

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：55101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420572

研究課題名(和文) 地場産木材LVLを用いたヴォールト構造システムの開発

研究課題名(英文) DEVELOPMENT OF VAULT STRUCTURE SYSTEM USING LVL MADE OF REGIONAL WOOD

研究代表者

稲田 祐二 (INADA, Yuji)

米子工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：00249830

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：日本は戦後急速に植林された人工林が成熟期を迎え、国産材を使用しなければならない時代を迎えているが、その需要は低迷している。

地元山陰地方も同様な問題を抱えていることから、地域材の新たな需要を喚起するために新しい構造システムの開発を目指すことにした。採用する構造形式は、圧縮力に強いという特徴を活かし、荷重を主として圧縮力で伝えるヴォールト構造システムを採用する。また、構造材料として地域材から製造された杉LVLを用いることによって、小径木を有効に活用した力学的合理性を有する大空間建築システムの構築をはかった。構築したヴォールト構造システムは、6mプロトタイプの実験により、その性能が確認された。

研究成果の概要(英文)：Japan where the percentage of the forest area accounts for 2/3 of country area is among the top countries with the most forests. The wood self-sufficiency rate of Japan is about 20 percent, because we dependent on imported wood from foreign countries. Sanin-district where about 80 percent of the total area is a forest may have potential for development by effectively utilizing local wood. So the new structural system was developed to awaken to new demand of local wood. The structural type adopted the vault structure system to which the load is mainly transmitted by compression force, it's because a wood has the high compressive strength. The cedar LVL made of local wood was employed as the structural member. We plan for structure of large space construction system with the mechanical rationality by utilizing small size timber. The performance of the constructed vault structure system was confirmed by construction test of 6 m prototype.

研究分野：建築構造・材料学

キーワード：ヴォールト構造システム 地場産材 LVL 構造形式 施工性 合金物

1. 研究開始当初の背景

近年、地場産の木材は、輸入材に対して価格競争力をなくし、林業は益々衰退の状況にある。地方の中山間地においても事態は深刻であり、一部では過去に植林された樹木の管理ができず倒木となり、それが放置されている状況にある。このような状況を改善するためには、地場産材の需要を喚起するとともに、間伐材の有効利用が強く望まれるところである。近年、このような問題を解決する一つの方法として、地場産木材からLVLが生産されている。LVLは、原木をカツラムキにした板を積層することで、均質材料特性を有する長尺材が生産でき、かつ、原木の無駄を極力減らせるという利点を有している。本研究は、LVLあるいは間伐材を用いた新たな構造物を世に出し、地場産木材の需要拡大を目指した開発研究である。開発対象とした地場産材を用いた構造物は、中山間地で広く需要が見込めると共に、これまでほとんどがスチールパイプ製やアルミ製であったものを木質構造物への転換をはかることで、新たな木材の需要増大が見込める農業用温室やカーポート、さらには、倉庫、体育館の架構をイメージしたヴォールト構造物を想定した。

2. 研究の目的

山陰地方の総面積の8割を占める森林を豊富な資源として活用できれば、中山間地の新規雇用の確保や環境保全につながり、地域活性化の起爆剤となることが期待されることから、地場産木材の需要拡大を目指して、間伐材や木質ブロックあるいはLVL（単板積層材）を用いた新構造システムの開発研究を継続してきた。これら既往の研究より新構造システムに於ける部材接合部が、コストに最も影響を与える部位であると共に、その耐力が架構の崩壊荷重を支配する因子であることを明らかにした。本研究は新架構システムの合理的な新接合法ならびに構造形式を構築するため、実験により接合要素の力学特性を確認すると共に、これらの特性を活かした標準ヴォールト構造を構築し、様々なニーズに対応したヴォールト構造システムの確立を目的とする。

3. 研究の方法

本研究は3ヶ年で実施した。初年度は、地場産材を被接合部材とするビス接合およびボルト接合および両者の併用接合の剪断耐力と変形特性の計測に適する載荷装置を導入し、接合要素それぞれの構造特性を明らかにすると共に、基礎データを蓄積した。次年度は、初年度に行った実験結果を用いて新しい接合法を提案し、その強度および剛性を確認する実験を実施した。さらに、汎用解析ソフトを導入し、パイロット事業として3mスパンの標準ヴォールト構造の設計および施

