を図-6 に示す。

$$L = -2.5 \times 10^{-2}B - 3.3 \times 10^{-4}I - 64S + 2.2 \times 10^2 \quad (2)$$

重回帰分析の結果，決定係数は 0.08 であった。説明変数を増やしても，河道特性から破堤幅を十分に説明するのは難しいと言える。

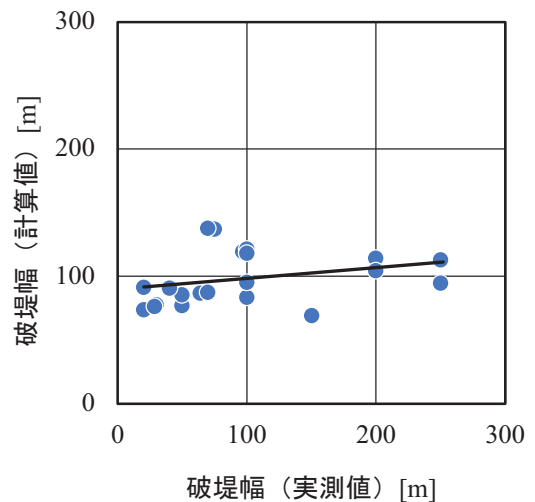


図-6 重回帰分析

#### 4. まとめ

本研究では、令和元年台風第 19 号の堤防決壊における破堤幅の拡幅現象に影響を与えうる河道特性として、洪水時の川幅、河床勾配、流路の蛇行度の 3 項目について検討した。その結果、川幅、勾配、蛇行度のいずれも破堤幅の大きさへの影響は低いと言える。また、各要素単独では相関が見られなかったため、説明変数を川幅、勾配、蛇行度の 3 つとして、破堤幅を目的変数とする重回帰分析を行ったが、説明変数を増やしても相関が弱く、河川の流路特性のみから破堤状況を説明するのは難しい結果が得られた。

本論文の結果では河道特性が破堤幅の大きさに与える影響を明確に示すには至らなかったが、勾配や蛇行度の解析方法の見直しや流出解析等も含めた検討を行い、水害対策に寄与できるように成果を積み上げていくことが課題であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 島田友典・渡邊康玄・深澤アダム翔・前田俊一・横山洋：背水影響が堤防決壊拡幅現象に与える影響，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.75，No.2，I\_1405-I\_1410，2019.
- 2) 島田友典・渡邊康玄・横山洋・米元光明：河道形状が堤防決壊拡幅現象に与える影響，河川技術論文集，第 25 巻，523-528，2019.
- 3) 川越清樹・鈴木皓達・阿部翼：令和元年台風第 19 号による福島県の災害特徴，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.76，No.1，329-345，2020.
- 4) 末次忠司・大槻順朗：令和元年の台風 19 号による千曲川破堤災害調査結果と治水対策，水利科学，64 巻，3 号，136-148，2020.
- 5) 折笠聡哉・梅田信：令和元年台風 19 号における福島県内の堤防決壊状況の分析，令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会，2022/9/16.
- 6) 国土交通省：堤防決壊箇所一覧(令和 2 年 4 月 10 日)<https://www.milt.go.jp/common/001313204.pdf>, Site viewed : 2024/1/15.
- 7) 福島県土木部，令和元年東日本台風関連 災害復旧，防災，減災対策，2020 年度版.
- 8) 建設省土木研究所，氾濫シミュレーション・マニュアル（案），土木研究所資料第 3400 号，1996.
- 9) 山本晃一：構造沖積河川学－その構造特性と動態－，山海堂，p.276，2004.





## 洪水浸水想定区域における避難関連施設の分布に関する研究\*

日本大学大学院工学研究科 橋本 直樹

日本大学大学院工学研究科 梅田 信

### 1. 諸言

近年、台風や大雨により河川での大規模な洪水災害が発生している。地球温暖化に伴う気候変動の影響により、今後さらに、大雨や短時間強雨の発生頻度や降水量の増大などが予測されており、大規模な水災害が発生することが考えられる。特に令和元年台風第19号では、広い範囲で河川の氾濫が相次いだほか、全壊3273棟、半壊・一部損壊が63743棟、浸水が29556棟の極めて甚大な被害が広範囲で発生した。町中心部が深刻な浸水被害に見舞われた宮城県丸森町は、町役場の隣にある「丸森まちづくりセンター」(2階建て)を避難所に指定したが、台風が接近した12日夜、屋上の排水が追いつかずたまった水があふれだした。屋根が崩落する恐れがあり周辺で浸水も始まったため、午後9時ごろに隣の町役場(4階建て)に避難者約70人をマイクロバスで移送した。また、福島県郡山市も想定を上回る被害で避難所を変更した。12日午後1時から避難所にした高倉小学校を5時間ほどで閉鎖。同小に避難した住民は雨の中、新たな避難先となった徒歩3分ほどの公民館に歩いて移動した。このように本来安全な場所である避難所が被害に遭われている。

避難に関する既往研究のうち、牛山ら<sup>1)</sup>は、平成30年7月豪雨災害で、9割以上が地形的に洪水の可能性のある低地で発生し、これは近年の風水害と同傾向であると明らかにした。秦ら<sup>2)</sup>は、全国の浸水想定区域内で浸水リスクの高い地域の宅地化が進んでいると示されているが、県単位のための特性やその要因を明らかにするためには至っていない。

本研究では、国土交通省が推計し公開している洪水浸水想定区域の情報のうち、福島県内を流れる1級水系と2級水系の浸水想定区域を対象に、氾濫時の浸水深、避難所・避難場所の位置、避難関連施設施設の分布を特定することを目的とする。

### 2. 方法

洪水浸水想定区域は、福島県内を対象として、国土交通省が公開している国土数値情報から収集した。浸水想定には、計画規模の洪水を対象としたものと、想定しうる最大規模の降雨を対象とした予測がある。本研究では、被害規模が非常に大きくなることから、危機管理としてはより重要であると考えられる想定最大規模を対象とした。ただし、浸水想定区域の情報は、未公表の流域も存在する。公表済みの水系を対象とし、表-1に示す河川で情報が得られた。またそれらの流域市町村も表内右列に示した。

洪水時の避難に関わる施設を、各対象河川の流域内で抽出した。対象は、次の2通りに区分

---

\*Distribution of evacuation-related facilities in expected flooding areas by Naoki Hashimoto, Makoto Umeda

して考えた。まず、避難を優先的に考慮すべき住民が集まっていると考えられ、避難元となる場所を挙げた。これらは、教育施設、医療機関（病院）および福祉施設である。次に、流域住民の避難先となりうる場所である、避難場所および避難所である。これらは、指定緊急避難場所、指定避難所および指定福祉避難所に区分して情報を収集した。ただし、避難場所や避難所が、前者の避難元（教育施設や福祉施設）と重複している可能性が高いということに留意しておく必要がある。これらの情報は福島県のホームページから収集した。

収集した情報は、地理情報システムソフト（QGIS）を用いて、整理、解析を行った。GISソフト上で、対象河川の浸水域と、福島県内全体の避難所・避難場所を入力し、浸水域内の存在状況を分析した。浸水域のデータには、浸水深のデータも含まれていることから、各避難所・避難場所における想定浸水深も求めた。

### 3. 結果と考察

対象河川水系について、浸水深別の避難所・避難場所の数と浸水域内にある避難所・避難場所での割合（%）も示す（表-3）。浸水深の区分は5段階に設定した。このうち、0.5mという浸水深は、建物に対しては床上と床下の境目に概ねなることから、0.5m以上の浸水深となった場合には避難所の利用可能性にも影響が大きいと考えられる。一方、緊急避難場所については、避難したときに多少でも浸水があると、それ以上に浸水が大きくなる危険性が想像されるなど、避難場所としての利用を諦めざるを得ないため浸水深ゼロが望ましい利用条件となりうると考えられる。

避難関連施設の中で最も多かったのは、0.5m以上3.0m未満であった。0.5m以上はハザードマップ上でも、床上浸水と判断されることが多く、浸水想定区域内にある避難関連施設は、8割近くが床上浸水以上のリスクに晒されていることが分かった。

本来、安全であるはずの指定緊急避難場所や指定避難所、指定福祉避難所ですら同じく0.5m以上3.0m未満が多く、浸水想定区域内の総数に対する割合で、4割から5割を占めていた。10.0m以上20.0m未満の浸水箇所には避難施設や教育施設が含まれており危険箇所の把握ができた。

表-3に示す県内の総数に対する割合で、教育施設、福祉施設、医療機関の1割から2割が浸水範

表-1 本研究の対象河川と流域市町村

水系	河川名	市町村
1級河川	阿武隈川	福島市，二本松市，郡山市，須賀川市，本宮市，桑折町，国見町
	阿賀野川	喜多方市，会津若松市，会津坂下町，会津美里町，只見町，南会津町，猪苗代町，湯川村
2級河川	請戸川	浪江町
	高瀬川	浪江町
	宇多川	相馬市
	富岡川	富岡町
	夏井川	いわき市
	鮫川	いわき市

表-2 避難関連施設の定義

施設種別	対象
教育施設	幼稚園，小学校，中学校，義務教育学校，高等学校，高等専門学校，大学，各種学校
医療機関	病院
福祉施設	老人ホーム，障害児入所施設，介護療養型医療施設等
避難場所	指定緊急避難場所 災害の危険から命を守るために緊急的に避難をする場所。小中学校のグラウンドや体育館など。
避難所	指定避難所 災害により自宅へ戻れなくなった人たちが一時的に滞在する施設
	指定福祉避難所 特別な配慮を必要とされる方が避難する施設

表-3 浸水深別の避難関連施設の数と割合

	浸水深	教育施設	福祉施設	医療機関	避難場所, 避難所		
					指定緊急 避難場所	指定 避難所	指定福祉 避難所
県内の総軒数	—	1177	563	131	2466	2009	422
浸水域内の 軒数	～0.5m	35	20	9	40	25	4
	0.5m～3.0m	83	45	10	62	48	7
	3.0m～5.0m	34	14	6	24	28	1
	5.0m～10.0m	27	12	4	26	13	1
	10.0m～20.0m	2	0	0	0	2	0
	浸水域内総数		181	91	29	152	116
県内の総数に対 する割合(%)	～0.5m	2.97	3.55	6.87	1.62	1.24	0.95
	0.5m～3.0m	7.05	7.99	7.63	2.51	2.39	1.66
	3.0m～5.0m	2.89	2.49	4.58	0.97	1.39	0.24
	5.0m～10.0m	2.29	2.13	3.05	1.05	0.65	0.24
	10.0m～20.0m	0.17	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
浸水想定区域内 での割合(%)	～0.5m	19.34	21.98	31.03	26.32	21.55	30.77
	0.5m～3.0m	45.86	49.45	34.48	40.79	41.38	53.85
	3.0m～5.0m	18.78	15.38	20.69	15.79	24.14	7.69
	5.0m～10.0m	14.92	13.19	13.79	17.11	11.21	7.69
	10.0m～20.0m	1.10	0.00	0.00	0.00	1.72	0.00

圏内に位置していることが分かった。

福島県内の3大都市である福島市、郡山市、いわき市の整理結果を表-4に示す。福島市と郡山市は、阿武隈川流域に位置し、いわき市には二級河川が多く流れている（ただし、本検討では夏井川と鮫川の2級水系のみが対象）。また、各市内の浸水域と浸水深、および避難所・避難場所をプロットした図を、図-1から図-3に示す。図の上にはプロットした図の凡例を示す。

福島市の状況を図-1に示す。浸水深0.5m以上3.0m未満の範囲が大きいことが特徴に挙げられる。また、川が市街地を流れているため、住民が多く、避難所・避難場所が集中しているように見られる。また表-3の結果によると、避難所・避難場所のほとんどが、3.0m未満までの浸水深に集中していることが分かった。

郡山市の状況を図-2に示す。下流へ向かうほど浸水深が大きくなっていくことが特徴に挙げられる。また左岸側に避難関連施設が多いことが見られる。これは、郡山市が左岸側に人口が集中していることが分かった。表-5を見ると郡山市は、5.0m未満までの浸水深に集中していることが分かった。

いわき市の状況を図-3に示す。河口に対して浸水範囲が広がっていることが特徴に挙げられる。また、表-4を見るといわき市が教育施設、福祉施設および医療機関が多く、流域周辺の人口が多いことが分かった。

#### 4. 結言

本研究では、優先的に避難を考慮すべき住民が集まる避難元となる場所である教育施設、



医療機関（病院）および福祉施設、および住民の避難先となりうる避難場所および避難所を避難関連施設として考慮し、これらの大洪水（想定最大規模）時の浸水可能性について検討を行った。

洪水浸水想定区域の情報のうち、福島県内を流れる1級水系と2級水系の浸水想定区域を対象に、氾濫時の浸水深、避難所・避難場所の位置、避難関連施設の分布を調査した。

その結果、0.5m以上3.0m未満の浸水箇所に避難関連施設が多くあることが分かった。浸水想定区域内では、8割近くの避難関連施設が床上以上の浸水リスクに晒されていることが分かった。県内全体では、教育施設、福祉施設、医療機関の1割から2割が浸水範囲内に位置していることが分かった。特にいわき市では、5.0m以上10.0m未満の浸水想定範囲に指定緊急避難場所が集中していることが分かった。これらは、河川が市街地を流れているため、住民が多く、避難所・避難場所などが集中しているからだと思われる。緊急避難場所については、浸水深ゼロが利用条件に望ましいと考えられるため、より精査が必要であると考えられる。

今後は、対象外の1級水系と2級水系の浸水想定区域を対象に避難関連施設の分布について調査することに加え、土地利用についても調べ、避難関連施設の選定理由などと合わせて解析を進めたい。

参考文献

- 1) 牛山素行・本間基寛・横幕早季・杉村晃一：平成30年7月豪雨災害による人的被害の特徴，自然災害科学 38巻1号，p. 29-54，2019.

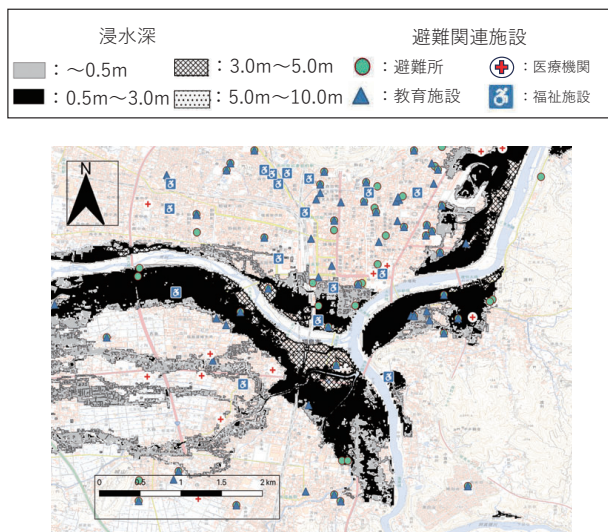


図-1 福島市想定最大規模

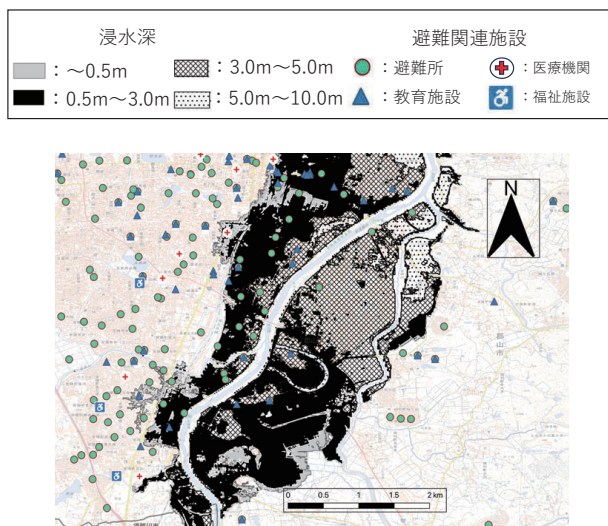


図-2 郡山市想定最大規模

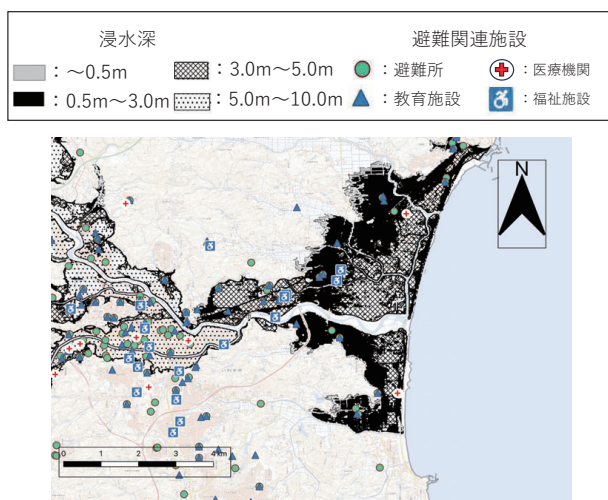


図-3 いわき市想定最大規模

表-4 福島市，郡山市およびいわき市の浸水深別の避難関連施設

	浸水深	教育施設	福祉施設	医療機関	避難場所・避難所		
					指定緊急避難場所	指定避難所	指定福祉避難所
福島市	～0.5 m	9	4	0	4	9	3
	0.5 m～3.0m	9	6	0	6	10	3
	3.0m～5.0m	4	0	0	2	3	0
	5.0m～10.0m	1	0	0	1	1	0
	10.0m～20.0m	0	0	0	0	0	0
	浸水想定総数	23	10	0	13	23	6
郡山市	～0.5 m	1	0	0	6	1	0
	0.5 m～3.0m	16	0	0	14	7	0
	3.0m～5.0m	8	0	0	10	8	0
	5.0m～10.0m	0	1	0	0	0	0
	10.0m～20.0m	0	0	0	0	0	0
	浸水想定総数	25	1	0	30	16	0
いわき市	～0.5 m	2	5	2	0	1	0
	0.5 m～3.0m	24	22	3	9	5	2
	3.0m～5.0m	13	7	3	6	3	1
	5.0m～10.0m	24	9	4	23	2	0
	10.0m～20.0m	0	0	0	0	0	0
	浸水想定総数	63	43	12	38	11	3

- 2) 秦康範・前田真孝：全国ならびに都道府県別の洪水浸水想定区域の人口の推移，18巻1号，pp. 107-114, 2020.
- 3) 重枝未玲・秋山壽一郎・Adelaida Castillo DURAN・金屋諒・桂佑樹：令和元年台風第19号の豪雨による洪水氾濫の特徴，土木学会論文集B1(水工学)，76巻1号 p. 352-359, 2020.
- 4) 久保栞・吉田秀典・市村強・M.L.L. Wijerathne・堀宗朗：浸水域の事前認知土木学会論文集A2(応用力学)，76巻2号 p. I\_499-I\_510, 2020.
- 5) 福島県災害対策課. 県内の指定緊急避難場所・指定避難所.2023.  
< <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025b/shiteihinan.html> > (参照 2024-1-15) .
- 6) 内閣府. 防災情報のページ.2023.  
< [https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r02/honbun/0b\\_1s\\_0103.html](https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r02/honbun/0b_1s_0103.html) > (参照 2024-1-15)
- 7) 内閣府防災情報. 福祉避難所の確保・運営ガイドライン.2021.  
< [https://www.bousai.go.jp/taisaku/hinanjo/r3\\_guideline.html](https://www.bousai.go.jp/taisaku/hinanjo/r3_guideline.html) > (参照 2024-1-15)
- 8) 国土交通省. 国土数値情報ダウンロードサイト.2022.  
< [https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v3\\_0.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v3_0.html) > (参照 2024-1-15)



## 柔軟性を有する植生および流木が洪水流に与える影響について\*

秋田大学理工学部 坂入海帆

秋田大学大学院理工学研究科 自見寿孝・齋藤憲寿・渡辺一也

### 1. はじめに

近年、大雨や融雪に伴い河川の流量が増加している。これにより堤防の侵食や決壊が起こり、越水が増えている。河道に堆積した流木により流下能力が低下することで氾濫を引き起こす<sup>1)</sup>。さらに、河道に分布している植生は、流水抵抗の働きを持ち、洪水時の水位を上昇させる要因となる<sup>2)</sup>。この背景を踏まえ、本研究の目的は、水理実験を通じて、植生と流木が相互作用する際の流木の挙動や水位上昇に関する詳細な検討を行う。また、既往研究<sup>3)</sup>では植生モデル材質を剛体で用いたが本実験では柔軟な植生モデルを用いて実験を行う。

### 2. 研究対象

研究対象として、2022年8月に発生した記録的大雨により氾濫した五城目町や内川川、富津内川のような中小河川を対象にする。馬場目川圏域河川整備計画<sup>4)</sup>より馬場目川圏域中流部である富津内川合流点の川幅は30~50m、勾配は1/300である。したがって、本研究では川幅30mの河川を想定し、縮尺を1/100として実験を行う。

### 3. 実験方法

当研究の初期段階では、適切な直径の竹ひごを選定する実験を行った。その後、本研究で採用した柔軟植生と、既往研究で使用された剛体植生の間で、植生と流木の相互作用、特に流木の挙動や水位上昇に関する詳細な比較分析を実施した。本研究では、幅0.3m、長さ15m、勾配1/300の矩形水路を使用した。植生モデルには底面に針葉樹の木材を使用し、竹ひごを用いて柔軟な植生を模擬した。直径1.5mmの植生モデルを図-1に示す。実験条件として、流量30m<sup>3</sup>/h(洪水時)、流木の長さ200mm、最大40本の流木を植生モデルから一定の距離を保って投入した。直径1mm、1.5mm、1.8mm、3.0mm、4.0mmの植生モデルを用いて実験を行った。

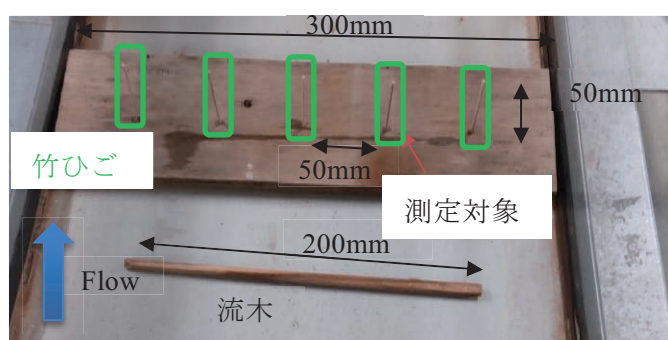


図-1 植生モデル

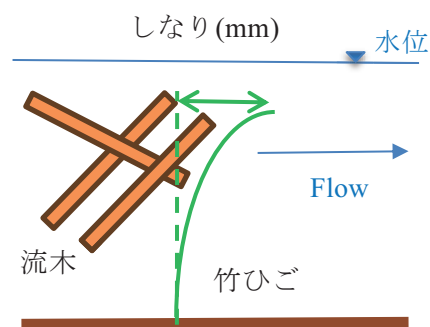


図-2 実験概要

\* The impact of vegetation and driftwood with flexibility on flood flows by Kaiho SAKAIRI, Yoshitaka JIKEN, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE



