在来軸組工法における石膏ボード有開口大壁の終局強度設計法の提案

ULTIMATE STRENGTH DESIGN CONCEPT ON GYPSUM BOARDS SHEATHED WALLS WITH OPENINGS CONSTRUCTED WITH CONVENTIONAL POST AND BEAMS CONSTRUCTION TECHNIQUE

村上雅英*1, 清水秀丸*2, 秦 正徳*3, 後藤正美*4, 稲山正弘*5

Masahide MURAKAMI, Hidemaru SHIMIZU, Masanori HATA,

Masami GOTO and Masahiro INAYAMA

The simple calculation technique to predict load-deformation curves and axial force of each column of gypsum board sheathed walls with openings is presented for practical use of structural design. Equilibrium of external and internal moments of unit panels and flexural deformation of columns are considered in this analytical model. Rigid frame is assumed for simplification of calculation procedure. Axial force can be calculated by summing up the vertical forces acting along the column from panels nailed onto it. This calculation technique is verified with racking tests of nine specimens with different opening layout and non-linear finite element analyses.

keywords : Sheathed wall with openings, Gypsum boards, Ultimate shear capacity, Ductility, Axial force, Formula for structural design
有開口大壁、石膏ボード、終局耐力、靱性能、軸力、設計式

1. はじめに

非木造建築物の、大地震時に対する耐震設計に関しては、既に終局強度型設計法が整備され、兵庫県南部地震において、その有効性が確認された。木構造においても、終局強度型の構造計算手法の確立が、急務である。近年、在来軸組工法木造住宅の動的、或いは、静的実験が多く行われ、石膏ボード等の非耐力壁の耐力の寄与率が大きく、建物全体の耐震性評価の際に無視できないとの報告が多く出てきた。従って、最近多用されている石膏ボード有開口壁を考慮することは、雑壁効果として曖昧に扱われてきた要素を無くした鉛直構面の構造計算手法の確立において、主要な課題の一つといえよう。

在来軸組工法の石膏ボード有開口壁の耐力算定法に関する理論的研究は、皆無に等しい。しかしながら、枠組壁工法を対象とした有開口面材壁に関する理論的、或いは、実験的研究は、幾つかある。手計算可能なモデルでは、杉山が提案し、松本や安村が改良を加えた開口係数(γ)とせん断耐力比(P)を用いる方法¹⁾、せん断パネル式²⁾、等価ラーメン法³⁾、などがある。また、解析的研究としては、ブレース置換⁴⁾や有限要素法⁵⁾がある。それらの研究の多くは、壁量計算の想定変形時の耐力の推定が主目的であり、終局耐力、及び、限界変形角の簡便な推定法に言及している研究は無い。

そこで本論文では、任意形状の開口を有する在来軸組工法による石膏ボード壁の終局強度と限界変形角を予測する略算法の提案を目的とする。

2. 有開口石膏ボード大壁の解析モデル

2.1 単位面材のモーメントと回転角の関係

単位面材のモーメントと回転角の関係は、筆者らの提案している任意に釘配列された単位面材のモーメントと回転角関係の計算式⁶⁾による。計算仮定とその概要を以下に示す。

計算仮定

1. 面材は剛体として扱う。
2. 枠材の曲げ変形、せん断変形、軸方向変形は無視する。また、各枠材の接合はピン接合とする。
3. 釘のせん断力-すべり関係は、図1の様に完全弾塑性とする。
4. 枠材と面材間に生じたずれを、水平方向モード(θ_x)と鉛直方向モード(θ_y)に分解できるものとする。

図2の様に釘が任意釘配列で打たれた場合の、面材の抵抗モーメントと回転角の関係は、断面の曲げ理論と類似の手法を用いて以下のように求まる。

X と Y 両方向の中立軸位置は、式(1)で与えられる。また、各方向の2次モーメントは式(2)で与えられる。

$$x_o = \frac{\sum x_i n_i}{\sum n_i} \quad (1a)$$

$$y_o = \frac{\sum y_j n_j}{\sum n_j} \quad (1b)$$

*1 近畿大学理工学部建築学科 助教授・工博

*2 近畿大学大学院工学研究科 大学院生

*3 高岡短期大学 教授・農博

*4 金沢工業大学 講師・工博

*5 稲山建築設計事務所 代表取締役・工博

Assoc. Prof. of Architecture, School of Science & Engineering, Kinki University, Dr. Eng.

