

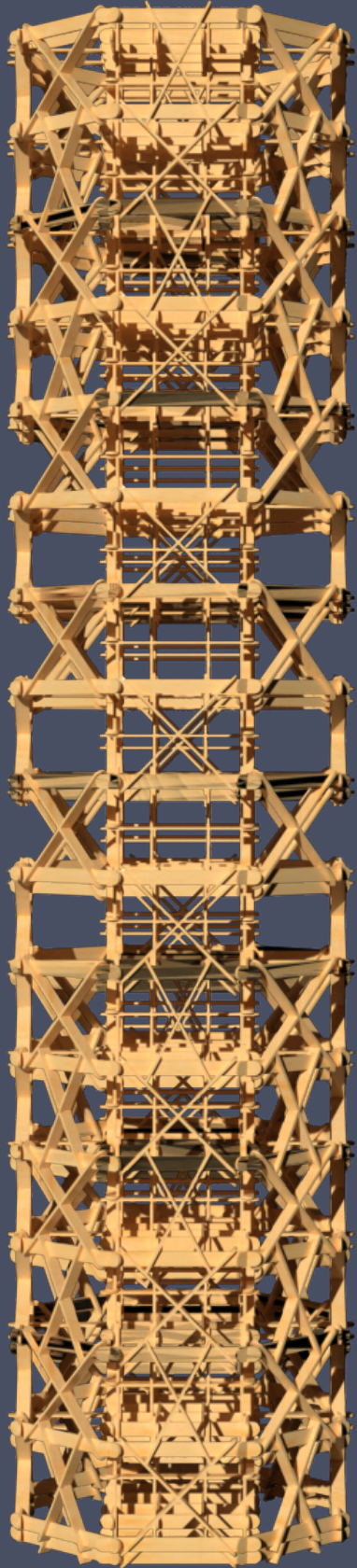




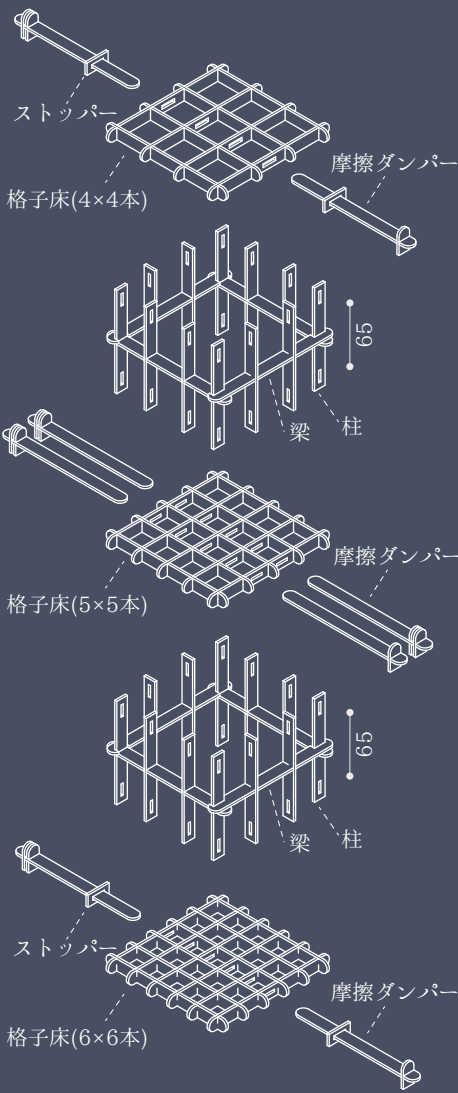
No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 1047 g アイス棒 805 本	カテゴリー 1
	binary tower	早稲田大学 早部研 チームY	◎中谷未希(早稲田大学大学院) ◎内野里海(同左) ◎浅野瑞晃(同左) ◎大倉匠生(同左) ◎田尻萌々子(同左) ◎羽田野晃佑(早稲田大学) ◎林垣達也(同左) ◎平川偉才(同左)		

# binary tower

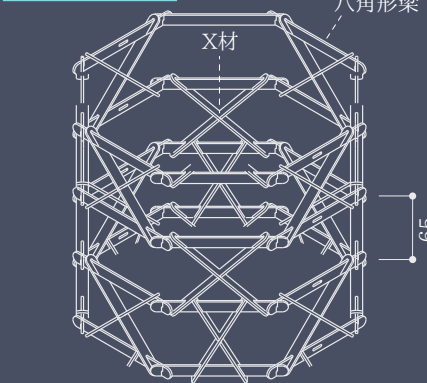
二つの塔は、地震力に応じて役割を分かち合う。  
ともに揺れ、分離し、やがて外殻が犠牲となって内核を守る。



## 内殻タワー

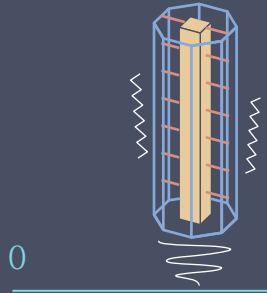


## 外殻タワー



## ねらいの挙動

内外が一体となって動く

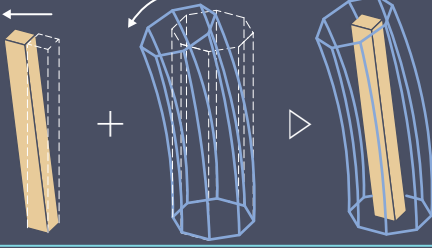


ストッパーがはずれ  
摩擦ダンパーによって  
別々の挙動

接合部①

60

内外がせん断、曲げを  
それぞれ負担



外殻タワーの  
接合部が破断し  
崩壊し始める

接合部②

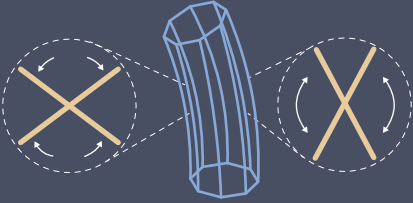
120

エネルギー吸収  
内殻タワーだけ残る



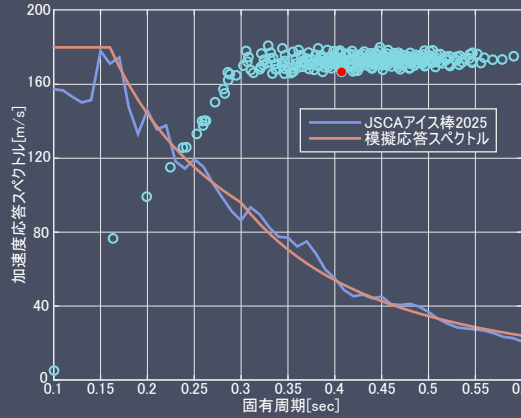
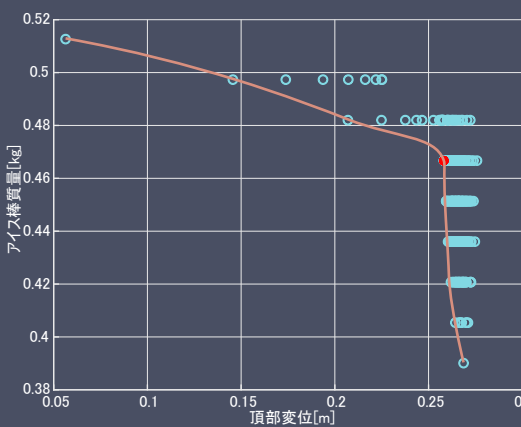
## 外殻タワー

外側は曲げ変形が支配的となる架構とした。  
鉛直方向をX材のみで支持し、開閉の  
しなりでエネルギーを吸収する。



【X材の最適配置】  
八角形平面の各層におけるX材の配置個数を最適化した。

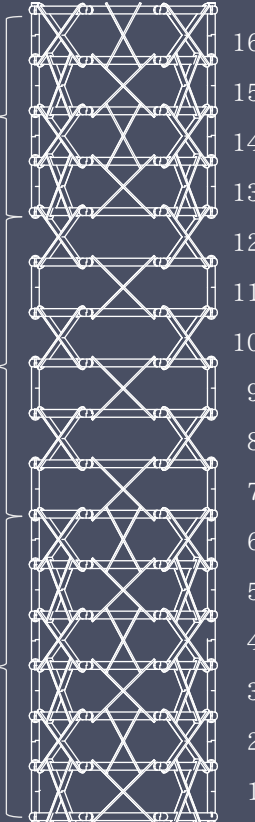
- 各層で4・8方向の2通りとし、2層を1セットの $2^{16/2}=256$ 通りを扱う。
- 各モデルの質量・剛性マトリックスを作成し、弾性応答スペクトル法にて頂部変位を算出する。
- パレート解(赤線)から応答と質量のバランスをみてモデルを選定する。



X材 8個

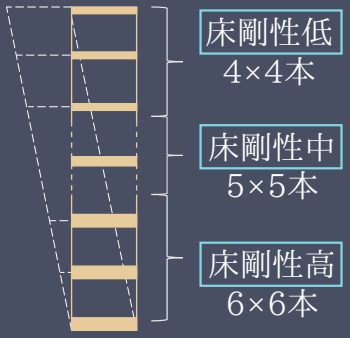
X材 4個

X材 8個

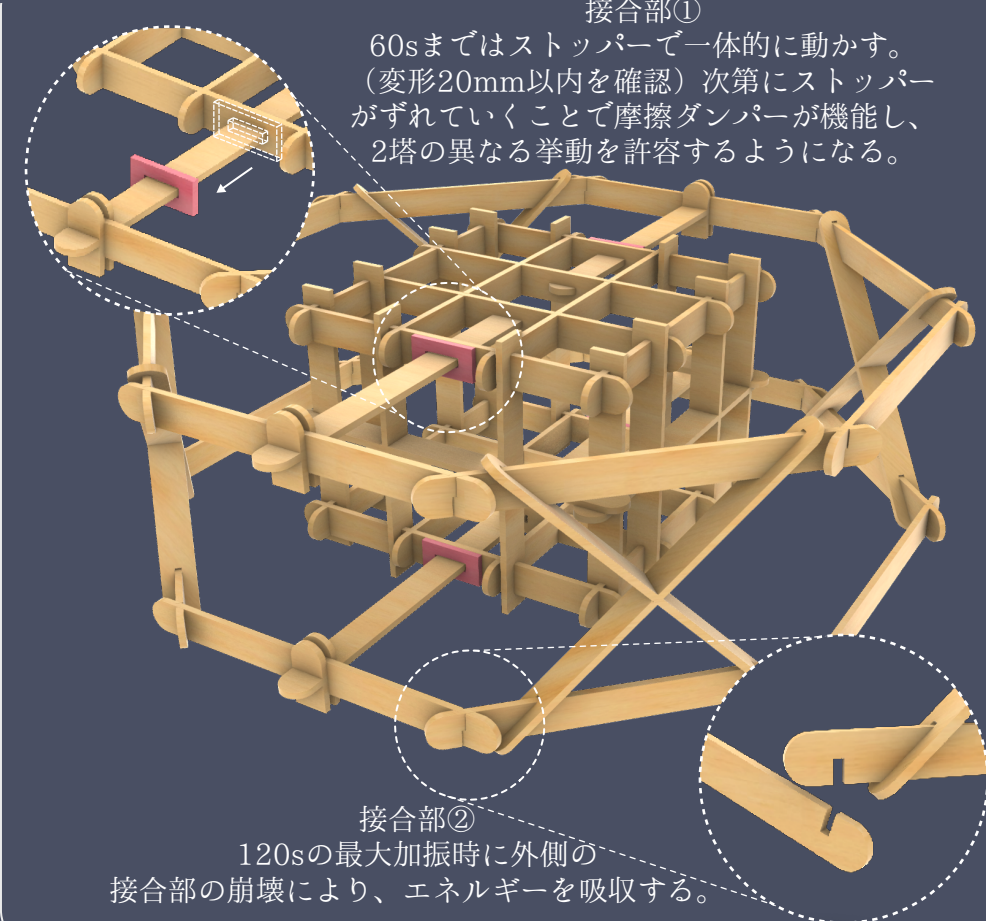


## 内殻タワー

内側はせん断変形が支配的となる  
架構とした。  
2層ごとに格子状の床を配置し水平  
剛性を高める。  
せん断力が大きく作用する下層の  
水平剛性を増加させ、層間変形角  
をそろえる。



## 接合部





No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 1638 g	カテゴリ
	流々ーるる	明治大学構造力学研究室 A	◎岡村知夏 ◎土屋慶次郎 ◎宮島光希 ◎足立将章 (明治大学 構造力学研究室)	アイス棒 1260 本	1

コンセプト

アイス棒をやさしく編み込むことで、木材がもつ本来のしなやかさとあたたかみを最大限に引き出したタワー  
タワーに生まれた振動エネルギーは、構造体を織りなす4重螺旋の帯のなかをとめどなく流々する

組み立て

使用部材: 4 種

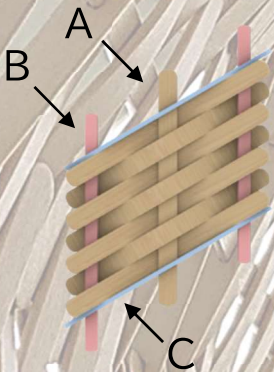


A B C D

A: 無加工材  
B: 細材  
C: 留め材  
D: 繋ぎ材

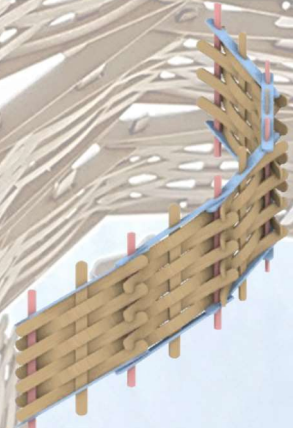
全体の  
65%  
無加工材

無加工のアイス棒を編み込み  
面材を作成



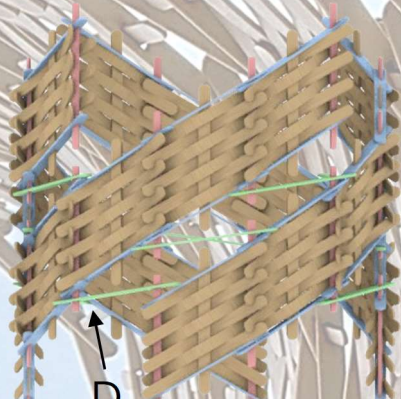
細材は幅を 2/3 に加工  
→ 留め材の割裂防止

5 面を 1 ユニットとする



ユニット化することで  
作業効率を上げる

ユニットを 4 か所に配置  
25 面で各帯を構成



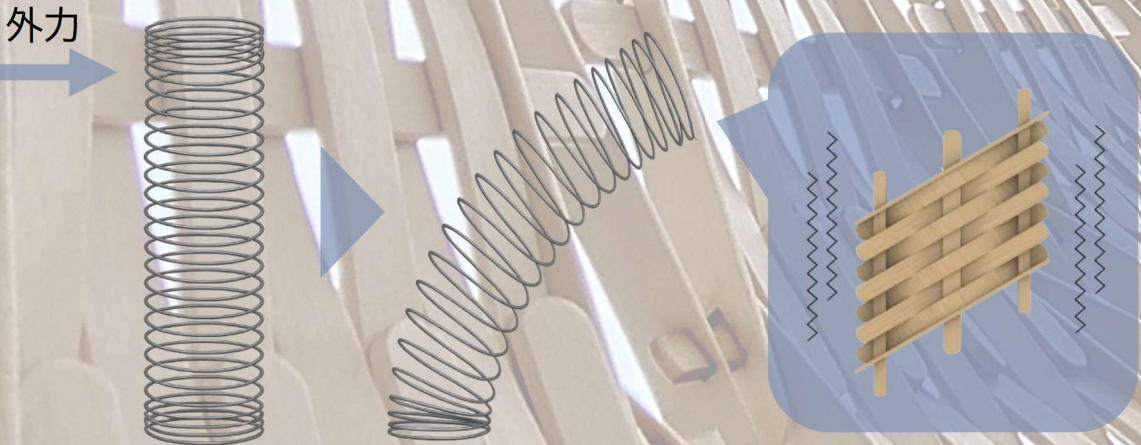
帯同士が繋ぎ材により  
立体的に釣り合う

構造

柔軟性, 復元性, 減衰性に優れた構造

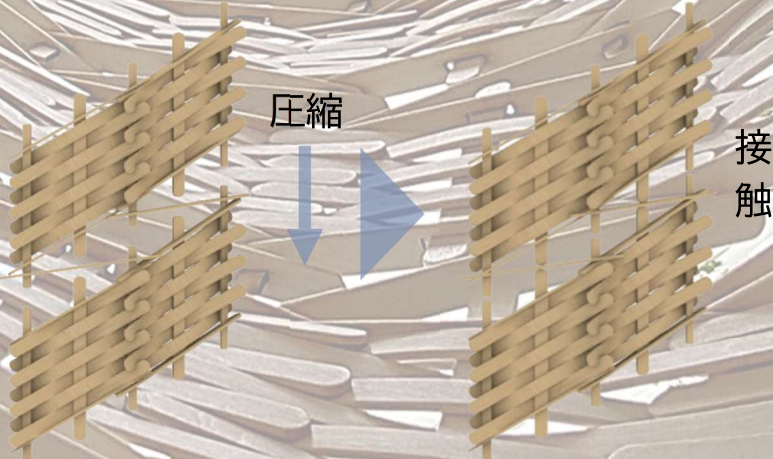
系全体

螺旋の帯がコイルバネのようにふるまう  
密に編み込まれたアイス棒同士の摩擦によりエネルギーを吸収する



繋ぎ材

上下の面材と繋ぎ材を接触させることで、  
過大な変形をおさえる





No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 294g アイス棒 268本	カテゴリー
	Komorebi	JunSatoLab	◎河原匠汰（東京大学大学院）◎原田創大（同左）◎松尾孝太郎（同左） ◎石井聡太（同左）Sequine（同左）		1



# Komorebi

過剰なまでに規格化が進んだ現代で、真に自由な形状はいかに可能か。10×114×2 の細長い薄板のみを用いて自由形状のタワーの構築を試みる。

秩序を内包した自由形状を創出するアルゴリズムとそれが出力する複雑さを実現する継手を開発した。一見すると支離滅裂な架構は、特定の地震動に対し最適化されているという秩序を有し新しい継手はその自由さを許容する。

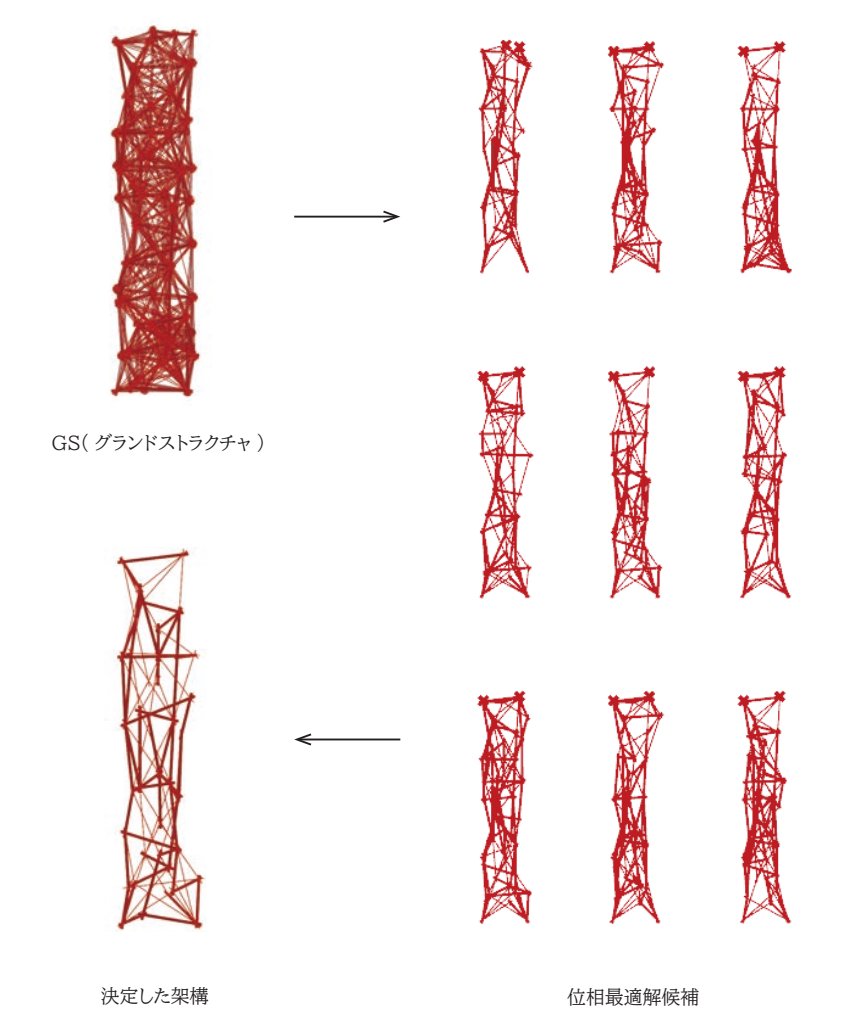
規格化されたアイス棒でも自由さを獲得できることを示す提案である。

## 0I.Toplogy Optimization/Analysis

真の自由さは、秩序をもって始めて実現される。

私たちは、その秩序をトポロジー最適化の手法を用いて導入した。

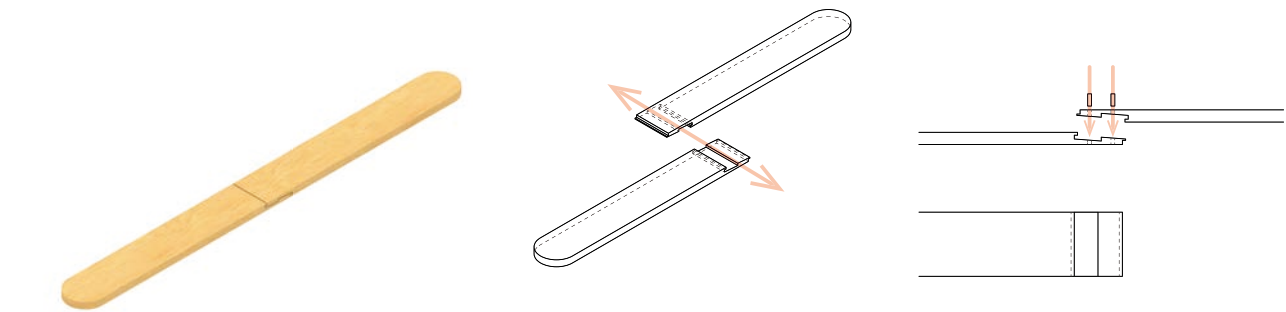
使用するアイス棒本数を最小化しながら、地震に対して抵抗または降伏することを制御した全体架構を設計する。体積制約を変更して位相最適化を施した。120s 加振時の層間変形角が架構が崩壊すると考えられる値になること、部材同士の干渉、応答解析の結果、固有振動数解析の結果を考慮し、複数の候補の中から全体架構を決定する。



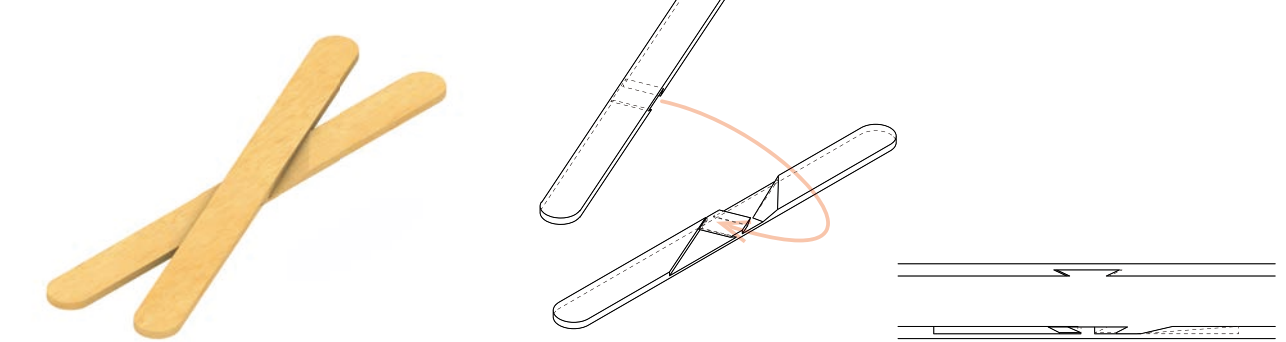
## 02.Fabrication/Detail

自由な形状を実現する接合部には、職人の技が必要不可欠だ。日本の伝統的な継手や仕口をアイス棒に合わせて再解釈し、継手と加工法を新しく設計した。Grasshopper でパラメトリックにデザインし、Shopbot/5 軸 CNC を用いて製作する。

