第３章　愛媛県推奨トラスの実験の経緯とこれからの展望

１　初代フィンクトラスの破壊実験を経て改良フィンクトラスへ

平成 29 年 7 月 19 日に愛媛県久万高原町にある愛媛県林業研究センターで初代フィンクトラスの破壊実験を行った（写真１）。これは木に携わる川上から川下までの方たちの連携事業の一環として７体のトラスの実験を行ったうちのひとつである。この７体の実験を経て、愛媛県として推奨できるトラスの形態をこのフィンクトラスと位置づけ、さらに改良を重ねて、正式な推奨トラスを模索していきたい。まずは、初代フィンクトラスの実験から学んだことを改良フィンクトラスにて実証していく。

ここでフィンクトラスの構成について記しておく。山形トラスで、鉛直の束材が無く、斜材と登梁、陸梁で構成された美しいトラスである。特徴として、陸梁部分が３種類の部材で構成されており、継手を挟んで中央部をシングル、両端部には合わせ梁形状とし中央のシングル部材及び斜材を合欠形状で挟み込む造りである。

写真1　初代フィンクトラス

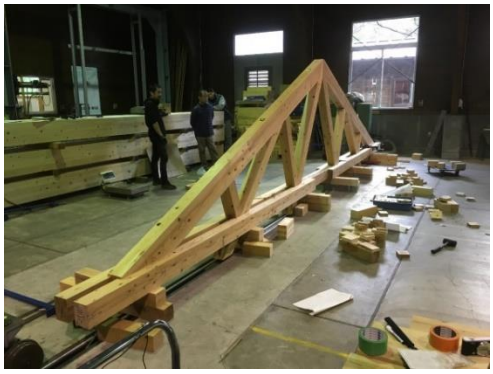


写真2　改良フィンクトラス

２　初代フィンクトラスの破壊箇所

初代フィンクトラスの試験結果概要である。長期設計荷重（30ｋN）時のスパン中央のたわみは 12 ㎜、破壊荷重は、75.5ｋN。破壊性状は、50kN 程度まで比例増加し、（グラフ１の①）75.5kN で陸梁継手（継手 H1)の木部がせん断破壊し、荷重が 20%以上低下し破壊となった。その後も載荷をつづけると、荷重は再増加し、(グラフ１の②）77.0kN で逆側の陸張継手（継手 H2）が木部せん断破壊し、50.6kN まで荷重低下（34%低下）した。その後は再び荷重が増加し、(グラフ１の③）97.7kN で最初に破壊した継手（H1)の残存木部がせん断破壊、(グラフ１の④）同継手でボルトから割裂破壊した。なお破壊荷重 75.5ｋN 時の合掌尻の変位は３㎜程度と小さく、登梁の軸力が陸梁に十分伝わっていたと思われる。また、部材には乾燥による表面割れが多く見られたが、割れが起因となった破壊は見られなかった。

（写真３、４、５、グラフ１）

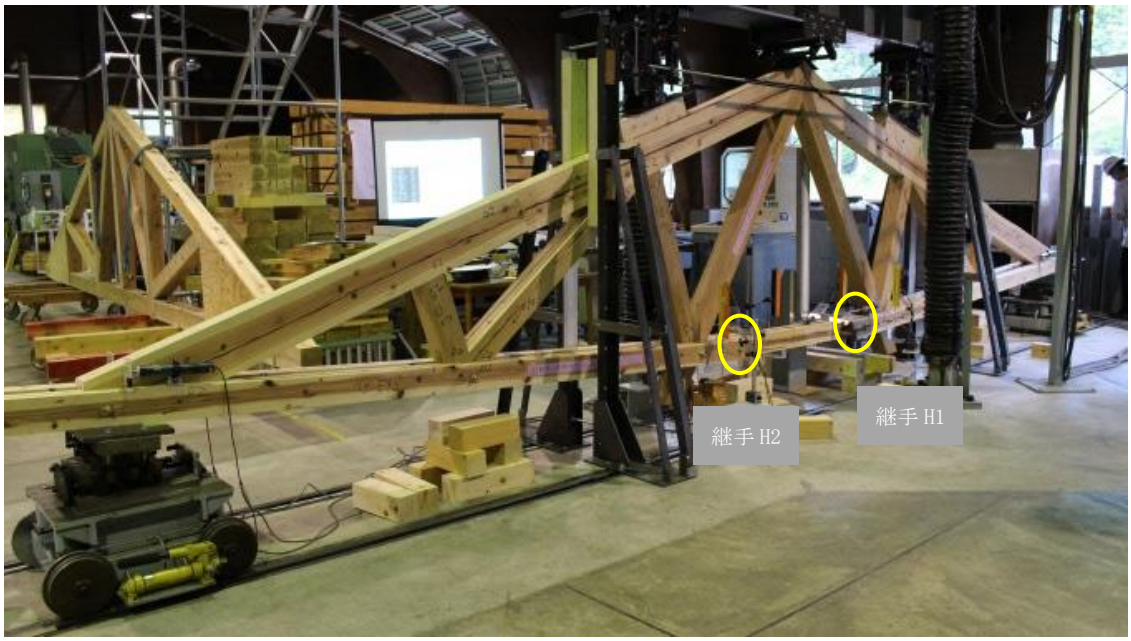
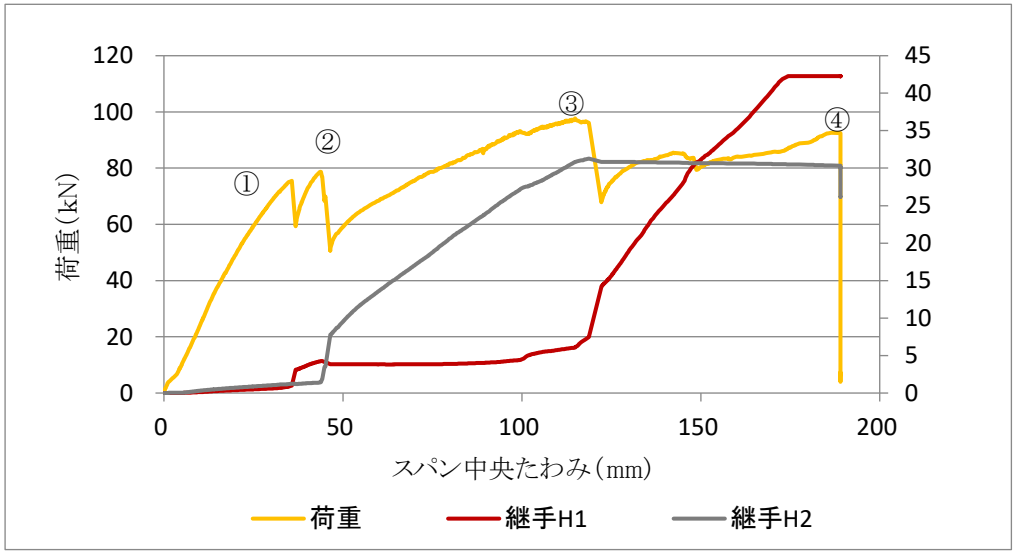


