

鳥取県環境学術研究等振興事業費補助金研究実績報告書（環境部門）

研究期間（ 2年目/ 3年間）

研究者 又は 研究代表者	氏名	(ふりがな) いなだ ゆうじ 稲田 祐二
	所属研究機関 部局・職	米子工業高等専門学校 建築学科・教授 電話番号 0859-24-5172 電子メール inada@yonago-k.ac.jp
研究課題名	地場産木材を用いた建築空間構造システムの開発	
研究結果	<p>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、単板積層材（LVL）を用いた新構造システムの開発研究を行っている。</p> <p>平成26年度の研究では、地場産 LVL 部材のビス接合、ボルト接合および両者の併用接合の復元力特性を確認する実験を実施し、基礎データを蓄積した。即ち、複数本のボルト接合の復元力特性は、1本のボルトの復元力特性の累加として表される事を明らかにした。ビス接合のせん断耐力については、ビスの引き抜き耐力が最終強度に影響を与えることから、15kN の能力を有する万能試験機を導入し、引き抜き試験及びビスの曲げ試験を行い、地場産 LVL でも引き抜き耐力が終局耐力に影響を与える事を明らかにした。更に、得られたデータについて既往の実験データとの照査を行うと共に、地場産 LVL の接合種別ごとの特性としてまとめた。</p> <p>平成27年度の研究では、上記の接合法に関する研究成果を踏まえ、LVLのラミナの積層方向がもたらす影響及びボルトに用いる座金の違いと締め付けトルクがもたらす影響を明らかにするための実験を行い、前者の影響はほとんどないが後者については大きく影響することを明らかにした。更に、立体ヴォールト構造物のプロトタイプ的设计及び施工実験を通じて、設計で想定した構造性能と施工性能を有することを確認した。また、基礎実験と施工実験の結果を参考にしつつ、プロトタイプのコストダウンと意匠性の向上を目指した改良型プロトタイプ的设计を行った。</p>	
研究成果	<p>地場産 LVL を対象にしたボルト接合について静的載荷実験を行い接合部強度の性状を明らかにした。即ち、接合部強度に対する建築学会「木質構造設計規準」算定式の適用性について検討し、破壊モードおよび耐力ともに算定式が鳥取県産材 LVL に対しても妥当性を有していることを確認した。更に、LVL 特有のラミナの積層方向と接合金物の方向の違いが強度に与える影響を実験により検討した。その結果、ボルト接合においてはラミナの接着方向と接合金物の方向の違いが強度特性に与える影響はほとんどないことを明らかにした。また、ボルト接合に用いる座金の大きさおよび締め付けトルクをパラメータとして接合部の構造性能実験を行い、座金の大きさと締め付けトルクが及ぼす影響を明らかにした。これらの結果をもとに研究の最終目的である新しい建築空間構造システムの具体例として立体ヴォールト構造物の構造計画及び、その改良設計を継続した。本研究開発で目指す構造システムは、小径木による大スパンのスペースフレーム構造物であることから、部材接合部の強度特性やその形状が施工性に大きく影響を与えることが予想されるため、考えられる接合法の改良を精密に行った。特に、新構造システムに関する施工性については構法が確立されていないため、パイロット事業として3m スパンのプロトタイプによる施工実験を行い、設計条件を満足することを確認した。一方、コストの削減や施工性の向上、意匠性の向上を目標とし改良型プロトタイプ的设计も行った。構造計算は建築基準法に基づく許容応力度設計法とした。また、施工方法を検討するために1/1スケールのモックアップを製作し、施工性の確認をした。更に、改良型プロトタイプヴォールトの施工計画を検討することで、6mスパンの改良型プロトタイプヴォールトシステム的设计と施工計画を完了した。</p>	