実験概要を図-2に示す。実験結果は図-3に示す。以下のグラフは植生のしなりと流木堆積数との関係を示している。実験条件として、流木を5本ずつ計40本まで増やしていった。

「流木堆積数 0」は流量のみの状況を指す。径 1.0 mm については、15本目で折れたため 10 本までの結果のみとなっている。図-3 から、直径 1.0 mm では流木数の増加とともにしなりが急激に増加した。直径 3.0 mm と 4.0 mm ではしなりが観察され

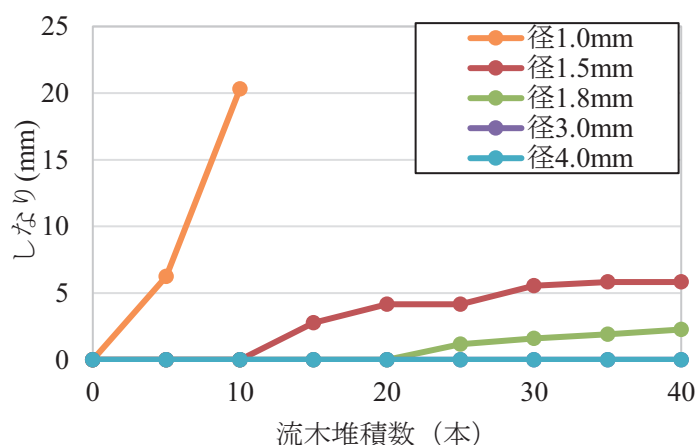


図-3 しなりと堆積数の関係

なかった。そして直径 1.5 mm と 1.8 mm ではしなりの増加が緩やかであったことがわかる。直径が小さく、流木の本数が多いほどしなりが大きくなる傾向が見られた。

次に、同一の矩形水路で異なる密度を持つ2種類の植生モデルを使用し、流木模型を水路の一端から投入した。植生モデルは直径 1.5 mm、高さ 50 mm の竹ひごを使用し、密度は高密度 (50 mm 間隔で 25 本)、低密度 (100 mm 間隔で 9 本) の2種類とした<sup>5)</sup>。高密度と低密度の植生モデルをそれぞれ図-4、図-5に示す。そして赤点は水位の測定ポイントを示す。計測箇所は植生間と植生後方に分類し、高密度では各列に5点、低密度では各列3点計測した。各列の水位を平均して、1列目を基準点 (0 mm) とした。高密度の場合は 50 mm 間隔で6列、低密度の場合は 100 mm 間隔で4列の水位を算出した。さらに、植生層を通過した際の水位も 400 mm の列で計測し、同様にその平均値を求めた。流木模型がない状態の水位を基準とした水位の変化を、水位上昇率で評価した。水位上昇率の計算方法は式(1)によって表される。

$$\text{水位上昇率(\%)} = \frac{\text{流木堆積時の水位}}{\text{流木無しの水位}} \times 100 - 100 \quad (1)$$

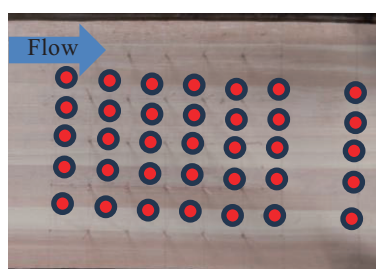


図-4 高密度植生

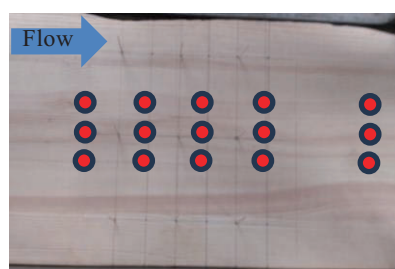


図-5 低密度植生

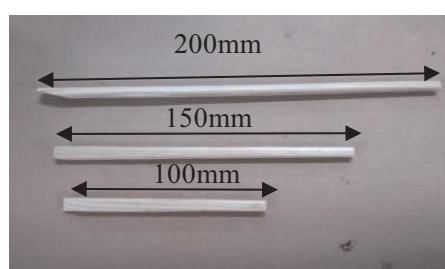


図-6 流木モデル

流木モデル (図-6) は秋田県に広く分布する杉を使用し、想定される流木の長さは 20 m、15 m、10 m で、縮尺 1/100 に基づき、それぞれ 200 mm、150 mm、100 mm の模型を使用した。実験方法は、馬場目川の計画高水流量を基準にした「洪水流量」、流量を 0.0083 m<sup>3</sup>/s で行った。秋田県雄物川の支川である荒川に流入した杉流木数<sup>6)</sup>に基づき、流木モデルは植生層の 0.8 m

上流から 40 本ずつ、流木長ごとに 1 秒間に 3 本ずつ投入した。流木長、密度ごとに 5 回ずつ実験を行い、合計 30 回の実験を実施した。流木の堆積状況は、流木堆積率で評価され、式(2)で表される。

$$\text{流木堆積率(\%)} = \frac{\text{堆積した流木の本数}}{\text{投入した流木の本数}} \times 100 \quad (2)$$

#### 4. 実験結果

##### (1) 流木の挙動について

高密生度植生モデルの流木の挙動を植生層上と横から撮影した柔軟植生を図-7 剛体植生を図-8 に示す。低密生度植生モデルの場合も同様に柔軟植生を図-9 剛体植生を図-10 に示す。左から 200 mm, 150 mm, 100 mm の流木モデルの様子である。写真は流量 0.0083 m<sup>3</sup>/s 時の挙動を撮影したものである。流木の挙動として、まず植生層前方に堆積すると同時に水位が上昇する。そして、水位が植生より高くなることで流木が植生の上部を通過して後方の植生について堆積することが確認できた。さらに流木長が長いほど水位が上昇することも確認できた。柔軟植生の高密生度について流木長 200mm では、植生層広域で堆積している。150mm では、植生層前方に堆積している。100 mm では、半分以上が植生層を通過した。剛体植生の高密生度 200mm では、植生層前方に堆積しているが、150mm では後方に堆積している。柔軟植生の低密度生の場合、流木長に関わらず、植生層の両端に堆積している。一方、剛体植生の低密度生の場合、については密度に関わらず、流木長 200mm では植生層前方に、150mm では植生層中央に流れの 100 mm では両端に堆積する傾向が確認できた。

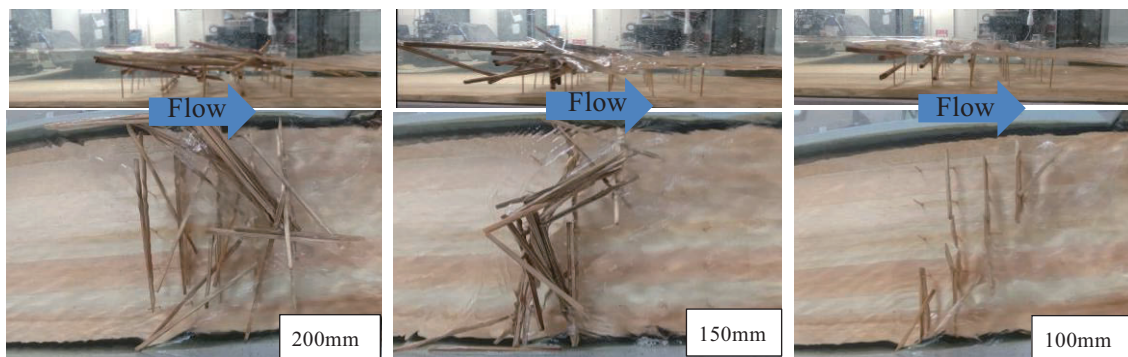


図-7 柔軟植生 高密生度

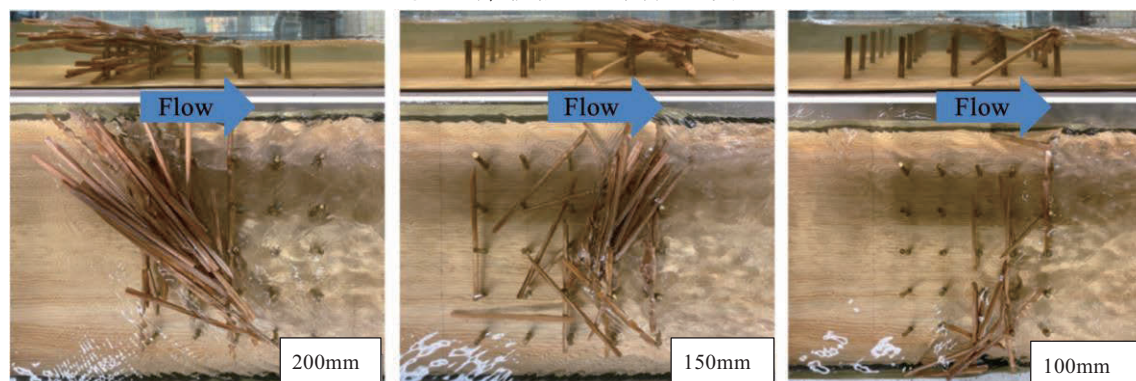


図-8 剛体植生 高密生度

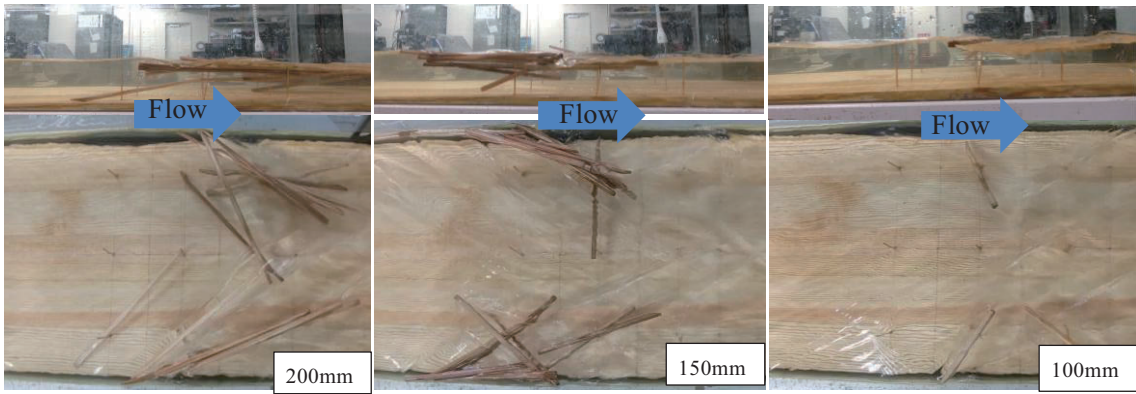


図-9 柔軟植生 低密生度

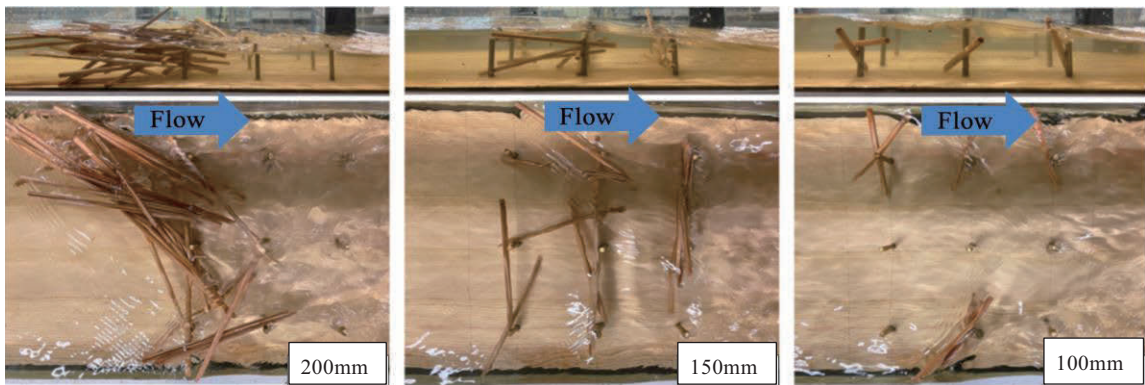


図-10 剛体植生 低密生度

(2) 流木堆積率について

流木長と流木堆積率の関係を以下に示す。高密生度における柔軟植生を図-11 に剛体植生を図-12, 低密度生における柔軟植生を図-13 に剛体植生を図-14 に示す。高密生度において流木長 200mm では柔軟植生の方が剛体植生より堆積するが, 150mm, 100 mm では剛体植生の方が堆積する。

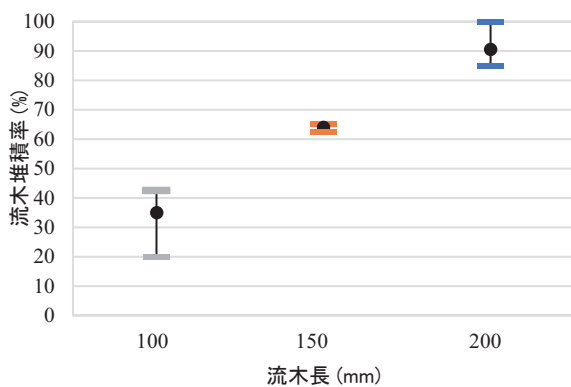


図-11 柔軟植生 高密生度

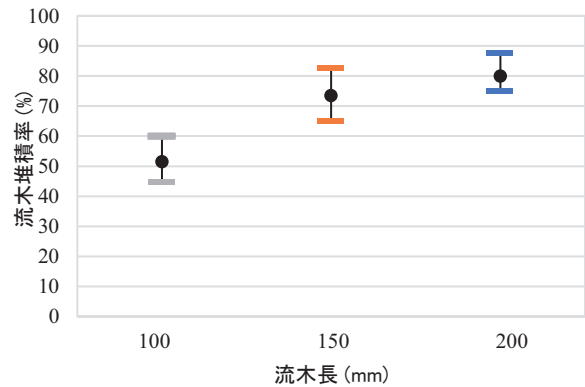


図-12 剛体植生 高密生度



低密度生において流木長が等しい場合、柔軟植生より剛体植生の方が堆積する。柔軟植生より剛体植生の方がより堆積する理由として、流木が堆積増加により流れの抵抗が増加する。そして、しなることで流れの抵抗が減少する<sup>7</sup>ことが知られている。そのため、剛体植生の方が柔軟植生より堆積したと考えられる。

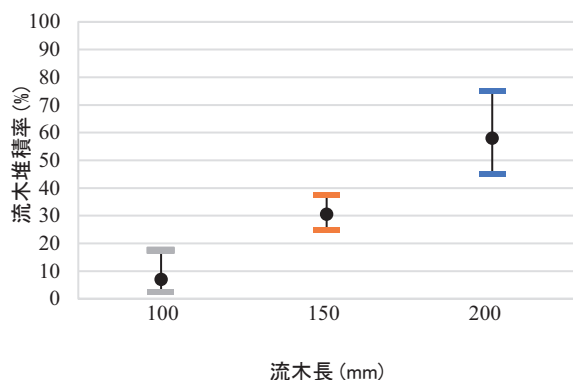


図-13 柔軟植生 低密度度

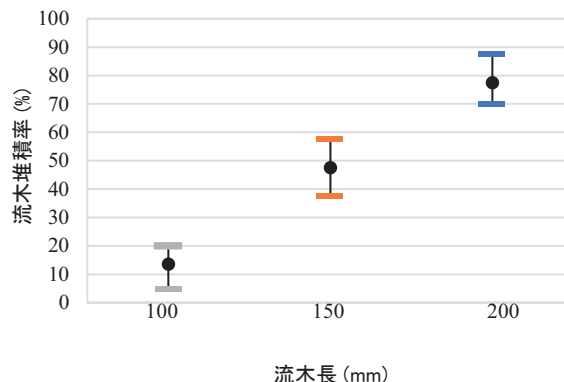


図-14 剛体植生 低密度度

### (3) 水位の上昇率について

各流木長における水位上昇率について、高密度生における柔軟植生を図-15 に剛体植生を図-16、低密度生における柔軟植生を図-17 に剛体植生を図-18 に示す。

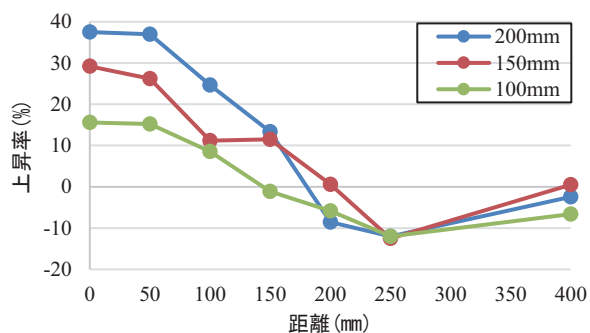


図-15 柔軟植生 高密度度

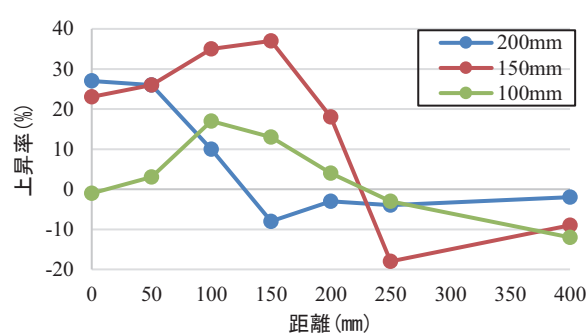


図-16 剛体植生 高密度度

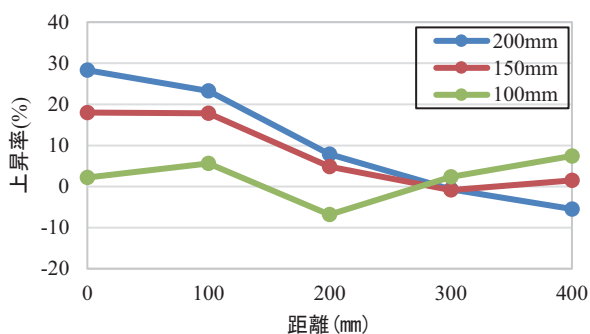


図-17 柔軟植生 低密度度

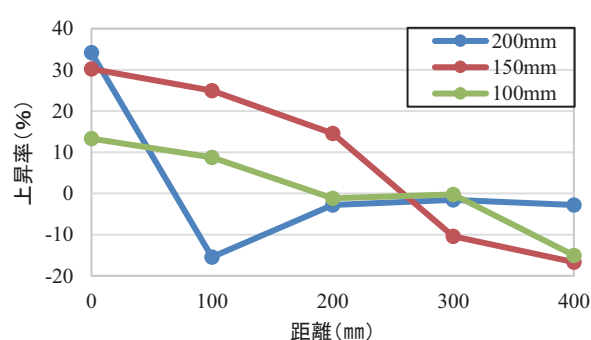


図-18 剛体植生 低密度度

高密度生において柔軟植生は植生層の1列目で水位上昇率が最大となったが剛体植生（流木長：150mm 100mm）では植生層の3、4列目と中央付近で水位上昇率が最大となった。低密度生の場合、柔軟植生、剛体植生どちらも前方で水位上昇率が最大となった。剛体植生で流木長



200mm では、水位が急激に減少したことがわかる。また、上昇率についてはすべての場合において 40%～-20%の範囲内であった。さらに、どの植生でも水位の上昇と減少を繰り返すことが確認できた。

## 5. おわりに

本研究では、植生の密度と流木長による水位上昇量について検討を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 流木の挙動について、まず植生層前方に堆積すると同時に水位が上昇する。そして、水位が植生より高くなることで流木が植生の上部を通過して後方の植生について堆積する。
- 2) 流木の堆積について、柔軟植生は剛体植生と比較して流木が長いと、堆積率が上昇する一方で流木が短いと、堆積率が減少する。つまり柔軟植生は流木長によって堆積率が大幅に変動することが分かった。また、どちらの植生も流木が長く、密度が高いほど堆積率が上昇する。
- 3) 水位の上昇について、高密生度の場合、柔軟植生は植生層前方で水位上昇が大きくなるが、剛体植生（流木長：150 mm, 100 mm）では植生層中央で上昇率が大きくなった。一方低密度生の場合では、柔軟植生、剛体植生どちらも前方で水位上昇率が最大となり、上昇率についてはすべての場合において 40%～-20%の範囲内であった。

## 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) 国土交通省：土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画の基本的な考え方, <[https://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/sabo/dosyakouzuihanran\\_ryuuboku\\_r0508.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/dosyakouzuihanran_ryuuboku_r0508.pdf)> (2024/1/10 閲覧)
- 2) 吉田圭介, 前野詩朗, 藤田駿佑, 松山悟, 岩城智大, 平井康隆：旭川における植生分布の経年変化を考慮した洪水流の数値解析, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, I\_1039-I\_1044, 2015.
- 3) 大森蒼士, 自見寿孝, 齋藤憲寿, 渡辺一也：植生及び流木が洪水流に与える影響について, 東北地域災害科学研究, 第 59 巻, pp. 63-68, 2023.
- 4) 秋田県：二級河川馬場目川水系馬場目川圏域河川整備計画変更, 平成 27 年 2 月, <[https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive\\_0000010601\\_00/seibi\\_babame.pdf](https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000010601_00/seibi_babame.pdf)> (2024/1/10 閲覧)
- 5) 赤堀良介, 春日井勇輝：植生内の流れの構造と浮遊砂堆積状況の関連について, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.70, No.2(応用力学論文集 Vol.17), I\_753-I\_760, 2014.
- 6) 松林由里子：2017 年秋田豪雨によって水田に堆積した流木の特徴：東北地域災害科学研究, 第 56 巻, pp. 1-6, 2020.
- 7) 辻本哲郎, 北村忠紀：柔軟な植生粗度を伴う流れに関する研究, 土木学会論文集 No-607/II-45, pp.29-44, 1998.

