

クレジット:

UTokyo Online Education 歴史的建築工学 2020 山田 憲明

ライセンス:

利用者は、本講義資料を、教育的な目的に限ってページ単位で利用することができます。特に記載のない限り、本講義資料はページ単位でクリエイティブ・コモンズ 表示-非営利-改変禁止 ライセンスの下に提供されています。

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

本講義資料内には、東京大学が第三者より許諾を得て利用している画像等や、各種ライセンスによって提供されている画像等が含まれています。個々の画像等を本講義資料から切り離して利用することはできません。個々の画像等の利用については、それぞれの権利者の定めるところに従ってください。



東京大学大学院 歴史的建築工学

# 第6回 歴史的木造建築技術と現代木造建築

2021.1.6

山田憲明(山田憲明構造設計事務所)

Yamada Noriaki

**Y S D** Yamada Noriaki Structural Design Office

# 略 歴

- 1973年 東京都生まれ
- 1997年 京都大学工学部建築学科卒業（辻・西澤研）
- 1997年～2012年 増田建築構造事務所
- 2012年 山田憲明構造設計事務所設立
- 2013年～ 早稲田大学大学院非常勤講師（軽量構造特論）

# はじめに

- 木材は古今東西で最も多く使われる構造材料
- 同じ「木」という素材を使っているも  
時代背景（社会的要求、技術、森林状況、生産システム、法令等）  
により、多様な建築が生み出されてきた
- 一方、木材は制約が多く、構造材料として課題も多い
- これらを踏まえ、歴史的木造建築と現代木造建築について  
考えていきたい

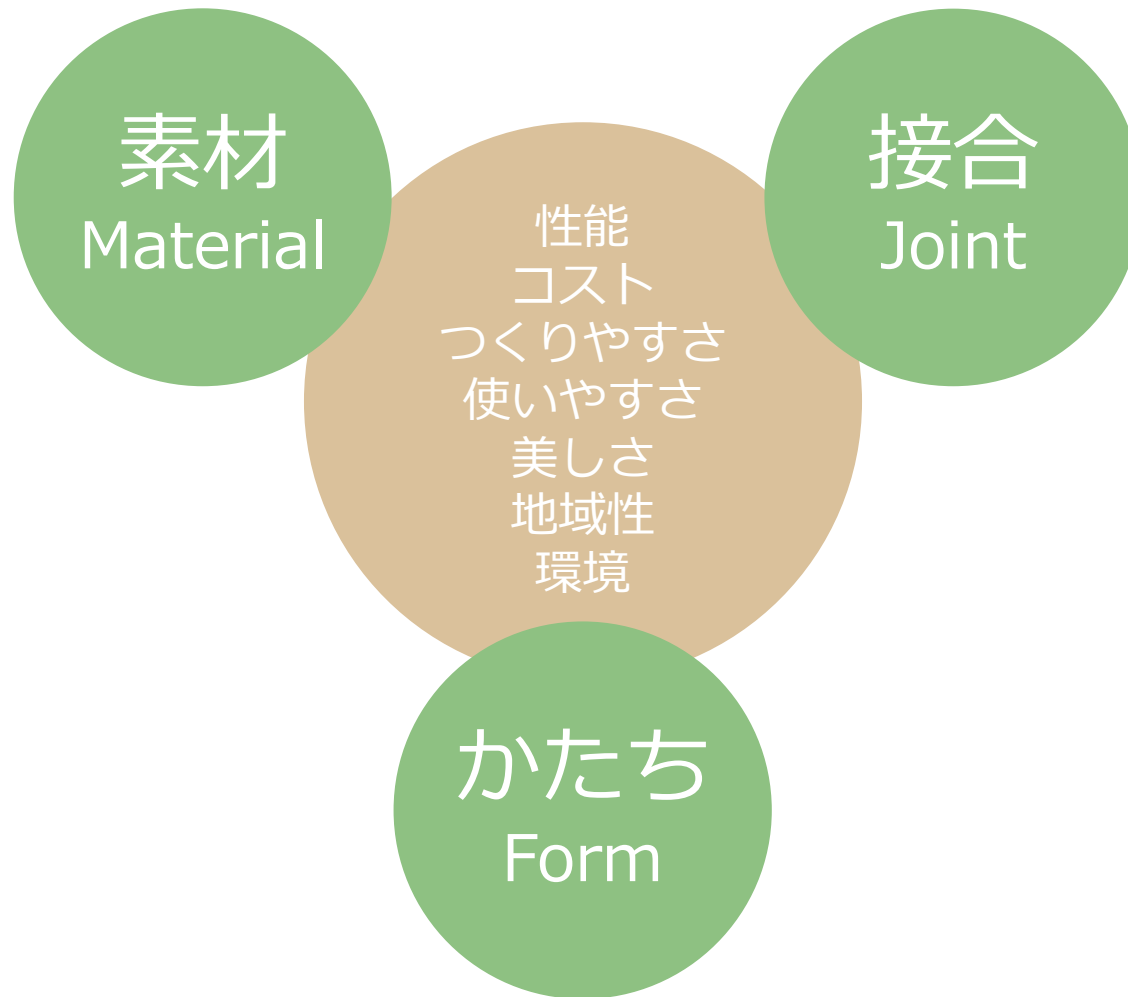
# 木材の特徴は？

「細く短い」	木材の太さ・長さ
「燃えやすい」	区画、もえしろ、被覆
「品質管理が難しい」	乾燥、バラツキ、割れ、節、年輪幅、ヤング率、材面
「もろい」	割裂、せん断、曲げ破壊 ⇔ めり込み圧縮

「軽い」	運搬、ハンドリング、自重
「加工しやすい」	手加工・プレカット等の切削、接合具
「再生可能」	環境、地域活性

⇒多様な**素材**と**接合**

# 建造物の構成イメージ



# 木構造にはさまざまな素材、接合がある

たとえば、

## ●鉄骨造


素材 : スティール

接合 : ボルト、溶接

## ●鉄筋コンクリート造

素材 : コンクリートと鉄筋

接合 : コンクリート一体打ち  
プレストレス圧着



素材  
Material

丸太(Log)



集成材(Glue Laminated Timber)



素材  
Material

製材(Sawn Wood)



CLT(Cross Laminated Timber)

幅矧ぎパネル



LVL(Laminated Veneer Lumber)



素材  
Material



OSB(Oriented Strand Board)

構造用合板(Structural Plywood)



接合  
Joint

しばる



Glued in Rod



接合  
Joint



PS圧着



ドリフトピン

嵌合



接合  
Joint





かたち  
Form



和小屋 (単純梁)



洋小屋 (トラス)

かたち  
Form

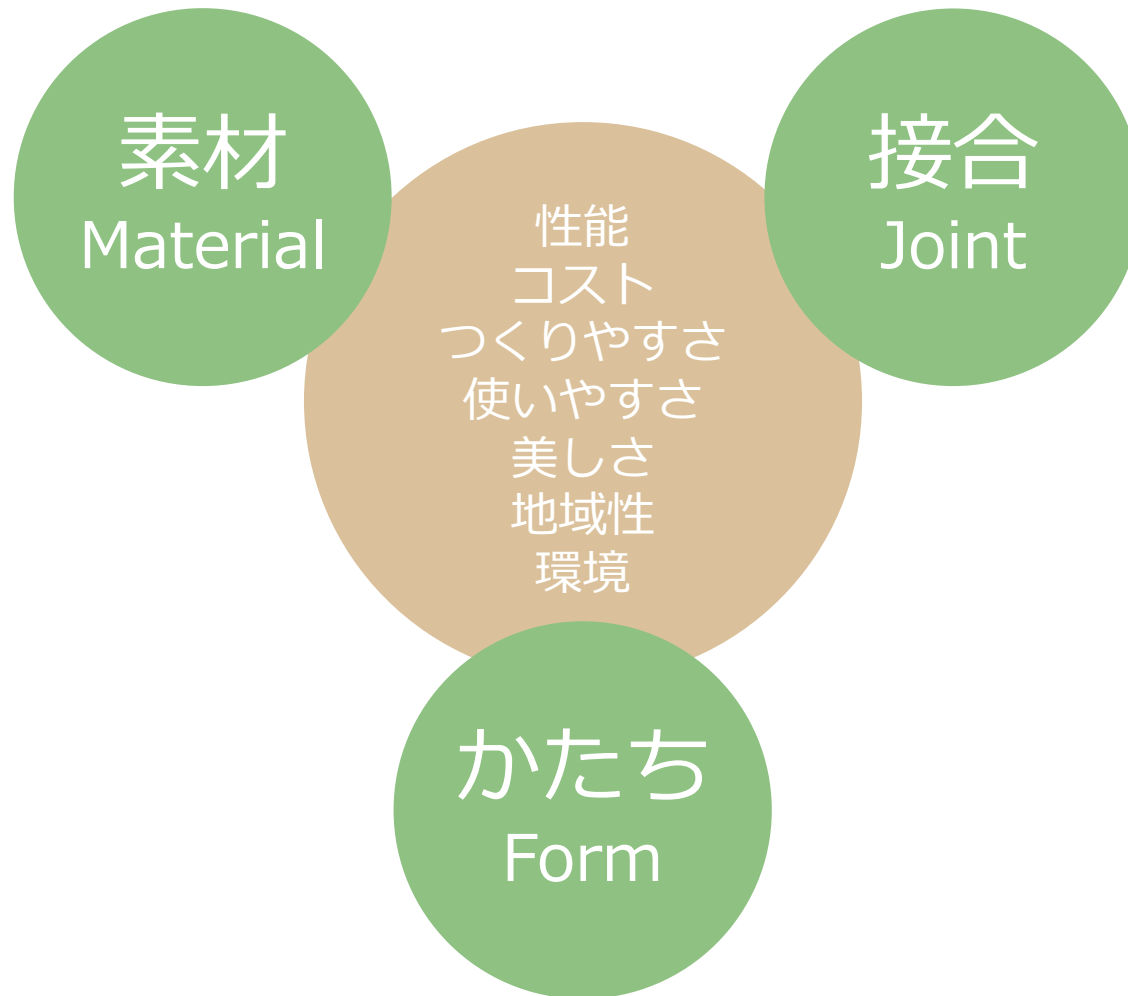


持ち送り



アーチ

# 建造物の構成イメージ



「**素材**」「**接合**」「**かたち**」の多様性を  
木構造の本質的な発展にどうつなげていくか？

# 「伝統木造」を評価する

- 「伝統木造建築」の考え方・技術 → 日本における木構造の礎
- 特性の把握 → 歴史的木造建築の保存や復元

# 大洲城天守

2004年 愛媛県大洲市

## 四層の天守閣を木造で復元する

設計監理：三宿工房、竹林舎、前川建築研究室

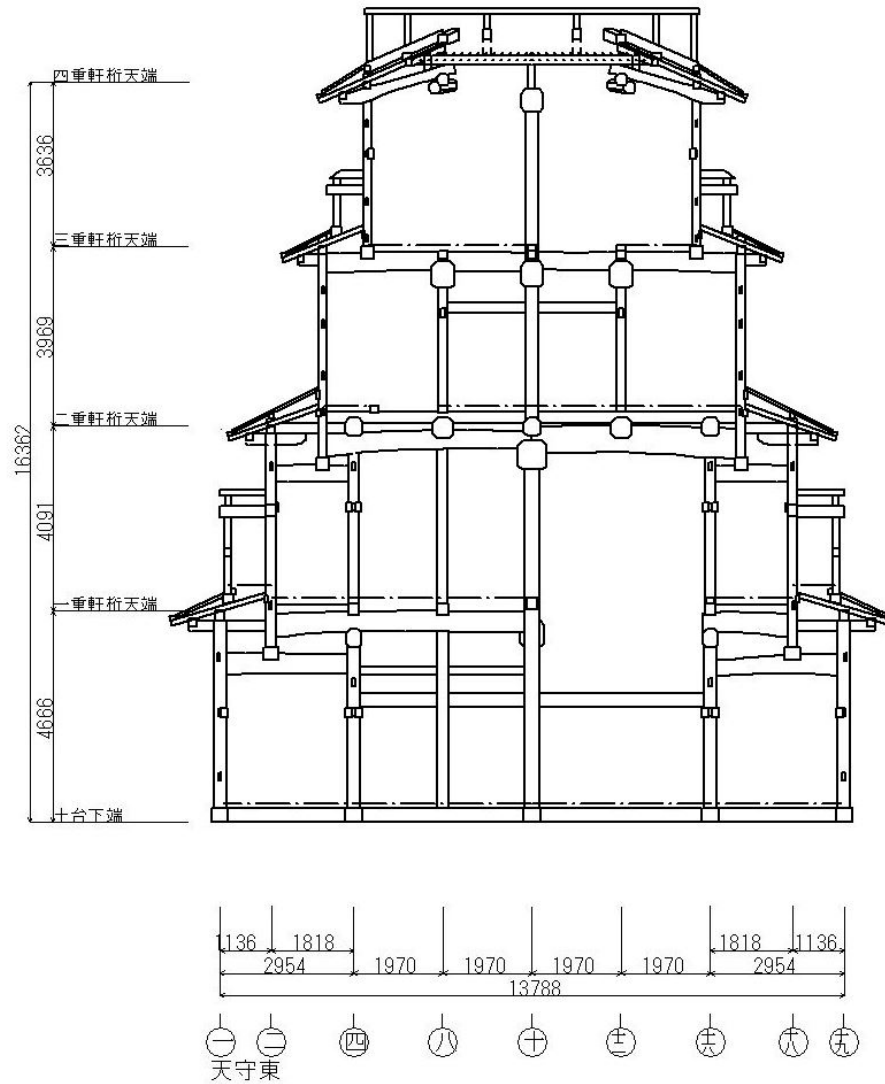
構造設計：増田建築構造事務所

施工：間組（大工工事：井波社寺）

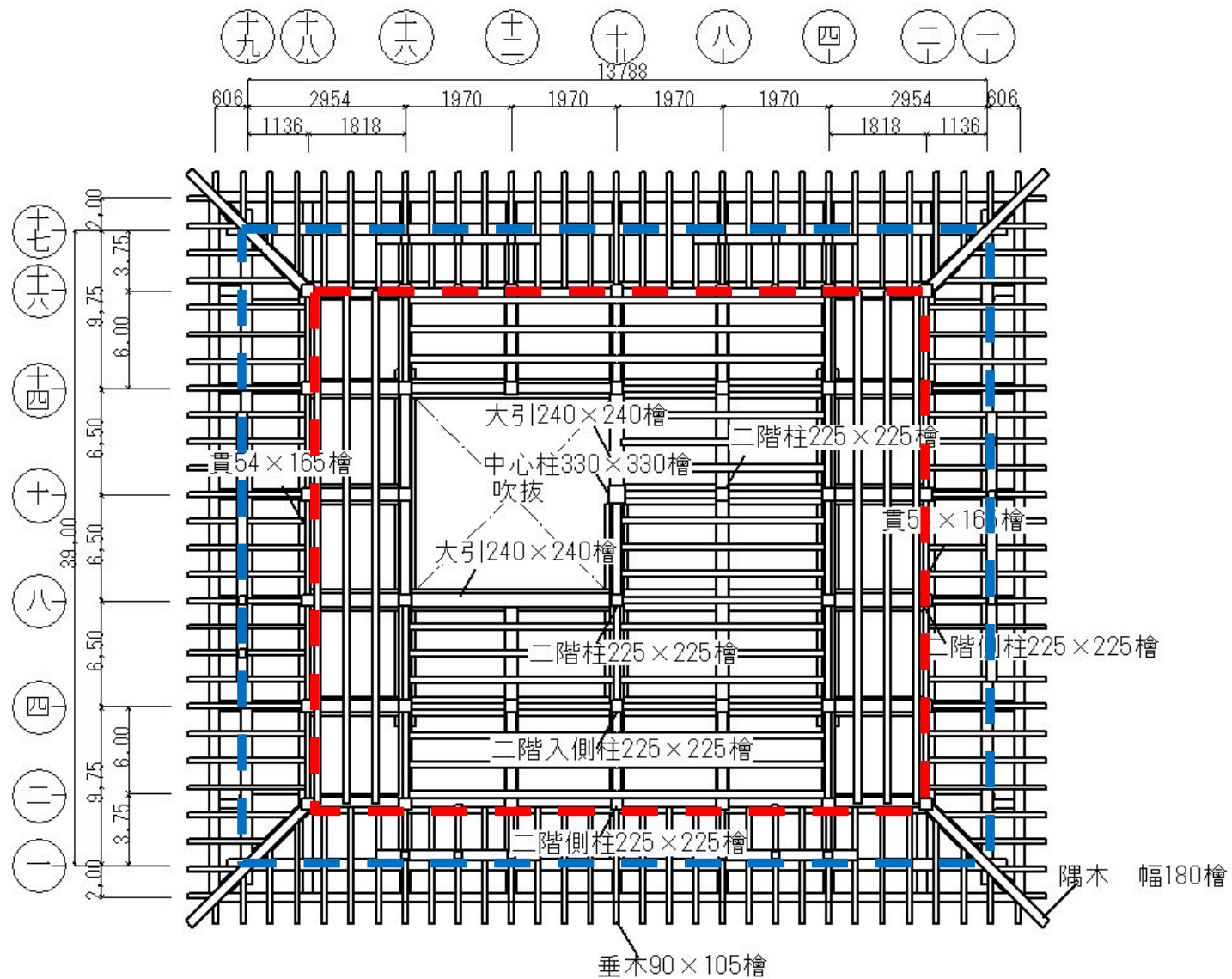




・四層の城天守閣（高さ19.15m）を木造で復元。



## 南十通り軸組図



## 2階床伏図



## 太い柱と梁による軸組、土壁の構成

UTokyo Online Education 歴史的建築工学 2020 山田 憲明 [CC BY-NC-ND](#)

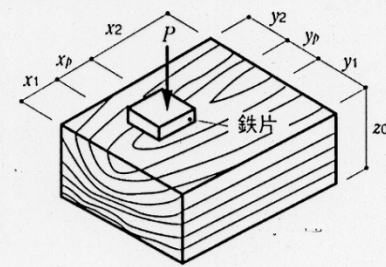
# 実験と力学モデル化にもとづき、めりこみの剛性と降伏耐力の算定式を誘導

## ①等変位めり込み

$$P = \frac{x_p y_p C_x C_y E_{\perp}}{z_0} = \delta \quad (\text{N})$$

弾性限界 (降伏) 変位

$$\delta_y = \frac{z_0 F_m}{E_{\perp} \sqrt{C_x C_y C_{xm} C_{ym}}} \quad (\text{N} \cdot \text{cm})$$



①等変位めり込み

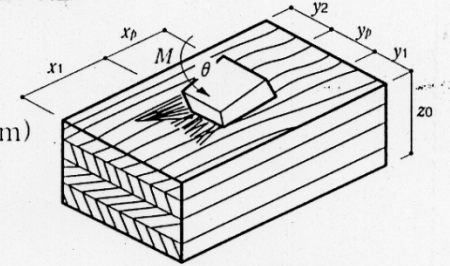
## ②三角形変位めり込み

$$\Sigma N = \frac{x_p^2 y_p C_y E_{\perp} \theta}{z_0} \left[ \frac{1}{2} + \frac{2z_0}{3x_p} \times \left( 1 - e^{-\frac{3x_1}{2z_0}} \right) \right] \quad (\text{N})$$

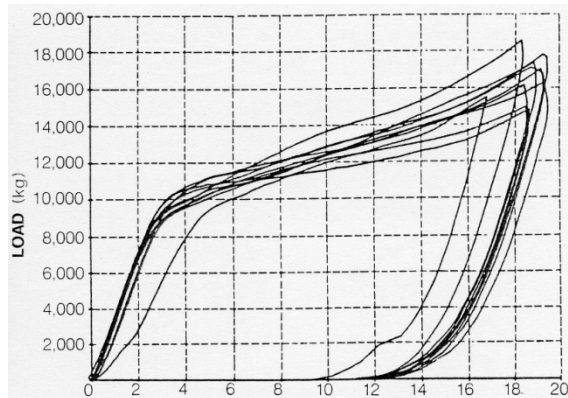
$$\Sigma M = \frac{x_p^3 y_p C_y E_{\perp} \theta}{z_0} \left[ \frac{1}{3} + \frac{2z_0}{3x_p} \times \left( 1 - e^{-\frac{3x_1}{2z_0}} \right) \right] \quad (\text{N} \cdot \text{cm})$$

弾性限界 (降伏) 変形角

$$\theta_y = \frac{z_0 F_m}{x_p E_{\perp} \sqrt{C_x C_y C_{xm} C_{ym}}} \quad (\text{rad})$$



②三角形変位めり込み



$$C_x : C_x = 1 + \frac{2z_0}{3x_p} \left( 2 - e^{-\frac{3x_1}{2z_0}} - e^{-\frac{3x_2}{2z_0}} \right) \quad \left[ \text{三角形変位めり込みでは } x_2 = x_1 \text{ とおく} \right]$$

$$C_y : C_y = 1 + \frac{2z_0}{3n y_p} \left( 2 - e^{-\frac{3y_1}{2z_0}} - e^{-\frac{3y_2}{2z_0}} \right)$$

$$C_{xm} : \text{端距離効果係数} \quad C_{xm} = 1 + \frac{4z_0}{3x_p}$$

$$C_{ym} : \text{縁距離効果係数} \quad C_{ym} = 1 + \frac{4z_0}{3n y_p}$$

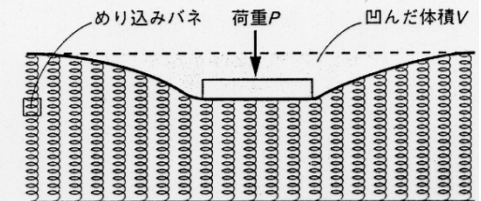
$$E_{\perp} : \text{全面横圧縮ヤング係数} \quad (E_{\perp} \doteq \frac{1}{50} E \text{ とする})$$

$n$  : 繊維方向に対する繊維直交方向の置換係数

$\left\{ \begin{array}{l} \text{接合部の設計に使う樹種グループ (Jn) 別に定める} \\ J1 : \text{ベイマツ・クロマツ・アカマツ・カラマツ・ツガ} \\ J2 : \text{ベイヒ・ベイツガ・ヒバ・ヒノキ・モミ} \\ J3 : \text{トドマツ・エゾマツ・ベニマツ・スプルス・スギ・ベイスギ} \end{array} \right.$		$\left. \begin{array}{l} n = 7 \\ n = 6 \\ n = 5 \end{array} \right\}$
---	--	--

$$F_m : \text{めり込み降伏応力度} \quad (F_m \doteq \frac{2.4}{3} F_{cv} \text{ とする})$$

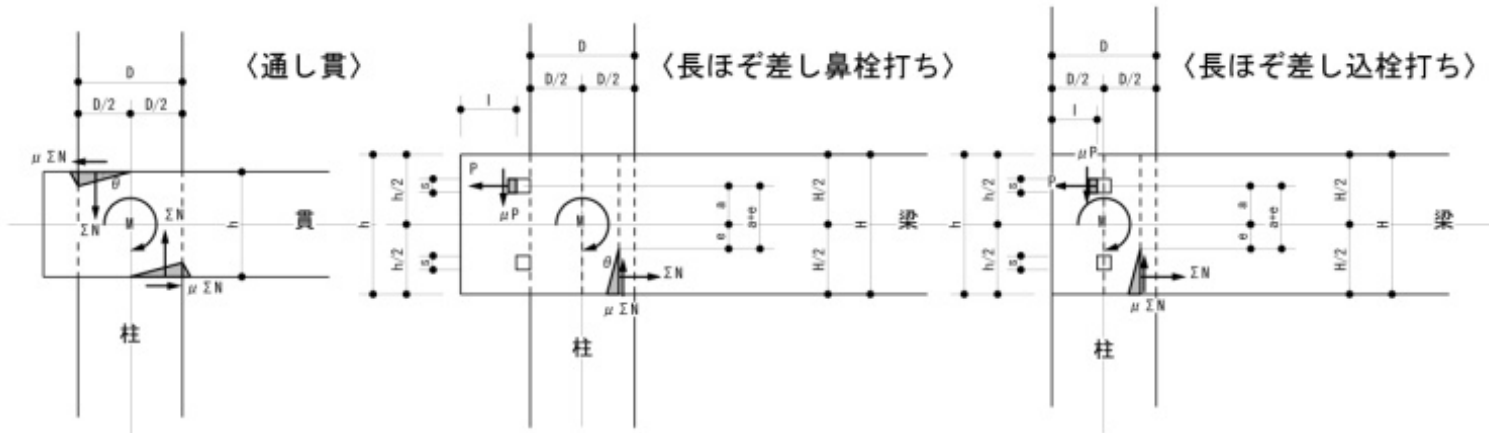
めり込みの力学モデル



『地震に強い[木造住宅]パーフェクトマニュアル』  
エクスナレッジムック、2003年、p.262-p.263より引用

• 「嵌合」接合の構造特性を把握するには、木材のめり込み特性（木材繊維直交方向の圧縮特性）を調べる必要がある。

• 現東京大学農学部稲山正弘教授が、木材のめり込み特性を研究していた。



$$K_N = k_1 + k_2$$

$$k_1 = \frac{D^3 b E_{IT}}{4h} \left( \frac{1}{3} + \frac{4h}{3D} + \frac{16h^2}{9D^2} \right) \quad k_2 = \frac{\mu D^2 b E_{IT}}{4} \left( \frac{1}{2} + \frac{4h}{3D} \right)$$

$$K_{H1} = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$$

$$k_3 = J(a+e)^2 + \frac{r E_{2T} (H/2-e)^3}{D} \left\{ \frac{1}{3} + \frac{2D}{3(H/2-e)} + \frac{4D^2}{9(H/2-e)} \right\}$$

$$k_4 = \mu D J (a+e)$$

$$K_{H2} = k_1 + k_2 + k_5 + k_6$$

$$k_5 = J(a+e)^2 + \frac{r E_{2T} (H/2-e)^3}{(D-s)/2} \left\{ \frac{1}{3} + \frac{D-s}{3(H/2-e)} + \frac{(D-s)^2}{9(H/2-e)} \right\}$$

$$k_6 = \mu J (D-s)(a+e)/2$$

$K_N$ : 通し貫仕口の回転剛性

$K_{H1}$ : 長ほぞ差し鼻栓打ち仕口の回転剛性

$K_{H2}$ : 長ほぞ差し込栓打ち仕口の回転剛性

$k_1$ : 貫(ほぞ)の三角形変位めりこみ圧縮力による回転剛性

$k_2$ : 貫(ほぞ)の摩擦せん断力による回転剛性

$k_3$ : 鼻栓の等変位と胴づき面の三角形めりこみ圧縮力による回転剛性

$k_4$ : 鼻栓と胴づき面の摩擦せん断力による回転剛性

$k_5$ : 込栓の等変位と胴づき面の三角形めりこみ圧縮力による回転剛性

$k_6$ : 込栓と胴づき面の摩擦せん断力による回転剛性

B: 梁幅    H: 梁せい    b: 貫(梁ほぞ)幅    H: 貫(梁ほぞ)せい

t: 柱幅    D: 柱せい    s: 鼻栓(込栓)径     $\mu$ : 摩擦係数

$E_{IT}$ : 貫(梁)材の全面横圧縮ヤング係数

$E_{2T}$ : 柱材の全面横圧縮ヤング係数

J: 鼻栓(込栓)の寸法・材質等から決まる係数

e: 中立軸位置

• このめり込み特性を用いて、様々な嵌合接合部の剛性や強度のモデル化を行い解析した。

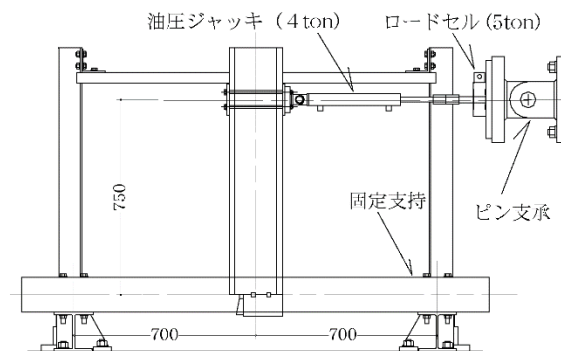
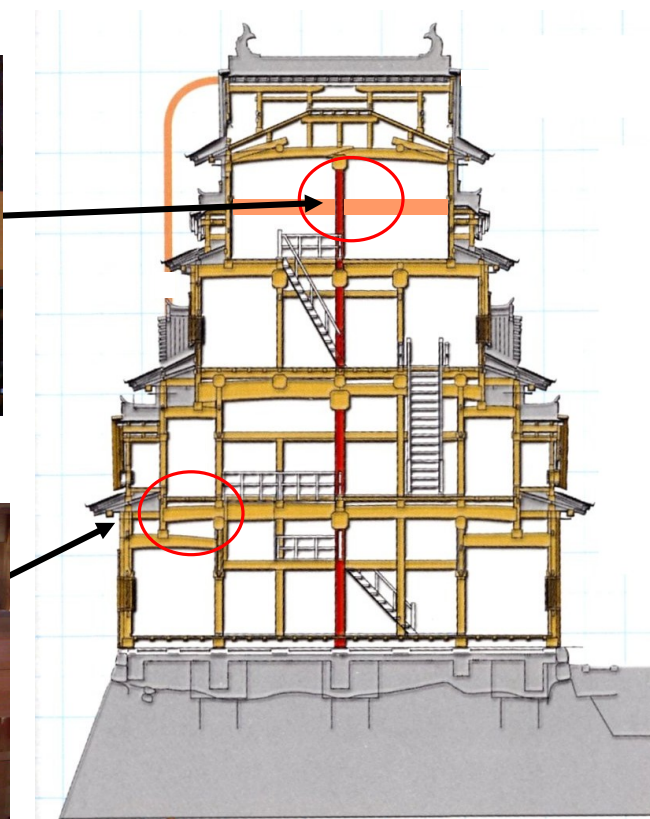
柱+繋ぎ梁 → ト型試験体  
 柱+貫 → 十字型試験体  
 スケール：1/2縮小模型

柱：135mm×135mm  
 梁：240φ  
 貫：30mm×90mm  
 樹種：檜

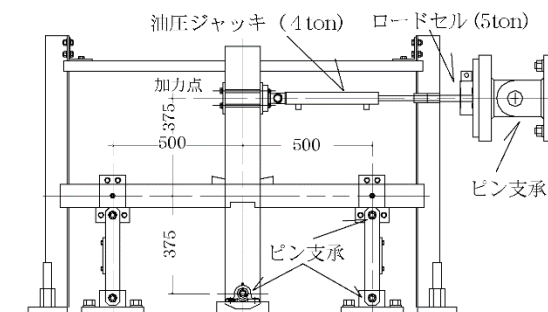
## 十字型試験体



## ト型試験体



(a) ト型試験体



(b) 十字型試験体

図8 仕口加力実験概要

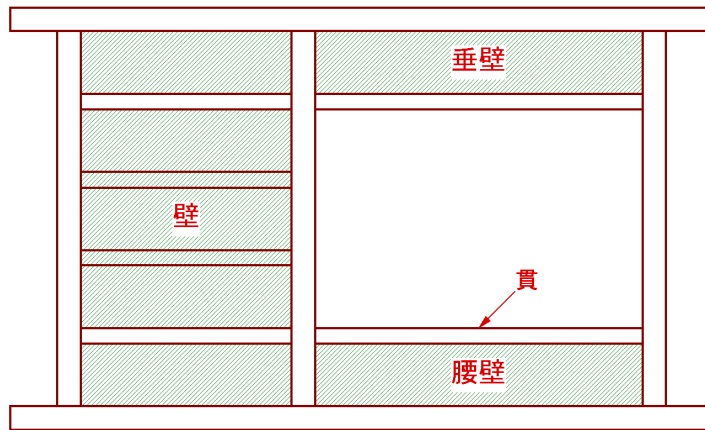
松浦恒久、外館寛、山田憲明、増田一眞  
 『伝統的木造による建物の設計および仕口部の構造性能：その2.仕口部の回転剛性(伝統木造の各部耐力評価,構造III)』日本建築学会、2005年

