多目的遺伝的アルゴリズムを用いたオイルダンパーの減衰係数とリリーフ荷重の最適選択手法

AN OPTIMAL SELECTION METHOD FOR DAMPING COEFFICIENT AND RELIEF FORCE OF OIL DAMPER BY USING A MULTI-OBJECTIVE GENETIC ALGORITHM

西原芽依 ——— * 1 田守伸一郎 ——— * 2

Mei NISHIHARA ——— * 1 Shinichiro TAMORI — * 2

キーワード:

多目的遺伝的アルゴリズム, 制震構造, オイルダンパー, 減衰係数, リリーフ荷重

Keywords:

Multi-objective genetic algorithm, Seismic control structure, Oil damper, Damping coefficient, Relief force

This paper proposes an optimal method to select the damping coefficients and relief forces of oil dampers in seismic control buildings. The optimization method used is SPEA2 (Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2) which is a multi-objective optimization method. This method was compared to the SGA (Standard Genetic Algorithm) using two plane frames for some representative design solutions. The proposed method was able to find solutions as good as or better than design solutions obtained by the SGA. Consequently, the effectiveness of the proposed method was demonstrated.

1. 序論

制震構造物の設計では, 制震部材の設置状況により制震性能が大きく変化する. 適正な制震部材を配置することは, 地震時の応答抑制やダンパー設置に関するコストの低減につながる.

制震部材の一つであるオイルダンパーは, リリーフ機構により粘性減衰係数が2段階に変化するバイリニア型の性質を持つ場合が多い. そのため, オイルダンパーのリリーフ機構が作動する前の1次減衰係数とリリーフ機構が作動するときの減衰力(リリーフ荷重)はオイルダンパーの性能と設置コストに大きく影響を与える.

これまでも制震構造物を対象とした粘性系ダンパーの最適配置を求める研究^{1)~13)}が行われている. 指定した最大変位を示すせん断型構造物からの逆置換法により, 減衰係数と部材体積の合計が最小となるような最適部材断面とダンパー容量を求める研究¹⁾, 目的関数に地震時の応答値や統計的等価減衰定数を設定したランダム応答解析に基づく最適減衰係数の推定^{2),3)}, 定点理論による最適減衰係数値の決定法⁴⁾, 複素固有値と複素固有ベクトルの感度解析に基づき応答を抑制する配置を求める研究⁵⁾, H_{∞} ノルムを指標とした逐次2次計画法による研究⁶⁾などがある. ただし, 文献1)~6)の研究において, 一部²⁾を除き, 粘性要素は線形として扱われてきた. また, これらの研究では設計変数に減衰係数を採用している.

設計変数に減衰係数だけでなくリリーフ荷重も加えたオイルダンパーの最適化手法として竹脇らの提案手法⁷⁾がある. 地震応答に与える影響の一般的傾向を利用したルールに基づき変数の値を低減し, その度に非線形時刻歴応答解析を行うことでリリーフ荷重の総和の値ごとに層間変位を小さくする最適減衰係数・リリーフ荷重を求めている.

最適化手法として遺伝的アルゴリズム(以下 GA と表記)を用いた研究も行われている. 副架構が取り付いた質点系モデルに対する最

適化研究⁸⁾, GA を用いて求めた設計解を樹形モデルによって分類・分析を行い, 情報を基に基本仕様を決定する方法の提案⁹⁾, 分散型 GA による粘性制震壁の最適配置¹⁰⁾, 非機能遺伝子の削除を行い効率化した GA による最適化研究¹¹⁾, 構造物-地盤系に対する最適ダンパー配置の研究¹²⁾, 分散 GA と不規則振動論による層間変形を抑制する配置の研究¹³⁾がある. しかし, 文献8)~13)で用いられる GA は1度の解析において1つの最適解を求める手法であり, 同時に多様性のある複数の設計解を探索することはできない.

本研究では, 制震構造物を対象に SPEA2¹⁴⁾を用いたオイルダンパーの1次減衰係数とリリーフ荷重の多目的最適選択を行う. SPEA2を用いることで, トレードオフ関係にある複数の目的関数に対して性能の異なる設計解を同時に探索することが可能である. 最適化システム内での時刻歴応答解析を行わないため, 行う場合よりも解析時間の短縮が見込める.

本論文の目的として以下の2つの項目を設定する.

- 1) 制約条件を満足した上で構造物に使用されたオイルダンパーの等価減衰係数の総量を小さくする設計解と層間変形角を小さくする設計解を同時に探索すること
 - 2) 一般的な GA による単一目的最適配置システムを用いて探索した設計解よりも多様性のある複数の設計解を探索すること
- そのため, 一般的な GA によるシステムと提案するシステムで探索した設計解の性能を比較することで, 多目的最適化手法を適用することの有効性を検証する. なお, 構造形式は鉄骨造とする.

