

戦後期の防火建築帯・防災建築街区の更新に向けた 台湾の亭仔脚の空間構成との比較研究

16 OCT2023

脇坂 圭一／静岡理科大学

土屋 和男／常葉大学

1. 研究の目的

防火建築帯・防災建築街区の更新に向けた検討

〔背景〕

・昭和20～40年代、木造家屋が多い都市において**大火**による**延焼防止**が課題

〔法整備〕

・**耐火建築促進法**（S27、1952年）→**防火建築帯**

・**防災建築街区造成法**（S36、1961年）→**防災建築街区**

〔仕様〕

・**鉄筋コンクリート（RC）造、長屋型商店街共同ビル**

・**地上3階建て以上、奥行11m以上**

〔課題〕

・地方都市に大量に残存

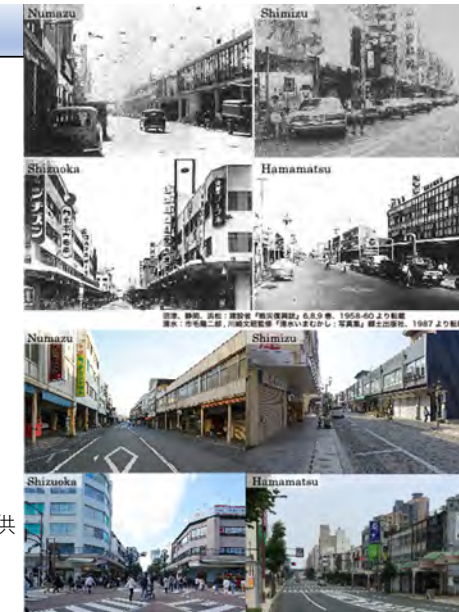
・**老朽化**、後継者不足、商環境の変化など、多くの課題

↓

■**土地区画**の継承、連続的な**壁面線**、**人間的スケール**

⇔再開発には無い特徴

■1階を**公共用歩道**として**壁面後退**：**私有地**を連続的に提供
⇒**快適な歩行空間**と**賑わい**を創出するための設え



沼津 本通防火建築帯（1954年度 日本建築学会賞（行政）、2018年 DOCOMOMO認定）

・「**アーケード**の出来ますもとは、丁度町方の人で**台湾**のいわゆる**日除**をした**アーケード街**を見てきまして、日除について台湾の建物のようにやったほうがいいという事でした」（『防火帯共同建築 沼津本通り建設の実際を見る』社団法人セメント協会、1955）

・「元**台湾**に**居住した人**があつて、台湾では日射をさけるため**道路の歩道上**に**建物が出来て**いるからこの方法にしたらとの意見があり、これには全員賛成と言うことで、実現方を市に求めて来たのであつた。」（建設省編『戦災復興誌』第9巻、都市計画協会、1960）



- ・人通りの少ない日本の防火建築帯・防災建築街区と台湾・亭仔脚の意外な繋がり。
- ・賑わい創出の先進事例としての再参照としての台湾・亭仔脚。



台湾・亭仔脚
（アーケード付店屋）



〔目的〕台湾において日本統治時代に建設された**アーケード付店屋**「**亭仔脚**」に着目し、賑わいの場としての**空間構成**、**法的な仕組み**、**アクティビティ**に関して**日台比較**を行い、日本の**防災建築街区**等のストック活用を含めた**更新手法**の検討に有用な知見を得る。

2. 既往研究の到達点と本研究の位置付け

□防災建築街区等に関する研究：

・外形の構成に着目した研究(中井ら、文1)

1)鈴木成也, 中井邦夫, 渡辺悠介「防災建築街区造成事業における住商併存建築の外形構成の変遷」『日本建築学会計画系論文集』No.88 (803), pp.308-315, 2023-01-01

□台湾の亭仔脚に関する研究 |

・日本統治期の近代都市計画の導入に関する研究(五島、文2)

・意匠論的研究(李ら、文3)

・利用と管理に関する研究(西川・中川ら、文4)

・歴史地区における法制度に関する研究(蕭ら、文5)

2)五島寧「日本統治下台北における近代都市計画の導入に関する研究」『日本都市計画学会 都市計画論文集』No.44.3 (0), pp.859-864,2009

3)李東明, 波多野純「台北市迪化街におけるアーケード付き街屋建築の成立と変遷」『日本建築学会計画系論文集』No.66 (547), pp.237-242, 2001

4)西川博美, 中川理「日本統治期の台湾における軒下歩道の利用と管理」『日本建築学会計画系論文集』No.79 (699), pp.1265-1272, 2014

5)蕭閔偉, 城所哲夫, 瀬田史彦「歴史的街区における容積移転制度の導入の意義と課題の解明」『日本建築学会計画系論文集』No.82 (742), pp.3147-3157, 2017

3. 法制度の日台比較

表 1. 台湾と日本の法制度の変遷

台湾	年	日本
【迪化街】大稻埕地区が市街地として発展開始	1891 年	日清戦争終結、日清講話条約（下関条約）締結
日本統治 開始、「家屋建築規則」	1895 年	
「台湾家屋建築規則」 公布	1900 年	
【迪化街一段】「市区改正」(台北市、第五次)	1905 年	
【大溪】「市区改正」	1912 年	「都市計画法（旧法）」「市街地建築物法」成立 皇居周辺が「美観地区」に指定
【三峡】「市区改正」	1916 年	
「街路取締規則」	1918 年	
【大溪】街路拡幅、店屋ファサード改修	1919 年	
「台湾都市計法令」（アーケードの設置義務化）	1936 年	第二次世界大戦 終結、「戦災復興都市計画」
【大溪】「市区改正計画」変更、亭仔脚店屋改築完了	1937 年	
日本統治より解放	1945 年	

・亭仔脚の義務化（明治33年）

表 1. 台湾と日本の法制度の変遷

台湾	年	日本
日本統治より解放	1945 年	第二次世界大戦 終結、「戦災復興都市計画」
街区の衰退	1950 年	「建築基準法」「文化財保護法」施行
	1952 年	「耐火建築促進法」施行
	1954 年	「土地区画整理法」公布
	1961 年	「防災建築街区造成法」施行
	1961 年	「古都における歴史的風土の保存に関する特別措置法」公布
	1968 年	「都市計画法」公布
	1969 年	「都市再開発法」公布
	1970 年代	「文化財保護法」改正
	1975 年	
	1977 年	
【迪化街一段】都市計画道路の指定、道路幅 7.8m から 20m への拡幅計画		
「行政院文化建設委員会」発足	1981 年	
「文化資産保存法」公布	1982 年	
街区保存活動、本格的に開始	1987 年	
台湾全土で老街修復運動が発生	1990 年	
【三峡】古蹟、指定	1991 年	
【三峡】古蹟、解除	1993 年	
【三峡】「社区総体營造政策」開始、老街保存事業が本格化	1994 年	

1954年度
日本建築学会賞(行政)
「沼津本通防火建築帯」

表 1. 台湾と日本の法制度の変遷

台湾	年	日本
【迪化街一段】「地区環境改造計画：大稻埕再発展行動計画第一段階計画」策定	1995 年	「密集市街地における防災街区の整備に関する法律」制定
【三峡】「創造城郷新風貌計画」	1997 年	
【三峡】「三峡老街区再発展法案」が策定	1998 年	「中心市街地における市街地の整備改善および商業等の活性化の一体化推進に関する法律」制定
	1999 年	
「文化資産保存法」改正、古蹟に伝統集落・町並みを追加	2000 年	「景観法」施行
【迪化街一段】「大稻埕歴史風貌特定専用區計画」公表、「容積移転制度（TDR）」	2000 年	
【三峡】三峡老街復興工事 開始	2004 年	「地域における歴史的風致の維持及び向上に関する法律」施行
【三峡】三峡老街復興工事 完了	2006 年	
「URS (Urban Regeneration Station、都市再生基地)」創設	2008 年	
	2010 年	
	2016 年	
「文化資産保存法」改正		
「大稻埕歴史風貌特定専用区細部計画」改正		



2018年
DOCOMOMO 認定「沼津市本通防火建築帯」／建設工学研究会（池部陽、今泉善一）

・台湾：積極的な保存活用に向けた法整備と工事の実施
⇒日本：行政における保全に向けた政策はほとんど見られない。学協会による価値の認定はあり。

桃園市政府社區規則師（大溪區、黃建義氏）ヒアリング

質問	回答
1) 保存の価値の考え方	1996年以前は古い建物を壊すべきという人が多かったが、現在は古いものを残そうという人が多い。1996年、「 社区総體榮造 」ができてから新しいまちづくりに対する教育が全国で始まり、921地震をきっかけとしてまちづくりの機運が高まった。国民が政府に押さえつけられた過去もあり、大溪老街で保存の話が出た時は皆、同意した。
2) 保存指定の内容	高さは揃えることとして、 自由度 は高かった。
3) 都市計画上的特区	台湾において、大溪では「文化と観光（歴史）」、台湾中央では「芸術」、亀山地区では「工業」など、特区を決めて都市政策を行っている。
4) 行政出先部署への専門家の配置状況	「 社区發展協会 」ができて、 政府との調整役 を務めている。 協合理事長、総幹事、理事会、社会居民 という階層で、 居民（住民）からの意見を汲み取る仕組み がある。
5) 都市開発と文化財保存の相反する関係性	観光のために開発の機運があったが、 観光局と話し合う会議の場 を設け、どういう所が良くなるか徹底的に議論した。
6) 公共用地としての道路使用の規制	駐車場の問題があるものの、「 生活便利 」に配慮して、家の前に置いて良いこととしている。老人がいれば車は必要で、「 必要之悪 」として考える。だからこそ亭仔脚の景観が成立する。
7) 成功している都市における行政内のキーマン	文化財行政に理解 のある市長がいたということもある。
8) 法規制の徹底度合い	民間でみんなで守っている「 社区意識 」が根付いている。

4. アクティビティとアトラクター



様々な用途の空間装置（アトラクター）

ワゴンや台を並べた商品陳列
所狭しと並べられた机・イス
移動式シンク
可動式ベンチ
店先スペース
梁下に吊されたベンチ兼ブランコ
軒下空間
道路と並行におかれた長机・イス

客・知人・近隣との会話・交流（アクティビティ）

買い物行為（主に問屋）
飲食（飲食店）
洗い場作業（飲食店）
会話（商店など）
客・知人・近隣との立ち話（商店など）
会話（商店など）
音楽ライブのステージ
姓名判断

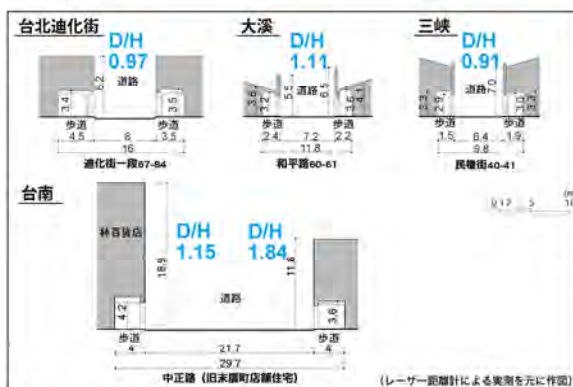


図10 台北迪化街、大溪、三峡、台南の道路と建物の断面

台北(大稻埕)
迪化街一段、二段、三段 (旧永樂町) 1920(大正9)年(市区改正による 拡張(一部は1850年代から))
大溪
和平路、中山路(新南) 1919(大正8)年(市区改正による 拡張)
三峡
民權街 1916(大正5)年(大正期)
台南
中正路(旧末廣町) 1932(昭和7)年(市区改正による 拡張)

表2 台北迪化街、大溪、三峡、台南の建設時期



図5 沼津、清水、静岡、浜松の道路と建物の断面

沼津
本通防火建築帯 1953-54(昭和28-昭和29)年 上土通防火建築帯 1960(昭和35)年
清水
清水銀座防火建築街区 1968-69(昭和43-44)年
静岡
呉服町通防火建築帯 1956-58(昭和31-33)年 紺屋町防火建築街区 1968-72(昭和43-47)年
浜松
田町防火建築帯 1957-60(昭和32-35)年 田町防火建築街区 1962-64(昭和37-39)年

表1 沼津、清水、静岡、浜松の建設時期

地元行政は道路境界線を越えて民間・公共が二重管理する状況を解消したい
⇒有階アーケード形式の存続の危機。

5. 街区・平面・間口・立面の日台比較

【迪化街】（街路延長1.04km、間口平均5.05m）



【三峡】（街路延長240m、間口平均5.84m）



【大溪】（街路延長380m、間口平均4.87m）



【台南・中正路】（街路延長180m、間口平均6.14m）

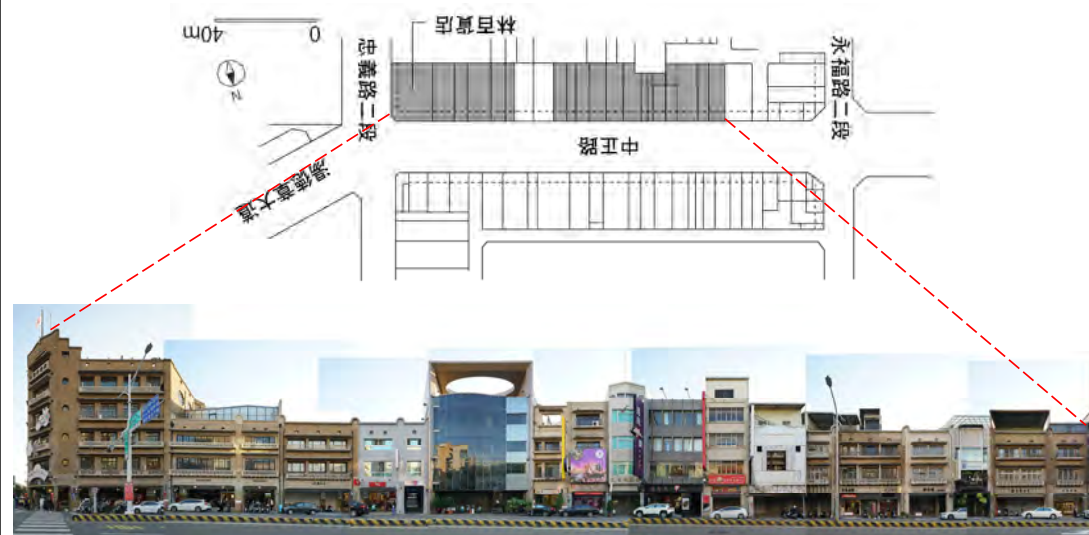
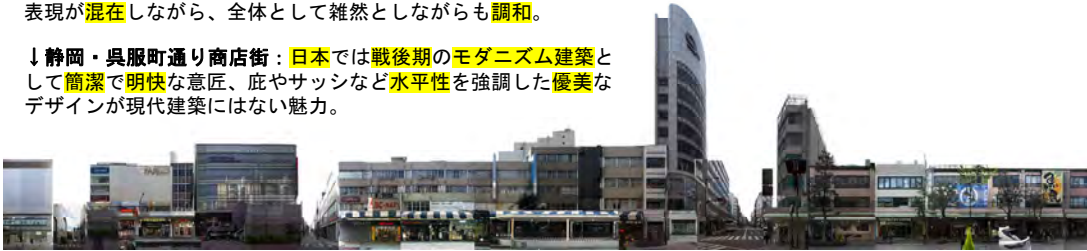


表3. 台湾諸都市の老街の特徴

	台北市	新北市	桃園市	台南市
老街	迪化街	三峽	大溪	(林百貨店、旧末廣町店舗住宅)
街路名	迪化街一段	民権街	和平路	中正路
用途	問屋街、卸売、住宅等	飲食、住宅等	木製品、家具製作、飲食、住宅等	洋服、眼鏡、不動産等
街路延長	約1.04km	約240m	約380m	約180m (建物約150m)
間口	5.05m (2.81間、16.68尺)	5.84m (3.24間、19.27尺)	4.87m (2.71間、16.08尺)	6.14m (3.41間、20.27尺)
立面構成	平屋、2階、3階が主。ファサードは年代によって、「 <u>ミンナン式</u> 」「 <u>倣洋樓式</u> 」「 <u>洋樓式</u> 」「 <u>バロック式</u> 」近代建築式が混在。	平屋が多くを占め、その他は2階が多い。ファサードの外装には主に <u>レンガ</u> が用いられる。	時代によって、装飾的な「 <u>明治型</u> 」、煉瓦造の「 <u>大正型</u> 」、RC造によるモダニズムの「 <u>昭和型</u> 」に分けられる。	百貨店はコーナー部のエントランス上部を塔状に構成し、 <u>スクラッチタイル</u> で仕上げた。西隣の区画も百貨店と同様の意匠。

・台湾では閩南式、バロック式、明治型、モダニズムなど複数の表現が混在しながら、全体として雑然としながらも調和。

↓静岡・呉服町通り商店街：日本では戦後期のモダニズム建築として簡潔で明快な意匠、庇やサッシなど水平性を強調した優美なデザインが現代建築にはない魅力。



6. まとめ

- 1) 日本統治時代に建設されたアーケード付店屋「亭仔脚」に着目⇒賑わいの場としての空間構成、法制度、アクティビティについて整理し、日台比較。
- 2) 空間構成・・・断面、間口寸法のいずれも、日台ともに近い値のヒューマンスケールのアーケード空間が連続。
- 3) 法制度・・・台湾では文化財・景観資源として価値を認め、積極的な法整備によって利活用。一方、日本では行政による価値の認識、活用の動きはナシ（逆に、有階アーケードを解消しようとする動き）。
- 4) アクティビティ・・・台湾では賑わいに溢れ、多様で自由に緩い使われ方。一方、日本では人通りが少なく、シャッター街化が進行している。



⇒防火建築帯・防災建築街区の更新手法・・・下駄履き型タワービルによる再開発では失われる価値を認める手法として、利活用の可能性。
⇒使い勝手や効率性、法制度（既存訴求）からは課題もあるが、歴史的価値や人間的スケールの空間を活かした利活用として、事業者への情報提供へ。

[参考] 授業を通じた考究

現代におけるアーケード商店街の再々開発
(3年後期「建築設計B2」、沼津)



台湾亭仔脚リサーチブック
(M1「計画デザイン論」)



河川流が引き起こす振動に基づく流量測定

澤崎 郁¹, Shakti P. C.²

防災科学技術研究所

(1:地震津波防災研究部門、2:水・土砂防災研究部門)

謝辞：本研究課題では2020年度大成学術財団研究助成によるご支援を頂きました
連絡先：sawa@bosai.go.jp



1

背景

<上流域での流量観測の現状>

- 上流域には多くの支流があり、急峻な地形のため、網羅的に水文観測点を設置することは困難
- 洪水時に欠測しやすい

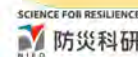
安全に、遠隔から、欠測なしに、リアルタイムで、流況を観測する方法は？？？

- 新たな水文観測網：財政的に難しい・・・
- 人工衛星画像：日本のような小河川では困難・・・
- 降水分布からのリアルタイム流量シミュレーション：上流域の降水データ、地形データ等はまだ不十分・・・



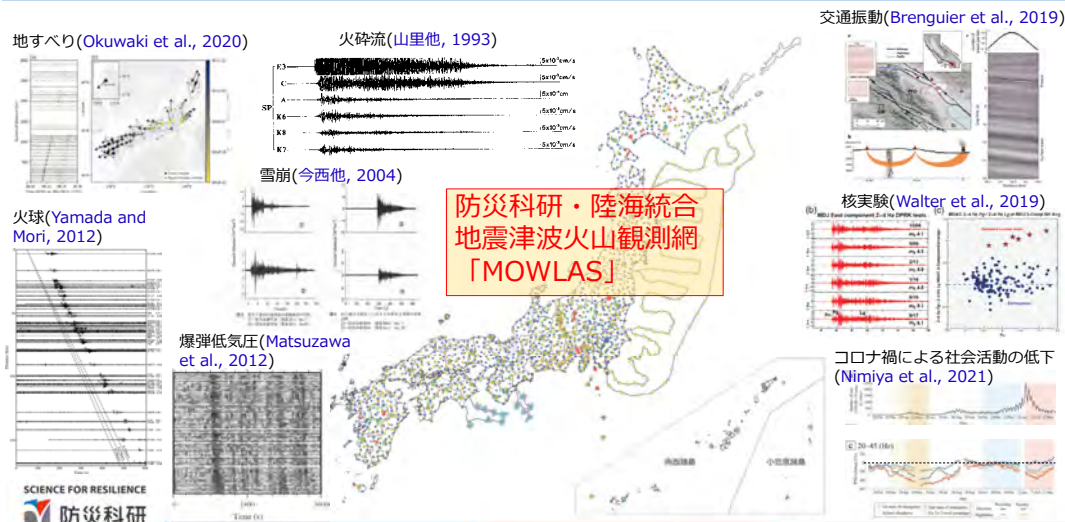
地震計記録が使える？？

水位・流量観測の様子



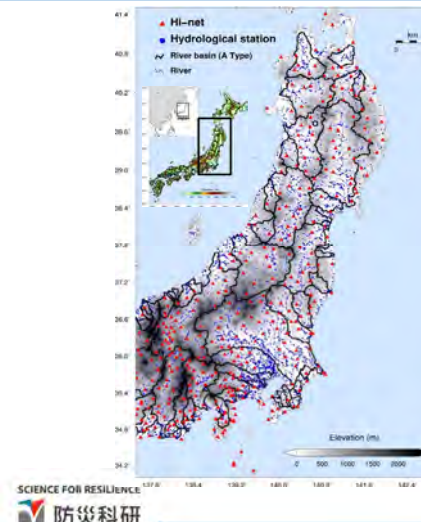
2

地震計で記録される「地震以外」の自然現象、社会活動



3

高感度地震観測網「Hi-net」と水文観測点の分布



<Hi-net>

- 防災科研が運用する高感度地震観測網 (Aoi et al. 2020).
- 日本の地震活動を網羅的に調べるため、約20km間隔（地殻の厚さ相当）で、全国ほぼ一様に設置（山間部も）
- 社会活動起源のノイズを避けるため、深さ100m以深に設置
- インターネットからほぼリアルタイムで無料で取得可能

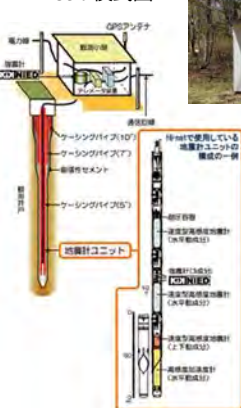
特に上流域では、平坦な場所が限られるため、Hi-net観測点は河川の近くに設置されている場合が多い。これらの上流域の河川には水文観測点はほとんど設置されていない



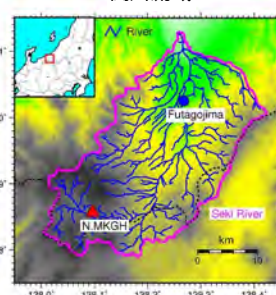
4

研究のきっかけ

Hi-netの模式図



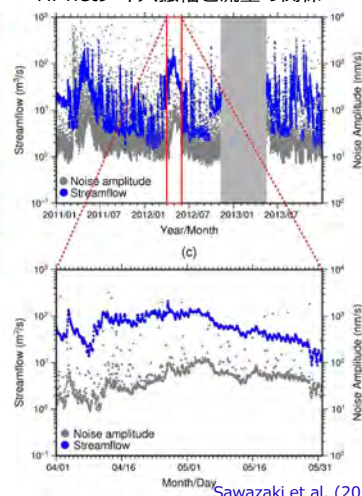
関川流域



- 毎年4～5月に流量、ノイズとも増加
- 1日周期の増減（夕方近くにピーク）

融雪洪水による流量変動と、それにより
励起された振動が観測される

Hi-netノイズ振幅と流量の関係

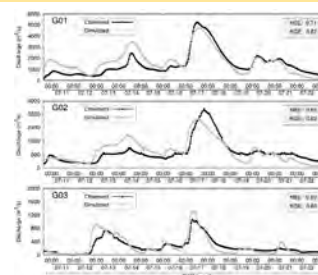


Sawazaki et al. (2016)

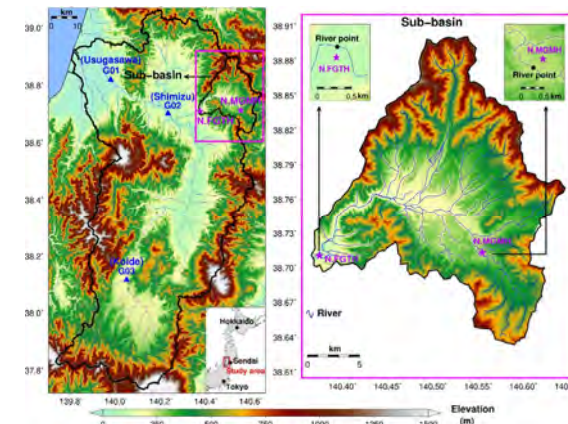
RRIモデルに基づく流量計算

地震観測点の近くでの流量をどのように推定するか

降雨流出氾濫 (RRI, Sayama et al., 2012) モデルを利用



— 観測流量
— RRIモデルによる計算流量



▲ : 流量観測点
★ : Hi-net

地震計ノイズ記録の計算流量へのフィッティング

流量(Q)と地震計ノイズパワー(E)の経験式（今回は1-2Hzを使用）

$$Q_{est}^i = \begin{cases} A(E_{obs}^i - E_0)^b + Q_0 & (E_{obs}^i > E_0) \\ Q_0 & (E_{obs}^i \leq E_0) \end{cases}$$

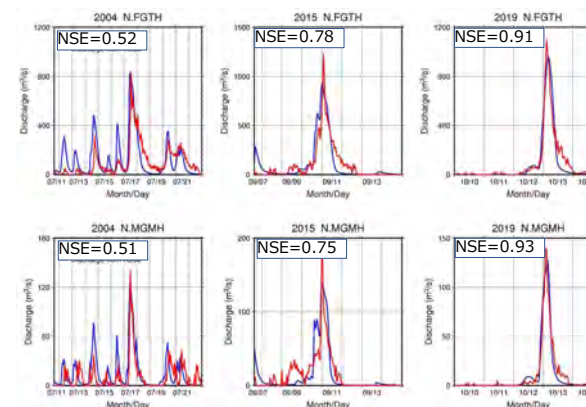
Q_0 : 洪水前の平均流量
 E_0 : 洪水前の平均ノイズパワー

地震計ノイズから推定した流量 Q_{est} と、RRIモデルにより計算した最寄り河川上地点の流量 Q_{sim} のNSE(Nash and Sutcliffe, 1970)が最大となるように、パラメータAとbを最適化

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i (Q_{est}^i - Q_{sim}^i)^2}{\sum_i (Q_{sim}^i - \bar{Q}_{sim})^2}$$

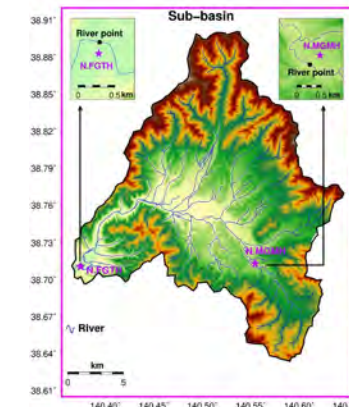
NSE>0.6のとき、再現性が
「概ね良好」と判断される

最寄り河川上地点における計算流量とHi-net地震計記録の比較

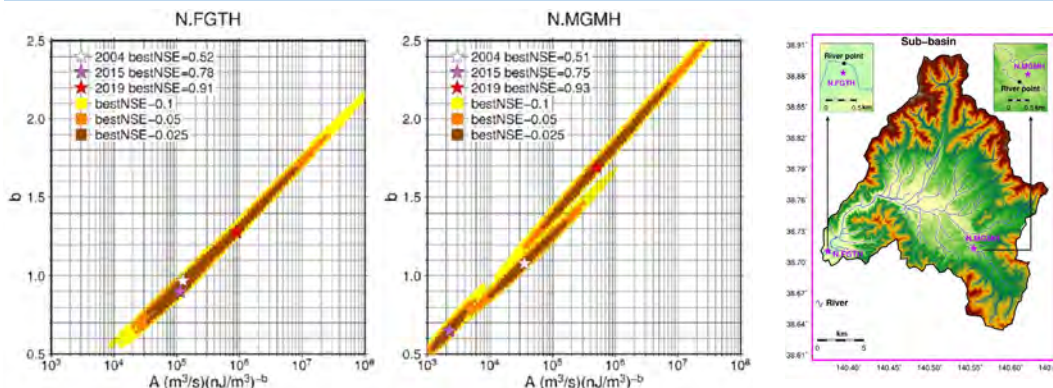


— RRIモデルによる計算流量 Q_{sim}
— Hi-netノイズから推定した流量 Q_{est}

洪水予測において特に重要な、**流量のピーク値とタイミング**が良く合っている



洪水イベントごとのパラメータの再現性



より上流側のN.MGMHで再現性があまりよくない
→ 計算流量が実際の流量を反映していない
・ノイズー流量関係を単純なべき乗則では説明できない

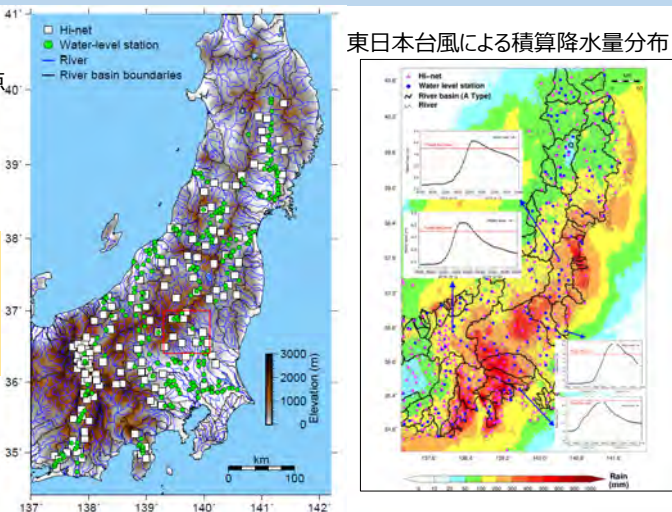
使用したデータ

- Hi-net : 143点
- 水位観測点 (国土交通省) : 347点
- Hi-net/水位観測点ペア: 4302
- 解析期間: 2019/10/10-17
(12-13日に令和元年東日本台風が上陸)

解析の手順

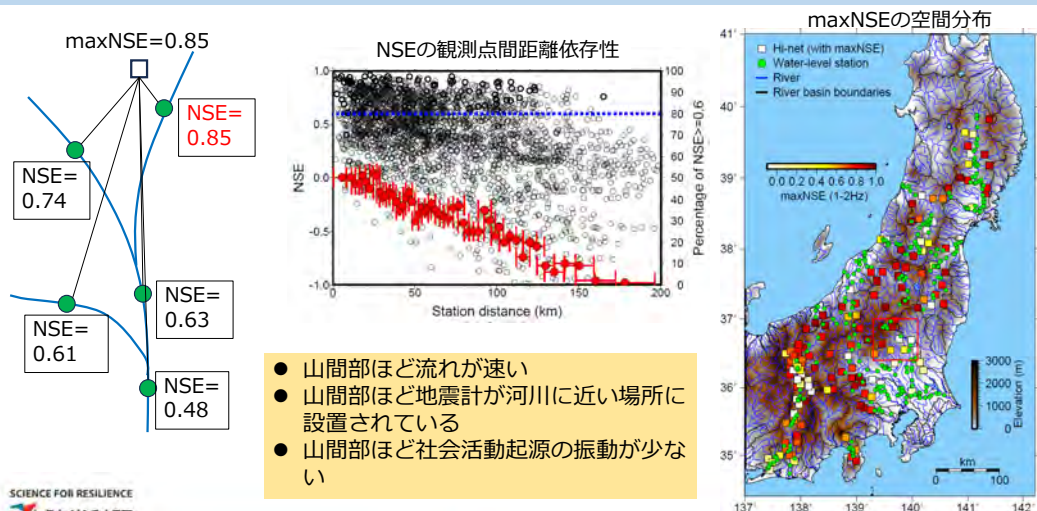
1. 地震計ノイズ記録から、ペアを組んだ水位記録の再現を行う
2. 再現性が高い (高いNSE値) Hi-net観測点の特徴を調べる

$$H_{est}^i = \begin{cases} A(E_{obs}^i - E_0)^b + H_0 & (E_{obs}^i > E_0) \\ H_0 & (E_{obs}^i \leq E_0) \end{cases}$$



東日本台風による積算降水量分布

NSEの観測点間距離依存性、“maxNSE”の空間分布



- 山間部ほど流れが速い
- 山間部ほど地震計が河川に近い場所に設置されている
- 山間部ほど社会活動起源の振動が少ない

河川振動励起の物理的背景

乱流モデル (Gimbert et al., 2014)に基づく河川振動と水位の関係

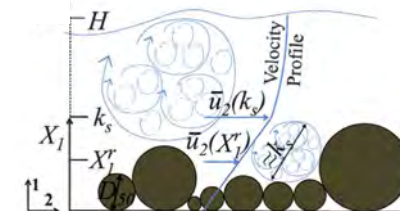
$$E_t \propto F^2 \quad \text{振動のパワーは物体に加わる力の2乗に比例}$$

$$F \propto V^2 \quad \text{流体中の物体に加わる力は流速の2乗に比例}$$

$$V \approx \frac{1}{n} H^{2/3} I^{1/2} \quad \text{流速は河床勾配の平方根に比例 (マンニング則)}$$

$$E_t \propto \int_{river} H(s, t)^{8/3} I(s)^2 |G(s - s_0)|^2 ds$$

E_t : 理論上の河川振動のパワー
 F : 河川中の物体に加わる力
 V : 流速
 H : 河川の水位 (矩形断面を仮定)
 I : 河床勾配
 n : マンニングの粗度係数
 C : 比例定数
 G : グリーン関数 (振動の距離減衰を反映)



Gimbert et al. (2014)

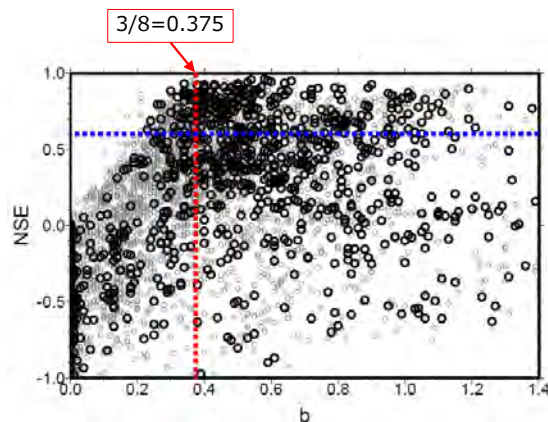
- 河川振動のパワーは水位の8/3乗に比例
- 河川振動のパワーは河床勾配の2乗に比例

べき指数bの推定値

$$E_t \propto \int_{\text{river}} H(s, t) \frac{8}{3} I(s)^2 |G(s - s_0)|^2 ds$$

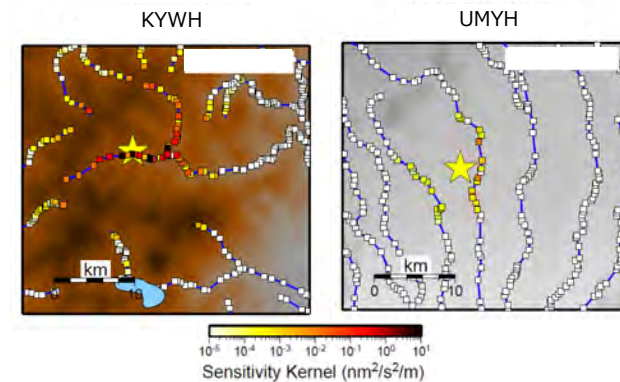
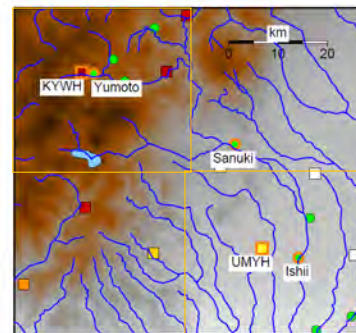
$$H_{\text{est}}^i = \begin{cases} A(E_{\text{obs}}^i - E_0)^b + H_0 & (E_{\text{obs}}^i > E_0) \\ H_0 & (E_{\text{obs}}^i \leq E_0) \end{cases}$$

理論的には $b = 3/8 = 0.375$



NSEが高い観測点ペアでは、b値は0.3~0.8くらいの値をとる傾向

河川振動の感度カーネル



$$E_t \propto \int_{\text{river}} H(s, t) \frac{8}{3} I(s)^2 |G(s - s_0)|^2 ds$$

※表面波を仮定 $|G(r)|^2 \propto \frac{1}{r} e^{-\gamma r}$

- 積分核の $I^2|G|^2$ は、山間部が平野部より大きい
- 概ね10km離れると河川振動は検出されない

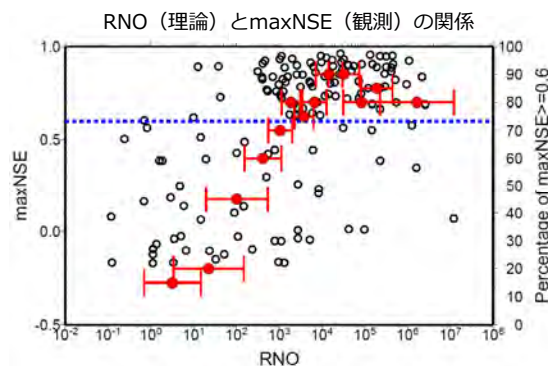
河川振動の「観測しやすさ」指標

$$E_t \propto \int_{\text{river}} H(s, t) \frac{8}{3} I(s)^2 |G(s - s_0)|^2 ds$$

理論上の河川振動の観測しやすさ
River Noise Observability (RNO)

$$RNO = \frac{E_t(H = 1m)}{E_0}$$

E_t : 理論上の河川振動のパワー
 E_0 : 河川振動以外の振動のパワー



- maxNSE が0.6以上の観測点の割合は、RNOと強い相関がある
- 河川振動を計測するには、RNOが高い場所に地震計を設置すると良い

まとめ

- 河川振動を観測しやすい条件は、
 1. 地震計が河川に近い
 2. 河床勾配が急峻
 3. 河川以外による振動（特に社会活動による振動）が少ない
- 上流域は下流域よりこれらの条件を満たしやすく、流況観測に適している
- 乱流モデルにより、河川振動パワーと流況の関係を定量的に表現可能
- 水位観測点がない河川上の地点での流況は、RRIモデルにより推定可能

従来の水文学的手法による流況観測が難しい上流域において、地震計ノイズ記録を用いた流況推定が可能であることを実証した。

国際生活機能分類(ICF)を用いた災害時要援護者分類とEgressibilityの実効的検討

Practical study of Egressibility for vulnerable people using the categorization by ICF.

