

0-6 枠組壁工法構造用製材を用いた開口耐力フレームの水平せん断性能

北大院農 ○富高亮介 平井卓郎 澤田圭

1. はじめに

建物が地震力や風圧力といった水平力に対して安全であるためには、建物が保持する水平耐力が必要とされる水平耐力を満たしている必要がある。建物の水平耐力を求めるにあたり、開口部の水平耐力を評価するには許容応力度計算が必要になる。しかしながら、一般的な小規模住宅で行われる簡易的な構造計算では開口部は水平耐力要素とみなさないものとされる。一方で、開口部の存在は採光等の居住性の確保のために不可欠であり、多くの場合、建物の強さと開口部による居住性を両立させることが求められる。

本報は、開口部に挿入でき開口部に耐力を持たせられるような耐力フレーム¹⁾²⁾³⁾の水平せん断性能について評価・検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の形状を図1に示す。開口フレームの試験体（以下CJ-G）は高さ2700mm、幅1820mmの閉合ラーメンフレームとした。図2に試験体組立概略図を示す。試験体は、厚さ35mm程度になるよう鉋掛けした206材を3枚接着（湿気硬化型ポリウレタン樹脂接着剤：サンスター技研）する構成（断面105×140）を基本とし、3層の間の部材と両側の部材をそれぞれ一定間隔でCN65釘による釘打ちを併せて行った。水平部材・縦枠の接合部も、接着接合とCN65釘を1せん断面当たり4本（両面8本）打つ釘接合の併用とした。このように組まれるため、水平部材・縦枠の仕口はほぞ接合となる。現在我が国では、現場における接着工程の管理が難しいことから、現場での接着のみによる接合は認められていない。これより、試験体の仕様は接着接合に加え、釘接合とほぞ接合の複数の機械的抵抗要素を持つものとした。接着面の抵抗の他に、釘のせん断抵抗

