1 層箱形建物における剛床仮定の適用範囲に関する研究

木質立体建物の床剛性を考慮した水平ねじれ挙動に関する研究 (第1報)

THE SCOPE OF RIGID FLOOR ASSUMPTION FOR SINGLE-STORY BOX TYPE BUILDING

—A study on horizontal twist behavior considering floor stiffness

by wooden construction (Part 1)—

梶川 久光*¹, 野口 弘行*²

Hisamitsu KAJIKAWA and Hiroyuki NOGUCHI

The report describes about analyzing the scope of rigid floor assumption of wooden structure. The full scale single-story buildings were flat size of 4P-wide by 4P-wide by one-floor (3,640mm-long by 3,640mm-long by 2,578mm-height) and were different in eccentricity ratio. We grasped twist behavior by the static-loading test being carried out on these buildings. We studied the scope of rigid floor assumption by comparing analysis values from matrix varied floor stiffness and shapes with calculated values by correction coefficient calculated with rigid assumption.

Keywords: Horizontal Twist Behavior, The Scope Of Rigid Floor Assumption, Single-story Box Type Building, Matrix Analysis, Floor Stiffness, Torsional Correction Factor

水平ねじれ挙動、剛床仮定の適用範囲、1 層箱形建物、マトリックス解析、床剛性、ねじれ補正係数

1. 研究目的

現行の木質建物における水平ねじれ挙動（水平変形+回転変形）の構造検証は、建物の条件に関係なく多くの場合に、剛床仮定を前提とする手法（4分割法[平成12年建告第1352号]と略称される簡易検定法。剛床仮定を前提とする偏心率計算により偏心率を確認する手法。）が主である。木質構造においては、火打ち梁床や合板釘打ち床等の床剛性が低い床構面もあり、どのような場合でも剛床仮定に基づく構造検証方法が適用できるとは考えられない。木質建物の水平ねじれ挙動に関係する多くの構造因子（各壁剛性、各床剛性、重量偏在、建物形状など）が、どのような関係であれば剛床仮定を用いた設計を行っていいのかということは、近年の木質構造研究における課題であり、明確に説明することはまだできていない。そこで、近年、木質構造研究においては、床剛性の影響を考慮した建物のねじれ挙動に関する実大実験及び解析による検証が行われてきた。^{1) ~ 4)}しかし、個々の研究の条件（構造因子が固定されすぎた状態）においての構造的特性を示すことができて、建物の水平ねじれ挙動に関係のある多くの構造因子が複雑に関係しあう状態での特性は、まとめるというよりも、まとめる為の糸口さえ見つけられていないのが現状である。

そこで、本研究では、木質立体建物の床剛性を考慮した水平ね

じれ挙動を実験及び解析により検証し、建物の水平ねじれ挙動の構造検証に剛床仮定が適用できる場合における各構造因子相互の関係を明確にすることを目的とする。

本研究（第1報）では、床剛性を考慮した木質立体建物のねじれ挙動に関する基本的な力学的性状をまとめるために、次の①～③の条件において研究を行った。①建物は、1層箱形建物（耐力壁が外周のみに配置されている長方形平面モデル）とする。②静的な力の釣り合い状態での検証。③弾性範囲での検証。（続報にて、実建物においての検証、動的な検証を行う。）

本研究（第1報）の進め方は、まず最初に、床剛性、偏心率を変化させ1層箱形建物における水平加力実験を行った。次に、長方形せん断変形型モデルを用いたマトリックス解析法により木質建物における床剛性を考慮した水平ねじれ挙動を表現した。その次に、剛床仮定におけるねじれ補正係数及び水平構面剛性を考慮したねじれ補正係数の理論化を行い、長方形平面モデルに1方向より水平力が加わった場合の水平ねじれ挙動を表現した。最後に、マトリックス解析法とねじれ補正係数を用いた手法を融合させ、建物にあるクライテリア（剛床仮定による構造検証の結果と床剛性を考慮した構造検証の結果の相違が、ある比率以下）を与えたときの必要床剛性を各構造因子の関係式で示した。

*¹ ミサワホーム(株)構造技術チーム 博士(工学)*² 明治大学理工学部建築学科 教授・工博

Structural Design Group, Misawa Home Co., Ltd., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Architecture School of Science Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.