2. 多目的最適化手法システム

多目的最適化手法の一つである SPEA2 は多目的最適化問題を解くための有効な手法であり, トレードオフ関係にある複数の目的関数を設定することでパレート最適解集合を探索することが可能である.

¹⁾ 信州大学大学院理工学系研究科 大学院生
(〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)

²⁾ 信州大学工学部建築学科 准教授・工博

¹⁾ Graduate Student, Graduate School of Engineering, Shinshu Univ.

²⁾ Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Shinshu Univ., Dr. Eng.

図 1 最適化システムのフローチャート

表 1 探索パラメータ

最適化手法	SPEA2
1世代の個体数	100
最大繰り返し世代数	1000
非劣解集合の個体数	100
選択・淘汰方法	エリート保存+ルーレット選択
交叉方法	二点交叉
交叉率	0.9
突然変異方法	同じ世代に遺伝子長の4%の遺伝子が同じである個体が存在する場合、一方の個体の遺伝子の“0”と“1”を遺伝子長の4%の数だけ逆転する

本研究で用いる最適化システムのフローチャートを図 1、探索パラメータを表 1 に示す。本章では設計解を個体と表記する。

(1) 入力情報読み込み

建物情報や部材情報などの解析対象建物の設定値、選択可能とするオイルダンパーの 1 次減衰係数やリリーフ荷重のリスト、各個体の評価方法などを読み込む。

(2) 初期世代の生成

初期世代を形成する個体群をランダムに生成する。

(3) 質量・剛性マトリクスの作成

解析モデルの質量と剛性を算出し、マトリクスを作成する。

(4) 収束計算

初回は 1 次減衰係数を等価減衰係数として用い、以下の②③を行う。③で求めた応答速度を用いて①で再び等価減衰係数を計算する。これを収束するまで繰り返す。

① 等価減衰係数の算出

文献 15) の等価則を参考に以下の式を用いてバイリニア粘性要素をリニア粘性要素に変換する。

$$Ceq = [p + (1-p) \cdot \{(2/\mu) - (1/\mu^2)\}] \cdot C1 \quad (1)$$

Ceq : 等価減衰係数, $C1$: 1 次減衰係数, p : 2 次減衰係数/1

次減衰係数, μ : ダンパーの応答速度/リリーフ速度である。リリーフ速度はリリーフ荷重/1 次減衰係数で求められる。なお、ダンパーの取付部材は十分な剛性を持っているものとし、その影響は考慮していない。

② 複素固有値解析

複素固有値解析法^{16), 17)}を用いて粘性減衰マトリクスを含む系の固有値や固有周期、刺激関数を求める。

③ 応答スペクトルによるモーダルアナリシス

応答スペクトルと複素固有値解析で求めた刺激関数を用いてモーダルアナリシスを行い、応答値を求めた。応答値計算には告示(乱数位相)の応答スペクトルを使用した。

(5) 評価値の算出

モーダルアナリシスによって求まる応答値から個体の評価値を算出する。評価方法に関しては 3 章で述べる。骨組部材は(4)の③より求めた応答値を用いた応力解析の結果から評価する。

(6) 多目的最適化処理

多目的最適化の処理はこれまでに検討されてきた多目的最適化システム¹⁸⁾と同様の方法を用いる。

3. 評価方法

本研究では、複素固有値解析と応答スペクトルを用いたモーダルアナリシスによる地震応答解析をおこない、これにより求まる応答値から設計解の評価値 $fit_1(i)$, $fit_2(i)$ を求める。

3.1 評価概要

提案するシステムではパレート最適解集合を探索するために、制約条件に対する評価(以下、制約評価と表記)とパレート最適解を求めるための評価(以下、パレート評価と表記)という 2 通りの評価をおこなう。制約評価では制約条件を満足した設計解を探索することのみを目的とし、パレート評価では層間変形角や等価減衰係数の総量が小さくなるような設計解を探索することを目的としている。この 2 つの評価をおこない、パレート最適解を探索する。設計解 i の評価値 $fit_1(i)$, $fit_2(i)$ は以下の式(2)、式(3)より求める。

$$fit_1(i) = f_1(i) \times P(i) \quad (2)$$

$$fit_2(i) = f_2(i) \times P(i) \quad (3)$$

ここで、 $P(i)$: 式(4)により求まる制約評価の評価値, $f_1(i)$: 式(5)により求まる層間変形角の評価値, $f_2(i)$: 式(6)により求まる等価減衰係数の総量の評価値とする。