(i) 追掛大栓継



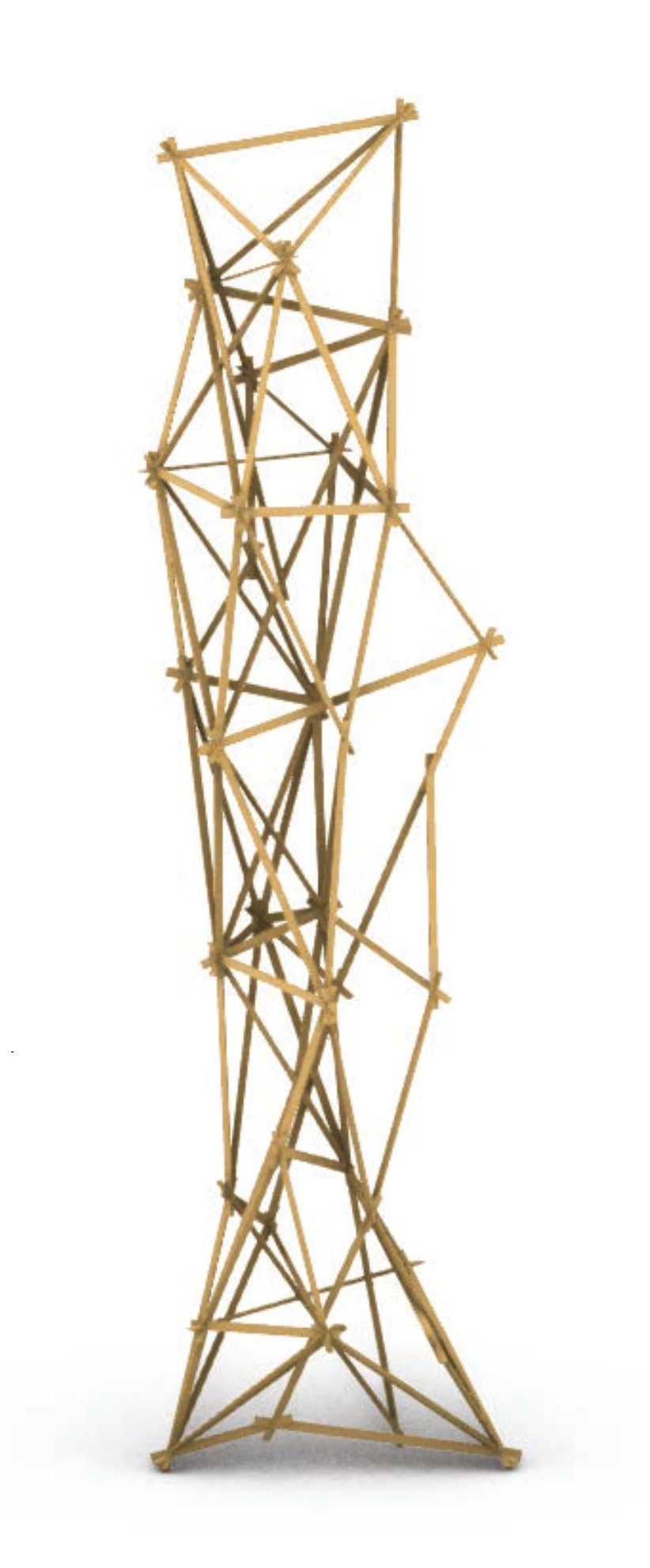
(ii)z 軸回転継ぎ



(iii)1 節点 3 部材継手

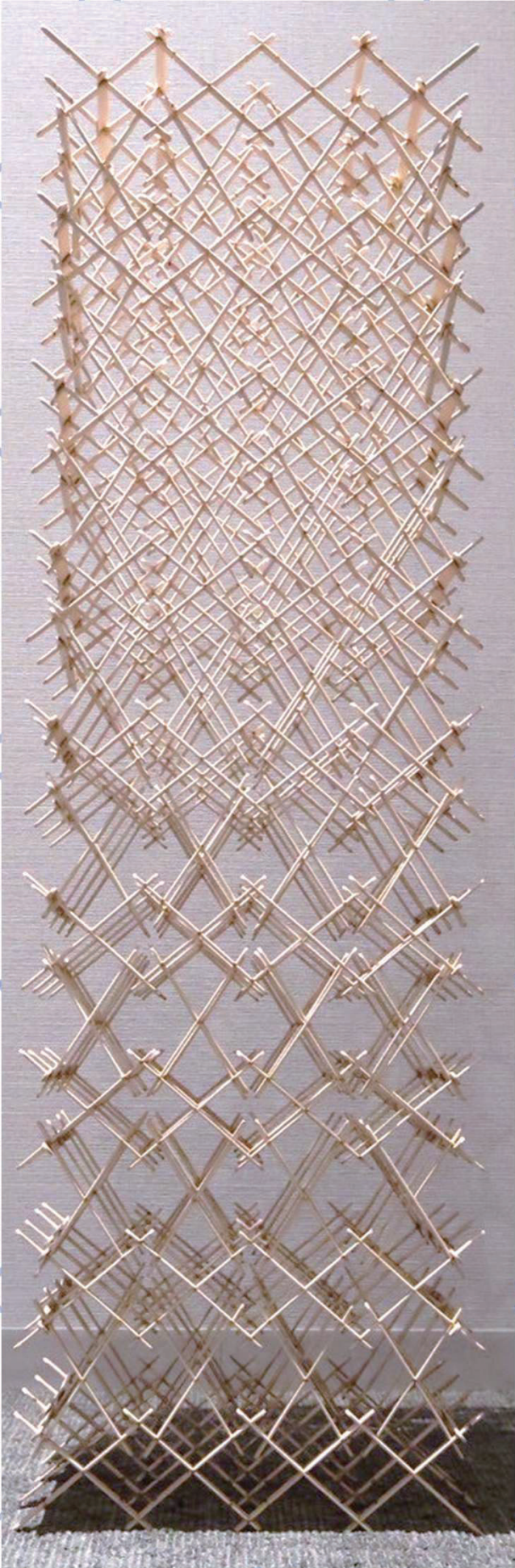


継手による剛性低下も見込んで解析し、120s 時の層間変形によりこの架構は崩壊する。自由形状でありながら、制御しつつしたデザインとなっていることを加振台上で示す。



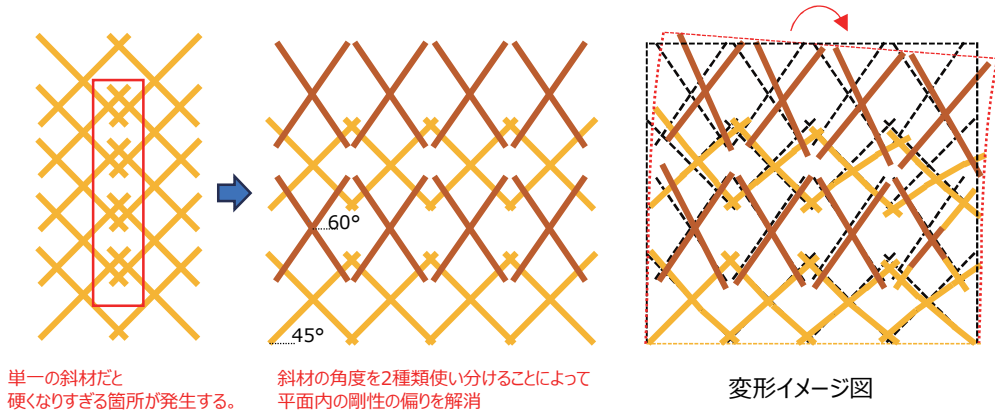


No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 アイス棒	1004 g 772 本	カテゴリー
	クロスxクロス	エヌエフジョイント	◎内原啓吾(NTT ファシリティーズ) ◎石下善之(同左) ◎岡野孝洋(同左) ◎田中友彬(同左) 伊野本明希(同左) 山下敬佑(同左) 稲葉洋介(同左) 稲葉龍平(同左) 古澤海斗(同左) 横山洋斗(同左) 太田匠(同左)			1



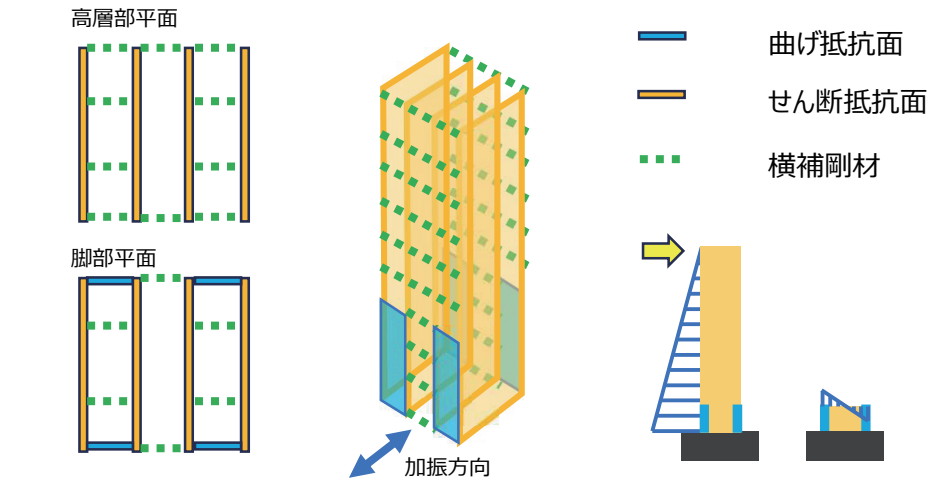
●concept：クロス x クロス

一方向の加振という条件に着目し、材料を効率良く用いるために、加振方向に4枚の耐震壁を計画した。  
搭状比の大きな耐震壁は、せん断変形と曲げ変形の両方を考慮する必要がある。  
高いせん断剛性と曲げ変形性能を持つ耐力壁を、傾きを2種類用いたアイス棒で実現した。



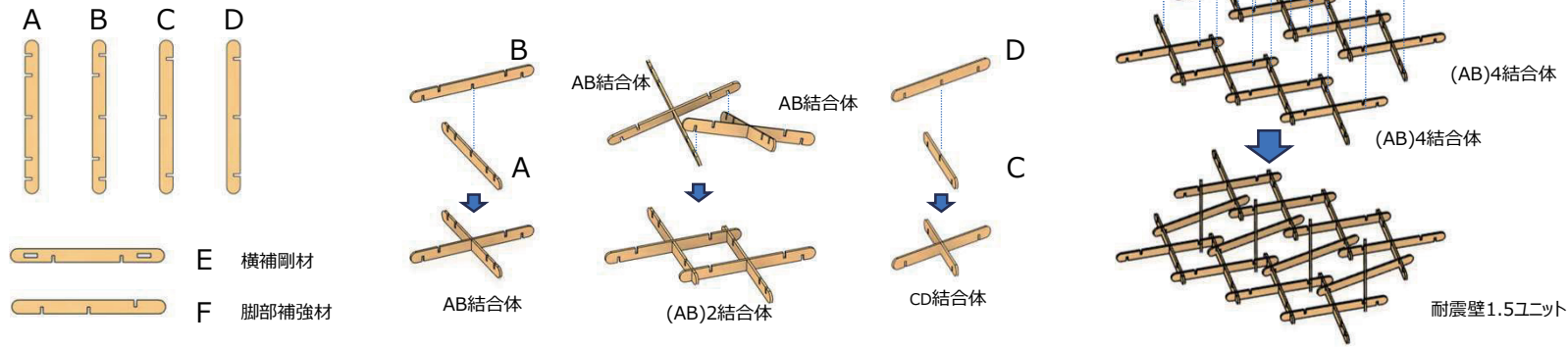
●架構計画

加振方向に4 枚の耐震壁を設け、横つなぎ材で連結する。  
壁同士を互いに連結することで面外変形を抑制し、架構の脆性的な破壊を防ぐ。  
曲げ応力の集中する脚部端部は直行方向の補強をすることで、効率良く材料を利用した。

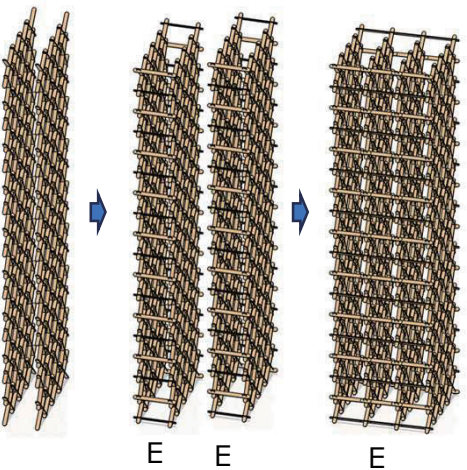


●接合部詳細・施工手順

耐震壁は、すべて相欠きで接合することで、節点の回転変形能力を高めた。  
耐震壁の補強材も耐震壁の変形性能を損なわないよう同様に、相欠きによって接合した。  
耐震壁どうしを繋ぐ材は施工性を考慮し、貫によるものとした。

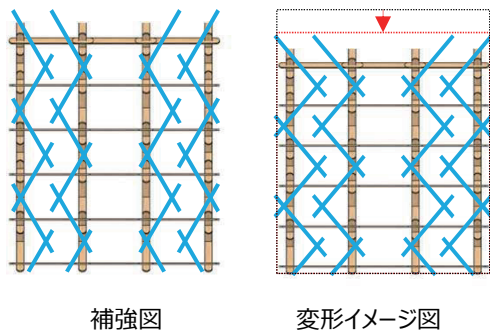


まず2枚の壁を接合しタワーを作り、最後に2つのタワーを接合する施工手順とすることで、作業性向上を図った。



●補強部詳細

変形性能を確保しつつ補強を行った。  
施工性を考慮して1種類の部材とした。



●設計クライテリア

0～120 秒の加振で無被害にとし、  
120～170 秒の加振中での架構の倒壊を目指す。

設計クライテリア

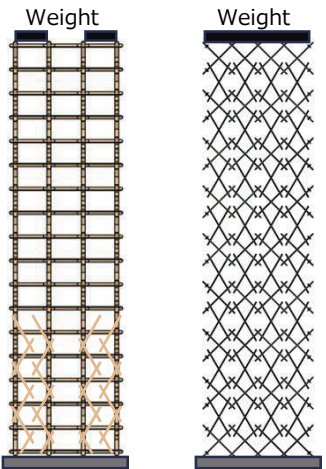
地震の大きさ	0～120s：中地震～大地震	120～170s：巨大地震
タワーの状態	無被害	倒壊

●これまでの実験で確認したこと

本番を想定した1m のタワーを製作し、静的加力試験・自由振動試験を行った。  
その結果、タワーの固有周期は0.60sとなり、応答加速度が大きくなる周期帯を避けていることを確認した。また、減衰定数も6.5%と確認できた。



●軸組図





No	作品タイトル <b>SG<sup>2</sup>(スグスグ)</b> Sway gently - Slide gently	チーム名 <b>早稲田大学 早部研 チームH</b>	チームメンバー ◎中島弥紀（早稲田大学早部安弘研究室、以下同じ） ◎鈴木豪人 ◎田原佑紀 ◎佐光葵 ◎林秋彦 ◎振木歩 ◎榎本悠花 ◎田畑遥香 ◎榎泰章	自重 1990 g アイス棒 1531 本	カテゴリー <b>1</b>
----	---	-------------------------------	--	--------------------------------	-------------------

[コンセプト]

木の「しなやかさ」と「加工のしやすさ」を生かし、振動に対し、**木ならではの抵抗**をみせる。

- ・曲げ加工=材の「伸縮」 + 詰め込み=「軋み合い」…「**しなやかな抵抗**」
- ・孔加工=「スライド」; → 水平力と摩擦力の大小により役割が「**可変**」…「**摩擦抵抗 + 衝突抵抗**」

[構造プラン]

(加振方向: ← →)

< 平面プラン >

- ・四隅コア: **伸縮抵抗チューブ**
- ・十字ボイド: **スライド機構**  
→ 加振方向の層…**スライド層**  
直交方向の層…**ロック層**

280mm (スライド可能区間)

< 立面プラン >

四隅コアを繋ぐ

- 全体 -

- メインフレーム -

格子

塔頂部: 500g 重りロック層に固定

500g 重りスライド層に固定

500g 重り

スライド層

[波板シザース]

「曲げる」×「詰め込む」

柔軟に開閉

引張面

圧縮面

[スライド機構] 役割が可変

- ① 静止摩擦力以下: 塔と**一体**
- ② 静止摩擦力以上: 動き始め**摩擦減衰**
- ③ 変位増大: **衝突**による**曲げ戻し**
- ④ 120 秒越えの変位: **突き抜けて崩壊**

変形・耐震

摩擦減衰

曲げ戻し

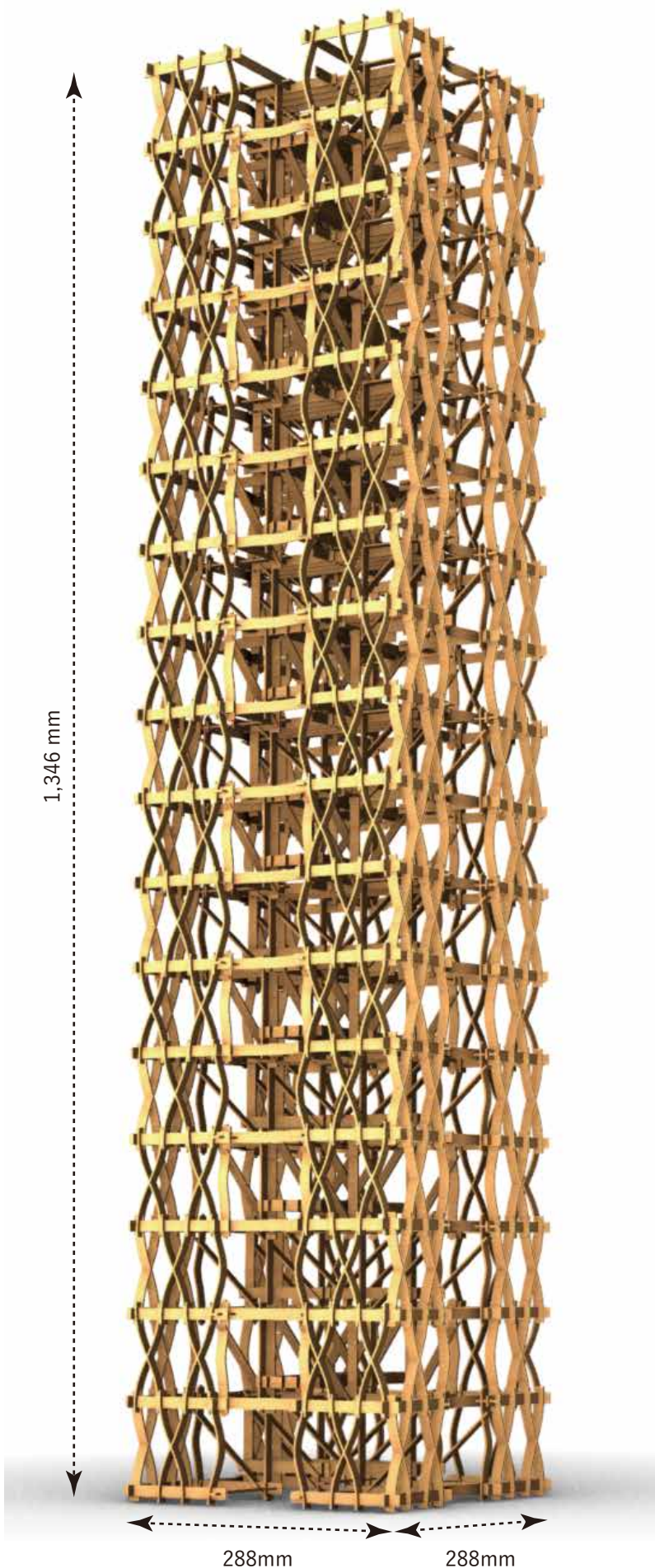
崩壊

①:  $F \leq \mu N$

②:  $F > \mu N$

③: 衝突

④: 突き破る



[波板シザース格子] …「木」ならではの**柔らかさ**

曲げ加工①

波板①同士の**詰め込み**

幾何学配置

水平力を地盤まで効率よく伝達

軋み合い+波板の伸縮

格子の**しなやかな変形**

[スライド機構]

スライド Box

柔軟な衝突 (波板②)

曲げ加工②

波板衝突ストッパー

スパン大 ▶ 楕型レシプロ

スライドを可能にする計画

摩擦孔 やや大きめに加工 + プレース

スライド層のせん断変形抑止

スライド摩擦孔の動作検証

スライド

重り

摩擦係数の実験の妥当性も検証

[実験] (静止摩擦係数:  $\mu$ , 動摩擦係数:  $\mu'$ )

$mg \sin \theta - \mu N = 0$

$mgh - \mu' NL = mv^2/2$

[解析] (当日使われる加速度を入力: MIDAS)

最大変位

< 結果 >

固有周期 = 0.066(s)

最大応答変位 = 31.8mm

応答変位と「衝突」・「破壊」のタイミングを考慮し、スライドの幅を決定

25mm

$\mu = 0.268 \rightarrow$  摩擦減衰の開始タイミング推定

$\mu' = 0.220 \rightarrow$  摩擦による減衰を解析へ入力

[構成部材]

波板材 ▶ 切り出した後曲げ加工

四隅コア

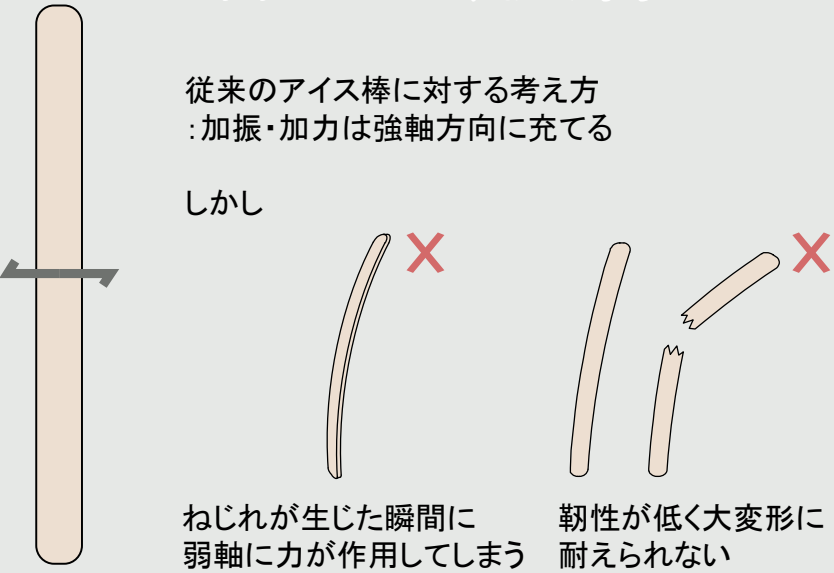
スライド層

91mm	91mm	104mm	104mm
104mm	100mm	104mm	104mm
104mm	100mm	104mm	86mm
104mm	104mm		62mm



No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 855 g	カテゴリ
	H - Wooden Tower	トミチル	◎武田丈 ◎原碧波 ◎野末琉生 ◎山口昂希 伊東佳純	アイス棒 950 本	1

# アイス棒でH形鋼をつくる。



アイス棒を **H形** に

H形断面が有する構造的メリット  
効率的な断面性能を有し、**変形を抑制**する  
ウェブ・フランジで負担する力を明確化

断面二次モーメント  
約3.3倍



アイス棒タワー特有のメリット  
**ハーフラップ**させることで材軸方向の延長を容易に

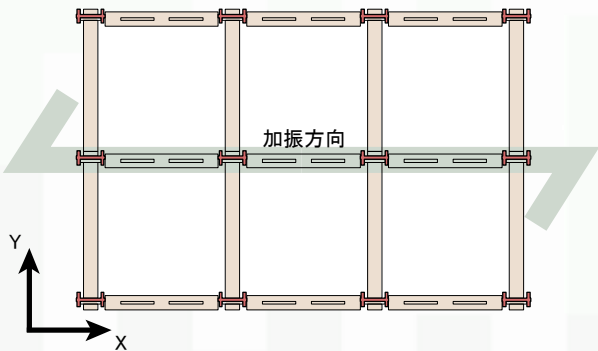


ねじれた場合にもウェブかフランジいずれかの強軸が常に加振方向に

アイス棒の**弱軸方向の脆弱性・強軸方向の靱性の低さを同時に軽減**

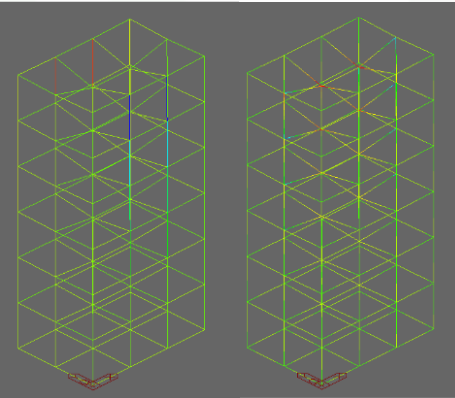
## 平面計画

- H形アイス棒の強軸を加振方向に合わせる
- 長方形のプランとすることで効率化



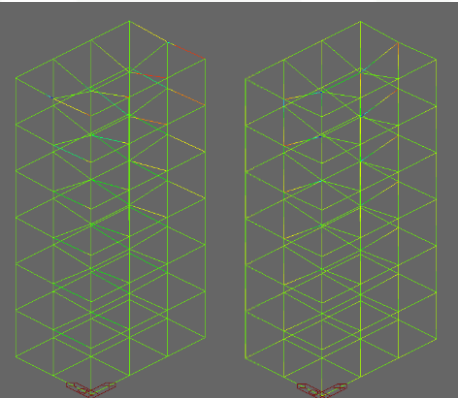
- 以下の解析結果に基づき、X軸方向の梁は剛接合、Y軸方向の梁はピン接合とする

X方向 - 剛  
Y方向 - 剛



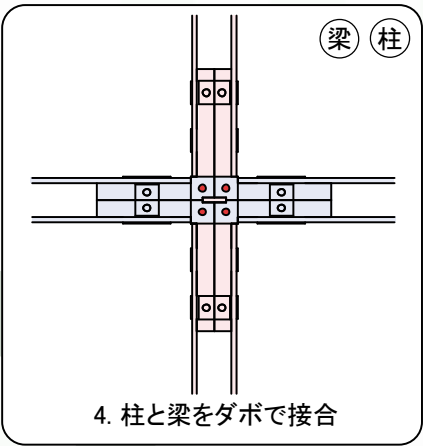
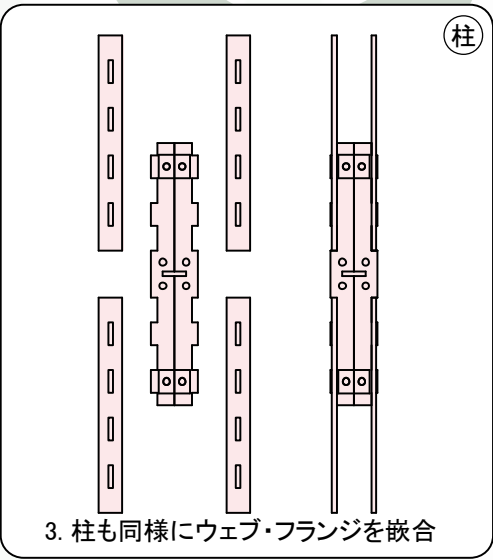
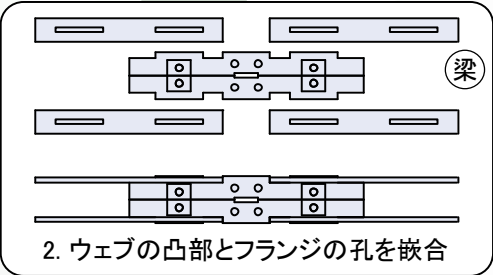
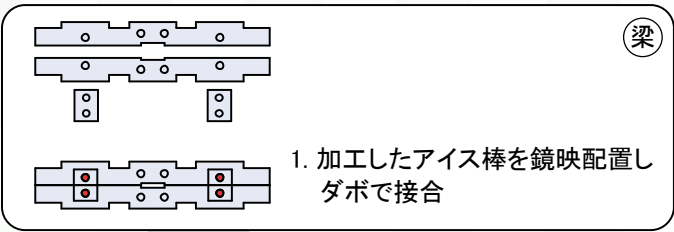
せん断 (Y軸) 最大: 108 N  
曲げモーメント 最大: 313 N・m