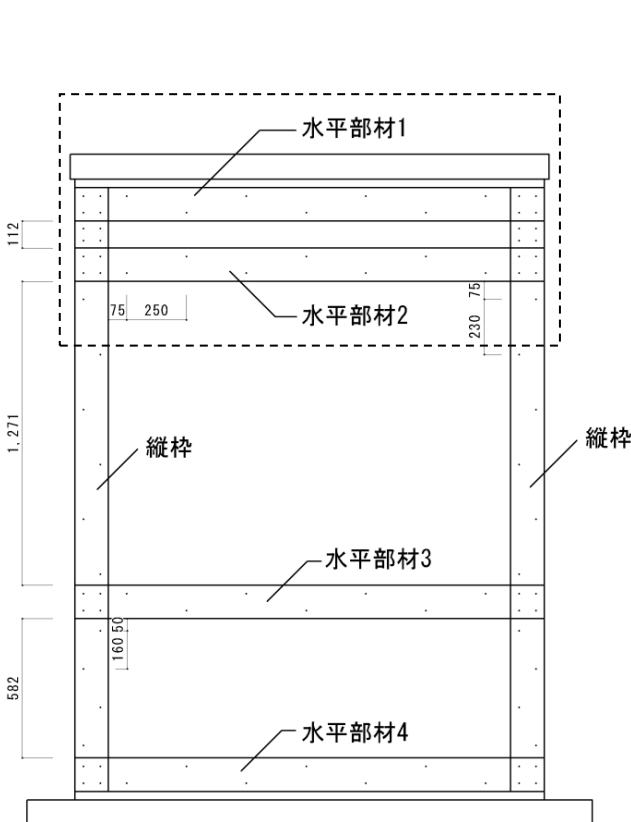


図1 CJ-G, CJ-NG 試験体形状

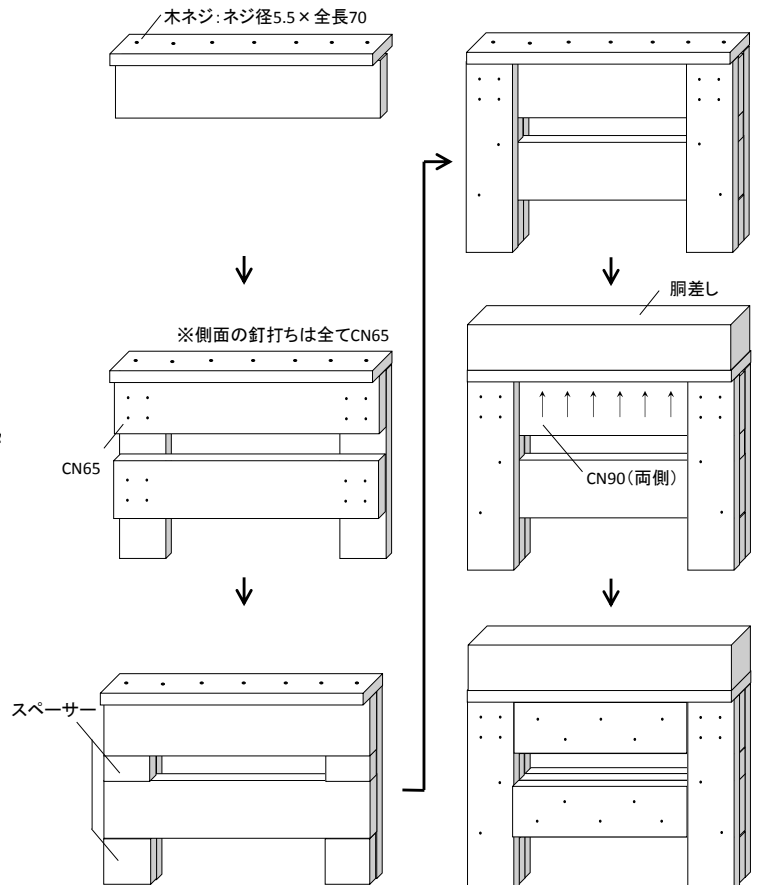


図2 試験体組立概略図（図1破線囲み部分）

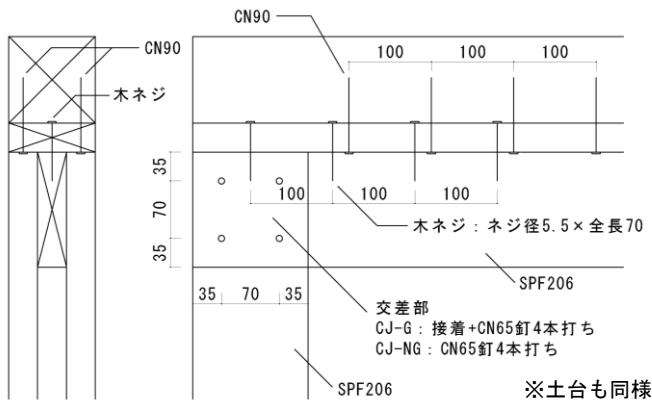


図3 胴差し-フレーム固定部詳細

表1 試験体仕様と基礎材質

試験体名	材	仕様	比重		含水率(%)		E _r (GPa)	
			Avg.	C.V.(%)	Avg.	C.V.(%)	Avg.	C.V.(%)
CJ-G	SPF206	全面接着	0.49	6.80	13.34	6.64	10.83	13.17
CJ-NG		接合部のみ 未接着	0.49	5.73	12.54	4.47	11.22	14.33
CP	ホワイトウッド 105角材	面材張り 耐力壁	0.47	3.00	15.55	2.42	12.69	12.34

