

令和 4 年度
東北地域災害科学研究集会
講演予稿集

開催：令和 4 年 12 月 26 日(月) ・ 27 日(火)

会場：弘前大学創立 50 周年記念会館

<第2会場>

弘前大学創立50周年記念会館 会議室2

第1部 12月26日(月) 13:00～14:15

(司会：柴山 明寛先生)

第2部 12月27日(火) 10:00～11:30

(司会：岡田 真介先生)

第3部 12月27日(火) 12:30～14:00

(司会：大野 晋先生)

第4部 12月27日(火) 14:15～15:45

(司会：飯藤 將之先生)

R4東北地域災害科学研究集会 発表プログラム 第2会場(会議室2)

12月26日(月) (第2会場)	【第1部】司会： 柴山明寛先生			
	第1部	13:00-13:15	青森での1993年北海道南西沖地震	○鏡味洋史(北海道大学(名))、水田敏彦(秋田大学地域防災減災総合研究センター)
		13:15-13:30	1983年日本海中部地震災害の新聞記事による追跡	○水田敏彦(秋田大学地域防災減災総合研究センター)、鏡味洋史(北海道大学(名))
		13:30-13:45	東日本大震災アーカイブの利活用促進のためのシソーラスの検討	○柴山明寛・ゲルスタ・ユリア(東北大学災害科学国際研究所)
		13:45-14:00	杜の都防災力向上マシオン認定制度の実態	○酒井悠里(東北大学大学院都市建築学専攻)、佐藤健(東北大学災害科学国際研究所)
		14:00-14:15	図書館の地震防災対策とその効果	○嶋田瑠美子(東北大学建築・社会環境工学科)、佐藤健・柴山明寛(災害科学国際研究所)
	14:15-15:00	休憩		
15:00-17:00	公開講演(みちのくホール)			

12月27日(火) (第2会場)	9:00~9:50	地区総会(岩木ホール)		
	【第2部】司会： 岡田真介先生			
	第2部	10:00-10:15	2011年東北地方太平洋沖地震による地震の誘発現象の力学的検討	○渡部大地・前田拓人・高野智也(弘前大学大学院理工学研究科)
		10:15-10:30	東北地方太平洋沖で発生した地震のP波直後の波形を用いた震源深さ推定の試み	○小菅正裕(弘前大学大学院理工学研究科)
		10:30-10:45	重力異常およびボーリング資料による盛岡市街地周辺の浅部地下地質構造の解明	滝本彩乃・越谷 信・岡田真介・岡田脩平・佐野賢佑(岩手大学)、佐藤慶一(岩手大学、現:福島県庁)
		10:45-11:00	地下構造の空間変化の把握を目的とした高密度リニアアレイによる微動観測実験	○石塚理央、山本英和、齊藤剛(岩手大学理工学部)
		11:00-11:15	3次元不均質速度構造モデルを用いた青森県周辺の地震に対するCMT解推定	○増永仁・前田拓人・高野智也(弘前大学大学院理工学研究科)
	11:15-11:30	山形県庄内平野に伏在する活断層について	越谷 信・岡田真介(岩手大学)、梅木健太郎(岩手大学、現:パシフィックコンサルタント)、佐々木亮輔(岩手大学、現:東日本高速道路)、佐藤比呂志(東京大学)、石山達也(東京大学)、加藤直子(日本大学)	
	11:30-12:30	昼食		
	【第3部】司会： 大野晋先生			
	第3部	12:30-12:45	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	○岡田真介・越谷 信(岩手大学)、田中美咲(岩手大学、現:東日本高速道路)、平出裕博(岩手大学、現:ユアテック)、岡田知己(東北大学)
		12:45-13:00	岩手県と秋田県のHi-net観測点で観測された常時微動の地震波干渉法解析に基づいたスローネストモグラフィ	小原宏太・山本英和・齊藤剛・土屋隆・○田村全(岩手大学理工学部)
		13:00-13:15	空間自己相関係数のゼロクロス点を利用した位相速度推定による微動アレイ探査法の改良の試み	池田真衣・○山本英和・齊藤剛(岩手大学理工学部)
		13:15-13:30	2019-2022年の東北の被害地震における建物強震観測記録	○大野晋(東北大学災害研)、三辻 和弥(山形大学理工学研究科)、笹ノ間佑太(東北大学工学研究科)
		13:30-13:45	慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた3層骨組の振動応答特性(その1)ダンパーおよび実験の概要	○水間巧大(仙台高専専攻科)、船木尚己・小嶋健太郎(東北工業大学)、飯藤将之・藤田智己(仙台高専)
	13:45-14:00	慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた3層骨組の振動応答特性(その2)実験および時刻歴応答解析結果	○小嶋健太郎・船木尚己(東北工業大学)、飯藤将之・藤田智己・水間巧大(仙台高専)	
	14:00-14:15	休憩		
	【第4部】司会： 飯藤将之先生			
	第4部	14:15-14:30	2方向地震動を受ける鉄骨置屋根構造の屋根支承部への作用応力	○阿部彩加(仙台高等専門学校)・藤田智己(仙台高等専門学校)、船木尚己(東北工業大学建築学部建築学科)、飯藤将之(仙台高等専門学校)
		14:30-14:45	緩衝材を活用した地震・津波対策技術の開発	○有賀義明(弘前大学大学院理工学研究科)
14:45-15:00		構造物にかかる流体力に関する基礎的検討	○立花郁巳・遠藤貫太・堀合紳弥・高瀬慎介・加藤雅也(八戸工業大学大学院)	
15:00-15:15		建築年代の異なる複数のブロックで構成された建物の地震応答	○水野智貴(弘前大学大学院地域共創科学研究科)、弘前大学(片岡俊一)	
15:15-15:30		積雪時の地震の際に倒壊したカーポートに関する基礎的検討	○片岡俊一(弘前大学)、岸恵里菜(弘前大学理工学部地球環境防災学科)	
15:30-15:45	太陽光発電パネルの屋根風荷重低減効果	○植松 康(秋田工業高等専門学校)、山家哲生(東北電力ネットワーク株)、山本篤志(旭化成ホームズ株)		

<第2会場 会議室2>

— 第1部 (5題) —

司会：柴山 明寛先生

12月26日(月) 13:00~14:15

青森での 1993 年北海道南西沖地震*

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

1993 年北海道南西沖地震は北海道に多大の被害をもたらしたが、隣県の青森県ではどのような被害・影響があったのか 30 年前の災害を振り返ってみる。本地震は、日本海東縁に発生する海溝型地震であり、青森県では深浦で震度 5，むつ，青森で震度 4 を観測した。当時の地震調査報告書，学術論文，当時の新聞記事などを紐解いてみる。

2. 青森県の想定地震

青森県のホームページ¹⁾には、将来の想定地震として、太平洋側，日本海側の海溝型地震と青森市付近の内陸型地震が掲げられている。過去の主な地震災害として 1968 年十勝沖地震，1983 年日本海中部地震，1994 年三陸はるか沖地震が説明されているが，1993 年北海道南西沖地震については取上げられていない。過去の災害記録（平成 5（1993）年）の片隅に被害統計が掲載されているのみである。

3. 被害調査報告書などの東北地方の被害報告および統計

3.1 日本被害地震総覧²⁾

日本被害地震総覧に各種の被害統計が掲載されているが，大半は北海道のみを取り纏めたもので，それ以外については全国統計に含まれたり，東北地方の内数が示されているのみである。

3.2 科研費報告書³⁾

研究代表者（北大：石山祐二）ほか分担者 23 名よりなるが東北地方の分担者は東北大，秋田大の各 1，計 2 名のみである。津波の報告は，北海道から九州に亘る日本海沿岸の一部として東北地方の報告があるが，その他の建物被害など東北地方の記載は全くない。

3.3 日本建築学会災害調査報告書⁴⁾

被害統計は北海道のみである。強震記録は八戸，新潟の記録が取り上げられている。地盤関係の被害の中で青森県車力村の液状化が報告されている。後述の学会報告による。人的被害の章では，大間町で 1 名の船から転落死が記載されている。

3.4 土木学会震害調査報告⁵⁾

強震記録については，青森港。八戸港，津軽大橋，下湯ダム，米代川堤防など多くの観測記録が報告されている。被害統計については，農業被害についてのみ記載がある。

3.5 学術雑誌

三輪・森・沼田⁶⁾は青森県車力村の 1983 年日本海中部地震の際の被災地の再液状化を報告している。

*The 1983 Hokkaido-Nansei-oki Earthquake for Aomori prefecture by Hiroshi Kagami and Toshihiko Mizuta

4. 新聞記事

朝日新聞を記事データベース朝日新聞クロスサーチ⁷⁾を利用し青森版の記事を収集し資料とした。地震に関する項目を当時の市町村別に表1に示す。

表1 新聞記事による市町村別被害一覧

郡	市町村	被害等	現市町村
東津軽郡	青森市	観光物産館アンテナ支柱破損、棚から本落下 [写真]	青森市
	今別町	水道管破損、14日以降復旧	今別町
西津軽郡	木造町	水道管破損、13日中復旧	つがる市
	鱒ヶ沢町	住民一部避難	鱒ヶ沢町
	深浦町	津波25cm、漁船沈没2	深浦町
中津軽郡	弘前市	電柱トランス出火、鎮火	弘前市
北津軽郡	五所川原市	日立セミコンダクタ工場生産ライン停止、病院壁亀裂	五所川原市
	金木町	病院壁亀裂	
	市浦村	避難命令、500戸停電、水道管破損、13日中復旧	
	小泊村	30-100cm潮位上昇、高台避難、タグボート沈没1	中泊町
上北郡	六ヶ所村	動燃異状なし	六ヶ所村
下北郡	大間町	沖出帰港後係留中海に転落死亡37M	むつ市

津波被害は日本海沿岸の深浦町、小泊村でみられ、大間町では津波の沖出から帰港中1名が海中に落下死亡している。金木町、五所川原市では病院の壁に亀裂が入る軽微な建物被害が生じている。ライフライン被害は断水、停電が各地でみられるが短時間のうちに復旧している。鉄道は、青森ー三沢、青森ー碓ヶ関、鳴沢ー鱒ヶ沢間が一時不通になった。青森ー函館間の津軽海峡線は北海道側の被害により全面運休となり、代替のフェリーが混雑したこと、青森ー千歳の臨時航空便が運航されたことが報じられている。

5. 結び

小論では、1993年北海道南西沖地震の際の青森の被害について、当時の被害調査報告書、新聞記事を再読し、軽微ではあったが、それなりの影響・インパクトを与えていたことを明らかにした。同様の事例は他にも多くあるはずである。機会を見て考察していきたい。

文献

- 1) 青森県防災ホームページ, 2022.11.8 閲覧
<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kikikanri/bosaikikikanri/>
- 2) 宇佐美龍夫・石井寿・今村隆正・武村雅之・松浦律子, 2013, 日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 511-515, 2013.
- 3) 石山祐二 (研究代表者): 平成5年北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究, 文部省科学研究費突発災害調査研究成果, 196pp, 1994.
- 4) 日本建築学会: 1993年北海道南西沖地震災害調査報告, 日本建築学会, 237-497, 1995.
- 5) 土木学会耐震工学委員会: 193年北海道南西沖地震震害調査報告, 499pp, 1997.
- 6) 三輪滋・森伸一郎・沼田淳紀: 1983年北海道南西沖地震における青森県車力村での再液状化, 日本建築学会東北支部研究発表会, 289-292, 1994.
- 7) 朝日新聞社: 朝日新聞クロスサーチ, <https://xsearch.asahi.com/>, (2022.10.入手)

1983年日本海中部地震災害の新聞記事による追跡*

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

1983年日本海中部地震は秋田県沖で発生したM7.7の地震であり、来年2023年5月26日に発生から40年を迎える。被害は秋田県を中心として隣県の青森県や北海道、特に津波被害に関しては京都府や島根県など更に遠隔地におよび、地震直後から約1ヶ月程度に亘っては、人的・物的被害、震災対策、経済・社会的影響、復旧・復興、市民生活など震災に関する様々な情報が新聞を通じて報道された。現在でも各方面で震災の記憶や教訓を後生に伝える活動が行われているものの、震災から39年が経過し災害の情報は限られたものとなっている。小論では震災から翌年以降の新聞報道に着目し、どのように変化し関心が高まるのか明らかにする。

2. 新聞記事の収集

朝日新聞記事データベース「朝日新聞クロスサーチ」¹⁾を使用し記事を収集資料とした。抽出にあたっては、見出し、本文、補助キーワードに『日本海中部地震』とあるものだけを収集した。記事データの収録期間は本紙が1984年8月～2019年（※本紙テキストは2020年以降未収録）、地域面は秋田版の収録開始が1997年以降であり1997年以降を対象とした。なお、記事内容を確認し、日本海中部地震と関係のない記事9件は除外した。

3. 記事数の推移

地震から約1年後の1984年8月から1年当たりの記事数の推移を図1に示す。地震翌年から9年目は減少し、10年目の1993年には46件と10倍程度となっている。その後件数は減るものの報道は続き、他地域の大地震発生直後と20年、30年の節目に関連記事が多くなる。

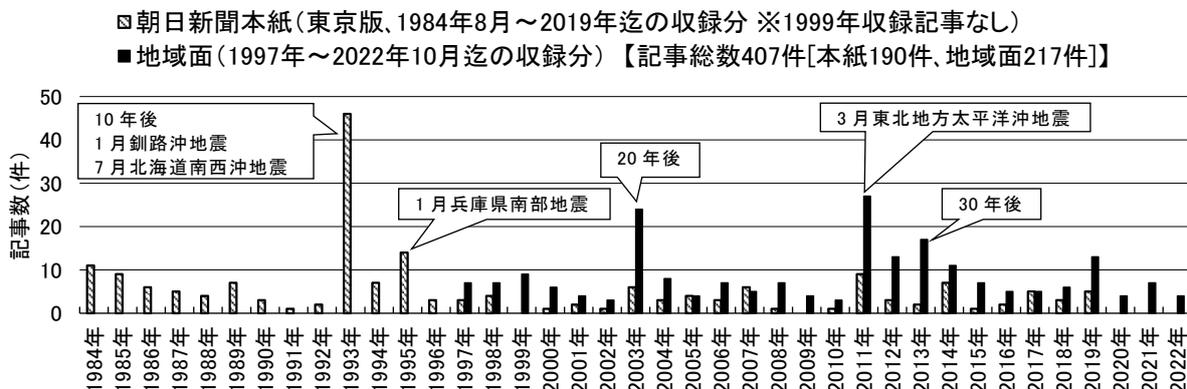


図1 1983年日本海中部地震に関する1年当たりの記事数の推移

*Tracking of the 1983 Nihonkai-Chubu Earthquake Disaster by Newspaper Articles by Toshihiko Mizuta and Hiroshi Kagami

4. 新聞記事の傾向と特徴

発災から翌年以降の新聞報道について、記事の内容は本紙では解説情報（一般的地震解説、他の地震との比較）の記載が多い。この他（社説、識者見解）などがある。一方、地域面は地震後の社会の対応（行政対応、社会対応など）が最も多く、被災経験者の声も多く記載されている。地域面の記事の総数は秋田版（54件）と青森版（26件）が多い。秋田県では日本海中部地震が発生した5月26日を「県民防災の日」と定めており、県民防災の日前後に関心が高まり記事が増加している。地震から15年以降の周年記事の見出しを表1に示す。

表1 地震から15年以降の周年記事見出し一覧

周年	掲載月/日:秋田版の見出し []内は青森版の見出し
15 (1998年)	5/15:日本海中部地震から15年24日防災フォーラム能代などで 5/27:防災意識忘れないで日本海中部地震から15年, [本部長の知事が欠席日本海中部地震から15年県防災訓練]
16	5/27:10万人が防災訓練日本海中部地震から16年, [M7.3想定して地震災害訓練]
17	5/27:忘れないぞ日本海中部地震26日まで防災週間
18	5/27:惨劇風化させまい日本海中部地震から18年県民防災の日
19	5/27:県民防災の日初の薬品被害訓練も初動体制など確認
20 (2003年)	5/19:なまはげの姿で慰霊祭募金訴え日本海中部地震20年 5/26:県きょう防災訓練化学物質流出の想定も, 日本海中部地震から20年万全か防災への取り組み 5/27:防災の誓い新た全県で訓練日本海中部地震から20年 5/29:絶版でも残部を販売日本海中部地震体験記危機管理意識のなさ露呈副知事地震時パチンコ 7/1:災害への備え訴えた企画展きょうから秋田大で開催
21	5/27:津波犠牲者悼み海上慰霊祭男鹿で合川南小児童遺族ら
22	5/26:日本海中部地震から22年県内災害への備蓄3割 5/27:県民防災の日「直下型」想定し訓練県庁通報態勢を確認
23	5/27:大地震想定し訓練県庁で職員300人参加県民防災の日
24	5/26:知事不在時に地震発生想定県防災訓練
25(2008年)	5/26:備え万全ですか全県で避難訓練日本海中部地震25年
26	5/27:各地で26000人が訓練日本海中部地震から26年「県民防災の日」 5/28:「深浦町防災の日町内一斉に訓練26年前」
27	5/27:県民防災の日各地で訓練や慰霊祭
28	5/22:日本海中部地震から28年1)再起父をのんだ海支えに 5/23:日本海中部地震から28年2)再起父を救命瀬戸際の子次々抱え 5/24:日本海中部地震から28年3)封印心に秘めた「あの日」 5/26:祈りの歌「秋田おはら節」みんなに届け合川南小できょう最後の慰霊祭, 津波想定し避難訓練計画きょうから5市町 5/27:日本海中部地震から28年再建二重ローン乗り切る, 「その日」に備えて県警津波対応に重点県民防災の日, 友へ届け鎮魂の民謡合川南小で慰霊祭日本海中部地震から28年 5/28:日本海中部地震から28年継承追悼のナマハゲ募金
29	4/23:津波の恐怖風化防げ日本海中部地震から来月で29年] 5/26:想定様々防災訓練県初めて噴火盛る
30 (2013)	5/21:日本海中部地震から30年庁舎水没想定し移転訓練にかほ著 5/25:自然災害に負けない親子で防災体験非常食試食や耐震実験あす大仙 5/25:津波の記憶忘れない日本海中部地震から30年旧合川南小学校で慰霊祭, [過去の地震を資料から学ぶ弘前大で企画展], [津波忘れない日本海中部地震から30年深浦で訓練] 5/27:13人の魂安らかに日本海中部地震30年男鹿の海岸で慰霊祭 5/28:つなぐ備える震災の記憶上)息子の死生かさされたか 5/29:つなぐ備える震災の記憶中)「滅災」学ぶ運動会 5/30:つなぐ備える震災の記憶下)地域の被害語り継ぐ
31	5/27:津波は来た秋田にも31年前・104人犠牲「日本海中部」を忘れるな
32	5/27:あの日を忘れない日本海中部地震32年訓練や慰霊祭, [3000人参加深浦で訓練日本海中部地震の教訓生かし防災]
33	5/27:震災風化させない日本海中部地震から33年各地で慰霊祭や防災訓練
34	5/27:男鹿で追悼悲しみ新た日本海中部地震から34年, [震度6強津波9メートル想定し訓練深浦町日本海中部地震34年]
35 (2018年)	5/24:大震災想定県庁で防災訓練対策本部立ち上げ停電も実施 5/26:津波の教訓生かし備え日本海中部地震きょう35年 5/27:遺族海に向かい合掌日本海中部地震から35年
36	5/23:津波犠牲児童の慰霊碑に献花日本海中部地震26日で36年 5/25:地震・災害備え各地で訓練あす県民防災の日 5/27:日本海中部地震から36年津波犠牲遺族が海岸で慰霊
37	5/20:津波で犠牲の児童思い清掃「静かに眠れるよう」日本海中部地震 5/27:「自分の命守る知識を」日本海中部地震から37年
38	5/20:津波犠牲児童「忘れぬように」日本海中部地震26日で38年 5/26:日本海津波考上)白波ビデオが伝える衝撃日本海中部地震から38年 5/27:海が奪った子今もまぶたに日本海中部地震38年男鹿遺族ら焼香 5/28:日本海津波考中)多数の活断層地震を誘引日本海東縁部10~20年おきに大地震 5/29:日本海津波考下)高台避難住民の手で改善東日本大震災きっかけに話し合い
39	5/26:来ないはずの津波義父奪った消えた1キロ先の漁船日本海中部地震から39年 5/27:津波で犠牲児童悼む日本海中部地震から39年, [日本海中部地震39年津波犠牲の児童悼む海岸で遺族ら秋田・男鹿]

