

GRG を用いた小開口付き耐力壁の面内せん断性能に関する研究

STUDY OF PERFORMANCE OF GRG SHEAR WALL WITH AN OPENING

網 友雄*, 篠原 建次*, 松本 敏夫**
坂本 功***, 腰原 幹雄****

*Tomoo TSUNA, Kenji SHINOHARA, Toshio MATSUMOTO
Isao SAKAMOTO and Mikio KOSHIHARA*

Interior wall has some small opening for ducts, switch boxes and sockets. Static loading tests were conducted to determine the influences of small opening upon the seismic performance of shearing wall. The shear wall consists of a gypsum-based material: glass fiber reinforced gypsum board (GRG). GRG board comprises a gypsum core that contains glass fibers, embedded and reinforced with non-woven glass fibers on surfaces thereof. The seismic performance of the interior wall with small opening was decreased about 90% compared with the wall with no opening. Possible proposals were made based on the results of static tests in a process of design and installation.

Keywords : *Wooden framework, Shearing wall, Gypsum board, Glass fiber, Opening*

木造軸組工法, 耐力壁, 石膏ボード, ガラス繊維, 開口

1. はじめに

内壁側の耐力壁には非耐力壁と同様に、しばしば排気用のダクトまたはコンセントボックス、スイッチボックスなどを取付けるため、丸型あるいは角型の小開口が設けられる。従来、通例的に、一般的な木造住宅においては建築主事の判断によって、耐力壁に換気ダクト程度の開口は設けてもよいとされてきた。また、国土交通省は、「建築物の安全性の確保を図るための建築基準法等の一部を改正する法律等に関する構造関係告示の施行について(技術的助言)」の中で、周囲の軸組から離して設ける径 50cm 程度の換気扇用の開口は、開口部を設けない場合と同様に取扱うことができるとしている。このような背景から、小開口による影響は、多くの場合、設計の際にその性能の低下が考慮されておらず、施工者あるいは各メーカーが独自に開口に関するルールを設けているのが現状である。

そこで筆者らは、石膏ボードと同様に石膏を基材とし、これをボード表裏にガラス繊維を伏せこんで補強した、ガラス繊維補強石膏板(以下 GRG : Glass Fiber Reinforced Gypsum Board) を内壁用の耐力面材として用いて、小開口が耐力壁の面内せん断性能に及ぼす影響を検証した。面内せん断試験体は、いずれもこの GRG を用いた木造軸組耐力壁であり、これに丸型あるいは角型の小開口を設けたものである。換気ダクトあるいはコンセントボックス、スイッ

チボックス用の小開口の寸法、個数、位置については実際の建築現場を調査し、その結果、寸法は丸型で最大φ200mm、角型で100mm角とした。

2. 内壁側耐力壁に設けられる小開口の現状

2.1 既報の研究

窓やドアなどの開口による耐力性能の低下については、杉山により、せん断剛性推定式(以下、杉山式)が導かれている^{*)}。しかしながら、この式は、耐力面材を開口部の上下に垂れ壁あるいは腰壁として設ける場合の効果を示し、かつ枠組壁工法で適用できることが同時に提言されている。

開口の影響によりその付近の面材の耐力が働かなくなると仮定した場合、耐力壁の面内せん断性能は準耐力壁のそれに近づくこととなる。準耐力壁の面内せん断性能は、「住宅の品質確保の促進等に関する法律(以下、品確法)」の壁量計算方法の中で算定式が示されている^{*)}。これによると、無開口耐力壁の壁倍率に対して準耐力壁の壁倍率は0.5~0.6倍程度となる。

(財)日本建築センターがまとめた「建築物の構造関係技術基準解説書」では、保有水平耐力計算及び許容応力度計算の方法を定めた告示の解説として、適切に補強していれば径 50cm 程度の開口を剛

*吉野石膏株式会社

**吉野石膏株式会社・博士(工学)

***慶応義塾大学教授・工博

****東京大学生産技術研究所 准教授・博士(工学)

Yoshino Gypsum. Co. LTD.,

Yoshino Gypsum. Co. LTD., Dr. Eng.

Prof., Keio University, Dr. Eng.