工実験をおこなった。最終年度は、3mスパンのヴォールト構造物の施工実験を参考に6mスパンの標準ヴォールトシステムとして設計改良を行うと共に、6mスパンの最終標準ヴォールト構造の施工実験を行ってシステムとして完成させた。

4. 研究成果

(1) 設計コンセプト

設計条件としては、実用化を目指していることから建築基準法に適合するものとする。また、熟練した技術を持たない者でも容易に施工ができ、低コストで十分な強度を保持するものとする。さらに、木質構造物としての意匠性も兼ね備えたものとする。

(2) ヴォールト構造の概要

ヴォールト構造の主架構は斜交アーチで、横架材以外はトラス部材としており、軸力だけで力を伝達するスペースフレームである。使用している部材は横架材、斜材、下弦材、けらば材の4種類で構成している。(図1)主材は鳥取県産LVLの等級60E-225F・35V-30Hを使用する。尚、各部材の接合は、金物を用いたボルト接合である。

(3) 設計用荷重

①材料 鳥取県産 LVL 等級 60E-225F・35V-30H

金物 SS400

②規模 スパン6m 高さ3m 奥行6.8m

③建設想定地 鳥取県日南町

設計にあたり多雪地域を想定するため、鳥取県の中で比較的積雪量の多い日南町を建設想定地に選定した。設計荷重は表1の組み合わせで行う。垂直積雪深度は186cmである。表2に設計用荷重条件を、図2に節点の支配面積を示す。

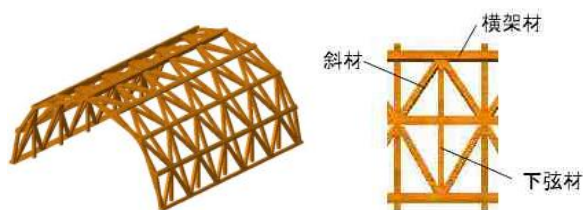


図1 ヴォールトの部材区分

表1 荷重の組み合わせ

長期	ケース	L-1	G+0.7S		
短期	S-1	G+S			固定荷重(G)
	S-2	G+W			積雪荷重(S)
	S-3	G+0.35S+W			風荷重(W)
	S-4	G+0.35S+K			地震荷重(K)

(4) ユニット式ヴォールト構造

①ユニットの組立法

はじめに3種類の部材を使い、長方形の枠にブレースの入った基本となるユニットを作る。作ったユニットとユニットをボルトで

区分	設計値	備考
仕上げ重量	20kg/m ²	
地震荷重	振動特性係数 1.0	
	地域係数 1.0	
積雪荷重	長期 0.7S	多雪地域
	短期 0.35S	
風荷重	地表面粗度 I	

接合し、4種類目の部材（下弦材）を使い位置を決める。同様の過程で結合することにより斜交アーチを基本としたヴォールト構造が形成される。（図3）

②模型によるスタディ

各ユニットをボルトで接合すると、締め固められ半円の形をしっかりと形成し、自立することを確認することができた。また内部からも軸組み構造が形成する意匠の美しさが見て取れた。（写真1）

（5）プロトタイプヴォールトの設計

①設計改良

風荷重時の変位が許容値を超えていたため、力学的により合理的になるように下弦材を足元と妻の部分に追加し、構造上イレギュラーとなる部分をなくした。（図4）

②接合部のディテールの設計

日本は災害列島で重力以外にも地震力、風圧力等を設計上考慮する必要があり、部材や接合部に引張力が作用することは避けられない。また、本構造は力学的、施工的、更にはコスト的にも接合部が要となる。今回は意匠性を重視して金物を木の中に挿入し、ボルトで接合するディテールを採用した。（図5）ディテール決定後、施工性をチェックするため1/1スケールの部分模型を製作した。（写真2）