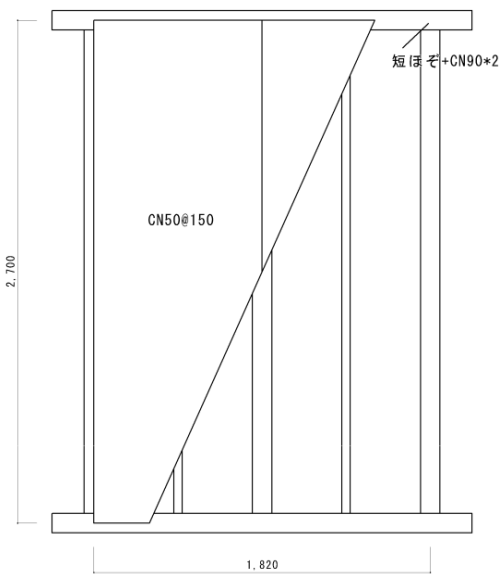


図4 CP試験体形状

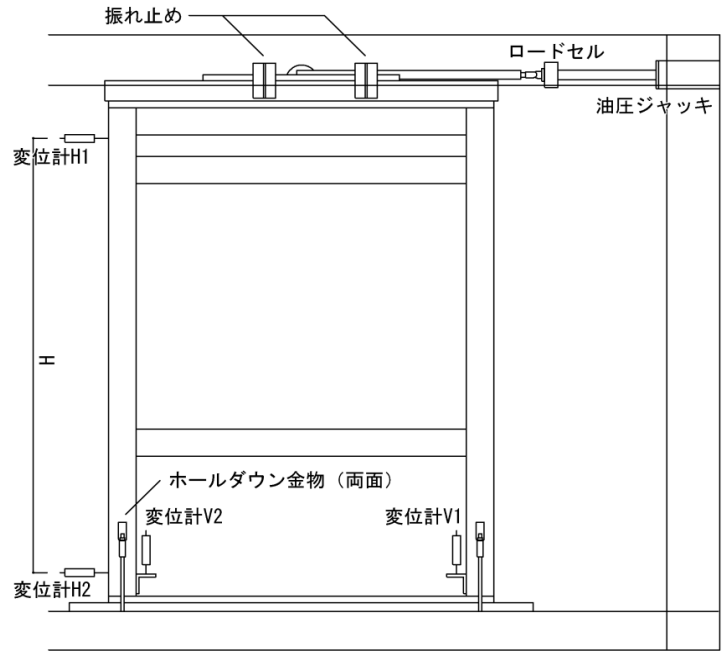


図5 加力装置及び変位計

とほぞのめり込み抵抗を並列させることで、脆性的な耐力の低下を防ぐことを試みた⁴⁾。図3に胴差し部分の詳細を示す(土台も同様)。胴差し及び土台はトドマツ正角材(105角)とし、フレーム側からCN90釘を釘打ちし固定した。接合部を接着しない開口耐力フレームの試験体(以下CJ-NG)は、水平部材・縦枠の接合部を接着せず、CN65釘を1せん断面当たり4本(両面8本)打つのみとした。接合部仕様以外はCJ-Gと同様とした。このため、CJ-NGは釘接合とほぞ接合の2つの機械的抵抗要素のみを持つ。比較のための一般的な荷重-変形角曲線を得るために、図4に示す面材張り耐力壁(以下CP)を作成した。柱及び胴差し、土台はホワイトウッド正角材(105角)とし、9mm厚構造用合板をCN50釘で150mmピッチで釘打ちした。各条件3体ずつ計9体の試験を行った。条件毎の仕様と基礎材質を表1に示す。動的ヤング率は縦振動法による値である。

2.2 試験方法

閉合フレーム及び面材張り耐力壁の水平せん断耐力試験を行った。加力装置及び変位計の設置位置を図5に示す。無載荷柱脚固定方式とし、ホールダウン金物(20kN用:カネシン)を閉合フレームでは柱脚部(面外2個、計4個)に、面材張り耐力壁では柱頭柱脚部(面内1個、計4個)に取り付け、柱の浮き上がりを拘束した。加力方法は、みかけのせん断変形角が1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50における、正負3回の交番繰返しとし、変形性能を把握するため、最大荷重の80%まで低下した後も1/10rad.を目標に加力を続けた。土台は反力フレームにアンカーボルトで固定し、面外方向の振れは振れ止めで拘束した。

3. 結果・考察

3.1. 破壊性状

CJ-G 及び CJ-NG について、試験後の破壊性状を写真 1~4 に示す。CJ-G では、縦枠の柱脚・柱頭の接合部での接着層の剥離が先行して生じ、その後、他の接合部でも破壊が生じたが、その順番や部位に傾向は見られなかった。接着面 (140*140、両面) の剥離は接着面全面ではなく、木口からの割裂を伴って部分的に生じていた。CJ-NG では、柱脚部及び水平部材の木口で割裂が生じた。いずれの条件でも、仕口部、とくに水平部材 2 及び 3 と縦枠の接する部分でのめり込みが顕著であった。スペーサー部の滑りや破壊は確認されなかった。



写真 1 CJ-G 縦枠柱頭部



写真 2 CJ-G 縦枠柱脚部



写真 3 CJ-NG 縦枠柱頭部



写真 4 CJ-NG 縦枠柱脚部

3.2. 荷重-変形角曲線

荷重-変形角曲線を図 6 に示す。CJ-G の荷重-変形角曲線は、1/30~1/40rad.にかけて最大荷重に達し、接着層の破壊により急激に荷重が落ちた。接着層の破壊後、荷重は落ち切ることなく、1/10rad.まで 7~11kN を推移した。CJ-NG の荷重変形角曲線は、剛性が小さく、荷重は緩やかに上昇を続け、1/10rad.で平均 7.16kN を示した。この荷重は、CJ-G の荷重低下後の荷重をやや下回るものの、CJ-G の低下後の荷重とほぼ一致を見せた。CJ-G は接着接合と釘接合及びほぞ接合を併用した仕様、CJ-NG は釘接合とほぞ接合のみの仕様で

