

大規模木造建築物を想定した 接合部の割裂耐力の推定方法の提案

- 神戸 渡(関東学院大学)、
中島昌一(建築研究所)、澤田 圭(北海道大学)
落合 陽(東京都市大学)、岡本滋史(大阪公立大学)
瀧野敦夫(大阪工業大学)、小林研治(静岡大学)

研究の背景

地球温暖化対策



中大規模木造建築の普及・社会的需要



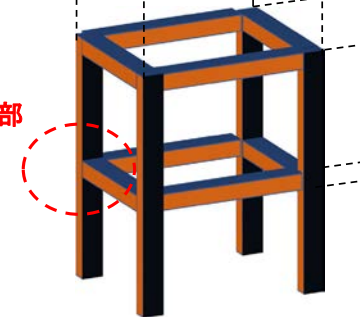
木造ラーメン構造(骨組構造)への需要

終局設計→**接合部の終局状態の解明が重要**



構造設計者の意見 ・割裂破壊とせん断破壊の違いがわからない
・終局状態を想定して設計ができない
・現行の設計式が荷重-変形関係のどの程度の荷重か不明

接合部



木造ラーメン構造

研究の背景・事例



ミョースターネット(現在、世界最高高さ 木造)
18階建て、高さ約85.4m



鋼板挿入型接合(部分的)

<https://www.moelven.com/news/news-archive/2019/a-renewable-journey-from-seed-to-the-worlds-tallest-timber-building/>

本試験体における破壊性状・研究の目的

加力梁

鋼製柱

補強材

試験体

LVL

面外拘束治具

制御盤

割裂破壊

せん断破壊

加力試験

検査対象の接合部

柱 (H形鋼)

集成材梁

接合部周辺 木材が割れている状態(終局状態)

どれが割裂?せん断?(全部、割裂では?)

↓

【目的】
破壊性状を正しく判断し、
その耐力の算出方法・設計式の
適切な活用方法の提案

研究の流れ

【接合部の加力試験】

ドリフトピンの配置をパラメータ・梁せいをパラメータ

接合部の加力試験(1期、図14)

接合部の加力試験(2期、図15)

接合部の加力試験(3期、図16)

破壊性状の詳細な観察・破壊形態の定義

↓
適切な・材料値の選定

↓
接合部の破壊性状をの正しく予測
計算値と実験値の精度を検討

【材料試験→材料定数の選別】

割裂破壊定数の試験

↓
統計処理

せん断強度の試験

↓
イス型のせん断試験(JISの応用)
逆せん断試験(HOWTEC法)

↓
統計処理

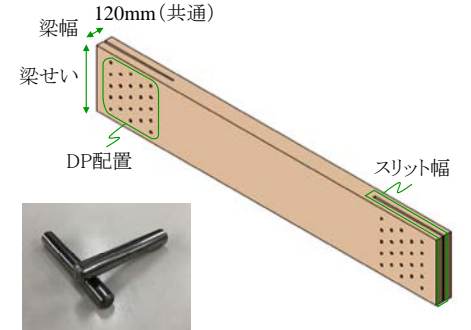
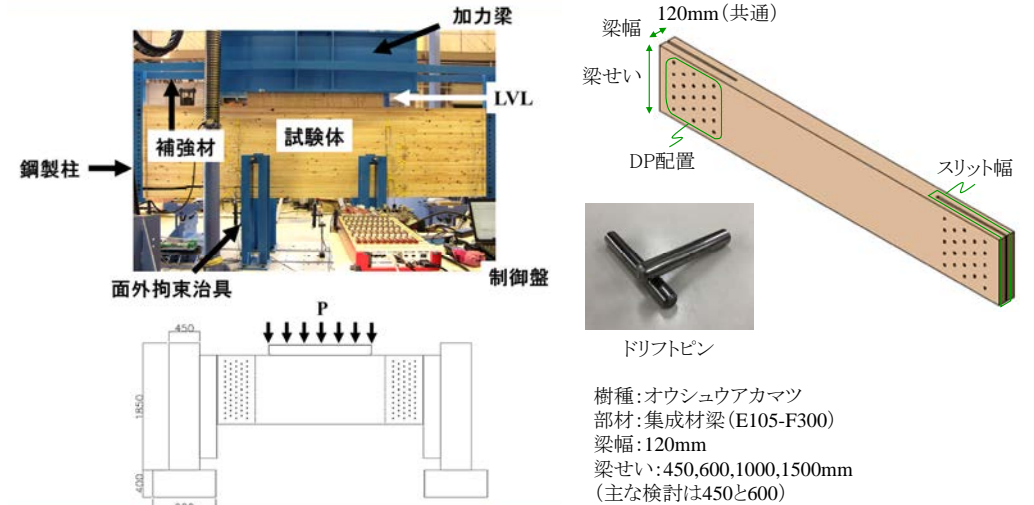
【終局耐力式】

$$P_{uw} = \min\{P_{uw1}, P_{uw2}\}$$

$$\text{割裂耐力式} \quad P_{uw1} = \frac{2}{\sin \theta} \cdot C_r \cdot l_e \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

$$\text{せん断耐力式} \quad P_{uw2} = \frac{2}{3 \sin \theta} \cdot \xi \cdot h_e \cdot l_e \cdot F_s$$

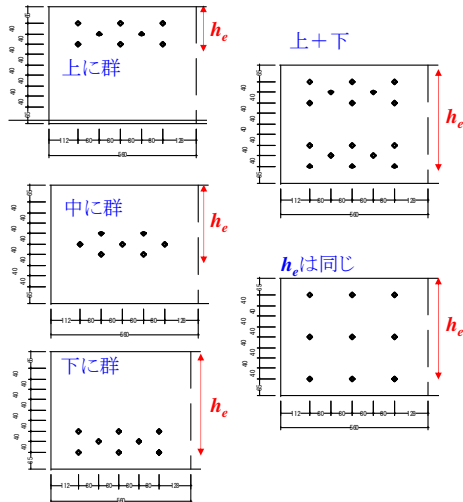
接合部の試験方法



ドリフトピン
樹種: オウシュウアカマツ
部材: 集成材梁(E105-F300)
梁幅: 120mm
梁せい: 450, 600, 1000, 1500mm
(主な検討は450と600)

接合部の試験パラメータドリフトピン配置

2期(図15)
3期(図16)



【終局耐力式】

$$P_{uw} = \min\{P_{uw1}, P_{uw2}\}$$

$$\text{割裂耐力の式} \quad P_{uw1} = \frac{2}{\sin \theta} \cdot C_r \cdot l_e \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

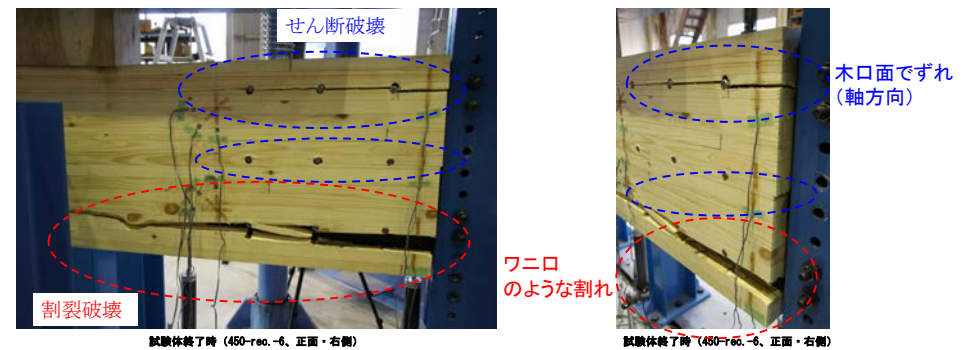
$$\text{せん断耐力の式} \quad P_{uw2} = \frac{2}{3 \sin \theta} \cdot \xi \cdot h_e \cdot l_e \cdot F_s$$

【着眼点】

h_e が設計式に大きく関わると考え、
意図的に h_e を変化させ、
破壊性状の変化を誘導できると考えた。

3期では、それをさらに拡張
梁せいは450mmと600mm

破壊性状の分類(2期で分類)



割裂破壊: ワニ口のような割れとなり、開口量が明らかに大きい(横引張に起因しているため)
せん断破壊: 繊維方向に木口面でずれが確認できる割れ。割れの開口量は割裂破壊より小さい

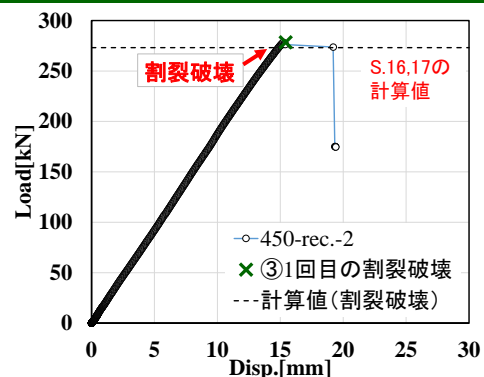
600-rec.-7-2 (前面、右側)



600-rec.-7-2 (前面、右側)



荷重-変位関係、破壊性状、450-rec.-2

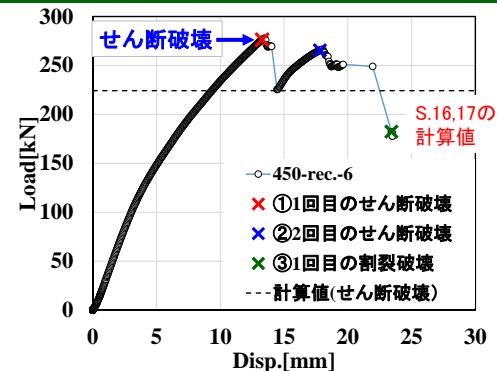


※ 点線は計算精度最も高ったもの

最初に、割裂破壊 → 大きな荷重低下



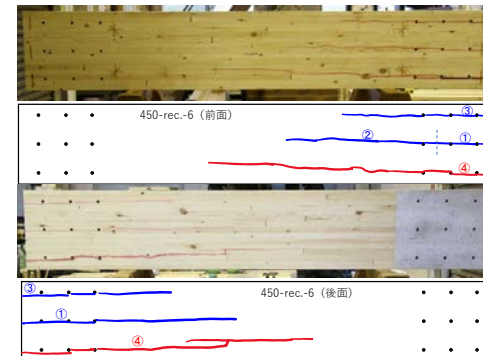
荷重-変位関係、破壊性状、450-rec.-6



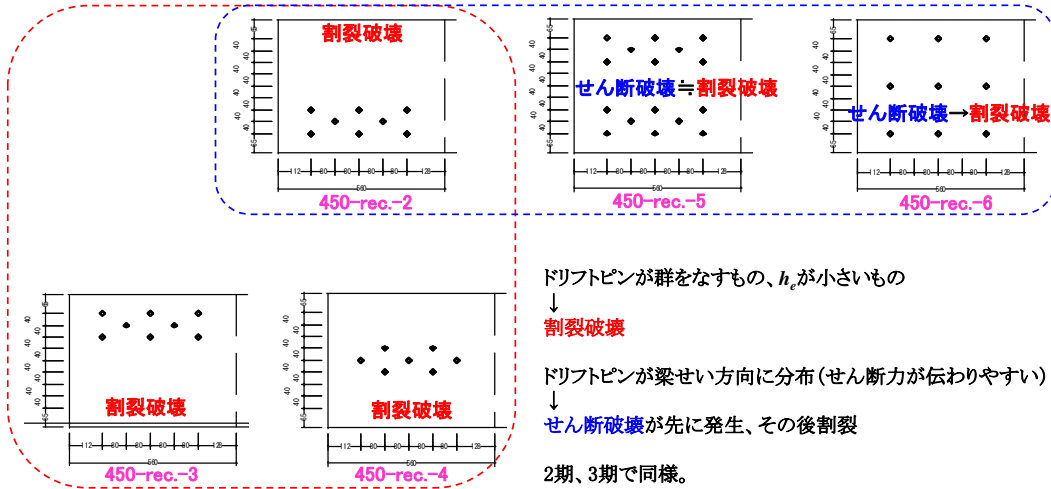
※ 点線は計算精度最も高ったもの

最初に、せん断破壊 → 連続的にせん断破壊 or 割裂破壊が発生

本研究では、割裂破壊 or せん断破壊が最初に発生した荷重を対象とする



破壊性状の分類(2期-梁せい:450)



材料試験 ①

割裂破壊定数 C_r

木質構造設計規準に準拠 → 幅:60,120mm、ドリフトピン径:16,18,20mm

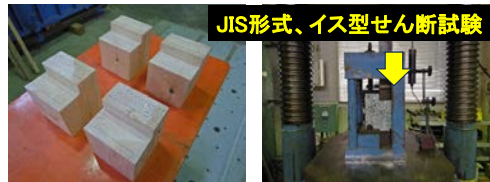
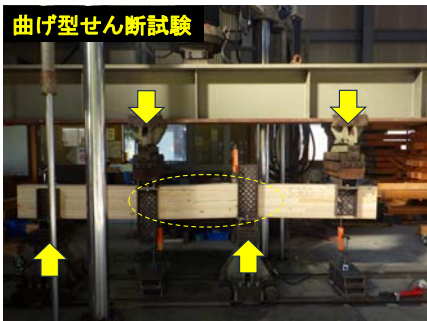


大きな音を伴い、
割れが一気に進む
↓
接合部試験の
割裂破壊と
破壊性状が類似

材料試験 ②

せん断強度 F_s

1. 曲げ型せん断試験 →幅:120mm、梁せい:200,300,600mm
(日本住宅・木材技術センター、HOWTEC法)
2. イス型せん断試験(JISを応用)→幅:120mm



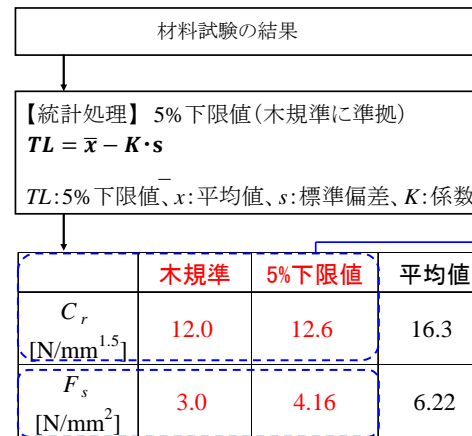
1. HOWTEC法

→○ 強度の安定
破壊性状が接合部の
せん断破壊と類似

2. JIS型

→△ 強度のばらつき大

木質構造設計規準における割裂耐力・せん断耐力



終局耐力の設計式

$$P_{uw} = \min\{P_{uw1}, P_{uw2}\}$$

割裂耐力の式

$$P_{uw1} = \frac{2}{\sin \theta} \cdot C_r \cdot l_e \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

せん断耐力の式

$$P_{uw2} = \frac{2}{3 \sin \theta} \cdot \xi \cdot h_e \cdot l_e \cdot F_s$$

C_r : 木規準 ≒ 材料試験の5%下限値
 F_s : 木規準 × 1.39倍 = 材料試験の5%下限値

実験値と計算値および破壊形態の比較

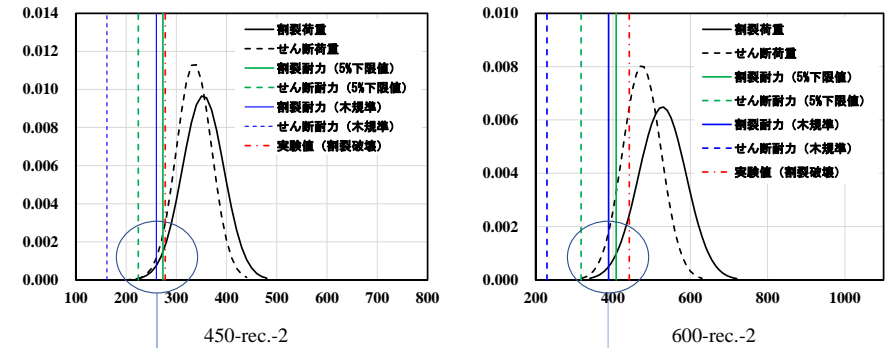
表6 実験値と計算値の比較(抜粋)

	実験値[kN]		木規準に対する検討			材料試験の5%下限値に対する検討		
	割裂破壊	せん断破壊	計算値[kN]		破壊形態の判定	計算値[kN]		破壊形態の判定
			割裂破壊 (Cr=12.0)	せん断破壊 (Fs=3)		割裂破壊 (Cr=12.6)	せん断破壊 (Fs=4.16)	
450-rec.-2	278	-	260.2	161.7	×	273.2	224.2	×
450-rec.-3	98	-	73.7	60.9	×	77.4	84.4	○
450-rec.-4	224	-	128.0	111.3	×	134.4	154.3	○
450-rec.-5	335	323	260.2	161.7	○	273.2	224.2	○
450-rec.-6	249	276	260.2	161.7	○	273.2	224.2	○
600-rec.-2	442	-	388.6	228.9	×	408.0	317.4	×
600-rec.-3	174	-	95.6	94.5	×	100.4	131.0	○
600-rec.-4	257	-	165.2	161.7	×	173.5	224.2	○
600-rec.-5	346	475	388.6	228.9	○	408.0	317.4	○
600-rec.-6	354	437	388.6	228.9	○	408.0	317.4	○

木規準の値を用いた場合
実際≠予測が多い
(安全側なので
設計上は問題ない)

材料強度の5%下限値を用いることで、
破壊性状をより正しく予測
(全試験体中、2体は未解決
→これに対して統計的検討もその後進めている)
特に、せん断強度を大きなものとする事で、正しく
予測できるようになった。

追加検討



材料のばらつき度合を考慮すると、
割裂破壊とせん断破壊の発生確率は近い
(今後検討を進め、発表する予定)

実験値と計算値の比較→材料試験の5%下限値による精度および木規準との比較

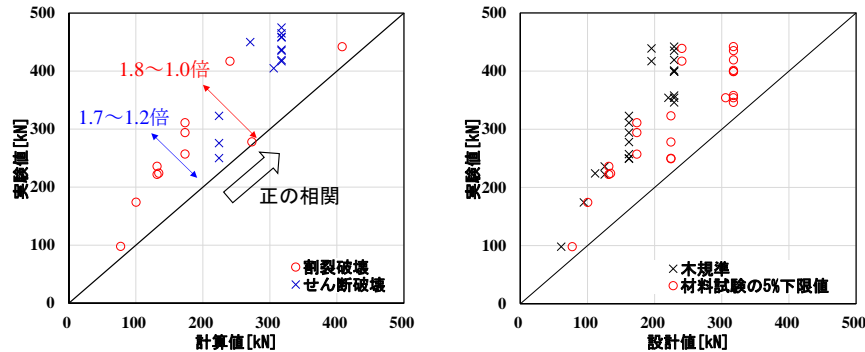


図25,26より材料試験の5%下限値を抜粋
実験値÷計算値
割裂破壊:1.8~1.0倍
せん断破壊:1.7~1.2倍

材料試験の5%下限値 と 木規準 の比較
実験値-設計値
5%下限値の方が精度が高い

まとめ・本研究の成果

1. 接合部での破壊性状を詳細に観察することで、**割裂破壊とせん断破壊の特徴を定義づけ**した。
2. 材料試験の5%下限値を現行の耐力式に適用することで、
接合部で先行して発生する破壊性状を、木規準の値を用いるより、
正しく破壊性状を判別できたことを示した。
3. **材料試験の5%下限値**を用いることで、現行の木規準より**耐力の予測精度が高い**ことを示した。
4. 実験値と計算値に**正の相関**がみられた。

これまで、木質ラーメン構造の接合部に発生する割裂破壊・せん断破壊には不明な点が多く、
より正しく設計することの難しさが指摘されていたが、
それらの問題を解決する手法の提案ができた。

ご清聴ありがとうございました

本研究を進めるにあたり、ご支援いただき、ありがとうございました

防災の根幹問題と災害時自立(生活)圏

～複合災害にも備える～

～複数の災害種(マルチハザード)にも備える～

圏域外の資源に頼らなくても災害を乗り越えられることを目指そうとする圏域。

すべての地域社会の目標

高い公共性を有する

災害を(難なく)乗り越える



加藤 孝明

東京大学生産技術研究所・教授／社会科学研究所・特任教授
【まちづくり, 都市計画, 都市防災, 地域安全システム学】

1. 災害時の根幹問題の構造とそれへの対応



2016.5(金程小学校)

被災地居住者のすべてが「避難者・被災者」として振る舞う傾向

「行政はできないことを自覚したまま、がんばる」
地域防災計画:すべきこととできることの区別がない

②膨らむ需要を劇的に減らす

①資源を劇的に膨らませる

需要

(公の)資源

対策の拡充: =丁寧な需要の発掘:

例)ベットの受け入れ態勢を整えるべし

例)丁寧な需要の発掘による公助の役割の増大

ベットの受け入れ態勢を整える努力をみせる

必要不可欠な需要への対応+不要不急の需要への対応

膨大な需要+桁外れに少ない資源 → 需要の低減, 資源の拡大

①圏域内の需要を減らす

• 需要を減らす方法

• (1)省・需要(需要のダイエット/我慢のシェア)

• 需要膨張のメカニズム

• 災害対策の高度化:

• 丁寧な需要の掘り起こしを行い、見落としていた本質的な需要を発見する

• それに伴い、不要不急の需要が顕在化し、結果として需要が膨張する

• 自分でできる人の自助の増強

• 支援の対象を社会的弱者に絞ることが重要である。

• 省・需要の目指すべき水準:「精神的・肉体的に健康を維持できている状態」

• : =衣・食・住+トイレ+衛生環境+簡易医療サービス(遠隔医療でも可) → 要議論

• その実現のために必要とされる手段(要素, 技術) → 要議論

需要

需要

②資源を膨らませる=既成概念(既定の資源だけの利用)からの脱却

• 資源を膨らませる方法:4本立て

• (1)「災害時“遊休”施設」の民間資源の活用

• 災害時に本来目的で利用する必要のない施設, 空間

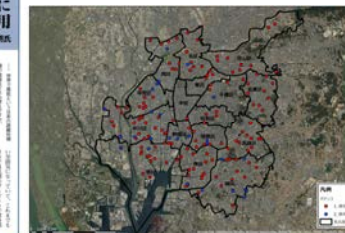
• 例)遊技場(パチンコ), 温泉旅館, . . . , 災害時に事業再開を急ぐ必要がない, 急いではいけない施設

• (2)災害に対して安定な要素(自然環境)の活用 ←人工物は災害で被害をうけると使えない。

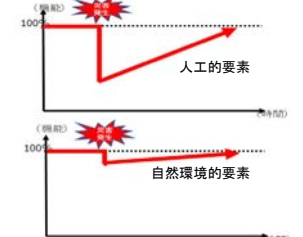
• オープンスペース系をグリーンインフラとして位置付ける等



遊戯通信, pp.16, No.1469(2018.11)
(業界紙)



大規模駐車場を有する遊技場(パチンコ店)の避難所としての活用可能性に関する研究(地域安全学会論文, 2020.11)



災害に対して安定な要素(自然環境)の活用

③圏域内に新たな機能を創出する

- (3) 「安全のお裾分け」機能の強化: 災害対応の拠点空間の整備・確保:
 - 例) 大規模水害被災地域における浸水対応型拠点建築物・街区(葛飾区浸水対応型市街地構想)
 - 商業業務地区におけるエリア防災拠点街区(大手町丸の内有楽町モデル)
 - 一般市街地における, 民間施設主体の機能連携(一般市街地モデル, . . . 近々, 検討する)
- (4) 「持ち寄りの共助」(資源の持ち寄り): 単独で役に立たない単品の持ち寄りにより役立つものに変える.
 - 1+1>2
 - 資源を持つ多様な主体の連携とそれを促進するコーディネート機能が不可欠

地域情報技術

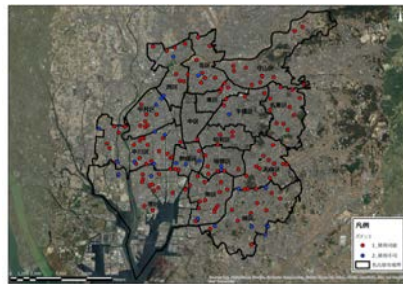
コミュニティの力
エリアマネジメントの力



浸水対応型建築物・街区(葛飾区浸水対応型市街地構想(2019.7))

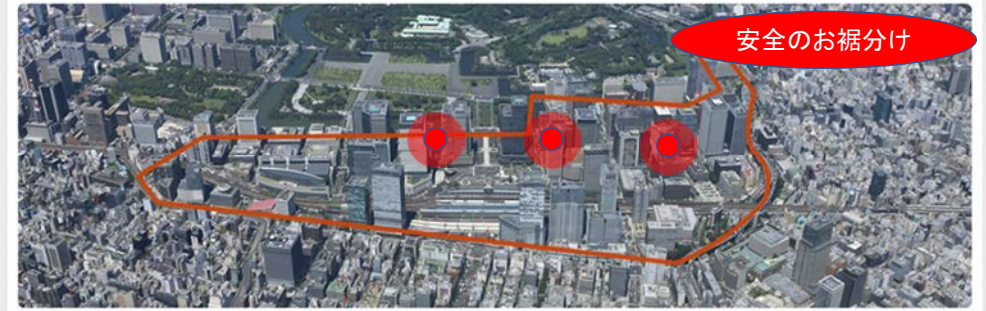
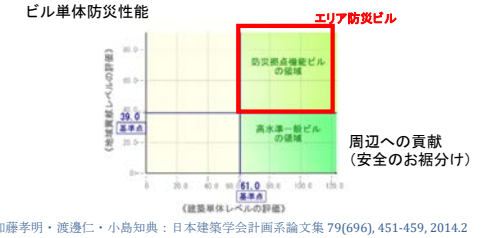


大手町・丸の内・有楽町地区エリア防災拠点ビル(都市再生安全確保計画)



民間施設を活用した地域コミュニティの拠点空間の形成へ!

エリア防災拠点ビル(大手町・丸の内・有楽町地区)



安全のお裾分け

大手町・丸の内・有楽町地区におけるエリア防災ビル ● エリア防災ビル

いすみ市地域マイクログリッド(2023年3月実装)



いすみ市地域マイクログリッド(2023年3月実装)



災害時自立(生活)圏の高い公共性

• 災害時自立(生活)圏の構築

• 先行させるべき4つの典型例

• 自立を目指すべき地区(外部不経済をもたらす)

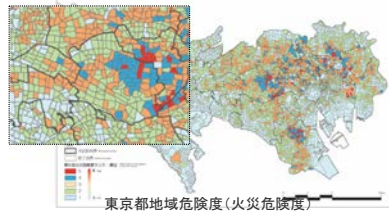
- 商業・業務地区
- タワーマンション

• 自立を目指すざるを得ない地区

- 周辺に危険な市街地を擁する相対的に安全な住宅地
- 道路寸断によって孤立するのある集落

• ⇒ 全国各地で災害時自立(生活)圏が創出されれば、**限られた公のリソースを真に必要なところへ配分**できるようになる。

• ⇒ 高い**公共性**を有するととらえられる



大手町・丸の内・有楽町地区エリア防災拠点ビル(都市再生安全確保計画)



「水害等の災害に備えるための都市・住宅の強靱化」研究会(不動産協会、2020.5)

ナノファイバーからなる静電誘導型振動センサの開発

Development of electrostatic induction vibration sensor consisting of nanofibers

大阪大学・産業科学研究所
野田祐樹

大分類 土木
小分類 防災・減災・復興

1/16

災害から誰もが守られる社会の構築を目指して

平常時

災害時



クルマ・ヒトの流れ → マーケティング
振動・騒音 → 生活環境情報

地震・土砂災害 → 建物被害 交通マヒ
クルマ・ヒトの流れ → 避難経路の確保

市場活性化・住民サービス
防災計画の策定を支援

避難行動の意思決定を支援
救助・復旧の策定を支援

2/16

コンクリートインフラの老朽化対策は急務

約53%の建造物が
経過年数30年以上!!



