

# 論文の内容の要旨

農学生命科学専攻  
平成28年度博士課程入学

氏名：手塚 慎一  
指導教員名：稲山 正弘

## 論文題目

### 木造軸組工法をベースとした中大規模木造建築物の生産システムの研究

## 第1章 緒言

近年、国産木材資源の成熟化や新築住宅市場の縮小を背景に、非住宅の中大規模木造建築による木材需要の拡大が期待されている。その普及には、大空間を構成するための「構造システム」に加え、他構造（S造・RC造）に比べてコスト面で優れ、多くの地域ビルダーが参入しやすい「生産システム」を確立する必要がある。そのためには、戸建住宅で最も多く用いられている木造軸組工法をベースとした生産システムの構築が合理的と考えた。

他構造と比較した木造軸組工法の大きな特徴は、①プレカットによる現場加工の省力化、②軽量部材の人力設置、③単職種による多能工生産、が挙げられる。戸建住宅では、これらのメリットを生かした一連の生産体制が恒常的で、中大規模木造においてもこの現場の声を評価し、活用する仕組が有用であろう。しかし、中大規模となると、労務や工期の増幅や品質リスクの上昇など、戸建住宅の生産システムをそのまま適用しては、他構造と比較して優位性を見出せない。

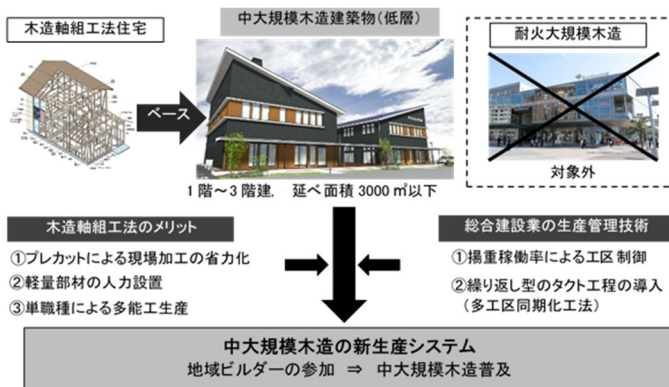


図1 中大規模木造の生産システム

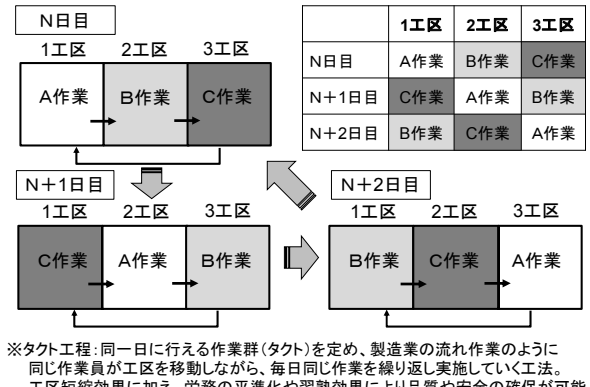


図2 タクト工程の概要(多工区同期化工法)

そこで本論では、まず戸建住宅や中規模な非住宅物件の実態調査から、木造軸組工法の生産特性を把握し、主要工事の「歩掛り」を基礎データとした。さらに、前述の3つの特徴に、総合建設業(ゼネコン)の「生産管理技術」として、④揚重稼働率による工程制御、⑤繰り返し型のタクト工程(多工区同期化工法: 図2)、を融合させた「新生産システム」を提案し、その効果をシミュレーションで検証した。

対象建築物は、一般的な木造軸組工法で、地上3階建、延べ面積3000㎡以下の非住宅物件(店舗・事務所等)である。当該市場の約8割が鉄骨造:S造であるが、費用対効果を考慮して、大断面部材のラーメン構造や耐火構造を不要とする建築物を対象とした。

## 第2章 生産調査

2章では、木造軸組工法の戸建住宅7棟と非住宅物件16棟の計23棟の生産調査結果を物件ごとにまとめた。その主たる調査は、揚重機と作業員のタイムスケジュール(以下MAC: マルチ・アクティビティ・チャート)の記録とし、揚重機や各作業員の動向や、揚重部材の取付時間等の「歩掛り」について把握した。

## 第3章 木造軸組工法の主要作業の生産特性

3章では、2章の調査結果(MAC)を比較検討し、木造軸組工法の生産特性について把握した。

表1より、木造軸組工法のメリットが「単職種(大工)によるムダの無い施工」や「プレカットや部材の軽さを生かした生産」にあることを再確認できた。

表1 MAC:揚重機と作業員のタイムスケジュール例(戸建住宅:金物工法)