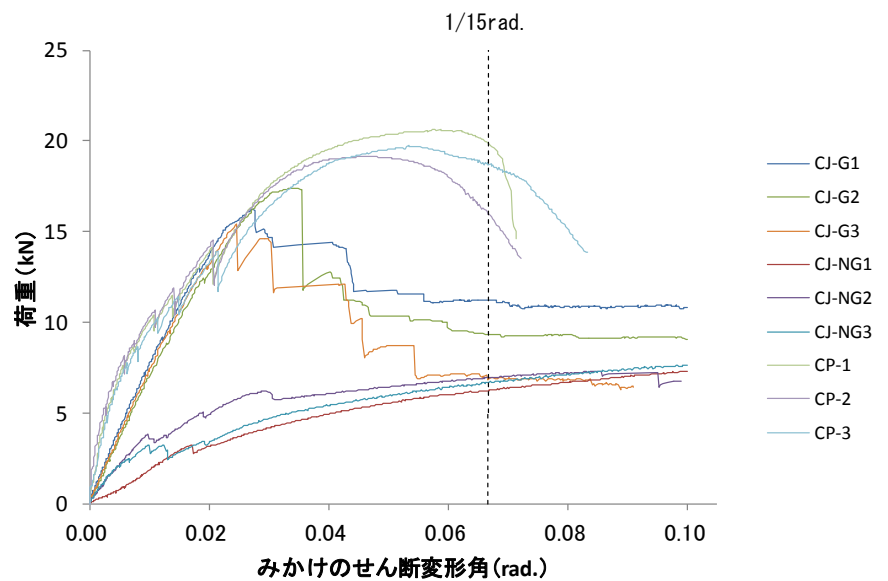


図 6 荷重-変形角曲線

あること、また、CJ-G の荷重の低下を引き起こした破壊が接着層の剥離によるものであったことから、CJ-G において、破壊に伴い接着接合から釘接合及びほぞ接合へ荷重の乗り換えが起こったと言える。このことは、靱性的な機械的抵抗要素を併用することで、接着接合であっても接着層の脆性的な破壊に伴う急激な耐力の低下を緩和させることが可能であることを示している。倒壊に対する安全限界として 1/15rad.の荷重を CJ-G 及び CJ-NG と CP で比較すると、3 条件の中で CP が最大となるが、CJ-G 及び CJ-NG も CP に対して 4~6 割程度の耐力を保有していることがわかる。ただし、耐力壁は壁長に比例してせん断耐力が増加するが、CJ-G 及び CJ-NG はラーメン構造であり耐力壁と同様ではない。あくまで、本実験の試験体仕様における耐力の限定的な比較とする。1/10rad.まで変形角を大きくすると、CP は耐力を失ってしまうが、CJ-G 及び CJ-NG は耐力がまだ存在している。この靱性的な特性は、極めて稀に起こる地震によって非常に大きな水平力が建物に発生し大変形が生じたとき、この耐力フレームにより生存に必要な空間の確保を担える可能性を示唆している。

上記の特性を踏まえ、安全で確実にせん断耐力を評価する方法を考える。安全限界である 1/15rad.における評価で、脆性的でばらつき大きい破壊が既に生じている CJ-G の値を用いるのは難しい。よって、CJ-G の荷重低下後の下限値として CJ-NG の荷重を用いる。1/120rad.と設定される損傷限界⁵⁾の性能は、初期剛性が大きく影響するため、CJ-G の値を用いる。この時、CJ-G の抵抗要素は接着接合が主であるが、破壊が生じるまで変形角と荷重は 2 倍程度余裕があることから、CJ-G の値を用いても問題ないと判断される。具体的に以下に示す①、②の方法で CJ-G を置換し、得られた置換モデルを図 7 に示す。

① 最大荷重の信頼水準 75%における 5% 下限値 (図 6 中の i) に安全率 2 を除した荷重 (図 6 中の ii) から x 軸に平行な直線を引き、CJ-G の曲線との交点でつなぐ。

② CJ-G の損傷限界 1/120rad.時の荷重から x 軸に平行な直線を引く。

①は最大荷重を基準に考える。接着接合であることを考慮し安全率 2 を与えた。②は損傷限界変形を基準に考える。②は最大荷重の 5%下限値に安全率 2 を考慮した置換モデルである①を下回っているため、CJ-G の接着接合に対して安全側評価であるといえる。

