

CLT 仮設ユニットの開発と施工実験による有効性の検証

相生 陽平

1. はじめに

建築物は、その使用期間により仮設建築物と恒久建築物に分けられ、特に仮設建築物には突発的な需要に対応できるという強みがある。直近の例では、新型コロナウイルス感染症の蔓延により、店内での営業が困難となった沿道飲食店に対し、国土交通省がテイクアウトおよびテラス席の設置を目的とした路上利用に伴う道路占有を認める特例措置をとるなど¹⁾、その需要は災害時に止まらず至る所に存在する。このような中、木材は加工が容易な点、人工的な建築材料と比較して重量的に有利である点、材の劣化も解体修理を繰り返す事が前提の環境であれば防ぐことが出来る点など、仮設建築物の材料としての可能性を秘めており、我が国の木材需要創出の観点から見ても、自治体や民間企業からのまとまった需要が見込める仮設建築分野において、木質材料の一般普及を目指すことは有意義であると考えられる。

以上を背景に本研究では、木質材料の仮設建築物への利用方法を提案することを目的として、直交集成板（CLT）と鋼材接合部によって構成される小規模仮設ユニットの設計およびその施工実験を行った。

2. 仮設ユニットの概要

今回施工実験を行った仮設ユニットは、加工を施した3層3プライの直交集成板（厚み90mm）4枚と、方杖および添柱の役割を有するトラス機構とした鋼材接合部を、ヒンジピンを介して一体化させたもので、想定される短期荷重に対して壁方向では2枚の集成材、それと直交する間口方向は、鋼材接合部内のトラス機構を介して抵抗する想定である。概要として図1に仮設ユニットの立面図を示す。

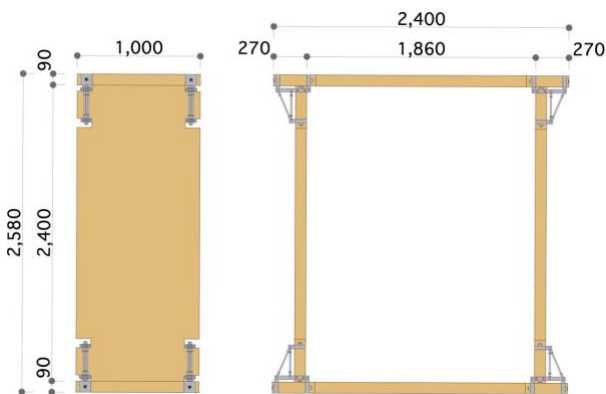


図1 仮設ユニット立面図

本研究では設計において、仮設ユニットとしての利便性を求めることに加え、期限付き建築物²⁾の考え方を取り入れた設計を目指した。期限付き建築物とは、仮設建築物と恒久建築物の間にある仕切りを排し、あらゆる建築物に対して一定の使用期間および使用条件を予め設定して計画を行う設計思想上の概念であり、使用期間や条件を定めることで設計荷重の設定や部材の選定に対する選択肢が広がる。建物使用期間中の経済効率を最適化することが出来るため、建築物に要求される性能や機能が短期間に変化する現代において浸透が望まれる。一方で一定期間での解体を前提とする建築物は、資源の消費スピードが早くなってしまうため部材リユースや材料リサイクルに対しても考慮する必要がある。今回の設計では、仮設ユニットとして組立・解体を繰り返す際の利便性を考慮して4枚の集成板の寸法および加工を統一し、8箇所の鋼材接合部に関しても形状の統一と着け外しの簡単化を目指した。さらに部材リユースおよび材料リサイクルの観点からは、ユニットとしての使用期間後の各部材の性能低下を防ぐため、設計荷重に対し余剰性能を持たせることや、木材と鋼材の直接的な接合を避け、最終的に材料ごとに分別できるような接合部設計とした。各構成部材の詳細については次章にて示す。

3. 仮設ユニットの構成部材

3.1 木材部分

本仮設ユニットの木材部は、幅120mm厚み30mmのラミナで構成された3層3プライの直交集成板（1000mm×2400mm）で樹種はスギである。当初は鋼材接合部との一体化の際にビスなどの直接的接合を避ける目的で、集成板の4隅に切り欠きおよびほぞ加工を施し、ヒンジ部分を内包した鋼板を嵌め込む設計としていたが、