2. 実大 1 層箱形建物の水平加力実験⁵⁾⁶⁾⁷⁾

2.1 実験概要

実験概要を図 1 に示す。試験体は、4P × 4P の 1 層箱形建物とし、偏心率及び床剛性を変化させた合計 8 体である。加力は、反力壁に取り付けた 3 本の油圧ジャッキにより水平方向に正負繰り返し加力を行った。

2.2 試験体等

2.2.1 座標軸及び通り名

座標軸は、図 1 に示すように加力方向に対して直交方向を X 軸、水平方向を Y 軸、鉛直方向を Z 軸と設定した。通り名の設定は、図 1 に示すとおりである。

2.2.2 試験体及び試験体名

試験体は、試験体寸法 4P × 4P × 建物高さ (3,640mm × 3,640mm × 2,578mm) の 1 層箱形建物である。試験体種類を図 5 に示す。試験体は、床剛性、壁剛性を変化させた合計 8 種類とした。試験体名の設定は、図 2 に示すように各壁面の名称を加力する壁面を「A 面」とし、A 面より時計回りに、「B 面」、「C 面」、「D 面」として、壁構面の種類及び床構面の種類により構成した。各構面の構造形状は、図 3 に示すとおりである。壁構面の種類は、図 3 に示すように全て木質接着パネル構法による構面 (木質接着複合パネル^{#1}により構成) とし、「無開口タイプ (C)」、「窓タイプ (W)」、「ドア A タイプ (D_A)」、「ドア B タイプ (D_B)」、「全開口タイプ (O)」の 5 種類とした。床構面の種類は、図 3 に示すように「木質接着パネル構法による構面 (R)」と「枠組み壁工法による構面 (F)」の計 2 種類とした。また、ホールダウン金物接合部及びアンカーボルト接合部の納まりを図 4 に示す。

#1 : 合板-JAS 構造用合板 1 級 (壁パネル:両面張り ④4.0-5.5 床パネル:片面張り ④12)
芯材-JAS 針葉樹構造用製材の中構造材 2 級 (スプルース)

2.2.3 加力方法

加力は、図 1 に示すように反力壁に水平に並列して設置した 3 本の油圧ジャッキ (200kN 用、ストローク ±150mm) により試験体の床構面に等価の三点交番繰り返し荷重を加え、B 面の層間変形角により制御を行った。実験は圧縮方向加力 (押し) で試験体を破壊し、ジャッキのストロークが限界に達した時点で終了とした。

2.2.4 測定方法

荷重は、H 鋼と油圧ジャッキの間に取り付けた「200kN 用ロードセル (図 1 参照)」によって測定した。変位量は、各点に変位計を設置して測定した。面材のせん断歪みは、「歪みゲージ」を用いて測定した。アンカーボルトの引張力は、「ボルト用歪みゲージ」を用いて測定した。(※計測機器は全て東京測器研究所のものを使用) また、積載・固定荷重を想定した重りとして、1 枚当たり 2.6kN の鉄板 4 枚を図 1 に示すように床構面上に配置した。

2.3 実験結果

本実験は、「3. マトリックス解析法」の適応性を検証する目的で、建物のねじれ及び水平構面の剛性を変化させて実験を行った。(本論文では本実験の詳細な検証は目的ではない。) 各試験体の水平荷重と層間変形角の関係及び耐力壁 B 面の各層間変形角時の変形性状を図 5 に示す。変形図は、実際の変位量を 20 倍して示す。また、偏心率を算出するための壁剛性及び床剛性は、有限要素法解析により算出した各構面の水平荷重-変形角関係における剛性 (表

1 表 2 参照) を用いた。

図 1 実験概要図

図 2 試験体名の設定

図 3 各構面の構造形状

図 4 各接合部の納まり

G:水平構面の剛性 (「3.1 せん断変形型解析モデル」参照), γ/α :変形角比 (「6. 式 (5) における変形角比 (γ/α) の解」参照)

図 5 試験体種類及び実験結果

3. マトリックス解析法

偏心を有する長方形平面モデルのねじれ挙動を検証する為、壁剛性、床剛性、平面形状及び外力を考慮したせん断変形型の解析モデルを設定し、静的な力の釣り合い式より求めた剛性マトリックスにより解析を行う。