5. まとめ

日本海中部地震災害について、発災から翌年以降の新聞記事に着目し収集・整理した。一般的に震災から10年以上経過すると記憶と教訓の風化が懸念されるが、10年単位の節目と他の大地震直後に関連記事が多くなる。これらを踏まえて40年の節目をどう迎えるか考察したい。

参考文献 1) 朝日新聞社：朝日新聞クロスサーチ, <https://xsearch.asahi.com> (2022.11.3 閲覧)

東日本大震災アーカイブの利活用促進のためのシソーラスの検討*

東北大学災害科学国際研究所 柴山 明寛
東北大学災害科学国際研究所 Julia Gerster

1. はじめに

東日本大震災が発生してから 11 年が経過し、東日本大震災デジタルアーカイブが数多く構築された。現在においても、東日本大震災関連のデジタルアーカイブ（以降、震災アーカイブ）の構築の動きはあり、過去の教訓を後世に残す取り組みがなされている。デジタルアーカイブの世界は、震災アーカイブに限らず、様々分野で構築がなされている。さらに、デジタルアーカイブの技術は、つい最近生まれたものではなく、1990 年代から EU や米国で活動が開始されており、既に 30 年以上の歴史がある。しかしながら、デジタルアーカイブは、短命で終わることもしばしばあり、震災アーカイブもその例外ではない。

震災アーカイブでは、現時点において既に 5 つのウェブサイトが閉鎖している。その理由は、いくつもあると考えるが、著者の経験から大きく分けて 2 つがあり、「組織的な課題」と「システムの課題」である。「組織的な課題」とは、運営組織の問題や担当者の異動、方針の転換などの理由により、維持が困難になる課題である。次に「システムの課題」については、ハードウェアの耐用年数等によるリプレースの課題やセキュリティ等に起因するソフトウェアの更新の課題、コンテンツデータのマイグレーションの課題などで、維持が困難になる課題がある。また、どちらも共通する課題として、人材やランニング費用などの課題がある。この「組織的な課題」と「システムの課題」が閉鎖の大きな要因とは言えるが、それ以外にも震災アーカイブの利活用が進んでいない課題もある。

そこで本稿では、震災アーカイブの利活用の課題及び震災アーカイブの利活用を促進させるためのシソーラスの検討について述べる。

2. 震災アーカイブの利活用の課題

東日本大震災デジタルアーカイブは、防災教育の資料や語り部の資料、記録誌の制作、防災関連行事での活用、自治体での防災関連の参考資料、メディア資料など、様々な用途で使用されている。岩手県の「いわて震災津波アーカイブ～希望～」では、2017 年 3 月末から 2021 年 10 月の 4 年半でダウンロード総数が約 1 万 6000 件であり、総数の日平均として 1 日 10 件程度となっている。これは、多いか少ないかということは、他のアーカイブサイトのデータが無いため、比較はできないが、例えば、岩手県立図書館の平成 30 年の図書貸出数が 22 万冊となっており、貸出者数は約 6 万人となっている。ユーザ層や資料内容も全く異なるが、図書館の貸出利用よりは、震災アーカイブの利用は少ないとは言える。

震災アーカイブの利活用が少ない原因は、いくつか考えられるが大きな原因として、震災記

* A Thesaurus for Promoting the Utilization of the Digital Archive of the Great East Japan Earthquake by Akihiro Shibayama and Julia Gerster

録を利用するためには防災や地域の知識が必要なことである。さらに、目的の震災記録を見つけるために検索する語彙についても同じように防災や地域の知識が必要になる。しかし、適切な検索の語彙が見つかったとしても、現状の震災アーカイブにはシステム的な問題を抱えている。震災記録を検索する場合には、メタデータ（書誌情報）に書かれた内容を検索することになるが、メタデータの内容の品質に大きな問題がある。震災アーカイブの構築には、総務省「震災関連デジタルアーカイブ構築・運用のためのガイドライン（2013年3月）」が存在するが、メタデータの付与方法の決まりはあるものの語彙リストなどは存在しない。そのため、メタデータの品質は、メタデータの付与する作業者の知識に依存している。さらに、メタデータの付与作業は、多くの方が関わるため、それぞれの作業者で用いる語彙が異なることや語彙の標記ゆれが存在する。そのため、メタデータの品質を改善することが重要ではあるが、メタデータの内容を修正するには、莫大な時間がかかることと、さらに、今後構築される多くの災害関連のアーカイブでも同じような問題が発生する可能性がある。そこで、メタデータの品質を改善するのではなく、検索語彙を分析し、それに類する語彙も合わせて検索する方法で解決を図る。そのために必要になるのがシソーラスとなる。

3. 利活用を促進するためのシソーラスの検討

シソーラスは、様々な分野で存在するが、震災関連のシソーラスは存在しない。もっとも震災関連シソーラスとして近いものとして、JST 科学技術用語シソーラスがあるが、震災アーカイブで使用されている語彙とは異なることがわかっている。そのため、あらためて震災関連の語彙の洗い出し、類義語などをまとめ、シソーラスを作成する。シソーラスを作成する際に、市町村名や町長字名、漢字・ひらがな、類似語、旧字体、漢字間違い、年号、丁寧語・敬語、略語などを考慮して作成を行う。例えば、市町村の場合は、「宮古市」で検索する場合、「宮古」、「みやこし」、「みやこ」、「Miyako」などを合わせて検索できるようにする。旧字体については、「津波」で検索する場合、「津浪」、「海嘯」、「つなみ」、「Tsunami」を合わせて検索できるようにする。年号については、「平成 23 年」だけでなく、「2011 年」を合わせて検索できるようにするなどである。また、震災用語でよく使用される「復興交付金」についても、「東日本大震災復興特別区域法」など関連の法律名も合わせて検索できるようにする。このように、一つの語彙から派生した語彙を検索できるようにすることで、数多くの検索結果を得ることができる。ただし、数多くの震災記録からさらに絞り込むための工夫は必要となる。

4. まとめ

本稿では、震災アーカイブの利活用の現状及び利活用を促進させるためのシソーラスの検討について述べた。現在検討中のシソーラスは、2023年2月末を目処に完成を目指している。

謝辞：

本研究は科研費（20H02408）の助成を受けたものである。

杜の都防災力向上マンション認定制度の実態*

東北大学大学院工学研究科 ○酒井悠里
東北大学災害科学国際研究所 佐藤 健

1. 研究の背景と目的

近年、大規模マンションが増加し、災害時のマンション居住者の避難等による避難所不足が懸念されている。それに加えて、自治体が行うマンションの防災対策は黎明期である。中でも、仙台市はマンションの防災力向上と避難所増加に向けて先進的な取り組みを展開する。前者は分譲マンションの防災力向上を目的とした「杜の都防災力向上マンション認定制度」である。そして、後者は避難所の増加を目的とした「がんばる避難施設」であり、マンションの集会室等を居住者の避難所として活用するためにマンションが登録される場合もある。

先行研究では¹⁾、杜の都防災力向上マンションはハードに強みがあり、がんばる避難施設マンションはソフトに強みがあることが示唆された。さらに、佐藤²⁾は杜の都防災力向上マンションは、免震構造の採否により防災力の格差があり、免震マンションのうち申請主が不動産開発業者のものは、居住者の主体的な防災活動に全く結びついていないことを課題に挙げた。

避難所へ与えるインパクトが小さくし、地震災害時の快適な在宅避難を実現するためにもマンション防災には居住者はじめマンションの管理組合や自治会が主体となり活動することが求められる。そこで、本研究では、特に不動産開発業者が申請した「杜の都防災力向上マンション」に着目し、竣工後の防災活動を促進する上での課題を抽出することを目的とする。

2. 杜の都防災力向上マンション認定制度

マンションの防災力を「防災性能」または「防災活動」の項目から評価し、6段階の星で認定を行う。現在(2022年10月20日)までに60件のマンションが認定を受けている³⁾。認定マンションを免震構造の採否で見た防災力の分析結果を表1に示す。免震構造マンションは「防災性能」の評価が2.73と高く、非免震構造マンションは「防災活動」の評価が2.03と高い。

表1: 免震構造の採否で見た特徴

	認定件数	防災性能の平均	防災活動の平均
全体	60件	2.15	1.28
免震構造	30件	2.73	0.53
非免震構造	30件	1.57	2.03

3. アンケート調査

(1) アンケート調査概要

認定マンションの実態を明らかにするため、個別のアンケート調査を実施した。免震構造・非免震構造マンションからそれぞれ1棟の調査を行い、概要を表2に示す。実施時期は2021年12月~2022年1月で、アンケート回答者はマンションの管理組合理事・自治会役員である。そして、調査内容は、杜の都防災力向上マンションの認定に必要な項目を含む内容とした。

*Fundamental research on Certification standards for condominiums with improved disaster preparedness in Sendai the City of tree by Yuri Sakai and Takeshi Sato.

表 2: アンケート調査マンションの特徴

	V マンション	T マンション
杜の都の申請主	管理組合	不動産開発業者
構造	非免震	免震
世帯数	154 世帯	251 世帯
自治会の形成	全居住者で形成	一部居住者で形成

(2) アンケート調査結果と考察

アンケート調査結果を表 3 に示す。V マンションは防災性能が星 2 つ相当、防災活動が星 3 つ相当、T マンションは防災性能が星 2 つ相当、防災活動が星 0 相当の結果となった。V マンションは今回のアンケート調査結果と実際の認定状況が一致するが、T マンションは異なる結果となった。これは、T マンションの申請主が不動産開発業者によるものであり、マンションの管理組合と情報共有ができていないものだと考える。さらにヒアリング調査の結果、V マンションはマンション内のコミュニティ活動が盛んである一方で、T マンションはコミュニティ活動が少ないことが分かった。マンション内のコミュニティ活動が盛んであると、防災活動にも結びつきやすいと考察する。

表 3: 防災性能評価

	V マンション	T マンション
① 建物性能	○	○
② 非構造部材の落下防止	-	-
③ 防災備蓄倉庫設置	○	○
④ 避難場所の確保	○	-
⑤ 耐震ドアの設置	○	○(免震のため免除)
⑥ エレベーター対策	-	○
相当	☆☆	☆☆
仙台市による実際の認定状況	★★	★★★
★: ①かつ②~⑥から 2 つ, ★★: ①かつ②~⑥から 3~4 つ, ★★★: 全てを満たす		

表 4: 防災活動評価

	V マンション	T マンション
① 自主防災組織の結成	○	-
② 防災マニュアルの作成	○	-
③ 自主防災組織の防災訓練の実施	○	-
④ 各住戸の家具固定	○	○
⑤ 地域の防災訓練への参加	○	-
⑥ 地域の避難所運営に関する連携	○	-
⑦ 非常用電源の確保	○	○
⑧ 災害用簡易トイレの確保	○	○
⑨ 救急資機材等の整備	○	○
⑩ 飲料水および食糧の確保	○	-
相当	☆☆☆	-
仙台市による実際の認定状況	★★★	-
★: ①を満たす, ★★: ①と②かつ③~⑩から 4~7 つ, ★★★: 全てを満たす		

4. おわりに

マンションの防災力を向上させるにはハードとソフト両方からのアプローチが重要である。そして、それを実現するため必要な要素や課題を他の事例調査を通じて抽出する。

<参考文献>

- 1) 酒井悠里・佐藤健: 仙台市のがんばる避難施設に着目したマンション防災力の評価, 日本自然災害学会学 特別号, 第 41 回, pp.55-64, 2022
- 2) 佐藤健: 仙台市「杜の都防災力向上マンション」認定制度と認定事例, 日本自然災害学会学 術講演会講演梗概集, 第 39 回, pp.67-68, 2021.3
- 3) 仙台市: 杜の都防災力向上マンション認定制度—震災に強いまちを目指して—, 2022.10.7, <http://www.city.sendai.jp/mansion/kurashi/machi/sumai/bunjo/bosai/h2761.html> 最終閲覧(2022.10.22)

図書館の地震防災対策とその効果*

東北大学工学部 建築・社会環境工学科 ○嶋田 瑠美子
東北大学災害科学国際研究所 佐藤 健
東北大学災害科学国際研究所 柴山 明寛

1. 研究の背景と目的

東北大学附属図書館では、度重なる大地震を経験してきた。その度に、蔵書の落下をはじめとして、非構造部材や建築設備などの大きな被害が生じている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。その中でも、東北大学附属図書館本館(以下 川内図書館と記載)では、漱石文庫や狩野文庫などの貴重図書が多数保存されている。これらの貴重図書は一般資料とは異なり、一度破損すると買い替えることのできない歴史的価値と希少性の高い図書となっている。

これらの貴重図書は、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震までの間、漱石文庫含む貴重図書の一部は川内図書館本館地下書庫に保存されていたが、それ以降は度重なる雨漏り等の水被害によって、2号館4階へ移動したという経緯がある。また、地下書庫は現在でも資料へのカビの発生や資料の紙面の欠落を伴う虫損被害も確認されている。それに加えて、2号館1階においても外気の影響によってカビの被害が生じていることも、2号館4階に貴重書庫を保存することになった要因にもなっている。その結果、室内の空気中における物理的要因(湿度、気流など)と化学的要因(細菌など)の室内気候が改善された一方で、地震時の床応答の増幅による振動被害のリスクが高まり、2021年2月13日福島県沖地震では多くの貴重書庫が落下し損傷するという結果になった⁵⁾。

そこで本研究では蔵書の損傷を防ぐという観点から川内図書館の2021年2月13日・2022年3月16日福島県沖地震、そして2011年3月11日東北地方太平洋沖地震における被害と地震防災対策を包括的に分析し、対策の有用性と限界を明らかにすることを目的とする。

2. 調査方法と調査結果の概要

文献資料による基礎調査および川内図書館職員に対するヒアリング調査を行った。

2.1 文献調査による基礎調査

川内図書館2号館4階における2021.2.13, 2022.3.16福島県沖地震での被害に関する非公開資料⁵⁾を入手し、実態把握の基礎資料と位置付けた。



令和3年2月13日の地震時 令和4年3月16日の地震前 令和4年3月16日の地震後

図1 漱石文庫の被害と対策の変遷

2021.2.13以前において、固定書架に落下防止バーを常時使用し、資料間に隙間を作らずに配架する。また、和書には扉付きの棚に全て平置きに納めて、ガラス戸には飛散防止フィルムをつけるという対策がなされていたが、漱石文庫含めた貴重書庫414冊落下、狩野文庫書庫約5,000冊、準貴重書庫50冊、古典資料は約35,000冊落下するという結果になった。

漱石文庫の被害と対策の変遷を図1に示す。その後、2022.3.16福島県沖地震が発生するまで

に、貴重書庫である漱石文庫に「棚はめ込み式保存箱」を設置し、箱の中に蔵書を保存して落下損傷を防ぐという対策を施したが、2022年3月16日の福島県沖地震では、棚はめ込み式保存箱20箱(約400冊相当)とガラス戸の破壊という結果となった。

2.2 ヒアリング調査

川内図書館被害を詳細に把握するために、東北大学附属図書館の半澤智絵情報サービス課長と小陳佐和子図書館事務部長にヒアリング調査を行った。

(1) ヒアリング調査結果～東北地方太平洋沖地震2号館被害～

ヒアリング調査により東北地方太平洋沖地震での2号館の被害について表1の結果を得た。この結果から、上回ほど蔵書の落下率が増加する傾向が確認された。また、4階の同じ貴重書庫であっても書架エリアによって落下比率の違いがあることもわかった。

(2) ヒアリング調査結果～福島県沖地震での被害と現状～

狩野文庫の被害について、東北太平洋沖地震と二つの福島県沖地震で比較した結果を表2に示す。また、川内図書館の図書によって、書架の種類・配架方法が異なること、製本雑誌は貴重図書と比較して本の形状が異なることなど条件が多様であることもわかった。さらに、二つの福島県沖地震では階層ごとの配架冊数・落下冊数は調査されていないことから、対策とその効果を議論するためには、当時の状況を推定する必要があることもわかった。

表1 3.11による2号館被害

階層	蔵書の種類	配架冊数	落下冊数	比率
4階	貴重書展示室(晴山文書)	65,000冊	65,000冊	100%
4階	貴重書庫	8,400冊	2,400冊	30%
3階	斎藤養之助家史料室	400,000冊	120,000冊	30%
1階	準貴重書庫	52,000冊	300冊	6%
2-4階	製本雑誌	40,000冊	35,000冊	87%

表2 狩野文庫での被害

地震	配架場所	図書種類	配架冊数	落下冊数	比率
2011.3.11	1号館地下	古典資料 (狩野文庫他)	200,000冊	500冊	0.25%
2021.2.13	2号館4階	狩野文庫	108,000冊	5,000冊	4.6%
2022.3.16	2号館4階	狩野文庫 (推定)	108,000冊 (推定)	10,000冊	9.3%

3. 考察と今後

ヒアリング調査より、4階の蔵書落下割合が一番大きいのが、3.11以降そこに貴重図書を配架してしまっていることがわかる。本の形状・重量、書架の種類や配架方法などを詳細に調べ結果の違いに影響を及ぼす条件や対策の相違などについて詳細に検討する必要があると考えた。

今後の展望として、福島県沖地震での配架冊数などをヒアリング調査と記録写真からの推定を行う。床の応答の推定、蔵書・書架の種類や図面を照らし合わせてマッピングしていくことで、防災対策・落下数をまとめ、その有用性について明らかにしていく。また、2号館4階の対策にかかった費用を調査し、費用対効果についても検討していく。

〈参考文献〉

- 1) 東北大学附属図書館：“東北大学附属図書館における福島県沖地震(2021年)対応記録”。2022-3-25。
https://www.library.tohoku.ac.jp/news/2020/TUL_EQ20210213report.html。(最終閲覧日 2022-10-25)
- 2) 東北大学附属図書館：“東北大学附属図書館における福島県沖地震(2022年)対応記録”。2022-10-11。
https://www.library.tohoku.ac.jp/news/2021/TUL_EQ20220316report1.html。(最終閲覧日 2022-10-25)
- 3) 長尾 公司：“地震と図書館 東北大学附属図書館からの報告”。大学図書館研究. 1978. vol.13. p.33-46
- 4) 小陳 佐和子：“そのとき私たちができたこと -東北大学附属図書館が遭遇した東日本大震災-”。大学図書館研究. 2012. vol.94. p.1-11
- 5) 東北大学貴重書係：“古典資料の地震対策と結果の検証”