# 機械的固定工法防水システムの風応答の簡便な推定方法\*

東北大学未来科学技術共同研究センター 植松 康

## 1. はじめに

我が国の機械的固定工法防水システムでは、0.5~0.6m 程度の間隔で格子状に配置され屋根下地にファスナーで固定された円形ディスクに防水シートが熱溶着あるいは溶剤溶着される(図 1)。風による負圧を受けるとシートは膨れ、シートの破損やファスナーの抜け出しなどの被害がしばしば発生する<sup>1)</sup>。宮内ら<sup>2),3)</sup>によれば、ファスナーには上向きの鉛直力に加えて同程度の水平力が作用する。この水平力は固定部を挟んだシートの膨らみの差(張力差)によるものである(図 2)<sup>3)</sup>。金属下地の場合、防水シートと下地の間に断熱材が挿入されるため、ファスナー頂部に水平力が作用すると固定部に付加モーメントが作用し、ファスナーの引き抜き耐力の低下が懸念される。そのため、水平力を考慮した耐力試験法の開発が望まれている。

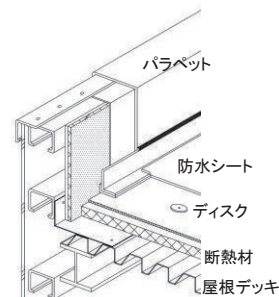


図 1 屋根の構成

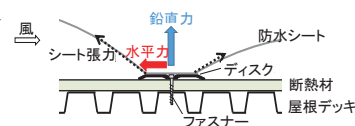


図 2 固定部に作用する力

宮内ら<sup>2), 3)</sup>は実大試験体を用いた実測と風洞実験結果に基づき、ファスナーに作用する水平力を風圧係数分布のみから推定する方法を提案した。しかし、そこではシートの変形と固定部に作用する風力の関係は考慮されておらず、その妥当性・適用性には疑問が残る。

本研究では単純な二次元モデルを用いて、静的分布荷重を受ける防水システムの挙動(シートの膨らみやファスナーに作用する風力, 固定部反力)を簡便に計算する方法を示す。また、計算の基となる陸屋根上の平均風圧係数分布のモデルを既往の研究成果に基づいて提案する。

## 2. 防水システムの風応答に関する解析的検討

### 2.1 解析モデルと解析方法

防水シートは間隔  $L$  で線状に固定されているものとし(図 3)、以下、単位幅で考える。屋根風上端で流れが剥離するため屋根には負圧が作用してシートが膨れる。図 4 は宮内ら<sup>3)</sup>の実測と風洞実験による平均風圧係数分布である。図中の実線および数値は、 $L=0.6m$  としたとき各領域における平均風圧係数の面平均値(実測値に基づく)である。シートは厚さ 1.5mm 程度と薄いので、曲げ剛性は無視する。

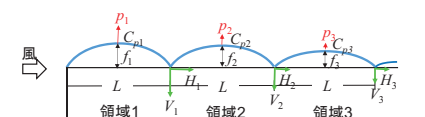


図 3 解析モデル

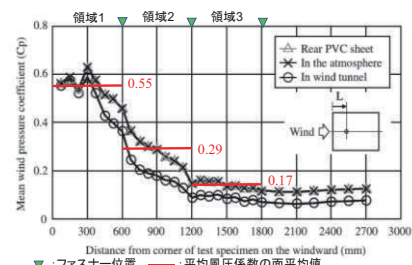


図 4 平均風圧係数分布(宮内ら<sup>2)</sup>)

一定負圧  $p$  を受けるとシートの変形は曲率半径  $R$  の円弧となり(図 5)、シートには張力  $T$  が作用する。固定部に作用する力を模式的に表すと図 6 のようである。 $V$  および  $H$  は

\*An approximate method for easily estimating the wind-induced responses of a mechanically-attached single-ply membrane roofing system  
by Yasushi Uematsu

それぞれ固定部における鉛直方向および水平方向の反力(合力)を表し, 風上側および風下側シートの張力  $T_w, T_l$  の鉛直・水平成分を用いて次式で与えられる。

$$V = T_{wy} + T_{ly}, \quad H = T_{wx} - T_{lx} \quad (1), (2)$$

また, シートに作用する力の釣り合いより次式を得る。

$$T = pR \quad (3)$$

さらに, (4)式で表されるシートの歪 $\varepsilon$ を用いると,  $T$ は(5)式で与えられる。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{2R\varphi - L}{L} = \frac{2R\varphi}{L} - 1 \quad (4)$$

$$T = Et\varepsilon = Et\left(\frac{2R\varphi}{L} - 1\right) \quad (5)$$

ここに,  $E, t$ はシートのヤング係数と厚さを表す。(3)式を(5)式に代入し,  $R\sin\varphi = L/2$ なる関係を用いて整理すると次式を得る。

$$\varphi - \sin\varphi - \frac{pL}{2Et} = 0 \quad (6)$$

(6)式を $\varphi$ に関して解き, それを(3)~(5)式に代入すれば,  $T, R, \varepsilon$ が得られるが, (6)式は非線形方程式であるため計算が面倒である。そこで, (6)式中の $\sin\varphi$ を $\varphi=0$ のまわりでTaylor展開すると,

$$\sin\varphi = \varphi - \frac{\varphi^3}{6} + \frac{\varphi^5}{24} - \dots \quad (7)$$

5次以上の高次項を無視し, (6)式に代入すると最終的に次式を得る。

$$\varphi = \sqrt[3]{\frac{3pL}{Et}} \quad (8)$$

これを $R = \frac{L}{2\sin\varphi}$ に代入し, さらに(5)式を用いると $T$ が得られ, それに $\sin\varphi, \cos\varphi$ を乗ずれば鉛直成分と水平成分が求まる。

## 2.2 解析結果

$\varphi$ は圧力 $p$ , シートの支持間隔 $L$ および伸び剛性 $Et$ によって変化する。実設計を参考に, これらのパラメータを以下に示す範囲で変化させて解析した。

$$L = 0.4 \sim 1.0\text{m}, \quad Et = 50 \sim 125\text{N/mm}, \quad p = 0 \sim 3\text{kPa}$$

図7(a)は $L = 0.6\text{m}$ (一定値)として $Et$ を変化させたとき, 図7(b)は $Et = 75\text{N/mm}$ (一定値)として $L$ を変化させたときの $\varphi \sim p$

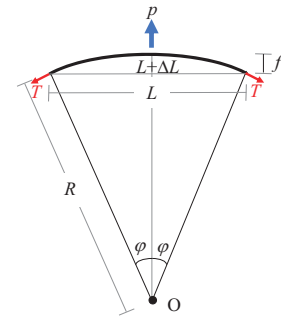


図5 シートの変形

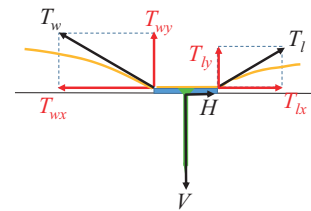
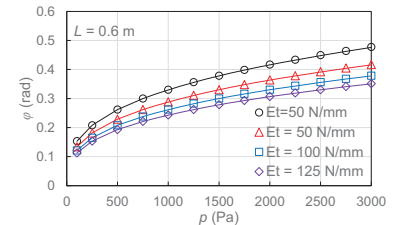
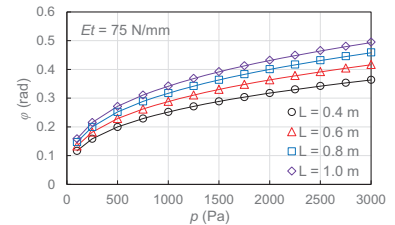


図6 固定部に作用する力

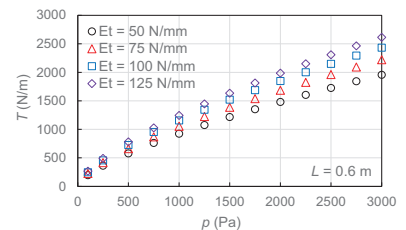


(a)  $L = 0.6\text{ m}$

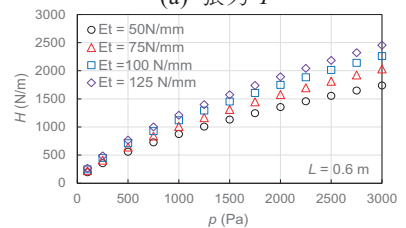


(b)  $Et = 75\text{ N/mm}$

図7  $\varphi$ の $p$ による変化



(a) 張力  $T$



(b) 水平力  $H$

図8  $T$ および $H$ の $p$ による変化 ( $L = 0.6\text{ m}$ )

関係を示す。図中、プロットは(6)式による精解、曲線は(8)式による近似解を表しており、両者はよく一致している。最大誤差は  $Et = 50\text{N/mm}$ ,  $L = 1.0\text{m}$ ,  $p = 3\text{kPa}$  のとき約 $-0.54\%$  ( $0.54\%$ の過小評価)であった。したがって、(8)式は実用上十分な精度を有している。(8)式が示すように、 $\varphi$ は $p$ の増大に伴い非線形に(ほぼ三乗根に比例して)増大する。また、 $Et$ の増大に伴い減少し、 $L$ の増大に伴い増大する。なお、最大ひずみは、解析した範囲では、 $Et = 50\text{N/mm}$ ,  $L = 1.0\text{m}$ ,  $p = 3\text{kPa}$  のときに発生し約 $5.6\%$ であった。この値は通常の防水シート(厚さ $1.5\text{mm}$ 程度のガラス補強あるいはポリエステル補強塩ビシートなど)では、補強繊維が破断する前のほぼ弾性範囲内にある<sup>4)</sup>。

$L = 0.6\text{m}$ (一定値)として  $Et$  を変化させたときの  $T$  および  $H$  の  $p$  による変化を図8に示す。 $Et$ が増大するとシートの膨らみが減少するので  $R$  は増大し  $\varphi$  は減少する。したがって  $\varepsilon$  は減少するが、その減少より  $Et$  による増加による効果の方が大きいため  $T$  は増大する。さらに  $\varphi$  の低下に伴い  $\cos\varphi$  が増大するため  $H$  も増大する。

次に、 $Et = 75\text{N/mm}$ (一定値)として  $L$  を変化させたときの  $T$  および  $H$  の  $p$  による変化を図9に示す。これより、 $L$ が増大すると  $T$  および  $H$  も増大することが分る。

以上より、 $H$  を低下させるという目的では、強度とのバランスを考えながら、 $Et$  および  $L$  を小さくするのが効果的であるといえる。

最後に、風圧分布への適用例として、 $L = 0.6\text{m}$ ,  $Et = 75\text{N/mm}$  とおき、図4に示した平均風圧係数分布を用いて、領域1と2の境界にある固定部に作用する  $V$  および  $H$  の速度圧  $q_{H_e}$  ( $=1/2\rho U_{H_e}^2$ ;  $\rho$  = 空気密度,  $U_{H_e}$  = 軒高  $H_e$  における平均風速) による変化を計算した。なお、各領域 ( $i = 1, 2$ ) における風圧  $p_i$  は  $q_{H_e}$  とその領域に対する面平均風圧係数  $C_{pi}$  (図4の実線で示した値) の積で与えられる。計算結果を図10に示す。 $V$  はシートの変形にはよらず  $q_{H_e}$  に比例して増大するが、 $H$  は非線形に増大する。この計算例では、 $q_{H_e} \approx 1\text{kPa}$  程度までは  $H$  と  $V$  は同程度であるが、それ以上では  $q_{H_e}$  の増大とともに差が広がる。宮内ら<sup>3)</sup>は水平力の大きさが鉛直力と同程度であると述べているが、検討した範囲が  $q_{H_e} \approx 1\text{kPa}$  程度までであったためと考えられる。

### 3. 平均風圧係数分布のモデル化

ここでは矩形平面を有する低層陸屋根建築物において風が一壁面に正対して吹くときの屋根中心線上の平均風圧係数  $C_p$  の分布に着目し、Akon & Kopp<sup>5)</sup>の論文に基づきモデル化を試みる。Akon & Kopp<sup>5)</sup>は Ruderich & Fernholz<sup>6)</sup>に倣い、 $C_p$  を次式のように基準化することで様々な条件下での  $C_p$  分布を統一的に表現できる可能性を示した。

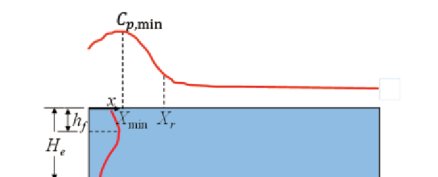
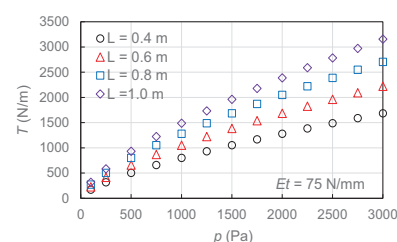
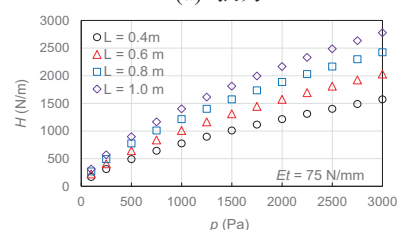


図11 平均風圧係数分布の模式図  
(正：内側，負：外側)



(a) 張力  $T$



(b) 水平力  $H$

図9  $T$  および  $H$  の  $p$  による変化 ( $Et = 75\text{N/mm}$ )

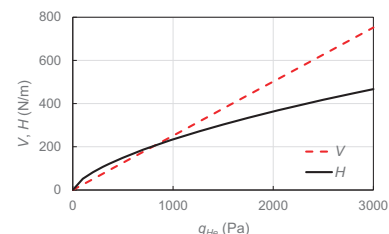


図10  $V$  および  $H$  の速度圧による変化 ( $L = 0.6\text{m}$ ,  $Et = 75\text{N/mm}$ )



$$C_p^* = \frac{C_p - C_{p,\min}}{1 - C_{p,\min}} \quad (9)$$

ここに、 $C_{p,\min}$ は $C_p$ の最小値を表す(図 11 参照)。なお、図 11 において、 $h_f$ は風上壁面上の淀み点から屋根頂部までの長さ、 $X_{\min}$ は $C_{p,\min}$ の発生位置、 $X_r$ は再付着点位置を表す。また、 $C_p$ 分布は $C_p$ が正のときは建物内側に、負のときは外側に描かれている。

Akon & Kopp<sup>5)</sup>のPIVを用いた流れの可視化実験によれば $h_f \approx 0.35H$ である。風上端で剥離した流れの再付着位置 $X_r$ は軒高 $H_e$ における気流の乱れの強さ $I_{He}$ が大きくなると風上側に移動する傾向にある。すなわち、気流の乱れが大きくなると剥離流の勾配が緩くなり再付着が促進される。また、建物の幅 $W$ が大きいかほど(流れが二次元的になるほど)風下側に移動する。Akon & Kopp<sup>5)</sup>によれば、地表面粗度区分III程度 $\eta$ を想定すると、 $W/H_e = 3 \sim 5$ の建物の場合 $X_r/h_f = 2 \sim 3$ である。ここで $h_f \approx 0.35H$ なる関係を用いると次式を得る。

$$X_r = (0.7 \sim 1.0)H \quad (10)$$

$X_r$ が小さくなると圧力勾配が大きくなり、機械的固定工法防水システム固定部前後のシートの膨らみの差が大きくなる。その結果、固定部に作用する水平力が大きくなると考えられる。そこで、安全側の設定として、ここでは $X_r = 0.7H$ とする。

$x = X_r$ における $C_p^*$ の値( $C_{p,r}^*$ )は、図 12(Akon & Kopp<sup>5)</sup>より引用)に示されるように、 $I_{He}$ の増大に伴い減少する。その関係は近似的に次式で与えられる。

$$C_{p,r}^* = -0.43I_{He} + 0.33 \quad (11)$$

図 13 は様々な条件で得られた $C_p^*$ 分布を示す(Akon & Kopp<sup>5)</sup>より引用)。 $C_{p,\min}$ を与える $x = X_{\min}$ では $C_p^* = 0$ となり、これが $C_p^*$ 分布の極小値 0 となる。図より $X_{\min} = (0.2 \sim 0.3)X_r$ であり、 $X_{\min}/X_r$ の代表値としてここでは 0.25 を用いる。 $C_p^*$ 分布は $x \approx X_r$ で反曲点をもつ。これは再付着点を境に流れや風圧分布の性状が不連続に変化することに対応している。そこで、

① $x^*(= x/X_r) = 0.25$ で極小値 0 をとる。

② $x^*=1$  で $C_p^* = C_{p,r}^*$ となる。

③ $x^*=1$  が $C_p^*$ 分布の変曲点を与える。

と仮定する。これら 3 つの条件を満足する $C_p^*$ 分布は次式で与えられる。

$$C_p^* = \{2.67(x^* - 0.25)^2 - 1.19(x^* - 0.25)^3\} \bar{C}_{p,r}^* \quad (12)$$

$C_{p,\min}$ の大きさは、図 14 に示すように、 $I_{He}$ の増大とともに増大する傾向を示し、 $I_H \approx 0.1 \sim 0.3$ の範囲については次式で近似できる。

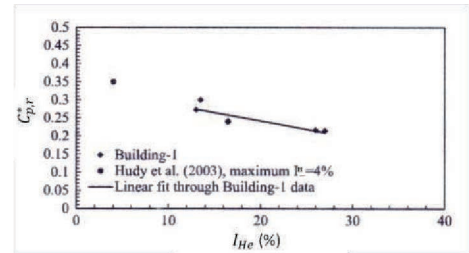


図 12  $C_{p,r}^*$ の $I_{He}$ による変化 (Akon & Kopp<sup>5)</sup>より)

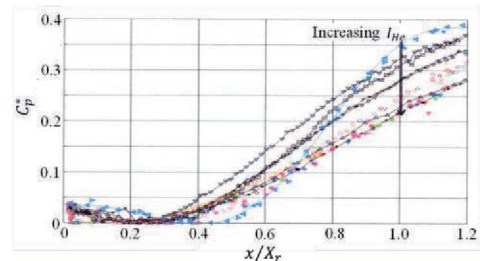


図 13  $C_p^*$ の分布 (Akon & Kopp<sup>5)</sup>より)

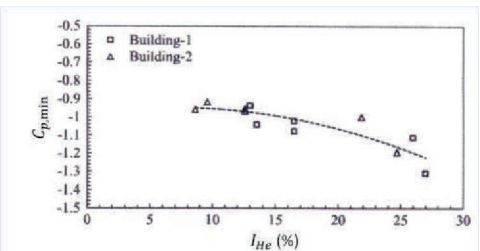


図 14  $C_{p,\min}$ の $I_{He}$ による変化 (Akon & Kopp<sup>5)</sup>より)

$$C_{p,\min} = -6.7I_H^2 - I_H - 0.99 \quad (13)$$

以上より、地表面粗度区分を仮定して軒高における気流の乱れの強さ $I_{He}$ を与えると、(11)式より $C_{p,r}^*$ が定まり、(12)式より $C_p^*$ 分布が決定する。さらに、(13)式より $C_{p,\min}$ が計算され、(9)式を変形した次式により $C_p$ 分布が定まる。

$$C_p = C_{p,\min} + (1 - C_{p,\min})C_p^* \quad (14)$$

以下、 $H_e = 5\text{m}$  および  $10\text{m}$  の 2 ケースについて $C_p$ 分布を計算した結果を示す。日本建築学会「建築物荷重指針」<sup>7)</sup>によれば、高さ $Z(\text{m})$ における乱れの強さ $I_Z$ は次式で与えられる。

$$I_Z = 0.1 \left( \frac{Z}{Z_G} \right)^{-\alpha-0.05} \quad (Z > Z_b) \quad (15a)$$

$$I_Z = 0.1 \left( \frac{Z_b}{Z_G} \right)^{-\alpha-0.05} \quad (Z \leq Z_b) \quad (15b)$$

ここに、 $\alpha$ ,  $Z_b$ ,  $Z_G$ は地表面粗度に依存するパラメータで、地表面粗度区分ⅡおよびⅢに対して表1のように与えられている。また、 $H_e = 5\text{m}$  および  $10\text{m}$  に対する $I_{He}$ ,  $X_r$ ,  $C_{p,r}^*$ および $C_{p,\min}$ の算定結果を表2に示す。(14)式を用いて $C_p$ 分布を求めると図15のようである。 $H$ が小さいほど $C_{p,\min}$ の位置が風上側に近く、その後の圧力勾配が大きくなること分る。したがって、低い建物ほど機械的固定工法防水システムの固定部に作用する水平力が大きくなると考えられる。

表1 平均風速のプロファイルを表すパラメータ( $\alpha$ ,  $Z_b$ ,  $Z_G$ )の値

地表面粗度区分	$\alpha$	$Z_G$ (m)	$Z_b$ (m)
Ⅱ	0.15	350	5
Ⅲ	0.20	450	10

表2 平均風圧係数分布を表すパラメータ( $X_r$ ,  $C_{p,r}^*$ ,  $C_{p,\min}$ )の値

地表面粗度区分	$H$ (m)	$I_{He}$	$X_r$	$C_{p,r}^*$	$C_{p,\min}$
Ⅱ	5	0.234	3.5	0.229	1.59
	10	0.204	7.0	0.242	1.47
Ⅲ	5	0.259	3.5	0.219	1.70
	10	0.259	7.0	0.219	1.70

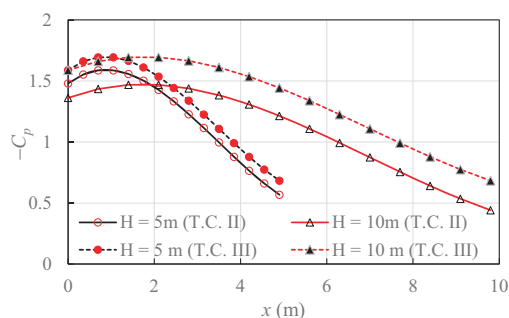


図15 平均風圧係数 $C_p$ の分布

#### 4. おわりに

本論文では、我が国で一般的な機械的固定工法防水システムについて、風が1壁面に正対する方向から吹いたときの時間平均応答(シートの膨れや固定部反力などの時間平均値)を、簡単な二次元モデルを用いて解析的に求める方法を示した。また、入力としての平均風圧係数分布のモデル化を行った。実際の防水システムは三次元的であり、また気流は乱れを有する乱流であるため、風応答は複雑な性状を示すが<sup>2)-4)</sup>、ここで示したモデルの結果は実挙動と整合するものであった。したがって、設計の初期段階において風応答の概略を把握する上で有用であると考えられる。また、固定部の耐風圧試験を検討する上でも有用な知見を与えると考えられる。

ここでは時間平均値のみを議論したが、実現象は動的であり防水システムの耐風圧性能評価においては変動風圧の動的荷重効果を考慮する必要がある。しかし、ここで対象としているような比較的小規模な低層建築物の場合、近似的に準定常仮定が成り立つので<sup>8)</sup>、動的荷重効果はガスト影響係数で評価できると考えられる。その際、平均風圧に対する応答が基本となる。また、陸屋根に作用するピーク負圧は壁面正対風向ではなく、斜め風向のときに最大となり、そのとき圧力勾配も大きい<sup>9)</sup>。したがって、防水システムの耐風圧性能評価においてはそのような斜め方向からの風に対しても検討する必要がある。そのような場合においても、平均風圧係数分布が風洞実験等によって分かれば(さらに、3. で述べたようなモデル化ができれば)、同様の方法で防水システムの風応答の概要を把握することが可能である。これについては将来の課題とする。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：2004年の強風被害とその教訓－強風被害が残したもの－，2006.
- 2) Miyauchi, H. et al.: Force transfer mechanism on fastener section of mechanically anchored waterproofing membrane roofs under wind pressure during typhoons, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99, 1174-1183, 2011.
- 3) Miyauchi, H. et al.: Behavior of a mechanically anchored waterproofing membrane system under wind suction and uniform pressure, *Building and Environment*, 46, 1047-1055, 2011.
- 4) Uematsu, Y. et al.: Experimental study of wind-induced dynamic response and collapse of a mechanically-attached membrane roofing system installed on metal substrate of flat roofed low-rise steel building, *Journal of Building Engineering*, 63, 105401, 2023.
- 5) Akon, A.F., Kopp, G.A.: Mean pressure distributions and reattachment lengths for roof-separation bubbles on low-rise buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 155, 115-125, 2016.
- 6) Ruderich, R., Fernholz, H.H.: An experimental investigation of a turbulent shear flow with separation, reverse flow, and reattachment, *Journal of Fluid Mechanics*, 163, 283-322, 1986.
- 7) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2015.
- 8) 日本建築学会：動的の外乱に対する設計－現状と展望－，1999.
- 9) Kawai, H.: Local peak pressure and conical vortex on building, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90, 251-263, 2002.