3.1 せん断変形型解析モデル

壁剛性 (k_{x1} , k_{x2} , k_{y1} , k_{y2} :[kN/mm])、床剛性 (G :[kN/mm])、平面形状 (Lx , Ly :[mm]) 及び外力 (P_{x1} , P_{x2} , P_{y1} , P_{y2} :[kN]) を構造因子とした解析モデルの設定を図 6 に示す。

図 6 せん断変形型解析モデル

3.2 剛性マトリックス (静的な力の釣り合い式)

図 6 に示す解析モデルの各変位方向の静的な力の釣り合い式は、せん断力 Qx [kN] 及び Qy [kN] を用いて式 (1) と表せる。

$$\begin{aligned} P_{x1} &= k_{x1} \cdot \delta_{x1} - Qx & P_{y1} &= k_{y1} \cdot \delta_{y1} - Qy \\ P_{x2} &= k_{x2} \cdot \delta_{x2} + Qx & P_{y2} &= k_{y2} \cdot \delta_{y2} + Qy \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 Qx , Qy は、式 (2) で表せる。

$$\begin{aligned} Qx &= \tau Ly & Qy &= \tau Lx \\ &= \frac{Ly}{Lx} G \delta_x + G \delta_y & &= G \delta_x + G \frac{Ly}{Lx} \delta_y \end{aligned} \quad (2)$$

但し、

$$\begin{aligned} \delta_x &= \delta_{x2} - \delta_{x1} \\ \delta_y &= \delta_{y2} - \delta_{y1} \\ \tau &= G\gamma \\ &= G \left(\frac{\delta_x}{Lx} + \frac{\delta_y}{Ly} \right) \end{aligned} \quad \left[\begin{array}{l} P_{x1}: X1 \text{ 通りに加わる水平力 [kN]} \\ P_{x2}: X2 \text{ 通りに加わる水平力 [kN]} \\ P_{y1}: Y1 \text{ 通りに加わる水平力 [kN]} \\ P_{y2}: Y2 \text{ 通りに加わる水平力 [kN]} \\ \delta_{x1}: X1 \text{ 通りの水平変位量 [mm]} \\ \delta_{x2}: X2 \text{ 通りの水平変位量 [mm]} \\ \delta_{y1}: Y1 \text{ 通りの水平変位量 [mm]} \\ \delta_{y2}: Y2 \text{ 通りの水平変位量 [mm]} \\ \tau: \text{単位長さあたりのせん断力 [kN/mm]} \\ \gamma: \text{せん断変形角 [rad.]} \end{array} \right]$$

式 (1)、式 (2) の釣り合い式を、外力ベクトル $\{P\}$ 、剛性マトリックス $[K]$ 、変位ベクトル $\{\delta\}$ の形で表すと式 (3) となる。

$$\begin{Bmatrix} P_{x1} \\ P_{x2} \\ P_{y1} \\ P_{y2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{x1} + \frac{Ly}{Lx} & -\frac{Ly}{Lx} & G & -G \\ -\frac{Ly}{Lx} & k_{x2} + \frac{Ly}{Lx} & -G & G \\ G & -G & k_{y1} + \frac{Lx}{Ly} & -\frac{Lx}{Ly} \\ -G & G & -\frac{Lx}{Ly} & k_{y2} + \frac{Lx}{Ly} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_{x1} \\ \delta_{x2} \\ \delta_{y1} \\ \delta_{y2} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

3.3 入力データ (壁剛性及び床剛性)

マトリックス解析法で用いる壁剛性 (k_{x1} , k_{x2} , k_{y1} , k_{y2}) 及び床剛性 G は有限要素法解析の値を基に決定した。表 1 に壁剛性を、表 2 に床剛性を示す。以下に壁剛性及び床剛性を決定した有限要素法解析について示す。

表 1 壁剛性

壁構面タイプ (2,578mm × 3,640mm)	壁剛性 [kN/mm]
C-Type	4.22
W-Type	2.59
DA-Type	1.72
DB-Type	0.80
O-Type	0.00