Graduate Student of Kinki University

Prof., Takaoka National College, Dr. Agr.

Lecturer, Kanazawa Institute of Technology, Dr. Eng.

Director, Inayama Architect, Dr. Eng.

図1 釘のせん断滑り関係

図2 各記号の定義

$$I_x = \sum (y_j - y_o)^2 \cdot n_j \quad (2a)$$

$$I_y = \sum (x_i - x_o)^2 \cdot n_i \quad (2b)$$

ここで、 x_i , y_j は、座標原点から中立軸 ($X-X'$ 軸, $y-y'$ 軸) までの距離である。

n_i , n_j は、各釘列の本数

x_i , y_j は、座標原点から各釘列までの距離

I_x , I_y は、 X と Y それぞれの方向の釘配列に関する2次モーメントである。

外力と内力の釣り合いを考慮して式(3)を得る。

$$M_x = M_y = M_{xy} = k \cdot I_{xy} \cdot R = k \cdot \frac{I_x I_y}{I_x + I_y} R \quad (3)$$

ここで、 k は、釘の弾性剛性

I_{xy} は釘配列に関する2次モーメント

R は面材の回転角を表す。

面材のせん断剛性を G とし、式(3)で面材のせん断変形を考慮すると、式(4)のようになる。

$$M = \frac{R'}{\frac{1}{k I_{xy}} + \frac{1}{w h r G}} \quad (4)$$

ここで、 R' は面材を剛とした時の回転角と面材のせん断変形角の和

h は面材の高さ

w は面材の幅

t は面材の厚みである。

ここでは、石膏ボードのせん断変形が無視できるものとして、以下の式展開を行う。

各隅角部の釘が、降伏せん断耐力 f_{max} に達するときの抵抗モーメント M_i は、釘配列に関する係数 Z_{xy} を用いて式(5)の様に表すことができる。

$$M_y = f_{max} \cdot Z_{xy} \quad (5)$$

$$Z_{xy} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Z_x^2} + \frac{1}{Z_y^2}}} \quad (6)$$

ここで、 Z_x と Z_y は式(7)で定義される釘配列に関する係数である。

$$Z_x = \frac{I_x}{y_{max}} \quad (7a)$$

$$Z_y = \frac{I_y}{x_{max}} \quad (7b)$$

ここで、 y_{max} , x_{max} は中立軸から最も遠い釘までの x と y の、それぞれの方向の距離である。

全ての釘が降伏したときの X と Y 方向の完全塑性モーメントは、式(8a)と(8b)の様に表され、それらは式(9)の関係にある。

$$M_{px} = Z_{px} \cdot f_{max} = \sum \frac{(y_j - y_o)^2}{\sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_j - y_o)^2 + \left(\frac{I_{xy}}{I_{px}}\right)^2}} f_{max} \quad (8a)$$

$$M_{py} = Z_{py} \cdot f_{max} = \sum \frac{(x_i - x_o)^2}{\sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_j - y_o)^2 + \left(\frac{I_{xy}}{I_{py}}\right)^2}} f_{max} \quad (8b)$$

$$M_p = M_{px} = M_{py} \quad (9)$$

式(8)と(9)を満たす x_{ip} , y_{jp} 及び I_{px}/I_{py} を、収斂計算で求めることにより、式(10)の Z_{pxy} が算出できる。

$$Z_{pxy} = \sum \frac{(x_i - x_o)^2}{\sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_j - y_o)^2 + \left(\frac{I_{xy}}{I_{px}}\right)^2}} = \sum \frac{(y_j - y_o)^2}{\sqrt{(x_i - x_o)^2 + (y_j - y_o)^2 + \left(\frac{I_{xy}}{I_{py}}\right)^2}} \quad (10)$$