写真3　初代フィンクトラス破壊箇所



グラフ１　荷重とスパン中央たわみの関係

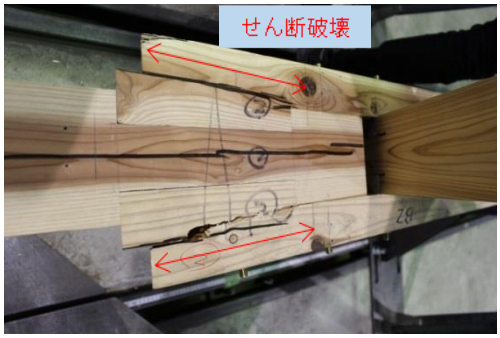


写真4　継手H1の破壊状況

写真5　継手H2の破壊状況

写真6 トラス頂部登梁と斜材の接合部分のめり込み状況

3　初代フィンクトラス実験結果からのアドバイスと実用化に向けての注意事項

図1の A 部の陸梁の継ぎ手については、トラス全体の要にもなることから、複数の強度試験、あるいは荷重を長期間かけた場合の変形性能等を確認しておくことが望まれる。また B 部の納まりについては、ラチス材と上弦材の力の伝達が確実にされるよう、プレカット加工機の許容範囲も考慮し、ディテールの再度の検証をしてみることが望まれる。C 部の合掌尻についても木材の繊維方向と力の流れの関係を再度整理しておくことが必要である。

実務の設計では、母屋の位置が必ず上弦材とラチス材の交点にあるわけではなく、その際は上弦材に曲げモーメントが入るため、曲げモーメントと圧縮力の複合力が作用するとして材料の検討を行う必要がある。また暴風時の風についても考慮して部材寸法および接合部の決定をしていくことが必要である。

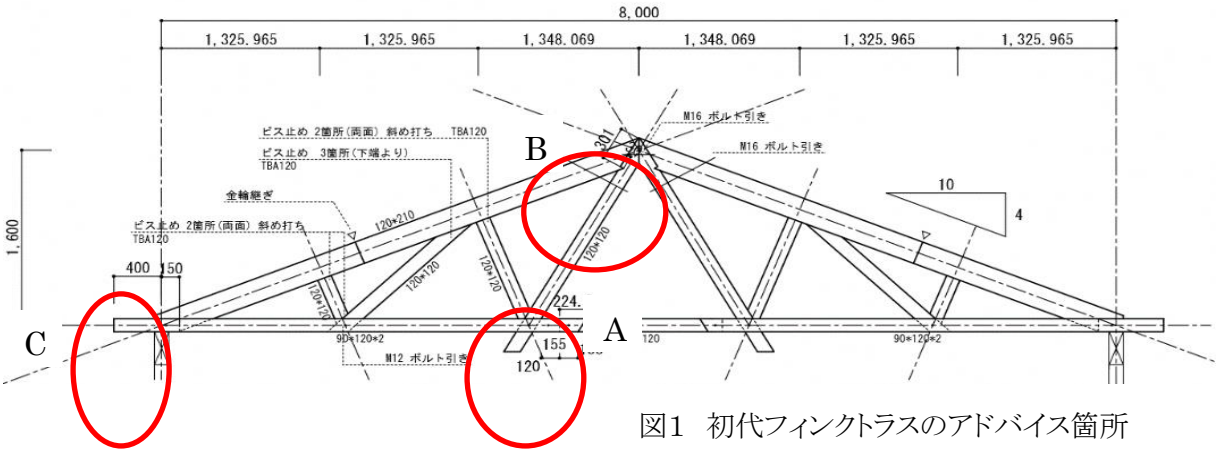


図1　初代フィンクトラスのアドバイス箇所

4　改良フィンクトラスの改良点

初代フィンクトラスの実験結果をふまえ、改良フィンクトラスの計画を行った。6ヶ所の改良を行い再度の実験に臨むこととした。

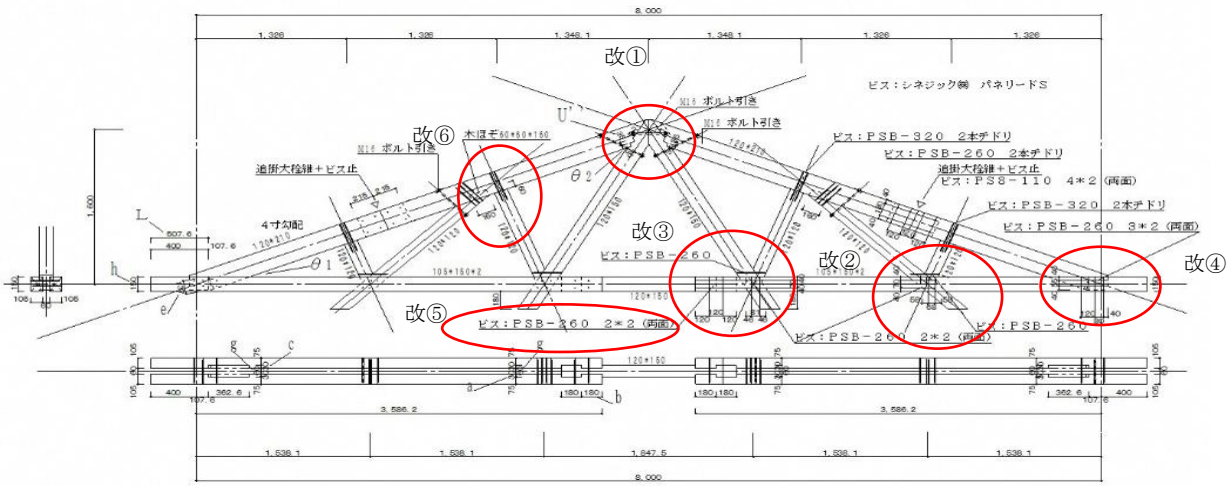


図2　改良フィンクトラスの変更箇所

改①　トラス頂部の登梁と斜材の接合部分の支圧面積の拡大

初代フィンクトラスのトラス頂部の破壊写真（写真６）の通り支圧面積の貧弱さが起因した、めり込み破壊を解消すべく支圧部分を２段とし支圧面積を拡大した。（図２、３）（写真７、８）

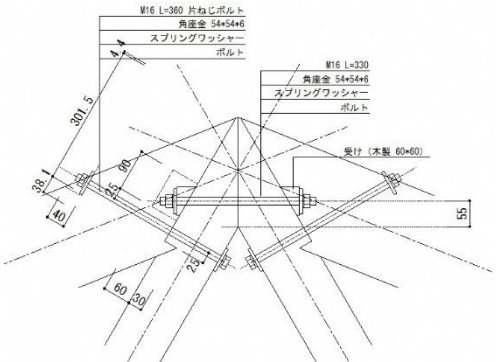


図2　初代フィンクトラスの頂部

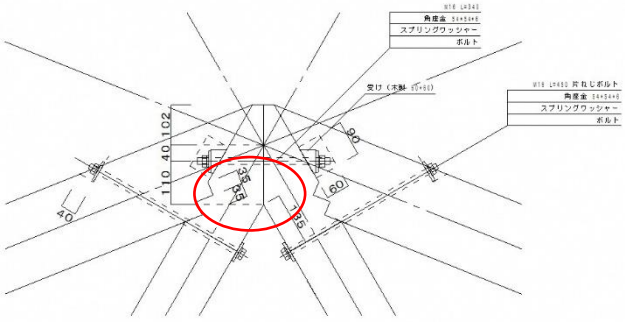


図3　改良フィンクトラスの頂部

写真7　初代フィンクトラスの頂部

写真8　改良フィンクトラスの頂部

改②　外部側斜材２の斜材尻の延長

トラス登梁に掛かる荷重を等分布荷重とすると外側の斜材２にも軸力（引張）が発生するため、内側の斜材１と同様に斜材尻を嵌合接合とし延長した。（写真９、１０）

写真９　初代トラスの斜材2

写真10　改良トラスの斜材2の延長

改③　陸梁嵌合接合部のせん断長さの延長

陸梁接合部の破壊写真（写真４、５）にある通りせん断長さ不足に起因するせん断破壊の改良として、嵌合部せん断長さを 155ｍｍから 180ｍｍと延長（写真１１、１２）