首都高の橋梁
<http://carinobluedoll.blog28.fc2.com/blog-entry-2297.html>



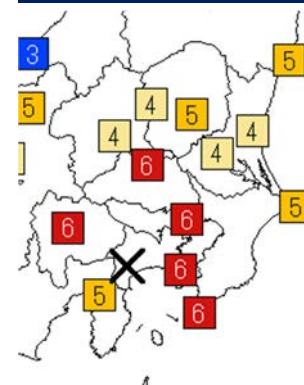
コンクリート1.3トン分落下 JR神戸線の高架橋
2019/8/25
<https://www.nikkei.com/article/DGXMZ048978150V20C19A800000/>

(2014年現在)首都高速会社HP資料より
<https://nikkan-spa.jp/854340>

3/16

センサと情報密度

現状の震度マップ
(イメージ図)



センサ数増大
情報密度の向上

想定図
(現実の解像度ではない)

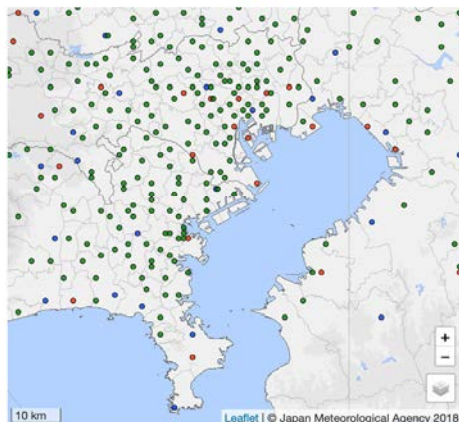


今いる場所の危険性を明確化・次の行動の指針へ

4/16

実際のセンサ密度

● : 気象庁 ● : 地方公共団体 ● : 国立研究開発法人防災科学技術研究所



地震関連のセンサ密度

	東京	日本
震度観測点	132点	4372点
センサ密度	6点/100km ²	1点/100km ²

* 気象庁HP, “震度観測点”より

センサ密度が低く (センサの設置数が少ない) 理想にほど遠い

5 / 16

既存のセンサ

	周波数	加速度	電力 (センサのみの見積)	コスト
サーボ式	△ (DC-100Hz)	◎ (30m/s ²)	△ (数W)	× (65万円)
加速度 ピックアップ	○ (10Hz-10kHz)	◎ (9,800m/s ²)	◎ (0 W)	× (8万円)
MEMS式1	△ (DC-1,000Hz)	○ (20m/s ²)	△(数W)	× (35万円)
MEMS式2	△ (DC-200Hz)	◎ (80m/s ²)	○ (数mW)	◎ (< 1000円)

価格と性能のバランスがとれた振動センサが必要

6 / 16

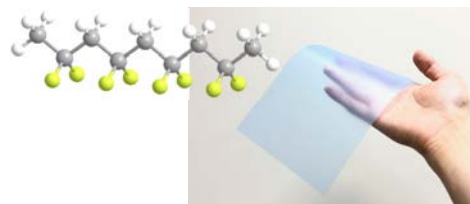
材料の観点

無機圧電体
(加速度ピックアップ)



1ch : 約8万円
(xyz 3成分で約24万円)
計測システム含めると数百万

有機圧電体



無機圧電体

- ✓ 高感度
- 高価
- 希少金属

有機圧電体

- ✓ 成膜性・柔軟性
- ✓ 大面積化
- ✓ 低コスト(数百円/g)

7 / 16

社会課題と目的

社会課題

- ・情報が**広域**
- ・情報にリアルタイム性がない
➡ 災害時は、**危機を自分のものとして捉えられない**

原因

- ➡ 震度計が高価で多点配置できない
- ・情報システムの整備

目的

- ・安価で高性能な振動センサの開発
➡ 振動・震度情報を検出できるセンサを数多く設置

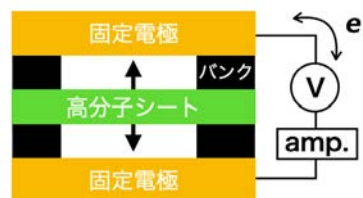
8 / 16

有限要素法を用いた振動センサの設計

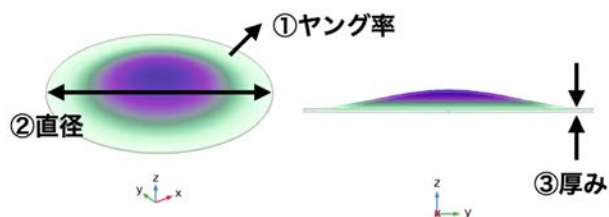
センサ設計指針

- 計測対象の振動帯域からセンサ自体の共振を避ける
- 最大周波数10 kHz以下の周波数帯域で共振が発生しない構造を設計

センサ構造



検討項目(3点)



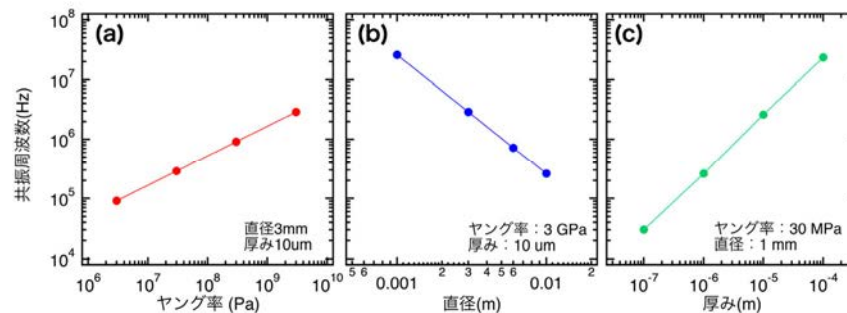
9 / 16

有限要素法を用いた振動センサの設計

①ヤング率

②直径

③厚み

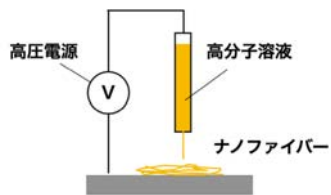


共振周波数10kHz以上を実現：ヤング率 > 1 MPa, 直径 < 10mm, 厚み > 0.1um

10 / 16

電気紡糸技術（エレクトロスピニング）を用いた印刷形成プロセスの確立

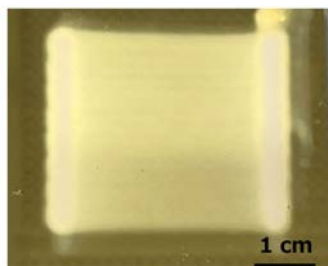
原理



動画



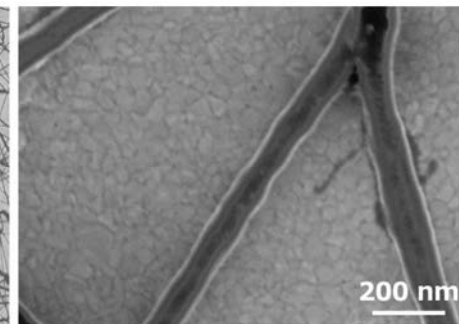
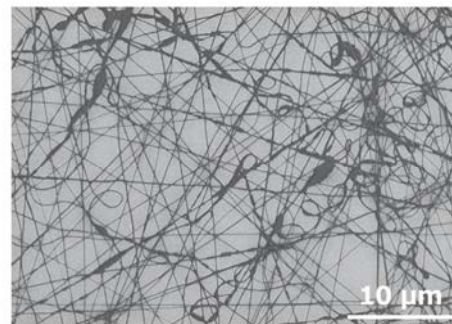
ナノファイバーシート



P(VDF-TrFE)溶液をエレクトロスピニングで紡糸
ナノファイバーシートの形成に成功

11 / 16

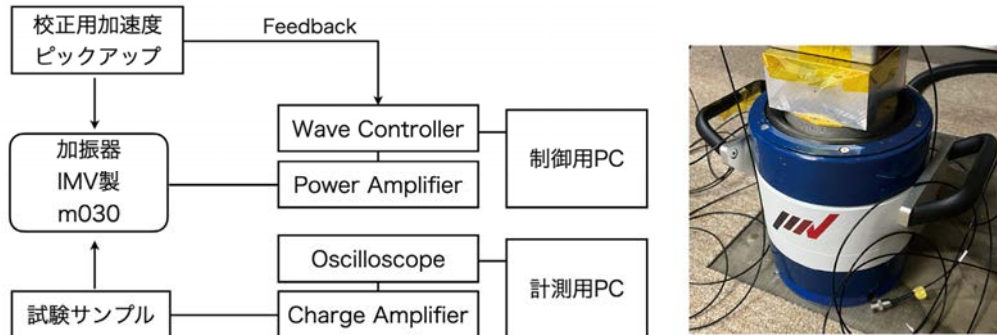
SEMによるファイバー形状の確認



直径が約100 nmのP(VDF-TrFE)ファイバーの印刷形成に成功
材料費：数百円以下で形成可能

12 / 16

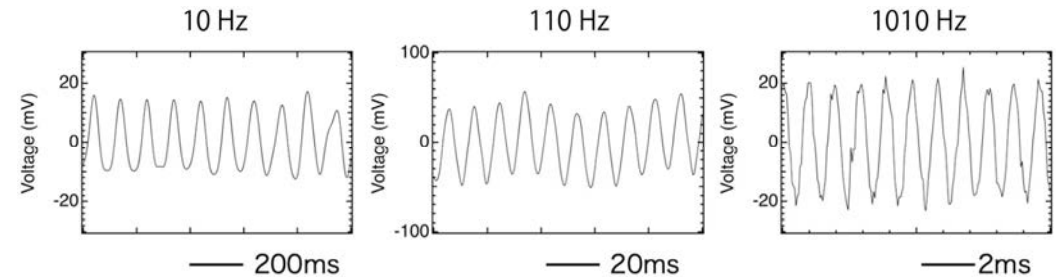
振動センサの評価環境



動電式振動試験器で正弦波を印加・FFT

13 / 16

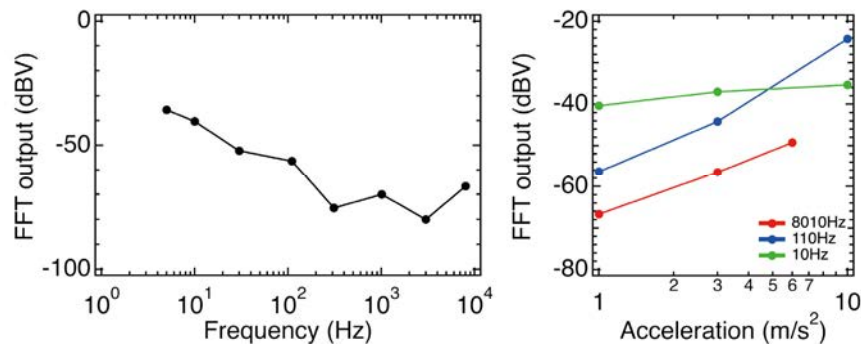
時間領域波形



印加した周波数に相当する正弦波を再現

14 / 16

周波数領域と出力直線性



- ✓ 5Hz-8010kHzの振動検出に成功
- ✓ 110Hz, 8010Hzは優れた直線性
- ✓ 10Hzは変位量の増大による頭打ちを示唆

15 / 16

まとめ

- ✓ 災害から誰もが守られる社会の構築を目指す
- ✓ 震度情報の密度を向上させる
- ✓ 安価で高性能な振動センサの開発
- ✓ ナノファイバーからなる静電誘導型振動センサを提案
- ✓ 有限要素法を用いた振動センサの設計
- ✓ 電気紡糸技術（エレクトロスピンング）を用いた印刷形成プロセスを確立しナノファイバーシートの新形成に成功
- ✓ 5Hz-8010kHzの振動検出に成功
- ✓ 材料費は数百円以下

ご静聴ありがとうございました

16 / 16

イギリスの公共図書館における総量縮減を伴う再編計画に関する研究

李 燕

名古屋大学大学院工学研究科 講師

1. 研究背景

Page1

昨今、公共図書館における提供サービスと建築空間は大きく変化している。

提供サービス

- ・滞在型利用の増加
- ・課題解決の支援
- ・提供サービスの多様化（公共施設の連携）

建築空間

- ・滞在や交流、活動する空間整備
- ・他用途の複合化、集約化
- ・中心市街地の活性化を目的とした立地移転

>>ソフトとハードの両方の再編が必要

一方で、公共図書館を取り巻く**社会環境の課題**

- ・人口減少や税収減、行政の財政縮減
- ・施設の長期的な維持管理が困難
- ・公共図書館を含めた公共施設の総量抑制など

>>人口減少や財政難における公共図書館の**持続可能な再編計画**

1. 研究背景

Page2

日本では、図書館を始めとした**公共施設の複合化や集約化の再編**が進んでいる。なお、多くの自治体が「公共施設等総合管理計画」で**公共施設量の削減目標を定めているが、実際には管理計画とおりの再編実施が遅れており、総量縮減の実事例が少ない。**

海外に目を向けると、イギリスでは、2010年以降の緊縮財政により、多くの公共図書館が閉館され、市民の図書館離れが問題となっている。近年は、その改善策として**図書館の複合化（co-location）**を進め、公共図書館で多様な公共サービスを包括的に提供する再編事例が増加している。また、行政だけではなく、**公共団体や住民ボランティアの図書館運営を採用し、行政の施設運営を減らす再編事例も増加している。**

そこで、本研究では、**ロンドン・ブレント区(London Borough of Brent、以下Brent区)の図書館再編を対象に、総量縮減を行った再編経緯と現状を分析し、縮減計画の結果と課題を明らかにすることで、日本における持続可能な公共施設の再編計画に有用な知見を得る。**

3. イギリスの公共図書館の再編動向

Page3

■イギリスの公共図書館の整備状況

- ・行政が直営する公共図書館の減少
- ・住民が運営するコミュニティ図書館の増加

- ・閉館した直営図書館の多くは
→ コミュニティ図書館として再開



図1 イギリスの行政直営図書館数とCoL数の推移(2013-2019年)¹⁾

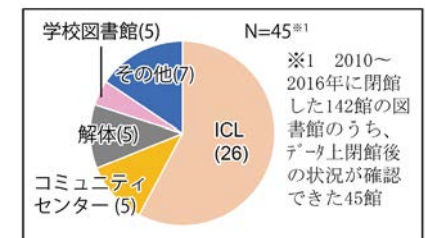


図2 閉館図書館のその後(2010-2016年)²⁾

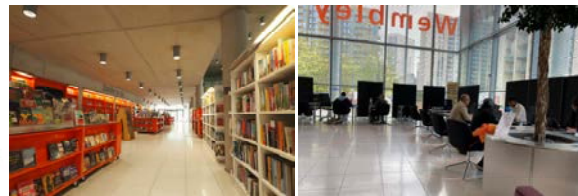
1) CIPFAstats, Public Library Statistics, 2010/11~2019/2020

2) Department for Digital, Culture, Media & Sport, Public Libraries in England: Basic Dataset, 2016

■Wembley Library (WL)

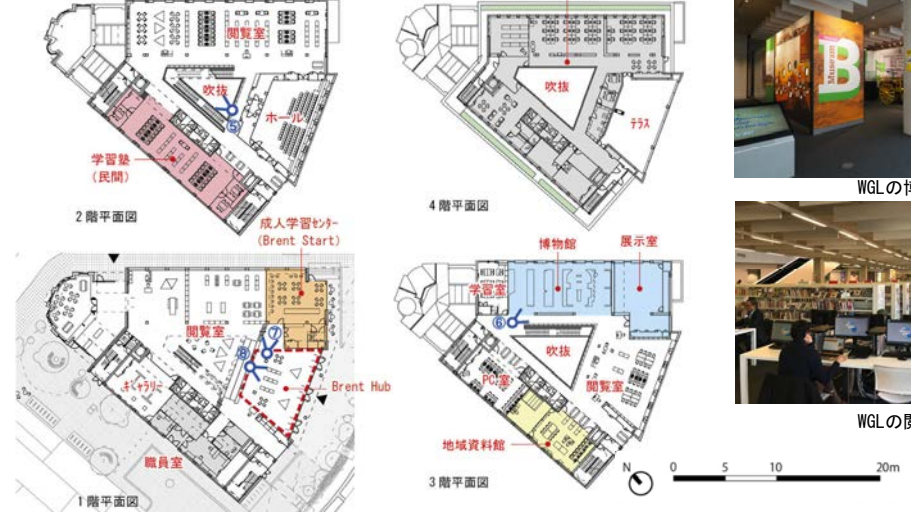


写真① 区役所からみるWL入口 写真② WLの吹き抜け



写真③ WLのパサージュ 写真④ 地域包括相談窓口 (Brent Hub)

■The Library at Willesden Green (WGL)



WGLの博物館



WGLの閲覧室

■各CLの概要

No	図書館名	CLの開館日	運営体	スタッフ数	図書館開館時間(週時間)		建物所有	建物更新	延床面積		蔵書冊数(点)	
					2008年※2	2022年			2011年※1	2022年	2011年※1	2022年
1	Preston Community Library (PCL)	2015年	Friends of Preston Library	3人(常勤), 13人(シフト制)	53時間(週6日)	6時間(週2日)	Brent区から賃借 年間1ポンド(Peppercorn Rent)	既存敷地内に新しく建築(工事中)、現在は別場所の仮設建物で開館中	約250㎡	205㎡(計画)	約5,000	約5,000(計画)
2	Barham Community Library (BCL)	2016年	Friends of Barham Library	10人(シフト制)	33時間(週4日)	10時間(週3日)	Brent区から低賃金で賃借	既存の敷地内にある別建物を改修	約500㎡	約200㎡	約12,000	約6,000
3	Cricklewood Library (CKL)	2017年	Friends of Cricklewood Library	不明	33時間(週4日)	21時間(週4日)	民間不動産から賃借 年間1ポンド(Peppercorn Rent)	既存敷地内に新しく建築	不明	250㎡	不明	不明
4	Kensal Rise Library (KRL)	2019年	Friends of Kensal Rise Library	25人(シフト制)	29時間(週4日)	11時間(週4日)	民間不動産から賃借 年間1ポンド(Peppercorn Rent)	既存建物を改修	175㎡	175㎡	不明	約5,300

※1 2011年(閉館年)の延床面積と蔵書冊数はBrent区立図書館から確認できなかったため、各CLへのヒアリング調査から確認した概数を記入
 ※2 Brent Council: Library Strategy 2008-2012²⁾を参照



写真1:Preston Community Library (改築中)



写真2:Barham Community Library (既存改修)



写真3:Cricklewood Library(改築)



写真4:Kensal Rise Library(既存改修)

■CLの開館意図と立地

- ・図書サービスよりも、地域活動の場の提供
- ・移民や高齢者、子育て世代に社会活動に参加する機会を提供
- ・歴史継承のために既存場所で開館、近隣住民が主な利用者



表6 各CLの開館意図と空間整備

図書館	開館意図	立地および空間整備
PCL	<ul style="list-style-type: none"> ・本をめぐって人々が出会い、交流する場を存続させるためにCLを開館した。 ・図書館は人々が知的交流を行いながら、助け合い、友情を構築する重要な場所であった。 ・近くに小学校が多く、図書館は小学生の放課後の滞在場所であり、学校と家で体験できない学習を提供できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存敷地が再開発されたが、住民の主張により、図書館がACVに登録され、新しく整備された。取得できた床面積ははるかに、内部のレイアウトや設備などについて要望できた。 ・これまでの図書館利用者に場所が認識されやすいうちに、既存敷地で開館した。
BCL	<ul style="list-style-type: none"> ・大切なのは図書館の図書ではなく、図書館の空間である。 ・図書館が閉館すると、住民は社会交流に参加する機会を失ってしまう。特に子育て世代や高齢者は、外出できる場所を失い、孤立される恐れがある。 ・本を借りるだけでなく、人と関わるための場を確保するために、CLとして開館した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・公園と建物は地元の企業家が公共図書館の開館のために寄付したものであり、この場所が図書館を直営に運営することに意図がある。 ・既存建物を利用したかったが、市から敷地の別建物が提供された。 ・建物内部を改築し、大人数の活動が開催できるように壁に書架を配置した。
CKL	<ul style="list-style-type: none"> ・人々が出会い、交流できる場所を提供し続けるために、図書館を再開した。 ・多様な年齢が暮らすまちなので、子どもや若年層の英語学習など、地域学習を支援するために図書館が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・土地は民間不動産に売却され、再開発が行われた。ACVに登録できたので、図書館も新しく整備された。 ・新しい図書館では、みんなが入りやすいようにならぶを設けた。
KRL	<ul style="list-style-type: none"> ・アメリカ人作家Mark Twainが設立し、大学から寄付された図書館であり、この歴史を継承したい。 ・児童や生涯学習の支援、地域の健康支援に関するサービスを提供することを目標としている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・昔は建物全体が図書館だったが、現在は1階のみ図書館であり、上階はマンションに開発された。 ・住民の寄付金により内部を改築し、閲覧室とPCコーナー、多目的室を整備した。

■各CLの空間構成



図13 各CLの平面図（図面が入手できなかったBCLを除く）と内観写真

■区立図書館とコミュニティ図書館がの比較

プレント区立図書館

- ・駅や中心市街地など便利な場所に立地
- ・総量削減を伴う図書館の複合化・多機能化
- ・提供サービスの多様化・専門化

プレント区コミュニティ図書館

- ・公園や住宅地における立地
- ・図書サービスよりも場所の提供
- ・近隣住民の活動拠点

■総量削減の課題

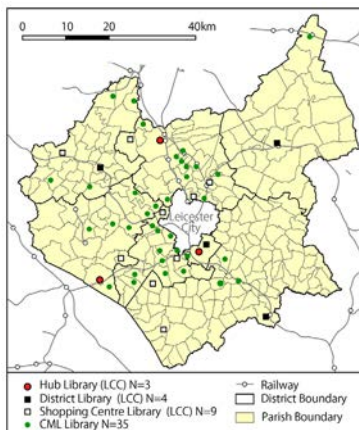
プレント区立図書館

- ・住民の合意形成の困難
- ・多目的利用は増加するが、図書の利用の低下

プレント区コミュニティ図書館

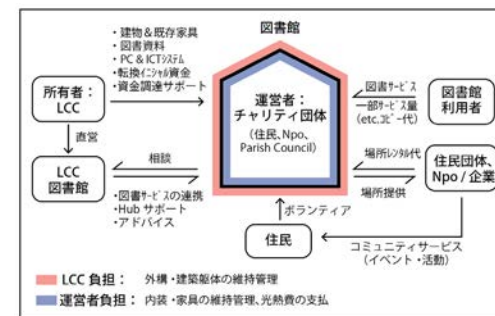
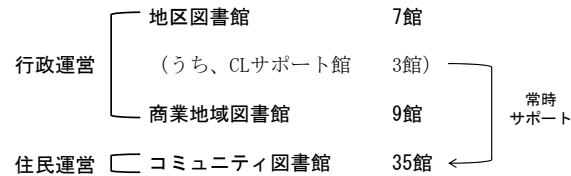
- ・運営資金の確保が困難
- ・ボランティア育成の困難

■公民連携の図書館再編事例 (Leicestershire County Council, LCC)



LCCの図書館の立地

LCCの図書館分類



コミュニティ図書館の運営形態

運営移管のサポート資金

資金の種類	金額 (£)	サポート内容
イニシャル資金	1,000	各種準備活動やボランティア募集、広報に関わる費用
セットアップ資金	2,000	チャリティ登録、法的続き、オープンに向けたイベント開催に関わる費用
軽微な改修資金	5,000	軽微な内装や設備改修に関わる費用
計	8,000	

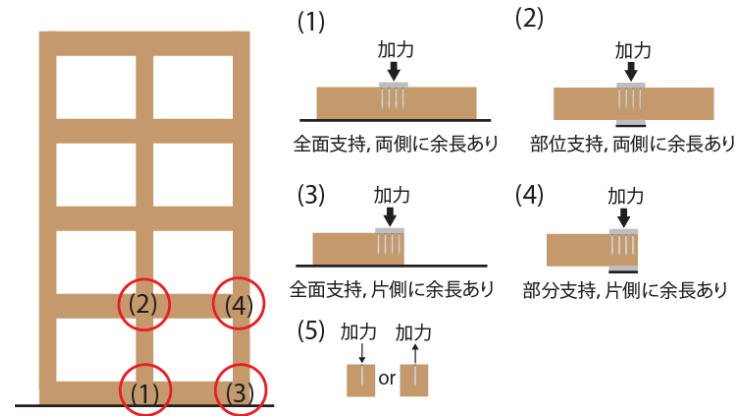
- ・初期サポート
 - ・資金サポート
 - ・ボランティア募集、育成
 - ・図書館サービスの講習
- ・長期サポート
 - ・資金調達の支援
 - ・法的手続のサポート
 - ・建物維持管理の協力

以上、ご清聴ありがとうございます。

中高層木質構造および混構造における 木材のめり込み補強手法の開発とその評価法構築

千葉大学 戸塚真里奈

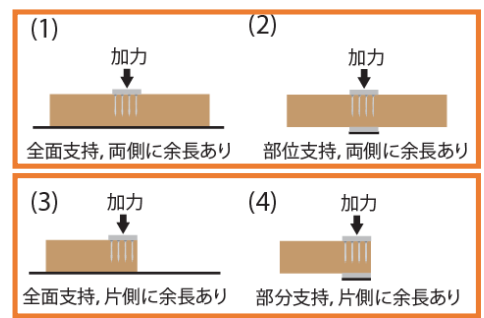
研究概要：実験



・実験変数
ねじの径・長さ
樹種
ねじ部長さ

5シリーズの実験（試験体数：232）を実施

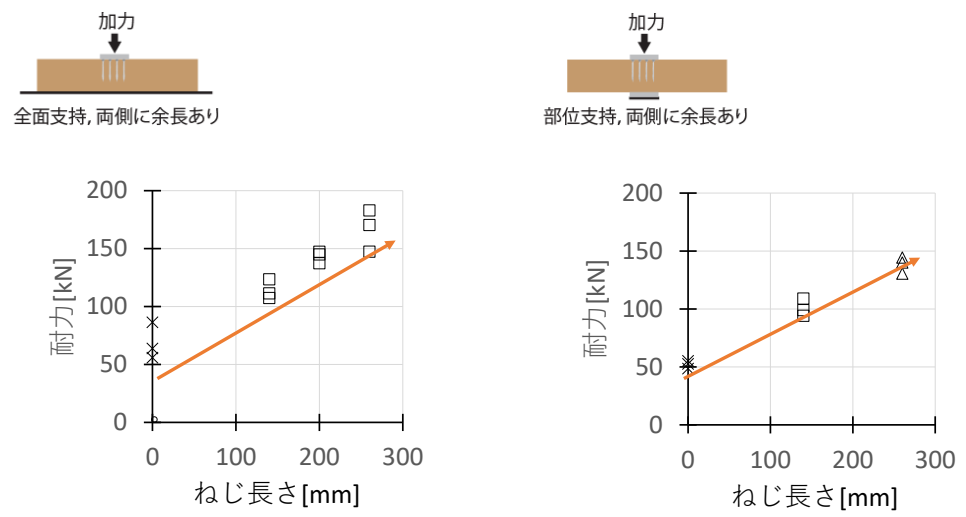
成果と新知見：補強効果



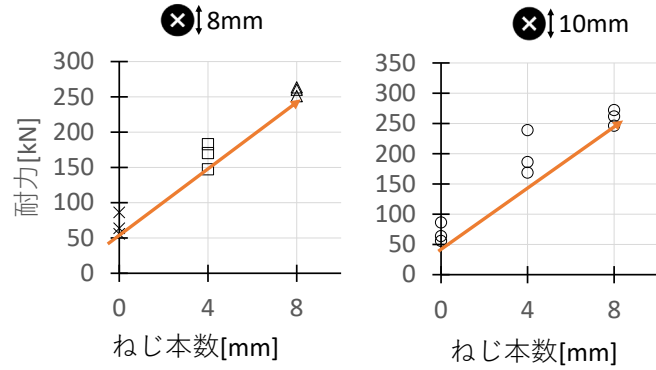
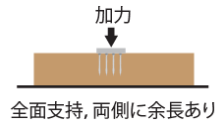
補強なしに比べて
耐力：最大4.5倍
初期剛性：最大2.1倍

補強なしに比べて
耐力：最大1.8倍
初期剛性：最大1.8倍

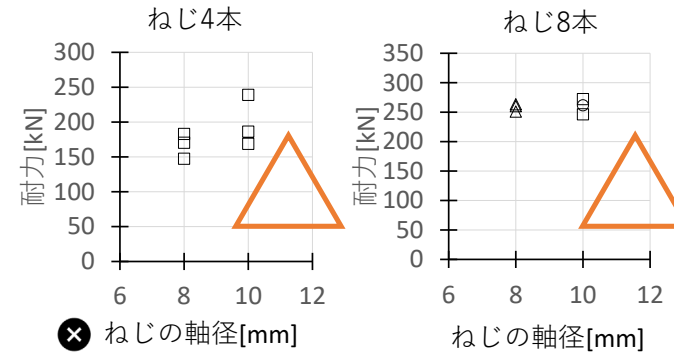
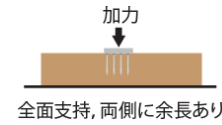
成果と新知見：補強効果(ねじ長さ)



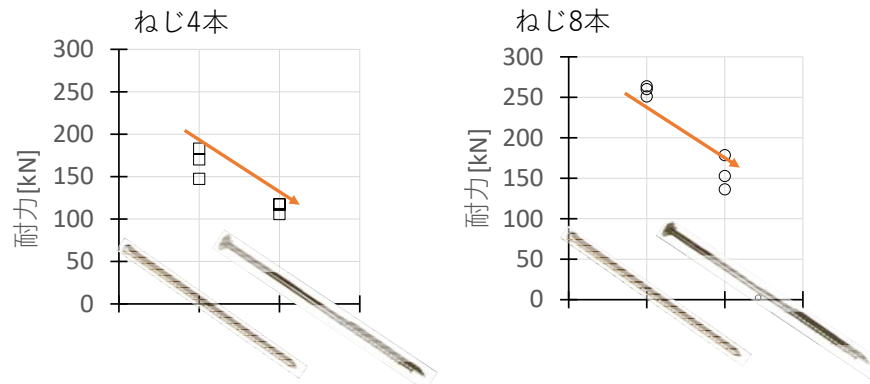
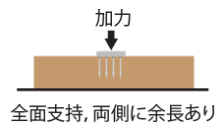
成果と新知見：補強効果(ねじ本数)



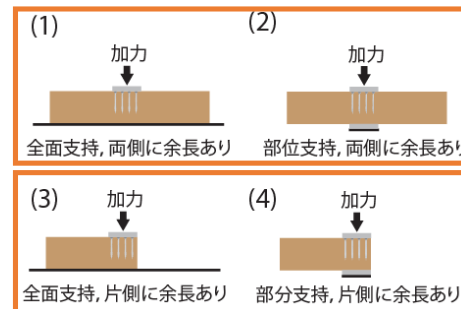
成果と新知見：補強効果(ねじ軸径)



成果と新知見：補強効果(半ねじ, 全ねじ)



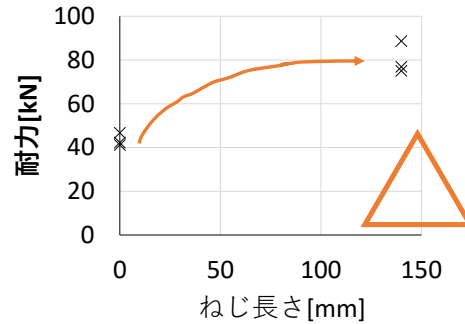
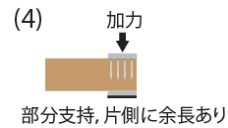
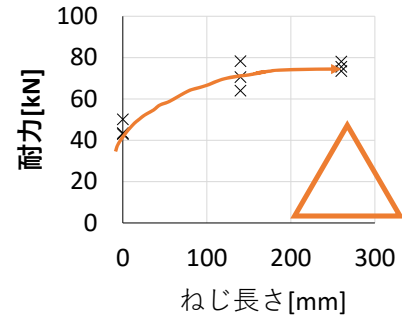
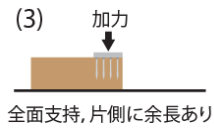
成果と新知見：補強効果



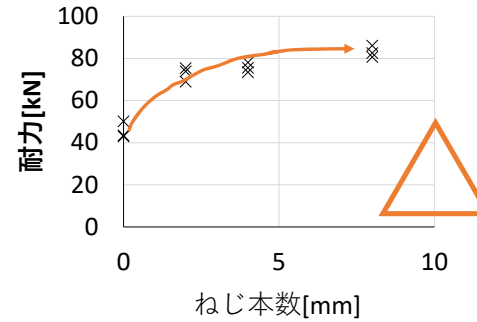
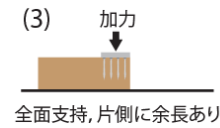
補強なしに比べて
 耐力：最大4.5倍
 初期剛性：最大2.1倍