実用的には、文献6)で帰納式を用いて弾性時の諸量から Z_{pxy} などの塑性時の諸量を計算する方法が提案されている。

従って、単位面材の終局抵抗モーメントは式(11)で表される。

$$M_p = Z_{pxy} \cdot f_{max} \quad (11)$$

単位面材の終局変形角 R_p については、近似的には最外縁の釘が降伏するときの降伏変形角を用いて、式(12)で表される。

$$R_u = \mu \cdot R_y = \frac{\mu M_y}{k I_{xy}} \quad (12)$$

2.2 柱の曲げを考慮した解析モデル

一般に、たれ壁、腰壁のみからなる有開口壁が、水平力を受けて変形すると、釘打ちされた面材と軸材との間でずれが生じ、面材は軸材の回転を拘束する様に作用する。柱の曲げ変形を考慮したモデルとしては、秦らのモデル¹⁾がある。図3は、壁の高さ方向を3分割して、各面材が回転バネとして軸材の回転を拘束する効果を表現した力学モデルである。本モデルの基本式を以下に示す。

(a) 基本モデル

(b) たれ壁のみの架構の場合

図3 柱の曲げ剛性を考慮した解析モデル

撓み角法の公式

$$0 = k_a(2\theta_a + \theta_b - 3R_{ab}) \quad (13a)$$

$$M_{ba} = k_a(\theta_a + 2\theta_b - 3R_{ab}) \quad (13b)$$

$$M_{bc} = k_b(2\theta_b + \theta_c - 3R_{bc}) \quad (13c)$$

$$M_{cb} = k_b(\theta_b + 2\theta_c - 3R_{bc}) \quad (13d)$$

$$M_{cd} = k_c(2\theta_c + \theta_d - 3R_{cd}) \quad (13e)$$

$$M_{dc} = k_c(\theta_c + 2\theta_d - 3R_{cd}) \quad (13f)$$

$$M_{de} = k_d(2\theta_d + \theta_e - 3R_{de}) \quad (13g)$$

$$0 = k_d(\theta_d + 2\theta_e - 3R_{de}) \quad (13h)$$

面材による回転バネ

$$M_b = k_1\theta_b \quad (14a)$$

$$M_c = k_2\theta_c \quad (14b)$$

$$M_d = k_3\theta_d \quad (14c)$$

節点方程式

$$M_{ba} + M_{bc} + M_b = 0 \quad (15a)$$

$$M_{cb} + M_{cd} + M_c = 0 \quad (15b)$$

$$M_{dc} + M_{de} + M_d = 0 \quad (15c)$$

せん断方程式

$$\frac{M_{ba}}{L_{ab}} = \frac{M_{bc} + M_{cb}}{L_{bc}} = \frac{M_{dc} + M_{cd}}{L_{cd}} = \frac{M_{de}}{L_{de}} = Q \quad (16)$$

図4に示すようなたれ壁の高さを、階高の1/3～1/6としたたれ壁のみの架構について、式(14)～(16)を解くと、たれ壁部分の変形角に対する層間変形角の比率(変形倍率 $\alpha = R/R_0$ 、ここで R は層間変形角、 R_0 はたれ壁の回転角)と柱の剛比に対する壁の回転剛性の比の関係が、図4の様に得られる。従って、同一面材で構成されたたれ壁のみの架構の弾性から終局に至る挙動は、たれ壁の物理量と変形倍率 α を用いて、式(17)～(21)の様に表すことが出来る。

弾性域の荷重と層間変形角 R の関係は、式(17)で表される。

$$Q = \frac{k \sum I_{xy} R_0}{H} = \frac{k \sum I_{xy} R}{H \alpha} \quad (17)$$

柱の曲げ破壊が生じない場合における、弾性限界時の耐力 Q_y 及び層間変形角 R_y は、それぞれ式(18)、(19)で表される。

$$Q_y = \frac{\sum Z_{xy} f_{max}}{H} \quad (18)$$

$$R_y = \alpha \cdot R_{0y} = \alpha \cdot \left(\frac{Z_{xy} f_{max}}{k \sum I_{xy}} \right) \quad (19)$$

