

遺伝的アルゴリズムによる免震装置の最適配置計画  
 - 地震時の変動軸力を考慮した場合の検討 -  
 AN OPTIMAL ARRANGEMENT METHOD OF BASE-ISOLATED DEVICE  
 BY USING A GENETIC ALGORITHM

-An examination of the evaluation for the case of respecting to seismic varying axial load-

田守伸一郎<sup>1</sup>，林善太郎<sup>2</sup>，舟橋昌代<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 信州大学工学部社会開発工学科，助教授 工博

Shin'ichiro Tamori, Dept. of Architecture Faculty of Engineering, Shinshu University, snowman@gipwc.shishu-u.ac.jp

<sup>2</sup> 信州大学大学院，大学院生

Zentaro Hayashi, Graduate School of Engineering, Shinshu University, t02a344@mail.shishu-u.ac.jp

<sup>3</sup> 株式会社信成

Masayo Funahashi, Shinsei

#### SUMMARY

This study has proposed an optimal arrangement method of base-isolated buildings by using a genetic algorithm. The item to be evaluated are: 1) a eccentricity ratio, 2) a natural period, 3) a damping factor, 4) a vertical load on rubber bearings, and 5) a temporary load on rubber bearings. The proposed method of this study has been applied to actual designed buildings to optimize the arrangement of those base isolators. We also carried out the time history response analysis of the building designed by our method. As a result of the time history response analysis, the designed building satisfied the design criteria. Therefore it was shown the validity of the proposed method.

キーワード: 免震，遺伝的アルゴリズム，最適設計，短期軸力

Key words: Base isolation, Genetic algorithm, Optimal design, Temporary load

#### 1 はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、免震構造物の建設件数は急激な伸びを見せている。免震構造物の設計においては、免震層における様々な設計条件を満たす必要がある。そのために、地震応答解析を何度も繰り返し、免震装置の配置をおこなう必要があり、非常に手間のかかる作業となっている。

遺伝的アルゴリズム(以下GAと表記)<sup>1)</sup>は最適化手法の一つである。GAを用いた免震装置の最適配置の手法として、免震層の偏心率、免震装置の負担する長期鉛直荷重(以下長期軸力と表記)、免震層の固有周期、減衰定数を評価項目とした場合<sup>2)3)</sup>と免震層の偏心率、免震装置の負担する長期軸力、上部構造の最大応答加速度を評価項目とした場合<sup>4)</sup>の検討をおこない、同程度の性能を持った免震装置の配置を得られた。また、弾性すべり支承(以下SLと表記)を用いた場合に、免震構造物の設計における設計用エネルギースペクトルに着目した免震層

の応答予測<sup>5)</sup>に用いられる免震層の降伏せん断力係数を評価項目<sup>6)</sup>とした場合の検討をおこない、免震層に求められる性能を満足する免震装置の選択ができた。

免震装置は、地震時に変動軸力が作用することによって、座屈、引き抜き力が生じ、その装置の性能を変化させることが考えられる。そこで本研究では、評価項目として地震時の変動軸力を考慮した場合の短期軸力を採用し、GAを用いて免震装置の配置について最適設計をおこなうことを目的としている。

#### 2 解析手法

最適化手法は多数存在するが、GAを用いることによって、大域的探索空間から複数の制約条件下で最適解を離散的に求めることができる。また、1世代において複数の個体を生成させることにより遺伝子をもつ仮想的な生物が同時に複数存在するので、探索空間中では1点ずつ探索するのではなく、複数の探索点をもつことができる。

GA とは、自然淘汰に基づく生物の進化過程を模擬した数理モデルであり、遺伝子を持つ仮想的な生物の集団を計算機内に設定し、あらかじめ定めた環境に適応している個体が子孫を残す確率が高くなるように世代交代を繰り返す。この際、実際の生物の生殖においても生じる遺伝子の交叉、突然変異をおこない最終的に高い適応度の個体を求める。

本研究では、多数の組み合わせが考えられる免震装置の配置と種類という情報を遺伝子の中にもった個体を「進化」させることによって、最適配置を探索する。遺伝子はアイソレータを4ビット、ダンパーを2ビットの2進数で表し、それぞれ $2^4=16$ の16種類、 $2^2=4$ の4種類の装置を用いることができ、解析では可能な限りの種類の免震装置を用いた。

Fig.1 に GA の流れを示し、以下にそれぞれの GA における過程について説明する。

(1) 初期世代生成：免震装置の配置と種類という情報を0または1の遺伝子で表現し、100個の個体をランダムに発生させる。その際、ある程度高い適応度の個体が発生するような生成方法をとった方が計算時間を短縮できるので、免震装置の負担する軸力の評価値が0.93以上になるようにする。