Associate Prof., IIS, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

性及び耐力の低減を行うべき開口部に該当しないとしているが^{*3}、補強方法について具体的に言及していない。これらの研究は耐力面材の部分張りあるいは比較的大きな開口の影響を検証したものとと言える。

2.2 小開口に関する現状調査

実際の施工現場で設けられる小開口の現状を把握するため、平成18年1～6月の間に、東北、関東地方の木造戸建住宅6現場を視察し、計108ヶ所の小開口の寸法、位置を確認した。この結果を表1に示す。小開口の寸法は、丸型は寸法φ150mm以下、角型は100mm角以下のものが多かった。小開口の位置については、丸型の場合は面材の上端および水平方向縁部から100～200mm程度離れた箇所に設けられているケースが多く、角型については、多くが柱または間柱付近に設けられていた。また、角型の場合は壁下端部よりも中央付近にスイッチボックス用として多く設けられていた。本研究ではこの調査結果をもとに面内せん断試験体を作製し、小開口の影響を検証した。

3. 試験の概要

3.1 目的

前述のように、内壁側の耐力壁における換気ダクト、コンセントボックス、スイッチボックス用の小開口が面内せん断性能に与える影響は、設計あるいは施工段階で考慮されていないのが現状である。この影響を面内せん断試験により検証することを目的とした。

3.2 GRGの材料試験

GRGは、ガラス繊維を混入した石膏を芯材として、その表裏にガラス繊維不織布を伏せ込んだ石膏板である。GRGの製品断面を図1に、規格値を表2に示す。GRGの耐力面材としての基本的性能として、下記試験を実施した。

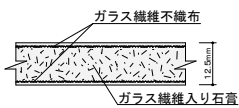


図1 GRG断面図

表2 GRG規格値

厚さ[mm]	12.5±0.5	
比重	1.10±0.11	
曲げ強さ[N]	650以上	
ヤング率 [N/mm ²]	長さ方向	4.98×10 ³
	幅方向	4.16×10 ³

3.2.1 せん断強度、せん断弾性係数Gの測定

せん断強度およびせん断弾性係数Gは、LW改良法により測定した。GRGは、製品の長さ方向に連続して製造されるため、異方性が考えられる。測定は、製造方向による異方性の有無を確認するために、長さ方向と幅方向で行った。試験体数は長さ方向、幅方向それぞれ2体ずつとした。

3.2.2 ネジとの接合部の諸定数の測定

GRGのネジ接合部の諸定数(面材ネジ1本当たりの一面せん断の数値)は、一面せん断試験により求めた。試験に用いたネジ(GN40相当)の形状を図2に示す。一面せん断試験は、図3に示す方法で実施した。木柱には断面寸法105×105mmのスギ材(乙種構造材1級、D20)を用い、ネジの固定位置は面材の中央とした。加力方法は、一方向加力から最大荷重を超え、耐力が最大荷重の80%まで低下した時の変位を終局変位 δ_u と定義し、終局変位 δ_u から1.25, 2.5, 5, 7.5, 10%で正負1回の繰り返しを行い、それ以降は20, 40, 60, 80, 100%で正負3回の繰り返しを行った。変形量は、見かけの変形(面

材に対する加力桁の水平変位)で制御した。終局変位 δ_u は、ネジ接合部の一方向加力の結果に基づいて $\delta_u=16\text{mm}$ とし、加力速度は毎秒0.5～1.0mmの範囲で設定した。また、摩擦の影響を低減するため、GRGと木柱との間に滑りテープ(4フッ化エチレン樹脂シート厚さ0.09mm)を挿入した。試験体数は長さ方向、幅方向それぞれ3体ずつとした。

3.3 面内せん断試験

3.3.1 試験方法

面内せん断試験の方法はタイロッド式とし、加力には油圧ジャッキを用いた(図4)。真の変形角1/600, 1/450, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75および1/50において、正負3回の交番繰り返し後、正側で最大荷重の80%にまで低下した時点を終局とした。荷重は、油圧ジャッキに取付けたロードセルにて測定した。変位計を用いて水平変位および鉛直変位を測定し、真の変形角を求めた。

3.3.2 試験体

試験体は木造軸組工法の大壁(2P)を基本とし、耐力面材であるGRGの寸法は910×2730mm(後述の準耐力壁のみ910×2470mm)とした。ネジのピッチは周辺部100mm間隔、中間部200mm間隔とした。ネジは一面せん断試験において使用したものと同様である。無開口耐力壁を試験体Nとする。その他の試験体はこのNに小開口を設けたものであるが、小開口の寸法は丸型でφ150mmまたはφ200mm、角型で100mm角とした。開口位置は調査の際に多く見られた位置とした。また小開口の数は1Pあたり1ないし2個とした。作製した10種類の試験体を表3および図5に示す。丸型の小開口を設けた試験体はM1～M3である。これらは排気ダクト用の小開口を想定したものである。角型の小開口を持つ試験体はK1～K4である。これらはコンセントボックスおよびスイッチボックス用の小開口を想定したものである。角型小開口は四隅にドリルを用いて穴を開けた後、鋸を用いて加工した。そのため小開口部はわずかな切り込みなどの損傷がある可能性がある。一方、開口部分の補強方法を検討するため、試験体M2の小開口部の下部の柱-間柱間に受材(断面寸法30×40mm)を挿入した試験体M2Hを作製した。また、壁上部に隙間を設けた準耐力壁である試験体Jも作製した。試験体数はいずれの試験体においても3体とした。