ここで、 R_{0y} は、たれ壁の降伏回転角である。

終局耐力 Q_u は式(20)で、終局変形角 R_u は、柱とたれ壁の弾性回転角 $R_e (= R_y \cdot Q_u / Q_y)$ とたれ壁の塑性回転角 $R_{py} (= R_{0y} \cdot Q_u / Q_y)$ に分解して、式(21)のように表される。

図4 たれ壁のみの架構の設計図表

図5 柱材を剛と仮定した耐力と軸力の計算法

$$Q_u = \frac{\sum Z_{xy} f_{max}}{H} \quad (20)$$

$$R_u = R_e + R_{py} = R_y \cdot \frac{Q_u}{Q_y} + R_{0y} \cdot \frac{Q_u}{Q_y} \quad (21)$$

ここで、 R_{py} はたれ壁の終局回転角を表す。

2.3 柱を剛とした略算モデル

耐力壁のある有開口壁では、耐力壁部分の面材にせん断力が流れるため、開口部高さ位置での柱の曲げ変形は小さくなる。そこで、その部分の柱材を剛と仮定すると、図5の様に各面材の回転角と層間変形角は等しくなり、神谷が述べているように¹⁾、各変形角ごとに各面材の耐力を足し合わせることで、有開口壁の耐力が求まることになる。

各柱に作用する軸力は、図5の示すように、柱の両側に取り付くそれぞれの面材に作用する鉛直せん断力の総和から算出できる。

有開口壁全体の終局変形角は、最も終局変形角の小さい単位面材の終局変形角で支配されると仮定する。

3. 実験概要

本理論の検証として、文献8)で報告した3P試験体9体を用いる。

各試験体の開口形状を図6に、典型的な試験体の詳細寸法を図7に示す。試験体は面材に厚さ12mmの石膏ボードをステンレス釘#15×32(平頭)で、外周4面を@150mm、間柱@200mmで全周及び間柱を釘打ちした。ただし、内壁の石膏ボードは、床及び天井勝ちの納まりとなるため、上端と下端の石膏ボードは、土台と横架材に直接釘打ちせず、図8に示すように土台と横架材の内側に幅×高さ=45×35mmの水平胴縁を設けて、それらに石膏ボードを釘打ちした。材種は桁にベイマツ、間柱及び胴縁にスプルース、管柱にスギ、土台にヒノキアスナロをそれぞれ用いた。

加力については、各試験体の胴縁に水平方向の力を、油圧シリンダーで加力した。層間変形角で1/300, 1/200, 1/120, 1/60, 1/30, 1/15rad、でそれぞれ1回づつの正負漸増繰り返し加力とし、この範囲内で破壊が起こらないときは、加力装置の可能な限り加力を行った。

試験体15を除くすべての試験体は、1/30rad時で最大耐力に達した。開口の無い、或いは小さい試験体9, 10, 13では、他の試験体と比べて1/60rad時付近から、石膏ボード継ぎ目の接触により単位面

図6 試験体開口形状

図7 試験体形状例(単位mm)

材の回転が拘束され、石膏ボードの隅と面材の継ぎ目の破壊が著しくなり、その後、引っ張り柱に打たれた縦列の釘が、1/60rad時付近から抜け始め、耐力が頭打ちとなった。特に試験体13では、開口部下の面材が、1/60rad時付近から隣の面材と接触し、図6中に示す部分から亀裂が発生した。そのため、1/30rad時の耐力上昇は他の試験体と比べて極めて少なかった。たれ壁のみの試験体15を除くすべての試験体で、1/30rad時以降では耐力が急激に低下した。

本試験に使用した石膏ボードと釘の直接せん断試験を単調加力で実施した。釘の直接せん断試験結果を図8に示す。釘の直接せん断試験結果を、完全弾塑性モデルで評価した¹⁾。一本当たりの剛性は167kgf/cm、最大耐力は27.0kgf、塑性率は9であった。