補強なしに比べて
 耐力：最大1.8倍
 初期剛性：最大1.8倍

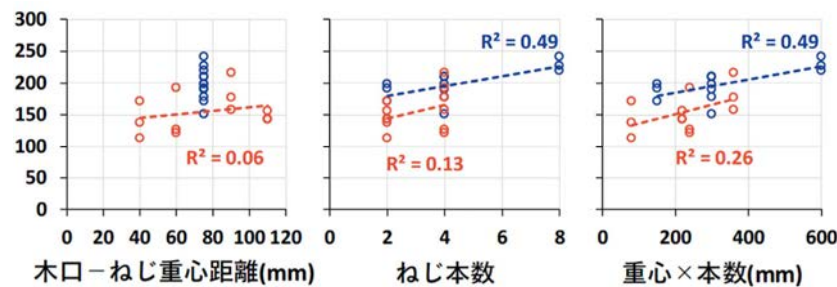
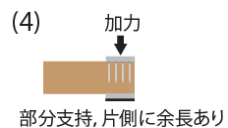
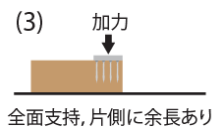
成果と新知見：補強効果



成果と新知見：補強効果

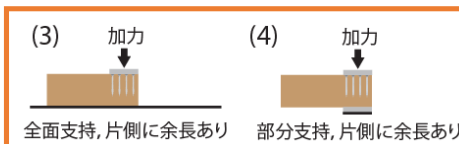
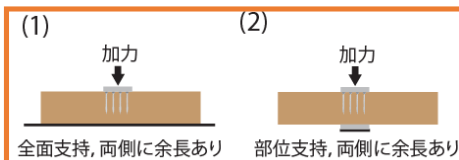


成果と新知見：補強効果



ねじ配置の重心×本数に比例！

成果と新知見：破壊メカニズム



成果と新知見：評価法の提案

既往研究で評価法が提案されている（カールスルーエモデル）

ねじの座屈+めり込み： $R_{90,d} = n \cdot \kappa_c \cdot N_{pl,d} + k_{c,90} \cdot l_{ef} \cdot b \cdot f_{c,90,d}$

ねじの押抜+めり込み： $R_{90,d} = n \cdot 0.6 \cdot \sqrt{d} \cdot l_s^{0.9} \cdot \rho^{0.8} + k_{c,90} \cdot l_{ef} \cdot b \cdot f_{c,90,d}$

木材の圧縮： $R_{90,d} = b \cdot l_{ef,2} \cdot f_{c,90,d}$

精度がよくない…

カールスルーエモデルを実状に合わせて改良

成果と新知見：評価法の提案

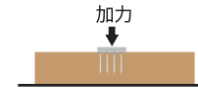
カールスルーエモデルの改良

ねじの座屈+めり込み： $R_{90,d} = n \cdot \kappa_c \cdot N_{pl,d} + k_{c,90}$

ねじの押抜+めり込み： $R_{90,d} = n \cdot 0.6 \cdot \sqrt{d} \cdot l_s^{0.9} \cdot \rho$

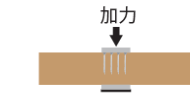
木材の圧縮： $R_{90,d} = b \cdot l_{ef,2} \cdot f_{c,90,d}$

(1)

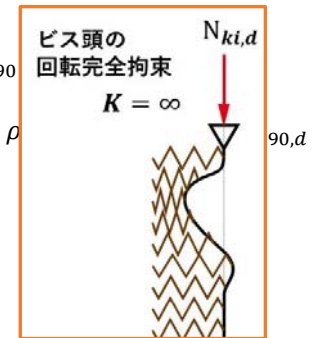


全面支持, 両側に余長あり

(2)



部位支持, 両側に余長あり



カールスルーエモデルを実状に合わせて改良

成果と新知見：評価法の提案

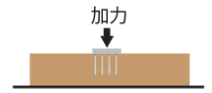
カールスルーエモデルの改良

ねじの座屈+めり込み： $R_{90,d} = n \cdot \kappa_c \cdot N_{pl,d} + k_{c,90} \cdot l_{ef}$

ねじの押抜+めり込み： $R_{90,d} = n \cdot 0.6 \cdot \sqrt{d} \cdot l_s^{0.9} \cdot \rho^{0.8}$

木材の圧縮： $R_{90,d} = b \cdot l_{ef,2} \cdot f_{c,90,d}$

(1)

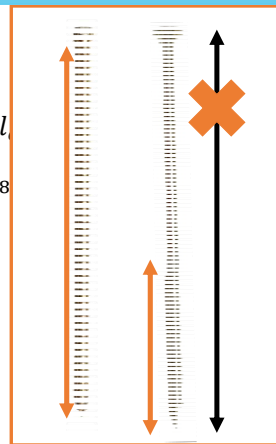


全面支持, 両側に余長あり

(2)



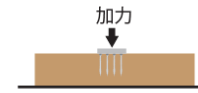
部位支持, 両側に余長あり



カールスルーエモデルを実状に合わせて改良

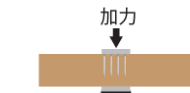
成果と新知見：評価法の提案

(1)

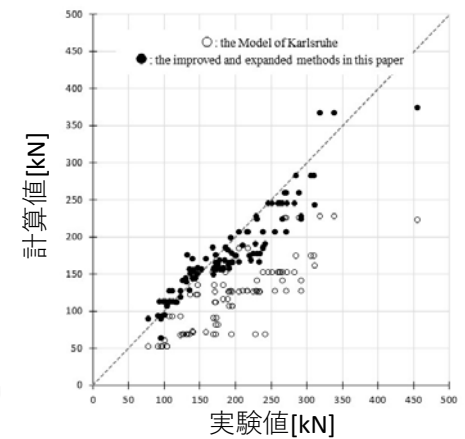


全面支持, 両側に余長あり

(2)

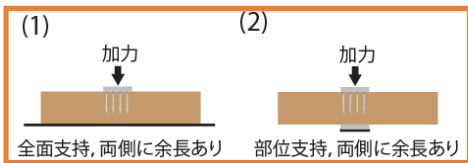


部位支持, 両側に余長あり



改良モデルは実験結果をうまく評価できた

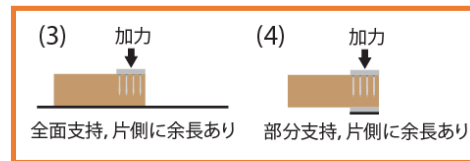
今後の予定



- めり込み補強効果大！
- 影響因子や破壊メカニズムを解明
- 耐力評価法を提案

初期剛性の評価法を構築

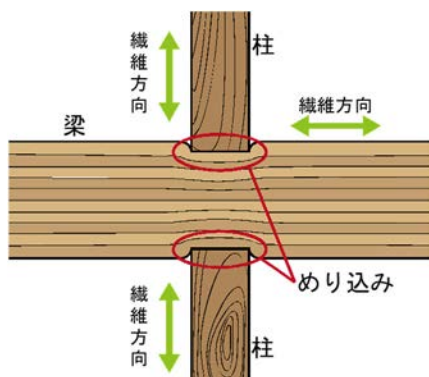
今後の予定



- めり込み補強効果があまり大きくない
- 影響因子や破壊メカニズムを解明

初期剛性の評価法を構築
耐力の評価法を構築
隅柱に関してはより高い効果のある補強方法を検討

今後の予定



実接合部への応用

中高層木質構造および混構造における
木材のめり込み補強手法の開発とその評価法構築

千葉大学 戸塚真里奈

PC鋼材の破断に伴う 鋼材周境界面挙動の分析と耐荷機構への影響評価

千々和伸浩

東京科学大学
環境・社会理工学院 土木・環境工学系

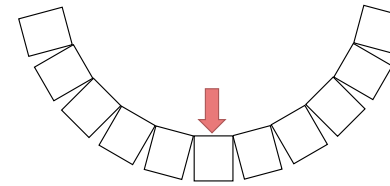


大成学術財団 2024年度研究成果発表会 2024年10月24日

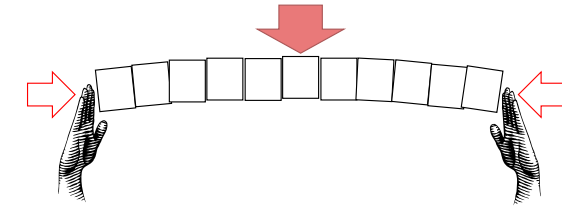
プレストレストコンクリート(PC)



コンクリートは引張に弱い



そのまま持ち上げると
下縁の引張力で壊れる

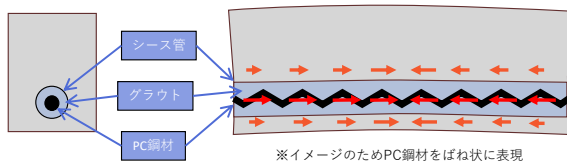


軸力を入れた後(pre-stressed)であれば、
壊れず持ち上げられる

プレストレストコンクリート(PC)



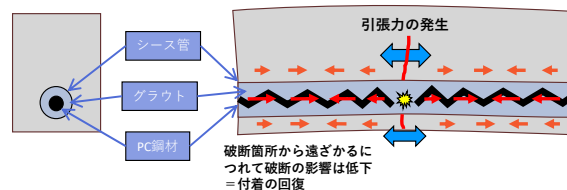
健全状態のPC



※イメージのためPC鋼材をばね状に表現

施工時に引き伸ばされたPC鋼材が縮もうとする作用が、グラウト・シース管を介して周囲のコンクリートを圧縮する

破断後のPC



破断箇所から遠ざかるにつれて破断の影響は低下＝付着の回復

破断が生じると、破断箇所からPC鋼材が元の長さに戻ろうとするため、周囲のコンクリートは引張られる。

PC鋼材の破断は単純な鋼材断面の減少だけではなく、初期導入緊張力が負の作用となって構造物にダメージを与える

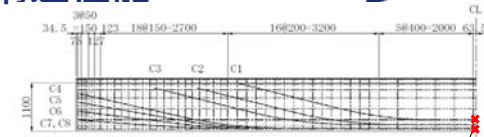
破断によって解放された緊張力は設計で想定した耐荷機構を攪乱するが、どの範囲で引張力が生じるかは付着が回復するまでの距離次第。そしてこの距離はよくわかっていない。

PC鋼材が破断した部材の残存構造性能

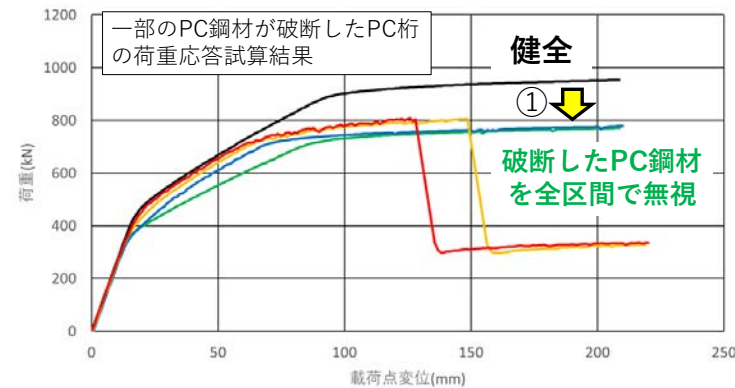


プレストレストコンクリート(PC)橋

・経年劣化によるPC鋼材腐食と破断の可能性
→残存性能を知る必要→試算を実施



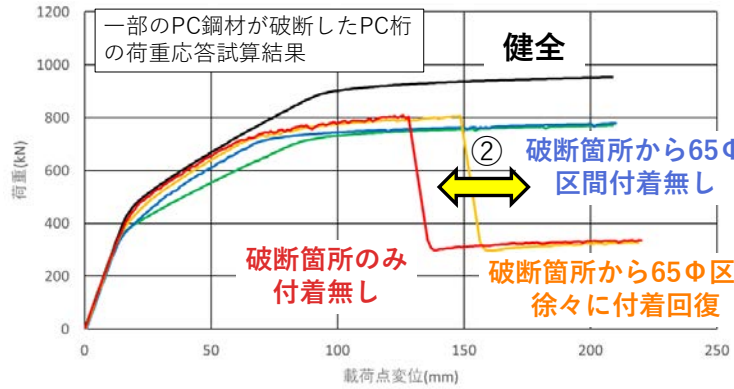
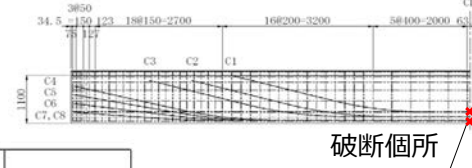
破断箇所



- ①破断本数に比例して耐力が低下
- ②破断に伴う付着状況によって「靱性」が変化。安全側評価のつもりで鉄筋を無視すると、危険側評価になる可能性も

PC鋼材が破断した部材の残存構造性能

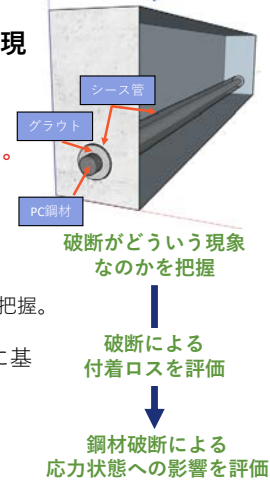
プレストレストコンクリート(PC)橋
 ・経年劣化によるPC鋼材腐食と破断の可能性
 →残存性能を知る必要→試算を実施



- ①破断本数に比例して耐力が低下
 - ②破断に伴う付着状況によって「靱性」が変化。安全側評価のつもりで鉄筋を無視すると、危険側評価になる可能性も
- 詳細な検討へ

PC鋼材が破断した部材の残存構造性能

PC鋼材の破断はグラウト充填されたシース管内で生じる動的な現象で、破断の際に何が起きているのか外部から観察できない。
 →模擬実験と数値解析を組み合わせることで事象を可視化し、正確な理解に基づくFEM解析によって、付着ロス区間の定量評価や構造性能への影響を分析する。

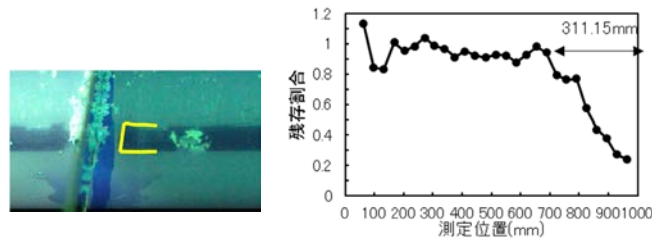
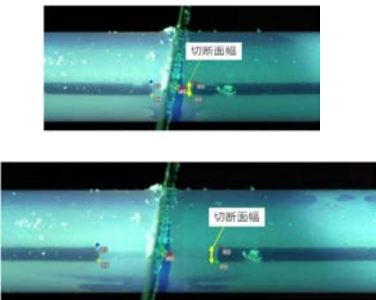


[実施した内容]

- ①ゴム棒を用いた模擬実験によるPC鋼材破断時の付着・すべり挙動の分析
 →シース管で内部で起きていると思われる状況を初めて可視化。
- ②PCより線破断時に生じる素線間相互作用に関する解析的検討
 →より線ケーブルの素線が順に破断していく状況を数値解析によって可視化して把握。
- ③2軸拘束応力下におけるPC鋼材の滑り挙動の再現
 →数マイクロ秒で生じる破断という動的現象を分析するため、要素実験に基づいて材料モデルを構築し、破断後の付着機構を分析。
- ④鋼材に沿ったひび割れが付着に与える影響の評価
 →腐食ひび割れによる破断箇所からの滑り距離の変化を分析。
- ⑤PC鋼材破断時の周辺鋼材への応力転嫁に関する評価
 →PC鋼材破断時によって初期応力がどこに流れるのかを分析。

①ゴム棒を用いた模擬実験によるPC鋼材破断時の付着・すべり挙動の分析

シース管内で起きていることを知りたいが直接観察できない。
 →模擬実験でまず観察(透明アクリル管内で、ゴム棒を緊張し、寒天を充填)。
 ↑シース管 ↑PC鋼材 ↑グラウト

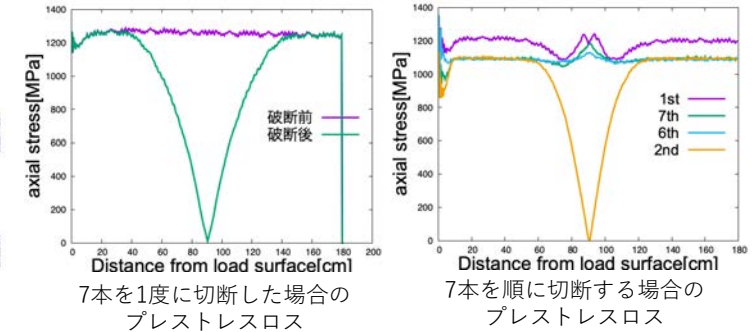
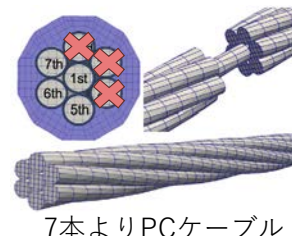


破断後、先端がくさび形状になることで滑りが途中で停止し、そこから付着が回復することが確認できた

②PCより線破断時に生じる素線間相互作用に関する解析的検討

PCより線の場合、破断は素線単位での破断が徐々に連鎖していく
 →破断順序で応力の再配分に変化が起きるのか、また破断の連鎖が生じるのかを確認するために、PCより線とグラウトを高精度にモデル化して数値解析で評価。

数値解析による分析

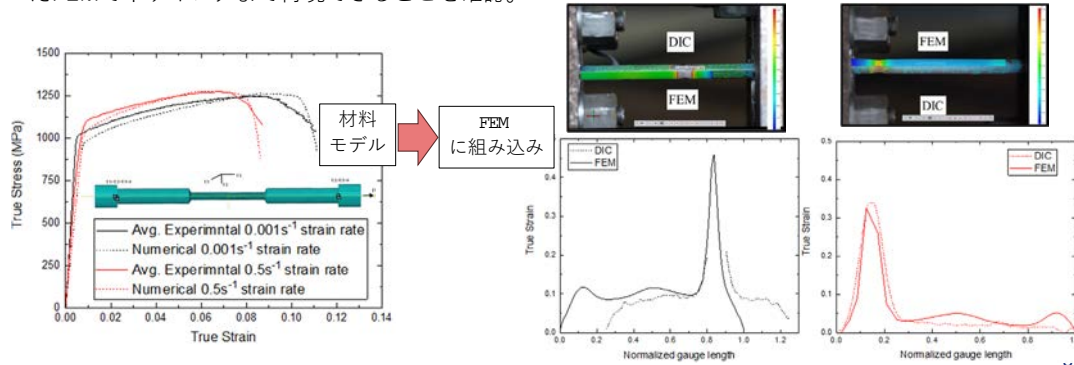


破断素線に隣接する素線に応力が転嫁され、連鎖が生じる

③2 軸拘束応力下におけるPC 鋼材の滑り挙動の再現 ~鋼材破断モデルの構築とパラメータの同定

破断時には瞬時に応力が解放されるため、鋼材も動的に再定着される。

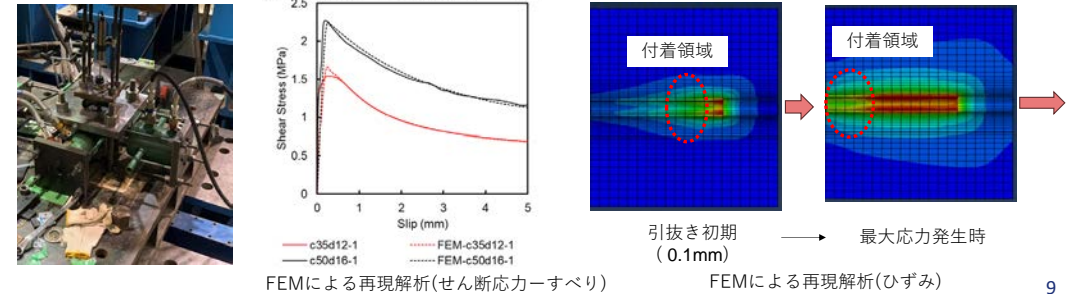
- ・破断時の材料モデルをひずみ速度への依存性を考慮した形に修正。
- 1軸引張試験データを元に、Johnson-Cookモデルを修正する形で材料モデルを構成し、それを用いたFEMでネッキングまで再現できることを確認。



③2 軸拘束応力下におけるPC 鋼材の滑り挙動の再現 ~モルタル中に埋設された丸棒の側圧と引抜き速度を考慮した 付着-すべり挙動の実験と数値解析による検討

破断時には瞬時に応力が解放されるため、鋼材も動的に再定着される。

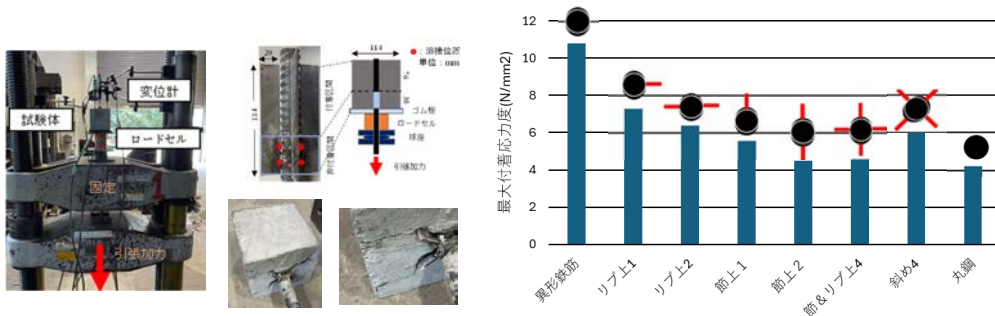
- ・埋め込み鋼材が鋼材軸に垂直な方向に2軸圧縮力を受けた状態で、鋼材が引抜かれるとき、どのような挙動を示すのかを実験と解析から評価する。
- 引抜け端から徐々に付着領域が切れて、主たる付着領域は徐々に奥に移行していく。
- ※引抜きではなく、初期緊張状態から破断ですべるケースについての検討はこれから。



④ 鋼材に沿ったひび割れが付着に与える影響の評価

鋼材腐食によって鉄筋に沿ったひび割れが形成された場合、鋼材と鉄筋の一体性(付着)がどの程度低下するのか?

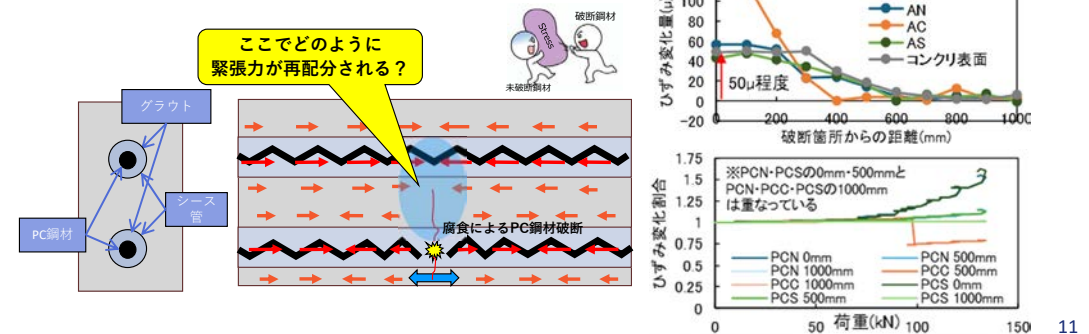
- ・純粋に亀裂があることの影響を平面ひび割れを導入することで分析。
- 節周辺にひび割れがある場合、付着強度が大きく低下する。かみ合わせが付着に大きく寄与。
- 亀裂の数よりも亀裂がどこにあるかが影響する



⑤ PC 鋼材破断時の周辺鋼材への応力再配分に関する評価

部材中のPC鋼材の1部が破断したとき、周囲のPC鋼材にはどの程度の応力が再配分されるのか?連鎖的破断が発生するのか?

- 緊張 & グラウト注入後、PC鋼材の1本を切断し、その前後での周囲のPC鋼材の応力変化を確認。
- 実験では破断前後の周囲の鋼材のひずみ変化は50μ程度のみ。ただし荷重载荷中にもすべりが発生し、更に周囲の鋼材の負担が増加。



まとめ

- 模擬実験と数値解析によってシース管内での破断現象と再定着がどのように起きるかを可視化できた。
- 破断現象の正確な理解のもと、速度依存性を考慮した材料モデルを構築した。この材料モデルを組み込んだFEM解析によって、鋼材の引拔けを再現し、付着ロスの推移を分析した。
- 鋼材に沿って生じた腐食ひび割れは鋼材の付着を低下させるが、その影響度はどこを起点にひび割れが生じたかによる。
- PC鋼材の破断が生じた場合、直後には50 μ 程度の応力再配分しか生じないが、外力が作用するにつれて滑りが生じ、更に応力は増加する。

研究助成を賜りまして、どうもありがとうございました。

多様な働き方を想定したオフィス空間に適した 昼光利用評価に関する研究

- 小林 光 東北大学・教授
- 川口 朱里 東北大学大学院(卒業)
- 朱 昱吉 東北大学大学院

研究背景

- ・ 今日、働き方の多様化の重要性が認識され、多様な「執務空間の環境」と「ノンエナジーベネフィット：健康性、快適性、生産性、etc.」の関係が注目されている。
- ・ 従来、昼光の評価は机上面照度「エナジーベネフィット（省エネ）」と不快感「グレア(まぶしさ)」の回避が中心である。
- ・ 今後、昼光利用による「ノンエナジーベネフィット」を獲得するためにはリスク回避ではなく、環境向上を意図した積極的な評価が必要になる。

昼光利用評価の課題

- ・ グレア指標の評価が必要以上に厳しいと、昼光利用を制限する可能性がある。
- ・ 使い易いグレア評価指標DGP (Daylighting Glare Probability)と評価プログラムの普及により、グレアに関する知見を持たずに定量評価できる状況が生じた。
- ・ 環境設計者はグレアとその評価に関するより深い理解を必要としている。

本研究の目的

本研究は被験者実験によるグレア申告とグレア指標DGPを比較。各種条件によるグレアへの影響を検討し、これをどのように計画に利用可能か検討する。また、グレアに対する採光装置の効果を確認することを目的とした。

実験①

昼光利用した空間における「被験者の多様な行為に応じたグレア申告」と「DGP計算値」の比較による、グレア評価指標の妥当性検討

実験②

採光ブラインドで「積極的に昼光利用を行う執務空間でのグレア申告」と「DGP計算値」の比較による、採光装置がグレアに与える影響の検討

実験③

空間の光の色に注目した光環境とグレア評価、快・不快の関係を検討

実験① 被験者の多様な行為に応じたグレア

空間

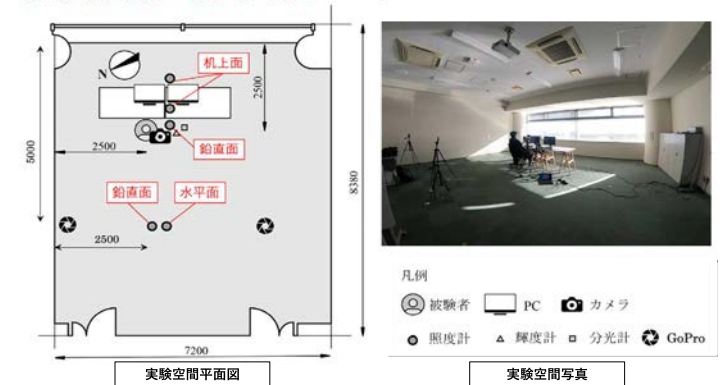
- ・ オフィス環境を模した教室に窓向きに机を設置。
- ・ 被験者はPCを使った作業を行なう。

被験者の行為

- ① **CON：執務状態**
PCによる文章入力作業
- ② **R(A)：リラックスA**
PCによるブラウジング
- ③ **R(B)：リラックスB**
景色や室内を見る

取得データ

- ・ 被験者による2分毎の主観評価
- ・ 輝度画像の取得と、輝度画像によるDGP計算値
- ・ 水平面、鉛直面照度
- ・ 被験者はアイトラッカーで視線行動、瞳孔径を記録



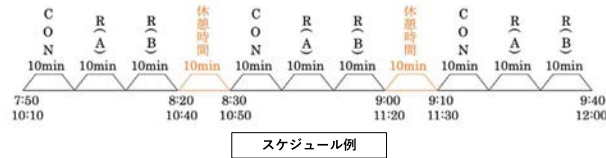
実験①

被験者

- 12名の大学生(20代男性7名、女性5名、眼の持病無)

