第2章 中大規模建築の木造化の要件と推奨トラスの一案

1 トラスの破壊実験の結果

平成29年2月から建築・設計側と木材生産・加工側との連携強化を図る取組の中で、 県内を東予、中予、南予の3グループに分け、各グループで中大規模建築に使用可能な 木造トラスを2体ずつ検討、試作し、破壊試験により強度性能評価を行ってきた。そし て、これらのトラスの中から強度試験の結果や意匠性等を考慮して、今後、県内設計業 者等へ推奨していくトラスを選定し、仕上げたうえで、普及に必要な資料を作成する予 定である。

なお、各グループのトラスの破壊試験及びそれに先立って実施した JIS 標準トラスの 試験の結果については、先に取りまとめられた「木造建築業者との連携強化事業で行っ たトラス試験の報告書」(平成 29 年 10 月)で詳細に報告されていることから、ここで は概要のみをまとめる。トラスの作製にあたっては、含水率 20%以下に乾燥された愛 媛県産の製材を使用し、金物類は一般に流通している市販品を使用した。トラスのスパ ンは中大規模建築を想定し 8mで統一した。

(1) トラスの破壊実験の方法

全てのトラスの破壊実験は、愛媛県林業研究センターの実大木材強度試験機を使用 して行った。載荷は鉛直方向の単調加力とし、荷重やスパン中央のたわみ、合掌尻等 の接合部の変位を測定するとともに、破壊の進行や性状を観察した。試験はスパンの 両端2点を支持し、山形トラスはトラス頂上部と両側の側束と登梁との接合部の3点 を、平行弦トラスは側束上の2点を加力した。

(2) 各グループのトラスの破壊実験の結果

各グループが試作したトラスの概要及び試験結果は表1のとおり。トラスの概略図 を図1、3、5、7、9、11、13に、トラスの破壊状況の写真を写真1~7に示 す。破壊実験の荷重と変位の曲線を図2、4、6、8、10、12、14に示す。

部材の断面寸法や接合部の仕様、形状などの違いから、最大荷重は 29kN~76kN までと差があり、最大荷重が一番大きかったのは東予グループのフィンクトラスであ った。いずれのトラスも最終破壊は陸梁の継手によるものであった。また、山形トラ スにおいて、破壊までの過程で特徴的であったのは、合掌尻の変形が増大するととも に荷重が低下、もしくは増加しなくなるものが多くあったことである。合掌尻の変形 については、トラスの破壊の原因にはなっていないものの、剛性を低下させる一因と なっており、変形を抑制することによって、剛性をあげることが可能であると思われ る。なお、各トラスは、試験結果を踏まえて改良したり、設計条件を変更することに より利用可能である。

				破壊時の状況			
グループ	種別	仮称	樹種	最大 荷重 Pmax	Pmax時の スパン中央 のたわみ	最終 破壊箇所	
			18	kN	mm	ませい時辺では	
事前テスト	山形	JIS標準トラス	スギ ヒノキ	107	107	具束と陸梁の接 合部(束がち)	
東予	山形	フィンクトラス	スギ	76	44	陸梁継手	
	平行弦	平行弦トラス	スギ	71	180以上	下弦材継手	
中予	山形	合板トラス	スギ	59	55	陸梁と側束の接 合部(束がち)	
	山形	アイビトラス	スギ	43	195	陸梁継手	
南予	山形	キングポスト トラス スギ	スギ	29	120	陸梁継手	
	山形	キングポスト トラス ヒノキ	ヒノキ	43	143	陸梁継手	
		計7体	スパン :	8m			

表1 トラスの概要と破壊試験の結果



図1 JIS 標準トラスの概略図



 - 真束と陸梁接合部(節点5) 陸梁軸方向の変位

 図 2 JIS 標準トラスの 荷重一変位曲線





写真1 JIS 標準トラス 試験後の状況 左:全景(○印破壊箇所)、右:破壊箇所の状況



図3 東予フィンクトラスの概略図



図4 東予フィンクトラスの 荷重一変位曲線



写真2 東予フィンクトラスの試験後の状況 左:全景(〇印破壊箇所)、右:破壊箇所の状況









写真3 東予平行弦トラスの試験後の状況 左:全景(〇印破壊箇所)、右:破壊箇所の状況



図8 中予合板トラスの荷重一変位曲線



写真4 中予合板トラスの試験後の状況 左:全景(〇印破壊箇所)、右:破壊箇所の状況





図10 中予アイビトラスの



写真5 中予アイビトラスの試験後の状況 左:全景(〇印破壊箇所)、右:破壊箇所の状況











写真6 南予キングポストトラス(スギ)の試験後の状況 左:全景(〇印破壊箇所)、右:破壊箇所の状況



図13 南予キングポスト トラス (ヒノキ) 概略図







写真7 南予キングポストトラス(ヒノキ)の試験後の状況 左:全景(〇印破壊箇所)、右:破壊箇所の状況

2 推奨トラスの選定について

計6体のトラスの中から、優れたトラスを選定し、今後、中大規模建築に使用できる"愛媛トラス"の一案として、建築・設計業者等に推奨していく予定である。推奨トラスの選定にあたっては、実大破壊実験の結果や意匠性、独自性などを考慮し、事務局と関係者で協議した結果、東予グループのフィンクトラスを選定した。選定の理由は次のとおりである。