表 2 床剛性

床構面タイプ (3,640mm × 3,640mm)	床剛性 [kN/mm]
枠組壁工法 (F-Type)	2.65
木質パネル構法 (R-Type)	4.31

3.3.1 解析モデル

解析モデルの概要を図 7～図 9 に示す。解析モデルは、構面を構成する各部材を線材要素、面材要素、パネ要素 (釘パネ、ホールダウンパネ、アンカーボルトパネ、開口パネ、めり込みパネ) を用いて構成した。尚、開口パネは、開口隅角部でのパネルの開きをモデル化したパネとし、めり込みパネは、土台、梁及び開口隅角部へのパネル芯材及び柱のめり込みをモデル化したパネとした。

図 7 有限要素法解析モデル例 (W-Type)

図 8 有限要素法解析モデル例 (R-Type)

図 9 有限要素法解析モデル例 (F-Type)

3.3.2 解析方法

解析方法は、荷重増分法による弾性解析とした。

3.3.3 有限要素法解析に用いる材料定数

解析で用いた材料定数を表3及び表4に示す。材料定数は、部

表3 壁構面の材料定数

要素名	部材名	K[N/mm] ^{※1}	Ex[kN/mm] ^{※2}	Ey[kN/mm] ^{※3}	G[N/mm] ^{※4}	ν ^{※5}
線材	土台	-	13.6	-	453	-
	柱	-	13.6	-	453	-
	桁	-	13.6	-	453	-
	パネル芯材	-	13.6	-	453	-
面材	壁パネル合板	-	10.5	7.3	392	0.04
バネ	ホルダダウン	9316	-	-	-	-
	アンカーボルト	4249	-	-	-	-
	めり込みバネ	9807	-	-	-	-
	開口バネ	4707	-	-	-	-

※1 K:剛性[N/mm]

※2 Ex:縦方向のヤング係数

※3 Ey:縦横直交方向のヤング係数

※4 G:せん断弾性係数

※5 ν :ポアソン比

表4 床構面の材料定数

要素名	部材名	K[N/mm] ^{※1}	Ex[kN/mm] ^{※2}	Ey[kN/mm] ^{※3}	G[N/mm] ^{※4}	ν ^{※5}
線材	筋差し	-	13.6	-	453	-
	パネル芯材	-	13.6	-	453	-
面材	床パネル合板	-	10.5	7.3	392	0.04
バネ	釘バネ要素	2300	-	-	-	-

※1 K:剛性[N/mm]

※2 Ex:縦方向のヤング係数

※3 Ey:縦横直交方向のヤング係数

※4 G:せん断弾性係数

※5 ν :ポアソン比

材実験及び「木質構造設計基準・同解説⁸⁾」の値を参考にして決定した。めり込みバネ要素の剛性は柱の土台へのめり込みの初期剛性を求める計算式⁹⁾を基に設定した。

3.4 解析結果と実験結果の比較

図10に解析値と実験値による水平荷重50[kN]時の床構面の変形図を示す(変位量30倍)。水平荷重については合力が図心(重心)を通り同じ大きさの状態と比較している。解析は実験の変形挙動を弾性域においてはよく再現していると考えられる。

図10 実験結果と解析結果の比較

4. ねじり補正係数

4.1 剛床仮定に基づくねじり補正係数¹⁰⁾

偏心率が大きいとねじりが生じて、重心側の耐力壁に水平力が集中する。この水平力の集中の割合を示したものがねじり補正係数である。図11、式(4)に剛床仮定に基づくねじり補正係数を示す。

$$\alpha x = 1 + \frac{\sum kx \cdot ex}{Kr} \bar{X} \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (gx, gy): \text{重心の座標}, (jx, jy): \text{剛心の座標} \\ ex, ey: \text{偏心率}, \quad \begin{cases} ex = gx - jx \\ ey = gy - jy \end{cases} \\ kx: Y \text{ 方向の耐力壁剛性}, ky: X \text{ 方向の耐力壁剛性} \\ \alpha x: \text{ねじり補正係数} \\ Kr: \text{ねじり剛性} \\ Kr = \sum (kx \cdot lx^2) + \sum (ky \cdot ly^2) \\ (lx, ly): \text{剛心から耐力壁線までの距離} \end{array} \right.$$