<p>次年度研究計画</p>	<p>平成26年度および27年度の研究成果をもとに平成28年度は新構造システムの開発研究を完了する。研究開発の最終目標とする6m スパンの改良型プロトタイプの新構造システムの建設を鳥取県内で行う。建設地および用途が決定後に基礎スラブ・腰壁の設計、外装材の設計ならびに建設地に適合した構造計算を実施し構造設計を完了する。また、施工計画を精査し合理的な施工法を実践することにより、様々なスパンの建築構造物に展開が可能なシステムの実証例とする。完成した実証棟は、新構造システムの展示棟とし今後の展開の起爆剤として活用する。</p> <p>一方、新構造システムの耐震設計に必要となる地場産 LVL を用いたボルト接合部の復元力特性を正負交番繰り返し載荷実験により確認する。得られた復元力特性を用いて耐震性能を確認するシステムの構築を検討する。更に、平成27年度に施工実験に用いたプロトタイプを実験供試体とした新構造システムの鉛直載荷実験を行う。これらの学術的な研究成果は平成26年度と27年度に実施した研究成果とあわせてまとめ、本構造システムの中大規模の建築構造物への適用の基礎資料とする。</p>	
<p>報告責任者</p>	<p>所属・職氏名</p>	<p>総務課企画・社会連携係 木下 裕子 電話番号 0859-24-5007 電子メール kikaku@yonago-k.ac.jp</p>

- 注1) 表題には、環境部門、地域部門、北東アジア学術交流部門のいずれかを記載すること。
2) 「研究期間（ 年目/ 年間）」及び「次年度研究計画」は、環境部門のみ記載すること。
3) 研究者の知的財産権などに関する内容等で、非公開としたい部分は、罫線で囲うなど明確にし、その理由を記すこと。
4) 研究実績のサマリーを併せて提出すること。

地場産木材を用いた建築空間構造システムの開発

米子高専 建築学科

稲田 祐二

1. はじめに

日本は、国土における森林面積の割合 2/3 を誇り、世界でもトップクラスの森林大国である。しかしながら現状は、国内の木材自給率が 2 割程度で、多くは海外からの輸入材を使用している。また、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。一方、戦後の需要に供給が追いつかず、比較的成本のかからない輸入材に頼ったことや、燃料革命で薪炭材としての需要が激減したことで、国産材の需要は低迷している。結果として、産業として立ち行かなくなった林業は衰退し、森林の整備が行われず荒廃している人工林が少なくない。

さらに、近年取りざたされる「環境問題」を考えると、世界的には熱帯雨林の著しい森林減少が深刻化しており、輸送にかかるエネルギーも問題とされる。また、国内では植林する場所はほとんどないため、森林の整備を行い本来の機能を保持する森林面積を増やす必要がある。よって、国産材自体の需要を拡大することが重要である。

地元山陰地方でも、国内の森林の現状に関して同様の問題を抱えており、総面積の 8 割弱が森林であることから、豊富な資源として活用できる可能性を持っている。

そこで、地場産木材を利用するにあたり木材の圧縮力に強いという特徴を活かし、構造形式として力を圧縮で伝えるヴォールト構造を採用し、構造材料として地場産材から製造された LVL を用いる。その結果、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の構築を目指す。

2. 研究方法

既往の研究^{1) 2)}では 6m スパンで旧プロトタイプヴォールトが設計された。本研究では既往の研究で提案された旧プロトタイプヴォールトの問題点を整理し、6m スパンの改良型プロトタイプヴォールトを設計する。

改良型を設計するにあたり、3m スパンの旧プロトタイプヴォールトの施工実験を行い、施工性を確認するとともに、接合部等のディテールの検討を行う。建築基準法に基づく構造計算は許容応力度設計法とする。改良型では、特にコストの削減や施工性の向上、意匠性の向上を目標とし設計を行う。また、施工方法を検討するために 1/1 スケールのモックアップを製作し、施工性の確認をする。さらに、実際に改良型プロトタイプのヴォールトの施工計画を検討することで、6m スパンの改良型プロトタイプヴォールトの設計を完了した。

3. 改良型ヴォールトの設計

3.1 3m スパンのヴォールトの施工実験

既往の研究で提案された旧プロトタイプのヴォールトの部材は、横架材、斜材、下弦材、の大きく分けて 3 種類で構成されている。6m スパンで設計を行った旧プロトタイプのヴォールトを 3m スパンの縮小型に変換し、3m スパンの旧プロトタイプヴォールトによって施工実験を行った。

施工の手順は両側から順に斜材、下弦材を組み立て、横架材を取り付ける流れで行った(写真 1)。ヴォールト構造の両側から組み立てを行い、最終的に頂部で調整を行った。3m スパンのヴォールト施工実験を行った結果、最終結合を頂部で調整する施工方法は、6m スパンにおいては、ヴォールト構造の高さや部材の重さの関係から難しいことが分かり、施工方法の改良行わなければならないことが分かった。一方、設計荷重は表 1 に示した通りであり、垂直積雪深度は 186cm である。写真 2 で分かるように大人が 6 人乗っても支障がないことを確認した。

