

# 大規模化実現に向けた中高層木造建築物の構造的な性能評価の現状と課題に関する基礎的検討 Fundamental Study on State-of-the Art and Problems of Structural Performance Evaluation of Mid-to-High-Rise Timber Structures for Large-Scale

性能制御システム学研究室

青木 和巳

Structural Performance Control Laboratory

Kazumi AOKI

## 1. 研究背景・目的

2000年の建築基準法改正に伴い、建築構造物の用途や規模に関わらず木造で建築することが可能となった。また、2010年には公共建築物等木材利用促進法が施行され、学校等の公共建築物においては木造化、木質化を図ることが推進され、中高層木造建築物が普及しつつある。その際、水平力を耐力壁や筋交いに負担させない木質ラーメン架構を用いることで、大開口、大空間を実現することができる。日本において、今後より高層の木造建築物が建てられることが期待されている一方で、中高層木造建築物の事例や研究は少なく、その架構性能について明らかにされていない。

そこで本研究では、同等の建物規模および部材断面に設定した木質ラーメン架構および鉄筋コンクリート造ラーメン架構の構造特性の比較を通し、中高層木造建築物の性能評価および実現可能性について検討する。

## 2. 1層1スパンラーメン架構の性能評価

### 2.1 検討対象モデルおよび手法の概要

木質ラーメン架構の構造的な性能評価にあたり、柱・梁部材を同断面面積とした鉄筋コンクリート構造（以下、RC造）と比較した。検討モデルは階高4m、スパン6m、1層1スパンラーメン架構とした。木質ラーメン架構では、柱・梁部材の接合部を完全な剛とすることが現状では技術的に難しいため、剛接合木質ラーメン架構（以下、剛節W造）および接合部に非線形回転バネを用いた半剛接合木質ラーメン架構（以下、半剛節W造）の2つのモデルについて検討した。各モデルの名称、諸元は表1・表2に示す。モデル①はRC造、②は剛節W造、③・④・⑤は木材の樹種（スギ、ベイマツ）と接合部の回転剛性や耐力をパラメータとした半剛節W造である。接合部の回転バネの復元力特性は文献<sup>1)</sup>より算出し、バイリニア型とした。

### 2.2 解析結果

各モデルの静的増分解析による荷重-変形関係を図1に示す。RC造①と剛節W造②を比較すると、初期剛性はW造が低いが、RC造はひび割れ後剛性低下するため、降伏点付近の層せん断力はほぼ同程度で、最大耐力はW造の方がやや高いことが分かる。しかし、木材はほぼ弾性で最大耐力後に破断するため、塑性変形能力には期待できないことが分かる。半剛節W造は剛節W造より初期剛性が約1/2~1/3、最大耐力は約2/3となり、接合部が剛節でないことの影響が大きいことが分かる。結果として半剛節W造とRC造を比較すると、最大耐力は同程度有しているものの、初期剛性が約1/8とかなり低くなる。また、モデル⑤のように強度やヤング係数が高い樹種（ベイマツ）を選定することで接合部の回転剛性や架構の剛性、最大耐力ともにモデル③の約2倍となり、RC造の約1.5倍の最大耐力を持つ結果が得られた。

以上の結果より、半剛節W造は十分な耐力を保持しているが、RC造より剛性が低いいため変形制限により損傷限界(R=1/150)や安全限界(R=1/30)などの限界状態に達しやすい可能性が危惧される。

## 3. 3層設計建物を用いたW造中高層建物の実現可能性の検討

### 3.1 検討対象建物の概要

検討対象建物はAIIのRC規準<sup>3)</sup>の試設計建物であり、階高、

表1 鉄筋コンクリート構造検討モデルの諸元

①	柱		梁(mm)		材料強度(N/mm <sup>2</sup> )		配筋	
	B	D	B	D	コンクリート	鉄筋	柱	梁
	500	400	600		30	345	12-D22	8-D22

表2 木質ラーメン架構検討モデルの諸元

②	柱(mm)		梁(mm)		材料強度(N/mm <sup>2</sup> )		材料	接合部	回転剛性(kN・m/rad.)		
	B	D	B	D	曲げ強度	ヤング係数			接合部	柱脚	
	500	400	600		27	7500	スギ 集成材	剛接合	-	-	
③					27	7500			鋼板挿入 ドリフトピン	12612	25223
④					27	7500			引きボルト	5262	25223
⑤					46.5	15000	ベイマツ 集成材	鋼板挿入 ドリフトピン	21164	42327	