提供：株式会社安藤・間

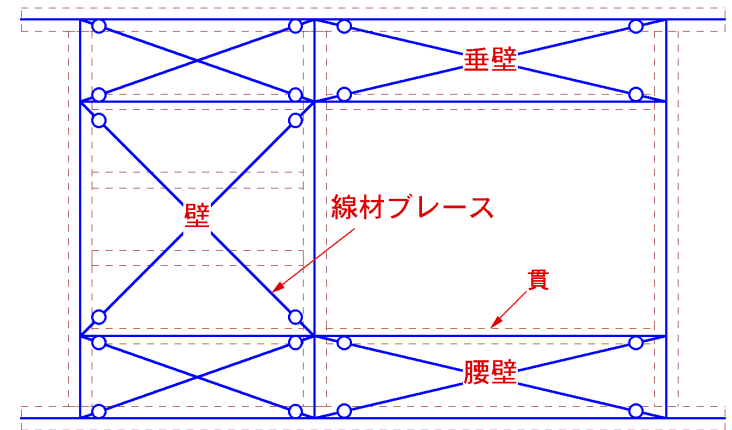
- 接合部の加力実験を行い、解析の整合性を確認。

- 柱梁接合部の回転剛性
- 土壁のせん断剛性

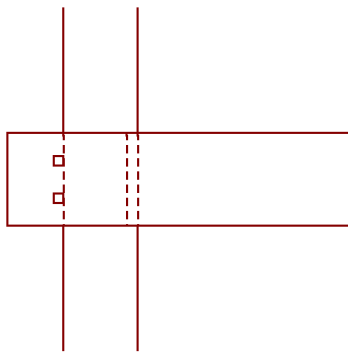
- 回転バネ
- 線材ブレース置換



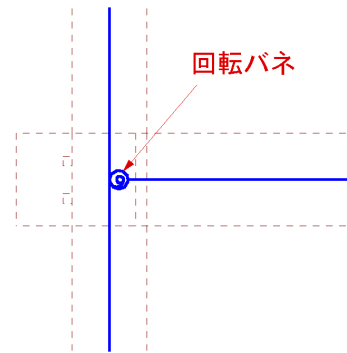
モデル化  
➔



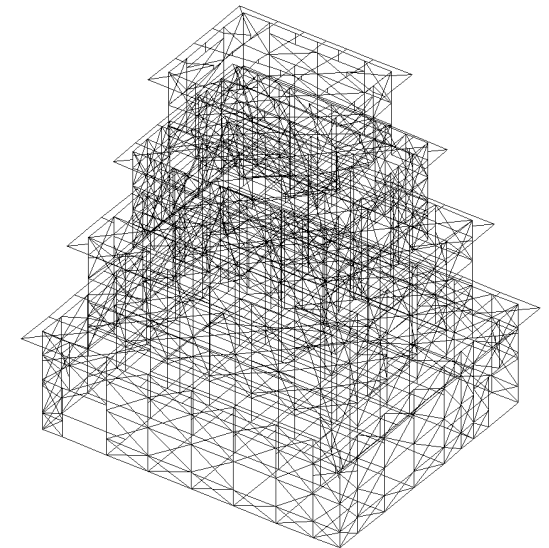
フレームと土壁のモデル化



モデル化  
➔



接合部のモデル化



全体モデル

- この接合部特性を用いて、建物全体をフレーム解析した。
- 次に、建物全体の特性を用いて、質点系モデルによる時刻歴応答解析を行った。



提供: 株式会社安藤・間









写真提供: 大洲城管理事務所

# 本山寺五重塔 保存修理工事

2019年 香川県三豊市

## 五重塔の補強

本山寺五重塔整備委員会

顧問 岡田恒男、坂本功、清水真一

委員 多田善昭、太田勤、秋元孝之、後藤治  
楠浩一、藤田香織、宮本慎宏、山田憲明

設計監理：多田善昭建築設計事務所

構造設計：山田憲明構造設計事務所



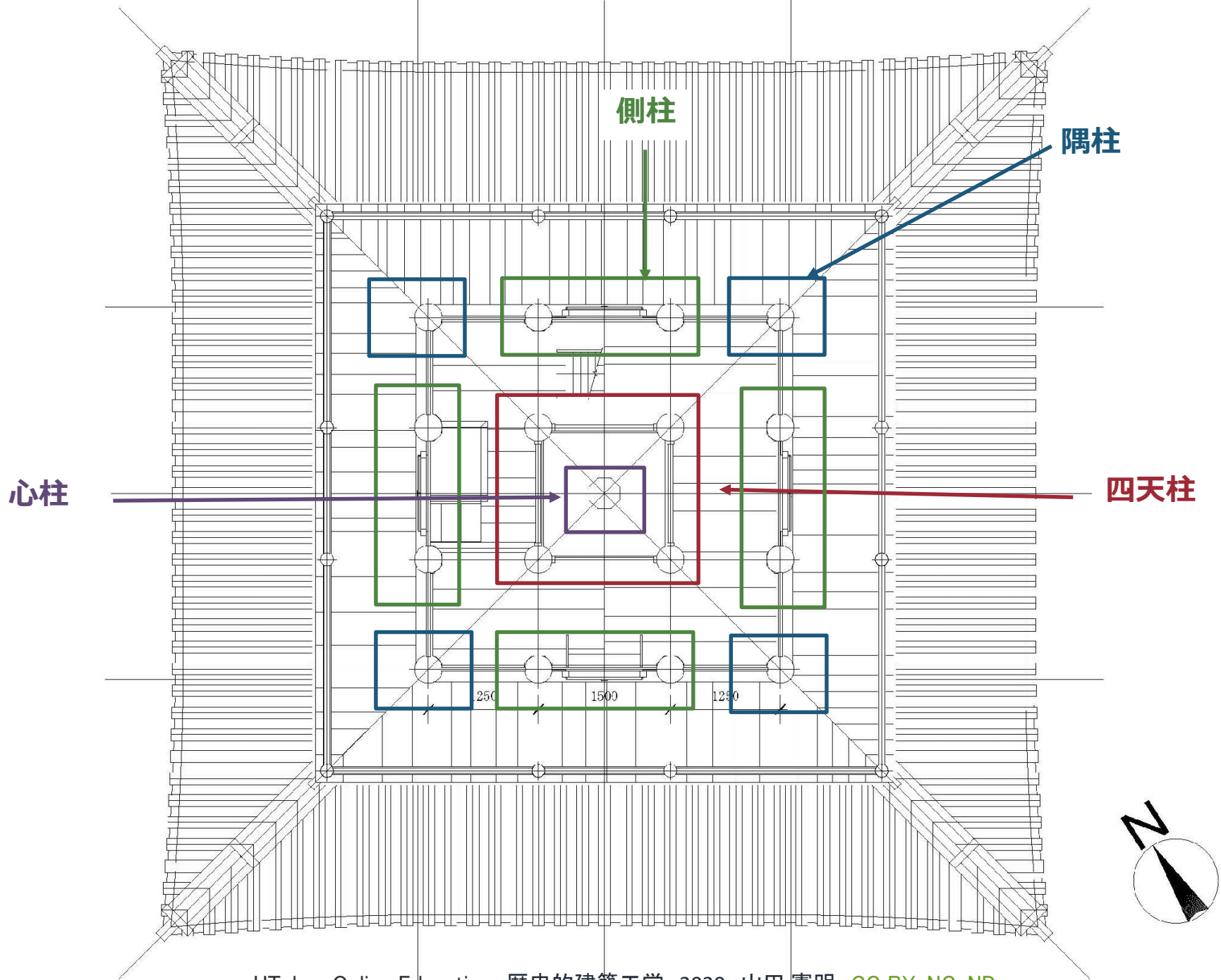


本山寺所蔵



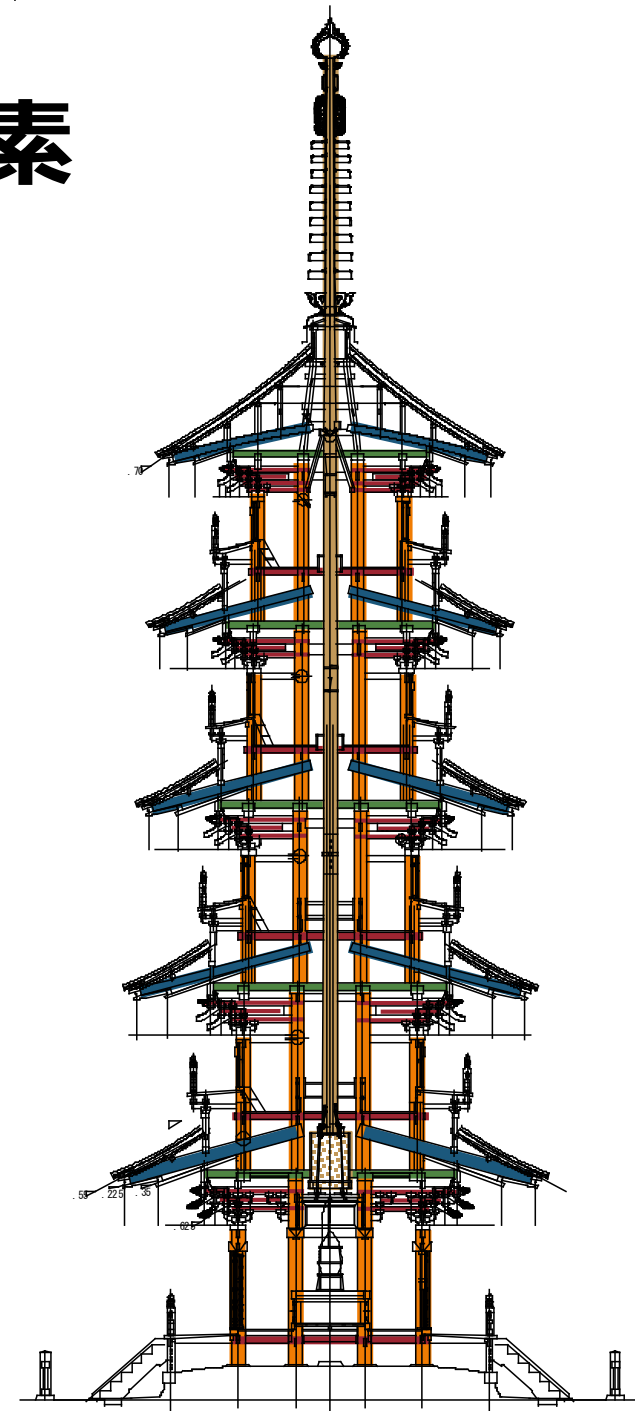
本山寺所蔵

明治29年-1896年 【工事着手】  
明治36年-1903年 【三重まで完成】  
明治43年-1910年 【五重上棟：竣工年】



# 五重塔の構造要素

1. 16本の柱
2. 柱盤
3. はね木
4. 通し貫
5. 心柱？



## 【通し貫】

### ●概要

- 柱に設けた貫孔に貫を通して楔で締め付けることのできる、一種の半ラーメンフレーム。
- 剛性は低いが、容易に破壊に至らず靱性が高い。
- 貫の役割は、柱同士のつなぎ、柱の曲げ拘束、土塗壁の下地等である。
- 樹種、柱径、貫寸法などにより性能が変わる。

著作権等の都合により省略しました

通し貫の図

『木質構造接合部設計マニュアル』  
日本建築学会、2009年、p.252



## ●抵抗メカニズム

- 貫に対して柱が傾斜する際に柱の木口が貫の上下面にめり込むことでめり込み圧縮とくい込み摩擦力が発生し、これによる偶力によってモーメント抵抗を発現する。



著作権等の都合により省略しました

柱と貫のくい込み摩擦の図

『木質構造接合部設計マニュアル』  
日本建築学会、2009年、p.253



## 【柱傾斜復元力】

### ●概要

- 水平荷重に対して太く短い柱が、自信の負担する鉛直荷重によって生じさせる復元力。
- 柱の径と高さ、鉛直荷重などにより性能が変わる。
- 基準法では壁倍率は与えられていない。
- 学会伝木指針または重文診断要領にもとづいて算定する。

著作権等の都合により省略しました

図 3.24 柱傾斜復元力の考え方  
図 3.25 柱傾斜復元力の基本モデル

『限界耐力計算による伝統的木造建築物構造計算指針・同解説』  
日本建築学会、2013年、p.69

# 1. 調査

## 2. 鉛直荷重に対する検討

(1) 組物の圧縮力に対する検討

(2) 柱盤の強制変位に対する検討

(3) 軒先支持に対する検討

## 3. 地震に対する検討

## 4. 風に対する検討

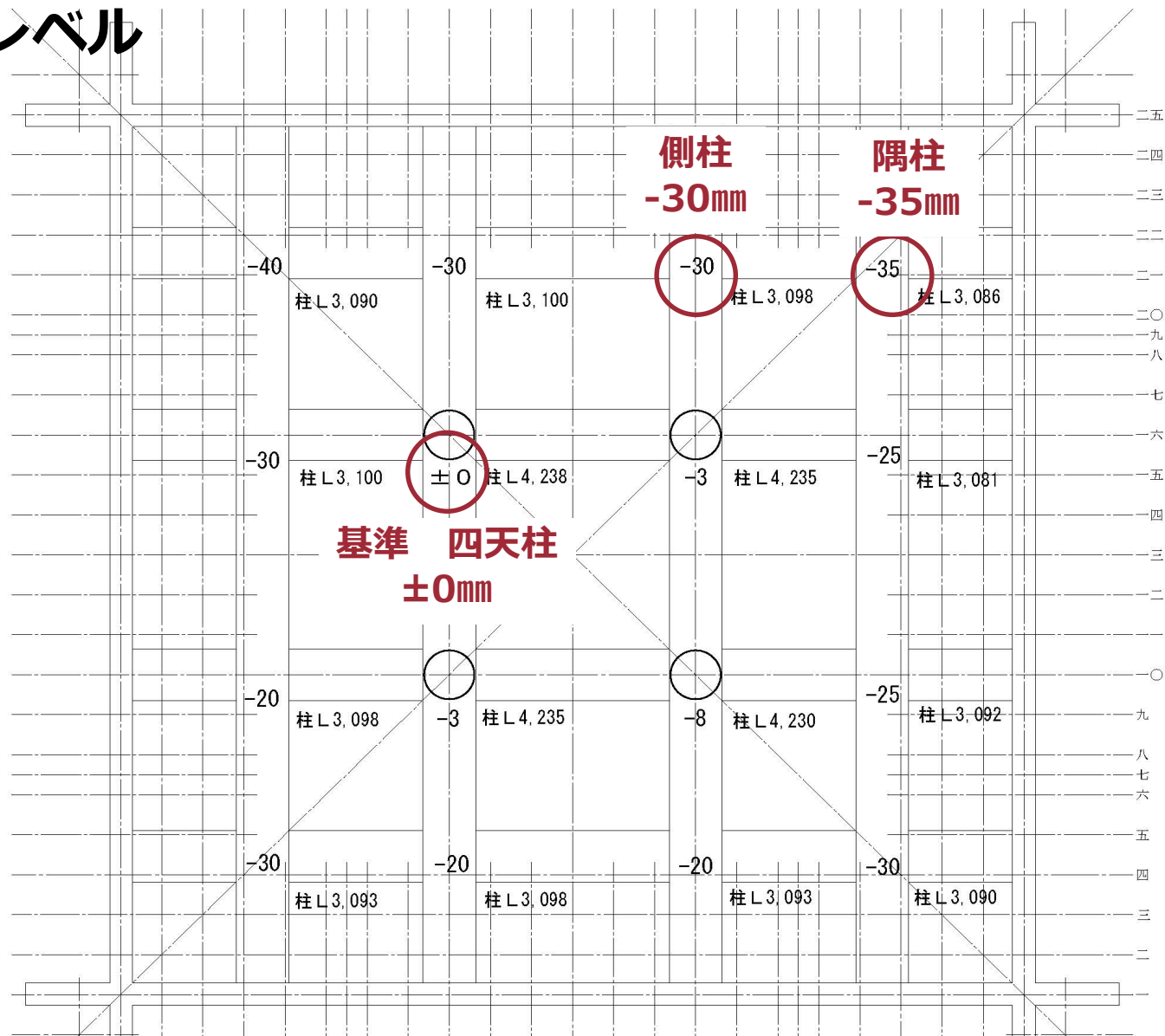
## 5. 心柱の鉛直支持に対する検討

## 6. 心柱の地震に対する検討

# 1. 調査

- ・ 解体前の目視調査
- ・ 床沈下量の計測
- ・ 解体後の目視調査

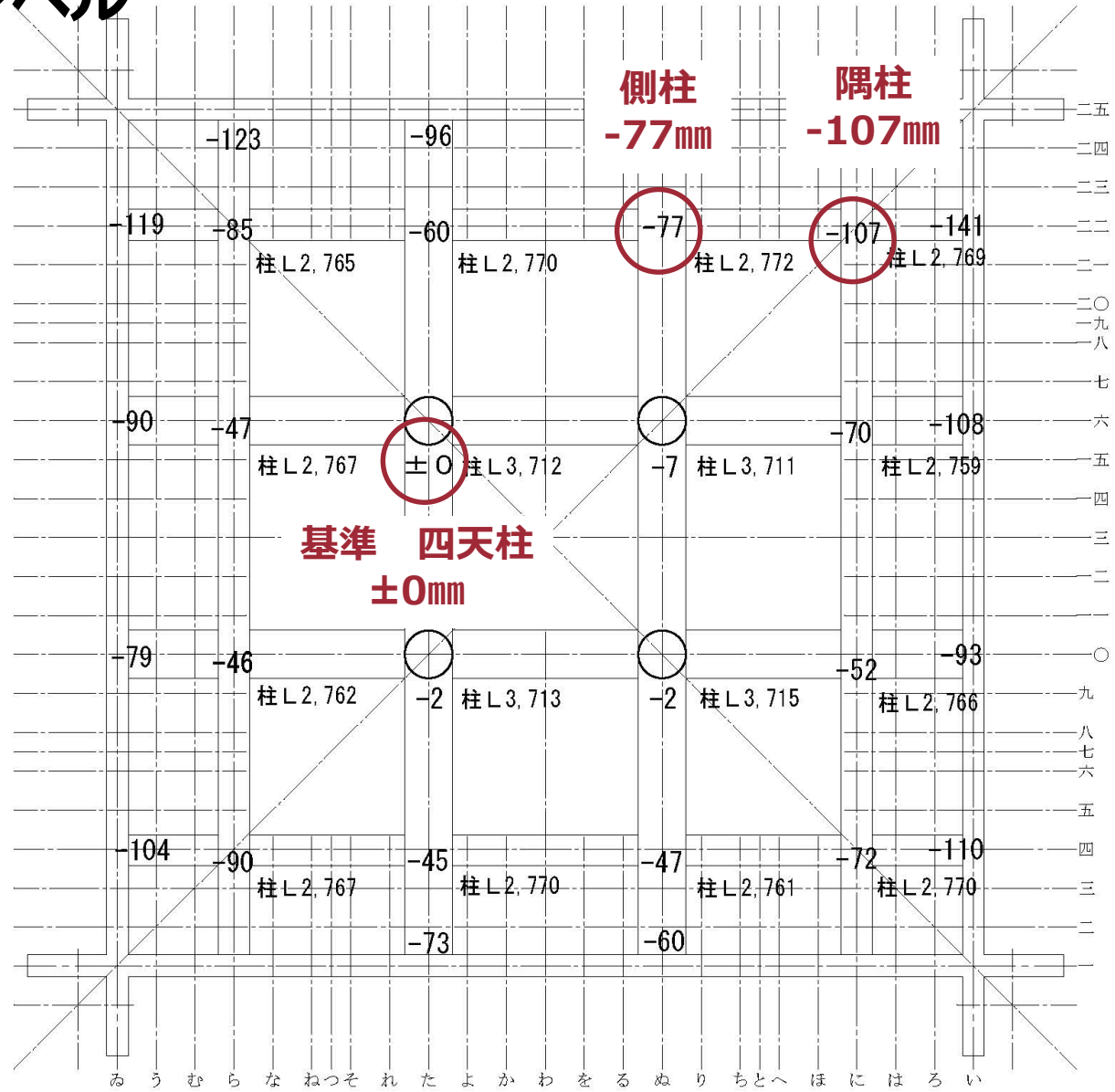
# 初重の床レベル



①床レベル計測で四天柱に対して側柱<隅柱の順で大きな沈下。

上層にいくほど顕著

# 五重の床レベル



①床レベル計測で四天柱に対して側柱<隅柱の順で大きな沈下。

上層にいくほど顕著



## ②沈下に起因する柱盤・台輪等の大きな湾曲変形と割裂

UTokyo Online Education 歴史的建築工学 2020 山田 憲明 [CC BY-NC-ND](#)



## ②沈下に起因する柱盤・台輪等の大きな湾曲変形と割裂

UTokyo Online Education 歴史的建築工学 2020 山田 憲明 [CC BY-NC-ND](#)



## ② 沈下に起因する柱盤・台輪等の大きな湾曲変形と割裂

UTokyo Online Education 歴史的建築工学 2020 山田 憲明 [CC BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



③側柱及び隅柱直上の組物で  
斗の欠落と隙間  
→柱鉛直荷重の伝達困難に



③側柱及び隅柱直上の組物で斗の欠落と隙間 →柱鉛直荷重の伝達困難に

UTokyo Online Education 歴史的建築工学 2020 山田 憲明 [CC BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

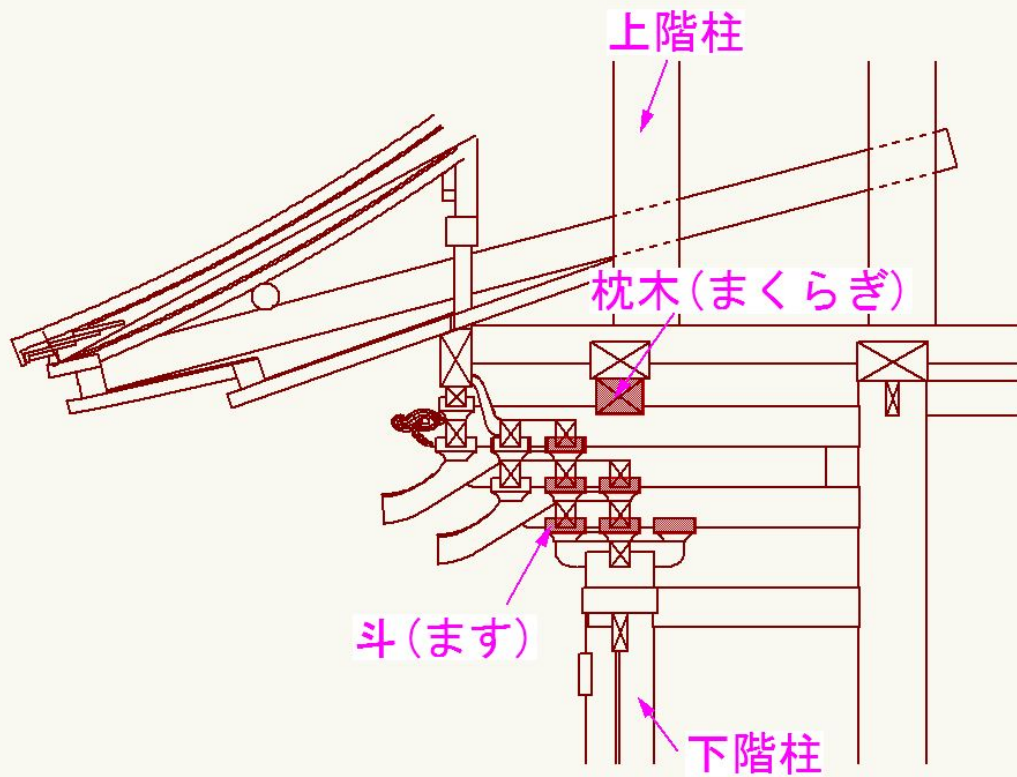


#### ④尾垂木は内部まで挿し込まれておらず、単なる化粧材

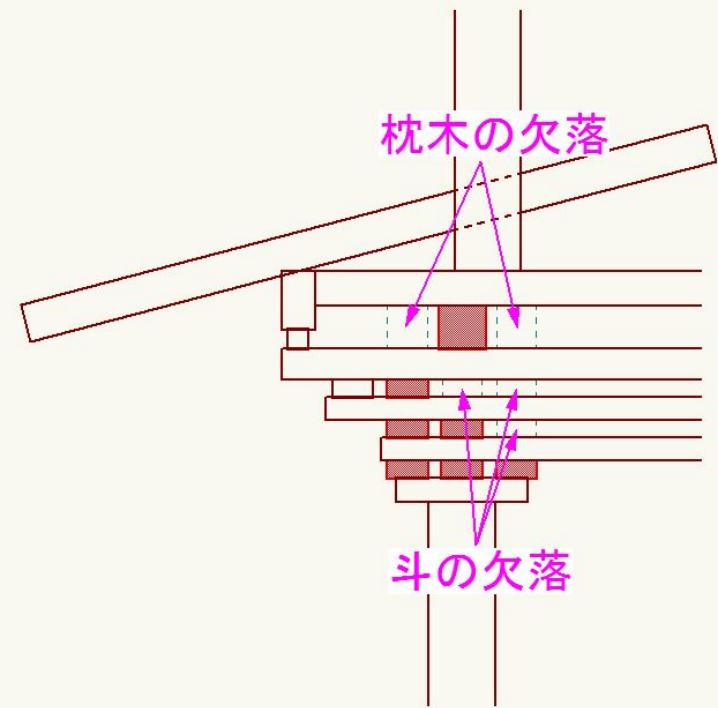
UTokyo Online Education 歴史的建築工学 2020 山田 憲明 [CC BY-NC-ND](#)

## 2. 鉛直荷重に対する検討

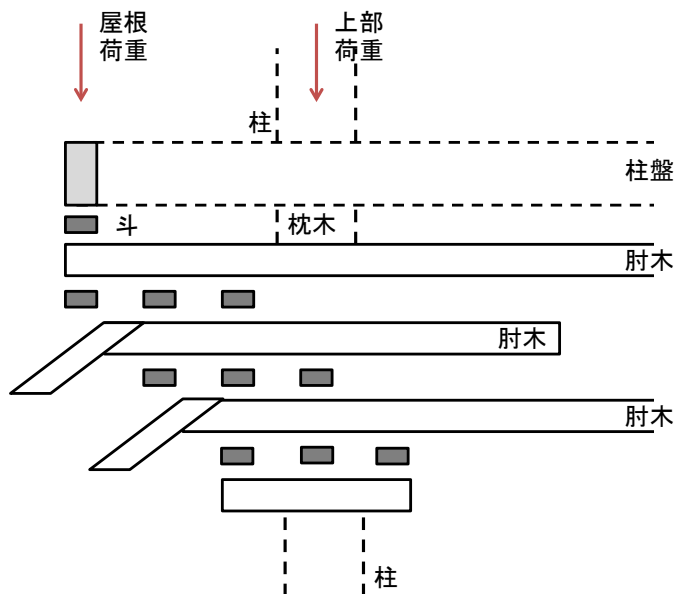
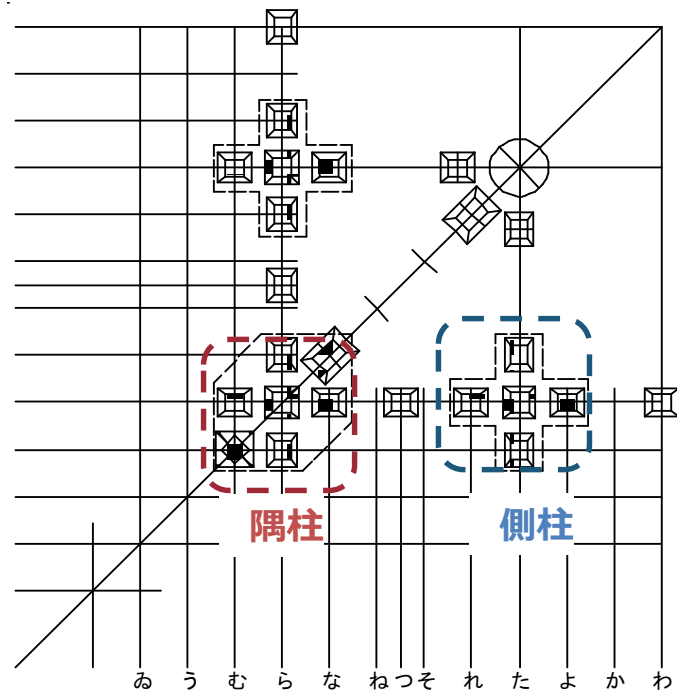
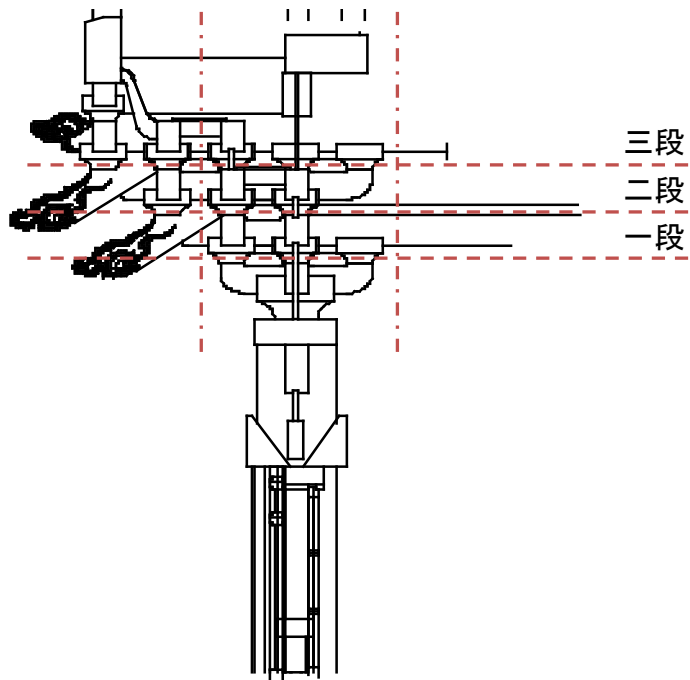
### (1) 組物の圧縮力に対する検討



【実際】



【模式図】



# 斗による 肘木のめり込み

肘木

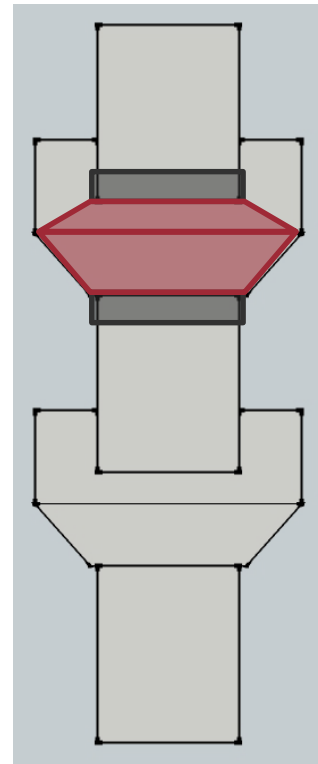
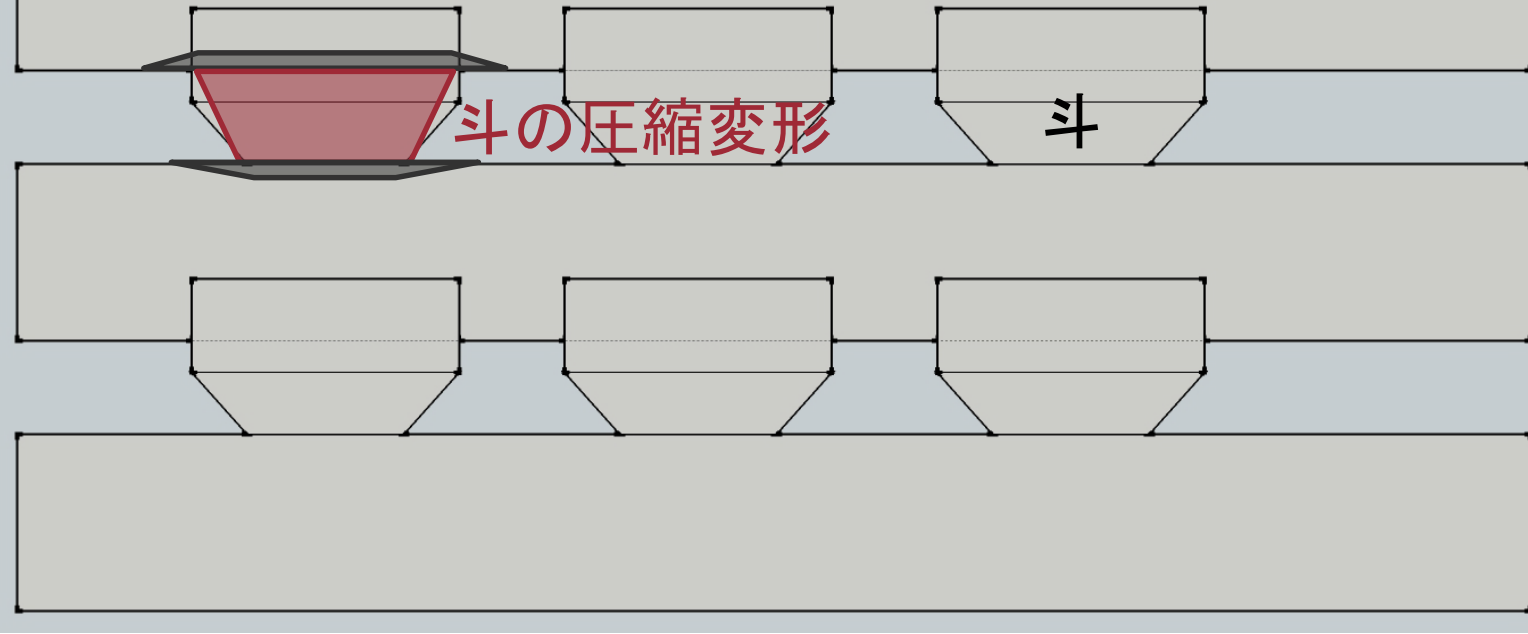
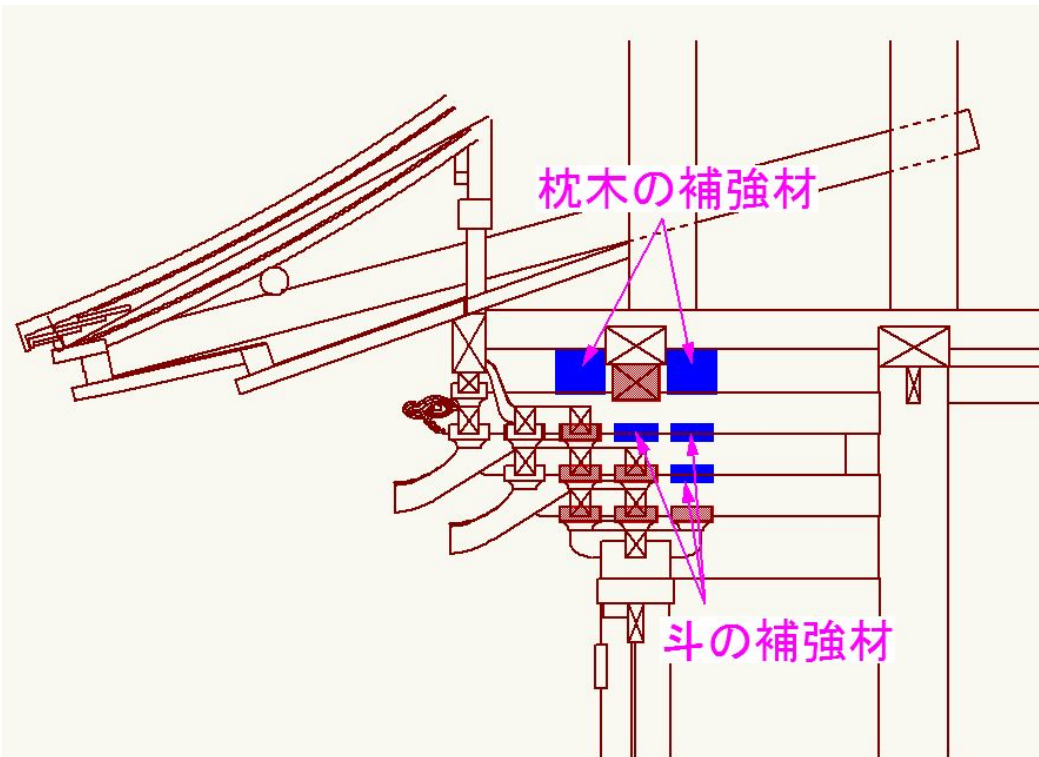


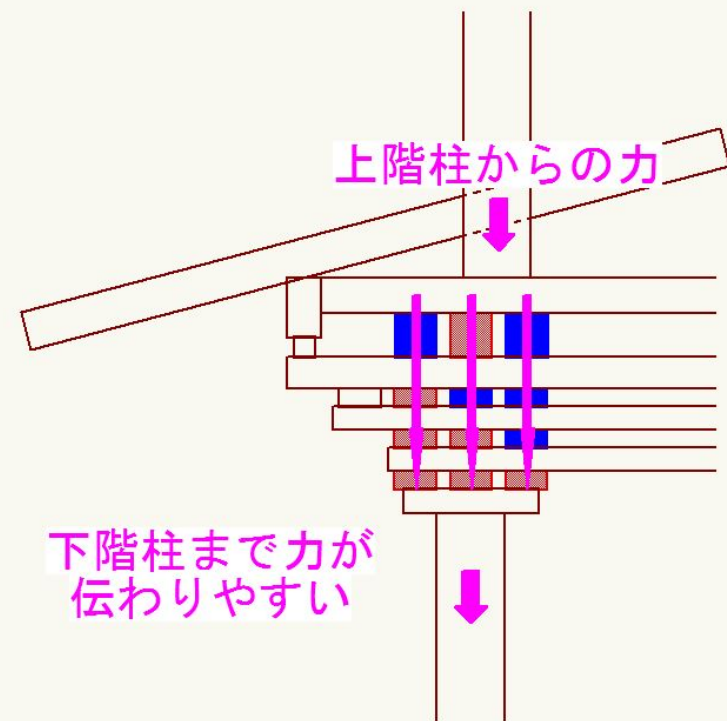
表 5-5 組物の応力に対する検討のまとめ (現況)

		荷重 [kN]	斗の数			斗一個にかかる荷重[kN]			めり込みの検討				斗の全面圧縮の検討					
			一段	二段	三段	一段	二段	三段	許容応力 [kN]	検定比			判定	許容応力 [kN]	検定比			判定
										一段	二段	三段			一段	二段	三段	
5重	側柱	9.3	5	4	1	1.9	2.3	9.3	18.8	0.10	0.12	0.50	OK	11.2	0.17	0.21	0.84	OK
	隅柱	20.4	4	4	2	5.1	5.1	10.2	18.8	0.27	0.27	0.54	OK	11.2	0.46	0.46	0.91	OK
4重	側柱	20.2	5	4	1	4.0	5.0	20.2	19.6	0.21	0.26	1.03	検討必要	12.2	0.33	0.41	1.65	検討必要
	隅柱	47.3	4	4	2	11.8	11.8	23.7	19.6	0.60	0.60	1.21	検討必要	12.2	0.97	0.97	1.94	検討必要
3重	側柱	32.8	4	4	1	8.2	8.2	32.8	21.0	0.39	0.39	1.56	検討必要	13.5	0.61	0.61	2.44	検討必要
	隅柱	78.6	5	5	3	15.7	15.7	26.2	21.0	0.75	0.75	1.25	検討必要	13.5	1.17	1.17	1.95	検討必要
2重	側柱	48.0	4	4	2	12.0	12.0	24.0	24.5	0.49	0.49	0.98	OK	15.6	0.77	0.77	1.54	検討必要
	隅柱	116.3	5	4	2	23.3	29.1	58.1	24.5	0.95	1.19	2.37	検討必要	15.6	1.49	1.86	3.72	検討必要
初重	側柱	64.4	5	4	3	12.9	16.1	21.5	27.4	0.47	0.59	0.78	OK	28.1	0.46	0.57	0.76	OK
	隅柱	156.9	7	5	3	22.4	31.4	52.3	27.4	0.82	1.14	1.91	検討必要	28.1	0.80	1.12	1.86	検討必要