(2) 適応度評価：各個体の免震装置の配置を評価し、評価の高い個体に高い適応度を与える。

(3) 選択および淘汰：100個の個体を適応度の高い順番に並べ、適応度の一番高い個体から50番目の個体までの50個の個体から34個の個体を選び出し、残りの50個の個体から16個の個体を選び出し、50個の個体を次世代の親とする。適応度の高い個体が高い確率で生き残るようにする。

(4) 個体の遺伝子の交叉：一点交叉をおこない、50個の親から100個の子供を生成する。適応度の1番高い親と2番目の親から8個の子供を生成する。3番目から40番目までの38個の親から66個の子供を生成する。また、残りの10個の親から26個の子供を生成する。

(5) 一部の遺伝子の突然変異：探索空間を広げるとともに、局所解から脱出するために遺伝子の0と1を逆転させる。突然変異が起きる確率は一定ではなく、初期世代では低く、世代交代が進むと高くする。交叉によって生成された100個の個体を並べたときに、同じ遺伝子の並びを持つ個体が連続して並んだ場合、一方は残してもう一方はランダムに決めたある1つの遺伝子の0と1を逆転させ突然変異を起こす。そのため、世代交代が進むにつれて突然変異は高くなり20%~30%の確率で突然変異を起こす。

(6) 終了判定：以上の手順により、次世代に高い適応度をもつ個体が現れない世代が150世代続くと、解が収束したと判断し、計算を終了させる。

選択・交叉方法では、エリート選択を用いて選び出した個体について一点交叉をおこなった。しかし、エリート選択をおこなうと局所解に陥りやすいため、突然変異

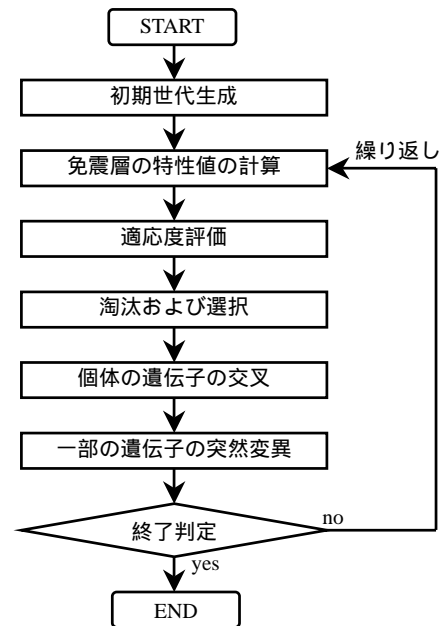


Fig. 1. Flow chart of the GA

方法では交叉により同じ遺伝子の並びを持つ個体が連続して生成された場合、一方は残してもう一方に突然変異を起こし、探索空間を広げ、局所解に陥っても脱出できるようにした。

### 3 評価方法

本研究では、個体は免震装置の種類と配置に関する情報を遺伝子の中にもっている。適応度は、その個体の遺伝子が次の世代に残るか否かの評価基準である。

適応度を評価する方法として、免震層の偏心率、固有周期、減衰定数と個々の免震装置の負担する長期軸力を考慮する場合(以下評価方法1と表記)と免震層の偏心率、個々の免震装置の負担する長期軸力、短期軸力を考慮する場合(以下評価方法2と表記)の2種類とした。以下にそれぞれの評価値を式(1)~(11)で表し、評価方法と適応度の計算について説明する。

#### 3.1 評価値の設定方法

##### 免震層の偏心率

免震層の偏心率が大きくなると適応度が低くなるように偏心率に対する評価値 $P_{Re}$ を式(1)、(2)のように定めた。

$$P_{Re,l}(i) = 0.2 + 0.8 \exp(-21R_{e,l}(i))^{2.8} \quad (1)$$

$$P_{Re}(i) = P_{Re,X}(i) \times P_{Re,Y}(i) \quad (2)$$

ここに、 $R_{e,l}(i)$ ：水平変位レベル*i*のときの*l*方向の偏心率、 $P_{Re,l}(i)$ ：水平変位レベル*i*のときの*l*方向の偏心率に対する評価値とする。*l*は方向を示す添字で*X*または*Y*をとる。

偏心率は水平変形量を3段階に変えて評価する。採用

した水平変位量は、積層ゴム支承のせん断歪が 10%、100%、200%の場合とし、これをそれぞれ水平変位レベル 1、2、3 と称する。これを添字  $i$  ( $i=1,2,3$ ) で表わす。  
個々の免震装置の長期軸力