## 円弧型独立上屋の外装材用ピーク風力係数に関する研究\*

秋田工業高等専門学校 丁 威  
東北大学 植松 康

### 1. 初めに

円弧型独立上屋はイベント会場や公園の休憩所(写真1)など、公共空間で広く利用されている。一般に軽量であるため風荷重が設計上重要となるが、建設省告示や日本建築学会「建築物荷重指針」<sup>1)</sup>(以下、「荷重指針」)には設計用風力係数は示されていない。これまで円弧屋根を有する閉鎖型建築物の風荷重については、様々な研究がなされてお



写真1 円弧型独立上屋

り、設計用風力係数が建設省告示や荷重指針等に示されている。一方、円弧型独立上屋については、それらには設計用風力係数が記されていないため、実際の設計においては、閉鎖型建築物の風力係数を基に設計荷重を評価することが多いようである。しかし、壁の有無によって屋根まわりの流れが大きく異なるので、そのような評価方法は合理的ではない。風洞実験によって評価するのが望ましいが、屋根上下面の風圧を同時に測定する必要があること、壁がないため多くの導圧管を風洞床下まで導くことが困難であること等の理由により、風洞実験模型の製作は困難である。これまで風洞実験がほとんど試されていない理由はここにある。Nataliniら<sup>2)</sup>がライズ・スパン比0.2の模型を用いて平均風力係数分布を求めているが、動的荷重効果は検討していない。山村ら<sup>3)</sup>および文・植松<sup>4)</sup>は六分力計を用いて様々なライズ・スパン比を有する屋根の全体風力を測定した。風圧分布も測定しているが、屋根全体ではなく代表的な2ライン上での測定に限られており、屋根全体の分布は得られていない。動的荷重効果を考慮して設計荷重を設定するためには屋根全体の風力分布が必要である。

本研究では、円弧型独立上屋を対象とし、屋根全体に作用する風圧・風力の分布特性を把握するため、圧力測定孔を屋根全面にわたって多数配置した実験模型を3Dプリンタによって製作し風洞実験を行った。その結果に基づき円弧型独立上屋の屋根全体に作用する風圧・風力の特性を把握し、外装材用ピーク風力係数のモデルを提案する。

### 2. 風洞実験の概要

#### 2.1. 実験模型と気流

風洞実験は、東北大学工学研究科都市・建築学専攻所有のエッフェル型境界層風洞(測定部 $1.4\text{m}^W \times 1.0\text{m}^H \times 6.5\text{m}^L$ )を用いて行った(写真2)。本研究では、模型の幾何学的縮尺率を $\lambda_L = 1/100$ と設定する。写真3に示すように風圧測定用の基本模型は3Dプリンタを用いて屋根と柱を一体として作製した。図1に本研究で用いる座標系と記号を示す。屋根のライズ・スパン比 $f/B$

\* Discussion of peak wind force coefficients for designing cladding/components of a vaulted free roof by Wei Ding, Yasushi Uematsu



は 0.1 と 0.2 の 2 種類である。スパン  $B$  および桁行長さ  $W$  はいずれも 150mm である。屋根の平均高さは 80mm である。屋根の厚さは 4mm, 柱は辺 6.5mm の正方体である。導圧管(銅パイプ)は屋根上下面の風圧測定孔から屋根および柱内部を通っており, 柱脚部においてビニールチューブに接続されている。図 2 は風圧測定点配置を示す。5 ラインに沿って圧力測定孔が上下面にそれぞれ 5 点ずつ設けられている。風圧測定点は全部で 50 である。屋根に作用する風力(屋根上下面の風圧の差)を測定するためには, 上下面同位置に圧力測定孔を設ける必要があるが, 屋根厚さ 4mm でそれを実現することは困難である。そこで, 下面における風圧の空間的変化が比較的小さいことを考慮し, 下面の圧力測定孔を図 2 に示した位置より 2mm ずれた位置(ライン上)に設けた。



写真 2 風洞実験の様子

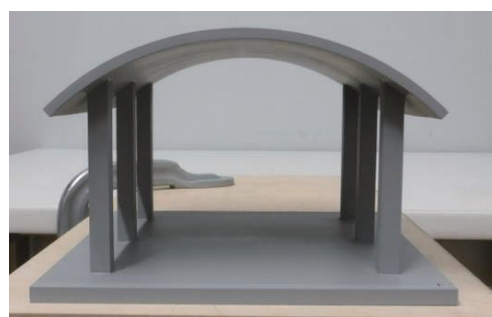


写真 3 風洞実験模型

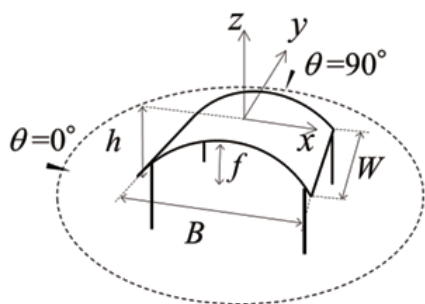


図 1 模型に対する座標系と記号

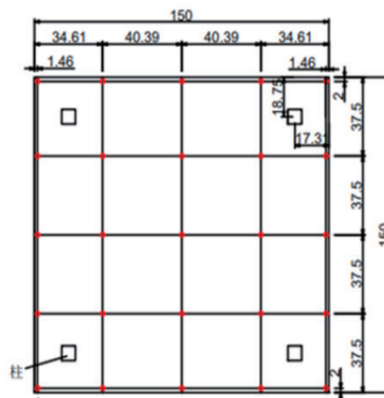


図 2 風圧測定点の配置

図 3 は模型設置位置における平均風速  $U_z$  および乱れ強さ  $I_u$  のプロファイルを示す。平均風速のプロファイルを表す「べき指数」 $\alpha$  は約 0.27 (地表面粗度区分IVに相当), 風洞実験模型の屋根平均高さ ( $H=80\text{mm}$ ) における乱れの強さ  $I_{uH}=0.2$  (地表面粗度区分IIIに相当) である。

本研究対象は曲面を有するため, 実験ではレイノルズ数  $Re$  の影響を適切に考慮する必要がある。山村ら<sup>3)</sup>は  $Re$  数の効果について, 風洞実験で可能な範囲内で風圧分布に及ぼす  $Re$  数の影響を検討し,  $Re > 1.0 \times 10^5$  では風圧係数分布がほとんど変化しないことを示した。なお,  $Re$

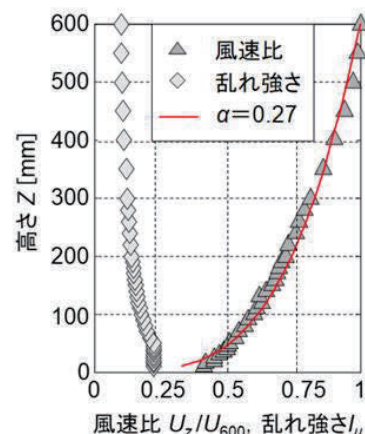


図 3 平均風速および乱れ強さのプロファイル

数を定義する際の代表長さとして屋根の曲率半径の2倍を用いた。そこで、本研究ではこの条件を満たすよう、屋根平均高さ  $H$  における風速  $U_H$  を約 9 m/s と設定した。このとき、 $Re$  数は  $f/B = 0.1, 0.2$  に対して、それぞれ約  $2.53 \times 10^5, 1.41 \times 10^5$  である。

## 2.2. 風圧測定方法

荷重指針における基本風速を  $U_0 = 36$  m/s、地表面粗度区分をIIIと仮定すると、屋根平均高さ  $H = 8$  mにおける設計風速は 28.6 m/s と計算される。従って、風速の縮尺率は  $\lambda_V = 9/28.6 = 1/3.18$  となり、時間の縮尺率は  $\lambda_T = \lambda_L/\lambda_V \approx 1/31.4$  となる。1セットの測定時間は  $T = 600/31.4 = 19.1$  s (フルスケール換算で 600s) であり、同一条件下で 6 回測定した。風圧のサンプリング周波数は 500Hz とし、圧力測定中に含まれる高周波数のノイズをカットするため 300Hz のローパスフィルターをかけた。チュービングによる変動風圧の歪みは、予め測定されたチュービングシステムの周波数応答関数を用いて補正した。風向  $\theta$  は図 1 で示すように定義し、 $0^\circ \sim 90^\circ$  の範囲で変化させた。模型の対称性を利用すれば各点において  $0^\circ \sim 360^\circ$  の範囲の値を求めることができる。

## 2.3. 風圧・風力係数の定義

風圧係数は、屋根平均高さ  $H$  での速度圧  $q_H (=1/2\rho U_H^2)$  を用い、式(1)のように定義される。ここに、 $p$  : 模型表面に作用する圧力、 $p_s$  : 風洞内静圧である。便宜上、屋根上面に作用する風圧を「外圧」、下面に作用する風圧を「内圧」と呼び、それぞれに対応する風圧係数を外圧係数  $C_{pt}$ 、内圧係数  $C_{pb}$  と呼ぶ。風圧係数の符号は面を押す方向を正とする。屋根面には外圧と内圧の差が風力として作用する。式(2)に示されるように、この風力を  $q_H$  で基準化して風力係数  $C_f$  とする。したがって、 $C_f$  の符号は  $C_{pt}$  と同じである。風圧・風力係数の各種統計値は 10 回の測定結果のアンサンブル平均で評価する。

$$C_p = \frac{p - p_s}{q_H} \quad (1)$$

$$C_f = C_{pt} - C_{pb} \quad (2)$$

## 3. 平均風圧・風力係数分布

図 4 は、風向  $\theta = 0^\circ$  のときの平均風圧・風力係数分布 (コンター図) を示す。平均風力係数  $C_{f,mean}$  の分布に着目すると (図 4(c))、風上側端部では正であるが、それ以降のほとんどの領域で負となっており、絶対値が最大となるのは屋根頂部付近である。これは上面に沿う流れの増速効果によって上面に大きな負圧が作用するからである。

風向  $\theta = 30^\circ \sim 45^\circ$  のような斜めから風が吹くと、風力係数は風上領域で大きな正の値(下向き)を示している (図 5(c))。これは上面の正圧に加え、流れの剥離によって屋根下面に大きな負圧が発生するためである。また、風下領域で大きな負の値(上向き)を示している (図 5(c))。これは屋根端部での流れの剥離によって屋根面上に円錐渦が生成され屋根上面に大きな負圧が発生したためと考えられる。更に、風下領域では下面に直接風が当たるため、比較的大きな正圧が下面に作用する。このように、上面に負圧、下面に正圧が作用するため両者の差で与えられる風力は、風下領域で大きな負の値を示す。

図6は、風向 $\theta = 90^\circ$ のときの平均風圧・風力係数分布を示す。平均風圧係数 $C_{f\_mean}$ の分布に着目すると(図6(c)), 風上側端部付近傍では負値を示すが、それ以降の領域ではほぼゼロとなっている。これは、上面の風圧と下面の風圧が相殺されることによる。

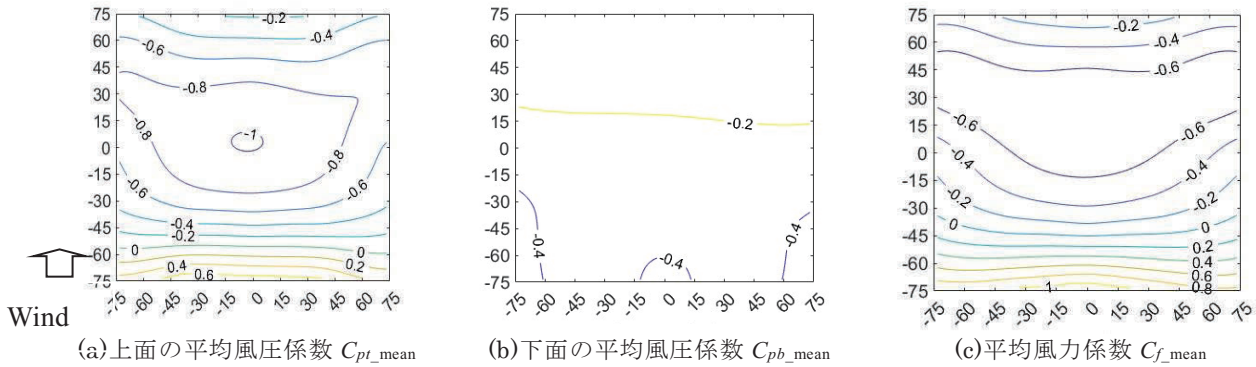


図4 平均風圧・風力係数分布 ( $f/B=0.2, \theta=0^\circ$ )

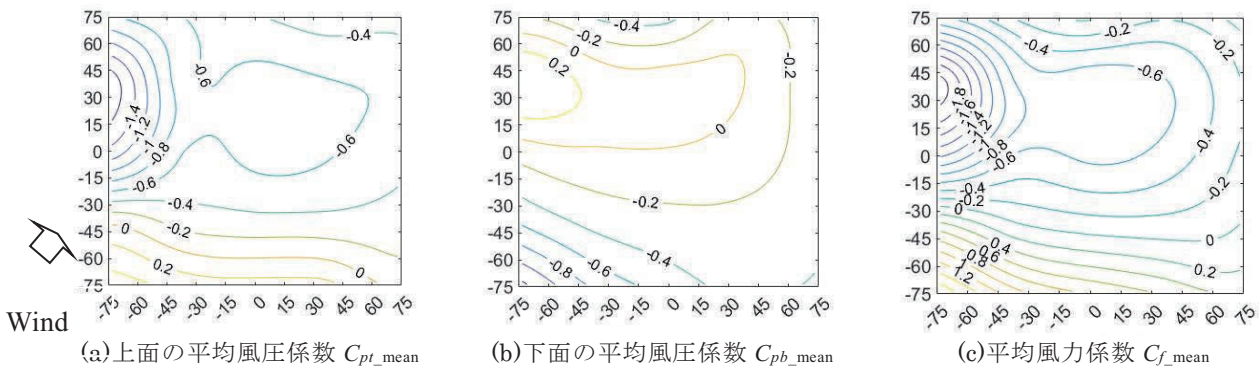


図5 平均風圧・風力係数分布 ( $f/B=0.2, \theta=45^\circ$ )

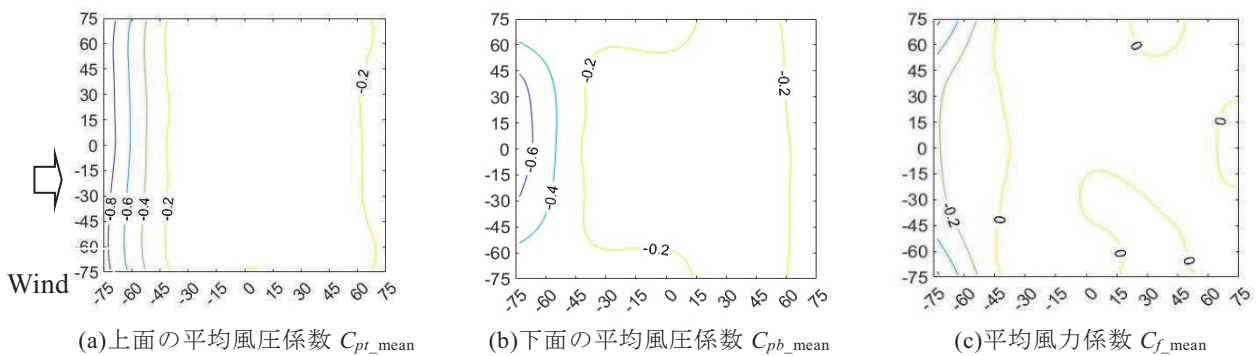


図6 平均風圧・風力係数分布 ( $f/B=0.2, \theta=90^\circ$ )

#### 4. 全風向中の最大・最小ピーク風力係数

外装材用ピーク風力係数は全風向中の最大・最小ピーク風力係数に基づいて設定されるため、屋根のピーク風力係数の分布を把握する必要がある。本研究では、ピーク風力係数を評価するにあたり、屋根外装材の荷重負担面積を荷重指針に基づき  $1\text{m}^2$  と想定し、平均化時間を TVL 法に基づいて算出した。TVL 法での時間と代表長さの関係式は次の式(3)で表される。

$$T_c = \frac{kL}{U_H} \quad (3)$$

ここで、 $T_c$ は平均化時間、 $k$ はディケイファクター(=4.5)、 $L$ は代表長さ(=1m)、 $U_H$ は実スケールでの屋根平均高さ  $H$  における設計風速(28.6m/s と仮定)を表す。この場合、平均化時間  $T_c$  は約 0.16 秒となる。

図 7 と図 8 は  $f/B = 0.1$  と  $0.2$  について全方向( $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$ )中の最大・最小ピーク風力係数分布を示す。模型の対称性を考慮し 1/4 領域のみ表している。図 7 の分布に着目すると、いずれの  $f/B$  においても屋根の角部で正のピーク風力係数  $\hat{C}_{f, pos}$  が大きな値を示している。これは屋根の下面に大きなピーク負圧が作用するためと考えられる。図 8 の分布に着目すると、いずれの  $f/B$  の場合も  $\check{C}_{f, neg}$  の絶対値は端部(けらば)に沿った領域で大きな値を示す。これは風が斜めから吹くと屋根端部での流れの剥離によって屋根面上に円錐渦が生成され屋根上面に大きな負圧が発生したためと考えられる。

図 7, 8 の結果に基づき、荷重指針に与えられている閉鎖型円弧屋根のピーク外圧係数の規定に倣って屋根面を図 9 のように  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  の 3 領域に分割し、領域ごとに絶対値が最大となる正・負ピーク風力係数を求め、外装材用ピーク風力係数を表 1, 2 のように提案する。

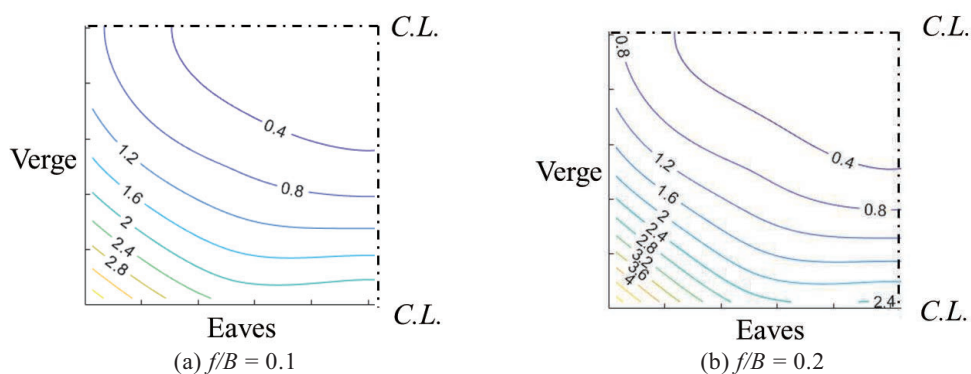


図 7 最大ピーク風力係数(正のピーク風力係数  $\hat{C}_{f, pos}$ )分布

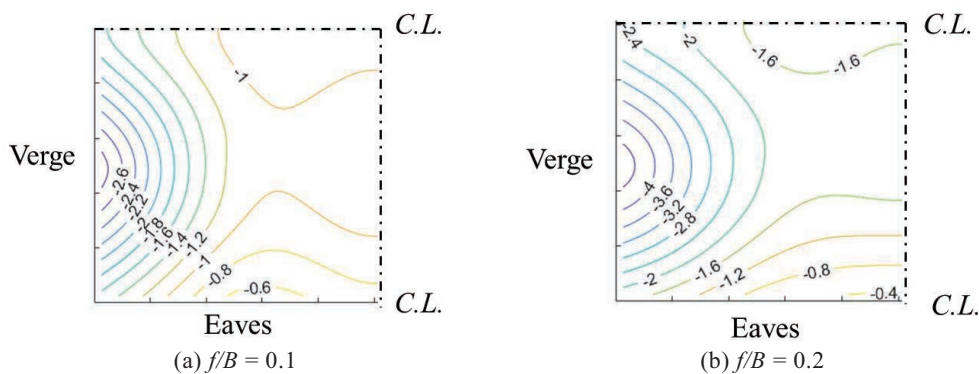


図 8 最小ピーク風力係数(正のピーク風力係数  $\check{C}_{f, neg}$ )分布



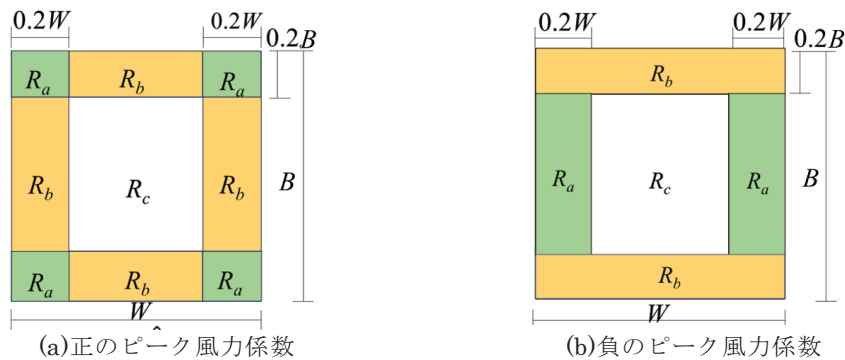


図 9 正・負のピーク風力係数に対する領域分け

表 1 外装材用正のピーク風力係数  $\hat{C}_{f\_pos}$  の提案値

区域 $f/B$	$R_a$	$R_b$	$R_c$
0.1	3.8	2.4	0.9
0.2	5.0	2.6	0.9

表 2 外装材用負のピーク風力係数  $\check{C}_{f\_neg}$  の提案値

区域 $f/B$	$R_a$	$R_b$	$R_c$
0.1	-4.6	-1.9	-2.1
0.2	-2.9	-1.6	-1.2

## 5. おわりに

本研究では、風洞実験の結果により、屋根全体面の平均風圧・風力係数分布に基づき円弧型独立上屋の風圧・風力特性を把握した。屋根面の全風向中の最大・最小ピーク風力係数分布に基づき、屋根を3領域に分割し、それぞれの領域に対して外装材用ピーク風力係数のモデルを提案した。これらの結果は構造設計者に設計根拠を提供することが期待される。

## 謝辞

本研究は能村膜構造技術振興財団の令和3年度助成金によるものである。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，2015
- 2) Natalini M.B., Morel C., Natalini B., Mean loads on vaulted canopy roofs, Journal of Wind Engineering, and Industrial Aerodynamics, 119, 102–113, 2013.
- 3) 山村朗丸，高館祐貴，植松康：曲面屋根を有する独立上屋の設計用風荷重に関する研究：その1 円弧屋根の場合，膜構造論文集，第31号，pp. 11-24, 2017.
- 4) 文礼志，植松康：円弧型独立上屋に作用する風圧の時間的・空間的変動特性に関する研究，膜構造研究論文集，第33号，pp. 39-52, 2019号，pp. 11-24, 2017.