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
	S-2		G+W
	S-3		G+0.35S+W
	S-4		G+0.35S+K

固定荷重 (G)
積雪荷重 (S)
風荷重 (W)
地震荷重 (K)

3.2 旧プロトタイプの問題点²⁾

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図1のようなディテールとなっていた。そのため金物全体に引張力が生じた際、図2のような金物のプレートが曲げ破壊を生じ、金物の耐力によってヴォールト構造全体の耐力が決まっていた。そのため金物の耐力を向上させるように新たな接合ディテールを検討する必要がある。また、接合金物については、図3で分かるように接合金物の数量が部材数に対し多く、コスト削減のために接合金物のサイズダウン、個数の削減が必要である。

更に、短小材による大空間構造物の構築の観点から、一本の長尺物で作られている横架材の部材長さの短縮化が必要である。

3.3 接合金物の設計³⁾

接合金物のディテールの検討には以下のような条件があげられる。まず、図2で示すような引張力によるプレートの曲げ破壊が生じない形状とすること、次に接合金物の個数削減やサイズの小型化をはかり、コスト削減および構造体の軽量化を目指すものとする。結果、考案した改良型の接合金物を図4に示すディテールとした。即ち、1接合部当たり2個の接合金物を1個にし、サイズも可能な限り小さくした。1接合部当たりの接合金物を1個にすることで、上述したプレートの曲げ破壊の問題は解決した。また、1節点に必要な接合金物が半分になったため、接合金物の個数は旧プロトタイプに対して半分となり、接合金物の個数及び接合用ボルトの本数削減により、コスト削減に成功した。さらには、図3に示す旧タイプと改良型を比較して分かるように、構造全体の木材に対する接合金物の割合も減少し、構造体の軽量化に成功した。

3.4 横架材の設計

旧プロトタイプのヴォールトでは、横架材が1本の長尺物であり設計コンセプトとの相違があったため、図5に示すように、横架材を2パーツもしくは3パーツに分割し、部材の短縮化を図った。横架材は梁材として曲げ応力の処理を行っているため、図5に示すように横架材が2節点以上に接合され、ゲルバー梁となるよう工夫し、安定するように設計した。



写真1 施工実験の様子



写真2 完成後の3mスパンヴォールト構造



図1 旧タイプの接合部

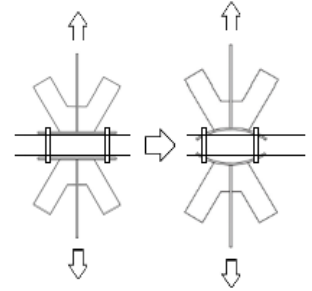


図2 金物の曲げ破壊

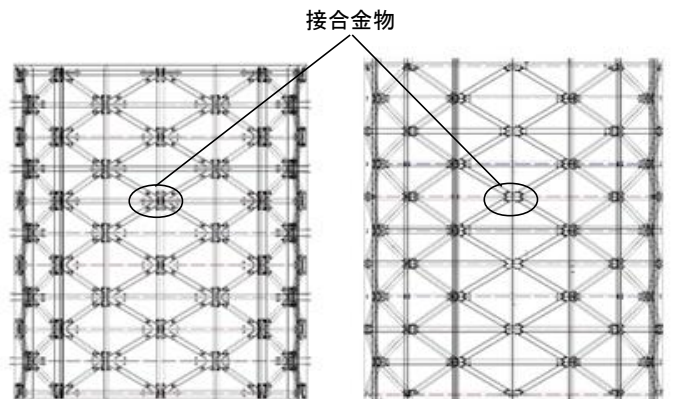


図3 旧タイプ伏図(左) 改良型伏図(右)

3.5 モックアップの製作

改良型プロトタイプヴォールト構造の設計の最終段階として、施工性の確認も含め、1/1スケールのモックアップをスタイロフォームを用いて製作した。写真3で分かるように旧プロトタイプに比べ、接合金物の見え掛かりは少なくなり意匠性の改善にも成功した。モックアップを製作することで部材の施工条件の確認も行った。図6に示すように2つの接合金物の位置が決まると間に入る斜材は組み立てが不可能になる。また、下弦材は側面から見ると円の中心に向かった台形となるため外側から挿入する必要があることを確認した。