X方向 - 剛  
Y方向 - ピン

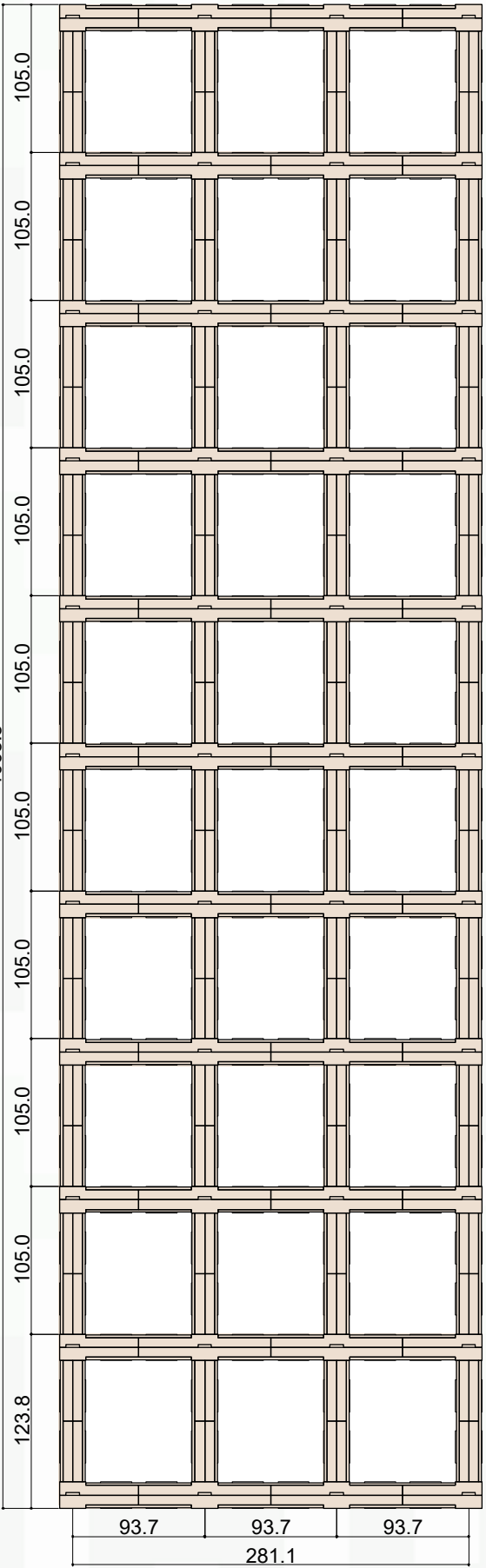


せん断 (Y軸) 最大: 0 N  
曲げモーメント 最大: 331 N・m

## 製作手順と仕口の詳細

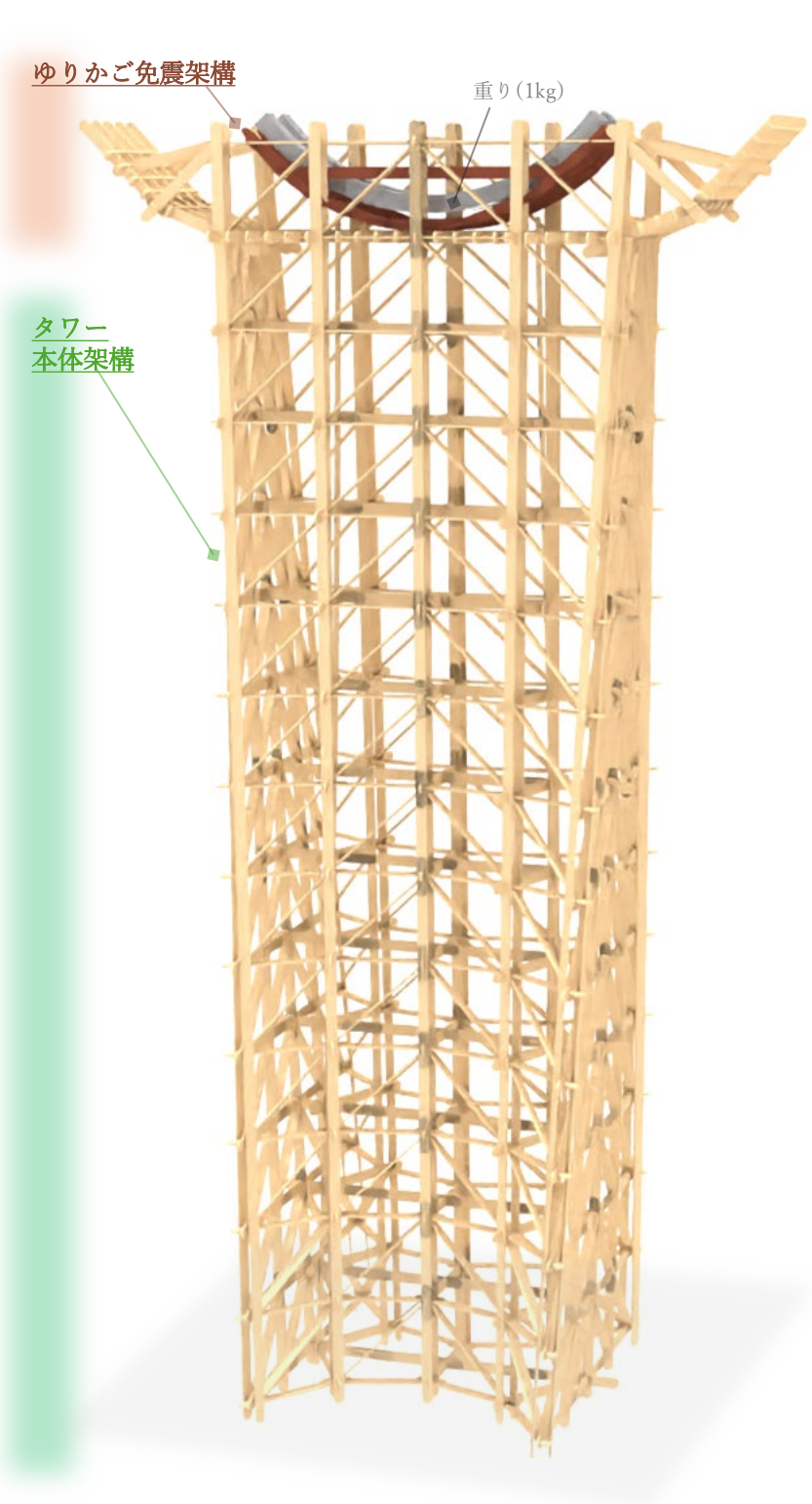


H-Wooden Tower 立面図





No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 1560 <sup>g</sup> アイス棒 1200 本	カテゴリー
	Tower CRADLE	TSD チームC	◎濱上結樹   ◎小室智優   ◎柿田哲志   ◎門積直宏   ◎宮澤宏輝 ◎坂口航平   ◎國府田有加   ◎濱大貴   (大成建設)		1



重りを“ゆりかご-CRADLE-”に載せることで、重りを水平力に対し緩やかに動かし、免震効果を付与する。

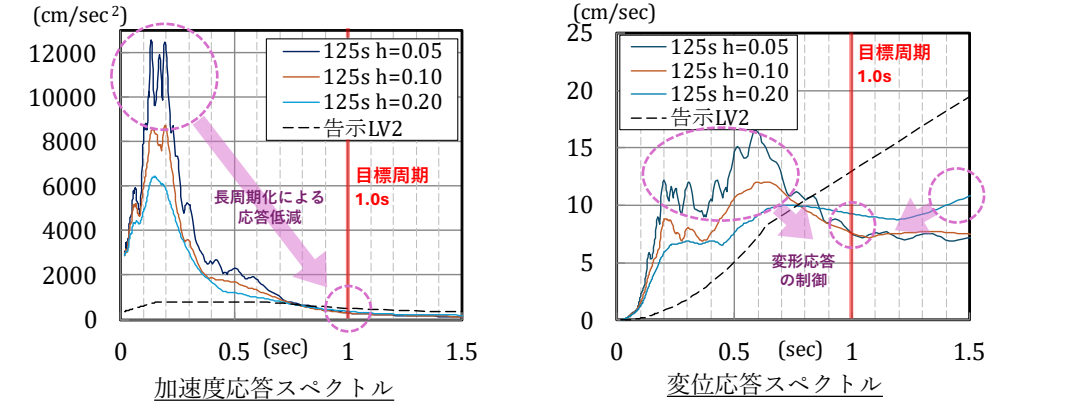
タワーは、“ゆりかご”を支えながらも、重りによる水平応答が低減された架構となる。

”ゆりかご”を介して、タワーと重りは“親子”のような関係となり、地震力に対して強固かつしなやかに抵抗できる構造となる。

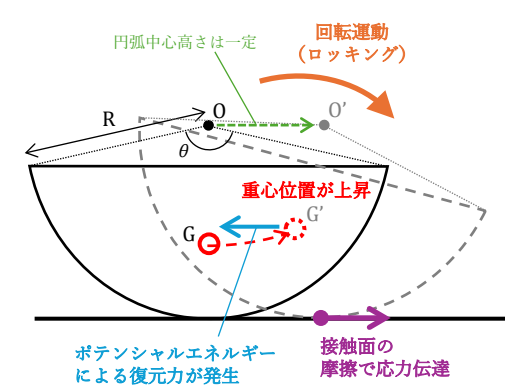
## 設計コンセプト

JSCA波の125sまでを設計波と想定した場合、0.1～0.5s付近での応答が卓越することが予想される。

そこで、重りをゆりかごの上に載せることで全体系の周期をT=1.0s程度に長周期化させ、ゆらゆらと挙動させることで、加速度・変位応答を制御しながら揺れを受け流す構造を提案する。



## ゆりかご免震架構の特徴



ゆりかごの回転運動により重心位置Gが上がることで、ポテンシャルエネルギーによる復元力が発生する。

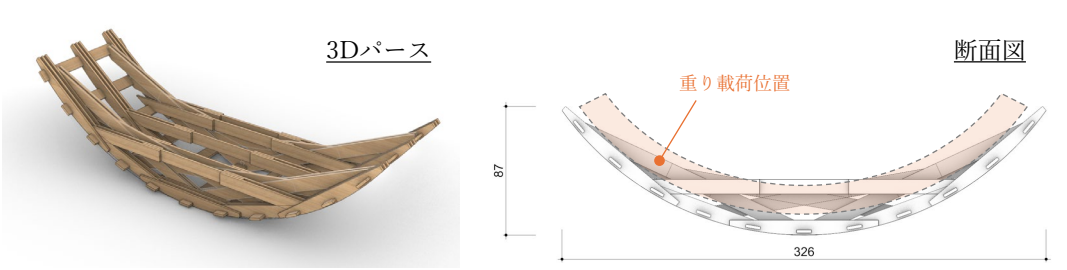
タワーとは、接触面での摩擦により応力伝達を行う。

ゆりかごの周期は円弧半径R・中心角θをパラメータとして、円弧の重心位置・形状を調整することで、周期のチューニングが容易に可能となる。

## ゆりかご免震架構の設計

周期1.0秒を想定したゆりかごを、以下の点に留意して設計する。

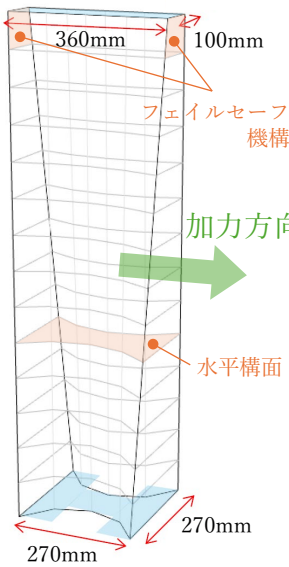
- ・アイス棒から切り出し可能なユニットによって円弧形状を決定
- ・ゆりかご架構の剛性を確保するために、編み込むように弦材を配置
- ・ゆりかごの円弧上に重りを均一に載せることで、重心位置の精度を確保
- ・基本的にタワーの上に置くだけの簡易な構造



## タワー本体架構の設計

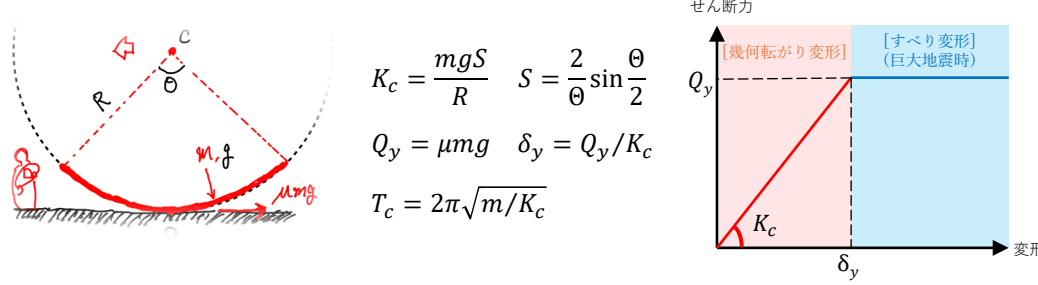
底面形状の制約を守りつつ、ゆりかごが十分に稼働できるタワーとするために、以下の点に留意した架構を設計する。

- ・底面をH形断面、頂部を長方形断面として、高さ方向に断面が変化する、一方向加振に対応した力学的合理性のある形状
- ・ゆりかごの稼働距離を確保できるように、頂部で幅を広げる架構
- ・ゆりかごを確実に稼働させる、剛強なブレース構造
- ・水平構面の面内剛性を確保する、H形断面に曲率を与えた曲面フレーム
- ・巨大地震時におけるゆりかごのすべり出しに対し、ストッパーを設けて落下を防止するフェイルセーフ機構



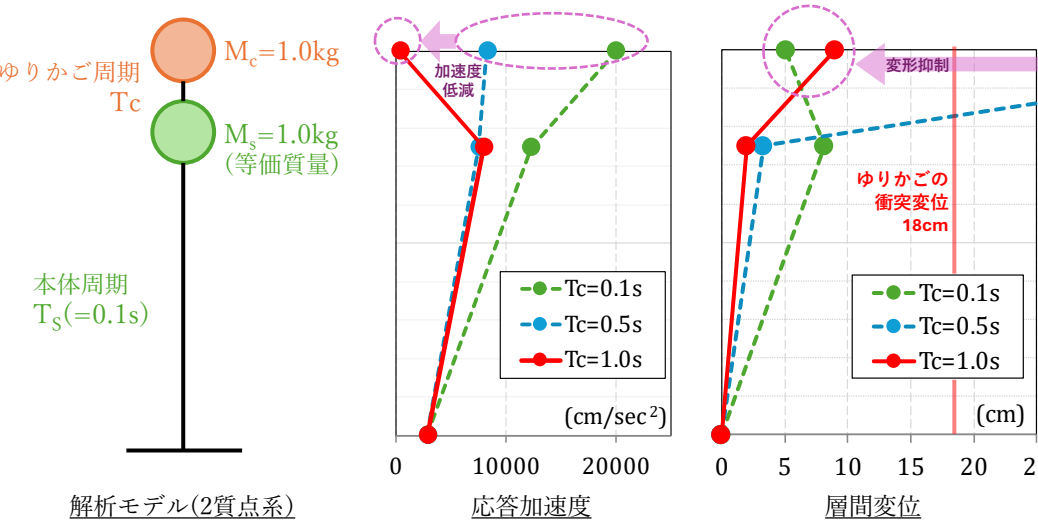
## JSCA波による応答解析

ゆりかごの円弧上に重りを均して乗せることを想定して、重力ポテンシャルと復元力の関係から以下のような等価なバネの復元力特性を設定する。



- ・本体周期Ts=0.1sに対し、ゆりかご周期Tc=0.1sでは応答加速度が大きい一方で、Tc=1.0sでは応答加速度が大きく低減されることを確認した。
- ・Tc=0.1s,1.0sで、ゆりかごの衝突変位18cm以内に納まることを確認した。

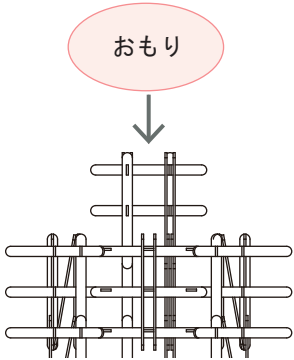
以上のことから、ゆりかご周期Tc=1.0sの妥当性を確認した。





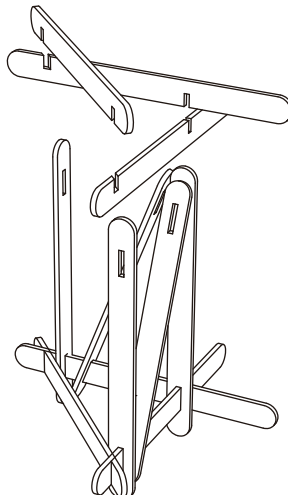
No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 アイス棒	1404 g 1080 本	カテゴリー
	ねばるねばるタワー	NEW KATAII	◎廣鹿詩（日本設計）◎石原真鈴（同左）◎江藤仁哉（同左） ◎神野帆乃香（同上）◎中村真子（同上）			1

おもりの載せ方

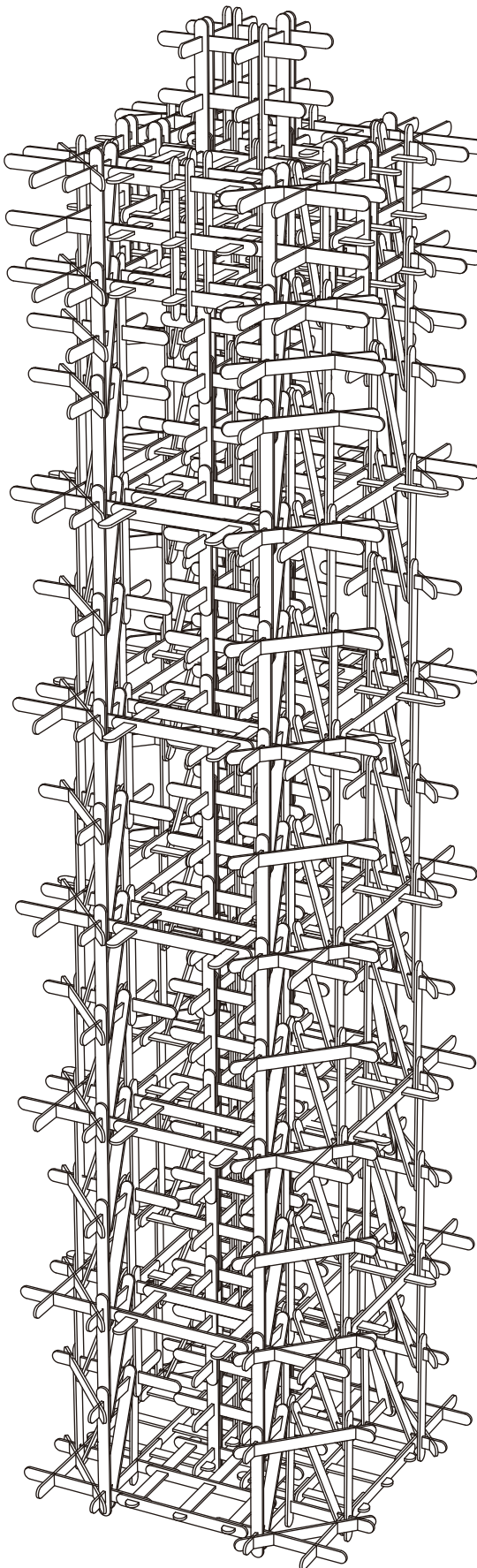


芯棒が外殻に対して揺れやすくするため芯棒側の頂部におもりを設置した。

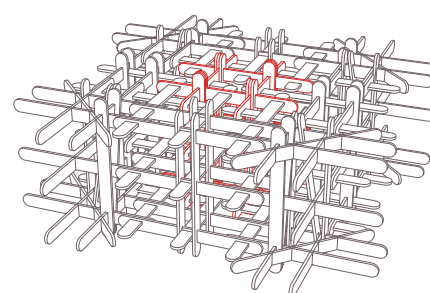
外殻の接合



貫材として使用した梁は上端を切り欠き、その他の梁を支えることで、地震時にも引き抜けない架構を実現。

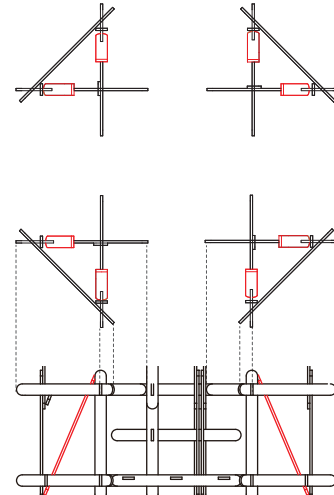


アウトリガー梁



アウトリガー梁と**芯棒**は、水平方向の貫材を3段使用し剛接とすることで曲げ戻しによる効果を十分発揮できることを期待。

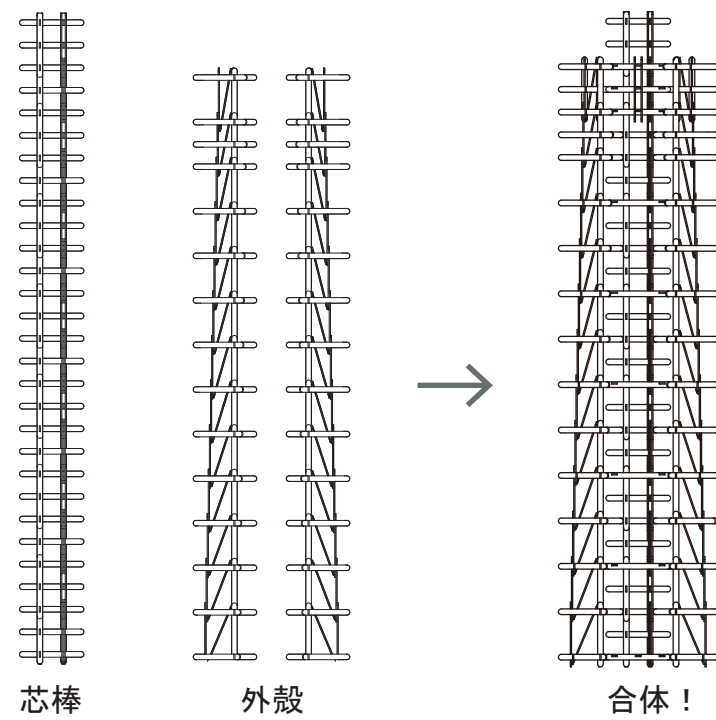
外殻の**ブレース**



平面的なバランスを考慮し、外殻の1ユニットの直角をなす辺に**ブレース**を配置。さらに立面的には**踏ん張る向き**に配置した。

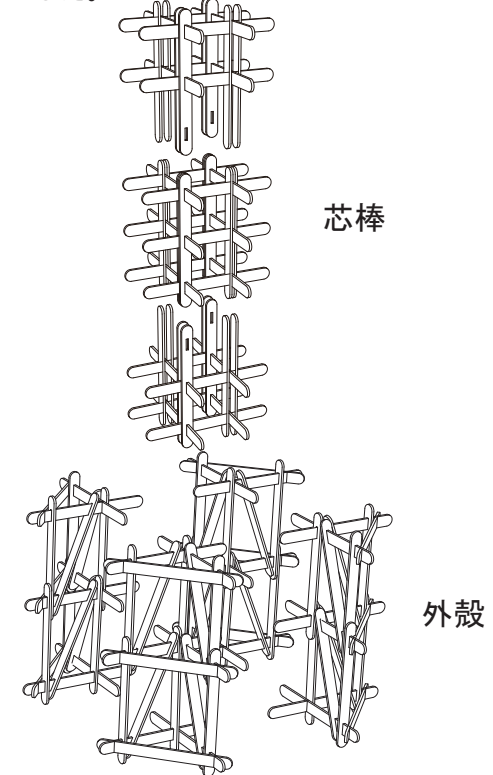
01 架構コンセプト

- ・塔状比の大きな芯棒を揺らし、4本のタワーをつないだ外殻との周期の差によって芯棒の揺れを吸収しねばりにねばる！
- ・アウトリガーによる曲げ戻しによって、芯棒の変形を抑える！