式(2)、式(3)により設計解の評価値を求めることで、制約評価の低い設計解は $fit_1(i)$, $fit_2(i)$ も低くなり、最適化の過程で淘汰されるようになる。また、制約条件を満足する設計解においては、パレート評価により構造物の層間変形角や等価減衰係数の総量が小さくなるほど高評価となる。以下に制約評価とパレート評価について示す。

3.2 制約評価

個々の制約条件の評価値は、制約条件を満たす場合は 1.0、満たさない場合は 0.2 とした。そのすべてを掛け合わせることで制約評価の評価値を算出する。

制約条件として設定した 6 つの項目を以下に示す。

- ① 層間変形角
- ② 等価減衰係数の総量
- ③ ダンパーに生じる最大速度

- ④ 柱の許容応力度
[曲げモーメントと軸力, せん断力]
- ⑤ 梁の許容応力度
[曲げモーメント, せん断力, 曲げモーメントとせん断力, たわみ]
- ⑥ 過減衰

許容応力度では座屈を考慮する。解析対象は長期荷重時の許容応力度を満たしているので、ここでは短期荷重時の評価を行う。

これらの項目の評価値から制約評価の評価値 $P(i)$ を式(4)より求める。

$$P(i) = \Pi(\text{層間変形角の評価値}) \times (\text{等価減衰係数の総量の評価値}) \times \Pi(\text{ダンパーに生じる最大速度の評価値}) \times \Pi(\text{柱の評価値}) \times \Pi(\text{梁の評価値}) \times \Pi(\text{過減衰の評価値}) \quad (4)$$

3.3 パレート評価

制約条件を満足し $P(i)=1.0$ となる設計解はパレート最適解となりうるが、このような設計解は多数存在する。そこで、これらの設計解の優劣は以下に示すパレート評価で決定する。

(1) 層間変形角のパレート評価

層間変形角は以下の式(5)より評価する。

$$f_1(i) = 0.2 + 0.8 \exp(-8(100 \times \theta^*(i))^2) \quad (5)$$

ここで、 $f_1(i)$: 構造物の層間変形角に対するパレート評価の評価値、 $\theta^*(i)$: 応答計算により求まる層間変形角の2乗平均平方根

(2) 等価減衰係数の総量のパレート評価

等価減衰係数の総量は以下の式(6)より評価する。

$$f_2(i) = 0.2 + 0.8 \exp(-3(\sum C_{eq}/C_{total})^2) \quad (6)$$

ここで、 $f_2(i)$: 等価減衰係数の総量の評価値、 $\sum C_{eq}$: 全層の等価減衰係数の合計、 C_{total} : 等価減衰係数の総量の上限值

3.4 SGA 評価

ここでは従来の単一目的化手法である SGA (Standard GA) の評価について述べる。SGA では各評価値の積により適応度を求める。適応度は個体の優劣を判別する基準値であり、適応度が高いほど優秀な個体であると判断する。SGA における個体の評価項目は制約評価と同じ6項目を設定した。そのうち、層間変形角の評価値は式(5)、等価減衰係数の総量の評価値は式(6)から算出する。これらの項目の評価値から SGA での適応度を式(7)より求める。

$$\text{SGA 適応度} = (\text{式(5)より層間変形角の評価値}) \times (\text{式(6)より等価減衰係数の総量の評価値}) \times \Pi(\text{ダンパーに生じる最大速度の評価値}) \times \Pi(\text{柱の評価値}) \times \Pi(\text{梁の評価値}) \times \Pi(\text{過減衰の評価値}) \quad (7)$$

パラメータは表1と同じとし、非劣解集合の個体数は使用しない。

4. 解析結果

4.1 解析概要

本研究では、自身で設定した平面モデルを対象として、SPEA2 を用いたシステム(以下、SPEA2 と表記)によるオイルダンパーの1次

減衰係数とリリーフ荷重の多目的最適選択を行う。1つの解析例に対し10回の試行をおこない、探索されたすべての最適解の中から2つの目的関数に対して他の設計解より評価値が低い設計解を取り除いたものを SPEA2 によるパレート最適解集合とする。得られたパレート最適解集合より各目的関数の評価値が最大となった設計解と中間の設計解を性能の検証に用いた。ここで、層間変形角の評価値が最大となる設計解を“ $\theta \min$ ”, 等価減衰係数の総和の評価値が最大となる設計解を“ $C \min$ ”, 中間の設計解を“中間点”とする。

また、多目的最適化手法を適用することの有効性を検証するため、SGA を用いた従来のシステム(以下、SGA と表記)による解析も行い、SPEA2 と SGA によってそれぞれ得られた設計解を比較した。SGA を用いる場合も1つの解析例に対し10回の試行をおこない、探索した設計解の中で適応度が最大となる設計解を“SGA”と表記する。さらに、ランダムに1万個の設計解を発生させ、そのうち制約条件を満たした設計解をパレート最適解の検証に用いる。

