床剛性を考慮した軸組木造長屋モデルの直交壁効果に関する考察

－ 1 方向の地震入力を受ける場合 －

STUDY ON EFFECT OF ORTHOGONAL WALL OF WOODEN FRAMED HOUSE,
NAGAYA, MODELS CONSIDERING FLOOR STIFFNESS

－ Case of uni-directional input earthquake motions －

山田 明*, 鈴木 三四郎**

Akira YAMADA and Sanshiro SUZUKI

We carry out earthquake response analyses of two Nagaya models with uni-axial eccentricity considering the floor stiffness and examine the orthogonal wall effects. The effect means how walls perpendicular to the eccentric direction will control the torsional vibration. The two different Nagaya models are one- and four-unit types. We choose the floor stiffness, shape ratio of the length to the width on the plan, eccentric ratio, wall quantity and the wall ratio, and kinds of input motions and their maximum value in the analyses as parameters. The results obtained show that the factors of the orthogonal wall effect are mainly the floor stiffness and shape ratio, and that the demand ratios are 2.0 and 1.5 for the two models. The kinds of input motions and their maximum values do not become to the factors of the effect.

Keywords: Nagaya, Earthquake Response Analysis, Eccentricity, Torsional Vibration, Floor Stiffness, Effect of Orthogonal Wall

長屋、地震応答解析、偏心、振れ振動、床剛性、直交壁効果

1. はじめに

日本各地の密集市街地には、各住戸が戸境壁を共有することにより構造上一体となった住宅、即ち長屋が現在も数多く見られ、これは伝統的な都市型住戸の一形式と言える。長屋には建物全体が住戸或いは店舗として使用される場合や、前面道路側のみに店舗が配されるような店舗兼住宅もある。

長屋の建築上の特徴としては、数軒の各住戸によって一構造を成していること、各住戸が狭小間口であること、間口方向に対する奥行方向の辺長比が大きいこと等が挙げられる。加えて、間口方向に関しては、道路に面する表側には玄関や店舗が、裏側には採光・通風のための開口が設けられ、建物内では使用上の制約のために壁量は少なく、かつ偏在配置されている場合がある。一方、奥行方向の辺長は間口幅に比して長く、かつ開口が設けられないために壁量が確保され、その配置も偏り難い。現存する築後年数の長い長屋では、老朽化や居住性等の理由から解体されている場合もあるが、その際に建物全体が解体時されず一部の住戸のみ解体され、残りは使用され続ける場合も見受けられる。これらを構造の観点からは、1. 各住戸は間口方向に対する奥行方向の辺長比が大きい、数軒が一体となることでその比が小さくなる。2. 間口方向の壁量に比して奥行方向の壁量は多めに確保されている。3. 間口方向では壁の偏在による剛性或いは耐力の偏心が生じているが、奥行方向では少ない。と捉えることができよう。

このような長屋が地震動を受けたとき、間口方向には偏心の程度によっては振れ振動が励起されるが、それが奥行方向の壁、即ち振れに対して直交する壁の立体効果によって抑制されること（本論ではその効果を直交壁効果と呼ぶ）は容易に推察されよう。しかし、既存の長屋には水平構面の剛性が十分に確保されていないため、この効果の期待は薄いと思われる。従って、水平構面の剛性が低く、かつ壁が偏在配置されている長屋の耐震性を論じる際には、水平構面の剛性を適切に取り扱う必要がある。更に、耐震補強を検討する場合には、桁行、梁間各方向の所要壁量の確保のみならず、偏心の解消と水平構面の剛性の増強が必要であることはここで述べるまでもない。しかし、何らかの事情で偏心の解消が困難な場合、特に長屋では間口方向で困難と思われるが、奥行方向の壁量と水平構面の剛性をバランスよく確保することで間口方向の応答低減が図れるとすれば、これは有効な耐震補強になり得ると考えられる。

長屋を対象にして直交壁効果を実験的、解析的に検討している研究は筆者の知る限りでは存在しない。しかし、一般的な木造建物の振れ振動や直交壁効果については阿川等、野口等の研究が挙げられる。阿川等¹⁾は、床剛性と壁の復元力特性をパラメータとした地震応答解析を行ない、床が十分に剛い場合には偏心率が $Re > 0.4$ であっても直交壁効果を期待できることを示している。また、野口等²⁾は、床の変形状や直交壁効果は床剛性と直交壁剛性のバランスに依存していることを実験により示している。筆者らも整形な平面形

* (株)平田建築構造研究所 修士(工学)

** 関西大学環境都市工学部 教授・工博

Hirata Structural Engineers Inc., M. Eng.