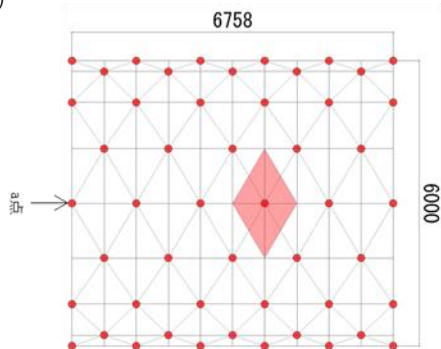


図2 各節点の荷重負担領域

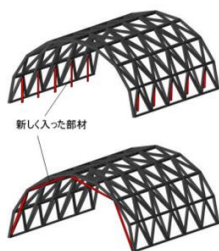
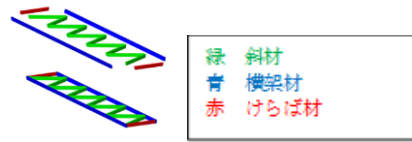


図4 追加部材による改良



図5 接合金物



(a) ユニットの組立



(b) ユニットの結合によるユニットの組立

図3 ユニット式ヴォールト構造の組立法

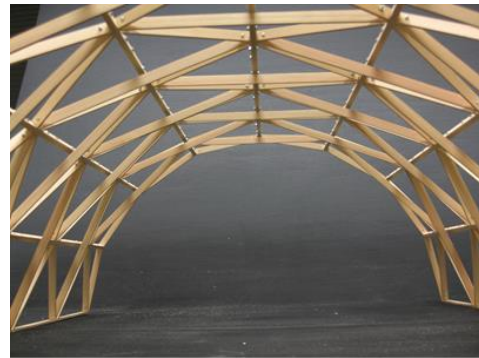


写真1 ユニット式ヴォールト構造の模型



写真2 1/1スケールの部分模型



写真3 3mスパンプロトタイプヴォールト

③3mスパン施工実験

6mスパンで設計を行ったプロトタイプヴォールトの半分のサイズの3mスパンによって施工実験を行った。今回の施工では重機等は使用しなかったため、ユニットを組んで結合する方法はとらなかった。施工の手順は両側から順に斜材、下弦材、横架材の順に組み立てた。単純に両側から組み立てた結果、頂部の金物が入らず、ボルトを緩く仮止めし余裕を持たせて組み立てを行い、ヴォールト全体が組みあがった後に本締めを行う方が良かったことが分かった。しかし、6mやそれ以上のスパンになると部材の重量も重くなり、頂部で調整することはできないため施工方法の検討を行わなければならないことが分かった。

(6) 改良型プロトタイプヴォールトの設計

①改良設計

プロトタイプの接合部ディテールは、横架材に対し両側から金物ではさみ、金物に斜材および下弦材を取り付けるディテールとなっていた。そのため金物に引張力が生じた際、図6のような金物のプレートが曲げ破壊を生じ、構造全体の耐力低下に繋がっていたため、1接合部当たり2個使っていた接合金物を図7のように1個にし、サイズも可能な限り小さくした。また、一本の長尺材で作られていた横架材を分割することで部材長さを短縮化し、コストの削減を行った。(図8)

②施工計画の検討

施工の手順は、図10の通りである。まず、ヴォールトの中央下部から下弦材から斜材の順に挿し込んでいく。中央下部の下弦材を挿入することで躯体は自立する。(図10) 施工の条件として図9のように接合金物の位置が2つ決まると間に入る斜材は入らなくなる。よって中央部から端部に向かって施工し、斜材及び金物は横から挿入し、下弦材は上から挿入する。斜材及び下弦材の組立が完了後に、横架材及びげらば材を取り付ける。

③6mスパン施工実験

3mプロトタイプヴォールトの施工実験とは規模の違いや接合金物の改良による施工方法の変更などがあるため、新しい施工実験として行う。改良型プロトタイプヴォールトの施工性を確認し、少人数かつ短時間で重機を使わずに施工できるか確認する。今回基礎はなく仮設のため、自重分のスラストを処理するための土台を作成し、その上に二段の足場を建設した。施工は大工4人と米子高専学生7人、教員2人の計13人で行った。使用した道具はインパクトドライバー、ハンマー等の工具のみで熟練した技術がなくても施工できることを確認した。また躯体の組立は約半日で終わったため、短時間で施工できることも確認できた。ヴォールトを内部から見た結果、木造の美しい軸組により迫力のあるヴォールトが完成した。(写真4) また、接合金物を変更したことによって、改良型プロトタイ