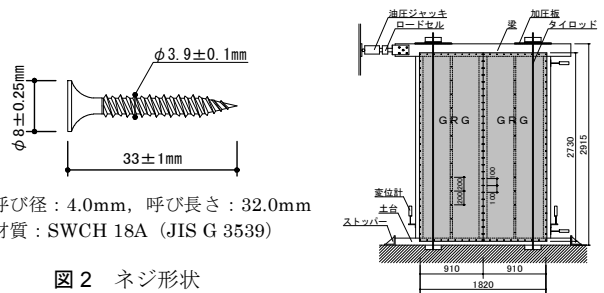


図2 ネジ形状

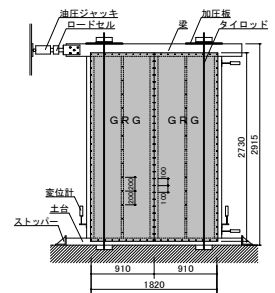


図4 面内せん断試験方法

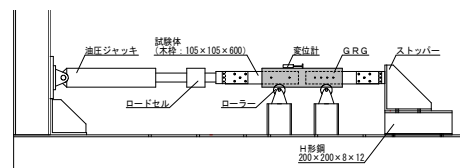


図3 一面せん断試験概略図

表 1 木造戸建住宅の現場調査結果

丸型小開口		垂直方向位置 (面材と小開口の縁空き距離)		水平方向位置 (面材と小開口の縁空き距離)	
寸法	割合		割合		割合
φ 100mm以下	87%	面材上端から100mm以下	20%	面材縁部から100mm以下	20%
φ 100~150mm	13%	面材上端から100~200mm	53%	面材縁部から100~200mm	60%
φ 150mm以上	0%	面材上端から200mm以上	27%	面材横方向中央付近	20%

角型小開口		垂直方向位置 (面材と小開口の縁空き距離)		水平方向位置 (面材と小開口の縁空き距離)	
寸法	割合		割合		割合
50×100mm	76%	面材下端から200mm以下	16%	面材縁部から50mm付近	20%
100×100mm	22%	面材下端から200~300mm	17%	面材縁部から100mm付近	22%
100×150mm	2%	面材縦方向中央付近	67%	面材横方向中央付近	58%

表 3 面内せん断試験体の詳細

試験体名	N	M1	M2	M3	K1	K2	K3	K4	M2H	J
小開口形状	なし	丸型φ150	丸型φ150	丸型φ200	角型100角	角型100角	角型100角	角型100角	丸型φ150 (補強有)	なし
1Pあたりの小開口数	0	1	2	2	1	1	2	2	2	0
想定する小開口の用途	無開口大壁	ダクト	ダクト	ダクト	コンセント	コンセント	コンセント スイッチ	スイッチ	ダクト	準耐力壁

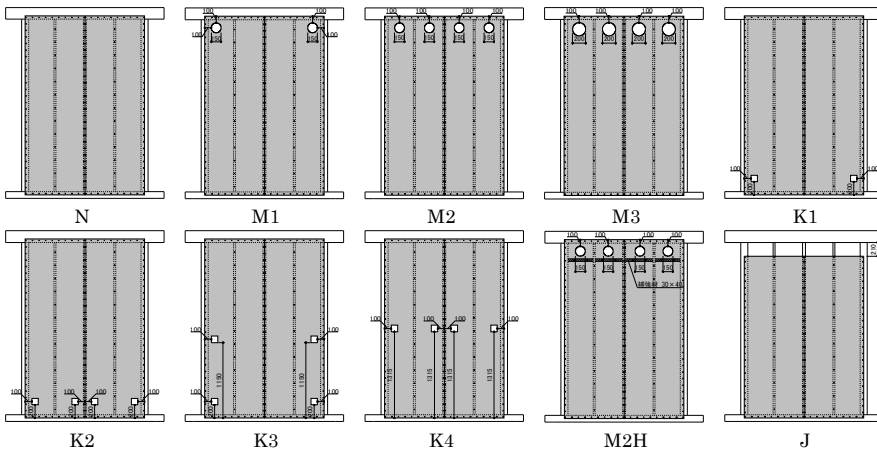


図 5 面内せん断試験体立面図

表 4 せん断強度、せん断弾性係数 G

項目	長さ方向		幅方向	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
せん断強度 [N/mm ²]	0.932	0.030	0.546	0.015
せん断弾性係数 G [N/mm ²]	1026	27	1112	11