< 第 2 会場 会議室 2 >

— 第 2 部 (6 題) —

司会：岡田 真介 先生

12 月 27 日(火) 10 : 00~11 : 30

2011年東北地方太平洋沖地震による地震の誘発現象の力学的検討*

弘前大学大学院理工学研究科 渡部大地・前田拓人・高野智也

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震と呼ぶ）発生後には、日本列島全体に及ぶ広範囲で地震活動が活発化したことが知られている（Hirose et al., 2011）。この活発化の要因の一つとして、東北沖地震の断層運動に伴う永久変位（静的な応力変化）による地震の誘発が挙げられる（Toda et al., 2011）。東北沖地震の静的な応力変化による地震誘発は、クーロン応力変化（ ΔCFF ）を用いて調査されてきた。 ΔCFF とは、断層面にかかるせん断応力と法線応力に内部摩擦係数をかけた有効法線応力の和（または差）で表される（King et al., 1994）。 ΔCFF が正となればその断層面での破壊が促進され、負となれば破壊が抑制されることを示す指標である。

ΔCFF のこれまでの検討では、静的な応力変化を受ける断層面（以下、レシーバー断層と呼ぶ）として、発震機構解がよく用いられてきた（例えば、Ishibe et al., 2015）。しかし、気象庁や防災科学研究所の公開カタログに含まれる地震の発震機構解はもっぱらマグニチュード3以上の中・大規模の地震のみであり、そのような地震が発生しない地域では、 ΔCFF を用いた地震誘発の検討が困難であった。近年、ニューラルネットワークを用いて小規模地震を含む地震の初動発震機構解（初動解）の解析が行われ、その発震機構解カタログが公開された（Uchide, 2020）。そこで本研究では、この小規模地震を含む初動解カタログを用いて、東北沖地震による ΔCFF を計算し、静的な応力変化による誘発現象のより空間的・時間的に高分解能な調査を行う。小規模地震も含めて ΔCFF を計算することで、これまで検討が困難であった地域においても地震誘発現象について調べられる可能性がある。

2. ΔCFF の計算

本研究では、Uchide (2020) で解析された小規模地震の初動解と気象庁が解析した中・大規模地震の初動解をレシーバー断層とした。期間は1997年から2012年3月11日までであり、レシーバー断層の数は10342個である。本研究では、レシーバー断層の地震発生期間を、2011年3月11日～2012年3月11日の東北沖地震後と、それ以前の1997年～2011年3月10日に分類し、後者の定常的な活動に対して東北沖地震後の期間の ΔCFF の変動を検討した。 ΔCFF の計算においては、Yamazaki et al. (2018) の断層すべりモデルを使用した。地殻変動計算にはOkada (1992) に基づくサブルーチンプログラムDC3Dを使用し、剛性率が33 GPaのポアソン媒質、内部摩擦係数の値0.4をそれぞれ仮定して計算を実施した。

レシーバー断層となる初動解には共役な二つの節面があり、実際に破壊が発生した節面がどちらであるかは定かではない。そこで、本研究では両方の節面で ΔCFF を計算した。

3. 東北沖地震による ΔCFF

東北沖地震後の期間において、レシーバー断層毎に2つの節面のどちらかをランダムに選択

*Mechanical study of triggered phenomena caused by the 2011 Pacific Coast of Tohoku Earthquake by Daichi Watanabe et al.

し、緯度経度幅がそれぞれ 0.4° の矩形領域毎に選択された節面上の ΔCFF の平均値を取った(図 1a)。主に秋田県・北関東地域・新潟―長野県境などの地域で正の ΔCFF が、山形県周辺・千葉県周辺などで負の ΔCFF が分布していることがわかった。これらの結果は、ランダムな節面の選択によらず安定していることも確認された。

4. 東北沖地震による影響の抽出の試み

東北沖地震後の ΔCFF の結果(図 1a)だけでは、東北沖地震以前から続く定常的な活動が東北沖地震の静的な応力変化に対してもともと調和的であった可能性を否定できない。そこで、図 1a と同様の方法で定常的な活動のレシーバー断層に対して東北沖地震による ΔCFF を計算した(図 1b)。その結果は、東北沖地震後の結果とは異なり、東北地方全域で ΔCFF が負の値となる特徴が見てとれた。また、東北沖地震による影響を抽出するために、矩形領域毎に東北沖地震後の ΔCFF と定常的な活動の ΔCFF の差を取った(図 1c)。東北沖地震後の ΔCFF が正になった地域だけではなく、負の値が分布していた山形県周辺でも ΔCFF が大きくなる(0 に近づく)変化が見られた。

5. おわりに

本研究では、小規模地震を含む初動解カタログを使用して、東北沖地震の静的な応力変化による ΔCFF を計算した。各レシーバー断層で節面をランダムに選択し、矩形領域毎に ΔCFF の平均値を計算し、その空間分布を求めた。その結果、東北地方中部で ΔCFF が負の値になった。東北沖地震後と定常的な活動の ΔCFF で差をとると、それらの地域でも値が大きくなる変化が見られた。このことは、東北沖地震前後で発生する地震の発震機構が変化したと考えられる。

謝辞

本研究では Uchide (2020) の初動解データ、気象庁の初動解データを使用しました。また、Okada (1992) に基づくプログラム DC3D を使用しました。記して感謝いたします。

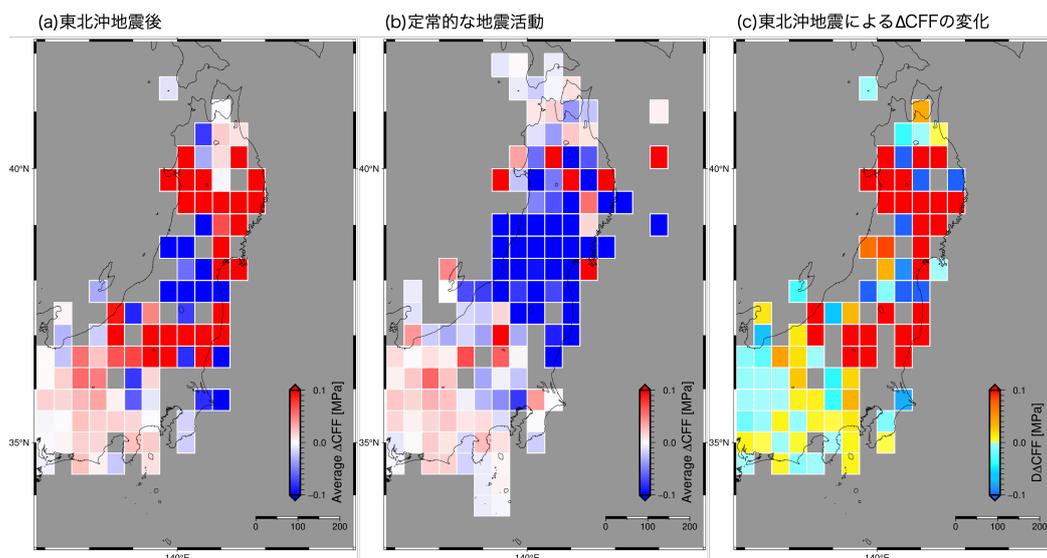


図 1. 矩形領域毎の空間分布図。(a)東北沖地震後の ΔCFF 。色は ΔCFF の大きさを示す。(b)定常的な地震活動の ΔCFF 。詳細は(a)と同様。(c)東北沖地震前後の ΔCFF の変化。色は ΔCFF の差の値を示す。

東北地方太平洋沖で発生した地震の P 波直後の波形を用いた震源深さ推定の試み*

弘前大学大学院理工学研究科 小菅 正裕

1. はじめに

東北地方太平洋沖では 2011 年東北地方太平洋沖地震を初めとして多くの大地震が発生しており、今後も日本海溝・千島海溝沿い巨大地震の発生が懸念されている。これらの大地震は沈み込む太平洋プレートと陸域プレートの境界を震源として発生するので、地震活動の評価にはプレート境界付近での震源分布が重要なデータとなるが、震源域が陸域の地震観測網から離れているために、震源深さを精度よく推定することが困難であった。2020 年 9 月以降については、日本海溝海底地震津波観測網 S-net のデータが気象庁の一元化震源決定処理に用いられるようになり、深さの精度は改善されたと言える。しかし、地震活動評価はそれ以前に発生した地震も含めて行う必要があるため、S-net 利用以前の期間における震源深さの問題は依然として残っている。これまで、海底反射波の sP 波を用いた深さの補正や、波形インバージョンによる深さの推定が行われてきたが、sP 波の検出が困難な地震があることや、波形を用いても深さが十分な精度で推定できてはいないという問題があった。一方、Hi-net 観測網の地震計特性を補正して低周波成分を抽出した波形を並べて見ると、さまざまな後続波が見られることがわかってきた。本研究ではその中で、P 波直後に多くの観測点で共通に見られる位相に注目した。この位相について波動伝播シミュレーションも用いて検討した結果、位相の周期が震源深さに依存し、その性質を震源深さ推定に利用できる可能性があることがわかったので報告する。

2. データ処理とシミュレーション

本研究では、波形データ処理による位相の抽出、波動伝播シミュレーションによる波形を用いた震源深さ推定、および位相の起源の検討を行った。波形データ処理では、プレート境界付近で発生したマグニチュード 4.5 以上の地震を対象に、地震計の特性補正、フィルタリング、振幅調整 (auto gain control, AGC) を行った後、見かけ速度を仮定しての波形重合 (slant-stack) を行った。日本海溝の西側で発生した多くの地震の重合波形において、P 波初動から 20 s 程度後までの間に、P 波とほぼ同じ見かけ速度で伝わる波群が確認できる。フィルターの帯域は 0.02–0.2, 0.05–0.5, 0.1–1.0 Hz の 3 通りを用いたが、P 波後続波は低周波ほど明瞭に見える。

この P 波後続波の理論的再現性と起源の検討を、波動伝播シミュレーションを基に行った。シミュレーションには OpenSWPC (Maeda et al., 2017) を用い、3 次元地下構造として全国 1 次地下構造モデル (JIVSM) (Koketsu et al., 2012) を用いた。Hi-net 観測点に対して計算されたシミュレーション波形に対して、観測波形と同様な処理を行った。

シミュレーションの対象地震は、岩手県中部の沖 (39.53°N, 143.56°E, 15.7 km, M5.0), 宮城県

*Depth estimate using P-wave later phase for Pacific offshore earthquakes of Tohoku district by Masahiro Kosuga

北部の沖 (38.66°N, 142.15°E, 42.1 km, M4.5), および宮城県中部の沖 (38.13°N, 143.49°E, 16.3 km, M5.0) の地震とした。震源位置・マグニチュード・メカニズム解は、気象庁 CMT 解のセントロイド位置・モーメントマグニチュード・モーメントテンソル解のダブルカップル成分を与えた。

3. 観測とシミュレーションの比較

P 波後続波群はシミュレーションによる重合波形にも現れており、周期 5 s 前後で、見かけ速度の範囲が 7.0~8.2 km/s の波形は観測波形と比較的よく似ている。震源深さを変えたシミュレーションを行った結果、重合波形の周期は震源が深くなると系統的に長くなることがわかった。観測とシミュレーションによる波形の相関係数を計算し、シミュレーションの深さの関数としてプロットすると、上に凸の分布となる。これを深さの多項式で近似して相関が最大となる深さを求めると、岩手県沖の地震のセントロイド深さ 15.7 km に対して 16.6 km、宮城県北部の沖の地震では 42.1 km に対して 39.1 km、宮城県中部の沖の地震では 16.3 km に対して 12.1 km という結果が得られた。

4. P 波後続波の起源

P 波後続波を用いての震源深さ推定は、シミュレーションでの重合波形の周期が震源深さとともに系統的に長くなることを根拠にしている。それを理論的に裏付けるためには、P 波後続波の起源を明らかにする必要がある。OpenSWPC によるシミュレーションでは波動場のスナップショットも出力されるので、それに基づいて起源の検討を行った。陸域の観測点に出現する P 波後続波を時間を遡って震源方向に追っていくと、マントルウェッジ部分で生成されていることがわかる。地殻内での波動場は複雑であるのでマントル内での P 波後続波に着目すると、海底面での P 波反射によって生成された波 (pP 波) と推定される。シミュレーションでは深さが浅くなると P 波と後続波の間隔が短くなることも、海底反射という解釈と調和的である。以上のことは、P 波後続波を用いて震源深さを推定することが合理的であることを示す。なお、P 波後続波が海面反射波ではないことは、海水を除いたシミュレーションを行うことで確認できた。

5. おわりに

ここで検討した P 波後続波はプレート境界付近で発生した多くの地震の記録に含まれているはずであるが、これまでほとんど注目されてこなかった。本研究では、低周波成分を用いるとともに AGC による振幅調整を行い、波動の空間的な連続性を利用することで検出することができた。今後は、S-net を用いて推定された震源深さと比較して方法の妥当性を確認するとともに、後続波を効率的に利用して 3 次元的な震源位置を推定する方法の開発が必要である。

謝辞

本研究では防災科研 H-net の観測波形と気象庁 CMT 解カタログを使用した。波動伝播シミュレーションには東京大学地震研究所の EIC 計算機システムを利用した。(公財)地震予知総合研究振興会からは研究費の援助をいただいた。以上の機関に感謝します。

重力異常およびボーリング資料による盛岡市街地周辺の浅部地下地質構造の解明

滝本彩乃・越谷 信・岡田真介・岡田脩平・佐野賢佑（岩手大学）・
佐藤慶一（岩手大学，現：福島県庁）

1. はじめに

兵庫県南部地震において甚大な被害をもたらした“震災の帯”から考えられるように、表層の地盤特性や不整形地盤構造は地震波の増幅の程度を左右する。このため、地盤増幅率を左右する表層地盤の堆積層厚や性質、また断層の存在などに関する情報はきわめて有益である。

盛岡市街地周辺の地下構造については、先行研究により高松ノ池～前潟の地下 1 km 程度までの構造は明らかにされている。本研究では、ボーリングデータの解析と重力探査およびブーゲー重力異常の解析から、盛岡市街地の北部と高松ノ池～前潟～大釜付近にかけて、地下 1 km 程度までの地下地質構造を推定した。

2. 対象地域の概要

盛岡市街地は北上低地帯北部にあたり、西側に奥羽山脈が、東側には北上山地が位置している。また、北上川左岸地域には明瞭な段丘地形が発達する。対象地域の地層は、下位より先新第三系の基盤岩類、層準未詳層、盛岡挟炭層、古北上川・雫石川堆積物、青山町岩屑なだれ堆積物、上堂層、大石渡岩屑なだれ堆積物、みたけ層、好摩段丘堆積物、高松段丘堆積物、古沖積層堆積物、平笠岩屑なだれ堆積物、上田層及び沖積層堆積物に分類される。



図1 盛岡市周辺の地形陰影図と重力測定点位置

3. 研究方法

3.1 ボーリングデータの収集・解析

県内事業所より提供されたボーリングデータから、重力探査測線付近に位置するものを選定し、重力探査測線の始点と終点を通る直線上に投影した。地層境界同士を結び、浅部地質断面を作成した。その際、先新第三系の基盤岩類を除いて3層に区分し、下位より盛岡挟炭層（およびそれ以深の堆積物を含む）、古北上川・雫石川堆積物、青山町岩屑なだれ堆積物以浅とした。

3.2 重力探査およびブーゲー重力異常を用いた地下密度構造の解析

重力探査測線は、盛岡市街地北部の黒石山付近から盛岡北高付近を通り、平蔵沢付近に至る東西方向約 7.4 km の測線（ML1）と、市街地中部付近の高松ノ池から、前潟を通り、大釜上竹鼻までの東西方向約 8.1 km の測線（ML2）を設定した。測定点の間隔は標準 200 m として、ML1 で 40 点、ML2 で 43 点、合計 83 点の相対重力測定を実施した（図1）。測定には、Scintrex 相対重力計 CG-5 を用いた。また位置座標および標高を取得するために、GNSS 測量を行った。

データ解析では、まず、得られた重力測定値に、標準的な重力補正計算を施し、各測定点の絶対重力値を算出した後、仮定密度 2670 kg/m^3 として、ブーゲー重力異常を求めた。次に、タ

*Shallow subsurface geological structure around Morioka area using gravity anomaly and drilling data by Ayano Takimoto et al.

ルワニ法 (Talwani *et al.*, 1959) を用いて密度構造解析を行った。浅部 100 m 程度はボーリングデータにより得られた地質構造を入力し、各地層の密度には、試行錯誤的に最も観測値と計算値が一致する密度を適用した。また、両測線中央～西部の盛岡挟炭層(及びそれ以深の堆積物)と先新第三系の基盤岩との境界は、観測ブーゲー重力異常に最も合うように推定した。

4. 結果

重力探査によって得られたブーゲー重力異常値を図2(丸印)に示す。ML1, ML2 両測線において、ブーゲー重力異常は全体的には西に向かって減少する傾向を示し、西端において ML1 では 59 mgal, ML2 では 58 mgal である。ボーリングデータは両測線とも調査地域東部に集中している。これらから得た浅部の地質構造の各地層密度は、両測線ともに上層から 1900, 2000, 2100 kg/m³ と仮定した場合、観測値と計算値の残差が最小となる。一方、測線中央部～西部にかけて、基盤岩に達するボーリングデータは殆どなく、観測値と計算値が最もよく一致するように地下構造を推定した。その結果、図3に示すような地下地質構造が推定される。両測線において、先新第三系の基盤上面は、測線東部から中央部付近にかけて階段状の構造を持ち、ML1 では鶉飼細谷地付近、ML2 では大釜竹鼻付近において、標高約-400 m 程度まで低下すると推定される。

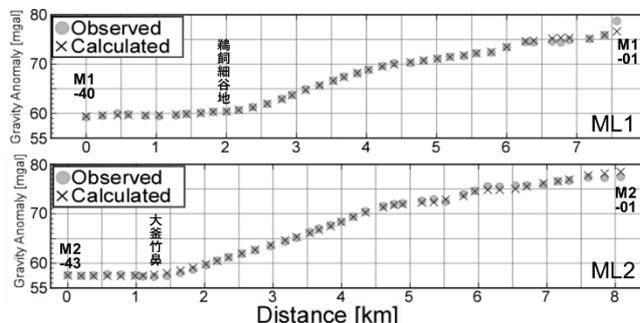


図2 ML1, ML2 におけるブーゲー重力異常

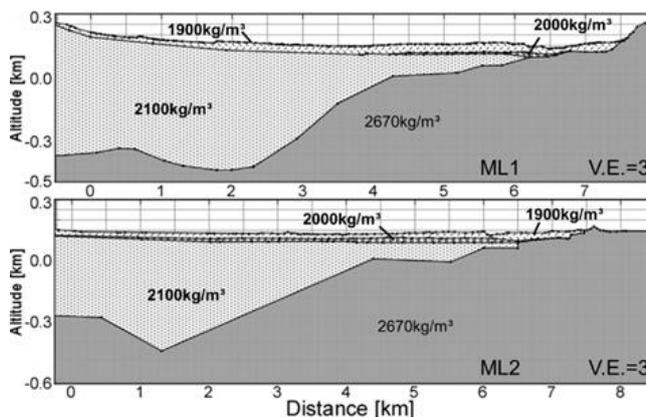


図3 ML1, ML2 に沿った密度構造モデル

5. 考察

盛岡市街地北部と中部付近を東西に横断する2本の測線において、ブーゲー重力異常を用いて地下構造を推定した結果、両測線ともに先新第三系の基盤上面の深度は階段状の構造を持ち、特に測線中央部付近から西に向かって急激に深くなることが推定された。これらの構造は、日本海形成時の引張場において形成された西傾斜の正断層に伴うリフト構造にあたる可能性も考えられる。さらに、両測線において同様の構造を持つことから、盛岡市街地周辺では、このリフト構造は南北方向に連続的に分布すると考えられる。

6. 結論

盛岡市街地を東西に横断する2測線において、地下地質構造の推定を行った。浅部約 100 m はボーリングから得られた地質構造を利用し、それ以深は、ブーゲー重力異常からタルワニ法を用いて地下密度構造を推定した。その結果、先新第三系の基盤岩は、測線東部から中央部にかけて上面深度が深くなる階段状の構造を持ち、測線中央部から西部にかけて 400m 程度深くなるような構造を持つ。この構造は日本海拡大時の正断層運動により形成されたと考えられ、盛岡市周辺に南北に連続している可能性がある。

なお、2022年10月には、市街地南部付近を横断する新たな重力探査測線において調査を実施し、ボーリングデータの収集・解析およびブーゲー重力異常を用いた地下構造の解析を進めている。発表ではそれらの解析結果についても含める予定である。

引用文献： Talwani, M., J. L. Worzel, and M. Landisman, 1959, *J. Geophys. Res.*, **64**, 49-59.