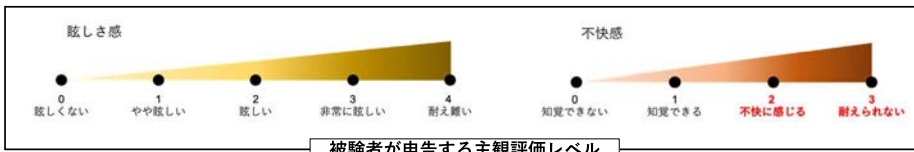
スケジュール

- 2022/12/5~12/28 AM
- 前半時間帯：7:50~9:40
- 後半時間帯：10:10~12:00



主観評価とレベル

- 被験者は眩しさ感と不快感を2分ごとに主観評価
- 眩しさ感5段階・不快感4段階
- 不快感4段階中、不快側の2 or 3 評価を「不満足」とした

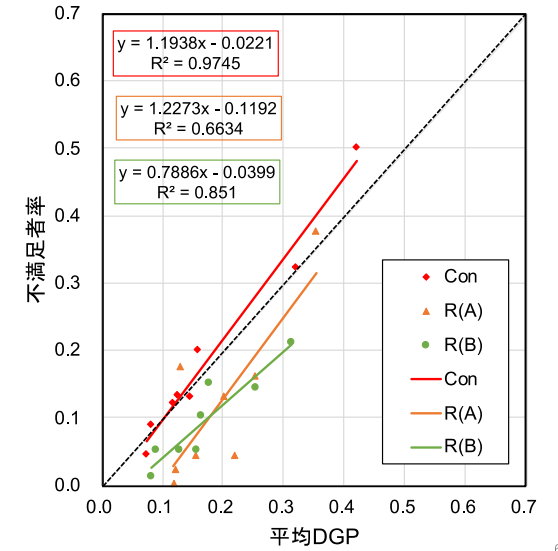


実験①結果

- 執務状態の評価を行うDGPと、行為CONは良い対応を示す。
- R(A), R(B) 共に不満足者率の緩和が確認される。

→ 行為はグレアに影響する。DGPは執務行為に最適化されている。

→ 執務以外へのDGP適用は、積極的な昼光利用を抑制する可能性がある。

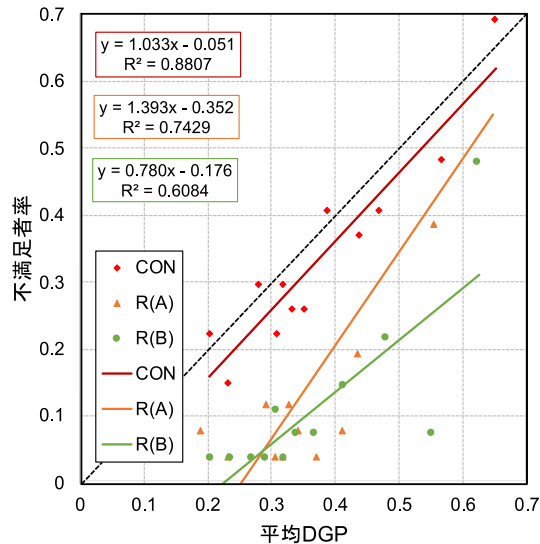


実験①

参考：予備実験の結果

- DGPの提唱者、Jangらの実験に近い条件の予備実験。
- 個室的な細長の小居室で、被験者のデスクを窓に対して45°に配置。

→ 予備実験時は、行為による緩和がより明確に確認された。



実験② 昼光利用を行う執務空間のグレア

空間

- 実験①の空間に、採光装置(採光ブラインド)を設置。
- 通常のブラインドを水平で固定。
- 採光ブラインド開・閉による影響を確認。

被験者の行為、取得データ

- 実験①と同じ

実験②は一般ブラインド全開、採光ブラインド開・閉



実験②

被験者

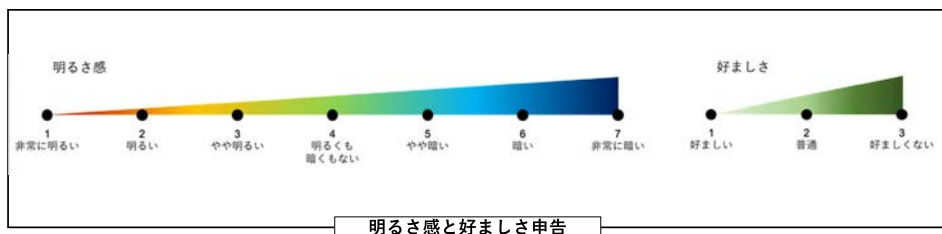
- 12名の大学生(20代男性7名、女性5名、眼の持病無)

スケジュール

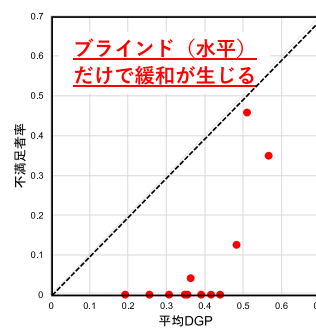
- 2023/10/4~11/16 AM (前半時間帯: 7:00~10:10, 後半時間帯: 10:40~11:40)

主観評価とレベル

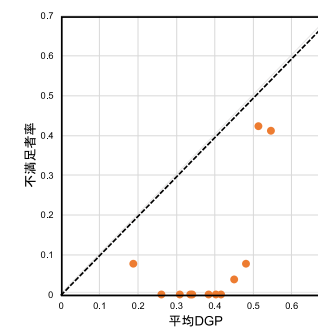
- 被験者は眩しさ感と不快感: 実験①と同じ
- 追加: 明るさ感と好ましさを休憩毎に主観評価



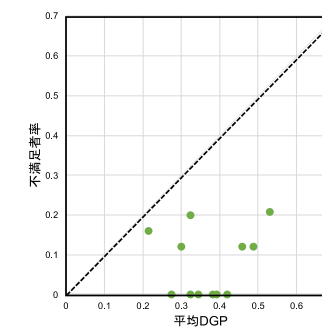
実験②結果 一般ブラインド開(水平) + 採光装置なし(採光ブラインド閉)



CON: 執務状態
PCによる文章入力作業

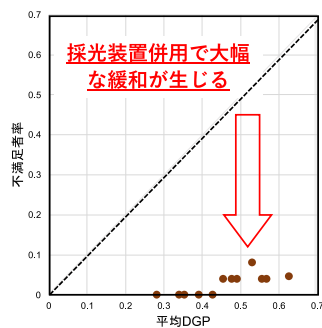


R(A): リラックスA
PCによるブラウジング

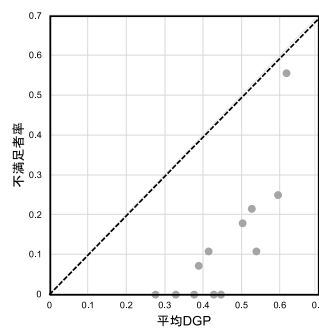


R(B): リラックスB
景色や室内を見る

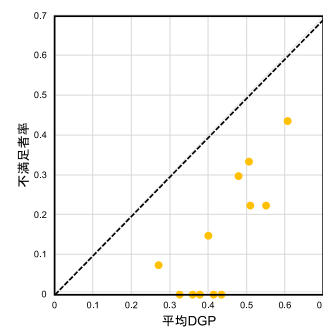
実験②結果 一般ブラインド開(水平) + 採光装置あり(採光ブラインド開)



CON: 執務状態
PCによる文章入力作業



R(A): リラックスA
PCによるブラウジング



R(B): リラックスB
景色や室内を見る

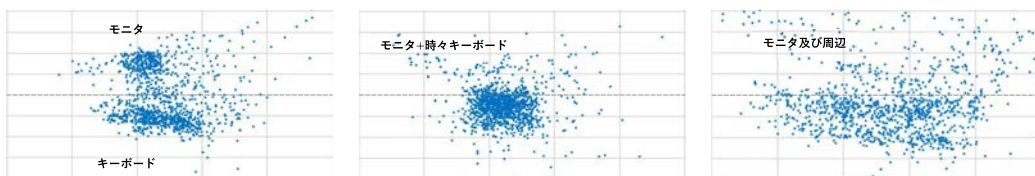
被験者実験 考察

- CON: 執務状態の視線行動
明暗の差のある手元と画面の間を視線が頻繁に往復する。

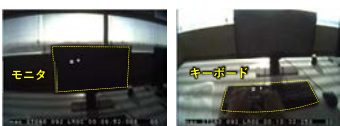


被験者実験 考察

- 視線行動は行為に依存。注視点の輝度変化(明↔暗)が大きいと煩わしい。
- 採光装置は室内の明るさを向上し、室内の輝度変化を緩和する。



眼鏡中心に対する視点座標 (右目)



CON: 執務状態
PCによる文章入力作業
(視点往復)



R(A): リラックスA
PCによるブラウジング
(画面に集中、手元は時々)



R(B): リラックスB
景色や室内を見る
(画面やその周りを見る)

左・右視点(口+)記録画像

被験者実験①② まとめ

- CON (執務状態) の申告は、DGP計算値と一致
- R(A)、R(B) 条件で、CON(執務状態)に比べ、グレア申告が緩和
- ブラインド+採光併用でグレア申告が大きく緩和
- 被験者の視線行動で、視野内の輝度分布が異なる。
CONはタイピング時に手元を見ることで、眩しさを感じ易いと考えられる。
- ブラインドと採光装置の採用は、背景輝度を下げ、手元の輝度を上げる。
その結果、グレア申告が大幅に緩和された可能性がある。
- DGPの評価は執務に特化。その他行為で不満足率を過大評価。
- 採光装置は光環境(特に輝度)調整でグレアを緩和する可能性がある。

実験③ 光の色に注目した光環境とグレア評価

被験者の行為

- CON: 執務状態で固定

光環境条件

- 採光条件: 実験①と同じ(ブラインド、採光装置無)

- 光色条件: 青色、黄色、ブルーライトカット+コントロール
(カラーフィルムを適用したメガネを着用)



青色環境



黄青色環境



ブルーライトカット環境



普通環境
(コントロール)

実験③

被験者

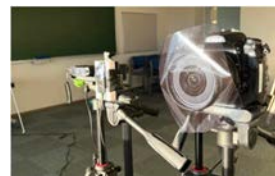
- 8名の大学生(メガネをかけない、眼の持病無)

スケジュール

- 2023/9/20 -11/30 AM

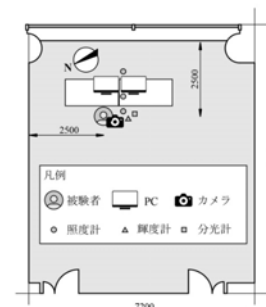
主観評価とレベル

- 明るさ感: 5段階
「暗い/普通より暗い/普通/普通より明るい/明るい」
- 不快感: 4段階
「知覚できない/知覚できる/不快に感じる/耐えられない」



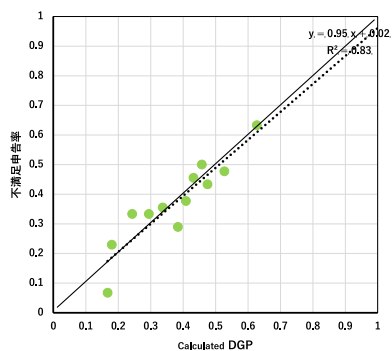
実験機器(カラーフィルムで覆う)

- デジタル一眼レフ (Nikon D-300S)
- + 魚眼レンズ (SIGMA4.5mm F2.8 EX DC FISHEYE HSM)
- 照度計 (T&D RTR-74)
- 輝度計 (TOPCOM Bm-9)
- 視線計測機 (nac EMR-9)
- 分光計測機 (MK3 5 0N)

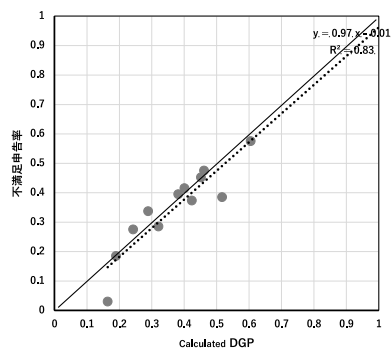


実験③結果 光色に変化のないケースのグレア

- グレア申告とDGP計算値は一致する



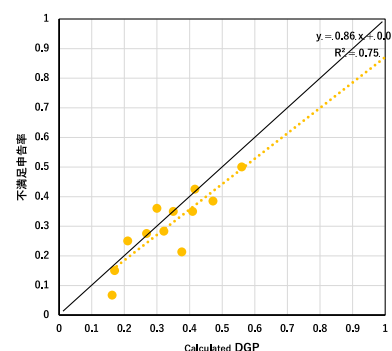
普通環境
(コントロール)



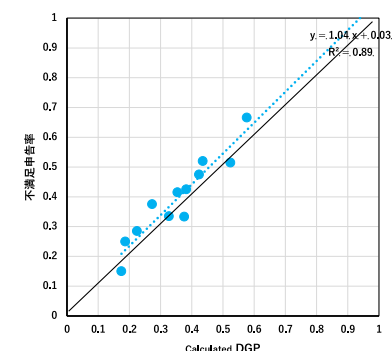
ブルーライトカット環境

実験③結果 黄色環境、青色環境によるグレア

- 黄色環境で不満申告が減少、青色環境で不満申告が増加。



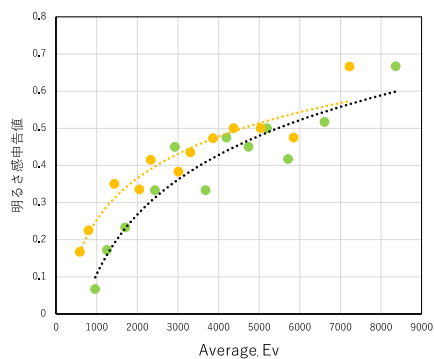
黄色環境



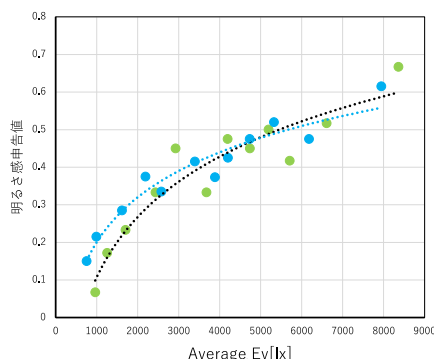
青色環境

実験③結果 明るさ感申告の比較

- 黄色環境、青色環境ともに明るさ感は上昇。



普通環境
(コントロール)



黄色環境

青色環境

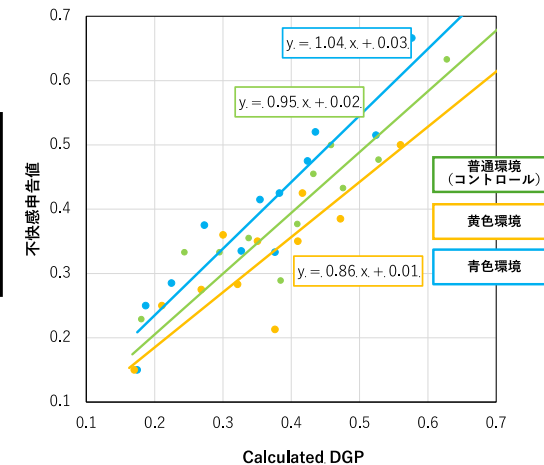
グレアの緩和効果を環境計画に反映する試み

- 実験結果よりDGPを光色によって補正したDGP colorを提案。

$DGP(color)$

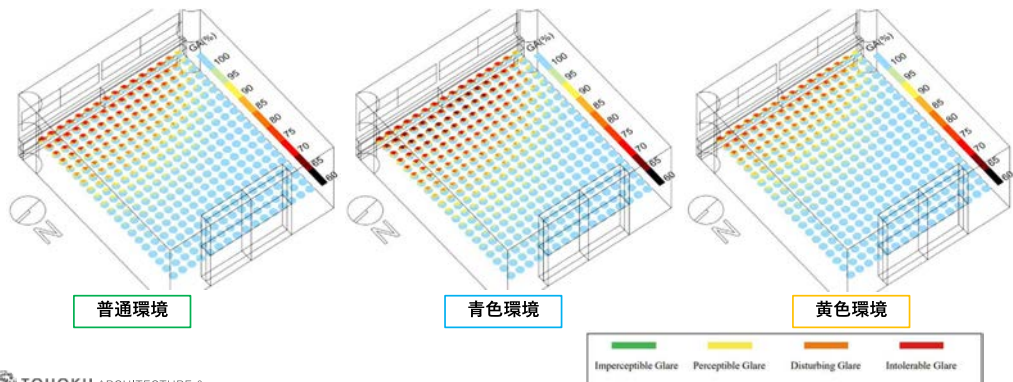
$$= \begin{cases} 1.04 \times DGP + 0.03 & (blue) \\ 0.86 \times DGP + 0.01 & (yellow) \end{cases}$$

- 光色に限らず、行為の影響などを評価しDGPを補正するアプローチも考えられる。



グレアの緩和効果を環境計画に反映する試み

- 適用例として、本研究の被験者実験室を対象として、年間グレアの比率を評価するGlare Autonomyを算出し、補正を適用した。青色環境でグレアが上昇し、黄色環境でグレアが減少。設計時の評価などに適用可能となる。



まとめ

- ✓ 昼光利用を推進する立場で **グレアに対する人の行為、採光装置、光色の影響を被験者実験**で評価した。
- ✓ 光環境の物理計測に基づいて算出可能な、グレア評価指標DGPを基準として、**行為、光色はグレア申告に作用する**ことを確認した。
- ✓ 実験を通じ、**採光装置の適切な利用はグレアを緩和する**可能性を確認した。
- ✓ グレアに関するより深い理解を得ると共に、**グレアの緩和効果を計画の評価等に反映する試案**を提示した。

ご清聴ありがとうございました。

自前の再生可能エネルギー熱を 活用するZEBシミュレーターの開発

長野 克則
北海道大学大学院 工学研究院 教授



北海道古平町複合施設 “かなえーる”

1. 太陽光発電システムと蓄電池が導入された建物における蓄電池充放電と給湯ヒートポンプ運転の最適制御システムの開発

発表論文1:
鄭肖陽, 長野克則: 積雪寒冷地に建つネットゼロエネルギーを目指した役場庁舎の実態調査と躯体蓄熱型放射冷暖房の最適運用に関する研究, 2024年度日本冷凍空調学会年次大会 B341, pp.1-6, 2024.9 福岡

2. 快適性と省エネ性を両立する地中熱利用ヒートポンプ放射冷暖房システムの最適制御システムの開発

～古平町複合施設“かなえーる”を対象として～

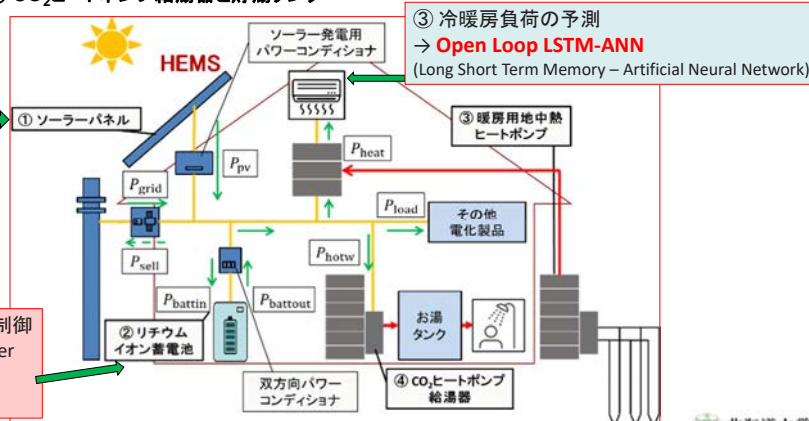
発表論文2:
三浦広成, 長野克則: 積雪寒冷地に建つネットゼロエネルギーを目指した役場庁舎の実態調査と躯体蓄熱型放射冷暖房の最適運用に関する研究, 空調和・衛生工学会 北海道支部第58 回学術講演会C-5, pp.1-4, 2024.3 札幌

以下の再エネ熱利用設備が導入された建物を対象に蓄電池・給湯HP最適運転制御システムを開発

- ① ソーラー発電システム
- ② 蓄電池
- ③ 暖房用 地中熱ヒートポンプ (Ground source heat pump, GSHP)
- ④ CO₂ヒートポンプ給湯器と貯湯タンク

① 太陽光発電システムの発電量の予測
→ K-means clustering
Open Loop LSTM-ANN
(Long Short Term Memory – Artificial Neural Network)

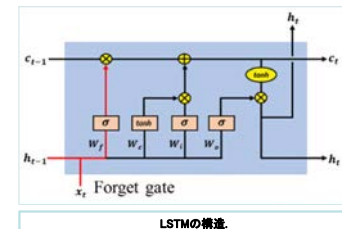
② Li-ion蓄電池の充放電制御
→ MILP (Mixed Integer Linear programming)
(混合整数線形計画法)



• LSTM-ANN (Long Short-Term Memory, 長短期記憶)

• オープンループとクローズドループ予測

- 忘却ゲート、入力ゲートと出力ゲートが含まれた特殊な構造
- 学習を中断させないために、各ステップに忘却と保持する情報を決める
- 勾配消失問題を回避できる
- 時系列データ予測に適する

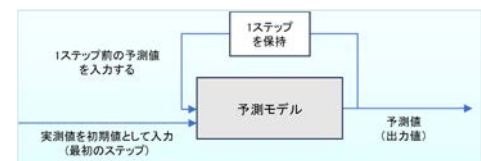


LSTMの構造

オープンループ

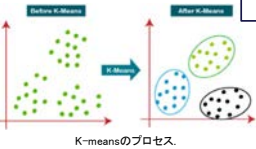


クローズドループ



• K-meansを用いたクラスター分析

n個の観測値をk個のクラスターに分割する。各観測値は、平均値が最も近いクラスターに属する。



K-meansのプロセス

$$W^d = [T_{1-8}^d, T_{9-17}^d, T_{18-24}^d, H_{1-8}^d, H_{9-17}^d, H_{18-24}^d]$$

1日の特徴ベクトル

$$D_H^{d,k} = \sqrt{(T_{cp1-8}^{nk} - T_{1-8}^d)^2} \quad D_H^{d,k} = \sqrt{(H_{cp1-8}^k - H_{1-8}^d)^2}$$

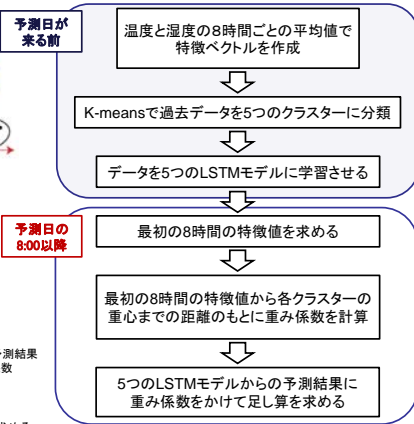
最初の8時間の特徴値から各クラスターの重心までの距離

$$c_k^d = \left(\frac{D_T^{d,k^2}}{\sum_{k=1}^5 D_T^{d,k^2}} + \frac{D_H^{d,k^2}}{\sum_{k=1}^5 D_H^{d,k^2}} \right) / 2$$

5つのLSTMモデル予測結果にかける重み係数

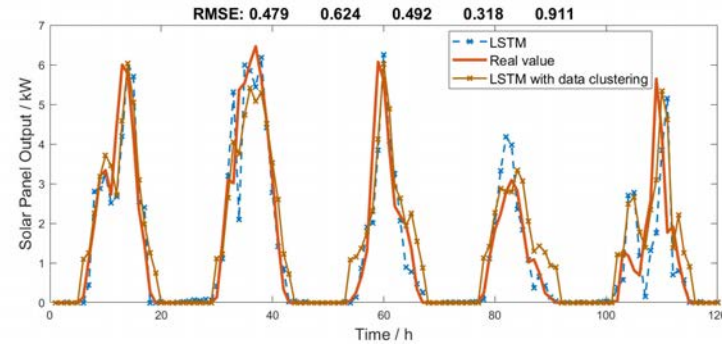
$$R_{pre}^{i,d} = \sum_{k=1}^5 c_k^d R_k^i$$

5つのLSTMモデルから最終の予測結果を求める



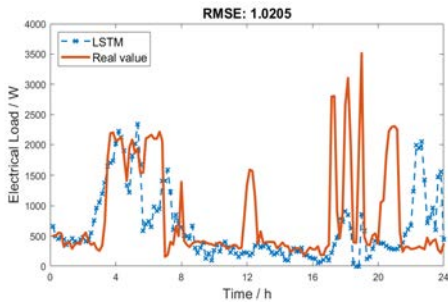
予測日の8:00以降

データクラスタリング付きのオープンループ予測と通常のオープンループ予測の5日間結果比較



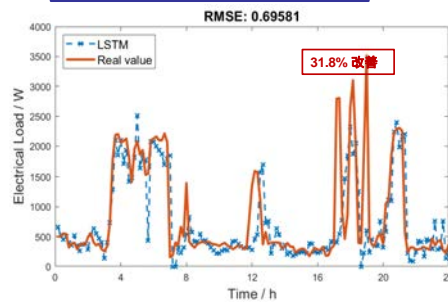
標準偏差:
0.1335 → **0.1148**
14%改善
RMSE平均値:
0.4534 → **0.4401**
3%改善

クローズドループによる計算結果



クローズドループ予測を使った24時間の電気負荷予測結果比較 (2010年4月3日)

オープンループによる計算結果



オープンループ予測を使った24時間の電気負荷予測結果比較 (2010年4月3日)



- ✓ 電気負荷データ: 札幌に建つ4人家族が住むオール電化住宅のもの(北海道電力提供)
- ✓ この電力負荷の予測結果はこの後の最適化で使用する

• 最適問題の解法: 混合整数線形計画法 (Mixed-Integer Linear Programming, MILP)

目的関数 f : 今回は1日の支払い電力料を最小化

$$f = \sum_{i=1}^N (P_{grid}^i \cdot T_{int} \cdot C_E^i - P_{sell}^i \cdot T_{int} \cdot C_S^i)$$

買電料金 売電料金

- 制約条件:
- 条件1: $P_{grid} + P_{pvt} + P_{batout} = P_{load} + P_{batin} + P_{sell} + P_{hpt} + P_{hw}$
 - 条件2: $0 \leq P_{batin} + P_{batout} \leq P_{batm}$
 - 条件3: $S_{min} \leq S \leq S_{max}$
 - 条件4: $0 \leq P_{grid} \leq P_{gridm}$
 - 条件5: $P_{batin} \leq (1-b)P_{batm}$
 - 条件6: $P_{batout} \leq b \cdot P_{batm}$

電気料金	単価
買電価格, C_E	38.04 円/kWh
	(8:00 ~ 22:00)
売電価格, C_S	29.06 円/kWh
	(22:00 ~ 8:00)
売電価格, C_S	16 円/kWh

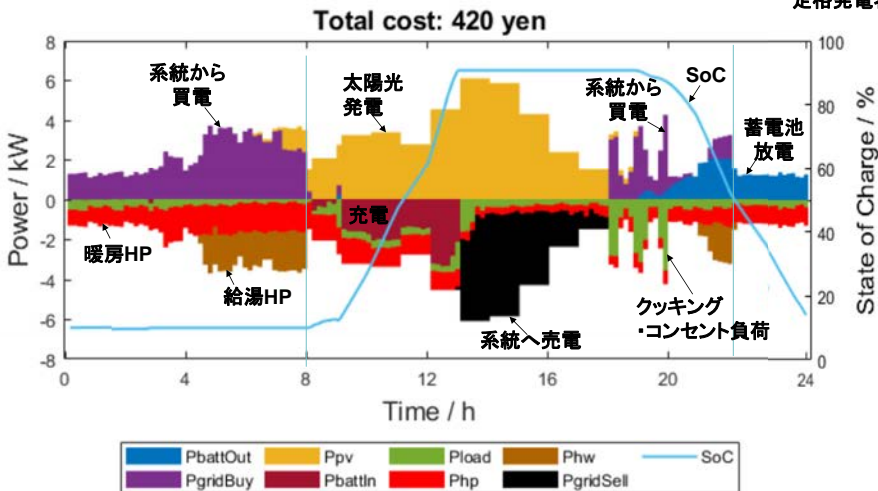
計算条件:

- 蓄電池容量: 9.8 kWh
- 蓄電池最大蓄放電量: 4.0 kW
- 蓄電池充放電効率: 0.95
- SoC許容範囲: 10%~90%
- 系統から最大受電量: 10 kW

逐次更新される実測値を入力して、最適化計算を1時間毎に実行し直し、24時間分の充放電指令パターンを修正していく計算アルゴリズムを取り入れる

1日分の購入電力量が最小となる最適充放電パターンを計算 (4月3日)

* 太陽光発電システム
定格発電容量: 6.75kW



1. 太陽光発電システムと蓄電池が導入された建物における蓄電池充放電と給湯ヒートポンプ運転の最適制御システムの開発

発表論文1:

鄭肖陽, 長野克則: 積雪寒冷地に建つネットゼロエネルギーを目指した役場庁舎の実態調査と躯体蓄熱型放射冷暖房の最適運用に関する研究, 2024年度日本冷凍空調学会年次大会 B341, pp.1-6, 2024.9 福岡

2. 快適性と省エネ性を両立する地中熱利用ヒートポンプ放射冷暖房システムの最適制御システムの開発

~古平町複合施設“かなえーる”を対象として~

発表論文2:

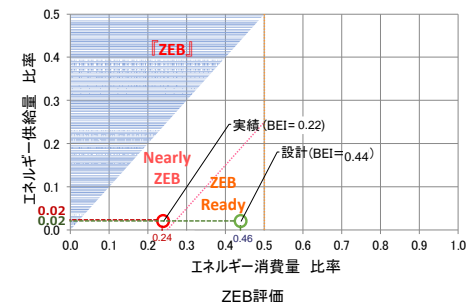
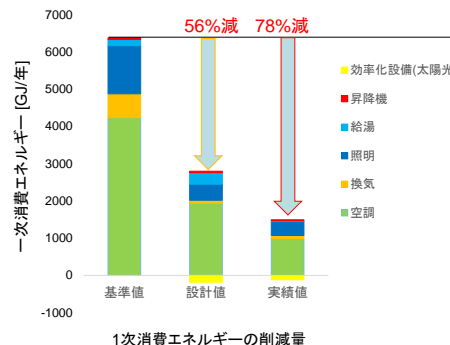
三浦広成, 長野克則: 積雪寒冷地に建つネットゼロエネルギーを目指した役場庁舎の実態調査と躯体蓄熱型放射冷暖房の最適運用に関する研究, 空気調和・衛生工学会 北海道支部第58 回学術講演会C-5, pp.1-4, 2024.3 札幌

建物情報	
所在地	北海道古平町
施設名	古平町複合施設 かなえーる
用途	庁舎、集会所、図書館
規模	地上3階
延床面積	3,887.03 m ²
建築面積	1,323.59 m ²



導入された代表的な省エネ・再エネ技術

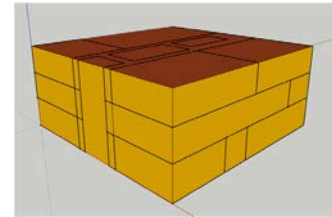
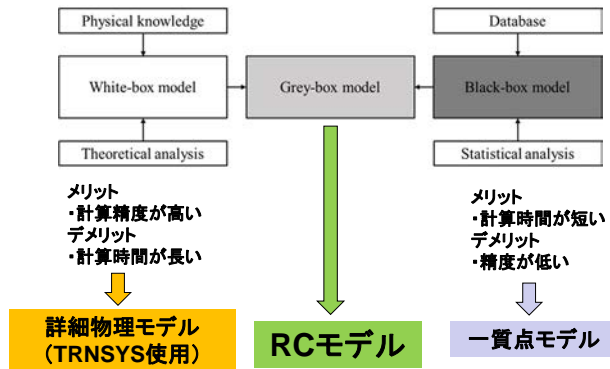
- 地中熱ヒートポンプ (ポアホール: 75m×36本)
- 床・壁の躯体放射冷暖房
- アースチューブ・クールピット
- 外断熱工法 (断熱材厚さ: 150 mm)
- 外壁熱貫流率: 0.223 W/m²K
- タスクアンビエント照明
- 自然換気
- 窓一体型太陽光発電ガラス