個々の免震装置の長期軸力が負担可能長期軸力範囲からはずれると、支承の水平剛性等の性能が大きく変化し、装置が座屈する可能性が生じる。そこで、支承の長期軸力が、負担可能長期軸力範囲に収まらない場合のみ適応度が下がるように長期軸力に対する評価値  $P_{NL}$  を式(3)、(4)のように定めた。

$$NL(k) < \frac{NL_{\max}(k) + NL_{\min}(k)}{2} \text{ のとき} \quad (3)$$

$$P_{NL}(k) = \frac{NL_{\max}(k) - 3NL_{\min}(k) + 2NL(k)}{NL_{\max}(k) - NL_{\min}(k)}$$

$$NL(k) \geq \frac{NL_{\max}(k) + NL_{\min}(k)}{2} \text{ のとき} \quad (4)$$

$$P_{NL}(k) = \frac{3NL_{\max}(k) - NL_{\min}(k) - 2NL(k)}{NL_{\max}(k) - NL_{\min}(k)}$$

ただし、 $P_{NL}(k) > 1.0$  のとき  $P_{NL}(k) = 1.0$   
 $P_{NL}(k) < 0.2$  のとき  $P_{NL}(k) = 0.2$  とする。

ここに、 $k$ : 支承の番号、 $NL(k)$ :  $k$  番目の装置の長期軸力、 $NL_{\max}(k), NL_{\min}(k)$ :  $k$  番目の装置の負担可能長期軸力の最大値、最小値、 $P_{NL}(k)$ :  $k$  番目の装置の長期軸力に対する評価値とする。

免震装置の負担する長期軸力の最大値、最小値は、免震装置の長期許容面圧の最大値、最小値と有効断面積を用いて求めた。

長期軸力が負担可能範囲 ( $NL_{\min}(k)$ 以上  $NL_{\max}(k)$ 以下) 内にあれば、支承の特性値の変化は無視できるとみなして一定値 1.0 とする。一つの支承のみが負担可能範囲を極端にはずれてしまった場合でも、その子孫に適応度の高い個体生まれる可能性があるため、評価値の最低値を 0 ではなく 0.2 とした。

免震層の固有周期

免震層の固有周期が、あらかじめ設定した固有周期に近いほど適応度が高くなるように固有周期に対する評価値  $P_T$  を式(5)、(6)のように定めた。

$$T < T_f \text{ のとき } P_T = T/T_f \quad (5)$$

$$T \geq T_f \text{ のとき } P_T = T_f/T \quad (6)$$

ここに、 $T$ : 免震層の固有周期、 $T_f$ : 免震層の固有周期に対する評価値とする。

免震層の減衰定数

減衰定数 0.2 の加速度応答スペクトルを用いて最大応答加速度を求める際の応答低減率<sup>4)</sup>の逆数として、免震層の減衰定数が、0.2 に近いほど適応度が高くなるように、減衰定数に対する評価値  $P_H$  を式(7)、(8)のように定めた。

$$P_{H,l} = \frac{0.017 + 6.0H_{eq,l} - 5.9\sqrt{H_{eq,l}}}{-1.422} \quad (7)$$

$$P_H = P_{H,X} \times P_{H,Y} \quad (8)$$

ここに、 $H_{eq,l}$ :  $l$  方向の免震層の減衰定数、 $P_{H,l}$ :  $l$  方向の免震層の減衰定数に対する評価値とする。 [ $l=X, Y$ ]

個々の免震装置の短期軸力

短期軸力が、ゼロから免震装置の短期最大負担可能軸力の範囲をこえる場合、適応度が下がるように短期軸力に対する評価値  $P_{NS}$  を式(9)、(10)、(11)のように定めた。短期軸力の評価値を Fig.2 に示す。

$$NS_l(k) < \frac{NS_{\max}(k)}{2} \text{ のとき} \quad (9)$$

$$P_{NS,l}(k) = \frac{8}{3} NS_{\max}(k) \times NS_l(k) + 1.0$$

$$NS_l(k) \geq \frac{NS_{\max}(k)}{2} \text{ のとき} \quad (10)$$

$$P_{NS,l}(k) = -\frac{8}{3} NS_{\max}(k) \times NS_l(k) + \frac{11}{3}$$

$$P_{NS}(k) = P_{NS,X}(k) \times P_{NS,Y}(k) \quad (11)$$

ただし、 $P_{NS}(k) > 1.0$  のとき  $P_{NS}(k) = 1.0$   
 $P_{NS}(k) < 0.2$  のとき  $P_{NS}(k) = 0.2$  とする。