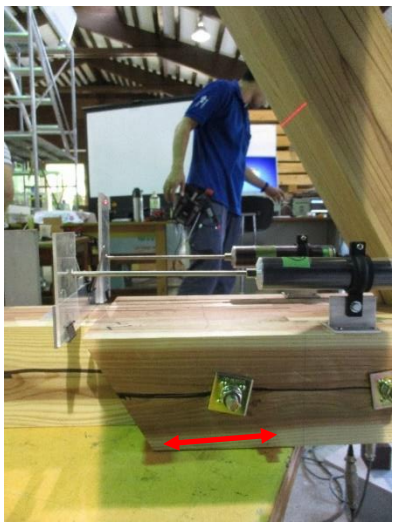


写真11　初代トラスの嵌合部

写真12　改良トラスの嵌合部の延長

改④　合掌尻の支圧面積の拡大

合掌尻の支圧角度を変更することにより支圧面積を拡大。初代フィンクトラスは、支圧面を陸梁に対して垂直で設計。改良フィンクトラスは、陸梁に垂直な面と登梁に垂直な面で構成された角度の中間の角度にて計画。（図４、５）

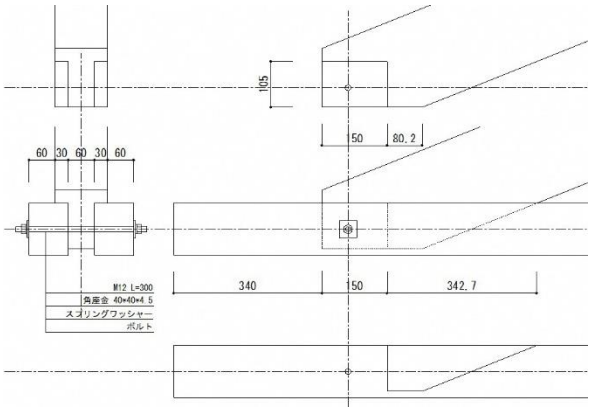


図4　初代フィンクトラスの合掌尻

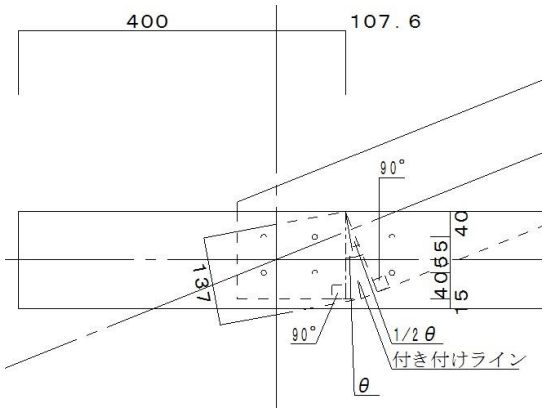


図5　改良フィンクトラスの合掌尻

改⑤　嵌合接合の補助接合をボルト接合からビス接合に変更

初期ガタ改善のためにそれぞれの嵌合接合部分の補助接合をボルト接合からビス接合に変更。（図６）

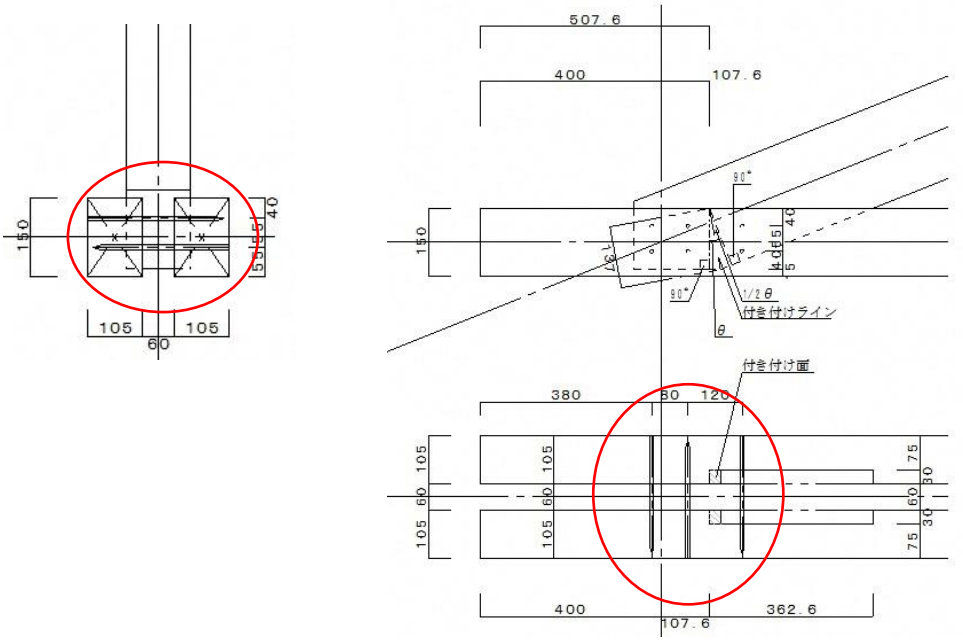


図6　改良フィンクトラスのビス接合

改⑥　外側斜材２と登梁接合部にホゾの取付

改②と同様にトラス登梁に掛かる荷重を等分布荷重とすると外側の斜材２にも軸力（引張）が発生するため、ホゾを設けることにより引張力に抵抗させる。（図７,８）

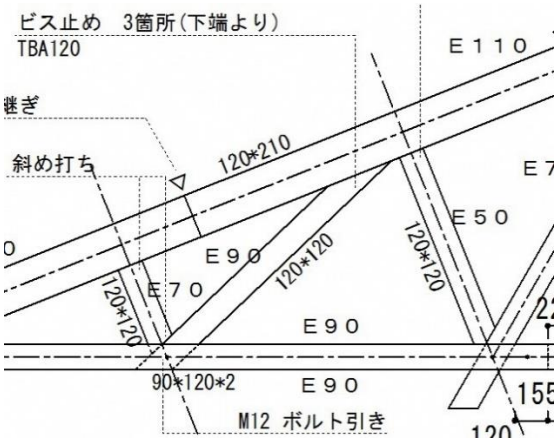


図7　初代フィンクトラス

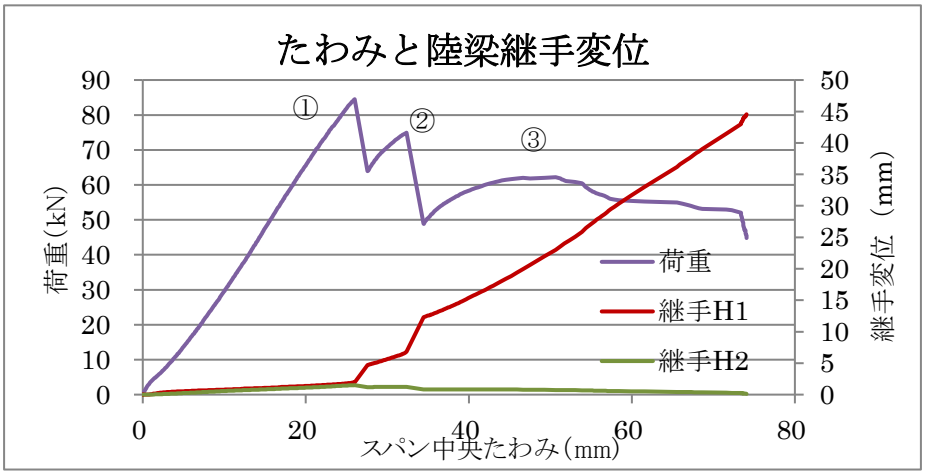
図8　改良フィンクトラス

５　改良フィンクトラスの破壊箇所　（写真１３に破壊進行状況を示す）

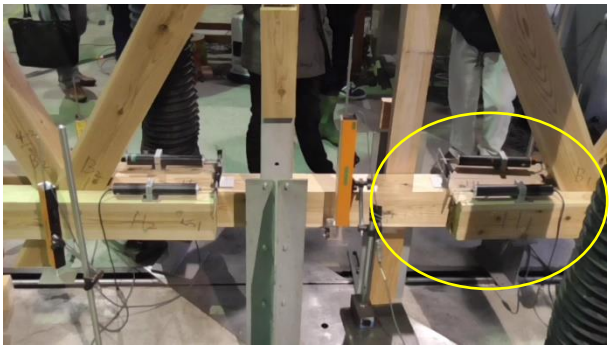
改良フィンクトラスの試験結果の概要である。長期設計荷重（30ｋN）時のスパン中央のたわみは 10 ㎜、破壊荷重は、84.5ｋN。破壊性状は、70kN 程度まで比例増加し、（グラフ２の①）84.5kN で陸梁継手（継手 H1)のＥ90 側の嵌合接合部が先行してせん断破壊して荷重が 63.9kN まで低下、引き続き載荷をつづけると荷重は再増加し、（グラフ２の②）74.8kN でＥ70 側の嵌合接合部がせん断破壊し荷重が 48.9kN まで低下した。再び載荷を続けると緩やかに荷重が増加し（グラフ２の③）62.2kN を頭打ちとし変位は増加するが荷重は減少して、写真１５のような最終破壊形状となった。