4.2 水平構面の剛性を考慮したねじり補正係数¹¹⁾

Y方向に外力が作用した場合、図12のように床がせん断変形をともないねじりが生じる。水平構面には、せん断変形をともなう回転角 α (ねじりによる回転角 θ +床のせん断変形角 γ)が生じる。また、X方向の壁には、ねじりによる回転角 θ (せん断変形をともなう回転角 α -床のせん断変形角 γ)が生じる。水平構面の剛性(せん断変形)を考慮したねじり補正係数は式(5)で表される。

$$\alpha x = 1 + \frac{\sum kx \cdot ex}{Kr} \bar{X} \quad (5)$$

$$Kr = \sum (kx \cdot lx^2) + \left(1 - \frac{\gamma}{\alpha}\right) \sum (ky \cdot ly^2)$$

但し K_R : 水平構面の剛性を考慮したねじり剛性

この式に現れる γ/α は、変形角の比であり、床のせん断弾性係数が0である場合には $\gamma = \alpha$ となり、図13に示すように柔床仮定の理論に基づいたものとなる。逆に床のせん断弾性係数が無限大に近い場合には $\gamma = 0$ となり、剛床仮定の理論に基づいたものとなる。

図11 剛床仮定に基づくねじり補正係数¹⁰⁾
(Y方向に外力が作用した場合)

図12 水平構面の剛性を考慮したねじり補正係数¹¹⁾
(Y方向に外力が作用した場合)

図13 完全柔床時のねじり補正係数¹¹⁾
(Y方向に外力が作用した場合)

$$\begin{aligned}
\delta_{x1} &= \frac{[k_{y1}k_{y2}A + (k_{y1} + k_{y2})G]k_{x2} + k_{y1}k_{y2}A^2G]P_{x1} + k_{y1}k_{y2}A^2GP_{x2} - k_{x2}k_{y2}AGP_{y1} + k_{x2}k_{y1}AGP_{y2}}{A\{k_{x1}k_{x2} + (k_{x1} + k_{x2})AG\}k_{y1}k_{y2} + k_{x1}k_{x2}(k_{y1} + k_{y2})G} \\
\delta_{x2} &= \frac{k_{y1}k_{y2}A^2GP_{x1} + [\{k_{y1}k_{y2}A + (k_{y1} + k_{y2})G\}k_{x1} + k_{y1}k_{y2}A^2G]P_{x2} + k_{x1}k_{y2}AGP_{y1} - k_{x1}k_{y1}AGP_{y2}}{A\{k_{x1}k_{x2} + (k_{x1} + k_{x2})AG\}k_{y1}k_{y2} + k_{x1}k_{x2}(k_{y1} + k_{y2})G} \\
\delta_{y1} &= \frac{-k_{x2}k_{y2}AGP_{x1} + k_{x1}k_{y2}AGP_{x2} + [\{k_{x1}k_{x2} + (k_{x1} + k_{x2})AG\}Ak_{y2} + k_{x1}k_{x2}G]P_{y1} + k_{x1}k_{x2}GP_{y2}}{A\{k_{x1}k_{x2} + (k_{x1} + k_{x2})AG\}k_{y1}k_{y2} + k_{x1}k_{x2}(k_{y1} + k_{y2})G} \\
\delta_{y2} &= \frac{k_{x2}k_{y1}AGP_{x1} - k_{x1}k_{y1}AGP_{x2} + k_{x1}k_{x2}GP_{y1} + [\{k_{x1}k_{x2} + (k_{x1} + k_{x2})AG\}Ak_{y1} + k_{x1}k_{x2}G]P_{y2}}{A\{k_{x1}k_{x2} + (k_{x1} + k_{x2})AG\}k_{y1}k_{y2} + k_{x1}k_{x2}(k_{y1} + k_{y2})G}
\end{aligned}$$

(6)

但し $A = \frac{Ly}{Lx}$

5. 剛性マトリックスの解

長方形のせん断変形型解析モデルについて、理論的に剛床仮定の適用範囲を明確にするために、剛性マトリックスの解の算出を行う。(この解を用いて節 6.、節 7. において剛床仮定の適用範囲を論理的に説明する。) 連立方程式の解を算出すると、式 (3) の $\delta_{x1}, \delta_{x2}, \delta_{y1}, \delta_{y2}$ は式 (6) で表される。

6. 式 (5) における変形角比 (γ/α) の解

(Y 方向に外力が作用した場合)

下式に式 (6) を代入して前述した変形角比 (γ/α) を整理する。

$$\begin{aligned}
\gamma &= \frac{\delta_{x2} - \delta_{x1}}{Lx} - \frac{\delta_{y2} - \delta_{y1}}{Ly} \\
\alpha &= \frac{\delta_{x2} - \delta_{x1}}{Lx}
\end{aligned}$$