※めり込み検討例 5重側柱一段検定比 0.10 = 斗一個にかかる荷重(一段)1.9 / 許容応力 18.8



【実際】



【模式図】

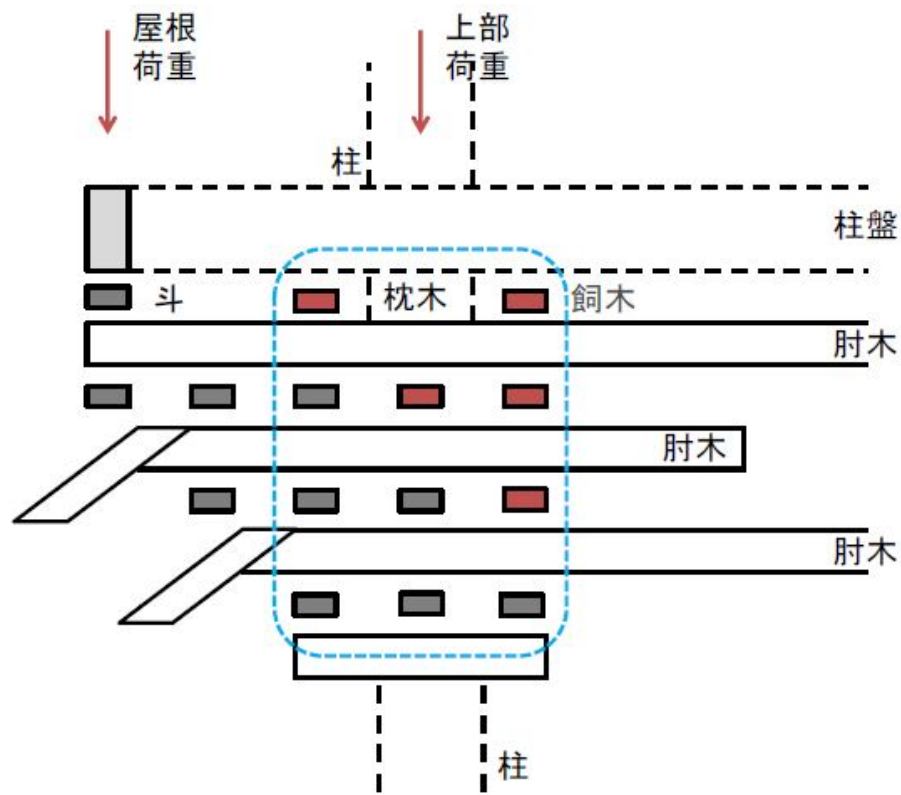


図 5.17 組物の飼木補強概念図

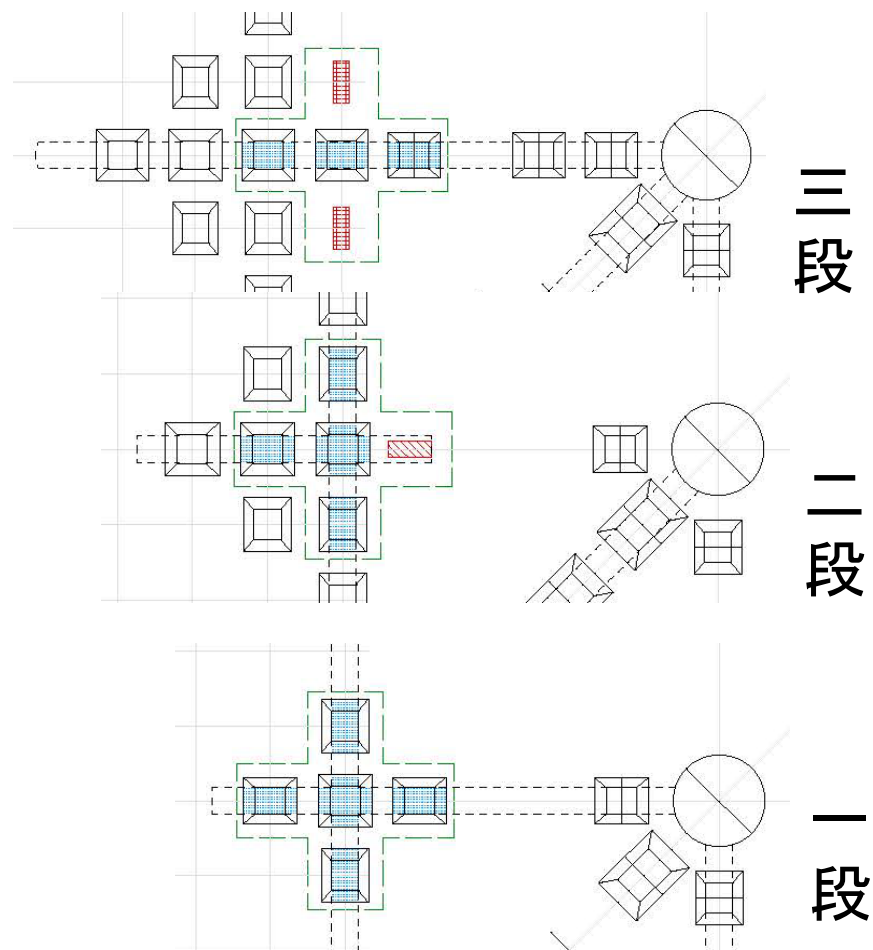






表 5-13 組物の強度に対する検討（補強後）

	荷重 [kN]	斗或は 飼木の数	斗一個に かかる荷重 [kN]	めり込みの検討			斗の全面圧縮の検討			飼い木の検討			
				許容応力 [kN]	検定比	判定	許容応力 [kN]	検定比	判定	許容応力 [kN]	検定比	判定	
5重	側柱	8.0	5	1.6	18.8	0.09	OK	11.2	0.14	OK	23.6	0.02	OK
	隅柱	17.6	7	2.5	18.8	0.13	OK	11.2	0.23	OK	23.6	0.04	OK
4重	側柱	18.1	5	3.6	19.6	0.18	OK	12.2	0.30	OK	23.6	0.05	OK
	隅柱	41.9	7	6.0	19.6	0.31	OK	12.2	0.49	OK	23.6	0.09	OK
3重	側柱	29.8	5	6.0	21.0	0.28	OK	13.5	0.44	OK	23.6	0.09	OK
	隅柱	70.3	7	10.0	21.0	0.48	OK	13.5	0.75	OK	23.6	0.15	OK
2重	側柱	43.9	5	8.8	24.5	0.36	OK	15.6	0.56	OK	23.6	0.13	OK
	隅柱	104.5	7	14.9	24.5	0.61	OK	15.6	0.96	OK	23.6	0.22	OK
初重	側柱	59.3	5	11.9	27.4	0.43	OK	28.1	0.42	OK	23.6	0.17	OK
	隅柱	141.6	7	20.2	27.4	0.74	OK	28.1	0.72	OK	23.6	0.30	OK

※斗1個のめり込みに対する許容耐力は、表 5-3 の長期許容圧縮力の上下面のうち、小さい方の値（下面）を用いた。

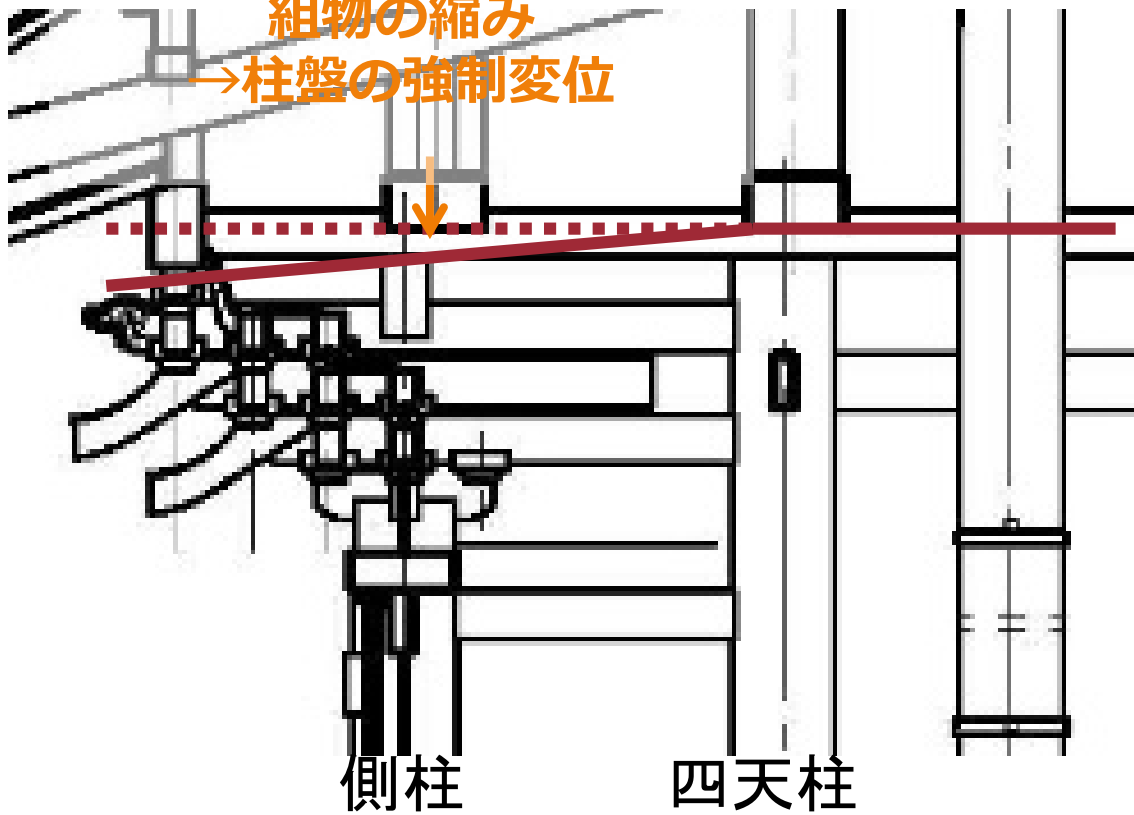
斗の全面圧縮に対する許容耐力は、表 5-4 の長期許容圧縮力を用いた。

飼木の長期許容耐力は、下記に算定しためり込みと全面横圧縮の耐力の小さい方を用いた。

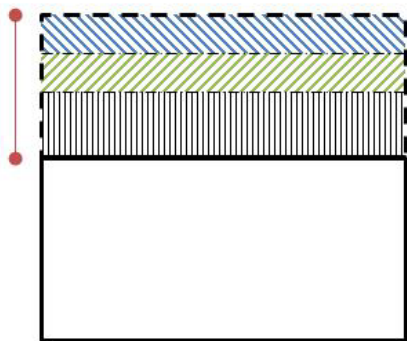
## 2. 鉛直荷重に対する検討

### (2) 柱盤の強制変位に対する検討

組物の縮み  
→柱盤の強制変位



縮み量



弾性変形  
クリープ  
含水率の変動

- ・斗が少ない →弾性変形、クリープ変形が大きい
- ・含水率変動 (-10%を仮定) →収縮が大きい

[補強前の組物]

## 補強前 累積沈下量 max68.2mm

表 5-6 組物の長期変形量の算定 (現況)

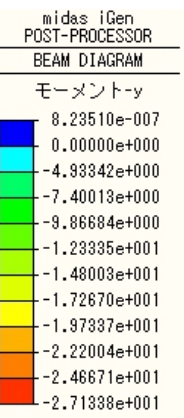
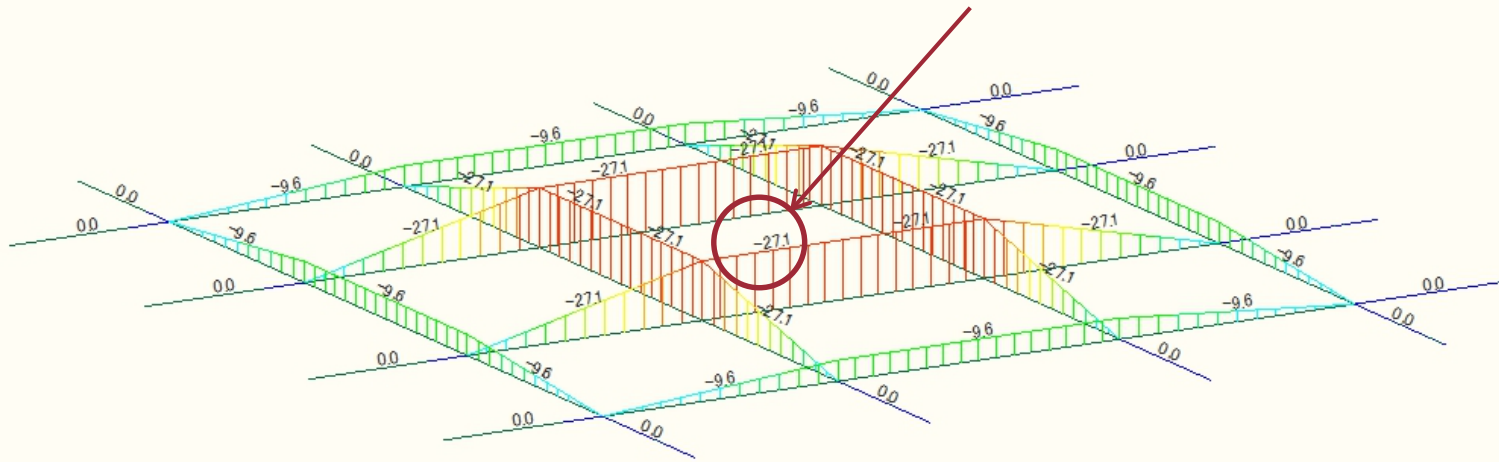
		肘木のめり込み量 [mm]			斗全面圧縮変形量 [mm]			弾性変形合計 [mm]		長期変形 [mm]		変形量の合計 [mm]	
		一段	二段	三段	一段	二段	三段	めり込み変形	圧縮変形	クリープ	乾燥収縮	各層	累積
5重	側柱	0.07	0.09	0.37	0.02	0.02	0.09	0.53	0.13	0.66	6.06	7.4	51.8
	隅柱	0.20	0.20	0.40	0.05	0.05	0.10	0.80	0.19	0.99	6.06	8.0	68.2
4重	側柱	0.16	0.20	0.80	0.04	0.04	0.18	1.16	0.25	1.41	6.31	9.1	44.4
	隅柱	0.47	0.47	0.93	0.10	0.10	0.21	1.87	0.41	2.28	6.31	10.9	60.1
3重	側柱	0.31	0.31	1.24	0.06	0.06	0.45	1.86	0.58	2.44	7.08	12.0	35.2
	隅柱	0.59	0.59	0.99	0.12	0.12	0.21	2.18	0.45	2.63	7.08	12.3	49.3
2重	側柱	0.41	0.41	0.83	0.08	0.08	0.16	1.65	0.33	1.98	7.40	11.4	23.3
	隅柱	0.80	1.00	2.67	0.16	0.20	1.54	4.47	1.89	6.37	7.40	20.1	36.9
初重	側柱	0.47	0.59	0.79	0.09	0.11	0.15	1.86	0.35	2.20	7.52	11.9	11.9
	隅柱	0.83	1.16	1.93	0.15	0.22	0.36	3.91	0.73	4.64	7.52	16.8	16.8

表 5-14 組物の変形量の算定 (補強後)

		肘木のめり込み量 [mm]	斗全面圧縮変形量 [mm]	弾性変形合計 [mm]		長期変形 [mm]		変形量の合計 [mm]	
				めり込み変形	圧縮	クリープ	乾燥収縮	各層	累積
5重	側柱	0.06	0.02	0.19	0.05	0.23	-	0.47	8.5
	隅柱	0.10	0.02	0.29	0.07	0.37	-	0.73	14.4
4重	側柱	0.14	0.03	0.43	0.09	0.52	-	1.05	8.1
	隅柱	0.24	0.05	0.71	0.16	0.87	-	1.73	13.6
3重	側柱	0.23	0.05	0.68	0.14	0.82	-	1.63	7.0
	隅柱	0.38	0.08	1.14	0.24	1.38	-	2.75	11.9
2重	側柱	0.30	0.06	0.91	0.18	1.13	-	2.26	5.4
	隅柱	0.51	0.10	1.54	0.30	1.93	-	3.85	9.2
初重	側柱	0.44	0.08	1.31	0.24	1.55	-	3.11	3.1
	隅柱	0.75	0.14	2.24	0.42	2.65	-	5.30	5.3

# 4重柱盤の曲げモーメント図 (現況)

柱盤の曲げモーメント  
最大27.1kNm →許容値を超える



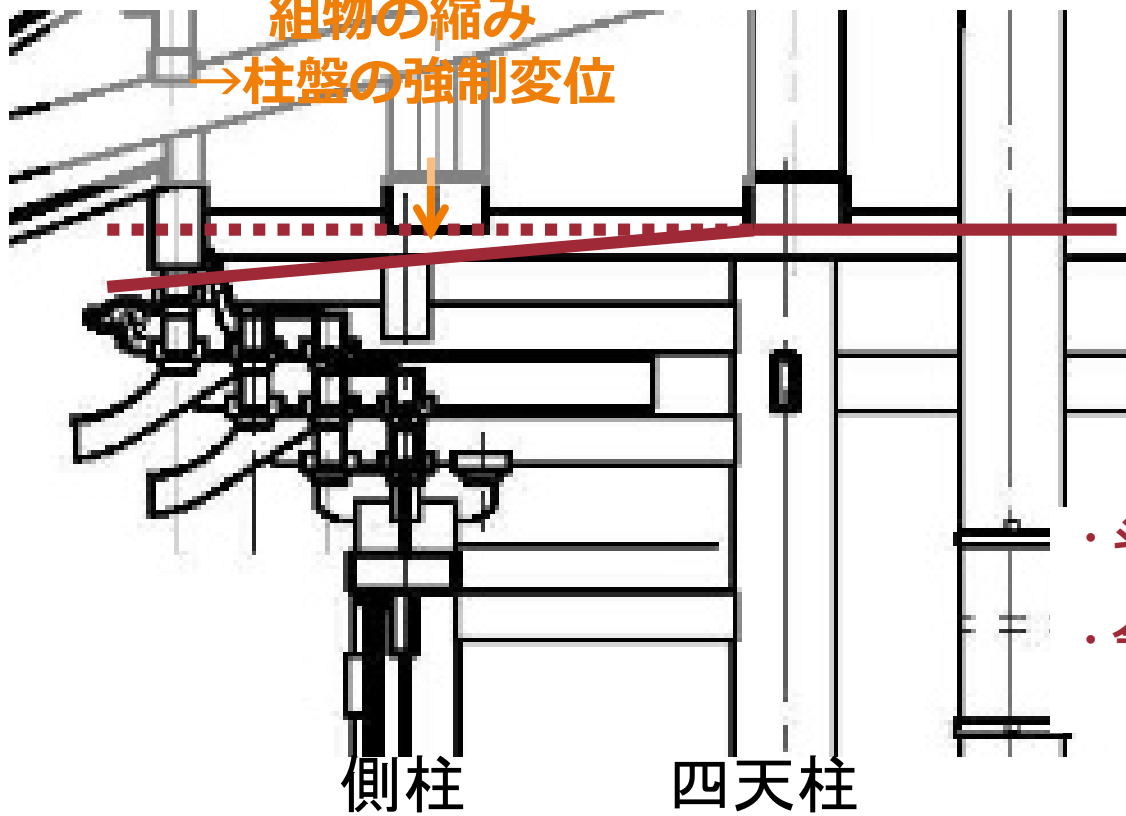
CB: ALL  
MAX : 158  
MIN : 140  
FILE: 20170907 ~  
UNIT: kN\*m  
DATE: 09/27/2017  
表示-方向  
X: -0.483  
Y: -0.837  
Z: 0.259



## ②沈下に起因する柱盤・台輪等の大きな湾曲変形と割裂

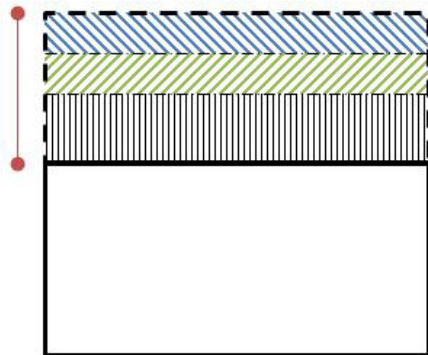
UTokyo Online Education 歴史的建築工学 2020 山田 憲明 [CC BY-NC-ND](#)

組物の縮み  
→柱盤の強制変位



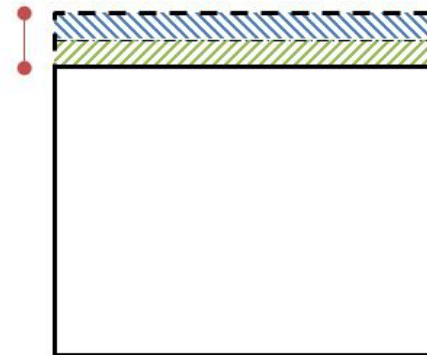
- ・斗を増やす  
→弾性変形、クリープ変形が小さく
- ・今後含水率変動はほとんどない  
→乾燥収縮ない

縮み量



弾性変形  
クリープ  
含水率の変動

縮み量



弾性変形  
クリープ

[補強前の組物]

[補強後の組物]

表 5-6 組物の長期変形量の算定 (現況)

		肘木のめり込み量 [mm]			斗全面圧縮変形量 [mm]			弾性変形合計 [mm]		長期変形 [mm]		変形量の合計 [mm]	
		一段	二段	三段	一段	二段	三段	めり込み変形	圧縮変形	クリープ	乾燥収縮	各層	累積
5重	側柱	0.07	0.09	0.37	0.02	0.02	0.09	0.53	0.13	0.66	6.06	7.4	51.8
	隅柱	0.20	0.20	0.40	0.05	0.05	0.10	0.80	0.19	0.99	6.06	8.0	68.2
4重	側柱	0.16	0.20	0.80	0.04	0.04	0.18	1.16	0.25	1.41	6.31	9.1	44.4
	隅柱	0.47	0.47	0.93	0.10	0.10	0.21	1.87	0.41	2.28	6.31	10.9	60.1
3重	側柱	0.31	0.31	1.24	0.06	0.06	0.45	1.86	0.58	2.44	7.08	12.0	35.2
	隅柱	0.59	0.59	0.99	0.12	0.12	0.21	2.18	0.45	2.63	7.08	12.3	49.3
2重	側柱	0.41	0.41	0.83	0.08	0.08	0.16	1.65	0.33	1.98	7.40	11.4	23.3
	隅柱	0.80	1.00	2.67	0.16	0.20	1.54	4.47	1.89	6.37	7.40	20.1	36.9
初重	側柱	0.47	0.59	0.79	0.09	0.11	0.15	1.86	0.35	2.20	7.52	11.9	11.9
	隅柱	0.83	1.16	1.93	0.15	0.22	0.36	3.91	0.73	4.64	7.52	16.8	16.8

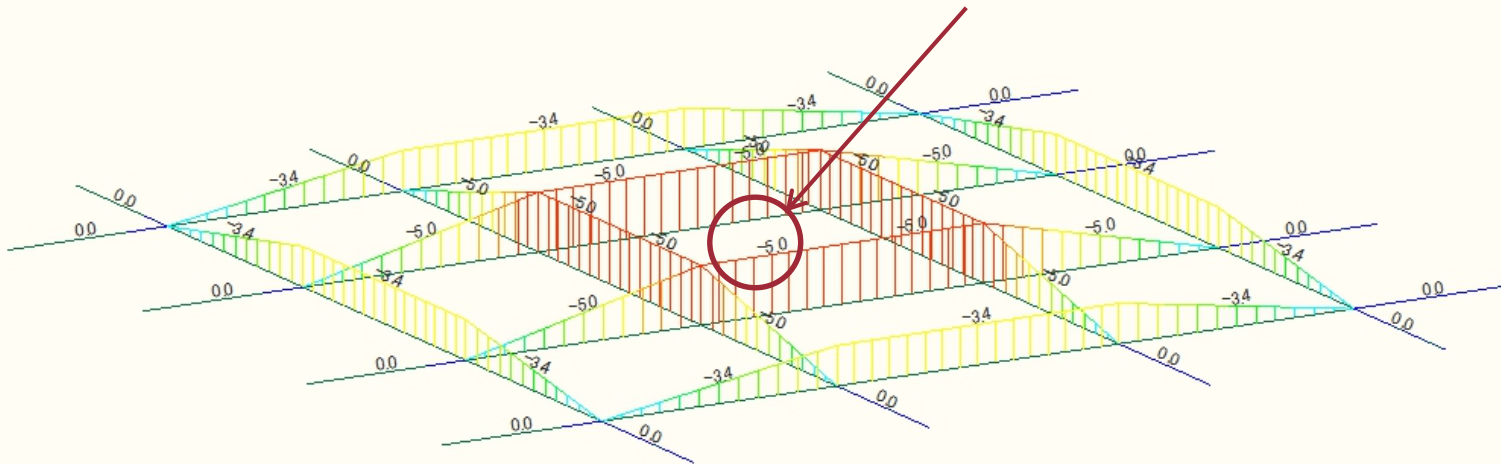
**補強後 累積沈下量 max14.4mm**

表 5-14 組物の変形量の算定 (補強後)

		肘木のめり込み量 [mm]	斗全面圧縮変形量 [mm]	弾性変形合計 [mm]		長期変形 [mm]		変形量の合計 [mm]	
				めり込み変形	圧縮	クリープ	乾燥収縮	各層	累積
5重	側柱	0.06	0.02	0.19	0.05	0.23	-	0.47	8.5
	隅柱	0.10	0.02	0.29	0.07	0.37	-	0.73	14.4
4重	側柱	0.14	0.03	0.43	0.09	0.52	-	1.05	8.1
	隅柱	0.24	0.05	0.71	0.16	0.87	-	1.73	13.6
3重	側柱	0.23	0.05	0.68	0.14	0.82	-	1.63	7.0
	隅柱	0.38	0.08	1.14	0.24	1.38	-	2.75	11.9
2重	側柱	0.30	0.06	0.91	0.18	1.13	-	2.26	5.4
	隅柱	0.51	0.10	1.54	0.30	1.93	-	3.85	9.2
初重	側柱	0.44	0.08	1.31	0.24	1.55	-	3.11	3.1
	隅柱	0.75	0.14	2.24	0.42	2.65	-	5.30	5.3

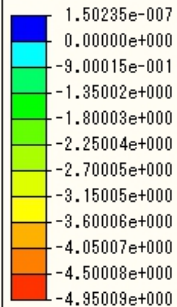
# 4重柱盤の曲げモーメント図（補強後）

柱盤の曲げモーメント  
最大5.0kNm →許容値以下におさまる



midas iGen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM

モーメント-y



CB: ALL

MAX : 138  
MIN : 145

FILE: 20170907

UNIT: kNm

DATE: 09/27/2017

表示-方向

X: -0.483

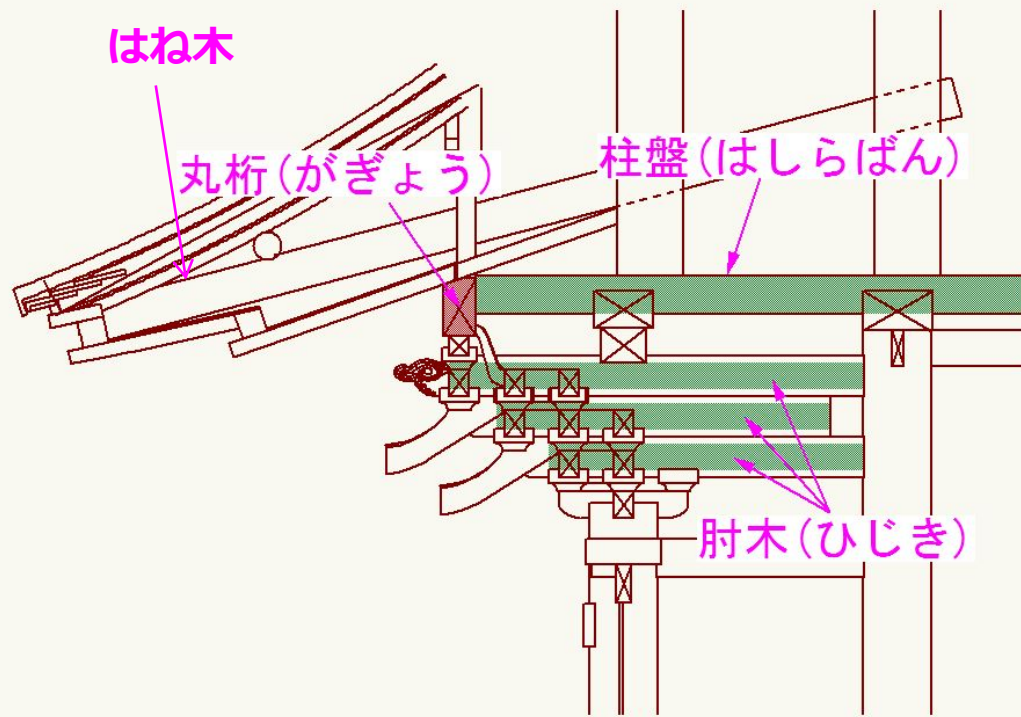
Y: -0.837

Z: 0.259

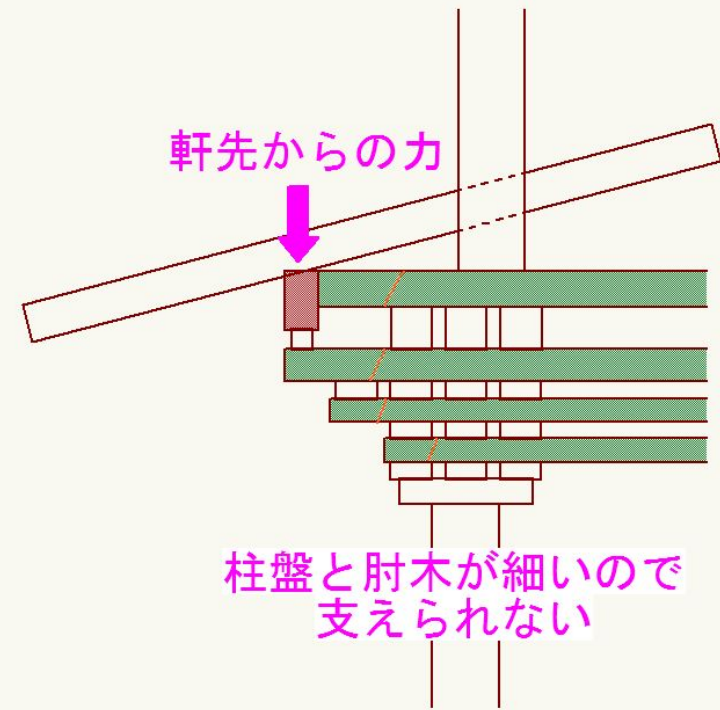


## 2. 鉛直荷重に対する検討

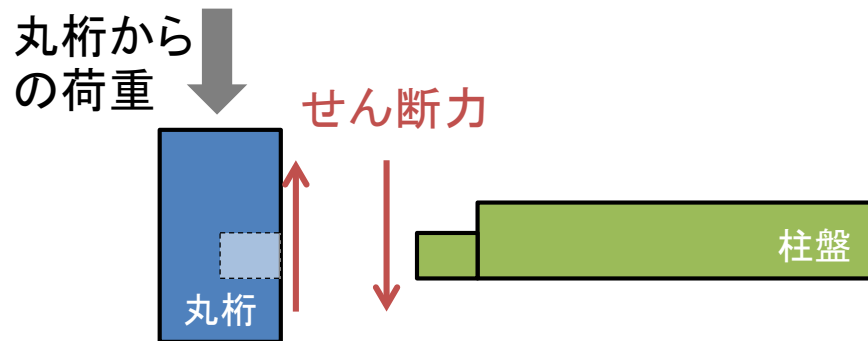
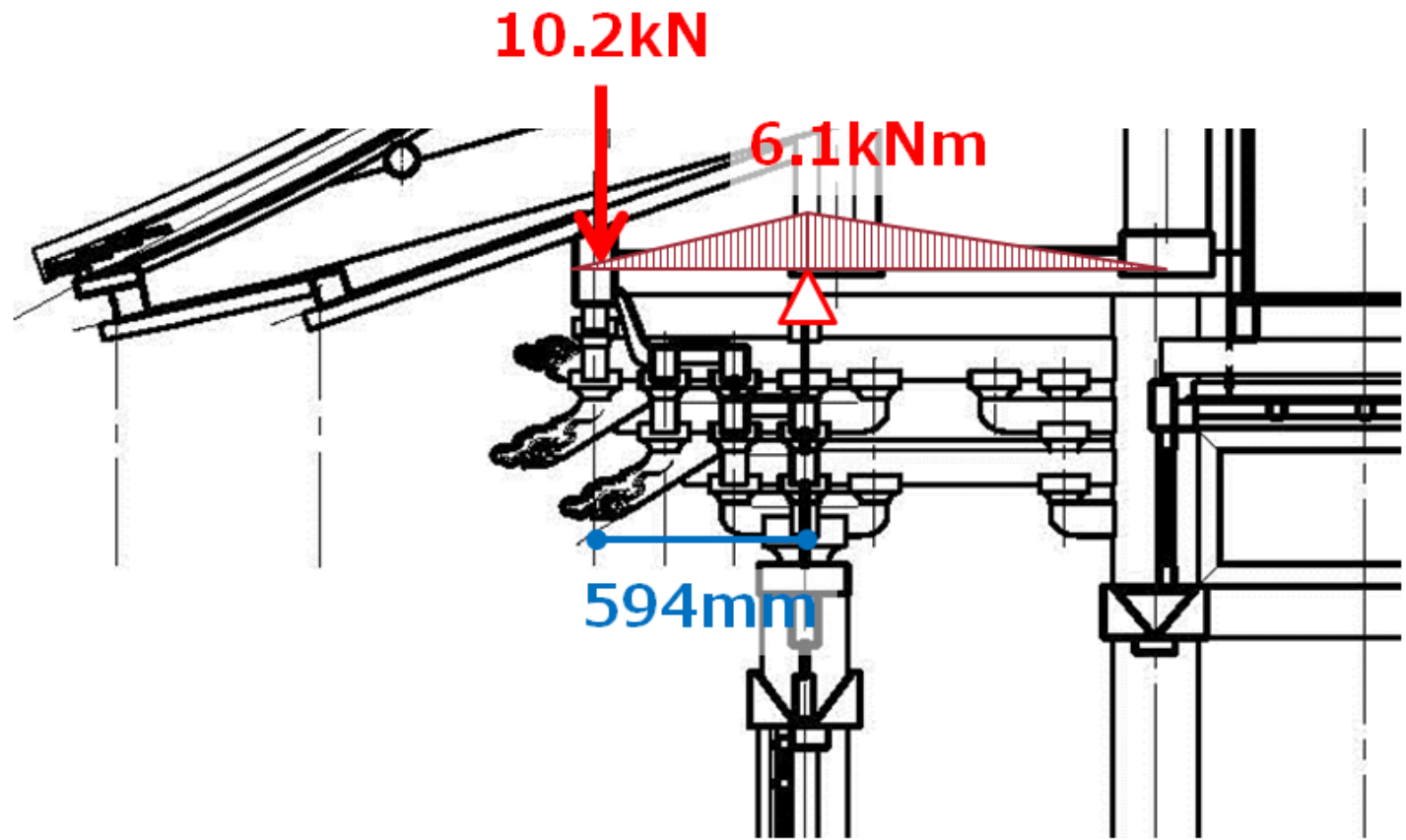
### (3) 軒先支持に対する検討