Prof., Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai Univ., Dr. Eng.

で1軸偏心を有する在来木造軸組については、偏心と直交方向の壁量が十分に確保されていれば、偏心モデルの動的応答量は無偏心モデルのそれに近づくことを示した³⁾。一方、直交壁の確保が偏心を解消する決定的な手段にはならないことが地震応答解析によって示されている例もある⁴⁾。

こうした中、長屋の振れ振動に関し、筆者等は、1軒のみの場合と4軒一体となった場合で間口方向に1軸偏心を有する2種の長屋モデルについて、基礎的な特性を得る目的で剛床を仮定して地震応答解析を行なった。その結果、1軒のみで建つ長屋モデルの直交壁効果は間口方向に対する奥行方向の辺長比に大きく依存し、その比が2.0以下でなければならないこと、及び4軒一体の長屋モデルでは直交壁効果は辺長比に関わらず期待でき、間口方向に対する奥行方向の降伏せん断力係数比が1.0以上であれば振れによる変位応答の増大は小さく、1.5以上であれば振れは励起されにくいことを得た⁵⁾。以上の事柄を背景に、本論では、前報に引続いて間口方向に1軸偏心を有する1層の木造長屋モデルについて、水平構面の床剛性を考慮し、1方向の地震入力に対する地震応答解析を実施する。間口幅の狭小性と偏心、間口に対する奥行の辺長比、水平構面の剛性をパラメータとし、剛床モデルの応答と比較して基本的な特性を得る。次いで、直交壁効果とその影響因子について検討する。

2. 振動モデルと基礎運動方程式

木造建物の場合には水平構面に完全剛床を仮定することは現実的ではない。また、柱や横架材、小屋組により、実状の構造形態は非常に複雑となる。従って、地震時の立体的な挙動を解析する際にはそれらの適切なモデル化が必要であるが、過度に自由度の高いモデルを採用すると現象が複雑になり、本論の目的にそぐわない。そこで、建物の挙動を鉛直構面と水平構面のせん断変形に着目し、簡単なモデルにて検討を進める。運動方程式の定式化は一般的な記号を用いて以下のように表すことができる。

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\Phi(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}) = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{z}} \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{M}$ 、 $\mathbf{C}$ 、 $\mathbf{K}$ はそれぞれ質量、減衰、剛性マトリクス、 $\mathbf{x}$ と $\mathbf{z}$ は応答と地動の変位ベクトル、 Φ は応答の変位と速度に依存する非線形の無次元復元力ベクトルである。各種マトリクス、ベクトルに関しては、ここでは簡単のため図1に示すような1層1スパンで各通りの交点に集中質量を仮定した振動モデルにて、それらの成分を以下に示す。

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_{11} + m_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{21} + m_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{11} + m_{21} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{12} + m_{22} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_{x1} + Gt l_x / l_y & -Gt l_x / l_y & Gt & -Gt \\ -Gt l_x / l_y & k_{x2} + Gt l_x / l_y & -Gt & Gt \\ Gt & -Gt & k_{y1} + Gt l_y / l_x & -Gt l_y / l_x \\ -Gt & Gt & -Gt l_y / l_x & k_{y2} + Gt l_y / l_x \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{C} = (2h / \omega_1) \mathbf{K} \quad (4)$$

$$\mathbf{x} = \{x_1 \ x_2 \ y_1 \ y_2\} \quad (5)$$

$$\mathbf{z} = \{x_g \ x_g \ y_g \ y_g\} \quad (6)$$

ここで、上記式中の m 、 G 、 l 、 t はそれぞれ水平構面の質量、せん断弾

性定数、辺長、厚み、 k は鉛直構面の水平剛性、 ω_1 、 h は1次の固有円振動数、減衰定数である。なお、減衰マトリクス $\mathbf{C}$ は1/120rad時の剛性に対して比例型で、その減衰定数を $h=0.05$ とする。