表 5 ネジとの接合部の諸定数

項目	長さ方向		幅方向	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
最大荷重 P _{max} [N]	1084	9	1050	38
降伏耐力 P _y [N]	635	15	584	17
降伏変位 δ _y [mm]	0.92	0.07	0.98	0.03
剛性 K [N/mm]	1090	86	987	6
終局変位 δ _u [mm]	11.8	1.3	11.1	1.7
△P _y [N]	997	4	964	28

表 6 面内せん断試験体の完全弾塑性モデルによる特性値

試験体名	N	M1	M2	M3	K1	K2	K3	K4	M2H	J
降伏耐力 P _y [kN]	12.25	11.98	11.09	11.38	12.19	11.22	11.92	11.40	12.04	7.19
P _{0.02/Ds} [kN]	14.88	14.44	11.99	12.89	13.67	13.11	15.55	13.66	13.80	8.82
P _{1/150rad} [kN]	18.78	17.75	15.49	15.40	17.17	15.93	16.40	16.18	17.64	9.80
2/3P _{max} [kN]	13.83	13.40	12.43	12.53	13.38	12.51	13.30	12.75	13.57	8.23
終局耐力 P _u [kN]	19.36	18.83	16.98	17.35	18.49	17.30	17.96	17.44	18.89	11.03
最大荷重 P _{max} [kN]	20.76	20.10	18.64	18.80	20.07	18.77	19.95	19.13	20.35	12.35
降伏変位 δ _y [rad.]	1/486	1/478	1/362	1/360	1/420	1/413	1/423	1/418	1/439	1/341
降伏点変位 δ _y [rad.]	1/307	1/304	1/240	1/234	1/277	1/268	1/280	1/273	1/280	1/222
終局変位 δ _u [rad.]	1/39	1/39	1/36	1/31	1/38	1/35	1/28	1/33	1/39	1/26
剛性 K	2.45	2.39	1.77	1.71	2.14	1.91	2.08	1.96	2.20	1.01
塑性率 μ	7.89	7.88	6.76	7.47	7.39	7.70	9.89	8.21	7.33	8.50
構造特性係数 Ds	0.26	0.26	0.28	0.27	0.27	0.27	0.23	0.26	0.27	0.25
壁倍率	3.38	3.30	3.05	3.12	3.37	3.10	3.31	3.18	3.22	1.99
開口長さ比 α	0.00	0.16	0.33	0.44	0.11	0.22	0.11	0.22	0.33	1.00

表 7 降伏耐力 P_y の標準偏差、ばらつき係数

試験体名	N	M1	M2	M3	K1	K2	K3	K4	M2H	J
平均値 [kN]	12.25	11.98	11.09	11.38	12.19	11.22	11.92	11.40	12.04	7.19
標準偏差	0.44	0.46	0.44	0.54	0.37	0.35	0.22	0.10	1.20	0.19
ばらつき係数	0.983	0.982	0.981	0.978	0.986	0.985	0.991	0.996	0.953	0.988
平均値 × ばらつき係数 [kN]	12.04	11.76	10.88	11.12	12.01	11.06	11.82	11.35	11.48	7.10

表 8 最大荷重 P_{max} の標準偏差、ばらつき係数

試験体名	N	M1	M2	M3	K1	K2	K3	K4	M2H	J
平均値 [kN]	20.76	20.10	18.64	18.80	20.07	18.77	19.95	19.13	20.35	12.35
標準偏差	0.41	0.69	1.29	0.48	0.37	0.55	0.50	0.16	1.74	0.43
ばらつき係数	0.991	0.984	0.968	0.988	0.991	0.986	0.988	0.996	0.960	0.984
平均値 × ばらつき係数 [kN]	20.57	19.77	18.03	18.58	19.90	18.51	19.71	19.06	19.53	12.15

4. 試験結果

4.1 材料試験結果

GRGのせん断強度、せん断弾性係数 G を表4に、一面せん断試験の結果を表5に示す。せん断強度に関しては異方向性が確認された。これはGRGが長さ方向に連続して製造されるため、石膏内のガラス繊維に配向性が発現することに起因すると考えられる。せん断弾性係数 G および一面せん断試験により得られる諸係数については、面材の長さ、幅方向で顕著な相違は見られなかった。

4.2 面内せん断試験結果

前述の10種類の試験体の面内せん断試験結果を、完全弾塑性モデルによる特性値の平均値として、表6に示す。また、降伏耐力 P_y および最大荷重 P_{max} の標準偏差、ばらつき係数を表7,8に示す。 P_y 、 $P_u \cdot 0.2/D_s$ 、 $P_{1/150rad}$ 、 $2/3P_{max}$ の4つの指標から得られる短期基準せん断耐力は、いずれの試験体でも P_y で決定した。壁倍率は P_y にばらつき係数を乗じた値を、壁幅 (1820mm) および 1.96kN で除して得た。また、図6,7,8に荷重-変形角曲線を、それぞれ試験体Nと比較して示す。小開口付き耐力壁の荷重-変形角曲線はいずれもNと同様の傾向を示した。小開口付き試験体のうち、M1では3体中1体で、M3では3体中全ての試験体で、K2では3体中2体の試験体で図10に示すような小開口部を斜めに横断する割れが確認された。小開口部の割れはいずれも変形角 $1/75rad$ 時に発生したが、これらの割れが生じた小開口付き耐力壁についても、荷重-変形角曲線は無開口のNと同様の傾向を示した。また、完全弾塑性モデルによる特性値においても、割れが発生しない試験体と比較してばらつき係数に大差はなかった。