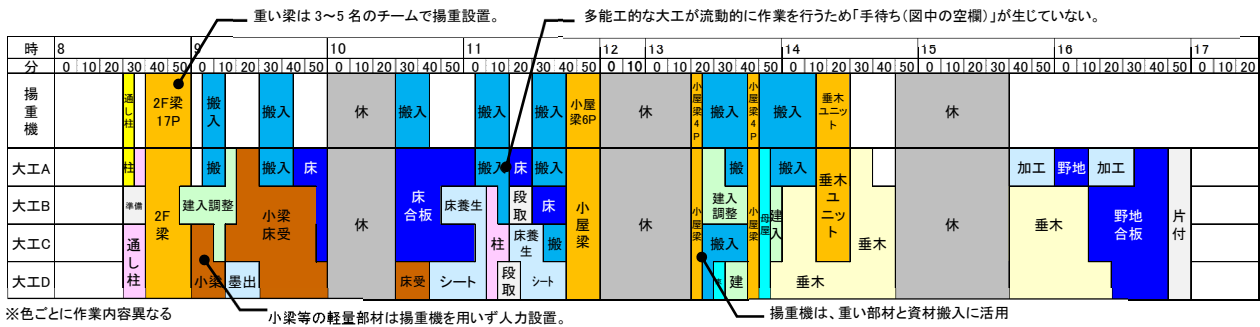


表1の調査結果より、各部材の歩掛りを①揚重取付部材:揚重時間÷部材数、②人力取付部材:作業時間÷部材数 or 施工面積、③接合作業:作業時間÷接合箇所数に分けて算出し、部材別に比較した(図3)。揚重梁は、一般流通材の梁(一般梁)と長尺で大断面の重い梁(重量梁)で異なる傾向が見られた(写1)。各部材の歩掛りの平均値+標準偏差の値を基準として、主要工事の歩掛りを定量的に定義した(表2)。

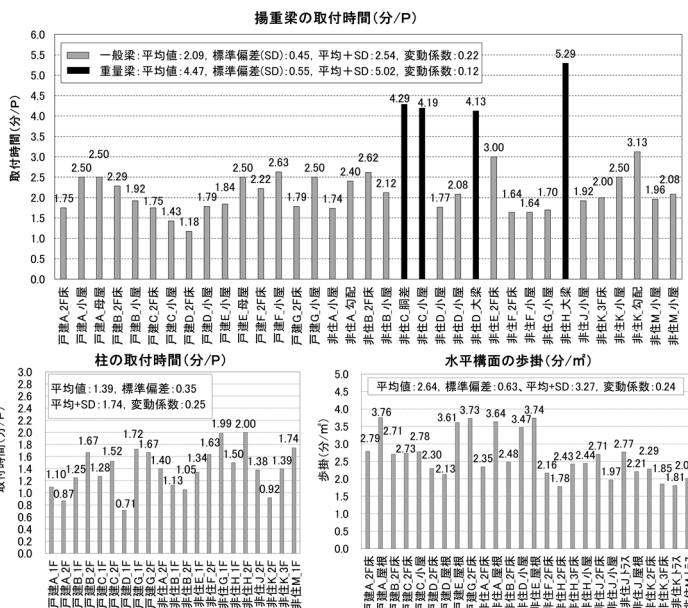


図3 木造軸組工法の主要作業の歩掛り比較



写1 一般梁と重量梁の取付状況

表2 木造軸組工法の主要工事の歩掛り一覧

種別	部材名	歩掛り	備考
揚重取付部材 揚重機1機あたりの歩掛り	一般梁	2.5 分/P	長さ>2mの一般流通材の梁
	重量梁	5.0 分/P	大断面の重い梁(重さ200kg程度)
	一般柱	2.5 分/P	長さ>4mの一般流通材の柱(通し柱等)
	重量柱※	6.0 分/P	大断面の重い柱(重さ200kg程度)
	壁パネル※	4.5 分/P	合板を間柱で補強して柱間に組込む場合
人力取付部材 作業員1人あたりの歩掛り	搬入資材	5.0 分/P	荷姿は問わない
	小梁・床受	2.0 分/P	長さ≤2mの一般流通材の梁
	柱	2.0 分/P	長さ≤4mの一般流通材の柱
	水平構面	3.5 分/㎡	床・屋根の仕様は問わない
	垂木施工※	5.0 分/㎡	波風板等の屋根下地施工時を含む
接合作業 作業員1人あたりの歩掛り	建入調整	1.5 分/㎡	柱や梁の水平・垂直を確認する作業
	梁接合部	3.0 分/所	梁端接合部ごとに1箇所所で算定
	火打ち接合※	3.0 分/所	火打ち1つに接合部2箇所所で算定