早稲田大学

佐野 友紀 教授
久保田 準 大学院生 (当時)
安江 仁孝 招聘研究員

プロフィール



- 早稲田大学人間科学学術院・教授
- 博士 (工学) ・一級建築士
- 専門分野: 建築計画・建築防災 (**避難安全計画**)
- 日本火災学会 前常務理事
- **防災性能評価委員 (BCJ,日本ERI,UHIC)**
- **ISO TC92/SC4 委員**
 - Fire Safety Engineering
 - WG7: Evacuation Simulation Model
 - WG11: Behaviour and movement of people

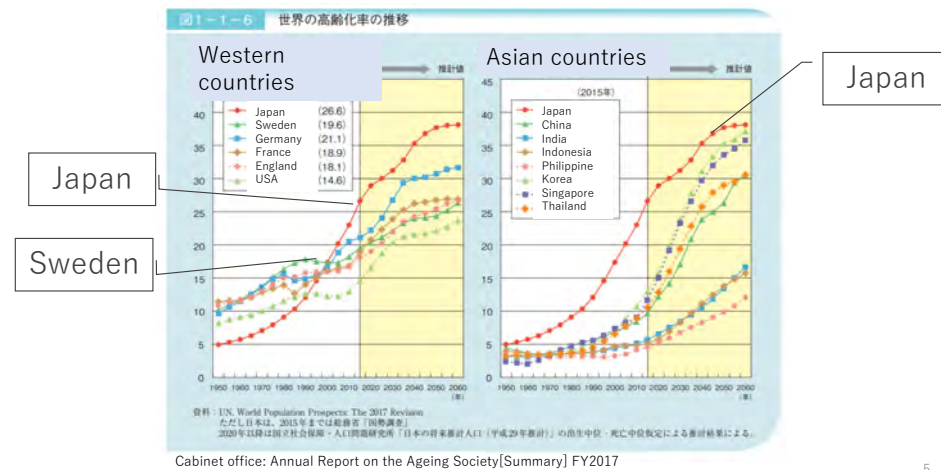
研究の流れ

1. はじめに
2. 背景
3. 目的
4. 研究内容 (国際共同研究)
 - a) 評価: ICF(国際生活機能分類)をベースとした災害時要援護者の避難能力評価手法の開発
Assoc. Prof. Björn Slaug, CASE, Lund University (福祉)
 - b) 実験: VR仮想空間での新しい誘導灯を用いた避難誘導実験
Assoc. Prof. Enrico Ronchi, Lund University (防災)
 - c) 計画: 災害時要援護者の介助避難計画についての国際的観点からの検討
 - d) 公開: 国際的な研究成果の公表、今後の共同研究計画
5. 本助成研究における新しい知見・成果

1. はじめに

- 世界中の高齢者人口と社会的弱者の増加
- 高層ビルや大規模複合ビルの増加
- 災害時要援護者の増加 しかし 介助者不足
- 災害時要援護者を含む避難安全計画の見直しが喫緊の課題
- 災害時要援護者: 介助避難、優先避難、籠城待機 (避難しない)
- 健常者: 自力避難 (避難誘導の重要性)

2. 背景 高齢化の国際比較



5

3. 目的

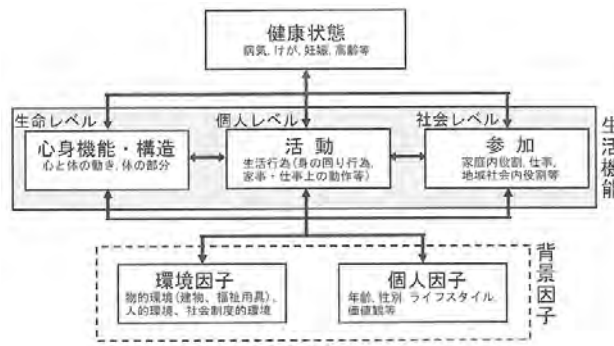
- 超少子高齢社会に向けて、健常者および災害時要援護者等の個々の身体特性に合わせた国際的な避難安全計画の検討
- 国際的身体能力の基準であるICF(国際生活機能分類)を活用
- 災害時要援護者のEgreessibility (避難可能性)から見た避難誘導灯を用いた国際的な避難誘導方法の構築

4. 研究内容

- a) 評価：ICF(国際生活機能分類)をベースとした災害時要援護者の避難能力評価手法の開発
 - Assoc. Prof. Björn Slaug, CASE, Lund University (福祉)
- b) 実験：VR仮想空間での新しい誘導灯を用いた避難誘導実験
 - Assoc. Prof. Enrico Ronchi, Fire Safety Division, Lund University (防災)
- c) 計画：災害時要援護者の介助避難計画についての国際的観点からの検討
- d) 公開：国際的な研究成果の公表、今後の共同研究計画

- a) 評価：ICF(国際生活機能分類)をベースとした災害時要援護者の避難能力評価手法の開発

International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF)



Body Functions	Physiological functions of body systems
Body Structures	Anatomical parts of the body (i.e. organs, limbs)
Activity	Execution of a task or action by an individual
Participation	Involvement in a life situation
Environmental Factors	Physical, social and attitudinal environment in which people live and conduct their lives and can act as facilitators or barriers
Personal Factors	Particular background of an individual's life and living and comprise features of the individual that are not part of a health condition or health state

8

ICF Core Sets

Component	1st Qualifier
Body Functions	Extent of impairment
1: 轻度障害	0 = NO impairment
2: 障害	1 = MILD impairment
3: 重度障害	2 = MODERATE impairment
4: 完全障害	3 = SEVERE impairment
	4 = COMPLETE impairment
	8 = not specified
	9 = not applicable

nb 上肢
nb 下肢
關節

The diagram illustrates the timeline of a safe evacuation process, showing the sequence of events and the time intervals between them. The timeline is divided into five phases: Initiation, Detection, Alarm, Evacuation, and Tenability.

Key events and time intervals shown:

- dt det**: Detection time (from Initiation to Detection)
- dt a**: Alarm time (from Detection to Alarm)
- dt pre**: Premovement time (from Alarm to Evacuation)
- dt mov**: Movement time (from Evacuation to Tenability)
- dt evac**: Evacuation time (from Alarm to Tenability)

The diagram also shows the **Available safe escape time (ASET)** and the **Required safe escape time (RSET)**. The difference between ASET and RSET is the **Margin of safety**.

Additional annotations include:

- b1561: visual perception** (from Alarm to Recognition)
- d177: decision making** (from Recognition to Movement)
- b1561: visual perception** (from Movement to Evacuation)



- | | 火災時避難行動項目 | 評価項目コード（詳細分類） | 火災時避難行動項目 | 評価項目コード（詳細分類） |
|------|--------------|----------------------------|-----------|---------------------------------|
| 異常感知 | 火・煙の目視 | 既覚知 b1561 | 状況把握 | 避難介助の必要性の理解 d17 |
| | 煙の臭いの感知 | 既覚知 b1562 | | 避難介助の要否 意思決定 d17 |
| | 火の燃える異常音の感知 | 既覚知 b1560 | 初期対応行動 | 周囲への火災情報伝達 訴えること d33 |
| | 非常ベル等の感知 | 既覚知 b1560 | | 初期対応 複雑なルーティンの遂行 d21 |
| | 感知距離情報伝達の感知 | 既覚知 b1560 | | 指示に従った行動 複数課題の遂行 d22 |
| | 人の騒ぎの感知 | 既覚知 b1560 | | 起き上がり動作 知らせること d41 |
| | 火災の復発的確認 | 注意しみること d110 | | 起き上がり動作 知らせること d41 |
| 確認行動 | 火災の復発的確認 | 注意して聞くこと d115 | | 事情手への移乗 座位での乗り入り d42 |
| | 火災の復発的確認 | その他の目的のある感覚 d120 | | 火の移動 (階段利用) 短距離歩行 d45 |
| | 火災の水平移動による確認 | 短距離歩行 d4500 | 移動方法 | 垂直移動 (階段利用) 走り降りること d45 |
| | 火災の垂直移動による確認 | 走り降りすること d4501 | | 垂直移動 (エレベーター利用) 用具を用いることの移動 d46 |
| 火災覚知 | 火・煙の感知・理解 | 思考 d163 | | 垂直移動 (避難はしり利用) 用具を用いることの移動 d46 |
| | 火災放送の感知 | その他の特定の、非言語的メッセージの理解 d3158 | | 垂直移動 (避難用濡り台利用) 用具を用いることの移動 d46 |

- 例) 異常感知と確認行動
同じ感覚機能を使うが、
意識の違いから異なる
ICF分類の対応づけを検
討。

- 評価段階とICFスケールの対応

5段階評価	できる	見守り	一部介助	全介助	できない
数値化	0	1	2	3	4
ICFスケール	問題なし	軽度の問題	中等度の問題	重度の問題	完全な問題

a. Usage of Egressibility evaluation sheet by ICF

	Japanese version	English version: evacuation actions in the fire	ICF Code
異常感知	火・煙の目視	visual observation of fire and smoke	b156
	煙の臭いの感知	perception of smell of the smoke	b156
	火が燃える異常音の感知	perception of sound of the abnormal firing	b156
	非常ベルの感知	perception of emergency call	b156
	通知音や放送音の感知	perception of fire alarm sound	b156
確認行動	人の騒ぎの感知	perception of a surrounding disturbance	b156
	火災の視覚的確認	visual confirmation of the fire	d110
	火災の聴覚的確認	auditory confirmation of the fire	d115
	火災の嗅覚的確認	olfactory confirmation of the fire	d120
	火災の水平移動による確認	confirmation of the fire by moving horizontally	d450
火災感知	火・煙の感知・理解	perception and understanding of the fire and smoke	d163
	火災警報の感知	perception of the fire alarm voice instructions	d315
	避難介助の必要性の理解	understanding of necessity for evacuation assistance	d175
	周囲への火災情報伝達	transferring the fire information to the surroundings	d330
	初期消火	initial fire extinguishing	d210
避難対応行動	指示に従った行動	act according to instruction	d220

Description of Required Ability for evacuation by ICF code → Qualify the extent of impairment

Ex. b156.3: visual observation of fire and smoke / SEVERE impairment.

Component	1st Qualifier
Body Functions	Extent of impairment
	0 = NO impairment
	1 = MILD impairment
	2 = MODERATE impairment
	3 = SEVERE impairment
	4 = COMPLETE impairment
	8 = not specified
	9 = not applicable



a. ICFによる介助方法とスタッフ人数の早見表令（一部）

ICF評価による介助方法とスタッフ人数の早見表

ICFコード	ICF評価から考えられる心身の状況	ICF評価から考えられる火災時避難の課題	介助方法	避難者一人に対する必要スタッフ人数
火・煙の目視	—	—	—	1
煙の臭いの感知	—	—	—	1
火が燃える異常音の感知	—	—	—	1
非常ベルの感知	—	—	—	1
通知音や放送音の感知	—	—	—	1
人の騒ぎの感知	—	—	—	1
火災の視覚的確認	—	—	—	1
火災の聴覚的確認	—	—	—	1
火災の嗅覚的確認	—	—	—	1
火災の水平移動による確認	—	—	—	1
火・煙の感知・理解	—	—	—	1
火災警報の感知	—	—	—	1
避難介助の必要性の理解	—	—	—	1
周囲への火災情報伝達	—	—	—	1
初期消火	—	—	—	1
指示に従った行動	—	—	—	1

介助に必要なスタッフの人数

a.避難シナリオ分類に対応したICFコードの日英対応表の作成

避難シナリオ分類に対応したICFコードの日英対応表

	Japanese version	English version: evacuation actions in the fire	ICF Code
異常感知	火・煙の目視	visual observation of fire and smoke	b156
	煙の臭いの感知	perception of smell of the smoke	b156
	火が燃える異常音の感知	perception of sound of the abnormal firing	b156
	非常ベルの感知	perception of emergency call	b156
	通知音や放送音の感知	perception of fire alarm sound	b156
確認行動	人の騒ぎの感知	perception of a surrounding disturbance	b156
	火災の視覚的確認	visual confirmation of the fire	d110
	火災の聴覚的確認	auditory confirmation of the fire	d115
	火災の嗅覚的確認	olfactory confirmation of the fire	d120
	火災の水平移動による確認	confirmation of the fire by moving horizontally	d450
火災感知	火・煙の感知・理解	perception and understanding of the fire and smoke	d163
	火災警報の感知	perception of the fire alarm voice instructions	d315
	避難介助の必要性の理解	understanding of necessity for evacuation assistance	d175
	周囲への火災情報伝達	transferring the fire information to the surroundings	d330
	初期消火	initial fire extinguishing	d210
避難対応行動	指示に従った行動	act according to instruction	d220

日本語 英語 ICFコード

ICFコード表は各国語で解説されている
→ICFコードを通して国際的に活用可能

a. ICFコードによる支援避難の手順と必要なスタッフ数の計算例

介助避難の手順と ICFコードの必要スタッフ数

ICFコード	ICF評価から考えられる心身の状況	ICF評価から考えられる火災時避難の課題	介助方法	避難者一人に対する必要スタッフ人数
火・煙の目視	—	—	—	1
煙の臭いの感知	—	—	—	1
火が燃える異常音の感知	—	—	—	1
非常ベルの感知	—	—	—	1
通知音や放送音の感知	—	—	—	1
人の騒ぎの感知	—	—	—	1
火災の視覚的確認	—	—	—	1
火災の聴覚的確認	—	—	—	1
火災の嗅覚的確認	—	—	—	1
火災の水平移動による確認	—	—	—	1
火・煙の感知・理解	—	—	—	1
火災警報の感知	—	—	—	1
避難介助の必要性の理解	—	—	—	1
周囲への火災情報伝達	—	—	—	1
初期消火	—	—	—	1
指示に従った行動	—	—	—	1

高齢者の避難能力を評価

介助避難の手順と ICFコードの必要スタッフ数

ICFコード	ICF評価から考えられる心身の状況	ICF評価から考えられる火災時避難の課題	介助方法	避難者一人に対する必要スタッフ人数
火・煙の目視	—	—	—	1
煙の臭いの感知	—	—	—	1
火が燃える異常音の感知	—	—	—	1
非常ベルの感知	—	—	—	1
通知音や放送音の感知	—	—	—	1
人の騒ぎの感知	—	—	—	1
火災の視覚的確認	—	—	—	1
火災の聴覚的確認	—	—	—	1
火災の嗅覚的確認	—	—	—	1
火災の水平移動による確認	—	—	—	1
火・煙の感知・理解	—	—	—	1
火災警報の感知	—	—	—	1
避難介助の必要性の理解	—	—	—	1
周囲への火災情報伝達	—	—	—	1
初期消火	—	—	—	1
指示に従った行動	—	—	—	1

評価つきICFコードの取得

- 情報を入手する
- 1.避難補助手順
- 2.支援スタッフの人数

Assisted evacuation procedure and
required number of staff with ICF Code

Evaluate the ability of an old person for evacuation

	大企業向け投資	中小企業向け投資	国債	地方債	外国債	海外投資	商品投資	FX投資	金・貴金属	投資運用
東証1部	株・債券・商品	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	債券・商品・FX	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
東証2部	株・債券・商品	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	株・債券・商品	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
東証3部	株・債券・商品	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	株・債券・商品	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
東証4部	株・債券・商品	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	株・債券・商品	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
東証5部	株・債券・商品	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	株・債券・商品	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0
	大企業向け投資・債券	債券	国債	地方債	0	1	0	0	0	0

Get ICF Code with Qualifier

Get the information:

1. Assisted evacuation procedure
2. Number of staff to assist

[illegible]

Evacuation planning to fit old people's ability with ICF Core Sets

ICFの分類を用いた災害弱者のための避難可能性 (Egressibility) の評価

避難シナリオに沿って、災害弱者の避難手順を整理

避難に必要な能力にICFコードを設定（専門家パネルによる評価）

Assoc.Prof. Bejorn Slaug(CASE:Lund University)

- ・ツール開発（※ICFコード利用により、国際的に活用可能）

火災災害用ICFコアセットの開発

(平常時用はあるが、非常時用はなし)

ICFによる火災時の避難可能性評価シート

ICFによる避難介助者人数早見表

(避難支援手順と介助人数が確認できる)

b) 実験：VR仮想空間での
新しい誘導灯を用いた避難誘導実験



図2-1 仮想空間(VRを用いた実験空間)を用いた誘導灯での誘導効果実験の様子(Lund University)

※図番号は報告書の図番号と対応



図2-4 実験提示映像

b. 結果 VR仮想空間での新しい誘導灯を用いた避難誘導実験

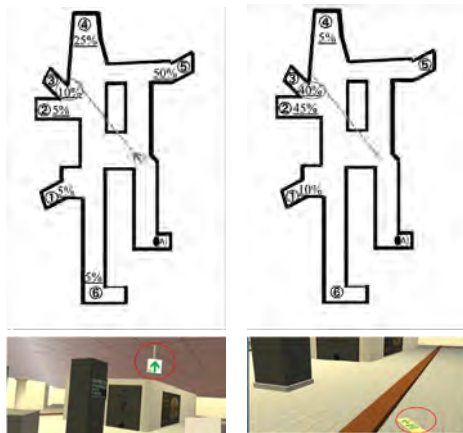


図2-2 誘導灯の違いによる経路選択率

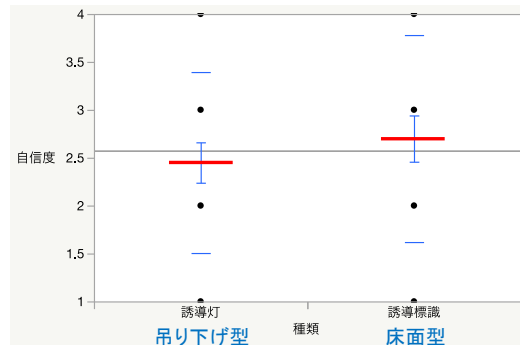


図2-3 誘導灯の設置位置・種類と自信度

吊り下げ型の上向誘導灯は方向を間違える可能性がある

b. 結果 VR仮想空間での新しい誘導灯を用いた避難誘導実験

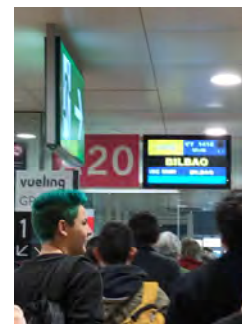


図 見えにくい誘導灯の例



図 被験者VR提示画面

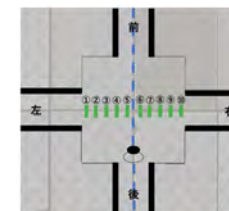


図2-9 提示した誘導灯の種類（左右上下）

図 誘導灯設置場所

b. 結果 VR仮想空間での新しい誘導灯を用いた避難誘導実験

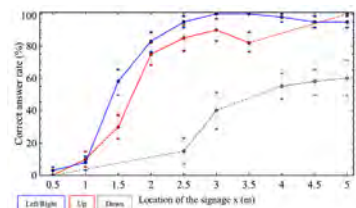
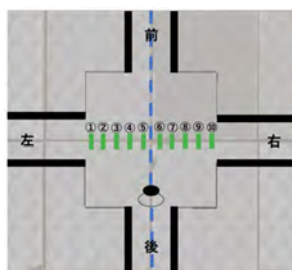


図2-7 誘導灯の中央からの距離による指示方向正答率

水平角[°]	0	30	60	70	80
誘導灯の正対面積[m ² × 10 ⁻²]	1.690	1.460	0.845	0.578	0.293
0°に対する面積比	1.00	0.86	0.50	0.34	0.17

※被験者が正対時に視認する誘導灯表示面の面積

図2-9 誘導灯設置距離による視認角度と正面から見える比率

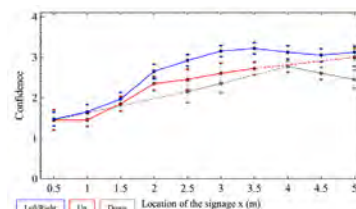


図2-8 誘導灯の中央からの距離による自信度

2.0m未満では見えにくい
(視認角度80度以上)

誘導灯を横斜め方向から視認
すると理解が困難

→ 四面誘導灯が有効?

b. 仮想空間（VRを用いた実験空間）を用いた誘導灯での誘導効果

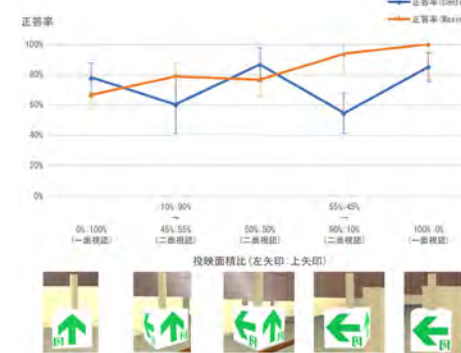
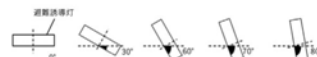


図2-9 四面誘導灯の回転角度による指示方向正答率

四面誘導灯：一面のみがはっきり見えている場合、二面が半々で見えている場合には指示方向の理解が高い
二面のうち一面のみが見えにくい状況では、指示方向の判断に誤りが生じる

Evacuation planning to fit old people's ability with ICF Core Sets

- ・下矢印一面表示の誘導灯：全体的に指示経路に対する正答率が低い
- ・視認角度が大きい時：左右・上・下矢印それぞれの正答率は2割以下
視認角度80°以上の時に被験者は指示方向が理解できない
- ・中心からの距離2.0m以上：全体的に指示経路に対する正答率が高い



- ・ 四面誘導灯：一面のみ、または、二面が半々で見えている場合には指示方向の理解が高い
二面のうち一面のみが見えにくい状況では、間違いやすい

[illegible]

避難能力に合わせた避難安全計画の必要性

多数の健常者および自力避難：自力で避難

災害時要援護者：避難能力に合わせて、護送、担送などの介助避難の方法を採用誰が介助するか、どのような介助をするか、あらかじめ検討・共有

避難順序検討の必要性

誰が先に避難するか（順次避難・優先避難・介助避難）の検討が必要

多数の健常者を先に逃すか、災害時要援護者を先に逃すか

水平避難で安全な同一階に移動して救助を待つなどの場合には、一時避難待避場所 (Area of Refuge) 設置し一定時間の安全な状況を確保

避難能力と対応方法の明確化、共通化の必要性

避難能力を国際的に共通化して評価できる方法の確立が必要

ICFによる避難能力評価と介助避難方法の評価シートを開発

避難安全確保、介助避難実施のための評価シートが有効であることを国際的な研究者間 (Waseda - Lund University) で確認

[illegible]

c) 計画：災害時要援護者の介助避難計画
についての国際的観点からの検討

d. 国際的な共同研究の実施と成果の公表

- 国際共同研究拠点の形成
 - ルンド大学（スウェーデン）、カンタベリー大学（ニュージーランド Prof. Daniel Nilsson）、早稲田大学（日本）および関連大学の研究者を中心とした火災安全工学分野における国際共同研究拠点の形成
- 研究成果の国際的、国内基準等への情報発信
 - ICF(国際生活機能分類)をベースとした災害時要援護者の避難能力評価手法の拡充
 - 欧米で用いられ、日本にはない上向き矢印の誘導灯、四面の誘導灯について、日本国内における誘導灯システムの新提案として、消防基準等への導入の働きかけ

d. 国際避難ワークショップの開催（研究拠点） @ルンド大学(スウェーデン) 2022, 2023



Waseda University and Lund University joint workshop 2022

The Department of Fire Safety Engineering at Lund University is organizing on the 8th of September 22 a Virtual Swedish/Japanese mini-workshop on the most recent research activities conducted by the two universities in the area of pedestrian dynamics, evacuation and aging. This will be a hybrid event that will take place at the meeting room behind the fire screen on the 8th floor in the V-hall, located at John Ericsonsväg 7, 22363, Lund and on zoom. [Click here for more information](#)

[Click here for more information](#) In the absence of the event or interest for non-employees, the meeting point for those not having access to it is in the office of Enrico Ronchi at 0535.

The schedule of the workshop is as follows:
08:00-09:00: Coffee

09:15-10:30: Welcome and workshop programme – Enrico Ronchi, Lund University

10:30-11:30: Current projects on evacuation at Lund University – Enrico Ronchi, Lund University

10:30-11:30: Current projects at Sano Laboratory – Takanori Sano, Waseda University and Mexico Research, Universidad del Bío-Bío

11:30-12:30: Lunch

12:30-13:30: New pedestrian analysis and modelling for the digital world – Peter Thompson, Movement Strategies, Lund University

13:30-14:30: Ongoing Industrial Research on Evacuation and Pedestrian Dynamics – Steve Grayson, Movement Strategies, Lund University

14:30-15:30: Evacuation procedures in old people's welfare facilities – Takanori Sano (Brazil), Miro's world, Waseda University

14:30-15:30: Evacuation / VR experimental plans for evacuation studies – Erik Strandberg / Guido de Gooijer, Lund University, University of Padova

14:30-15:30: State-of-the-art of evacuation training research – Leo Moussem, DBI/Lund University

15:00-15:15: Coffee break

15:15-15:30: Discussion, conclusions and wrap-up – Enrico Ronchi, Lund University

End of the workshop

For any information concerning the workshop, please contact Enrico Ronchi at the email address: [enrico.ronchi@lth.se](#)



左から3人目 Enrico Ronchi 准教授, 中央 佐野, 右1人目 Björn Slaug 准教授

d. 本研究の成果発表論文

1) Jun Kubota, Tomonori Sano, and Enrico Ronchi

Assessing the compliance with the direction indicated by emergency evacuation signage, *Safety Science*, 2021.06 (英文ジャーナル (査読付き) 採用決定: 掲載済み)
<https://www.journals.elsevier.com/safety-science> (Impact Factor: 4.877)

2) 三栖理菜子, 佐野友紀, 土屋瑠見子:

国際生活機能分類を活用した要介護高齢者のための火災時介助避難ICF評価シートの開発
日本建築学会 2021年度大会 (東海) 学術講演梗概集, 2021.08 (口頭発表)

3) Jun Kubota, Tomonori Sano, and Enrico Ronchi

The impact of people-signage interaction on way-finding evacuation behaviour, *Fire Safety Journal* (英文ジャーナル (査読付き) 2023 掲載予定 (印刷中))
<https://www.sciencedirect.com/journal/fire-safety-journal> (Impact Factor: 3.78)

4) 3) の内容を国際会議 14th IAFSS Symposium にて口頭発表予定 [2023.10 @Tsukuba, Japan](#)

5. 本助成研究における新しい知見・成果

- ICF(国際生活機能分類)をベースとした災害時要援護者の避難能力評価手法の開発 (→ 国際標準化へ)
- 災害時要援護者の介助避難方法についてのICFを用いた国際的観点からの検討
- 在館者の避難能力に合わせた避難計画
 - 順次避難・優先避難・介助避難
 - 一時避難待避場所 (Area of Refuge) 設置の重要性
- 天井吊り誘導灯と床面誘導灯の誘導効果の違いの明確化 (健康者と車いす利用者による視認性の違い)
- 日本で導入されていない上下向き矢印および四面誘導灯の効果の検証



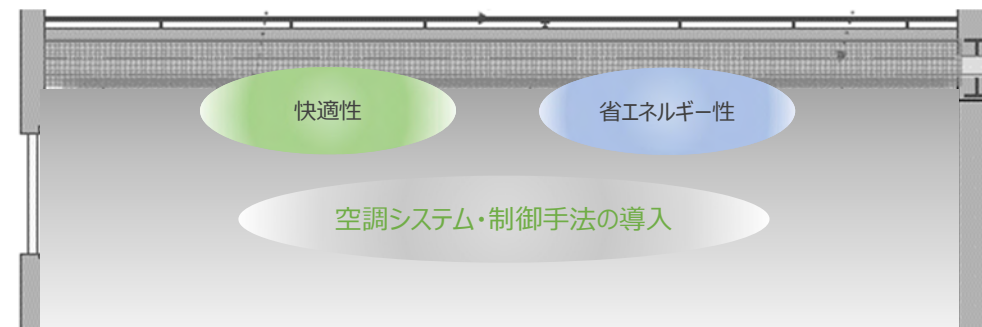
躯体蓄熱放射空調を対象としたリアルタイム 最適制御手法の提案とその検証

大成学術財団 第5回 研究成果発表会
2023. 10. 16



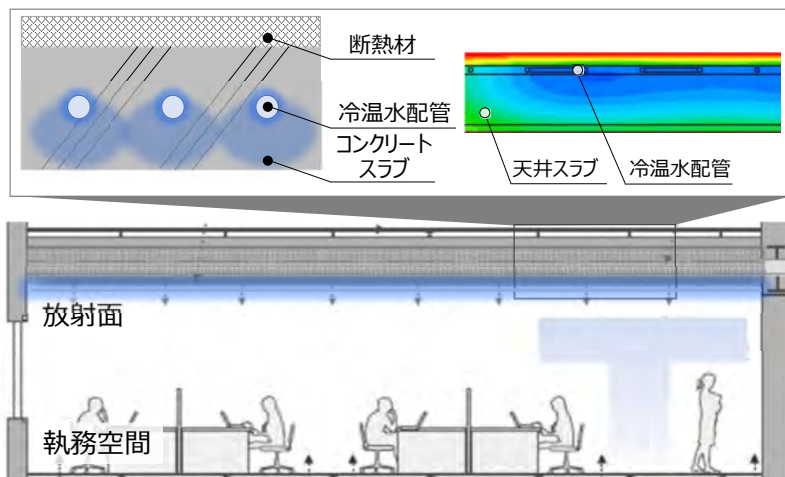
研究背景・目的

ZEBの社会的要求と知的生産性の配慮が重要視されており、
快適性と省エネルギー性を両立させる空調システム・制御手法の導入が急務

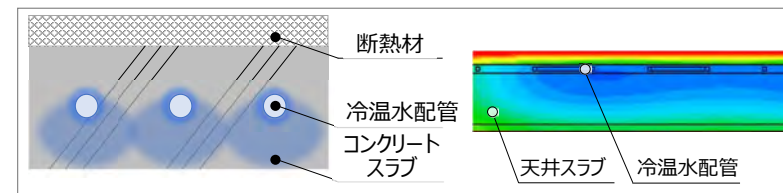


TABS(Thermo Active Building System)の導入が試みられている
躯体蓄熱型放射空調システム

研究背景・目的



研究背景・目的



省エネ性
快適性 ➡ 上下温度差の緩和、ドラフトの軽減
大きい熱容量 ➡ ピークシフト、熱源容量の縮小、インニシャルコスト削減
躯体利用による天井仕上げなし・階高軽減 ➡ コスト削減

熱容量の大きさ故に熱的応答が遅く制御上の問題が考えられるため、
空調制御の最適化が必要不可欠*

*参考文献:Yongjun Sun etc, Peak load shifting control using different cold thermal energy storage facilities in commercial buildings