# 災害時に避難所として利用される公共建築物の被災がもたらす 被害・事故等の想定－建築基準法に基づく定期報告内容を通して－\*

岩手大学大学院総合科学研究科／秋田県庁 若狭 潤一  
岩手大学地域防災研究センター 福留 邦洋

## 1. はじめに

近年、日本国内において毎年のように各地で自然災害が頻発し甚大な被害が発生しており、「いつ、どこで発生するか分からない自然災害」に可能な限り備えておくことが求められる。通常、被災者は、自宅等が損壊・破損して在宅での避難ができない場合、各市町村が指定する指定避難所や福祉避難所として、学校、公民館、福祉センター等の公共施設を利用することになる。避難所については、運営、室内での生活環境、建築物としての安全性等、様々な観点から検証が試みられているが、とりわけ、山田哲氏らにより近年発表された報告<sup>1)</sup>は、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震及びその余震で被災した、岩手県等の公立学校の体育館を対象に、落下、破損が人体に対する直接的な危険となる天井、窓ガラス、外壁、内壁の震動被害と、構造の震動被害や、構造形式、建築年代などの関係が報告されており、非構造部材の被害防止策を考える上で重要な資料といえる。

当該報告書は災害時に避難所として利用される公共建築物の被害調査において、非構造部材に特化したものとも捉えられると思われる。災害時に避難所として利用される公共建築物は多くの用途があるため、建築基準法により規制される内容は用途・構造・規模毎にそれぞれ異なる。また、安全安心に利用できるかどうかの調査項目は、非構造部材は勿論のこと構造躯体、廊下・階段・排煙設備・非常用照明設備等の避難施設、防火設備を含めた防火区画、建築物が建つ敷地・地盤について等多岐に渡る。

建築物は竣工してから後は、時間経過と共に過酷ともいえる近年の気候変動の中に晒され、風雨、台風、降雪、猛暑や厳冬、頻発する大小の地震等を受ける中で劣化し、訪問者・滞在者に利用される機会が多いほど破損箇所が増えていく。適正な維持管理と必要に応じて修繕が求められるが、対応が難しいのが実態と思われる。

そこで本研究では、建築物の劣化損傷の状況を比較的容易に把握できる方法として、建築基準法により調査・報告が規定されている建築物定期報告の内容<sup>(1)</sup>に着目した。災害時に避難所となる公共建築物が定期報告の調査項目に要是正の不具合があった場合において、被災した時の被害・事故等の想定をして安全安心に利用され得るのかを検討した。また、一時的のみならず長期間にわたり宿泊し利用される可能性があることも念頭に置いて考察した。

## 2. 調査の概要

### (1)調査方法

建築基準法で規定された調査項目に限定されるが、秋田県の仙北管内（大仙市、仙北市、美

---

\*Damage Assumptions of Public Buildings Used as Evacuation Center for Disaster : Contents of Periodic Reports Based on Building Standards Act by Junichi Wakasa, Kunihiko Fukutome

郷町)の建築物について、令和2年度及び令和3年度に提出された建築物の定期報告<sup>(2)</sup>報告書に記載された内容の情報収集をして集計、分析を行った。

## (2)調査内容

報告書に記載されている、①報告書の番号と調査項目(要是正の不具合の内容)、②不具合を把握した年月、③考えられる原因、④改善策の具体的内容等、⑤改善(予定)年月を中心とした全10項目。

## (3)調査内容についての検討

対象とする自然災害は、仙北管内において被災が想定される、火災、大雪、地震、土砂災害、風水害、噴火の6種類とした。集計した各調査項目に指摘があった場合において、災害の報告書等<sup>2)</sup>を基に、調査項目が災害の種類により該当対象となるかを始めとして、要是正の不具合の内容が、どのように作用して建築物等に悪影響を及ぼすかを検討した。検討内容から被害・事故等の想定をして、避難所として安全安心に利用され得るのか、どのような不安要素や危険性、注意や配慮すべき事項があるのかを類推、推測し、要是正の不具合のある調査項目数について集計した。想定数は1項目につき3つ以下とした。

## 3. 調査結果

### (1)避難所となる建築物について

2023年11月現在、秋田県の仙北管内において、定期報告対象件数は196件、うち指定避難所は81件、福祉避難所は23件、合計104件であり、建築基準法に基づく用途分類は、劇場1件、観覧場1件、公会堂2件、集会場20件、病院3件、旅館4件、福祉施設9件、学校52件、防火設備<sup>(3)</sup>12件であり、前節の検討方法により定期報告書に記載された要是正の不具合のある調査項目数について、自然災害毎に集計したものを表1として示す。調査項目に記載されている内容は破損等の程度の大小を問わず混在しているが、被災に対して安全側で考える方針で破損内容や改善(修繕の予定)内容とは無関係に全て一律に該当数として集計した。

### (2)避難所となる建築物が被災した場合の被害・事故等の想定

各自然災害で該当するとした調査項目のそれぞれについて、具体的に被害・事故等の想定をした結果を表2として示す。6種類の自然災害に共通する想定は、「防水性の低下」「落下の恐れ」が該当数として100以上となった。6種類の自然災害での該当合計数が一番多いのは「落下の恐れ」で該当数703、「防水性の低下」643、「避難の支障」503、「構造耐力の低下」278、「延焼拡大の恐れ」187、「遮煙性能の支障」111、「排煙性能の支障」83と続く。建築物が建つ敷地内の想定としては、「土砂流出入の恐れ」、「衛生上の問題」、「塀の倒壊の恐れ」等がある。また、想定の種類としては、地震、土砂災害、風水害の場合が多かった。

## 4. 考察

建築物定期報告の様式内容の特徴を加味した上で考察を加えていくと、「防水性の低下」、「落下の恐れ」が全ての自然災害で該当数が多いことで、最も劣化損傷し易く建築計画及び維持管理の重要度の高い部位が屋根・外壁面、非構造部材であることが推測できる。「避難の支障」は地震、土砂災害の該当数として一番多い。地震で151、土砂災害で139であり、「防水性の低下」、

表1 定期報告内容において要是正の不具合のある調査項目数(用途別)

用途	建築年月日	延べ面積	構造1	構造2	構造3	地上階数	地下階数	火災	大雪	地震	土砂災害	風水害	噴火	用途	建築年月日	延べ面積	構造1	構造2	構造3	地上階数	地下階数	火災	大雪	地震	土砂災害	風水害	噴火		
劇場A	1980-10-01	2803.42	RC			3	1	3	3	5	5	5	3	学校M	1992-05-25	5446.13	RC	S			3	0	1	1	2	2	2	1	
観覧場A	2004-10-07	5271.81	RC	S		2	0	2	2	4	4	4	2	学校N	1978-04-01	4634.1	RC	S			3	0	1	1	3	3	3	2	
公会堂A	2002-10-10	2204.9	S			2	0	0	0	3	3	3	0	学校O	1984-04-01	8720.61	RC	S			3	0	5	5	7	6	7	5	
公会堂B	1998-11-20	4614.3	SRC			2	0	8	8	13	11	13	8	学校P	1982-04-01	5643.5	RC	S			3	0	4	4	6	6	6	4	
集会場A	1980-04-28	1201.33	S			2	0	6	5	9	8	8	3	学校Q	1989-04-01	7700.99	RC	S			3	0	12	11	14	14	18	9	
集会場B	1978-08-11	931.7	S			2	0	5	5	9	7	8	5	学校R	1972-04-01	4546	RC	S			2	0	0	0	1	1	1	0	
集会場C	1981-07-10	1201.33	RC	S		2	0	5	5	7	7	7	4	学校S	1980-04-01	3227.98	RC	S			2	0	1	1	5	5	5	1	
集会場D	1980-03-10	1187.25	RC	S		2	0	3	4	7	6	7	2	学校T	1989-04-01	3773	S	RC			2	0	1	1	4	4	4	1	
集会場E	1980-05-12	950.36	RC	S		2	0	5	5	9	8	9	5	学校U	1994-12-19	7073.56	RC	S			3	0	1	1	4	4	4	1	
集会場F	1982-02-22	2577.33	RC	S		3	1	1	1	4	2	3	1	学校V	1979-01-01	5878.66	RC	S	W			2	0	4	4	6	6	4	
集会場G	1983-01-26	1574	RC	SRC		2	0	8	8	13	12	13	7	学校W	1965-04-01	4657.05	RC					2	0	5	5	7	6	6	5
集会場H	1988-04-01	1149.84	RC	SRC		2	0	7	7	10	8	14	5	学校X	1986-03-01	4874.44	RC	S			2	0	4	4	7	6	7	4	
集会場I	1979-04-01	687.43	RC	S		1	0	3	3	6	4	6	3	学校Y	1977-04-01	4082.86	RC	S			2	0	4	4	6	5	6	4	
集会場J	1983-04-01	1585.45	RC			2	0	0	0	1	1	1	0	学校Z	1982-04-01	3885.58	RC	S			2	0	2	2	3	3	3	2	
集会場K	1991-07-01	899.74	RC	S		2	0	6	6	8	7	8	5	学校AA	1983-10-25	3402.34	RC	S	S			3	0	1	1	2	2	2	1
集会場L	1994-03-30	3866.12	RC	S		2	0	1	1	3	2	2	0	学校AB	1987-04-01	2920.08	RC	S			2	0	1	1	1	1	1	1	
集会場M	1994-03-24	4489.14	RC	S		4	1	0	0	4	2	3	0	学校AC	1963-04-01	5688.5	RC	S			2	0	0	0	2	2	2	0	
集会場N	1985-12-01	2562.41	RC	S		2	0	5	5	10	9	14	4	学校AD	1980-12-22	4051.9	RC	S			3	0	0	0	1	1	1	0	
集会場O	1996-04-01	2535.34	S			2	0	0	0	1	1	1	0	学校AE	1988-12-01	5094.87	S	RC			2	0	2	2	3	3	3	2	
集会場P	2000-01-12	6759.22	RC	S		3	0	3	4	10	6	8	2	学校AF	1978-12-01	4521	RC	S			3	0	0	0	1	1	1	0	
集会場Q	2009-10-26	2949.59	RC	S		2	0	0	0	2	1	1	0	学校AG	1976-04-01	5654.43	RC	S			2	0	3	3	5	5	5	3	
集会場R	1994-03-30	2078.5	RC	S		2	0	0	0	3	2	2	0	学校AH	2004-11-12	3693.23	W					2	0	4	4	11	7	10	4
集会場S	2010-10-12	1231.4	RC	S		1	0	2	3	4	4	4	2	学校AI	1996-04-01	2817.51	RC	S			2	0	4	4	6	6	6	4	
集会場T	1989-04-01	1837.47	W			1	0	3	3	4	4	4	3	学校AJ	1998-04-01	1798.48	RC					2	0	1	1	3	1	2	1
病院A	1997-05-15	4519.81	S			3	0	2	2	3	3	3	2	学校AK	1981-04-01	2633.51	RC					2	0	7	7	12	8	11	7
病院B	1997-06-24	4058.68	RC			3	0	0	0	1	1	1	0	学校AL	1990-09-01	6729.59	S	RC				3	0	3	3	3	3	3	3
病院C	2003-03-14	4200.03	S			2	0	0	0	0	0	0	0	学校AM	1991-05-31	2825.5	RC	S			2	0	1	1	2	2	2	1	
旅館A	1976-04-16	2938.46	RC	S		3	0	0	0	0	0	0	0	学校AN	1996-02-06	3343.01	RC	S			2	0	6	6	6	6	6	6	
旅館B	1993-04-01	2244.93	RC	S		2	0	2	2	6	5	5	1	学校AO	1994-04-01	5179.59	RC	S			2	0	0	0	2	2	2	0	
旅館C	1997-04-01	2841.76	RC	S		3	0	3	3	4	4	4	2	学校AP	2008-02-18	7993.16	RC	S			3	0	3	3	5	5	5	3	
旅館D	2000-04-30	1881	RC	W		2	0	2	5	8	6	7	3	学校AQ	2008-01-17	5926.56	RC	S			2	0	0	0	0	0	0	0	
福祉施設A	2014-02-15	3614.81	S			2	0	0	0	1	0	0	0	学校AR	2012-11-30	5023.51	RC	W			2	0	4	4	5	5	5	4	
福祉施設B	2000-02-18	4430.62	RC			2	0	3	3	5	5	5	3	防火設備A	2000-02-21	2597.99	RC					2	0	0	0	0	0	0	0
福祉施設C	2011-03-15	4929.78	S			3	1	2	2	4	3	4	2	防火設備B	1994-03-07	3049.54	RC					2	0	0	0	1	1	1	0
福祉施設D	2004-02-18	9137.97	RC			3	0	2	2	6	4	5	2	防火設備C	2015-02-27	4318.44	W	S				1	0	0	0	0	0	0	0
福祉施設E	1995-08-01	4214.91				2	0	0	0	0	0	0	0	防火設備D	1985-06-19	2264						1	0	0	0	0	0	0	0
福祉施設F	2016-03-28	8574.61	S			3	0	1	1	2	2	2	1	防火設備E	1999-03-15	3120.65	RC					1	0	0	0	1	1	1	0
福祉施設G	1997-03-17	4116.25				2	0	0	0	1	1	1	0	防火設備F	2000-03-15	3214.57	S					1	0	0	0	1	1	1	0
福祉施設H	2010-02-19	5247.64	S			2	0	0	0	1	1	1	0	防火設備G	1989-03-22	2862.02	RC					1	0	0	0	1	1	1	0
福祉施設I	2019-02-28	2600.76	S			3	0	0	0	0	0	0	0	防火設備H	1999-01-26	4407.18	RC					1	0	0	0	0	0	0	0
学校A	1978-04-01	17392.06	RC	S		3	0	4	5	8	7	8	4	防火設備I	2001-03-05	4240.68	RC					1	0	0	0	0	0	0	0
学校B	1978-12-15	2998.8	RC	S		2	0	0	0	1	1	1	0	防火設備J	1993-11-30	3041.01	RC					1	0	0	0	0	0	0	0
学校C	1985-04-01	5987.41	S	RC		3	0	0	0	0	0	0	0	防火設備K	2002-03-31	3270.6	S					1	0	0	0	0	0	0	0
学校D	1966-04-01	4270.33	S	RC		3	0	0	0	0	0	0	0	防火設備L	2005-07-29	4382.71	S					1	0	0	0	0	0	0	0
学校E	1986-08-04	3275.8	RC	S		2	0	0	0	1	1	1	0	学校(県)A	1990-03-01	7385	W					2	0	1	1	4	3	4	1
学校F	1980-12-25	3439.86	RC	S		3	0	2	2	3	3	3	2	学校(県)B	2016-03-01	17063	RC	S	W			3	0	0	0	0	0	0	0
学校G	1988-05-20	2920.3	RC	S		2	0	1	1	3	3	3	1	学校(県)C	改築中		S					1	0	0	0	1	1	1	0
学校H	1987-04-01	12610.08	RC	S		3	0	2	2	5	5	5	2	学校(県)D	1972-03-01	15694	RC	S				4	0	0	0	2	2	2	0
学校I	1970-04-01	5036.25	RC	S		4	0	2	2	8	8	8	1	学校(県)E	2015-03-01	12498	RC	S	W			4	0	0	0	0	0	0	0
学校J	1980-04-01	4560.94	RC	S		2	0	0	0	1	1	1	0	学校(県)F	2016-03-01	4914	RC	S				4	0	0	1	1	1	1	0
学校K	1968-04-01	5848	RC	S		2	0	2	2	4	4	4	2	学校(県)G	2016-04-01	1703	W	S				2	0	0	0	0	0	0	0
学校L	1996-04-01	5711.52	RC	S		2	0	3	3	4	4	4	3	学校(県)H	1982-09-01	9463	RC	S	W			3	0	1	1	1	1	1	1

※指定避難所は白、福祉避難所は灰色で色を分けた。用途の分類は建築基準法の規定による。福祉施設は正式な表記は児童福祉施設等であり、今回の集計では全て老人福祉施設であった。要是正の不具合のある調査項目数とは補修・改修の必要があるものとして定期報告書に記載された調査項目のうち、各自然災害で支障があると想定した項目数を計上したものと。

「落下の恐れ」よりも多い。風水害で一番多いのは「落下の恐れ」の163で、「避難の支障」139、「防水性の低下」105となっている。風水害の「落下の恐れ」163が災害別項目別の全ての該当数の中で一番大きな数値となった。「構造耐力の低下」は地震、土砂災害で多く、躯体の劣化をもたらす一因であることが類推できる。「延焼拡大の恐れ」は地震、土砂災害、風水害で多く、防火区画や防火設備等の破損が延焼をもたらすことが類推できる。敷地内では、「土砂流入の恐れ」、「衛生上の問題」、「塀の倒壊の恐れ」等があり、大雪、地震、土砂災害、風水害も



表2 定期報告内容における各項目の不備がもたらす被害・事故等の想定（災害毎） 該当数 比率（単位：％）

火災	数	比率	大雪	数	比率	地震	数	比率	土砂災害	数	比率	風水害	数	比率	噴火	数	比率
構造耐力の低下	43	14.0	構造耐力の低下	47	15.1	衛生上の問題	7	1.1	延焼拡大の恐れ	53	9.9	安全上の問題	12	2.0	構造耐力の低下	43	14.8
類焼の恐れ	2	0.7	類焼の恐れ	4	1.3	延焼拡大の恐れ	67	11.0	構造耐力の低下	59	11.0	衛生上の問題	6	1.0	類焼の恐れ	4	1.4
避難の支障	31	10.1	土砂流出入の恐れ	2	0.6	構造耐力の低下	64	10.5	類焼の恐れ	4	0.7	延焼拡大の恐れ	67	11.3	避難の支障	14	4.8
防水性の低下	106	34.5	避難の支障	29	9.3	類焼の恐れ	4	0.7	土砂流出入の恐れ	2	0.4	構造耐力の低下	22	3.7	防水性の低下	105	36.2
落下の恐れ	104	33.9	塀の倒壊の恐れ	1	0.3	土砂流出入の恐れ	2	0.3	避難の支障	139	26.0	類焼の恐れ	4	0.7	落下の恐れ	104	35.9
消火活動等の支障	2	0.7	防水性の低下	105	33.7	避難の支障	151	24.8	塀の倒壊の恐れ	1	0.2	土砂流出入の恐れ	2	0.3	消火活動等の支障	2	0.7
排煙性能の支障	13	4.2	落下の恐れ	103	33.0	塀の倒壊の恐れ	1	0.2	防水性の低下	105	19.6	避難の支障	139	23.5	排煙性能の支障	12	4.1
歩行の支障	6	2.0	消火活動等の支障	2	0.6	防水性の低下	117	19.2	落下の恐れ	104	19.4	塀の倒壊の恐れ	1	0.2	歩行の支障	6	2.1
			排煙性能の支障	13	4.2	落下の恐れ	125	20.5	フラッシュオーバーの恐れ	2	0.4	防水性の低下	105	17.7			
			歩行の支障	6	1.9	フラッシュオーバーの恐れ	5	0.8	煙の拡大の恐れ	6	1.1	落下の恐れ	163	27.5			
						煙の拡大の恐れ	6	1.0	消火活動等の支障	2	0.4	フラッシュオーバーの恐れ	5	0.8			
						消火活動等の支障	2	0.3	排煙性能の支障	15	2.8	煙の拡大の恐れ	6	1.0			
						排煙性能の支障	15	2.5	歩行の支障	6	1.1	消火活動等の支障	2	0.3			
						歩行の支障	6	1.0	遮煙性能の支障	37	6.9	排煙性能の支障	15	2.5			
						遮煙性能の支障	37	6.1				歩行の支障	6	1.0			
											遮煙性能の支障	37	6.3				
	307	100		312	100		609	100		535	100		592	100		290	100

※被害・事故等の想定数100以上は灰色でマークした。「類焼の恐れ」とは外壁、軒裏及び外壁の開口部で延焼のおそれのある部分の劣化・損傷により類焼（もらい火）し、火災の危険性が高まる恐れがあること、「防水性の低下」とは屋根、外壁仕上げ材等が劣化・損傷し雨水が浸入、防水性能の低下の恐れがあること、「落下の恐れ」とは建物外部の外壁仕上げ材、窓等や建物内部の天井材等の非構造部材が落下する恐れがあること、「消火活動等の支障」とは、窓サッシ等開口部の破損により、救助や消火活動に支障が出る恐れがあること、「排煙性能の支障」とは排煙設備（自然排煙や機械排煙）の作動に支障が出て排煙に支障が出る恐れがあること、「歩行の支障」とは屋上面の劣化・損傷により歩行に支障が出る恐れがあること、「土砂流出入の恐れ」とは敷地内の擁壁が劣化・損傷して土砂が流出入する恐れがあること、「衛生上の問題」とは敷地内排水施設の破損により、汚水が敷地内に溜まり不衛生となる恐れがあること、「フラッシュオーバーの恐れ」とは不燃性の内装材が脱落・損傷して火災が発生した場合フラッシュオーバーの恐れがあること、「煙の拡大の恐れ」とは建物内部の防火区画（堅穴区画）が破損して火災が発生した場合に煙が建物内に広がる恐れがあること、「遮煙性能の支障」とは防火区画を構成する防火設備が破損、開閉に支障が出て遮煙性能に支障が出る恐れがあること、「安全上の問題」とは石綿（煙突内部）が飛散する恐れがあることをそれぞれ表す。