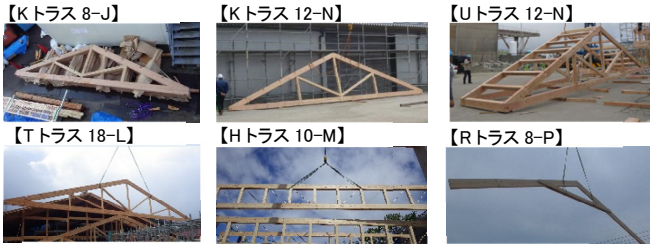
※参考値

## 第4章 木造トラスの生産特性

4章では、中大規模木造特有の生産データ蓄積のため、一般流通材で大スパンを構築する「木造トラス」の物件調査より、その「取付」と「地組み」の生産特性を把握した。調査は、JIS規格のキングポストトラスTG2 (K・Uトラス)、同規格のTG3 (Tトラス)、PWA規格の平行弦トラス (Hトラス)、そして設計者が木質構造の各種規準を用いて独自に設計したラフトトラス (Rトラス) を対象とした (写2)。

初めてのトラス取付けには、現場での試行錯誤により時間を要するが、その後の習熟効果により取付時間が50%程度に短縮できることを確認した。また、トラス取付時間 (歩掛り) は、トラスを揚重機で吊りながら母屋等を人力で設置する「倒れ止め」が必要なKトラス (15分/P) と、「倒れ止め」が不要なU・H・Rトラス (7分/P) で2倍程度異なった (図4)。

トラスの地組み時間は、部材を70kg程度として人力で間配り・設置できるもの (K・Hトラス) と、揚重機を用いるもの (Tトラス) で大きく異なり、人力を活用した場合の生産性が高い (表3)。



写2 各トラス全景

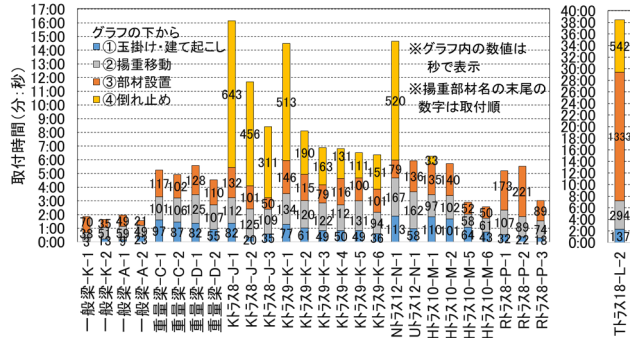


図4 揚重部材の取付時間の内訳

表3 地組みの調査結果

【Kトラス】		分	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	時間				
1組目	作業員a	部材組立								ボルト本締め	ビス打ち				2人で48分/P				
	作業員b													総作業時間96分					
	作業員c														2人で39分/P				
2組目	作業員a	部材組立								ボルト本締め	ビス打ち				約2人で30分/P				
	作業員b													総作業時間78分					
	作業員c														約2人で30分/P				
3組目	作業員a	部材組立								ボルト本締め	ビス打ち				約2人で30分/P				
	作業員b													総作業時間76分					
	作業員c														約2人で30分/P				
4組目	作業員a	部材組立								ボルト本締め					3人で21分/P				
	作業員b													総作業時間62分					
	作業員c														3人で21分/P				
5組目	作業員a	部材組立								ボルト本締め	ビス打ち				3人で21分/P				
	作業員b													総作業時間63分					
	作業員c														3人で22分/P				
6組目	作業員a	部材組立								ボルト本締め					3人で22分/P				
	作業員b													総作業時間64分					
	作業員c																		
【Tトラス】		分	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	時間	
1組目	作業員a	陸梁・束・斜材組立																	3人で100分/P
	作業員b																	総作業時間300分	
	作業員c																		3人で130分/P
2組目	作業員a	陸梁・束・斜材組立																	3人で130分/P
	作業員b																	総作業時間310分	
	作業員c																		3人で140分/P
3組目	作業員a	陸梁・束・斜材組立																	3人で140分/P
	作業員b																	総作業時間295分	
	作業員c																		4人で90分/P
4組目	作業員a	陸梁・束・斜材組立																	4人で90分/P
	作業員b																	総作業時間265分	
	作業員c																		※ビス打ち含む
	作業員d																	総作業時間305分	