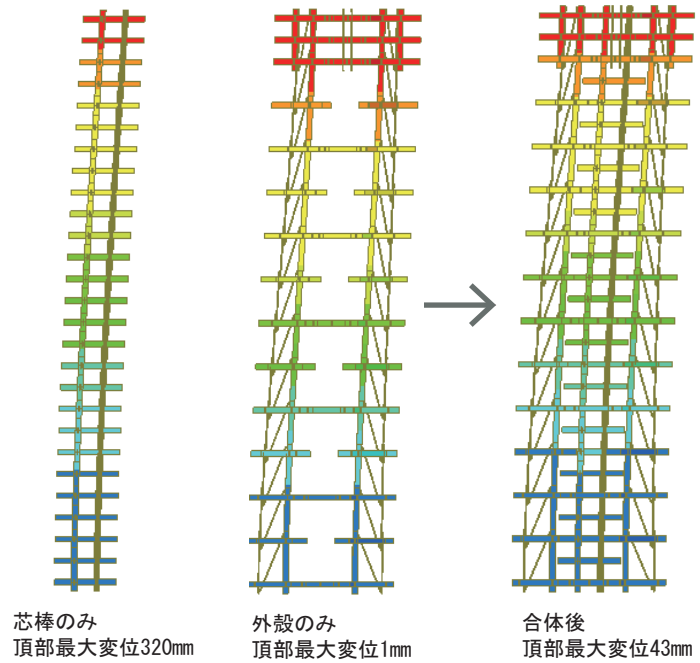


02 構造詳細

芯棒の柱は強軸と弱軸を交互に配置し、どの方向にも強い構造とした。柱に梁を貫くことで、梁同士の切欠きが抜けないようにした。



03 検証



【解析条件】

荷重条件：実際の载荷状態を想定し、構造体に対して1Gの水平力を与えた。また、おもりによる外力は芯棒に作用させた。

支持条件：構造体の最下部を固定端とした。

【解析結果】

外殻が芯棒の変形を吸収しているかを確認するために、以下の3パターンについて解析を行った。

- ・芯棒のみ
- ・外殻のみ
- ・芯棒と外殻の接合後

芯棒単体での最大変形量は320mmであったが、外殻と一体化した場合には変形量が43mmまで小さくなった。これにより、外殻が芯棒の変形を効果的に吸収していることが確認できた。



No.	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 アイス棒	カテゴリ
1-16	Homogeneous Tower - 均質なる塔	MJD Team A	◎羽場允哉    ◎神鳥拓也    ◎野中洋志 ◎中野友貴    ◎桑原太知    ◎関口真衣（三菱地所設計）	2530 g 2100 本	1

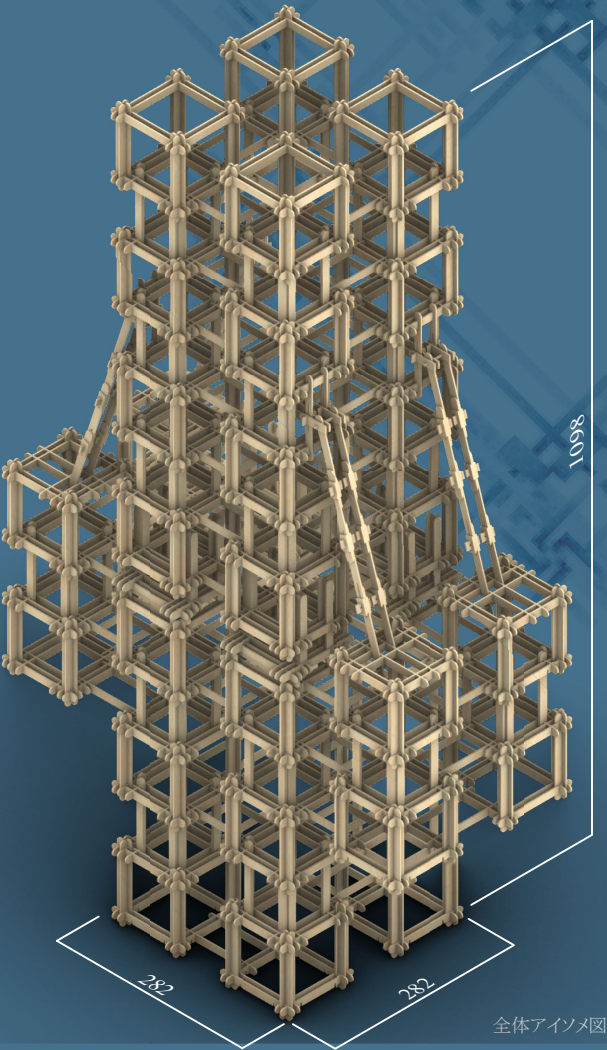
<Concept>

剛柔一体の調和 -中間層免震が紡ぐ構造の均質美-

本提案は、地震力に「剛」で抵抗する下部構造と揺れをしなやかに受け流す「柔」の上部構造を一層の免震機構で融合させた中間層免震構造とした。

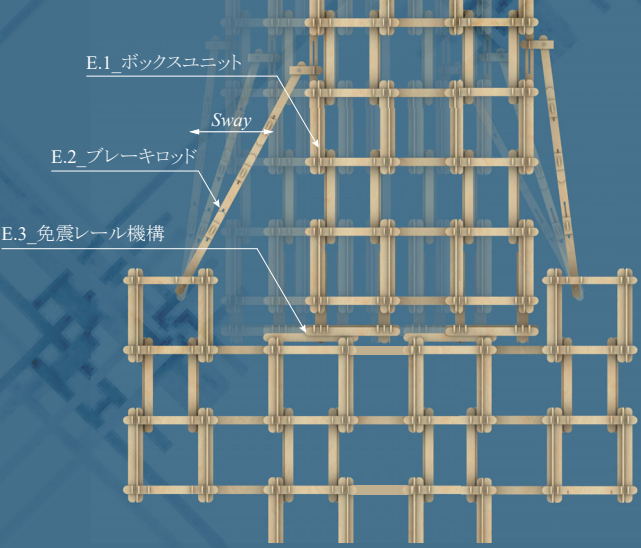
この構造形式を選択した最大の狙い理由は、構造の均質性の追求にある。中間層に設けたスライドレール式の免震機構が、上部構造への地震エネルギー伝達を劇的に低減する。これにより、本来ならば下層階ほど要求される高い剛性から上部構造を解放し、下部構造と上部構造を同一の部材ルールで構築するという、合理的に美しい解決を可能にした。

私たちは、単なる剛と柔の組み合わせではなく、一つのルールから二つの異なる性質を生み出し、安全性・合理性・そして均質が生む造形美を高い次元で調和させる構造デザインを提案する。



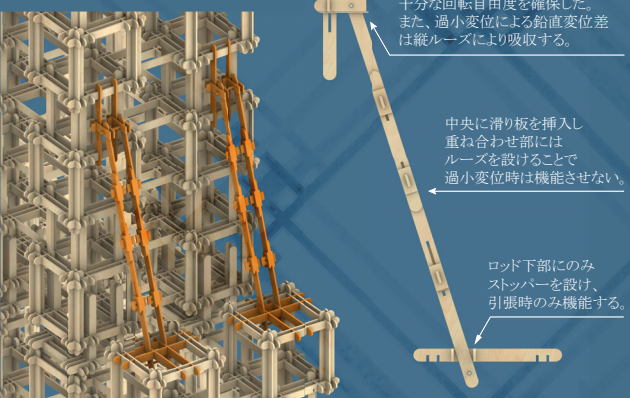
<Structural System>

本構造は、支圧抵抗により剛性を高めたラーメン架構 (E.1\_ボックスユニット) を、十分な変形性能を持つ免震層 (E.3\_免震レール機構) で支持する免震構造である。安全性を高めるための工夫として、過大变位を拘束する引張材 (E.2\_ブレーキロッド) を設置した。このブレーキロッドは、免震層の性能限界を超える入力があった際に上下の構造を連結させ、建物全体の挙動を安定させると同時に、上部構造の転倒を防止するフェイルセーフ機構としての役割を担う。



E.2\_ブレーキロッド -Tension Cable Element-

過大变位時に上部構造の転倒を防止する拘束材として機能し、通常時には免震層の水平方向変位に柔軟に追従する。本機構は、引張抵抗でのみ機能させるため、端部はピン支点として曲げが採用しないように、また、適度なルーズを設けて接続することで圧縮力が作用しないようにディテールを決定した。



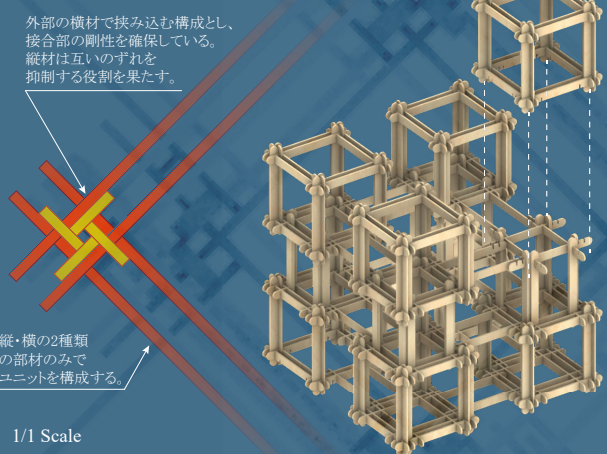
<Element>

◎モデリング  
Rhincerosと3Dプリンターを併用し、組み立て方法を実物で確認した。また、切り欠き部の納まりを確認し、レーザーカッター出力時に生じる部材の割れを未然に防ぐ工夫を施した。

◎部材形状  
各エレメントを構成する部材の主要断面は、アイス棒の原型をそのまま活かす長さ114mmを基本単位とした。これは、端材を極力出さず、既存の素材を最大限活用するという思想に根ざしている。

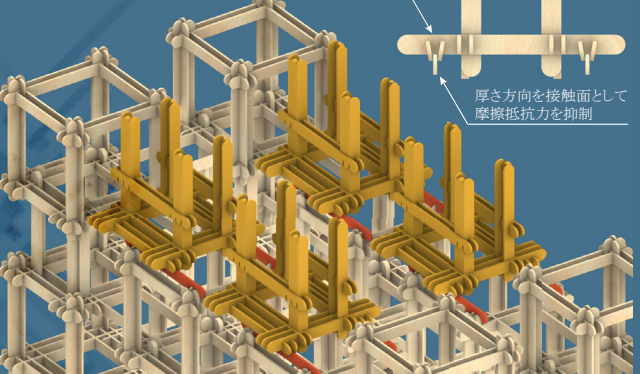
E.1\_ボックスユニット -Box Unit Element-

部材の強軸方向に4本の縦材を配置して、曲げおよびねじりに対する高い剛性を実現するため、嵌合ながら、支圧によって回転剛性を確保できるディテールとした。



E.3\_免震レール機構 -Seismic Isolation Rail Element-

上部構造への地震エネルギー伝達を抑えるために、水平変位の制限をしない、すなわちストッパーのないレール式の免震層を構成した。ねじれ挙動によるレール面外方向に対して拘束するため、V字材によりレールを挟み込む形式とした。また、ボックスユニットにアタッチする形式にすることで、施工性にも配慮している。





No	作品タイトル ちすいとぅ 知粹塔	チーム名 kozo1004	チームメンバー ◎原田慈英理（明治大学） ◎菅野陽生（同左） ◎北原真央（同左） ○渡邊充規（同左）	自重 800 g アイス棒 620 本	カテゴリー 1
----	------------------------	------------------	--	------------------------	------------

## concept

### コンセプト:振り子制振

#### ?振り子制振とは?

振り子と建物の周期のずれによりお互いの揺れを打ち消しあって揺れを弱める構造。  
主に長周期の地震動を抑えるために用いられる。

#### ?なぜ振り子制振?

本大会ではおもりをタワー頂部に取付けることが必須であるため、その特徴をあえて生かすタワーを作成したいと考え振り子制振を選択した

### 振り子の加速度低減効果の確認

○振り子周期・タワー架構形状決定のため、下記の条件の基に解析を行った。

#### ○モデル概要

解析モデル:多質点系せん断モデル(右図)。

(振り子は頂部青部分)

質点数は一定の精度を求めるため 8 質点に決定した。  
タワー各層のせん断剛性は、目標とするタワー単体の 1 次固有周期となる時の値とした。振り子のせん断剛性も同様の手法により決定している。

#### ○加速度低減効果の確認(下図)

振り子による加速度の低減効果を確認するため、  
タワー1次固有周期を 1~10Hz、  
振り子周期を0~2 秒の範囲で解析を行った。  
(刻みはそれぞれ 0.05 としている。)

下の2図から、振り子周期 1 秒においてタワーの周期の依らず応答を大きく低減している。しかし、一部タワー周期と振り子周期が一致している部分においては応答低減効果が小さいことが分かる。

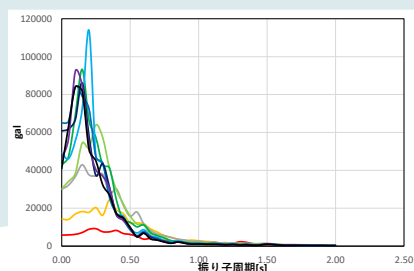


図 振り子の応答加速度

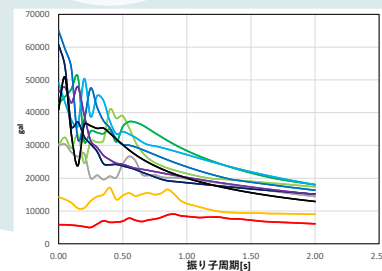


図 タワー頂部の応答加速度

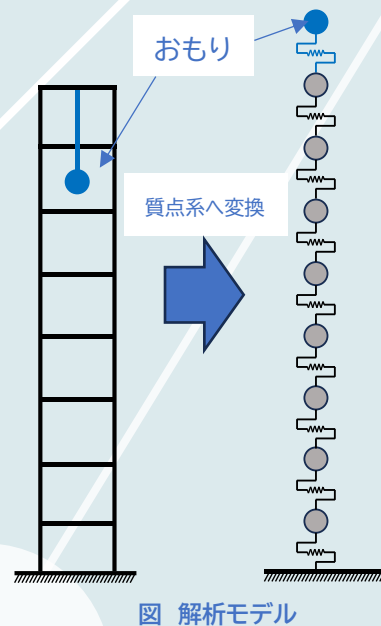
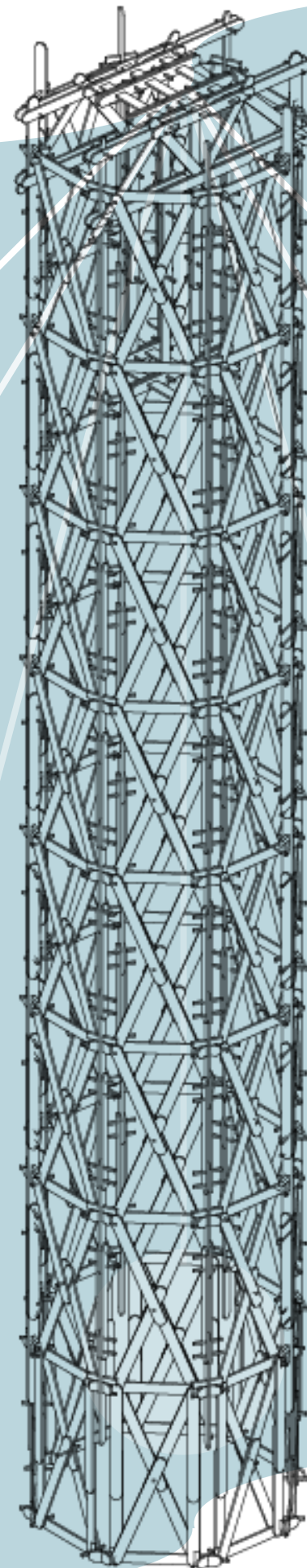


図 解析モデル



## タワー及び振り子部分の設計

#### ○タワー高さ及び振り子周期の決定

振り子周期が 1 秒以上の場合の応答低減効果や製作時間を踏まえ、タワー高さを 130cm として振り子長さを 25cm(振り子周期 1 秒)に決定した。

タワーの設計は、初期不整によるねじれ振動の励起や振り子によるせん断力低減を見込み、ファサードにブレースを多用することで、水平・ねじれ方向共に高い剛性を確保する方針とした。

#### ○自由振動実験に基づく試作タワーの固有値の確認・解析

上記の設計方針の下に試作タワーを作成し、自由振動実験を行った(右上図)。

実験結果より、タワー単体の一次固有周期は 3~5Hz 減衰は 20~30%ということが分かった。

次に、実験結果を踏まえた解析によるタワーの必要耐力の確認を行う。タワー単体の 1 次固有周期を 3~5Hz、減衰を 20%~30%と変化させた多質点系せん断モデルによる応答解析を行った。(この時の減衰は 1 次固有周期に対して剛性比例減衰としている。)得られた加速度分布と試作タワーの各層重量からせん断力を算出した。その結果、最大で 40~55N のせん断力がタワーの 1 層目に生じることが分かった。(右下図)

#### ○静的加力試験に基づくタワーの安全性参考論文:

上記で得られたせん断力を基に静的加力試験を行った。その結果試作タワーが 55N のせん断力に耐えられることを確認し、タワーの安全性を確認した。

#### ○振り子の詳細検討

##### 摩擦力向上→減衰確保

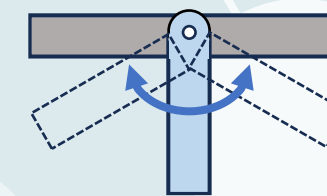


図 横から見た振り子の接合部

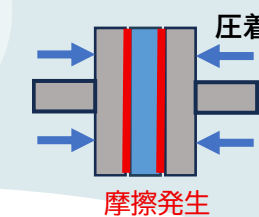


図 上から見た振り子の接合部

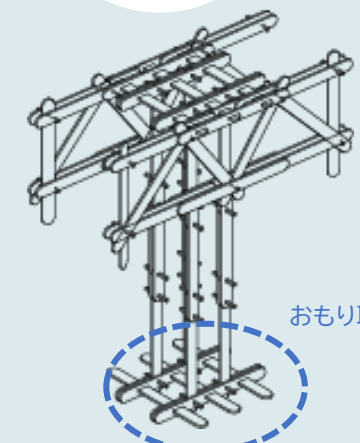


図 振り子イメージ図

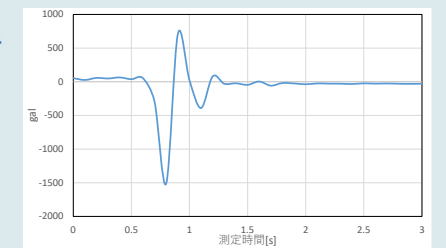


図 実験から得られた自由振動波形

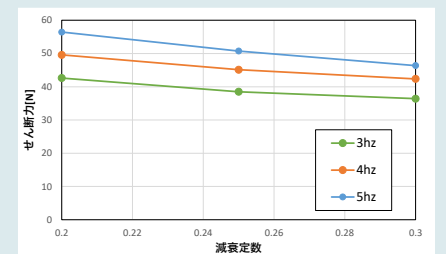
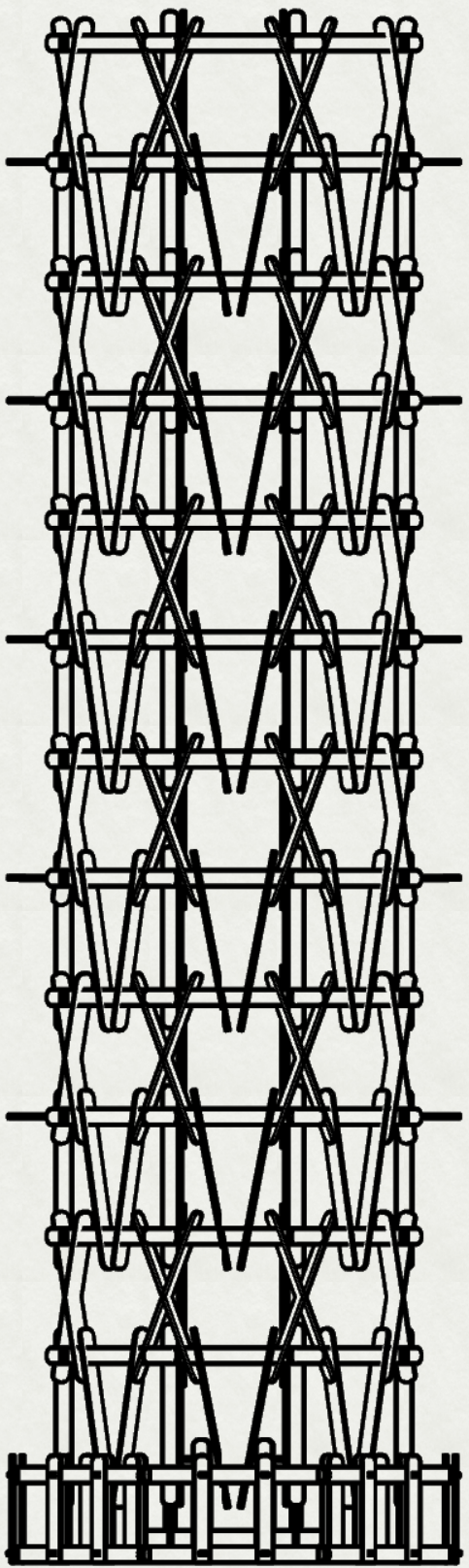


図 1層目のせん断力の比較



No	作品タイトル ゆりかご <b>揺籃</b>	チーム名 <b>明治大学構造力学研究室 C</b>	チームメンバー ◎河合惣研 ◎白石勝真 ◎辻壮留 ◎小池広輝 (明治大学 構造力学研究室)	自重 <b>960</b> g アイス棒 <b>740</b> 本	カテゴリー <b>1</b>
----	-----------------------------	------------------------------	---	--------------------------------------	-------------------



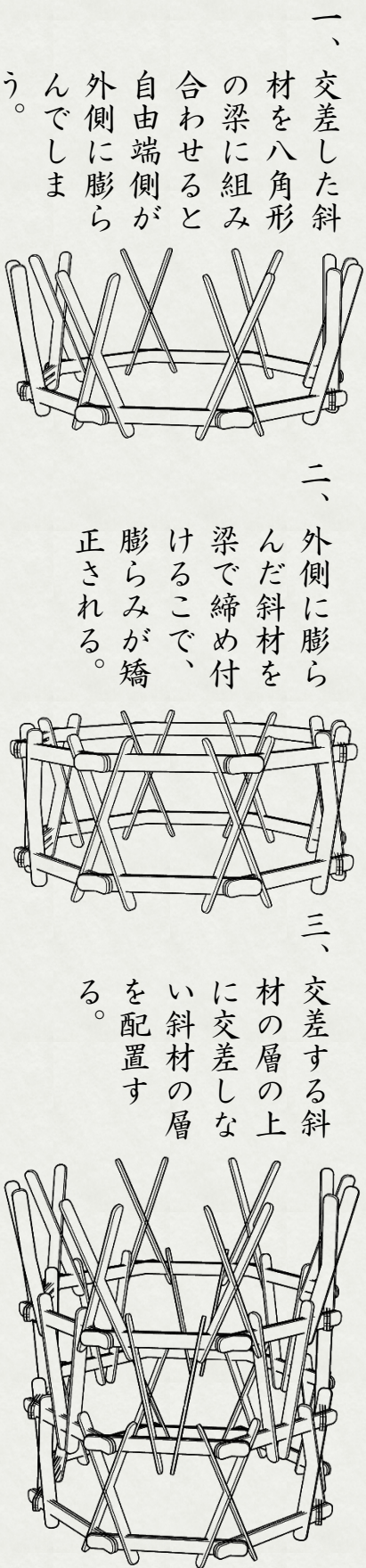
# 揺籃

## 其ノ壺、概念

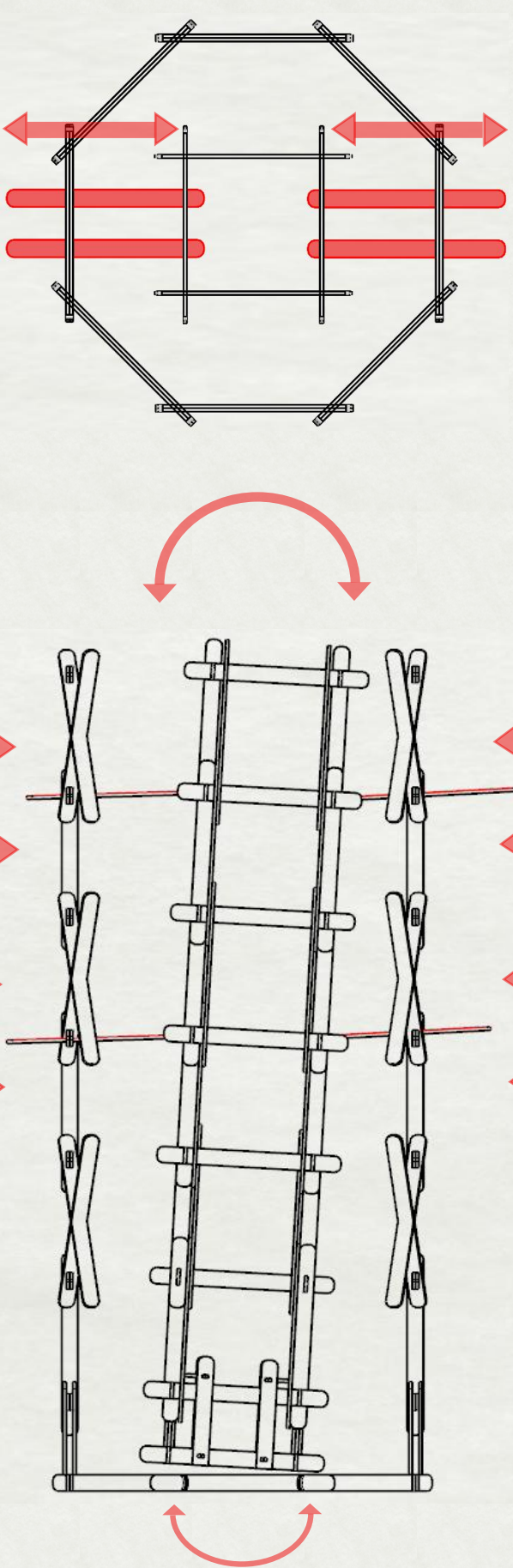
本作品「揺籃（ゆりかご）」は、外かごと内かごの**二重構造**が異なる挙動を示し、ロッキングを利用して揺れに耐える。その様子は、まるで赤ん坊をやさしくあやすゆりかごのようである。