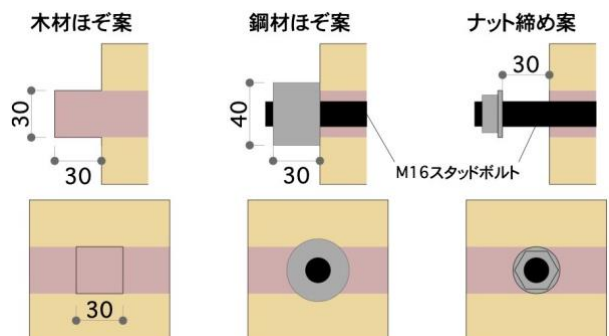


図2 ほぞ部分の設計過程

木材加工の難易度と局所的なめりこみの抑制に配慮し、その代用案として当初ほぞ部分としていた位置に貫通孔を開けスタッドボルト（φ=16mm）を通した鋼材ほぞ案を経て最終的に木材加工の誤差によるガタつきをナットの締め付けによって修正できる設計（図2）を採用した。また木材加工は丸鋸、電気ドリルおよびマルチツールを用いて人力で行った。概要として図3に集成板の加工図面を示す。

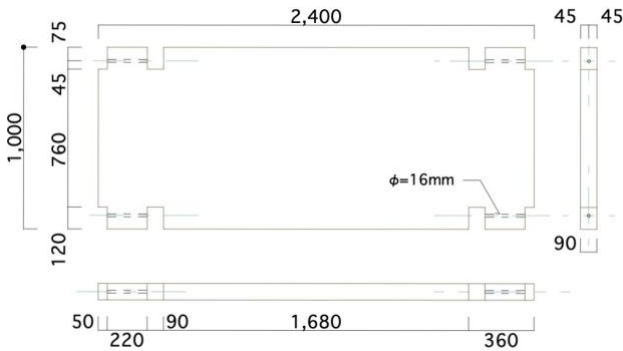


図3 直交集成板の加工図面

3.2 鋼材接合部

鋼材接合部の概要、およびそれらを構成する各部材とその他部品について図4に示す。ヒンジ部分となる直径10mm孔が開いた鋼板（部材AおよびB）は一般構造用圧延材（SS400）にフライス加工を施して作成した。鋼材の加工について今回は外注としたが、特に放電加工についてはコストが高額となるため部材Bに関してはこの加工を避ける目的で3つのプレートに分割し皿ネジで固定する設計とした。部材Cについては材に軸力のみがかかるトラス機構の理想的なピン節点を実現するためM10寸切りボルト（こちらもSS400）の両端に雌ネジのロッドエンドベアリングを採用している。また、大きな軸力がかかることが予想される部材C₁はその分散のために2つ取り付けることとした。各部材は接合部1セットにつき4本の止め輪タイプヒンジピンを介して一体化しており、これらを付け外しすることで、簡単に組み立ておよび解体までが可能である。

施工実験を円滑に進めるため各部材の寸法誤差についてもあらかじめ検討し設計に反映している。木材加工に比べて鋼材加工に関してはほぼ寸法誤差は発生しないため、鋼材のみで完結するヒンジ部分については穴径およびヒンジピンの直径共に10mmとし、ヒンジピンにマイナス公差³⁾のものを選定するのみに留めたが、木材側の誤差が影響してくることが想定されるスタッドボルトとの嵌めあい部分については16mmのボルト径に対して16.5mmの通し穴を加工することとした。また集成板の切り欠き部分の寸法誤差を吸収する目的で、部材Cの寸切りボルトをロッドエンドベアリングの雌

ネジ長さ21mmから5mm手前に来るように長さを設定し、施工時にボルトを締める（緩める）ことで部材C全体の長さを調節できるような設計とした。部材Cの長さ調節に関しては、ベアリング内のボール部分が回転することによっても最大50度までロッドエンドを締める、もしくは緩めることが出来るため、より細かい寸法調整が可能である。