4. 施工計画の検討

図8に示すパターン1は施工出来ないパターンである。図8のStep. (1-1)からStep. (1-2)のように両側から組み立てていくと頂部で図8(a)のようになり、頂部の接合金物が入らない状況になる。解決策として、頂部の斜材を片側のみ半割りにすることで施工が可能になるが、構造部材を割ることは合理的ではないといった観点から、採用しない。図8に示すパターン2が採用を予定している施工方法である。両側から順に組み立てる点はパターン1と同様であるが、パターン2ではStep. (2-1)からStep. (2-2)のように中央部のみを頂部まで組み立てる。頂部まで組み立てたら図8(b)のように横から頂部の接合金物を取り付ける。次に、斜材を横から差し、Step. (2-3), Step. (2-4)と外側に組み立てていく。斜材および接合金物を横から差しして組み立てるにあたり柱脚部の接合金物については、図8(c)のように土台に接合金物をスライドするための溝孔を作っておくことで、横から接合金物を差すことを可能とした。Step. (2-5)のように斜材および下弦材の組み立てが完了したら、最後に横架材を取り付け、施工完了である。尚、図8には支保工は省略しているが、実際の立て方には必要である。



写真3 1/1スケールのモックアップ

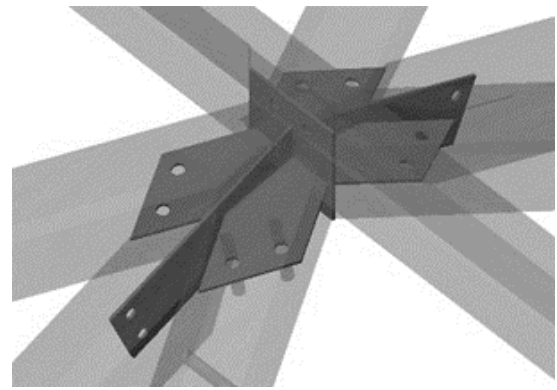
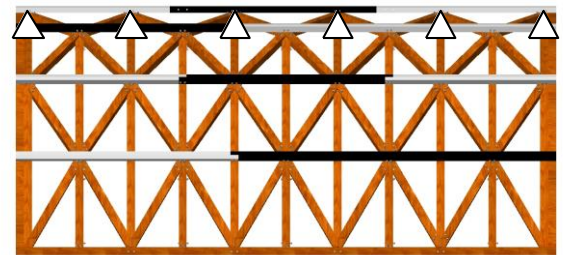