プではボルトの頭以外は金物が見えないようになり意匠性の向上も確認できた。

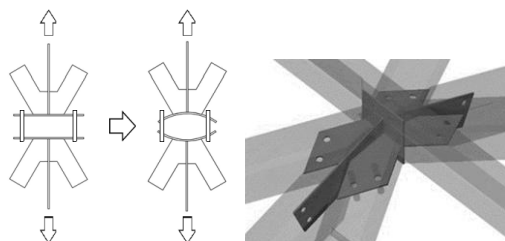


図6 金物の曲げ破壊 図7 改良型の接合金物

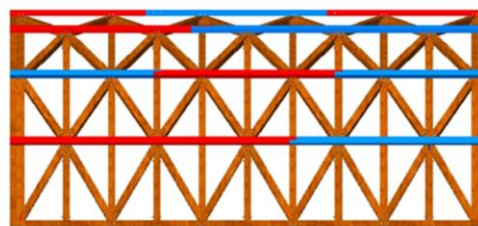


図8 横架材の分割

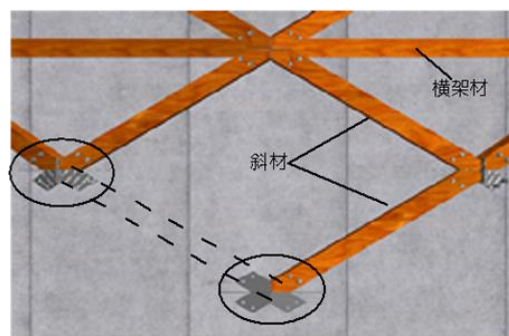
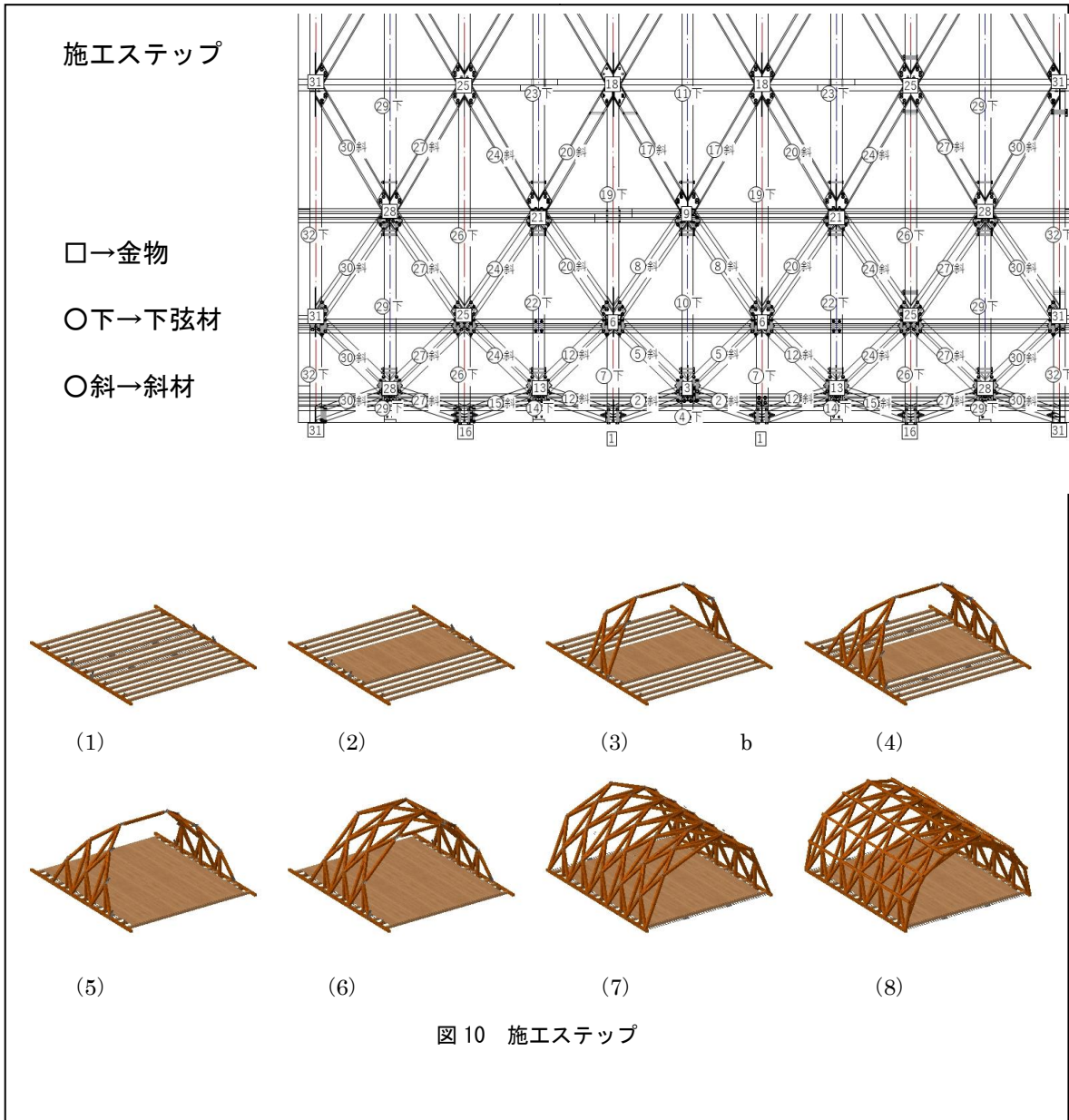