ここに、 $k$ : 支承の番号、 $NS_l(k)$ :  $k$  番目の装置の  $l$  方向の短期軸力、 $NS_{\max}(k), NS_{\min}(k)$ :  $k$  番目の装置の負担可能短期軸力の最大値、最小値、 $P_{NS,l}(k)$ :  $k$  番目の装置の  $l$  方向の短期軸力に対する評価値とする。 [ $l=X, Y$ ]

短期軸力を計算する際は、まず免震層の固有周期、減衰定数から加速度応答スペクトルを用いて収束計算<sup>4)</sup>をおこない、応答変位を求める。次に、免震層の等価水平剛性を用いて、式(12)によって免震層の応答層せん断力を求める。

$$Q = K_{eq} \times \delta_{\max} \quad (12)$$

ここに、 $Q$ : 免震層の応答層せん断力、 $\delta_{\max}$ : 免震層の応答変位、 $K_{eq}$ : 免震層の等価水平剛性とする。

求められた応答層せん断力は、建物の重心高さに作用すると仮定して、免震層の転倒モーメント、免震層の変動軸力を式(13)、(14)によってそれぞれ求める。

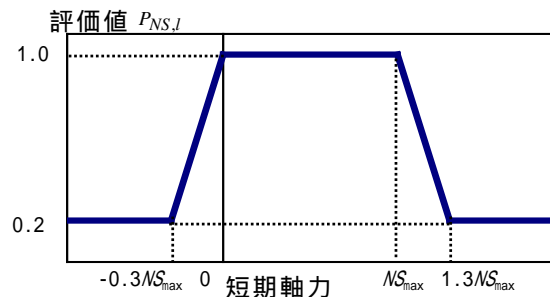


Fig. 2. Evaluation of the temporary load

$$OTM = h \times Q \quad (13)$$

$$V_l = OTM / b_l \quad (14)$$

ここに、 $OTM$ ：免震層の転倒モーメント、 $h$ ：建物の重心高さ、 $V_l$ ：免震層の  $l$  方向に水平動が作用したときの変動軸力、 $b_l$ ：建物の  $l$  方向の幅とする。[  $l = X, Y$  ]

求められた変動軸力は、重心を原点として  $X, Y$  方向に軸をとり、正(+ )側と負(- )側にそれぞれが作用するため、式(15)と表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} V_X &= \sum_{m=1}^n K_v(m)(l_x(m) - l_y(m) \cdot \theta) \\ V_Y &= \sum_{m=1}^n K_v(m)(l_y(m) - l_x(m) \cdot \theta) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

ここに、 $n$ ：免震装置の設置個数、 $m$ ：免震装置の設置番号、 $K_v(m)$ ： $m$  番目の装置の鉛直剛性、 $l_x(m), l_y(m)$ ： $m$  番目の重心を原点としたときの  $l$  座標、 $\theta$ ：回転角とする。

[  $l = X, Y$  ]

ゆえに、免震装置に作用する水平動による変動軸力は式(16)によって求められる。また、上下動による変動軸力は長期軸力の 30% が作用するものとして、短期軸力は式(17)によって求められる。

$$\left. \begin{aligned} NE_X(m) &= [K_v(m)(l_x(m) - l_y(m) \cdot \theta) / \sum_{m=1}^n K_v(m)(l_x(m) - l_y(m) \cdot \theta)] \times V_X \\ NE_Y(m) &= [K_v(m)(l_y(m) - l_x(m) \cdot \theta) / \sum_{m=1}^n K_v(m)(l_y(m) - l_x(m) \cdot \theta)] \times V_Y \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$NS_l(m) = NL(m) \pm NE_l(m) \pm 0.3NL(m) \quad (17)$$

ここに、 $NS_l(m)$ ： $m$  番目の装置の  $l$  方向の短期軸力、 $NL(m)$ ： $m$  番目の装置の長期軸力、 $NE_l(m)$ ： $m$  番目の装置の  $l$  方向の水平動による変動軸力とする。[  $l = X, Y$  ]

### 3.2 適応度の計算

適応度は、式(1)～(11)で求めた評価値を用いて、式(18)、(19)のように計算した。適応度を各評価値の和の形にすると、評価値の絶対値そのものが適応度に大きく影響を及ぼす。各評価値を適応度に反映させるためにすべての評価値の積とした。