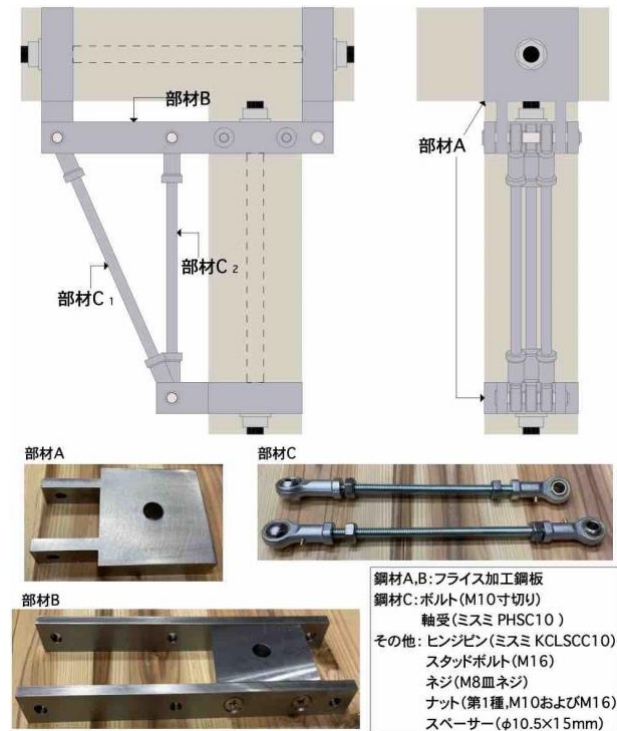


図4 鋼材接合部の概要

4. 構造性能について

4.1 構造計算の概要

本仮設ユニットは、耐火性能の確保や地盤との固定方法など建築物が満たすべき基礎的な項目に対する検討をそもそも行っていないが、施工実験の安全確保の観点から構造性能に対する指針を得るため、建築基準法第85条第5項に記された仮設興行場に該当することを想定し、長期荷重および稀に発生する荷重・外力に対して、許容応力度計算によりその安全性を確認することとした。確認手順は下記の通りである。まず設計物が木材と鋼材の混構造であるため、鋼材接合部について各荷重に対しての許容応力度検定を行い、その安全性が確認された後にユニット上部の接合部に関して剛接合と仮定し、静定ラーメンモデルを用いて木材側の検定を進める流れとした。また期限付き建築物の設計指針として、設計物の規模が小さい場合は、雪荷重および風荷重に対しては設計荷重の低減が可能であるが、2章で述べたリユース等の観点も鑑み、それぞれの部材にある程度の余剰性能を持たせることとし、この検討は行わないものとした。

4.2 設計物のモデル化と許容応力度検定

検討した鋼材接合部の力学モデルを図5に示す。実際の設計では、集成板内に通したスタッドボルト（φ=16mm）に嵌め込まれた鋼板に対してナットの締め付けによる力が働くことが予想されるが、今回のモデルではより安全側の検定を行うためナットによる部材の締結には期待せず、あくまでボルトの脱け防止の効果のみを考えている。詳細な計算手順については紙面の都合で割愛するが、表1で示した各構成部材における最大応力の値に対して許容応力度に因る検定を行い、その安全性を確認した。

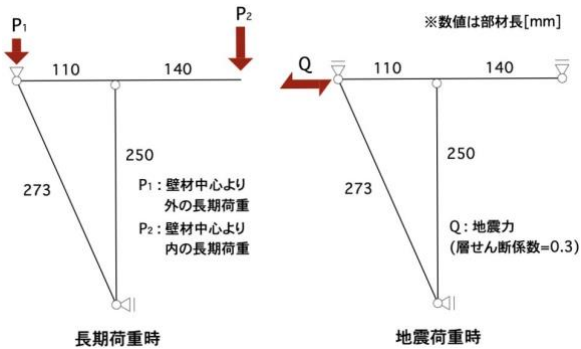


図5 鋼材接合部のモデル

表1 各部材の最大応力

荷重	部材	N_{max} (N/mm ²)	τ_{max} (N/mm ²)	M_{max} (N/mm ²)
長期	斜材	5.2	/	/
	鉛直材	4.8		
	水平材	0		
地震	斜材	13.2	/	/
	鉛直材	12.0		
	水平材	0		
短期	斜材	18.4	/	/
	鉛直材	16.8		
	水平材	0		