図8 釘の直接せん断試験結果

4. 既往式との比較検討

枠組壁工法を対象とした1/120rad時と1/60rad時の無開口壁の耐力に対する有開口壁の耐力比率の既往の評価式¹¹⁾と、本実験結果の比較を図9に示す。試験体13を除くすべての実験結果の開口係数に対するせん断耐力比(F)の関係は、評価式に見られるような下に凸な分布と異なり、ほぼ線形関係で分布している。この傾向は、野口、鈴木の行った軸組壁工法を対象とした有開口合板耐力壁の実験結果¹¹⁾と同様であり、枠組壁工法を対象とした既往式¹¹⁾が、軸組工法では安全側の評価を与えることを意味する。

これらの傾向は、以下の理由によるものと考えられる。軸組工法では、軸材の曲げ剛性が高いため、柱がせん断力を伝達する事が出来る。そのため、たれ壁、開口横の耐力壁部分、及び腰壁の各高さレベルの変形角が、ほぼ層間変形角と等しくなるように、壁体は変形する。一方、枠組壁工法では、柱の曲げ剛性が低く、大部分のせん断力は、面材を介して伝えられる。そのため、各高さレベルで面材に生じるせん断力が同一となるように、各面材は回転する。そのため軸組工法と同一開口形状の枠組壁工法では、耐力壁部分の破壊の進展が、たれ壁、腰壁部分よりも早まり、せん断耐力比(F)が小さくなるためと考えられる。

図9 開口係数(γ)とせん断耐力比(F)の関係

5. 荷重-変形関係の推定

釘の直接せん断試験結果を完全弾塑性評価し、文献6の回帰式により、単位面材の抵抗モーメントと回転角の関係 $M(R)$ を算出する。そして、耐力壁のある試験体では、軸材を剛と仮定することにより、式(22)で有開口壁体のせん断力と層間変形角の関係を算出した。

$$Q(R) = \frac{\sum M(R)}{H} \quad (22)$$

たれ壁のみの試験体15については、たれ壁の回転剛性と柱の曲げ剛性を考慮して、式(17)~(21)よりせん断力と層間変形角の関係を算出した。各試験体の荷重変形曲線の実験値と計算値の比較を、図10に示す。なお、面材を張っていない基本枠組み試験体6では、変形角1/30rad時で100kgf程度の耐力を示し、その荷重変形関係は線形であった。そこで、枠の剛性を1次式で表して、各試験体の実験結果から枠の推定負担耐力を差し引いたせん断力と層間変形角の関係も、図中に「枠無」として表してある。理論値の最終変位点は、壁体中で最もずれの大きい釘(最も大きな面材の隅角部の釘)が、限界塑性率(=9)に達した点である。「枠無」に対する初期剛性の計算は、7章(図13)で後述するように、やや高めの評価となっているが、最大耐力~終局変形まで計算値と枠の強度を除いた実験値は、ほぼ一致している。

6. 有限要素法による軸力の検討

各柱の軸力は実験では計測されていなかった。そこで、枠材と面材を弾性とし、釘を円形降伏曲面を持つトリニアの2次元バネに置換した2次元非線形有限要素法を用いて、略算と解析結果の比較検討を行なった。間柱を含む枠材は、全てピン接合とし、剛性はスギ $E=70\text{tf/cm}^2$ 、スプルース $E=70\text{tf/cm}^2$ 、ベイツ $E=100\text{tf/cm}^2$ 、ヒノキ $E=90\text{tf/cm}^2$ とし、せん断変形は無視した。また、石膏ボードは約15cm角メッシュの4角形要素で表現し、その材料常数は、 $E=11.5\text{tf/cm}^2$ 、 $\nu=0$ とした。釘の材料常数については、図8に示すように、 $k=167\text{kgf/cm}$ 、 f_c (第1折れ点)=24kgf、 f_{max} (降伏耐力)=27kgf、 $f_c \sim f_{max}$ 間では0.1kの勾配で、その後は0.00001kの勾配とした。

柱の両側に取り付くそれぞれの面材に作用する鉛直せん断力の総和から算出された各柱の軸力の計算値と、壁体がほぼ塑性状態になった変形角1/30rad時の有限要素法による各柱の軸力の分布を、引張力を正、圧縮力を負として図11に示す。壁体の外側の柱が独立柱となる試験体11と14では、独立柱に生じる軸力が、かなり過小評