(7)

本検証のモデルでは外力 P_{y1}, P_{y2} は考慮していないので、 P_{y1}, P_{y2} に 0 を代入して式 (5) 及び式 (6) を整理すると変形角比 (γ/α) は次式で表される。

$$\frac{\gamma}{\alpha} = \frac{1}{1 + \frac{k_{y1} + k_{y2}}{k_{y1} \cdot k_{y2}} \cdot \frac{G}{A}}$$

(8)

式 (8) より変形角比 (γ/α) は、直交耐力壁の剛性 (k_{y1}, k_{y2}) 及び形状比 ($A:Ly/Lx$)、床剛性 (G) で表すことができ加力方向の耐力壁の剛性 (k_{x1}, k_{x2}) とは関係が無かった。ここで、図 14 に Z 軸に変形角比 (γ/α)、X 軸に床剛性 (G)、Y 軸に直交壁のパラメータ $(k_{y1} + k_{y2})/(k_{y1} \cdot k_{y2})$ をとったグラフを示す。図 14 より変形角比は、形状比が大きくなると大きくなり、床剛性が小さくなると反比例的に大きくなる。直交壁のパラメータが小さくなるにつれて反比例的に大きくなる。また、図 15 に直交壁のパラメータを示す。直交壁のパラメータは、直交耐力壁の剛性が小さくなると大きくなる。直交耐力壁の剛性が $2[\text{kN/mm}]$ より小さくなると急激に大きくなる。直交壁のパラメータにどのような構造的な意味があ

るのかということは、今後の課題として検討を行う。

図 14 変形角比と床剛性及び直交壁のパラメータの関係

図 15 直交壁のパラメータと直交耐力壁の剛性の関係

7. ねじり補正係数より導く、剛床仮定の適用範囲を示す必要床剛性

剛床仮定の適用範囲を明確にするため、剛床仮定のねじり補正係数と水平構面の剛性を考慮したねじり補正係数の誤差 (r_a) により示す。剛床仮定のねじり補正係数に対する床剛性を考慮したねじり補正係数の比率 (r_a) を式 (9) に示す。

$$r_a = \frac{\text{柔床仮定によるねじり補正係数}}{\text{剛床仮定によるねじり補正係数}} = \frac{1 + \frac{\sum kx \cdot ex \cdot \bar{X}}{K_R}}{1 + \frac{\sum kx \cdot ex \cdot \bar{X}}{K_r}} \quad (9)$$

$$\text{但し } K_R = \sum (kx \cdot lx^2) + \left(1 - \frac{\gamma}{\alpha}\right) \sum (ky \cdot ly^2)$$

$$K_r = \sum (kx \cdot lx^2) + \sum (ky \cdot ly^2)$$

式 (9) の変形角比 (γ/α) に式 (8) をを代入し、床剛性 G でまとめると、式 (10) となる。

$$G = \frac{\left\{ \frac{\sum kx \cdot ex \cdot \bar{X}}{\sum kx \cdot ex \cdot \bar{X} + K_r} - b(r_a - 1) \right\} A}{(b+1)(r_a - 1) \left(\frac{ky_1 + ky_2}{ky_1 \cdot ky_2} \right)} \quad (10)$$

$$\text{但し } b = \frac{\sum (kx \cdot lx^2)}{\sum (ky \cdot ly^2)}$$

この式は、あるクライテリア (r_a) を与えると、必要床剛性 (G) を得ることができる。例えば、図 16 に $r_a=1.03$ 、 $r_a=1.05$ の場合のグラフを示す。ただし、 $A=1.0$ 、 $(ky_1 + ky_2)/(ky_1 \cdot ky_2)=1.2[1/(\text{kN}/\text{mm})]$ と仮定。Z 軸に必要床剛性 (G)、X 軸に $(\sum kx \cdot ex \cdot \bar{X})/(\sum kx \cdot ex \cdot \bar{X} + K_r)$ 、Y 軸に $\sum (kx \cdot lx^2)/\sum (ky \cdot ly^2)$ を示した。