同じく木材側に関しても設計荷重に対してその安全性を確認した。図6、表2にそれぞれ検定に用いたユニット全体の力学モデルと各部材における応力の最大値を示す。

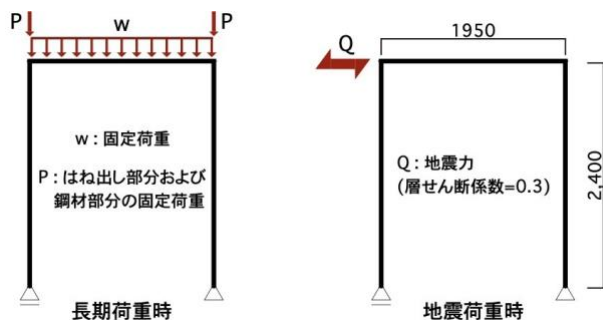


図6 集成板のモデル

荷重	部材	N_{max} (N/mm ²)	τ_{max} (N/mm ²)	M_{max} (N/mm ²)
長期	壁材	0.0065	0	0
	天井材	/	0.0056	0.12
地震	壁材	0.012	0.014	1.5
	天井材	0.0092	0.017	1.5
短期	壁材	0.019	0.014	1.5
	天井材	0.0092	0.028	1.5

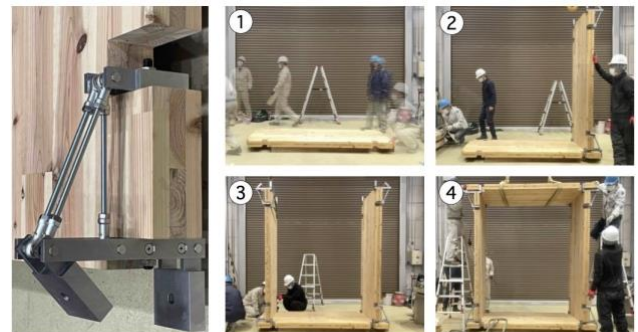
表2 集成板に生じる最大応力

またその他細かい構成部材（ヒンジピンやロッドエンドベアリング）、寸切りボルトの座屈に関する検討などについても本論にて同様の条件から導かれた力に対してその安全性を確認した。

5. 施工実験

5.1 施工実験の概要

2022年1月18日午後13時より九州大学建築構造実験棟にて本仮設ユニットの施工実験を行った。設計段階ではユニットを横に倒した状態で組み上げた後に天井材を引っ張り上げて起こすという施工手順を計画していたが、施工スペースの確保や安全性の観点から、図7のようにあらかじめ壁材となる集成板2枚に鋼材接合部の部材をある程度取り付け、実験棟内の天井クレーンを用いて吊り上げ・移動を行い床材および天井材と一体化させる方法をとることとした。



壁材への鋼材の取り付け

天井クレーンを用いた組み立ての様子

図7 施工実験のフロー

後述する問題により施工実験全体としては2時間ほど要したが、組み立て自体は20分弱で完了した。施工実験終了後の目視による確認ではユニット全体に歪みや振れは見られず、クレーンで全体を持ち上げる程度の自重による負荷であれば非常に安定しており接合部にも大きな隙間などは確認できなかった。

5.2 施工実験中に見られた問題とその考察

5.2.1 ヒンジ部分の嵌め合い

設計段階ではヒンジ部分に関しては寸法的な余裕を持たせていなかったが、ヒンジピンのマイナス公差のみでは、視認できないほどの部材間のごく僅かなずれ

も許されないため明らかに施工性が悪くピンが中々通らない場面が散見された。部材 B (3.2 図 4) 両端の通し穴径を 0.5~1mm ほど大きく設計すべきであったと考えられる。