図11 計算式と有限要素法による軸力の比較

図10 実験値、計算値、有限要素法の比較

価となり、そのため、その隣の耐力壁の柱が、過大評価となる傾向が見られた。計算値の軸力の分布は、一部の開口形状で精算値を上回る場合も見られるが、概ね精算値の傾向を捉えている。計算法の簡便さを考慮すると、構造計算に用いるための精度は、確保できると判断できる。

7. 略算による設計法の提案

釘を完全弾塑性と仮定した場合の各種面材寸法（91.0cm×182.0cmの面材から切り出して各辺を45.5、60.6、91.0、136.5、182.0cmとして切り出した面材寸法）に対する釘配列に関する2次モーメント（ I_{xx} ）、釘配列に関する弾性及び塑性係数（それぞれ Z_{ex} と Z_{px} ）の関係を図12に示す。釘配列が全周の場合の釘の配列に関する諸量は、面材の縦使いと横使いで差は少ないが、釘の配列が縦のみと縦+横1列では、縦使いと横使いで諸量の差が大きくなる。 Z_{ex} と Z_{px} は I_{xx} より長さの次元が1次低い。そのため、釘配列が全周の場合の、 Z_{ex} と Z_{px} は、面材の面積に対してほぼ比例関係を示しているが、 I_{xx} は2次曲線的な分布を示している。そこで、各種有開口壁体で、通常用いられる寸法の面材の使用比率を考慮して求めた単位面積当たりの I_{xx} と Z_{ex} の値を、表1に示す。

終局変形角については、最も大きな面材、即ち91cm×182cmの面材の R_f/δ_f が最小となるので、その値を有開口壁全体の R_f/δ_f の値とした。表1で与えられた値に有開口壁の面積 A_o を用いて、有開口壁の弾性剛性から終局変形角までを、表1中の各式で求めることが出来る。図6に示した各種開口形状に対して、91cm×182cmの面材で割り

付けた壁体を用いて、2章で示した計算値と表1の方法による略算値の比較を行った。表1の方法による剛性と終局耐力の略算値は、2章で示した計算値に対して、±15%程度（平均95%）の精度であった。そこで、本実験で得られた各試験体の枠の強度を除いた変形角1/240rad時の剛性、及び、最大耐力と面材の総面積の関係を、図13に示す。表1に示す単位面積あたり I_{xx} 及び Z_{ex} と釘の剛性とせん断耐力から導かれる面材の面積と壁体の剛性及び最大耐力の関係をそれぞれ図13に記入し、実験値と比較した。なお、試験体の釘配列は、各面材の周辺部で@15cm、間柱で@20cmであったが、内部の釘の影響が少ないと判断して、すべての釘が@15cmで打たれたものと仮定した。石膏ボード上端と下端に釘打ちされた水平胴縁の曲げ剛性が、柱材と比べて約1/1000と小さいため、上下端の水平釘列の剛性に対する寄与を無視して、表1の釘配列を「縦+横1列」と仮定した場合と、「全周」と仮定した場合の略算値を図中に示した。剛性については、水平胴縁の効果は無視した略算値が、実験値とほぼ一致した。最大耐力に関しては、全周釘打ちした略算値と実験値がほぼ一致した。

石膏ボードのみで壁体が構成されている場合は、終局耐力時に面材により生じる柱に作用する軸力は、近似的に式(23)で与えられ、式(23)より得られた柱の軸力の分布は、図11で示した柱の軸力の略算値とほぼ一致した。

$$V = h_o \cdot Z_{pxy} \cdot f_{max} \quad (23)$$

ここで、 h_o は柱の左右に取り付く面材の高さの差(m)