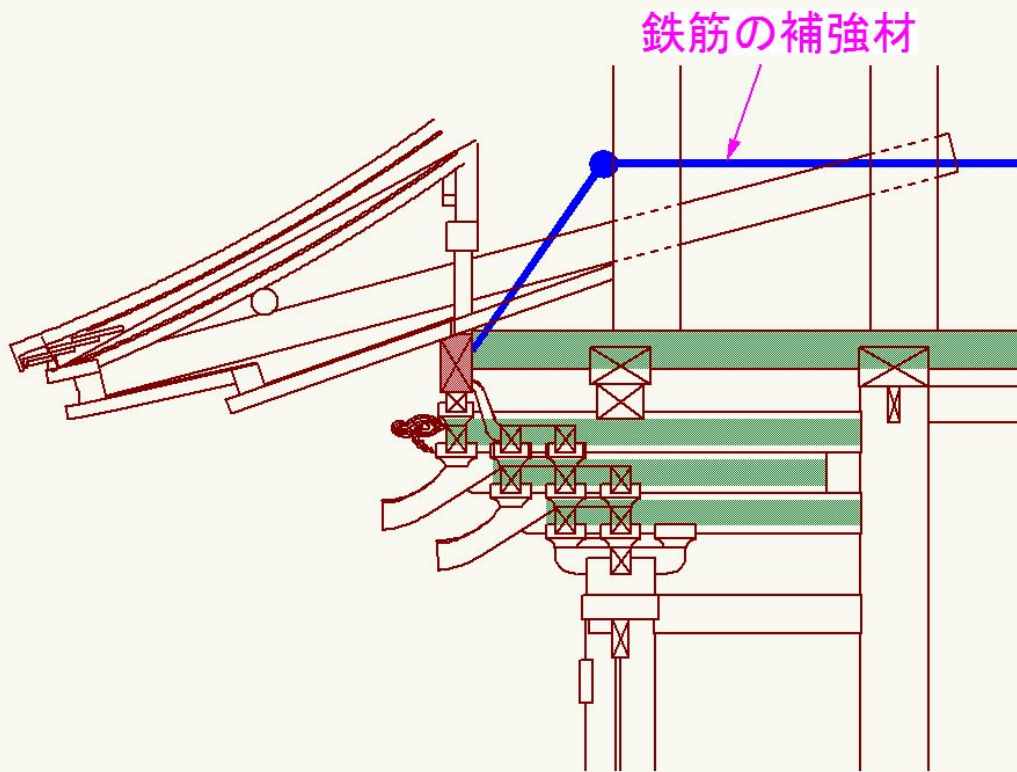
【実際】



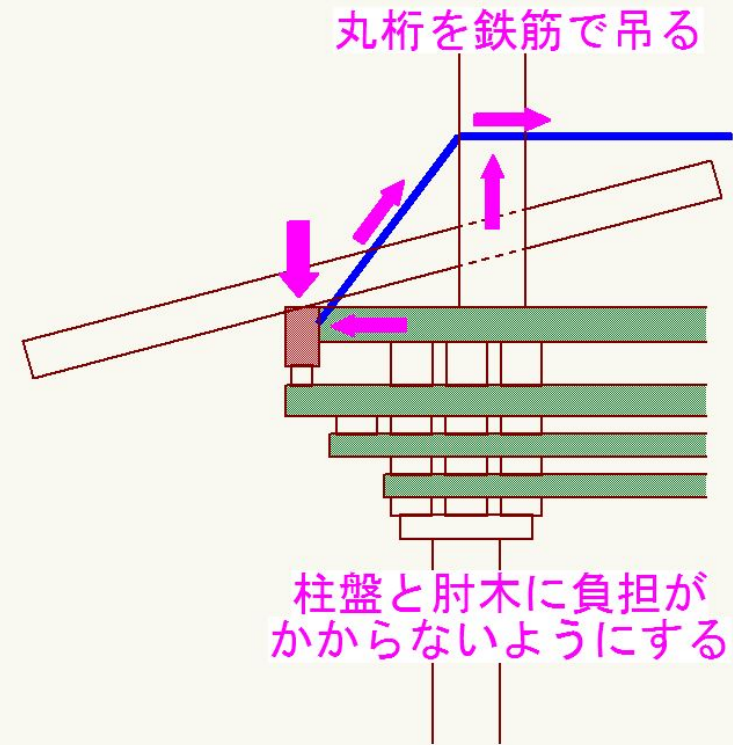
【模式図】



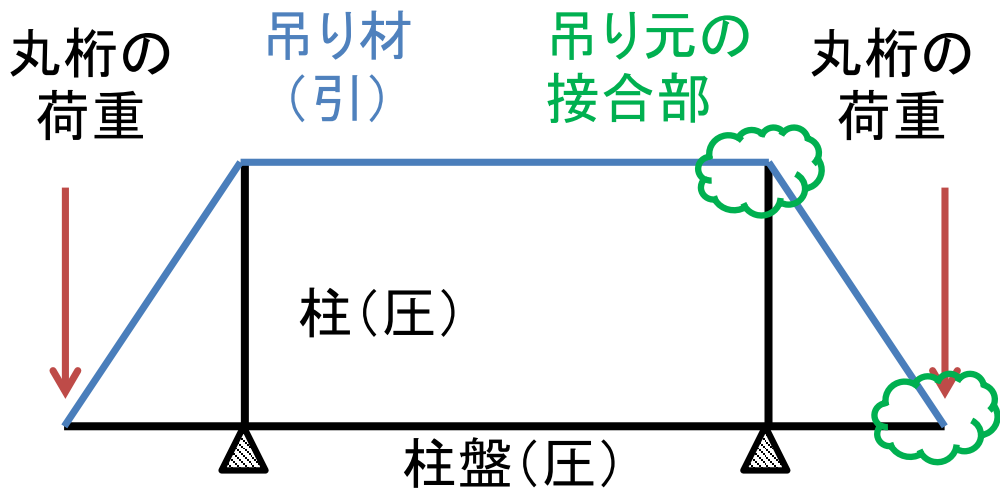




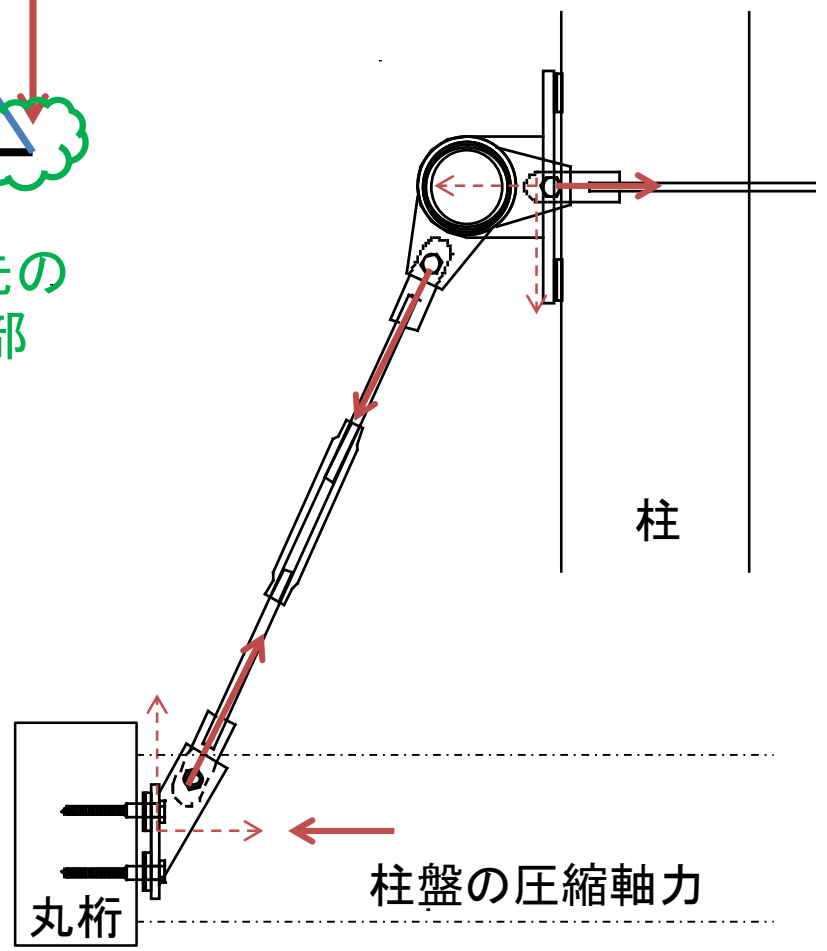
【実際】

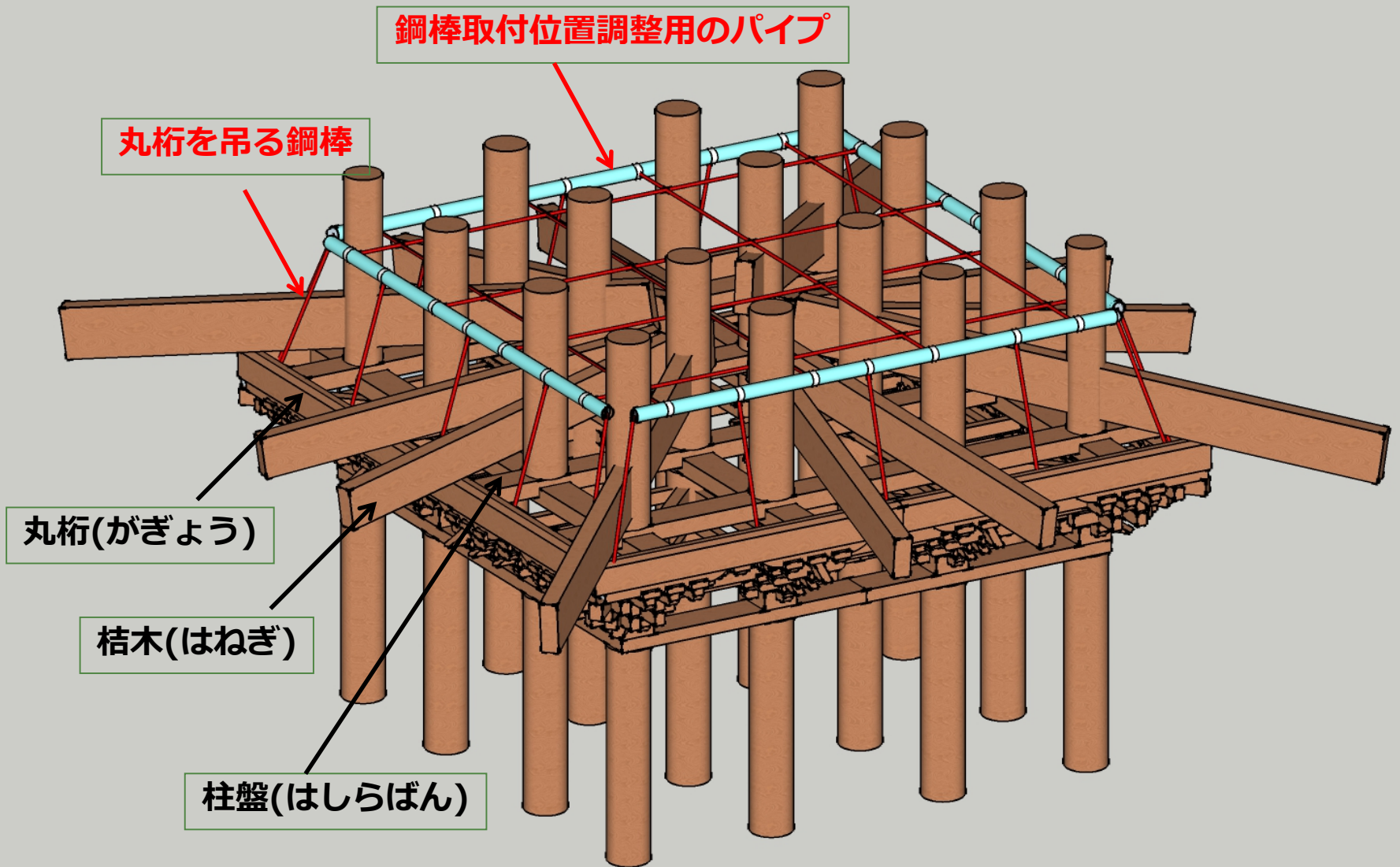


【模式図】



吊り先の接合部 (吊り先の接合部)







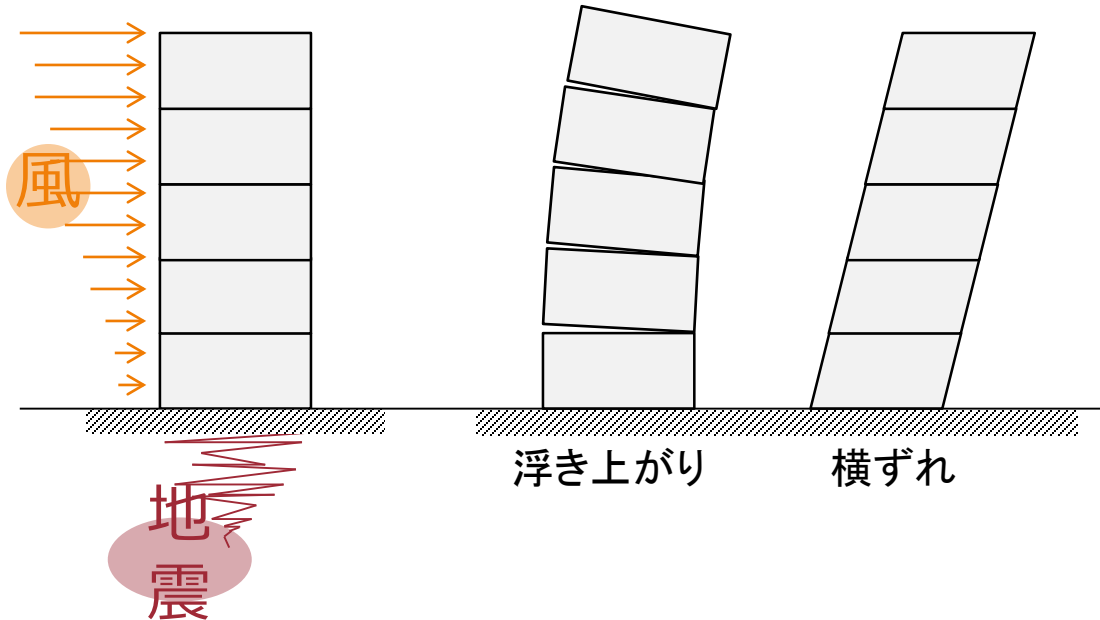


## 3. 地震に対する検討

- ・ 限界耐力計算
- ・ 時刻歴応答解析

# 五重塔

- 地震や風による挙動
  - 浮き上がり
  - 横ずれ



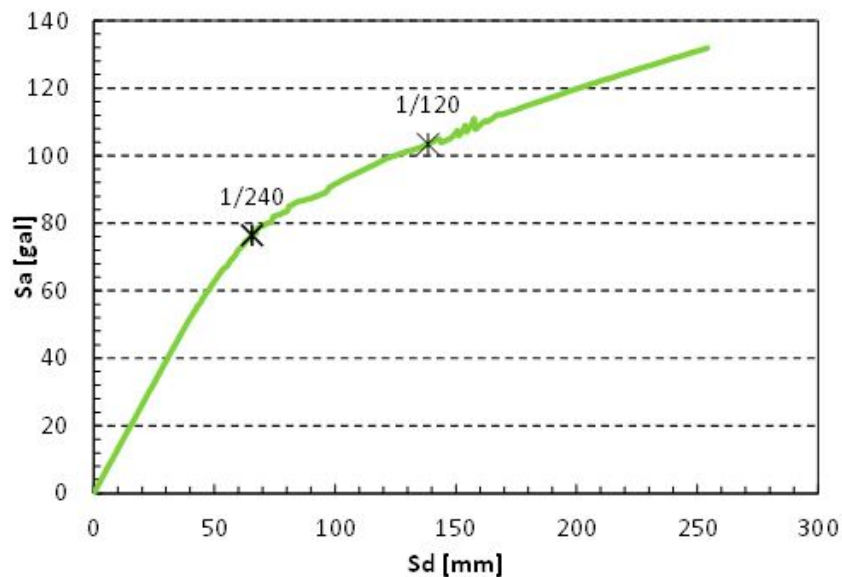


図 6.6-1 1自由度系に縮約した Sa-Sd 性能曲線 (現況)

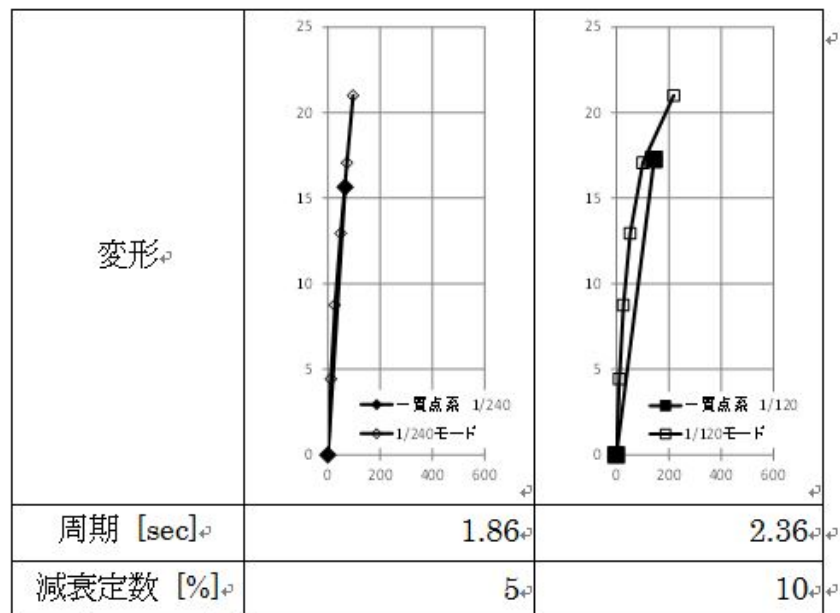
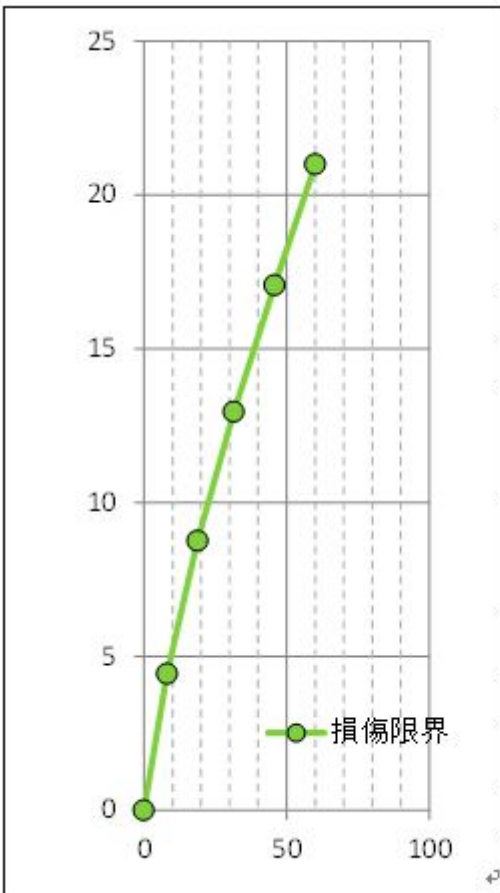


図 6.6-2 変形モード

層間変形角 $1/120\text{rad}$ を超えた  
あたりから  
5重の変形だけが進み、  
他層の変形が小さくなる  
モードがみられた



等価一質点系の応答		
	損傷限界 (稀)	安全限界 (極稀)
周期 [sec]	1.76	交わらない
減衰定数 [%]	5	
Co [=Q1/W]	0.042	
各層の応答値		
層間変形 [mm] (層間変形角 [rad])	損傷限界 (稀)	安全限界 (極稀)
5重	14.2 (1/276)	交わらない
4重	14.2 (1/289)	
3重	12.8 (1/329)	
2重	10.6 (1/406)	
初重	8.1 (1/546)	

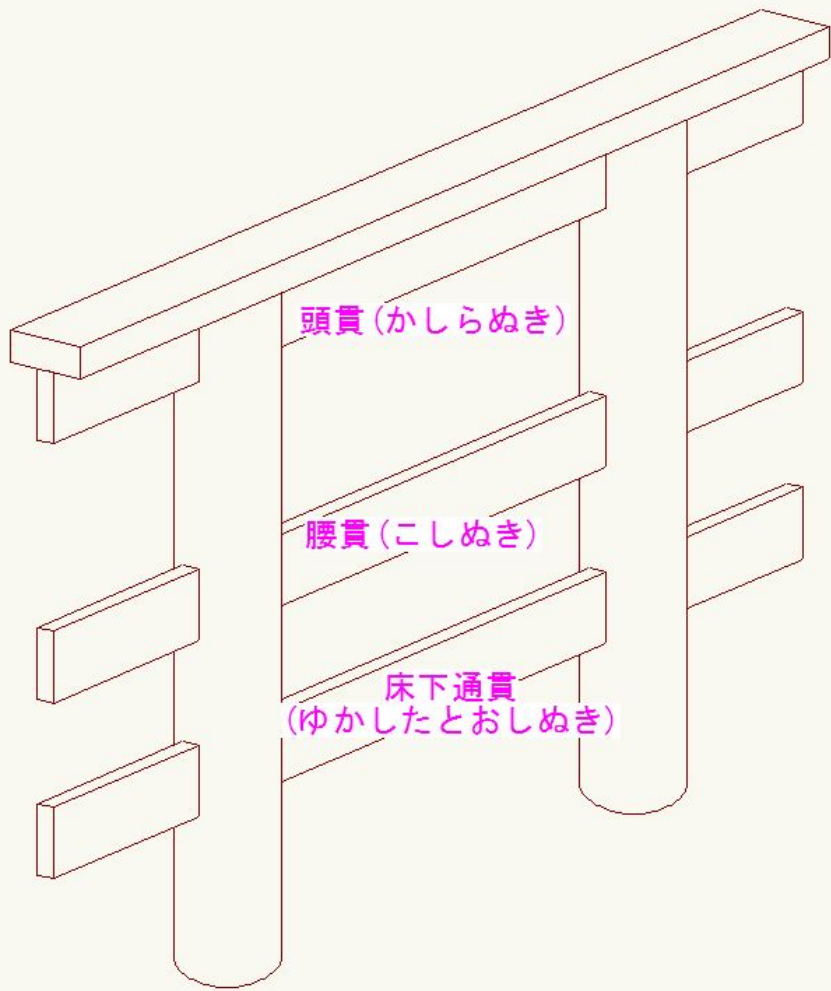
## 応答値のまとめ

■ 表 6-8 保有水平耐力と必要保有水平耐力の概算比較

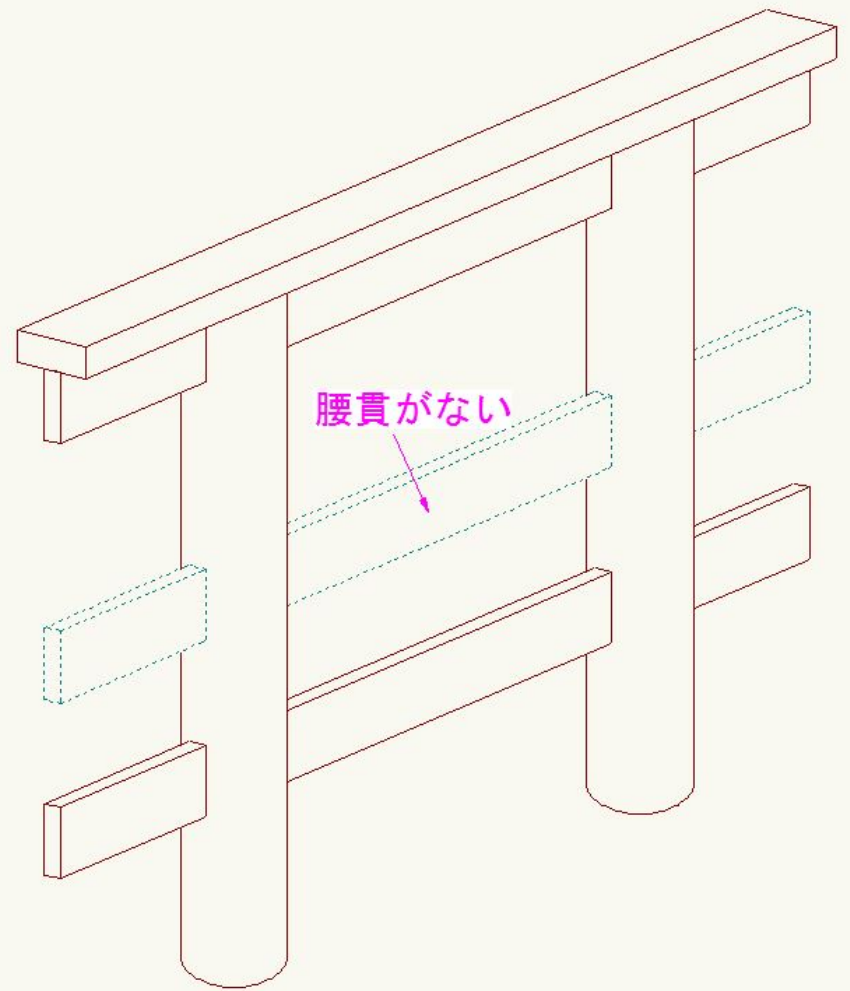
	$\Sigma wi$	$ai$	$Ai$	$Ci \times Ds$ $\times Fes$	必要水平耐力 $Qun$	保有水平耐力 $Qu$	検定比 $Qun/Qu$	判定
	kN				kN	kN		
5重	202	0.16	2.34	0.22	45.0	41.6	1.08	検討必要
4重	404	0.31	1.83	0.17	70.4	60.8	1.16	検討必要
3重	655	0.50	1.51	0.14	93.8	77.4	1.21	検討必要
2重	931	0.72	1.26	0.12	111.5	112.5	0.99	OK
初重	1298	1.00	1.00	0.09	123.2	133.5	0.92	OK

■ 表 6-9 必要補強耐力と必要補強剛性の概算

	必要補強耐力 [kN]	必要補強剛性 [kN/mm]
5重	3.4	0.068
4重	9.6	0.192
3重	16.4	0.328

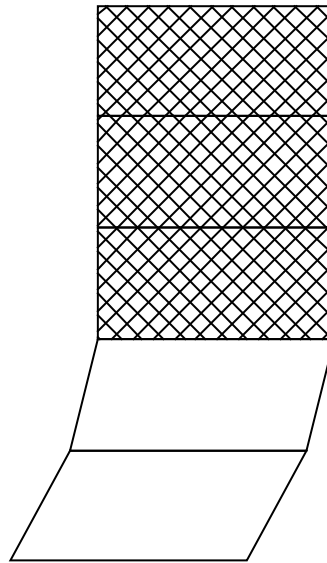


【1～2層】

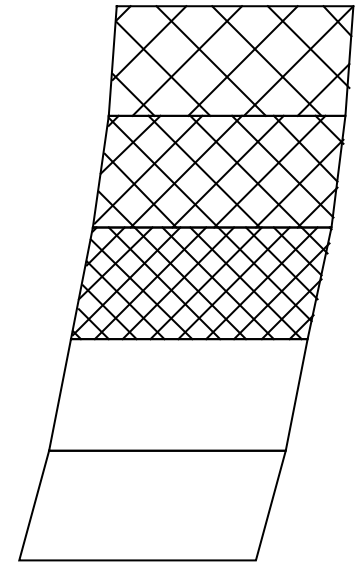


【3～5層】

5重
4重
3重
2重
1重



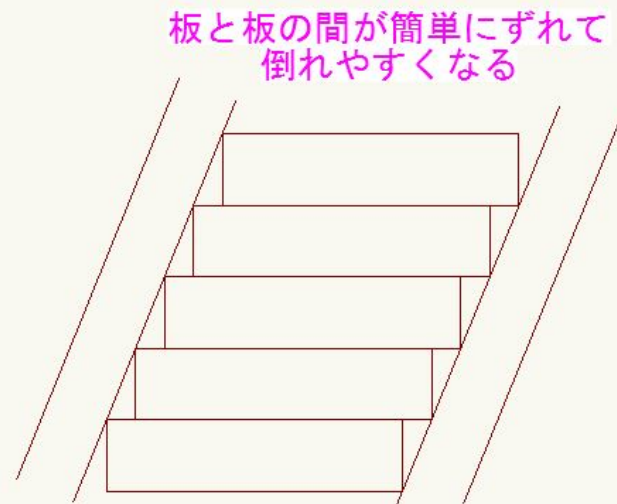
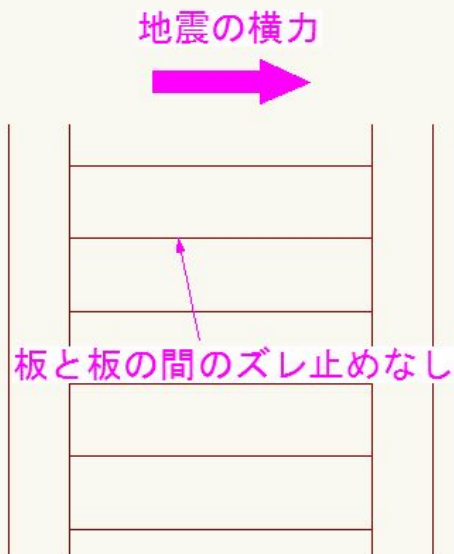
【剛い補強壁】



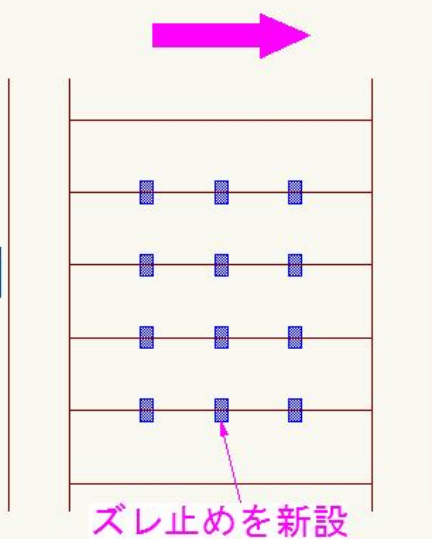
【柔らかい補強壁】

### 3～5重の壁補強イメージ

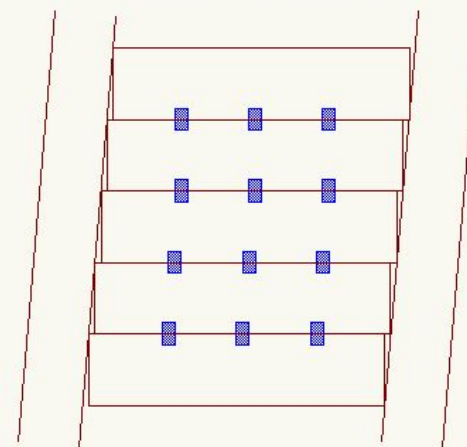
## 【元の板壁】

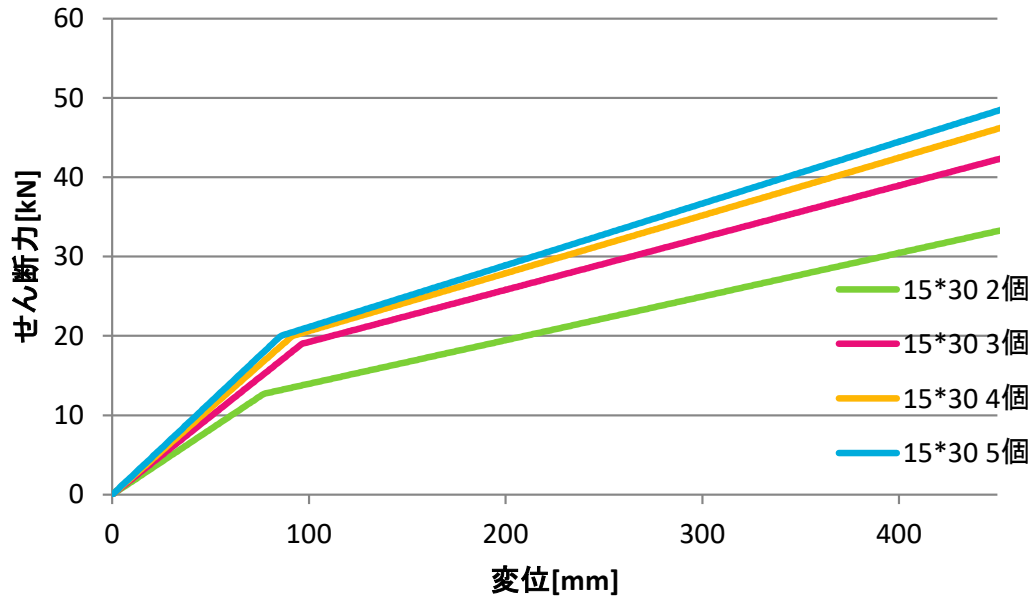


## 【補強後の板壁】

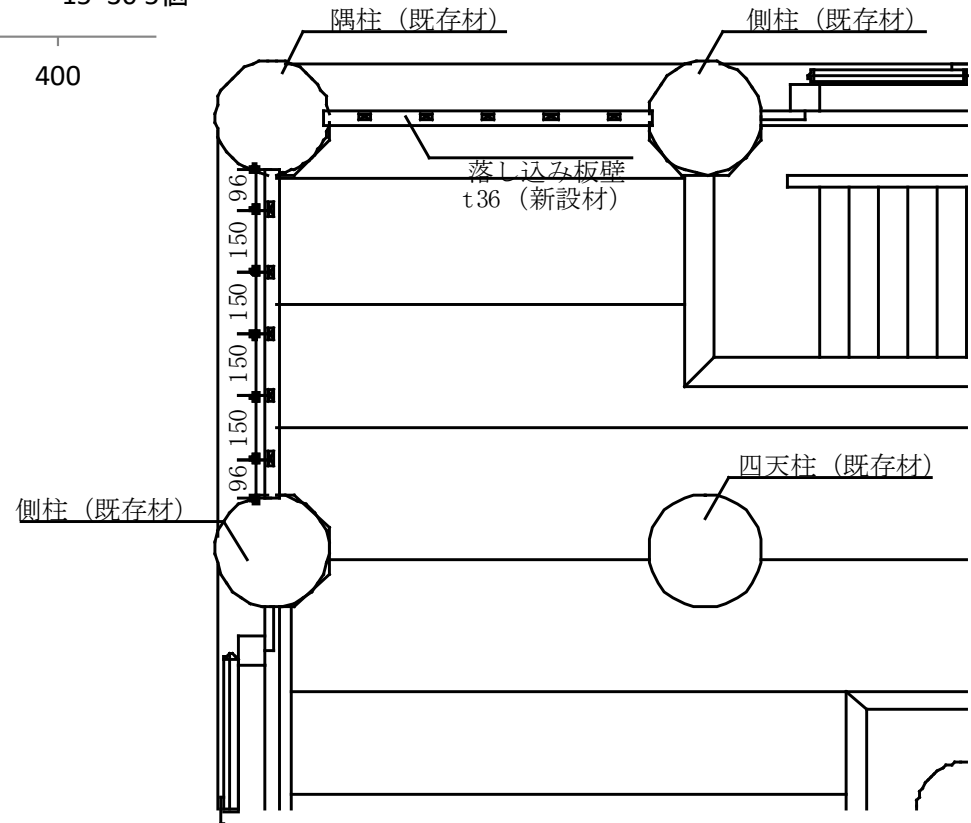


板と板の間がずれずに倒れにくくなる





## 板倉補強壁の復元力特性

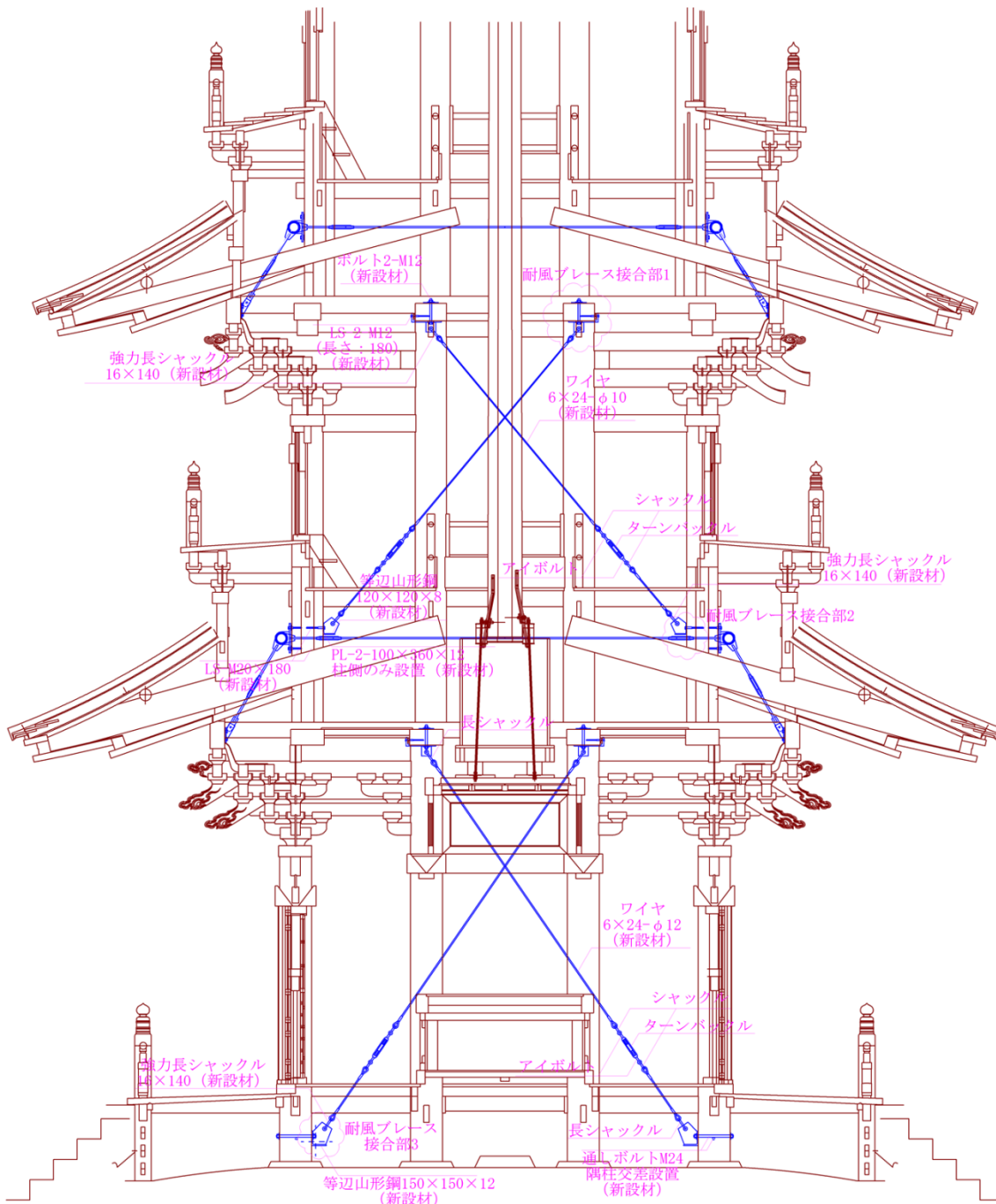








# 4. 風に対する検討



- ワイヤーがない場合は  
最大風速37m/s  
最大瞬間風速56m/s  
まで耐える

- ワイヤー補強後は  
最大風速43m/s  
最大瞬間風速65m/s  
まで耐えられる

- ワイヤーを設置の目安  
最大風速30~35 m/s  
最大瞬間風速45~50 m/s以上の  
台風が直撃する場合



# 「伝統木造」を評価する

- 「伝統木造建築」の考え方・技術 → 日本における木構造の礎
- 特性の把握 → 歴史的木造建築の保存や復元

# 「伝統木造」を活かす

- 「伝統木造建築」の考え方・技術 → 日本における木構造の礎
- 特性の把握 → 歴史的木造建築の保存や復元
- 要素技術の活用と発展 → 歴史的木造建築を**生きた技術**に