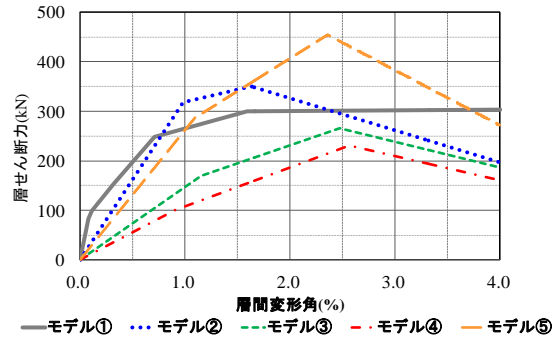


図1 1層1スパンラーメン架構の荷重-変形関係

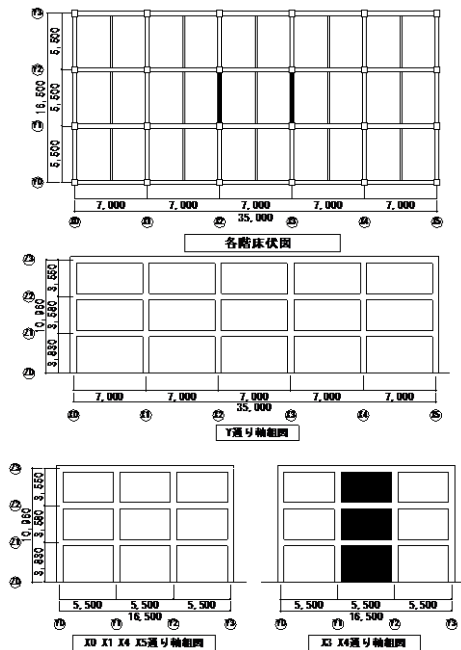


図2 検討対象建物の伏図および軸組図

表3 検討建物の諸元

①	用途	階数	総重量(kN)	延床面積(m <sup>2</sup> )	材料	接合部
	事務所	3	16050	1732.5	コンクリート(FC21)	鉄筋(SD345)
②			7110		スギ集成材(E75-F270)	鋼板挿入ドリフトピン

スパン、部材断面寸法を RC 造と共通として半剛節 W 造へ置き換え、それぞれの建物に対して許容応力度設計および保有水平耐力の検討を行った。その建物の伏図・軸組図を図2に、各諸元を表3に、各建物の構成要素の仕様とその固定荷重を表4に示す。なお、検討は桁行方向のみとした。

### 3.2 建物重量の比較

木材は鉄筋やコンクリートに比べ比重が 1/5~1/10 程度しか少ないため、表3および表4のように半剛節 W 造の固定荷重は RC 造に比べかなり小さくなる。積載荷重は W 造と RC 造とで変わらないため、建物の総重量としては約 1/2 となり、建物に作用する地震力は約 1/2 となる。

### 3.3 RC 造架構と W 造架構の構造性能の比較

#### (1) 許容応力度の検討

半剛節 W 造の長期荷重時および短期荷重時の応力図は図3に示す通りとなり、これは RC 造に比べ長期荷重時が約 1/2、短期荷重時が約 1/2~1/3 程度の応力である。つまり、同規模の RC 造と比べて各部材の必要耐力は大幅に小さくなる。各建物の構造性能の比較を表5に、半剛節 W 造の短期荷重時における応力検定および層変形関係を表6・図4に、荷重-変形関係を図5に示す。これらより、柱梁部材の許容耐力は4~10倍程度の十分な余裕度を有しており、接合部でも満足する結果となった。短期荷重時の層間変形角は、RC 造の約 3 倍と大きくなるが、変形角が 1/250 程度には収まっている。

#### (2) 保有水平耐力の検討

表5より、保有水平耐力も必要保有水平耐力を大きく上回っており、半剛節 W 造は十分な耐力を有している。しかし、図6に示す層変形関係より、半剛節 W 造の層間変形角は RC 造や剛節 W 造の約 3 倍と大きく、変形の規定値により部材断面寸法が決まることが考えられる。図7に示す 1 階層せん断力係数-変形関係より、半剛節 W 造は 1 階層せん断力係数が 0.7 程度あり、極めてまれに発生するような大地震に対して有利に働くことが考えられる。

### 3.4 大規模化実現に向けた今後の課題

半剛節 W 造は十分な最大耐力を有しているが剛性が低く変形が大きくなるため、接合部の剛性を大きくすることで変形を抑制することや降伏変形が大きいことによる減衰効果の低減に関する検討が課題となってくると考えられる。

### 4. まとめ及び今後の課題

本検討の結果、1)半剛節W造は RC 造に比べ重量が約 1/2 となるため建物に作用する慣性力が約 1/2 となる、2) 半剛節W造は RC 造と比べ十分な最大耐力を有しているが剛性が低く変形が過大となる、3) 本検討結果から、中層レベルでの RC 造から W 造への置き換えは可能であることが分かった。