図12 各種面算寸法との関係

表1 石膏ボード有開口壁の弾性から終局域の略算用諸量

釘配列	I_{xy} cm ² /rad/m ²	Z_{xy} cm/m ²	R_f/δ (rad/cm)	計算手順
@100	縦のみ	23,730	700	0.027
	横1列+縦	25,360	900	0.024
	全周	36,040	1,160	0.027
@150	縦のみ	14,320	470	0.027
	横1列+縦	18,780	600	0.024
	全周	24,010	770	0.027
@200	縦のみ	10,790	360	0.027
	横1列+縦	13,760	450	0.024
	全周	17,290	560	0.027

f_{max} : 釘の降伏せん断強度(kgf)、
 δ : 釘の降伏変位(cm)

計算手順
 弾性域
 $Q=k \cdot I_{xy} \cdot A_v \cdot H \cdot R$
 降伏変形角 $=R_f$
 降伏耐力(Q_f)
 $Q_f=(k \cdot I_{xy} \cdot A_v \cdot R)/H$
 終局変形角(R_0)
 $R_0=\mu \cdot R_f$
 終局耐力(Q_0)
 $Q_0=(Z_{xy} \cdot A_v \cdot f_{max})/H$
 μ : 釘の塑性率
 A_v : 面材の面積(m²)
 H : 階高(cm)

たれ壁、腰壁のみの試験体では、柱の曲げ変形を考慮することにより、弾性から終局状態までの、壁体のせん断力と層間変形角の関係が計算でき、実験値とほぼ一致した。

柱に作用する軸力についても、柱の両側に取り付くそれぞれの面材に作用する鉛直せん断力の総和から算出でき、計算値の精度は、有限要素法による精算値に対して若干大きめではあるが、設計としては十分な精度を有している。

本理論を簡略化して、石膏ボード有開口壁体の剛性、降伏開始耐力と変形角、終局耐力、及び、終局変形と終局耐力時の柱の軸力の略算法を提示し、それぞれ実験及び有限要素法との比較検討を行った。

謝辞

本実験の遂行にあたって、富山林業技術センターの中谷浩氏に多大な協力を頂いた。また表1の作成に当たっては、田原建築設計事務所の村田幸子氏にご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) YASUMURA, M. and H. SUGIYAMA: Shear properties of plywood-shearathed wall panels with opening, Transaction of the Architectural Institute of Japan, No.338, April 1984
- 2) 神谷文夫: 面材を釘打ちした耐力壁のせん断剛性および強度に関する理論的研究、日本建築学会論文報告集309号, pp86-91、昭和56年5月
- 3) 宮澤健二: 枠組壁構造の構造特性に関する研究(その11、略解析法について)、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp47-48、1995年8月
- 4) 社団法人日本ツーバイフォー建築協会: 枠組壁工法建築物構造設計指針1996年, pp164-167
- 5) 野口弘行: 有限要素法による木質パネルのせん断性状の(弾・塑性)解析-その2、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1793-1794、昭和54年9月
- 6) 村上雅英、稲山正弘: 任意の釘配列で打たれた面材壁の弾塑性挙動の予測式、日本建築学会論文報告集第519号, pp87-93、1999年5月
- 7) 秦正徳、後藤正美、中谷浩: 木造軸組の柱の曲げモーメントに関する研究、日本建築学会論文報告集第507号, pp101-105、1998年5月
- 8) 秦正徳、後藤正美、中谷浩: 木造住宅の間仕切り壁の力学特性、第10回日本地震工学シンポジウム論文集, pp2241-2244、1998年11月
- 9) (財)日本建築センター評定部: 低層建築物の構造耐力性能評定に関する技術規程(木質系)(案)について、ビルディングレター, pp59-89
- 10) 畠山和歌、野口弘行、鈴木秀三: 在来構法有開口壁の面内せん断耐力性状(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp73-74、1997年9月

(1999年9月8日原稿受理, 2000年2月17日採用決定)

図13 実験における剛性及び最大耐力と面材の総面積の関係

8. まとめ

在来軸組工法における石膏ボード有開口大壁の、終局強度設計法の提案を行った。耐力壁を有する有開口壁体では、軸材を剛とみなして、各单位面材の抵抗モーメントと回転角の関係を変形角毎に足し合わせることで、壁体のせん断力と層間変形角の関係が計算できる。計算値と実験値は、弾性から終局変形角までほぼ一致した。