地下構造の空間変化の把握を目的とした高密度リニアアレイによる微動観測実験

岩手大学工学部 ○石塚理央 山本英和 齊藤剛

1. はじめに

地震時の揺れやすさを評価するために、地盤の S 波速度構造を求めることが重要である。浅部の S 波速度構造を求めるには、微動計を円周上においた三角形配置の微動アレイ探査が一般的である。しかし、三角形配置の微動アレイ探査で地下構造の空間変化を把握するには、微動計の保有台数が少ない場合、多地点で、かつアレイ半径が異なる観測を複数回行う必要があり、実務的に労力がかかる。一方、微動計を直線上に置くリニアアレイによる微動観測は、微動の到来方向が全方位であるという仮定が成り立てば、少数の微動計、かつ 1 度の測定で地下の 2 次元構造を調べることができると期待される。そこで本研究では、リニアアレイを用いて微動観測を連続的に実施し、地下構造の空間変化の把握を試みた。

2. リニアアレイ微動観測

岩手県盛岡市に位置する岩手県営運動公園内の道路において、微動計を直線に 8 台配置し、東西測線と南北測線に沿って連続的に微動観測を行った。図 1 に測線の位置を示す。赤線は測線を示しており、東西測線を L-EW、南北測線を L-NS とする。測線の長さは、L-EW は 195m、L-NS は 155m である。図 2 に、1 回の観測で使用した微動計の配置を示す。微動計間隔は 5m とし、1 回の観測時間は 15 分で行った。2 回目以降の観測では、前 4 台の微動計を後ろに移動しオーバーラップさせて観測した。L-EW を x 軸、L-NS を y 軸とし、東端の x 座標を 0、北端の y 座標を 0、東から西の方向と北から南の方向を負とした。図 3 に L-EW の微動計配置図を示す。微動計は白山工業株式会社製の 3 成分加速度計 JU310 を 5 台、JU410 を 4 台を使用した。サンプリング周波数はどちらも 200Hz である。

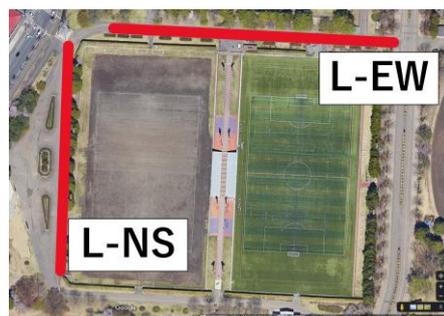


図 1 測線位置

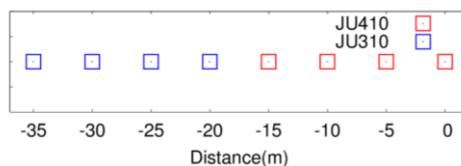


図 2 微動計配置図

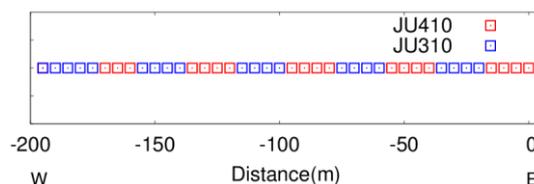


図 3 L-EW の微動計配置図

3. 微動の H/V

図 4 に L-EW、図 5 に L-NS の微動の H/V スペクトル比の空間変化をそれぞれ示す。横軸は図 4 では東西

*An experiment of microtremor observations with a linear array in order to clarify the spatial variation of subsurface structures by R. Ishizuka, H. Yamamoto and T. Saito

の x 座標, 図 5 では南北の y 座標を表す。縦軸は周波数を, 色は H/V を表す。H/V は対数に変換し, 図示した。L-EW では 1-2Hz 付近のピークが西側で大きく, 東側で小さい。また 4-7Hz では, 西側で小さく東側で大きくなっていることが確認できる。L-EW では場所による変化が見られたが, L-NS では大きな変化は見られなかった。これらより, L-EW では振動特性が変化しており, L-NS ではあまり変化していないことがわかる。

4. 位相速度の推定

岩手県営運動公園は盛岡の市街地に位置している。微動の到来方向が全方位であると仮定して, 観測された上下動微動アレイ記録から直線 SPAC 解析で位相速度を求めた。位相速度は, 8 台並べた微動計の midpoint の位置として求めた。図 6 に L-EW, 図 7 に L-NS の位相速度分散曲線の空間変化をそれぞれ示す。図 6 より, 6Hz で比較してみると, L-EW は -17.5m 地点で約 300m/s を示しているが, -177.5m 地点では約 100m/s を示している。これらより, 東から西にかけて位相速度が遅くなっていることが分かる。一方 L-NS は図 7 より, 同様に 6Hz で比較してみると, -77.5m では約 120m/s を示しているが, -17.5m と -137.5m では約 100m/s であった。これらより, L-NS では L-EW ほど大きな変化は見られなかった。以上より, リニアアレイで観測した微動記録から直線 SPAC 解析で位相速度を推定し, その空間変化を明らかにすることに成功した。

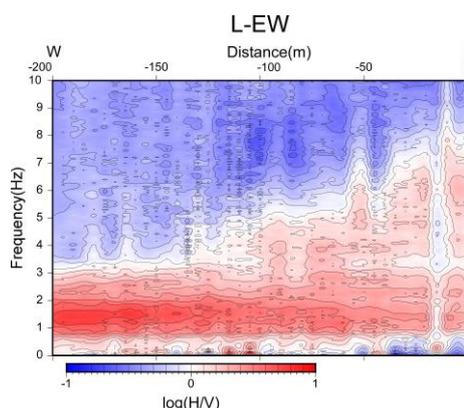


図 4 L-EW の H/V の空間変化

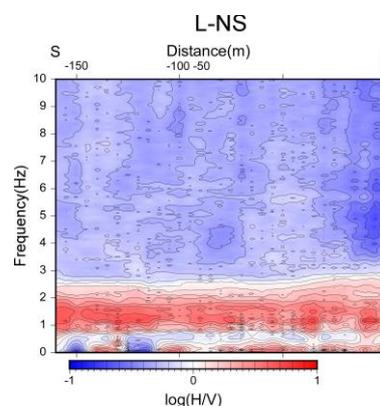


図 5 L-NS の H/V の空間変化

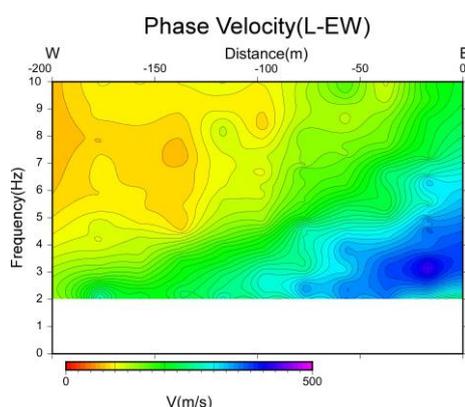


図 6 L-EW の位相速度の空間変化

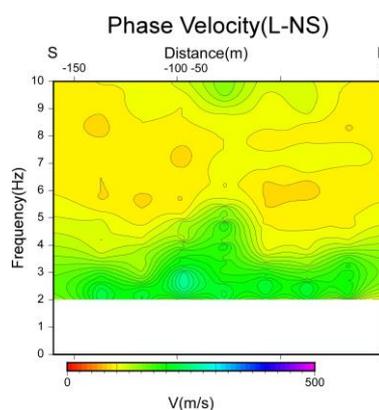


図 7 L-NS の位相速度の空間変化

3次元不均質速度構造モデルを用いた 青森県周辺の地震に対する CMT 解推定*

弘前大学大学院理工学研究科 増永 仁・前田拓人・高野智也

1. はじめに

地震の発震機構は、定常的な地震活動を把握するのみならず、地域の応力場やひずみ場を評価する上でも重要な指標である。発震機構を調べる手法のひとつとして、セントロイドモーメントテンソル (CMT) 解がある。CMT 解は、地震波速度構造を仮定して計算された観測点での理論波形と観測波形を比較し、双方がよく一致するような震源と発震機構を探索する。今日、CMT 解は気象庁や防災科学技術研究所 (防災科研) などにより逐次推定されているが、いずれも地下構造には 1 次元速度構造モデルを使用している。

青森県は東西の沖合にプレート境界があるほか、陸上には活火山が点在するように地震波速度構造の不均質性が強いと考えられている (例えば Nishida et al., 2008)。そのため速度不均質を考慮しない 1 次元速度構造モデルに基づく CMT 解の推定結果は、真の発震機構解から系統的に乖離してしまう可能性がある。そこで本研究では、青森県周辺で発生した地震について 3 次元不均質速度構造モデルのもとで CMT 解を推定し、不均質速度構造の影響を検討する。

2. CMT 解の推定

本研究では、青森県周辺の北緯 $39.5 - 42.0^\circ$ および東経 $138.0 - 146.0^\circ$ 、深さ 150km 以浅で 2004 年 4 月 1 日から 2022 年 9 月 30 日までに発生した気象庁マグニチュード 3.0 以上の地震を解析対象とした。観測波形には北海道、東北地方および北陸地方にある 20 点の防災科研 F-net 波形記録を使用した。理論波形の計算にあたっては 3 次元の速度不均質を考慮した Koketsu et al. (2012) の全国 1 次地下構造モデル JIVSM を用い、差分法および相反定理 (Maeda et al., 2017) によりグリーン関数を計算した。各地震においては、気象庁一元化震源を初期震源として周囲に水平 0.1° 、深さ 1km 間隔のグリッドを設定し、震源をグリッドサーチした。各震源では最小二乗法によりモーメントテンソル解を決定した。その後、観測波形と理論波形の適合度 (VR) が最も高いグリッドを抽出し、その位置と解を最終的な CMT 解とした。

対象となった 8967 個の地震に対して CMT 解析を実行し、VR が 50% 未満となり品質が低いと判断したものを除外したところ、約 3 割にあたる 2646 個の地震について解を得た (図 1)。その結果、例えばプレート境界付近の地震では多くが低角逆断層型となるなど、地域における一般的な地震と調和的な解を示すことが分かった。なお観測網から離れた海溝軸付近では、その外側に行くほど震源が深くなる傾向が見られた。これが実際の現象なのか、観測点分布の偏りに由来する疑似的な分布なのかの判断については、今後の検討が必要である。

* CMT inversion for earthquakes in and around Aomori prefecture, northern Honshu, Japan, using three-dimensional heterogeneous velocity structure by Jin Masunaga et al.

3. 1次元速度構造モデルによる結果との比較

3次元不均質速度構造モデルの影響を検証するため、F-netのCMT解析で用いられている1次元速度構造モデル(Kubo et al., 2002)によるグリーン関数を使用して同様の手順により推定した結果と比較した。ここでは比較指標としてダブルカップル(DC)成分比を用いた。なお断層運動を伴う地震において真のDC成分比は十分に高いことが見込まれる。3次元モデルと1次元モデル双方でCMT解を得られた地震において、DC成分比が80%を超える頻度は3次元モデルを使用した場合のほうが多かった(図2)。またDC成分比の平均は1次元モデルで77.5%, 3次元モデル83.2%となり、5.7%高くなった。真の地震がDC成分のみで構成されていても、不均質性を考慮しない速度構造を用いると解析結果に非DC成分が表れてしまうことが知られている(例えば川勝・他, 1991)。従って本研究で得られたDC成分比の向上は、適切な地下構造の仮定によって実際の断層運動をより反映した発震機構解が得られたことを示唆する。

4. おわりに

本研究では3次元不均質速度構造モデルを用いてCMT解を推定し、1次元速度構造モデルによる解と比較した。その結果、3次元モデルを用いると一般の断層運動により即したCMT解を得られることが示唆された。ただし観測網から離れた地震における震源位置の決定精度は3次元構造を仮定しても十分に高くない可能性があり、今後さらなる検討が必要である。

謝辞

本研究には、気象庁一元化震源データ、および防災科学技術研究所F-netの広帯域地震観測網記録を使用しました。関係機関に感謝致します。

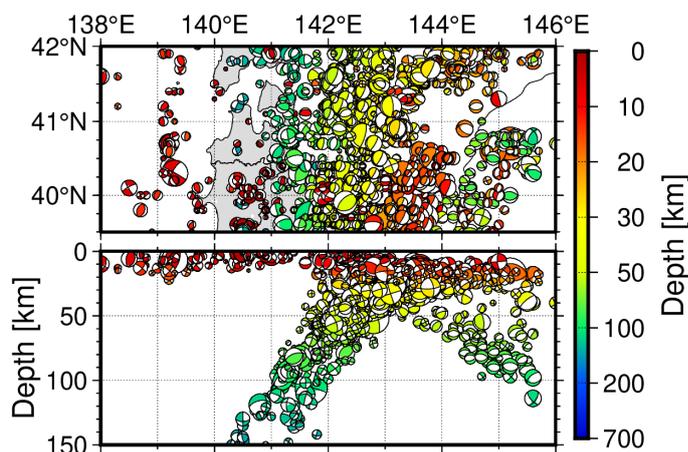


図1 解析したCMT解。上図は下半球投影震源球の平面図、下図は横向き震源球の深さ断面図。色は震源の深さに、球の大きさはマグニチュードに対応している。

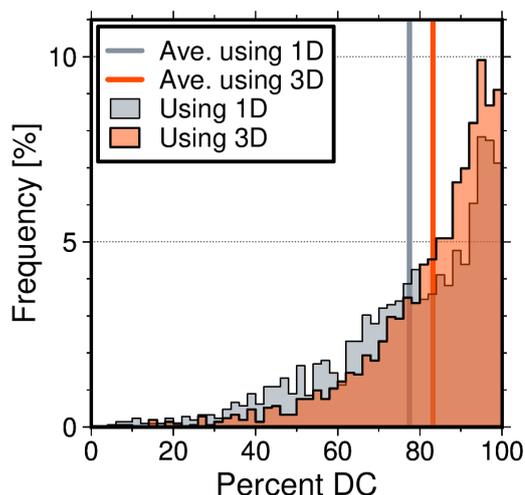


図2 DC成分比のヒストグラム。横軸はDC成分比、縦軸は頻度。灰色は1次元モデルによる結果、赤色は3次元モデルによる結果を示す。縦の実線はそれぞれの平均値。

3. 重力調査

重力調査は、測定間隔を 200 m を基本とし、山楯 (A-B) 測線、最上川 (C-D) 測線および余目 (E-F) 測線に沿って行った (図 1)。それぞれの測線での重力測定点は、42 点、116 点、57 点である。使用した重力計は、シントレックス社製重力計 CG-5 で、観測点の位置および標高は、RTK-GPS および電子レベルを用いて測定した。データの処理は、概ね地質調査総合センター (2004) に従った。ブーゲー補正および地形補正に用いた仮定密度は、 2.10 g/cm^3 とした。

4. 結果と伏在断層の北方への範囲

余目測線では、ブーゲー異常は東に向かって約 12 mGal 増加する (図 2)。ただし、増加の割合は一様ではなく、全体の平均的な増加傾向に比べ、西端から 5500 m 付近で 3 mGal 程度を最大として上に凸のグラフの形状を示す。最上川測線でも、ブーゲー異常は東に向かって大きくなり、西端と東端の差は約 55 mGal である。出羽丘陵西縁の観音寺断層以東では、観音寺断層、酒田衝上断層群および青沢断層群を境として段差状にブーゲー異常が増大する。観音寺断層以西の庄内平野側では、余目測線ほどではないが、全体の増加傾向に比べ、最大で 2 mGal 程度の上に凸状に増大する部分が認められる。山楯測線でも、ブーゲー異常が東に向かって増大する変化傾向は同様である。ただし、庄内平野内での全体の増加傾向に対して上に凸に増大する部分が 1 mGal 以下になっている。このことは、余目測線付近で確認された伏在断層による地下の地層の変位が北方に向かって減少し、伏在断層の北端が山楯測線よりやや北側にある可能性を示している。講演では、これらのブーゲー異常に対応する地下地質構造および断層構造の推定結果についても報告する予定である。

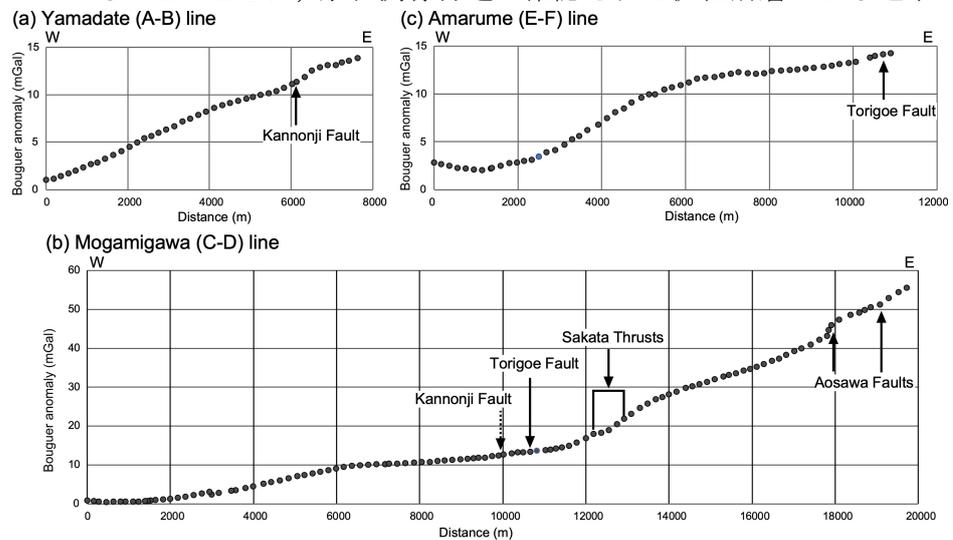


図 2 山楯、余目、最上川測線におけるブーゲー異常

5. 文献

地質調査総合センター, 2004, 日本重力 CD-ROM, 第 2 版。

池辺穰ほか, 1979, 酒田地域の地質。地域地質研究報告, 地質調査所, 42 p.