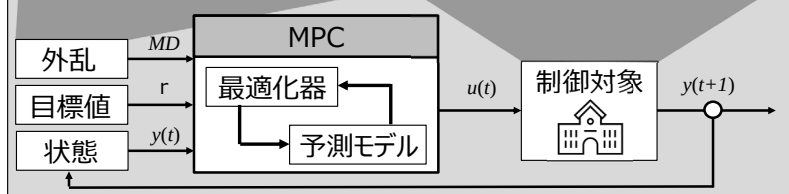
研究背景・目的

モデル予測制御 (Model predictive control)

未来の制御量を予測しつつ、現時刻の操作量を決定する制御手法

課題として

- ① 不確定外乱の予測と補正
- ② 制御性能の向上と計算負荷の低減



5

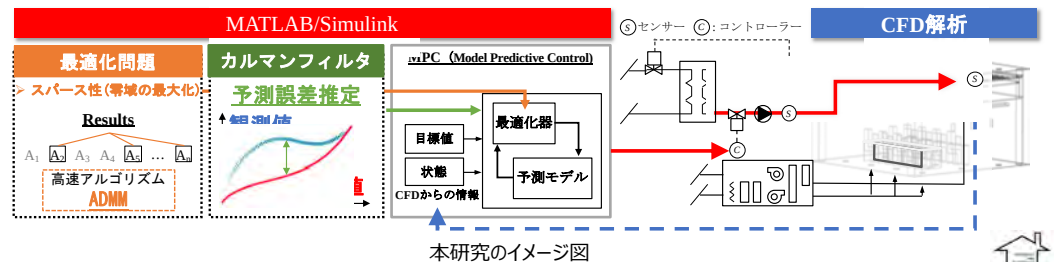
The University of Kitakyushu shiraishi Lab. Shiraiishi

研究背景・目的

そこで、本研究ではTABSを導入した一般的なオフィス空間を対象に、

- ① 不確定外乱の予測と補正 → 機械学習+データ同化
- ② 制御性向上と計算負荷の低減 → スパースモデリング+ADMM

これらを組み込んだ最適制御手法(MPC)を提案し、その有効性をCFDとMATLAB/Simulinkの連成解析により検討する。



データ同化による予測値の補正

建物の運用の初期段階は、十分なBEMSデータが収集できるわけではない。
→代替手段+データ同化の組み合わせも検討

■解析ケース

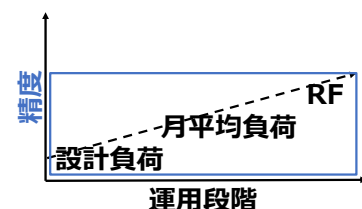
負荷予測（3種類）とデータ同化による補正の組み合わせ

Case0

Case1

Case2

➤ 一般的な週：内部発熱が最大値に近い1週間を対象



ケース

Case0-1：設計負荷
Case0-2：月平均負荷
Case0-3：RF



データ同化による予測値の補正

建物の運用の初期段階は、十分なBEMSデータが収集できるわけではない。
→代替手段+データ同化の組み合わせも検討

■解析ケース

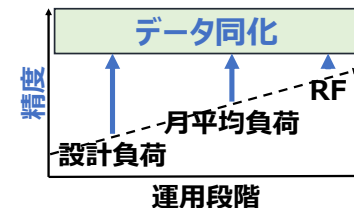
負荷予測（3種類）とデータ同化による補正の組み合わせ

Case0

Case1

Case2

➤ 一般的な週：内部発熱が最大値に近い1週間を対象



ケース

Case1-1：設計負荷
Case1-2：月平均負荷
Case1-3：RF



データ同化による予測値の補正

建物の運用の初期段階は、十分なBEMSデータが収集できるわけではない。
→代替手段+データ同化の組み合わせも検討

■解析ケース

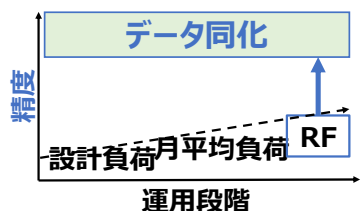
負荷予測（3種類）とデータ同化による補正の組み合わせ

Case0

Case1

Case2

➤ 不規則な週：内部発熱が70%以下となる1週間を対象



ケース

Case2-1：RF
Case2-2：RF+KF



データ同化による予測値の補正

データ同化による負荷予測値の補正結果

ケース	照明負荷		OA 機器負荷		
	RMSE 値 [W]	R ² 値	RMSE 値 [W]	R ² 値	
Case0-1	195.7	0.76	94.2	0.72	データ同化 無し
Case0-2	111.8	0.92	61.3	0.87	
Case0-3	77.4	0.96	28.8	0.97	
Case1-1	78.1	0.96	38.5	0.95	データ同化 有り
Case1-2	56.0	0.98	22.4	0.98	
Case1-3	47.9	0.99	18.3	0.99	
Case2-1	159.9	0.83	144.4	0.90	RF
Case2-2	54.1	0.96	31.0	0.94	

Case0シリーズとCase1シリーズの比較…

→設計負荷、月平均負荷を用いた場合、データ同化により予測精度は向上
→KFを用いた場合、予測精度は向上するが、概ね同等

Case2シリーズの結果…

→RFの予測精度が低下しても、データ同化により改善



スパースモデリングの導入

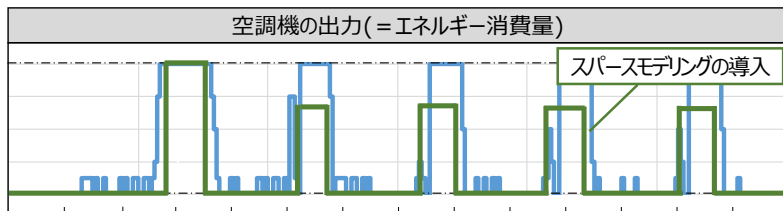
■スパースモデリングの概要

スパース性とはベクトルのサイズに比べて**非零の要素が少ない**ことを指す。
(非零の最小化 = 零の最大化)

空調機器・熱源機



空調機出力 (= エネルギー消費量)



スパースモデリングの導入

13

The University of Kitakyushu shiraishi Lab. Shiranishi

スパースモデリングの導入

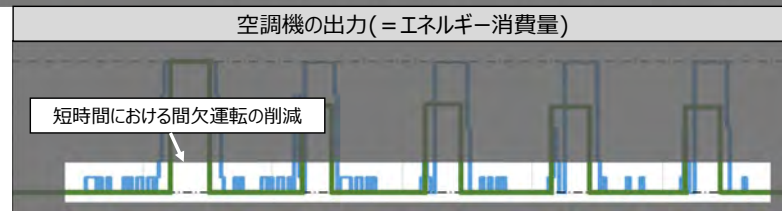
■スパースモデリングの概要

スパース性とはベクトルのサイズに比べて**非零の要素が少ない**ことを指す。
(非零の最小化 = 零の最大化)

空調稼働時間の削減による省エネルギーの可能性
(非零の最小化, 零の最大化)

空調機器の使用頻度の削減による**耐久性の向上**に繋がる

空調機出力 (= エネルギー消費量)



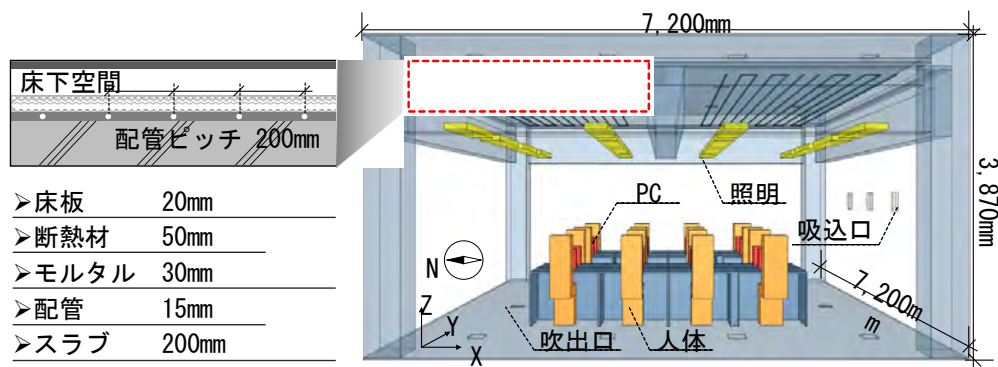
短時間における間欠運転の削減

14

The University of Kitakyushu shiraishi Lab. Shiranishi

解析対象

■TABSを導入した一般的なオフィス空間の1スパンモデル



CFD解析モデル

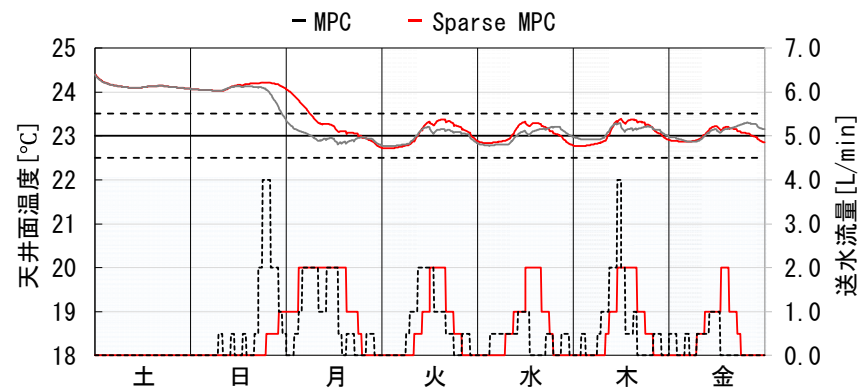
→ この解析モデルを用いて、
MPC+スパースモデリングの制御性能 等の検証を行う。

15

The University of Kitakyushu shiraishi Lab. Shiranishi

スパースモデリングによる制御・省エネ性能検討結果

■天井面温度及び送水流量の時系列変化



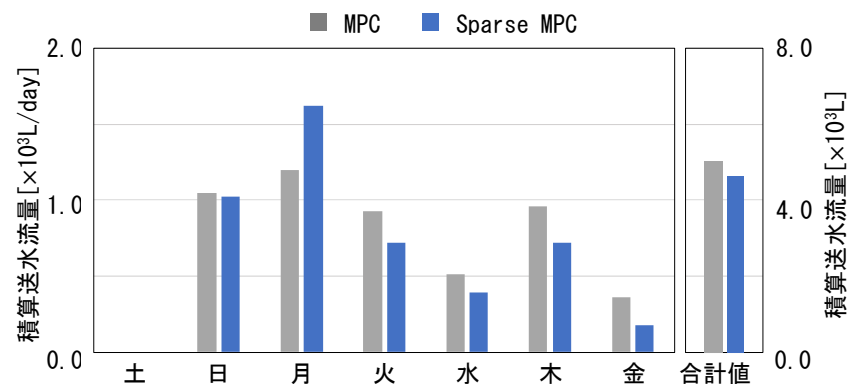
→ 設定温度と天井面温度との制御誤差は同程度
→ 送水のゼロ域が拡大傾向

16

The University of Kitakyushu Yuki Adachi. Shiranishi

スパースモデリングによる制御・省エネ性能検討結果

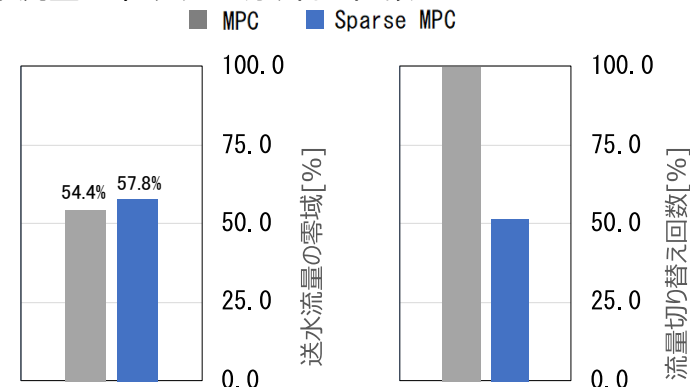
■積算送水流量



→積算送水流量の合計値が360L削減された。

スパースモデリングによる制御・省エネ性能検討結果

■送水流量の零域及び切り替え回数



→ADMMを用いることで解の導出に要する計算時間は従来手法の3%以下(2.47%)となった。

まとめ

- 1) 負荷の予測精度としては、RFが最も高い
- 2) データ同化により、設計負荷、月平均負荷の予測精度が向上
- 3) RF等を用いても負荷予測精度が低下する場合でも、データ同化を併用することで、予測精度が向上
- 4) スパースモデリングの導入により、省エネルギー性能が向上、送水流量の零域が拡大、流量切り替え回数が減少
- 5) ADMMを最適化問題の解法として使用することで、従来手法と比較して、97%以上の計算負荷が削減

■今後の課題

正則化パラメータの調整による送水流量の零域拡大やより大規模なモデルを用いた検証、実装等。

可視性の分析に基づく 知的交流を促すワークプレイスのデザインに関する研究

関東学院大学 建築・環境学部
酒谷 粹将



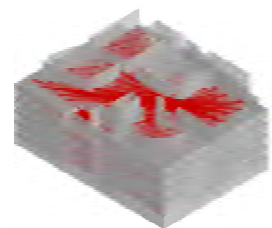
氏名 酒谷 粹将（さかたに すいしょう）

所属 関東学院大学 建築・環境学部 准教授

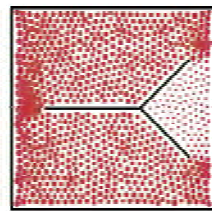
専門 建築設計、設計方法論、まちづくり

経歴

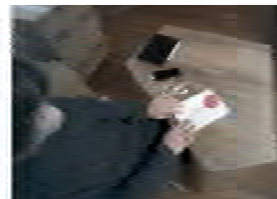
- 1988.09 大阪府生まれ
- 2007.03 大阪府立天王寺高校 理数科 卒業
- 2011.03 京都大学 工学部 建築学科 卒業
- 2013.03 京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻 修士課程 修了
- 2014.04 日本学術振興会 特別研究員 D C 2
- 2015.09 京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻 博士課程 修了
- 2015.10 日本学術振興会 特別研究員 P D（学位取得資格変更）
- 2016.04 日本学術振興会 特別研究員 P D
- 2019.04 関東学院大学 建築・環境学部 専任講師
- 2020.04 藤原酒谷設計事務所（藤原真名美と共同主宰）
- 2022.04 関東学院大学 建築・環境学部 准教授



3D Visibility Graphを用いた
領域横断のコラボレーションを促す
空間の視覚特性の分析



マルチエージェントシステムを用いた
ワーカー同士の視覚的關係の
シミュレーション



アイトラッカーを用いた
インフォーマルコミュニケーション時の
注視特性の分析

本日の主な発表内容

1750年～1950年頃
作業空間としてのオフィス空間



労働者の作業が管理しやすい作業空間
としてのオフィス

1950～2000年頃
ユニバーサルなオフィス空間



どの組織でも効率的に利用できるユニバー
サルなオフィス空間

近年
知的創造の場としてのオフィス空間



新たな価値を創造する
知的創造の場としてのオフィス空間

人々が働く場所は、仕事の内容や働き方とともに空間のあり方も時代によって大きく変化している。

分野・領域を超えるコラボレーションを通じた
イノベーションの創出・新たな価値の創造

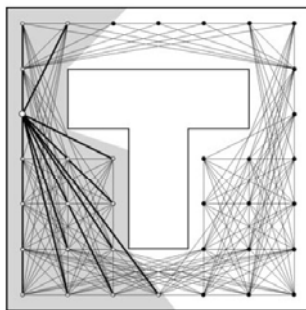


目的

ワークプレイスにおける他者とのコミュニケーションが起こりやすい空間について、
視覚特性の観点からその空間の特徴を明らかにすること

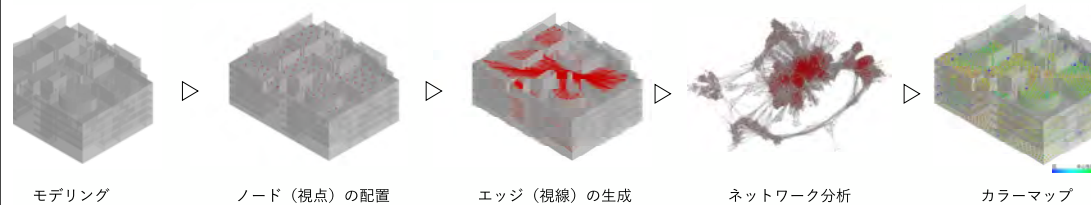
3D Visibility Graphを用いた 領域横断のコラボレーションを促す空間の視覚特性の分析

Visibility Graphを用いた空間の分析



文献1)より引用

空間内の視覚的関係性を視点のノードと視線のエッジからなるグラフとして記述したものであり、
Turnerらにより理論的確立がなされた。



モデリング

ノード（視点）の配置

エッジ（視線）の生成

ネットワーク分析

カラーマップ



Rhinoceros
建築空間のモデリング

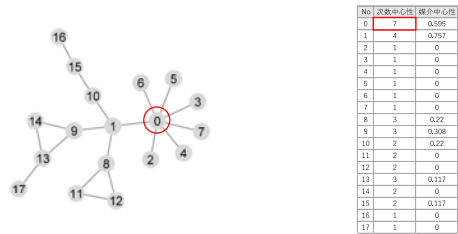


Grasshopper
Visibility Graphの構築



cytoscape
ネットワーク分析

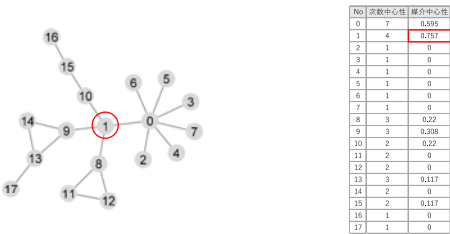
次数中心性 (Degree Centrality)



次数中心性とは、各ノードに接続しているエッジの多寡によりそのノードのネットワーク内での重要性を評価する指標である。例えば、SNSでいうところのフォロワー数が多いユーザーなど。

1)鈴木努：Rで学ぶデータサイエンス8ネットワーク分析, 共立出版, 2009 8)村田剛志：Pythonで学ぶネットワーク分析: ColaboratoryとNetworkXを使った実践入門, オーム社, 2019

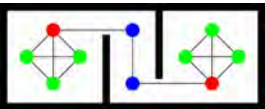
媒介中心性 (Betweenness centrality)



媒介中心性の高いノードは、あるノードが他のノード間の最短経路上に位置する程度を評価する指標です。ノード間の移動において中継地点となるという意味では交通のハブとしての役割が強い場所として理解することができる。

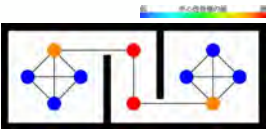
1)鈴木努：Rで学ぶデータサイエンス8ネットワーク分析, 共立出版, 2009 8)村田剛志：Pythonで学ぶネットワーク分析: ColaboratoryとNetworkXを使った実践入門, オーム社, 2019

次数中心性



2つの部屋の中で高い値を示し、各部屋での視線関係の密度が高く、それぞれに視覚的なコミュニティがある。

媒介中心性

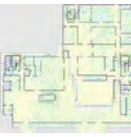
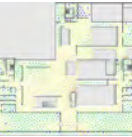
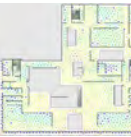


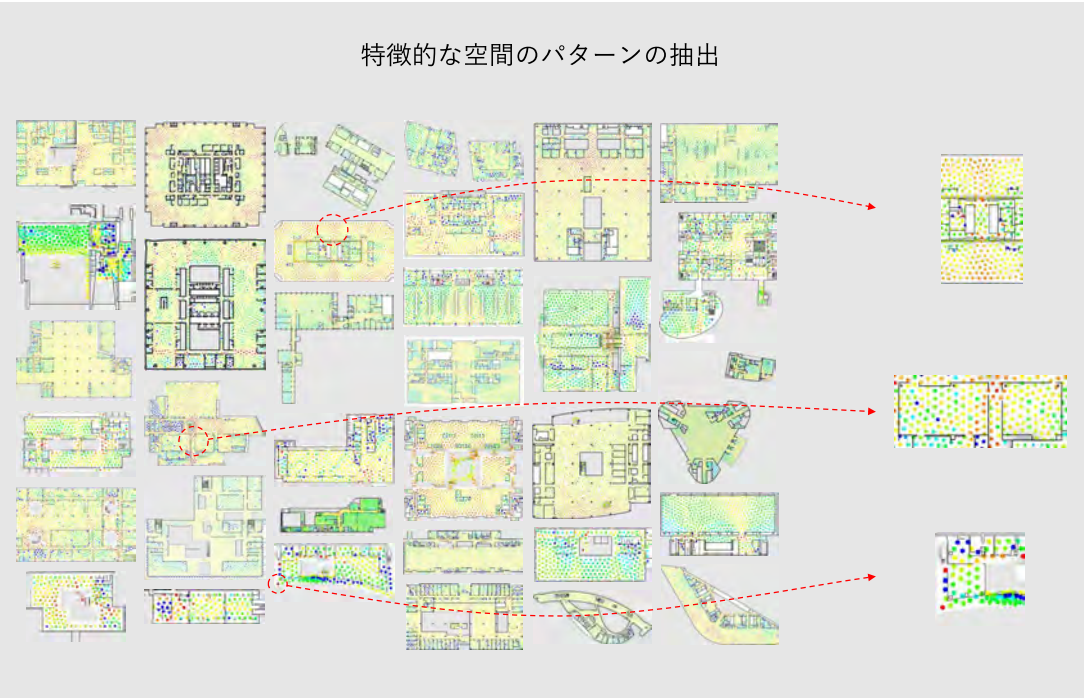
2つの部屋をつなぐ廊下で高い値を示し、それぞれの部屋の視覚的なコミュニティをつなぐハブ空間としての性格が強い

分析の対象

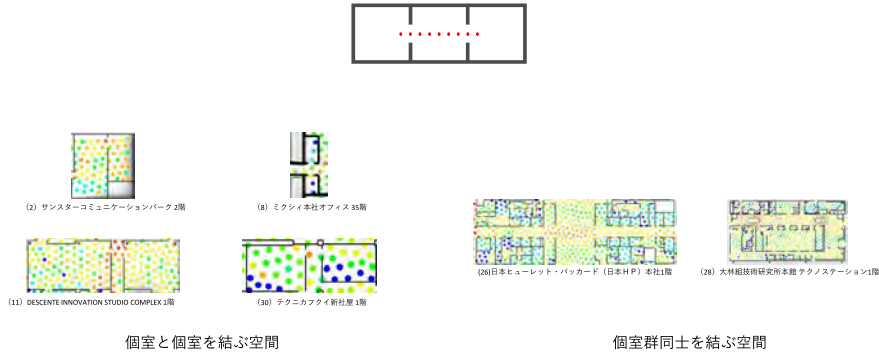
No.	作品名	設計者
1	サンスターコミュニケーションパーク	小林・横デザインワークショップ KAJIMA DI
2	ZOZO本社屋	中村拓志&NAP建築設計事務所 竹中工務店
3	梓設計本社オフィス「HANEDA SKY CAMPUS」	渡邊和幸＋斎藤慎一／梓設計
4	住友林業 筑波研究所 新研究棟	le style h／Atelier Asami Kazuhiro 住友林業
5	垂井町役場	梓設計
6	TRI-AD 日本橋オフィス	日建設計＋日建スペースデザイン（基本設計・
7	ミクシィ本社オフィス	日建設計／太田幸司＋松井美奈歩 日建スペース

2002年～2021年の20年間に日経ニューオフィス賞（ニューオフィス推進賞）を受賞した作品のうち、『新建築』誌に掲載され平面・断面情報が揃いモデリング可能な36事例

		平面図	1階	2階	3階	4階
						
作品 No.	11	次数中心性の 解析結果				
作品名	NICCA イノベーションセンター					
設計	小堀哲夫建築設計事務所	媒介中心性の 解析結果				
面積	7,495.73㎡					
出展	新建築2018年1月号					
設計概要	設計にあたっては社員が参加する7回のワークショップを開催し社員の意識改革と共に建築の計画に取り組んだ。吹き抜けのコモンを中心に大小さまざまなオフィススペースや実験室が配置される。					

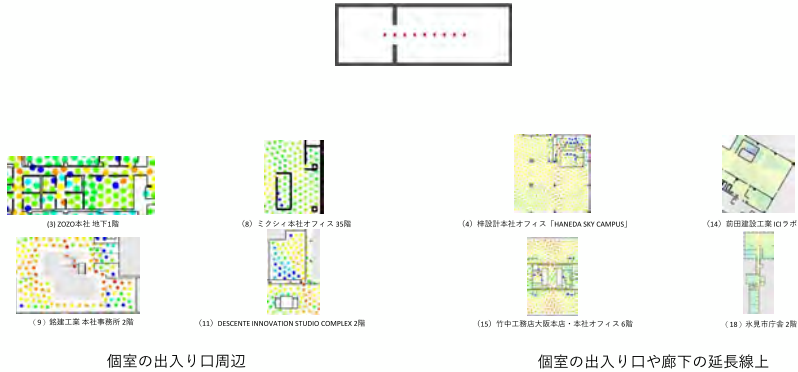


1. 個室と個室を結ぶ空間



執務室・会議室・トイレといった個室同士をつなぐ廊下などの共有空間で高くなる。

2. 個室と大空間を結ぶ空間



個室の出入り口周辺とその延長線上で値が高い。

3. 角の空間



(5) 住友林業 乳産研究所 新研究棟 2階



(12) NICCA イノベーションセンター 3階



(7) TRi-AD 日本橋オフィス 18階



(8) ミクシ本社オフィス35階



(22) 大塚木材研習会館 2階



(29) 第一生命豊洲本社・豊洲キュービックスガーデン 基準階



(18) 資生堂銀座ビル 3階



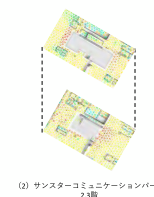
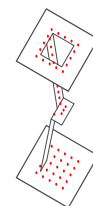
(26) 日本セーラレット・バックカード (日本H P) 本社 基準階

廊下の曲がり角

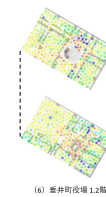
大平面における角

出会いがしらの廊下の曲がり角や大平面の角で媒介中心性の値が高い。

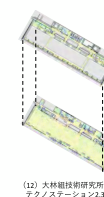
4. 上下階を結ぶ空間



(2) サンスターコミュニケーションパーク 2,3階



(6) 森井町役場 1,2階

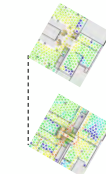


(12) 大林組技術研究所本館 テクノステーション3,3階

吹き抜け・階段周辺



(12) NICCA イノベーションセンター 4階



(80) テクニカフアイ新社館



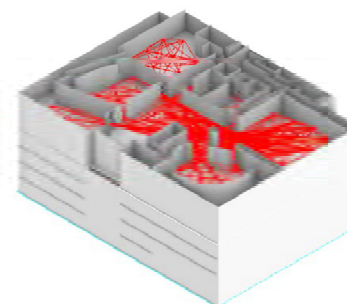
(41) 東京農工大学 (日吉) 茶話会 (研究棟) 3,4階

渡り廊下

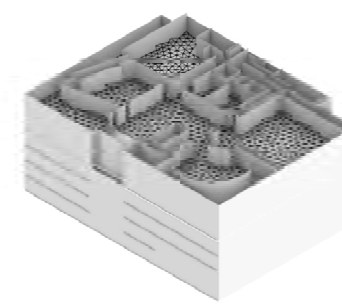
吹き抜け周辺・階段・渡り廊下で媒介中心性の値が高い。

マルチエージェントシステムを用いた
ワーカー同士の視覚的関係のシミュレーション

シミュレータの構築

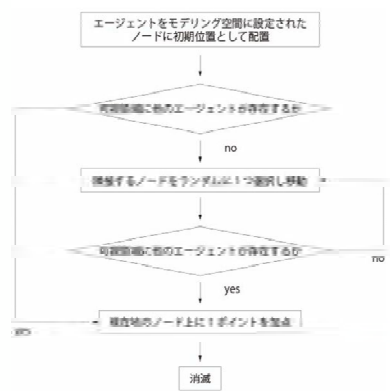


Visibility Graph

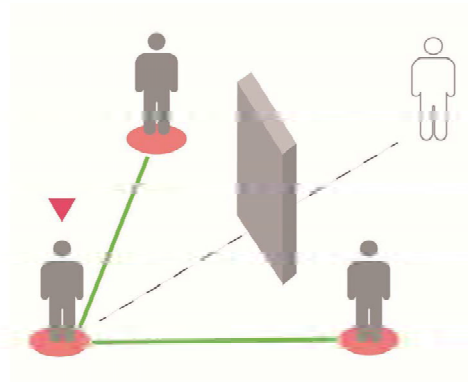


Access Graph

シミュレータの構築

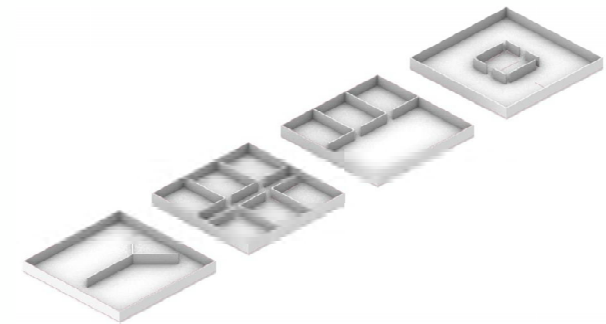


アルゴリズム



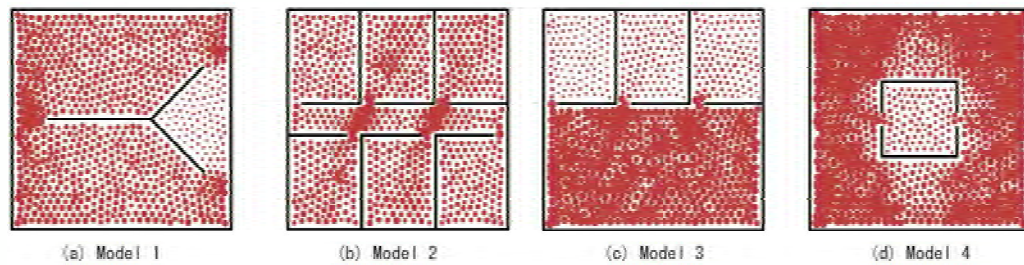
MASのイメージ図

シミュレータの構築

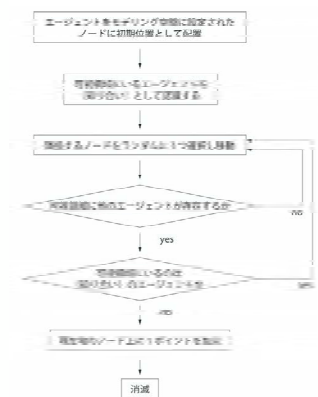


分析対象 Model 1 ~ 4

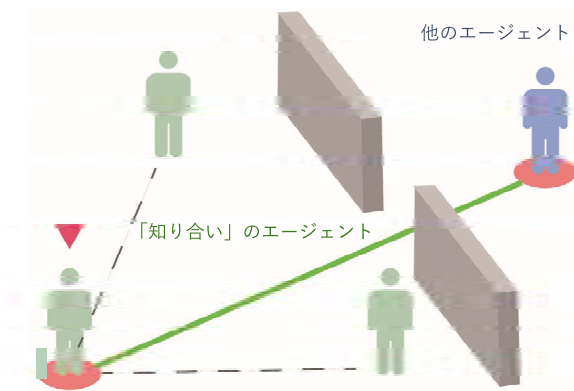
シミュレーションの結果



知り合い概念の追加

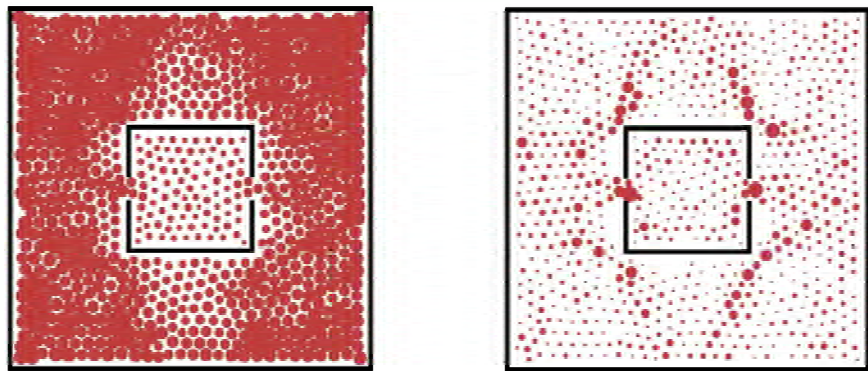


“「知り合い」概念あり”のアルゴリズム



「知り合い」概念イメージ

シミュレーションの結果

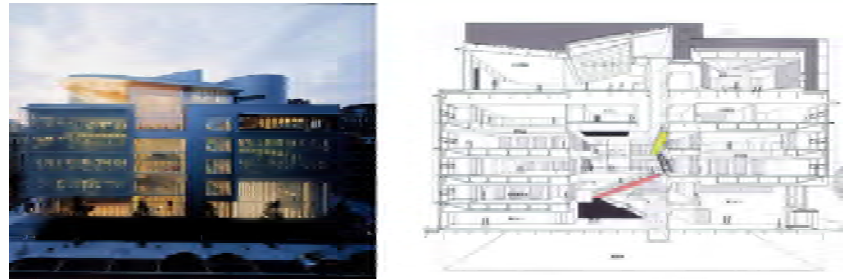


「知り合い」概念なし

「知り合い」概念あり

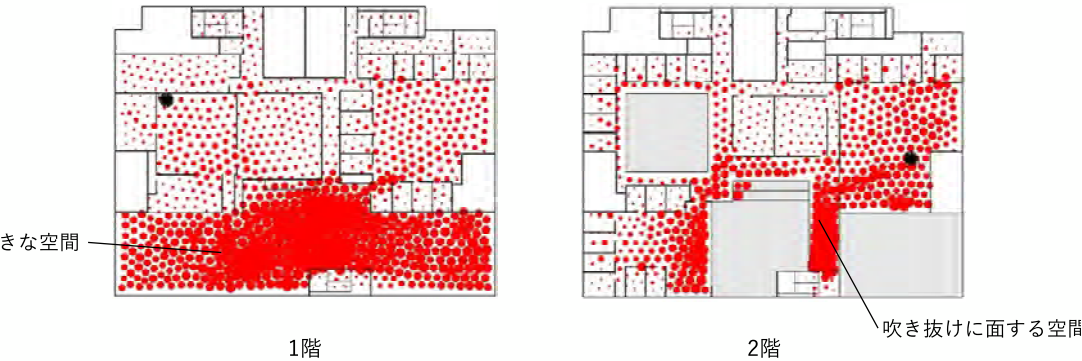
Model 4の解析結果の比較

MITメディアラボ」を対象とした分析



「マサチューセッツ工科大学新メディア研究所」(MITメディアラボ)