被害を引き起こす可能性があり、擁壁や塀、排水施設の破損が原因となることが推測できる。集計数のみでは単純に比較はできないが、被害・事故等の傾向は類推、予測できると考える。

避難施設等の規定は建築基準法において重要度が高く定期報告の調査項目の種類も多く、建物の用途により規制内容が異なる。また表2において「避難の支障」の該当数が災害毎に差が

出ているため考察を進めていく。「避難の支障」について建築基準法の用途別に全災害について集計した結果を表3として示す。

表3 「避難の支障」想定 調査結果表の主な調査項目毎の全該当数の集計【用途別】

用途等 建物数 調査項目	学校 52件	劇場1件, 観覧場1件, 公会堂 2件, 集会場20件(集会用途)	病院3件, 旅館4件, 福祉施設9件(宿泊用途)	防火設備12件	計
敷地・地盤の不陸等	3	5	4		12
防火設備(防火扉等)	146	27	15	12	200
廊下・出入口・階段等	19	48	10		77
排煙設備等	0	67	18		85
非常用の進入口等	10	2	0		12
非常用の照明装置	9	78	30		117
計	187	227	77	12	503
建物1件あたりの不具合数	3.6	9.5	4.8	1.0	18.9

※建物用途は、建築基準法上の規制内容がおおよそ類似している用途毎に分けた。調査項目は該当している項目のみを選択した。該当数は、火災・大雪・地震・土砂災害・風水害・噴火の災害想定をした全ての数値を表す。

建築基準法では一般的な学校の使用形態では火災発生の危険性が少なく、避難も容易であると考え、用途が学校の建築物は、内装制限、排煙設備、非常用照明設備の規定が緩和されており、定期報告書の記載の対象とはならない。排煙設備、非常用照明設備に要是正の不具合があった場合「避難の支障」想定をしているが、建物の対象全数である避難所104件の内、半数の52件が学校であり避難規定が緩和されていても、「避難の支障」の該当数が地震、土砂災害で一番多い。表3により、防火扉や防火シャッター等の防火設備に要是正の不具合が多く項目数は146であったことが一因と考えられる。廊下・出入口・階段等、非常用の進入口等の不具合も目立つが、総じて建物1件あたりの不具合数が少なく、規定の緩和が関係していると考えられる。ただし災害が発生し避難所となる場合、使用が長期間に渡り宿泊も想定されることを考えると法の規制に矛盾が出てくると思われ、避難所としての利用形態に応じた対策は必要と考えられる。規定では設置不要の非常用照明装置の記載があるが、夜間利用等への配慮やセミナーハウス等が該当すると思われる。劇場、観覧場、公会堂、集会場では、非常用照明装置や排煙設備等の不具合が多く建物件数は学校よりも少ない24件だが、不具合項目の合計が227、建物1件当たりの不具合数も9.5と多い。病院、旅館、福祉施設でも非常用照明装置と排煙設備等の不具合が多い。全用途に共通する不具合に階段があるが、既存不適格<sup>(4)</sup>となる手すりの未設置が多く避難所として高齢者等の利用が想定される場合は対策が必要と考えられる。

## 5. おわりに

本調査を通じて以下の課題等が挙げられる。

- ①補修改修を延期すると外壁仕上げ材や屋上仕上げ材の劣化・破損が原因の防水性の低下の恐れが高まる。外壁では特に仕上げ材のタイル、ガラスの破損も含めた窓等の開口部、建物内部では、特定天井<sup>(5)</sup>を含めた天井等の非構造部材の落下の恐れが高まる。2011年(平成23年)の東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)では、天井の落下が多数発生し人命が犠牲になったのみならず、避難所に指定されていた体育館が使用不能になる等の障害が発生した。避難所の使用開始日が予測できず、かつ、緊急の使用を必要とすることを考えると日頃の維持管理が望まれる。

- ②防火設備と階段手すりの既存不適格が多く見られた。建築基準法上は違法とはならないが、利用者の避難時の安全性を考えると、建物の所有者・管理者に対しては、特に防火シャッターに挟まれて死亡等の事故が多数発生したこと、それにより法が改正されたことの趣旨を説明して理解を求めた上での早急な改修が望まれる。
- ③定期報告の記載内容と過去の災害被害報告書等の内容を比較・検討し、被害・事故等の想定をする中で、避難所を使用する際に支障となる事象を引き起こす原因が自然災害毎に異なることが確認・認識できた。被害の実態を把握することで建物を設計する際の建築計画や竣工後の維持保全管理の参考・検討事項になると思われる。
- ④避難所を安全安心に利用するためには建物のみでなく、避難時や利用時に支障とならないようにするため、敷地内の擁壁、塀、排水施設等を適正に維持管理することが望まれる。

#### 補注

- (1)調査の核となる建築物定期報告内容は、対象となる建築物の維持管理を適正に行い安全確保を図ることが本来の目的であり、様式の構成は建築物が被災した場合の被害・事故等の想定をするためには作られていない。
- (2)定期報告の対象は、建築物、非常用照明装置、中央管理方式の換気設備、排煙設備、防火設備、昇降機があるが、対象が建築物となる建物のみとした。建築物の調査報告内容では、非常用照明装置、排煙設備、防火設備等の調査概要を記入するため、今回の研究内容や方向性を考えた場合、不要であると判断した。定期報告内容の確認作業は業務の一環として行ったものの、本原稿作成は通常業務とは区別した。なお、本論考の見解は所属する組織のものではなく若狭個人の見解である。
- (3)建築物の防火扉や防火シャッター等の防火設備に対してのみ定期報告提出義務があるもので、今回の調査対象施設では全てが老人福祉施設であった。
- (4)既存不適格とは建築基準法の改正により現在の基準に合わなくなることで、法改正後の新しい基準に適合しない部位を指す。階段手すりは、2000年（平成12年）に法が改正され設置が規定される以前の建築物には手すりの未設置が多い。防火設備の場合、2005年（平成17年）に法が改正された危害防止装置の未設置が多い。
- (5)特定天井とは建築基準法施行令第39条第3項により構造方法が定められており、吊り天井であり、人が日常立ち入る場所に設けられ、高さが6m超、水平投影面積200㎡超、天井面構成部材等の単位面積質量が2kg/㎡超のもので、大空間の天井が主な対象となる。

#### 参考文献

- 1)山田 哲, 江口 亨, 松本由香, 清家 剛, 伊山 潤, 熊谷亮平, 島田侑子: 東北地方太平洋沖地震および余震による学校体育館の構造特性と非構造部材の震動被害, 「日本建築学会技術報告集」, 第20巻, 第46号, 981-986, 2014年10月
- 2)検討の参考とした災害の主な報告書等は例えば次のとおり。  
**火災:** 樋本圭祐, 秋元康男, 黒田 良, 北後明彦, 田中喙義: 地震動に建物構造被害と火災加熱による損傷の進行を考慮した地震火災延焼性状予測モデル, 「日本建築学会環境系論文集」, 第75巻 第653号, 543-552, 2010年7月  
 竹谷修一, 樋本圭祐, 水上点晴, 鍵屋浩司, 岩見達也: 平成28年(2016年)12月22日に発生した新潟県糸魚川市における大規模火災に係る建物被害調査報告書, 「国土技術政策総合研究所資料」, ISSN 1346-7328, 国総研資料, 第980号, 「建築研究所資料」, ISSN 0286-4630, 建築研資料, 第184号, 86p, 2017年7月  
**大雪:** 苫米地司: 豪雪時の建築被害と対策, 「日本雪工学会誌」, 第14巻 第2号, 47-50 1998年4月  
 山形敏明, 苫米地司: 冬期間における避難施設の現状と対策について, 「日本雪工学会誌」, 第12巻, 第2号, 3-10 1996年  
 長野県住宅部: 「雪に強いすまいづくり 平成18年豪雪の被害例と解説」, 2006年12月  
**地震:** 国土交通省 国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人 建築研究所: 「平成28年10月21日14時07分頃の鳥取県中部の地震による建築物等被害調査報告」, 平成28年12月19日(最終更新平成29年3月31日)  
 国土交通省 国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人 建築研究所: 「平成28年(2016年)熊本地震による建築物等被害第十四次調査報告(速報)(自治体体育館等の特定天井を中心とした非構造部材の被害調査)」, 2016年11月30日  
**土砂災害:** 国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人建築研究所: 「平成26年8月20日に広島市で発生した土砂災害における建築物被害調査(主に鉄筋コンクリート造建築物の被害把握)」, 2014年10月3日  
**風水害:** 国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所: 「令和元年台風第15号に伴う強風による建築物等被害 現地調査報告(速報)」, 2019年10月24日  
 国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所: 「令和元年10月12日に千葉県市原市で発生した建築物等の竜巻被害 現地調査報告」, 2019年12月19日  
**噴火:** 日本建築学会火山災害対策特別調査委員会: 「火山災害対策特別調査委員会」活動報告書, 2018年3月  
 久保智弘, 吉本充宏: 火山岩塊による火口近傍建物被害と即時被害調査用シートの開発, 「日本建築学会技術報告集」, 第26巻 第64号, 1282-1287, 2020年10月

## 水害リスク情報に対する情報利用者の認識\*

静岡大学防災総合センター 牛山素行  
 山梨大学地域防災・マネジメント研究センター 佐藤史弥  
 山梨大学地域防災・マネジメント研究センター 秦 康範

### 1. はじめに

水害時に個人1人1人に対し行政機関が適切な行動を手取り足取り指南することは困難であり、各自が「自らの命は自らが守る」事が重要であることが、「避難情報に関するガイドライン」(内閣府, 2022)等でも強調されている。こうした判断を支えるための情報源として、ハザードマップや防災気象情報などが積極的に整備されているが、ハザードマップで示された危険性が適切に読み取られていない懸念(村越ら, 2020)や、防災気象情報の意味が十分理解されていない可能性(牛山, 2014)なども指摘されている。筆者らはこうした問題意識から調査を行っており、主に土砂災害に関する情報への認識について秦ら(2023)として一部を発表した。本報では、主に水害に関する基本的な言葉や概念に対する認識について報告する。

### 2. 調査手法

調査は、楽天インサイトに登録するネットモニターを対象に、2023年3月10日～13日に実施した。調査対象は、①東京都・神奈川県・埼玉県、②山梨県の2地域とした。以下では①を「東京周辺」、②を「山梨」と呼ぶ。「東京周辺」の回答者は東京都、神奈川県、埼玉県に居住するモニター684名である。3県ごとに性別、年代(20代、30代、40代、50代、60代、70代)で割付を行い、各性別・年代の回答者数が同数となるようにした。「山梨」の回答者は山梨県に居住するモニター700名である。大都市圏以外の地域では登録モニター数に限りがあることから、「山梨」では性別、年代の割付はせず、有効回答が700件に達した時点で締切った。結果的に「山梨」回答者の年代構成は20-30代20.0%、40-50代51.9%、60代以上28.1%となり、40-50代の回答者に偏在している。

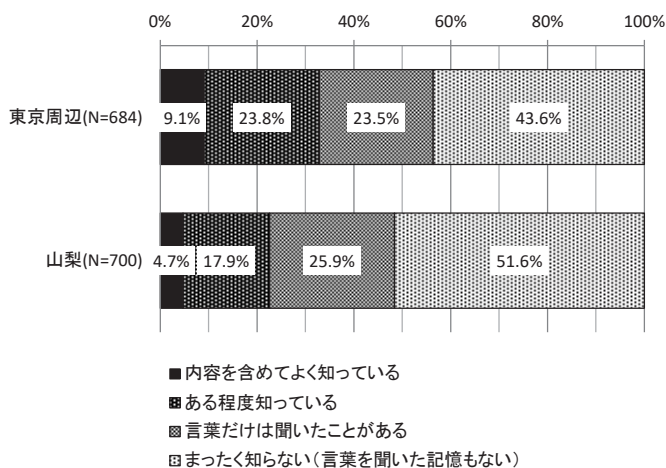


図1 「外水氾濫」の言葉への認識

\*An analysis of understanding of users for flood disaster risk information by Motoyuki Ushiyama, Fumiya Sato and Yasunori Hada



### 3. 結果

#### (1)外水氾濫・内水氾濫という言葉に対する認識

「水害を発生させる氾濫には主に以下の2つがあります」と述べた上で、「外水氾濫」と「内水氾濫」の言葉を挙げ、「それぞれの氾濫についてご存じですか」と尋ねた結果が図1、図2である。外水氾濫(図1)について「内容を含めてよく知っている」「ある程度知っている」の回答の比率をこれらの言葉に対する認知率と考えると、東京周辺では32.9%，山梨では22.6%で、内水氾濫(図2)については同31.5%，21.6%だった。

内水氾濫と外水氾濫では認知率に大きな差は見られない。いずれも山梨の方がやや低いが、その差は10%程度である。また、「全く知らない」がいずれも5割前後見られることも注目される。「外水氾濫」「内水氾濫」のいずれについても、その言葉を「知っている」と考える回答者は2~3割程度と少数派で、広く一般的に知られているとは言えなさそうである。

#### (2)外水氾濫・内水氾濫の意味に対する認識

それぞれの言葉を「知っている」と自己評価していても、その意味を適切に認識しているとは限らない。そこで、「内容を含めてよく知っている」「ある程度知っている」とした回答者に対し、外水氾濫、内水氾濫それぞれについての説明文を挙げ、「水害を発生させる氾濫の説明文をあげますので、あてはまると思う現象を

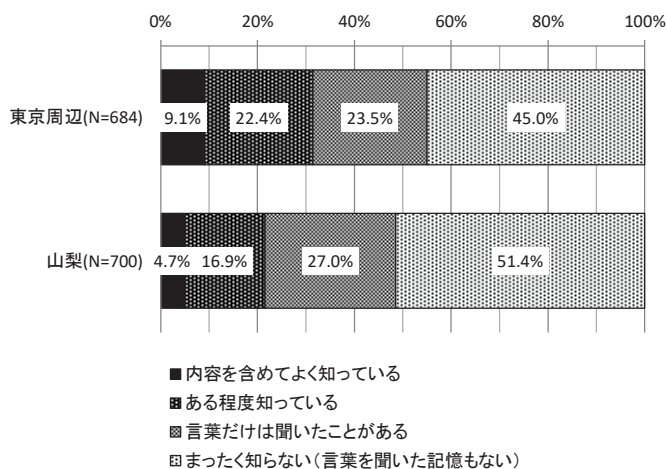
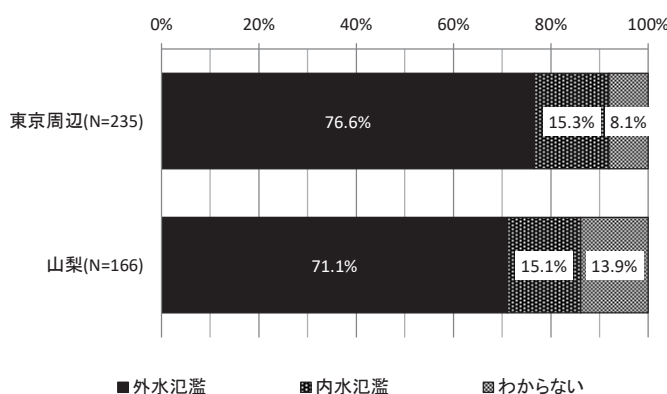
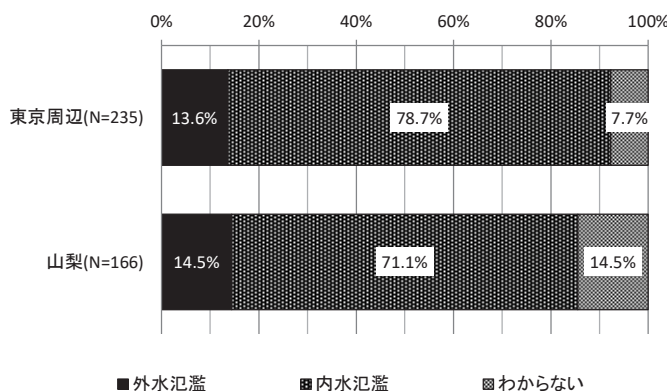


図2 「内水氾濫」の言葉への認識



#### 川の水位が上がり、川から水が宅地などに流れ出す現象

図3 「外水氾濫」の意味に対する認識



#### 雨水が排水できなくなり、宅地などにあふれる現象

図4 「内水氾濫」の意味に対する認識

1つ選んでください」と尋ねた。他の説明文は挙げておらず実質的に二択の質問である。

「川の水位が上がり、川から水が宅地などに流れ出す現象」を外水氾濫といわば「正解」した回答者は東京周辺 76.6%、山梨 71.1%だった(図 3)。言葉の内容を「知っている」と考えていても、適切に理解している回答者は7割程度とみられる。なお、全回答者に対する比にすると東京周辺 26.3%、山梨 16.8%となった。「雨水が排水できなくなり、宅地などにあふれる現象」を内水氾濫と「正解」した回答者は東京周辺 78.7%、山梨 71.1%で、全回答者に対する比はそれぞれ 27.0%、16.9%だった(図 4)。外水氾濫と回答の傾向は大きく変わらない。

外水氾濫・内水氾濫の言葉を認知し、その意味を適切に理解している回答者は全体の2割前後にとどまるとみられる。また、実質的な二択の質問であるにもかかわらず「わからない」の回答も1割前後見られ、判別が容易でないと考える回答者も一定数存在していると思われる。

### (3) 浸水想定区域外での洪水災害の危険性に対する認識

水害関連のハザードマップで誤解されやすい点について説明した文を挙げ、それらを正しいと思うか4件法で尋ねた。

まず、「川に沿った場所であっても、洪水の浸水想定区域でなければ、洪水災害が起こる可能性は低い」を挙げた。中小河川などでは、地形的に洪水の可能性のある地形分類上の「低地」であっても浸水想定区域に指定されていないケースはしばしば見られ、この説明文は「正しい」とは言えないものである。

しかし結果は、「どちらかと言えば正しくない」「正しくない」との適切な回答は東京周辺 58.6%、山梨 56.5%と、いずれも半数強にとどまった。「わからない」も東京周辺 21.6%、山梨 24.6%と2割程度見られ、判断に迷う回答者が少なくない情報であることも示唆された。さらに、「正しい」

「どちらかといえば正しい」というあまり適切でない回答が、東京周辺 19.8%、山梨 18.9%と2割程度も見られたことは注目される。ハザードマップ(浸水想定区域)は洪水災害の危険性を正確に示しており、浸水想定区域となっていないところは安全であると捉える人が少なからず存在している可能性がある。

### (4) 一定標高以上での洪水災害の危険性に対する認識

「川に沿った場所であっても、標高が 50m 以上であれば、洪水災害が起こる可能性は低い」との説明文を挙げた。洪水は、河川と相対的に同程度の標高の箇所主に生じうるものであり、

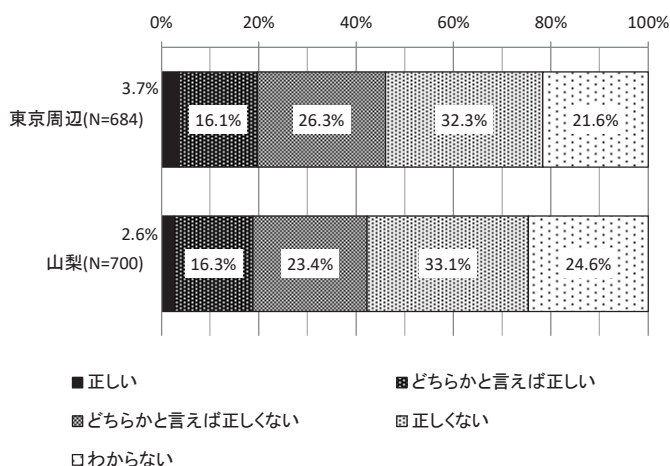


図 5 「川に沿った場所であっても、洪水の浸水想定区域でなければ、洪水災害が起こる可能性は低い」についての回答

「50m」という標高の絶対値とは直接関係が無い。同一の平野や盆地内であっても、地形的に洪水が生じる地形分類上の「低地」は一定標高以下に存在するものではなく、山間部に近いところであれば標高の絶対値は高く、海岸付近であれば低くなる。したがってこれは正しいとは言えない説明文である。

回答結果は、「どちらかと言えば正しくない」「正しくない」との適切な回答は東京周辺 48.2%，山梨 50.2%と5割程度で、浸水想定区域の範囲外の洪水の可能性についての適切な回答の比率を下回った。「正しい」「どちらかといえば正しい」というあまり適切でない回答も、東京周辺 24.7%，山梨 18.3%と2割前後に上った。山梨と東京周辺で回答の傾向に大きな差が無いことも注目される。山梨県内で比較的多くの人が居住する甲府盆地では、南端の最も低いところでも標高 230m 程度、県内で最も低い県最南端の富士川付近でも 80m 程度であり、山梨県内にはそもそも標高 50m 以下の場所が存在しない。山梨県内にも洪水浸水想定区域は広く広がっており、近年大規模な風水害に見舞われてはいないものの、消防白書などでみてもほぼ毎年床上・床下浸水の被害は計上されている。こうした事実とは整合しない回答で、標高という情報が十分理解されていない可能性が考えられる。

**(5)土砂災害警戒区域の範囲外での土砂災害の危険性に対する認識**

ハザードマップに関連して、土砂災害に関する説明文に対する認識に関する結果も挙げておく。説明文は

「地形的に土砂災害が発生する可能性がある場所であっても、そこに人家がなければ土砂災害警戒区域には指定されない」である。土砂災害警戒区域は、土砂災害が発生した場合に住民などの生命又は身体に危害が生ずるおそれのある区域である。このため、地形的にがけ崩れ、地