# 福井城御廊下橋

福井県福井市 2008年

## 屋根付木橋の復元

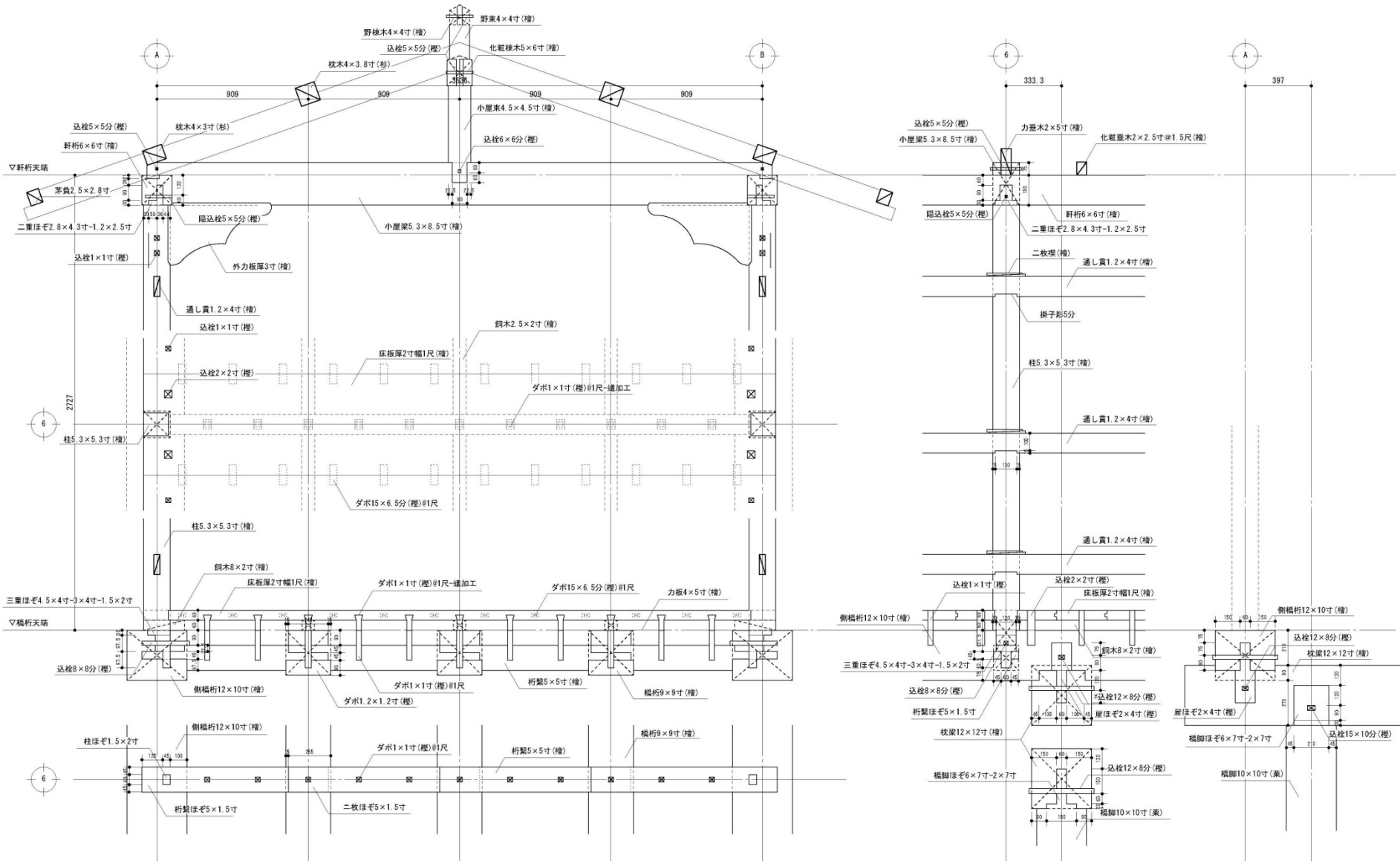
設計監理：国京克巳／建築設計工房

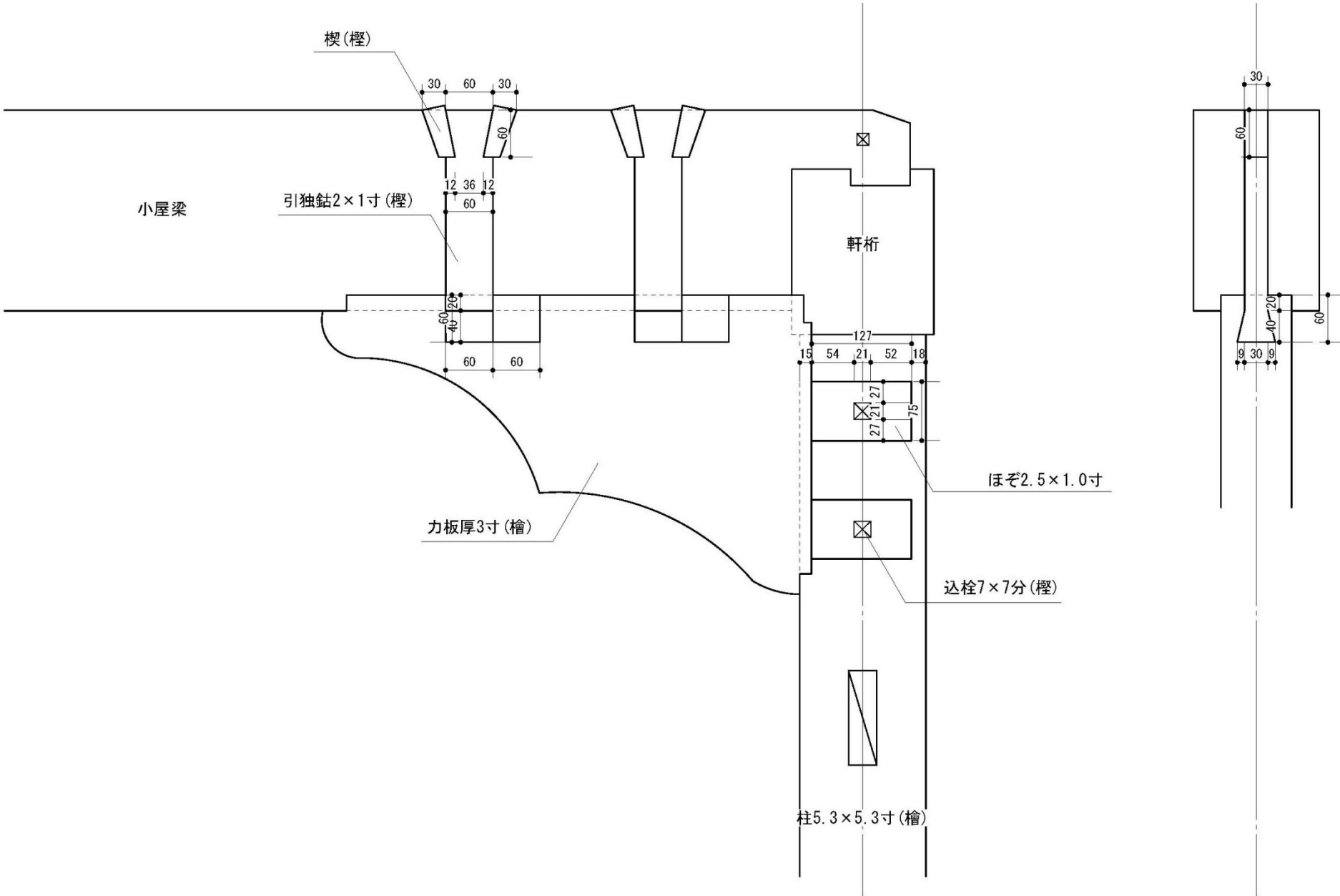
構造設計：増田建築構造事務所





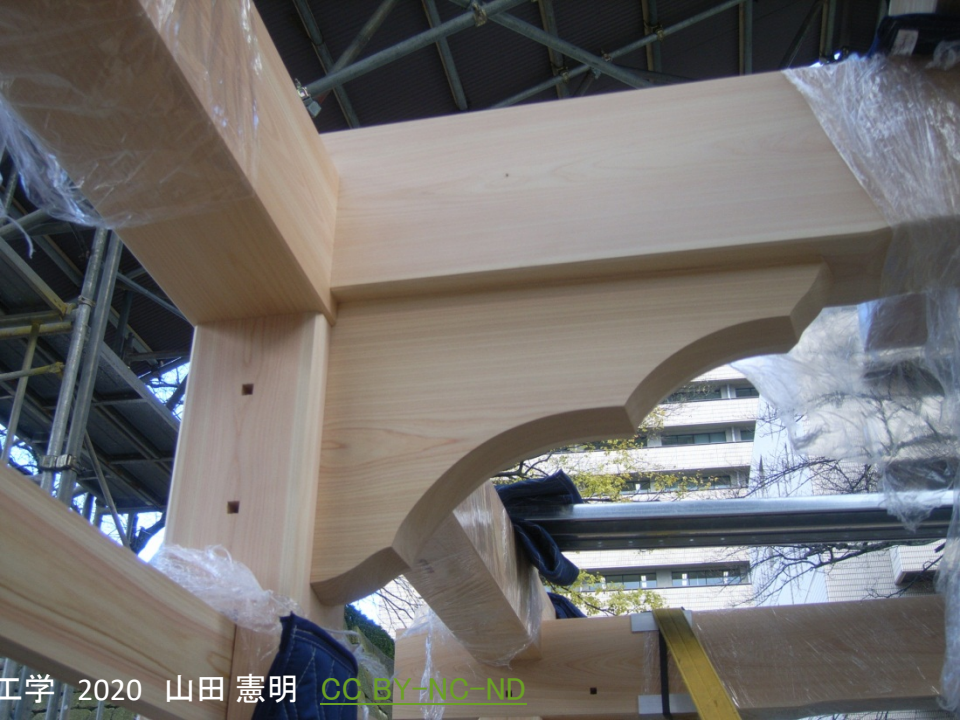


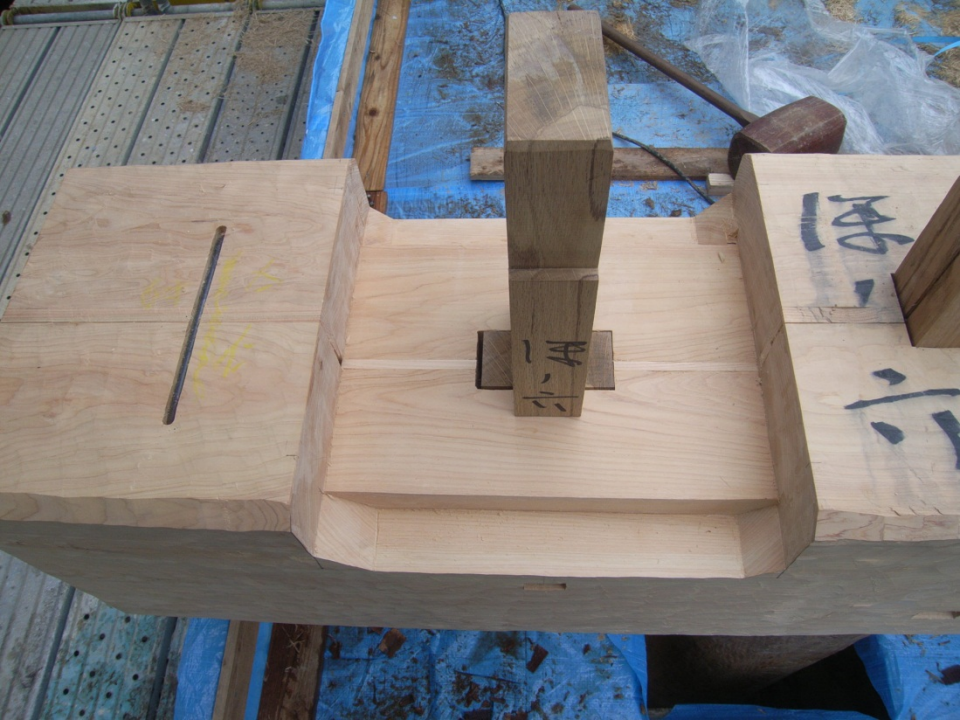




〈小屋梁-桁-柱-力板接合詳細図〉













# あわくら会館・あわくら図書館

岡山県西粟倉村 工事中

## 村産材と構造技術を駆使して 庁舎と図書館をつくる

設計監理：アルセツド建築研究所

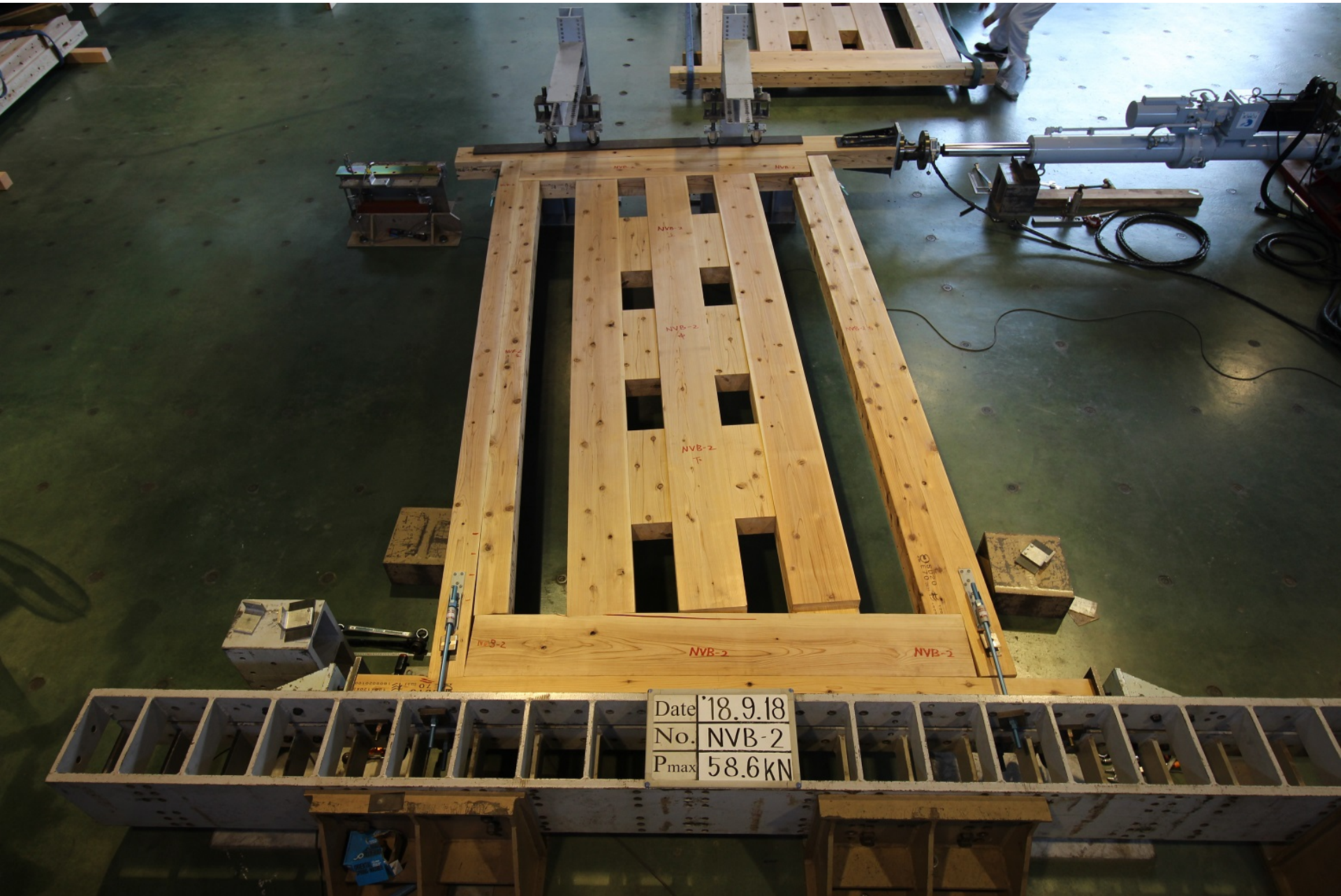
構造設計：山田憲明構造設計事務所







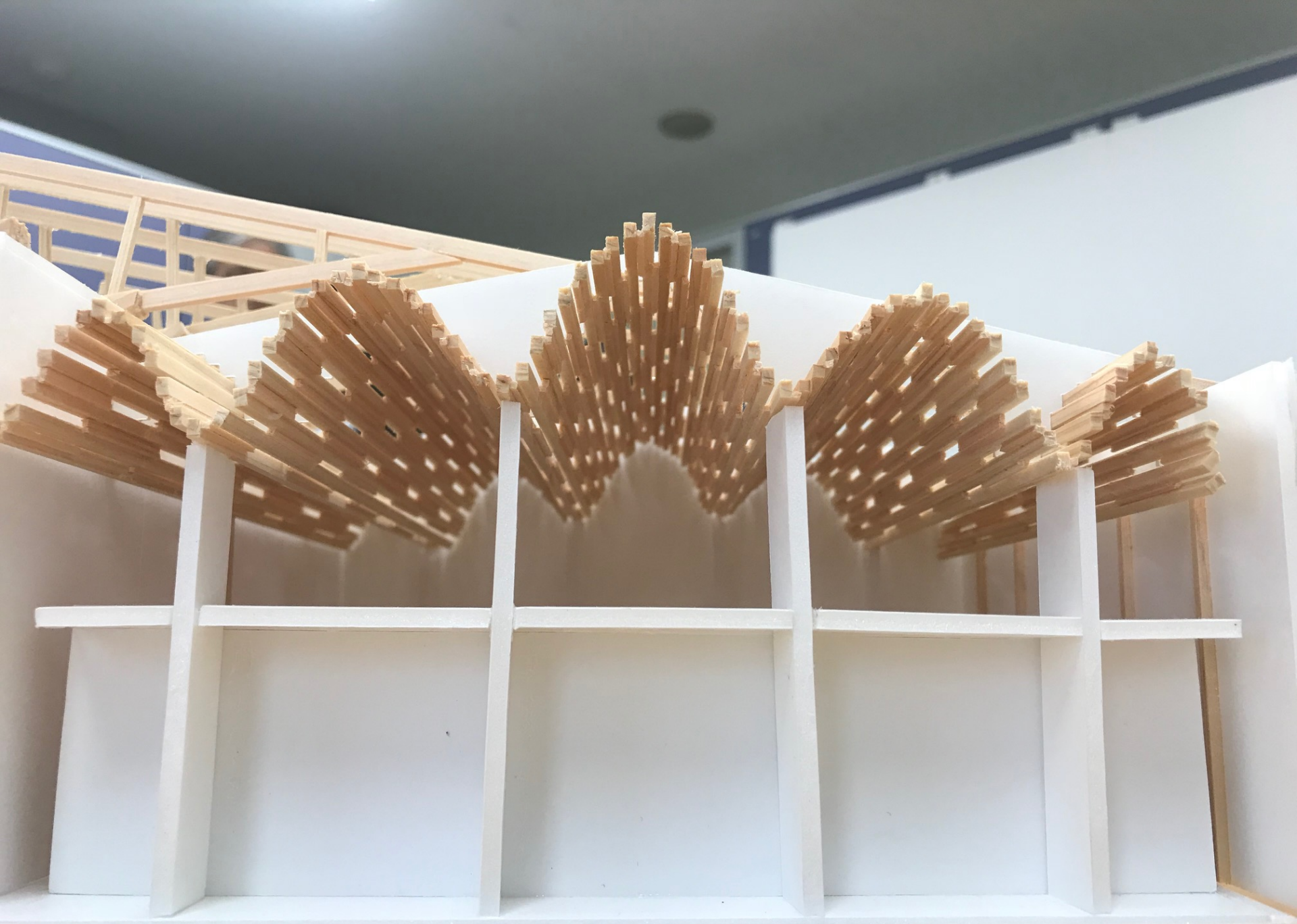










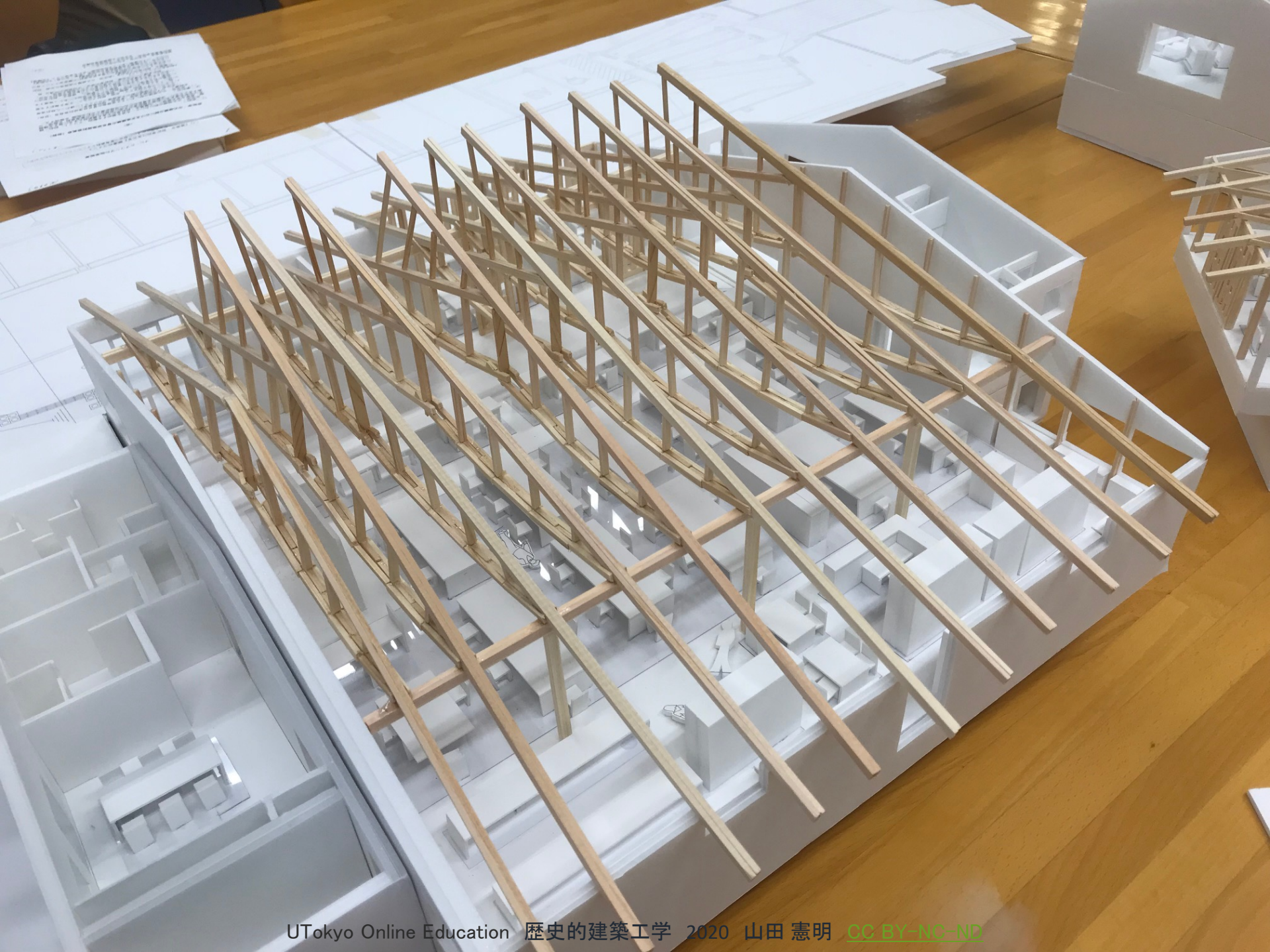






















# 「丸太材」を活かす

- 曲がりや断面・形状のばらつきがあり、加工・組立には高度な大工技能が必要
- 長い材が得やすく、断面性能のロスが少ないという力学的な長所
- 現代に丸太材をどう活かすか





カトリック新発田教会（設計：A. レーモンド、1966年竣工）

UTokyo Online Education 歴史的建築工学 2020 山田 憲明 [CC BY-NC-ND](#)

# 上勝町ゼロ・ウェイストセンター

徳島県上勝町 2020年

## 空間に合わせて形態変化させる 丸太材の構造

設計監理：中村拓志 + NAP建築設計事務所

構造設計：山田憲明構造設計事務所

# 「ゼロ・ウェイスト宣言」

未来の子供たちにきれいな空気やおいしい水、豊かな大地を継承するため、  
2020年までに上勝町のゴミをゼロにすることを決意し、上勝町ゴミゼロ(ゼロ・ウェイスト)を宣言します

- 1 地球を汚さない人づくりに努めます。
- 2 ゴミの再利用・再資源化を進め、2020年までに焼却・埋め立て処分をなくす最善の努力をします。
- 3 地球環境をよくするため世界中に多くの仲間をつくります！

平成15年9月19日

徳島県勝浦郡上勝町



紙カップ類 回収ボックス

紙カップの出し方  
紙パックと同じような手順で  
①洗って汚れを落とす  
②乾かす  
③かさばらないように、切り開く

紙カップ類

回収ボックス  
紙パック類の出し方  
紙パックと同じような手順で  
①洗って汚れを落とす  
②乾かす  
③かさばらないように、切り開く

アルミ付き  
紙パック

わいはし 竹のわりばし  
EPSON-Canon  
以外の エプソン キヤノン  
インク カートリッジ インク カートリッジ

柔らかい  
紙芯  
トイレットペーパー  
キッチンペーパー など

硬い  
紙芯

紙パック類





## 丸太材の工夫 太鼓材と半割材

- 太鼓材は、4面を製材するよりも曲がり材を太く長いまま使える
- 丸太同等の強軸方向の断面性能が確保される
- 面ができることで木材の墨付、加工が丸太材に比べて容易になる
- 面ができることで棧積みが可能になり、乾燥や保管がしやすくなる