## 其ノ式、構造

内かごの衝突に耐えるために、外かごは固く接合部が簡単に外れない構造にする必要があった。交差する斜材により、外かごは直径方向に膨らもうとする。これを八角形の梁で締め付けることで**強固な**構造を実現している。



## 其ノ参、振動制御

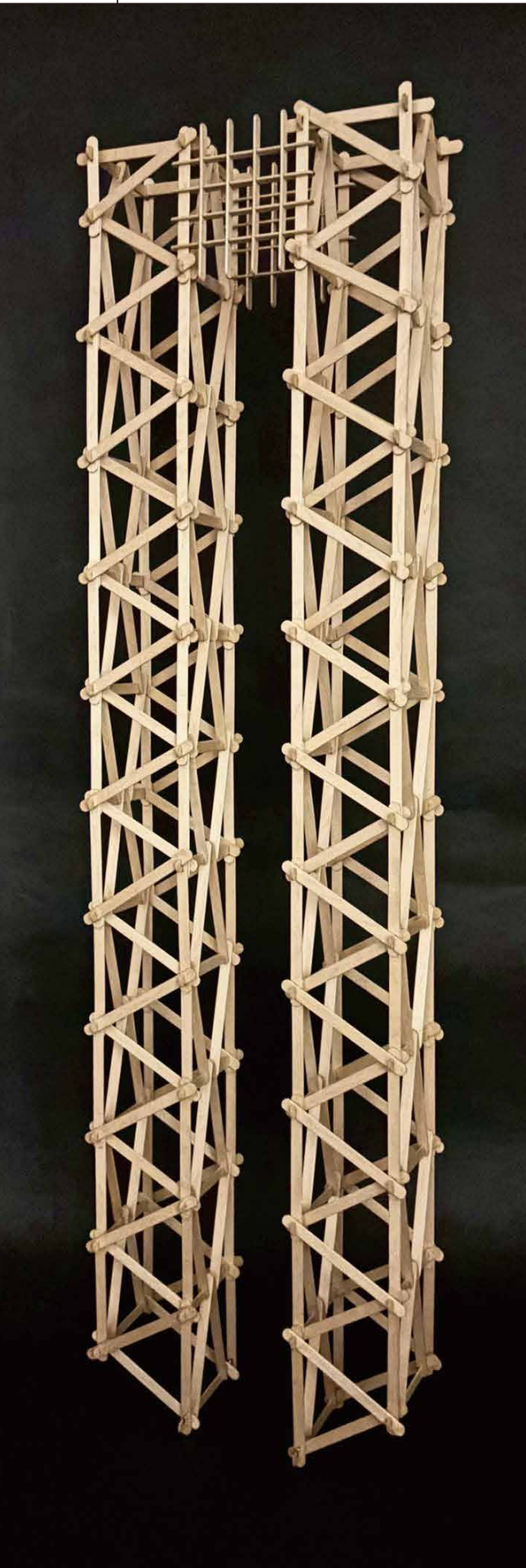


入力エネルギーを吸収する。内かごの挙動に伴い、繋ぎ材が外かごの梁の穴を出入りすることで**摩擦力**を生じさせる。

**倒立振子**のように揺れる。剛性の高い外かごは揺れに対して強く耐え、比較的柔らかい内かごは基礎部を支点として、ロッキングすることで、繋ぎ材に回転が生じ、元に戻るうとする復元力が生み出される。

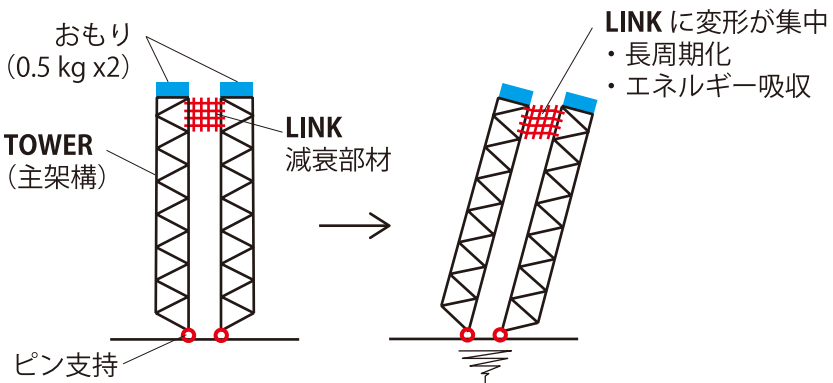


No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 420 g アイス棒 340 本	カテゴリー 1
	SPLIT TOWER	南大沢じろう系	◎ 浅井薫平 (東京都立大学),   ○ 宮川隼人,   ○ 熊谷友里, ○ 渡邊耀介,   鈴木沙依,   岡田波流		



CONCEPT

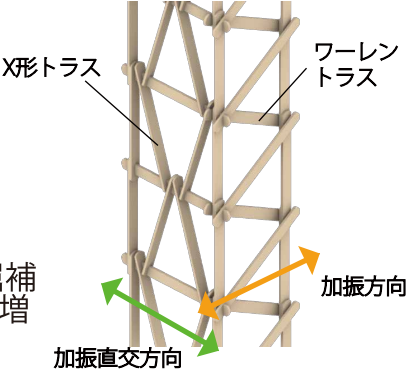
2つに割れた剛強な柱（**TOWER**）を柔らかな格子（**LINK**）で接続する。  
TOWER脚部をピン支持とし、LINKをタワー頂部に配することでタワーを長周期化する。  
変形をLINKに集中させることでエネルギー吸収を図る。



STRUCTURE

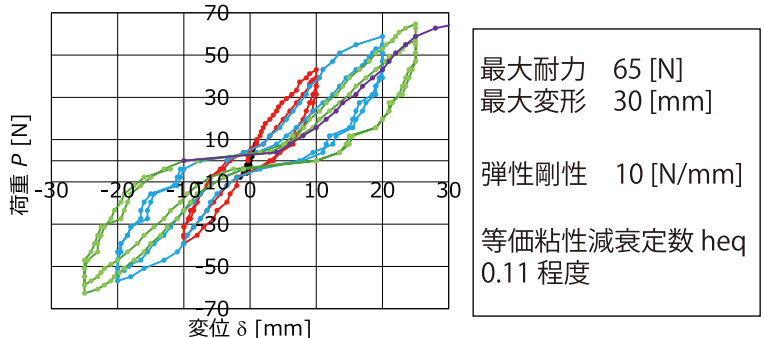
1.TOWER (主架構)

- ・加振方向  
ワーレントラスで構築。  
正三角形で組むことで材を効率利用
- ・加振直交方向  
X形トラスとした。  
ワーレントラスの横座屈補剛とTOWERの曲げ剛性増大を兼ねる。



3. LINK (減衰部材)

LINKのせん断変形に関する履歴特性を確認するため、交番载荷試験を行った。

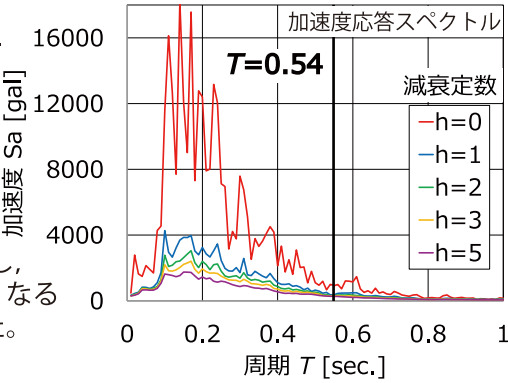


2. 周期の設定

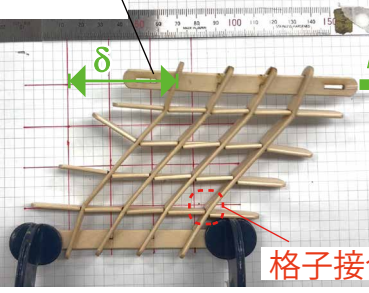
固有値解析結果

1次固有周期  
0.54 [sec.]

LINKの剛性を調節し、  
入力加速度が小さくなる  
固有周期に設定した。



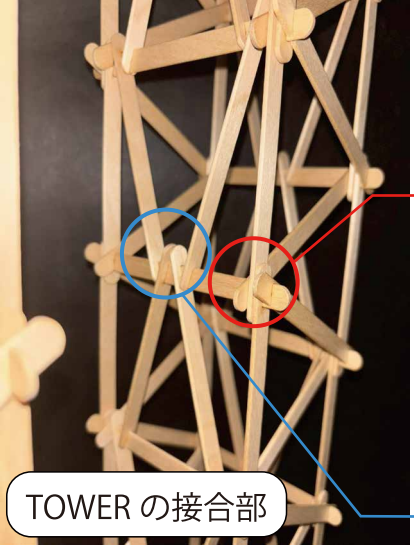
TOWERの柱



LINKの崩壊形

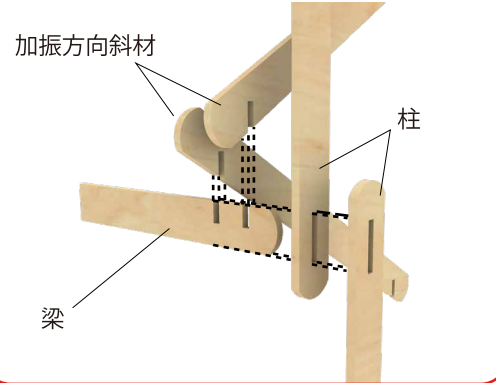
格子接合部でアイス棒が面外に折れて終局状態に至った。  
このとき柱は損傷しないことを確認した。

DETAIL



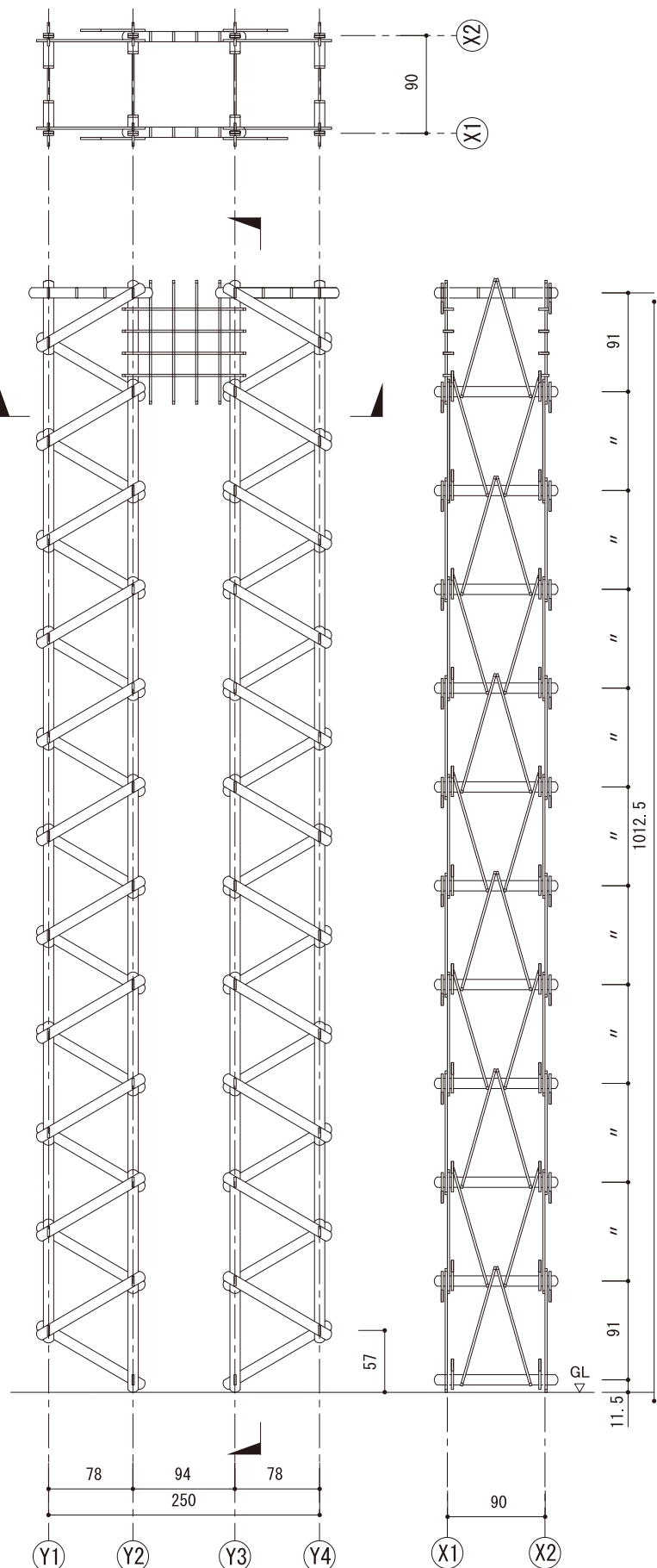
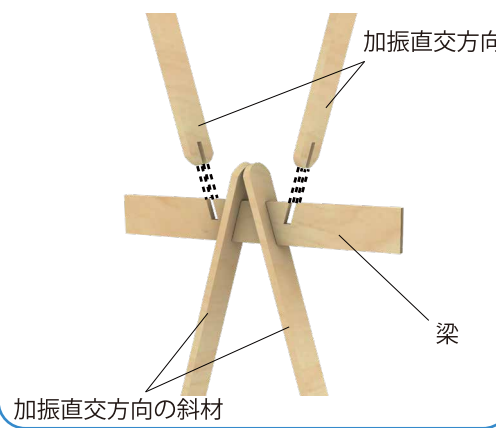
柱梁接合部

上下2つの柱を梁で貫くことで一体化し、断面欠損を最小限に変動軸力を伝達する。



斜材接合部

梁の上下から取り付く部材の接合方法をそれぞれ相欠きと貫きによる接合とし、部材の切り欠きを最小限に留めた。





No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重	約1000	g	カテゴリー
	積み重ね構造と心柱を利用した六角タワー	snow bear stickers	◎嶋根 由佳(愛知工業大学)  建部 恵子(愛知工業大学名電高等学校) ○小村 柑七(愛知工業大学名電高等学校)  後藤 愛結(同左)  中尾天音(同左) ○酒井 優奈(愛知工業大学名電高等学校)  ○日比野 由奈(同左)  釘宮 榛伽(クギン)	アイス棒	約1030	本	1

コンセプト

“どこまでも高く！精密な構造を！  
「∞」の可能性”

私たちは、これをテーマに見た目を“ロケット”に似せた形のタワーを作った。

安定性

宇宙(そら)を飛ぶ  
ロケットのような  
丈夫さ

×

デザイン

シンボルとなる建築

幾何学模様で  
洗練された建築物

課題と改善

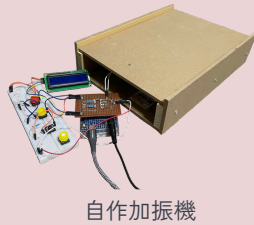
アイス棒を積み重ねるだけでは、1段1段の間に安定性がなかった。

そこで、棒から作ったH型の  
パーツを入れてみたが、パーツ  
そのものが細すぎたり、  
自作加振機で揺らすと突然崩れるなど、脆さが目立った。その課題を解決するため、バラバラであった支えのパーツを1つのスリット軸にし、直接固定することにした。



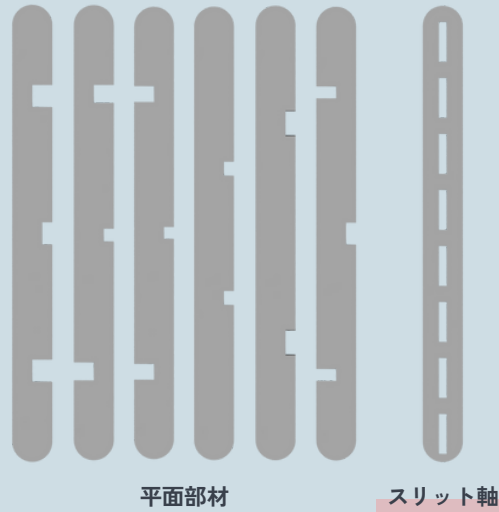
アピールポイント

- ・あえて思い切り本数を増やしたタワー
- ・高校生ならではの  
パワフルさとデザインセンス
- ・自作加振機による実験  
arduinoによるモーター制御で、  
速度変化も可能！

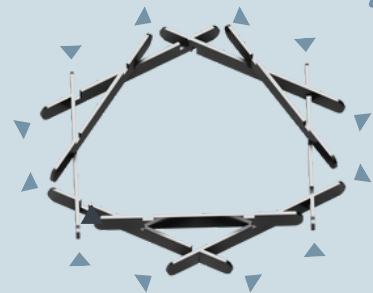


イメージ・設計図

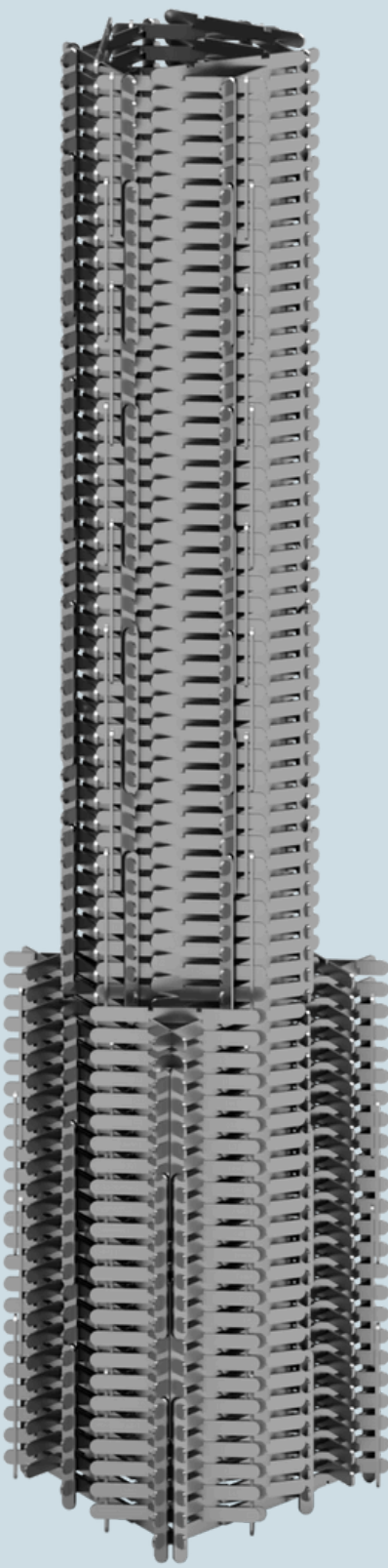
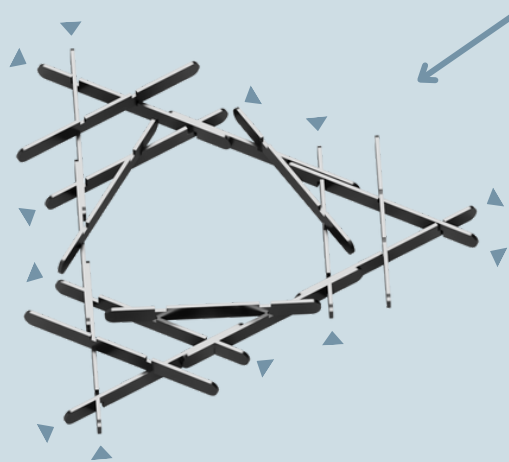
部材の種類



六角形部 ▶:スリット軸配置



三角形部

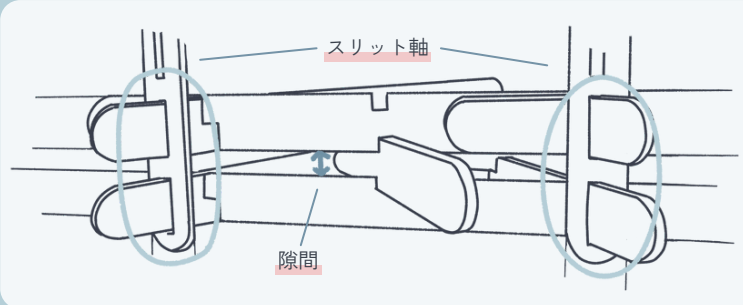


特長

・サンロク構造

正三角形は力が均等に分散され、「構造的安定性」があり、正六角形は力が複数の面に均等に分散される正三角形の集合体である。  
これらの図形で構成された独自の構造をサンロク構造と名付けて使用した。

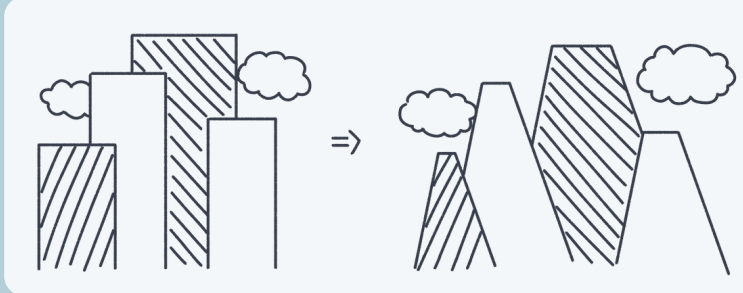
・噛み合わせによる力



加わる力に抵抗するためお互いをはめ込んで外れにくくしている。さらに、段と段の隙間の正確性をあげ、構造的に弱い上下方向の部分の補強をするため、連続したほぞ穴加工を施したスリット軸を入れた。

・圧迫感を感じさせないデザイン

耐震と耐風を高めるため、重心を地面に近づけた。また、水平と垂直を強くした構造の安定性に加え、見た目から圧迫感を感じさせないよう途中から六角形のみになっている。





No	作品タイトル ひ おり 氷織の塔	チーム名 <i>Orimoto with Tower</i>	チームメンバー ◎川口昭朋(織本構造設計) ○中条愛奈(同左) ○松尾拓真(同左) ○横山航汰(同左) ○鈴木峻哉(同左) ○砂川仁寿(同左) ○佐々木亜美(同左)	自重 957 g アイス棒 736 本	カテゴリー 1
----	------------------------	-----------------------------------	--	------------------------	------------



～自然が織りなす静と動～

結晶の持つ緻密な秩序と波が描く流れるような揺らぎ。  
相反する二つの自然のリズムの中で共鳴し合い街と共存する。

平面図

断面図

接合部

T字に切り欠いて  
噛み合わせる

噛み合わせ箇所に  
貫材を通す

トライコアと  
ヘキサフレームを繋ぐ

2つのエネルギー吸収機構

二重構造

内側のトライコア、外側のヘキサフレームによる  
揺れ方の違いでエネルギーを吸収する。

< トライコア >

A : スライドさせて  
エネルギーを吸収

加力方向

B : 水平力を  
ヘキサフレームへ伝達

おもりを付けた  
トライコアで鉛直力を負担

< ヘキサフレーム >

ヘキサフレームで  
水平力を負担

波材の摩擦

波材に摩擦が生じることでエネルギーを吸収する。

< 波材なし >

ただ変形するのみ

< 波材あり >

変形により摩擦が生じる

加工部材

- ヘキサフレーム水平材
- トライコア水平材
- ヘキサフレーム鉛直材
- トライコア鉛直材
- 波 材



No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 1300 g	カテゴリ
	Corhythm	おもしろ建築構造研究会	◎服部恭典(鹿島建設)林智之(同左)○渡井悠介(同左)谷口慶多(同左)森山空良(同左) 板橋卓(同左)○井下宙(同左)○亀井健司(同左)○田邊聡美(同左)	アイス棒 1000 本	1