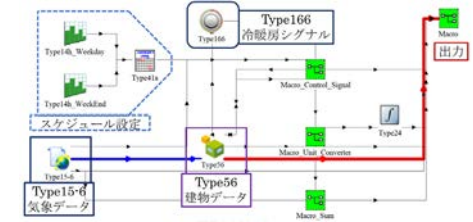
様々な技術導入により、北海道の自治体の建築物としては初めてZEB readyを取得。また、設計段階ではZEB readyであったが、実績値ではBEIが0.2となりNearly ZEBであった

運用段階において、全一次エネルギー消費量に対して空調の占める割合は約7割であった。
 地中熱利用ヒートポンプ放射冷暖房システムの最適制御システムを開発し、さらなる省エネを目指す

シミュレーションモデルの種類

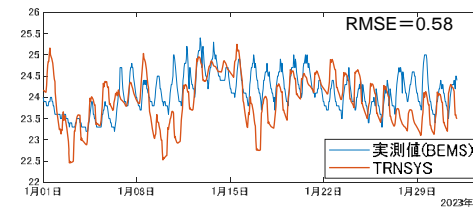


ZEB(古平町役場庁舎)の3次元モデル



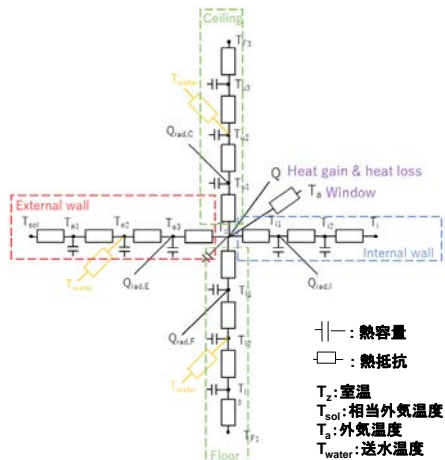
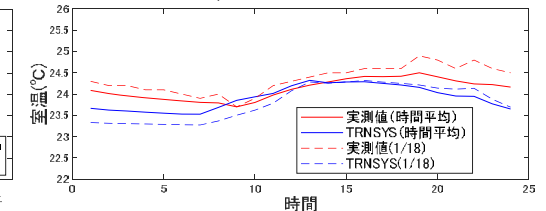
TRNSYS (空調システム、内部発熱など)

室温の計算結果の比較 (2023年1月)



RMSE=0.58となり、実測値とよく一致した。
 一日の気温変動は1℃程度の範囲となっている

代表日(1/18)の室温時間変化の比較



RC熱回路網モデル

微分方程式

$$C_{e1} \frac{dT_{e01}}{dt} = \left(\frac{T_{sol,E} - T_{e1}}{R_{conv,E}} \right) - \left(\frac{T_{e1} - T_{e2}}{R_{cond,E1}} \right)$$

$$C_{e2} \frac{dT_{e2}}{dt} = \left(\frac{T_{e1} - T_{e2}}{R_{cond,E1}} \right) + \left(\frac{T_{pipe} - T_{e2}}{R_{cond,pipe}} \right) - \left(\frac{T_{e2} - T_{e3}}{R_{cond,E2}} \right)$$

$$C_{e3} \frac{dT_{e3}}{dt} = \left(\frac{T_{e2} - T_{e3}}{R_{cond,E2}} \right) + \left(\frac{T_{u3} - T_{e3}}{R_{rad,u}} \right) + \left(\frac{T_{f3} - T_{e3}}{R_{rad,f}} \right) - \left(\frac{T_{e3} - T_z}{R_{conv,i,E}} \right)$$

- 熱量変化量
- 熱伝導
- 放射熱伝達
- 対流熱伝達
- C: 熱容量 [J/K]
- T: 温度 [K]
- R: 熱抵抗 [K/W]

状態空間表現

状態方程式 : $x(t) = Ax(t) + Bu(t)$
 出力方程式 : $y(t) = Cx(t) + Du(t)$
 $x(t)$: 状態ベクトル(各壁面・壁内温度) (26 × 1)
 $y(t)$: 出力ベクトル
 $u(t)$: 入力ベクトル(境界温度・送水温度・熱量) (15 × 1)
 A : 状態行列 (26 × 26)
 B : 入力行列 (26 × 15)
 C : 出力行列 (26 × 26)
 D : 直連行列 (本研究では零行列)

温熱快適性と省エネルギー(コスト、環境性)を同時に満たす様に
 目的関数Jが最小となる24時間
 分のHPからの送り出し温水(冷水)温度の運転パターンを求める

$$J = m(T_z - T_{set})^2 + nE_{HP}$$

快適性 (設定室温との差) HP消費電力量

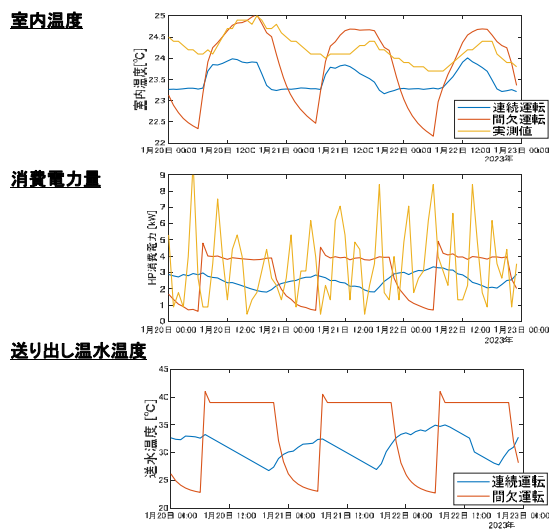
- T_z : 室温 [°C]
- T_{set} : 設定室温 [°C]
- E_{HP} : HP消費電力量 [kW]
- m, n : 快適性と電力量の重み係数 (今回は6:1)
- Q_{HP} : HP放熱量 [kW]
- T_{1in} : HP1次側入口温度 [°C]
- T_{2out} : HP2次側出口温度 [°C]

- ✓ ここで、室内設定温度 $T_{set} = 24°C$
- ✓ ヒートポンプ消費電力量 E_{HP} は実測で得られた以下の地中熱利用ヒートポンプシステムの成績係数COPの近似式から求める:

$$COP = 1.4349 + 1.9464 * Q_{HP} - 0.2723Q_{HP}^2 + 0.0118Q_{HP}^3 + 0.0203T_{1in} - 0.0340T_{2out}$$
- ✓ ヒートポンプ電力消費量 $E_{HP} = Q_{HP}/COP$

開発した古平町役場庁舎のRCモデルを用いて、温熱快適性と省エネルギー(コスト、環境性)を同時に満たす地中熱利用ヒートポンプ放射冷暖房の運転パターンを求める。
 → 最適化問題の解法: 主双対内点法を用いた

代表3日間(1月20日～1月22日)

1か月間のHP消費電力量と電力料金
(2023年1月)

	消費電力量	電力料金
実測値	9.56 GJ	86,279 円
連続運転	8.11 GJ	72,925 円
間欠運転	8.15 GJ	75,929 円

- 最適運転計算による連続運転の電力料金は間欠運転よりも約4%低くすることができる結果となった。また、実測値よりも約15%低い結果が示された。
- 最適運転計算による連続運転の送水温度は日中は低下させることができていた。

1. 太陽光発電システムと蓄電池が導入された建物における蓄電池充放電と給湯ヒートポンプ運転の最適制御システムの開発

→1日毎の購入電力量(CO2排出量、支払い電力料金など)が最小となる最適充放電パターンを毎時、更新しながら連続的に計算が可能であり、実システムの制御に即適用できる

2. 快適性と省エネ性を両立する地中熱利用ヒートポンプ放射冷暖房システムの最適制御システムの開発

～古平町複合施設“かなえーる”を対象として～

→地中熱ヒートポンプ放射冷暖房システムの実COPを考慮した快適性と省エネ性を両立するヒートポンプの送水水温制御による最適運転制御システムを構築した。

緊急事態時を想定した超高速施工システムとサプライチェーンの概念設計

(一財) 大成学術財団 第6回 研究成果発表会
2024年10月24日

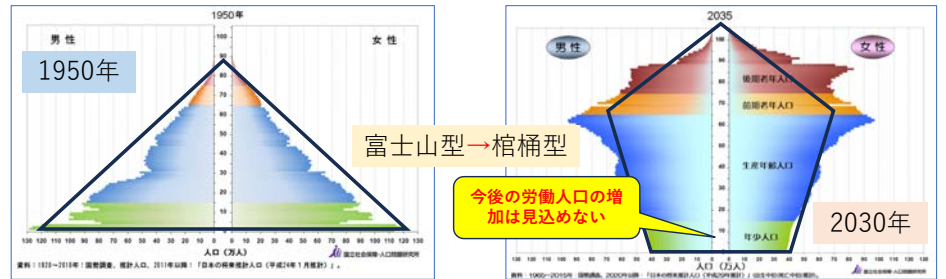
- 遠藤 和義 (工学院大学建築学部 教授)
- 岩村 雅人 (工学院大学建築学部 教授)
- 尾門 智志 (工学院大学建築学部 非常勤講師)

研究の背景

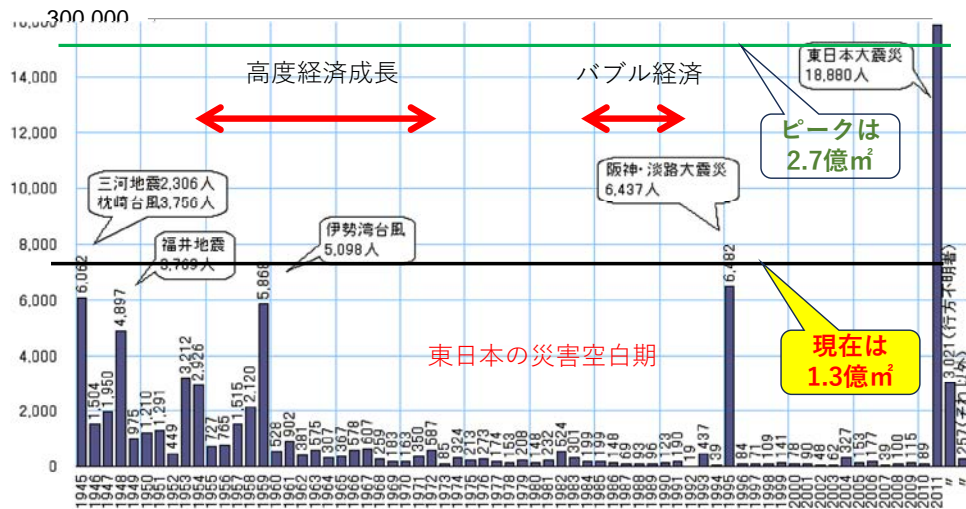
- 大規模災害(地震、気候変動、パンデミック等)の多発



- 人手不足、高齢化→生産システム再構築の必要



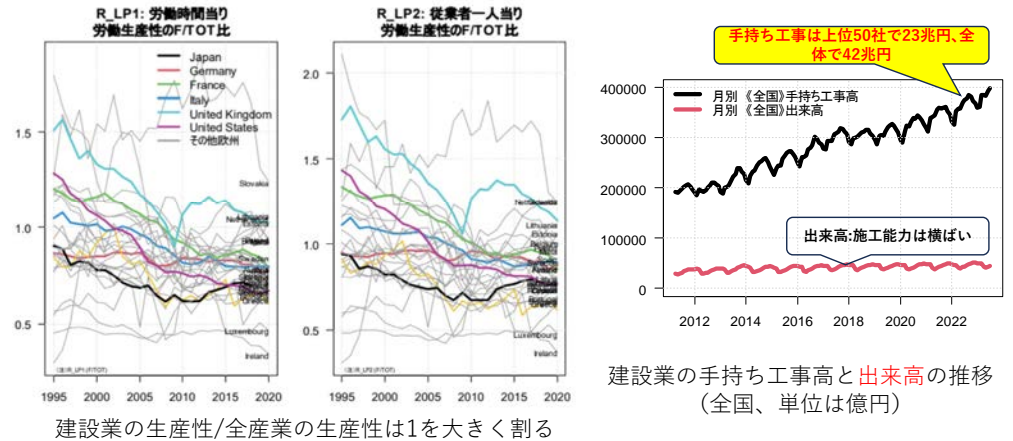
東日本の災害空白期と経済成長期のシンクロニシティ



(注) 1945年は主な災害による死者・行方不明者(理科年表による)。46~52年は日本気象災害年報, 53~62年は警察庁資料

研究の背景

- 建設業の生産性は相対的に低い
→ 雇用のセーフティーネットとしての限界と終焉
→ 建設業は発注者・他産業を現状待たせている



建設業の生産性/全産業の生産性は1を大きく割る

建設業の手持ち工事高と出来高の推移 (全国、単位は億円)

海外の状況は荒唐無稽か？

中国の湖北省武漢市で新型コロナウイルス専門病院として、整備開始から10日後に稼働した「火神山医院」。延べ床面積3万3900m²、ベッド数1000床の巨大施設が驚く間に出来上がった様子は、世界を驚かせた。技術的な側面からこのプロジェクトを分析した場合、日本でも同様の施設を建てることは可能なのだろうか。日経クロステックでは、数多くの病院整備で建設コンサルタントを務めてきたプラスPM（大阪市）に火神山医院の分析を依頼した。



プロジェクト開始から10日で建設された中国・武漢の「火神山医院」。建設現場などで利用される「ユニットハウス」を組み合わせたつくりになっている（写真：新華社/アフロ）
（画像のクワックで拡大表示）

プラスPMコンストラクション・マネジメント（CM）部の馬渡康隆氏は、「火神山医院の建設過程を写真や映像で検証すると、日本でも同じような医療施設を突貫工事で建てることは、技術的に可能だ」と言う。

馬渡氏は、「火神山医院の構造は、建設現場で作業員の休憩所などに利用される

中国の湖北省武漢市で新型コロナウイルス専門病院として、整備開始から10日後に稼働した「火神山医院」。延べ床面積3万3900m²、ベッド数1000床の巨大施設が



Structure Installation: 20 Days
Interior Decoration: 180 Days

S30 Apartment
Location: Xiangyin, China
Floors: 30
Building Area: 57,312 m²
Year of Construction: 2012
Structure Installation: 20 Days
Interior Decoration: 180 Days
Application: Dormitory

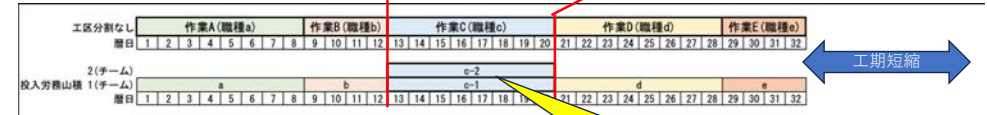
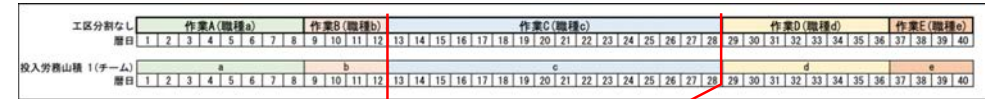
DfMAという潮流(OSM、MMC等含む)
Design for Manufacture and Assembly



Examination Of The Key Issues Relating To Progress on The Adoption of Modern Methods of Construction (MMC), Digital Technologies and Innovation across Europe

施工高速化の手法

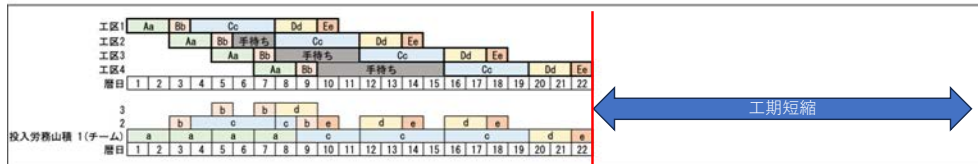
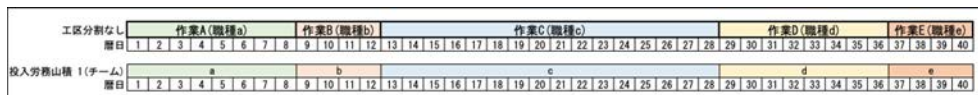
- ① 突貫工事：労務量増(人数、時間)：Q↓C↑S↓
- ② 作業の短縮：労務↑、資機材↑、プレファブ化
- ③ 工区分割の導入（並行作業）



投入労務を2倍にして工期短縮 → 人手不足で困難

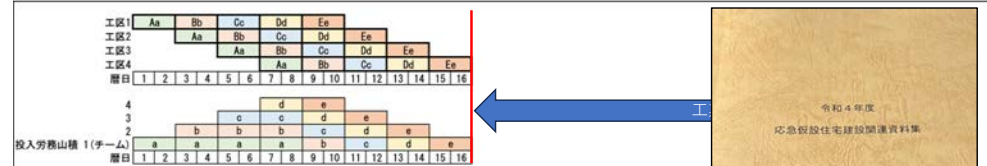
施工高速化の手法

- ① 突貫工事：労務量増(人数、時間)：Q↓C↑S↓
- ② 作業の短縮：労務↑、資機材↑、プレファブ化
- ③ 工区分割の導入（並行作業）



施工高速化の手法

- ④ 工区分割 + 同期化(全ての作業の作業日数を同一化)

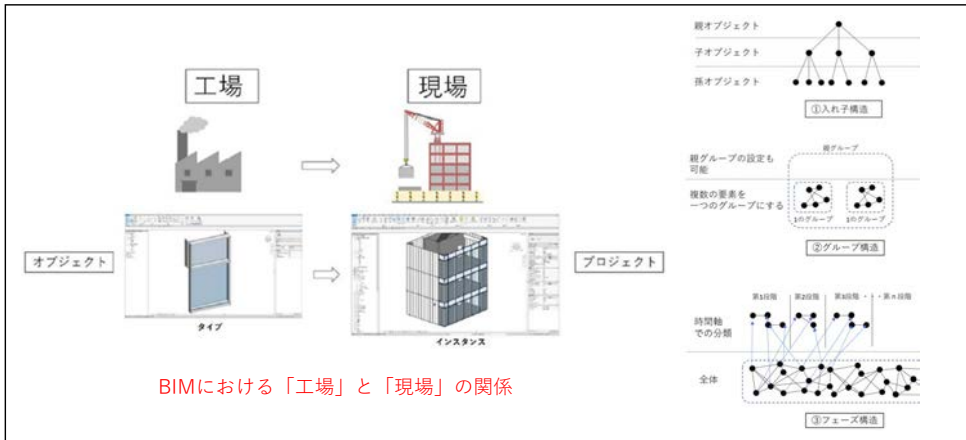


問題はこの工程に設計やサプライチェーンをいかに同期させるか

災害救助法を根拠としたシャドワーク

一般社団法人 プレハブ建築協会

Building Information Modeling導入



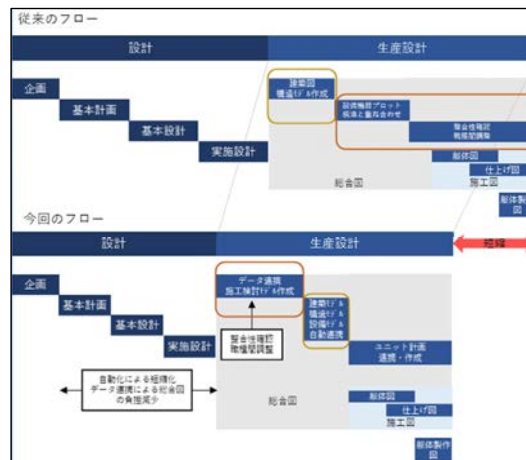
本研究チームが進めてきたBIMの構造的特性、「群」機能を適用

サプライチェーンの概念設計

- 緊急事態下における医療施設を具体的題材とし、BIMの構造的特性を活用しながら、**建築生産ワークフローの高速化検討の手順を示す。**
- 検討方法は以下のステップによる。
 - (1) ワークフローの検討
 - (2) 病院機能の分類とユニット手法の検討
 - (3) BIMモデルの作成とユニットカタログ化
 - (4) ゾーニング検討手法とユニット自動配置手法の整備
 - (5) 設計検討ユニットへの置き換えとパーツ化の検討

ワークフローの高速化

- ① 設計段階の高速化：機能単位をユニットモデル化「**カタログ**」の整備
- ② 生産設計段階の高速化：**設計検討ユニット**によるユニット化・パーツ化
- ③ 施工段階の高速化：意匠・構造・設備一体の**ユニット・プレファブ**



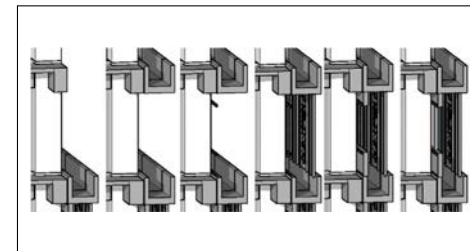
ワークフローの高速化

設計検討ユニット

施工ユニット

現実のユニットとして製作可能なものを再現

- 施工ユニットオブジェクト活用メリット例
- ・運搬・揚重・設置等の具体的な検討を迅速化
 - ・ユニット製作期間を容易に算出
 - ・変更時のコスト検討にも迅速に対応

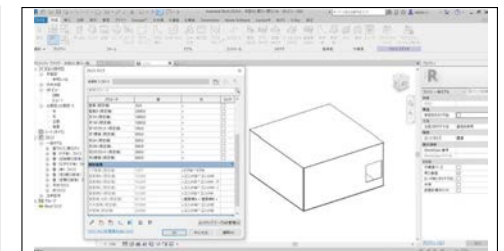


施工ユニットオブジェクト例
～PCa化モデル～

設計検討ユニット

現実の世界ではユニット化し得ないものも対象

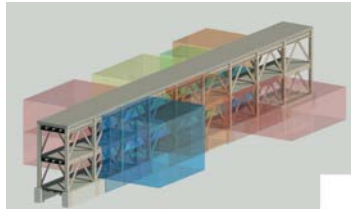
設計検討ユニットオブジェクト例 ～部屋ユニットモデル～



設計検討ユニットオブジェクト例
～部屋ユニットモデル～

病院機能の分類とユニット手法の検討

- 病院のゾーニング・動線計画の整理を基に、建物機能構成の単純化
- 主要動線・主要設備ルートを集約した「センターコリドー」の設定
- センターコリドーから分岐する機能ゾーニングごとのユニット化

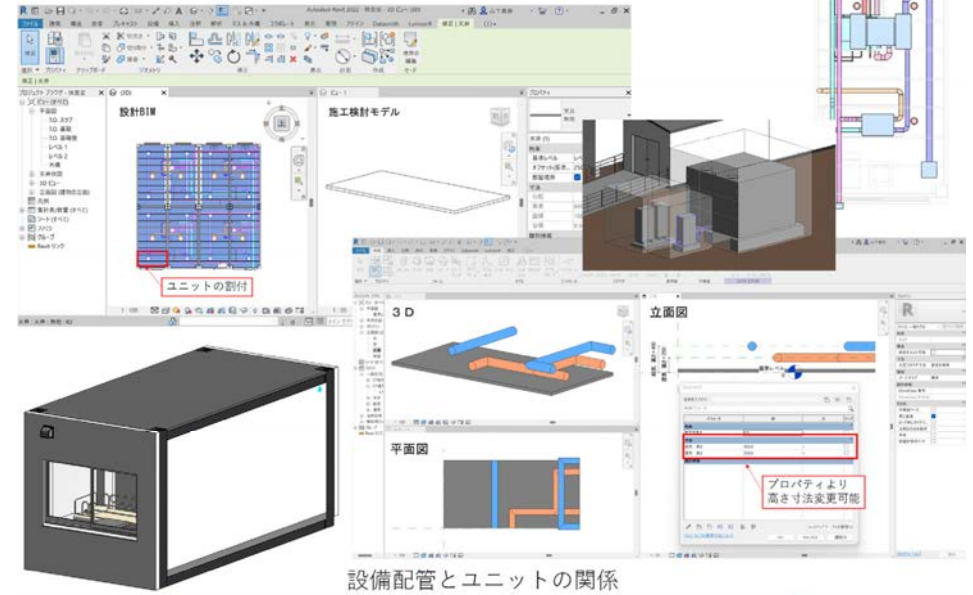


センターコリドーと機能ユニットのイメージ図



センターコリドー概念図

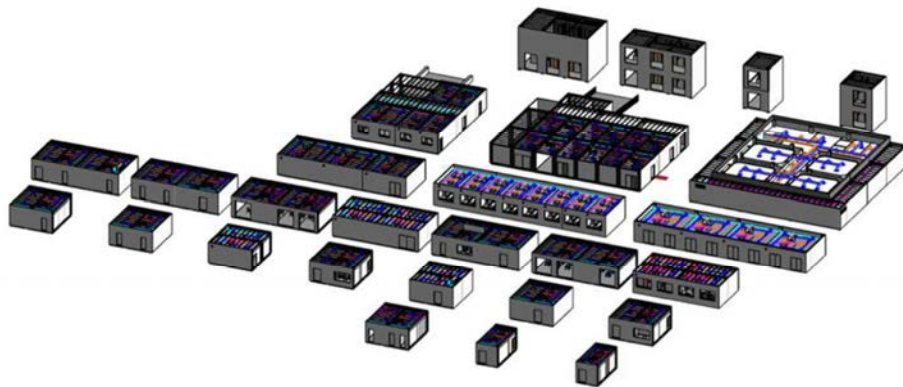
ユニット等の設計の実際



設備配管とユニットの関係

BIMモデル作成とユニットカタログ化

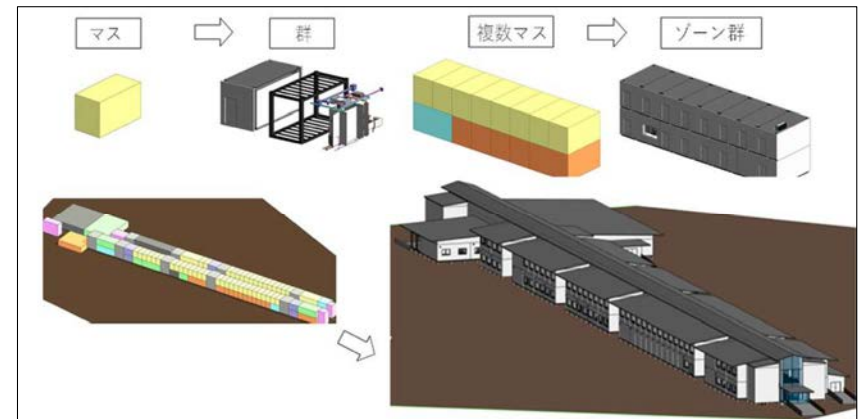
- 標準的なプランに基づいて意匠・構造・設備BIMモデルを作成
- グループ機能を利用して「群」を設定し、性能など仕様情報も付加
- “群”を、BIMのプロジェクト空間に並べて「カタログ」化



カタログ化したユニット群

ゾーニングとユニット自動配置

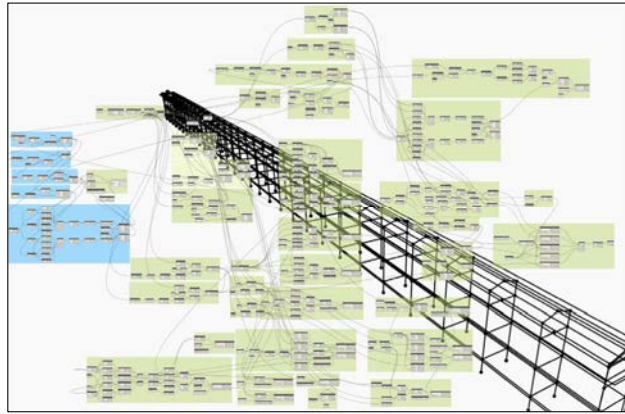
- 設計初期にはボリュームモデルを用いてゾーニング検討を迅速化
- ゾーニングプランが固まったところでゾーンモデルに置き換え
- プログラミングを用いて自動化し、配置検討には多目的最適化導入



ボリュームモデルから、ゾーンモデルへの置き換え

ゾーニングとユニット自動配置

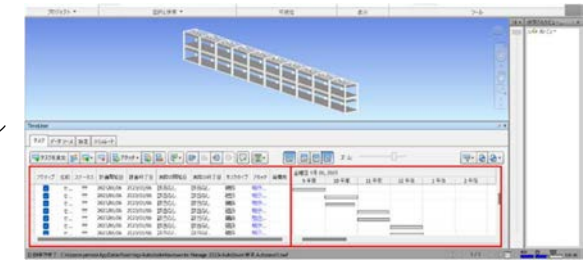
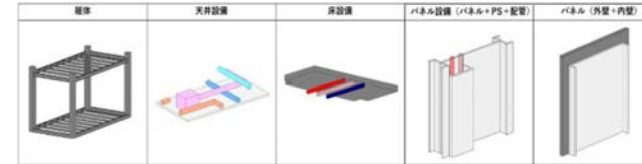
- 設計初期には**ボリュームモデル**を用いてゾーニング検討を迅速化
- ゾーニングプランが固まったところで**ゾーンモデル**に置き換え
- プログラミングを用いて**自動化**し、配置検討には多目的最適化導入



Dynamoを用いたユニット配置のプログラム

設計検討ユニットへの置き換えとパーツ化の検討

- ユニット施工、プレファブ化の検討では、**設計検討ユニット**を活用
- **単一のカテゴリーのモデルに置き換える**ことで、意匠・構造・設備
- モデルの分割・一体化作業がし易くなり、**パーツ化の検討を迅速化**



施工パーツ化と4Dシミュレーション

研究の成果

- 超高速施工のニーズと背景の整理
- 超高速施工の手法の整理
- 超高速施工に同期したBIMによるワークフローの高速化の検討
- BIMによるユニット生成を用いたカタログ化と空間の自動配置の検討