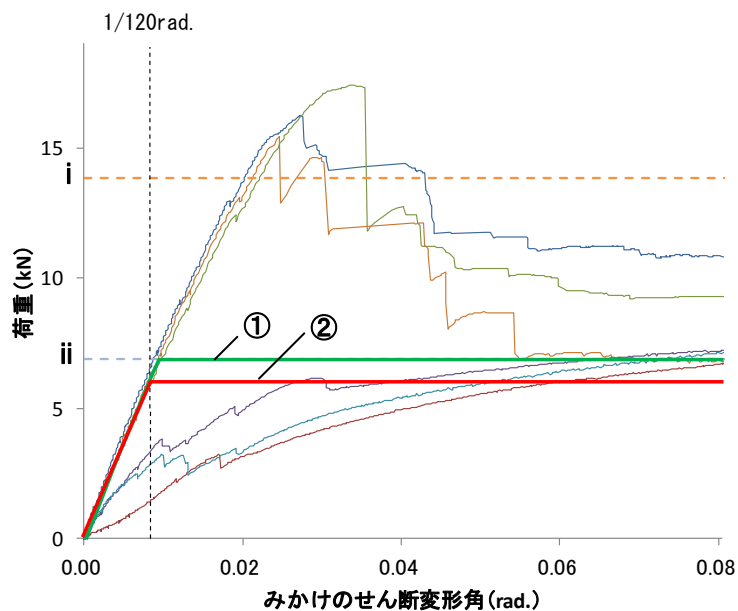


図 7 CJ-G の置換モデル

3.3. せん断耐力評価

表 2 に完全弾塑性モデルによる各評価値及び短期基準せん断耐力、壁倍率換算値を示す。壁倍率換算値は短期基準せん断耐力を壁長及び倍率 1 とするせん断耐力 1.96kN で除した値である。これは、せん断耐力が壁長に比例するという前提で考えられており、ラーメンフレームにはあてはまらない。

従って、CJ-G 及び CJ-N の壁倍率換算値は比較・検討のための参考値である。また、前項で検討した②を CJ-G の置換モデルとして耐力評価の対象とした。この CJ-G 置換モデルはバイリニア型であるため、降伏耐力 P_y 、終局耐力 P_u は一致する。また、CJ-G 低減モデルの最大荷重を含む評価項目は、CJ-G の最大荷重に安全率 2 を考慮してバイリニア置換しているため、さらに安全率 1.5 で除すことはせず、最大荷重 (= $P_y = P_u$) を評価値とした。CJ-G、CJ-NG 及び CJ-G 置換モデルの終局変位を 1/15rad. として評価した。

CJ-G 置換モデルは塑性率を含む評価値が最小で、短期基準せん断耐力は 4.86kN となった。置換前の CJ-G も同様に塑性率を含む評価値が最小で、その値は CJ-G 置換モデルより 9%程下回る 4.43kN であった。このことは、完全弾塑性モデルによる評価方法が CP の荷重-変形角曲線のような一般的な形状の曲線を想定したものであり、特に CJ-G のように荷重低下後も一定の耐力を保有する曲線の評価に適さないことを示している。

4. まとめ

枠組壁工法構造用製材を用いた開口耐力フレームのせん断性能の評価を行った。実験により接着接合と釘接

表 2 完全弾塑性モデルによる耐力評価

条件名	平均値 [kN]				短期基準せん断耐力 [kN]	壁倍率換算値
	P_y	$P_u \cdot (2\mu - 1)^{0.5} / 5$	$2/3P_{max}$	$P_{1/120}$		
CJ-G	9.13	4.43	10.65	6.11	4.43	1.24
CJ-NG	3.35	2.37	4.32	2.16	2.16	0.61
CJ-G置換	6.28	4.86	6.28 [*]	6.28	4.86	1.36
CP	9.12	9.83	13.04	8.80	8.80	2.47

※CJ-G置換のみ P_{max}

合及びほぞ接合を併用した仕様と釘接合及びほぞ接合のみの仕様のせん断性能を明らかにした。接着接合と釘接合及びほぞ接合を併用した仕様は、急激な荷重の低下を防ぎ、かつ靱性を有していることが検証出来た。また、接着接合と機械的接合を併用した仕様と機械的接合のみの仕様を比較することで、接着接合に破壊が生じ荷重が落ちた後の耐力を、機械的接合のみの仕様の耐力を下限値として評価する方法を検討した。

参考文献

- 1) 本間智恵美, 既存木造住宅の劣化した壁体の耐震補強に関する研究, 北海道大学大学院農学院修士論文, 2006
- 2) 野田康信, 採光性の高い居住空間を求めて—木質閉合ラーメンの可能性, 北海道大学農学部森林科学科木材工学研究室卒業論文, 2000
- 3) 高島和之, 木質閉合ラーメンの水平せん断耐力性能, 北海道大学農学部森林科学科木材工学研究室卒業論文, 1999
- 4) 平井卓郎・宮澤健二・小松建平: 木質構造第4版, p129, (2012)
- 5) 2007年版建築物の構造関係技術基準解説書, 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会, p294-295