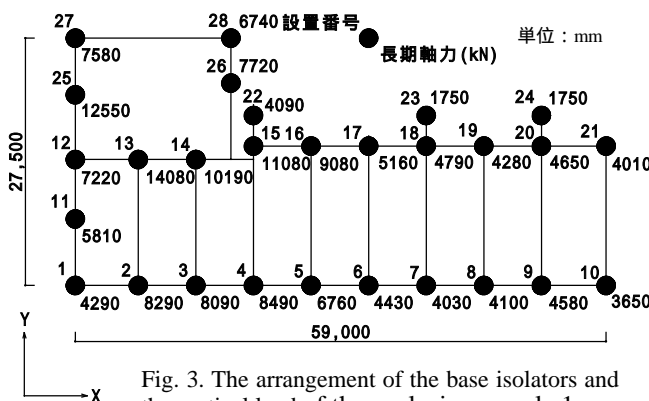


Fig. 3. The arrangement of the base isolators and the vertical load of the analysis example 1

[評価方法 1]

$$\begin{aligned} \text{適応度} &= \prod_{i=1}^3 (\text{偏心率に対する評価値} : P_{Re}(i)) \\ &\times \prod_{k=1}^n (\text{長期軸力に対する評価値} : P_{NL}(k)) \\ &\times (\text{固有周期に対する評価値} : P_T) \\ &\times (\text{減衰定数に対する評価値} : P_H) \end{aligned} \quad (18)$$

[評価方法 2]

$$\begin{aligned} \text{適応度} &= \prod_{i=1}^3 (\text{偏心率に対する評価値} : P_{Re}(i)) \\ &\times \prod_{k=1}^n (\text{長期軸力に対する評価値} : P_{NL}(k)) \\ &\times \prod_{k=1}^n (\text{短期軸力に対する評価値} : P_{NS}(k)) \end{aligned} \quad (19)$$

ここに、 $n$ ：免震装置の設置個数、 $k$ ：免震装置の設置番号、 $i$ ：水平変位レベル、 $\prod_{k=1}^n f(k)$ ：関数  $f$  について  $f(1)$  から  $f(n)$  までのすべての積とする。

## 4 解析例

以下に、実際に免震設計された 2 つの建物について、解析をおこなった。GA では上部構造を剛体とした 1 質点系モデルの応答計算によって、免震層の固有周期、減衰定数、応答層せん断力を求める。時刻歴応答解析<sup>7)</sup>では建物を擬似立体モデルとして、非線形の動的解析をおこなった。

### 4.1 解析例 1

#### 対象建物の概要

解析対象の建物は、実際に設計された 15 階建の鉄筋コンクリート造の共同住宅である。L 字型の平面形状であり、6 階から 15 階の部分がセットバックしている。基礎固定時の上部構造物の一次固有周期は X 方向が 0.83 秒、Y 方向が 0.48 秒である。免震装置の配置、各免震装置が負担する長期軸力を Fig.3 に示す。

用いた免震装置は、14 種類の高減衰積層ゴム支承(以下 HRB と表記)である。これらの装置をどのように配置すれば適応度の高い配置を得られるか、GA を用いて解析する。地震時の変動軸力を計算する際に用いた入力地震動は、最大速度を 0.5m/s に基準化した 3 波 El Centro 1940 NS、Taft 1952 EW、Hachinohe 1968 NS と建築センター波の BCJ-L2 であり、Fig.4 に示す。

#### 解析結果と考察

解析で得られた結果を Table 1 に示す。Table 1 に示す設置番号は Fig.3 と同じである。GA を用いて解析をおこなった結果、評価方法 1、2 で得られた免震層の偏心率、減衰定数では実施例と同程度になり、固有周期では 1.1 倍大きくなった。

GA で得られた配置で時刻歴応答解析をおこなった結果、免震層の最大応答変位は、BCJ-L2 を入力地震動として用いた場合、評価方法 1 では 474mm、評価方法 2 では 436mm となり、限界変形(530mm)以内におさまった(Table 1 参照)。同様に、時刻歴応答解析によって得られた、X 方向の最大層せん断力係数を設計目標とともに Fig.5 に示す。免震層の層せん断力係数は設計値(0.14)を下回り、上部構造においても設計目標を下回る結果が得られた。

評価方法 1, 2 で求められた配置での地震時の変動軸力を考慮した場合の短期軸力は、ともに免震装置の負担可能範囲内におさまり、免震装置には引き抜き力が生じない結果となった。

したがって、GA において短期軸力を評価することによって、評価方法 1 と同程度の免震層の性能をもった配置が得られた。また、短期軸力を評価して得られた配置は、設計目標を満足した。