図9 改良型プロトタイプの施工条件



写真4 6mスパン改良型ヴォールト構造



(7) まとめ

以下,本研究で明らかになった事項を例記する.

- 1) 接合金物のディテールを改良することで,コスト削減および構造体の軽量化に成功した.
- 2) 短小材による大空間構造物の構築といった観点から横架材を分割し,最大部材長さを短縮した.
- 3) 施工実験を行うことで改良型プロトタイプでの施工性を確認できた.
- 4) 開発した新しいヴォールト構造システムは様々な規模の架構に展開が可能である.

参考文献

- 1) 海道他: 地域材の有効利用のための新建築構造システムの開発, 建築学会中国支部研究報告, Vol. 35, 079, 2012. 3
- 2) 中町: 地場産木材の建築構造材への有効利用に関する研究 2015年中国地区高専専攻科交流会予稿集, 2015. 4
- 3) 日本建築学会: 木質構造設計基準・同解説 2009. 3. 25
- 4) 全国 LVL 協会: <http://www.lvl.ne.jp/index.html>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 4 件）

①中町将人, 藤原圭太, 中村駿希, 野津直樹, 稲田祐二, 松本幸大, 北農幸生, 玉井孝幸, 地域材を用いた新構造システムの開発, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 40 巻, 2017. 3, pp. 137-140

②藤原圭太, 中村駿希, 中町将人, 稲田祐二, 松本幸大, 北農幸生, 繰り返し荷重を受ける単板積層材接合部の復元力特性に関する実験的研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 40 巻, 2017. 3, pp. 117-120

③中町将人, 河本和希, 藤原圭太, 稲田祐二, 松本幸大, 北農幸生, 地場産単板積層材のボルト接合における締め付けトルクと耐力性状に関する研究, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 39 巻, 2016. 3, pp. 37-40

④中町将人, 渡部裕生, 高森伸仁, 藤原圭康, 浦木博之, 稲田祐二, 玉井孝幸, 北農幸生, 単板積層材の積層方向が接合部の耐力に及ぼす影響について, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 38 巻, 2015. 3, pp. 273-276

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲田祐二 (INADA, Yuji)

米子工業高等専門学校・建築学科・教授

研究者番号：00249830