## 第5章 生産システムの提案

5章では、中大規模木造の生産システムとして以下の生産計画手法を提案した。

- (1) 揚重稼働率による工区の設定: 揚重部材の数量と歩掛りより揚重稼働率が80%と高くなるような工区面積と工区分割数を算定する手法を提案 (式1、式2)。

$$A = A_0 / n \quad (\text{式1}), \quad n = \sum_{i=1}^k (\alpha_i \times P_i) / (h_0 \times C_0) = \sum_{i=1}^k (\alpha_i \times P_i) / 336 \quad (\text{式2})$$

A: 工区面積, n: 工区分割数, A<sub>0</sub>: 各フロア面積, α<sub>i</sub>: 揚重部材の歩掛り, P<sub>i</sub>: 揚重部材の部材数

C<sub>0</sub>: 基準揚重機稼働率 (80%), h<sub>0</sub>: 基準揚重時間 (7時間=420分)

- (2) 繰返し型のタクト工程の導入: 木造軸組工法の生産工程を、①揚重作業 (柱梁取付等)、②床作業、③外壁作業の3つのタクトに分割する。この①②③の作業を日々各工区に割り当て、並列的に各工区で進捗させる (図5、表4)。
- (3) MACを用いた作業計画と多能工によるラインバランシング: 各工区における必要人員や作業内容を把握するため、MACを用いて揚重機や作業員の作業を割り振る (図6)。この時、多能工である大工の特性を生かし、工区間移動を可能にし、自由作業として内壁工事を設ける。

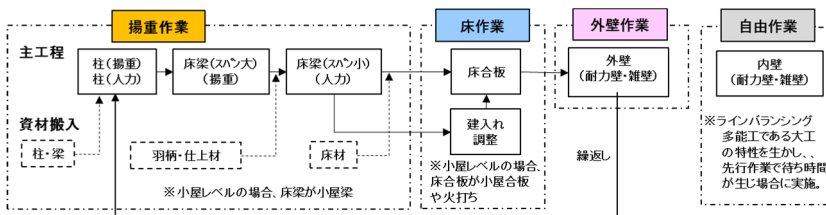


図5 タクト工程の作業分割と工程表例

表4 一般的工程とタクト工程の比較

項目	一般的な生産工程	タクト工程
工区分割	無し	有り
工程計画	直列的 主要作業を順次進める	並列的・繰返し 主要作業を各工区で同期化
揚重機稼働率	低い 適宜利用	高い 約80%稼働
揚重部材	重い部材と搬入に活用	同左
工期	通常工期	短縮可能
品質安全	普通	繰返しによる習熟効果が得られ 品質や安全が安定

## 第6章 生産工程シミュレーション

6章では、S造で実際に建設された2階建て店舗の一部を木造軸組工法に置換した場合(図6)の生産工程のシミュレーションにより、5章で提案した生産システムを検証した。

3章の調査結果で定めた歩掛りを用いて、5章の工区算定式にて店舗区画ごとに3工区に分割する計画とした(表5)。タクト工程を表6・図7のように定め、MACを用いた作業スケジュールを多能工である大工のラインバランスングにより作業員の稼働率が高くよう計画した(表7)。

S造や木造の標準工程と比べて、木造のタクト工程では、3工区で並列的な作業を実施することによって工期を約半分に短縮でき、木造の生産性向上策として有効であることを確認した(表8)。

また、BIM(ビルディング・インフォメーション・モデリング)のツールを用いて、生産工程の可視化を行った(図8)。木造は、プレカットにおいてCAD・CAM化が一般化しており、既に各部材の3次元情報を有している。今後、BIMを介して生産情報を連動させ、実施工の前段階で視覚的に生産工程を確認することは、様々な関係者で情報共有を図る上で効果的と言えよう。

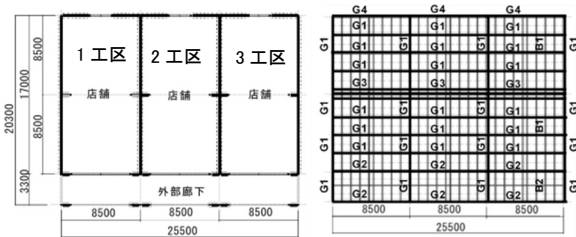


図6 木造の平面図と2F床伏図

表5 工区検証結果

作業	部材	歩掛り(分/P)	数量(P)	時間(分)
揚重部材	柱	2.5	78	195.0
	大梁	5.0	52	260.0
	小梁>2m	2.5	24	60.0
資材搬入	柱・梁	5.0	29	145.0
	合板(床壁)	5.0	21	105.0
	羽柄材	5.0	9	45.0
	仕上材	5.0	12	60.0
	その他	5.0	12	60.0
	合計		237	930.0
	フロア面積(A <sub>0</sub> )	-	-	517.65
	工区分割数(n)	-	-	2.77
	工区面積(A)	-	-	187.0