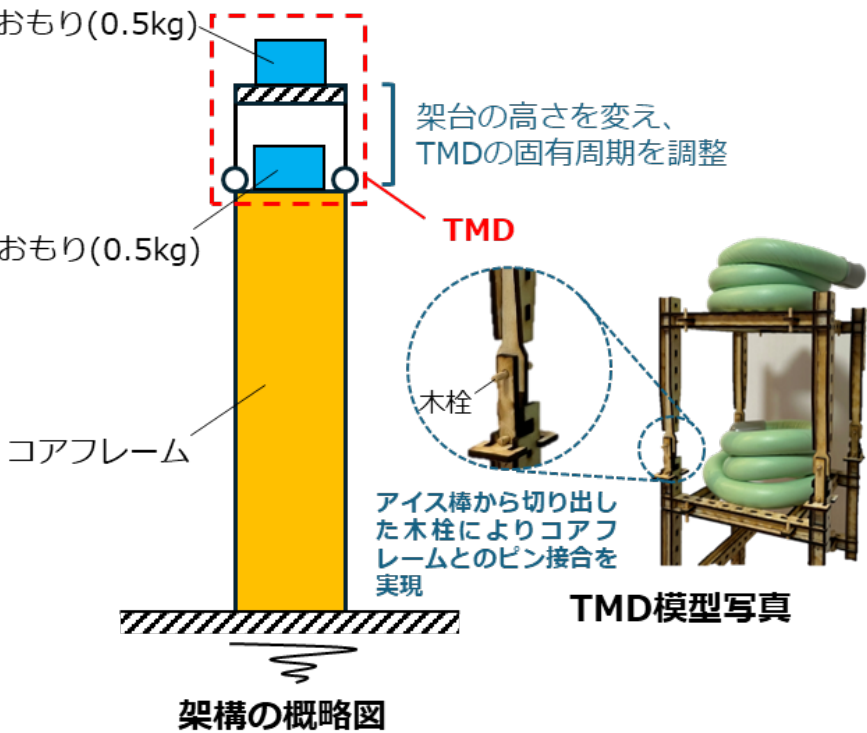
コアフレームと鼓形状の外殻による連結制振構造の頂部にTMD制振装置を搭載したタワー“Corhythm”を提案します。

- ・Core（コアフレーム）+ rhythm（振動のリズム）  
コアフレームが振動を制御するリズムの核となる
- ・鼓（つづみ）+ rhythm  
鼓形状の外殻を採用し、伝統的なリズムの象徴を取込む
- ・Co（共に）+ rhythm  
TMD、外殻、コアフレームが「共に」振動を制御する

TMD制震装置

◆ TMD基本原理 ◆  
TMD (Tuned Mass Damper) はシステムを特定の固有周期に調整することで、構造物の振動エネルギーを自身の振動エネルギーに変換する制震装置である。

◆ 本提案のTMD制震装置 ◆  
今回は質量が一定であるため、おもりを載せる架台の剛性を調整し、必要な固有周期を有するTMD制震装置をタワーの頂部に載せることで、コアフレームに生じる地震力を低減させる。具体的には0.5kgのおもりを2層に分けて配置し、そのうちの一方をTMD重量として採用した。TMDを支持する架台の高さを変えることで任意の剛性を設定し、固有周期を調整する。架台とコアフレームの取り付けはピン支持とすることで、TMDの揺れを大きくし、より高い減衰効果を得られるように工夫した。本コンテストでは予め加振波が分かっていることから、加振波の振動特性に応じて、TMDによる応答低減効果とストローク量のバランスなどを考慮して設計した。



連結制震

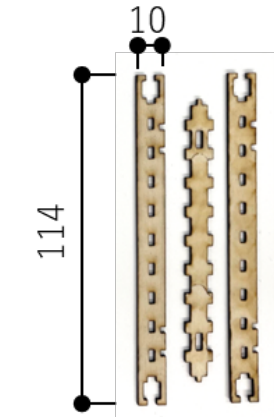
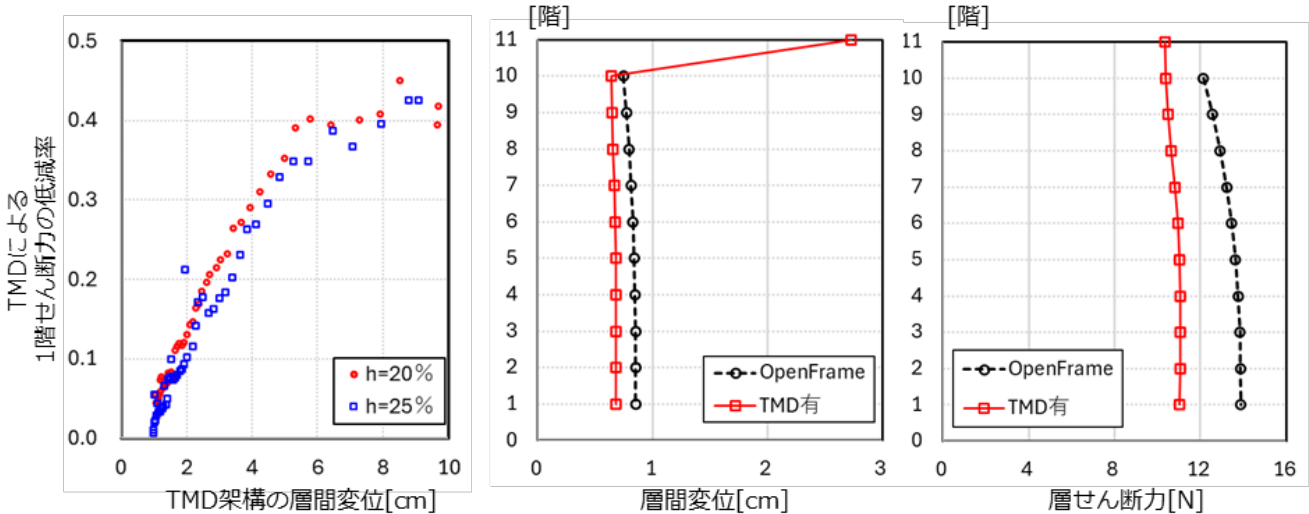
コアフレームと外殻の間には、2棟の振動特性の差を利用した連結制震を設ける計画とした。

◆ コアフレーム ◆  
コアフレームは、アイス棒が板材であることを踏まえ、H型鋼の鉄骨造をモチーフとした形状とした。具体的には、3本のアイス棒でH-10×10×2×2のH型の柱梁を作成し、柱梁をそれぞれ組み立てた後、柱に梁を差し込んでストッパーで止めることで曲げに抵抗する。架構形式は、短周期の成分が大きい加振波を考慮して固有周期が大きくなるよう、ブレース構造ではなくラーメン構造とした。

◆ 外殻との連結 ◆  
剛性の大きく異なるコアフレームと外殻の二重構造とすることで、変位差が大きくなるよう計画した。これにより、コアフレームと外殻の間に設けた摩擦ダンパーが高い減衰効果を発揮するシステムとしている。

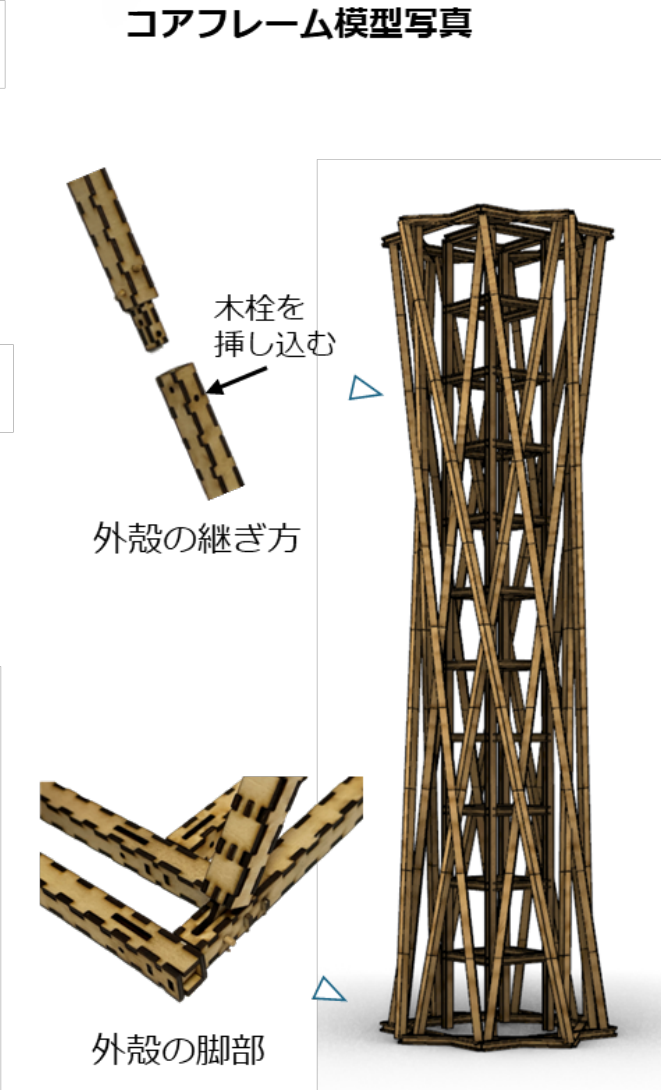
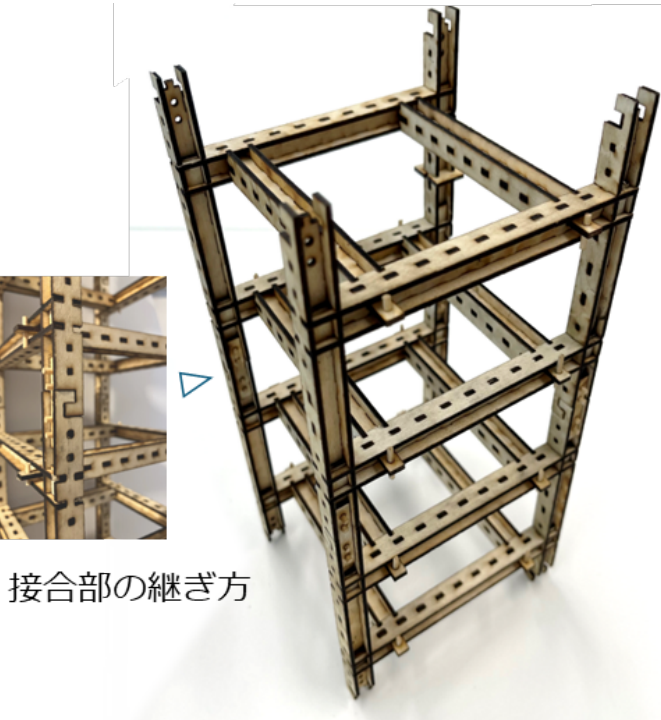
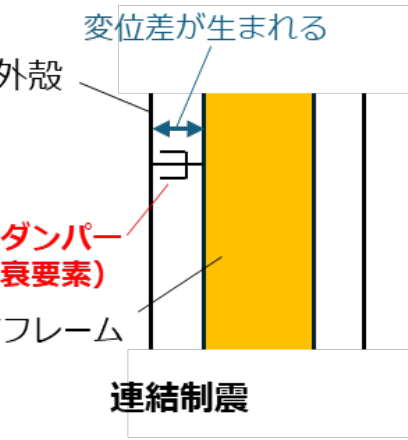
応答解析

コアフレームの自由振動実験により評価した剛性・減衰を使用して質点系モデルによる時刻歴応答解析を行い、TMDによる応答の低減の効果を確認した。せん断力・転倒モーメントなど各応答の軽減効果と、摩擦ダンパーとTMD架構の許容ストロークを考慮し、各要素の性能を決定する。



断面: H-10x10x2x2

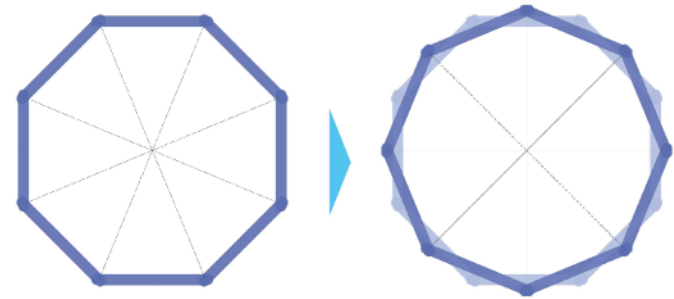
部材形状





No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 10400 g	カテゴリ
	Diagonal Tube	愛スティック	◎成田隼作(JSCA 関西) ◎井上日南子 ◎大房千夏 ◎小谷駿斗 ◎長目怜士 ◎西方航太 ◎長谷川大樹 ◎和田航大	アイス棒 800 本	1

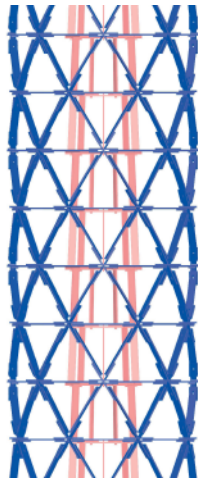
コンセプト  
タワー内周部に立ち上る鉛直材と、外周部の一直線に連なる斜材が美しさを放つタワー。水平力を均等に受け流すために円に近い八角形の平面形状とし、頂点を一層ごとに半回転させることで連なる斜材を表現した。内部に鉛直材が入ることにより一層斜材の美しさが際立ち、ぐんぐんと空に向かって伸びていくようなデザインとした。



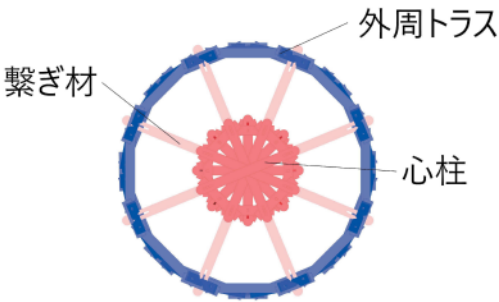
コンセプトイメージ

構造的特徴  
タワー内周に1kgの重りを受け持つ心柱となる鉛直材、水平力に抵抗するため外周をトラス構造とした二重構造のタワーになっている。トラスとすることで剛性を上げているが、内周と外周をつなぐ水平材の接合部は緊結しすぎないことで心柱の揺れを吸収する。接合部はできるだけ嵌合は避け、接合部の破断が起きないようにディテールを調整した。

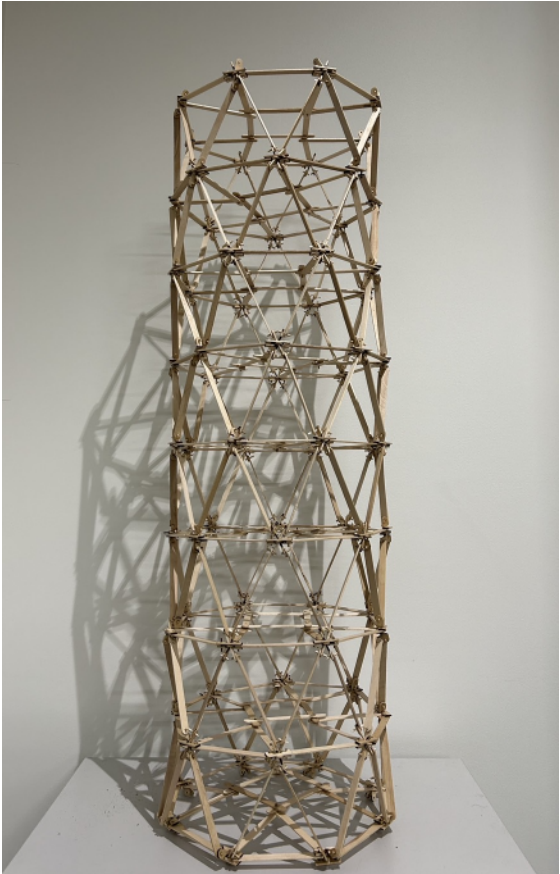
デュアル・フレーム



立面

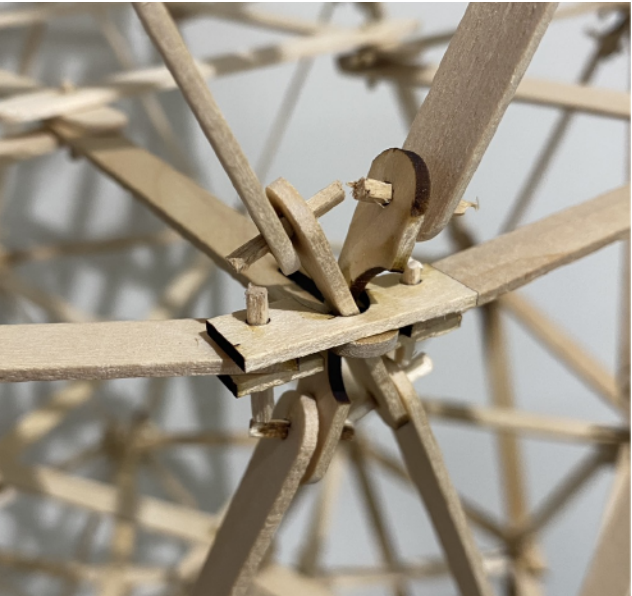
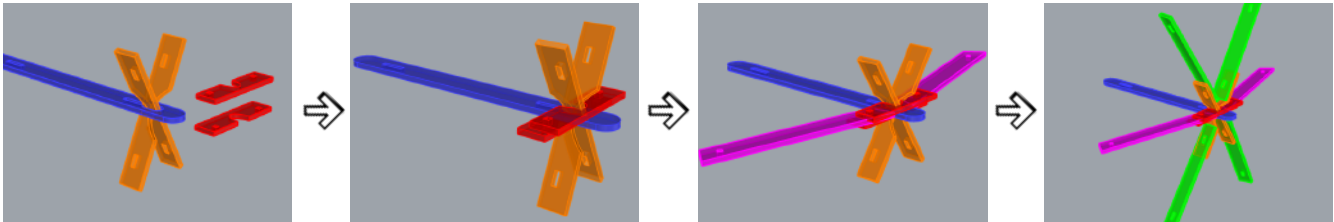
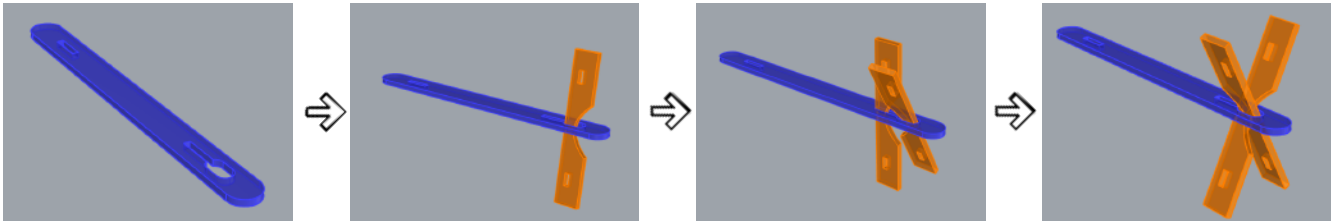


平面

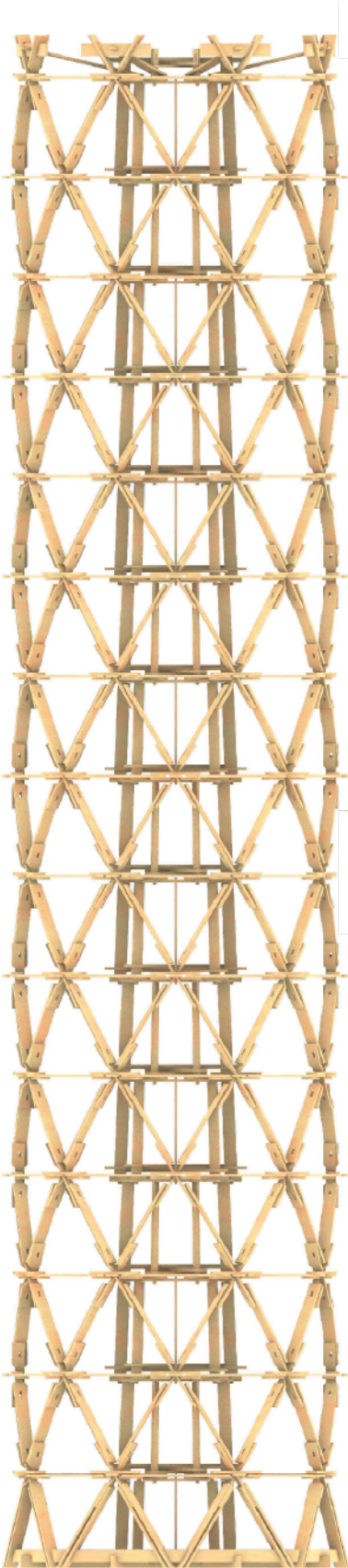


試作全体図

接合部詳細  
内周部は圧縮力を伝達するためほぞ差しとし、内周と外周をつなぐ水平材は対角の頂点まで連なり水平トラスを形成している。外周トラスの接合部は、鍵穴形状の穴に斜材のジョイント材を通し、それを横架材のジョイント材で挟み込むようにすることで7つの材を一つの接合部に収めた。挟み込まれた斜材のジョイント材は嵌合ではなく、円弧状に切り欠くことである程度の自由度を持たせ、接合部での破断が起きないように設計した。



接合部詳細



立面図



No	作品タイトル デルタ △の結晶	チーム名 安振ブルブル振動団	チームメンバー ◎正野和司(安井建築設計事務所) ◎足立幸太郎(同左) ◎横山佳史(同左) ◎平松大知(同左) ◎吉田大我(同左) ◎竹之内美桜(同左) ◎久保田直人(東京都立大学) ◎星野あかり(東京科学大学)	自重 約1100 <sup>g</sup> アイス棒 933本	カテゴリー 1
----	-----------------------	-------------------	---	--	------------

<Concept> ー△の結晶ー

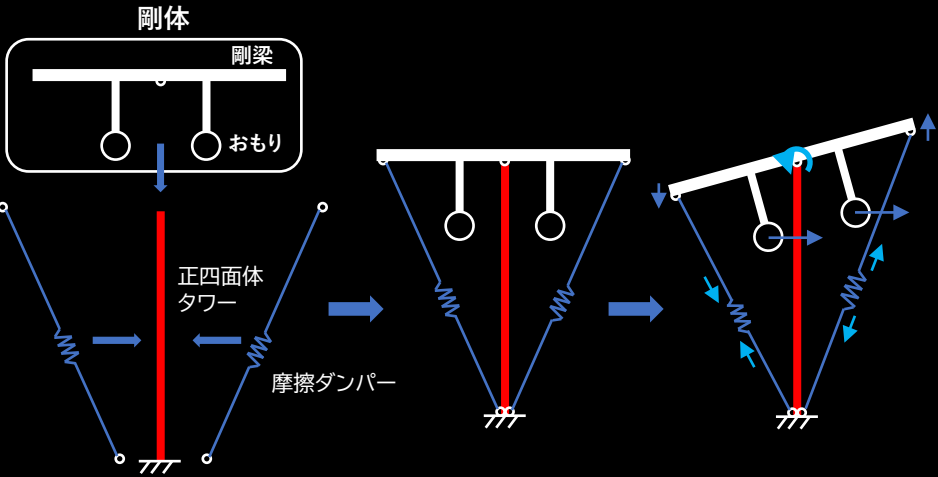
本作品は、アイス棒を正四面体ユニット「デルタセル」として積層し、三角形の剛性を結晶的に増殖させたタワーである。各接合はピンに近い単純さを保ちながら、全体としては応力の流れを明快に伝えるフレームとなり、安定した立体構造を形成する。

さらにおもりの質量と材を組み合わせた摩擦によるダンパーを備え、振動エネルギーを吸収する制震システムを実装。これにより、軽量素材でありながら「ブルブル」としなやかに揺れ、合理性と美しさを兼ね備えた塔を実現している。



△水戸芸術館タワー

<System> デルタをまもる制振システム



△ 形状

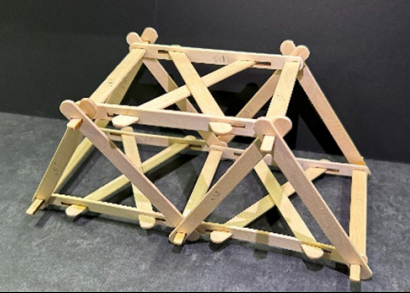
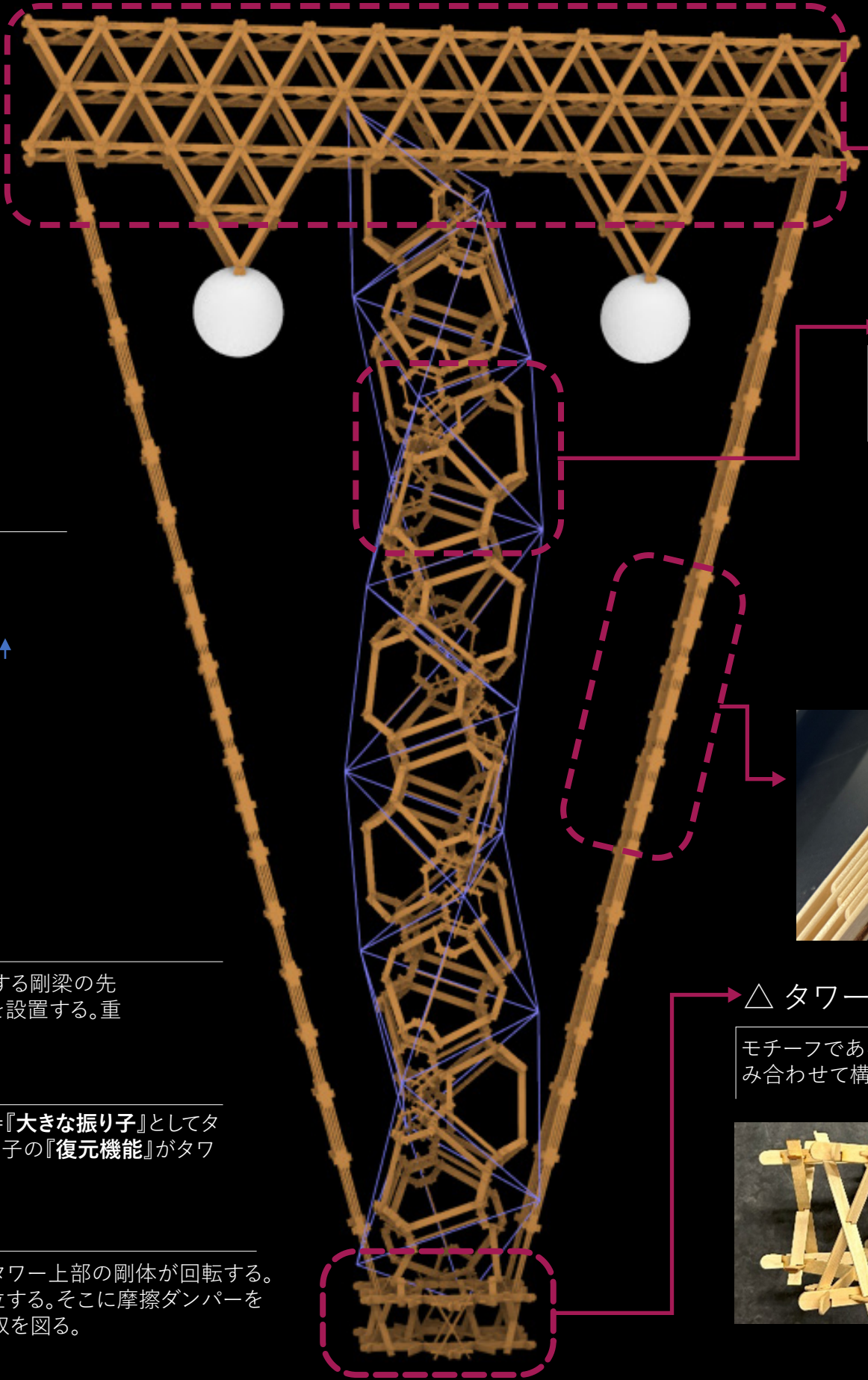
正四面体タワー上部にピン接合で接続する剛梁の先端とタワー脚部の間に摩擦ダンパーを設置する。重りは剛梁の中間部に吊す。