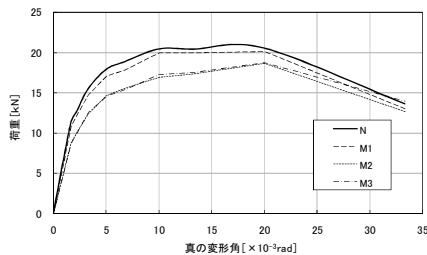


図6 M1~3の荷重-変形角曲線

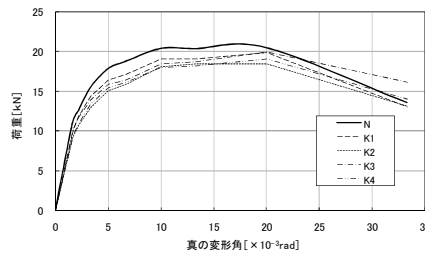


図7 K1~4の荷重-変形角曲線

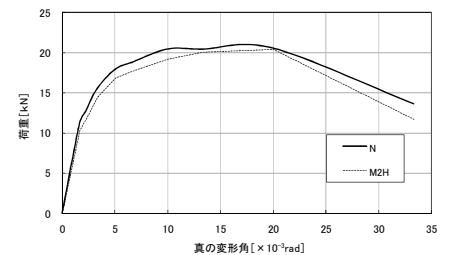


図8 M2Hの荷重-変形角曲線

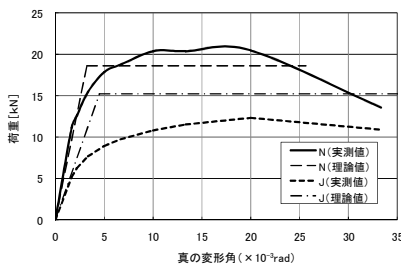


図9 N, Jの荷重-変形角関係

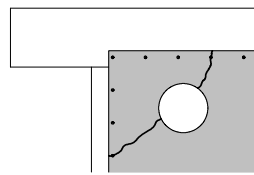
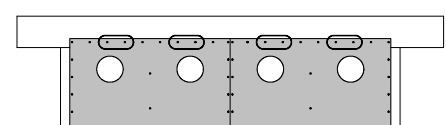


図10 小開口付近の破壊性状



※小開口からの最短距離が100mm以下のネジ(図中で楕円で囲んだ部分)が働かないものとして配列係数を算出した。

図11 小開口の影響で働かないと仮定するネジのモデル

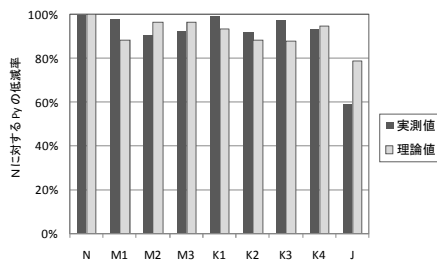


図12 P_y の低減率の比較

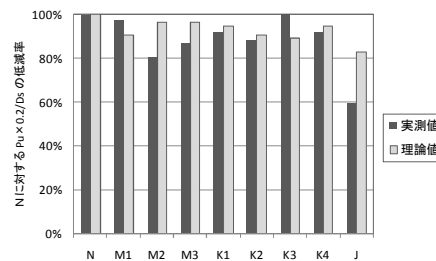


図13 $P_u \cdot 0.2/D_s$ の低減率の比較

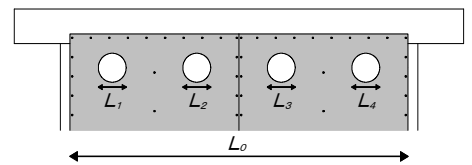


図14 開口長さ比 α を求めるモデル

5. 面内せん断試験結果の解析

5.1 杉山式による解析

杉山式では開口部面積と耐力壁の長さ、壁面の全長、耐力壁部分の長さの和から導かれる開口係数 γ と変形角 $1/300rad$ 時と $1/60rad$ 時のせん断耐力比 F (無開口の壁のせん断耐力と開口付壁のせん断耐力の比) が一定の関係を持つとしている。M2Hを除く小開口付試験体8種類について、杉山式を用いてせん断耐力比 F を得ると、いずれの試験体においても $F > 0.999$ となり、面内せん断試験の結果と大きく乖離する。これは杉山式が窓、ドアといった大開口を想定した実験式であり、本稿で取り上げた小開口の影響を考察するには不相当であるためと考えられる。