3. 長屋のモデル化

長屋の建物モデル形状については前報⁵⁾と同様である。図2に示すように間口、奥行方向の辺長をそれぞれ $A=3.64\text{m}$ 、 $B=\beta A$ （ここでは β を間口に対する奥行の辺長比と称する）としたモデルを「1軒型」モデル（図(a)）とし、壁は平面の外周のみに配置する。この1軒型モデルを間口方向に4軒並列したものを「4軒型」モデル（図(b)）とする。重量は $w=2.5\text{kN/m}^2$ 、層高を $H=3\text{m}$ 、偏心に関しては、図中の壁量分配率 α を変化させることで間口方向の1軸偏心とする。

4. 復元力特性モデル

鉛直構面の復元力特性についても前報⁵⁾と同様で、(7)式に示すような安定した履歴型のQuadri-linear型（Q型）と剛性変化型のSlip型（S型）を次式のように複合させたものを採用する。

図1 振動モデル

(a) 1 軒型 (b) 4 軒型

図2 長屋モデルの平面形状

図3 鉛直構面の復元力特性

$$\Phi = \gamma \Phi_Q + (1 - \gamma) \Phi_S \quad (0 \leq \gamma \leq 1) \quad (7)$$

ここで、 Φ_Q, Φ_S はそれぞれ Q 型、S 型の無次元復元力である。 γ は Q 型と S 型の割合を規定する複合係数で、 $\gamma=0.4$ とする。各種復元力特性の折点となる層間変形角は Q 型では $R_y=1/480, 1/240, 1/120\text{rad}$ とし、S 型では $R_y=1/120\text{rad}$ とする。復元力特性の最終剛性は $1/120\text{rad}$ 時の割線剛性に対して無次元量で $r_0=0.05$ とする。図 3 には復元力特性の形状を示す。

水平構面の復元力特性に関しては、文献 6) を参考に、床倍率からせん断弾性定数を設定する。

$$G = 150 \cdot 1.96 \cdot \Delta Q_E \quad (8)$$

ここで、 ΔQ_E は床倍率、1.96 は基準耐力 (kN/m) である。基準耐力時のせん断変形角には $1/150\text{rad}$ を仮定した。なお、 ΔQ_E には床仕様、即ち床厚も含まれているため、前述の運動方程式内の t については単位の厚さとして $t=1$ を与える。復元力特性に関しては、既往の各種実験結果を参考に設定することができるが、前述のように、解析変数を増やすことは現象を複雑にし、基本的特性を把握するには適さないと考えられること、及び、水平構面は鉛直構面に比して地震時の変形は小さいと考えられることから、弾性を仮定できると判断した。

5. 入力地震動

入力地震動は前報⁵⁾で採用した既存観測波 4 波形に加え、日本建築センター波 BCJ L1 及び L2 波を用いる。地震動の諸元を表 1 に示す。建物の立体的挙動を把握する上では、水平方向 2 成分の入力が必要であるが、ここでは建物モデルの間口 (X) 方向に対する 1 方向入力のみを取り扱う。同表には最大地動加速度 PGA に加えて最大地動速度 PGV も併記した。

6. 剛床無偏心モデルの応答

図 4 に前述の各種入力地震動の入力レベルを $\text{PGV}=5 \sim 50\text{cm/s}$ としたときの質点系、即ち剛床無偏心の最大層間変位応答を示す。なお、建物モデルの降伏せん断力係数は 0.3、固有周期は 0.49 秒である。図より、 $\text{PGV}=10, 50\text{cm/s}$ に対する最大層間変形角はそれぞれ概ね $1/120, 1/20\text{rad}$ 以下になっていることが分かる。なお、対応する最大応答せん断力係数は 0.4 以下の範囲であった。