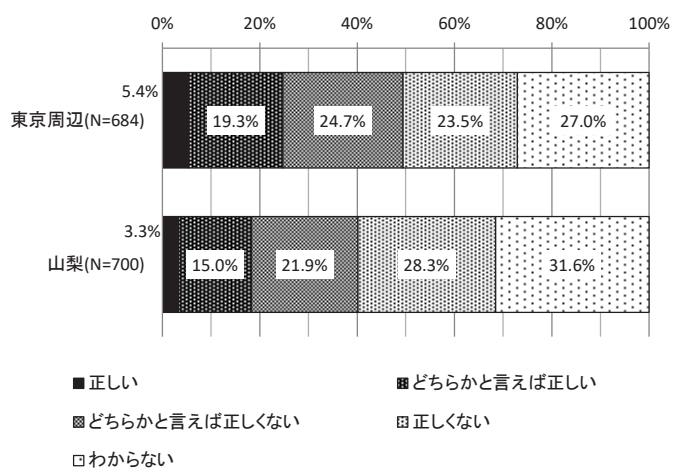


図6 「川に沿った場所であっても、標高が50m以上であれば、洪水災害が起こる可能性は低い」についての回答

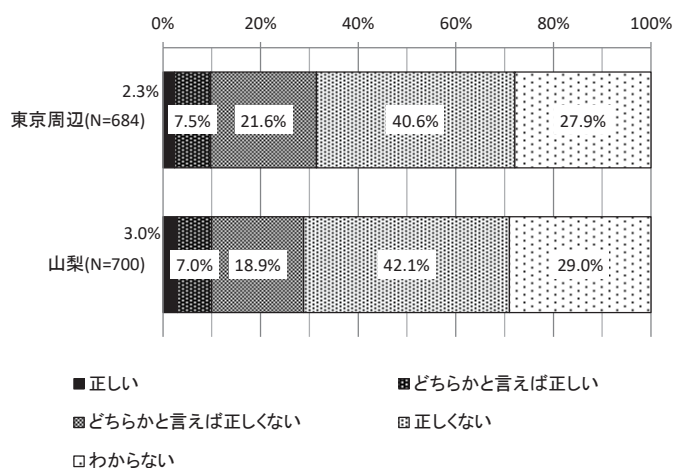


図7 「地形的に土砂災害が発生する可能性がある場所であっても、そこに人家がなければ土砂災害警戒区域には指定されない」についての回答

すべり、土石流などの土砂移動現象が発生しうる場所であっても、そこに住家等がなければ土砂災害警戒区域には指定されない。したがって、これは「正しい」説明文である。

しかし結果は、「正しい」「どちらかといえば正しい」と適切に認識していた回答者は、東京周辺 9.8%、山梨 10.0%とわずか 1 割程度にとどまった。「わからない」が東京周辺 27.9%、山梨 29.0%で、判断に迷ったとおもわれる回答者も少なくないが、「どちらかといえば正しくない」「正しくない」と、適切でない認識を持っている回答者が東京周辺 62.2%、山梨 61.0%と多数派だったことは深刻に受け止める必要がありそうである。洪水の浸水想定区域よりはるかに高い割合で、実際には土砂災害の危険性があり得る場所を安全な場所だと捉える人が存在する可能性がある。また、東京周辺と山梨で回答の傾向に大きな差は見られず、山間部が多く土砂災害警戒区域等が身近なところにあると考えられる地域であっても、特に理解が進んでいるわけではないことも示唆される。

#### 4. おわりに

「内水氾濫」や「外水氾濫」という言葉を知っている人は 3 割程度で、その意味を適切に理解している人は全体の 2 割程度にとどまった。多くの人にとっては未知の言葉と言ってよいだろう。たとえ専門的に見れば誤った用語の使い方でもなかったとしても、一般的に未知な言葉を社会に向けて用いる際には十分な注意が必要ではなからうか。たとえば 2023 年 7 月の秋田市などでの洪水災害では、内水氾濫という言葉に社会的な関心が持たれ、内水浸水想定区域図の整備を求める声が上がった(秋田魁新報, 2023)。しかし、同災害において浸水被害を受けた地域は、公開されている洪水ハザードマップで洪水浸水想定区域に指定されている場所であり、「浸水」という現象が想定されていなかった場所ではない。秋田魁新報の Web 記事では、秋田市内で内水ハザードマップが刊行されている地域について、既存の洪水ハザードマップをスライダーで重ね合わせ、内水ハザードマップではむしろ狭い範囲しか危険性が示されないことも紹介している。社会的に知られていない専門用語は、災害時にマスメディア等でも取り上げられやすい。誤解が生じないよう、その意味について丁寧な説明を行うことや、本当にその言葉を用いることが適切である慎重に検討するなどの工夫が必要ではなからうか。

洪水浸水想定区域に指定されていない場所では洪水の危険性は低いと考える人が 2 割程度、地形的に土砂災害の危険性があっても住家があれば土砂災害警戒区域に指定されないことはない考える人が 6 割程度も存在することも確認された。これは「ハザードマップで色が塗られていない場所は安全である」といった捉え方をしている人がかなりの規模存在すると理解することもできそうである。ハザードマップが有効な情報源であることは間違いないが、ハザードマップで「色が塗られている範囲」は、計算の前提条件や計算方法などにより容易に変動し、不確実性の高い情報である。過度に厳格に読み取ることは適切でないといったことを、これもまた丁寧に説明していくことが重要ではなからうか。

「標高が 50m 以上であれば、洪水災害が起こる可能性は低い」という説明を「正しくない」と回答する人が 5 割程度にとどまったことも注目された。標高という情報は、津波災害を考える場面では、「×メートル以上ならば安全」といった捉え方は適切でないにせよ、標高が高くなるほど危険性が下がっていくと捉えても大きな間違いではない。また、津波であれば危険性の



いわば基準となる標高は全国どこでも 0メートルであり、標高の絶対値で危険性の高低を理解することはそれほど不適切なことではない。しかし、洪水災害については危険性の基準となる面である河川の水面自体がわずかな距離の差でも大きく変動する場合があります、標高の絶対値を危険性の高低の目安としてはならない。

近年では国土地理院の地理院地図の「自分で作る色別標高図」機能で微妙な標高差を容易に表現することもできる。たとえば図 8 は静岡市の安倍川付近を標高 2m 間隔で色別標高図にしたものである。安倍川河口付近では標高 4m 以下の付近が津波の浸水想定区域であり、洪水の浸水想定区域でもある。しかし、河口からわずか 3km ほど上流側に行くと安倍川やその周囲でも、この色別標高図の最高標高階級の 12m 以上となる。この付近は当然洪水の浸水想定区域だが、この色別標高図で見ると安全な場所であると誤解されかねない。標高という情報は一見「わかりやすい」情報のように思えるが、今回の調査結果からは危険性の高い誤解を誘発しかねない可能性が示唆された。災害情報としては、十分注意して扱うことが重要だろう。

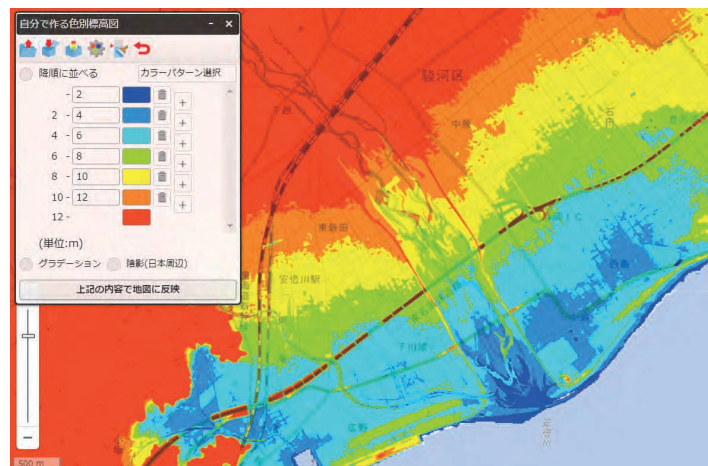


図 8 安倍川河口付近の色別標高図

**謝辞：**本研究は JSPS 科研費 18H03793 の助成を受けたものである。

## 引用文献

秋田魁新報：秋田市大雨で注目の内水氾濫 リスク把握のポイントは「地形」、2023年9月12日紙面掲載記事(<https://www.sakigake.jp/news/article/20230911AK0007/>)

内閣府：避難情報に関するガイドライン 令和3年5月(令和4年6月更新), 2022

村越真・満下健太・小山真人: 自然災害リスクはハザードマップから適切に読み取れているか?, 地図, Vol.58, No.4, pp.1-16, 2020

牛山素行: 大雨特別警報に対する洪水浸水想定区域付近の住民の認識, 自然災害科学, Vol.33, 特別号, pp.75-86, 2014

秦康範・佐藤史弥・牛山素行: 土砂災害ハザードマップの判読に関する基礎的調査, 日本災害情報学会第27回研究発表大会予稿集, pp.134-135, 2023

## 秋田市飯島地区におけるブロック塀の実態調査\*

秋田工業高等専門学校 寺本 尚史・安井 柊  
NHK テクノロジーズ 加藤 みのり

### 1. はじめに

2016年の熊本地震や2018年の大阪府北部地震など、近年の地震でもブロック塀の被害が多発している。特に2018年大阪府北部地震でのブロック塀被害を受け、秋田市でも小学校の通学路に面するブロック塀等の安全点検を実施したところ、倒壊の危険性のあるブロック塀等が550件確認されている。また秋田市では平成18年1月に改正された「建築物の促進に関する法律」に基づき、「秋田市耐震改修促進計画」<sup>1)</sup>を策定しているが、この計画では令和7年度末までに小学校通学路の危険ブロック塀の解消率を30%にすることを目標にしており、危険ブロック塀については除去工事費用の一部を補助している。安全点検で確認された危険ブロック塀のうち、令和3年1月時点で危険な状態の解消が確認された件数は65件となっており、解消率は11.8%である。しかしながら最終的な目標値(30%)を下回っており、その要因として危険ブロック塀の耐震改修への関心が低いことが挙げられる。またブロック塀の除去工事費用の補助についても小学校通学路に限定されており、それ以外の道路については補助対象外で調査も行われていないのが現状である。

そこで本研究では、秋田市飯島地区を対象としてブロック塀の耐震診断の調査を行い、損傷したブロック塀の割合や、通学路とそれ以外の道のブロック塀の損傷度の違いについての検討を行う。

### 2. 調査概要

調査対象は秋田市飯島松根地区とした。対象地区は秋田市北部に位置しており、1960年代から宅地開発が進められた地区である。そのため比較的古い住宅が多い地区となっており、ブロック塀も古いものも多く見られる。

調査対象範囲の地図を図1に示す。図中の赤線(太い線)が通学路、青色の線(細い線)が通学路以外の道路を示す。なお、通学路は児童の入学・卒業により毎年変動する可能性があるため、調査対象の通学路については、秋田市が調査を行った2018年当時のものとし、秋田市および学区内の小学校へのヒアリングにより特定した。

調査したブロック塀は、通学路66件、通学路以外129件、計195件のブロック塀である。なお、調査対象のブロック塀は道路沿いのものとし、耐震診断は平成30年に国土交通省が作成した建築物の既設の塀の安全点検のためのチェックポイント<sup>2)</sup>(図2、以下「診断表」)を用いる。これは、日本建築防災協会のパンフレット「地震から我が家を守ろう」を基に国土交通省が作成したもので、この診断表では、①塀の高さ②塀の厚さ③控え壁の有無(※1.2m超の場合控え

\* A survey of the actual conditions of the concrete block walls in Iijima area of Akita City by Naofumi Teramoto, Shu Yasui and Minori Kato

を必要とする) ④基礎の有無⑤塀の損傷具合⑥塀内の鉄筋の有無の 6 項目の点検項目で診断する。

本研究では、このうち⑥を除く目視で診断可能な①～⑤の項目を調査した。なお③の控え壁とは、ブロック塀が風や地震で倒れないようにするもので、ブロック塀が 1.2m 超の場合控え壁を必要とする。また⑤の塀の損傷具合を評価する項目では、損傷度に応じ高い順に A, B, C の 3 段階で判定した。



図1 飯島松根町地区の周辺地図

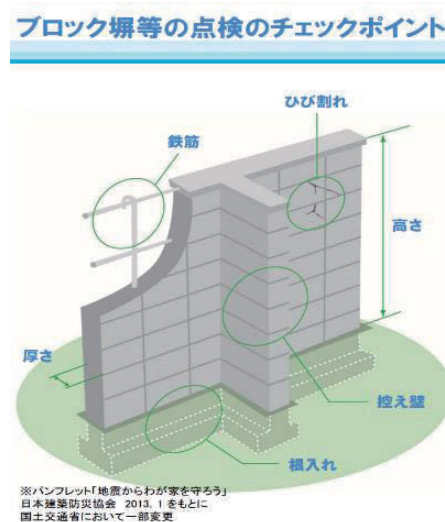


図2 ブロック塀の耐震診断内容<sup>2)</sup>

### 3. 調査結果

ブロック塀の耐震診断の結果のうち、項目①の塀の高さが高すぎないか、および項目②の塀の厚さは十分か、の項目については、調査したブロック塀全てが条件を満たしていた。

項目③の控え壁の有無および項目④の基礎の有無の結果を、図3および図4に示す。項目③の控え壁の有無の項目では、必要な控え壁がないブロック塀が 69%と高い割合となった。「診断表」ではブロック塀の高さが 1.2m を超えた場合に控え壁が必要とされているが、約7割のブ

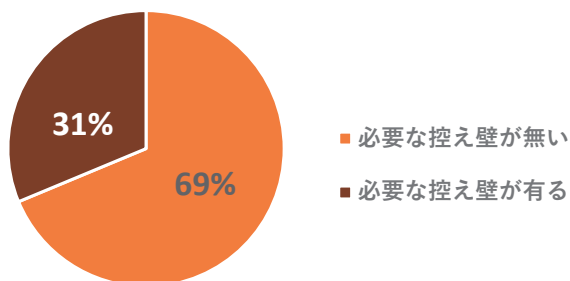


図3 必要な控え壁の有無

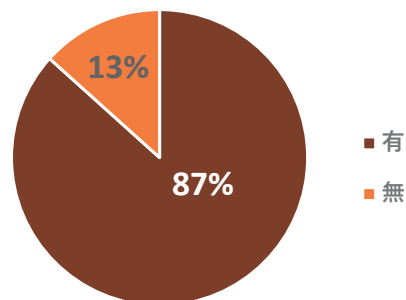


図4 基礎の有無

ロック塀がこの項目を満たしておらず、他の項目と比較しても非常に大きい値となった。これは、今回の「診断表」では高さ 1.2m 超のブロック塀には控え壁が必要と判断しているのに対し、施工時の基準では、基礎の形状や改良土を埋め戻した場合、控え壁なしの高さ限度が 1.6m 超となることも影響していると考えられる。

項目④基礎の有無については、基礎のあるものが 87%、ないものが 13%となった。なお基礎が地表面の下に隠れて視認できないブロック塀もないものとしているため、実際は基礎がない割合はより小さくなると考えられる。

次に、通学路と通学路以外における損傷度の割合(項目⑤)を示したものを図 5 に示す。通学路に面するブロック塀と通学路以外の道に面するブロック塀を比べると、損傷のあるブロック塀の割合はいずれも約 30%で大きな差はみられなかった。しかし損傷度の大きさを見ると、通学路以外の道には損傷度の大きい損傷度 A や損傷度 B 判定が多いのに対し、通学路に面するブロック塀の道では損傷度 A は見られず、損傷度の低い損傷度 C が大半を占めた。このことから、通学路以外の道に面するブロック塀の方が損傷度の高い判定が多いことが分かった。この原因としては、秋田市が小学校通学路のブロック塀に対して一度耐震調査を行っていることやその際見つかった危険ブロック塀の除去工事費用の一部を補助しており、特に危険度の高いブロック塀の除去が進んだ可能性がある事が考えられる。

今回の調査において、「診断表」の調査項目⑥を除く①から⑤までの項目において、最終的に健全な塀と判断されたブロック塀は全体の 14%となったが、これは項目③の控え壁の有無の結果が大きく影響したためである。

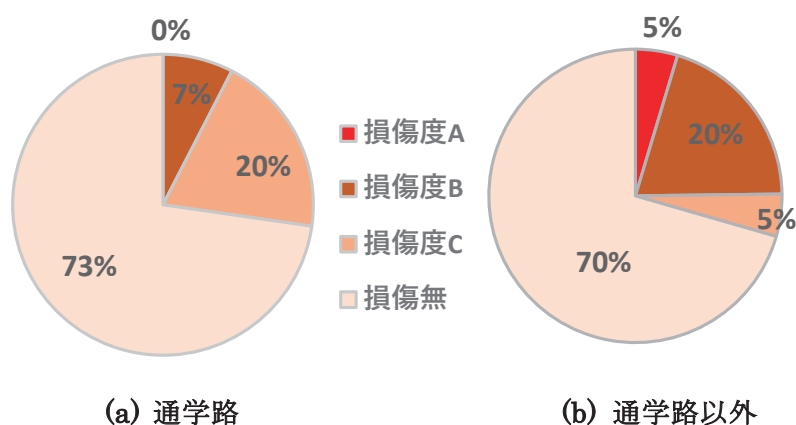


図 5 損傷度の比較

#### 4. 危険ブロック塀の解消に関する調査

秋田市の危険ブロック塀の解消に関する取り組みの効果について検証を行う事を目的として google ストリートビューのタイムマシン機能を用いた対象地区内のブロック塀の変化状況の調査を行った。調査はストリートビューの過去画像と現在の画像を比較し、過去画像で確認できたブロック塀のうち、現在の画像で変化のあったものを確認・抽出していく方法で行い、対象地区では2012年と2022年の画像を用いて比較した。またブロック塀の変化状況によって、



5 種類に分類し、通学路とそれ以外に分けて集計を行った。なお、ストリートビューの画像では、撤去されたブロック塀が危険であるかどうかの判断はつかないが、特にブロック塀のみが撤去されている場合は、平成 30 年の秋田市による耐震調査およびブロック塀の除去工事への助成が影響している可能性が高いと考えられる。

集計結果を表 1 に示す。ブロック塀に変化のあった件数は、通学路で 6 件、通学路以外で 9 件の合計 15 件となった。ブロック塀の数は通学路以外が通学路の倍近くあるため、変化率で比較すると通学路の方が通学路以外よりも変化率は高くなった。また解消状況の分類ごとの件数は表 1 に示すとおりであるが、通学路では 6 件中 5 件が塀の一部を撤去するものであったのに対し、通学路以外では 9 件中 5 件が分類(b)の”家も含めて建て替え、もしくは更地化”となった。

分類(b)については、家の建て替えや売却に伴ってブロック塀を撤去した可能性が高いと考えられるが、それ以外の項目については、老朽化して危険と判断されたブロック塀を意図的に撤去した事例も含まれていると考えられる。これらの結果から、秋田市のブロック塀の除去工事への助成等による影響で通学路以外と比べて通学路の方が危険ブロック塀の撤去が進んだと考えられる。

表 1 ブロック塀の変化の状況

ブロック塀の変化の状況		通学路	通学路以外
塀を撤去	(a)塀のみを撤去	0	1
	(b)家も含めて建て替え、もしくは更地化	1	5
塀の一部を撤去	(c)塀の上部を撤去	3	1
	(d)塀を部分的に撤去	1	0
	(e)塀の上部をフェンスに変更	1	2
合計		6	9

## 5. まとめ

本研究では、秋田市飯島松根町地区を対象に通学路と通学路以外の道のブロック塀の耐震性の違いについての検討を行った。その結果、通学路と通学路以外の道でブロック塀の損傷度の割合に大きな違いは見られなかったが、損傷度の大きさに違いが見られることや、ブロック塀の変化の状況に違いが見られることが分かった。

## 参考文献

- 1) 秋田市都市整備部建築指導課：第 2 秋田市耐震改修促進計画[令和 3 年度～令和 7 年度], pp.19-20,2021 年 3 月  
([https://www.city.akita.lg.jp/\\_res/projects/default\\_project/\\_page\\_/001/007/901/r3keikaku/zenbun.pdf](https://www.city.akita.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/007/901/r3keikaku/zenbun.pdf)) (令和 6 年 1 月 5 日閲覧)
- 2) 国土交通省：ブロック塀等の点検のチェックポイント  
(<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/blockbei.html>) (令和 6 年 1 月 5 日閲覧)

# 多文化共生に向けた外国人住民を対象とする地域防災の試み

## ～岩手県奥州市江刺地区における北上川の洪水リスク認知について～

東北福祉大学 健康科学部 医療経営管理学科 水本 匡起  
岩手県奥州市国際交流協会 ケネディ 芳子, 渡部 千春

### 1. はじめに

日本は湿潤変動帯に位置するため、諸外国に比べて自然災害が多い。東日本大震災の甚大な被害を受けて2013年に災害対策基本法が改正され、在日外国人等を含む災害時要援護者は「災害時要配慮者」と「災害時避難行動要支援者」とに分けて呼ばれるようになった。外国人がこれらの災害時要配慮者や避難行動要支援者に包含される背景には、言語の違いや情報不足、日本で起こる自然災害に対する知識不足、生活習慣の多様性などが存在していることが多数の先行研究によって指摘されている。そのため、特に外国人住民にとっては、災害時だけでなく日常的なコミュニティの存在や、近隣住民とのコミュニケーションが必要である(例えば、佐伯, 2021 など)。よって、多文化共生社会を見据えた地域防災においては、外国人住民を含む全ての住民の防災に役立つ「包括的防災対策」や(相原, 2022)、様々な取り組みや協力の過程・結果として形成あるいは再構築される「新しい地域防災コミュニティの存在」が重要となる(片岡, 2016)。

ただし、外国人住民がコミュニケーションを取るべき日本人住民の多くが、自然災害に対する知識を十分に持ち合わせているとは言い難い。例えば、各地で起こる洪水によって毎年のように犠牲者が出ている事実は、日本人住民の多くがハザードマップに描かれている自然災害リスクを十分に理解していない(諸岡ほか, 2016; 安井ほか, 2019 など)ことを如実に表している。したがって、様々な種類の自然災害が頻繁に起こる日本において、日本人住民よりも自然災害に対する知識や経験が不足している外国人住民に、母国語に翻訳しただけのハザードマップを提示するのみでは、将来で起こり得る自然災害像を理解してもらうことが困難であることは容易に想像できる(高井, 2016 など)。

このような現状を踏まえると、外国人住民の命を守る地域防災を構築していくためには、多言語に翻訳しただけのハザードマップを外国人住民に配布するだけではなく、ハザードマップに描かれている居住地域の自然災害像を、外国人住民が日常生活の中で無理なく自らイメージできる方法を構築することが重要となる。そして同時に、日本人住民も自然災害に関する十分な知識を得た上でハザードマップの意味を理解

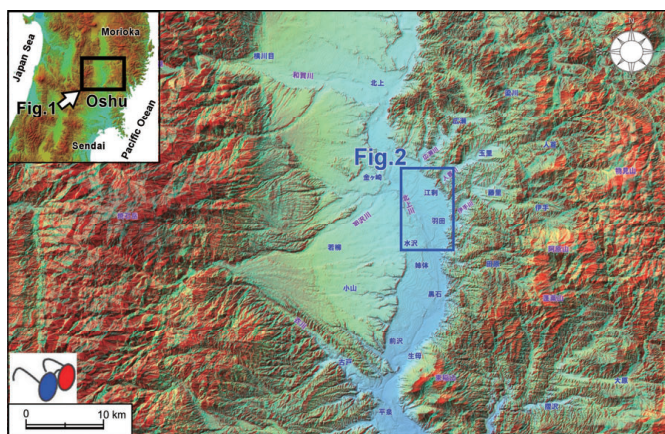


図1 対象地域位置図

国土地理院のDEMデータを用いて作成したアナグリフ立体画像。  
赤青メガネを用いて地形を立体的に見ることが可能。

\* Trial of local disaster prevention measures for foreign residents working towards multicultural inclusivity - A case study on flood risk perception of the Kitakami river in the Esashi district of Oshu city, Iwate prefecture, northeast Japan. - by Tadaki MIZUMOTO, Yoshiko KENNEDY and Chiharu WATANABE.