景観シミュレーションソフト (Lumion) への連携

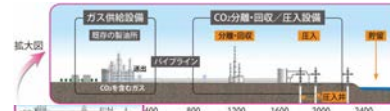
二酸化炭素ハイドレートによる地盤改良 技術の開発とカーボンリサイクル

Challenges to Carbon Recycling with Ground
Improvement Technique by CO₂ Hydrate

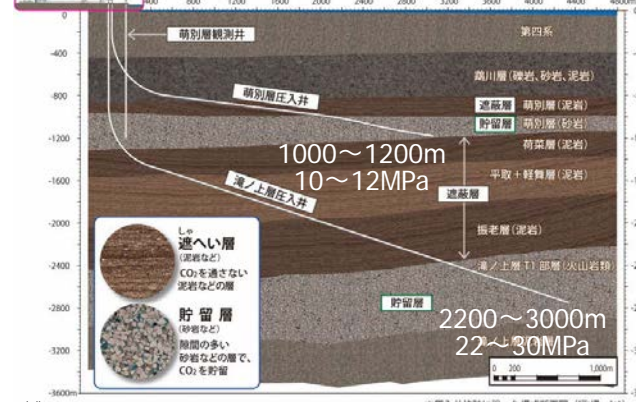
山口大学 大学院創成科学研究科
工学系学域 社会建設工学分野

吉本 憲正

背景及び目的

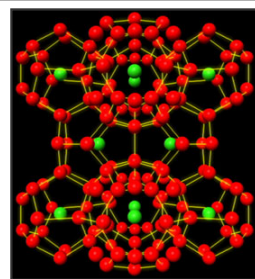
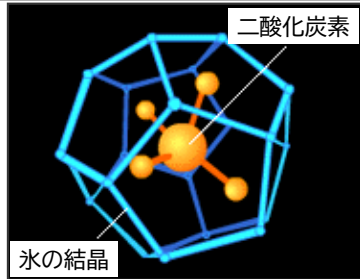


苫小牧の実証実験: CO₂を圧入して超臨界状態で貯留
 ≪多くのエネルギーが必要!≫

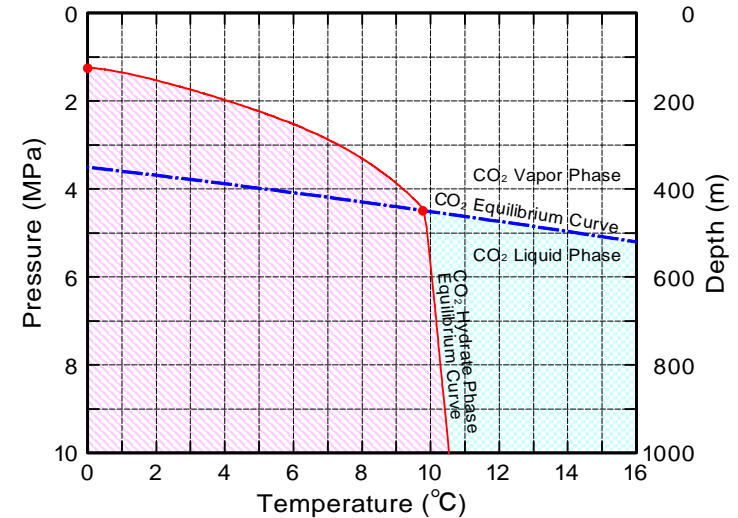


CO₂ハイドレートで貯留できないか?
 ハイドレートとは、ある温度圧力下で生成される多量のガスを含んだ固体
 比較して、低い圧力で貯留可能
 ハイドレートのセメンテーション効果による地盤改良も期待!
 海底地盤の表層付近を想定し、CO₂ハイドレートの生成とハイドレートによる地盤の強度変化を調査

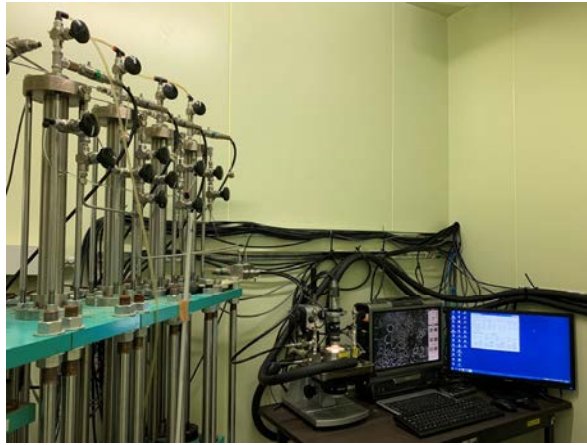
二酸化炭素ハイドレート(CDH: Carbon Dioxide Hydrate)



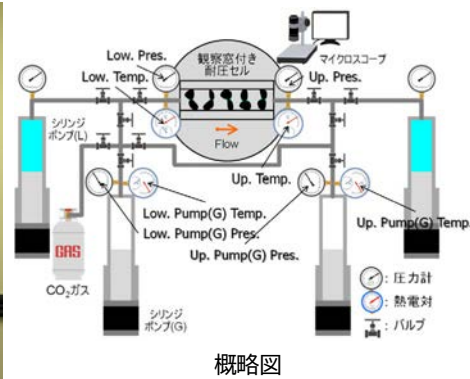
二酸化炭素の相平衡曲線



ハイドレート観察用実験装置の写真と概略図



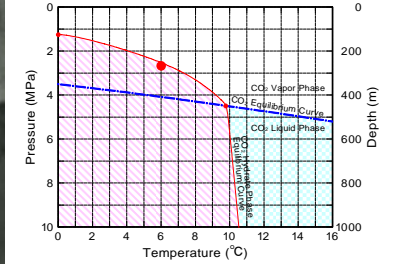
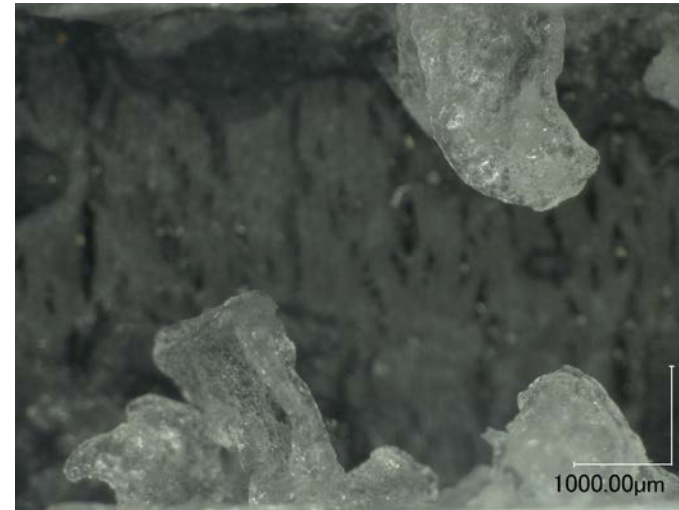
全景



概略図

CO₂ハイドレートの画像

E 1211 min 2.6 MPa 6.0 °C



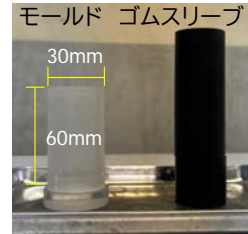
ハイドレート用低温高圧三軸圧縮試験装置



側液温度管理装置



全景

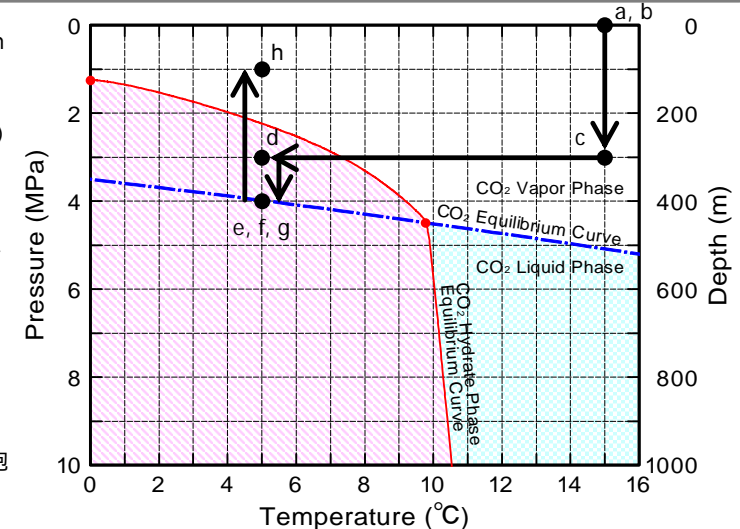


セル内部

試験方法及び試験条件

豊浦砂: $\rho_s=2.665$, $d_{50}=0.21\text{mm}$

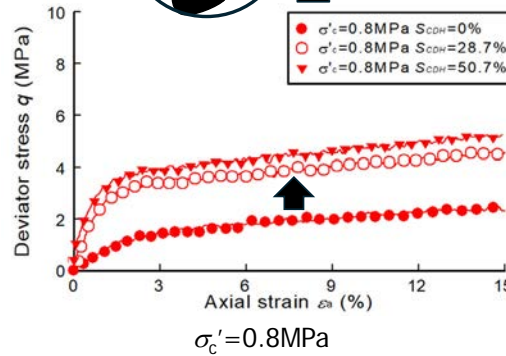
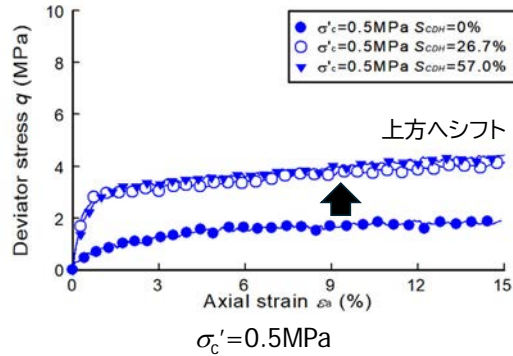
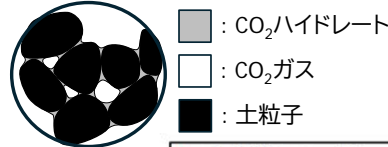
- 凍結供試体設置(セル内)
- 不凍液(15°C)の充填(セル内)
- 供試体内にCO₂ガス充填(3MPa)
- CO₂ハイドレート生成領域の温度に保持(5°C)
- 間隙圧を増圧(4MPa)
- 圧密($\sigma'_c = 0.5, 0.8, 1, 3\text{MPa}$)
- せん断(0.1%/min)
- CO₂ハイドレートの分解(ガス量の計測, ハイドレート飽和率の算定)



実験結果(せん断挙動)

S_{CDH} : CO₂ハイドレート飽和率, 間隙中のハイドレートの割合

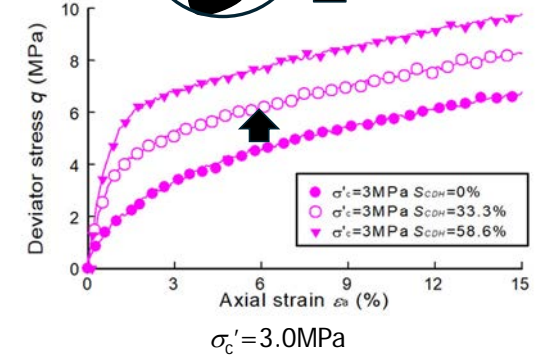
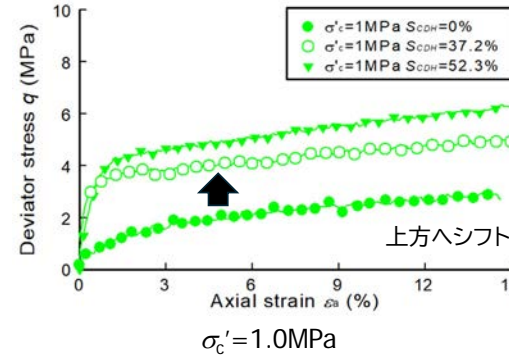
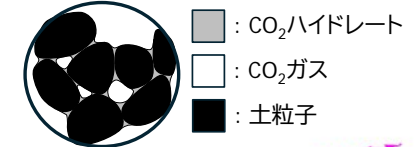
ガス飽和条件,
B.P.=P.P.=4.0MPa(CO₂ガス圧),
ひずみ速度=0.1%/min



実験結果(せん断挙動)

S_{CDH} : CO₂ハイドレート飽和率, 間隙中のハイドレートの割合

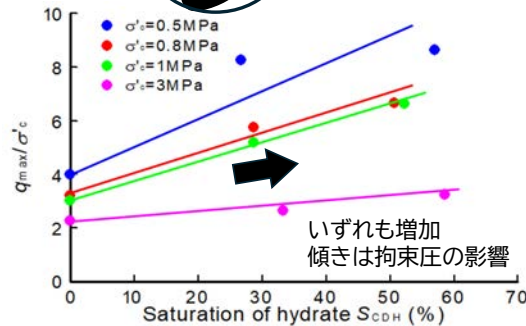
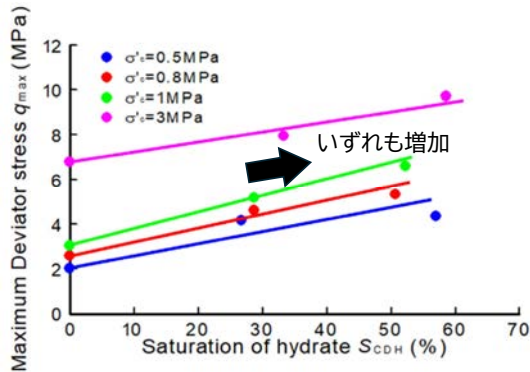
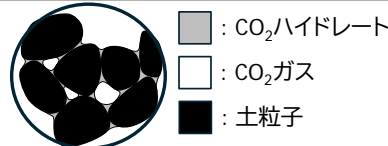
ガス飽和条件,
B.P.=P.P.=4.0MPa(CO₂ガス圧),
ひずみ速度=0.1%/min



実験結果(せん断強度)

S_{CDH} : CO₂ハイドレート飽和率, 間隙中のハイドレートの割合

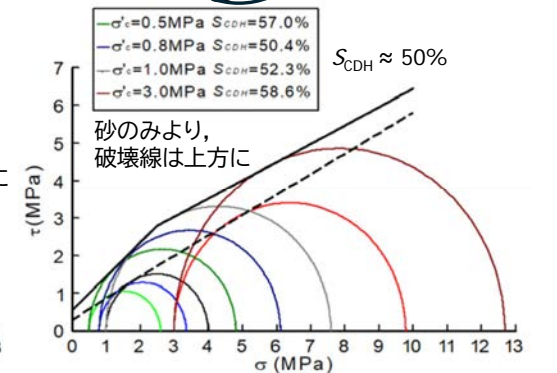
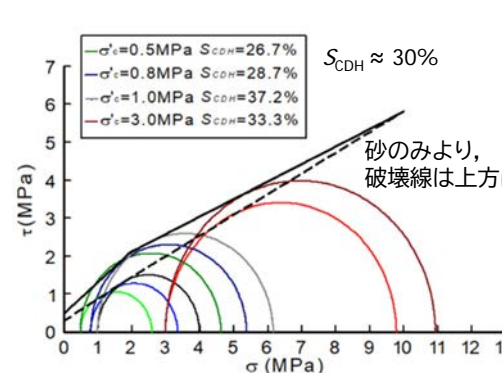
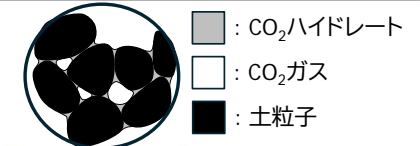
ガス飽和条件,
B.P.=P.P.=4.0MPa(CO₂ガス圧),
ひずみ速度=0.1%/min



実験結果(せん断強度)

S_{CDH} : CO₂ハイドレート飽和率, 間隙中のハイドレートの割合

ガス飽和条件,
B.P.=P.P.=4.0MPa(CO₂ガス圧),
ひずみ速度=0.1%/min

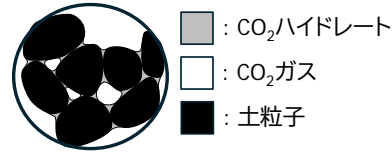
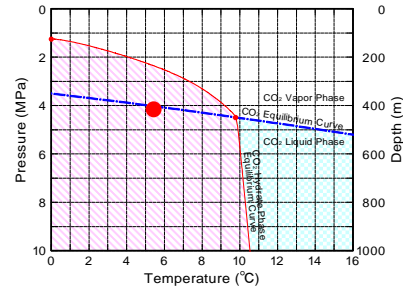


まとめ

- 水深約400m程度の深海底の**圧力**, その海底地盤表層付近の**低有効拘束圧**, そして, 二酸化炭素ガス環境下において, 砂中に二酸化炭素ハイドレート(CDH)を**生成**できた。
- 二酸化炭素ハイドレート(CDH)の効果により, **高いせん断強度を発現**することが確認された。
- これらのことから, CDHによる**地盤改良も期待**できる。

今後について

- 土粒子とCDHと水という状態も考えられる. そのような状態でもCDHは保持され, せん断強度も保持できるかを調査しておく必要がある。
- 適用範囲を広げることを考えると, CO₂ガスだけでなく, 液体CO₂を圧入することによるCDHの生成についても検討しておく必要がある。



砂中での生成イメージ

ご清聴ありがとうございました

謝辞

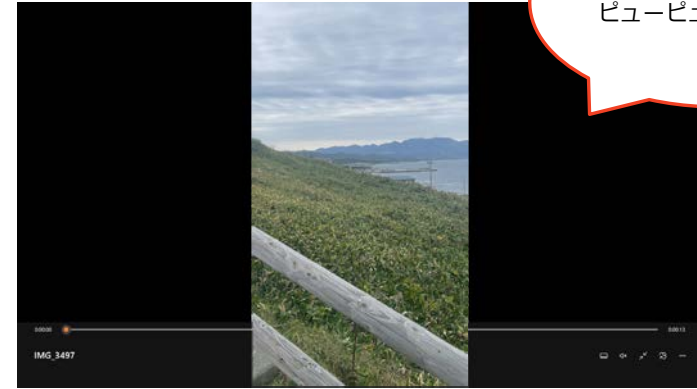
本研究は, 一般財団法人 大成学術財団の助成及び, 中電技術コンサルタント株式会社の支援を受けて実施したものです. また, 試験の実施にあたり, 元生優作氏(山口大学大学院創成科学研究科), 津田亘耀氏(山口大学工学部)にご協力いただいた. 記してここに謝意を表します.

空力音源の位置同定と周波数特性解析に基づく街中の風速推定

京都大学防災研究所 西嶋一欽



実際に強風時に鳴っている音



ゴーっという音ではなく、
ピューピューという音

襟裳岬

研究の背景と目的

◆ 背景

- 都市空間内の流れは局所的な現象であるにもかかわらず、風速観測点数は限られている。
例) 現行の気象観測システムのAMeDAS¹⁾やPOTEKA²⁾の観測点は約10 ~ 20 km 間隔で点在。
- 都市空間内の風況予測には風洞実験や数値流体解析が活用されている。
これらの結果の妥当性を検証するために都市空間スケールで観測された風速場のデータが必要である。

◆ 目的

- 本研究では強風時に街中で聞こえる「ピューピュー」という音
(= 電線や手摺などの柱状物体の後流で生じるカルマン渦列に伴い発生する音)
を利用した風速計測技術を開発することで、都市空間における稠密な風速場計測に寄与する。
- 開発する風速計測手法で実際に風速を測定することができるかを実験によって検証する。

1) 気象庁. "地域気象観測システム(アメダス) | 気象庁. <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html> (参照 2024-08-15)

2) 明星電気株式会社. "アメダスの明星電気が提供するIoT技術を用いた | MEISEI[POTEKA ポテカ]超高密度気象観測・情報提供サービス" <https://www.meisei.jp/poteka/> (参照 2024-08-15)

風速推定のコアとなるアイデア



円柱状物体

ストローハル数

$$St = \frac{fD}{U} \quad (1)$$

f : 渦放出周波数 [Hz]

D : 断面直径 [m]

U : 風速 [m/s]

レイノルズ数が $5 \times 10^2 < Re < 2 \times 10^5$ の範囲にあるとき、
ストローハル数 St が約 0.2 になることが知られている



断面直径と渦放出周波数を知ることができれば、
式(1)より風速を推定できる

風速推定手順と研究課題

step 1 (録音)

- ・ 強風時に電線や手摺から発生するエオルス音・振動音を複数のマイクロフォンアレイで録音する
- ・ 録音データから渦放出周波数に対応するピーク周波数 f を得る → **渦放出周波数**

step 2 (音源同定)

- ・ それぞれのマイクロフォンアレイから音源方向を推定し音源となっている円柱状物体を特定する
- ・ 実地で寸法を測定 / 規格を確認するなどにより柱状物体の断面径 D を得る → **断面直径**

step 3 (風速推定)

- ・ 渦放出周波数に関する式(1)から風速を推定する

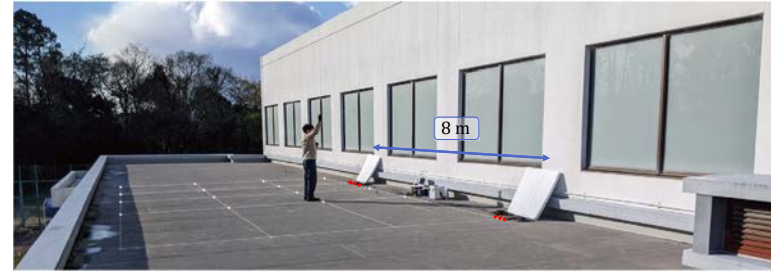
【研究課題】

課題 1 : どうやって音源を同定するのか?

→ 複数のマイクロフォンアレイで推定された音源方向が交わる点に音源があるはず

課題 2 : 録音された音をスペクトル解析すれば、本当に風速を推定できる?

【課題 1】エオルス音の音源同定 概要



実験風景 (・ マイクロフォン (135 mm 間隔))

エオルス音を発生させる方法

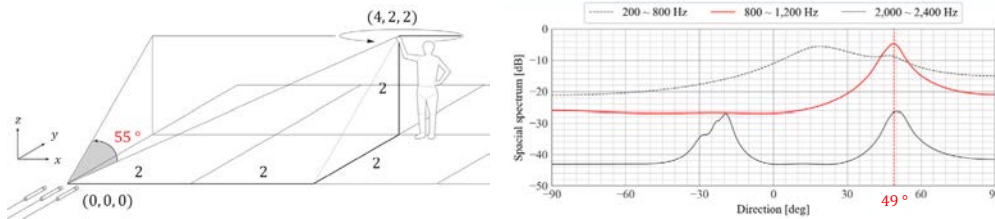
- ◆ 直径 4.5 mm の円形断面を持つ長さ 1 m のケーブルを約 30 秒間 振り回してエオルス音を発生させる
- ◆ 3個の無指向性マイクロフォンを 135 mm 間隔で並べたアレイ × 2 組を 8 m 離して配置した

註) 録音機材は小野測器 無指向性マイクロフォン M1-1235 および アンプ M1-3111 を使用した

- ◆ 上記の計測を音源位置を変えながら複数回実施した (白丸)

▶ 周波数 1,000 ~ 1,200 Hz 程度のエオルス音が発生する (ケーブルの回転速度と断面径から計算される周波数と同じ)

【課題 1】エオルス音の音源同定 結果



マイクと音源の位置関係 (一例)

周波数帯別 空間スペクトル (一例)

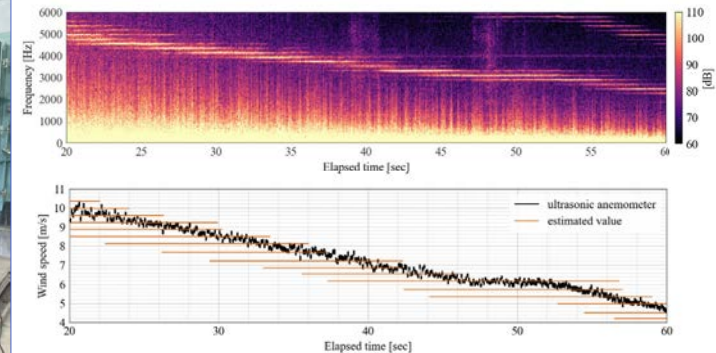
- ◆ 仮定
 - (1) マイクロホンに到達する音波は平面波とみなす (マイクロホン間隔に対して音源までの距離が遠いため)
 - (2) エオルス音を発生させるケーブルを点音源とみなす
- ◆ 方法 : 相互相関法・MUSIC法
- ◆ 結果 詳細は(3)に記載
 - ・ エオルス音の周波数成分が周囲の雑音よりも卓越している場合には相互相関法・MUSIC法いずれの方法であっても音の発生源となる物体を特定できるほどの精度 (音源方向 $\pm 12^\circ$ 以内) で音源方向を推定することができる
 - ・ 音源方向の推定がうまくいかない場合にはエオルス音が聞こえないもしくは周波数成分が著しく小さい

3) Yoshikawa, S., Nishijima, K., Okaze, T., Takano, Y., Feasibility of eolian sound for urban wind speed estimation, Japan Architectural Review, doi:10.1002/2475-8876.12424, 2024.

【課題 2-1】風速推定の検証実験 (屋内・風洞) 概要&結果



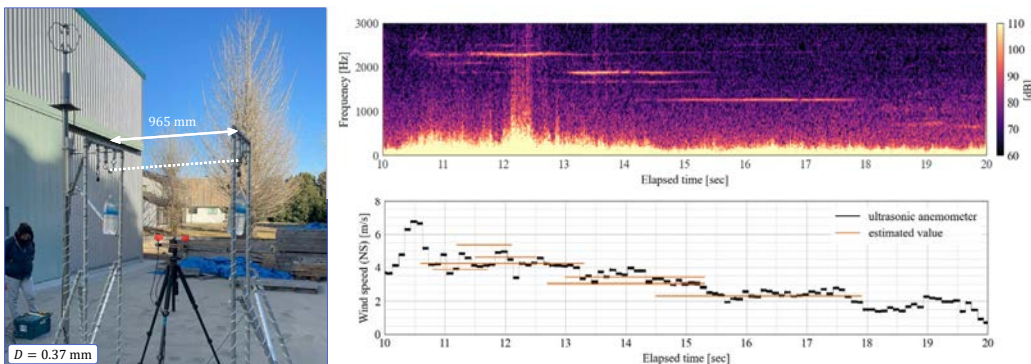
実験風景 録音機材は【課題1】に同じ



スペクトログラム(上)と風速の時刻歴波形(下)

- ◆ 超音波風速計で計測した風速値と振動音から推定される風速値は対応している
- ◆ ピーク周波数が等間隔で離散的に生じており、弦の固有振動数の振動が生じていると考えられる
- ◆ 風洞から吹き出す風の速さを徐々に落としていくと、振動音のピーク周波数は風速に追従する

【課題 2-2】 風速推定の検証実験 (屋外・自然風) 概要&結果



実験風景 録音機材は【課題1】に同じ

スペクトログラム(上)と風速の時刻歴波形(下)

- ◆ 振動音の周波数から平均的な風速を推定することができる可能性が示されている
- ◆ 風速の弦直交成分が卓越している時間帯を選定
- ◆ 一定のピーク周波数の音がある程度継続して発生する (弦の固有振動数と考えられる)

結論

- 本研究の目的は、円柱状物体の後流に発生するカルマン渦列に伴い発生する音に基づいて風速を計測する技術を開発することである。いくつかの実験を通じて得られた知見を以下に示す。

【課題1】 エオルス音の音源同定

- ▶ マイクロフォンアレイでエオルス音を録音することで、音の発生源となる柱状物体を特定する精度(音源方向 $\pm 12^\circ$ 以内)で音源方向を推定できることを示した。音源推定には相互相関法・MUSIC法を使用した。

【課題2-1】 風速推定の検証実験 (屋内・風洞)

【課題2-2】 風速推定の検証実験 (屋外・自然風)

- ▶ 有風下に置かれた円柱状物体の後流に発生したカルマン渦列による**振動音の周波数から平均的な風速を推定できることを示した**。風速を推定するには関係式 $fD/U = St \approx 0.2$ ($Re: 5 \times 10^2 \sim 2 \times 10^5$) を利用する。

- 以上のことから、**カルマン渦列発生に伴う音(エオルス音・振動音)から風速を推定できる可能性を示した**。今後は街中で自然発生しているカルマン渦列に伴い発生する音から、音源を同定し風速を推定できるかどうかを検証する予定である。

成果：国際査読付き論文 1 編 (採択)、日本建築学会大会梗概、国内査読付き論文 1 編 (投稿中)

襟裳岬での録音した音のスペクトログラム

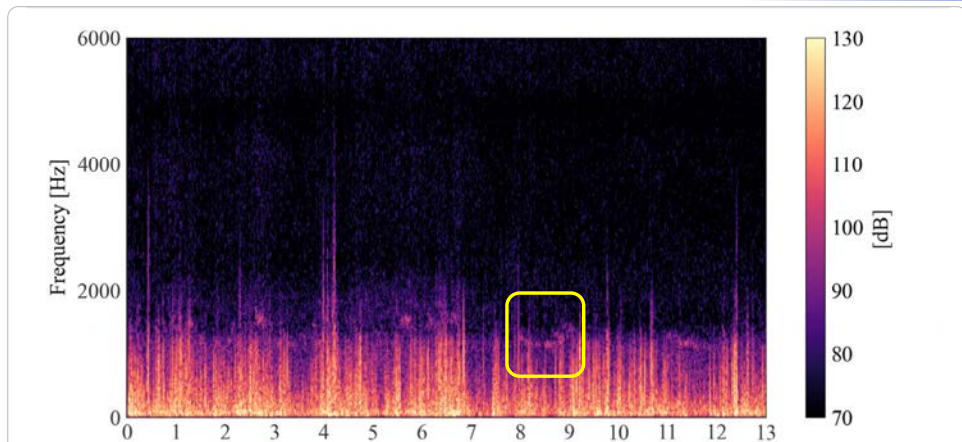


図1: スペクトログラム(サンプリング周波数44100Hz: サンプル数 $N = 2048$: オーバーラップ率 75%: Hann窓)

8~9 秒, 11~12 秒の 1200 Hz の音がエオルス音と考えている音(?)