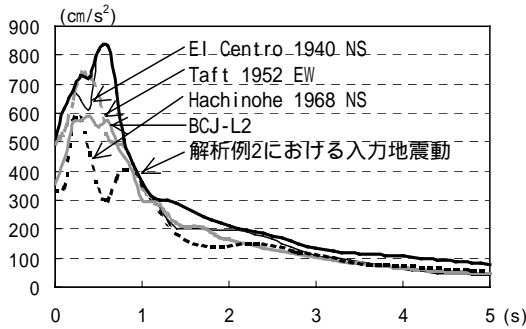


Fig. 4. The acceleration response spectrum

Table 1. Analysis Results of the analysis example 1

	せん断歪	実施例 BCJ-L2	評価方法				
			評価方法1 BCJ-L2	評価方法2 El centro	評価方法2 Taft	評価方法2 Hachinohe	評価方法2 BCJ-L2
X方向	25%	0.09	0.21	0.03	0.00	0.04	0.01
偏心率(%)	50%	0.09	0.24	0.03	0.00	0.01	0.00
	125%	0.09	0.30	0.02	0.01	0.04	0.03
Y方向	25%	1.16	0.15	0.02	0.00	0.01	0.06
偏心率(%)	50%	1.16	0.10	0.03	0.03	0.00	0.02
	125%	1.16	0.01	0.03	0.06	0.01	0.03
固有周期(秒)	25%	1.91	2.69	2.42	2.43	2.48	2.50
	50%	2.42	3.58	3.24	3.24	3.31	3.34
	125%	3.18	3.65	3.31	3.31	3.38	3.41
減衰定数(%)	25%	24	24	24	24	24	24
	50%	24	22	22	22	22	22
	125%	22	17	17	17	17	17
最大応答加速度(cm/s <sup>2</sup> )		117.1	89.7	93.9	92.2	76.7	97.9
ベースシア係数		0.12	0.08	0.06	0.06	0.06	0.09
最大応答変位(mm)	時刻歴	-	-	267	242	261	353
免震装置の設置番号	時刻歴	401	474	198	228	230	436
		免震装置の直径(mm)					
1	1200	900	850	950	750	950	
2	1200	1000	1300	1100	1100	1000	
3	1200	1000	1200	1300	1200	1200	
4	1100	1000	1100	1200	1100	1000	
5	1000	900	1000	950	1100	1200	
6	1000	900	800	950	800	750	
7	900	700	950	950	900	700	
8	900	700	800	800	800	950	
9	900	900	850	750	750	750	
10	900	650	850	800	700	800	
11	1200	1000	950	950	900	1000	
12	1300	950	1200	1100	1200	1100	
13	1400	1400	1500	1400	1500	1500	
14	1300	1100	1100	1100	1300	1200	
15	1200	1200	1200	1300	1400	1200	
16	1100	1100	1300	1200	1300	1100	
17	1000	800	900	1000	850	950	
18	1000	900	750	900	1000	850	
19	900	700	950	750	750	800	
20	900	800	800	850	750	950	
21	900	700	900	950	750	700	
22	850	1200	1500	1500	1300	1200	
23	750	950	1000	950	950	1000	
24	750	700	800	950	900	950	
25	1300	600	600	600	600	600	
26	1100	600	600	600	600	600	
27	1300	1200	1100	1300	1000	1300	
28	1200	900	1200	1000	1100	1000	

4.2 解析例 2

対象建物の概要

解析対象の建物は、実際に設計された 11 階建の鉄筋コンクリート造の事務所・共同住宅である。基礎固定時の上部構造物の一次固有周期は X 方向が 1.81 秒、Y 方向が 1.89 秒である。免震装置の配置、各免震装置が負担する長期軸力を Fig.6 に示す。

用いた免震装置は、12 種類の鉛プラグ入り積層ゴム支承(以下 LRB と表記)である。これらの装置をどのように配置すれば適応度の高い配置を得られるか、GA を用いて解析する。地震時の変動軸力を計算する際に用いた入力地震動は、解析例 1 で用いた Fig.4 に示される 4 波の最大値をとったものである。

解析結果と考察

解析で得られた結果を Table 2 に示す。Table 2 に示す設置番号は Fig.6 と同じである。Table 2 における実施例での免震装置の直径の前に付いている RB は天然ゴム系積層ゴム支承を使用していることを表している。