- ・最も強度性能が高かった。
- ・トラス頂上部や合掌尻、陸梁の接合部の形状が特徴的で独自性がある。
- ・鉛直の束材がない形状や、接合部が特徴的でかつ独自性がありデザインがよい。
- ・トラスを架けた際に、下から見ても意匠性がよい。

選定した東予グループのフィンクトラスについては、試験の結果を踏まえ、設計内 容に改良を加えながら強度性能を検証し、推奨トラスとして仕上げていくこととして おり、今回、当事業により改良フィンクトラスを作成して、実大破壊実験やクリープ (長期載荷)試験を実施した。

- 3 改良フィンクトラスの強度実験
- (1) 改良フィンクトラスの概要

推奨トラスとして選定した東予グループの"フィンクトラス"を普及できるものと して仕上げていくために、前回の実験結果を踏まえて接合部に改良を加え、追加試験 を実施した(写真9)。なお、改良点については、第3章で詳細を説明しているので そちらを参照されたい。

部材の断面寸法や構成、トラス形状は初代型と同じである。その特徴としては、登 梁と陸梁と斜材で構成され、鉛直の束材がない。陸梁が3種類の部材で構成され、継 手を挟んで中央部をシングル、両端側はダブルで合わせ梁のような形状となっている。 陸梁の中央のシングル部材とダブルで合わせる材は嵌合形状で継手されている。また、 斜材もダブルの合わせ材に挟まれる構造で、さらに斜材が陸梁から突き出ている。陸 梁の継手の接合補助具には、長尺の引き寄せ木ビスを使用した。使用した木材を表2 に、それに対応する部材の場所を図15に示す。

破壊試験は、平成30年2月5日(月)に、愛媛県林業研究センターにて、前述の1(1)トラスの破壊実験の方法と同様の方法で行った。実験には設計業者や木材業者などが参集し、公開、研修形式で実施した(写真8)。



写真8 改良フィンクトラス



写真9 トラスの仕様の説明状況



	如 お 釆 早	掛秳	十述	広 由	動的センが低粉	举细反八
	同的住う	们的们里	114	名皮	動印パンク家数	守极区万
					Efr	相当
			mm	kg/m^3	kN/mm^2	*1
登梁	11-継手3		120*210	373	6.50	E-70
登梁	11-継手4		120*210	423	7.09	E-70
登梁	1-継手4		120*210	407	7.57	E-70
登梁	2-継手3		120*210	420	7.42	E-70
陸梁 中央	継手1-継手2		120*120	373	6.63	E-70
陸梁	1-継手2	スギ	90*120	412	8.51	E-90
陸梁	1-継手2	製材	90*120	410	8.40	E-90
陸梁	2-継手1		90*120	382	7.86	E-90
陸梁	2-継手1		90*120	443	6.89	E-70
斜材	5-11		120*120	365	6.99	E-70
斜材	6-11		120*120	434	11.06	E-110
斜材	3-9,4-10		120*120	415	8.10	E-90
斜材	3-7, 5-9, 4-8, 6-10		120*120	385	8.08	E-90

表2 改良フィンクトラスの材料一覧

*1:Efrの値から製材の日本農林規格の機械等級区分の等級で区分したもの。

(2) 改良フィンクトラスの破壊実験の結果について

実験の結果概要を表3に、荷重一変形曲線を図16、17に、破壊後のトラスの状況を写真10、11に示す。長期設計荷重約30kN時のスパン中央のたわみは10mm、破壊荷重は84.5kN、破壊時のスパン中央のたわみは26mmで、初代型の12mm、75.5kN,、36mmに比べ強度性能が向上した。

破壊性状は、荷重がスパン中央の変位の増加とともに比例増加し、最大荷重 84.5kN、 スパン中央のたわみ 26mm で継手1の接合部の嵌合部の片側が脆性的にせん断破壊 し、荷重が 63kN 程度まで低下してトラスの破壊となった。トラスの破壊性状を見る ために、その後も載荷を続けると、荷重が再び上昇した後、同継手の嵌合部の残存側 がせん断破壊した。同継手の木部は完全破壊したが、同部にねじ込んだ長尺木ビス4 本があるため同継手は破断、落下はせず、ビス頭のめり込みが進行していく状態とな り、荷重も増加しなくなったことから試験を終了した。

破壊した継手の状況をみてみると、初代型と同様にダブルの合わせ材側がせん断破 壊していたが、せん断破壊が材の外側に向かって生じていた。これは、継手に引張が かかった際に、嵌合部分が少し外側に開くようになり、割裂が加わったようなせん断 破壊となったものと考えられ、せん断強さを十分発揮していなかった可能性があると 思われた。また、破壊時の合掌尻の変位は2.4 mmと少なく、初代型の3.5 mmより減少 し、登梁の軸力が陸梁に十分伝わっていたと思われる。