シミュレーションの結果



1階

2階

シミュレーションの結果



1階

2階

ご清聴ありがとうございました。

令和5年度 大成学術財団 研究成果発表会

強風時の橋梁上の車両走行の安全性確保と合理的な規制方法に関する研究

：主塔付近における横風特性の把握と防風柵の効果の検討

労働安全衛生総合研究所 金 恵英
横浜国立大学 勝地 弘
東京理科大学 木村 吉

研究背景と目的

研究背景



図 南備讃瀬戸大橋での主塔付近における横転事故
H30,9,4

現在、強風時における橋梁上では、一律に風速に基づく通行規制が行われている
しかしながら、国内および海外で横転事故が数多く発生している

特に、**主塔付近**では**主塔から剥離したせん断流の影響**で急激に変化する横風を受け**横転事故**や**横滑り**が発生

目的 **横風が急激に変化する箇所**を対象に

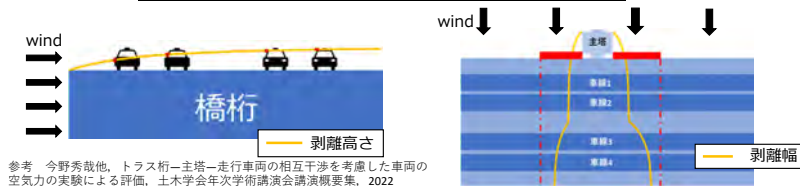
防風柵を設置して**走行車両の安全対策**を考える

➡ **横風特性の把握**と**防風柵の効果の検証**

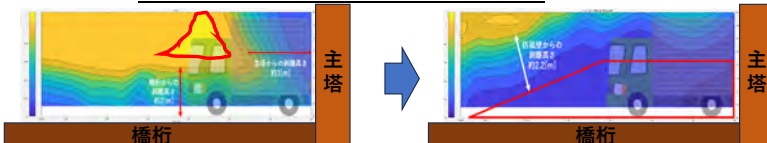
対象橋梁 南備讃瀬戸大橋

研究の流れ、研究方法

STEP1 主塔付近の風の剥離幅、剥離高さを把握



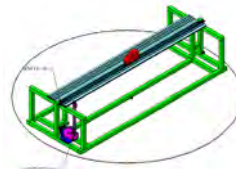
STEP2 防風柵設置による遮風効果の確認



参考 安田拓未 今野秀哉他, トラス補剛桁-主塔周りにおける防風柵設置時の横風特性の評価, 風工学論文集, 2022

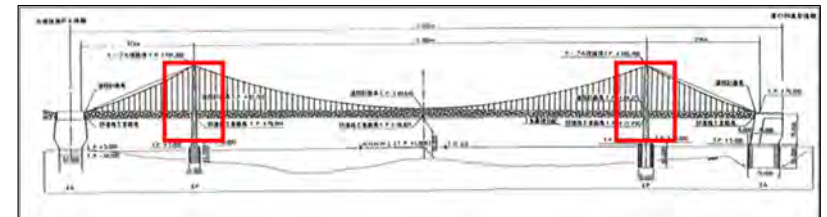
STEP3 車両に作用する空気力の変化を確認

車両走行実験により走行車両に作用する横力とヨーイングモーメントを測定し複数の形状の**防風柵の効果を検証**



実験概要

風洞実験で対象とする場所

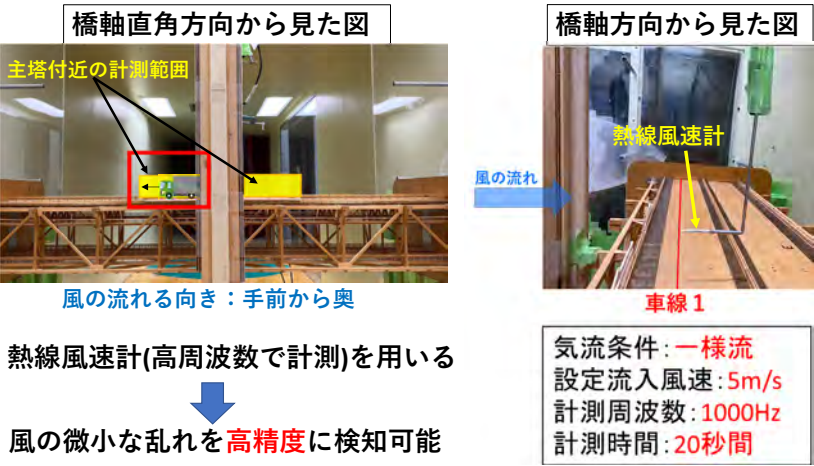


南備讃瀬戸大橋の一般図

主塔付近(赤枠で囲った場所)を取り出し
この場所を対象に風洞実験を行う

実験概要

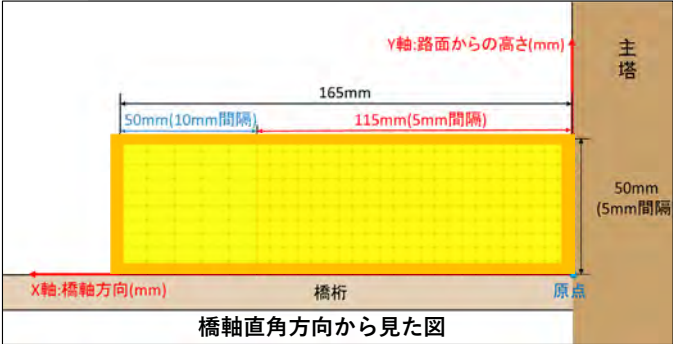
風洞実験の様子



実験概要

計測範囲

- 主塔付近に縦50mm、横165mmの計測範囲
- 計測点を格子状に設置し1点ずつ計測(10行×29列=290個)



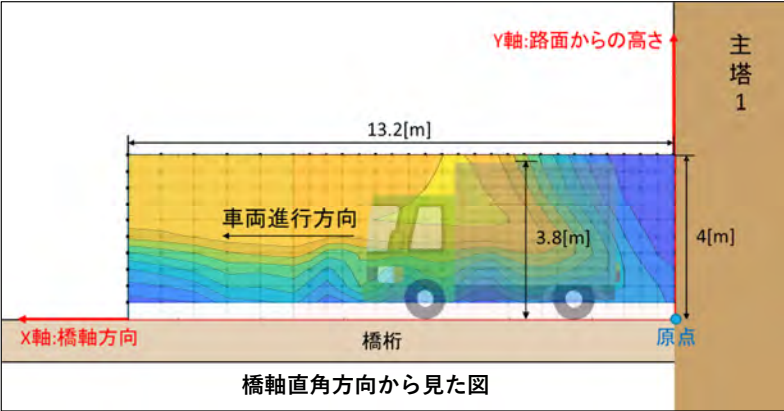
- 各点について風速比を求める
- 各点で与えられた値(風速比)をコンター図として可視化

実験概要

風速比=計測風速／設定流入風速

例)流入風速5m/sで、計測風速が6m/sの時、風速比は1.2

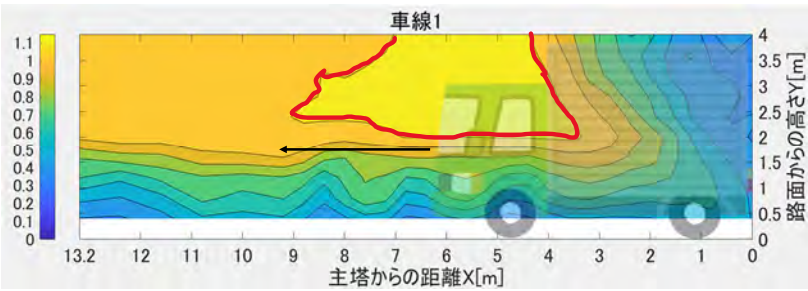
コンター図の見方 風速比>1：加速 風速比<1：減速



主塔周りの横風の流れ場

計測結果

- 最大瞬間風速の風速比で評価した場合の図
- 横転事故が実際に発生した車線 1 (最も風上側)の結果

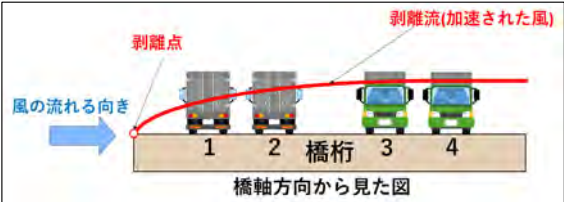


- 車両(トラック)の荷台上部の位置に加速風領域(剥離流)が存在
- 車両進行方向に風速比は急激に増加

走行車両(トラック)は荷台上部で横風を突発的に受ける

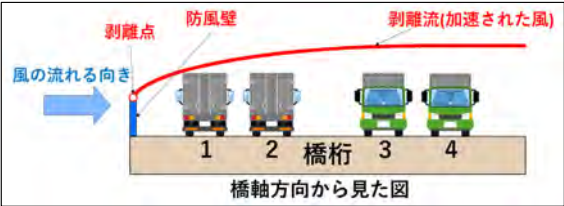
防風柵の作製

防風柵の効果 ①加速風(剥離流)領域を車両より上に逃がす



加速風が車両に当たってしまう

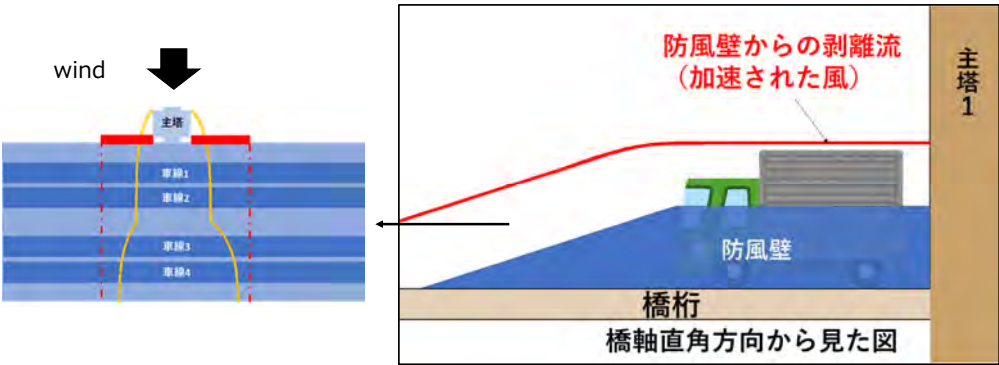
↓ 防風壁設置後



加速風は存在するが車両には当たらない

防風柵の作製

防風柵の効果 ②車両が緩やかに加速風を受けるようにする



防風壁の形状に傾斜をつけることで車両は進行方向に剥離流を緩やかに受ける

防風柵の作製

作製した防風柵

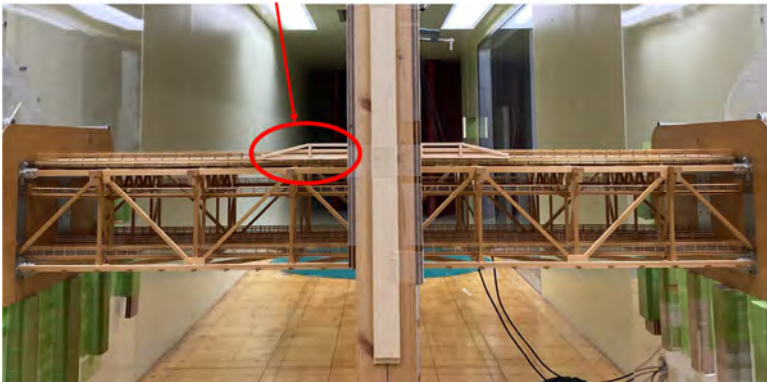


形状	寸法(模型)	寸法(実スケール)	開口率
直角台形	上底：80mm 下底：160mm 高さ：27mm	上底：6.4m 下底：12.8m 高さ：2.16m	30.1%

①、②の効果を満たす最低限の幅・高さになるように設計

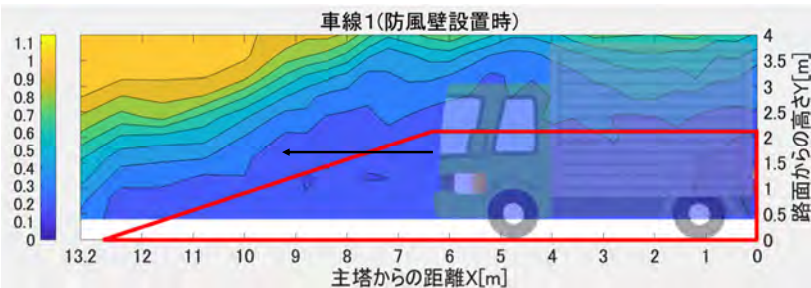
防風柵の作製

模型実験にて設置した様子



防風柵設置時の主塔周りの横風の流れ場

計測結果



- 全体的に風速は減少しており、**加速風領域を車両より上に逃がすことができた**
- 車両は走行方向に**緩やかに剥離流**を受けている

➡ 計測範囲において、防風柵の効果はみられた

実験概要：STEP3(車両に作用する空気力の変化を確認)

走行実験

- 横浜国立大学の風洞を用いて車両に働く**横力・ヨーイングモーメント**の測定を行う
- 風洞に**制作した橋桁、主塔**を設置 (下左図)
- **6分力計**を搭載した**移動可能な車両模型**で測定 (下右図)
- **防風柵設置前後**での横風による走行車両の空気力を比較

詳細概要

- 模型スケール:1/50
- レイノルズ数:約4.2万以上 (主塔幅を基準)
- 気流:一様流

模型をレールで走行

←既存のトラスではレールが設置できない

➡ 剥離高さが同程度の**箱桁断面**を使用

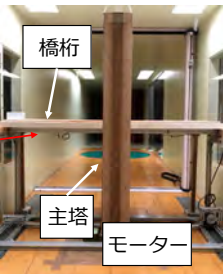


図 矩形断面の橋梁模型

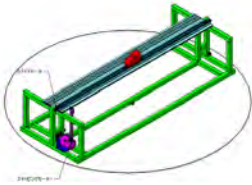


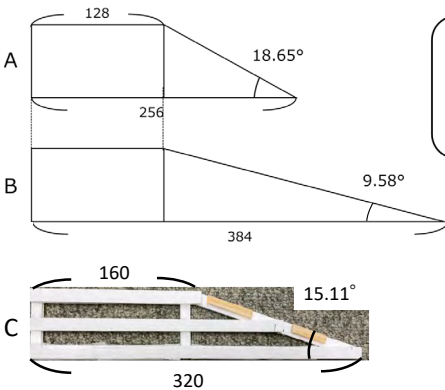
図 車両模型カバールールの様子



6分力計搭載
図 6分力計搭載 載車両模型

動の実験防風柵

防風柵 単位 (mm) ・ スケール 1/50



- A: 基本形
- B: 下底の長さを1.5倍
斜角を緩やかに
- C: 上下底の長さをAより長く
斜角をAより緩やかに

○ 開口率を50%を目標に作成
耐風性、渦励振、フラッター
への影響が少ないため

➡ **形状を柵状**に設計
実際には開口率約30%

図 実験用防風柵

計測条件、ケース

計測条件

- 風速 (3.5, 4.0, 5.0, 5.5 m/s)
- 車線 (L1~L4)
- ※車速は一定 (800mm/s)

車速、風速の組み合わせは**相対角度を考慮した**

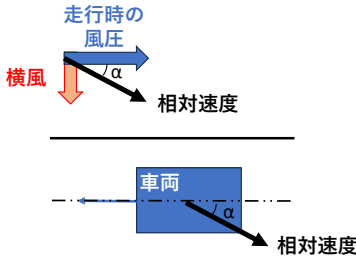


表 風速と車速の相対角度 (rad)

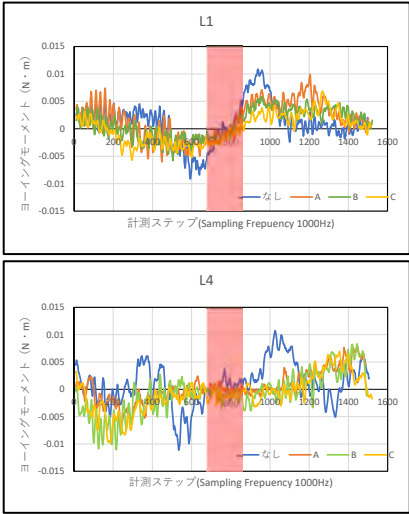
	車速 (mm/s)	風速 (m/s)					
		3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	7.0
実橋梁上	10	4.16	15.35	21.72	29.45	37.88	46.91
模型橋梁上	20	8.33	29.04	22.64	18.43	14.21	10.98
	40	12.5	29.04	32.03	26.57	22.64	18.43
模型橋梁上	車速 (mm/s)	風速 (m/s)					
		3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	7.0
		0.0	9.40	5.15	7.13	6.34	5.72
		0.0	11.24	6.27	8.53	7.38	6.84
模型橋梁上	車速 (mm/s)	風速 (m/s)					
		3.5	4.0	5.0	5.5	6.0	7.0
		0.0	12.72	11.30	9.93	8.64	7.51
		0.0	15.82	14.14	12.31	10.65	9.24

$$\frac{T_{model}}{T_{full}} = \left(\frac{B}{V}\right)_{model} = \frac{B_{model}}{B_{full}} \cdot \frac{V_{full}}{V_{model}}$$

T:時間 B:模型の幅 model:模型 full:実物

1/50 長さスケール
1/6 速度スケール
1/10 (0.1) 時間スケール

実験結果比較（L1,4 ヨーイングモーメント）



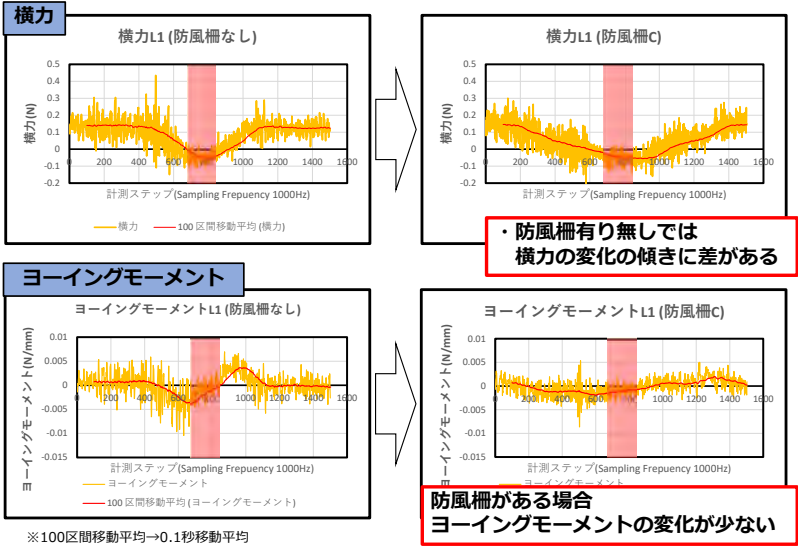
風速5.5m/sでの結果が最も顕著にみられた
⇒ 風速5.5m/sにおける
ヨーイングモーメントを比較

表 L1,4における防風柵非設置時の
ヨーイングモーメントの比較 (%)

防風柵	L1		L4	
	最大値	最小値	最大値	最小値
A/N	83	68	83	68
B/N	59	73	81	97
C/N	60	60	72	87

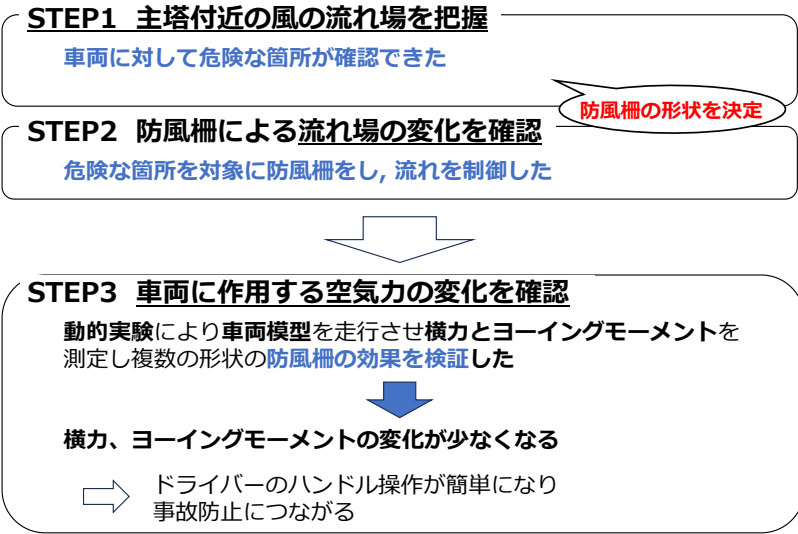
- ヨーイングモーメント
- ・ 防風柵Cが最も効果あり
 - ・ L1では最大最小ともに40%減少
 - ・ L4では最大最小ともに減少傾向

実験結果比較（L1 なし、防風柵C 比較）



まとめ

9/9



ご清聴ありがとうございました

社寺建築物に用いられる木造軸組架構の 耐震性能評価法の構築

香川大学 宮本慎宏

1 研究背景

社寺建築物の特徴

- 建物内部に壁が少ない
- 部材寸法が大きい



社寺建築物

木造軸組架構が重要な耐震要素

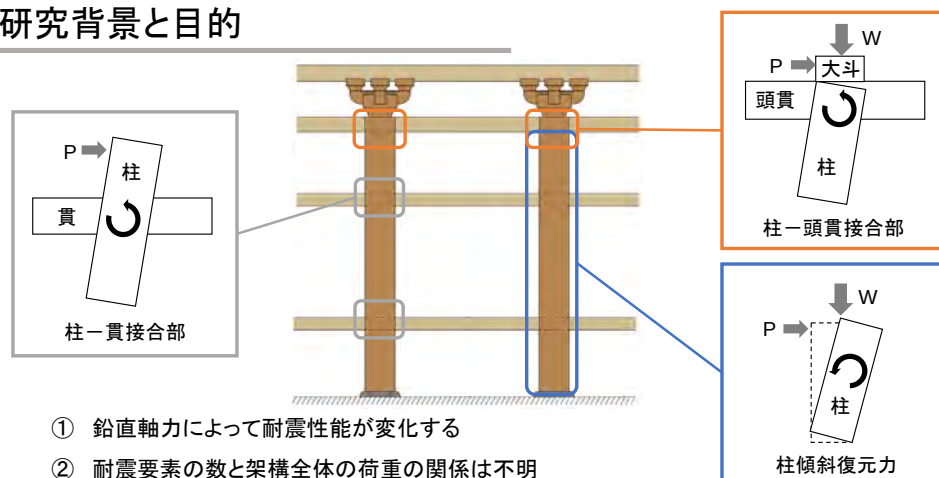


住宅建築物

壁が重要な耐震要素

2

1 研究背景と目的

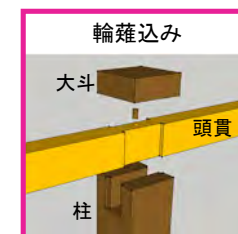
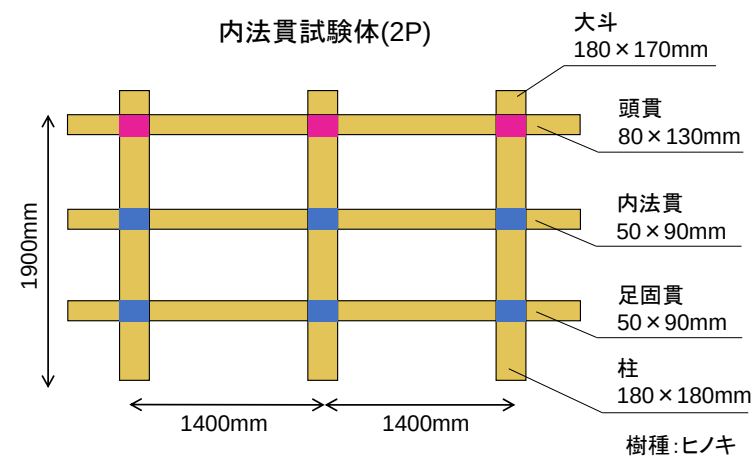


- ① 鉛直軸力によって耐震性能が変化する
- ② 耐震要素の数と架構全体の荷重の関係は不明

- 鉛直軸力を考慮した柱-頭貫接合部の耐震性能評価
- 耐震要素数の変化に伴う架構の耐震性能の把握

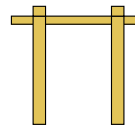
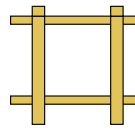
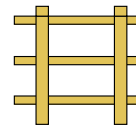
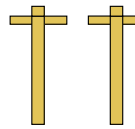
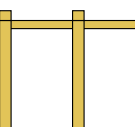
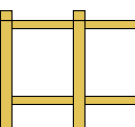
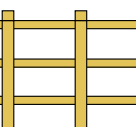
3

2 試験体概要



4

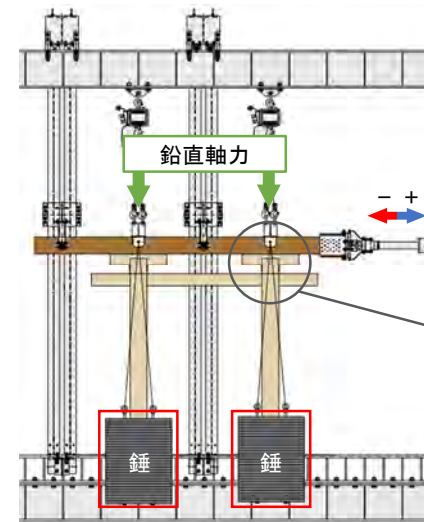
2 試験体概要

試験体名	頭貫試験体	足固貫試験体	内法貫試験体	柱試験体
1P				
2P				
柱1本あたり鉛直軸力	5kN			5kN
	10kN			10kN
	20kN	20kN	20kN	20kN

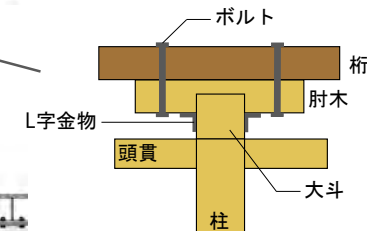
柱間距離 1400mm 頭貫 80×130mm 内法貫・足固貫 50×90mm 柱 180×180mm
耐震要素数や鉛直軸力を変化させた計13体

5

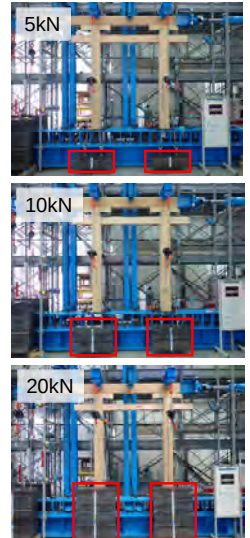
2 実験概要



履歴変形角
1/200, 1/150, 1/75, 1/50, 1/30, 1/20, 1/15, 1/10 rad まで
正負3回ずつ繰り返し加力
(柱試験体のみ1/15radまで)



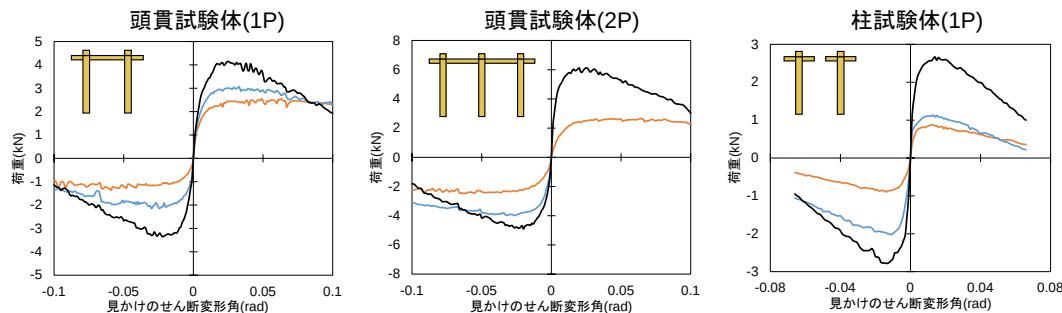
锤の枚数で鉛直軸力を変化



6

2 実験結果 頭貫試験体・柱試験体

— 5kN — 10kN — 20kN



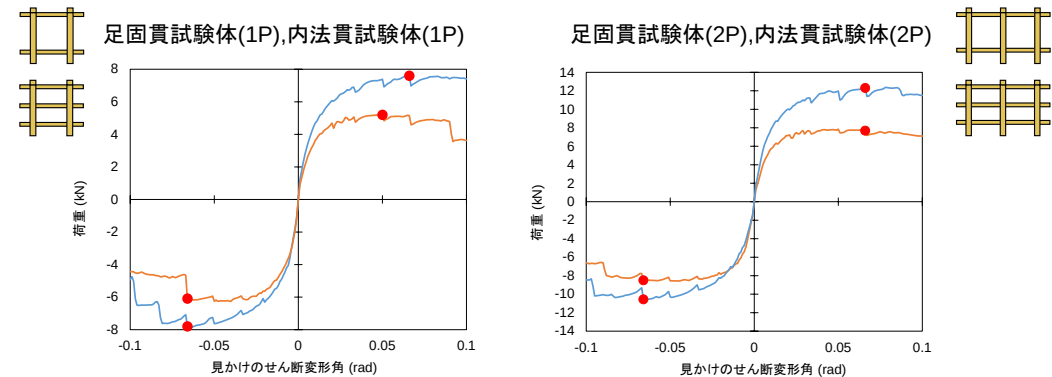
- 頭貫試験体(1P,2P) 5kN → 1/50radまで荷重が増加、以降は一定の荷重
- その他の試験体 → 最大荷重の後、荷重が徐々に低下
- 頭貫試験体(1P,2P),柱試験体 20kN → 1/10radで柱頭に割裂破壊
荷重に影響はなし
- 鉛直軸力の増加に伴って、初期剛性と最大荷重は増加



7

2 実験結果 足固貫試験体・内法貫試験体

— 内法貫試験体 — 足固貫試験体 ● 曲げ破壊

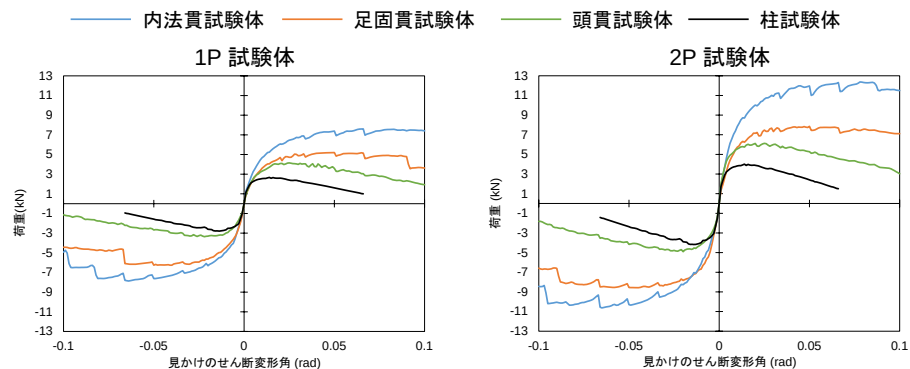


- 1/20～1/15rad まで荷重が上昇
- 1/20rad以降に生じた、内法貫・足固貫の曲げ破壊で荷重が低下



8

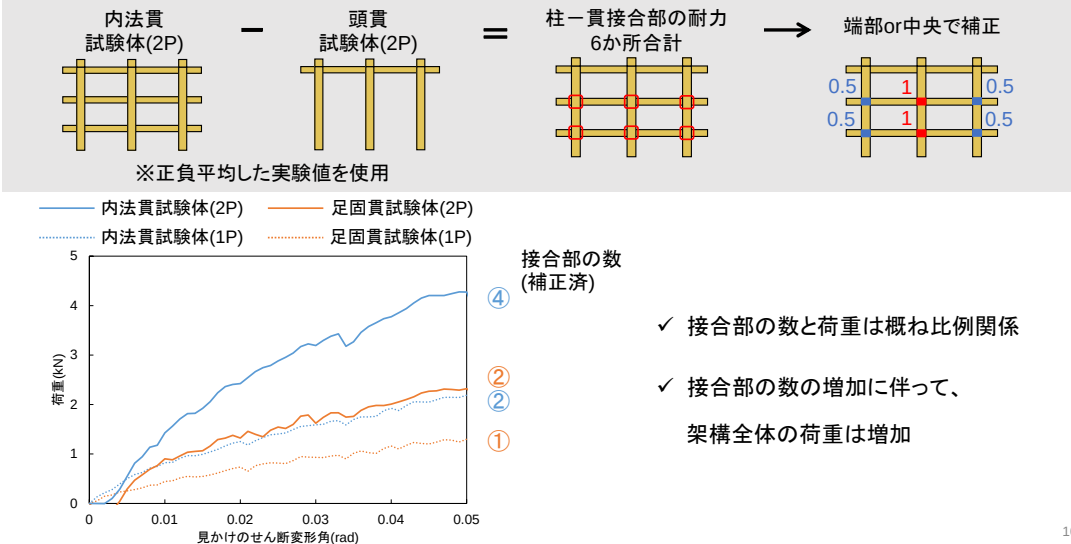
3 耐震要素数に伴う変化



- 耐震要素数の増加に伴い、最大荷重は増加
- 初期剛性は相関関係なし → 材料定数のばらつき、施工精度が影響

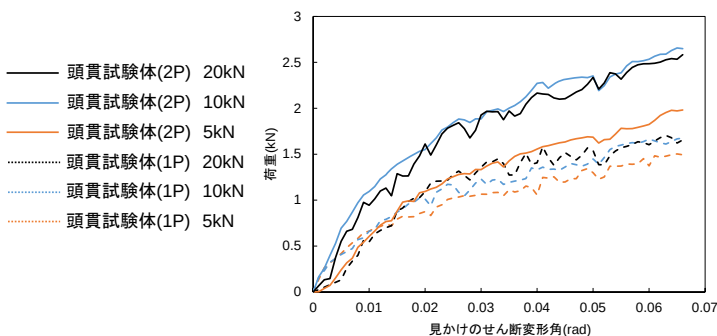
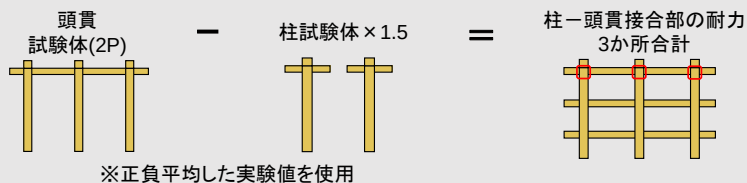
9