△ 振り子の原理を利用

タワーの頂部に設置が必要な『おもり』=『大きな振り子』としてタワーの揺れをやさしく抑える。さらに振り子の『復元機能』がタワーのゆらぎを整える。

△ 軸変形を利用

加振によるおもりの振り子振動により、タワー上部の剛体が回転する。回転運動により、剛梁の先端は上下変位する。そこに摩擦ダンパーを設置することで効率的にエネルギー吸収を図る。

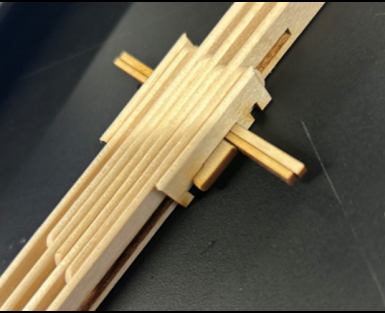
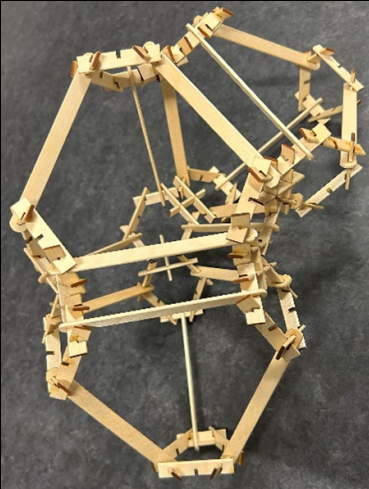
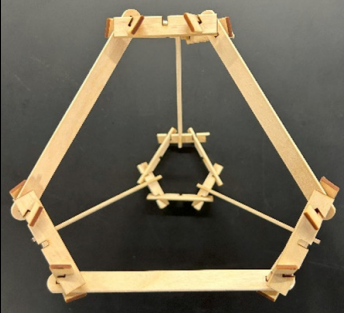


△ 剛な梁

モチーフのデルタで構成する。おもりの吊元まで同様にデルタ同士を接続させることで連続した剛な構造体を構成する。

△ デルタセルのディテール

正四面体ユニット同士は接続ピースを介して連結する。交点は接続ピースが干渉しないように六角形にて構成する。

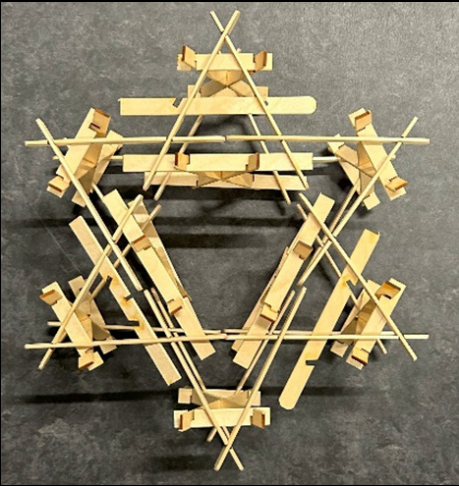


△ 摩擦ダンパー

重ね合わせたアイス棒の接触面に生じる摩擦を利用してタワーの揺れを低減させる。積層数を変えることで、適切な減衰力となるように調整できる。

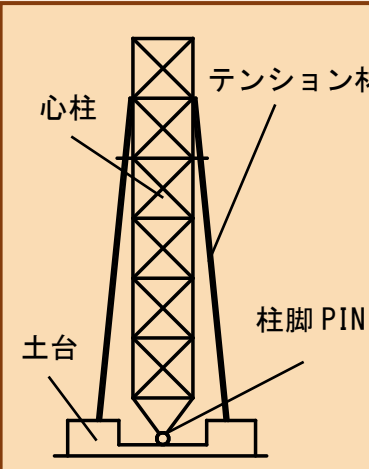
△ タワーの土台

モチーフであるデルタを平面的・断面的に組み合わせて構成する。





No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	アイス棒	カテゴリー
	柱脚 PIN 型支線塔	あかみそ	◎吉原 大瑛(名城大) ◎竜沢 伊吹(名城大) ◎永井 聡(名城大) ◎早川 直希(名城大) 八代 椋介(名城大) 増田 顕(名城大)	507 本	1



心柱  
テンション材  
土台  
柱脚 PIN

◆コンセプト

**加振の最も遅いタイミングでタワーを倒壊**させるためには、以下の3つを実現することが必要不可欠となる。

- ① タワーの**崩壊モードを完璧にコントロール**すること
- ② 加振途中で倒壊しない**粘り強さ**があること
- ③ アイス棒の**磨耗や疲労**の特性を十分に理解すること

上記3つを実現できるタワーが「**柱脚 PIN 型支線塔**」である(図1)。図2に力学モデルを示し、柱脚 PIN の心柱をテンション材で支える支線塔のような単純な構造システムとした。

①心柱と柱脚の PIN を破壊させず、**テンション材が破断して倒壊する破壊モード**を選択した。また、テンション材の断面を調整すれば、タワーの応答や周期を制御できる。②木において、曲げは最も靱性が大きい。テンション材は**曲げ変形する材を連続させて構成し**、粘り強さを確保する。③簡単な実験を行い、テンション材を繰り返し引っ張ると**疲労的に破壊**することが分かった。その破壊性状をコントロールできれば、加振終了間際の倒壊が実現できる。



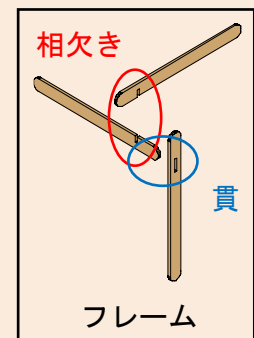
図3 心柱と柱脚 PIN の試作

◆レギュレーションに関する項目

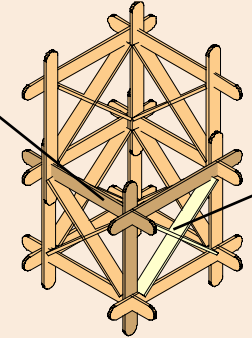
アイス棒の接合は相欠き、貫、はめ込みで行い、接着剤等は使用しない。タワー幅 300mm、奥行 114mm となっており、300×300 内に収まっている。タワー最高高さは 1074mm で、おもりは芯までの高さ 1049mm の横材に巻きつけることで、下端から土台まで 1m 以上を確保する。

◆構造的な特徴 ～心柱～

試作写真を図3に、図4に心柱の詳細を示す。相欠きと貫で接合したフレームに溝を掘った斜材をはめ込んでいる。強固な心柱とするため、斜材はフレームにねじ込み、交差部に相欠きを設けて反対側の斜材と接合することで双方の脱落を防止している。



相欠き  
貫  
フレーム



相欠き  
溝  
斜材

図4 心柱の詳細と接合方法

◆構造的な特徴 ～土台～

アルミ複合板を補強しつつ、柱脚 PIN とテンション材をずれないように固定する。アイス棒を強軸方向に多層に並べて土台を構成し、土台とアルミ複合板はボルト(32-M2)で接合する。

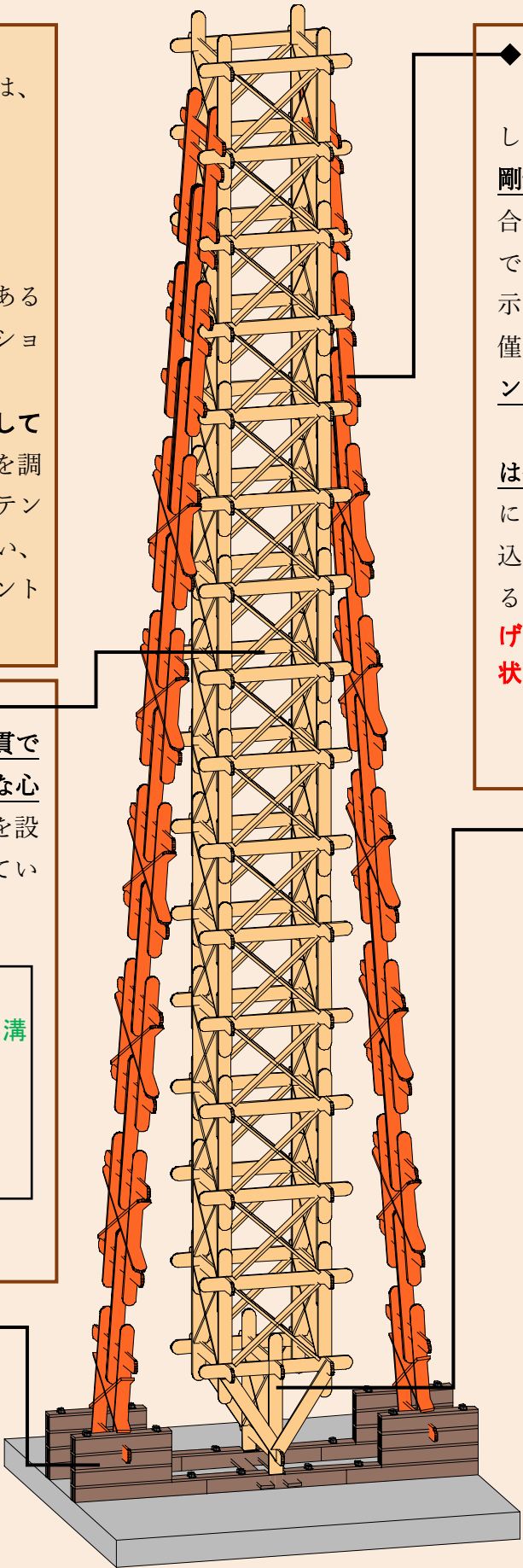
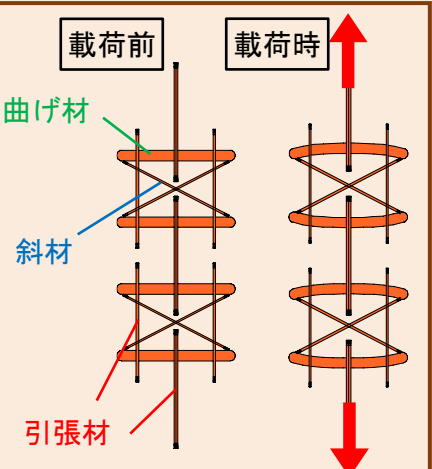


図1 タワーの全景

◆構造的な特徴 ～テンション材～

テンション材は図5に示すように**曲げ材と引張材が連続**して構成され、それぞれは貫で接合されている。また、面内剛性を確保するため、斜材を用いて引張材同士を相欠きで接合する。斜材はテンション材の表裏両面からはめ込むことで、脱落を防止する。テンション材と心柱の接合部を図6に示す。テンション材の上部は心柱の上部2～4番目の横材を僅かに切り欠いて**引掛け**、下から貫で抑えることで**テンションがかからない際の脱落を防止**する。

テンション材を実際に作製して引っ張ってみると**曲げ材は想定通り曲げ変形し**(図5右)、粘り強さを発揮した。さらに強く**繰り返し**引っ張ってみると、曲げ材中央が徐々にめり込み、最終的にはやや強い力で曲げ材の中央部が曲げ破壊するという、**疲労性を伴った破壊**であった。**小さい加振では曲げ材の変形で粘り強く耐え、最大加振では疲労的な破壊性状を上手く調整することで加振終了間際の倒壊を目指す**。



載荷前  
載荷時  
曲げ材  
斜材  
引張材

図5 テンション材の詳細



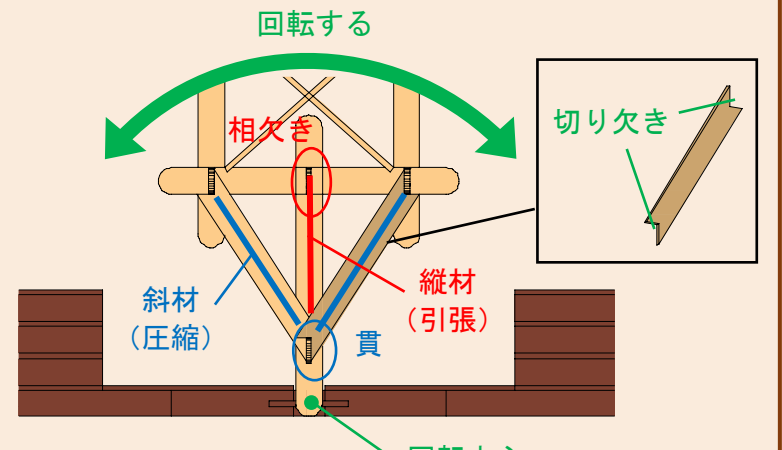
切り欠き + 引掛け

図6 テンション材上部の接合

◆構造的な特徴 ～柱脚 PIN～

図7に柱脚 PIN の詳細を示す。アイス棒で疑似的なピンを実現するため、柱脚 PIN 部には心柱の力を伝達する斜材、回転中心となる部分を含む縦材を設けた。心柱の力を伝達する斜材は先端を V 字に切り欠いて、心柱と柱脚 PIN の部材にはめ込んでいる。縦材は先端の丸い形状を活かして PIN の回転中心とし、接合は鉛直荷重に期待して土台に差し込むのみとする。よって、心柱全ての鉛直荷重とせん断力は4本の斜材を通して、2本の縦材に伝達する。鉛直荷重はそのまま地面に流れ、せん断力は柱脚 PIN 側アイス棒を挟むように設置した2本の土台側アイス棒から地面に流される。

PIN を積極的に回転させるためには、回転中心以外を強固にする必要がある。斜材は少し長めに設計してねじ込み、縦材に引張力、斜材に圧縮力が常に生じる強固なトラスを形成した。さらに、構面外の剛性も配慮し、奥行方向にも貫と斜材をねじ込み、面内の変形を防止している。



回転する  
相欠き  
斜材 (圧縮)  
縦材 (引張)  
貫  
回転中心  
切り欠き

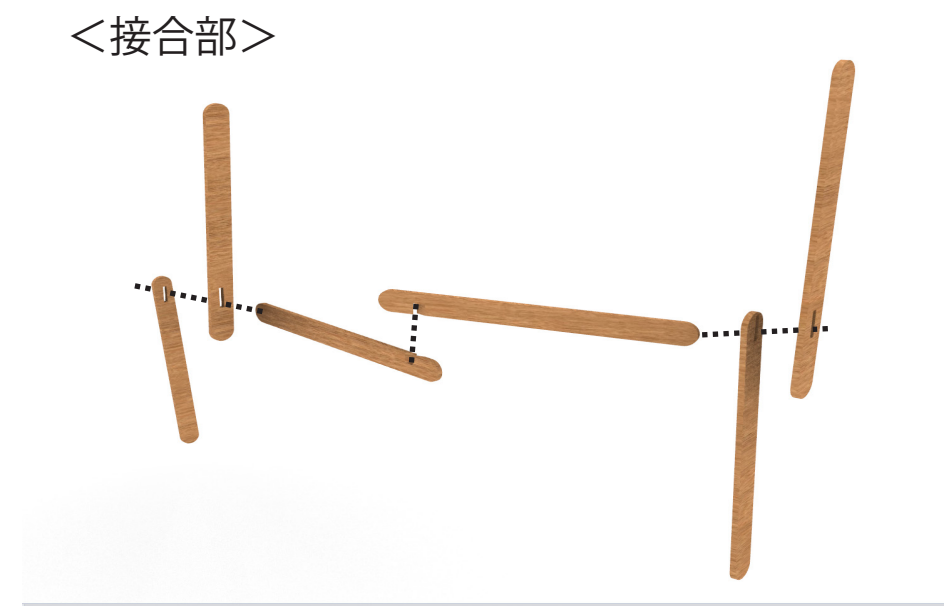
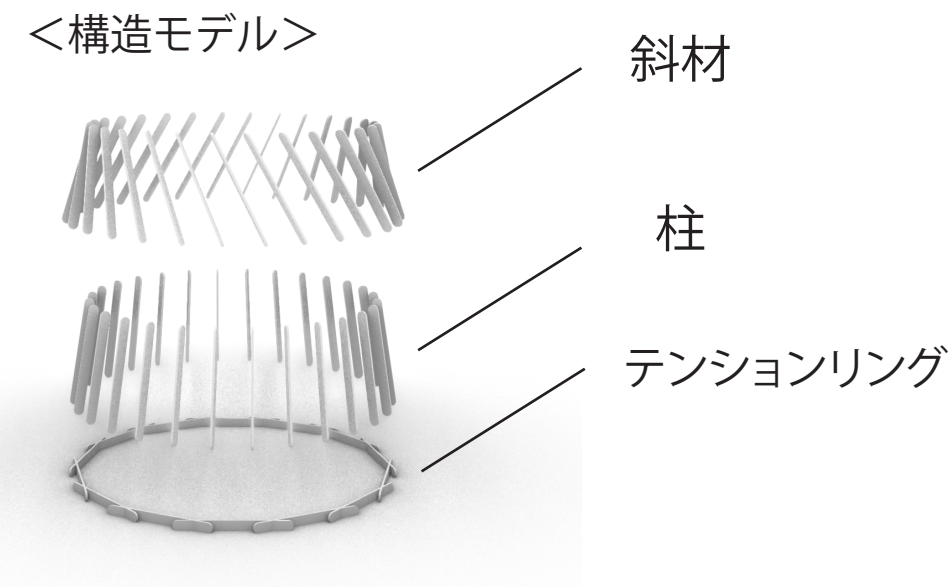
図7 柱脚 PIN の詳細と接合方法



No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 1201.2 <sup>g</sup> アイス棒 924 本	カテゴリー
	謙虚な壺	STICKERS	◎山崎雄太郎(JSCA 学生会員) ○神村空 ○岩間龍 ○山岸靖河 佐藤拓海 池野凧 植田琴葉		1

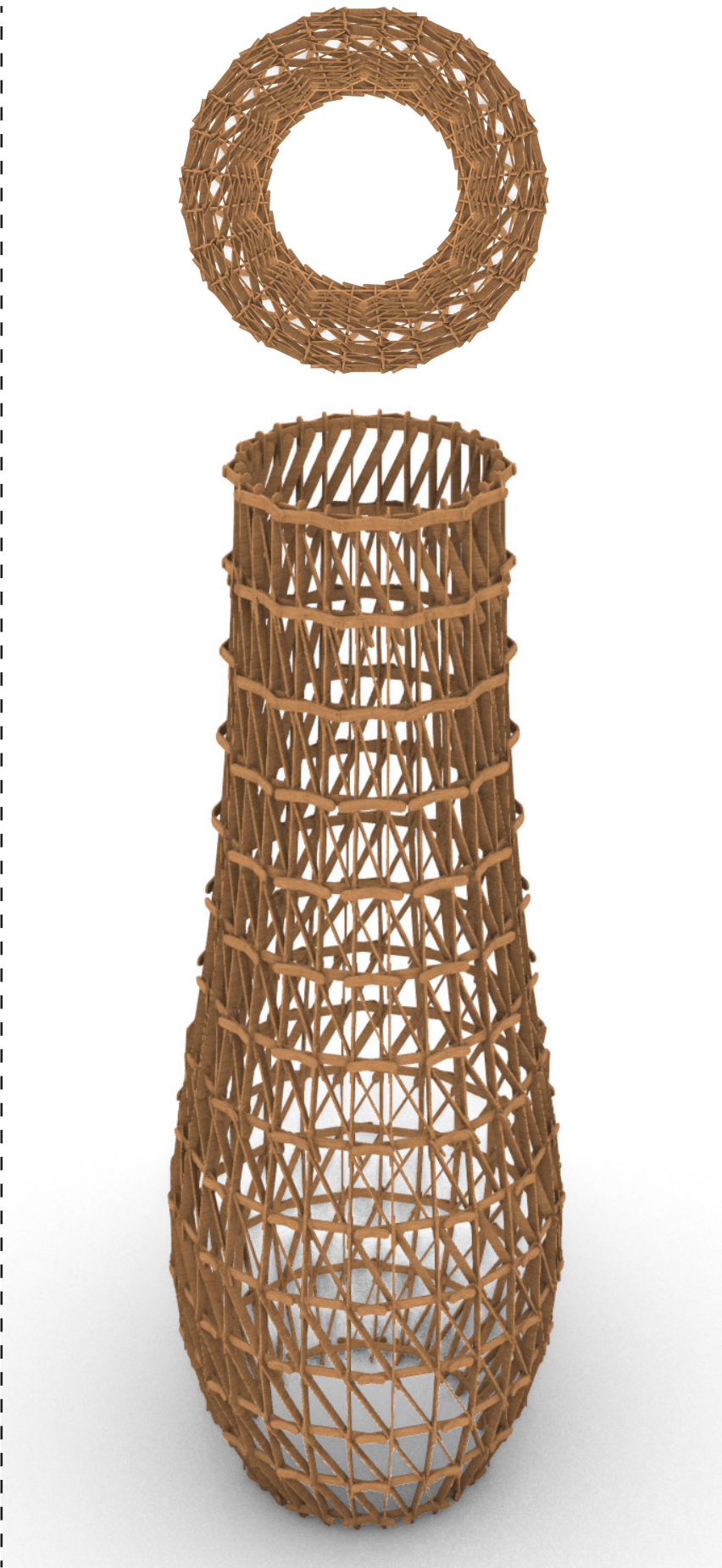
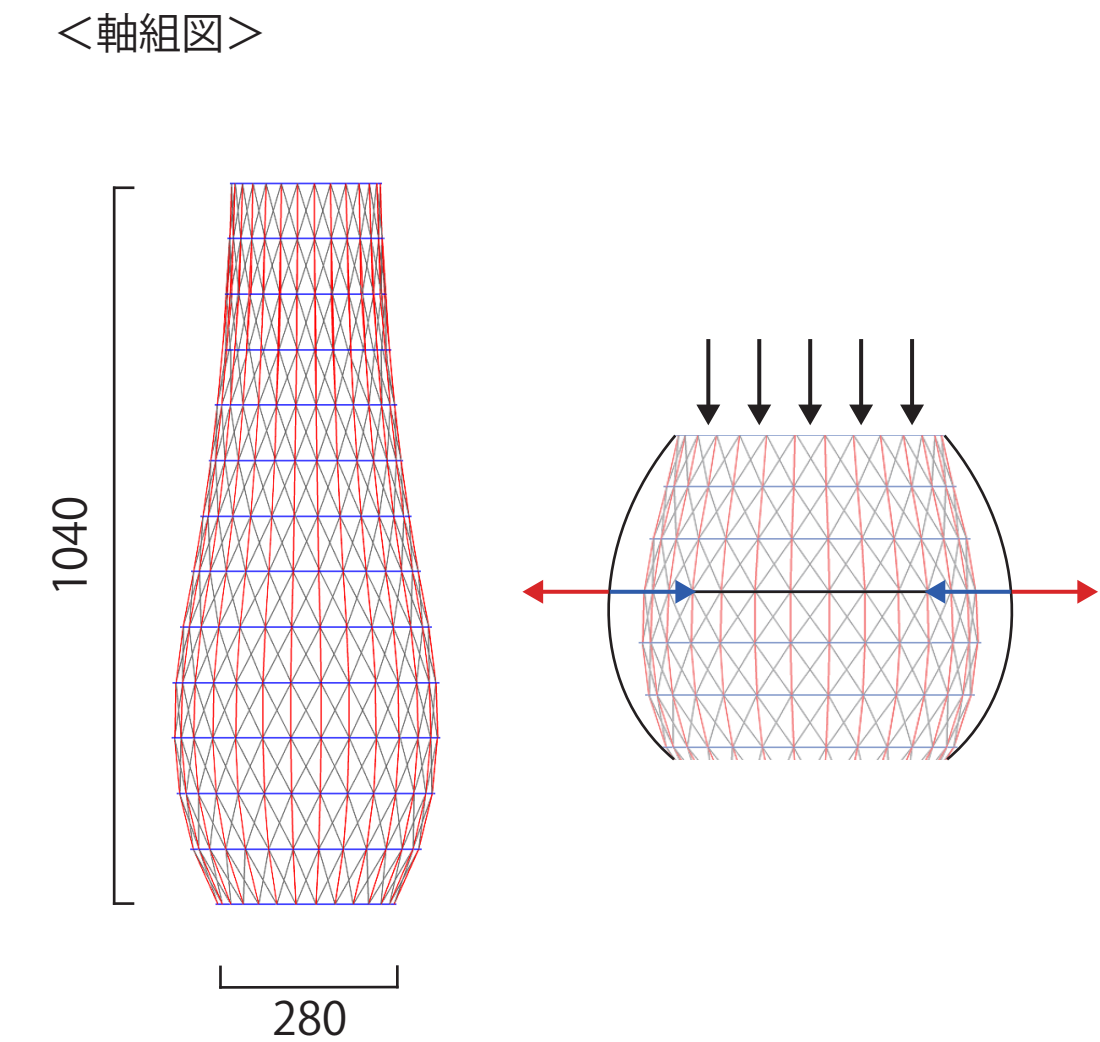
◆コンセプト