トラス頂部の変状であるが、荷重が 60.0 kN あたりからトラス登梁と斜材の接合部における登梁部の繊維方向に亀裂が発生、最大荷重まで徐々に亀裂が拡大していった。（写真１６,１７）

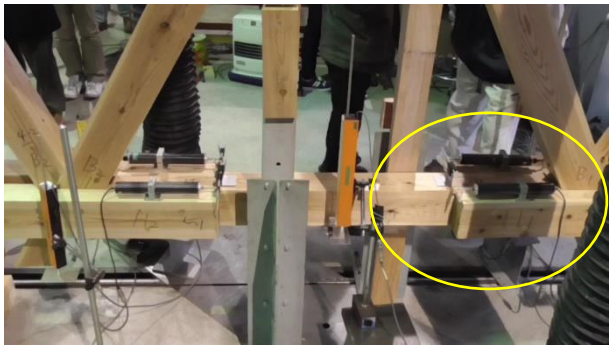
なお破壊荷重 84.5 kN 時の合掌尻の変位は両側とも 2.5 ㎜以下と小さく、登梁の軸力が陸梁に十分伝わっていたと思われる。



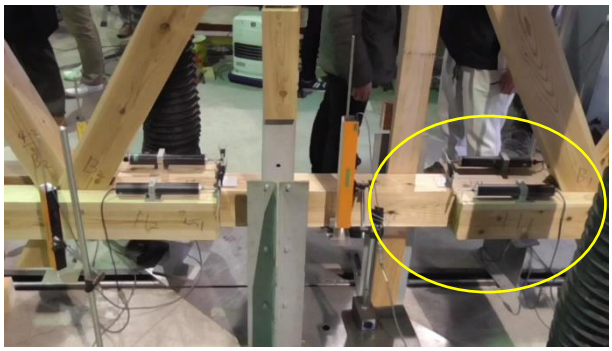
グラフ２　荷重とスパン中央たわみ、継手変位の関係



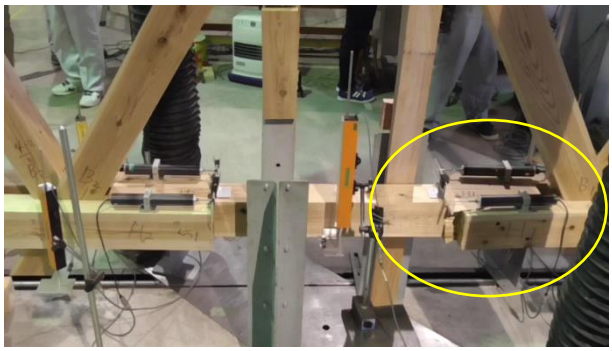
陸梁継手　最大荷重直前



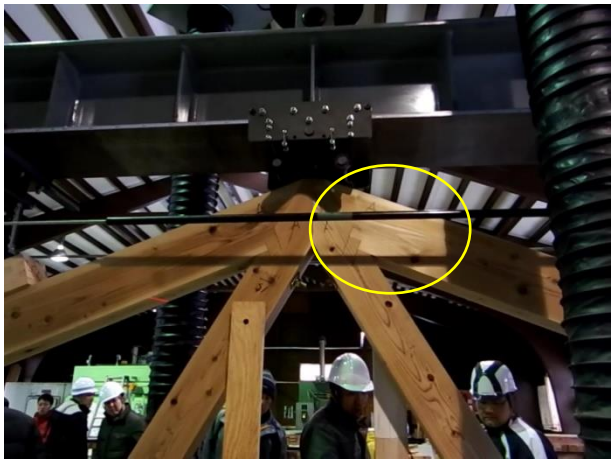
陸梁継手　最大荷重直後



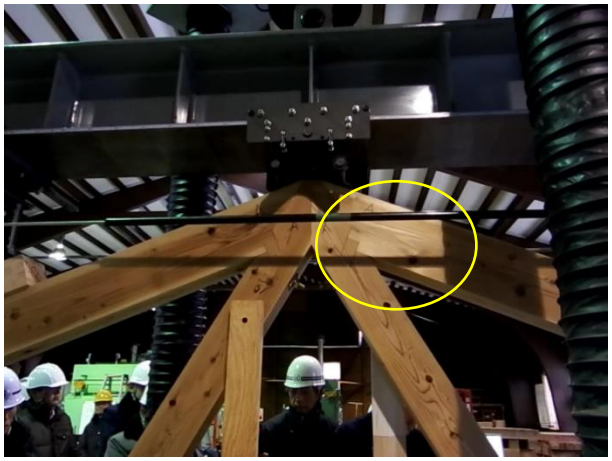
陸梁継手　グラフ２、②時の状況



陸梁継手　グラフ２、③時の状況



登梁繊維方向亀裂発生前



登梁繊維方向亀裂発生初期

写真13　改良フィンクトラス破壊進行状況写真

写真14　陸梁ＨＩ接合部実験前

写真15　陸梁ＨＩ接合部実後

写真16　トラス頂部実験前

写真17　トラス頂部実験後

６　破壊の比較（初代フィンクトラス―改良フィンクトラス）

①　トラス頂部

初代フィンクトラスでは、登梁と斜材との支圧面積が少ないために登梁の引っ掛かり部分がつぶれ、それに伴って登梁の繊維方向に亀裂が拡大していった。改良フィンクトラスは、支圧面積は、十分であったようだ。ただ支圧部分が登梁下部に集中したため登梁に繊維方向の亀裂が発生した。（写真１８,１９）

写真18　初代トラス頂部実験後

写真19　改良トラス頂部実験後

② 陸梁嵌合接合部

初代トラスと改良トラスの違いは、嵌合部のせん断長さと補助接合のボルト接合とビス接合である。改良トラスは典型的なブロックせん断破壊だが、初代トラスは嵌合部のせん断破壊は観察できるが、大きなブロック状の破壊は見受けられない。