3 柱一貫接合部数に伴う変化



10

3 柱一頭貫接合部数に伴う変化

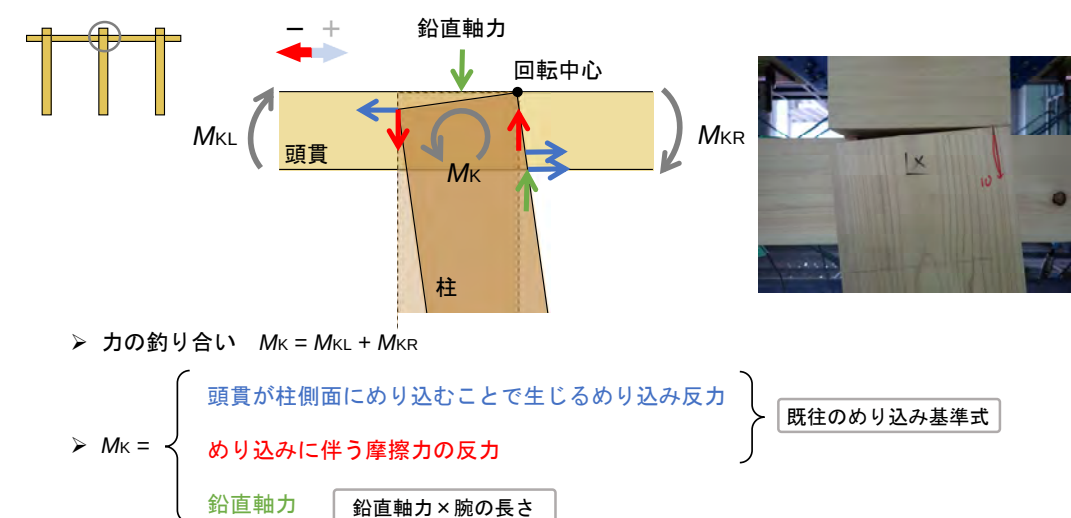


0.05rad時の各荷重

	5kN	10kN	20kN
1P	1.30	1.45	1.54
2P	1.69	2.39	2.34
2P/1P	1.30	1.65	1.52

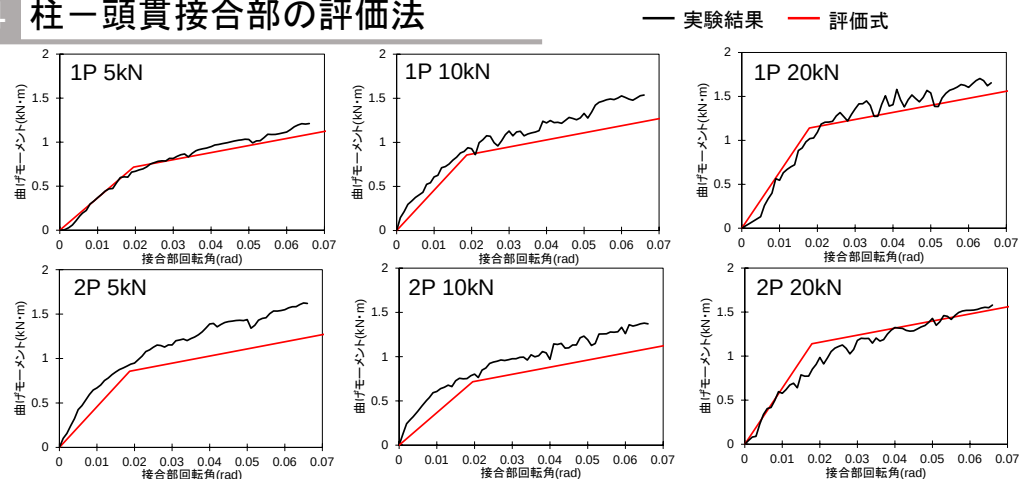
11

4 柱一頭貫接合部の評価法



12

4 柱一頭貫接合部の評価法



※初期剛性は材料定数の影響が大きいため、評価式を補正

- 実験結果と評価式は概ね一致
- 剛性に差異 ◀ 施工精度、材料定数のばらつきが影響

13

5 結論と今後の展望

- ✓ 鉛直荷重や接合部数の変化に伴う耐震性能の変化を把握
- ✓ 鉛直軸力を考慮した柱一頭貫接合部における曲げモーメント回転角関係の推定式を提案



- 板壁や土塗壁を有する木造軸組架構への展開
- 継手を有する木造軸組架構の耐震性能評価法の構築

14

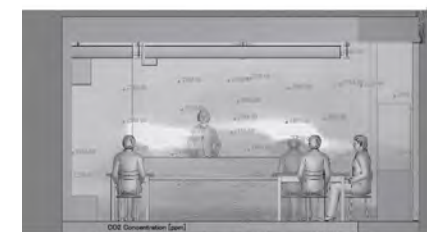
新型コロナ対策としての換気シミュレーションによる 室内気流の可視化及び性能評価基準の提案

芝浦工業大学 西村 直也

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

「三密対策」とその限界

- 「密集」・「密接」・「密閉」
- 「密集」・「密接」は個人で気を付けられるが、
- 「密閉」は専門家でも無いと分からない
- 換気の状態のモニタリング
 - ⇒ 汚染物質の発生点を特定出来ない
 - ⇒ 室そのものの評価にならない
- 空気の「偏在」をどう扱うか？



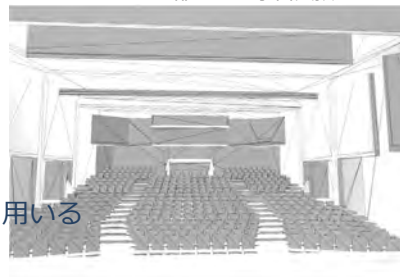
例) CO2濃度の偏在

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

基本的な考え方

上郡町生涯学習支援センター

- 空間中の空気の「偏在」の表現
- 「空気齢(空気余命)」指標の使用
- 汚染物質の排出特性を重視
- CFDによる解析
- 室内での「空気余命」のパーセンタイル値を用いる
 - 1) 汚染物質の発生点に依存しない
 - 2) 建物の設計段階で評価できる。
 - 3) ISO14644-1(Cleanrooms and associated controlled environment Part 1: Classification of cleanliness by particle concentration)的な考え方



NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

基本的な考え方

- ISO14644-1 (クリーンルームの清浄度)
- 室内での対象エリアは、基本的にすべての箇所
- すべての箇所に対する清浄度の管理対象室全体の清浄度に対して、そのパーセンタイル値(95%)が所定の清浄度を維持していればOKとする。

その一方で、

- 汚染物質発生源(箇所)については、特に言及は無い。
- 「汚染源発生箇所に関係無く」室全体が清浄に保たれていることを重視

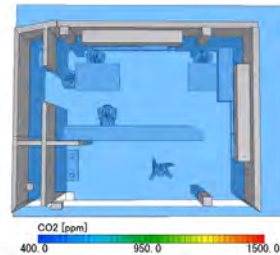
NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

基本的な考え方

一般的な居住空間に対して、

- 1) 汚染物質(人間? その他?)の**発生箇所が特定出来ない**。
- 2) 対象室全体の清浄度の度を管理したい。
- 3) CO2をはじめとする、トレーサーガス

では発生点を一意に決定すると、
その**発生点の違い**により、
「室に対する汚染排除の度合」が
計算出来ない。



NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

KCCI神戸プロジェクト



図2 神戸商工会議所HP

- ・ **神戸商工会議所**のプロジェクト
- ・ 気流の動きを「**可視化**」し、改善を提案
- ・ 「**依頼**」では無く「**参加**」
- ・ 全て「**実名公表**」が前提
- ・ ホール、会議室、店舗などの「**不特定多数**」が使用施設する施設
- ・ 8組織が参加

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

解析対象建築物

Table 1 Objective Buildings

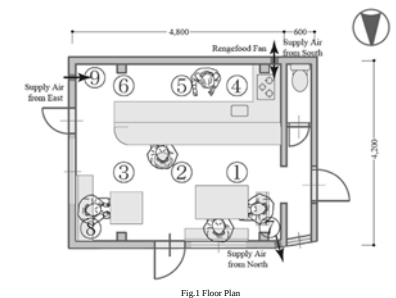
Buildings' Name	Air Volume [m³]	Area [m²]	Ceiling Hight [m]	Ventilation Air Volume [m³/h]	Ventilation Rate [-/h]	HACV System
Amazing	647.7	254.4	3.2	5,400	8.34	AHU + FCU
Libero	92.7	38.0	2.5	120	1.29	PAC + FE
Yutte	64.5	19.0	3.0	150	2.33	PAC + FE
Ibuki	474.1	184.9	2.5	1,581	8.55	PAC + HEX
Okazaki	8,507.7	2,431.9	2.5	20,880	2.45	PAC + HEX
Kamigohri	3,186.4	489.1	8.5	3,840	1.21	AHU
ShinshoHall	3,194.0	451.0	7.0	8,870	2.78	AHU
Nishiharima	2,976.2	437.5	6.7	3,450	1.16	PAC + HEX
ConferenceRoomA	285.4	92.0	3.0	1,786	6.26	AHU + FCU
Arima	1,191.8	268.9	7.7	2,400	8.92	AHU + FE
Suzuka	2,510.3	763.0	3.4	6,036	7.91	PAC + HEX

- ・ KCCIプロジェクトをベースに、対象建物を拡張
- ・ 「**依頼**」では無く「**参加**」
- ・ 全て「**実名公表**」が前提
- ・ ホール、会議室、店舗などの「**不特定多数**」が使用施設する施設

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

CFDと実建物での比較・検証

- ・ ステップダウン法実験が行えなかった。ゴメンナサイ。。
- ・ **CO2濃度分布**測定にてCFDの**精度確認**。
- ・ 同時に多点測定が必要がある。
- ・ その為に「**3次元多点測定CO2濃度計**」を開発
- ・ 参加店舗「**カフェ・ユッテ**」にて実測
- ・ 店舗内に**18か所の測定点**を設置
- ・ 平面分布・垂直分布を同時計測
- ・ CO2発生源として1) **コンロ**、2) 5人の**人間**を設定
- ・ 1時間又はCO2濃度が2000ppmを超えた時点で計測終了



NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

3次元多点測定器

- **Raspberry Pie**を中核に構成
- 軽量小型なれど、**PCの持つ機能を全て実装**
- これに、各種のセンサー類を搭載
- Raspberry Piの持つ拡張性、**ネットワーク機能**を活用
- リアルタイムで中央に情報を提供。
- **遠隔操作が可能**



Measurement System



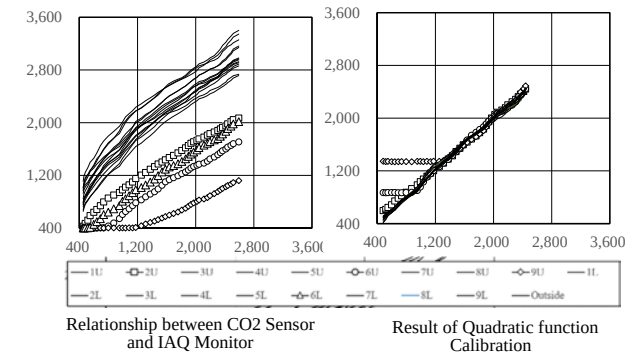
CO2 Sensor (MH-Z19C)



Temp. Humid. Sensor (BME280)

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

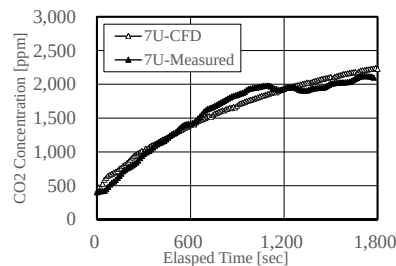
3次元多点測定器



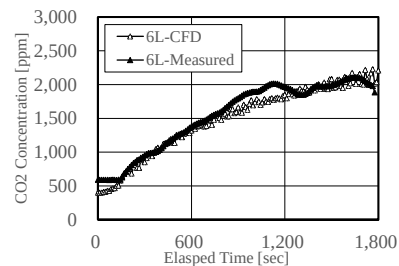
- 「**較正**」が必要
- 較正の結果、**極めて信頼性が高い**事を確認

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

3次元多点測定器



Comparison Between Measured and Simulated Value (7U)

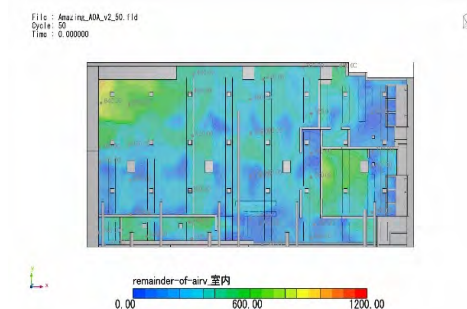


Comparison Between Measured and Simulated Value (6L)

- **十分な再現性**を持つことを確認
- このままCFDにて計算を続行

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

解析結果（抜粋）



ROA of Amazing

- スポーツジム「アメイジング」での解析例
- 室内でのばらつきは小さい

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

解析結果（抜粋）

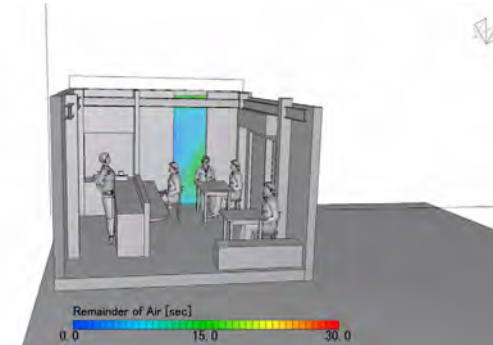


ROA of Suzuka

- 「鈴鹿パーキングエリア」での解析例
- 「アメイジング」に比べてばらつきが大きい

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

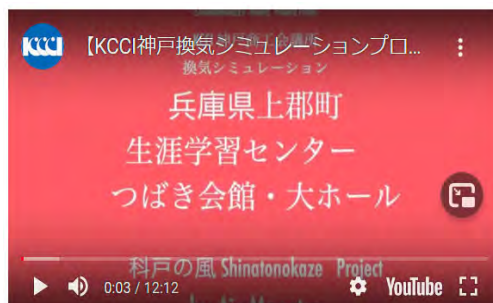
解析結果（抜粋）



- 「カフェ・ユッテ」での解析例
- かなり小さな物件でも、内部での違いは大きい

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

結果の公表

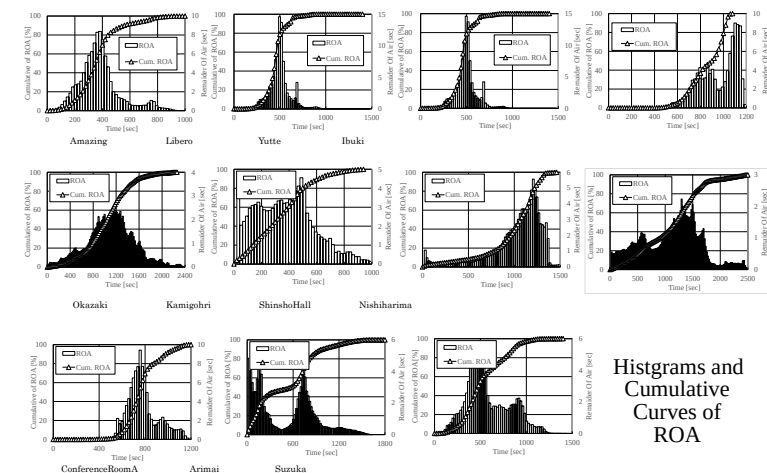


公開ビデオ

- 「見える化」の提示
- YouTubeにて公表
- 各施設においても、
 - 施設エントランスでのプレゼンテーション
 - HPでの公開

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

解析結果 – 空気余命分布



Histograms and Cumulative Curves of ROA

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

解析結果－ドアの開閉による影響（例）

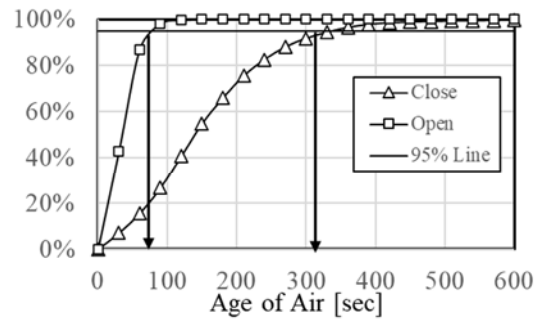
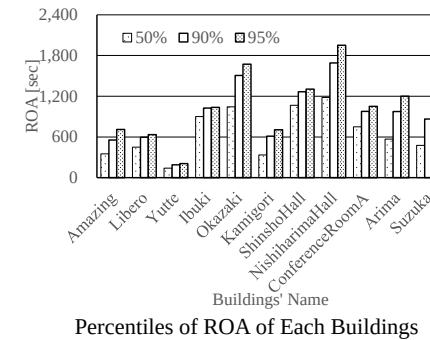


図8 空気齢累積率

- ・「カフェ・ユッテ」での解析例
- ・同じ建物においても、ドアの開閉により空気余命の95パーセンタイルは大きく異なる
- ・空気質改善のための最も簡単な手法

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

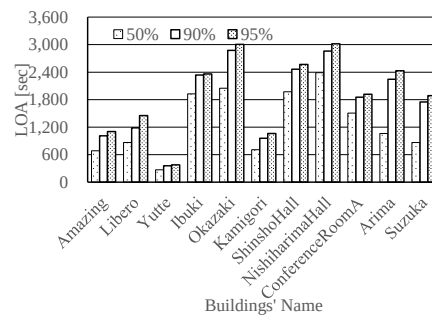
解析結果-空気余命について



- ・規模が大型化すると、ROAは伸びる傾向
- ・本来はあまり関係無いはず。

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

解析結果-空気余命について

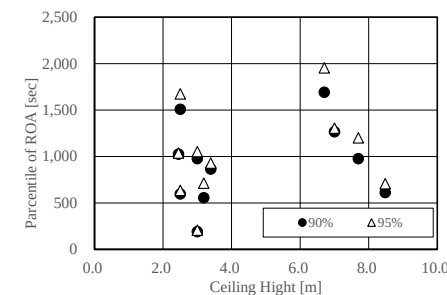


Percentiles of LOA of Each Buildings

- ・規模とはあまり関係無い
- ・LOA50パーセンタイルは換気回数の逆数なので、当然といえば当然

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

解析結果-対象室との関係

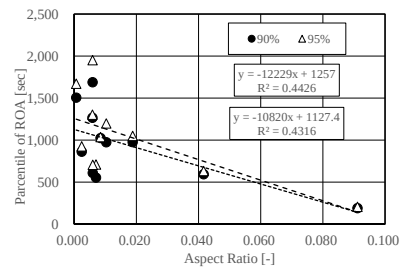


Comparison Between Ceiling Height and 90, 95 Percentile of ROA of Each Building

- ・天井高とROAのパーセンタイルの比較
- ・天井高が二極化しているが。
- ・全体にあまり関係性が見られない。

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

解析結果-対象室との関係



Comparison Between Aspect Rates of Rooms and Percentiles of ROA of Each Building

- ・(天井高)/(床面積の平方根)を「アスペクト比」と定義
- ・ROAの95パーセンタイルと比較
- ・アスペクト比が大きい程、ROAパーセンタイルが小さい傾向
- ・「より背が高い」空間ほど、ROAパーセンタイルは良好
- ・当初の予測とは逆の結果

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

まとめ

- 1) **空気齢(空気余命)**を用いて、建築室内の汚染物質除去度合の**指標の作成**を試みた。
- 2) 11物件に対して、空気齢その他を算出した
- 3) **3次元多点測定型CO2濃度測定器**の開発を試みた
- 4) **「見える化」**についてYouTube、HP等での公開を行った
- 5) 空気余命の見地から建築室内での**汚染除去**に関する特性を調べた
- 6) 居住域に対して、天井高が空気余命に大きく影響する事などを把握した
- 7) これらを含めた上での**設計指針**等についてを今後の課題としたい

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

ご清聴ありがとうございます

NISHIMURA Lab., Shibaura Institute of Technology

廃棄物埋立処分場の予防環境保全のためのIoTモニタリングシステムの開発

九州大学大学院 工学研究院
// システム情報科学研究院

2023年10月16日



2. 埋立地内部（埋立廃棄物層）のモニタリング

2-1 埋立地で使用するセンサに関する検討



適切なセンサの選定

- 埋立廃棄物の性状を把握するため温度センサ、pHセンサ、ECセンサを対象とした。
- 各センサの測定原理を調査し、廃棄物埋立地での過酷な環境下での運用と、IoT化に適したセンサを評価した。

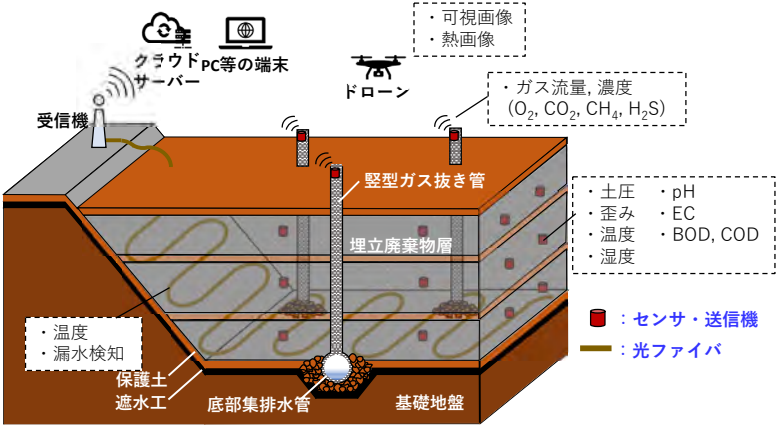
1. IoTを活用した高度な埋立地の管理

1. 環境モニタリング

温度、湿度、ガス、水質等を計測する各種センサにより、埋立地内の物理、化学、生物学的環境を総合的に捉えてリアルタイムに環境情報を取得し、適切な維持管理に役立てる。

2. 破損の未然検知

遮水システム等の健全性に関する情報をリアルタイムに取得し、データをクラウドサーバに保存してビッグデータ化し、解析することにより、施設の破損に伴う汚染事故の未然防止に役立てる。



埋立地の過酷な環境に耐えIoT化に適したセンサは？（温度センサの例）

廃棄物埋立地の過酷な環境下での測定およびIoT化の観点からは熱電対またはIC温度センサが適している。

熱電対は、IoT化の際には、アナログ出力をデジタル信号に変換する変換器とインターフェイスが必要

IC温度センサは、デジタル出力を持つため、データの取得や処理、通信が簡単になるという利点があり、低電力で作るものも多く、IoT化に適している一方、耐環境性を持たせるためにはセンサの保護が必要となる。

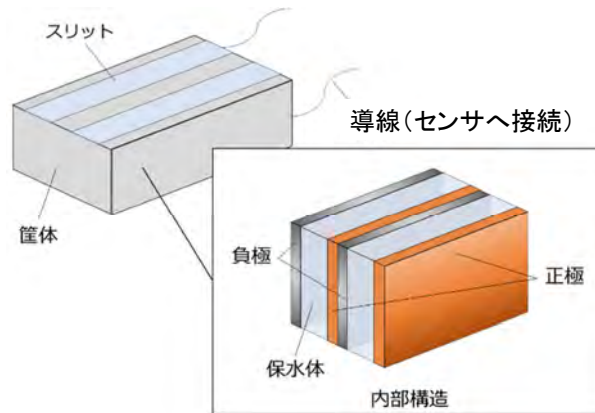
センサの種類	埋立地内の耐環境性、長期信頼性	IoT化適性	コスト	備考
熱電対	○	△	○	特定のタイプの熱電対は高温や過酷な環境に耐えることができる。しかしながら、アナログ出力なので、IoT化には変換が必要であり消費電力が増える。
測温抵抗体	△	△	△	精度は良好だが、過酷な環境にはそれほど適していない場合がある。
サーミスタ	△	△	○	高温や化学的影響にはあまり耐えることができない場合がある。
IC温度センサ	△	○	○	多くの場合、デジタル出力を持ち、消費電力もなく、IoT化によるデータ取得、処理、通信が容易。通常、一般的な環境向けに設計されているためセンサの耐久性を高める工夫が必要。

2-2 埋立廃棄物層内の保有水を電解液として用いる“ごみ電池”

埋立廃棄物層内では焼却残渣中の可溶性の塩類が雨水と接触することで溶解している。ごみ電池は、埋立廃棄物層内に存在する保有水（**高pH**、**高い電気伝導度（EC）**）を電池の電解液として用い発電する。

本研究で用いた 模擬保有水の性状

L/S[-]	10
pH[-]	11.7
EC[mS/cm]	24.5



ごみ電池の起電力はセンサモジュールの要求駆動電圧を満たすか？

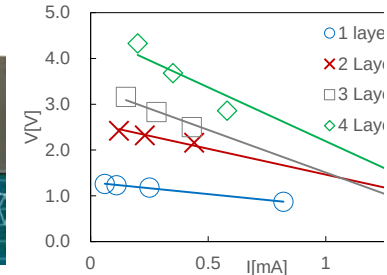
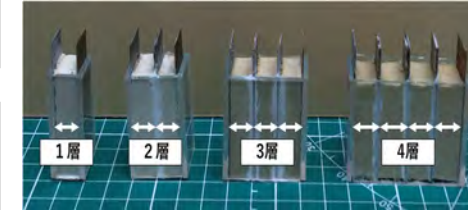
実験手順

体各セルに焼却残渣溶液を1ml滴下

負の抵抗（1、4.7、10 kΩ）を接続したとき
V値、電流値を測定

グラフにプロットし、回帰
から起電力E、内部抵抗
計算
 $V = E - rI$

求めた起電力、内部抵抗
最大電力 P_{MAX} を計算
 $P_{MAX} = E^2 / 4r$



実験に用いた多層構造のごみ電池

各ケースの起電力、内部抵抗、最大

	1 Layer	2 Layers	3 Layers
起電力[V]	1.29	2.59	3.37
内部抵抗[Ω]	510	1,120	1,860
最大電力[mW]	0.82	1.50	1.53

- ごみ電池の層数に比例して起電力、最大電力が大きくなることを確認した。
- 3層以上のごみ電池の起電力は、本研究で用いたセンサモジュール（温湿度センサ、マイコン、送信モジュール）が必要とする駆動電圧（3.3V）以上であった。

ごみ電池を電源としたセンサモジュールによる無線通信は可能か？

ごみ電池とセンサモジュールの構成



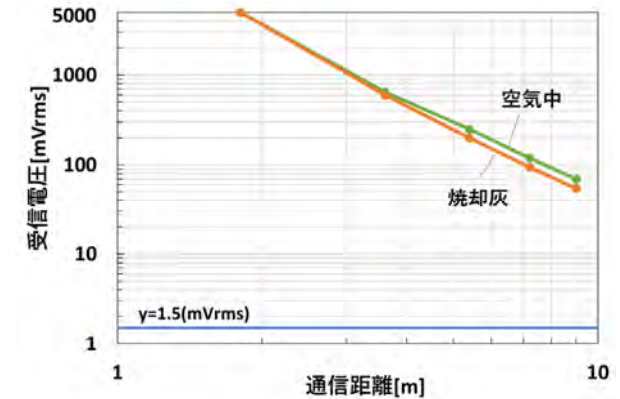
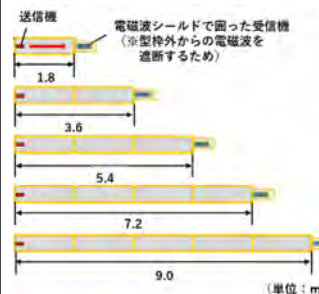
無線通信



無線通信

センサモジュールから発信された温湿度のデータを受信し、グラフ化できることを確認

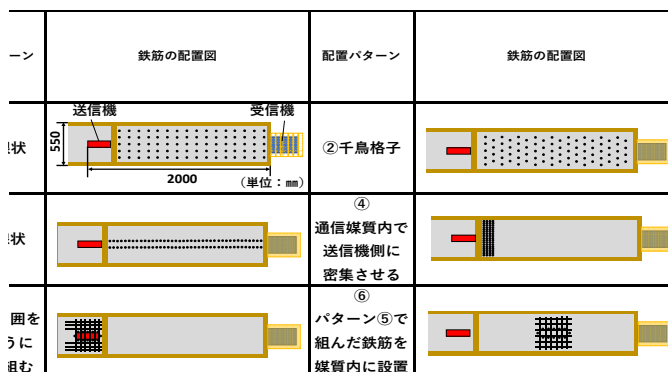
2-3 廃棄物埋立層内における低周波無線通信：通信可能距離は？



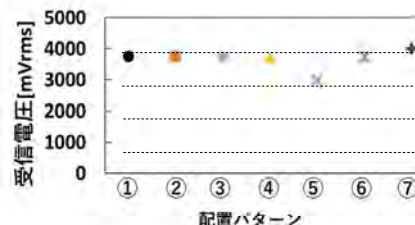
- 通信距離に伴う減衰率は、空気中よりも焼却灰中の方が大きくかった。
- 本研究で用いた低周波送信機の焼却灰中における通信可能距離は26mと算出された。
- 低周波無線通信可能距離26mは、我が国の平均の一般廃棄物処分場の埋め立て深さ（約10m）と比べて十分に長い

埋立廃棄物中の鉄スクラップによる低周波通信への影響

鉄筋の配置図



鉄筋の配置パターンごとの受信電



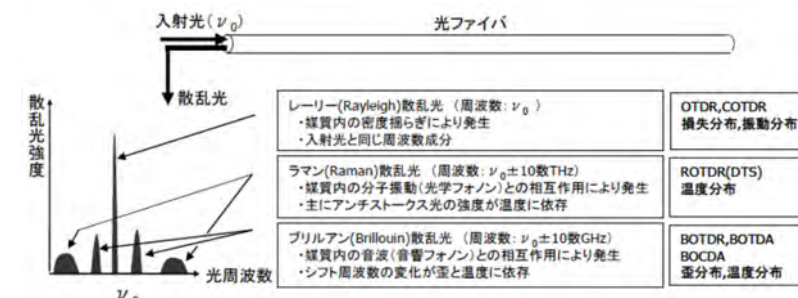
- ①方眼状 ②千鳥格子 ③直線状
 ④通信媒質（送信機側）に密集
 ⑤送信機周囲を囲むように鉄筋を組む
 ⑥パターン⑤で組んだ鉄筋を媒質内に設置
 ⑦鉄筋を挿入していない状態

- 送信機の周囲を鉄スクラップが囲むように存在する場合（パターン⑤）には、受信電圧の減衰し、通信障害が発生する可能性がある。

3. 埋立地境界のモニタリング

光ファイバセンサ

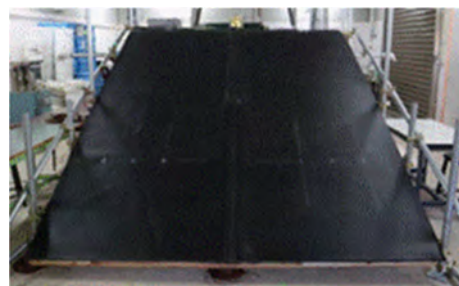
- 光ファイバは石英ガラス等で形成される細い繊維状物質
- 入射した光の反射や散乱等を利用して温度、歪、圧力、電流等が計測可能
- 特長: 小型・軽量、長寿命、過酷環境下でも耐久、分布計測が可能



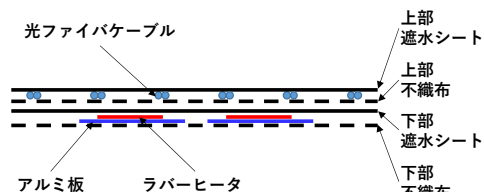
光ファイバ中で発生する散乱光および光ファイバセンサで計測可能な物理量

廃棄物埋立地の周辺環境との境界部(遮水工、キャッピング)のモニタリングに適すると考えられる。

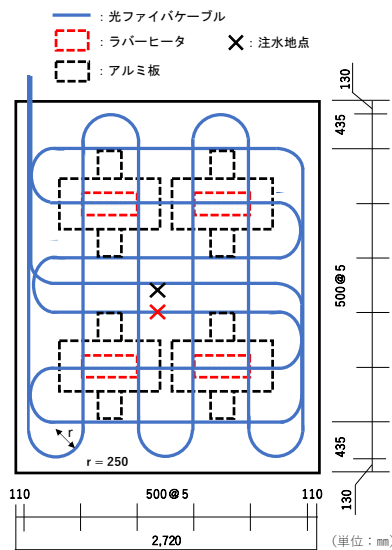
埋立地法面模型を用いた遮水工の面的温度分布推定、漏水検知実験



埋立地法面模型



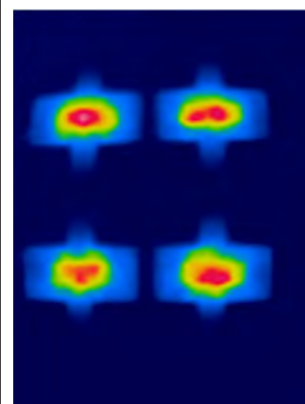
遮水シートの構造と光ファイバケーブルおよび熱源の設置位置



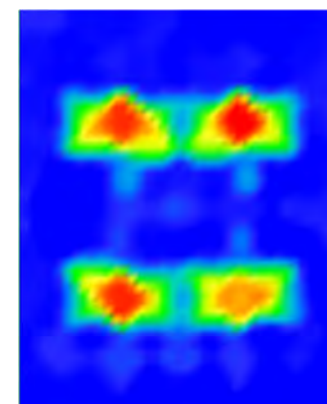
光ファイバケーブル、熱源および注水地点の配置

光ファイバセンサによる面的温度分布の把握

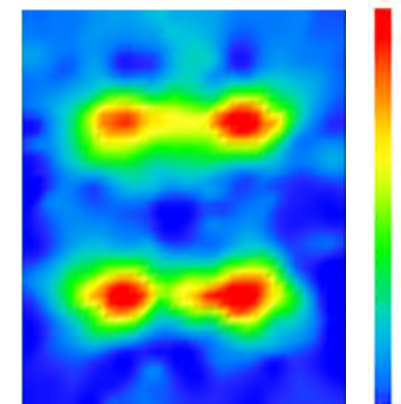
熱源温度: 80°C



熱赤外線画像



ブリルアン計測
(空間分解能: 5cm)