表6 タクト工程(サイクル工程表)

	1工区	2工区	3工区
N日目	【揚重作業】 柱・梁建て方	【外壁作業】 間柱設置	【床作業】 床合板張り
N+1日目	【床作業】 床合板張り	【揚重作業】 柱・梁建て方	【外壁作業】 間柱設置
N+2日目	【外壁作業】 間柱設置	【床作業】 床合板張り	【揚重作業】 柱・梁建て方

表7 MACを用いた作業スケジュールの検討

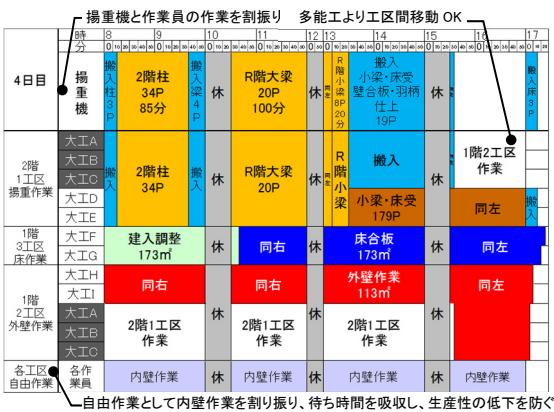
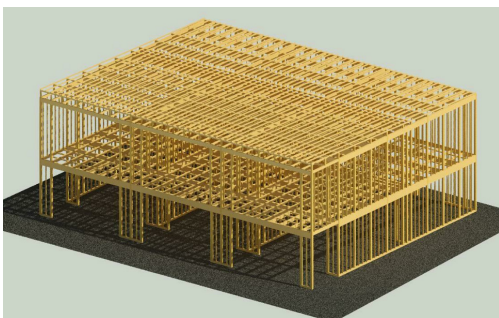


図7 タクト工程概要(3日目・4日目)

表8 S造と木造軸組工法の工程比較

構造	工区	日数																		工期
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
S造標準工程	無し	鉄骨建方	柱・梁設置	デッキレート	本総・溶接	鉄筋	型枠	床CON	屋根工事	CON養生	外壁									18日
木造標準工程	無し	1F柱	床	2F柱	小屋根	壁	屋根	外壁												15日
木造タクト工程	1工区	梁	床	壁	梁	小屋根	壁	屋根												9日
	2工区	梁	床	壁	梁	小屋根	壁	屋根												
	3工区																			

● 揚重作業 ● 床作業 ● 壁作業 ● 屋根作業 ※足場設置等、安全作業を除いた主要工程



【BIMモデル(軸組)】

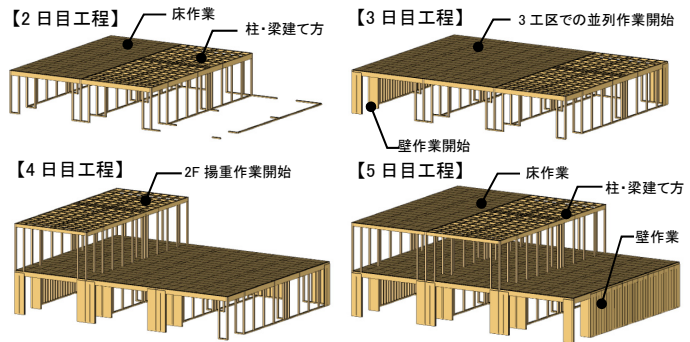


図8 BIMを用いた生産工程の可視化

## 7章 結語

中大規模木造の普及・拡大に向けて、本研究より得た2つの成果を示す。

- ① 木造軸組工法の主要工事や、中大規模木造に向けて欠かせない木造トラスの生産特性を明らかにし、その生産計画に用いる歩掛りを定量的に示した。
- ② 中大規模木造の新生産システムとして、木造軸組工法の潜在的なメリットと、総合建設業(ゼネコン)の生産管理技術を融合させた「木造独自の生産計画手法」を提案し、その効果をシミュレーションによって確認した。