これは、補助接合部の違いが影響していると考えられる。過去に行った追っ掛け継の引張試験でも、補助接合にボルトを使用したものとビスを使用したものでは、ビス接合の方が脆性的な破壊を起こしているようだ。そのため、初代トラスは、最大荷重 75.5 kN を超え 50.6 kN まで荷重が低下した後にもボルト接合部分が踏ん張って、荷重が増加し 97.7 kN まで粘ったと考えられる。改良トラスもせん断破壊で 48.9kN に低下した後に 62.2kN まで粘りはしたが初代トラスのボルト接合ほどの粘りは見られなかった。（写真２０,２１）

写真20 初代トラス実験後

写真21 改良トラス実験後

７ H30 フィンクトラスの提案（思案中）

初代フィンクトラス、改良フィンクトラスの実験を経てさらに改良したトラスを提案する。名称を仮に「H30 フィンクトラス」とする。（図８）

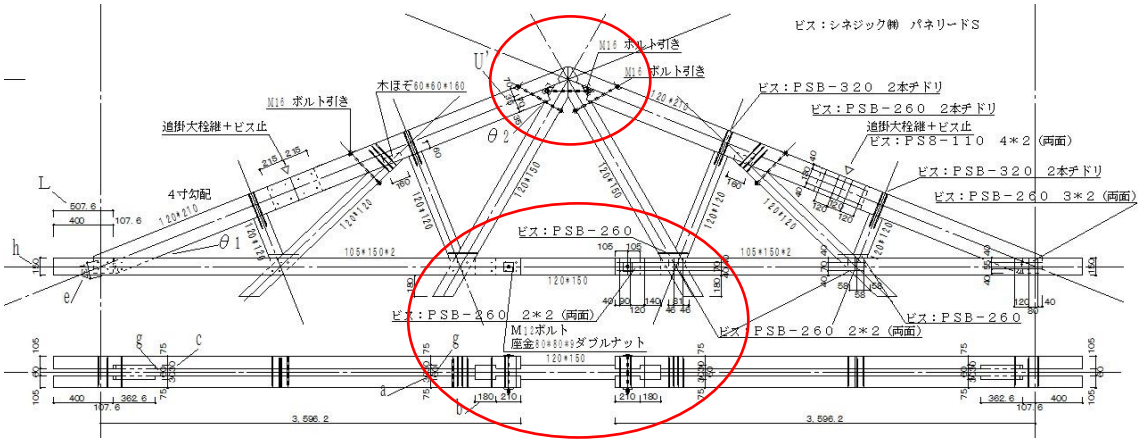


図8 H30 フィンクトラス

トラス頂部と陸梁の継手部分の２ヶ所を改良した。（図８）

トラス頂部であるが、登梁と斜材との接触部分の彫り込み形状を変更した。この変更により登梁の繊維方向の亀裂を解消できるかと思うが、斜材１の繊維方向の耐力に不安が残るため、さらに検討していきたいと考える。（図９）

陸梁の継手については、嵌合接合部のせん断長さを 180mmから 210mmへと伸ばし、かつ補助接合にボルトを追加した。さらに陸梁の鋏側の材料の強度を統一した材料で製作することとする。（図１０）

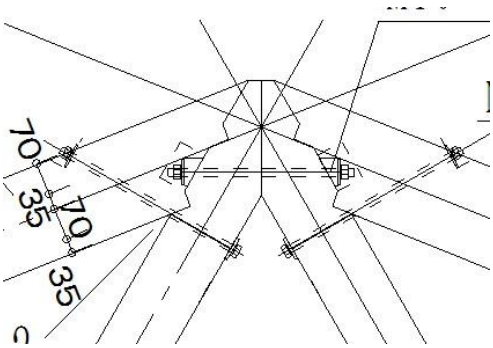


図9 トラス頂部

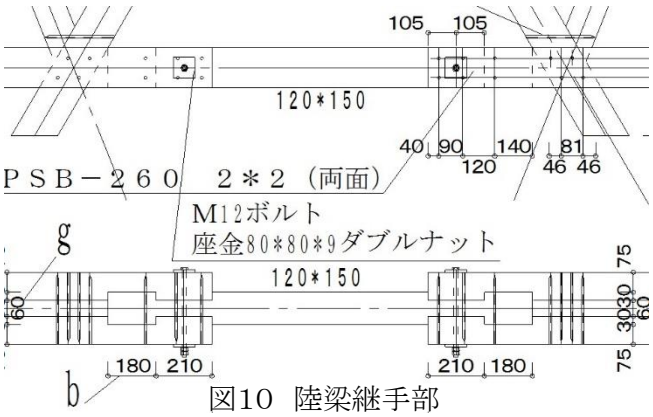


図10 陸梁継手部

８　次回の実験への提案

平成 30 年度にもこの事業が継続するという事なので、愛媛版の推奨トラスを完成させるための提案をしていきたい。

①　「H30 フィンクトラス」の実大実験

課題であるトラス頂部のディティールの再考が必要。

②　実大実験後　破壊ヶ所を補強して次の破壊ヶ所の破壊性状を確認

陸梁の嵌合接合部で破壊すると思われるので実験後、ホールダウン金物などで補強を行い２番目の破壊ヶ所の性状を確認。

③　陸梁嵌合接合部の要素試験

接合部の嵌合長さ、材種、ヤング係数、含水率などをパラメーターとしてそれぞれ5%下限値を採取することにより様々なパターンのフィンクトラスに対応させる。

④　２番目の破壊ヶ所の要素試験（必要があれば）

９　フィンクトラス実物件の紹介（木造倉庫建築物）

フィンクトラスの実験を行っている途中に木造倉庫の計画が浮上してきた。図１１の通りフィンクトラスが利用できる形状なので依頼者に許可を得て計画を行った。

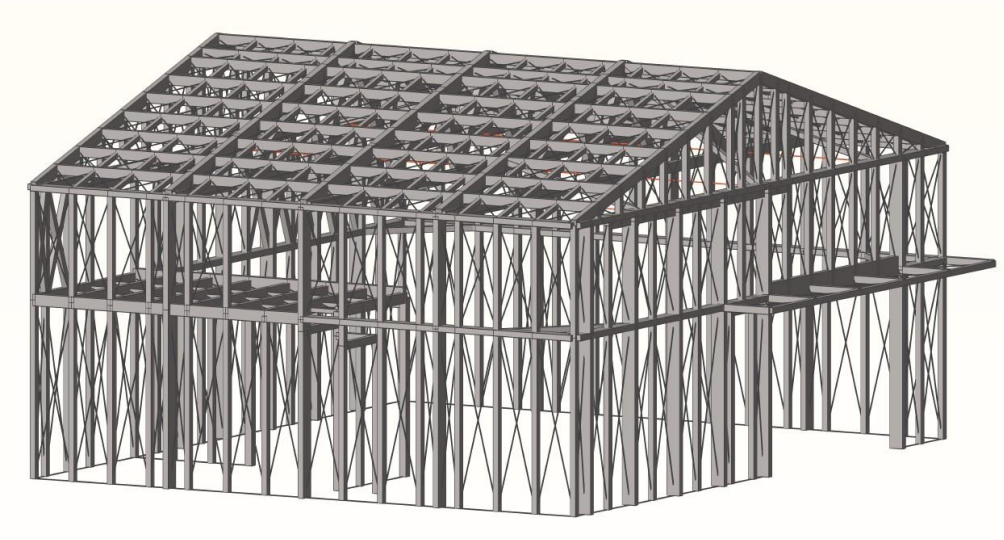


図11　実物件

図１２に２階床伏図、小屋伏図を示す。桁行約 12m、張間約 15mで２階に一部床を備えた大きな吹き抜け空間である。軒の高さは、約 6.5m　最高高さは、約 9.3m　の倉庫である。