し、外国人住民とのコミュニティーの中で、その地域に将来起こり得る具体的な自然災害像とともに共有できることが必要となる。

そこで本研究は、外国人住民も日本人住民も現行の自治体ハザードマップの内容を実感的かつ容易に理解できる方法を探ることを目的とし、自然災害の中でも比較的発生頻度の高い「洪水」の防災対策が急務である岩手県奥州市江刺地区を研究対象地域とした。そして、北上川沿いの低地を構成する地形の理解を通して、特に外国人住民に過去に繰り返して起きた巨大洪水跡を実感的に認知してもらうことを試みた。奥州市江刺地区は、北上川の度重なる過去の巨大洪水によって形成された自然堤防や旧河道地形が明瞭に発達していることに加えて、1947年のカスリーン台風で地区のほとんどが大規模洪水による深刻な浸水被害を受けた事実もある。よって、ハザードマップの見方が十分にわからない外国人住民にとっても、これら過去の巨大洪水の痕跡を通して、将来起こり得る洪水被害像を実感としてイメージしやすい条件が揃っている地区と考えられる。さらには、本地区で生まれ育った日本人住民の日常風景に「洪水が作った地形」という新しい視点を付加することができれば、「度重なる巨大洪水でできた土地に暮らしている」事実を多くの日本人住民が実感として捉え、共有し、外国人住民とともに高い地域防災力を備えた新しいコミュニティーの再構築も期待できる。

## 2. 方法

1947年米軍撮影の空中写真を用いて、北上川に沿う低地の微地形判読を行った。そして、過去の巨大洪水で形成された自然堤防と旧河道の分布図をハザードマップに重ねて、ハザードマップが示す洪水浸水深の色と場所の妥当性を確認した。地形をわかりやすく示すためにアナグリフ3D画像を作成し、日本語での日常会話ができる市内の外国人住民(アメリカおよび中国出身)と日本人住民(合計11名)を対象にして、日本語と英語を併用しながら奥州市の地形が示す洪水リスクの説明会を行った。説明会参加者の理解度を高め、かつ、より多くの外国人住民に対象地域の地形が示す洪水リスクを認知してもらうために、地形の見かたがわかるポスターを多言語で作成した。さらに、説明会参加者と共に現地を歩くことで、実際に自然堤防や旧河道の存在を検証し、北上川の現流路から数キロ離れた地点でも過去の巨大洪水跡が見られることを確認した。その後、簡単なアンケート調査を実施して理解度を確かめ、本研究の妥当性について検討した。

## 3. 結果と考察

### (1) ハザードマップに示された洪水リスクを理解するために必要な自然堤防・旧河道地形の情報

2023年に改訂された奥州市のハザードマップは、洪水時の浸水深が4段階に区分されている(図2(a))。そもそも、なぜ色がついているのか、そして、一見すると平坦な土地であるにも関わらずなぜ浸水深に違いが生じるのか(色の濃淡の理由は?)等の理由を外国人住民にも日本人住民にもわかりやすく示すために、米軍の空中写真を用いて氾濫原の微地形を判読し、自然堤防と旧河道の判読結果を写真上に示した(図2(b))。特に旧河道に関しては、かつての流下方向がわかるように矢印で示した。図2(b)の判読結果を図2(a)に重ねたものが、図2(c)である。

例えば、図2(a)のハザードマップには、A、B、C、D、E地点などで相対的な浸水深が深いことが示されているが、その理由まではわからない。しかし、図2(b)の地形判読結果を根拠に図2(c)を見ると、A~Eのいずれの地点も旧河道に位置していることがわかる。当然のことながら、旧河道は隣接する自然堤防よりも低い土地であるために、洪水時の浸水深も深くなること



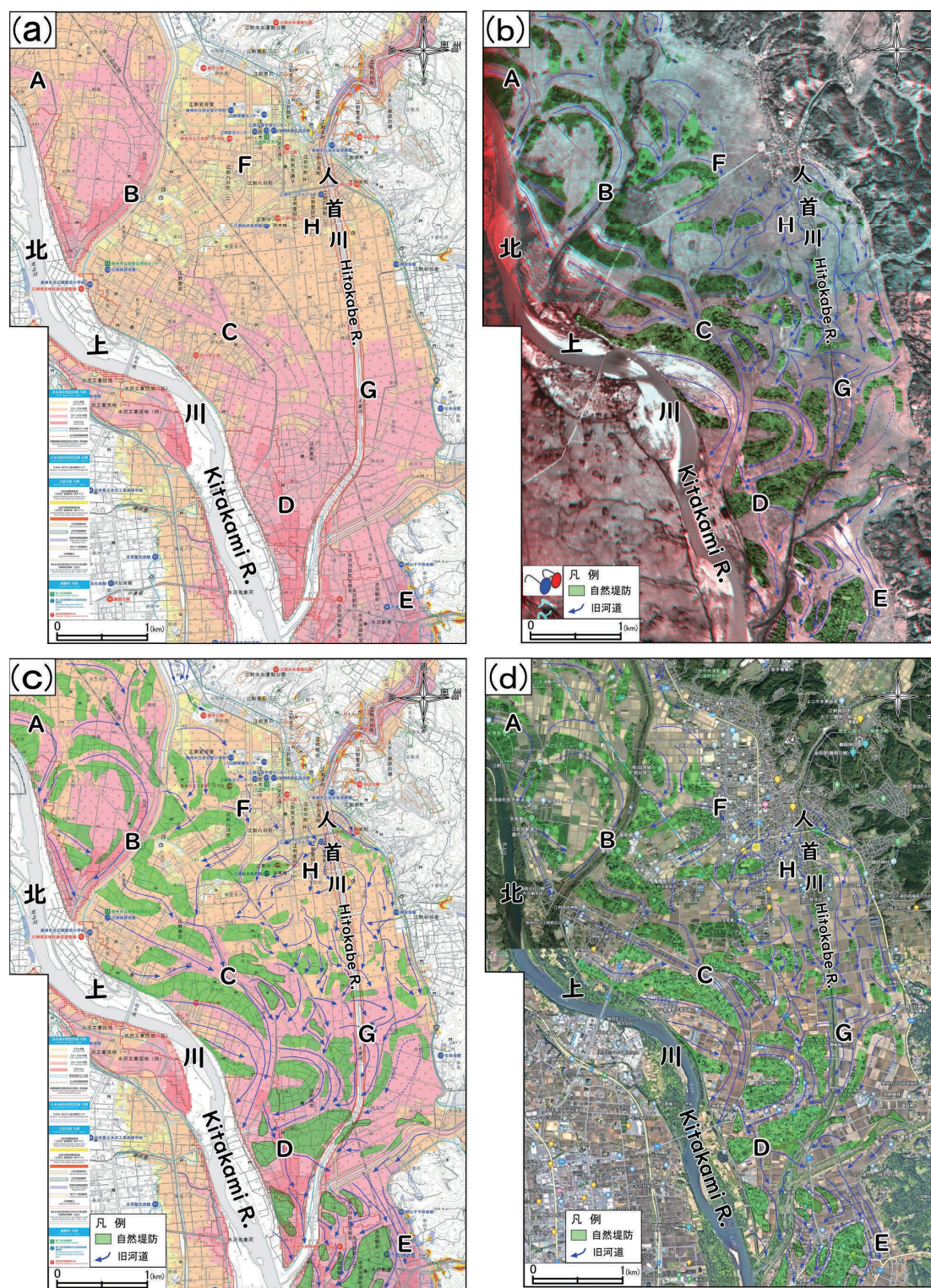


図2 奥州市江刺地区(北上川左岸)の洪水リスクを示す図

- (a) 2023年奥州市ハザードマップに河川名や地点等を加筆 (b) 米軍1947年撮影(M621-70,71,136,137)から作成したアナグリフ3D画像に自然堤防と旧河道の判読結果を重ねたもの (c) 2023年奥州市ハザードマップに自然堤防と旧河道の判読結果を重ねたもの (d) Google社のGoogleマップに自然堤防と旧河道の判読結果を重ねたもの



が容易に理解される。また、自然堤防は洪水時に運搬された土砂が堆積して高まりを成す地形であるため、旧河道の流下方向を考慮すると、F や G 地点に見られる自然堤防・旧河道地形も最近の北上川の洪水によって形成された地形であることがわかる。F や G 地点は現在の北上川の流路から 2~3 km も離れているために、住民の一般的な感覚から言えば、洪水浸水リスクが高い地域とは考えにくいかもしれない。しかし、このように地形が示す過去の洪水跡を示すことによって、より具体的かつ説得力を持って、外国人住民にも日本人住民にも、ハザードマップに示されている洪水リスクをより実感的かつ容易に理解してもらうことができると考えられる。

H 地点も同様に北上川から離れている地点であるが、旧河道の分布とそれらの流下方向から、人首川の洪水跡が多く認められる場所であることがわかる。H 地点の北側は、米軍の空中写真撮影時にすでに集落が発達しているため微地形が不明瞭となっている。ただし、同集落（現在の江刺市街地）は、山地を流下してきた人首川が北上川の低地へ流れ出る場所に位置し、人首川の流下方向へ広がる緩傾斜の新期扇状地表面上に位置していることから、過去に人首川の大規模な洪水の影響を受け、今後も同様の洪水被害が起こる場所であることが指摘される。図 2 (c) のように、これらの地形判読結果を現行ハザードマップに重ねて示すことによって、外国人住民にも日本人住民にも、ハザードマップの目的や意義をより明確に根拠を持って伝えることができるだろう。

(2) 外国人がハザードマップを理解するために必要な「地形環境」を説明する多言語ポスター

## Learn about "past gigantic floods" as told by the topography around Esashi!

Understanding the topography is saving our lives from natural disaster


東北福祉大学 Tohoku Fukushi University Created by **Tadaki MIZUMOTO, Ph.D.**

**As you can see in the photo, the Hada area was submerged during Typhoon Kathleen in 1947. But, the past is the story. Right? I thought that now that dams and embankments have been built, there is no need to worry about flooding in the Hada area. By the way my house is right next to the central gymnasium, and it is yellow on the hazard map, so the flood depth is likely to be less than 0.5m. So I hardly have to worry even if there is heavy rain, right?**


**Knowing the topography of the area, "Now I see! New discovery!" Learning in a fun way about the formation of topography in one's own area will surely lead to the improvement of regional disaster prevention capabilities!**

**A natural embankment is a topography where sediment is deposited during a flood. As you can see on the map and in the photos, the fact that these natural embankments can be seen far from the present day Kitakami River indicates that not only large amounts of water but also "a lot of sediment" were carried away from the river by the huge floods previously. In other words, the topography of Esashi indicates that even more massive floods than those caused by Typhoon Kathleen have occurred repeatedly in the past. It's a little hard to imagine just from the hazard maps alone.**

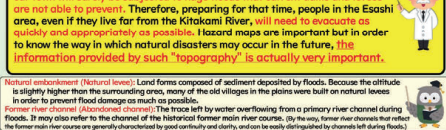
**Therefore, we know that in the near future, when severe heavy rains continue, our town will surely be subjected to huge floods that current dams and levees are not able to prevent. Therefore, preparing for that time, people in the Esashi area, even if they live far from the Kitakami River, will need to evacuate as quickly and appropriately as possible. Hazard maps are important but in order to know the way in which natural disasters may occur in the future, the information provided by such "topography" is actually very important.**



**Hada district during Typhoon Kathleen in 1947**

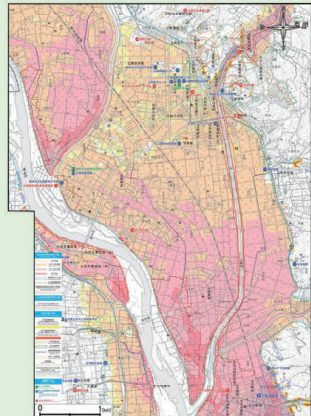


**Topography such as natural embankment (levees) and old river (abandoned) channels can still be confirmed! Let's all go and see it together!**

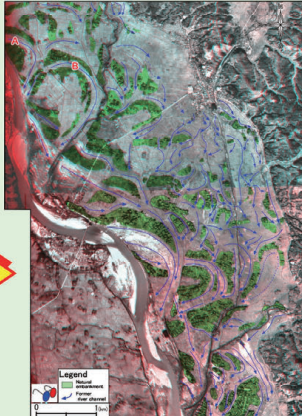


**Natural embankment (Natural levee):** Land forms composed of sediment deposited by floods. Because the altitude is slightly higher than the surrounding areas, many of the old villages in the plains were built on natural levees in order to prevent flood damage as much as possible.

**Former river channel (Abandoned channel):** The trace left by water overflowing from a primary river channel during floods. It may also refer to the channel of the historical former main river course. By the way, former main channels that reflect the former main-river course are generally characterized by good continuity and depth, and can be easily distinguished by channels left during floods!

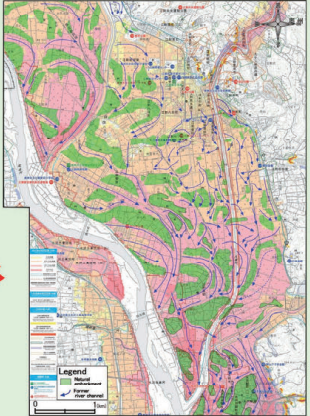


**Fig.1 Oshu City (Esashi District) Hazard Map 2023 Edition (the latest version)**



**Fig.2 Anaglyph (a stereoscopic image that creates a three dimensional effect) that was recorded of the area around Esashi district (1947)**

**Natural embankment, a former river channel, and a landslide site were deciphered from an anaglyph three-dimensional image created from an aerial photograph taken in 1947. The traces of the Kitakami River flowing in all directions are clearly visible. Traces of the flood stream that flowed out of the Hitoake River can also be seen.**



**Fig.3 Diagram showing the flood risk analysis around the Esashi area**

**The interpretation of areas from where an aerial photograph (Fig.2) is superimposed over the Oshu City Hazard Map. It is easy to see why the hazard map is colored. Furthermore, the topography shows traces of past floods that even if the inundation depths, as shown on the hazard map, are small - we should never be complacent.**

図3 奥州市江刺地区の洪水リスクとその理由を地形で説明する多言語ポスター（英語編）の事例

通常の日本語、英語のほかに、中国語（簡体字・繁体字）、韓国語、ベトナム語、タガログ語、やさしい日本語で作成。

令和2年、奥州市の外国人住民（761名）の国籍は、上位より中国籍が169人、ベトナム籍が143人、フィリピン籍が126人、韓国籍が65人、インドネシア籍が47人である。技能実習生としての来日も多いため、外国人住民は地域社会との交流が少なく、災害情報や避難行動についての理解も進んでいない実状がある（奥州市多文化共生推進検討委員会、2022）。このため、より多くの外国人住民に「奥州市江刺地区の地形が示す洪水リスク」を認知してもらい、かつ、今回の説明会と現地での地形観察（後述）に参加した外国人住民が、他の外国人住民と情報共有する際の資料として活用できることを目的として、多言語のポスター（英語、中国語繁体字、中国語簡体字、韓国語、ベトナム語、タガログ語、日本語、やさしい日本語の8種類）を作成した（図3）。これらのポスターは、奥州市国際交流協会が主催する様々なイベントの際に展示することによって、技能実習生や短期滞在者も含めたより多くの外国人が地域防災に関心を持つことを狙いとしている。さらに、外国人住民だけでなく、日本人住民もこれらのポスター（日本語編）をきっかけとして、ハザードマップが示す身近な地域の洪水リスクをより深く理解すれば、日本人住民と外国人住民とが一緒になって、多文化共生に資する地域防災力向上のための活動を継続していることも可能になると考えられる。

### (3) 現地での地形観察を通して、外国人住民に過去の巨大洪水をイメージしてもらおう試み

以上の資料に基づく説明に加えて、さらに当地域で起こり得る洪水像をより現実的に感じてもらうために、外国人住民と日本人住民と一緒に現地を歩きながら、旧河道・自然堤防に着目した地形の観察を行った。現行の奥州市ハザードマップは国土地理院の地形図が基図となっているために、外国人住民にとっては馴染みが薄い。よって、日常生活空間と地形との対応や、現在地などがより理解しやすいように、住民が普段から目にする道路や店舗などが記載されている Google 社の Google マップに地形判読結果を重ねて示した（図2(d)）。航空写真版の Google マップは、現在の土地利用も判読可能であるため、現地で地形観察を行う際にも現存する旧河道や自然堤防の位置がわかりやすい。結果として、外国人住民にとっても日本人住民にとっても地形の連続を意識しながら、現地の地形を理解する際に有効な資料となり得る。図4は、図2中のA地点の現地写真である。図2(b)のアナグリフ画像で地形の起伏が立体的に見えるように、現地で実際の地形を見ても、左右の自然堤防に比べて明らかに低い土地（旧河道）が湾曲しながら帯状に連続していることが明らかである。他にも複数の地点を実際に歩きながら、「今まで平坦と思っていた土地が、予想以上に起伏を持っていたことに初めて気づいた」、「起伏を持つこれらの地形が、過去の洪水の痕跡であることに驚いた」などの感想を参加者から得ることができた。このように図2(d)は、現存する自然堤防や旧河道の位置を特定することも可能であることから、現地での地形観察を行う際に有用な資料であることが示される。

地形観察後に実施したアンケート結果によると、「今までハザードマップを見たことが無い」と答えた外国人住民の参加者から、「理由も含めてハザードマップの内容が良く分かった」という回答を得た。また、「今までにハザード



図4 奥州市江刺地区で見られる自然堤防・旧河道地形

図2のA地点、愛宕角（おだきさいかち）にて筆者撮影



マップを見たことがある」という外国人住民からは、「これまでにハザードマップの内容をだいたいわかっていましたが、今回の活動を通して、より分かるようになった」という回答を得た。さらに、日本人住民参加者全員から「これまでにハザードマップを見たことがあり、内容も良くわかっている」との回答を得た上で、「今回の活動を通して理由まで良くわかるようになった」、「外国には無いような自然災害を体感できるので、外国人住民の防災意識を高めるためにもこのような地形観察は必要」との意見を得た。以上のことから、現行のハザードマップの内容を実感的に理解するためには、本研究が示したように地形環境を知ることが有効な手段となり得ると考えられる。同時に、ハザードマップを見たことがない外国住民に初めてハザードマップの説明を行う際にも、該当地域の地形環境とその成り立ちに関する説明を付加することが重要であることが示される。

#### 4. まとめと今後の課題

多文化共生の地域防災力を高めるためには、まず、自分たちが住む地域の自然災害リスクを認知し、実際に自然災害が起きた時の具体的な規模や広がりや誰かが実感としてイメージできることが必要である。ただし、外国人住民にとっても日本人住民にとっても、被害想定結果のみが示されている自治体ハザードマップを見て、例えば洪水災害の浸水深が場所によって異なる理由を理解、納得したり、浸水の広がりなどをイメージしたりすることは難しい。そのため、自治体ハザードマップを多言語に翻訳して示すのみでは、地域に対する理解が進まずにやがて避難訓練や防災教育も形骸化し、外国人住民を含む地域住民が一体となって災害時に命を守る行動を取ることにも困難になるだろうと考えられる。よって、様々な種類の自然災害が日常的に起こる日本において、特に外国人住民が日本のハザードマップの内容を理解するためには、世界共通である「純粋な興味を持って、地域の自然環境や地形の成り立ちを知ること」から始める方法がより効果的であることが示される。今後は、本稿が示した地形の理解を促す多言語のポスターを活用し、より多くの外国人住民にハザードマップが示す自然災害リスクを認知してもらいながら、外国人住民と日本人住民が一緒になって、「自分たちが住む土地の成り立ちを知る活動」を継続することが何よりも大切である。そして、これらの活動を継続することによってはじめて、多文化共生に資する新しい地域防災コミュニティの構築も可能になると考えられる。

**謝辞：**本稿で記した地形環境を説明する多言語ポスターは、奥州市多文化共生のまちづくり促進業務の一環として作成したものである。奥州市市民環境部長の及川協一氏には、現地調査に御同行いただき有益なご意見を頂いた。深く感謝の意を表す。

#### 参考文献：

- 相原征代（2022）外国人向け防災と多文化共生．北陸大学紀要, 52, 155-170.
- 奥州市多文化共生推進検討委員会（2022）奥州市における外国人住民の防災のための提言書．17p.
- 片岡博美（2016）地域防災の中の「外国人」－エスニシティ研究から「地域コミュニティ」を問い直すための一考察－．地理空間, 9-3, 285-299.
- 佐伯琢磨（2021）災害弱者のための防災情報提供に関する予備的調査．防災教育学研究, 1-(2), 117-122.
- 高井寿文（2016）地方自治体における外国籍住民向けハザードマップの作成状況．日本地理学会春季学術大会発表要旨集.
- 諸岡良優・郷津勝之・寺井しおり・布村明彦・山田 正（2016）平成 27 年 9 月関東・東北豪雨災害時における住民の情報取得状況及び避難行動の実態調査．河川技術論文集, 22, 345-350.
- 安井智哉, 篠原麻太郎, 太田夏帆, 二瓶泰雄（2019）平成 30 年西日本豪雨における倉敷市真備町住民の避難行動と洪水ハザードマップの認知度の関係．土木学会論文集 B1, 75, 2, 1381-1386.

令和6年3月1日 発行

東北地域災害科学研究 第60巻  
(令和5年度)

編集者 自然災害研究協議会東北地区部会  
部会長 前田 匡 樹  
日本自然災害学会東北支部  
支部長 前田 匡 樹

発行者 東北大学災害科学国際研究所  
東北地区自然災害資料センター  
センター長 今村 文彦  
〒980-8572 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1  
TEL 022 (752) 2099

印刷所 有限会社 明 倫 社  
〒989-3124 仙台市青葉区上愛子平治 1 - 36  
TEL 022 (796) 8871