7. 1 軒型モデルの地震応答特性

7.1 床剛性が地震応答に及ぼす影響

ここでは建物モデルのパラメトリックスタディにて床剛性の効果、及び基本的な特性を把握する。

図 5(a)及び(b)に 1 軒型、4 軒型モデルの壁量分配率 α と偏心率 Re の関係を、辺長比 β をパラメータにして示す。図より、 α が大きくなるに従って Re は小さくなり、この傾向は β が大きいほど著しいことが分かる。1 軒型では $\beta \geq 2$ 、4 軒型では $\beta \geq 3$ になると β の違いが Re に殆ど影響を及ぼさない。ある α に対する偏心率は、4 軒型と比べて 1 軒型の方が大きい。筆者らは α を木造住宅等の設計に用いるいわゆる 4 分割法に対応するパラメータと位置づけているが、ある α に対して β が大きいほど偏心率も大きい。以降、本論では壁量分配率を $\alpha=0.3$ に固定して検討を進める。 $\alpha=0.3$ は $\beta=1$ の整形な 1 軒型モデルに対して偏心率 $Re \approx 0.3$ 、即ち木造建物の偏心率の上限

値を与え、 β の大小によって 1 軒型では $0.18 \leq Re \leq 0.43$ 、4 軒型では $0.07 \leq Re \leq 0.37$ となる。

図 6 には、前述の地震動 6 波の入力レベルを $\text{PGV}=10$ 及び 50cm/s としたときの床倍率 ΔQ_E と各構面の最大変位応答比の関係を示す。ここで、変位応答比とは各種 ΔQ_E 及び β の建物モデルの変位応答を $\alpha=0.5$ のときのそれに基づいたものである。 $\alpha=0.5$ のモデルの応答は、建物モデルが間口、奥行方向ともに 1 スパンであることから、 ΔQ_E 及び β の設定に関係なく剛床無偏心の応答に等しい。辺長比 $\beta=0.5, 1.0, 2.0$ 、間口と奥行方向の降伏せん断力係数 $c_y=c_x=0.3$ とし、6 波の地震動に対する応答比の平均値を示す。モデルには加振方向の並進変形、水平構面のせん断変形、それに伴った直交方向の変形が生じる。

図より、 ΔQ_E が高くなるに伴って間口方向の Y1 通り (弱構面、実線) の応答比は小さく、同 Y2 通り (強構面、破線) のそれは大きくなり、それらの値は 1.0 に収束することが分かり、無偏心の挙動に近づく。 β が小さい場合は ΔQ_E の増大に伴って応答比が急激に減少し、一方、 β が大きい場合には ΔQ_E の増大に対する応答比の変動は緩慢で、かつ、その値も小さい。

奥行 (直交、X1, X2 通り、点線と一点鎖線) 方向に関しては、 $\beta=0.5$ 、 $\text{PGV}=50\text{cm/s}$ の場合、 ΔQ_E が低いときには応答比が一旦 1.0 を超え、 ΔQ_E の増大に伴って激減している。これは、間口方向の鉛直構面間

表 1 入力地震動の諸元

	成分	PGA (cm/s/s)	PGV (cm/s)
El Centro 1940	NS	341.7	33.5
JMA Kobe 1995	NS	818.0	90.7
Hachinohe 1968	NS	229.6	34.4
Taft 1952	EW	175.9	17.7
BCJ L1	—	207.3	29.1
BCJ L2	—	355.7	57.4

図 4 最大層間変位応答

図 5 壁量分配率 α と偏心率 Re の関係

図6 床倍率と最大変位応答比の関係 ($\alpha=0.3$, ${}_xc{}_y{}_zc{}_y=0.3$, 入力地震動6波に対する応答比の平均)

図7 水平構面の最大変形角応答 ($\alpha=0.3$, ${}_xc{}_y{}_zc{}_y=0.3$, PGV=50cm/s)