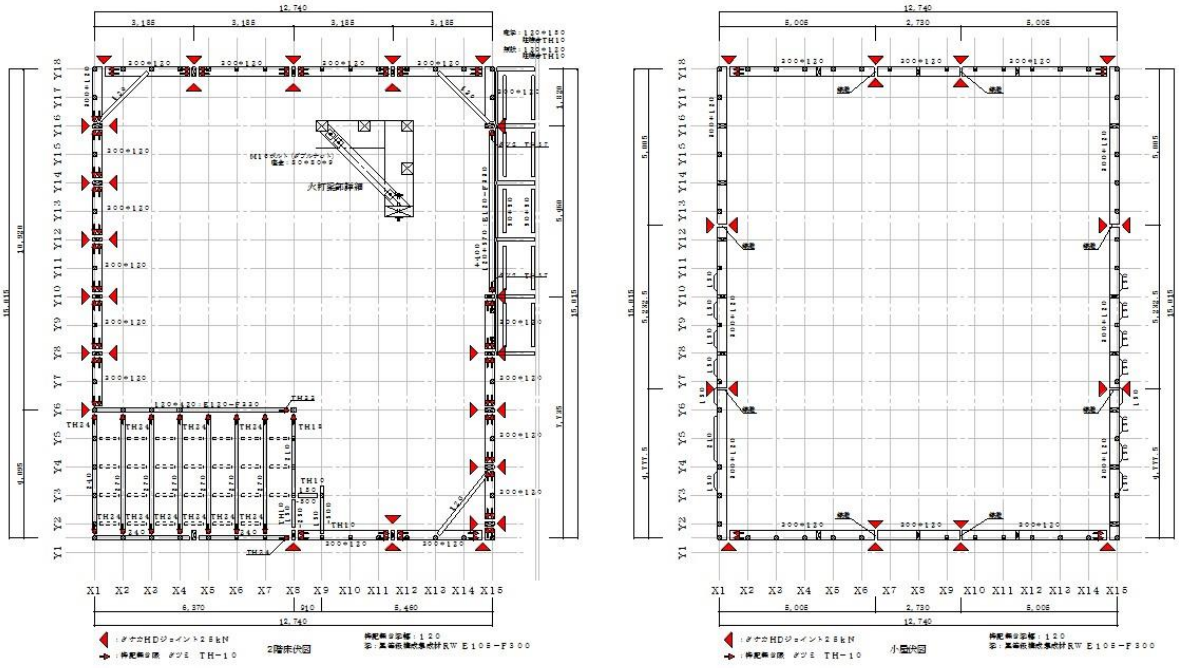


図12　2階床伏図、小屋伏図

図１３にトラス伏図、母屋伏図を示す。図面の上部方向が北であるため、15mスパン方向にトラスを計画。

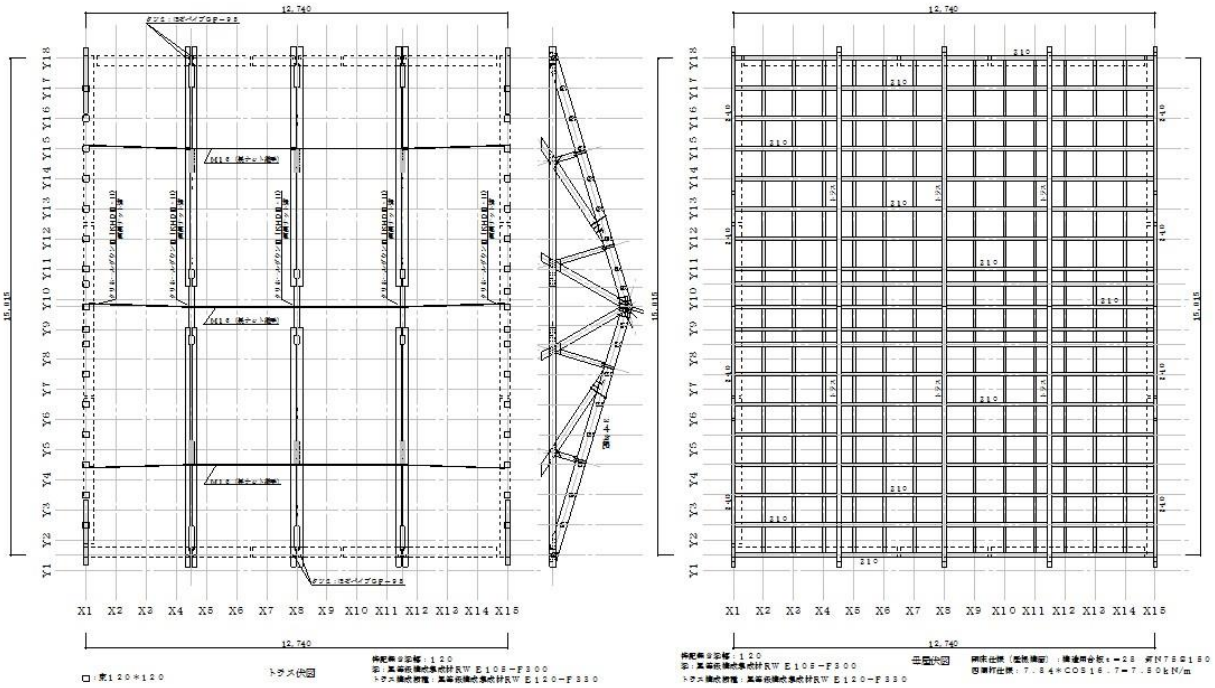


図13 トラス伏図、母屋伏図

図１４にトラス架構軸組図を示す。実験トラスは４寸勾配となっているが、この計画では依頼者の要望により３寸勾配とした。柱は吹き抜け空間の面外方向の水平力を負担させるために 120*300 と扁平なサイズとしている。

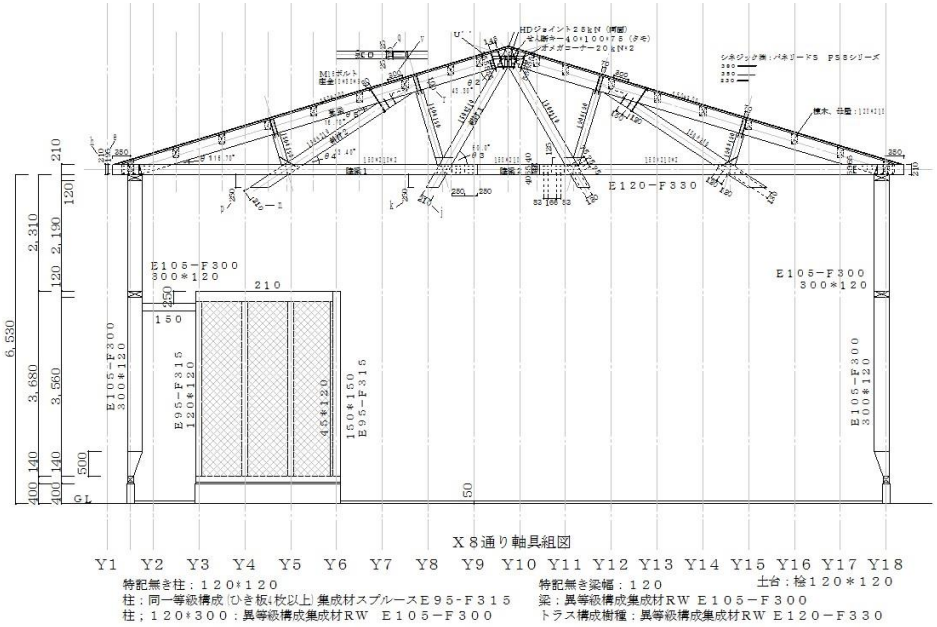


図14 H30トラス通り軸組図

図１５にトラス架構詳細を示す。部材の材質であるが、計算を行うと製材品では調達が難しい断面が要求された。又、実験で行うようなぎりぎりな設計ができないという事から集成材（ヤング係数 120 を要求）での計画となった。今後はトラスのピッチを検討する事と、陸梁継手接合部の要素実験等を重ねることで、12mスパンぐらいまでは、製材品（ＪＡＳ）で対応が可能となると考える。