図 16 剛床仮定の適用範囲を示す必要床剛性

必要床剛性 (G) は、X 軸のパラメータが大きくなれば直線的に大きくなり、Y 軸のパラメータが大きくなれば、曲線的に小さくなっている。各パラメータにどのような構造的な意味があるのか、また、あるクライテリア (r_a) がどのような値であれば剛床仮定であるのか、ということに関しては、今後の課題として検討を行う。

8. まとめ

以下に本研究をまとめると

- ① 水平構面剛性を考慮した「せん断変形解析モデル」を用いたマトリックス解析により、1 層箱型水平加力実験における建物の水平ねじれ挙動を再現できた。(式 (3))
- ② 水平構面剛性を考慮したねじれ補正係数の式 (5) における変形角比 (γ/α) の解を示すことができた。(式 (8))
- ③ 木質立体建物の剛床仮定の適用範囲を検討する上での第 1 段階として、1 層箱形建物におけるねじり補正係数より導き、あるクライテリア r_a を与えることにより、剛床仮定の適用範囲を示す必要床剛性を式に示した。(式 (10))

今後の課題

- ① 実建物における検証 (実大建物の水平加力実験を行いその結果を用いた本理論の検証、建物の内部にも耐力壁線がある場合の検証、弾塑性問題の検証等) を行い、水平構面剛性の影響を考慮した設計方法の提案を行う。
- ② 動的な挙動 (慣性モーメントの増幅の影響等) における検証。
- ③ クライテリアに関する検証。(r_a がどのような値であれば剛床仮定が適用できるのか。)

謝辞

本研究の実験実施にあたり、明治大学野口研究室の野村周平氏・富居勝宏氏・渦波きさら氏・福岡崇博氏・1998 年度の卒業研究生諸氏及びミサワホーム技術部の三津橋歩をはじめとする研究員に多大なるご協力を得た。また、本論文をまとめるにあたり、新木造建築システム総合研究所の小川春彦氏にご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 山口修由、坂本功、床の面内剪断剛性を考慮した建築物の振れ振動についてー静的な解析、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1239~1240, 1985.10
- 2) 松本善太、松島豊、構造物のねじれ地震応答に及ぼす床剛性の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp735~736, 1986.8
- 3) 野口弘行、梶川久光、木質半剛節ラーメン構造の振動性状に関する研究 (第 1 報)ー水平構面の面内剛性について、日本建築学会構造系論文集, pp117~126, 1996.10
- 4) 阿川将樹、西村彰敏、花野克哉、宮澤健二、床剛性と耐力壁配置を考慮した軸組構法木造住宅の耐震性能に関する実験的研究、日本建築学会構造工学論文集, pp599~606, 2002.3
- 5) 梶川久光、野口弘行、平田俊次、野村周平、富居勝宏、木質パネル構法による立体建物の静的水平挙動に関する実験的研究 (その 1)ー研究目的および静的水平載荷実験の概要ー、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp109~110, 1999.9
- 6) 富居勝宏、野口弘行、梶川久光、平田俊次、野村周平、中尾行宏、木質パネル構法による立体建物の静的水平挙動に関する実験的研究 (その 2)ー各構面が建物全体の水平挙動に及ぼす影響についてー、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp111~112, 1999.9
- 7) 野村周平、野口弘行、梶川久光、富居勝宏、西澤哲郎、木質パネル構法による立体建物の静的水平挙動に関する実験的研究 (その 3)ー有限要素法を用いた立体解析による検証ー、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp113~114, 1999.9
- 8) 日本建築学会 (編): 木質構造設計規準・同解説, 2002
- 9) 稲山正弘: 木材のめり込み理論とその応用-靱性を期待したラーメン接合部の耐震設計法に関する研究-, 東京大学工学部坂本松村研究室 1991 年学位論文, 1991.12
- 10) 枠組壁工法建築物構造計算指針, 株式会社 工業調査会, 2002
- 11) 渦波きさら、野口弘行、伊藤修一: 偏心を有する木質構造物の床剛性を考慮した振動性状に関する基礎的研究 (その 3)ー床剛性を考慮したねじり補正係数の検討ー、日本建築学会学術講演梗概集, pp195~196, 2001.9
- 12) 梶川久光、小川春彦、野口弘行: 木質立体建物の水平構面の剛性を考慮したねじれ挙動に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集, pp387~388, 2004.8

(2004 年 9 月 10 日原稿受理, 2005 年 5 月 23 日採用決定)