丸太



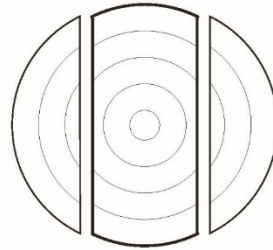
半割材



太鼓材

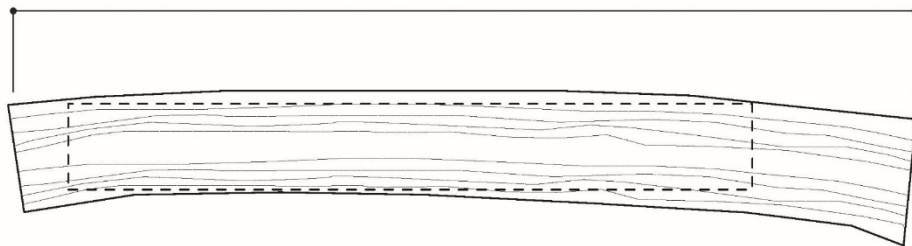


側材 太鼓材 側材



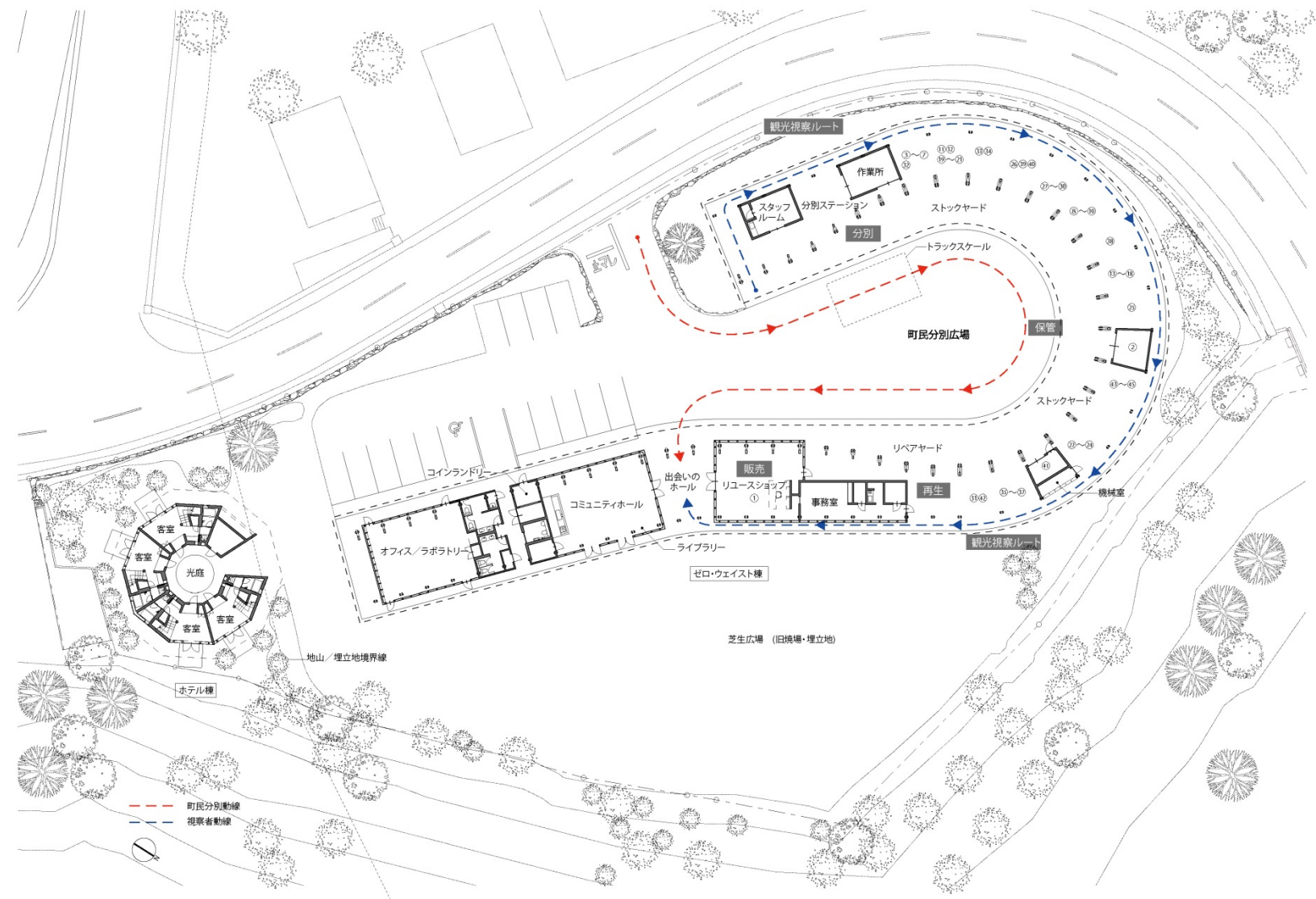
力の加わる方向

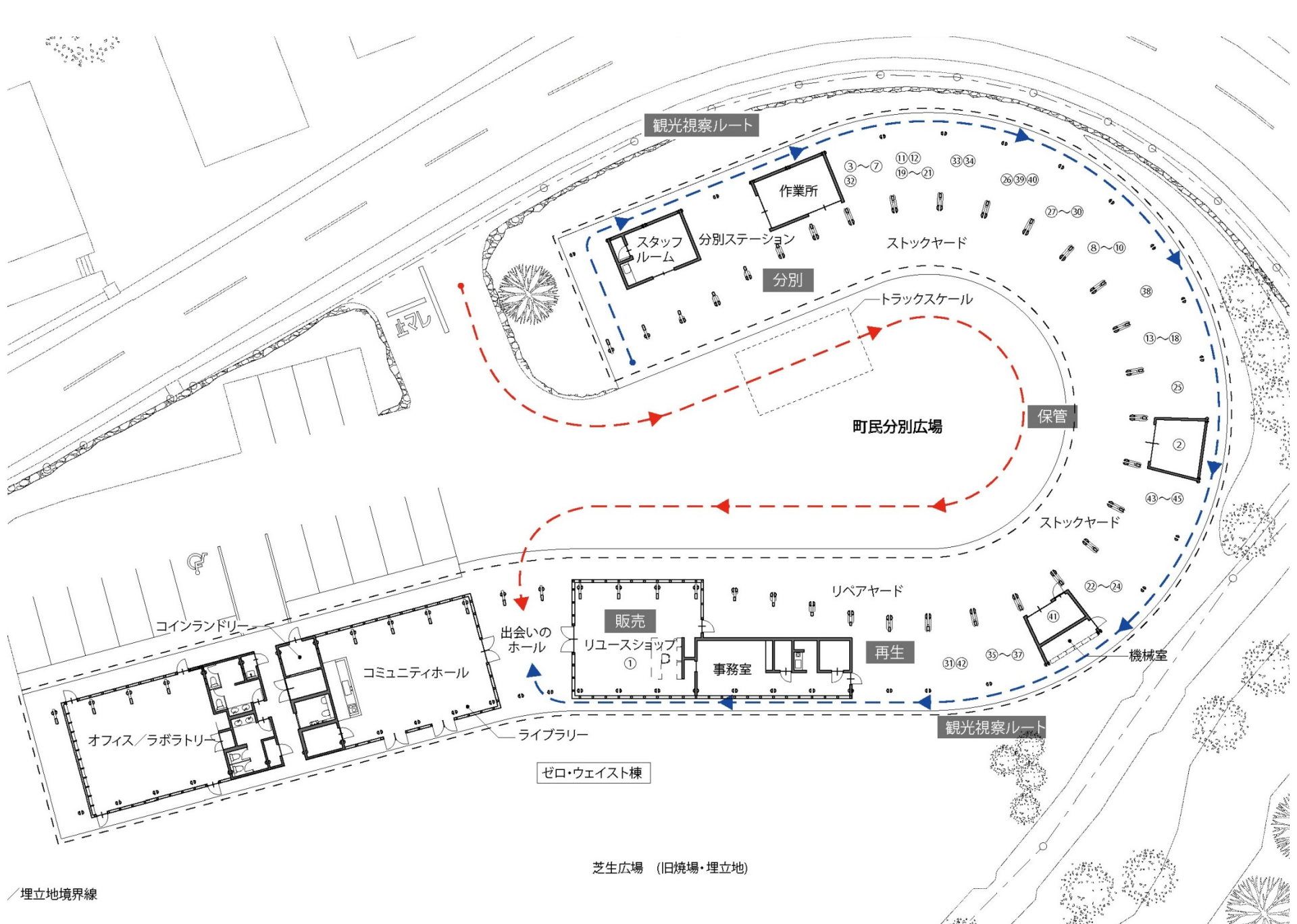
8m



- 8m 材まで町内の乾燥庫に入る



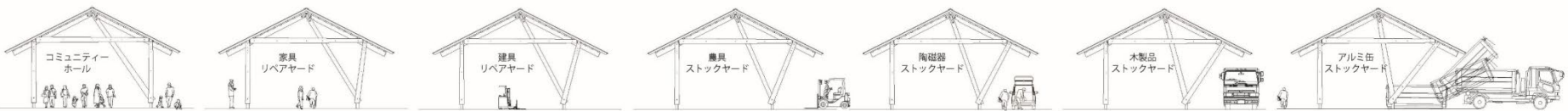
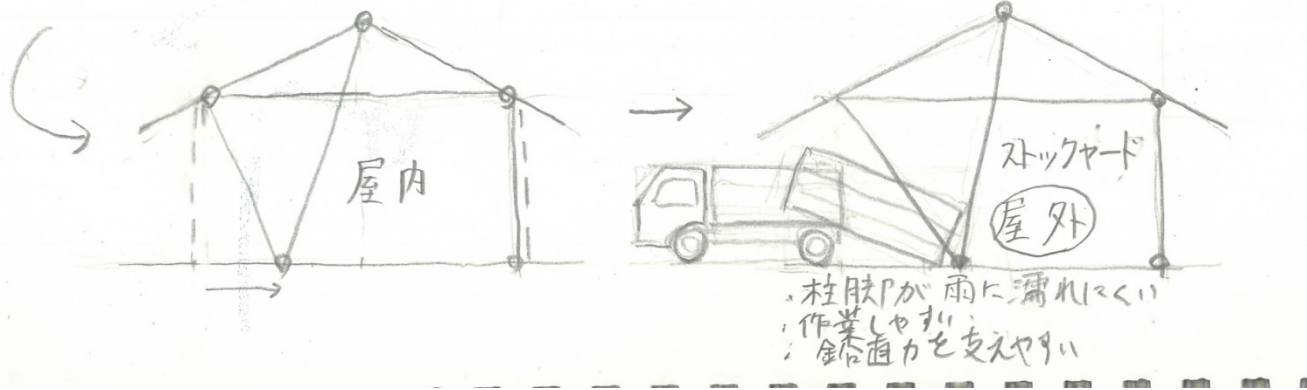
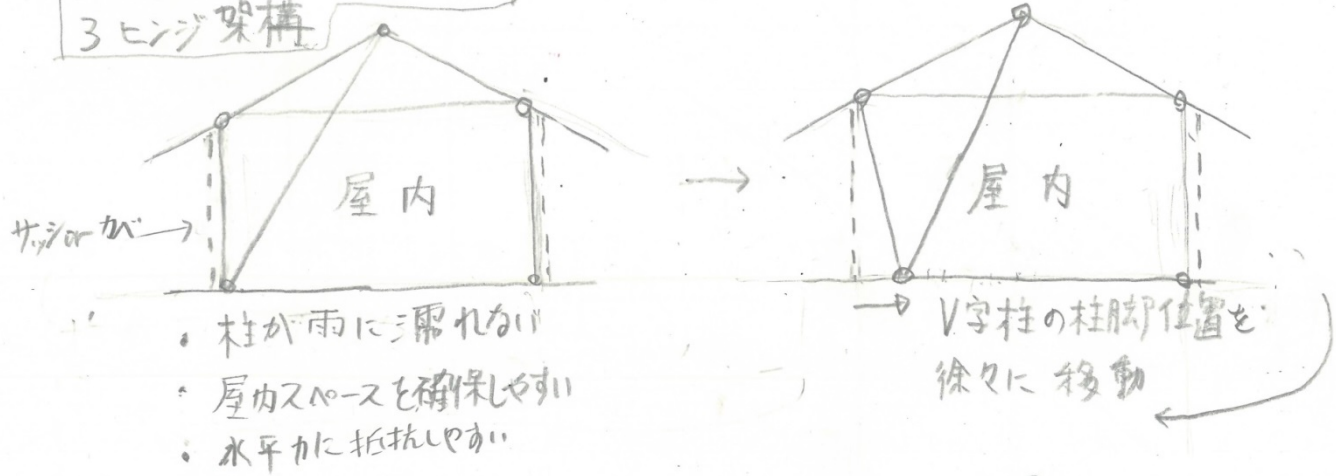




芝生広場 (旧焼場・埋立地)

埋立地境界線

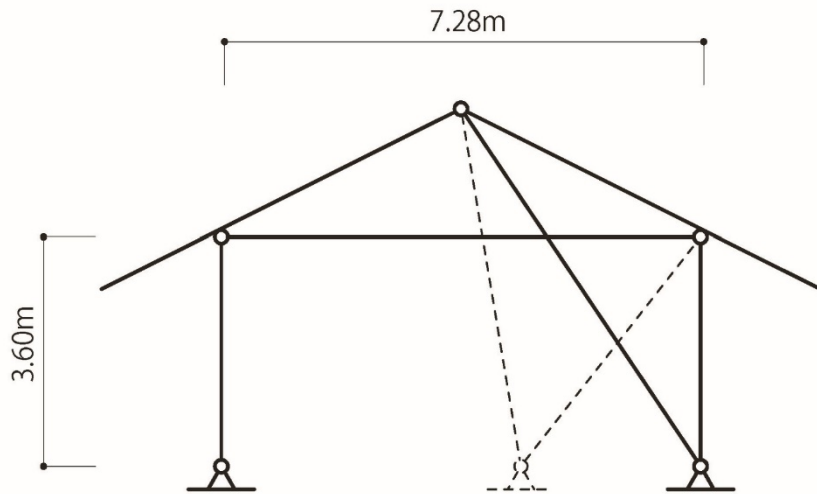
鉛直・水平力に対して安定する  
3ヒンジ架構



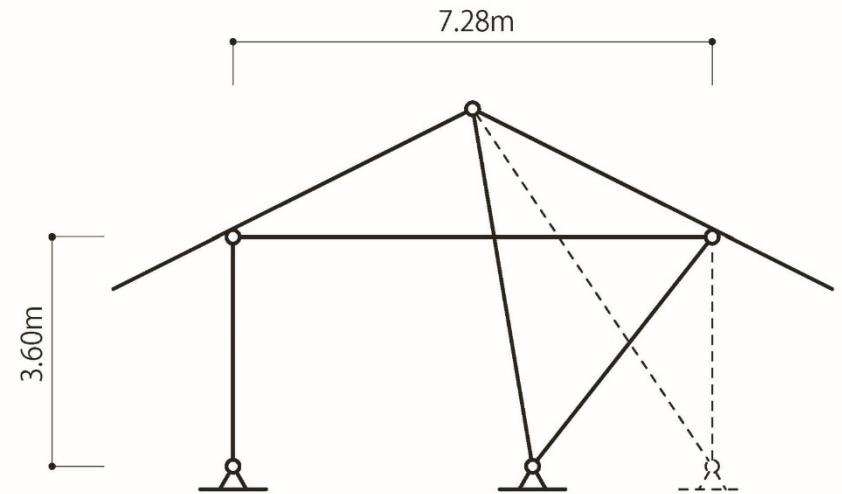
空間の使用条件に応じて形態変化させやすい

### 3 ヒンジフレームの発案

- 鉛直力と水平力にフレームだけで抵抗できる構造形態
- 材長 8 m を活かしてシンプルに組立られる継手の不要な平面架構
- 木材の乾燥収縮に追従できる 3 ヒンジの静定フレーム  
→ 少しずつの構造の形態変化に対しても、構造特性が急変しない利点
- 丸太材を魅せる架構



屋内空間



屋外空間



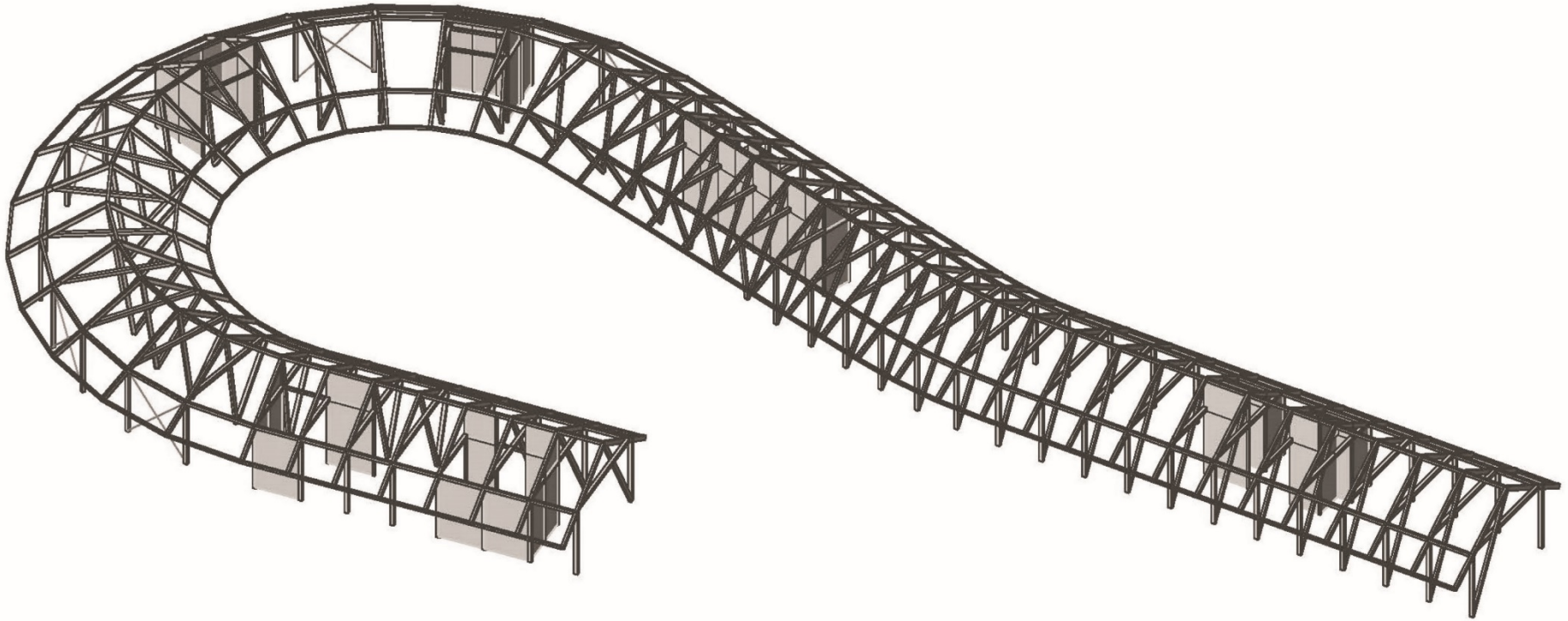


作者に無断で転載することを禁じる

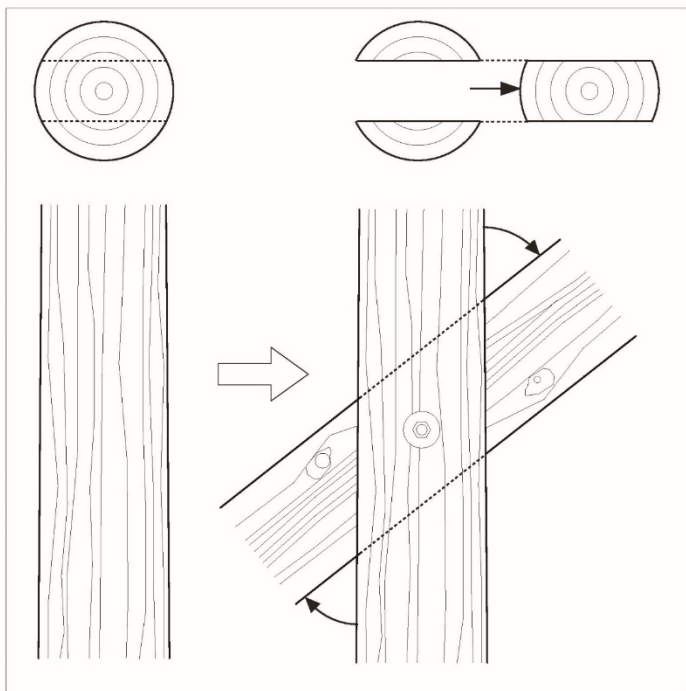
撮影：藤井浩司 (TOREAL)

### 3 ヒンジフレームを馬蹄形プランに沿って並べ、空間の開放性を実現

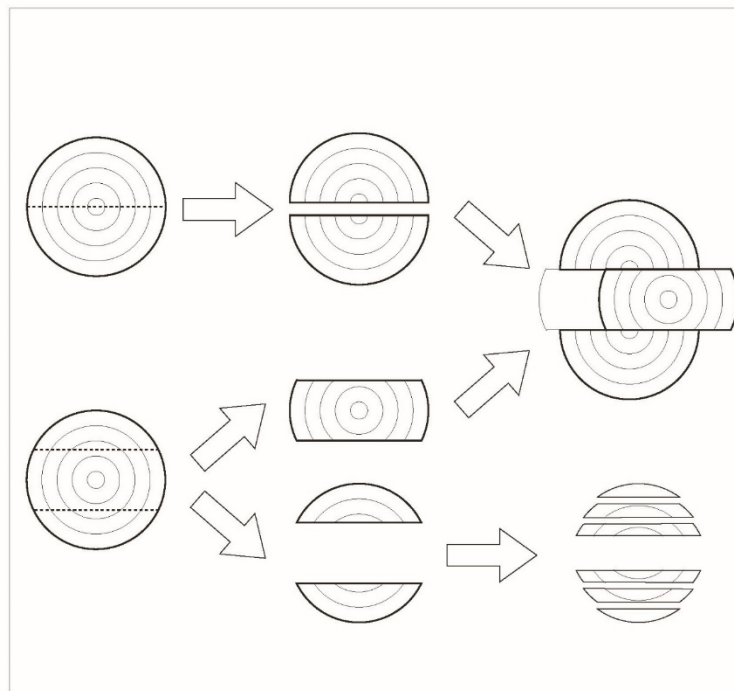
- 3 ヒンジフレームを馬蹄形に沿って並べることで、あらゆる方向の水平耐力と開放性を実現
- 部分的に合板耐力壁とブレースを設けて補強  
→ 令 46 条 4 項の最低限の壁量を満たすことで JAS のない丸太材を主要構造部に使用可能に



## 部材角度の変化に追従できる仕組み

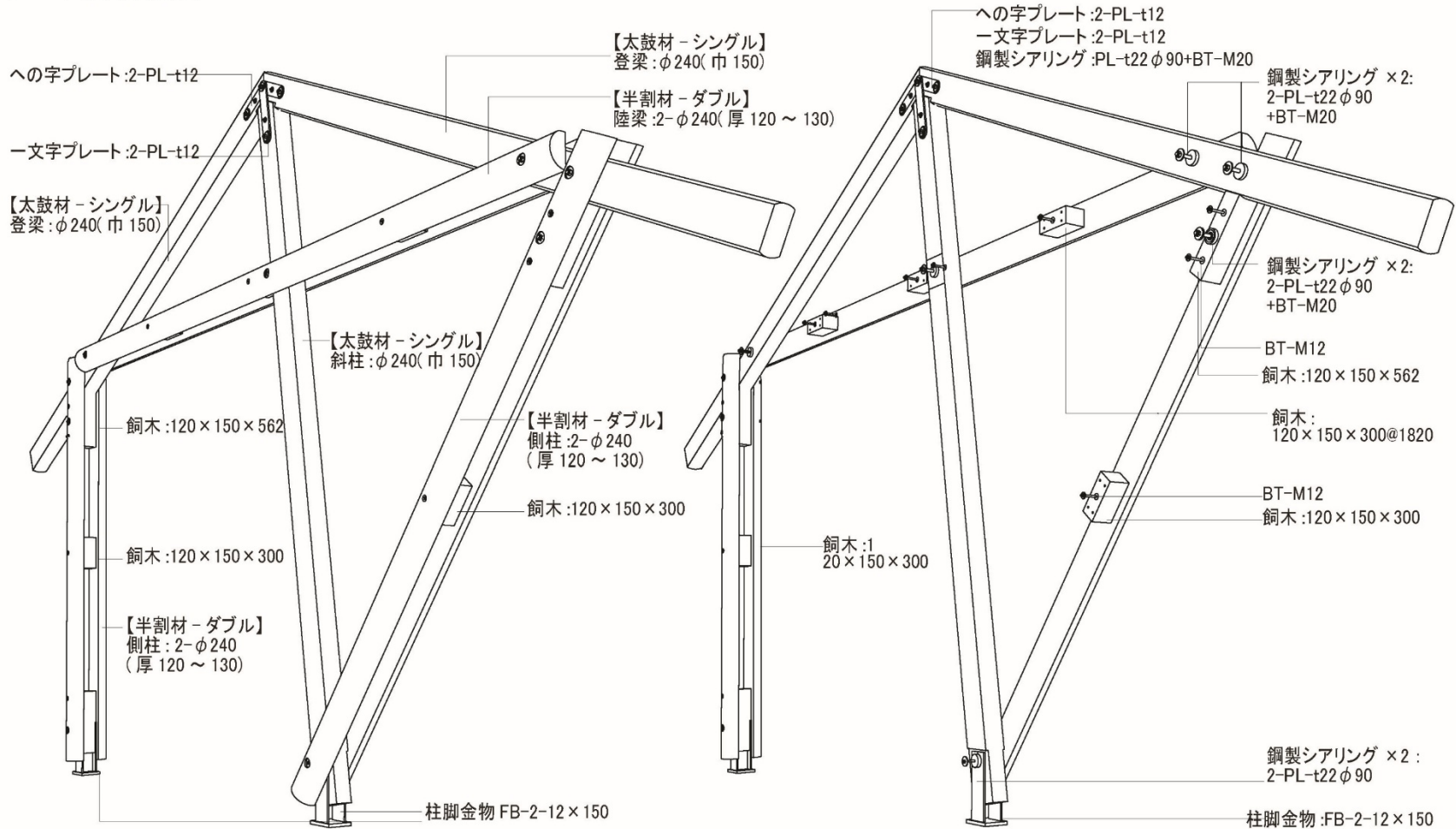


発想の原点。丸太材を3枚におろし、ボルトを中心に部材を回転させる事で構造を可変させる



太鼓材を半割材で挟み込み、ボルトを中心に部材を回転させる。  
太鼓引きした側材は、3種類の中の板材に挽き、仕上げ材として利用する。

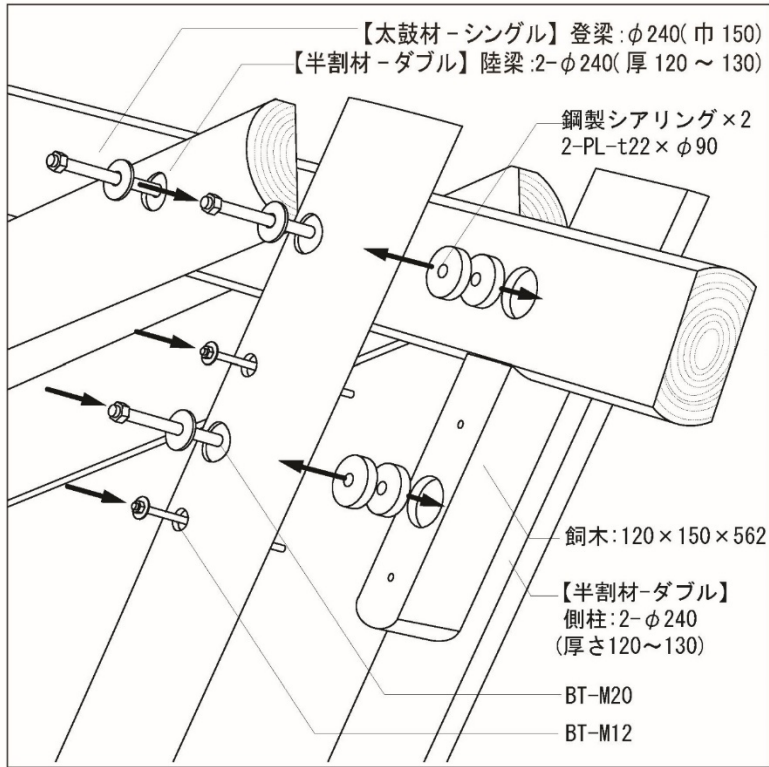
# フレーム部材構成



屋外空間

側柱を外して飼木を見る

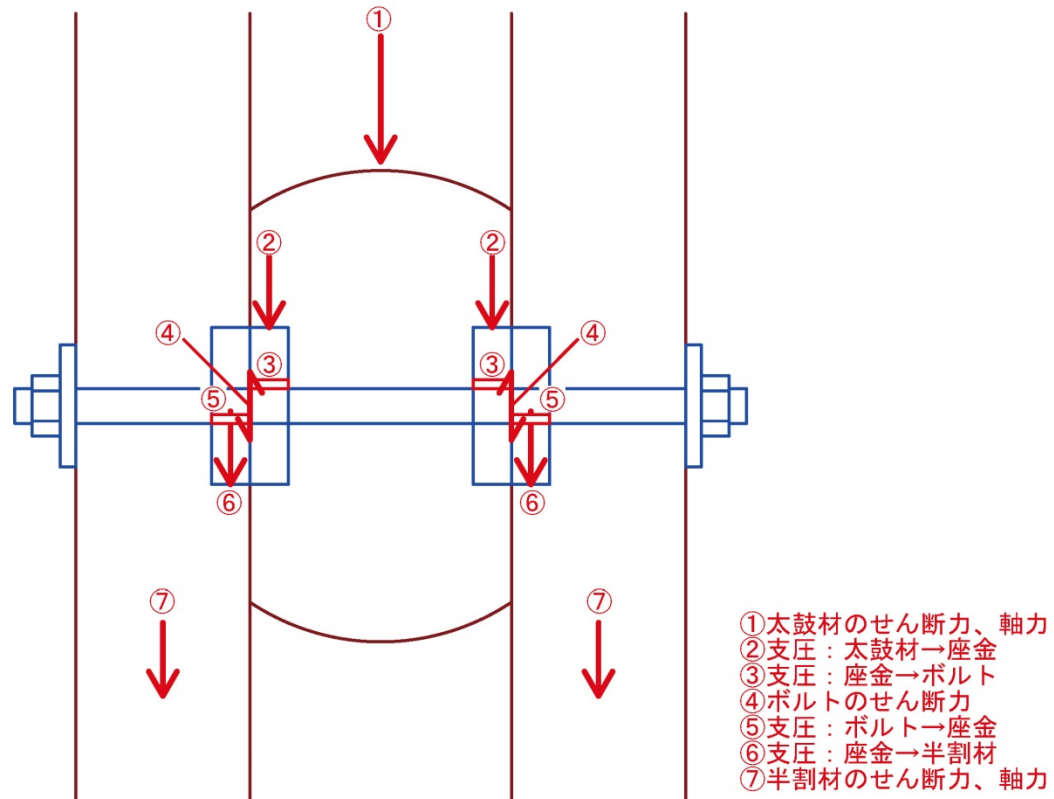
# 接合部ディテール 軒部



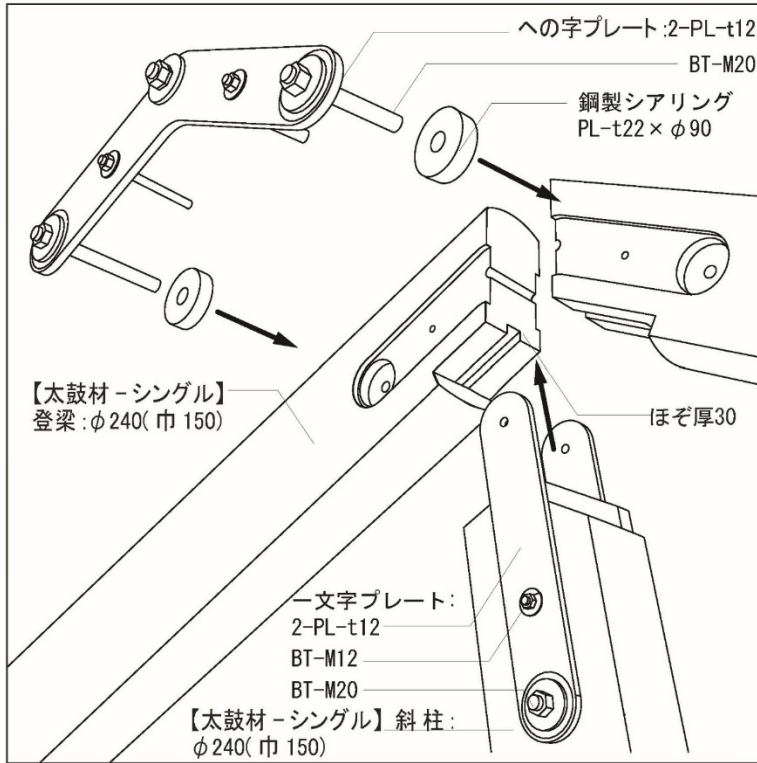
トラス軒桁まわり詳細図



# 角度変化に追従する座金とボルトを組み合わせた接合部ディテール



# 接合部ディテール 頂部



トラス棟木まわり詳細図



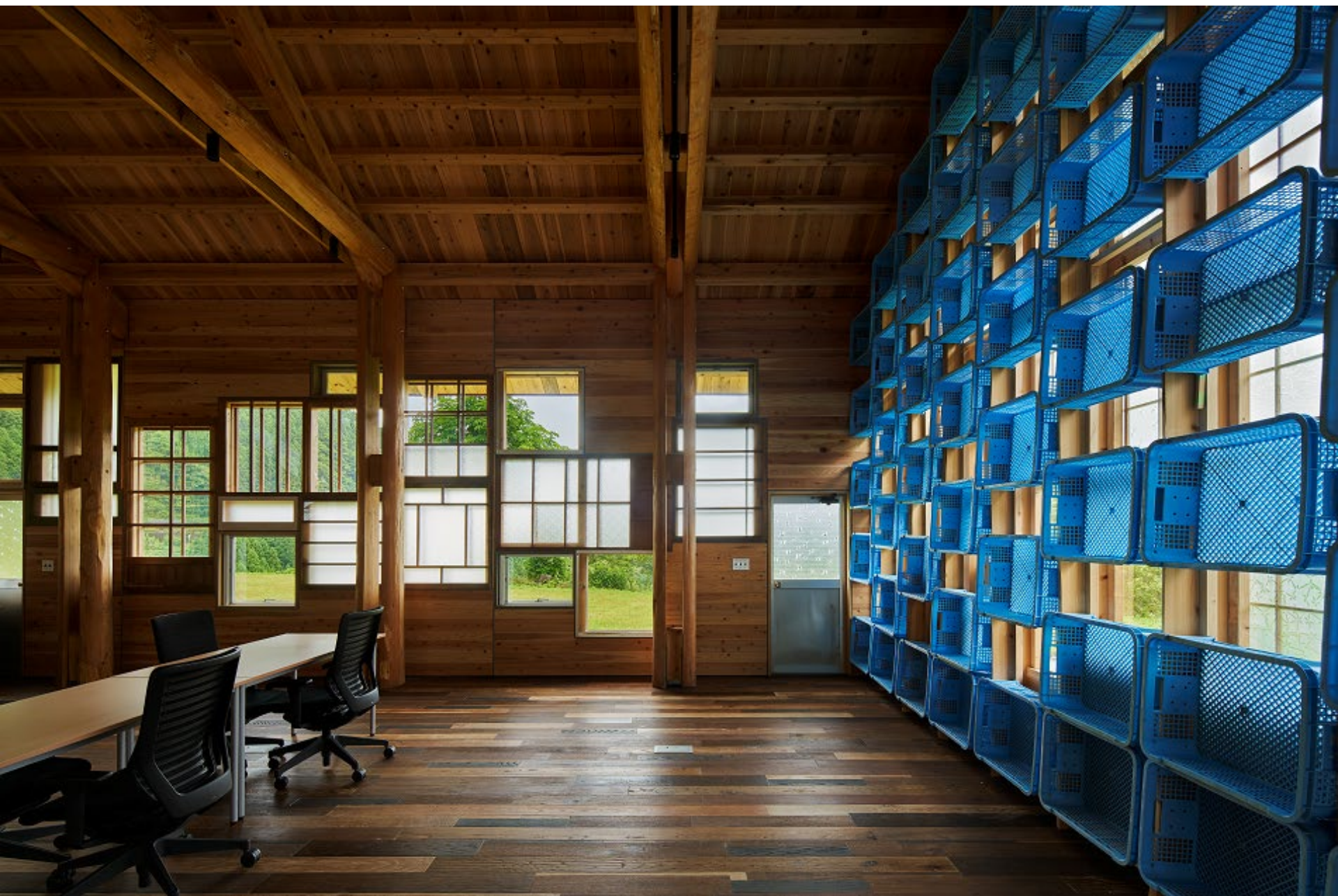
作者に無断で転載することを禁じる

撮影：藤井浩司 (TOREAL)



作者に無断で転載することを禁じる

撮影：藤井浩司 (TOREAL)



作者に無断で転載することを禁じる

撮影：藤井浩司（TOREAL）



作者に無断で転載することを禁じる

撮影：藤井浩司 (TOREAL)