5.2.2 重量

今回の施工実験のフローではクレーンを用いたため特に重量による大きな問題は生じなかったが、小規模仮設ユニットとしての実際の運用を考慮して人力のみでの組立解体も視野に入れるならば加工後の集成板 1 枚の重量約 85kg は施工性に悪影響を与えらると思われる。鋼材接合部も含め設計過程での形状や加工の変更に対応できるように、初期の部材選定の段階で各部材の断面に余裕を持たせていた面があるため、2 章に記した余剰性能を鑑みても集成板の厚みや各鋼材の断面積を改めて検討し、その時求められる条件に対して重量を最適化することは可能であると考えられる。

5.2.3 木材の加工精度および自然変形

使用した直交集成板について今回は工場でのプレカット等は行わず現場での工具加工を採用したため特にスタッドボルトを通す 16mm 貫通孔の加工において設計段階での想定誤差を上回る加工誤差が生じた。原因として加工前の集成板の保管方法に問題があり加工時に長軸方向で約 2mm の反りが生じていたこと、人力でのドリル加工では垂直水平を保ちながら加工するのが困難であることなどが挙げられる。結果的に今回の施工実験では加工時に開けた穴を最大 21mm まで拡張し組み立てを行った (図 8)。今後の課題として機械でのプレカットを検討することは勿論、今回のような鋼材接合部の組み立てが先行する手順では鋼材側の誤差吸収性能を十分発揮出来ず木材側に頼る形になるため施工フローに関してもあらかじめ十分考慮した設計が求められる。



拡張前 (16mm)

拡張後 (21mm)

図 8 修正前後の集成板貫通孔

5.2.4 トラス斜材および垂直材

ユニット組立後の調査において鋼材接合部内の両端に軸受が取り付けられた部材 (図 4, 部材 C) のうちユニット下部の 6 本について明らかに軸力が生じていない状態が見られた。その原因として、壁材の組立時の

初期変形が設計段階に想定していた誤差の吸収範囲に収まっており、そもそも部材に力が生じていない、もしくは集成板に通したスタッドボルトを両側からナットで締め付けたことでボルトおよび水平材 (図 4, 部材 B) に力が集中していることが考えられる。自重による負荷のみのため推測の域を出ないが、今回の両端軸受材の設計ではヒンジピンを通した後に長さを調節することができないため、例えば部材両端をそれぞれ右ネジ左ネジとし材間に二面取り加工を施すことで組立前後問わず軸力を調節できる設計などが望ましいと考えられる。

6. まとめ

本研究では、直交集成板と鋼材接合部によって構成される小規模仮設ユニットを開発し、その施工実験を行った。得られた知見と今後の課題を以下にまとめる。

- ・ 仮設としての部材リユースおよび使用期間後の材料リサイクルを想定し、木材-鋼材間の直接的接合を避けた仮設ユニット設計について施工実験までを遂行し、フィードバックを得た。
- ・ 天然材料である木材は鋼材に比べ、含水率による部材ごとの誤差や反りなどの自然変形が生じること、加工精度も特に孔加工については正確にセンターを取るのが難しく鋼材ほどの再現性はないことをあらかじめ考慮し設計する必要がある。
- ・ ユニット構成部材の各寸法および総重量について今回は結果的に人力での組立には多少重く、重機による組立としては得られる空間の床面積が物足りない。今後どちらを想定するにしても構造性能とのバランスを考慮しつつ寸法および重量の最適化が必要である。
- ・ 今後は構造性能に加え耐火性能の確保や地面との固定方法に関しても検討する必要がある。
- ・ 今回は施工実験のため自重による負荷のみであったが、接合部設計についての新たな知見を得るためにも大きな載荷を伴うユニットの性能試験が望まれる。

謝辞

仮設ユニット構成部材の加工にあたり、技術職員の窪寺氏、神田氏、氷上氏、川島氏、施工実験にあたり原田氏、川本氏、平井氏にはご助力頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 新型コロナウイルス感染症の影響に対応するための沿道飲食店等の路上利用に伴う道路占用の取扱いについて (令和 2 年 6 月 5 日付け国道利第 5 号): 国土交通省
- 2) 期限付き建築物設計指針 (第 1 版): 日本建築学会
- 3) 日本産業規格 (一般機械) JIS B 0401-1, 2
- 4) 鋼構造許容応力度設計基準: 日本建築学会, 2019
- 5) 木質構造設計基準・同解説: 日本建築学会, 2006