今後より大規模の木造建築物の実現に向け、より高層の建物についても性能評価を行うことや、降伏変形が大きいことによる減衰効果の低減に関する検討が課題であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：木質構造接合部設計マニュアル 2009
- 2) (株)日本システム設計：平成 25 年度木造長期優良住宅の総合的検証事業の報告書
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説 1991

表5 各建物の性能比較

	層	各階重量 Wi(kN)	ΣWi (kN)	許容応力度設計時		保有水平耐力設計時	
				層せん断力(kN)	層間変形角(rad)	必要保有水平耐力(kN)	保有水平耐力(kN)
RC造	3	5250	5250	1446	1/1066	2169	2880
	2	5250	10500	2424	1/708	3636	5080
	1	5550	16050	3210	1/750	4815	6390
半剛節W造	3	2320	2320	683	1/324	1025	2510
	2	2370	4690	1116	1/231	1674	4090
	1	2420	7110	1422	1/226	2133	5210

表4 検討建物の構成要素の仕様および固定荷重

	RC造		半剛節W造	
	構成要素	単位荷重 (N/m <sup>2</sup> orN/m)	構成要素	単位荷重 (N/m <sup>2</sup> orN/m)
屋根	押さえモルタル	4500	防水シート	150
	アスファルト防水層		均しモルタル	600
	ならしモルタル		屋根下地	240
	床スラブ		グラスウール	100
	天井		天井下地	460
2,3階床	アスファルトタイル	4000	タイルカーペット	60
	モルタル		床パネル+支持材	200
	床スラブ		ALCパネル	325
	天井		床下地	600
	木造間仕切り		グラスウール	50
外壁	サッシ	600	窯業系サイディング	170
			ALCパネル	228
			胴縁	30
			構造用合板	72
			断熱材	20
内壁	壁W20	5600	強化石膏ボード	400
	モルタル塗り		軸組	200
			強化石膏ボード	400

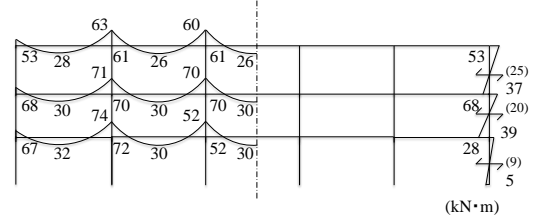


図3 (a) 半剛節W造長期荷重載荷時応力図 (Y1, Y2 構面)

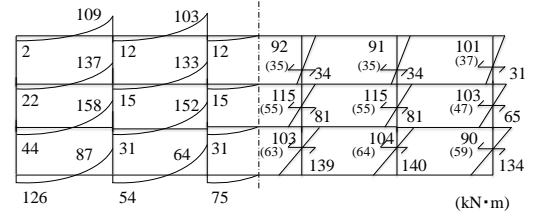


図3 (b) 半剛節W造短期荷重載荷時応力図 (Y1, Y2 構面)

表6 短期荷重載荷時の応力検定

	最大応力		許容応力		判定		余裕度	
	M(kN·m)	Q(kN)	M(kN·m)	Q(kN)	M	Q	M	Q
梁	158	78	663.3	520.2	OK	OK	4.2	6.7
柱	140	64	465	550.8	OK	OK	3.3	8.6
接合部	158	-	219.4	-	OK	-	1.4	-

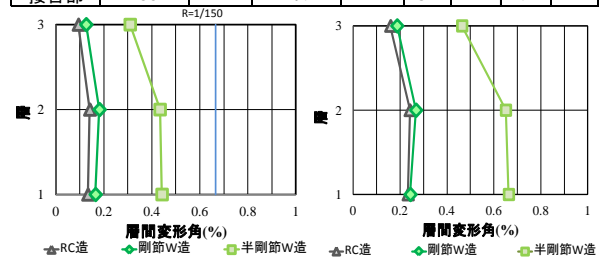


図4 (左) 許容応力度検討時 層-層間変形角関係

図4 (右) 保有水平耐力検討時 層-層間変形角関係

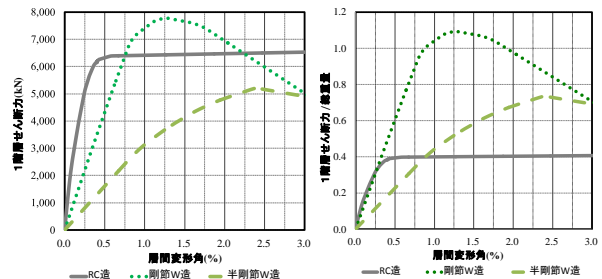


図5 (左図) 検討建物の1層における荷重-変形関係

図5 (右図) 1階層せん断力係数-変形関係