の過大な変形差による床構面のせん断応力が奥行方向の鉛直構面に作用し、奥行方向に変形を生じさせたものと思われ、偏心を有する柔床構造の特性であると考えられる。一方、その他の β とPGVの組み合わせの場合、応答比は単調増加する傾向にある。床倍率が概ね $\Delta Q_E=0.5$ 、即ち火打床（梁成 105mm 以上かつ火打負担面積 2.5m² 以下）程度の床剛性が確保されていれば、加振方向の応答比は概ね 1.05 以下であり、偏心が応答に及ぼす影響も認められない。従って、最大応答量の観点からすると剛床と見なせると考えられる⁷⁾。

図7は、PGV=50cm/s の6波の入力地震動に対する水平構面の最大せん断変形角 γ_f と最大回転角 θ_f を示す。なお、これらの応答は下式によって求めることができる。

$$\gamma_f = \gamma_x + \gamma_y \quad (9)$$

$$\theta_f = (\gamma_x - \gamma_y)/2 \quad (10)$$

ここで、 γ_x と γ_y はそれぞれ間口(X)、奥行(Y)方向の床のせん断変形角を示す。

図より、 $\beta=0.5$ では ΔQ_E の増大に伴い、破線で示した床構面の回転角は減少、 $\beta=2$ では増大、 $\beta=1$ では中間的な傾向が認められる。 ΔQ_E が低いときに床構面に大きな回転角が生じるのは、前述の特性に起因する床構面の見かけの回転角であると考えられる。回転角は

$\beta=1$ 、即ち整形な平面形の場合に最も大きい。これは、加振方向の応答に直交壁が寄与していることを示している。実線で示したせん断変形角については、 $\Delta Q_E \leq 1$ では β の違いが応答量に大きく影響を及ぼしている。従って、 ΔQ_E と β の双方は偏心を有する柔床の応答に影響を及ぼすパラメータであると言える。床構面のせん断変形が大きい場合は見かけの回転角も生じ、その量も大きい。

7.2 直交壁効果

図8はPGV=10cm/sの6波形の入力地震動を受ける $\beta=0.5, 1.0, 2.0$ 、 $\Delta Q_E=0.15, 0.5, 1.0$ の組み合わせによる9種類の建物モデルについて、Y1（弱構面）、Y2（強構面）通りの無偏心に対する最大変位応答比を示す。なお、 ΔQ_E については、剛床と見なせる $\Delta Q_E=0.5$ を基準に、 $\Delta Q_E=0.15$ 及び1.0を採用した。間口方向の降伏せん断力係数は一律に ${}_xc{}_y=0.3$ とし、奥行方向では ${}_zc{}_y=0.05 \sim 1.5$ に変化させる。図より、 β が小さく、かつ ΔQ_E が高いほど ${}_zc{}_y$ の増大に伴ってY1,Y2通りの応答比が1.0に収束していることが分かる。逆に、 β が大きい場合、或いは ΔQ_E が低い場合には ${}_zc{}_y$ が増大すると応答比は1.0ではないがある一定値に収束する。従って、直交壁効果には ΔQ_E と β 及び ${}_zc{}_y$ の全てが影響因子である。ただし、 ${}_zc{}_y$ は過度に増大させても直交壁効

図8 奥行方向の降伏せん断力係数と無偏心に対する最大変位応答比の関係
(1軒型、PGV=10cm/sの入力地震動6波に対する応答、 $\alpha_{cy}=0.3$ 、 $\alpha=0.3$)

果は期待できない。

図9は、 β と α_{cy} をそれぞれ縦軸、横軸にとり、Y1通り（弱構面）の無偏心に対する変位応答比を等高線にして示す。入力地震動はPGV=10, 50cm/sのEl Centro波及びBCJ L2波である。 α_{cy} は一律に0.3とした。図より、概括的には β が小さく、かつ α_{cy} が大きい場合には等高線が横軸に平行或いは右上がりて規則性が認められる。しかし、 α_{cy} が小さい場合、及び β が過大な場合には等高線が歪で明瞭な傾向が認められない。それらの領域を α_{cy} で区分し、安定した一定の応答比が得られるのはおよそ $\alpha_{cy} \geq 0.6$ 、即ち奥行方向には間口方向に対して2倍の壁量が必要である。この安定した応答比が得られることは、柔床における直交壁効果のひとつと言える。 $\Delta Q_E=0.15$ の場合、等高線の間隔が密で、 β の違いによって変動が著しいが、 $\Delta Q_E=0.5$ 及び1.0の場合は間隔が広く、変動も緩慢である。入力地震動の違いで比較すると、 β が大きいときに等高線形状とその大きさに若干の差が認められる。また、入力レベルの大きさ、即ち応答の非線形性の影響は明瞭には認められず、むしろBCJ-L2波についてはPGVの大きさに関わらず形状が類似している。 $\Delta Q_E=0.5$ では等高線が α_{cy} の増大に伴って緩やかに右上がりとなり、 $\Delta Q_E=1.0$ では更に勾配が上がり、応答比の低減を期待することができる。