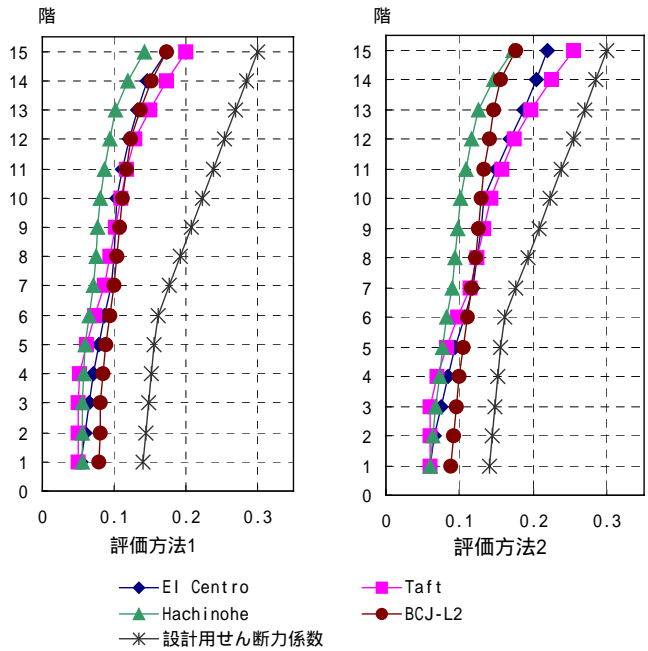


Fig. 5. Maximum story shear coefficient of each floor of the analysis example 1

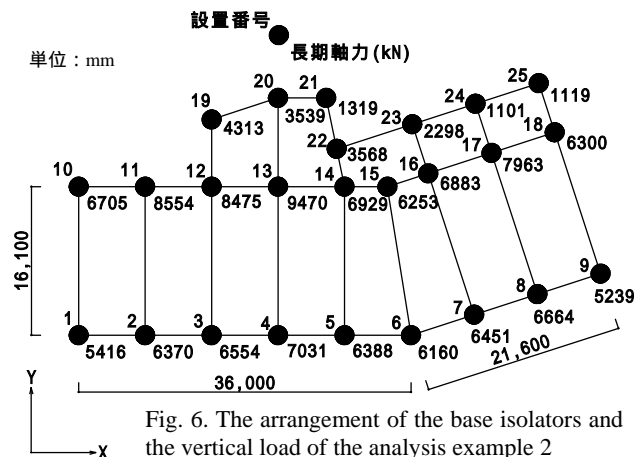


Fig. 6. The arrangement of the base isolators and the vertical load of the analysis example 2

GA を用いて解析をおこなった結果、免震層の偏心率では、評価方法 1、2 ともに実施例を下回り、固有周期では評価方法 1、2 では実施例の 0.8 倍程度となり、減衰定数では実施例と同程度になった。

GA で得られた配置で時刻歴応答解析をおこなった結果、免震層の最大応答変位は、評価方法 1 では 354mm、評価方法 2 では 343mm となり、限界変形(400mm)以内におさまった(Table 2 参照)。同様に、時刻歴応答解析によって得られた、X 方向の最大層せん断力係数を設計目標とともに Fig.7 に示す。免震層の層せん断力係数は設計値(0.11)以内におさまり、上部構造においても設計目標を下回る結果が得られた。

評価方法 2 で求められた配置での地震時の変動軸力を考慮した場合の短期軸力は、免震装置の負担可能範囲内におさまり、免震装置には引き抜き力が生じない結果となったが、評価方法 1 で求められた配置では、設置番号 25 の免震装置に引き抜き力が生じる結果となった。

したがって、GA において短期軸力を評価することによって、地震時の変動軸力を考慮した場合の短期軸力を負担可能範囲内におさめ、免震装置には引き抜き力を生じさせない配置を得られることがわかった。

5 結論

GA を用いて免震装置の最適配置をおこなった結果、以下の結論を得た。

- 1) 免震層の偏心率、固有周期、減衰定数は、実施例と同程度の性能を持った配置を得られる。
- 2) 地震時の変動軸力を考慮した短期軸力を評価することによって、設計目標を満足する配置が得られる。
- 3) 固有周期、減衰定数を評価する代わりに、短期軸力を評価することによって、免震装置に作用する短期軸力を負担可能範囲内におさめ、引き抜き力を生じさせない最適配置が得られる。

参考文献

- 1) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993 .
- 2) 齋藤美，田守伸一郎：遺伝的アルゴリズムによる免震装置の最適配置計画，構造工学論文集，Vol.45B, pp.145-150, 1999 .
- 3) Saito, Y., Tamori, S., Musya, H. and Sunohara, N. : An optimal design of the base-isolated device by using genetic algorithm – a proposal of a method and some examples of its application, Computer Aided Optimum Design of Structures , Structures and Materials Vol.5, pp.225-234, WIT Press, 1999.
- 4) Sato, Y., Funahashi, M. and Tamori, S. : An optimal arrangement method of base-isolated device by using a genetic algorithm, Computational Methods for Smart Structures , Structures and Materials Vol.7, pp.141-150, WIT Press, 2000.