5.2 材料試験結果からの解析

(財)日本住宅・木材技術センターがまとめた「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」では、面材とネジの一面せん断試験により得られる ΔP_v と面材のせん断弾性係数 G 、ネジの配列係数から耐力壁の面内せん断性能を算出する方法が示されている⁴⁾。この方法を用いて、面内せん断試験体の無開口耐力壁(N)および準耐力壁(J)の許容せん断耐力の理論値を算出した。この理論値による荷重-変形角関係を図9に示す。降伏点変位 σ_v および終局変位 σ_u は面内せん断試験の結果から得た。降伏点変位 σ_v は無開口耐力壁で $1/307rad$ 、準耐力壁で $1/222rad$ 、終局変位 σ_u は無開口耐力壁で $1/39rad$ 、準耐力壁では $1/26rad$ とした。図9にはNおよびJの面内せん断試験による実測値も示した。材料試験から得られる理論値と、試験により得られた実測値を比較した場合、Nでは両者が比較的一致していたが、Jでは理論値の方が高い値となることがわかった。

表 9 配列係数から得られた面内せん断性能の理論値

試験体名	N	M1	M2	M3	K1	K2	K3	K4	J
降伏耐力 P_y [kN]	16.72	14.79	16.17	16.17	15.61	14.79	14.69	15.81	13.16
$P_u \cdot 0.2/D_s$ [kN]	15.76	14.27	15.24	15.24	14.92	14.27	14.07	14.94	13.03
終局耐力 P_u [kN]	18.65	16.67	17.99	17.99	17.52	16.68	16.41	17.56	15.28
$P_{1/150rad}$ [kN]	38.05	34.79	37.26	37.26	36.10	34.79	34.35	36.36	31.63
I_{xy}	4.096	3.646	3.985	3.985	3.824	3.645	3.586	3.860	3.766
Z_{xy}	0.096	0.085	0.093	0.093	0.090	0.085	0.085	0.091	0.086
C_{xy}	1.115	1.127	1.112	1.112	1.122	1.128	1.117	1.111	1.161

小開口付近は水平荷重が加わった時、他の部位よりも早い段階で破壊が生じやすいため、この付近のネジは本来加わるはずの水平荷重を担保できなくなる。小開口付近のネジの一部がその効果を失うとすれば、ネジの配列係数は各々のネジに加わるモーメントの合計から得られるため、配列係数が変化すると考えられる。そこで小開口付近のネジのうち、水平荷重を担保しなくなる部分を定義し、各々の試験体について配列係数を算出することで面内せん断試験結果の解析を試みた。小開口の影響により効果を失うビスの範囲として、小開口との最短距離が 100mm 以下のものと定義すると (図 11)、得られる配列係数から、各々の試験体について小開口による面内せん断性能低下の理論値を算出できる (表 9)。この配列係数より得た理論値と面内せん断試験の実験値とを、降伏耐力 P_y と $P_u \cdot 0.2/D_s$ について比較したものが図 12,13 である。ここでは基準となる N の実測値と理論値が一致しないため、N に対する面内せん断性能の低下の割合を比較した。しかし、小開口による性能低下の傾向は、実測値と理論値とでは一致しなかった。

5.3 小開口の大きさと面内せん断性能の関係

面材のせん断強度は小開口を設けることによって低下し、開口の寸法が大きいほどこの影響が大きくなると考えられる。そこで、小開口の大きさを表す係数と面内せん断性能の関係を検証した。小開口の大きさを表す係数として、耐力面材の水平方向の長さ小開口の水平方向長さの合計の比を用いた。この係数を開口長さ比 α と定義する (図 14)。

$$\alpha = \frac{(L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \dots)L_0}{\sum L_n / L_0} \dots (1) \text{式}$$

L_n : 小開口の水平方向長さの最大値

L_0 : 耐力面材の水平方向長さ

(1) 式により得られる各々の面内せん断試験体の開口長さ比 α (表 6) と、降伏耐力 P_y および最大荷重 P_{max} の関係を図 15,16 に示す。ここで各々の試験体の P_y 、 P_{max} は、ばらつき係数を乗じた値を用いて無開口耐力壁である N に対する低減率で表した。すると開口長さ比 α と P_y および P_{max} の低減率には一次的な相関が見られた。この解析方法により得られる相関関係は杉山式または材料試験結果からの解析方法よりも明瞭であった。耐力面材に小開口を設けることにより、小開口付近の面材部分に応力が集中することとなり、この部分のビス接合部の破壊が他の無開口部分のそれよりも早い段階で発生する。この破壊は開口長さ比 α が大きいほど小さい変形角で生じ、これが耐力壁の面内せん断性能に影響を与えると考えられ