作者に無断で転載することを禁じる

撮影：藤井浩司（TOREAL）



作者に無断で転載することを禁じる

撮影：藤井浩司（TOREAL）

# 「大空間」をつくる

- 中大規模木造建築の需要の高まり
- 細く短い木材で実現するための架構や接合部の工夫
- 地域の木材や技術をどう活かすか

# 昭和電工（大分県立）武道スポーツセンター

大分県大分市 2019年

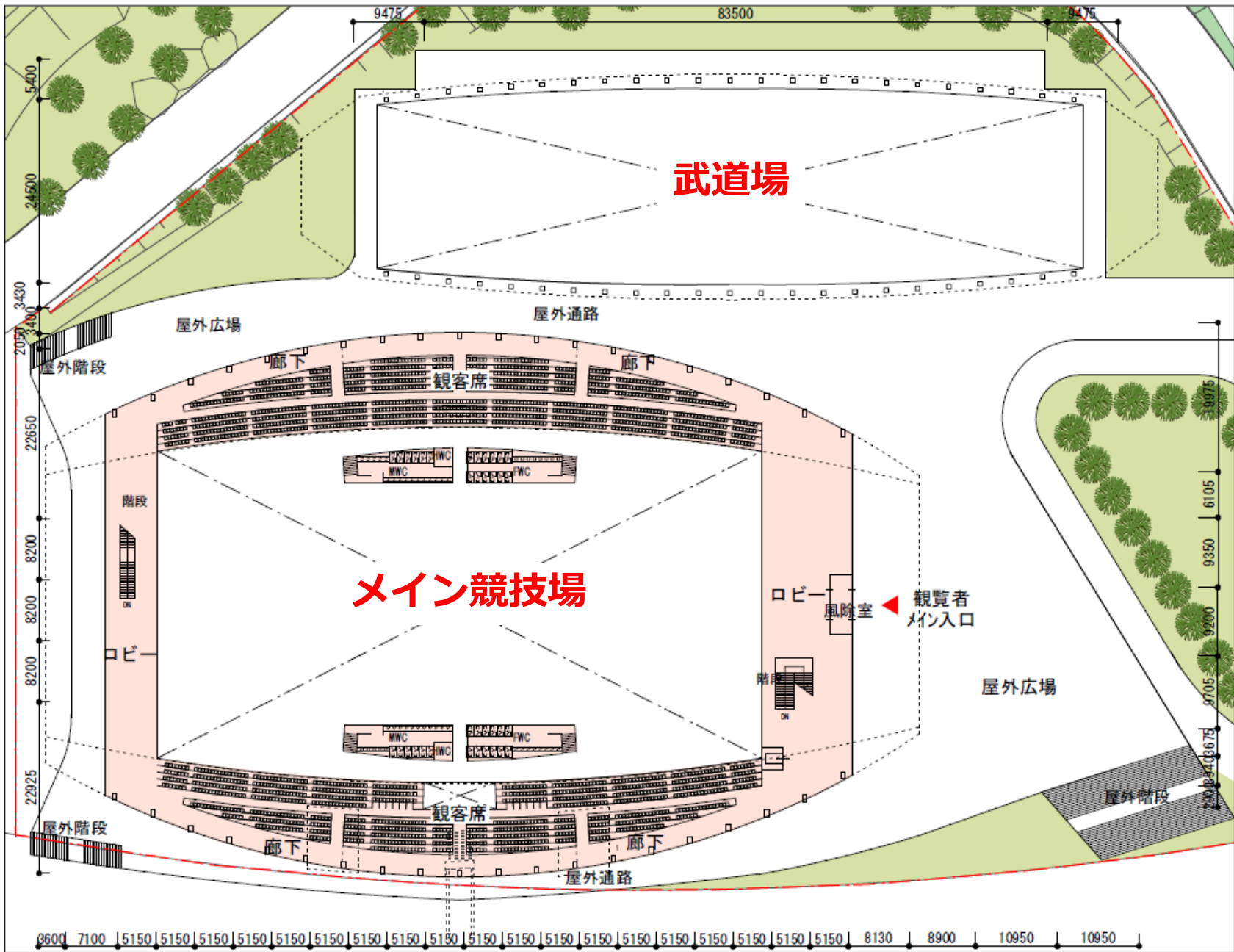
## 一般スギ製材で70mスパンに挑む

設計監理 : 石本建築事務所

屋根架構設計 : 山田憲明構造設計事務所

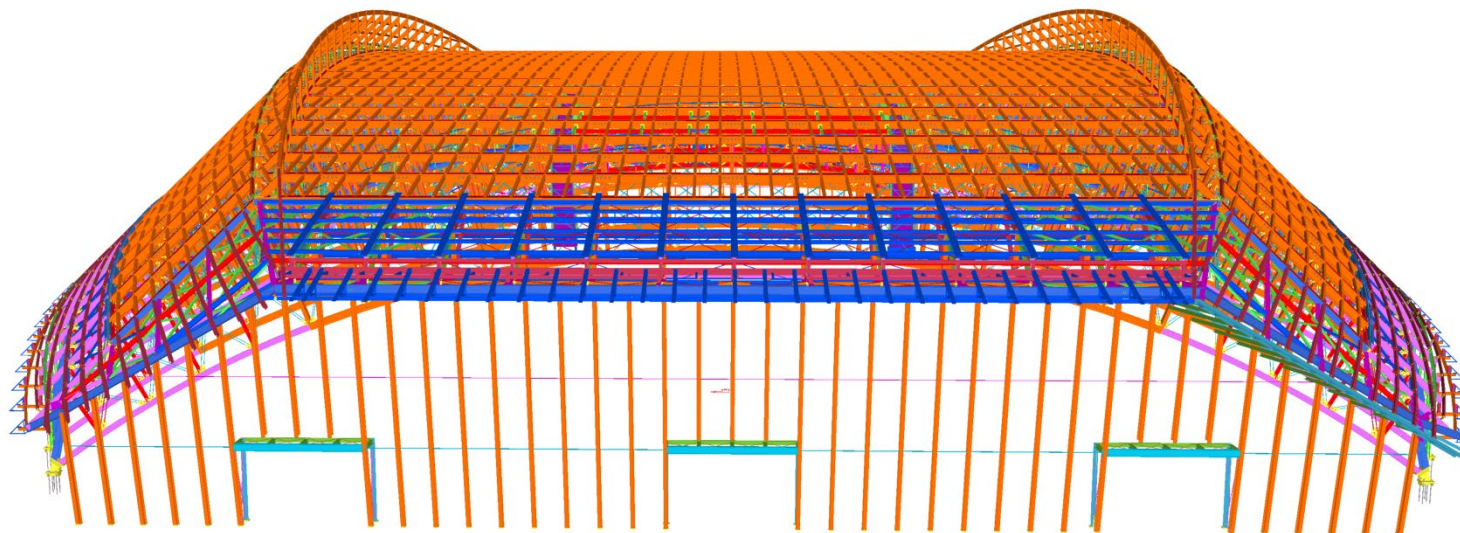
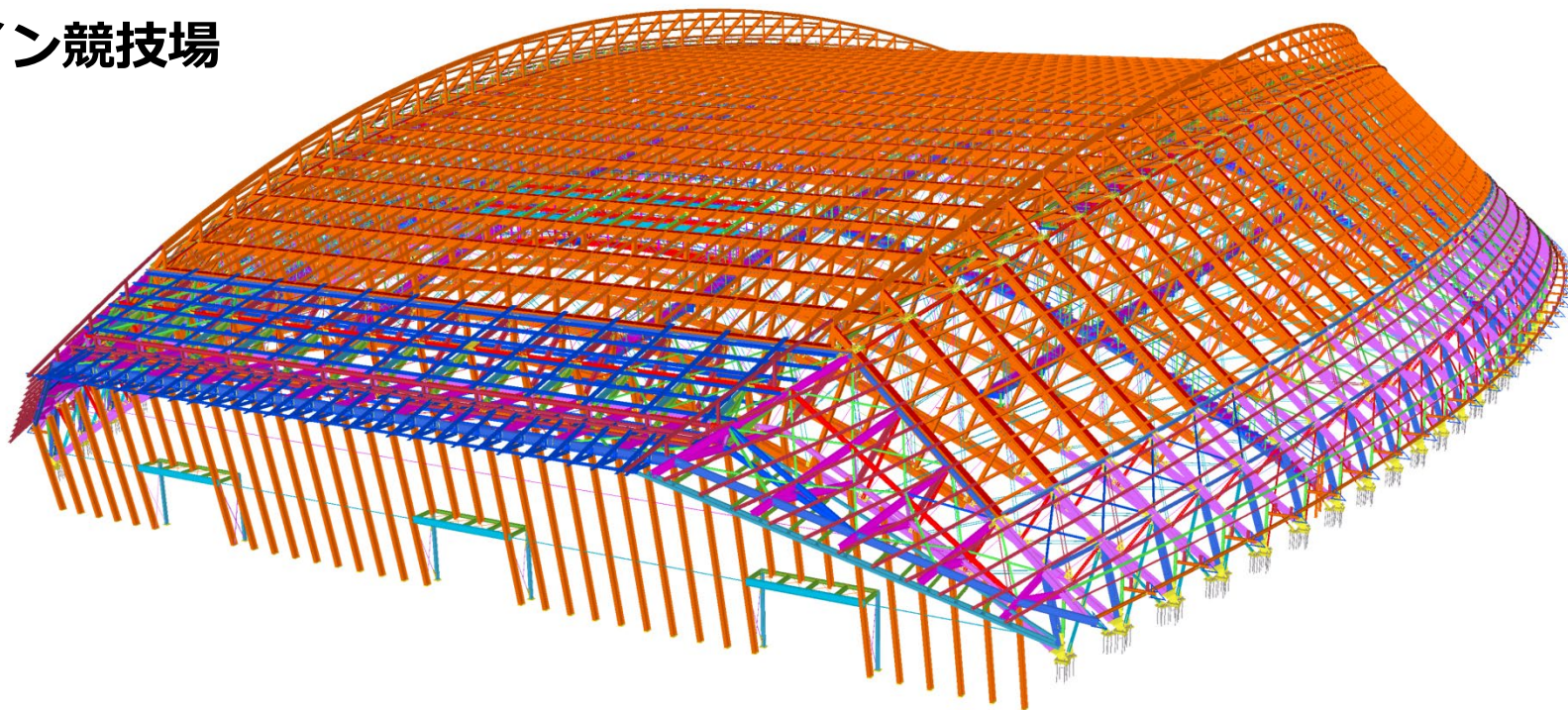




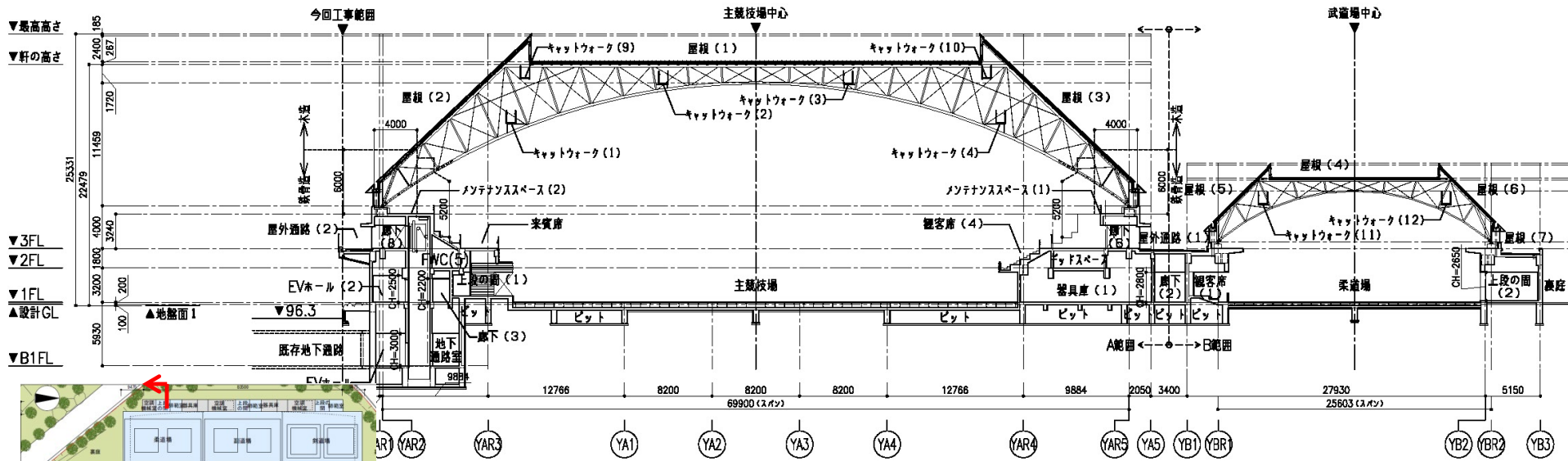


## 2F平面図

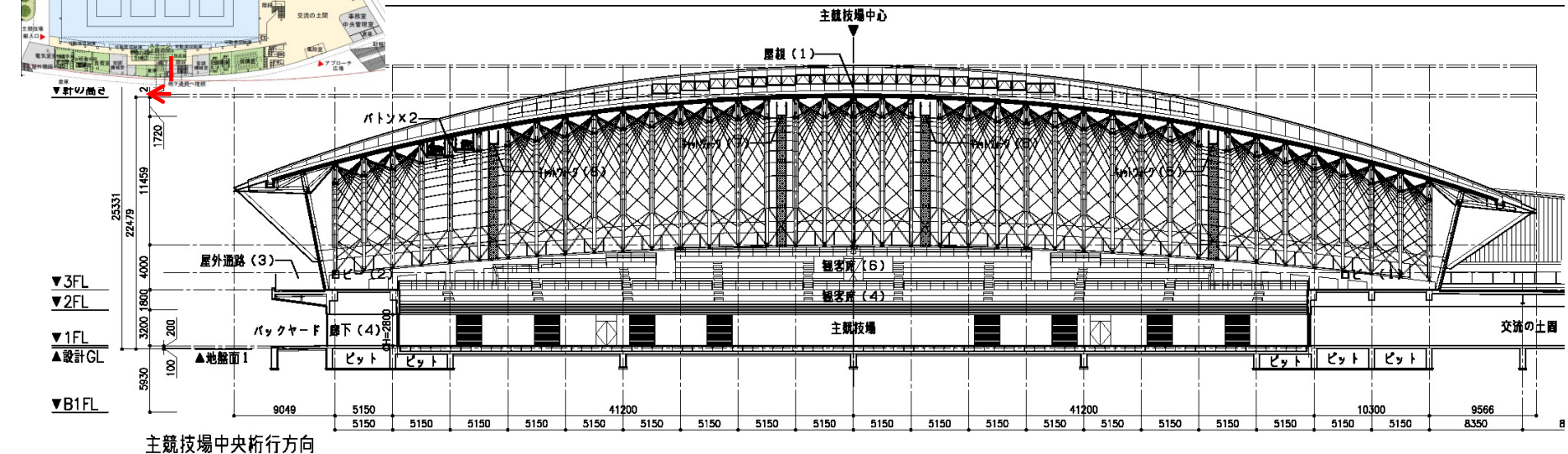
# メイン競技場



**3つの円筒面を組み合わせた屋根形状**



東西方向断面図



メイン競技場の南北方向断面図

# 県産木材供給に係る検討委員会

<検討協議事項>

- ①設計用材料基準強度（案）
- ②材料発注における特記仕様書（案）
- ③材料発注者の品質管理マニュアル（案）

検討委員会名簿

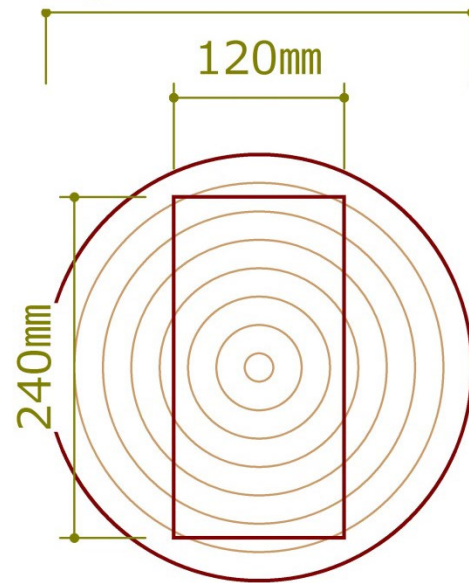
氏名	所属	学位
井上正文	日本文理大学工学部	工学博士
藤本登留	九州大学大学院農学研究院	農学博士
田中圭	大分大学工学部	博士(工学)
近藤孝昌	大分県木材協同組合連合会	
津島俊治	大分県木材協同組合連合会	
瀬戸基彦	大分県木材協同組合連合会	
松本高行	大分県農林水産部林産振興室	
安部暖美	大分県農林水産部林産振興室	
城井秀幸	大分県農林水産研究指導センター林業研究部	
山本幸雄	大分県農林水産研究指導センター林業研究部	
伊東幸子	大分県土木建築部施設整備課	
能勢修治	株式会社石本建築事務所	
原健一郎	株式会社石本建築事務所	
山田憲明	山田憲明構造設計事務所	
原田浩司	ウッドストック技術士事務所	

飯島泰男（前秋田県立大学木材高度加工研究所所長）



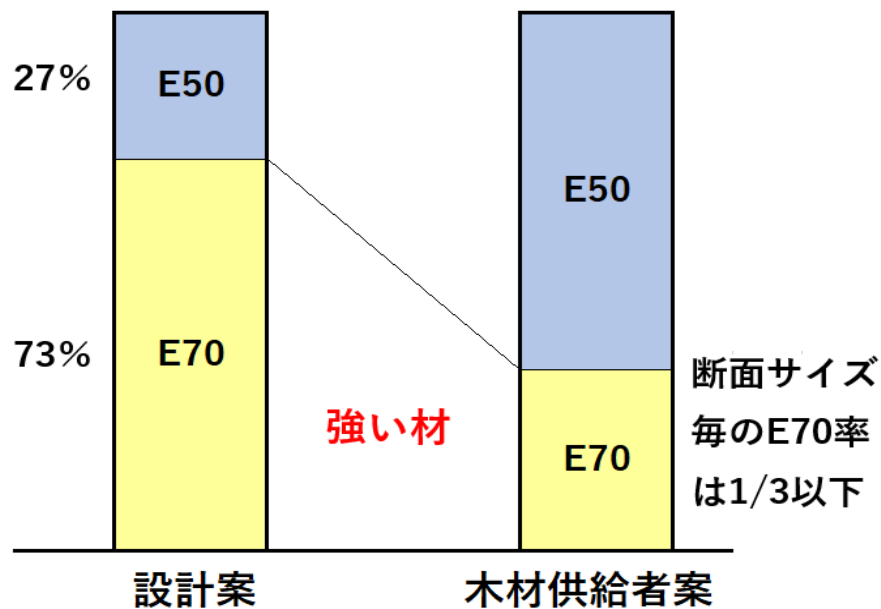
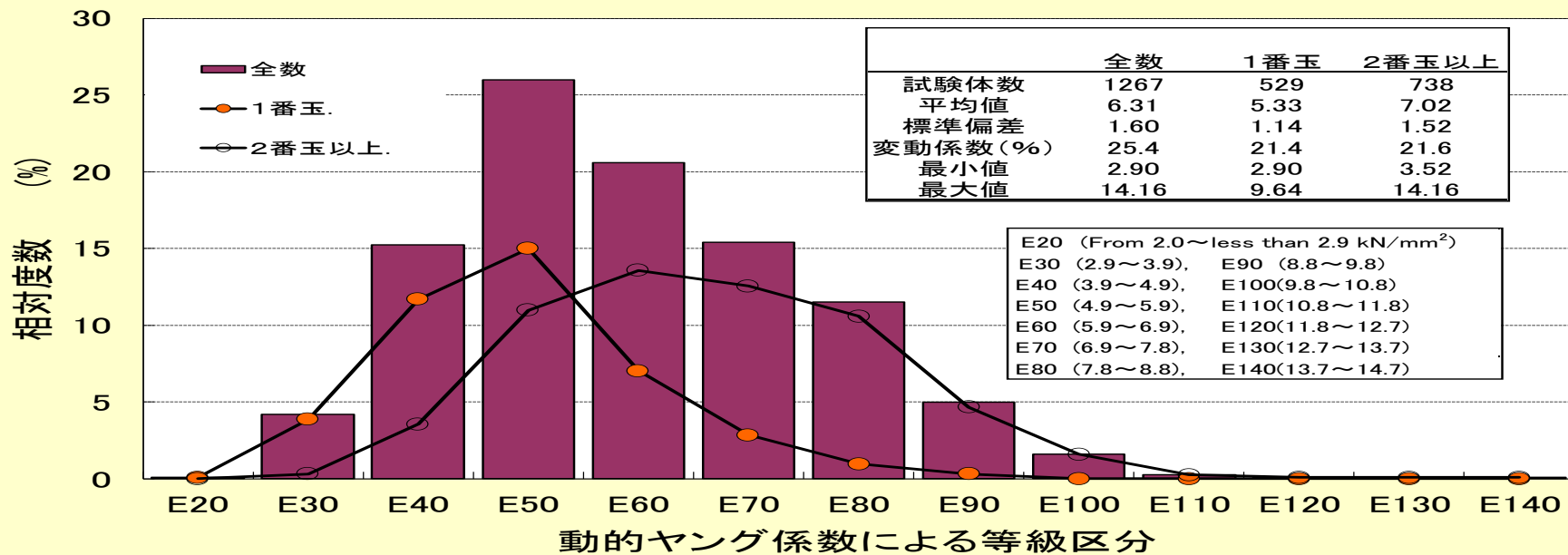


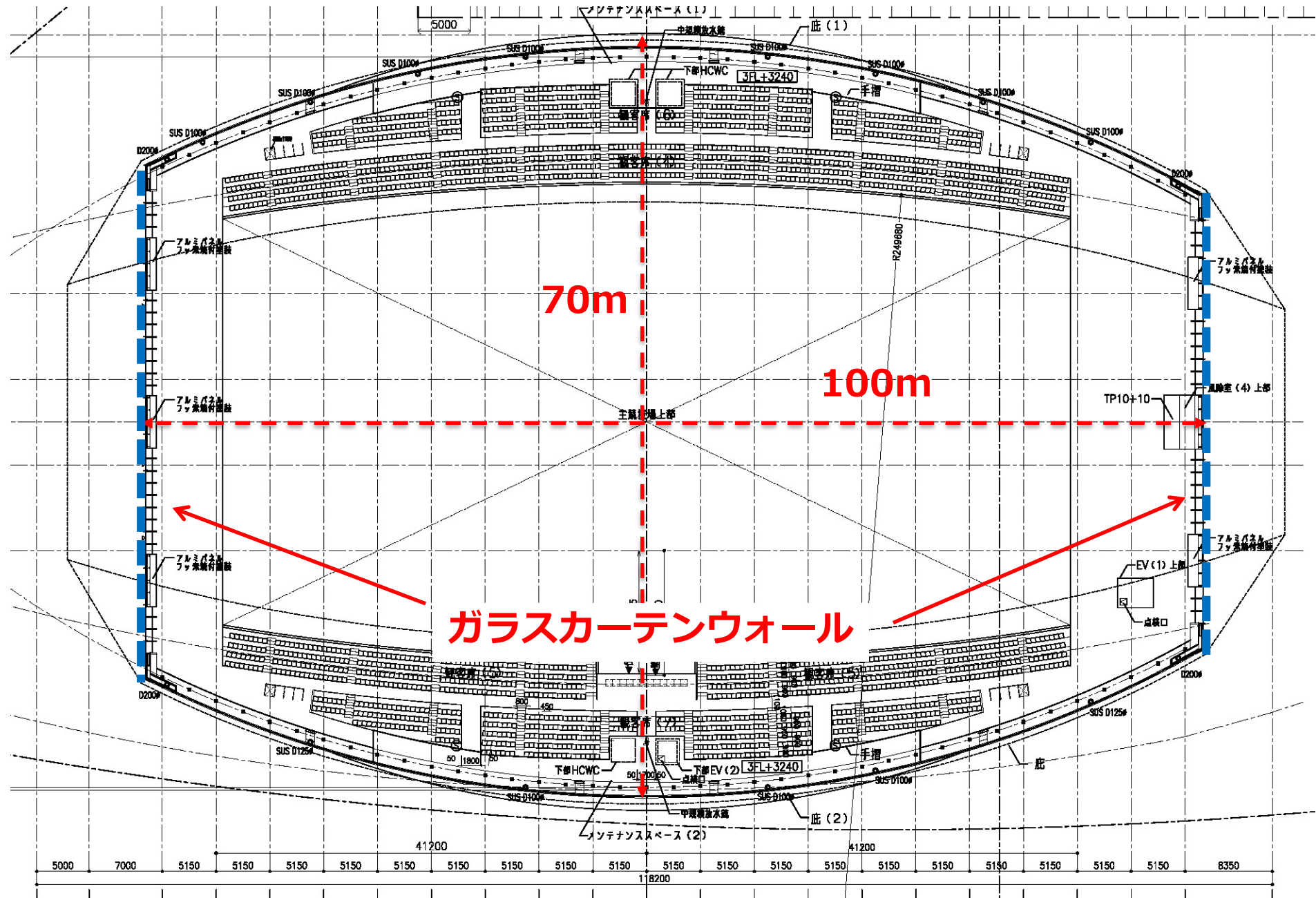
Log Diameter 300mm



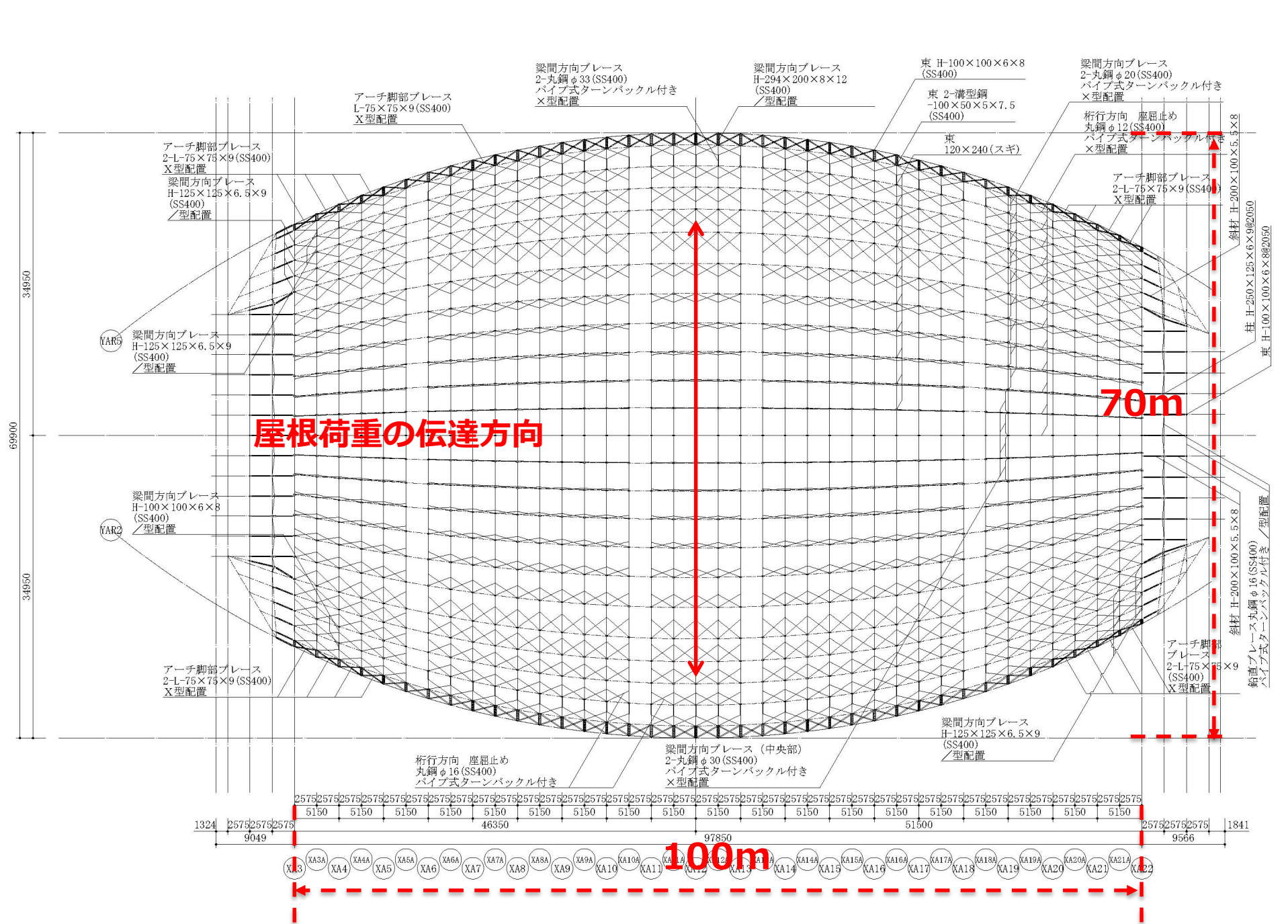


**幅120mm x せい240mm x 長さ4000mm 大分県産スギ製材**





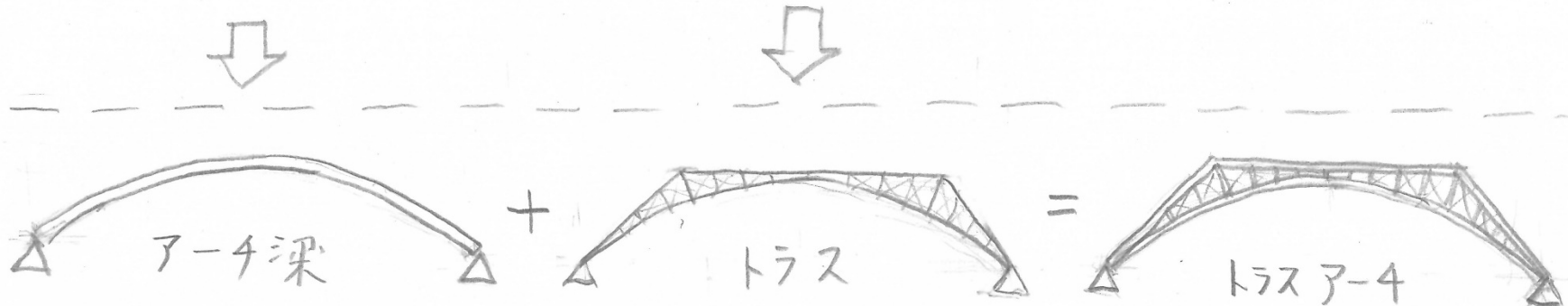
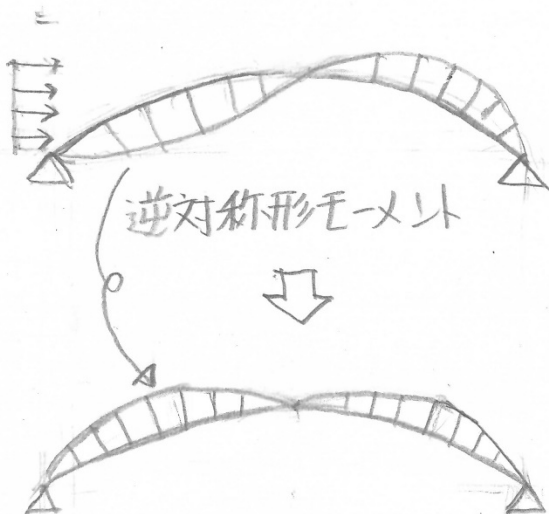
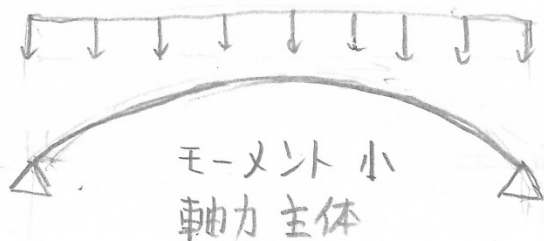
# メイン競技場 2F 平面図



鉛直荷重

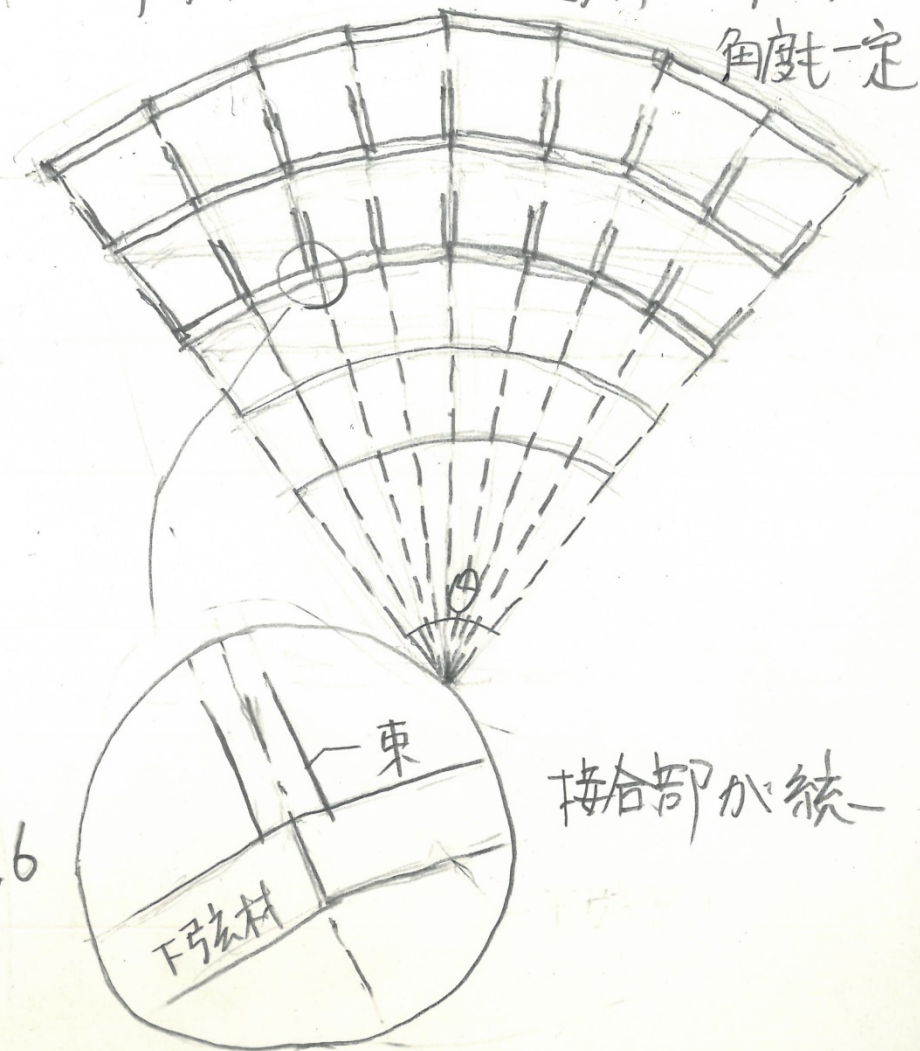
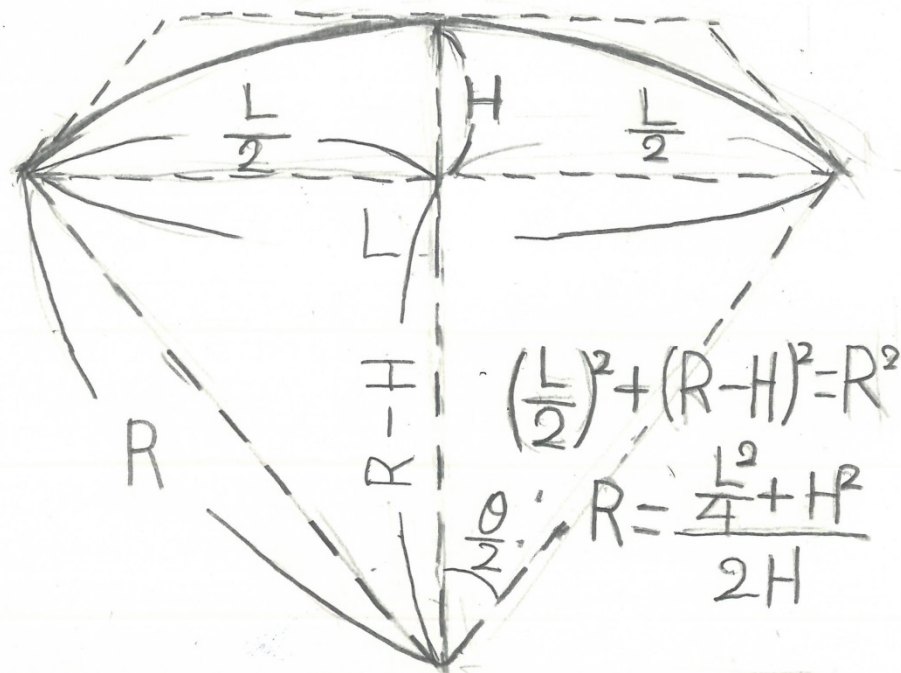
水平荷重