「遺伝的アルゴリズムを用いた構造形態解析」<sup>(1)</sup>に着想を得て、頂部の振幅を最小とするタワー形状として示された位相を本課題に合わせてラチス化する。



◆構造システム

鉛直力による水平ひずみを各層のテンションリングによって拘束する。振動を与えた際の層せん断力が集中するであろう中央～下部の断面が大きく取られている。またラチス化に際し、斜材によって面を拘束している。



(1)Michael FERNANDEZ他：遺伝的アルゴリズムを用いた構造形態解析，計算工学講演会論文集，1997



No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 約 553.8 <sup>g</sup> アイス棒 426 本	カテゴリー 1
	アストロ・ラティス	冷やし戦隊スティックマン	◎鳥居高広(青島設計)、○山室汰馳(愛知工業大学名電高校)、○天野耕輔(同左)、○伊藤瑤晟(同左)、○早川知寿(同左)、野間一馬(同左)、石田昇平(JSCA中部支部)		

コンセプト

五芒星のように美しく  
学問の大切さを伝えてくれるような構造物

構造的な特長

内側(イン・フレーム)と外側(アウト・フレーム)で異なる架構の構造物  
それぞれ異なる周期の構造物とすることで一方が損傷してももう一方が支えとなる構造とした。  
イン・フレーム：  
タワーの真ん中を通る柱の役割を担うため、橋などにも使われている揺れに強いブレース構造を採用した。X型ブレースを導入したブレース構造とし、水平力に対する耐力を確保している。立面は三角形が周期的に並び統一感のあるデザイン。  
アウト・フレーム：  
正六角形の平面形状と山形ブレースのデザイン。立体駐車場のブレースを参考にし、揺れに強い構造物にした。

接合部詳細

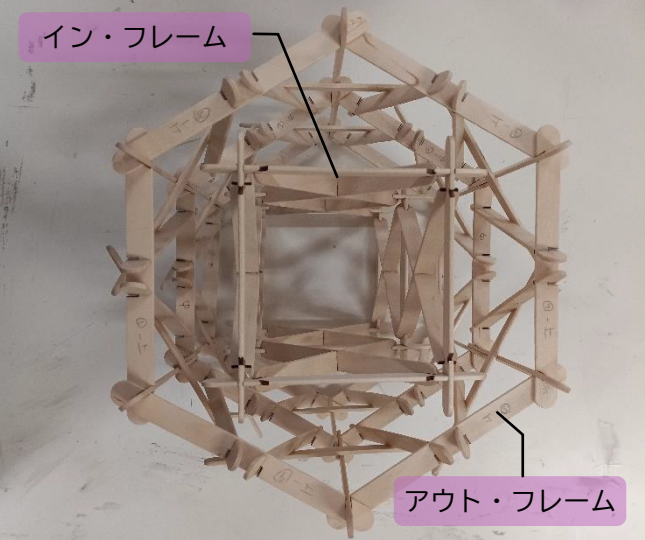
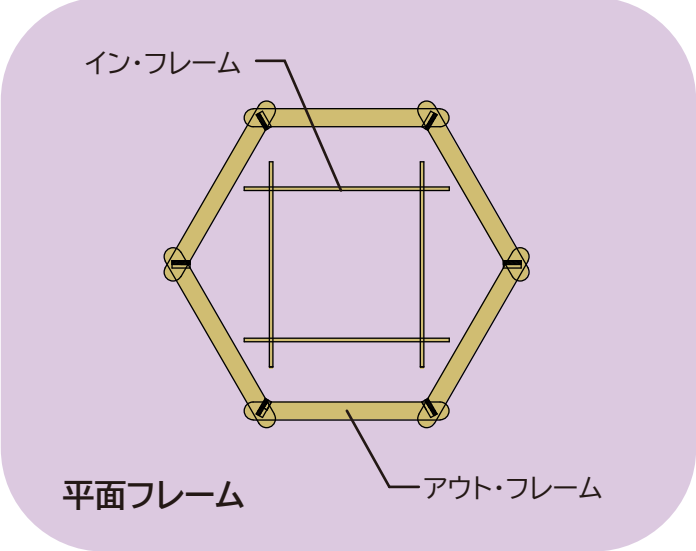
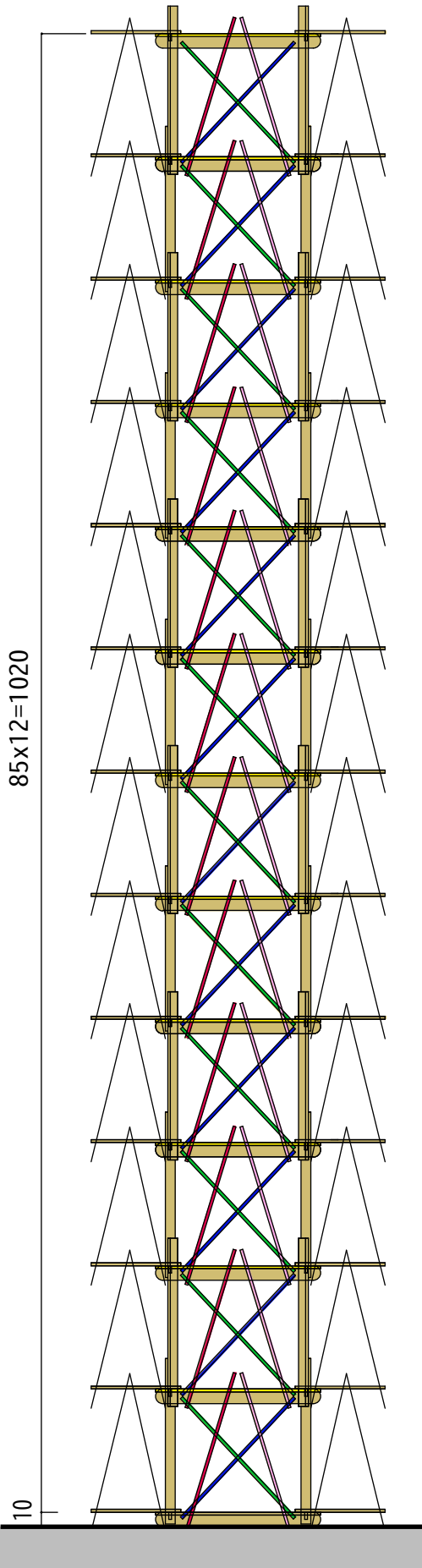
イン・フレーム：  
梁材とブレース材は、正面接合とすることで、脱着しにくい結合とした。梁材同士は、お互いに切り欠きを行い、切り欠きが集中してアイス棒が割れにくいように工夫した。

アウト・フレーム：  
柱材と梁材の接合は、共にアイス棒の厚み2本分の切り欠きを行い、1ヵ所で4本が組み合わせた集中結合にした。梁材とブレース材の接合は、どちらにも切り欠きを行い、側面接合とすることで、お互いに組み合わせるような結合にした。側面接合とする場合、加振するとアイス棒が脱落してしまうため外れ防止で補強するように工夫を施した。

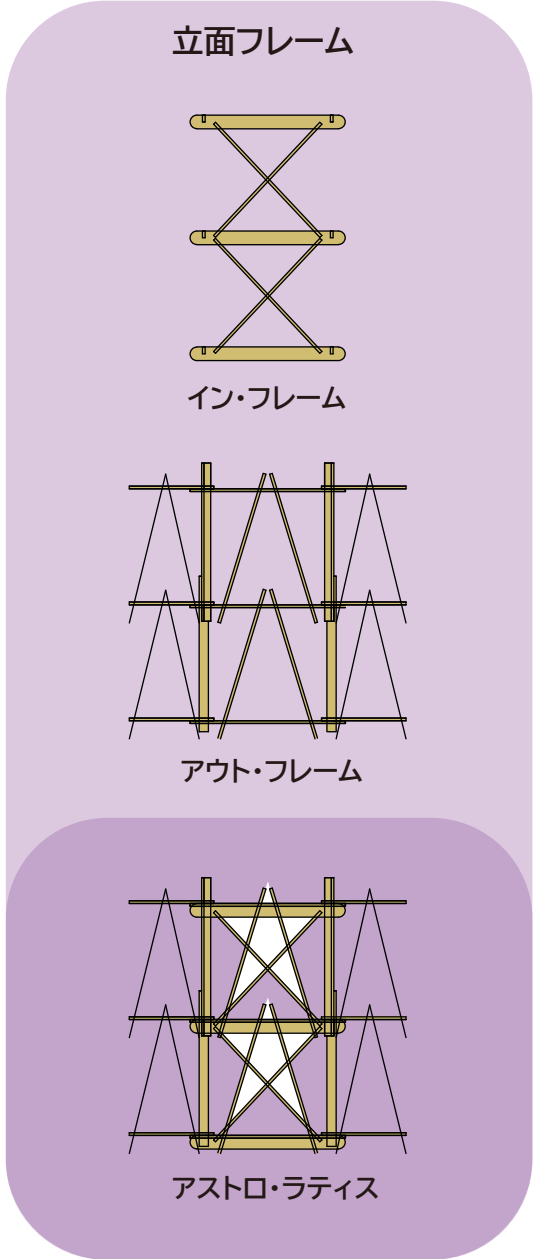
試行錯誤の結果

イン・フレーム：  
最初は加力方向の2講面のみに X 型ブレースを配置していたが、直交方向にも追加して4構面にブレースを入れた時の方がタワーに安定感が増したため、4構面に入れるようにした。

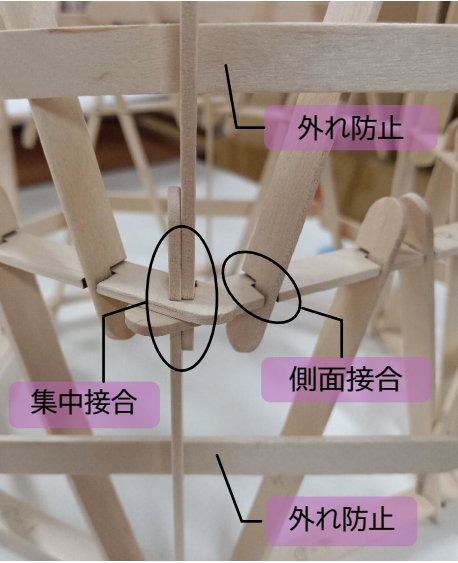
アウト・フレーム：  
集中接合とせず、上と下の柱材を少し離して、梁材にそれぞれ切り欠きを設けた場合、加工が複雑で、さらに棒が割れやすくなった。また、上と下の柱材を重ねる事で、軸力の伝達も容易で強度をあげることが出来るため、集中接合が良いと考えた。



▲ 2つの構造物の合体



▼接合部詳細 (イン・フレーム)



接合部詳細 (アウト・フレーム) ▲



▲アストロ (星) ・ラティス (格子構造)



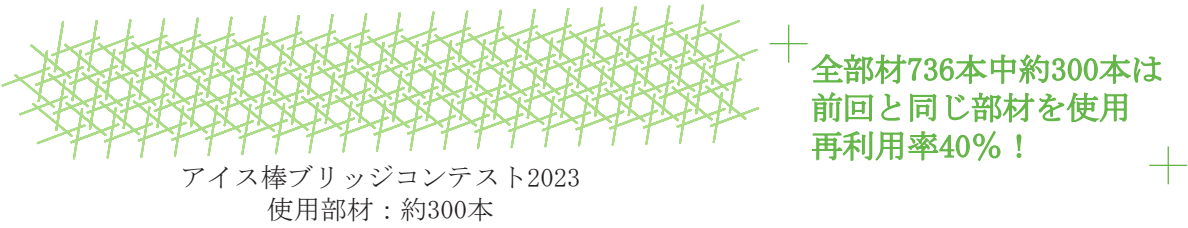
No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 959.4 g アイス棒 736 本	カテゴリー  1
	One for all / All for tower	One ISHIMOTO TeamA	◎佐藤翔琉、佐野由宇、加藤芳樹、○瀬戸謙汰、澤侑弥 星山和輝、高橋周吾、○松下静香、○小櫃汐音、山上哲哉		

■コンセプト

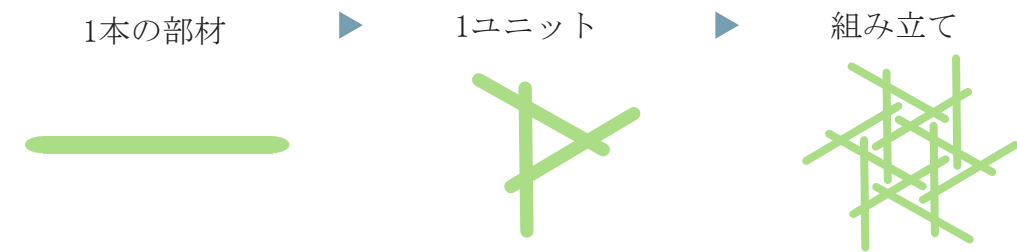
私たちは、2050年カーボンニュートラルという地球規模の目標に対して、構造設計の視点から私たち若手ができることは何かを考えました。前回のアイス棒ブリッジコンテストで使った部材を再利用し、一度壊れた建物の部材同士が相互に支え合う循環型タワーを提案します。

■相互依存 & SDGs - 廃材の再利用による環境配慮 -

1. 再利用する部材を相互依存の仕組みで組み立てることで、個々の部材同士が支えあい、強固な面を形成する



2. 構面を構成するすべての部材は同一の加工で組み立て可能なため部材間の一貫性が保たれ施工時の誤差やズレを極力抑える



■形状決定理由 - 3種類で断面性能を比較 -

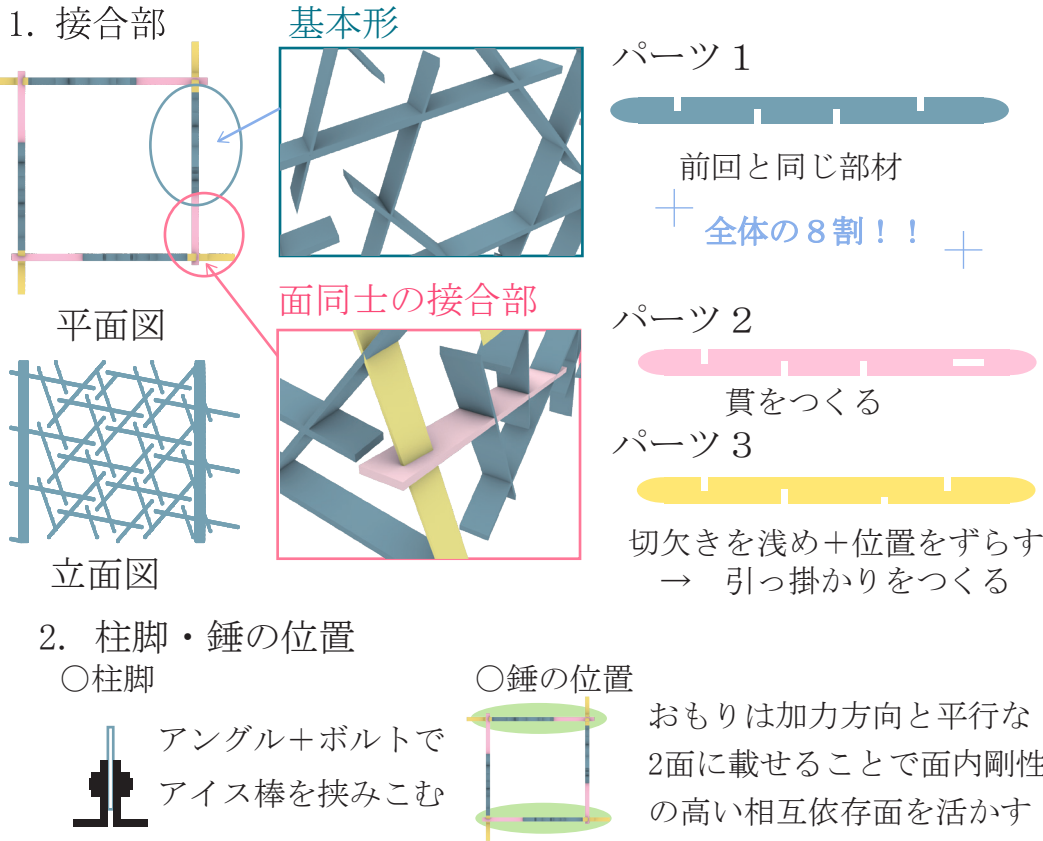
タワーの外形が30cm×30cmに収まる大きさで、躯体自重Wに対する断面性能Iを示すI/Wを比較し、効率よく、高い断面性能を発揮できる四角形を面で形成する

	四角形	円形	三角形
断面二次モーメントI	43,300,000mm <sup>2</sup>	28,900,000mm <sup>2</sup>	10,400,000mm <sup>2</sup>
自重W(1mあたり)	873.6g	748.8g	764.4g
I/W	49,000	38,000	14,000

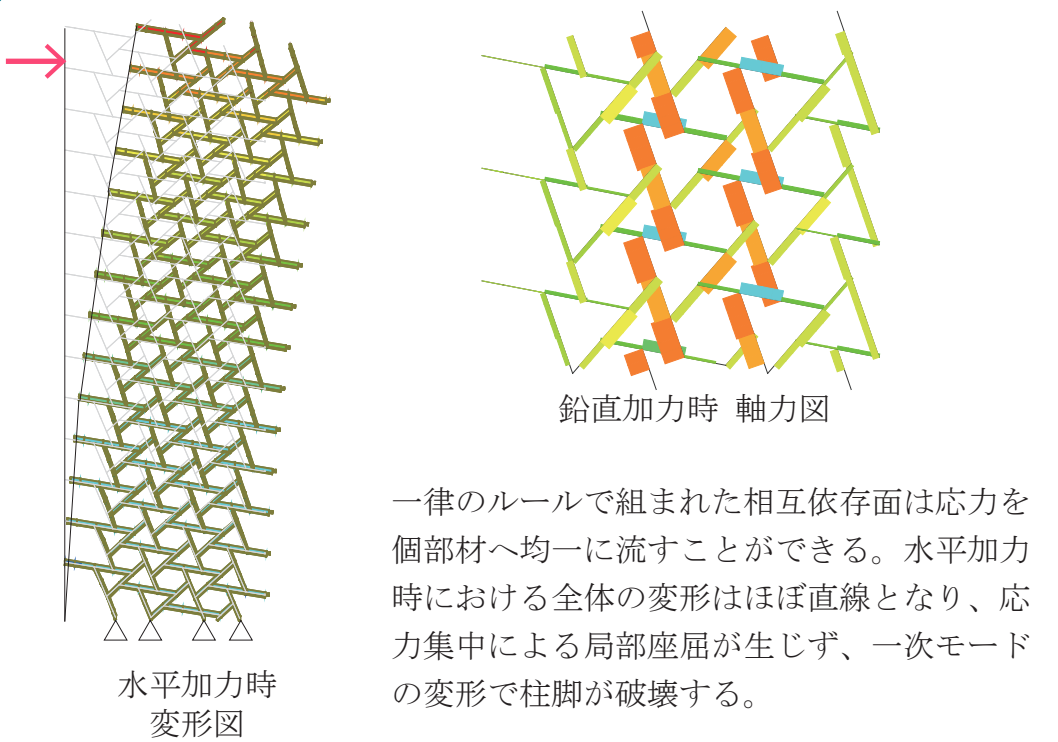
四角形では面内応力を部材芯同士で伝達できる！

■組立詳細 - シンプルな加工と接合ルール -

柱脚と接合部にのみ新しい部材に限定し、新規部材の使用は最小限に抑える



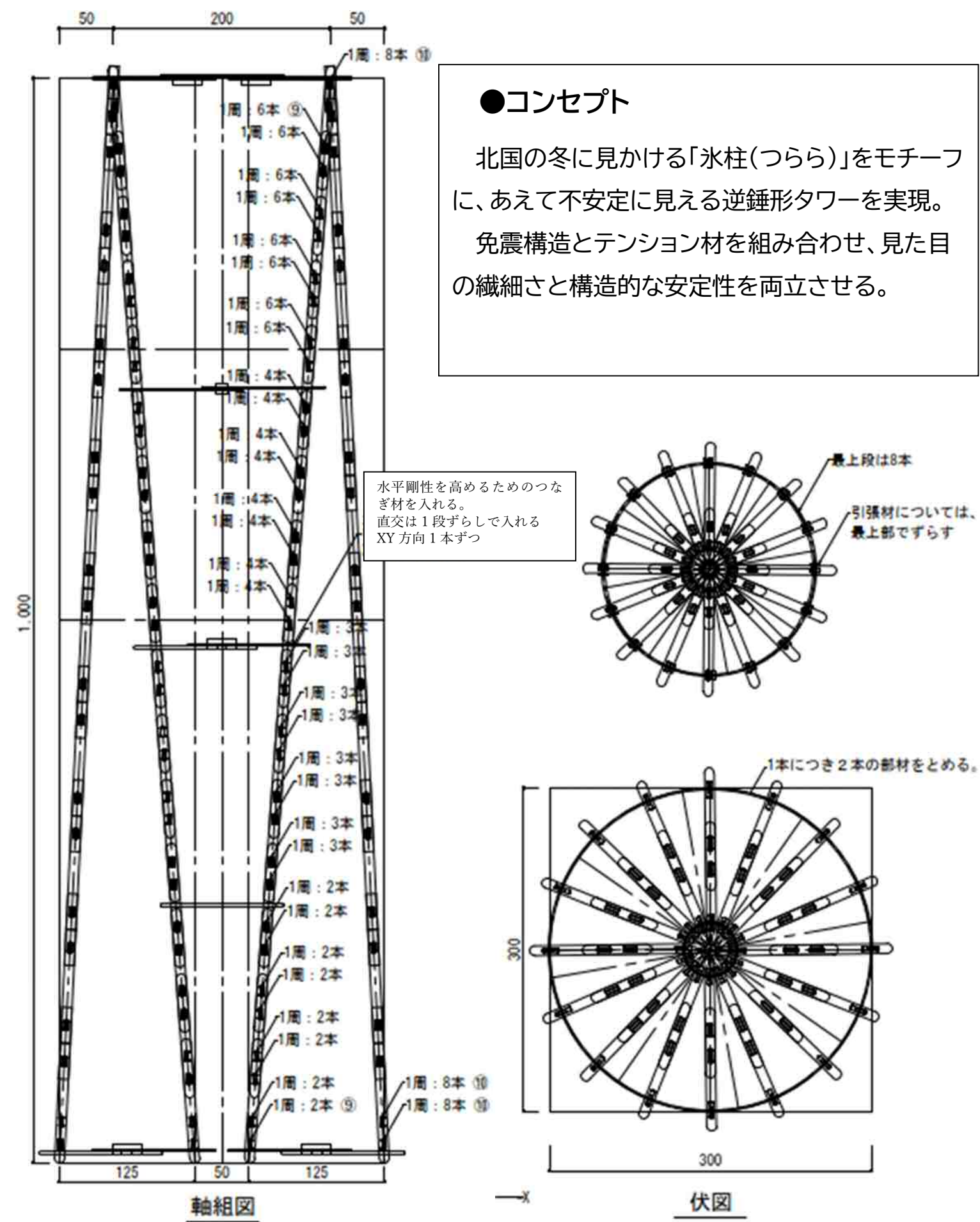
■解析 - Midasを用いた静的解析 -



【One for all / All for tower】  
一ひとつの部材が全体を支え、全体がタワーを強くする。



No	作品タイトル	チーム名	チームメンバー	自重 1790 g	カテゴリ
	つらら タワー	北海アイスボーン	◎山田将寛(山田将寛建築構造設計室) ◎古賀智明(さくら構造) ◎渡辺梨沙(さくら構造)◎野口光将(同左)◎横塚阜(同左)	アイス棒 1377 本	1



**●構造的な特徴**

タワー本体は、土台直上に設けたアイス棒免震層の上に配置。  
逆錘形状かつ頂部におもりを載せることで生じる転倒モーメントやP-Δ効果を懸念。  
その解決策として  
基壇部の免震化による地震動の入力を低減  
頂部から基壇部をつなぐテンション材による転倒モーメントへの抵抗およびタワー頂部の大変位を抑制  
タワーを円錐化とすることで方向性を排し、直交方向への応答にも配慮。  
基壇部の免震層には変位制御材を設け、過大変位を防止。  
外周に張られたテンション材は、構造補強に加えてタワーのマッシブな質量感を引き立てる意匠的要素としても機能させる。

アイス棒必要部材リスト	
1横面当たりのパーツ数(x16)	① 32 個 ② 20 個 ③ 18 個
1横面当たりのパーツ数(x2) ※中間の水平繋ぎ材	④ 1 個 ⑤ 1 個 ⑥ 5 個
1横面当たりのパーツ数(x16) ※上下水平部材	⑦ 4 個 ⑧ 5 個
円周部材	⑨ 120 個 ※軸材繋ぎ材 ⑩ 24 個 ※引張材及び最上段繋ぎ材
想定アイス棒必要本数：1377本	



イメージ図