音圧レベル

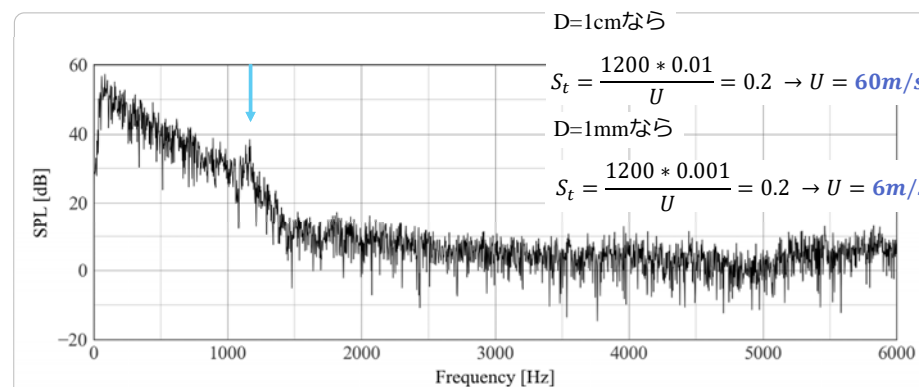


図2: 計測開始から8-9秒間の音圧レベル(各フレームのサンプル数 $N = 16384$)

各フレームのSTFTの絶対値の幾何平均(上記では計2フレーム)を計算している

1200Hz付近のピークがエオルス音と考えている音(?)

近年の豪雨災害データベースに基づく 洪水氾濫時の家屋被害関数の構築

東京理科大学 二瓶泰雄

創域理工学部社会基盤工学科 教授

総合研究院マルチハザード都市防災研究拠点長

分担者: 柏田仁 (東京理科大学助教)

協力者: 久田嘉章 (工学院大教授, 建築)

写真引用: 朝日新聞デジタル

一般的な建築物の設計

洪水氾濫は対象外

耐震○

耐風○



耐火○

耐水(×)

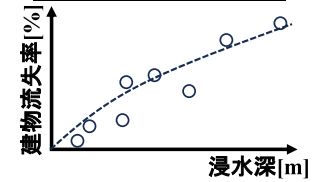


耐水建築の開発が急務

建物被害関数

災害外力と建物被害の関係式

被害関数のイメージ



既往研究

- ・事例数: 津波, 地震 >> 洪水氾濫
- ・洪水指標: 流速や流体力の考慮
- ・建物特性: 築年数・構造の考慮 ×

目的 洪水氾濫時の建物被害関数の構築

- 特** ①過去の豪雨災害データベースを使用
- 徴** ②一棟一棟の流体力評価が可能な数値モデル開発
- ③建築専門家協力で建物構造分類, 構造別建物被害関数構築

方法1: 洪水氾濫時建物災害データベース①

3/16



建物被害分類

流失

半壊大

半壊小

方法1: 洪水氾濫時建物災害データベース②

4/16

H27関東東北豪雨・鬼怒川



R1東日本台風・千曲川



R2年7月豪雨・球磨川

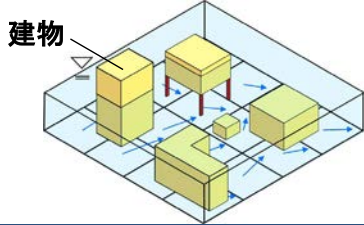


方法2: 流動モデルの開発①

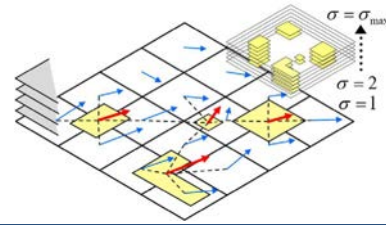
5/16

コンセプト 10m程度の格子解像度で一棟一棟の家屋への流体力算定可能

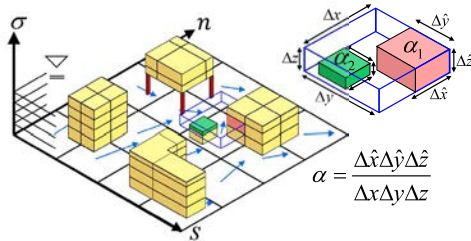
問題点 計算格子に建物がまたがる
1つの格子に複数建物が含まれる



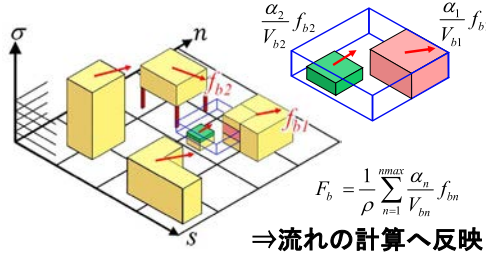
Step1 建物重心で流速内挿
建物1棟1棟の流体力算出



Step2 建物を計算格子で分割
各格子の占有率算出



Step3 建物毎の流体力を体積占有率
に基づいて各格子へ配分



方法2: 流動モデルの開発②

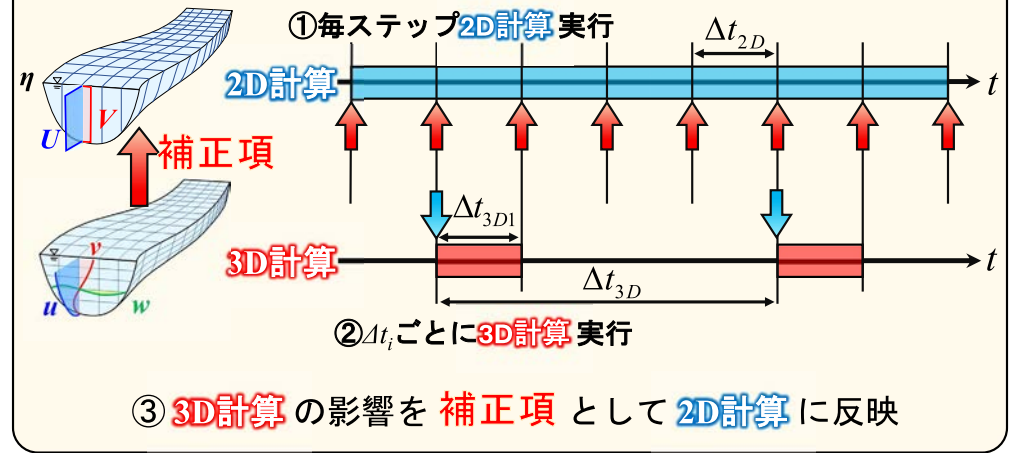
6/16

広域の河川流・氾濫流を一体
&
三次元性を考慮

Hy2-3Dモデル (Kubota et al., 2023)

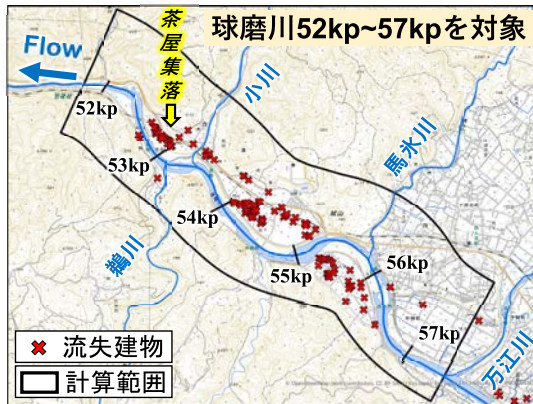
3D計算と2D計算を併用
高い計算効率性を実現

Hy2-3Dモデル概念図



方法2: 計算条件例 令和2年7月豪雨・球磨川

7/16



水位が堤防を大きく上回り、
広範囲で流下型氾濫が発生

氾濫域で高流速・大水深
多数の建物流失が発生

流動モデル Hy2-3Dモデル (Kubota et al., 2023)

計算期間 2020/7/4 7:00~11:00

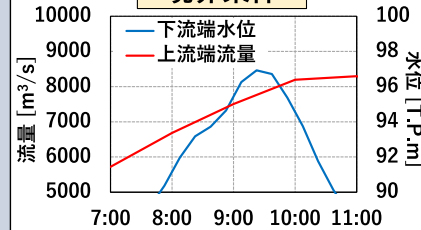
Δt 0.10

3D間隔 2D計算2回につき3D計算1回

格子 Δs × Δn : 20m × 10m
縦断272個 × 横断151個 × 鉛直10個

粗度係数 0.03

境界条件



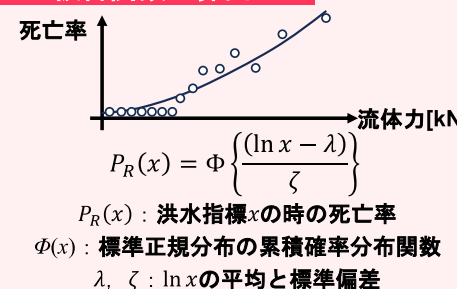
方法3: 建物被害関数の構築方法

8/16

建物に作用する流体力



被害関数の算出



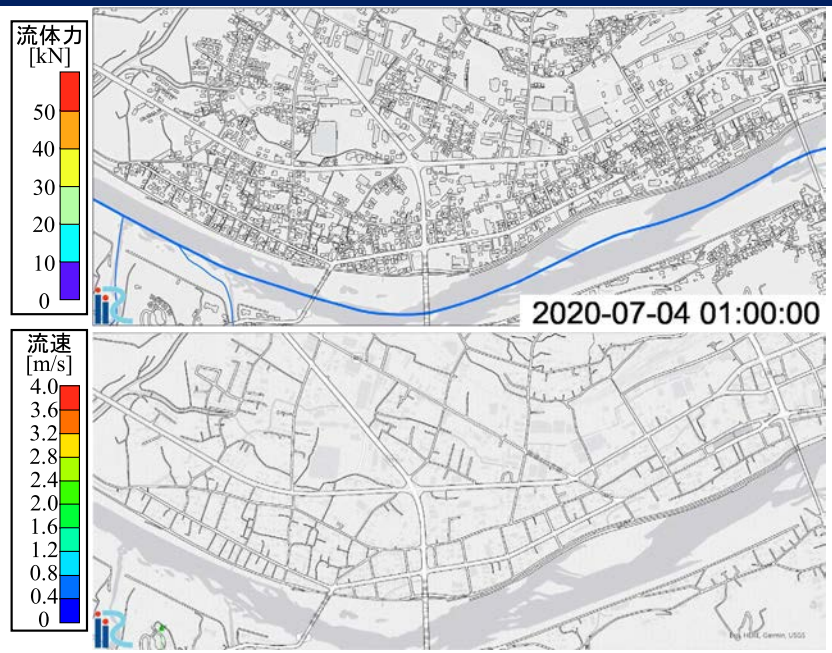
流失率の算出

建物 No.	流体力 [kN]	流失の有無	流失率 [%]
1	0.20	残存	0%
2	0.57	残存	
3	0.69	残存	
4	1.10	残存	
5	1.36	残存	
6	1.98	残存	20%
7	2.15	流失	
8	2.28	残存	
9	3.56	残存	
10	4.22	残存	40%
11	4.68	残存	
12	6.36	残存	
13	8.25	流失	
14	8.92	残存	
15	10.2	流失	

① 建物を流体力について昇順に並べる
② 建物が同数となるようグループ分け
③ グループ毎に流失率を算出

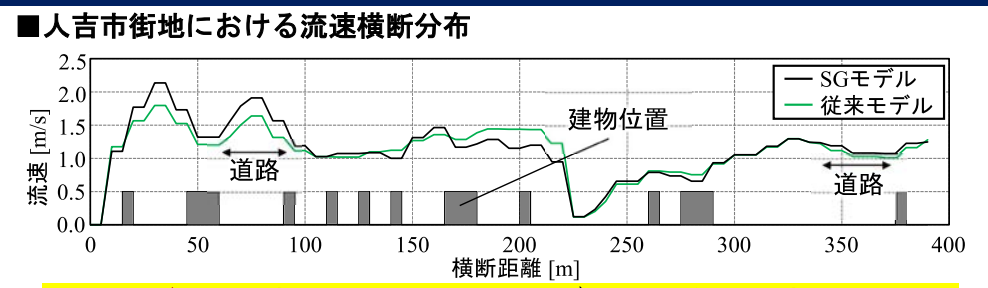
1) 鈴木 進吾, 越村 俊一, 原田 賢治, 岡本 学, 福留 邦洋, 菅磨 志保, 河田 恵昭: 2004年7月新潟豪雨水害の災害調査による家屋被害関数の構築, 水工学論文集, Vol. 49, pp. 439-444, 2005

結果1: 氾濫シミュレーション結果(球磨川) 流体力 9/16

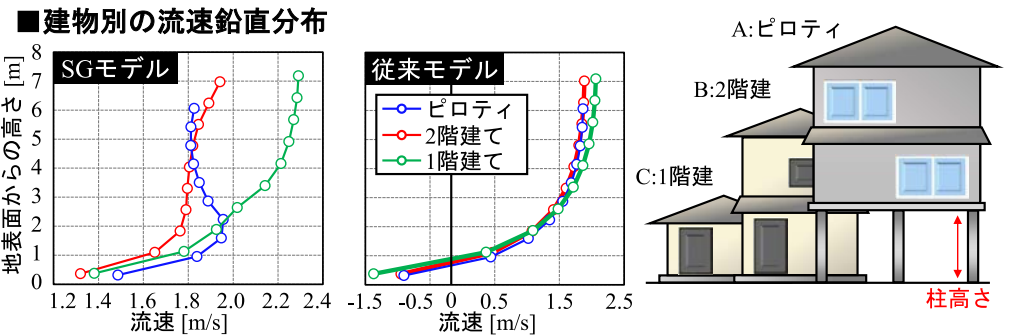


建物に働く流体力を一棟一棟算出可能 流動モデルの高度化を実施

結果1: 氾濫シミュレーション結果(球磨川) 流速分布10/16

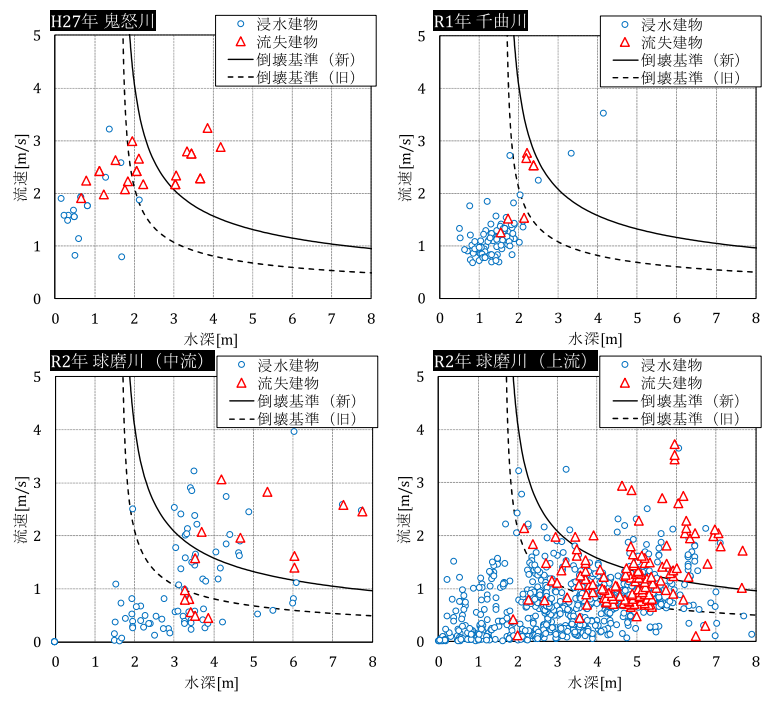


SGモデルの流速変化コントラスト大 → 建物流体力を適切に反映



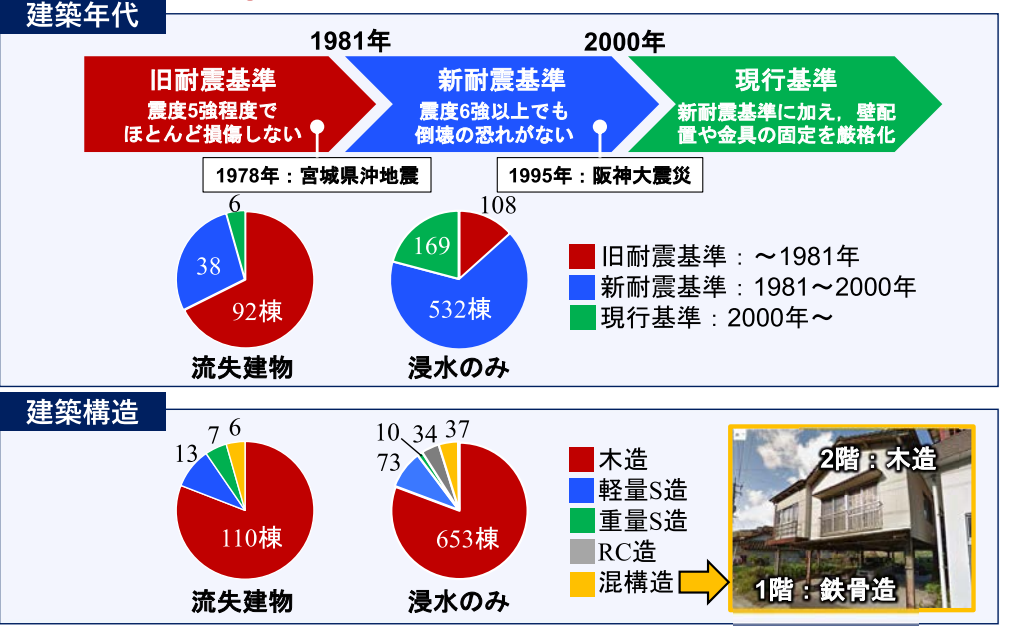
SGモデルでは、建物の鉛直構造に対応した流速鉛直分布を再現可能

結果2: 旧・新耐震基準との比較 11/16

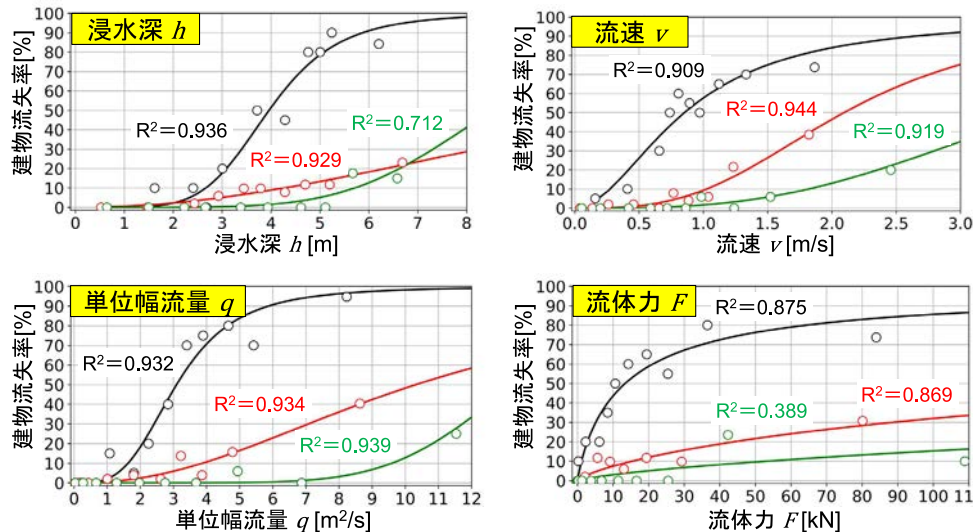


方法4: 被災建物の建築年代・構造分類 12/16

建築が専門の工学院大学・久田嘉章教授、片野彩歌氏に協力 Google Street Viewの写真を用いて外観から分類



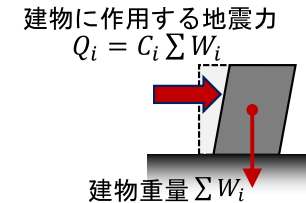
○旧耐震基準 ○新耐震基準 ○現行基準



4指標で決定係数は1に近い⇒有効な洪水建物被害関数を構築

流失率は「旧耐震基準」>「新耐震基準」>「現行基準」の明確な大小関係

被害の発生: 外力 vs 耐力 で決定
建物の重量(耐力)を考慮するために
ベースシア係数 C_i を導入 (無次元化)



$$C_i = \frac{\text{建物に作用した最大流体力[kN]}}{\text{建物重量[kN]}}$$

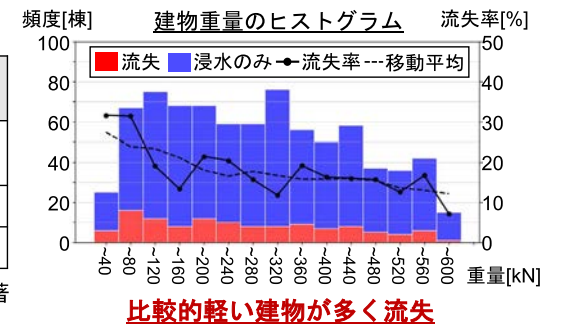
建物毎の耐力を考慮した分析が可能 & 地震力と比較して議論が可能

建物重量の算出方法

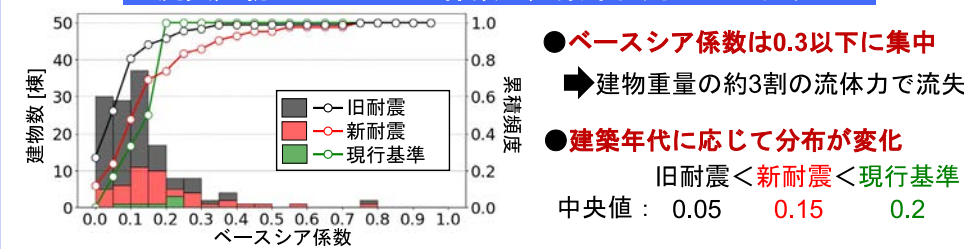
【建築物の代表的構造諸元】

構造	単位面積あたりの重量 [kN/m ²]
木造	最上階 1.5 その他 2.5
鉄骨造	7
RC造	13

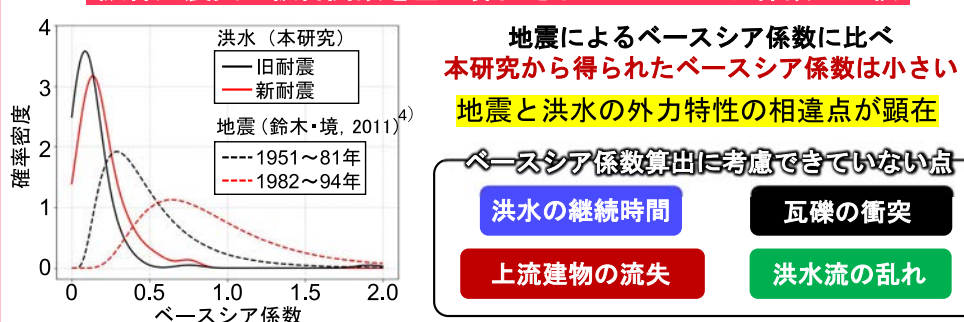
『建築水理学』 桑村仁 著



流失建物のベースシア係数の建築年代別ヒストグラム



阪神大震災の被害関数を基に算出されたベースシア係数と比較



4) 鈴木達矢, 境有紀: 年代別被害関数を用いた木造建物の経年劣化と耐震規定による耐力変化の推定, 日本地震工学会論文集, Vol. 11, No. 3, pp. 73-84, 2011

✓ 洪水氾濫被害データベースと数値シミュレーション結果に基づいて家屋被害関数を構築した。そのために、家屋一棟一棟の流体力評価が可能な流動モデルを構築した。

✓ 上記の結果に基づいて、建物被害関数として、浸水深 h , 流速 v , 単位幅流量 q , 流体力指標 v^2h , 流体力 F について構築し、全指標において有効な被害関数が構築された。特に、流体力指標 v^2h や単位幅流量 q , 流体力を用いた被害関数が有用であった。

✓ 建物築年代別の洪水被害関数を初めて構築した。建物築年代により、被害状況が大きく異なることが定量的に明らかとなった。

✓ 洪水では、地震力と異なり、長時間にわたり継続的に流体力が作用するが、考慮できていない。これらの流体力の継続時間と被害の関係性解明を行うことが今後の研究課題と据える。

化学反応理論に基づいた太陽光パネル廃ガラスの コンクリート分野へのリサイクルに関する研究



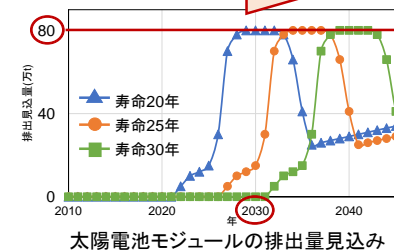
2024年10月24日
李春鶴

研究背景

◆ 太陽光パネルの廃棄問題



2030年以降 約80万t/年の
太陽光発電設備が廃棄



◆ リサイクル促進

- ・ 再使用
- ・ 舗装材, 埋め戻し材
- ・ 埋め立て処理



コンクリート分野でリサイクル

環境省, 太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン

太陽光パネルガラスの化学組成とアルカリシリカ反応 (ASR)

メーカー	wt%								
	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SO ₃	Sb ₂ O ₃	
S社	70	13	-	8.7	4.2	1.3	0.2	0.2	
C社	68	13	-	8.6	4.0	1.2	0.2	0.2	
P社	72	13	-	8.9	4.0	1.3	0.2	0.2	
T社	72	13	-	9.7	3.6	1.2	0.2	0.2	
M社	71	13	-	8.4	4.7	1.1	0.2	0.1	
J社	71	13	-	8.8	4.1	1.4	0.2	0.2	
H社	72	13	-	9.7	3.5	0	0.2	0.2	
平均	71	13	-	9.0	4.0	1.2	0.2	0.2	

リ
コ
ン
ク
リ
ー
ト
分
野
で
リ
サ
イ
ク
ル
可
能
性
有
り



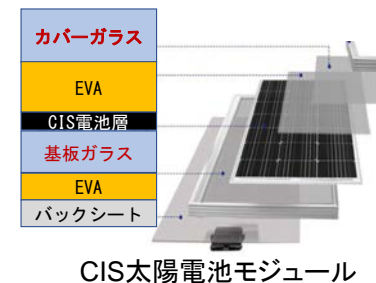
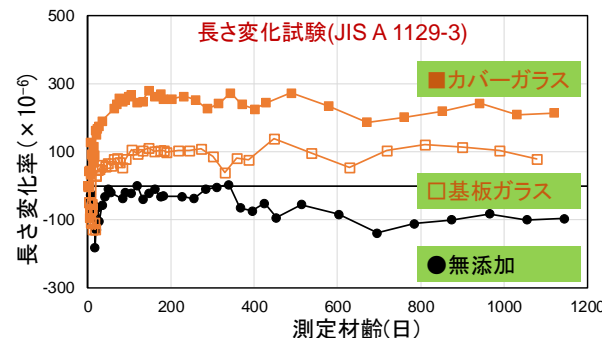
リスク:
ASR反応が生じる可能性 大

事実:
品質安定、安定供給可能



先行研究

wt%	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃
カバー	72.5	13.5	0.5	9	3.5	1.5	≤0.009	≤0.009
基板	49.9	6.3	4.7	5.5	-	13.0	0.1	0



アルカリシリカ反応(ASR)性試験の判定基準

- ✓ 材齢91日で500μ以下
- ✓ 材齢182日で1000μ以下

➡ 無害な膨張

- なぜ膨張?
- 膨張を制御・有効活用できる?
- 実用化の可能性?