地震調査研究推進本部, 2009, 庄内平野東縁断層帯の評価 (一部改定)。41 p.

文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所, 2020, 活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層調査研究」平成 29～令和元年度成果報告書。246 p.

佐藤比呂志ほか, 2020, 震源断層の長期評価に向けて。地震予知連絡会会報, 104, 476-479.

東郷正美ほか, 2007, 都市圏活断層図「庄内南部」。国土地理院技術資料, D1-No.496.

土谷信之, 大沢地域の地質。1989, 酒田地域の地質。地域地質研究報告, 地質調査所, 85p.

<第2会場 会議室2>

— 第3部 (6題) —

司会：大野 晋先生

12月27日(火) 12:30~14:00

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*

岡田真介・越谷 信（岩手大学）、田中美咲（岩手大学、現：東日本高速道路）、平出裕博（岩手大学、現：ユアテック）、岡田知己（東北大学）

1. はじめに

研究対象地域の北部には、北東-南西方向にのびる長町-利府線断層帯が分布し、南部には南北走向の双葉断層帯が分布する（図）。従来から、愛島丘陵の東麓には、北北東-南南西方向に約 2.5 km の活断層が推定されていた（池田ほか，2002）。岡田ほか（2017）では、愛島丘陵東麓の活断層は、さらに南方へ伏在して連続すると考え、阿武隈川河口付近で反射法地震探査を実施し、地下地質構造の詳細と伏在活断層の存在を明らかにした（Fig. 1）。また、同測線で実施した重力探査により、伏在活断層の運動に伴ったブーゲー重力異常の変化を捉えた。伏在活断層の北部延長は、名取川右岸側から愛島丘陵付近までの地域で実施した重力探査の結果から、北には連続しないことが明らかになっている（岡田ほか，2014）。しかし、伏在活断層のさらに南方への連続性は、これまでの研究では明らかになっていなかった。そこで本研究では、伏在活断層の南端部を明らかにすることを目的として、宮城県亘理郡亘理町・山元町付近において重力探査を実施した。

2. 研究手法

本研究では、仙台平野の伏在活断層の南部への連続性を明らかにするため、東西方向に重力探査測線を 7 本設定し、ブーゲー重力異常の変化を追跡した。各測線同士の間隔は、南北約 1.5 km であり、重力測定点の間隔は 250 m を標準とした。重力計には、LaCoste & Romberg 社製の G 型重力計（G-682）を用い、2020 年に 4 測線 74 点、2021 年に 3 測線 70 点の相対重力測定を行った。また、測定点の位置座標および標高を得るために GNSS 測量を同時に実施した（u-blox 社製 ZED-F9P および ANN-MB-00 レシーバを使用）。重力基点付近に、基準局を設置し、重力測定点では 2 Hz、15 分間の測位を行った。

重力値の処理は、地質調査所重力補正標準手順 SPECG1988（地質調査所重力探査グループ、



図. 研究対象地域の地形と活断層分布

* Southern extension of the blind active fault around the southern part of the Sendai Plain with using gravity survey by Shinsuke Okada, Shin Koshiya, Misaki Tanaka, Yasuhiro Hirade, and Tomomi Okada

1989) に従って行った。対象地域の伏在活断層は、沖積平野と丘陵地の境界付近に沿って分布する可能性があるため、地形補正に用いる仮定密度について詳しく検討する必要がある。そこで、本研究では、仮定密度を $1,200\sim 3,000\text{ kg/m}^3$ としたブーゲー重力異常値を計算し、地形起伏と比較し、最も相関が少ない $2,300\text{ kg/m}^3$ とした。GNSS 測量の解析には、RTKLIB ver. 2.4.3 を用いた。基準局の位置座標は、周囲の電子基準点から干渉測位を行い、網平均して求めた。

3. 結果と考察

それぞれの測線におけるブーゲー重力異常の変化は、以下の大きく 3 つの区間に分けられる。(1) 各測線東側の部分であり、西に向かって傾き下がる重力変化がみられる。これは、スラブによる重力効果を差し引いても、なお残る広域な重力変化の傾向に一致するものと考えられる。(2) 伏在活断層が連続する区間では、(1) から西に向かってわずかに角度が変わる変曲点を読み取ることができ、相対的に西に緩く変化するブーゲー重力を示す区間がある。(3) 各測線の西側の部分であり、西に向かって急激な高重力異常を示す。伏在活断層が連続する区間では、明瞭な変曲点を伴う。これは、断層運動に伴って割山隆起帯に分布する花崗岩類が浅部に位置していることにも対応すると考えられる。

これらの (1) ~ (3) の重力変化は、既存反射法地震探査により得られている地下地質構造とも整合的である。伏在活断層 (岡田ほか (2017) の F1 活断層) の浅部先端位置は、おおよそ前述の (2) から (3) への変曲点と対応していると考えられ、山元町高瀬付近の測線まで追跡できる。一方、(1) から (2) への変曲点は、現在は活動していない伏在断層 (岡田ほか (2017) の F2 断層) に対応すると考えた。

4. まとめ

本研究では仙台平野南部において、平野を東西に横断する方向で複数の測線を設定し、ブーゲー重力異常の変化から、伏在活断層の連続性を評価した。既存反射法地震探査の結果とも詳しく対比し、ブーゲー重力異常の変化について追跡した結果、仙台平野南端部の伏在活断層は、山元町高瀬付近において南端となっていると考えられる。また、双葉断層帯の北部からも東にそれるように分布するため、連続しないと考えられる。既存の成果とも合わせて、仙台平野南部の伏在活断層は、名取市付近から山元町高瀬付近までの約 25 km の長さを持つと考えられる。

謝辞: 本研究は、東北大学災害科学国際研究所・共同研究助成金および文部科学省委託研究「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)、地殻応答による断層への応力載荷過程と断層間相互作用の解明と予測 (THK_07)」を用いて実施した。また、東北大学 地震・噴火予知研究観測センターの重力計を使用させて頂いた。産業技術総合研究所の住田達哉氏には、既存測定値と整合させるための重力計の読取值換算表の校正についてご助言頂いた。

文献: 地質調査所重力探査グループ, 1989, 地質調査所月報, 40, 601-611; 池田安隆ほか編, 2002, 第四紀逆断層アトラス, 東京大学出版会, 254 p; 岡田真介ほか, 2014, 日本活断層学会 2014 年度秋季学術大会予稿集, 22-23; 岡田真介ほか, 2017, 地震第 2 輯, 70, 109-124.

岩手県と秋田県の Hi-net 観測点で観測された常時微動の地震波干渉法解析に基づいたスローネストモグラフィ*

岩手大学理工学部 小原宏太, 山本英和, 齊藤剛, 土屋隆, ○田村全

1. はじめに

小原ほか(2021)では, Ekström et al. (2009)のゼロクロス法を用いて, 岩手県およびその周辺の Hi-net 観測点で観測された微動の長時間重合したクロススペクトルから, 周波数 0.2~0.5Hz までの位相速度分布を算定した。しかし, 岩手県周辺の観測点のみでは位相速度を推定できなかった区域もあった。本研究では秋田県の観測点を追加した地震波干渉法解析を行い, さらに深い場所での地下構造を推定することや, 岩手県周辺の青森県, 宮城県の観測点を用いた地震波干渉法を行うことで, 位相速度を推定できなかった県西部などの地域についても, 位相速度を推定し, さらに, スローネストモグラフィ解析(土屋ほか, 2021)を行い, 岩手県全体の浅部地下構造を明らかにする。

2. 方法

本研究では, 岩手県, 秋田県, 青森県, 宮城県, 山形県を含めた合計64点の Hi-net 観測点の 2019年10月から2019年12月までの3か月分の上下動微動記録を用いた。図1に解析に用いた Hi-net 観測点の位置を示す。この観測点での二点の常時微動記録から得られるクロススペクトルの実部を求め, Aki(1957)に基づき, クロススペクトルのゼロクロス点を用い, 広い周波数帯で位相速度を推定するというゼロクロス法(Ekström et al., 2009)を適用した(土屋ほか, 2020)。また, ゼロクロス法を用いて推定された分散曲線から周波数ごとの位相速度二次元分布を作成する。

3. 結果

図3に周波数 0.5Hz における経路ごとの位相速度分布を示す。小原ほか(2021)ではわからなかった岩手県と秋田県の県境付近にも経路の範囲が広がった。また, 明らかに岩手県東部では位相速度が速く, それ以外の経路では速度が遅いことがわかる。得られた位相速度から特定

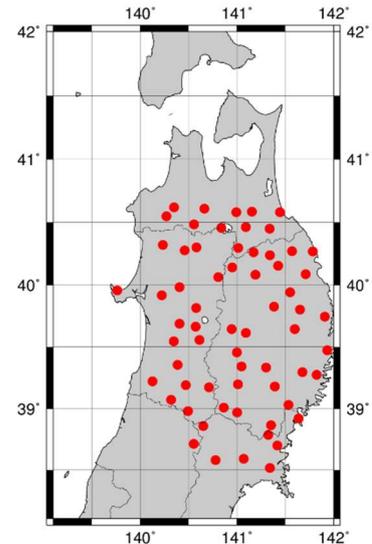


図1 解析に使用した Hi-net 観測点

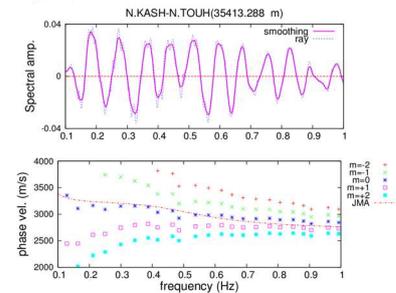


図2 規格化クロススペクトル(上)と位相速度(下)例。

* Slowness tomography based on seismic interferometry analysis of microtremors observed at Hi-net stations of Iwate and Akita Prefectures by K. Obara, H. Yamamoto, T. Saito, T. Tsuchiya and T. Tamura

の周期のローネスを算定し、ブロックトモグラフィ解析を行った。周期範囲は2秒から7秒である。波線は直線と仮定した。その結果、周期7秒では、ローネスはあまり地域によって変わらない。周期2秒では、東側では小さく、西側では場所により大きく異なった。特に岩手県西部から秋田県南部でローネスの差が確認できた。

謝辞

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 より波形データを提供していただきました。記して感謝致します。

参考文献

Aki, K. (1957), Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo, 35, pp. 415-456.

Ekstrom, (2009), Geophys. Res. Lett. 36, L18301.

小原ほか (2021), 令和3年度東北地域災害科学研究集会講演予稿集

鈴木ほか (2018), 東北地域災害科学研究 第54巻, 235-240

土屋ほか (2020), 令和2年度東北地域災害科学研究集会講演予稿集

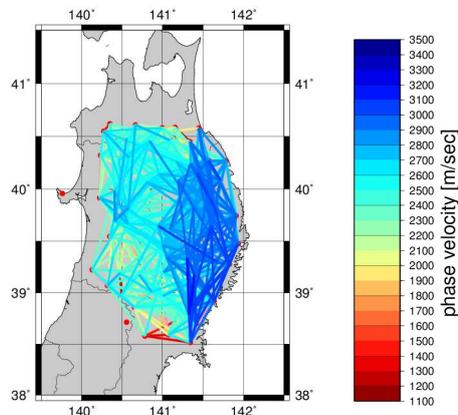


図3 周波数 0.5Hz における経路ごとの位相速度分布。

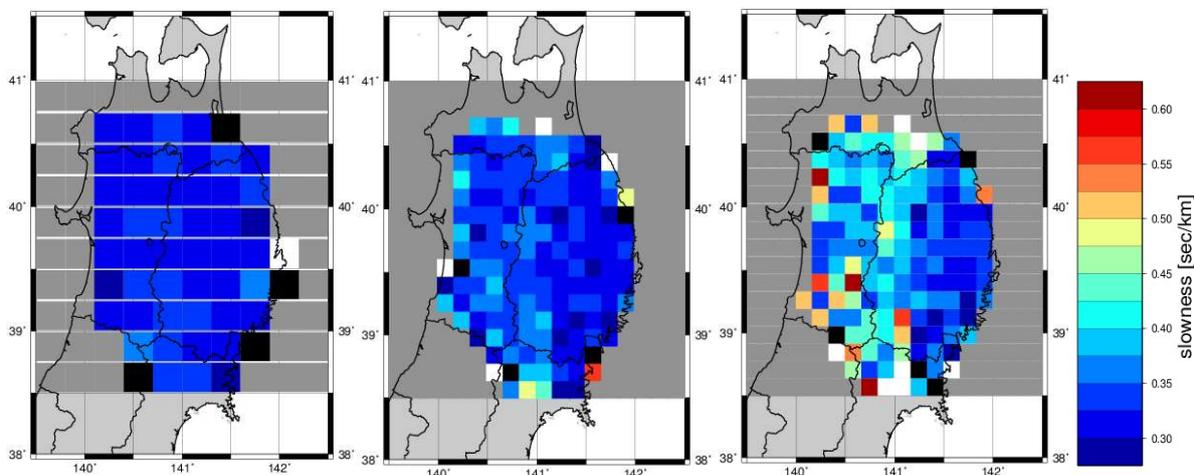


図4 周期7秒(左), 周期4秒(中)と周期2秒(右)のローネス分布

空間自己相関係数のゼロクロス点を利用した位相速度推定による微動

アレイ探査法の改良の試み*

岩手大学理工学部 池田真衣, ○山本英和, 齊藤剛

1. はじめに

微動アレイ探査で利用される空間自己相関法 (Aki, 1957) では, 波動の伝播に依存しないインコヒーレント (無相関) ノイズの影響により相関係数が低下し, しいては, 位相速度の精度が低下する。ただし, 空間自己相関係数のゼロクロス点はノイズの影響を受けないと考えられる。Cho et al. (2021)では, 関東で測定された多数の微動アレイ記録でゼロクロス点の位相速度の推定を検討し, 一部の記録では困難なものも存在するが, 多くの記録で問題なく位相速度が推定できることを示した。本研究では, 2001年に盛岡市で行われた微動アレイ探査のデータを再解析し, 空間自己相関係数のゼロクロス点を用いる位相速度を算出について有効性を検討する。さらに, 推定された位相速度とモデルより計算された位相速度との比較検討を行った。

2. 微動記録と解析方法

本研究では, 2001年に盛岡市で観測された半径 10m, 25m, 40m の7点のネスト型正三角形アレイで観測された上下動記録を使用した。微動計は固有周期 1秒の速度計である。従来の空間自己相関法では, 2点間の規格化クロススペクトルの方位平均の実部で計算される空間自己相関係数を(1)式に適合し位相速度を算定する。 ρ は空間自己相関係数, J_0 は0次ベッセル関数, f は周波数, r は距離, c は位相速度を示す (Aki, 1957)。

$$\rho(f) = J_0\left(\frac{2\pi fr}{c}\right) \quad (1)$$

従来のやり方では, 空間エイリアシングを考慮して最小地震計間隔の2倍の波長まで利用することが多い。今回は周波数 30Hz までの範囲で, 空間自己相関係数から i 番目のゼロクロス点を示す周波数 f_i を検出し, ベッセル関数の i 番目の零点を示す引数 x_i から(2)式により位相速度の推定を行った。

$$c = \frac{2\pi f_i r}{x_i} \quad (2)$$

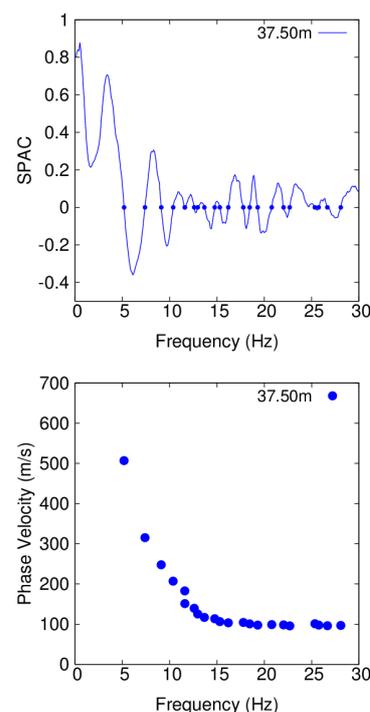


図1 空間自己相関係数(上図)とそのゼロクロス点から求めた位相速度(下図)。

*An improvement of microtremor array survey by estimating phase velocities using zero-cross points of spatial auto-correlation (SPAC) coefficients by Mai Ikeda, Hidekazu Yamamoto and Tsuyoshi Saito

3. 推定位相速度

図1に、盛岡市仁王小学校で観測された、距離37.5mの空間自己相関係数とゼロクロス点に対応する推定位相速度を示す。この例では、波長約3mに相当する、28Hz程度まで連続性の高い分散する位相速度が推定されている。7点アレイでは一つのアレイで5種類の微動計間隔が存在する。5つの微動計間隔すべてで同様の計算を行い、得られた位相速度を図2に図示した。ゼロクロス法では最小地震計間隔の2倍の波長よりも短波長側（高周波側）で連続性が高い位相速度が求められていることがわかる。ただし、約15Hz以上の高周波では位相速度の不一致が一部認められた。

図3に、得られた位相速度と、貝沼(2006)のS波速度モデルを使用して計算した理論位相速度を比較した。黒の実線が貝沼モデルを示す。低周波数から高周波数まで位相速度がほぼ一致していることが分かる。モデル位相速度に対するミスフィットを計算した。その結果、短い相関距離である12.5mの場合、差異が大きいことがわかる。おそらく、ノイズによりゼロ点を読み間違っているためと推察される。この場合、想定されるゼロ点の両側で位相速度を複数推定すると結果が改善されることが期待される (Ekström et al., 2009)。

この手法を、盛岡市の全11地点の上下動微動アレイ観測の結果を再解析し、SPAC係数のゼロクロス点から約3Hzから30Hzの周波数範囲の位相速度を求めることに成功した。半径40mアレイではほぼすべての観測点で、従来法で求めた位相速度の周波数範囲よりも約二倍以上広範囲の位相速度を求めることができた。このことから、従来のSPAC法と今回のゼロクロス法を併用することで広帯域の位相速度を利用することができるため、より精度の高い地下構造推定が行えると考えられる。

謝辞

微動アレイ観測は、当時の岩手大学工学部地下計測学研究室の学生により実施された。

参考文献

- Aki, K. (1957), Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, 35, 415-456.
Cho et al. (2021) Geophys. J. Int., 226, 1676 - 1694.
Ekström et al. (2009) Geophys. Res. Lett. 36, L18301.
貝沼 (2006) 岩手大学大学院修士論文

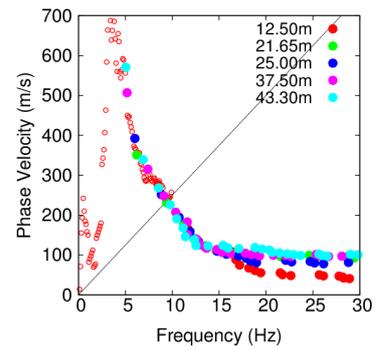


図2 従来のSPAC法（赤白丸）とゼロクロス法の比較。直線は

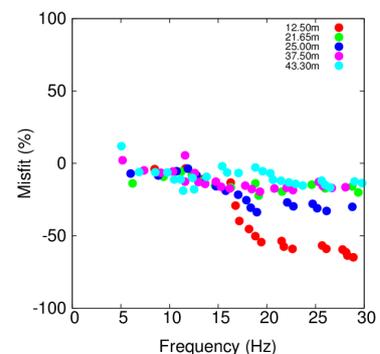
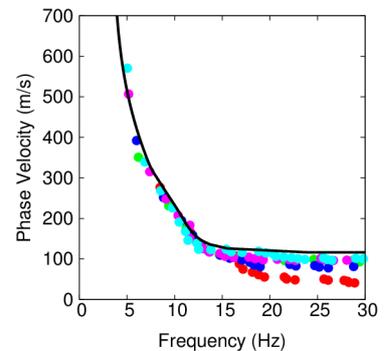