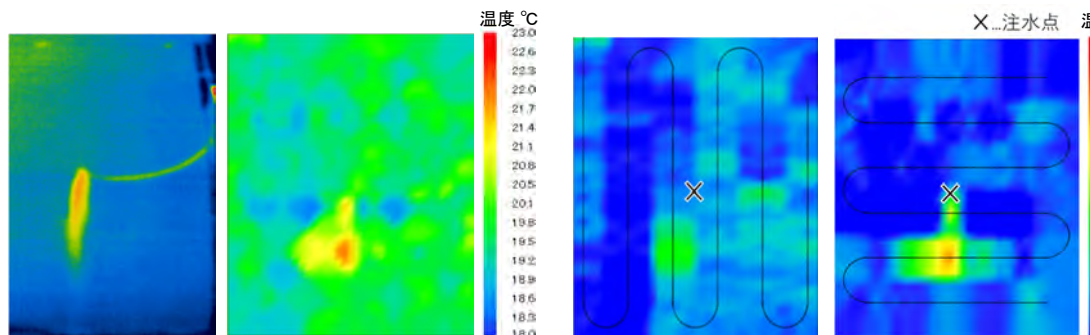


ラマン計測
(空間分解能: 100cm)

- ✓ 光ファイバセンサで得られた線方向温度分布からコンター図作成ソフトを用いて二次元温度分布を作成した。
- ✓ 光ファイバセンサにより一定の精度で面的温度分布を把握できることが確認された。

光ファイバセンサによる漏水検知

- ・ 法面の中央部の上部遮水シートを穿孔してホースニップルを設置
- ・ 微量定量ポンプを用い、27.0℃に調整した純水(気温19.7℃よりも約7℃高い)を流量17.1 mL/minで注水



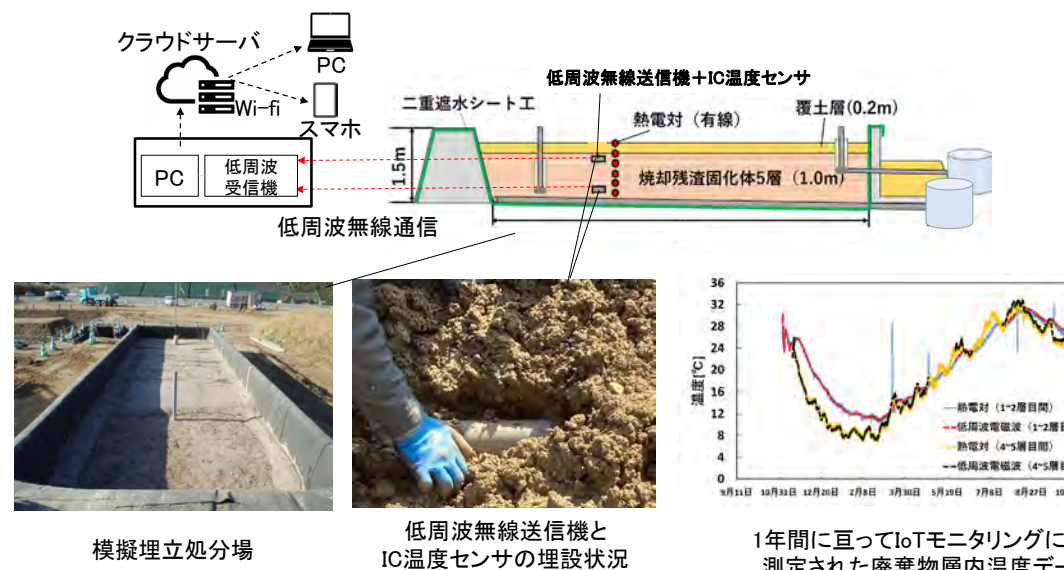
熱赤外線画像 ブリルアン計測 縦配線 横配線

注水時の温度分布
(注水開始から48分後)

配線方向による温度分布の相違

ブリルアン計測では、熱赤外線画像でみられる注水に伴う高温部と似た形状の高温部(=常温+約2℃)が認められ、漏水検知においては、横配線(法面の勾配方法に垂直な方向に光ファイバを配線すること)が効果的である。

4. IoTモニタリング：模擬埋立処分場における実証実験



模擬埋立処分場

低周波無線送信機と
IC温度センサの埋設状況

1年間に亘ってIoTモニタリングに
測定された廃棄物層内温度デー

5. まとめ

① 廃棄物埋立地に適したセンサ

- ・ 各種センサの測定原理を調査し、廃棄物埋立地での過酷な環境下での運用と、IoT化に適したセンサを評価・選定した。

② ごみ電池の開発

- ・ ごみ電池のプロトタイプ的设计および作製を行った結果、多層構造にすることで起電力が増加し、センサモジュールの駆動電圧を満足する起電力を有するごみ電池を製作することができた。
- ・ ごみ電池を電源としてセンサモジュールに電力を供給し、温湿度データをPCに無線送信することに成功した。ごみ電池を電源としたIoTモニタリングシステムを実証できた。

③ 低周波通信による埋立廃棄物層内の通信

- ・ 低周波電磁波は廃棄物埋立地における無線通信に有効であり、本研究で用いた低周波送信機を埋立廃棄物層内に設置した場合の通信可能距離は26mと算出された。
- ・ 低周波送信機の近傍に鉄屑等の金属導体が密集した場合には受信電圧が低下し、通信障害が発生する可能性があることが分かった。

④ 埋立地境界(遮水工)のモニタリング

- ・ 光ファイバセンサによる遮水工の面的温度分布の把握や漏水検知の可能性が示された。

⑤ IoTモニタリングシステムの構築

- ・ 本研究において構築したIoTモニタリングシステムにより、模擬廃棄物埋立地内から1年以上に亘り、埋立地内部の温度データを受信できた。

研究成果

○ 査読付き学术论文(2編)

- ・ 小宮哲平、浜田梨央、島岡隆行、今井道男、小澤一喜：廃棄物埋立地の遮水シートの温度分布推定および漏水検知における光ファイバセンサの適用可能性、ジオシンセティックス論文集、Vol.37, pp.113-118、2022年12月
- ・ Hirofumi Nakayama, Tomoya Tazoe, Takayuki Shimaoka, Haruichi Kanaya: Wireless communication technology for environmental monitoring at waste landfills, Journal of Material Cycles and Waste Management (in press)

○ 講演論文(10編)

- ・ 全国都市清掃研究・事例発表会(1編)、廃棄物資源循環学会研究発表会(4編)、土木学会西部支部研究発表会(5編)

○ 特許(2件)

- ・ 発明の名称:監視装置、出願番号:特願2021-101088、2021年6月
- ・ 発明の名称:遮水工、温度監視方法、整理番号:202200142

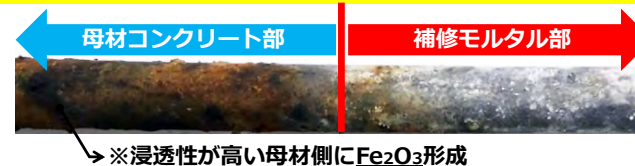
電気化学ノイズ法による 耐候性鋼と亜鉛めっき鋼の コンクリート用鉄筋としての適用性の確認

立命館大学・福山智子

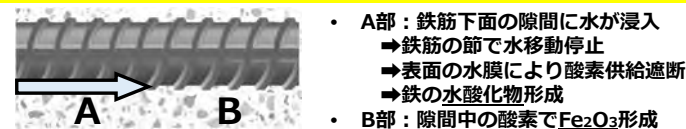
R RITSUMEIKAN

コンクリート中の鉄筋の腐食

【例1】水浸透性の違い→腐食の有無



【例2】酸素供給の違い→異なる腐食生成物



- ・ 鉄筋腐食の構造性能や耐久性能への影響が課題
- ・ コンクリート（水や酸素、Cl-の移動）の腐食への影響に関する検討多数

R RITSUMEIKAN

特殊鋼材のコンクリート鉄筋としての適用可能性

既存鋼材

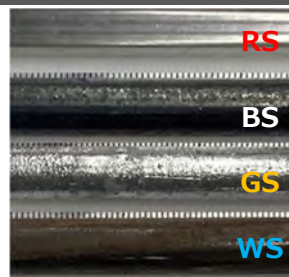
- ・ 無めっき鋼 (RS)
- ・ 黒皮付き鋼 (BS)

鋼材表面
：不動態皮膜
：黒皮

特殊鋼材

- ・ 亜鉛めっき鋼 (GS)
- ・ 耐候性鋼 (WS)

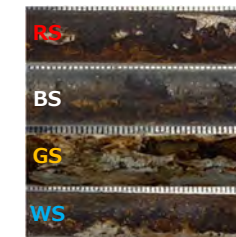
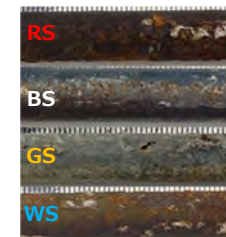
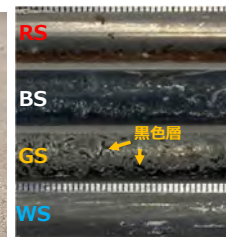
：亜鉛皮膜
：保護性錆



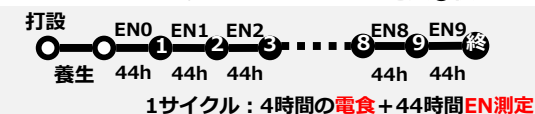
- ・ 特殊鋼材は表層に皮膜が存在
- ・ コンクリート鉄筋としての適用性を検討する際に
腐食に対する皮膜の影響も考慮を要する
→保護性能, 物質移動抵抗性能
- ・ 電気化学ノイズ法で皮膜の特徴を把握したい

R RITSUMEIKAN

実験の概要と目的



- ・ 塩化物イオン存在下
- ・ 3.4 mA/cm^2 の腐食促進
($0.01 \text{ mm/y} = 0.86 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$)



- ・ 腐食が進展した時の表層皮膜の状態観察
- ・ 表層皮膜の状態と電気化学ノイズの相関

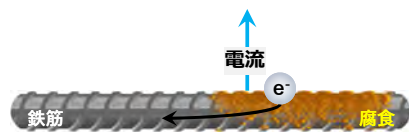
皮膜の
保護性能確認

R RITSUMEIKAN

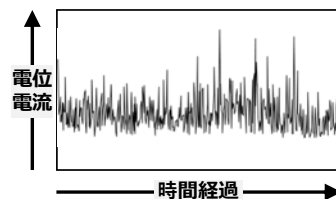
電気化学ノイズ法



鉄筋表面の電荷応答



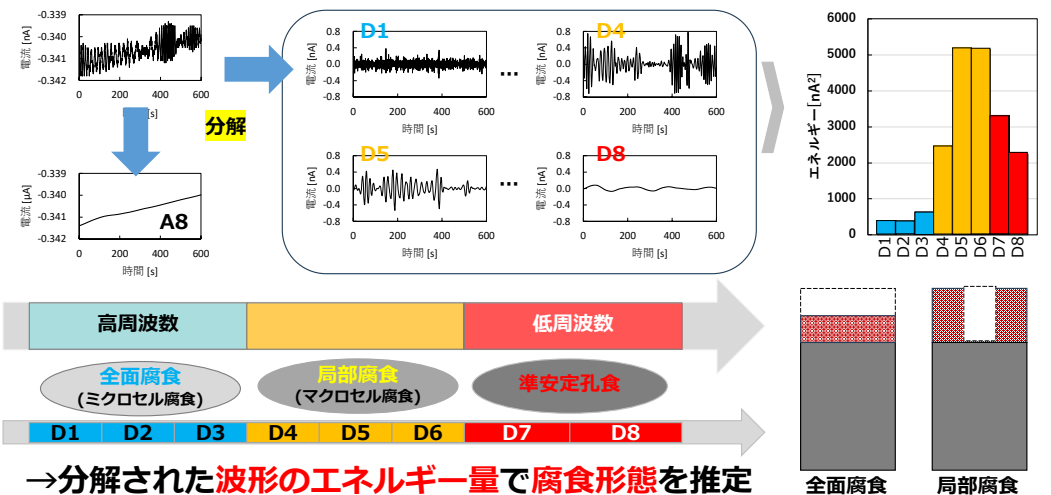
鉄筋腐食波形



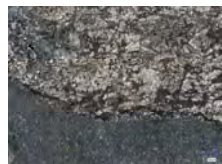
➤ 金属表面での過渡的な酸化・還元反応を
電位や電流の時系列データとして測定

➡ 腐食形態や腐食速度等を解析

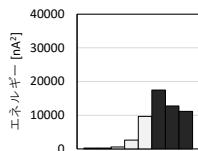
電気化学ノイズによる腐食形態の推定



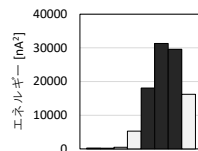
黒皮付き鋼の腐食形態



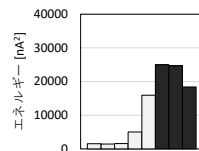
電食③後 500倍



電食⑤後 500倍



電食⑦後 500倍



- 皮膜の喪失は溶解というよりは剥離状
- 黒皮剥離箇所腐食発生, 促進が進むと黒皮の劣化も
- 電気化学ノイズは局部腐食を示唆

亜鉛めっき鋼の腐食形態

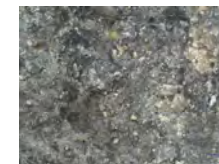


付着量 : 583g/m²
膜厚 : 82μm

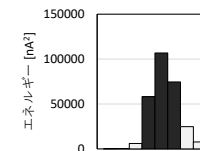
亜鉛の不動態



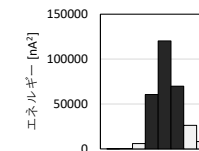
電食②後 20倍



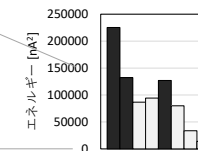
電食③後 500倍



電食④後 200倍



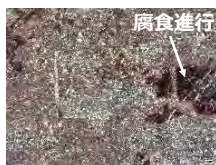
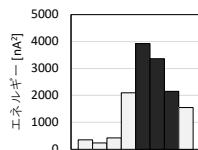
電食⑥後 300倍



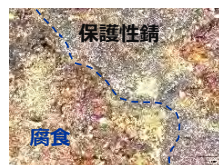
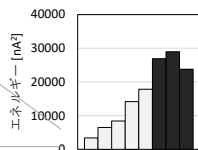
- 不動態形成は不均一
- 亜鉛のイオン化による皮膜減少
- 電気化学ノイズは局部腐食と全面腐食



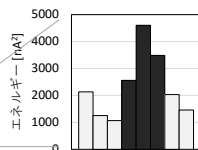
電食③後 500倍



電食⑤後 500倍



電食⑨後 500倍



- 皮膜の喪失は剥離状だが、保護性錆と赤錆の混在も
- 保護性錆剥離箇所で腐食発生
- 電気化学ノイズは局部腐食を示唆

電気化学ノイズ

➤ いずれの鋼材も局部腐食傾向➡皮膜減失箇所に腐食集中

顕微鏡観察

➤ 皮膜減失の進行には鋼種の違いがあるが、減失後の腐食生成物はいずれも脆い赤錆（ポーラス、物質移動抵抗性なし？）

- ➡黒皮付き鋼：黒皮剥離箇所から腐食進展
- ➡亜鉛めっき鋼：亜鉛層減失箇所の腐食が著しい
- ➡耐候性鋼：保護性錆減失後は腐食が進展

腐食開始は皮膜の有無で決まる

➡皮膜破壊条件の明確化が必要



ため池堤体における土質境界部の内部侵食の進展メカニズムの解明

東京理科大学（元山口大学） 石丸 太一
山口大学 鈴木素之



はじめに

近年の地震や豪雨により、多くのため池が被災している。
中でも、土と附帯構造物の境界部や土質層境界部での被災が多くみられる¹⁾。

土と附帯構造物の境界部での被災事例

山口県船引ため池



異なる土質層境界部での被災事例

高知県内原野ため池²⁾



- 1) 藤本哲生他: 2019年台風第19号等による豪雨で決壊したため池堤体の特徴と決壊要因の推定, 土木学会論文集(水工学), Vol.76, No.1, pp.370-384, 2020.
2) 堀俊和: 農業用ため池の豪雨災害に関する研究, 農業工学研究所報告, Vol.44, pp.139-247, 2005.



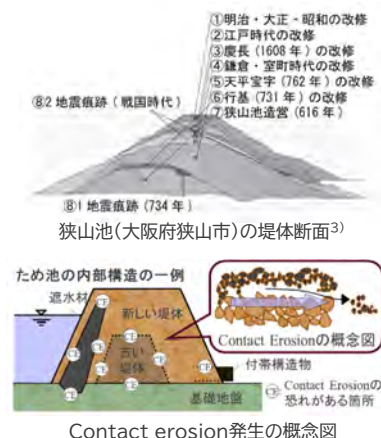
研究の目的

- ため池の多くは時代の変遷とともに増改築。
- 堤体内部は均質ではない。
- 例えば、古い堤体と新しい堤体の境界部のような箇所でContact Erosion(接触侵食)が発生する恐れがある。

土質境界面を有した鉛直2層の模型地盤に対して、上向き一次元通水実験を実施し、侵食の様子を観察。

- 層境界部の角度の違い
- 層境界部のなじみ方の違い
- 通水方法(一定、繰り返し)の違い

3) 吉井克信, 西川寿勝, 浜地長生: 狭山池の改修とその技術変遷, 建設機械施工, Vol.69, No.8, pp.54-59, 2017.



検討1 層境界角度の影響 一実験装置と実験方法一

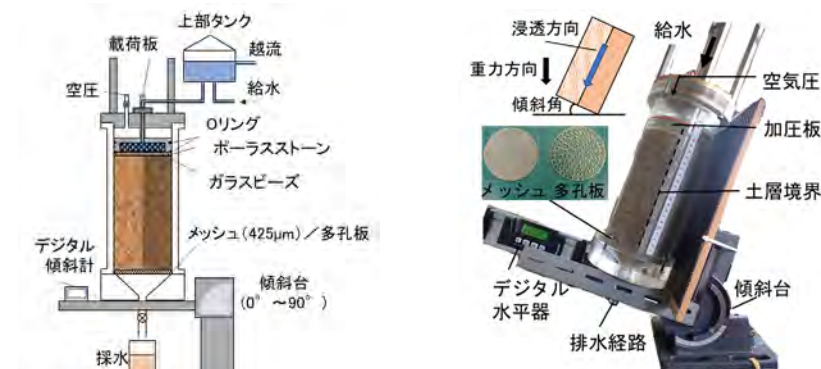


図4 傾斜機能付き円筒型通水装置 (左: 模式図, 右: 写真)



図6 通水過程の排水の採水状況

検討1 層境界角度の影響 ー土試料ー

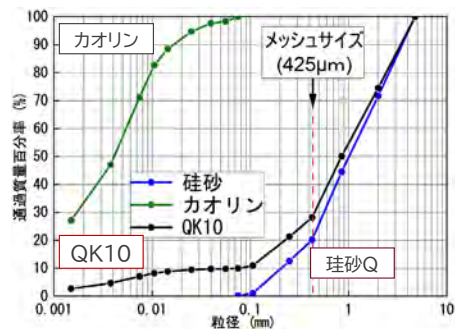


図7 本実験で使用した土試料の粒径加積曲線

QK10はKenney⁴⁾の内部安定指標より、細粒分が流出しやすいと判定される。

4) Kenney, T. C., Lau, D: Internal stability of granular filters, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 22, pp. 215-225, 1985.

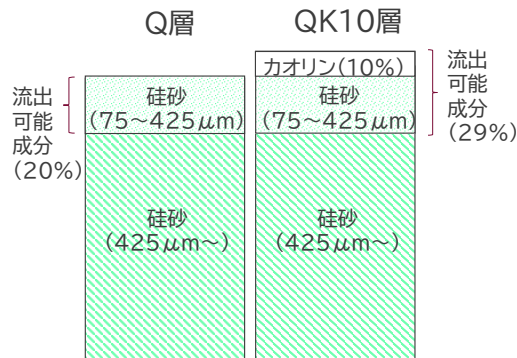
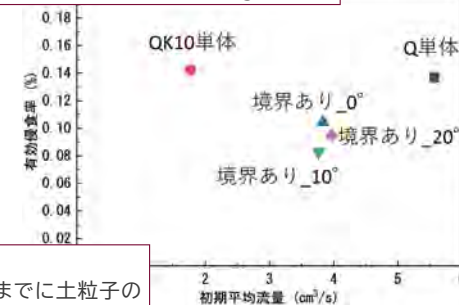


図8 各層の土の組成

検討1 層境界角度の影響 ー実験結果と考察ー

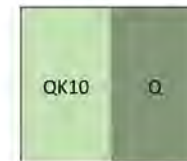
$$\text{有効侵食率 (\%)} = \frac{\text{侵食した土の乾燥質量 (g)}}{\text{供試体内の流出可能成分の乾燥質量 (g)}} \times 100$$



初期平均流量:
排水量400mLまでに土粒子の
大半が排出することを考慮して、
そこまでの平均流量を使用

図10 初期平均流量と有効侵食率の関係

境界ありの場合



透水性	低	高
侵食しやすさ	しやすい	しにくい

検討1 層境界角度の影響 ー実験結果と考察ー

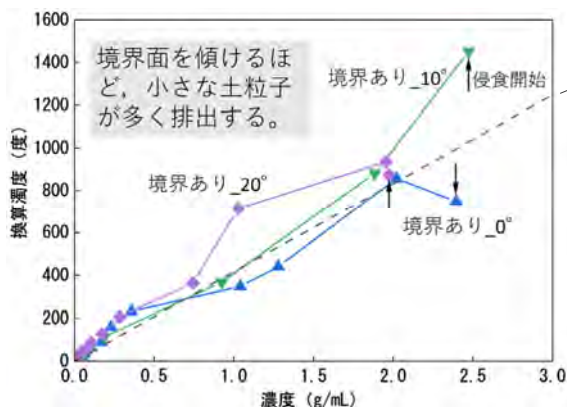


図11 排水の濃度と濁度の関係

カオリン懸濁液の濃度—濁度関係

濁度の性質

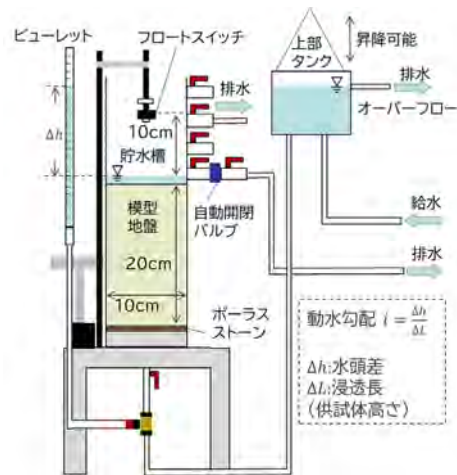
- 懸濁物質が同じであれば、濃度と濁度は直線関係になる。
- 同一濃度でも懸濁物質の粒径が小さいほど濁度が高くなる⁵⁾。

5) 横山勝英:濁度計の粒径依存特性と現地使用方法に関する考察, 土木学会論文集, No.698, pp.93-98, 2002.

検討1 層境界角度の影響 ーまとめー

- 土質境界面の傾斜角度を変化させても、有効侵食率は変化しなかった。
- 土質境界面に傾斜をつけると、傾斜がない場合と比べて、流出土粒子径が小さくなるのが分かった。ただし、実験装置の流出部分の構造の影響を受けている可能性もある。

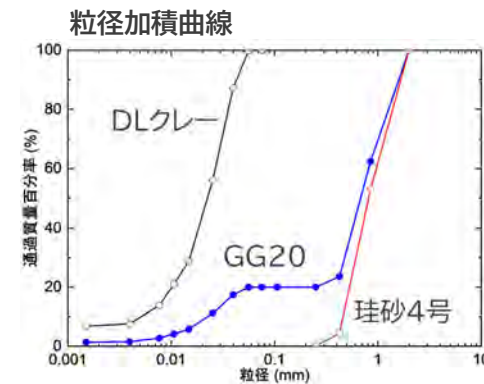
検討2 層境界なじみの影響 ー実験装置と実験方法ー

貯水槽水位の制御装置
(マイコンボードとタイマーリレー)

- 上向き通水
- 動水勾配を自動で変化させることができる。

Copyright © Tokyo University of Science All Rights Reserved.

検討2 層境界なじみの影響 ー供試体の作成方法ー

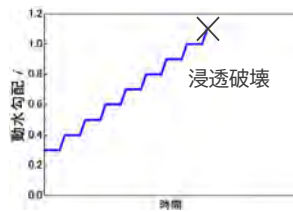


埋め込んだ砂糖塊を飽和過程時に溶解。

Copyright © Tokyo University of Science All Rights Reserved.

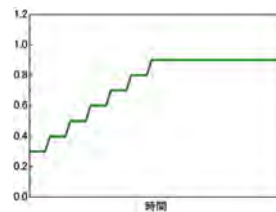
検討2 層境界なじみの影響 ー通水方法ー

パターンF

破壊に至るまで
動水勾配を段階上昇

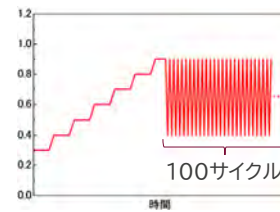
動水勾配の上昇幅: 0.1

パターンC

破壊に至らない動水勾配で
24時間通水

設定動水勾配: 0.9

パターンR

破壊に至らない動水勾配で
24時間繰り返し通水動水勾配の変動: 0.4 ⇔ 0.9
変動回数: 100回

Copyright © Tokyo University of Science All Rights Reserved.

検討2 層境界なじみの影響 ー分析方法ー

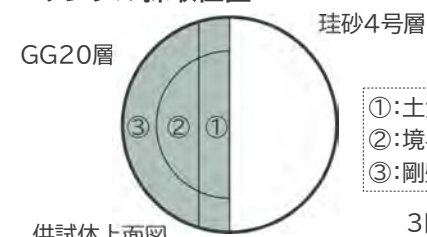
計測項目

- ・ 動水勾配(ビューレットの読み)
- ・ 流量
- ・ 濁度(貯水槽内、貯水槽から流出した排水)
- ・ 実験後供試体の細粒分含有率分布

実験中の貯水槽の濁り

実験後の
供試体上面の様子

サンプル採取位置



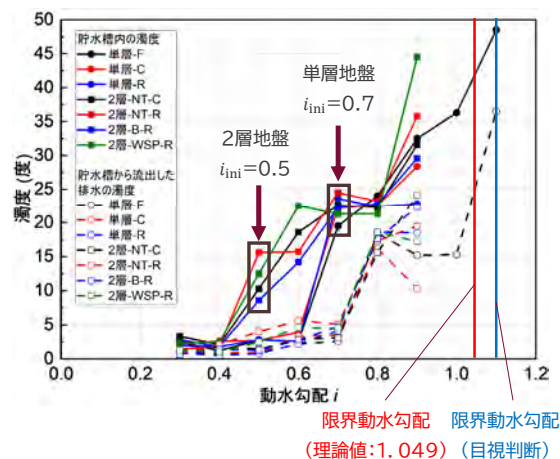
- ①: 土質境界面を有する区画
- ②: 境界面を有していない区画
- ③: 剛壁との境界面を有する区画

3区画×7層=計21か所

供試体上面図

Copyright © Tokyo University of Science All Rights Reserved.

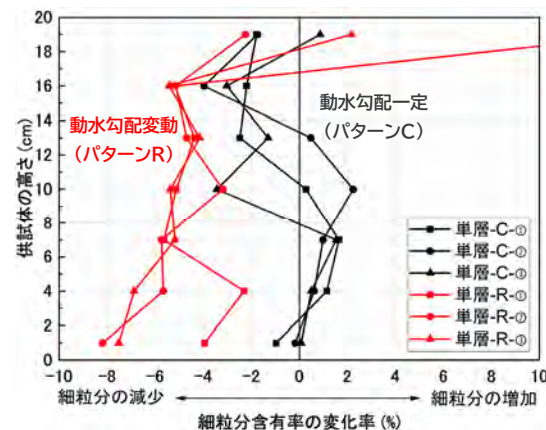
検討2 層境界なじみの影響 一実験結果と考察一



- 貯水槽内外の濁度は一致していない。
- 2層地盤の方が、細粒分流出が開始する動水勾配が小さい。

Copyright © Tokyo University of Science All Rights Reserved.

検討2 層境界なじみの影響 一実験結果と考察一

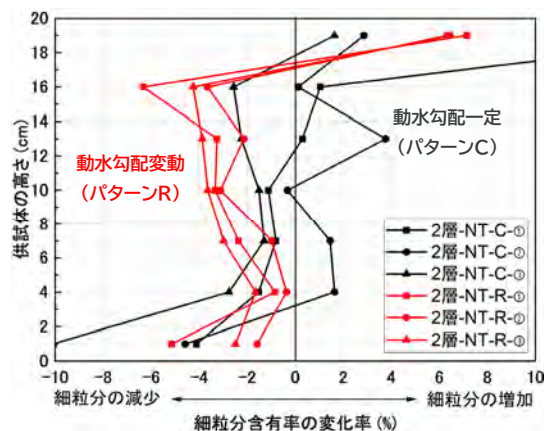


$$F_c \text{ の変化率 (\%)} \\ = \frac{\text{実験終了後の } F_c - \text{供試体作製時の } F_c}{\text{供試体作製時の } F_c}$$

- 動水勾配の変動を与えた場合、動水勾配一定の場合よりも、細粒分が流出する。
- 動水勾配の変動を与えた場合、供試体全体の細粒分含有率が低下する。

Copyright © Tokyo University of Science All Rights Reserved.

検討2 層境界なじみの影響 一実験結果と考察一

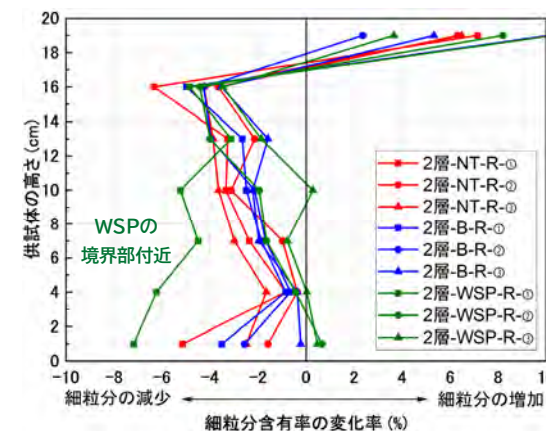


$$F_c \text{ の変化率 (\%)} \\ = \frac{\text{実験終了後の } F_c - \text{供試体作製時の } F_c}{\text{供試体作製時の } F_c}$$

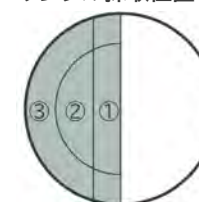
- 動水勾配の変動を与えた場合、動水勾配一定の場合よりも、細粒分が流出する。
- 動水勾配の変動を与えた場合、供試体全体の細粒分含有率が低下する。

Copyright © Tokyo University of Science All Rights Reserved.

検討2 層境界なじみの影響 一実験結果と考察一



サンプル採取位置



- ソイルパイプが存在する場合、その近傍(①)で著しく細粒分が減少する一方で、②、③の細粒分流出は抑制された。
- 層境界部の重ね合わせは未処理の場合よりも細粒分流出を抑制した。

Copyright © Tokyo University of Science All Rights Reserved.