従って、1軸偏心を有する1軒型長屋モデルについて、 ΔQ_E 、 β 、 α_{cy} 、入力地震波の種類、及びPGVの5種をパラメータとした解析から、

直交壁効果に最も影響を及ぼす因子は、やはり ΔQ_E と β であると言える。 ΔQ_E が低い場合でも α_{cy} の増量によって一定の応答比を期待することができるが、その値は小さくならない。応答比を小さくするためには水平構面には剛床と見なせるような剛性が必要であり、床倍率が $\Delta Q_E \geq 0.5$ でないと応答比の低減を含めた直交壁効果は期待できない。 α_{cy} も直交壁効果の影響因子にはなるが、応答比の安定性の点では過度に増大させる必要はない。入力地震動の種類とPGVについては、ここで示した範囲では影響因子にはならない。これは、応答を基準化した比率で評価し、量は論じていないからである。採用した何れのパラメータの組み合わせでも応答比は1.0~1.5の範囲にあり、従って、直交壁効果を期待するためには、間口方向の変形性能に余裕があることも必要である。

これらの結果を長屋に照合すると、間口方向の偏心を解消することが困難であるが、しかし変形性能には余裕がある場合、床剛性と奥行方向の壁量を確保することが有効な耐震補強となり得、直交壁効果によって間口方向の地震時の変位応答は安定し、床剛性が高ければ応答量を小さくすることもできると考えられる。ただし、応答の安定性の観点からすると、 β は小さい方が望ましい。 β が小さいことは住戸の狭小性に相反し、従って、1軒型に直交壁効果を期待することは必ずしも現実的ではないとも言え、平面形状を適切に判断する必要がある。

図9 無偏心に対する最大変位応答比（1軒型、 $e_y=0.3$, $\alpha=0.3$ ）

8. 4軒型の直交壁効果

4軒型の場合について、直交壁効果の検証結果を図10に示す。各種パラメータは前節の図9と同様であるが、地震動の入力レベルはPGV=50cm/sのみである。1軒型の結果と比較すると、等高線の形状は規則的でかつ安定し、 β 或いは y_{cy} に対する応答比の依存性が明瞭に認められる。応答比はおおよそ $y_{cy} \leq 0.45$ では y_{cy} に、それ以上では β に依存している。 ΔQ_E と y_{cy} に関わらず安定した一定の応答比を期待するならば、奥行方向には間口方向のおおよそ1.5倍の壁量を確保すれば十分である。また、1軒型と同様、 $\Delta Q_E \geq 0.5$ であれば y_{cy} の増大に伴って応答比は小さくなる。4軒型の等高線の形状に明瞭な規則性が認められることは、1軒型で β が小さい場合に類似している。これは、4軒型を構成する個々の住戸の狭小性が、各住戸の集合によって改善されていることに他ならない。なお、応答比は1軒型と同様に1.0～1.5の範囲に納まっている。

これらの結果を長屋に照合すると、4軒型は1軒型と比べて β の大きさに関わらず安定した一定の応答比を得ることができ、奥行方向には間口方向の1.5倍の壁量があればよい。通常、奥行方向の壁量は間口方向の1.5倍以上と思われるので、床の補強のみでも地震時の変位応答の低減が図れると考えられる。