る。その結果、小開口の大きさを表す開口長さ比 α と降伏耐力 P_y あるいは最大荷重 P_{max} に一次的な相関が見出されると考えられる。また、開口長さ比 α が 1 となる場合は準耐力壁 (J) に相当することとなる。図 15,16 には N (無開口耐力壁) と品確法で示される方法で算出した準耐力壁 (J) の面内せん断性能値を結んだ直線も示した。品確法による準耐力壁 (J) の面内せん断性能の評価値は N の 0.55 倍となる。この N-J (品確法) 直線と各々の小開口付き試験体の降伏耐力 P_y 、最大荷重 P_{max} を比較すると、いずれの場合もこの N-J (品確法) 直線を上回っていた。また、M2 に補強を行った試験体である M2H は開口長さ比 α が 0.33 でありながら、 P_y および P_{max} は無開口の N の 95% まで回復することが確認できた。

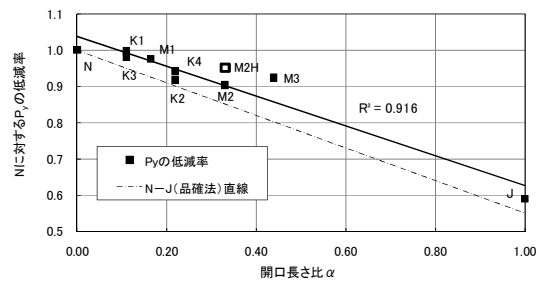


図 15 開口長さ比 α と降伏耐力 P_y の関係

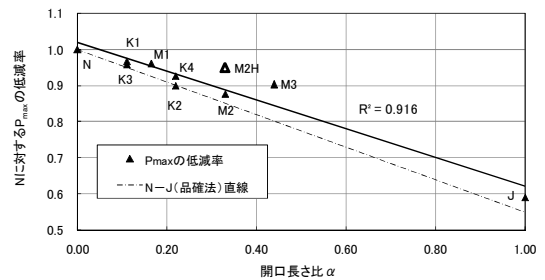


図 16 開口長さ比 α と最大荷重 P_{max} の関係

5.4 小開口の補強方法の詳細

M2H は M2 の小開口部分の裏面に断面寸法 30×40mm の受材を挿入し、この受材にネジを増し打ちして小開口部分を補強した試験体である。受材は柱および間柱に N90 釘の斜め打ちで固定し、この受材部分のネジ留め付けピッチは 200mm 間隔とした (図 17)。小開口を設けると、小開口付近の面材の強度が低下し、結果的に耐力壁としての面内せん断性能が低下する。この方法は受材を挿入し、更にネジを増し打ちすることで、軸組自体とネジ接合部の強度の双方を補強することができる。

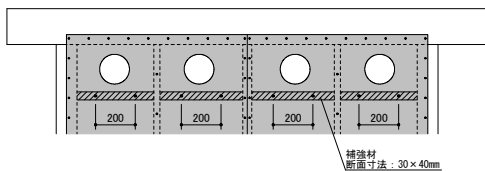


図 17 M2H の補強方法

6. 小開口付耐力壁の評価方法の提案

小開口の大きさ、個数に大きく拠るが、開口を設けることにより、内壁側耐力壁の面内せん断性能は、無開口のそれと比べ低下する。これを設計あるいは施工の段階で考慮するには、小開口による性能低下を推測して、設計上の安全を見る方法と、より簡便に開口に関する一定の基準（開口の大きさ、個数など）を定め、これを満たす場合は耐力壁のせん断性能の低下を無視し、この基準を超える場合は開口付近を補強する方法の 2 種類が考えられる。これらの方法についてそれぞれ具体的に述べる。

6.1 設計段階での検証方法（面内せん断性能低下を推測する方法）

5.3 に示したように、開口長さ比 α と耐力壁の面内せん断性能に一次的な相関が見られることを利用した方法である。次式により小開口による面内せん断性能の低下を評価する。開口長さ比 α は (1) 式で得られる係数である。(2) 式によって小開口のよる面内せん断性能の低下を評価し、建物全体で耐震性能にある程度の余裕をもった設計を行う方法である。

$$\frac{P}{P_N} = 1 - \left(1 - \frac{P_j}{P_N} \right) \alpha \quad \dots(2)式$$

P : 小開口付き耐力壁の面内せん断性能（壁倍率）

P_N : 無開口耐力壁の面内せん断性能（壁倍率）

P_j : 準耐力壁の面内せん断性能（壁倍率）

α : 開口長さ比

(2) 式により、国土交通省の「技術的助言」の中で開口を設けない場合と同等とみなすことができるとされる「径 50cm 程度の換気扇用の開口」の影響の検証を試みた。ここで、準耐力壁の面内せん断性能は無開口耐力壁の 0.6 倍程度と仮定した。その結果、径 50cm 程度の開口による面内せん断性能の低下は 20%程度となり、これを無開口耐力壁と同等に取り扱うには 5.4 に示したような開口部の補強が必要であると推察された。