図3 図2の位相速度と貝沼(2006)モデルの位相速度(実線)との比較(上図)。モデル位相速度に対する位相速度のミスフィット(下図)。

2019-2022 年の東北の被害地震における建物強震観測記録*

東北大学災害科学国際研究所 大野 晋
山形大学理工学研究科 三辻 和弥
東北大学工学研究科 笹ノ間佑太

1. はじめに

東北大学災害研では、仙台市と宮城県・岩手県・山形県の公共建物（校舎や自治体庁舎）で強震観測を行っている。本稿では 2019 年 6 月 19 日山形県沖の地震から 2022 年 3 月 16 日福島県沖の地震の間で観測された強震記録について報告する。

2. 強震観測建物

仙台市内のトリガー型強震観測については文献[1]，宮城県・岩手県・山形県の連続観測については文献[2]に建物と観測概要を記載している。

3. 強震記録の概要

表 1 に観測された加速度最大値の一覧（水平 2 成分のうち大きい方）を示す。同一敷地内に震度計もしくは K-NET 観測点がある場合はその加速度最大値も記載している。図 1 は免震建物である東北大学災害研と RC 造建物の牡鹿総合支所庁舎を例に，観測波形と応答スペクトルを示している。後者は上階ほど大きな振幅になっているが，前者は基礎階に比べて上層階の短周期スペクトルが大きく低減されており，免震層の効果が確認できる。

参考文献

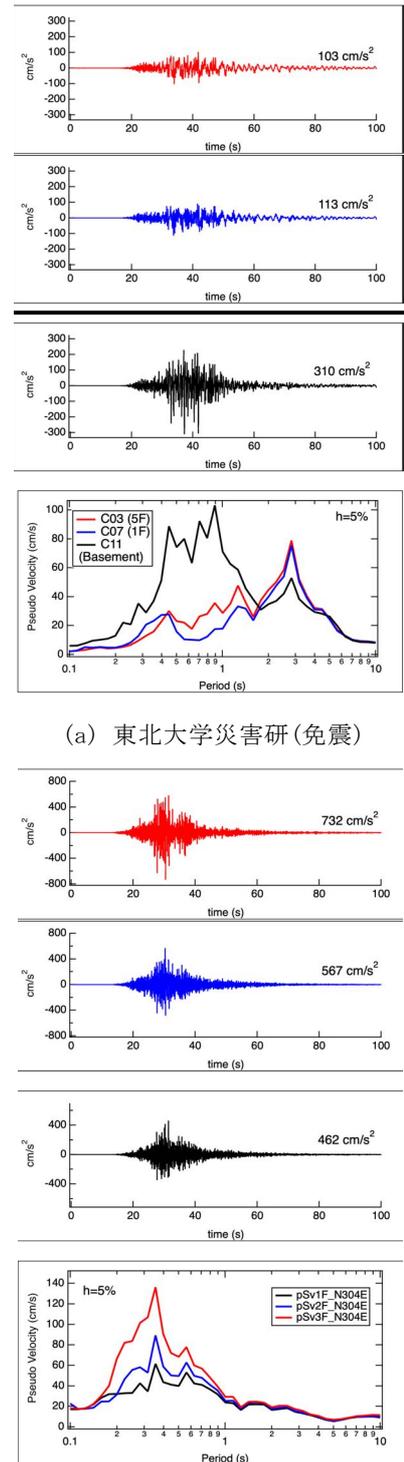
- [1] 大野晋・源栄正人（2015）強震観測から求めた仙台市低層公共建物の卓越周波数変化，日本地震工学会第 11 回年次大会梗概集，p3-29.
- [2] 笹ノ間佑太・大野晋・三辻和弥（2022）地震観測記録に基づく東北地方中低層建物の動的特性の把握に関する研究，日本建築学会東北支部研究報告集 構造系，85，pp. 13-16

*Strong motion records observed in buildings during 2019-2022 earthquakes in Tohoku region by Susumu Ohno, Kazuya Mitsuji and Yuta Sasanoma

表 1 加速度最大値一覧

建物名	日時	2019.6.18	2020.9.12	2021.2.13	2021.3.20	2021.5.1	2022.3.16
震央		山形県沖	宮城県沖	福島県沖	宮城県沖	宮城県沖	福島県沖
Mj		6.7	6.2	7.3	6.9	6.8	7.4
構造	深さ(km)						
牡鹿総合支庁舎	MYG011	6	71	361	530	397	682
RC	1F	6	-	-	-	240	462
	2F	7	-	256	365	324	571
	3F	12	-	381	480	523	732
釜小学校	1F	19	-	-	-	-	280
RC	2F	22	-	-	-	-	333
	4F	30	-	-	-	-	461
七ヶ浜町庁舎	震度計	-	-	397	-	-	496
RC	1F	15	23	292	-	-	-
	2F	21	31	633	-	-	-
	3F	55	77	1162	-	-	-
白石市庁舎	B1F	12	9	190	72	57	-
RC	3F	27	17	358	146	79	-
	5F	50	30	425	223	139	-
鹿島台総合支所庁舎	震度計	-	-	269	-	-	340
S	1F	29	42	202	242	143	301
	2F	48	63	363	302	207	528
	3F	52	65	433	320	239	679
大崎市役所東庁舎	1F	68	17	139	60	47	224
RC	3F	50	24	176	86	68	171
	5F	110	38	229	122	96	290
栗原市庁舎	1F	-	48	166	106	109	-
RC	4F	-	89	279	198	208	-
	4F(ホール)	-	73	222	223	194	-
大船渡市庁舎	IWT018	17	29	49	59	49	105
RC	B1F	4	48	55	99	98	92
	2F	6	48	83	126	171	150
	3F	9	59	95	175	196	188
宮古地区合同庁舎	IWT005	6	23	33	35	48	72
RC	1F	11	21	36	35	40	56
	2F	12	24	40	38	43	65
	3F	12	27	47	46	52	75
庄内総合支庁舎	1F	106	6	33	13	10	46
RC	3F	124	7	41	16	11	49
	4F	146	8	46	20	12	53
東北大災害研	地表	47	25	-	-	63	-
免震	B1F	27	14	273	69	42	310
	1F	20	14	63	38	24	113
	5F中央	20	12	92	35	24	103
東北大人間環境系	B1F	26	-	-	-	-	-
免震	1F	29	-	112	54	-	101
	5F	33	-	108	63	-	160
宮城県図書館	1F	27	17	186	-	-	-
SRC,S	3F	35	-	216	177	125	-
鶴ヶ谷小学校	1F	15	13	146	111	94	145
RC	3F	20	26	324	204	171	386
沖野小学校	1F	22	28	285	144	100	285
RC	4F	48	50	456	275	198	-

加速度最大値(cm/s/s, 水平 2 成分の大きい方)



(b) 牡鹿総合支庁舎 (RC 造)

図 1 2022 年 3 月 16 日福島県沖の地震の東西方向加速度波形 (上から最上階・中間階・基礎階)・疑似速度応答スペクトル

慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた3層骨組の振動応答特性

(その1) ダンパーおよび実験の概要

仙台高専専攻科 水間巧大
東北工業大学 船木尚己, 小嶋健太郎
仙台高専 飯藤将之, 藤田智己

1. はじめに

本稿は、東北工業大学において制振デバイスとして開発している慣性質量効果を有する液流ダンパーを多層フレームに組み込み、地震応答の低減効果を検討した結果をまとめたものである。これまで、液流ダンパー単体による実験、縮小フレーム模型に液流ダンパーを組み込んだ実験を行ってきた¹⁾が、本稿では、これまで用いた3層フレーム試験体に、液流ダンパーを組み込む層を変えて応答低減効果を検討した結果を示す。その1では実験の概要と実験結果を、その2では繰り返し応答解析を行って得られた周波数応答性状についてまとめる。

2. 液流ダンパーの概要

液流ダンパーの概念を図1に示す。本ダンパーは一对のピストンとシリンダーで構成され、相互のシリンダーが細長い管で連結された形状となっており、シリンダー内部には液体が封入されている。図に示す通り、ダンパーは、ピストンの伸縮に伴ってシリンダー内の液体室から連結管を通して液体が往復運動することにより発生する慣性質量効果と、シール材のせん断変形と液流によるエネルギーの消費により、建物に応答低減効果を付与するものである。

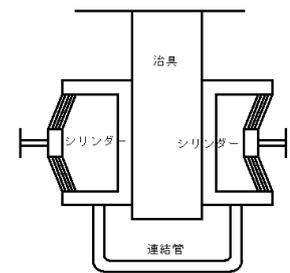


図1 ダンパー概念図

3. 試験体の概要

試験体の図面を図2に示す。3層試験体であり、各層の階高を500mmとし、各層フロアには幅500mm、奥行き440mm、厚さ8mmの鉄板を、柱には幅100mm、厚さ4mmのアルミ板を用いている。柱は各層4本とし、床と柱はアングルとボルトを用いて接続している。ダンパーを取り付けない層に対して取り付ける層での質量が大きくなるため、3層上部の鉄板には7.5kgのおもりを載せることで質量が均等に近づくように調整した。ピストンは骨組の下部床に設置したバットレスに、シリンダーは骨組の上部床からの吊り下げ

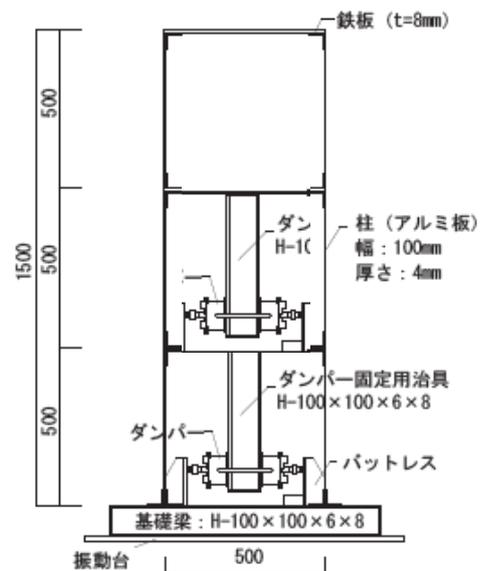


図2 試験体

た固定治具に固定している。シリンダーの寸法は、厚さ 2.1mm、内径 72.1mm、深さ 50mm である。ピストンの外径は 34mm である。ピストンの外周面とピストン外枠内周面にはシール材(シリコーンゴム)を充填し、液体(水)が漏れることのないようにしている。また、内圧による漏れを防ぐために、シリンダー端部とピストン外枠が接する部分には O リングを設置している。ピストンの可動振幅は、おおよそ±5mm である。連結管の内径は 1 層が 10mm、2 層が 12mm である。連結間長さは、0.5m、1m、2m の 3 種類とした。

4. 実験の概要

実験では、正弦波加振試験とホワイトノイズ加振試験を行った。実験ケースを表 1 に示す。正弦波加振試験では、周波数は 1.0~10.0Hz に変化させ、加振レベルは 25gal を基準とした。ホワイトノイズは、1/81.92~50Hz でのフーリエスペクトルをもとに作成し、加振レベルを調整して入力した。

計測については、レーザー式変位計でフレームの相対変位と振動台の変位を、加速度計で各層の応答加速度と振動台の加速度を計測した。また、ダンパーのピストンに連結したロードセルで抵抗力、連結管内に取り付けた圧力変換機で内圧をそれぞれ計測した。

表 1 試験体ケース

ケース	1層	2層	3層
case1 (フレーム)	-	-	-
case2 (シ無無)	シール材	-	-
case3 (シシ無)	シール材	シール材	-
case4 (05無無)	連結管0.5m	-	-
case5 (10無無)	連結管1.0m	-	-
case6 (20無無)	連結管2.0m	-	-
case7 (0505無)	連結管0.5m	連結管0.5m	-
case8 (1010無)	連結管1.0m	連結管1.0m	-
case9 (2020無)	連結管2.0m	連結管2.0m	-

5. 実験結果

図 3 に case1・case2・case5 の応答倍率 (3 層/台) を、図 4 に case1・case3・case8 の応答倍率 (3 層/台) を図 4 に示す。両者ともに 1-2-3 次のピークが計測されている。1 次だけ比較すると、どちらの場合でもフレームのみよりもダンパーを組み込んだフレームの固有周期は短くなっている。シール材のみのケースの応答倍率は高くなるが、水を充填することによって応答が低減されている。

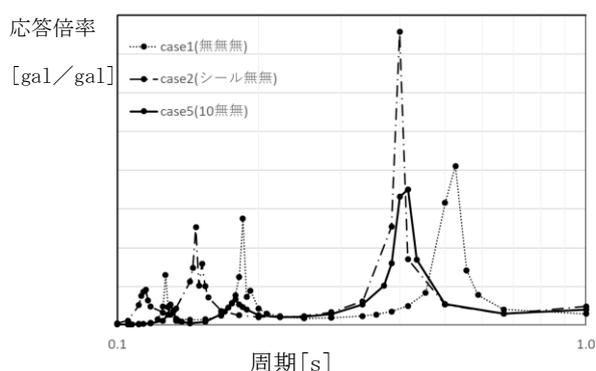


図 3 応答倍率(case1・2・5)

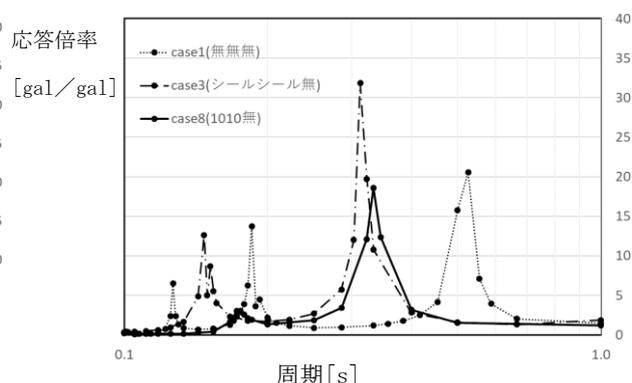


図 4 応答倍率(case1・3・8)

6. まとめ

デバイスとして開発している液流ダンパーを 3 層フレームに組み込んだ実験の概要と応答性状を示した。紙面の都合上、参考文献をその 2 にまとめて示す。

慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた3層骨組の振動応答特性

(その2) 実験および時刻歴応答解析結果

東北工業大学 小嶋健太郎, 船木尚己
 仙台高専 飯藤将之, 藤田智己, 水間巧大

1. はじめに

地震時における建物の応答を抑制することを目的として、慣性質量効果を有する液流ダンパー¹⁾を提案し、その効果を1層の縮小骨組試験体による振動台加振試験と時刻歴応答解析により検証してきた^{例えば2)}。本報においては、本ダンパーが組み込まれた縮小3層フレーム試験体による振動台加振試験の結果をシミュレーションするための時刻歴応答解析プログラムを作成し、解析結果と実験結果の比較から、解析手法の妥当性を検証することを主な目的とする。

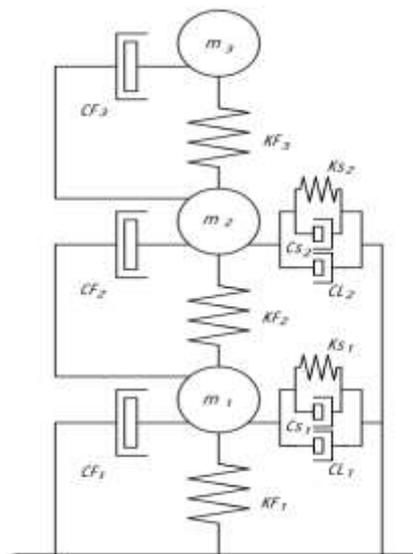


図1 解析モデル

2. 解析を行った対象実験の概要

本研究では、液流ダンパー²⁾を3層試験体に1層、もしくは1層2層に組み込んで加振実験を行った。試験体ケースを表1に示す。入力した正弦波は1.0Hzから0.5Hzずつ変化させて10Hzまでとした。

表1 試験体ケース

ケース	1層	2層	3層
Case1 (フレーム)	—	—	—
Case2 (シ無無)	シール材	—	—
Case3 (シシ無)	シール材	シール材	—
Case4 (05無無)	連結間 0.5m	—	—
Case5 (10無無)	連結間 1.0m	—	—
Case6 (20無無)	連結間 2.0m	—	—
Case7 (0505無)	連結間 0.5m	連結間 0.5m	—
Case8 (1010無)	連結間 0.5m	連結間 0.5m	—
Case9 (2020無)	連結間 2.0m	連結間 2.0m	—

時刻歴応答解析

ダンパーが1層と2層に配置された場合の離散時間系の振動方程式は、

$$\begin{aligned} & [\overline{M}_D]\{\ddot{x}\}_n + [\overline{C}]\{\dot{x}\}_n + [\overline{K}]\{x\}_n \\ & = -[\overline{M}]\{1\}x_{0n} - \{F_s + F_f\}_{n-1} \quad (1) \end{aligned}$$

と導かれる。 \ddot{x}_n 、 \dot{x}_n 、 x_n はそれぞれ

次のステップの加速度、速度、変位を表しており、 $[\overline{M}]$ 、 $[\overline{C}]$ 、 $[\overline{K}]$ はそれぞれ質量マトリクス、減衰マトリクス、剛性マトリクスを表している。 $[\overline{M}_D]$ は質量効果が付加された質量マトリクスを表し、

$$[\overline{M}_D] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta^2 m_{a1} & 0 & 0 \\ 0 & \beta^2 m_{a2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

と表される。(2)式において、 m_a は連結管内の液体の質量を、 β はピストンの有効断面積 A と連結管の断面積 a の比を表し、 $\beta^2 m_a$ が連結管内の液流による質量効果を示している。

(1)式の右辺第1項の \ddot{x}_0 は地動加速度を表している。第2項の F_s と F_f は、それぞれシール材による抵抗力と液流による抵抗力で

$$F_s = C_s \dot{x} + K_s x \quad (3)$$

$$F_f = (\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3) \times A \quad (4)$$

である。(3)式において、 C_s 、 K_s はそれぞれ、シール材の減衰係数と剛性を示し、(4)式における ΔP_1 、 ΔP_2 、 ΔP_3 は連結管内の圧力損失で、流路形状が急激に変化する急縮小部と急拡大部の算出式はそれぞれ、

$$\Delta P_1 = \zeta \cdot \frac{\rho(\beta \cdot \dot{x})^2}{2} = \zeta \cdot \beta^2 \cdot \frac{\rho \cdot \dot{x}^2}{2} \quad (5)$$

$$\Delta P_2 = \frac{\rho(\beta \cdot \dot{x})^2}{2} = \beta^2 \cdot \frac{\rho \cdot \dot{x}^2}{2} \quad (6)$$