9. おわりに

本論では、間口方向に1軸偏心を有する木造長屋モデルについて、水平構面の床剛性を考慮した地震応答解析を行なった。床剛性が応答に及ぼす影響、及び1軒型、4軒型2種類のモデルの直交壁効果を検証した。なお、解析の際は間口方向の降伏せん断力係数を0.3、偏心を規定するパラメータを0.3に固定した。結論を以下に纏める。

1. ある壁量分配率に対し、4軒型よりも1軒型の方が偏心において不利、即ち、偏心率が大きい。

図 10 無偏心に対する最大変位応答比（4 軒型、 $e_y=0.3$ 、 $\alpha=0.3$ 、 $PGV=50\text{cm/s}$ ）

2. 床倍率と辺長比は偏心を有する柔床の応答を支配する。床倍率が低く、水平構面のせん断変形が大きい場合には見かけの回転が大きく、辺長比が 1.0 の場合には加振方向の応答に直交壁が大きく寄与する。床倍率が 0.5 程度の床剛性であれば、剛床無偏心に対する変位応答量の増分は 5% 以下にとどまる。
3. 直交壁効果を支配する主要因子は床倍率と辺長比である。直交壁量は過度に確保する必要はない。入力地震動の種類とそのレベルは直交壁効果に影響を及ぼさない。
4. 奥行方向の壁量増により、間口方向には地震入力に対して安定した変位応答量が期待できる。これは床倍率の高低に依存せず、柔床における直交壁効果のひとつである。床倍率が 0.5 以上の場合には応答量も小さくなる。一方、直交壁効果を期待するためには、間口方向の変形性能に 1.5 倍の余裕確保が必要である。
5. 1 軒型の間口方向が安定した応答量になるような直交壁効果を期待するならば、奥行方向の所要壁量は間口方向のその 2 倍であり、かつ、辺長比は小さくしなければならない。辺長比が小さいことは住戸の狭小性に相反し、1 軒型に直交壁効果を期待することは現実的と言えない。
6. 4 軒型は辺長比によらず直交壁効果を期待できる。奥行方向の所要壁量は間口方向のその 1.5 倍である。4 軒型に直交壁効果が期待できるのは各住戸の集合によって狭小性が改善されるからであり、長屋の構造的な長所である。

以上より、長屋について、間口方向の偏心を解消することが困難な場合は床剛性と奥行方向の壁量を確保することも有効な耐震補強になり得ると考えられる。

本論では簡単な建物モデルにて検討を試み、地震入力は 1 方向に限定している。立体的な挙動を観察するためには少なくとも水平方向 2 成分の入力への拡張が必要であり、これらに関しては今後の課題としたい。

謝辞

本研究の一部は、平成 18 年度科学研究費補助金（基盤研究（C））、研究代表者 関西大学名誉教授 浅野幸一郎、課題番号 17560524）によるものです。加えて、本研究に際しては、卒業生の伊藤陽介君の多大な助力を受けました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 阿川将樹、宮澤健二：軸組構法住宅の偏心に関する研究 その 11. 床剛性と直交壁効果、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1 巻、pp.297-298、2002.8
- 2) 野口弘之、伊藤修一、高岡繭子：1 軸偏心した 1 層建物の地震挙動に及ぼす床構面の影響に関する実験的研究 その 1～3、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1 巻、pp.283-288、2002.8
- 3) 山田 明、鈴木三四郎、浅野幸一郎：偏心軸組木造平屋住宅モデルの地震応答特性に関する一考察、日本建築学会構造系論文、第 562 号、pp.75-82、2002.12
- 4) 山田耕司：木造建物の地震時最大塑性率への床構法の影響 1 層 1 スパン建物の場合、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1 巻、pp.197-198、2000.9
- 5) 山田 明、鈴木三四郎、浅野幸一郎：軸組木造長屋モデルの地震応答特性と直交壁効果に関する一考察—剛床と仮定した場合、日本建築学会構造系論文、第 604 号、pp.95-102、2006.6
- 6) （財）日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計
- 7) 山田耕司：木造軸組建物における剛床仮定の成立する床剛性、日本地震工学会・大会—2004 梗概集、pp.438-439、2005.1

（2007 年 8 月 28 日原稿受理、2008 年 2 月 22 日採用決定）