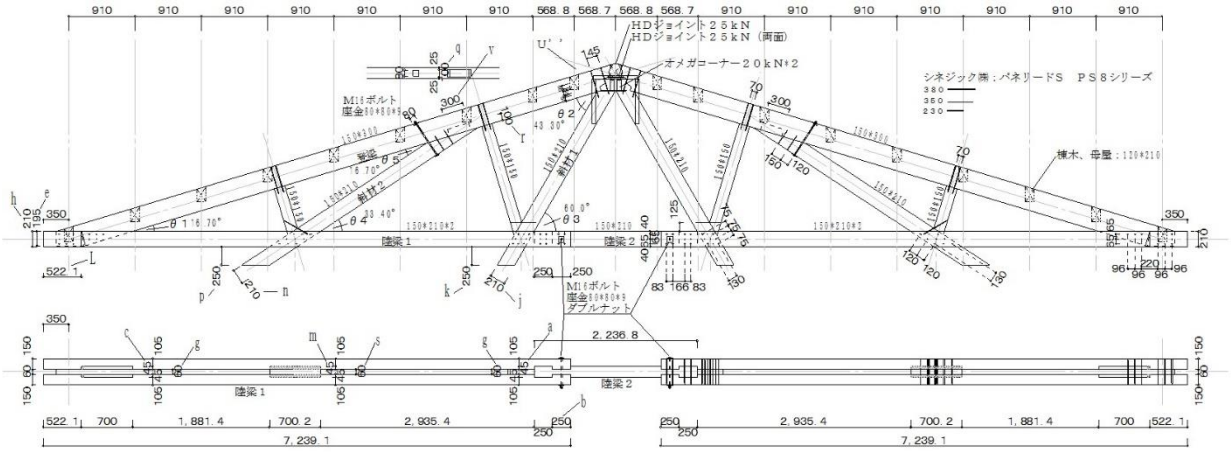


図15　H30トラス詳細図

図１６にトラス頂部の詳細図を示す。フィンクトラスは、トラス頂部に部材が集中するためトラス登梁上で屋根面の水平構面の剛性（剛床）を確保しようとすると棟木の取付方法に工夫が必要。今回は、Ｌ型の金物を多用することで納めることとした。

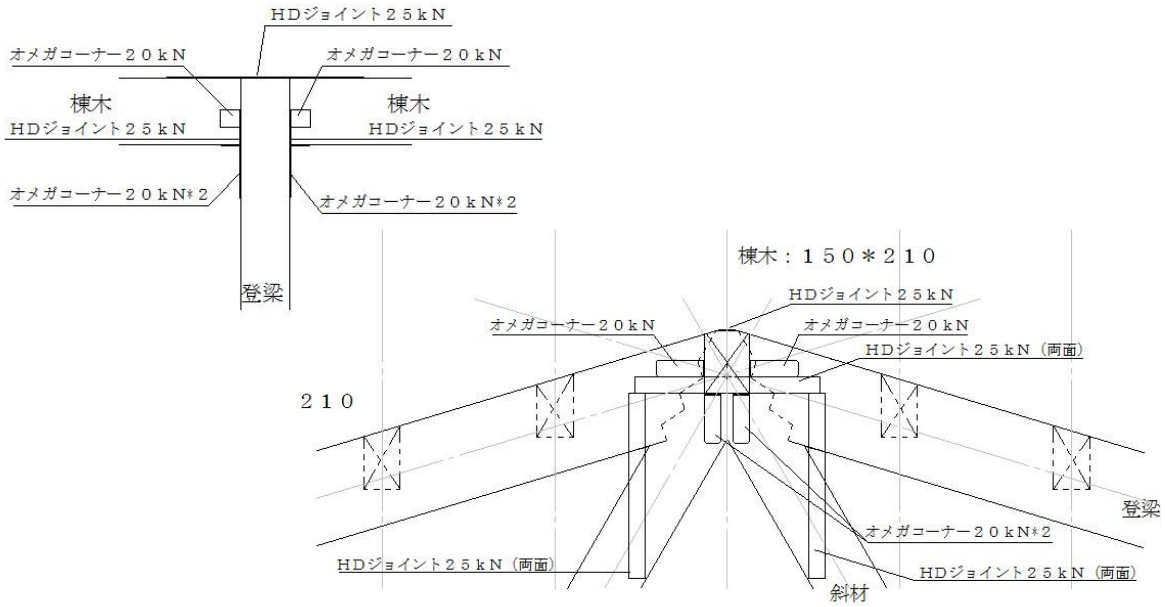


図16　H30トラス頂部詳細図

図１１、１２で見て取れるように大きな吹き抜け空間が存在するため、通常の構造計算では中間部分の変位を把握できないことから立体解析により各部位の変位が基準値以内に収まっていることを確認した。（図１７、１８）