と表される。また、連結管内摩擦については、

$$\Delta P_3 = \frac{\rho \cdot L}{2D} u_m^2 \cdot f \quad (7)$$

とし表される。ここで \dot{x} はピストンの速度、 ζ

(=0.5)は流路形状により定まる係数、 ρ (=998.2kg/m³)は液体の密度を表している。 L は連結管長さ、 D は連結管内径、 f は管内摩擦係数(表2)、 u_m (= $\beta \cdot \dot{x}_n$)は連結管内を流れる流体の平均速度を示している。

(1)式について数値積分法としてRunge-Kutta法を適用し、応答解析プログラムを作成した。

実験結果と解析結果を比較した共振曲線の例を図2、図3に示す。解析結果は実験結果とよく対応している。

3. まとめ

本報では、解析プログラムを構築し、振動台加振試験から得られた結果との比較を行った。その結果、構築したモデルは実験結果を概ね再現できたことが確認できた。今後は、管内摩擦係数を実験値から新たに算出し、解析値の精度を上げる事を検討課題としたい。

参考文献

- 1) 畑中他：慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた多層骨組の振動応答特性(その1) 試験体概要と振動台加振試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.863-864, 2020.9
- 2) 畑中他：慣性質量効果を有する液流ダンパーを用いた1層制振フレームの振動応答特性(その4) 地震応答解析の精度検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21446, pp.891-892, 2019.9

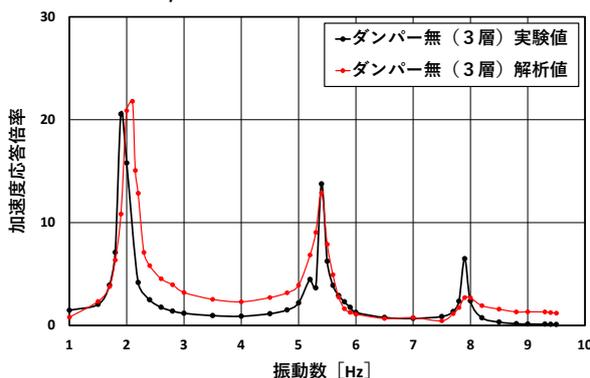


図2 共振曲線 (Case1 : 3層)

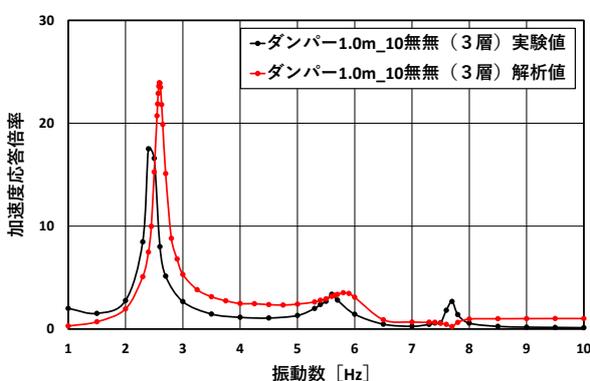


図3 共振曲線 (Case5 : 3層)

表2 管内摩擦の実験式

$L = 0.5m$	$f = 10611R_e^{-1.063}$
$L = 1.0m$	$f = 1219.3R_e^{-0.88}$
$L = 2.0m$	$f = 926.94R_e^{-0.899}$

<第2会場 会議室2>

— 第4部 (6題) —

司会：飯藤 將之先生

12月27日(火) 14:15~15:45

2 方向地震動を受ける鉄骨置屋根構造の屋根支承部への作用応力

○阿部彩加(仙台高等専門学校専攻科) 藤田智己(仙台高等専門学校)
船木尚己(東北工業大学建築学部建築学科) 飯藤將之(仙台高等専門学校)

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震や 2016 年熊本地震など、近年多発している地震によって鉄骨置屋根構造を有する体育館が構造的被害を受け、避難所としての機能を果たせなくなっていることが問題とされてきている¹⁾。これまで同構造の被害発生メカニズムの解明とともに耐震診断手法の提案¹⁾がなされてきているが、2 方向地震動の影響は考慮されていない。

本研究では立体解析モデルによる地震応答解析を実施し、2 方向地震動入力による影響について、置屋根支承部に作用するせん断応力（以降、支承部反力とする）の再検討とともに、その推定方法について検討を行う。

2. 解析モデルの概要

解析には構造システム SNAP Ver.7 を使用する。解析モデルを図 1 示す。鉄骨屋根を支持する下部構造が梁間方向(Y 方向)41.5m、桁行方向(X 方向)40.0m の RC 造架構、屋根は円形鋼管を用いた山形の立体トラス構造で、比較的規模の大きな公共施設の体育館を想定し

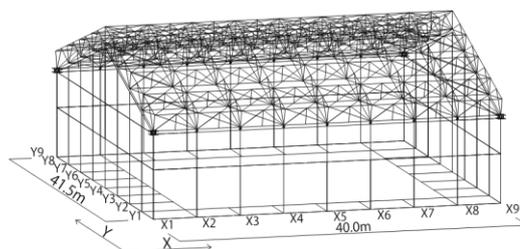


図 1 解析モデルの概要

ている。また、支承部を Y1 と Y9 構面の柱頭に 1 構面 9 カ所の計 18 カ所で屋根を支持する 2 辺支持型モデルを設定している。立体解析モデルに対して複数の地震波を用いた地震応答解析を実施する。入力地震動は 1940 年 Imperial Valley 地震(エルセントロ波)、1952 年 Ken County 地震(タフト波)、1968 年十勝沖地震(八戸波)、1978 年宮城県沖地震(東北波)、BCJ-L2 の 5 種類とし、最大速度を 50cm/sec に基準化して用いる。

3. 耐震診断結果と地震応答解析結果の比較

現行の耐震診断法¹⁾に倣って算出した X1 支承部反力について、屋根に作用した地震力のみが伝達されたケース「屋根」、屋根に作用した地震力と妻面を除く下部構造に作用した地震力すべてが屋根に伝わり加わったケース「屋根+下部」とともに、解析によって得られた支承部

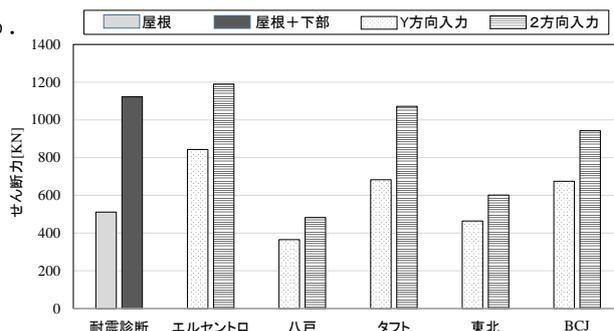


図 2 X1 支承部反力

反力として、Y 方向および 2 方向入力の地震応答解析の結果を図 2 に示す。Y 方向入力に比べ 2 方向入力の解析結果はすべての地震波で支承部反力が増加され、1 方向入力の結果に基づき設計された場合には、支承部の耐力不足により、被害が発生することになる。また、2 方向入力の結果は、過大評価している「屋根+下部」の耐震診断結果より大きくなるケースも確認できた。

* Stresses acting on the roof bearing of gymnasium structure subjected to earthquake motion in two directions by Sayaka ABE, Tomomi FUJITA, Naoki FUNAKI, Masayuki HANDOU

緩衝材を活用した地震・津波対策技術の開発*

弘前大学大学院理工学研究科 有賀 義明

1. 概要

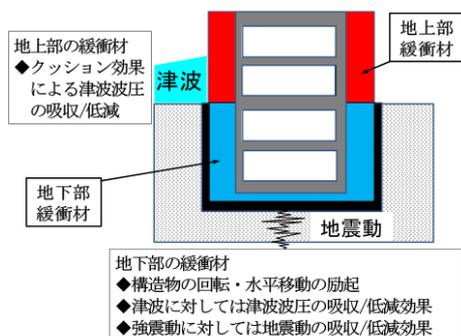
沿岸域の建造物の防災・減災に役立てるために免震・免波という考え方の地震・津波対策技術を考案し、これまでに、三次元動的 FEM 解析による免震効果の評価、SPH 法による建造物への津波衝突解析、三次元 FEM 解析による免波効果の評価等を実施してきた。

これらの研究成果を踏まえ、ここでは、津波対策に主眼を置き、緩衝材の免波効果（波圧低減効果）について津波模型実験を行うとともに、三次元静的 FEM 解析により建造物内に発生する応力に対する津波作用の影響を評価した。その結果、緩衝材の活用により建造物に作用する波圧を低減させることができること、建造物内に発生する応力は波圧の値のみならず波圧の分布形状によって大きな影響を受けること、そして、緩衝材の活用により津波に対する建造物の安全性を向上させることができることを確認することができた。

緩衝材の活用により強震動対策と津波対策を両立させることが可能であると考察される。

2. 免震・免波構造の基本概念及び津波対策における免波の考え方

免震・免波構造の概念を図 1 に示す。緩衝材は、強震動に対しては免震材として、津波に対しては免波材として機能するように意図している。津波対策における免波の考え方（全体の枠組み）は表 1 に示したとおりである。



【抜本的対策】（本質的な津波対策）
(1) 津波の回避 ◇津波が到達する場所には建造物を造らない ◇立地の防災化，土地利用の防災化
【次善の策】（現状に即した免波対策）
(2) 津波からの隔離，被覆 ◇地下化（サブスペース化） ◇ドーム化（建造物全体の被覆） ◇サブマリン化
(3) 津波の遮断 ◇防波堤，防波壁（海岸域での従来型の対策）
(4) 建造物側での工夫による津波作用の低減 ◇建造物の表面形状の工夫（平面，曲面，側面勾配等） ◇津波の到来方向を考慮した建造物のレイアウト
(5) 緩衝材（免波材）の活用による津波作用の低減 ◇緩衝材のクッション効果による波圧/波力の低減 ◇建造物の回転・移動による波圧/波力の低減

図 1 免震・免波構造の基本概念

3. 津波模型実験による緩衝材の津波波圧の低減効果の検討

緩衝材を活用した津波対策技術を実用化するためには、緩衝材による津波作用の低減が可能かどうかを明らかにすることが必要である。そこで、単純化した建造物模型を作成し津波模型実験を行った。使用した実験施設の概要と実験模型の状況は、それぞれ図 2 と図 3 の示すとおりである。緩衝材が無い場合と有る場合の波圧の比較結果は図 4 に示したとおりである。緩衝材として EPDM スポンジを用いて実験を行った結果、津波波圧の大きさと分布形状を建造物の安

*Development of earthquake and tsunami measure technology by using cushion materials by Yoshiaki Ariga

全性に有利になるように変化させることができることを確認することができた。

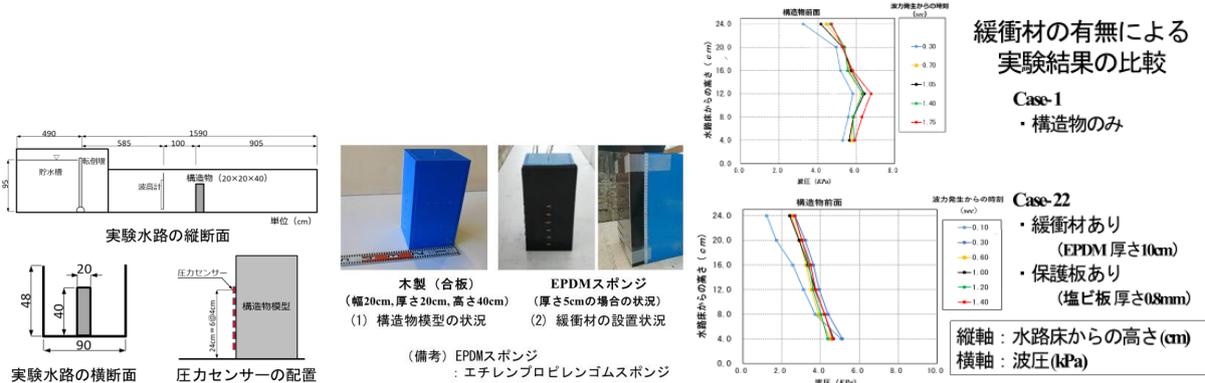


図2 実験水路の概要

図3 構造物模型の状況

図4 緩衝材の効果の比較結果

4. 三次元静的FEM解析による構造物内に発生する応力の検討

構造物内に発生する応力に対する津波波圧の大きさと分布形状の影響を明らかにするために三次元静的FEM解析を行った。津波波圧の大きさと分布形状は、図6に示したように、3つのケースを設定して比較解析を行った。その結果、波圧の大きさと分布形状は、共に、構造物内に発生する応力に直接的に著しい影響を及ぼすことが確認できた。

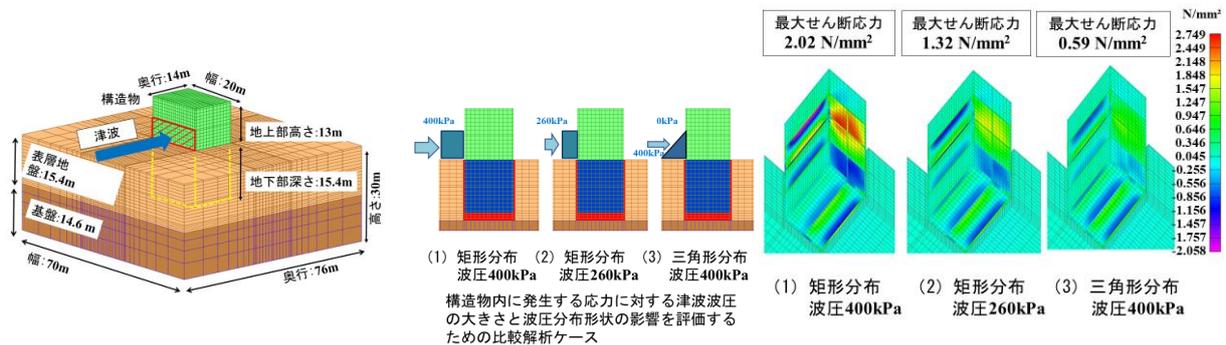


図5 三次元有限要素モデル

図6 構造物に作用する波圧の設定

図7 最大せん断応力の解析結果

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP21K04603 の助成を受けて実施しました。研究に際しては、土木学会水循環施設の合理的な地震・津波対策研究小委員会 WG1 の委員の方々のご協力をいただきました。記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺高志, 有賀義明, 西本安志, 大峯秀一, 山中明彦, 森崎啓, 坂下克之, 市山誠: 衝突条件の違いによる陸上構造物に作用する津波波圧の低減効果の検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.77, No.4, pp. I_659-I_669, 2021.
- 2) Y. Ariga, T. Watanabe, Y. Nishimoto, K. Sakashita, S. Omine, H. Morisaki, A. Yamanaka, M. Ichiyama, Y. Sato: Effective countermeasures against both strong earthquake motion and tsunami for water cycle facility, Proceedings of 17th World Conference on Earthquake Engineering, 2e-0004, pp.1-9, 2021.

構造物にかかる流体力に関する基礎的検討

八戸工業大学大学院 立花 郁巳
八戸工業大学大学院 遠藤 貫太
八戸工業大学大学院 堀合 紳弥
八戸工業大学大学院 高瀬 慎介
八戸工業大学大学院 加藤 雅也

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震は国内観測史上最大の規模であり、発生した津波は木造住宅を倒壊させ、RC 構造物の外壁や開口部を損傷させるなど大きな被害を与えた。倒壊した際の瓦礫が津波に巻き込まれることで被害が拡大したと考えられている。現在、千島・日本海溝地震による20m級の津波の予測がされており、東北地方太平洋沖地震による津波被害を超える規模の被害をもたらすとされている。

構造物を建設する際に波力の算定が行われており、波の衝突時の波力を求め設計に用いられている。しかし、波の力は衝突時だけでなく遡上している間、構造物にかかり続ける。そのため衝突時の力だけを考えるのは設計するには不十分ではないかと考えた。また、波力の算定には様々な抗力係数がモデル化されているが近似的な値を用いていることから避難ビルなどの重要構造物や複雑な形状をした構造物には、より詳細な流体力の計測が重要である。

そこで本研究では、津波遡上により構造物にかかる流体力について数値解析を行い詳細な流体力の計測を行うことを目的とし、水理模型実験と数値解析の結果を比較し精度の検討を行った。また、満足する精度を確認できた後に避難ビルなどの構造物の形状を用いて流体力の解析を試みる。

2. 実験概要

造波装置を用いて孤立波を発生させ角柱分力計に衝突させて抗力の計測を行った。実験条件は縮尺 1/50 とし、孤立波の波高は10cm、水路の寸法を図-1に示す。また、孤立波を発生させる際の造波装置の速さと距離は孤立波理論（式-1）より設定した。

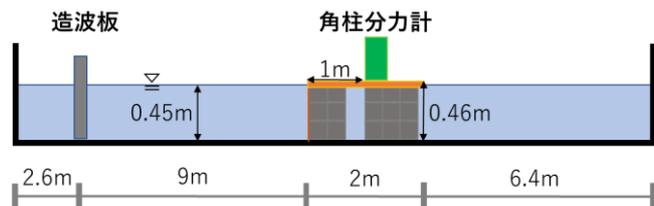


図-1 水路寸法

$$\eta = H \operatorname{sech}^2 \left\{ \sqrt{\frac{3H}{4h^3}} (x - ct) \right\} \quad c = \sqrt{g(h + H)} \quad \dots \text{式-1}$$

η : 孤立波波高の理論値 [m], c : 流速 [m/s], H : 波高 [m]

h : 水深 [m], x : 位相 [m], t : 時間 [s]

* Fundamental Study of Fluid Forces acting on Structures by Ikumi Tachihana, Kanta Endo, Shinya Horiai, Shinsuke Takase, Masaya Kato

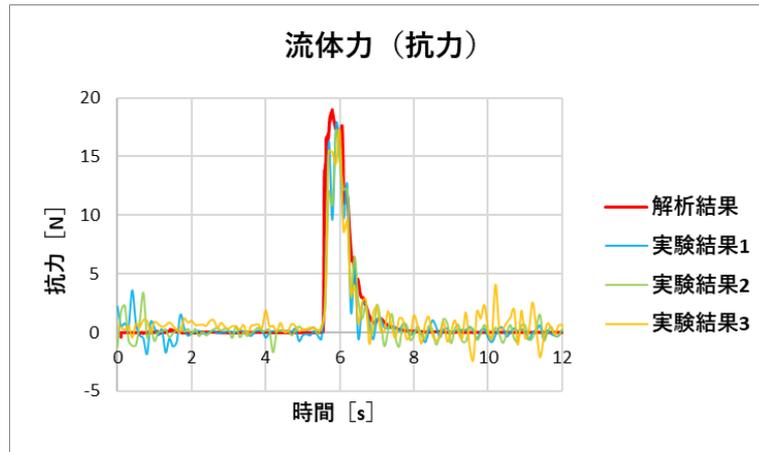


図-2 実験結果および解析結果

3. 解析概要

OpenFOAM 内の二相流ソルバーである interFoam を用いて解析を行った。水路モデルの寸法は実験に合わせ、開水路ですべての壁面、底面は slip 条件、角柱の表面は noSlip 条件に設定した。角柱の抗力係数を時系列データで取り出し、その抗力係数から式-2 を用いて抗力を求める。

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

D : 抗力 [N], C_d : 抗力係数, ρ : 密度 [kg/m³]

U : 代表速度 [m/s], S : 代表面積 [m²]