6.2 施工段階での検証方法

実際の施工段階で決められる小開口の影響を考慮するには、6.1 に示した方法は現実的ではない場合がある。このような場合では、面内せん断性能の低下を推測するよりも、むしろ一定の開口に関する基準（ルール）を設け、この基準の範囲内であれば小開口による影響を無視し、基準を超える場合は何らかの補強を施すといった方法の方がより簡便である。そこで、小開口に関する基準として、基準となる無開口耐力壁 (N) の面内せん断性能値（降伏耐力 P_y ）の 95%を許容下限値とする方法を提案する。ここで、許容下限値を面内せん断性能値の 95%としたのは、表 7.8 に示したように、面内せん断試験における試験体および結果のばらつき（誤差範囲）が 5%程度と推測されるためである。この基準を満足するものは開口長さ比 α が 0.2 よりも小さい 3 種類の小開口付試験体 (M1, K1 および K3) であった。面内せん断性能の低下を無視することが可能な開口

の具体的な目安は下記ようになる。

- ①小開口の寸法は丸型であれば $\phi 150\text{mm}$ 以下、角型であれば 100mm 角以下。
- ②開口の個数はいずれの形状の場合でも 1P あたり 1 個までを基本とし、かつ面材の縁端から開口の縁部までの最短距離が 100mm 以上離れていること。
- ③1P につき 2 個の角型小開口を設ける場合は、小開口間の垂直方向距離を十分に空けること。

③は角型小開口間の垂直方向距離を K3 のように空けることで、それぞれの小開口付近の面材に加わる応力集中を分散することができるためである。K2, K4 のように角型小開口間の距離が近いと、小開口付近の面材に荷重負担が集中するため、この箇所に破壊が生じやすくなり、面内せん断性能が低下すると考えられる。

一方、上記の判断基準から面内せん断性能の低下が 5%を超えると予測される場合は、小開口付近に補強を施す。補強方法の一例として、図 16 のように小開口付近の裏面に補強木材を挿入し、これにネジを増し打ちする方法がある。増し打ちするネジのピッチは 200mm 間隔以下とする。しかし、1P あたり的小開口の数が非常に多い場合や、小開口が極端に面材の縁部付近に設けられる場合などは大きな面内せん断性能の低下が懸念されるため、その部位の耐力壁を準耐力壁とみなす、あるいは建物全体の壁量にある程度の余裕をもって設計するなどの対策が必要となる。

上記のいずれかの方法を取って小開口による面内せん断性能の低下を考慮することが出来れば、耐震性の面でより正確な設計が可能となる。

7. まとめ

本研究では耐力面材として GRG を用いた耐力壁について、換気ダクト、コンセントボックス、スイッチボックスなどを取り付けるために設けられる小開口の影響を、面内せん断試験により検証した。その結果、小開口の水平方向長さに関するパラメータを用いることで、面内せん断性能の低下を推測することが可能であることがわかった。一方、様々な小開口付き試験体の面内せん断性能を測定し、補強の必要性の判断基準、補強方法を検討した。これにより、設計段階、施工段階双方において小開口による耐力壁の面内せん断性能低下を推測する方法を提案した。

参考文献

- 1) 杉山英男, 木質構造 建築学の基礎, 共立出版, 2000
- 2) (財)日本住宅・木材技術センター編, 木造住宅のための構造の安定に関する基準解説書, 2000
- 3) (財)日本建築センター編, 建築物の構造関係技術基準解説書, 2001
- 4) (財)日本住宅・木材技術センター編, 木造軸組工法住宅の許容応力度設計, 2002
- 5) 篠原建次, 坂本功, 腰原幹雄ほか 2 名, ガラス繊維補強石膏板 (GRG) 張り 在来軸組壁の面内せん断性能 その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海) C-1 分冊 pp.85~86, 2003
- 6) 篠原建次, 坂本功, 腰原幹雄ほか 2 名, ガラス繊維補強石膏板 (GRG) 張り 在来軸組壁の面内せん断性能 その 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道) C-1 分冊 pp.483~484, 2004
- 7) 篠原建次, 坂本功, 腰原幹雄ほか 2 名, ガラス繊維補強石膏板 (GRG) 張り 在来軸組壁の面内せん断性能 その 5, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) C-1 分冊 pp.223~224, 2006