最終形



ライズ-スパン比 =  $L/H$  を固定  $\rightarrow$  中心角  $\theta$  も一定

$\rightarrow \theta$  を等分割すれば、全ての「スパン箇所」で「下弦材」の「東」の「角度一定」

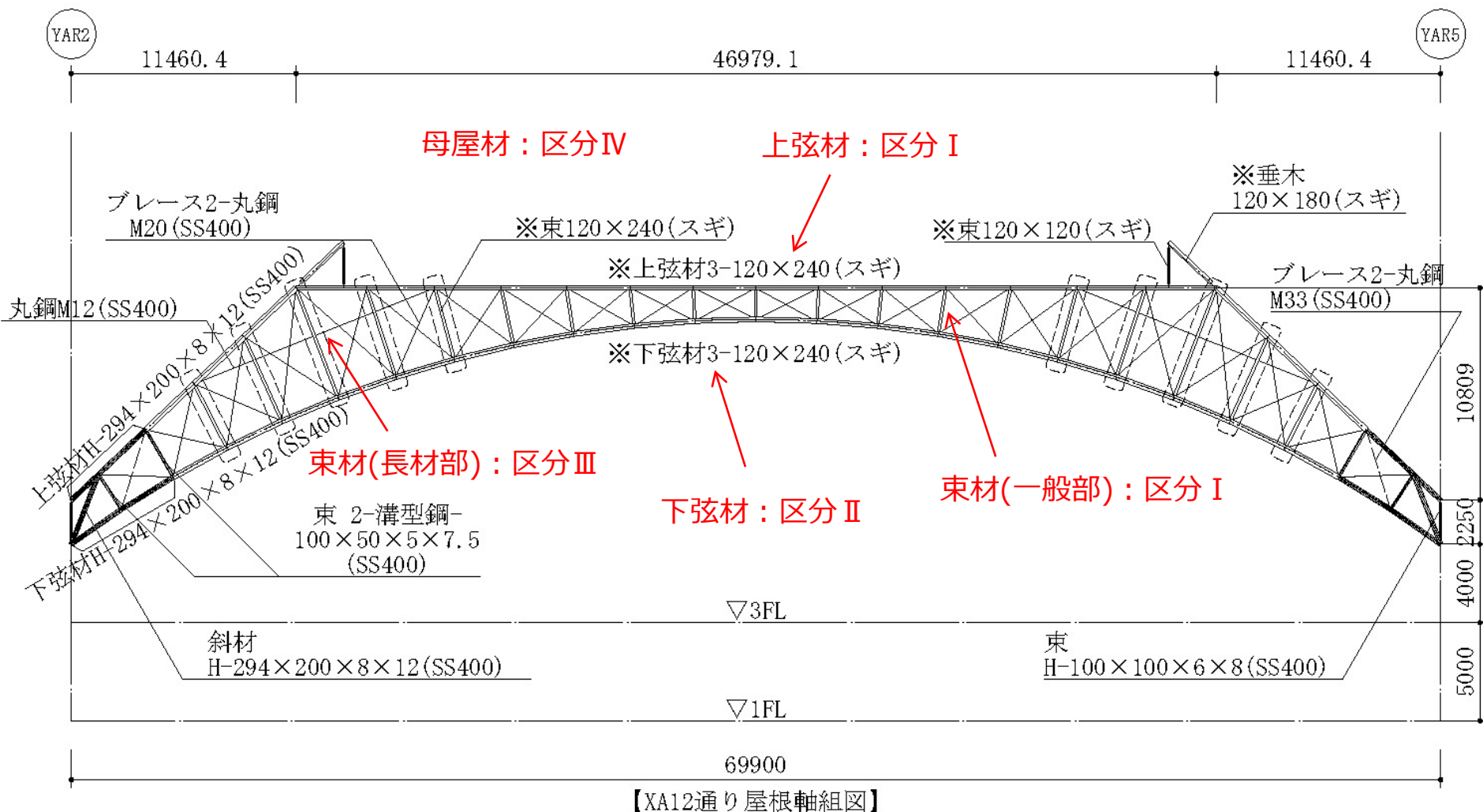


ア-4のライズ-スパン比 = 1:6

$\rightarrow \sin \frac{\theta}{2} = \frac{L}{2R} = \frac{L/H}{\frac{L^2}{4H^2} + 1} = 0.6$

$\rightarrow \theta \approx 74^\circ$

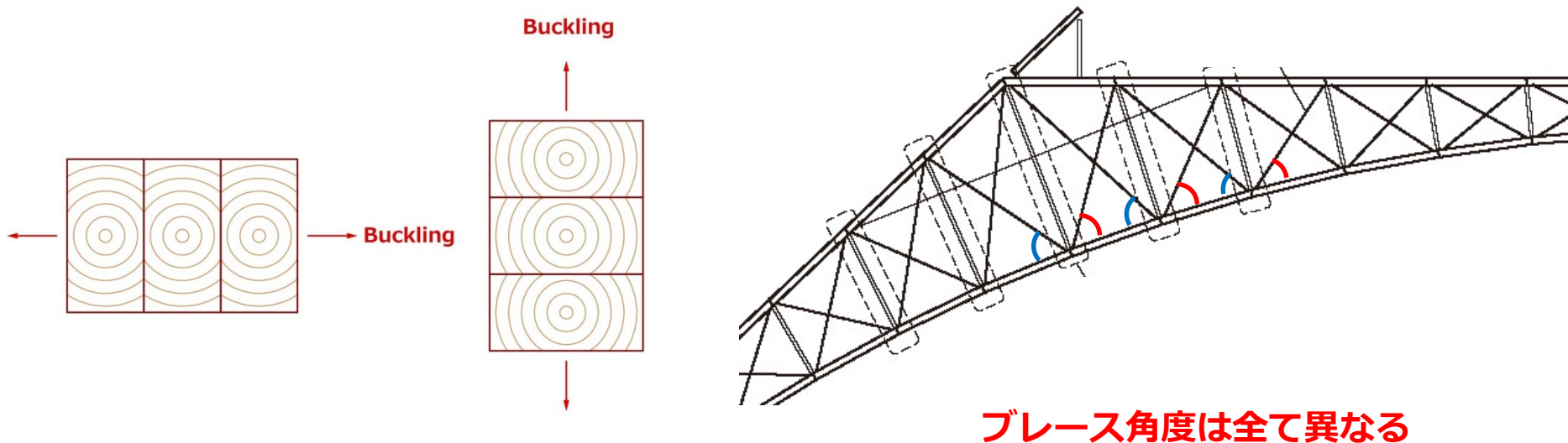
# 木材サイズと仕様の使い分け



- 区分Ⅰ：E4.9~6.4kN/mm<sup>2</sup>、D20
- 区分Ⅱ：E6.4~ kN/mm<sup>2</sup>、D15
- 区分Ⅲ：E6.4~ kN/mm<sup>2</sup>、D20
- 区分Ⅳ：E3.9~5.9kN/mm<sup>2</sup>、D20

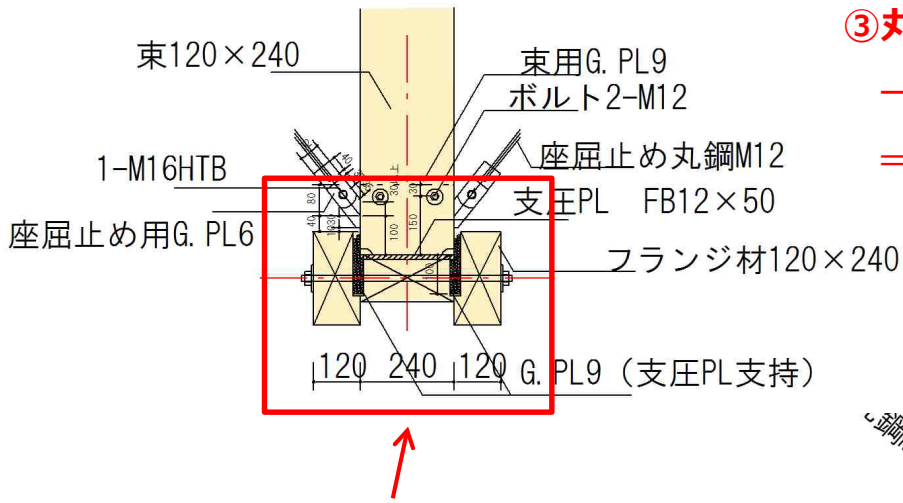
# 部材構成と接合部ディテールの課題

- ①大きな圧縮軸力を負担するアーチ形状下弦材の座屈
- ②下弦材同士の間での圧縮軸力伝達
- ③角度がすべて異なるブレース端部のディテール



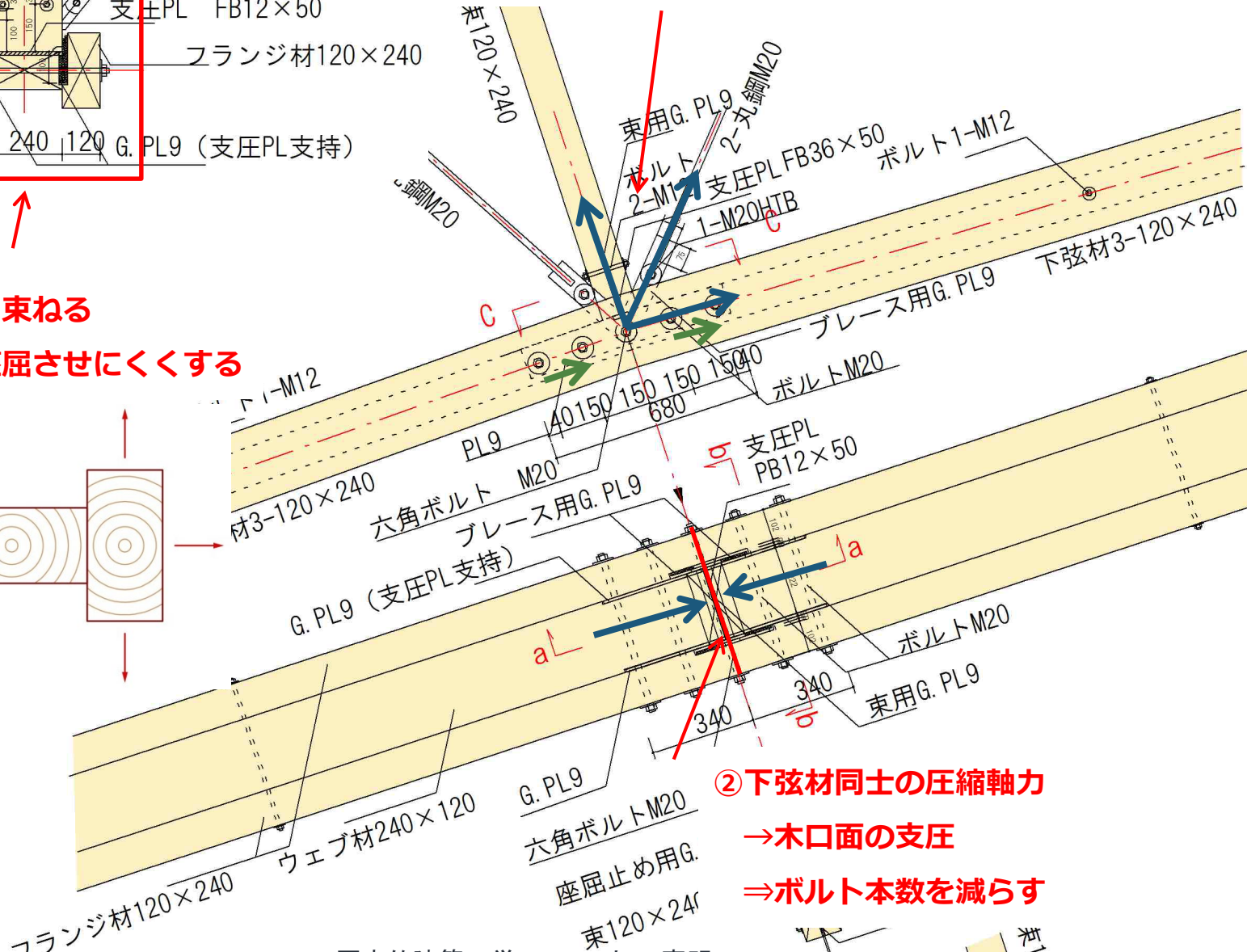
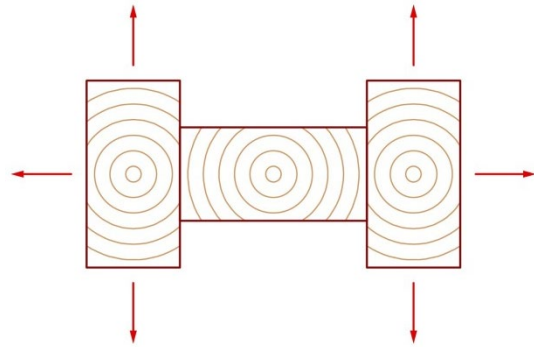
### ③丸鋼ブレースの引張軸力

→ 1本の高力ボルト → FB → 2本ずつのボルト → 下弦材  
⇒ デTAILの統一



### ①木材をH型に束ねる

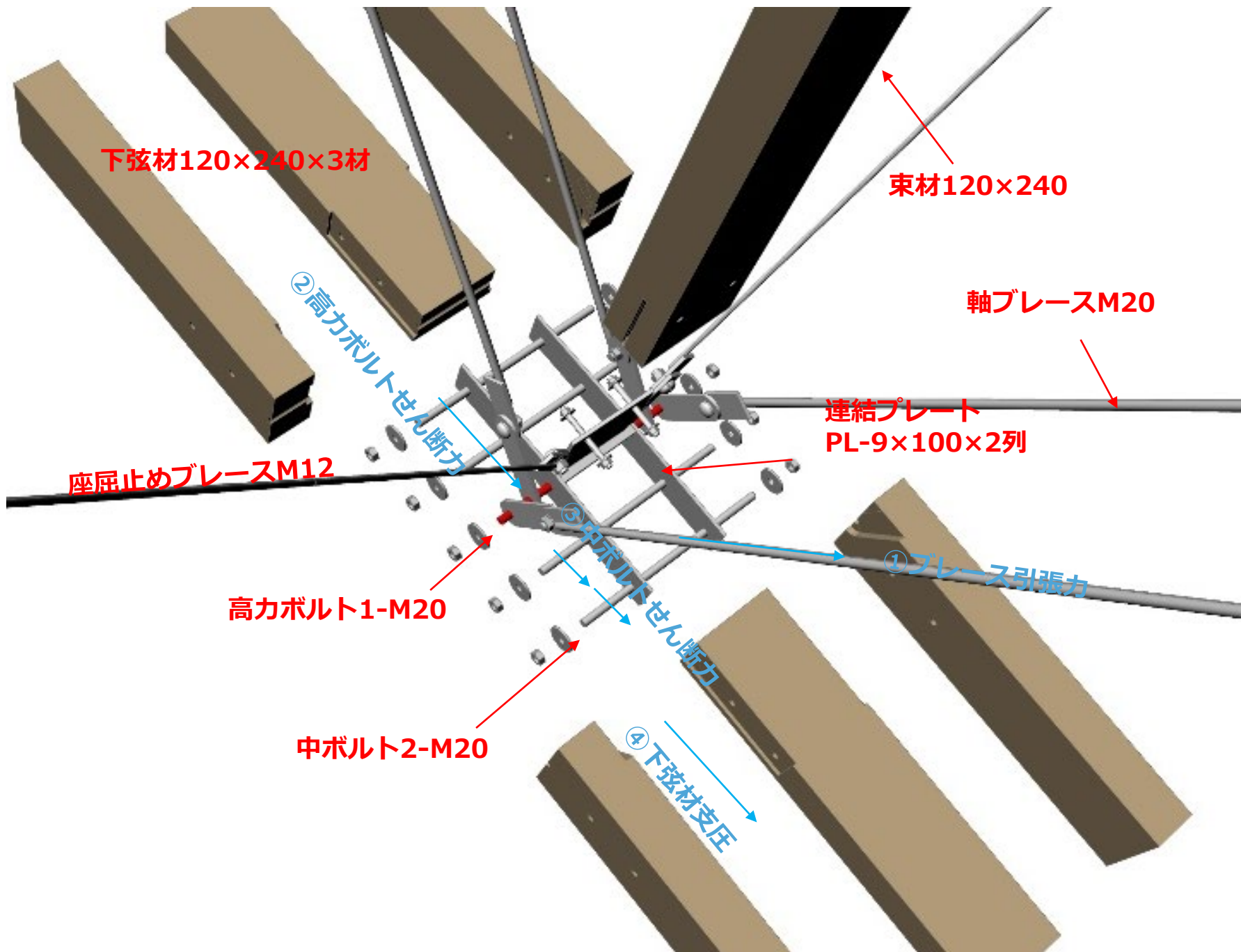
⇒ 2方向に座屈させにくくする



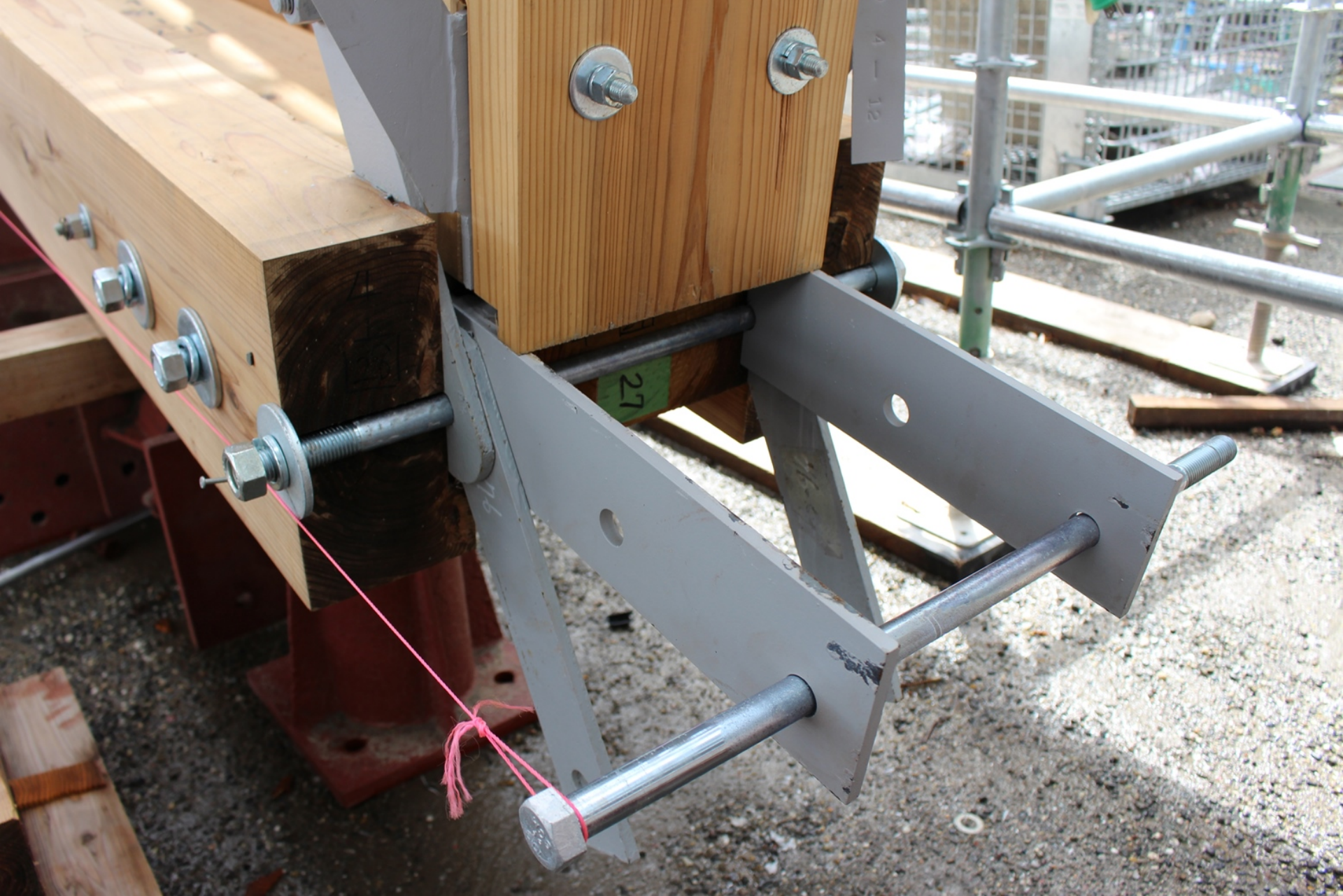
### ②下弦材同士の圧縮軸力

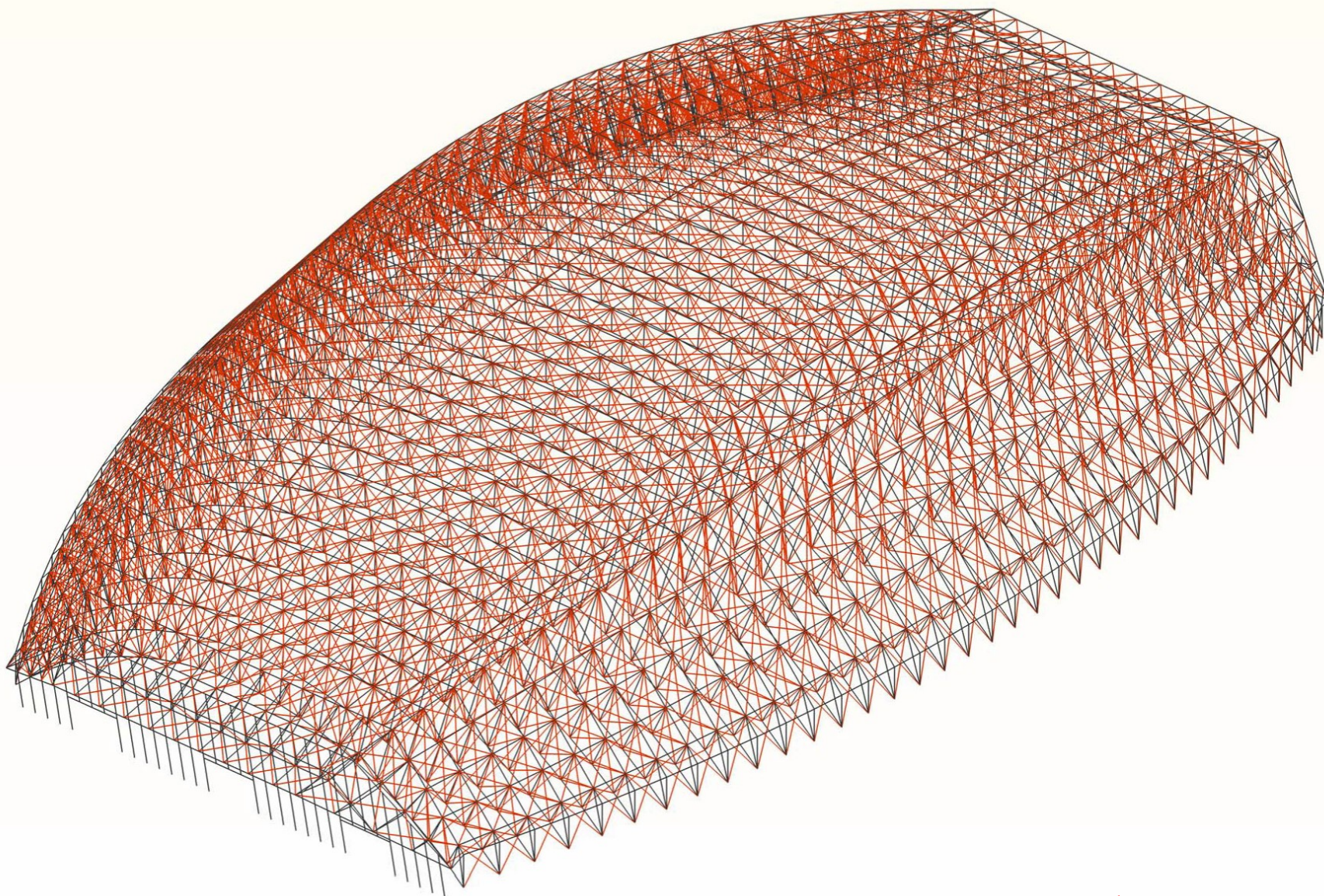
→ 木口面の支圧

⇒ ボルト本数を減らす







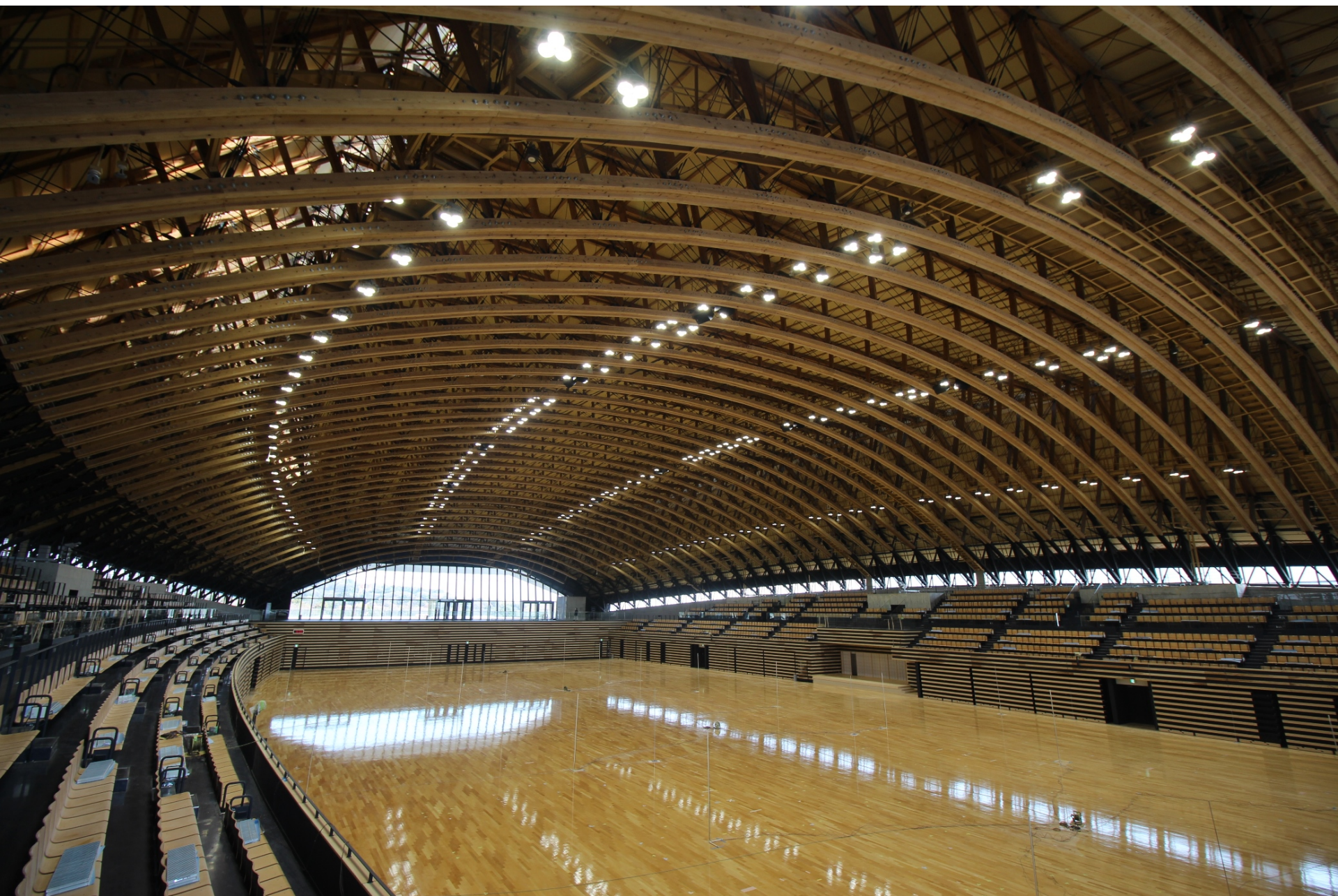


**架構全体の解析モデル**  
**Analytical model of the entire building**









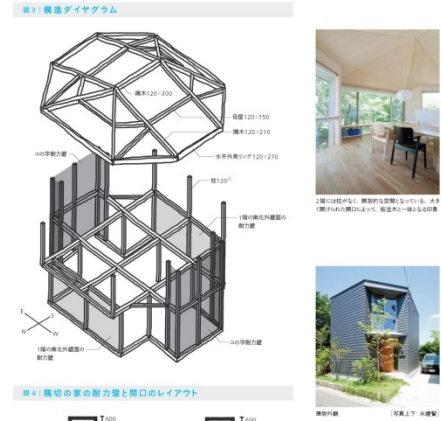
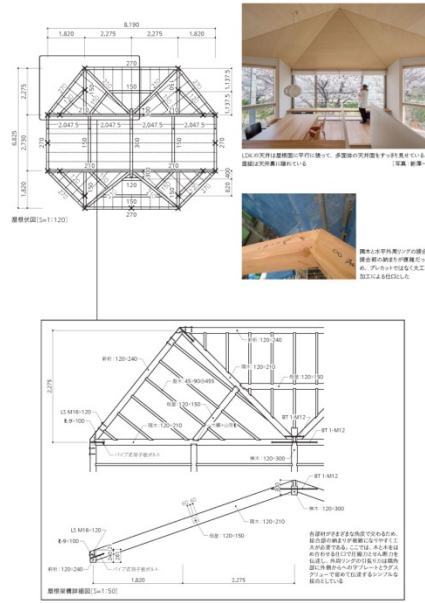






山田憲明(著)  
『ヤマダの木構造(建築知識の本03)』  
エクスナレッジ、2017年

立体トラスで応力をうまく伝達する



真鍮の家の耐力壁と開口のレイアウト

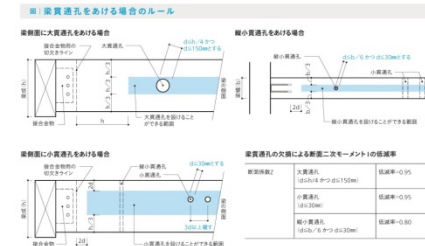
真鍮の家は、耐力壁と開口のレイアウトが特徴的である。耐力壁は、開口部を避けて配置されている。開口部のレイアウトは、耐力壁の耐力を低下させないようになっている。

真鍮の家は、耐力壁と開口のレイアウトが特徴的である。耐力壁は、開口部を避けて配置されている。開口部のレイアウトは、耐力壁の耐力を低下させないようになっている。

強度を著しく低下させさせる断面欠損を見極める方法

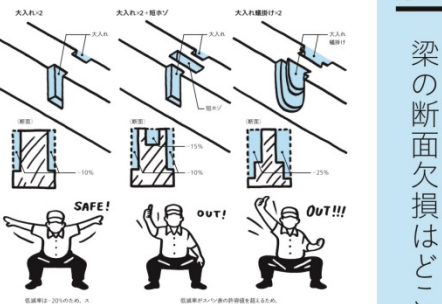
表1 仕口ごとの断面係数の係数係数値(プレカット出口幅100mmの場合の参考値)

仕口の種類	係数係数値	備考
標準	1.0	標準
1/2	0.8	耐力が150%以上の場合は0.8
1/3	0.6	耐力が150%以上の場合は0.6
1/4	0.4	耐力が150%以上の場合は0.4
1/5	0.2	耐力が150%以上の場合は0.2
1/6	0.1	耐力が150%以上の場合は0.1
1/7	0.05	耐力が150%以上の場合は0.05
1/8	0.02	耐力が150%以上の場合は0.02
1/9	0.01	耐力が150%以上の場合は0.01
1/10	0.005	耐力が150%以上の場合は0.005



開口による断面係数の減率は、開口の形状や位置によって異なる。開口の形状は、開口の幅や深さによって異なる。開口の位置は、開口の位置によって異なる。開口の形状や位置によって異なる。開口の形状は、開口の幅や深さによって異なる。開口の位置は、開口の位置によって異なる。

セーフな仕口、アウトな仕口

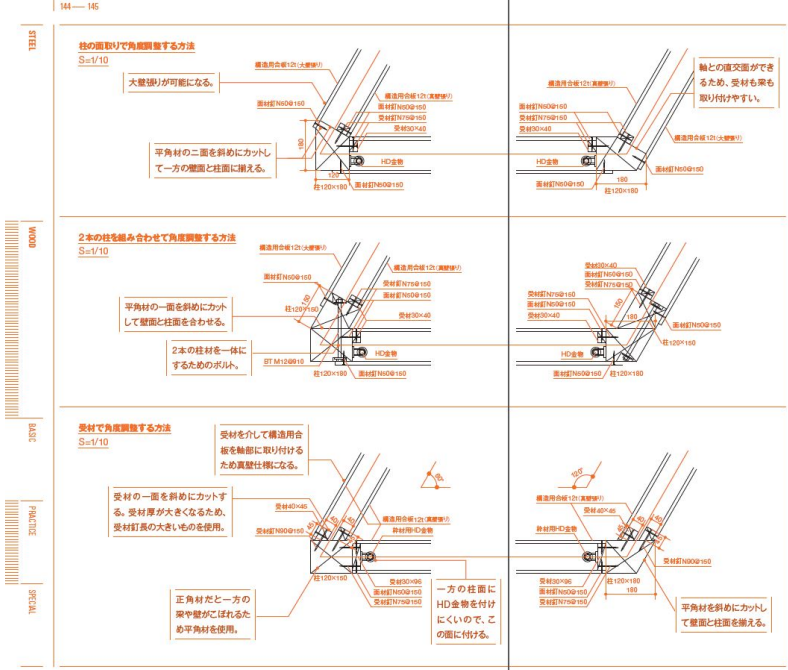


セーフな仕口、アウトな仕口

セーフな仕口は、開口部を避けて配置されている。アウトな仕口は、開口部を避けて配置されていない。セーフな仕口は、開口部を避けて配置されている。アウトな仕口は、開口部を避けて配置されていない。

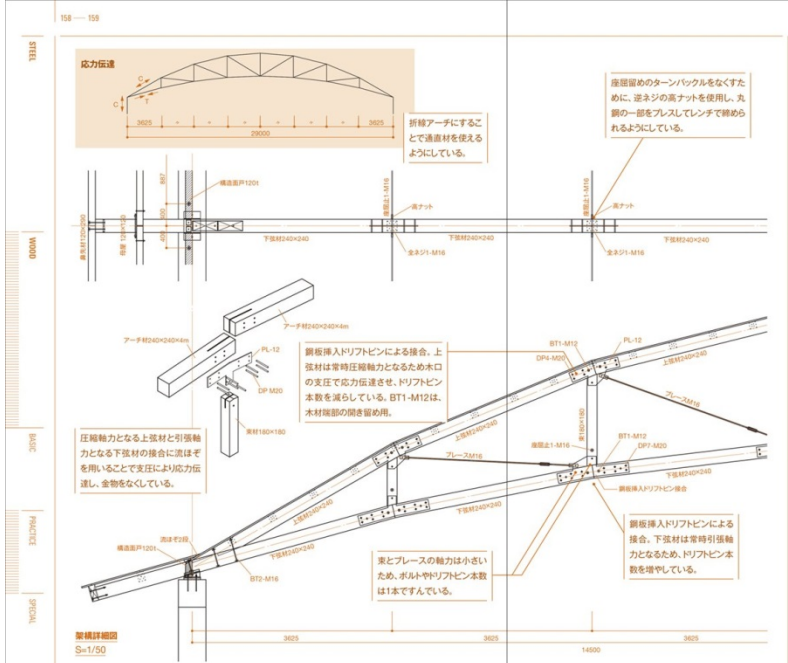
07 梁の断面欠損はどこまで大丈夫？

● 耐力壁の交差部は、軸と軸の交差部が重なるように施工する。軸と軸の交差部が重なるように施工する。軸と軸の交差部が重なるように施工する。



● 耐力壁の交差部は、軸と軸の交差部が重なるように施工する。軸と軸の交差部が重なるように施工する。軸と軸の交差部が重なるように施工する。

● トラスアーチは、アーチの頂部をなすために、逆ナジの高ナットを使用し、丸鋼の一部をプレスしてレンヂで締められるようにしている。



● トラスアーチは、アーチの頂部をなすために、逆ナジの高ナットを使用し、丸鋼の一部をプレスしてレンヂで締められるようにしている。

納まりのしくみを徹底解剖

構造  
 デイテール  
 図集

STRUCTURE /  
 DETAIL /  
 DRAWINGS

山田憲明  
 多田脩二  
 [共著]

STEEL

WOOD

架構&部位別にまとめた  
 構造デイテール詳細図集!

構造設計では標準「デイテール」だけで建物の隅々までを設計するのは困難で、日常的に標準から外れた「デイテール」を考えねばならない場面に遭遇します。

本書は実務経験によつて培われた知恵や工夫を網羅し、基礎やスラブ、柱梁の取り合いなど各部位ごとにまとめた「構造デイテール図集」です。

山田憲明の木造  
 多田脩二の鉄骨造

[実作も収録]



山田憲明(著), 多田脩二(著)  
 『納まりのしくみを徹底解剖 構造デイテール図集』  
 株式会社オーム社、2016年