Table 2. Analysis Results of the analysis example 2

	せん断歪	実施例 BCJ-L2	評価方法2				
			BCJ-L2	El centro	Taft	Hachinohe	BCJ-L2
X方向 偏心率(%)	5%	0.20	0.33	0.52	0.45	0.50	0.37
	50%	1.40	0.14	0.05	0.03	0.03	0.11
	100%	2.00	0.61	0.39	0.50	0.44	0.58
Y方向 偏心率(%)	5%	0.50	0.50	0.03	0.04	0.12	0.26
	50%	1.10	0.11	0.08	0.15	0.14	0.00
	100%	2.20	0.23	0.38	0.28	0.33	0.23
固有周期 (秒)	5%	1.54	1.24	1.19	1.18	1.18	1.20
	50%	3.20	2.66	2.56	2.53	2.53	2.57
	100%	3.83	3.23	3.12	3.09	3.09	3.14
減衰定数 (%)	5%	22	21	20	20	20	20
	50%	26	28	28	28	28	28
	100%	21	24	24	24	24	24
最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		181.9	190.1	221.6	203.2	183.3	209.3
ベースシア係数		0.08	0.08	0.06	0.06	0.07	0.09
最大応答 変位 (mm)	GA	-	-	271	241	263	374
	時刻歴	356	354	208	152	217	348
免震装置の設置番号	免震装置の直径 (mm)						
1	900	950	950	950	950	950	950
2	950	1000	1000	950	1000	1000	1000
3	950	1000	1000	1000	950	1000	1000
4	950	950	1000	1000	1000	950	950
5	950	1000	950	1000	1000	950	950
6	950	900	1000	1000	1000	1000	1000
7	950	950	1000	1000	950	1000	1000
8	950	950	950	1000	1000	1000	1000
9	900	850	900	900	950	850	850
10	950	950	950	950	950	950	950
11	1000	1000	1100	1200	1200	1100	1100
12	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
13	1000	1100	1100	1200	1200	1100	1100
14	950	950	950	950	1000	950	950
15	900	900	1000	900	900	950	950
16	950	950	1000	1000	1000	1000	1000
17	950	1000	1000	1000	1000	1000	1000
18	950	900	900	900	900	900	900
19	800	800	850	800	800	800	800
20	800	800	800	850	800	800	800
21	RB700	600	600	600	600	600	600
22	800	800	850	850	850	800	800
23	RB700	700	700	700	700	700	700
24	RB700	600	600	600	600	600	600
25	RB700	600	600	600	600	600	600

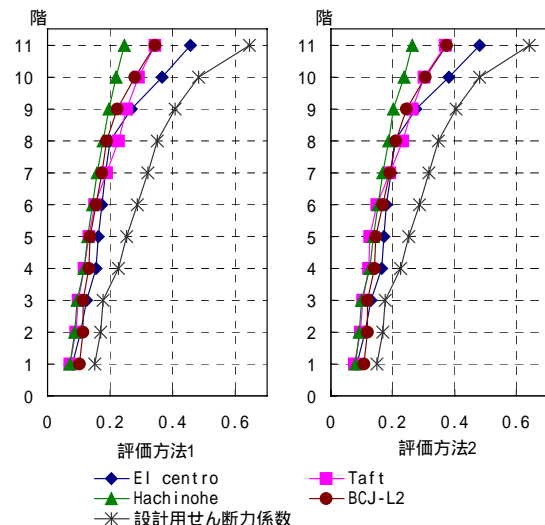


Fig. 7. Maximum story shear coefficient of each floor of the analysis example 2

- 5) 「免震構造設計指針」, pp.436-458, 日本建築学会, 1993 .
- 6) 田守伸一郎, 佐藤泰武: 遺伝的アルゴリズムによる免震装置の最適配置計画 積層ゴムと弾性すべり支承を組み込んだ場合の評価項目についての検討 構造工学論文集, Vol.47B, pp139-146, 2001 .
- 7) Nagarajaiah, A. M. Reinhorn and M. C. Constantinou : 3D-BASIS Nonlinear Dynamic Analysis of Three-Dimensional Base Isolated Structures Part , Report No. NCEER-91-0005, National Center for Earthquake Engineering Research, State niversity of New York at Buffalo, 1991.