	長期設計		破壞時				
	荷重30kN時 スパン中央 のたわみ	荷重	スパン中央 のたわみ	合掌尻の 変位	破壊箇所		
	mm	kN	mm	mm			
初代型	12	75.5	36	3.5	陸梁継手 せん断		
改良型	10	84.5	26	2.4	陸梁継手 せん断		

表3 初代型と改良型の試験結果





図17 初代型と改良型の荷重-変位曲線の比較



写真10 改良フィンクトラス 破壊後の状況(○印:破壊した継手1)



写真11 継手1 破壊後の状況

(3) クリープ(長期載荷)試験

トラスの破壊実験の参加者からは、破壊荷重は実験により確認できたが施工後のた わみの増大などが心配だとの声が多くあった。長期に応力をうける梁などの横架材や トラスでは、たわみにおけるクリープ変形を考慮する必要があり、推奨トラスを普及 させるためには、その性能を評価し、設計側の不安を払拭することが重要である。こ のため、クリープ試験を愛媛県林業研究センター内で実施した。

なお、クリープ試験は、長期間、試験体に応力をかけて、クリープ変形を測定し、 クリープ性能を評価するために行うものである。材料に持続的に負荷が作用すると、 時間の経過とともに変形が増大する現象をクリープ(Creep)と呼ぶ。さらに、未乾燥 材や十分に乾燥できていない製材では、長期的な継続荷重が作用した状態で含水率が 低下(乾燥の進行)すると大きな変形(メカノソープティブ変形)を生じる場合があ り、この現象に留意する必要がある。

試験体は、改良フィンクトラスの特徴といえるトラス頂上部と合掌尻及び陸梁部分の継手に接合部を有するモデルとし、部材は実大と同様にスギを使用した(図18、 写真12)。なお、真束と陸梁は接合していない。真束の表裏両側につけた板はトラ スが垂直に変形するようガイドとして取り付けているもの。

試験の概要は表4、試験の様子は写真14のとおりである。試験スパンは4mとし、 鋼材の錘を真束の頂上部1点で吊さげて載荷した。変位は真束と陸梁のたわみ、及び 支点上の陸梁の垂直方向の変位(しずみ)を測定した。また、2月5日の改良フィン クトラスの実大破壊試験の公開にあわせて、クリープ試験についても参加者に試験内 容と現在までの状況を説明した(写真13)。





写真12 クリープ試験体



写真13 クリープ試験の説明状況



写真14 クリープ試験の状況

表4 クリープ試験の概要

試験期間	平成30年1月12日(金)~1年間
載荷重	約19kN(1.951t、長期設計荷重から設定)
変位測定 箇所	真束(垂直方向) 陸梁たわみ 支点上(土台のしずみ、陸梁のめり込みなど)

載荷後のたわみの変化を図19に示す。真束のたわみは、載荷後に5.6mmとなり、 それから10日後の8mmまで増加した後、変化は緩やかになった。載荷後のたわみの 解析値は初期変形係数2.5をかけて4.34mmであったが、実際のたわみの方が大きい 結果となった。載荷前のトラスを確認したところ、陸梁に微細なねじれがあったため、 これが影響したと思われる。今後も変位の測定を継続し、たわみの変化を観察してい く予定である。



図19 載荷後のたわみと温度、湿度の変化

4 中大規模建築の木造化に必要な要件~今回の取り組みを通じて~

中大規模建築を木造化するためには設計・建築側と木材・加工側とが連携し、車の両 輪のごとく機能しなければならないと感じた。設計・建築側が担うものは"木構造"で あり、木材・加工側が担うものは"材料"であるが、それぞれが条件にあった性能を満 たさなければならない。今回のトラスを対象とした一連の取組で、連携が図られ、情報 交換とともに経験や知識の習得など多くの成果がみられたが、今後の課題として両者間 のギャップが十分払拭されてはいない点が散見された。特に懸念されるところは、木材 側が留意すべき点として、木材の含水率管理であった。

今回、トラス用の部材の品質を試験前に事前確認したところ、含水率が高いもの、す なわち乾燥が不十分な部材が数本あった。乾燥が不十分な部材を使用した場合、メカノ ソープティブ変形を生じるおそれがあり、たわみの増大や接合部のガタなどの原因とな る可能性がある。このため、たわみを制限された条件下で使用される横架材やトラスで は、部材の含水率に十分留意すべきである。仮に含水率の品質管理を怠り、これが原因 で施工後の不良やトラブルとなれば、製材の信用失墜を招くほか、鉄骨造や集成材との 比較、競争の中で、製材は品質面がネックとなり採用されない虞があると予想される。 製材の加工の中で乾燥は最も難しく、高い技術が必要であり、特にスギは初期含水率の ばらつきが大きく均一な乾燥が難しい。

乾燥不良の発生率を下げる技術開発とともに、出荷前に含水率の検査を行い、適合品のみを出荷するような品質管理体制を構築することが今後の課題であると思われる。