検討2 層境界なじみの影響 ーまとめー

1. 通水方法(一定、繰り返し)の違い

- 動水勾配の変動を与えた場合、動水勾配一定の場合よりも、細粒分が流出する。
- 動水勾配の変動を与えた場合、供試体全体の細粒分含有率が低下する。

2. 層境界部のなじみ方の違い

- ソイルパイプが存在する場合、その近傍で著しく細粒分が減少する一方で、それ以外箇所での細粒分流出は抑制された。
- 層境界部の重ね合わせは未処理の場合よりも細粒分流出を抑制した。

膨潤圧を指標としたベントナイト系緩衝材 の飽和・密度状態のモニタリング フレームワークの構築

王海龍

2023.10.16



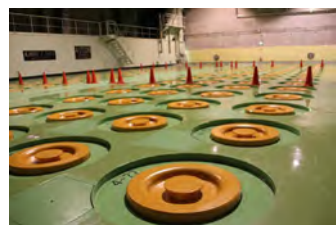
目次

- 研究背景・目的
- 研究方法・結果
- 研究成果
- 結論

研究背景・目的



日本原燃 <https://www.jnfl.co.jp/ja/business/about/hlw/summary/>

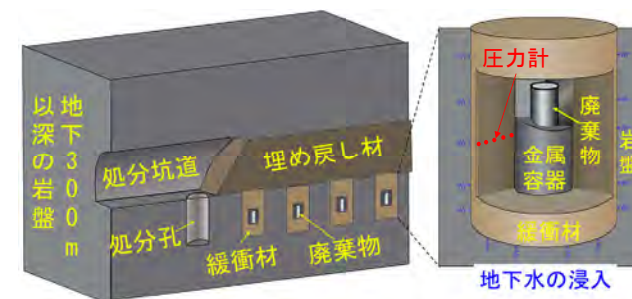


日本原燃に貯蔵される高レベル放射性廃棄物（HLW）

使用済み燃料から推定したHLW保有本数：約2万本

将来の原子量発電の利用を考慮した処分場の処理能力：約4万本

研究背景・目的



地層処分：HLWを地下数百mの深部に多重バリアにより数万年以上に隔離

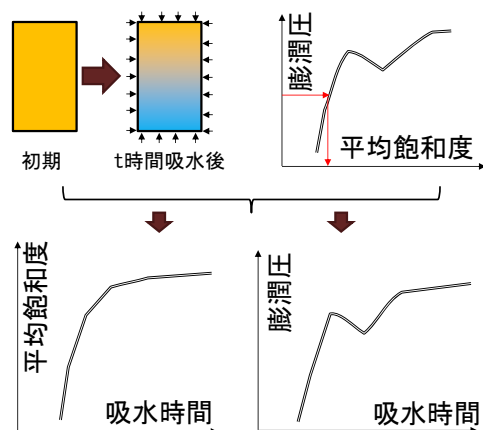
緩衝材：ベントナイトという粘土を締め固めた作製したバリアの一つ

再冠水過程：地下水が緩衝材に浸入し、緩衝材を飽和させる過程。

飽和状態は、緩衝材の設計機能を発揮する前提

膨潤圧：緩衝材の飽和過程に発生する圧力

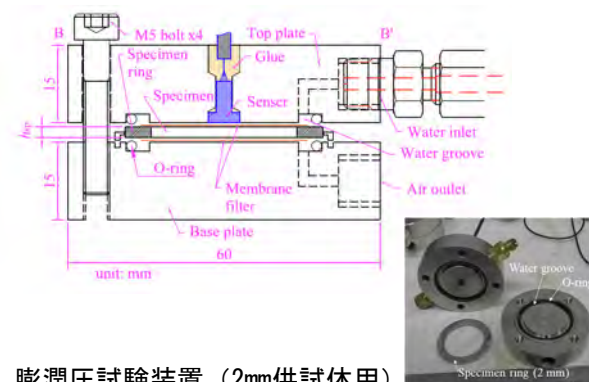
研究背景・目的



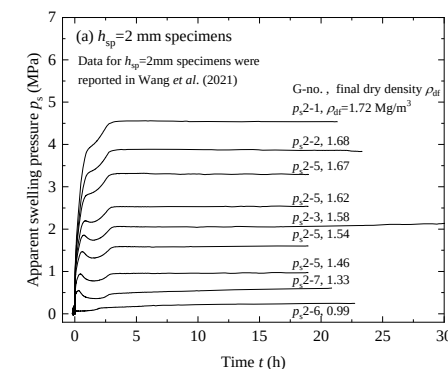
研究目的：

- 1) 膨潤圧データベース（乾燥密度・初期含水比・供試体厚さの影響）
- 2) 水分拡散係数のデータベース（乾燥密度・初期含水比）
- 3) 水分拡散⇔膨潤圧の関係
- 4) 間隙水密度

研究方法・結果：膨潤圧のデータベース

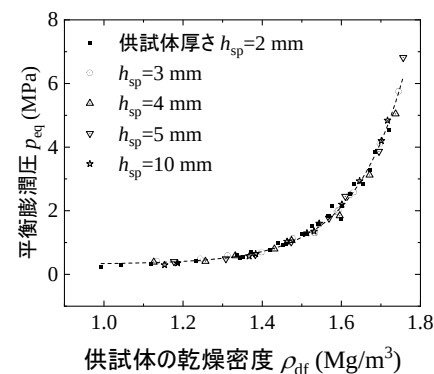
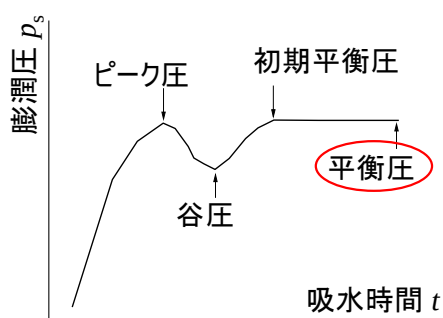


膨潤圧試験装置（2mm供試体用）
*地盤工学会関東支部技術賞受賞



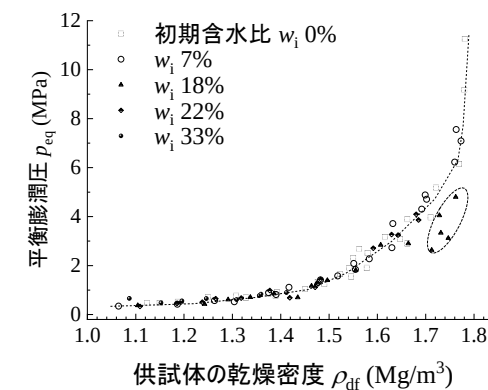
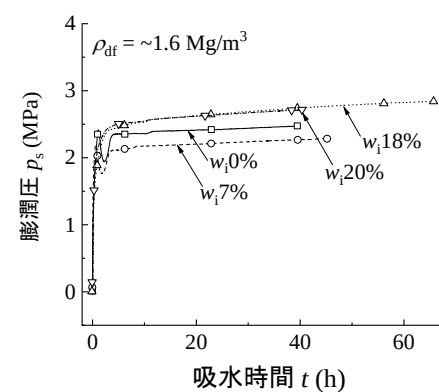
膨潤圧の経時変化2mm供試体

研究方法・結果：膨潤圧のデータベース



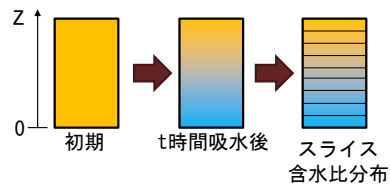
結論：膨潤圧は、供試体密度に依存し、供試体の厚さに依存しない

研究方法・結果：膨潤圧のデータベース



結論：膨潤圧に及ぼす試料の初期含水の影響は限定であるが、高密度・高初期含水比の領域で影響が顕著になる。

研究方法・結果：水分拡散係数のデータベース

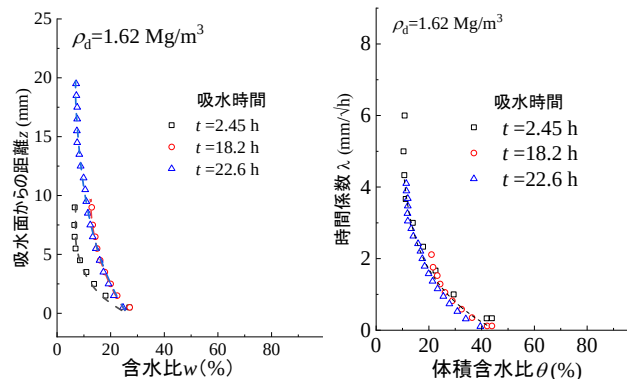


不飽和土のダルシー法則

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_w \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)$$

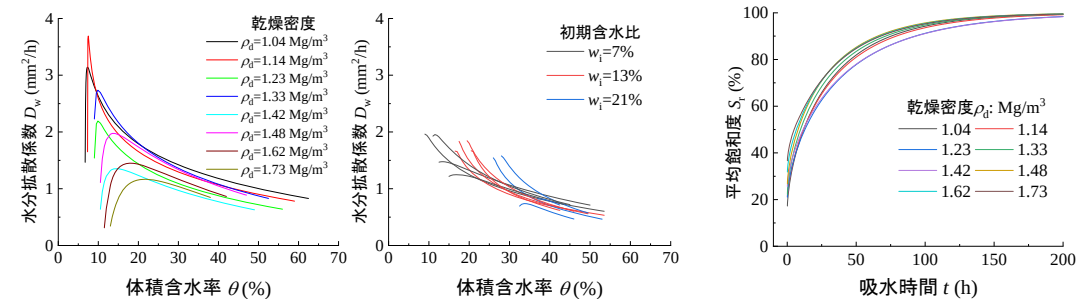
水分拡散係数

$$D_w(\theta_n) = -\frac{1}{2} \left(\frac{d\theta}{d\lambda} \right)^{-1} \int_{\theta_n}^{\theta_i} \lambda d\theta$$



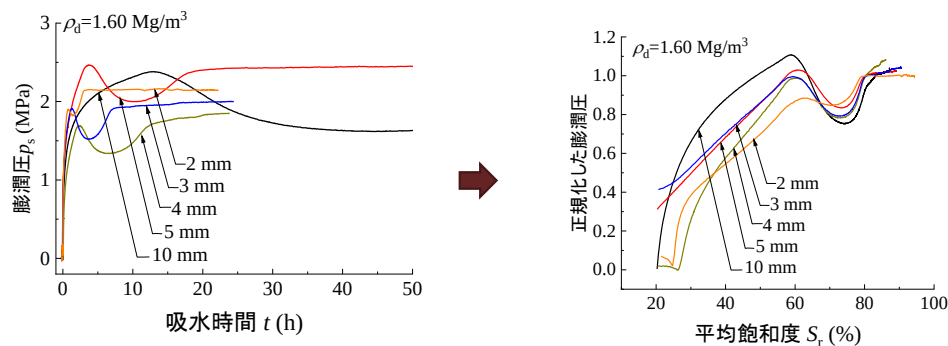
時間係数による吸水分布の正規化

研究方法・結果：水分拡散係数のデータベース



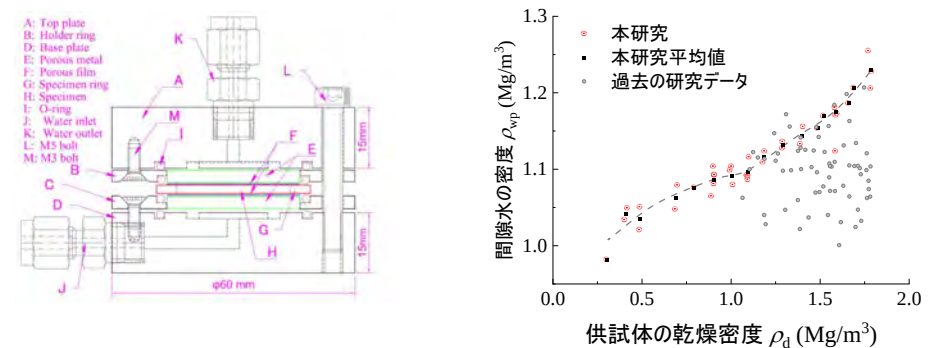
結論：水分拡散係数に及ぼす乾燥密度と初期含水比の影響が限定である。吸水時間に伴い、平均飽和度が収束する傾向が見られる。

研究方法・結果：平均飽和度 γ_v 膨潤圧



結論：膨潤圧の正規化，時間スケールの正規化，平均飽和度VS膨潤圧の関係をおおむね構築した

研究方法・結果：間隙水の密度



結論：間隙水の密度を正確に計測した。

研究成果

1. Wang, H. (2023) Pore water density in a saturated bentonite. *Géotechnique*, in press. <https://doi.org/10.1680/jgeot.22.00247>
2. Wang, H., Ito, D., Shirakawabe, T., Ruan, K., and Komine, H. (2023) On swelling behaviors of a bentonite under different water contents. *Géotechnique*, in press. <https://doi.org/10.1680/jgeot.21.00312>
3. Wang, H., Yamamoto, Y., Kyokawa, H., Ito, D., and Komine, H. (2023) Water and soil particle movements in unsaturated bentonite with constrained and free swelling boundaries. *Soils and Foundations* 63(4): 101350
4. Wang, H., Ruan, K., Harasaki, S., and Komine, H. (2022) Effects of specimen thickness on apparent swelling pressure evolution of compacted bentonite. *Soils and Foundations* 62(1): 101099.
5. Cho, K., Wang, H., et al. (投稿中). The effect of initial water content and dry density on the water movement of the compacted bentonite.
6. 王海龍「締固めたベントナイトの膨潤圧の経時変化に及ぼす供試体厚さの影響—その1」第57回地盤工学研究発表会，22-7-2-01．新潟市,2022.07.20-22
7. 王海龍「締固めたベントナイトの膨潤圧の経時変化に及ぼす供試体厚さの影響—その2」土木学会全国大会第77回年次学術講演会，III-275．京都,2022.09.12-16
8. 曹基安、王海龍、小峯秀雄、伊藤大知、阮坤林、後藤茂、関口高志「高レベル放射性廃棄物処分におけるベントナイト系緩衝材の飽和度予測の試み」土木学会全国大会第77回年次学術講演会，III-4．京都,2022.09.12-16
9. 曹基安、阮坤林、王海龍、伊藤大知、小峯秀雄、後藤茂、関口高志「締固めたベントナイトの水分拡散特性に及ぼす初期含水比の影響」第57回地盤工学研究発表会，20-3-3-01．新潟市,2022.07.20-22

結論

- 1.膨潤圧に及ぼす供試体厚さ，密度，初期含水比の影響が限定であり，高密度・高初期含水比の領域で影響が顕著になる．
- 2.水分拡散係数に及ぼす供試体密度と初期含水比の影響が小さきことが確認され，データベースを構築した．
- 3.膨潤圧と時間スケールの正規化方法を提案し，平均飽和度と膨潤圧の関係をおおむね構築した
- 4.厚さ2mmの供試体を用いる膨潤圧試験方法を開発し，データベースの構築時間を著しく短縮した．本技術で，間隙水の密度も正確に計測した

Thank you

猛暑・洪水・強風適応型都市の創出に資する プロティ空間の功罪の総合評価手法の開発

○研究代表者 東北大学 助教 石田 泰之
共同研究者 東北大学 准教授 高橋 典之
共同研究者 東北大学 教授 持田 灯

背景 豪雨・河川氾濫による被害の深刻化



2019年台風19号による洪水被害（長野県長野市）
日本経済新聞 2019.10.18

2022年8月の大雨による洪水被害（秋田県五城目町）
読売新聞online 2022.08.13

台風大型化や線状降水帯に伴う豪雨による河川氾濫や浸水被害の増加

背景 「流域治水」による水害対応

・令和3年には「流域治水関連法」¹⁾が整備

従来

土木インフラによる氾濫の抑止
＝河川堤防の強化、治水ダムの建設 など

近年

土木インフラのみでの対応は困難

氾濫を前提に流域全体で対策をとる流域治水²⁾⁻⁴⁾



国土交通省ウェブサイト（2023.09.22閲覧）

- 1) 国土交通省、「流域治水関連法」、国土交通省ホームページ、https://www.mlit.go.jp/river/kasen/ryuiki_hoan/index.html（2023.09.22閲覧）
- 2) 土木工学・建築学委員会気候変動と国土分科会、提言「定平地等の水災害激甚化に対応した適応策推進場の重要課題」、日本学術会議、2020.6
- 3) 土木工学・建築学委員会気候変動と国土分科会、見解「気候変動に伴う水災害の頻発化・激甚化に対応して、今、科学・技術に求められるもの～将来の市街地土地利用のために～」、日本学術会議、2023.9
- 4) 日本建築学会、提言「激甚化する水害への建築分野の取り組むべき課題～戸建て住宅を中心として～」、2020.6

背景 「流域治水」による水害対応

・令和3年には「流域治水関連法」¹⁾が整備

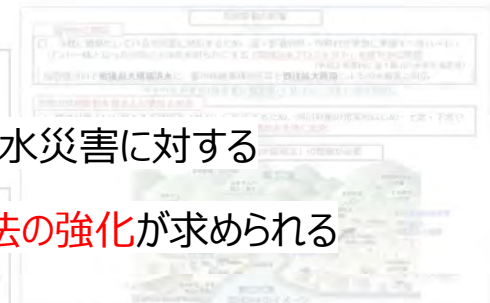
従来

土木インフラによる氾濫の抑止
＝河川堤防の強化、治水ダムの建設 など

近年

激甚化・頻発化する水災害に対する
都市や建築物の設計手法の強化が求められる

氾濫を前提に流域全体で対策をとる流域治水²⁾⁻⁴⁾



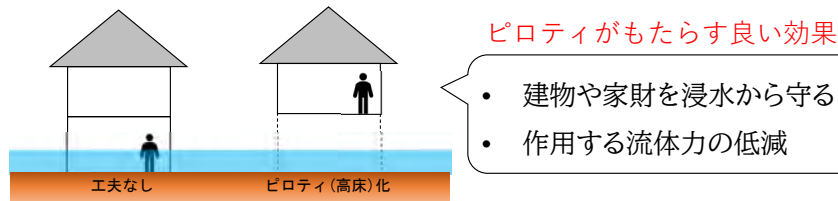
国土交通省ウェブサイト（2023.09.22閲覧）

- 1) 国土交通省、「流域治水関連法」、国土交通省ホームページ、https://www.mlit.go.jp/river/kasen/ryuiki_hoan/index.html（2023.09.22閲覧）
- 2) 土木工学・建築学委員会気候変動と国土分科会、提言「定平地等の水災害激甚化に対応した適応策推進場の重要課題」、日本学術会議、2020.6
- 3) 土木工学・建築学委員会気候変動と国土分科会、見解「気候変動に伴う水災害の頻発化・激甚化に対応して、今、科学・技術に求められるもの～将来の市街地土地利用のために～」、日本学術会議、2023.9
- 4) 日本建築学会、提言「激甚化する水害への建築分野の取り組むべき課題～戸建て住宅を中心として～」、2020.6

背景 建築的工夫の一つ「ピロティ」

“土木工学・建築学委員会気候変動と国土分科会”の見解(日本学術会議, 2023.9)³⁾

- 水を室内に入れない方法としては、敷地地盤の嵩上げ、**高床化**、外壁での止水、建物出入口部への止水板の設置、敷地全体への止水壁の設置などがある。
- 氾濫流の力を低減する方法としては、**ピロティ構造**といわれる、柱のみで一階部分を構築し、氾濫流による力が建築物に作用しないようにする方法がある。



3) 土木工学・建築学委員会気候変動と国土分科会, 見解「気候変動に伴う水災害の頻発化・激甚化に対応して、今、科学・技術に求められるもの～将来の市街地土地利用のために～」, 日本学術会議, 2023.9

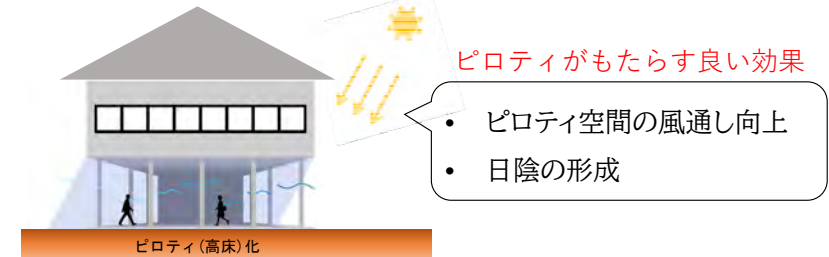
Department of Architecture and Building Science Graduate School of Engineering, Tohoku University
Laboratory of Built Environmental Engineering

5

背景 建築的工夫の一つ「ピロティ」

「ピロティ」の温熱環境改善効果に関する研究

- ピロティが、屋外空間の都市温暖化への適応策として有効であることが報告⁵⁾



- 高床化工事に対する助成制度を設ける自治体も⁶⁾

5) Xiら: Study on the Influence of Piloti Ratio on Thermal Comfort of Residential Blocks by Local Thermal Comfort Adaptation Survey and CFD Simulations, Journal of Energy Procedia, 134, pp.712-722, 2017

6) 杉並区:「水害予防住宅 高床化工事の助成」, 2020-06-02, <https://www.city.suginami.tokyo.jp/guide/machi/chisui/1005071.html>

Department of Architecture and Building Science Graduate School of Engineering, Tohoku University
Laboratory of Built Environmental Engineering

6

背景 建築的工夫の一つ「ピロティ」による悪影響

“土木工学・建築学委員会気候変動と国土分科会”の見解(日本学術会議, 2023.9)³⁾

- しかし、高速流浸水ではこの耐風設計で一般に考えられている風圧力を大きく上回る荷重が作用することもあり、今後関連する情報の充実が不可欠である。

ピロティ建物そのものを対象とした研究はなされている一方、

- ピロティ建物に作用する風圧力⁷⁾
- ピロティ建物に作用する津波波力⁸⁾

ピロティ建物が、その周辺の環境や周辺の建物に与える影響 (ピロティの悪影響)
は殆ど評価されていない！

7) 中田ら:ピロティの有無による低層建物の風圧及び風力特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.167-168, 2008.9

8) 本田ら:ピロティ構造の部材に働く津波波力に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, pp.979-984, 2016

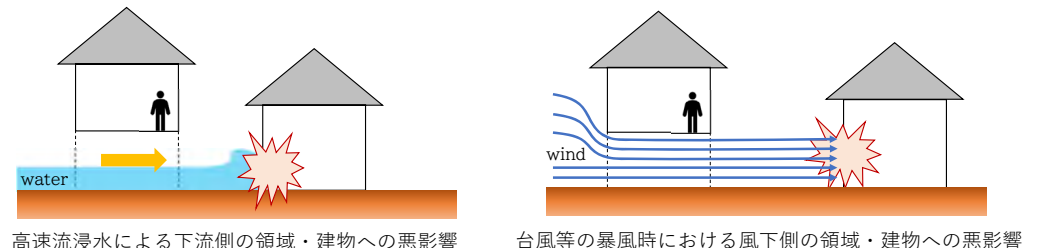
Department of Architecture and Building Science Graduate School of Engineering, Tohoku University
Laboratory of Built Environmental Engineering

7

背景 建築的工夫の一つ「ピロティ」による悪影響

ピロティ建物そのものを対象とした研究はなされている一方、

ピロティ建物が、その周辺の環境や周辺の建物に与える影響 (ピロティの悪影響)
は殆ど評価されていない！



Department of Architecture and Building Science Graduate School of Engineering, Tohoku University
Laboratory of Built Environmental Engineering

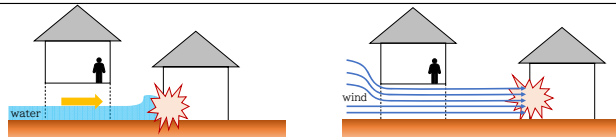
8

目的

「プロティ空間の功罪の総合評価」に関して、現在、抜け落ちてしまっている
プロティ空間の功罪の「罪」の定量化手法の整備 および 定量評価

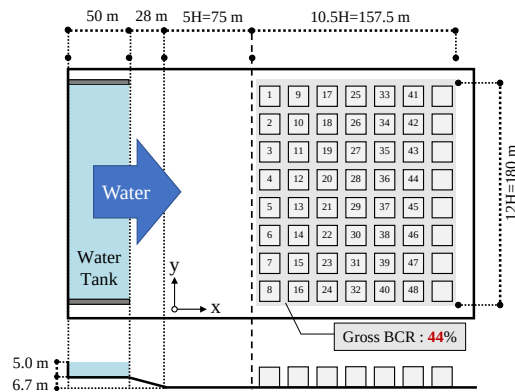
プロティを有する建築物が・・・

河川氾濫時：市街地内の水流分布、周辺建物が受ける水圧力
 稀な強風時：市街地内の風速分布、周辺建物が受ける風圧力
 に及ぼす影響を数値シミュレーション(CFD解析)により定量化



1. 研究の背景・目的
2. 河川氾濫時を対象とする水流解析による悪影響の定量化
3. 強風時を対象とする風解析による悪影響の定量化
4. 得られた知見・今後の展開

評価対象の市街地モデル



・東京都において大きな浸水被害が予測されるエリアの一つである北千住エリア⁹⁾

▷ 氾濫時の浸水深5m以上



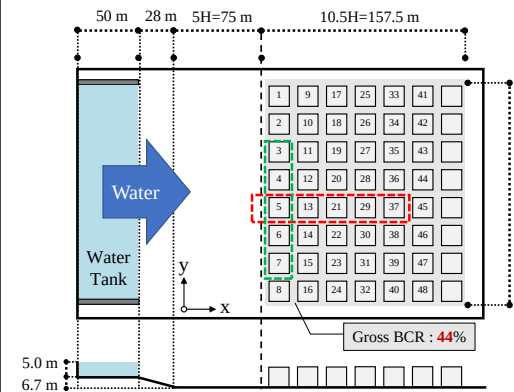
グロス建蔽率
 (建物密度)

堤防の平均的
 な断面寸法

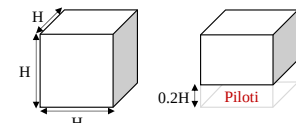
街区の条件設定の参考にした市街地 (©Google)

9) 足立区公式ホームページ:足立区ハザードマップ <https://www.city.adachi.tokyo.jp/kikaku/bosai/bosai/hazard-map-k.html>

解析ケース



Case	プロティ建物 (No.)	評価建物 (No.)
Case_STD	None	5
Case_1×1	5	13
Case_1×2	5, 13	21
Case_1×3	5, 13, 21	29
Case_1×4	5, 13, 21, 29	37
Case_1×5	5, 13, 21, 29, 37	45
Case_2×1	4, 5	13
Case_3×1	4, 5, 6	13
Case_4×1	3, 4, 5, 6	13
Case_5×1	3, 4, 5, 6, 7	13



建物寸法：1.0H=15m
 ※ プロティに柱等はなし

SPH法による流体解析概要

SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)

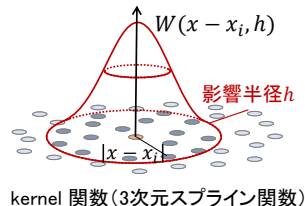
水塊を粒子に離散化し、粒子の物理量を近傍粒子の物理量の重みつき平均として近似するラグランジュ型の解法

物理量 $f(x)$ の離散化手法

$$f(x) \approx \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{\rho_i} f(x_i) W(x - x_i, h) \quad \dots (1)$$

粒子間距離
対象粒子の物理量
近傍粒子(i)の物理量
重み関数

m_i : 粒子質量
 ρ_i : 密度
 W : カーネル関数
 h : 影響半径



支配方程式

質量保存則 $\frac{d\rho_i}{dt} = \rho_i \sum_j \frac{m_j}{\rho_j} (u_i - u_j) \nabla_i W_{ij} \quad \dots (2)$

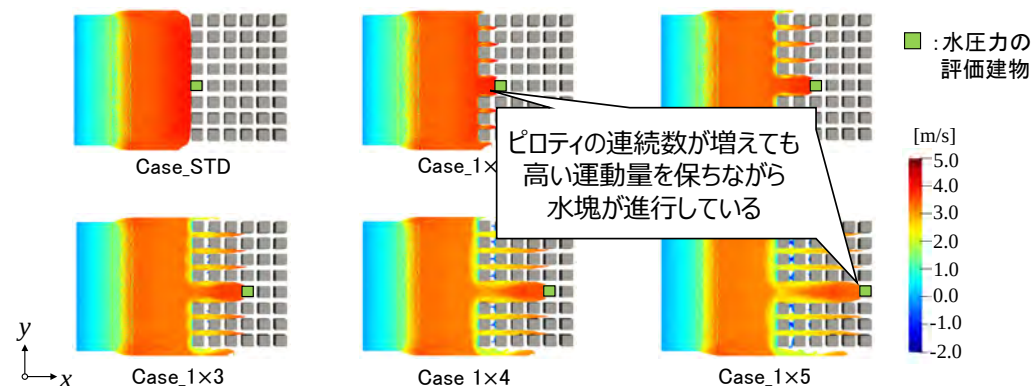
運動量保存則 $\frac{du_i}{dt} = - \sum_j m_j \left(\frac{P_i}{\rho_i^2} + \frac{P_j}{\rho_j^2} + \Pi_{ij} \right) \nabla_i W_{ij} + g \quad \dots (3)$

状態方程式 $P = \frac{c_0^2 \rho_0}{\gamma} \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right], \quad \gamma = 7 \quad \dots (4)$

u : 流速 P : 圧力 g : 重力加速度 ρ_0 : 基準密度 c_0 : 音速 $\nabla_i W_{ij}$: 粒子 i におけるkernel関数の勾配 Π_{ij} : 人工粘性項

市街地内における主流方向の水流速分布

評価建物到達時における水塊の流速分布



評価建物に水塊が到達する時刻の流速値

Case	Case_1×1	Case_1×2	Case_1×3	Case_1×4	Case_1×5
流速 [m/s]	3.89	3.82	3.69	3.56	3.44
Case_1×1に対する比	1.0	0.98	0.95	0.92	0.88

- ピロティが5棟連続するケースでも、ピロティが1棟のみのケースの8割を超える流速を保持



ピロティの下流側に位置する建物に作用する水圧力を評価

下流側建物が受ける水圧力評価手法の提案

水圧係数 $C_{p_{water}}(t)$ の定義: 風圧力の評価法の応用

時刻 t における壁面に作用する水圧 $p_{water}(t)$ を、基準速度圧 $q_{in}(t_r)$ で除して求めた、基準化水圧力。
(t_r : 最も上流側の建物壁面位置に水塊が到達した時刻[s])

$$C_{p_{water}}(t) = \frac{p_{water}(t)}{q_{in}(t_r)} \quad \dots (5)$$

$$q_{in}(t_r) = \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad \dots (6)$$



$p_{water}(t)$: ある時刻 t [s]において壁面に作用する水圧力 [N/m²]

$q_{in}(t_r)$: 基準速度圧 [N/m²]

t_r : 最も上流側の建物壁面位置に水塊が到達した時刻 [s]

v_0 : 主流方向流速 [m/s]

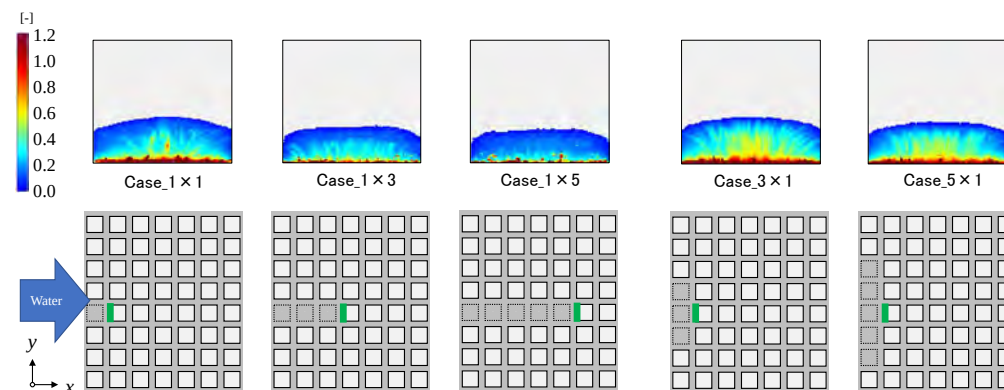
下流側建物が受ける水圧力評価手法の提案

ピーク水圧係数 $peak C_{p_{water}}$ による水圧力評価

解析時間内における水圧力の最大値 p_{water_Max} を $q_{in}(t_r)$ で除した、基準化水圧力。

$$peak C_{p_{water}} = \frac{p_{water_Max}}{q_{in}(t_r)} \quad \dots (7) \quad q_{in}(t_r) = \frac{1}{2} \rho v_0^2 \quad \dots (6)再$$

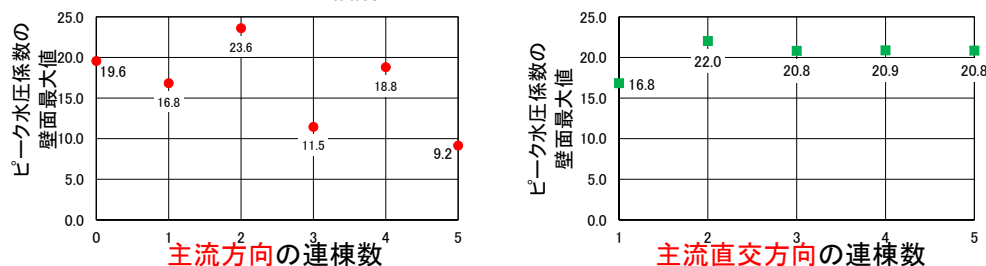
下流側建物が受けるピーク水圧 $peak C_{p_{water}}$



- 主流方向に連続：水圧力を受ける面積が小さくなるが、底部には強い力が作用
- 主流直交方向に連続：1棟のケースよりも強い力が作用する面積が増加

ピロティの連棟数とピーク水圧の関係

ピーク水圧係数 $peak C_{p_{water}}$ の 壁面内最大値



- 局所的には基準水圧の9～23倍の水圧力が作用
▷ 水塊の流入流速によっては大きな被害に繋がる。
- 主流方向に連続：減少傾向だが一定でない。
進入時に壁面で反射する水粒子間作用が単調で無い可能性。
- 主流直交方向に連続：2棟以上連なることで、危険性が増加。

小結

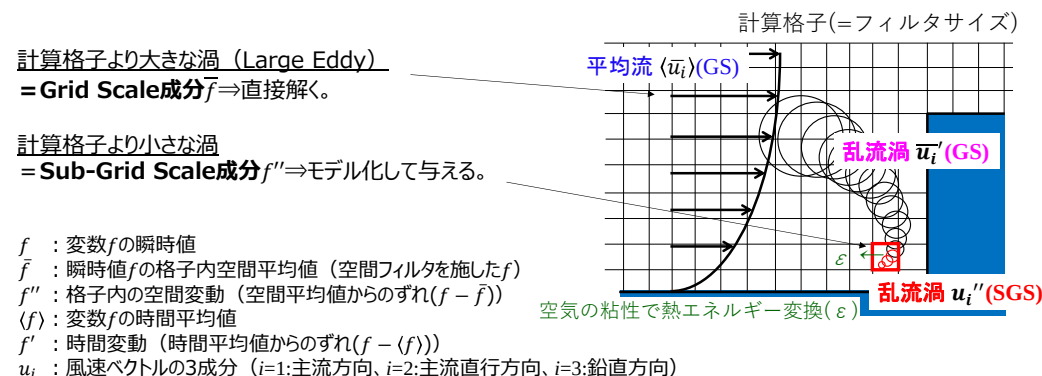
- 水流体解析により、河川氾濫時の流速分布、水圧力評価を実施し、ピロティ建物が存在することによる、その周囲への影響を定量的に評価した。
- 河川側建物が浸水対策によりピロティ化することによって、水塊の流速によっては、その下流側建物の建築時には想定していない強い水圧力が作用する。
- 局所的に、河川側建物に作用する平均的な水圧力の9～23倍の力が作用する。
- ピロティ建物の配置によって、作用する水圧力に大きな差が表れた。

1. 研究の背景・目的
2. 河川氾濫時を対象とする水流解析による悪影響の定量化
3. 強風時を対象とする風解析による悪影響の定量化
4. 得られた知見・今後の展開

LESによる流体解析概要

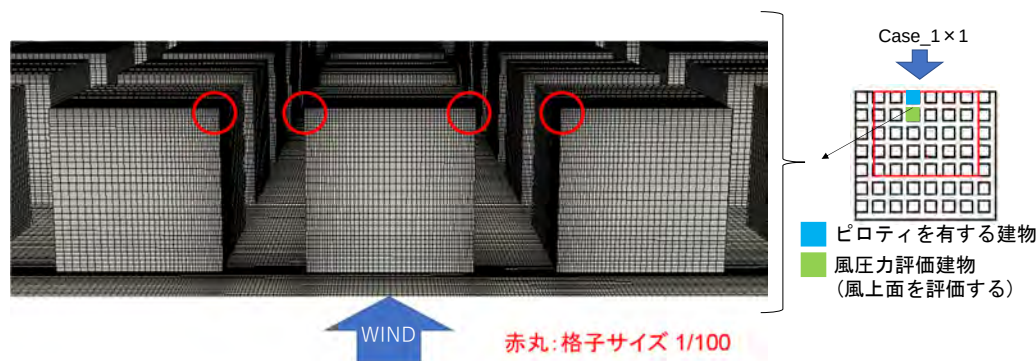
LES (Large Eddy Simulation)

オイラー型の解法で、空間にフィルタをかけてフィルタサイズより大きい渦を直接解き、小さい渦はモデル化して解く手法



建物近傍の計算格子 (=フィルタサイズ)

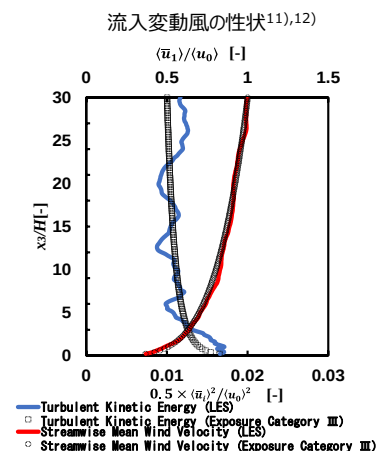
風圧力評価建物は指針¹⁰⁾に基づいて分割
 ・建物幅を50分割、建物壁面角部は建物幅の1/100