図4 改良型の接合金物



△ 横架材の接合位置

図5 改良型の横架材

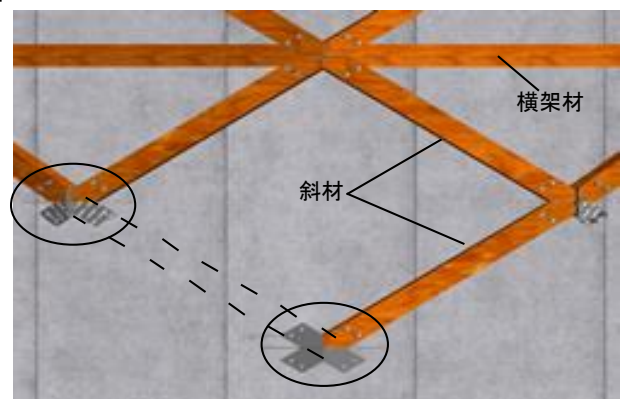


図6 斜材の施工条件

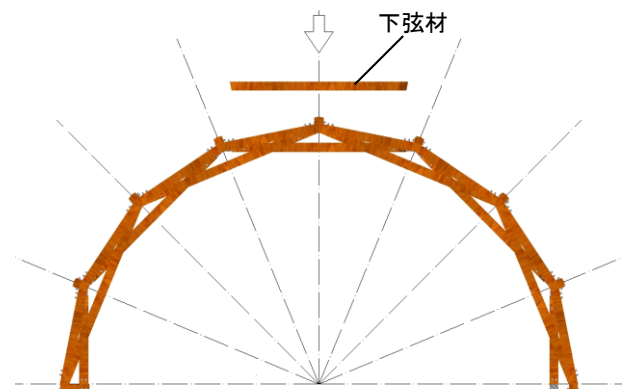


図7 下弦材の施工条件

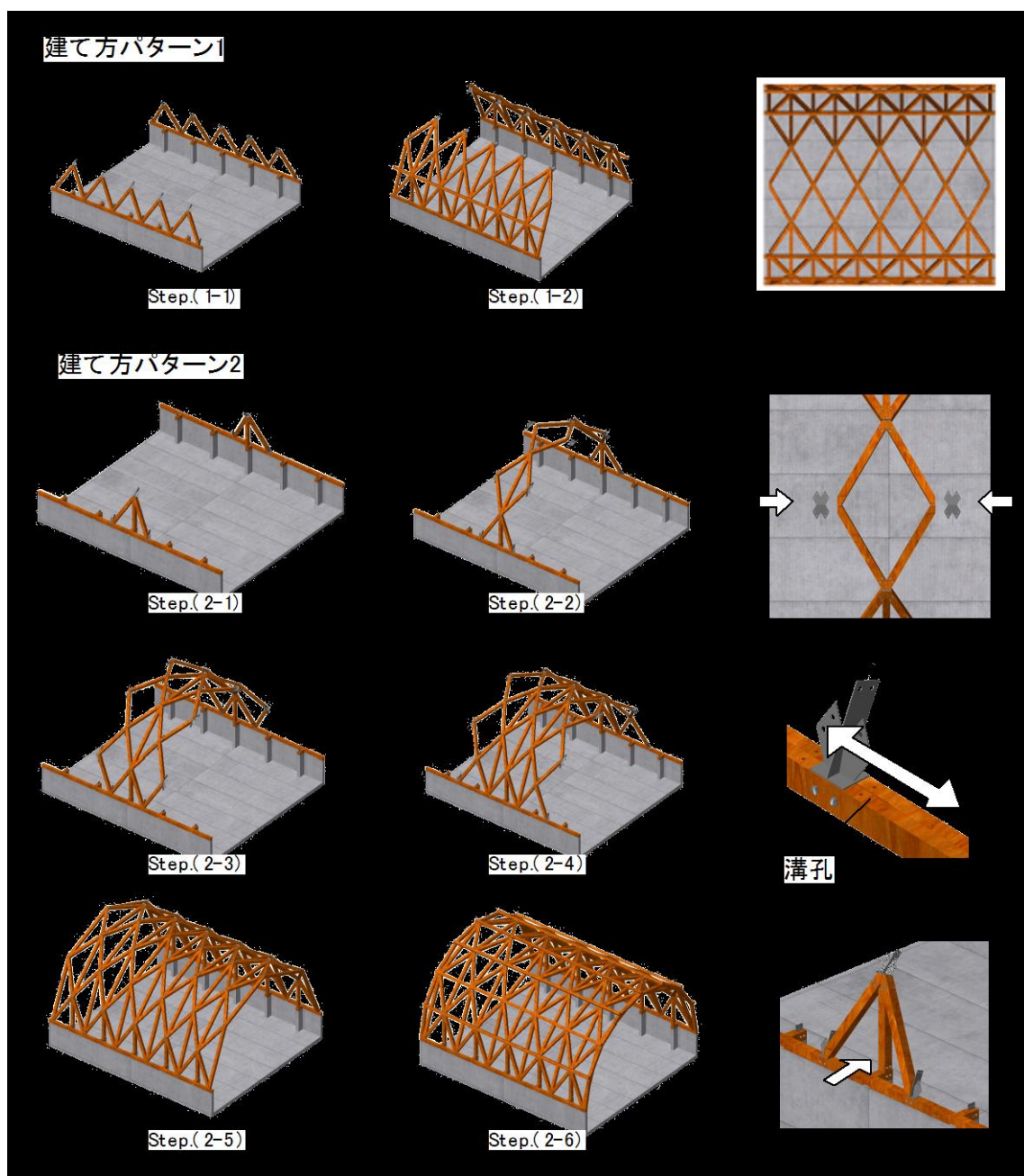


図8 施工計画

5. 結論

- ・接合金物のディテールを変更することで、コスト削減および構造体の軽量化に成功した。
- ・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。
- ・モックアップを製作し、改良設計および施工計画を確認した。

文献

- 1) 細井:地場産木材の建築構造材への有効利用に関する研究 LVL を用いたヴォールト構造の開発 2014.3
- 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年専攻科交流会 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>