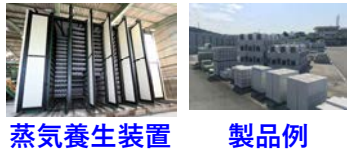
研究目的（膨張生成物の有効利用のコンセプト）

提案1: ガラス反応生成物量の制御による無収縮・高強度コンクリートの開発

混和材 ... 反応性骨材のASR抑制対策
→ フライアッシュ + 廃ガラス

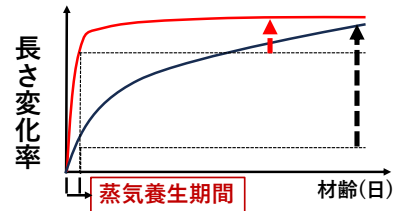
酸処理 ... 太陽光パネル処理の一般プロセス
廃ガラス50kgに対して52ppmの硝酸溶液150gで処理

提案2: ガラス反応生成物の生成時期の制御によるプレキャストコンクリート製品の開発



蒸気養生装置 製品例

- 膨張性骨材の制御
⇒ 空隙充填
⇒ 無収縮・高強度



- 早期の膨張生成物の生成
⇒ 膨張の潜在能力を低減

実験概要：配合設計

◆ モルタル供試体の配合 (kg/m³)

		20%置換		☆60%置換			
記号		C	FA	W	S	GP	
PL		612	0	306	1340	0	
F20		476	119	297	1340	0	
カバー 基板	酸なし	G60	612	0	306	536	729
		G60F20	476	119	297	536	729
	酸あり	G60	611	0	307	536	728
		G60F20	475	119	299	535	727

☆添加率60%付近でベシマムを確認 李ら, JSCE2021 Annual Meeting

実験概要：養生条件

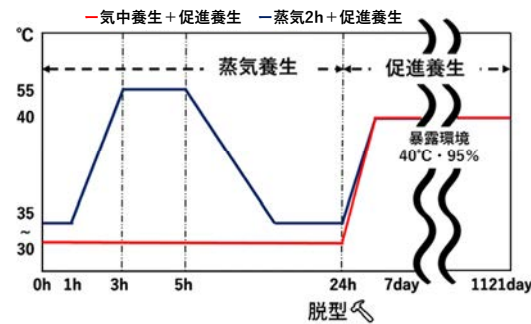
◆ 蒸気養生および促進養生

- ✓ 蒸気養生：早期反応促進

工場の温度履歴を模擬



- 前置き時間：1h
- 最高温度：55°C
- 最高温度継続時間：2h



実験概要：実験項目

長さ変化試験 (JIS A 1129-3-2010)

- ・ 40 × 40 × 160mm
- ・ 40°C95%で養生
- ・ 材齢0~1000日



圧縮強度試験 (JSCE-G 505-2018)

- ・ φ50 × 100mm
- ・ 20, 40°Cの水中養生
- ・ 材齢7, 14, 28, 91日



化学法 (JIS A 1145-2017)

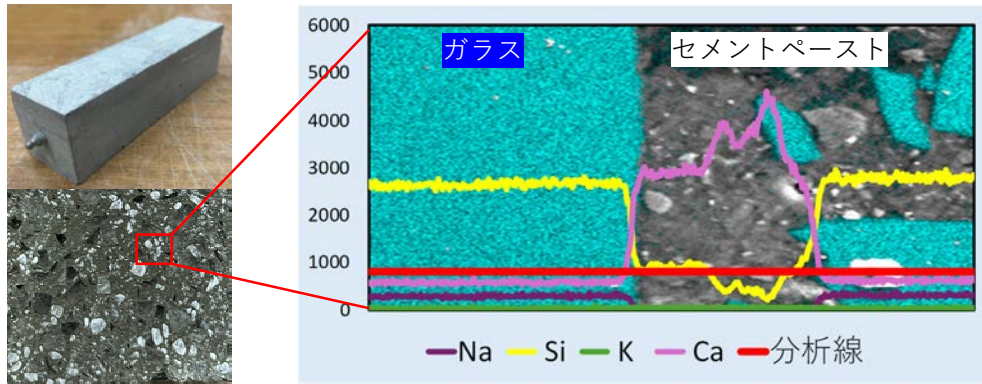
アルカリ濃度減少量(Rc)と溶解シリカ量(Sc)から、骨材の潜在的アルカリ反応性を判定

X線光電子分光法 (XPS) 走査電子顕微鏡 (SEM-EDX)

廃ガラス単体、供試体に対して表面観察と組成分析

セメント環境における廃ガラスの反応性の確認

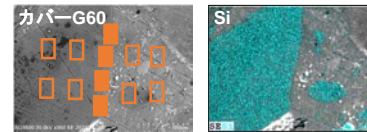
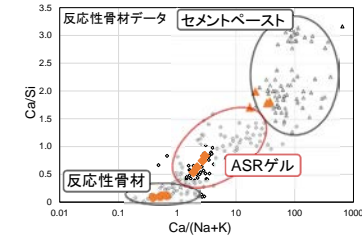
・ 40°C、95%で養生 ・ 暴露期間4年程度 ・ SEM-EDX分析



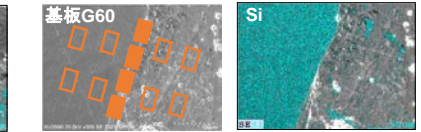
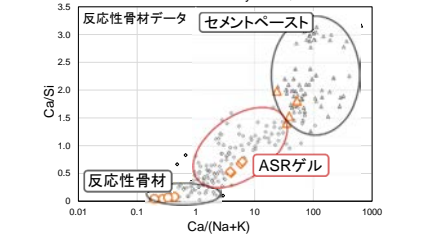
ガラスとセメントペーストの境界において、Si、Naは減少し、Caは増加

実験結果 ASR反応の検討

◆ カバーガラス



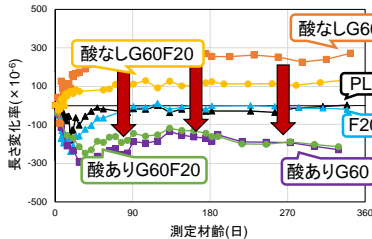
◆ 基板ガラス



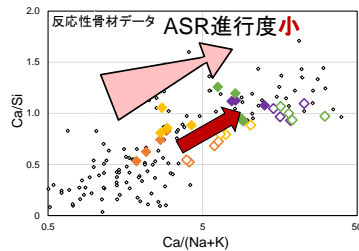
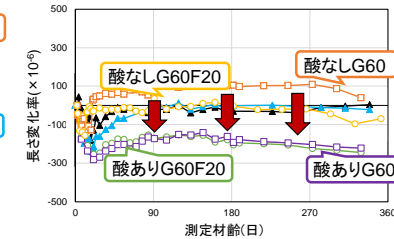
▶ 境界面でASRゲルを確認→ 供試体は膨張傾向

化学反応と長さ変化

◆ カバーガラス



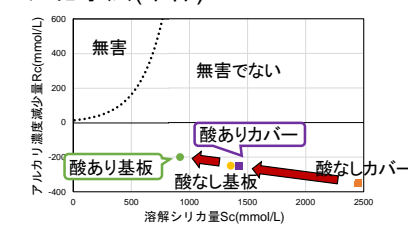
◆ 基板ガラス



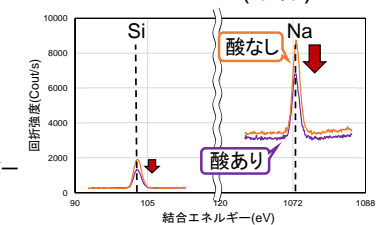
- ▶ FA添加によるASR抑制傾向
- ▶ 酸処理によってASR抑制傾向
- ▶ 酸処理の抑制効果は顕著

実験結果 酸処理効果

◆ 化学法(単体)



◆ XPSによる計測(単体)

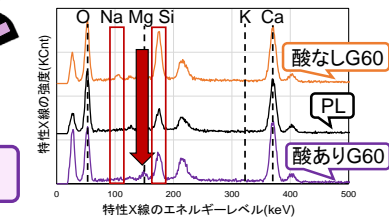


◆ 廃ガラスからの溶解メカニズム



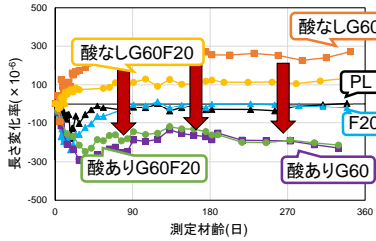
▶ 酸処理でSiとNaの溶解抑制

◆ EDX分析(供試体)

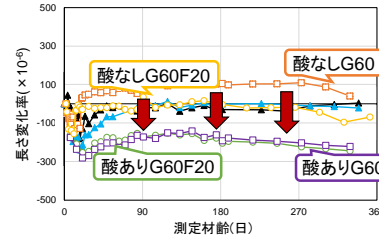


化学反応と長さ変化

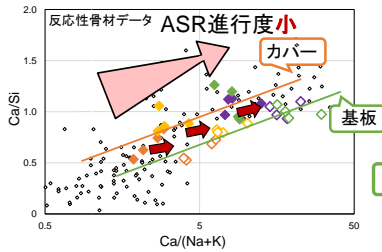
◆ カバーガラス



◆ 基板ガラス



%	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O
カバー	72.5	0.5	13.5
基板	49.9	4.7	6.3

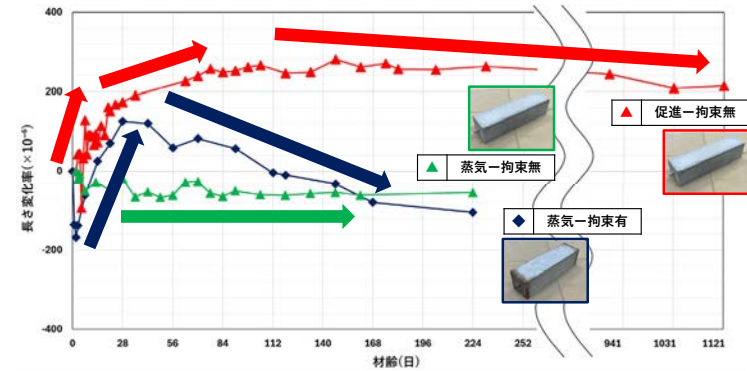


▶ FA添加によるASR抑制傾向

▶ 酸処理によってASR抑制傾向
▶ 酸処理の抑制効果は顕著

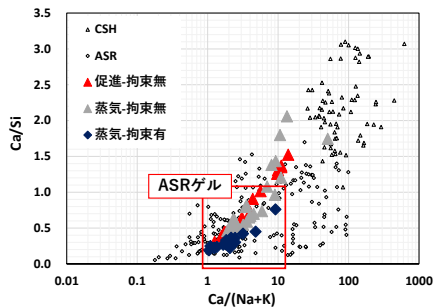
▶ 組成よりSi, アルカリ量が少
→ ASRの潜在性低

異なる養生の効果：長さ変化



- ▶ 促進-拘束無はASRによる膨張(約300 μ)、材齢1000日～膨張継続
- ▶ 蒸気-拘束無は安定、材齢極初期にASRによる反応が生じた
- ▶ 蒸気養生による材齢極初期からのASRの膨張傾向、その後はASRの早期反応終了に伴い収縮、安定傾向

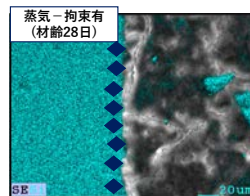
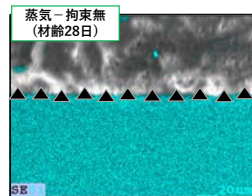
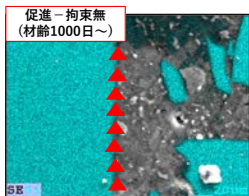
組成分析



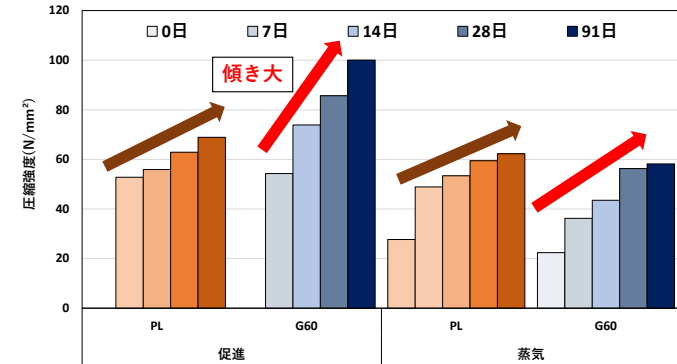
廃ガラスを添加した供試体はASRゲルを生成

蒸気養生により促進養生(材齢1000日～)と同等のASR生成

蒸気養生より反応が極初期に促進、ASRの潜在能力が減少



異なる養生の効果：圧縮強度



- ▶ 促進G60は硬化後にASRが生じたことにより空隙が埋められ強度が大きく増加
- ▶ 蒸気G60はASRの終了に伴い強度増加が減少、PLと同程度の強度

まとめ

- 廃ガラスのコンクリートのようなアルカリ環境におけるASR反応メカニズムを解明
廃ガラスの膨張メカニズムの解明→ ASRによる膨張生成物の生成
廃ガラスの膨張抑制メカニズムの解明→ 酸処理, FA添加によるASR抑制
- 促進養生により、無収縮・高強度コンクリートの製造可能
- 蒸気養生により、早期に膨張を収束可能、強度の低下ほとんど無

太陽光パネル廃ガラスは
コンクリート分野でのリサイクルが可能

深く御礼申し上げます。

2017年～2018年度助成金: 環境作用と LiNO_2 化学反応の強連成に基づいた鉄筋コンクリート構造物の補修に関する研究

2020年～2022年度 科学研究補助金 基盤研究 (B)

2022年～2023年度助成金: 化学反応理論に基づいた太陽光パネル廃ガラスのコンクリート分野へのリサイクルに関する研究

英論ジャーナルへ投稿中

ジオポリマーコンクリートの ナノ構造解析手法の開発



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY

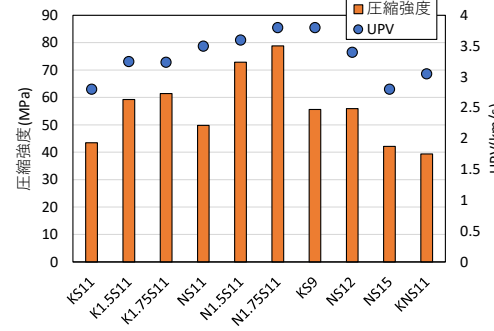
北海道大学大学院工学研究院
胡桃澤清文



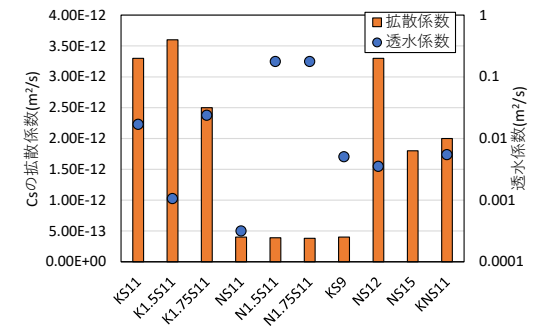
研究の背景

CO2排出削減のためにセメントコンクリートの代替としてセメントフリーの硬化体の作製が求められている。その一つとしてジオポリマーが挙げられる。ジオポリマーはメタカオリンやフライアッシュなどのアルミニウムとシリカを含む粉体に水酸化ナトリウムやケイ酸ナトリウムなどのアルカリ活性剤を加えることによって脱水縮合反応を生じさせ硬化体を作製するものである。したがってジオポリマーの強度発現や物質拡散性などの物性は使用するアルカリ活性剤によって異なることが報告されている。しかしながら**アルカリ活性剤の違いによる物性発現のメカニズムは正確には理解されていない。**

ジオポリマーの機械的物性

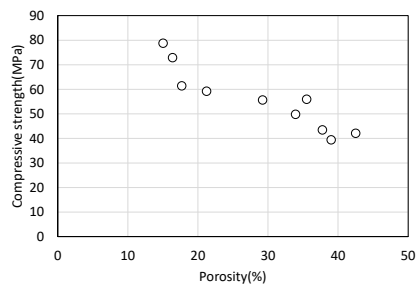


ジオポリマーのCs拡散係数と透水係数

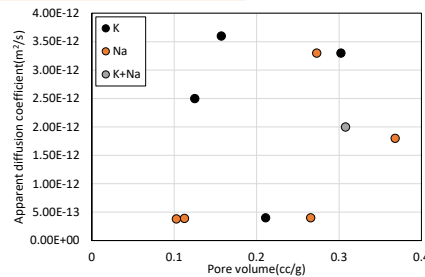


研究の目的

圧縮強度と空隙率の関係



拡散係数と空隙率の関係



目的
メタカオリンジオポリマーの微細構造を固体NMR、X線吸収微細構造測定(XAFS)および透過型電子顕微鏡観察(TEM)によって測定を行い、アルカリ活性剤がジオポリマーの微細構造に及ぼす影響を明らかにする。
・特に本研究では、**アルカリ種類、SiO₂量、水量**の異なるアルカリ刺激剤を作製しその影響を明らかにする。

実験概要

○使用材料と試験体作製

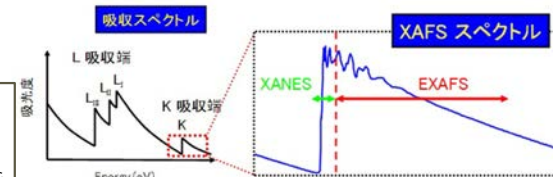
メタカオリン(MK)、水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、ケイ酸ナトリウム、ケイ酸カリウムを原材料として使用した。

○測定概要

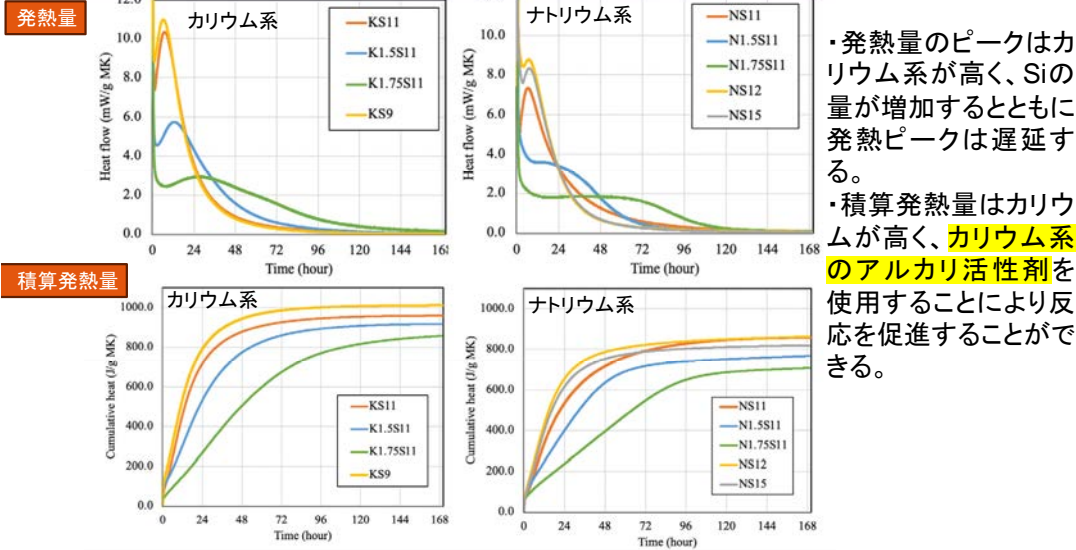
- 発熱量測定: カロリメーター
- 固体NMR: ²⁹Si DD MAS NMR および ²⁷Al MAS NMR 測定
- XAFS測定: 立命館大学SRセンターBL-10にて、Na、Al、Si、KのK吸収端XANES測定、測定モードは試料電流による全電子収量。
- TEM観察は、粉末試料をエタノールに分散させCuグリッドに滴下し乾燥後に測定を行った。測定には収差補正走査透過型電子顕微鏡(Titan3 G2 60-300)を用いた。
- マイクロインデンテーション測定
- プロトンNMR測定: CPMG測定を行った。

記号	化学組成
KS11	K ₂ O·Al ₂ O ₃ ·3SiO ₂ ·11H ₂ O
NS11	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·3SiO ₂ ·11H ₂ O
KS9	K ₂ O·Al ₂ O ₃ ·3SiO ₂ ·9H ₂ O
KN11	K ₂ O·Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·3SiO ₂ ·11H ₂ O
K1.5S11	K ₂ O·Al ₂ O ₃ ·3.5SiO ₂ ·11H ₂ O
N1.5S11	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·3.5SiO ₂ ·11H ₂ O
K1.75S11	K ₂ O·Al ₂ O ₃ ·3.75SiO ₂ ·11H ₂ O
N1.75S11	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·3.75SiO ₂ ·11H ₂ O
NS12	Na ₂ O·Al ₂ O ₃ ·3SiO ₂ ·12H ₂ O

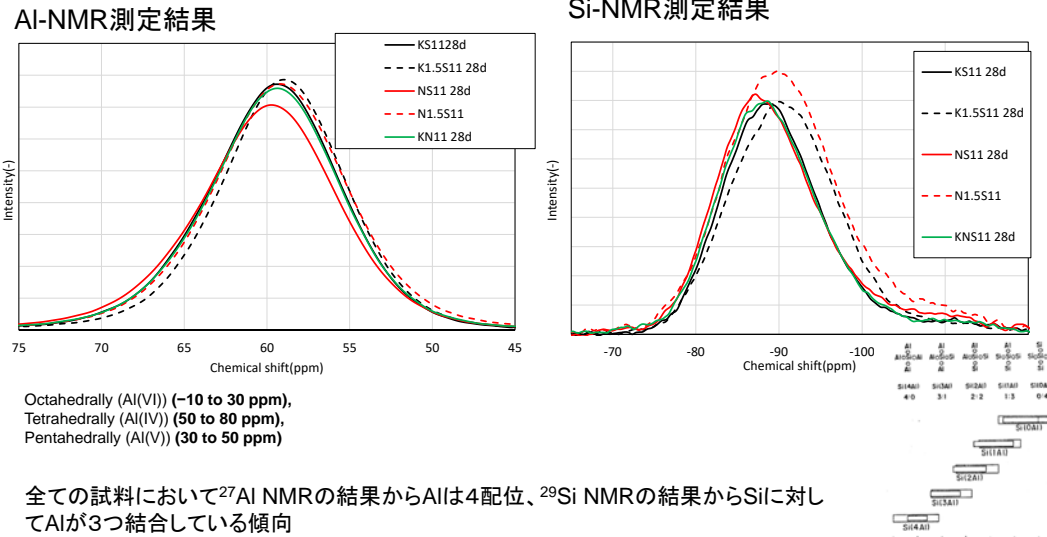
XANES [X線吸収端構造: X-ray absorption near edge structure] 領域
領域: X線の吸収が起きたあたりから50eV程度の範囲。
情報: 元素の価数やどのような化学形態をしているか分かる。
EXAFS [X線吸収端微細構造: extended x-ray absorption fine structure] 領域
領域: X線の吸収端から50eVを超えたところから1000eVくらいまでの範囲。
情報: 原子レベル(10⁻¹²mサイズ)での構造(どんな元素が、どのくらいの距離に、どのくらいたくさんあるか)。



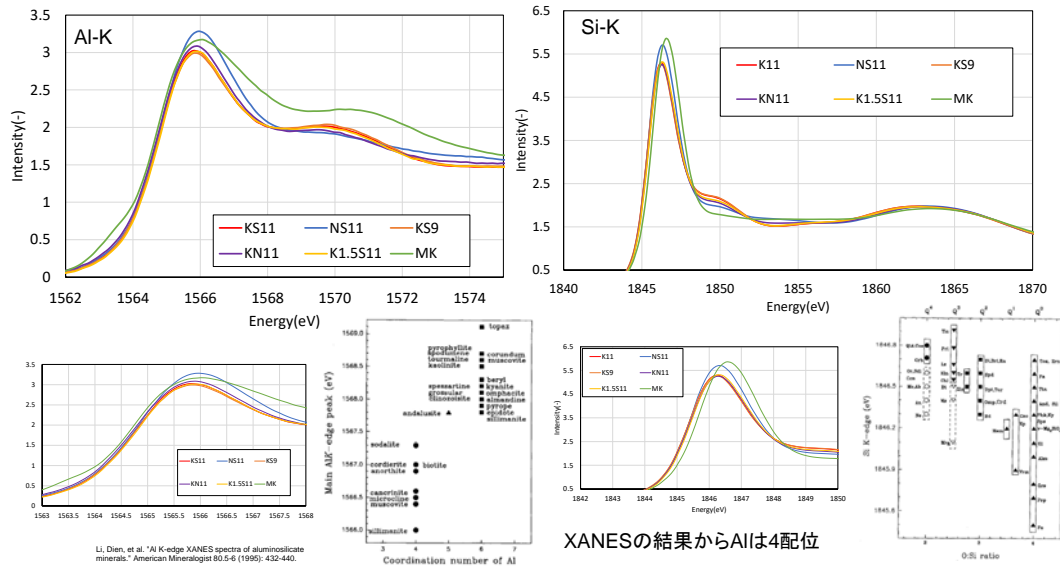
カロリメーターの結果



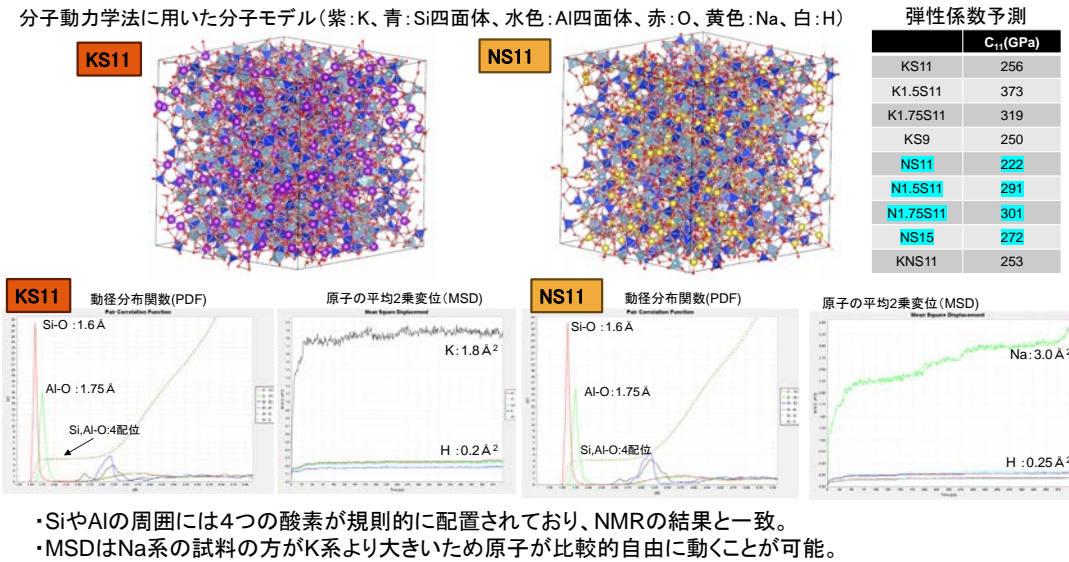
実験結果 (固体NMR)



実験結果 (XAFS)

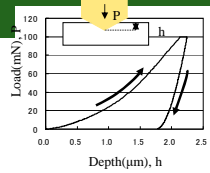


分子動力学法

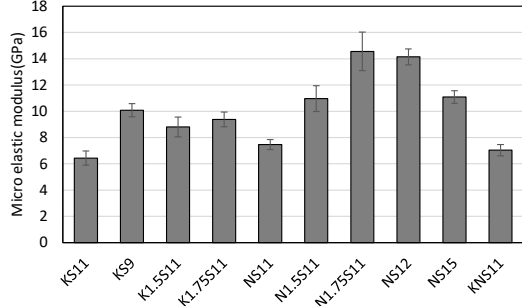


マイクロ弾性係数

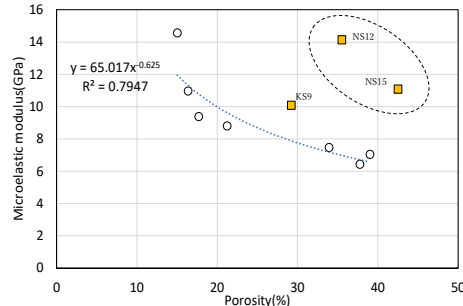
インデントによる荷重と変位の関係から弾性係数を算出



マイクロ弾性係数測定結果



マイクロ弾性係数と空隙率の関係

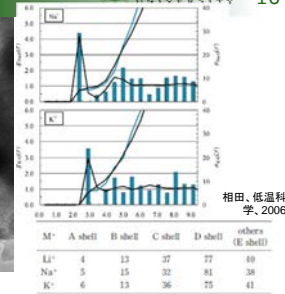
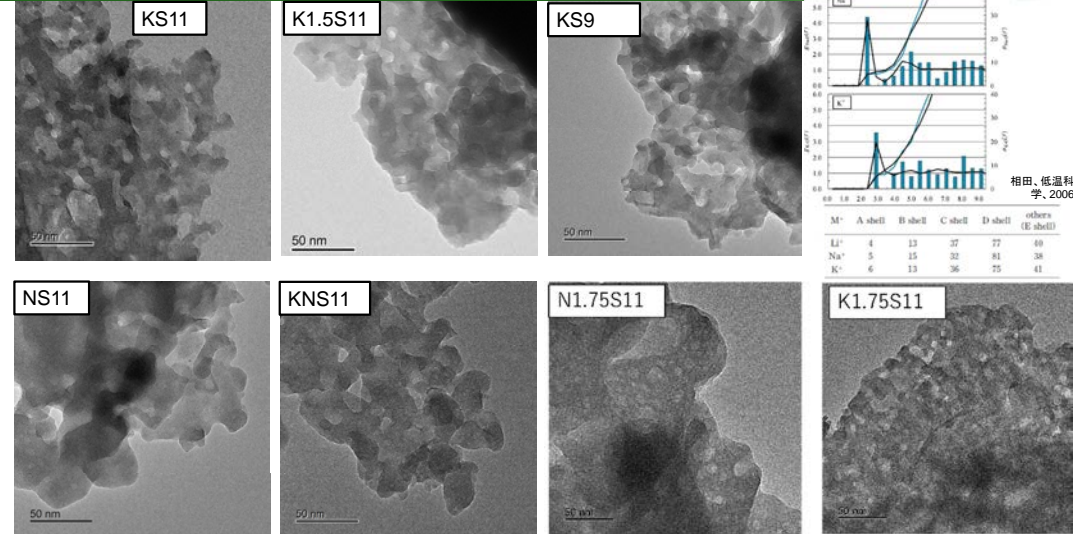


- ・マイクロ弾性係数はナトリウム系の方が高い傾向にある。
- ・空隙率が低いほどマイクロ弾性係数も高い傾向。

→空隙の形成が物性に影響

	KS11	K1.5S11	K1.75S11	KS9	NS11	N1.5S11	N1.75S11	NS15	KNS11
C_{11} (GPa)	256	373	319	250	222	291	301	272	253

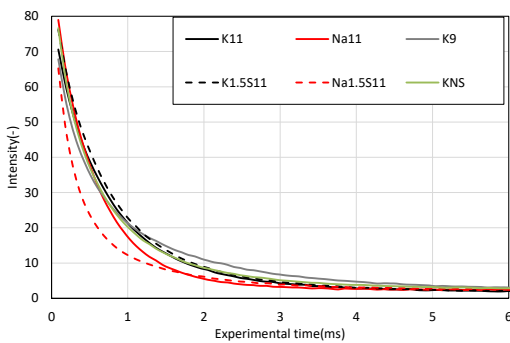
実験結果 (透過型電子顕微鏡)



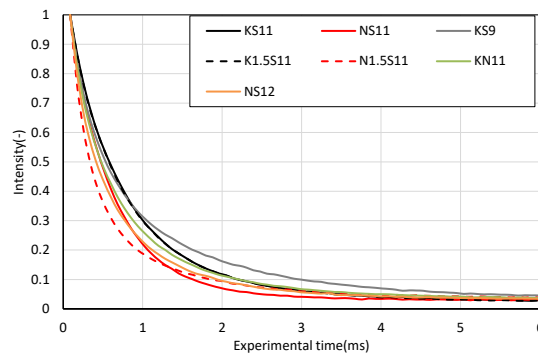
ナトリウム系では不規則な気泡が見られるのに対して、カリウム系では規則的な気泡が観察された。

実験結果 (プロトンNMR)

CPMG測定結果



正規化したCPMG測定結果



- ・ナトリウム系のジオポリマーの減衰がカリウム系と比較して早い、すなわち自由に運動できる水が比較的少ないことが示された。
- ・Si/Alの変化はNa系ジオポリマーで顕著であったがカリウム系では差がない。

まとめ

本研究では、いくつかのアルカリ活性剤を用いてメタカオリジオポリマーを作製しその微細構造の分析を行った結果、下記の成果が得られた。

1) 固体NMR測定およびXAFS測定結果より、アルカリ刺激剤により異なる微細構造が形成されていることを明らかにすることができた。ただし、その違いはわずかであり詳細な検討が今後必要である。

2) TEM観察とプロトンNMR測定によりアルカリ刺激剤によって空隙構造形成が異なることが示された。

上記の結果からジオポリマーの骨格部分である微細構造はアルカリ刺激剤によって大きく異ならないが、生成過程において空隙構造が異なっている可能性が示唆された。

謝辞: 本研究のXAFS測定は立命館大学SRセンターにて測定を行った。測定に際しては家路氏にご協力いただいた。TEM観察は文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ (ARIM) 事業」(課題番号 JPMXP1222HK0020) を通じた技術的支援を受けて実施された。プロトンNMR測定は名古屋工業大学産学官金連携機構設備共用部門における共用設備を利用した成果です。

本研究に助成いただいた財団法人大成学術財団に謝意を示す。