

## 第4章 まとめ

#### 4.1 平成 28 年度事業における検討結果

CLT等接合部データ収集・分析について検討を実施したまとめを以下に示す。

第1章では、中層CLT建築物に用いることが可能な部材及び接合部の構成の提案を行った。本章で得られた知見を以下に示す。

1-1) 5階建て1スパンを対象に、反曲点高さ比等の境界条件を仮定して、CLT壁パネルの構造性能から決まる許容水平耐力  $Q_a$  の略算値を算出した。それらの結果をもとに、各層の単位床面積当たりの重量を  $6.0\text{kN/m}^2$  と仮定して5階建て建築物の1階に必要な壁配置を例示した。それらの壁量は一般的な木造建築及び従来のCLTパネル工法建築物と比較して相当に少なく、実用的かつ開放的な空間を構成できるといえる。即ち、接合部の耐力を高めて、CLTの構造性能を限界まで引き出すことが出来れば、少なくとも5階建て程度の建築物は十分に設計可能となる。

1-2) 「2016年版 CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル1」を参考に5階建て1スパンのCLT建築物の力学モデルを構築し、接合部の必要性能を検討した。その結果、告示に定められた標準的接合方法と比較して、柱脚接合部及び壁-垂れ壁間の引張・圧縮抵抗機構の高剛性・高耐力化が特に要求される。また、壁-床間の圧縮抵抗機構として、従来のようなCLTのめり込み剛性のみを期待する方法では各層の剛性を確保できないため、CLT壁パネルの支圧剛性の半分程度の剛性を確保できるように補強することも重要である。

1-3) 上記の検討結果を参考に、鋼板挿入ドリフトピン接合を主体とした各接合部の接合方法を構築した。

第2章では、1章で提案した架構形式に対して実験による構造性能の検証を行った。本章で得られた知見を以下に示す。

2-1) 各種接合部に対して要素試験を実施した。接合部要素試験結果一覧を以下に示す。

名称	加力種類	部位	母材等級	接合具	加力方法と試験体数		K [kN/mm]	Py [kN]	Pmaxの2/3 [kN]	Pmax [kN]	Pu [kN]	$\delta_u$ [mm]	Po* $\alpha$ [kN]	Pu(下限値)* $\alpha$ [kN]	備考
					単調	繰り返し									
WBT-1	引張	柱脚	S90-5-7	5-DP $\phi$ 20	1	—	123.29	239.51	258.00	387.00	363.30	18.11	—	—	※1
WBT-2			S90-5-7	8-DP $\phi$ 20	1	6	154.28	375.30	411.07	616.60	565.49	11.54	317.53	478.41	※2
WBT-3		柱脚等	S90-5-7	4-DP $\phi$ 20	1	3※2	96.91	269.84	258.44	387.66	354.40	35.83	230.48	311.96	※3
WFC-sa	圧縮	柱脚-床	Mx60-5-7	4- $\phi$ 22(SR345)	1	3	303.68	845.66	926.17	1389.26	1259.96		682.57	1124.44	
SHF-sa			床-鋼板	Mx60-5-7	4-M16+エポキシ充填(GIR)	1	3	20.35	135.82	168.89	253.33	204.19	29.16	112.08	168.26
SHW-1	せん断	柱脚-床	S90-5-7	3-DP $\phi$ 20	1	—	33.43	216.48	258.67	388.00	363.43	54.16	—	—	※1
SHW-2			S90-5-7	5-DP $\phi$ 20	1	3	39.82	297.86	270.34	405.51	383.22	41.77	166.72	278.38	※7
SHW-3		せん断	柱脚-床	S90-5-7	5-DP $\phi$ 20	1	6	88.05	311.25	303.44	455.17	412.94	33.05	218.24	349.10
名称	加力種類	部位				加力方法と試験体数		E [kN/mm <sup>2</sup> ]	平均値			下限値			
						単調	繰り返し		$\sigma_{y上}$ [kN]	$\sigma_{y下}$ [kN]	$\sigma_{max}$ [kN]	$\sigma_{y上}$ [kN]	$\sigma_{y下}$ [kN]	$\sigma_{max}$ [kN]	
ABR400(M20)	引張	アンカーボルト				3	215.87	343.00	322.00	460.00	322.00	311.00	453.00		

$\alpha$ : 試験体採取方法による低減係数で0.95

※1単調加力を1体のみの実験であるため短期基準耐力Poの算定は行わない

※2ABR400-M20×4本の  $P_{ud}457.60\text{kN} < P_{u下下限値}503.59\text{kN}(P_{ud}/P_{u下下限値}=1.10) \rightarrow \text{ABR400-M20} \times 4$ 本使用可