4. 結果

実験結果および解析結果を図-2 に示す。解析結果が実験結果よりわずかに大きな値を示している。また、抗力の時間変化にもあまり差が見られない。これらのことから数値解析の精度はおおむね良いと考えられる。

5. 考察

本研究では、造波装置を用いた孤立波の水理模型実験と数値解析の結果を比較し精度の検討を行った。実験値と解析値の比較から、最大値にわずかな差が見られた。また、抗力の時間変化にもあまり差が見られず良い精度の結果を数値解析で求めることができると分かった。今後、避難ビルなどの構造物の形状を用いて流体力の解析を試みる。

6. 参考文献

川崎浩司, 松浦翔, 坂谷太基 (2013) : 3 次元数値流体力学ツール OpenFOAM における自由表面解析手法の妥当性に関する検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.69, No.2, pp.748-753

有川太郎 (2015) : 水理模型実験による防潮壁に作用する孤立波の波圧特性に関する検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, p.I_889-I_894

建築年代の異なる複数のブロックで構成された建物の地震応答*

○弘前大学大学院地域共創科学研究科 水野 智貴
弘前大学 片岡 俊一

弘前大学理工学部1号館（以下、「1号館」と記す）は、図1に示すように建築年代の異なる5つのブロックで構成された建物である。以下では、図1に示したように、各ブロックを建築年代順にA～Eと呼ぶこととする。この建物では振動性状を知る目的で微動計測が行われており、各ブロックの固有振動数はほぼ同じであるが、振動特性は異なることが分かっている。本研究では、直接的に地震応答特性を知るために、地震計を各ブロックに設置し、地震観測を行った。

地震観測は、1号館の各ブロックの屋上・Dブロックの2階・中庭の計11か所でおこなった。観測期間は2021年10月28日から同年12月16日の49日間で連続観測とした。本研究では、この期間で青森県が有感となった16個の地震に対応する時刻データを利用する。中庭の地震記録を基準として、ほかの地震計の記録との伝達関数を求め、各ブロックの伝達関数の振幅と位相差を比較検討した。

5つのブロックの固有振動数は東西方向ではAブロックからEブロックまで順に、3.6Hz, 3.7Hz, 3.4Hz, 3.4Hz, 3.7Hzとなり、それぞれのブロックで異なる値を示す。一方、南北方向の固有振動数はすべてのブロックで等しく4.0Hzとなった。

東側の2つのブロックは5階建て、西側の3つのブロックは4階建てであるが、南北方向の固有振動数はブロックで違いがない。つまり、建物高さが固有振動数に影響していないことになる。

また、各ブロックの南北方向の固有振動数は一致しているものの、伝達関数が完全に一致しているわけではない。さらに伝達関数の振幅は固有振動数では谷となる。時刻歴波形で見ると、地震応答が大きくなるタイミングにはブロックごとにやや異なる。以上のことより、各ブロックが固有振動数で振動し、応答が大きくなると、振動エネルギーがほかのブロックに伝播することで応答振幅が小さくなり、固有振動数付近で谷となると考えられる。

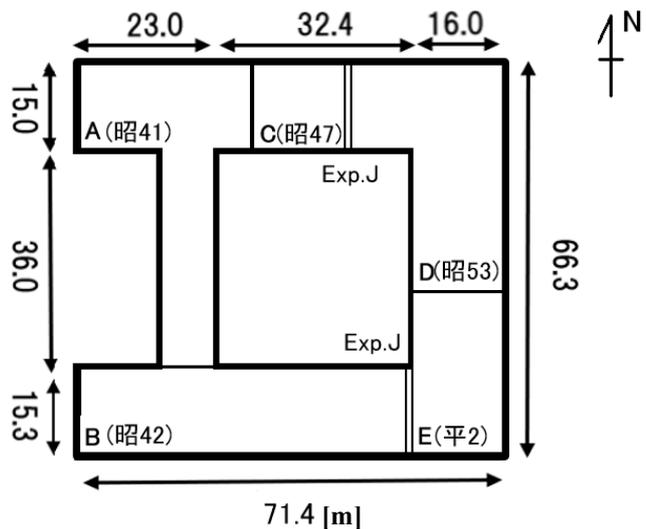


図1 1号館平面図

*Seismic response of a building composed of several blocks of different construction ages

積雪時の地震の際に倒壊したカーポートに関する基礎的検討*

弘前大学 片岡俊一

弘前大学理工学部地球環境防災学科 岸 恵里菜

1. はじめに

2021年2月13日に福島県沖で起きた地震（マグニチュード7.3）の際に、山形県内では最大震度5弱を観測し、20棟を越えるカーポートが倒壊したり。震度5弱はそれほど強い地震動ではなく、倒壊にはカーポートの屋根に積もっていた雪の影響が少なからずあると思われるが、カーポート本来の振動性状が不明であり、積雪がどの程度の影響であったかの定量的検討は行われていない。

青森県は積雪期が長く、政府地震本部がまとめた全国地震動予測地図を見ると、青森県内において今後30年以内に震度5弱以上の揺れに見舞われる確率は非常に高い。更に、弘前市の市街地を見る限り、問題となる構造形式のカーポートは普及しているようである。つまり、山形県において生じたカーポートの倒壊と同様の被害は今後青森県でも起こり得る。カーポートが倒壊し、自動車が利用できなくなると、避難や移動、あるいは自動車内での避難生活が困難になり、個人の財産の消失ではすまされない。

我々は積雪時の地震によるカーポートの倒壊原因を探り、将来に備えるために、カーポートの振動性状、問題となるカーポートが存在する割合、被害を受けたカーポートに近い地点の強震動の特徴などを調べている。以下には振動実験の結果を記す。

2. 問題となるカーポートの構造

倒壊の原因の一つとしてカーポートの構造形式が挙げられている。三辻による報告²⁾や新聞記事内での解説あるいは私信を総合すると、倒壊したカーポートは写真1に示すように間口から見る方向（梁間方向）にはフレーム構造となっているが、奥行き方向（桁行方向）にはそのフレームが並べられて屋根部材が置かれているだけのものである。奥行き方向のフレーム同士を梁に比べて極めて小さな断面の部材で繋いでいるものも見られるが、販売パンフレットではこの水平材はオプションの扱いである。

3. 振動実験

このような構造の固有振動数を求めるために、図1に示すカーポートを用いて振動試験を行った。スパン方向をX方向、桁行方向をY方向とする。



写真1 倒壊したと同じ形式のカーポート

* A Fundamental Study on Collapsed Carports During Snowy Earthquake by Shunichi Kataoka and Erina Kishi

用いた振動計は3成分の加速度が計測できるMEMSセンサーで、電池と合わせて12gと軽量なものである。計測レンジを $\pm 2G$ ($19.6m/s/s$)とし、サンプリング振動数を100Hzとしてデータを取得した。分解能は12bitである。センサーはAndroidデバイスとBluetooth接続され、計測の制御やデータ保存はデバイス側で行う。

今回の実験では道路よりのフレームを構成する2本の柱および、奥行き方向に1つはなれた柱の高さ約180cmに位置に各1台のセンサー(図ではLogtta)をPPベルトで柱に固定した。図1に赤矢印で示したように高さ205cm程度の部分を人力で衝撃を加えた。衝撃は各柱毎にX方向、Y方向に対して行った。

衝撃波形(自由振動波形)をフーリエ解析して得られたピーク振動数は、X方向では4.2Hz、Y方向では2.7Hz、4.8Hzであった。Y方向にはピークが2

つ見られたが、2.7Hzが並進モード、4.8Hzはねじれ振動に対応していると考えている。水平方向のピーク振動数が大きく異なる理由は、柱幅は間口の見つけで12.5cm、奥行きに11cmとそれほど異なるので、柱の形状の影響よりも、構造形式の違いと考えるべきであろう。

4. まとめ

2021年2月13日に福島県沖で起きた地震の際に、山形県内で20棟を超えるカーポートが倒壊したことから、カーポートの振動実験を行った。その結果、梁間方向と桁行方向で固有振動数が大きく異なっていることが分かった。問題となるカーポートが存在する割合、被害を受けたカーポートに近い地点の強震動の特徴などは研究集会の際に報告する予定である。

参考文献

- 1) 山形県防災くらし安心部：福島県沖を震源とする地震に関する被害状況について(2/15 12:00 まとめ)
- 2) 三辻和弥：2021年2月13日福島県沖地震における建物被害への表層地盤の影響について、第56回地盤工学研究発表会、13-9-5-03、2021年7月

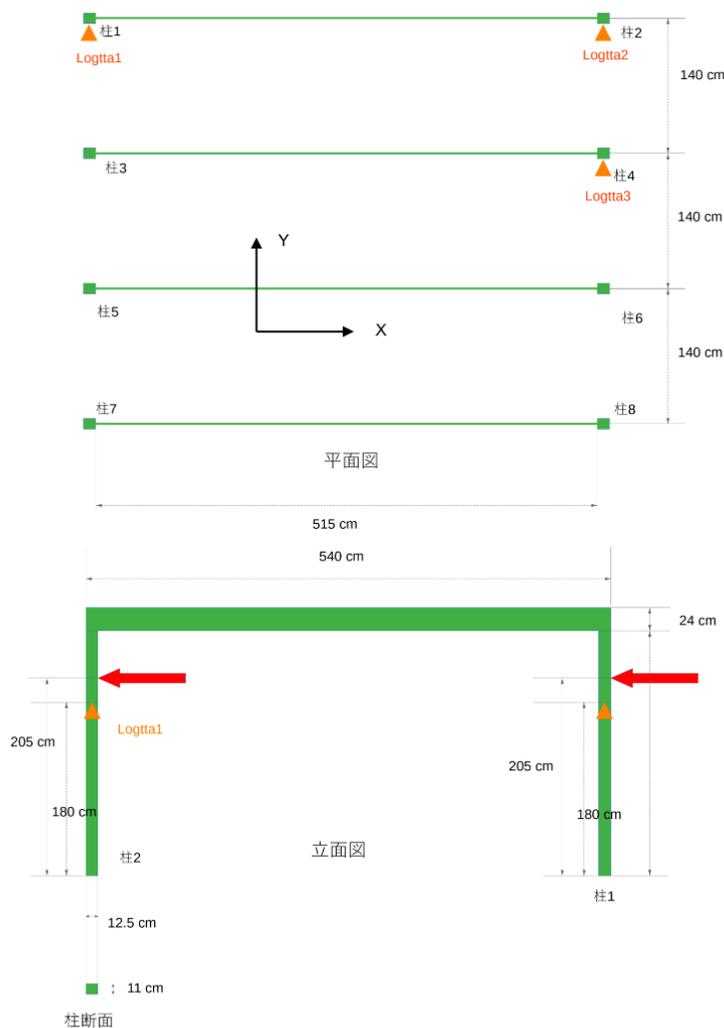


図1 振動実験を行ったカーポートの平面図と立面図

太陽光発電パネルの屋根風荷重低減効果*

秋田工業高等専門学校 植松 康
東北電力ネットワーク(株) 山家哲生
旭化成ホームズ(株) 山本篤志

1. はじめに

建物の強風被害の多くが屋根葺き材に発生している。屋根葺き材の耐風性を高めるには、屋根葺き材の材料や接合部の強度を高めるか(特に接合部)、屋根に作用する風力を低減するかのいずれかである。本研究では後者に注目し、PV パネルを屋根風荷重低減デバイスとして利用することを提案する。具体的には、PV パネルを屋根に平行に、かつ隙間を設けて設置する。隙間による「等圧効果」で PV パネルに作用する風力の低減を図る。同時に、屋根に作用する風圧の一部を PV パネルに負担させることで屋根葺き材に作用する風圧の低減を図る。本論文では、この課題について、風洞実験による多点風圧の時刻歴データと非定常ベルヌーイ式を用いた流れの数値シミュレーションに基づき検討する。なお、シミュレーション方法の妥当性は、方形屋根を有する単純形状の建物を対象とした風洞実験結果との比較により確認されている¹⁾。

2. 数値シミュレーション

住宅等の勾配屋根に設置される PV パネル(フレームを含む)の厚さは高々数 cm であり、パネルと屋根面との隙間も同程度である。したがって、風洞実験において建物と同じ縮尺率(例えば 1/100)で PV パネルの模型を作製し、風洞実験によって PV パネルやその下の屋根面に作用する風圧を測定することは困難である。一方で、PV パネルの有無は屋根風圧に大きな影響を与えない。そこで本研究では、PV パネルを再現しない模型を用いた風洞実験によって得られた多点風圧の時刻歴と非定常ベルヌーイ式を用いて PV パネル間および PV パネルと屋根面間の隙間流れをシミュレーションし、PV パネルと屋根面との間の空間の圧力(「層内圧」と呼ぶ)を求める。風洞実験で得られた外圧と層内圧の差が PV パネルの風力となり、層内圧が屋根に作用する外圧となる。本研究では、寄棟屋根を有する住宅の屋根のほぼ全面に、PV パネルをその短辺に沿って数 mm の隙間を設けて設置するものとし、隙間による風荷重低減効果を検討する。

3. 対象建物と風洞実験による屋根風圧の測定

本研究対象は勾配 25°の寄棟屋根を有する低層住宅である(図 1(a)~(c))。風洞実験模型は縮尺率 $\lambda_L=1/100$ で作製し、屋根面には図 1(d)に示すように圧力測定孔が設けられている。実験気流は、平均風速のプロファイルを表す「べき指数」 α が約 0.27、屋根平均高さ H における乱れの強さ I_H が約 0.2 の境界層乱流である。高さ H での実験風速 U_H は 8m/s とした。いま、設計風速を 27.8m/s とすると、風速の縮尺率は $\lambda_V=1/3.5$ となり、 $\lambda_L=1/100$ より時間の縮尺率は $\lambda_T=1/29$ となる。風向 θ は図 1(b)に示すように定義し、0~345°の範囲を 15°ピッチで変化させた。風圧測定は、サンプリング周波数を 800Hz、1 回の測定時間を約 21 秒(フルスケール換算約 10 分)とし、同一風向に対して 10 回行った。なお、全点同時測定である。

図 2 は、 $\theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ および全風向に対する最小ピーク外圧係数分布を示す。風上端、隅角

*Reduction of wind loads on roofs by photovoltaic panels

by Yasushi Uematsu, Tetsuo Yambe and Atsushi Yamamoto

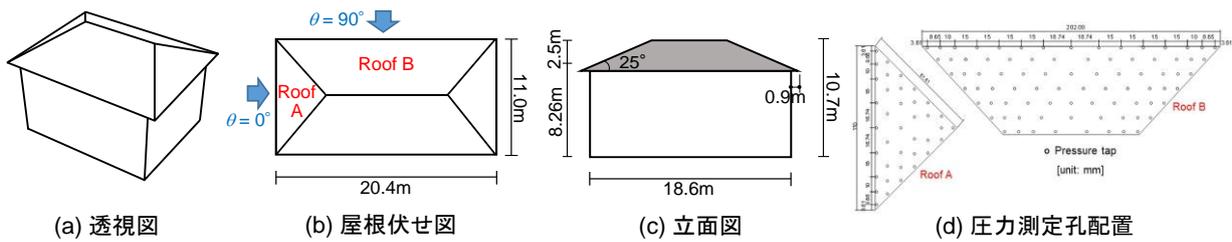


図1 本研究の対象建物と風洞実験模型における圧力測定孔配置

部および棟近傍で大きなピーク外圧が発生している。これは流れの剥離に伴う渦発生による。絶対値が最大のものは -5.08 であり、 $\theta = 35^\circ$ のとき図2(d)中の白丸で示した点で発生した。

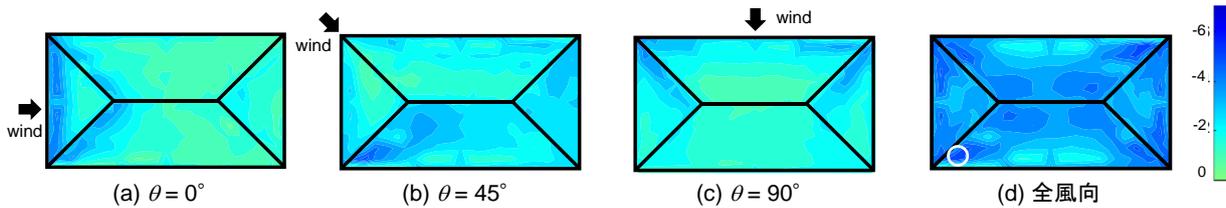


図2 最小ピーク外圧係数分布

4. PV パネルおよび屋根面に作用する風圧のシミュレーション結果

PV パネルの配置・番号を図3に示す。パネルの基本サイズは $1.47\text{m} \times 0.99\text{m}$ であり、短辺に沿って隙間が設けられている。屋根のほぼ全面に設置するため、端部には小さなパネルを用いている。風洞実験結果(パネル上面圧)とシミュレーション結果(層内圧)より、各パネルの面平均風力係数の最小ピーク値 $C_{f, \text{panel}}$ を計算した結果を図4に示す(パネル間の隙間 5mm)。大きなピーク外圧係数の作用する位置に設置されたパネルには絶対値の大きな負のピーク風力係数が発生する。端部に設置された小さなパネルでの値は -3 程度となっている。基本サイズのパネルの最小ピーク風力係数は、絶対値が最大のもので -2.7 程度であり、屋根のピーク外圧係数よりかなり小さくなっている。

次にパネル中心位置における屋根面の最小ピーク外圧係数を図5に示す。比較のため、PV パネルのない場合の結果も示した。これより、PV パネルを設置することで屋根に作用するピーク外圧の大きさが低減することが分かる。特に、大きなピーク外圧の作用する領域での効果が大きい。

参考文献

1. 山家哲生ほか, 勾配屋根上に端部まで設置された太陽光パネルの風荷重, 日本建築学会技術報告集, Vol. 27, No. 67, pp.1177-1182, 2021.

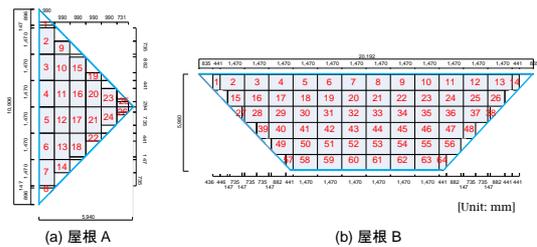


図3 PV パネルの配置と番号

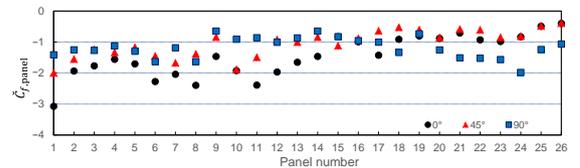


図4 各パネルの最小ピーク風力係数(屋根 A)

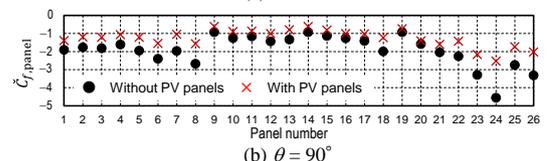
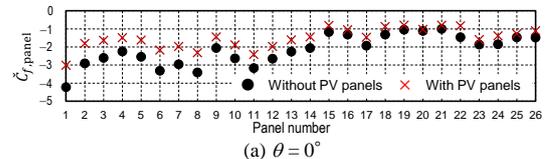


図5 屋根の最小ピーク外圧係数(屋根 A)