10) 日本建築学会. 建築物荷重指針を活かす設計資料2, 2017

LESの解析条件

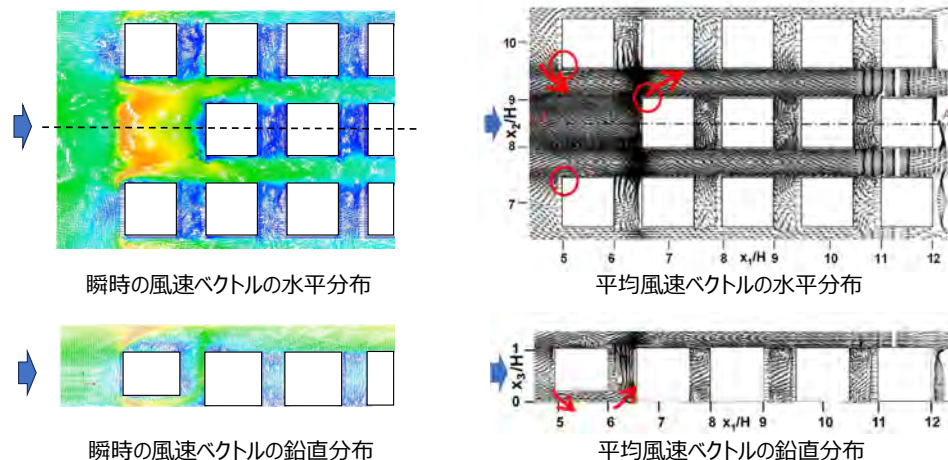
SGSモデル	WALEモデル
刻み時間	0.01 [s]
解析時間	助走計算180秒 + 本計算120秒(統計量取得時間)
移流項スキーム	2次中心差分(95%) + 1次風上差分(5%)
拡散項スキーム	2次中心差分
時間項スキーム	2次陰解法(アダムスモルトン法)
圧力解法	PISO法
流入条件	地表面粗度区分Ⅲをターゲットとする流入変動風 ^{11),12)}
流出条件	移流型境界条件(advective) $\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + U_c \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_{out}} = 0$
側面・上空面境界条件	Slip壁 $\frac{d\langle \bar{u} \rangle}{dz} = 0, \frac{d\langle \bar{v} \rangle}{dz} = 0, \langle \bar{w} \rangle = 0$
壁面境界条件	Spalding則 $y^+ = u^+ + \frac{1}{E} \left[e^{ku^+} - 1 - ku^+ - \frac{1}{2}(ku^+)^2 - \frac{1}{6}(ku^+)^3 \right]$



11) 大風、持田: 第25回風工学シンポジウム論文集, pp.211-215, 2018

12) Okaze, Mochida: Computer and Fluids, 159, 23-32, 2017.12

Case_1×1における風速の空間分布

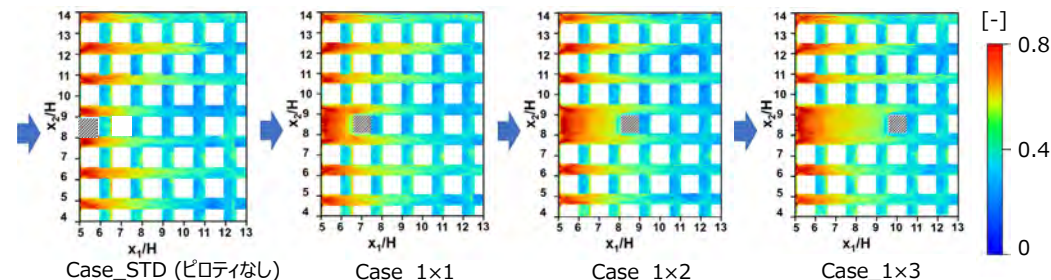


歩行者高さにおける風速の高風速値の分布

各位置における瞬時のスカラー風速の95%値, V_{95} :

最大値からカウントして上位5%に当たる高風速値

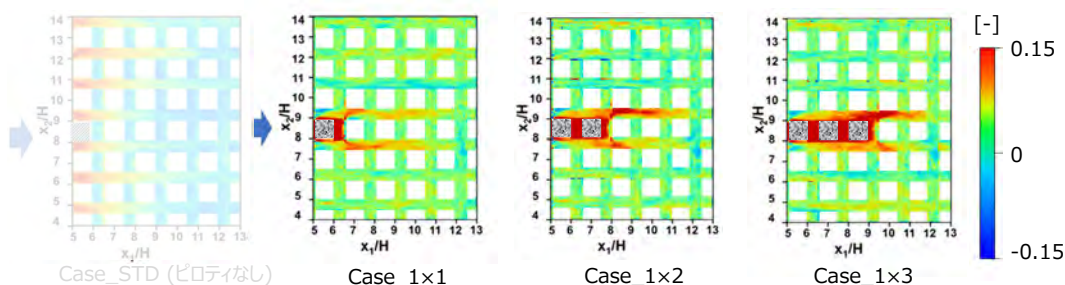
※ 建物の30倍上空(30H高さ)の平均風速で基準化



- ピロティ空間内の強風は、吹走距離が長くなるほど減少している。
- 風下建物のコーナー部で流れが剥離し高風速が発生。

増速域の空間分布

Case_STD(ピロティなし)に対して、風速が増加した領域



- ピロティ空間内の風速が増加。
⇒ 稀に発生する強風時には、屋外空間の危険性増につながる可能性が。

風下側建物が受ける風圧力の評価

風圧係数 $C_{p_{wind}}(t)$ の定義

時刻 t における壁面に作用する風圧 $p_{wind}(t)$ を、基準速度圧 $\langle q_H \rangle$ で除して求めた、基準化風圧。

※ 壁面に接するセル(壁面第一セル)の風圧力の1.0秒移動平均値を用いた。

$$C_{p_{wind}}(t) = \frac{p_{wind}(t)}{\langle q_H \rangle} \quad \dots (8)$$

$$\langle q_H \rangle = \frac{1}{2} \rho \langle u_H \rangle^2 \quad \dots (9)$$



$p_{wind}(t)$: ある時刻 t [s] において壁面に作用する風圧力 [N/m²]

$\langle q_H \rangle$: 建物高さ(1H)の平均風速から求まる風圧力、基準速度圧

$\langle u_H \rangle$: 流入面の建物高さ(1H)における主流方向平均風速 [m/s]

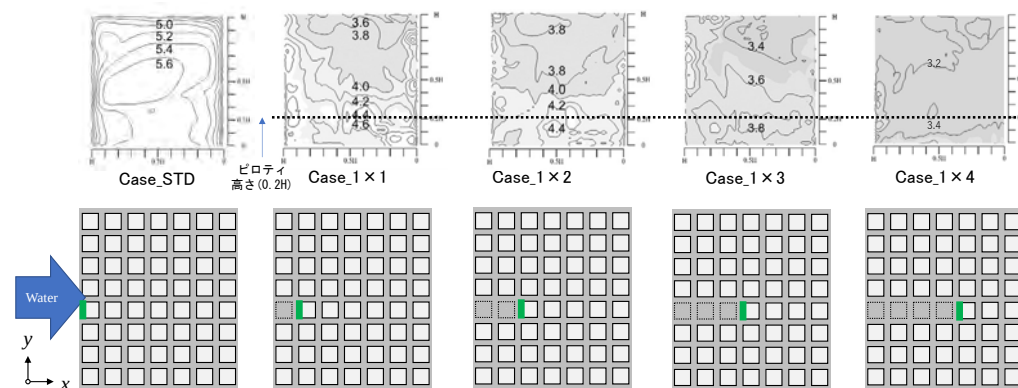
下流側建物が受ける水圧力評価手法の提案

ピーク風圧係数 $peak C_{p_{wind}}$ による水圧力評価

解析時間内における風圧力の最大値 p_{wind_Max} を $\langle q_H \rangle$ で除した、基準化風圧力。

$$peak C_{p_{wind}} = \frac{p_{wind_Max}}{\langle q_H \rangle} \quad \dots (10) \quad \langle q_H \rangle = \frac{1}{2} \rho \langle u_H \rangle^2 \quad \dots (9) \text{再}$$

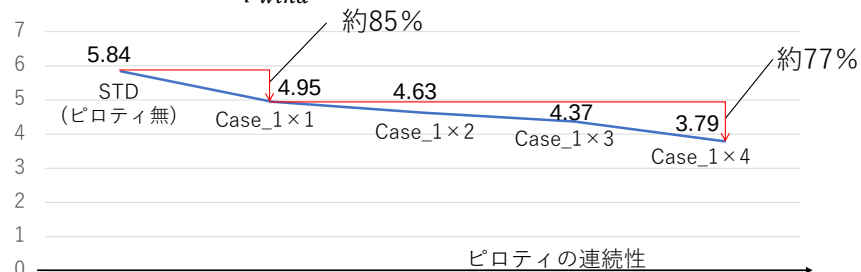
風下側建物が受けるピーク風圧 $peak C_{p_{wind}}$



- 4棟連続するケースにおいても、建物高さにおける平均的な風圧力の約3.4倍の力がピロティ高さ以下に作用する。

ピロティの連棟数とピーク風圧の関係

ピーク風圧係数 $peak C_{p_{wind}}$ の壁面内最大値



- Case_1x1の最大ピーク値は、ピロティの無い壁面上部に作用する力の約85%。
⇒ 高所の強い風圧力の8割以上の力が、ピロティ高さ以下の壁面に作用する。
- ピロティが連続することによる最大ピーク値の減少は緩やか。
⇒ ピロティが1棟のケースに対して、4棟のケースには約77%の力が作用。

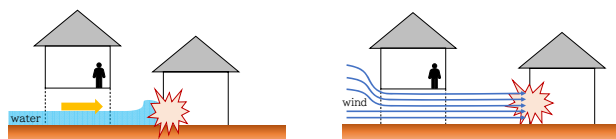
1. 研究の背景・目的
2. 河川氾濫時を対象とする水流解析による悪影響の定量化
3. 強風時を対象とする風解析による悪影響の定量化
4. 得られた知見・今後の展開

研究成果・得られた知見

「ピロティ空間の功罪の総合評価」に関して、現在、抜け落ちてしまっている。

ピロティ空間の功罪の「罪」の定量化手法の整備 および 定量評価

- ピロティ建物が、その下流側に位置する建物に及ぼす水圧力の定量評価法を提案
⇒ 風圧力の評価法を応用することで、風水害助長の影響を統一的に評価可能に。
- ピロティ建物が、周辺市街地および下流側建物に及ぼす悪影響を定量化。
- ピロティの配置変更により、その作用の程度が一様でないことを明らかにした。



33

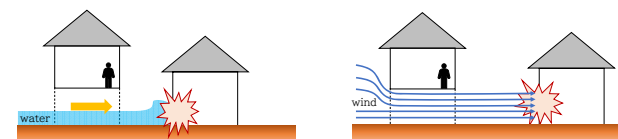
Department of Architecture and Building Science Graduate School of Engineering, Tohoku University
Laboratory of Built Environmental Engineering

研究成果・得られた知見

「ピロティ空間の功罪の総合評価」に関して、現在、抜け落ちてしまっている。

ピロティ空間の功罪の「罪」の定量化手法の整備 および 定量評価

- 水圧力は、最も上流側にある建物に水塊が到達した際に働く水圧力の9～23倍の力が地面付近の底部に作用する。
- 風圧力は、最も風上側にある建物の風上面に作用する風圧力の6～8割の力がピロティ高さ以下の広い範囲に作用する。



34

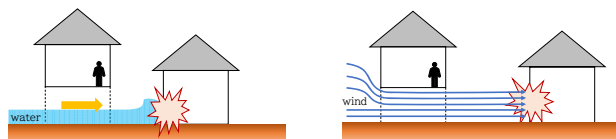
Department of Architecture and Building Science Graduate School of Engineering, Tohoku University
Laboratory of Built Environmental Engineering

今後の展開

- 強い水圧力・風圧力が作用する要因の解明。
⇒ 効果的な対策法の提案につなげる。
- 実市街地における水圧力の評価。
⇒ 実市街地における知見の適用性の評価。



街区の条件設定の参考にした市街地
(©Google)



35

Department of Architecture and Building Science Graduate School of Engineering, Tohoku University
Laboratory of Built Environmental Engineering

発表論文・受賞

1. 三富, 高橋, ピロティ形式RC造構造物に作用するコンテナの漂流衝突力時刻歴モデルの開発, コンクリート工学年次論文集, 44, 2, pp.19-24, 2022.7, 査読有
2. 石田, 高橋, 荻原, 山根, 持田, ピロティが都市空間の風の流れ, 温熱環境, 河川氾濫流に及ぼす影響の分析 (その1) ピロティが歩行者空間の風環境及び建物の受ける風圧力に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 40777, pp.1679-1680, 2022.9
3. 浜崎, 石田, 千葉, 阿部, 持田, 擬似温暖化手法による台風大型化に伴う強風の発生頻度の変化の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 41017, pp.2165-2166, 2022.9
4. 三富, 高橋, 石田, 大野, 藤田, 持田, 洪水・強風発生時に建物ピロティが近隣の市街地に及ぼす影響に関する研究 (その1) 河川氾濫時における市街地内の水流分布及び建物の受ける水圧力への影響, 日本流体力学会年會講演論文集, 118, pp.1-6, 2022.9
5. 石田, 大野, 藤田, 高橋, 三富, 持田, 洪水・強風発生時に建物ピロティが近隣の市街地に及ぼす影響に関する研究 (その2) 強風発生時における歩行者空間の高風速発生及び周辺建物の受ける風圧力への影響, 日本流体力学会年會講演論文集, 161, pp.1-5, 2022.9
6. 大野, 藤田, 石田, 高橋, 持田, ピロティが周囲の風環境及び風下の建物の風圧力に及ぼす影響, 風工学シンポジウム講演梗概集, 27, pp.69-75, 2022.12, 査読有
7. 浜崎, 石田, 持田, 領域気象モデルWRFによる平常時における風速の発生頻度の将来変化, 風工学シンポジウム講演梗概集, 27, pp.108-112, 2022.12, 査読有



Department of Architecture and Building Science Graduate School of Engineering, Tohoku University
Laboratory of Built Environmental Engineering

36

発表論文・受賞

8. 三富, 高橋, 石田, SPH法による流体解析を用いた市街地の水害評価に向けた検討 – 河川氾濫時にピロティ建物が市街地内の水流分布および周辺建物への水圧力に及ぼす影響 –, 日本建築学会技術報告集, 29, 72, pp.671-676, 2023.6, **査読有**
9. 三富, 石田, 高橋, 河川氾濫・強風発生時にピロティ建物が周辺市街地に及ぼす影響に関する研究 (その 1) 河川氾濫時にピロティ建物が市街地内の水流分布・周辺建物 に作用する水圧力に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2023.9
10. 大野, 藤田, 石田, 持田, 河川氾濫・強風発生時にピロティ建物が周辺市街地に及ぼす影響に関する研究 (その 2) ピロティの連続性による歩行者空間の風環境への影響の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2023.9
11. 藤田, 大野, 石田, 持田, 河川氾濫・強風発生時にピロティ建物が周辺市街地に及ぼす影響に関する研究 (その 3) ピロティの連続性とピロティの風下側に位置する建物に作用する風圧力の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2023.9

[受賞]

2023年度 日本建築学会 優秀修士論文賞

三富(石田、研究指導学生),

漂流物衝突を受けるピロティ形式建造物の構造応答評価および周辺市街地の耐水害性能評価に関する研究



九州・沖縄沖の黒潮流域で放流された風の 影響を強く受ける大型漂流物の移動経路

嶋田陽一
水産研究・教育機構水産大学校



1

目次

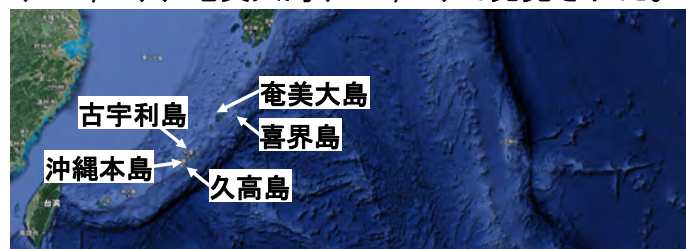
- はじめに
- 実験概要
- 結果
- まとめ



2

■はじめに: 過去の知見1a

- 東日本大震災 (2011/03) によって北太平洋へ流出した小型漁船・魚容器が**沖縄諸島周辺** (久高島 (2017/06)、古宇利島 (2018/05) 等)、**奄美群島** 周辺 (喜界島 (2013/03)、奄美大島 (2020/09)) で発見された。



小型漁船・魚容器が発見された島の一部
(Google map利用)

3

■はじめに: 過去の知見1b



(左) 沖縄県古宇利島に漂着した小型漁船 (琉球新報電子版、2018/06/01)

(右) 鹿児島県奄美大島に漂着した魚容器 (南海日日新聞ウェブサイト、2020/09/11)

4

■はじめに: 過去の知見2

- 2018年1月、上海沖にて衝突したタンカー「サンチ」が漂流した後に沈没し、流出油が沖縄諸島・奄美群島に漂着した。

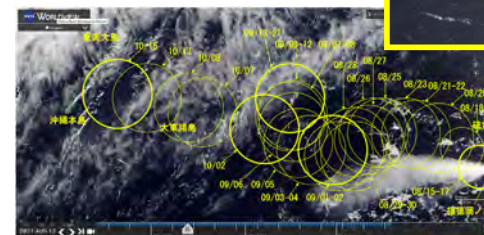


(左) 衝突及び沈没の位置 (右) 海岸で発見された油状の漂着物 (海上保安庁, 2018)

5

■はじめに: 過去の知見3a

- 2021年8月、**福岡ノ場**から噴出した軽石群は、3つ程度に分離し西方へ移動し、大東諸島に移動する前に台風等により拡散され、縞状になって**奄美・沖縄**へ移動した。



Terra/MODIS等の衛星画像で確認した軽石群の分布 (発表者作成)

鹿児島大学地域防災教育研究センター

<https://bousai.kagoshima-u.ac.jp/5071/>

6

■はじめに: 過去の知見3b

- Yoshida et al. (2022): **タイ**のソンクラ県に漂着した軽石の特徴は、福岡ノ場から噴出した軽石と類似することを示した (奄美・沖縄から約4か月)。



ソンクラ (Songkhla) 県の風景 (撮影日2022/02/10)

(Yoshida et al., Geochemical Journal, 2022)

7

■はじめに: 目的

- 一般的にこれらの漂流物は黒潮によって九州・本州へ移動すると想像されるが、観測では明らかにされていない。

- 漁船のような大型漂流物は**風を強く受けて**移動しやすい。それゆえ、強風時あるいは夜間における航行船舶及び操業漁船は大型漂流物との衝突等によって、船舶だけでなく周辺の海洋環境等に甚大な被害を与える可能性がある。→**漂流物の移動を知ることは必要**

- そこで本研究では、漂流ブイ (以下、ブイ) を九州・沖縄沖に放流しその移動経路、漂流物の移動における風の影響について調べる。

8

目次

- はじめに
- **実験概要**
- 結果
- まとめ



9

■実験概要: ブイ



■ブイ (円柱型)

- ID195472a、ID195472b: 直径400mm、高さ550mm、重さ6kg程度
- ID221755a、ID236434a: 直径310mm、高さ375mm、重さ4kg程度
- アルゴスシステムを利用し衛星経由で位置データを収集する。



(上) ブイ (メジャーは1m、発表者撮影)

(下) アルゴスシステムの概要 (キュービック・アイ出典)

10

■実験概要: 漂流ブイ観測・データ

■ブイの放流位置、日時

- ID195472a: 北緯25度、東経124.5度 (石垣島北沖)、2021/06/23、8:21 (UTC) 夏季
- ID221755a: 北緯25度、東経124.5度 (石垣島北沖)、2022/07/01、7:47 (UTC) 夏季
- ID195472b: 北緯26.66度、東経126.5度 (久米島北沖)、2021/08/06/13:00 (UTC) 夏季
- ID236434a: 北緯26.66度、東経126.5度 (久米島北沖)、2022/11/27、4:28 (UTC) 冬季 (晩秋)

■解析に利用するブイの位置データ

- 時間空間に線形補間した0時 (UTC) のブイの位置



海上にあるブイ

11

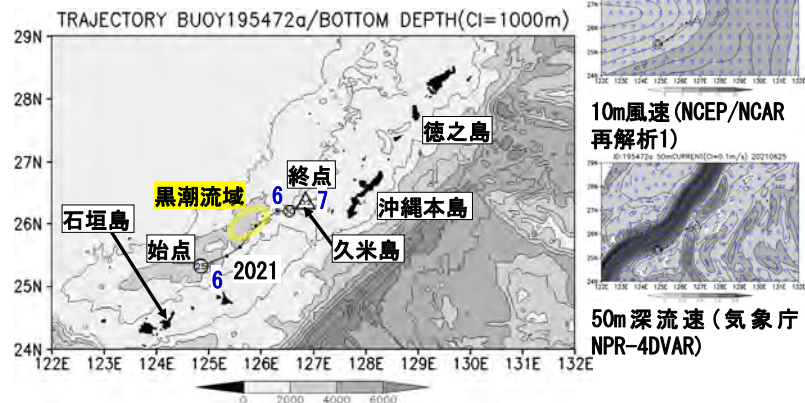
目次

- はじめに
- 実験概要
- **結果**
- まとめ



12

■結果:漂流ブイの軌跡1

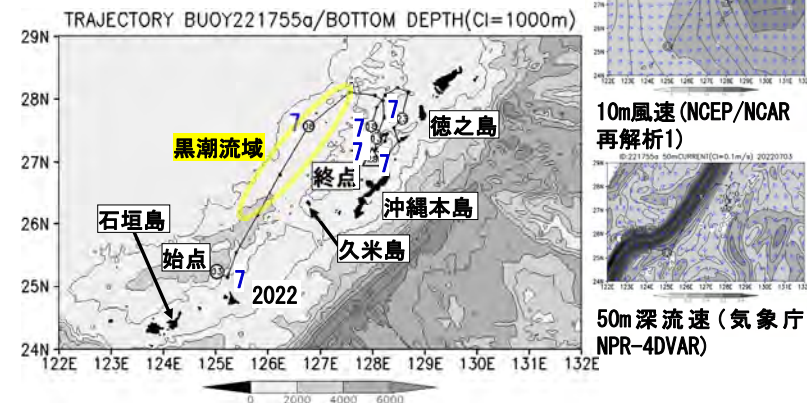


ブイの軌跡 ID195472a

青い数字は月、中の数字は日にち、
円は5日毎、黒い円は1日毎

13

■結果:漂流ブイの軌跡2

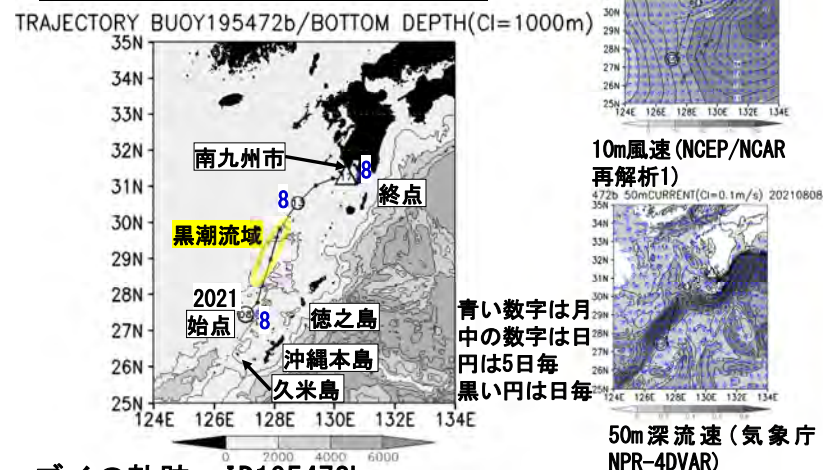


ブイの軌跡 ID221755a

青い数字は月、中の数字は日にち、
円は5日毎、黒い円は1日毎

14

■結果:漂流ブイの軌跡3

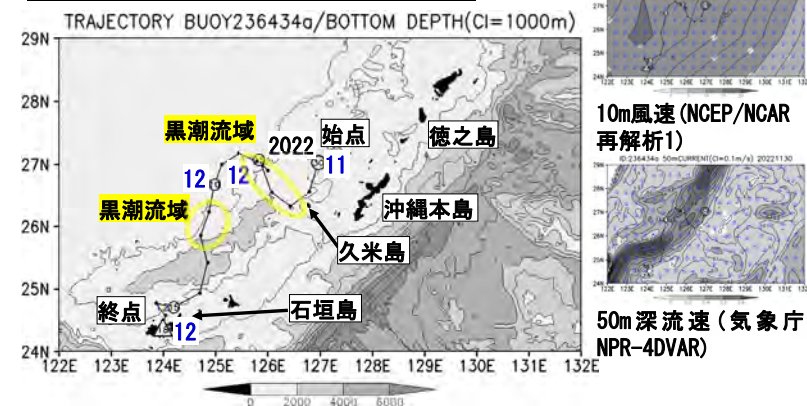


ブイの軌跡 ID195472b

青い数字は月、
中の数字は日
円は5日毎
黒い円は1日毎

15

■結果:漂流ブイの軌跡4

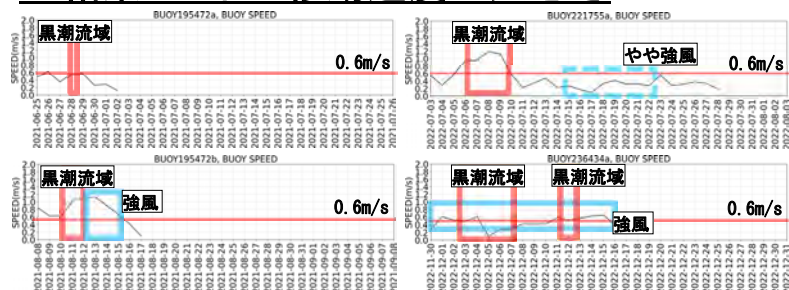


ブイの軌跡 ID236434a

青い数字は月、中の数字は日にち、
円は5日毎、黒い円は1日毎

16

■結果: ブイの移動速度の大きさ

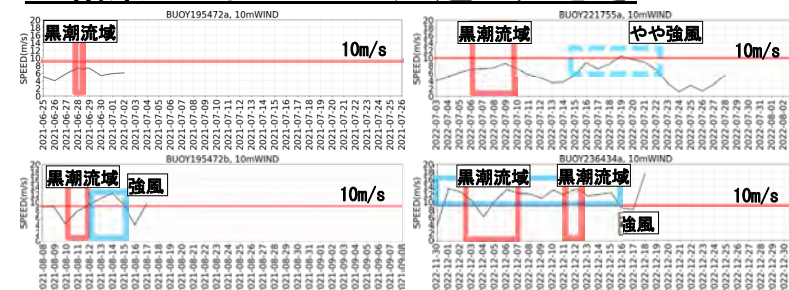


ブイ移動速度の大きさの時系列

(左上) ID195472a、(右上) ID221755a、
(左下) ID195472b、(右下) ID236434a

17

■結果: ブイ上の10m風速の大きさ

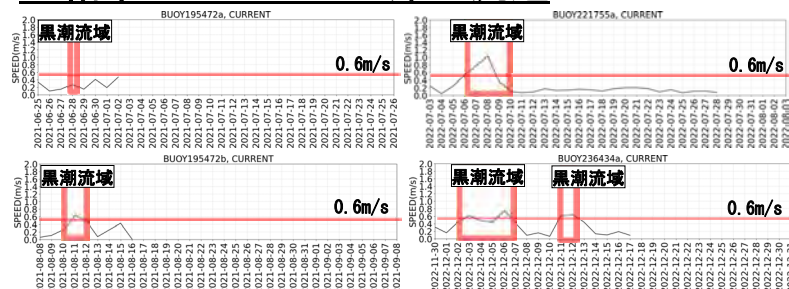


ブイ移動速度の大きさの時系列

(左上) ID195472a、(右上) ID221755a、
(左下) ID195472b、(右下) ID236434a
10m風速データはNCEP/NCAR再解析1より

18

■結果: ブイ上の50m深の流速

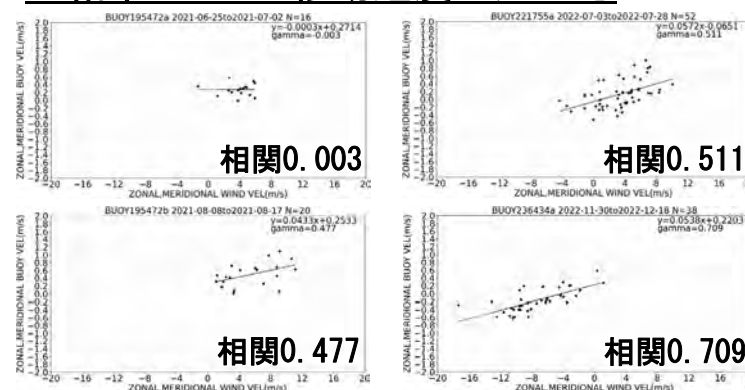


ブイ移動速度の大きさの時系列

(左上) ID195472a、(右上) ID221755a、
(左下) ID195472b、(右下) ID236434a
気象庁NPR-4 DVARの50m深流速データより

19

■結果: ブイの移動速度の大きさ

海上風速度の東西・南北成分と漂流ブイ移動速度の東西・南北
成分の散布図 (左上) ID195472a、(右上) ID221755a、
(左下) ID195472b、(右下) ID236434a

20

目次

- はじめに
- 実験概要
- 結果
- **まとめ**



21

■まとめ1a:

- 本研究では、ブイを利用して九州・沖縄沖に放流した風の影響を受ける漂流物の移動経路、漂流物の移動における風の影響を調べた。

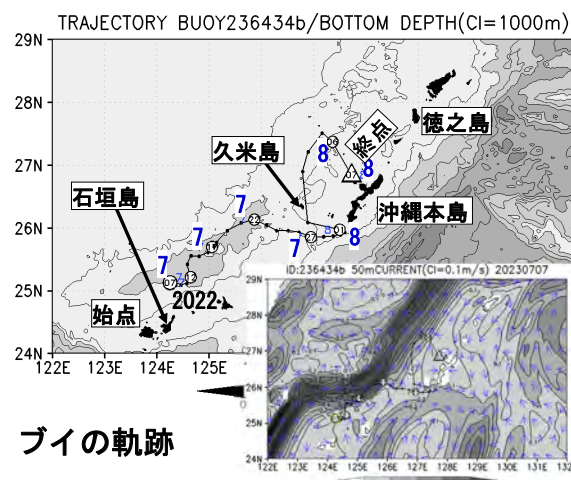
- 夏季に石垣島の北沖から放流した漂流物は、**黒潮、その周辺の流れ及び風**によって沖縄諸島及びその近くの奄美群島(徳之島等)へ移動する傾向を示した。

→黒潮及びその周辺の流れによって**九州本土方面へ移動することは一般的ではないことを明らかにした。**

22

研究助成後の研究活動

■まとめ1b: 海れの影響を受けやすいブイ観測



- 青い数字は月
- 中の数字は日
- 円は5日毎
- 黒い円は1日毎

石垣島北沖からのブイは**流れによって沖縄本島南沖へ移動したが、台風によって東シナ海に移動した。**

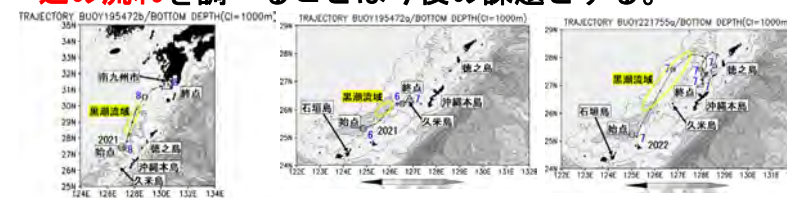
23

■まとめ2:

- しかし、ブイ195472bより、夏季に久米島北沖から放流した漂流物は九州本土方面へ移動した。

→これは北東向きの黒潮の流れと、卓越した南寄り(北向き)の風による。

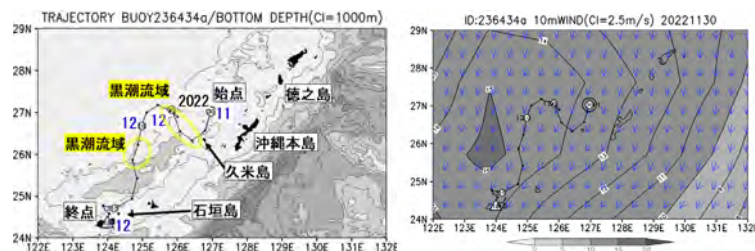
- 石垣島の北沖からの漂流物が**風の影響を強く受けず沖縄諸島及び奄美群島に到着するために久米島周辺の流れ**を調べることは今後の課題とする。



24

■まとめ3a:

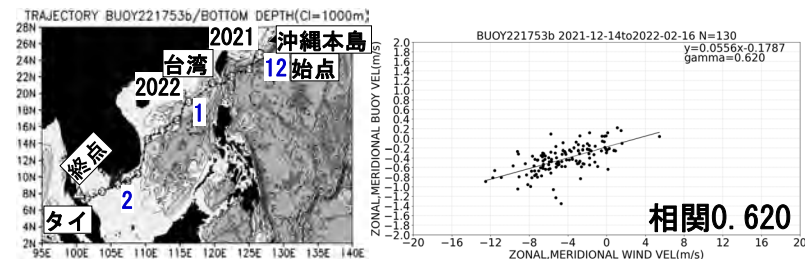
- 冬季に久米島北沖から放流した漂流物は、ブイ236434aのように風によって南下し続け、八重山列島・宮古列島に到着するか、あるいは八重山列島・宮古列島を通過して南下し続ける可能性がある。



25

■まとめ3b:

- ブイ221753bのように、漂流物は南シナ海を横断しベトナムあるいはタイ周辺に到着する。この移動経路は、2021年8月に福岡ノ場から噴出した軽石群が、2022年2月にタイのソクラ県に漂着した軽石と類似する報告からも支持される。



(左) ブイの軌跡 (ID221753b) (右) 海上風速度の東西・南北成分とブイ移動速度の東西・南北成分の散布図 (ID221753b)

26

■謝辞:

本研究の一部は一般財団法人大成学術財団2021年度研究助成を受けて行ったものである。漂流ブイの放流に関して長崎大学水産学部附属練習船長崎及び水産大学校耕洋丸乗組員の皆様によるご協力を頂いた。漂流ブイ製作に関して株式会社ノマドサイエンス関係者様及び漂流ブイ位置データ取得に関して株式会社キュービック・アイ関係者様によるご協力を頂いた。

一般財団法人大成学術財団及び本研究のご協力頂いた皆様に深く感謝の意を表する。

27

ありがとうございました。



質問等のお問い合わせ:

水産研究・教育機構水産大学校

嶋田陽一

yshimada@fish-u.ac.jp

28