※3WBT-2:表層ラミナ平行方向、WBT-2:表層ラミナ直交方向

※4接合部1箇所当たりの予備試験結果。予備試験で治具が降伏したため0内の試験数は実施せず

※5床上端評価時

※6床下端評価時

※7完全弾塑性評価において、降伏耐力Pyは3体中2体で適切でない値であったため、評価の対象外とし、短期基準耐力Poは最大荷重Pmaxの2/3で評価した

※8SHW-3:ベアースプレート用座屈なし、SHW-2:ベアースプレート用座屈ありで参考値

2-2) 要素試験における試験パラメータは、構面実験に対応する部位のみ、即ち、特定の構面を対象とした部位のみである。例えば、床の GIR せん断接合部は表層ラミナ平行方向加力のみ実験を行ったが、実際の建物では表層ラミナ直交方向にせん断力を負担する箇所もある。従って、本編で提案した接合形式を用いて自由度の高い設計を行うためには、パラメータの充足が必要である。

2-3) 高耐力接合部を用いて、1.5 層の 1/2 スパンの構面実験を行った。長期軸力による抑え込み効果の影響を調べるため、①軸力なしと②500kN の一定軸力を作用時の 2 体試験を実施した。短期許容水平耐力は①で 77.99kN、②で 111.29kN であった。短期許容水平耐力について、②は①の 1.43 倍であり、抑え込み効果による短期許容水平耐力の向上が確認された。

2-4) 軸力なしの短期許容水平耐力 77.99kN は、1.2 節で示した壁パネルを S90-5-7 とする場合に壁パネルの構造性能によって決まる許容水平耐力 84.0kN/m(反曲点高さ比  $y=0.85$  時)にほぼ達している。今後、柱頭部や垂れ壁部分のドリフトピン本数、即ち耐力設定を調整することでより高靱性かつ合理的なものとし、5 層程度の中層建築物に対して実用性の高い CLT パネル工法を実現することは十分に可能といえる。

第 3 章では、1 章で提案した高耐力接合部を用いた CLT 耐力壁を数値解析的に評価を行う方法として、2 種類の解析モデルを構築し、2 章で行った構面実験結果との比較を行い、モデル化の妥当性を検証した。また、それらの検証によりモデル化の妥当性が確認された解析モデルを用いて 5 層建築物の耐震性能を数値解析を用いて試算した。本章で得られた知見を以下に示す。

3-1) ドリフトピン及びボルトを 1 本毎に単軸ばね又は線材(マルチせん断バネモデル)で精緻にモデル化を行った「詳細モデル」と実務設計に用いることを想定して単軸ばね及び回転ばねで構成される「簡易モデル」の 2 種類の数値解析モデル構面試験体形状に準じた形状で作成し、構面実験結果と比較してモデル化の妥当性を確認した。「詳細モデル」と「簡易モデル」はいずれも実験結果とは比較して、荷重-変形角関係は比較的よく適合しており、降伏メカニズムも再現できており、モデル化の妥当性が確認された。

3-2) 「簡易モデル」を用いて、1 スパン 5 層架構及び 2 スパン 5 層架構の単位長さ当たりの短期許容水平断耐力を数値解析を用いて試算した。解析結果より得られた短期許容水平耐力は、1 スパン架構で 63.8kN/m、2 スパン架構で 53.2kN/m であり、いずれも  $0.2Q_u/D_s$  で決まっている。終局耐力  $Q_u$  は 2 スパン架構の方が高いが、2 階中柱脚部の壁-床間の GIR せん断接合部がアンカーボルト及び大型鋼板に対して先行破壊が生じ、変形性能が 1 スパン架構と比較して小さくなった。そのため、 $D_s$  が大きくなり、2 スパン架構の  $Q_u$  が 1 スパン架構と比較して小さく評価された。本モデルでは、プログラムの都合上、柱頭・柱脚部の圧縮軸力による摩擦抵抗を考慮していないため、モデル化を工夫する、あるいは GIR せん断接合部のボルトの径あるいは本数を増やすなどの補強を行えば、1 スパンの場合の  $Q_u$  (63.8kN/m) 以上の耐震性能が多スパンであっても得られると考えられる。以上より、1.4 節で設定した接合方法は中層建築物の接合部として実用的な性能を有するといえる。

本編では、上記に示すように鋼板挿入ドリフトピン接合及びGIR接合を用いた高耐力接合部を提案し、実験及び静的増分解析を用いて、5層程度の中層建築物に対して実用性の高いCLTパネル工法を実現することは十分に可能といえることが確認できた。今後、壁柱と直交壁を十分な耐力で接合し、直交壁効果が保証できるような接合方法を開発することにより、大幅な構造性能の向上が期待でき、より自由度の高いCLT建築物の設計が可能となる。