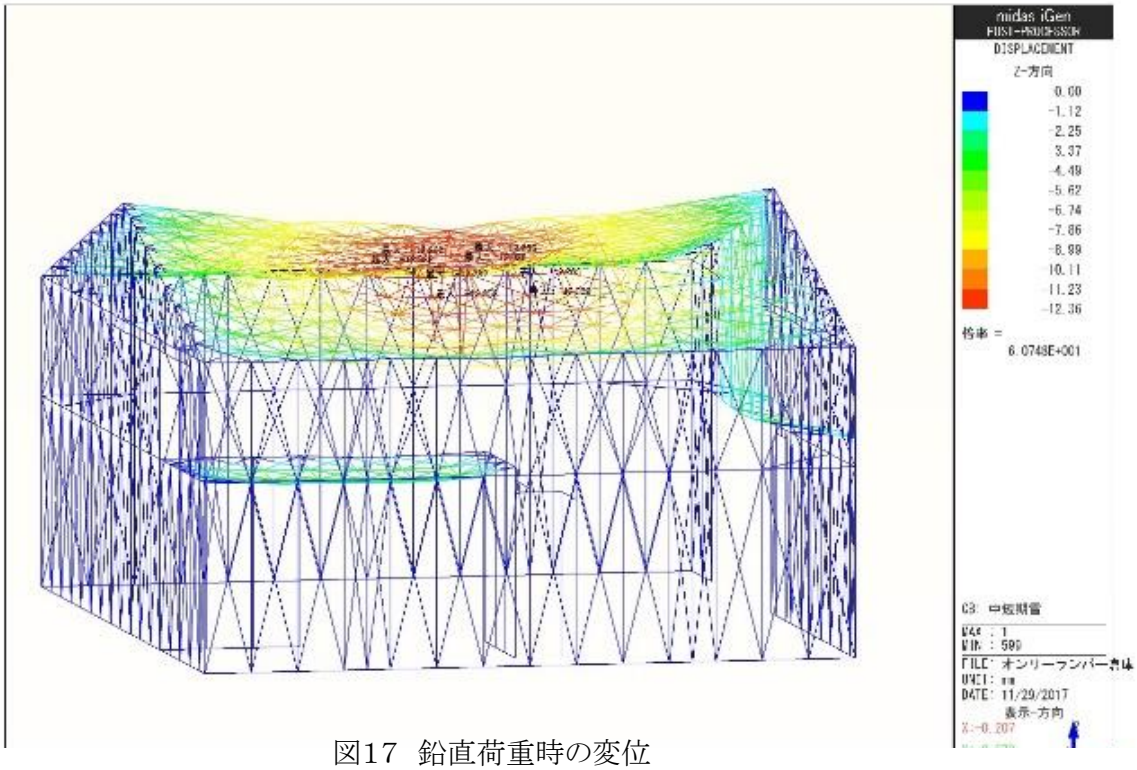


図17　鉛直荷重時の変位

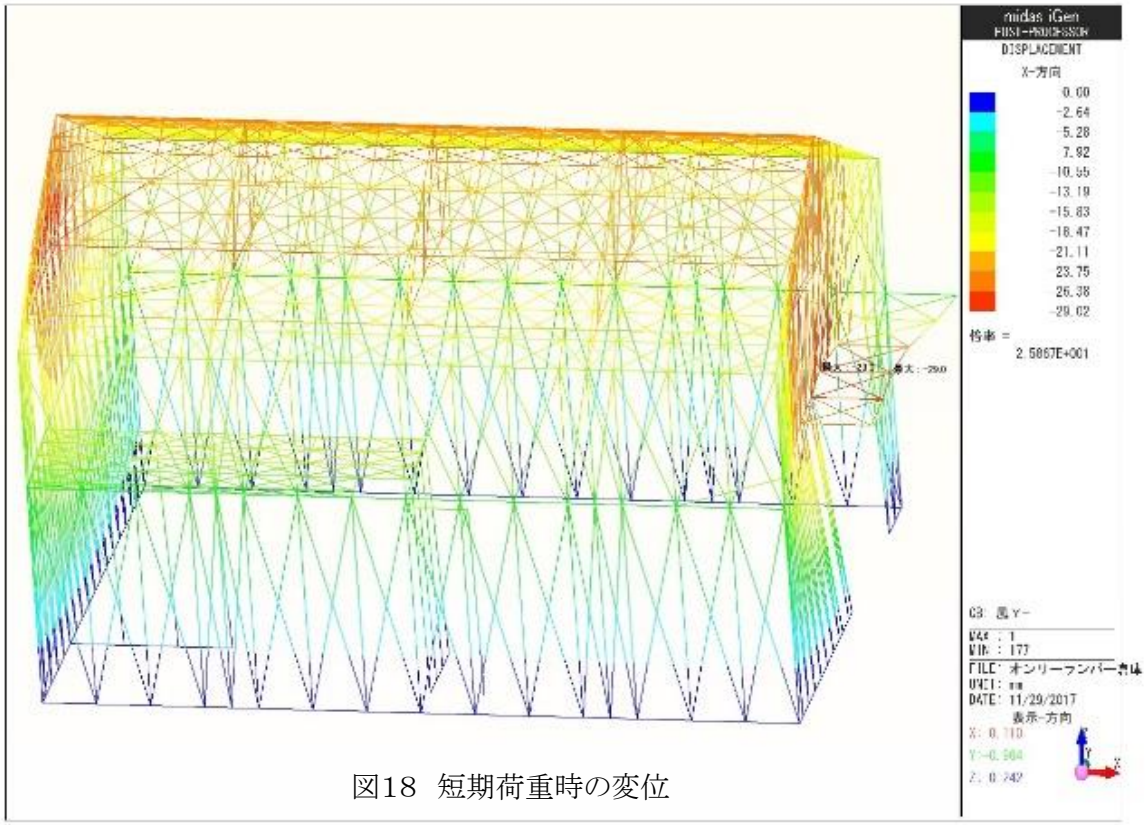


図18　短期荷重時の変位

１０　これからの展望

下記写真２２と図１９は、平成 27 年３月に全面改訂された木造校舎の構造設計標準（JIS A 3301）で扱われているトラスを「一般社団法人中大規模木造プレカット技術協会」が一般の方にトラスを身近に扱えるようまとめたトラスの標準図である。

愛媛県で取りまとめようとしているフィンクトラスもこれに見習って、各設定荷重、トラスピッチ、トラススパンをマトリクスとした標準図を製作していくことを目標としている。

そのためには、「８次回の実験への提案」で示したような実験が必要である。このようなことを通して、木材供給者、加工者、設計者、試験機関の連携が図られ、さらに愛媛版のトラスを完成させることで、長スパンの建築物にも木材を利用しやすくなることに寄与できるものと期待される。

写真22　JISトラス

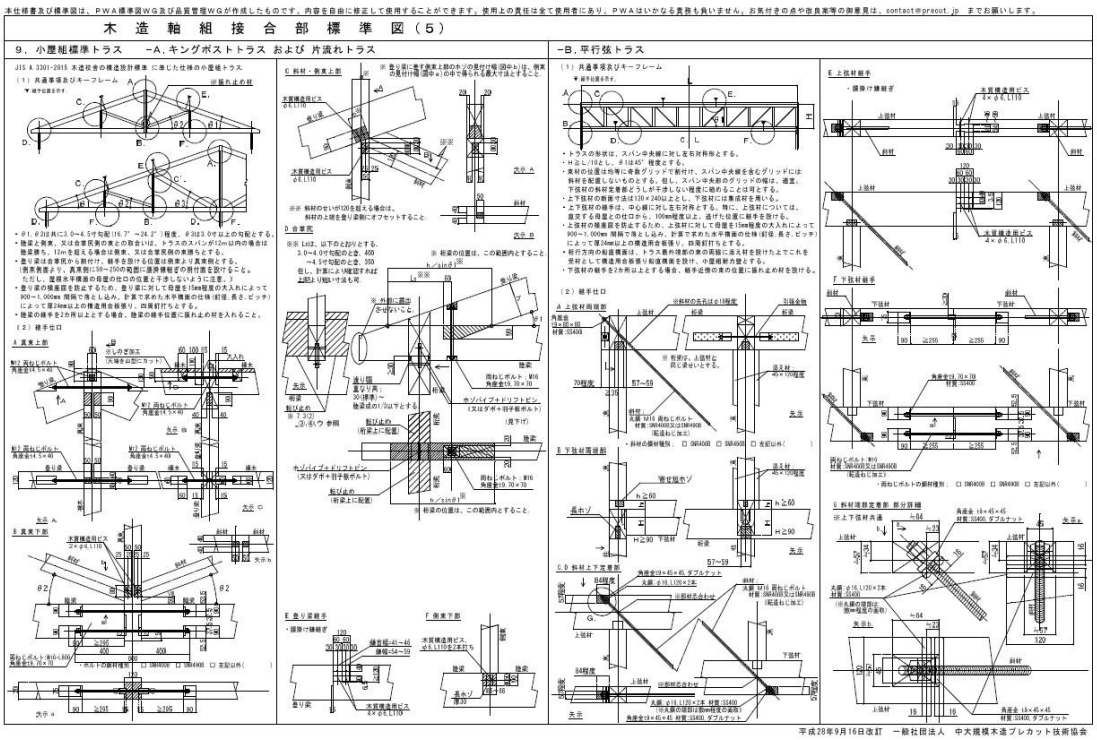


図19　JISトラスの接合部標準図

写真22及び図19は、一般社団法人中大規模木造プレカット技術協会ホームページより転写