探索した設計解の性能を検証するために時刻歴応答解析をおこなう。時刻歴応答解析には FEM 解析ソフト¹⁹⁾を用いた。本ソフトではパイリニア粘性要素のモデル化が現段階では不可能なため、文献20)の等価則を参考に粘性力が速度の指数乗に比例する粘性要素で代用した。粘性要素はブレース状に配置する。なお、ダンパーの取付部材の剛性は考慮していない。入力地震動としては、乱数位相の告示波(以下、告示波(乱数)と表記)を使用する。

本研究では、最適化をおこなう際の制約条件を表2のように設定した。等価減衰係数の総量の上限値は各モデルの剛性比例減衰4%時の減衰係数総量とした。

表2 制約条件

	解析例1	解析例2
層間変形角	1/200以下	
等価減衰係数の総量	12038.8[kN・s/m]以下	59113.9[kN・s/m]以下
ダンパーの最大速度	300[mm/s]以下	
過減衰	1~10次まで減衰定数<1.0	

4.2 解析例1

(1) 概要

解析例1として10層3スパンの平面骨組を設定し解析をおこなう。解析モデルを図2に、各階の剛性と質量を表3に示す。選択可能な1次減衰係数C1とリリーフ荷重Frの値は各16種類とし、表4と表5に示す。図3にC1とFrの関係を示す。リリーフ荷重到達後の2次減衰係数は各1次減衰係数に対して0.05倍とし、1次減衰係数が0の場合はダンパーが設置されないこととする。構造減衰定数は

表3 剛性・質量(解析例1)

階	剛性[kN/m]	質量[ton]
10	100837	38.28
9	106832	33.83
8	110204	33.70
7	136926	34.06
6	139723	34.75
5	146637	35.12
4	180044	35.89
3	190070	36.39
2	201832	36.79
1	278253	37.19

図2 モデル図(解析例1)

表4 選択可能C1値

番号	第一減衰係数C1 (kN・sec/mm)
1	0.00
2	0.75
3	1.00
4	1.25
5	1.50
6	1.75
7	2.25
8	2.50
9	3.00
10	3.50
11	3.75
12	4.50
13	5.00
14	5.25
15	6.25
16	7.00

表5 選択可能Fr値

番号	リリーフ荷重Fr (kN)
1	20
2	30
3	40
4	50
5	60
6	70
7	80
8	90
9	100
10	110
11	120
12	130
13	140
14	150
15	160
16	170

図3 バイリニア粘性要素

図4 目的関数分布図(解析例1)

表6 各設計解の評価値
(解析例1)

設計解	目的関数①	目的関数②
θ min	0.749	0.241
Cmin	0.587	0.985
中間点	0.675	0.634
SGA	0.597	0.976

図5 等価減衰係数総量(解析例1)

0.02を採用する。

(2) 解析結果

SPEA2とSGAにより探索された設計解の目的関数分布図を図4に示す。表6は4つの設計解“θ min”、“Cmin”、“中間点”、“SGA”の評価値である。図4より、SPEA2による最適解集合が層間変形角の評価値が最大となる設計解と等価減衰係数の総和の評価値が最大となる設計解を含むパレート曲線を描いていることが確認できる。一方、図4および表6からSGAを用いて探索した最適解“SGA”は“Cmin”とほぼ同じ評価値をもつ設計解であるとわかる。さらに、SGA手法による最適解“SGA”だけでなく、制約条件を満たしたすべての設計解についてみると、従来のSGA手法による設計解はパレート曲線全体に沿うように分布している。各手法において1回の解析で探索できた制約条件を満たす設計解の数はSPEA2では100個、SGAでは平均91.7個と大きな差は無い。このことから、SGAでもSPEA2と同程度の設計解を求めることができると言える。

また、ランダム発生させた1万個の設計解のなかには制約条件を満たす設計解は現れなかった。よって、SPEA2とSGAのどちらにおいても、ランダムに設計解を発生させた場合では探索が困難な設計解を得ることができたとと言える。

図6 1次減衰係数とリリーフ荷重の配置(解析例1)

図7 時刻歴応答解析結果(解析例1)

図5はそれぞれの設計解における等価減衰係数の総量の比較を表す。総減衰係数量の大きい順に“θ min”、“中間点”、“SGA”、“Cmin”となる。最も大きいのは“θ min”であり“中間点”の約2倍、“Cmin”の約12倍であることがわかる。また、“SGA”は“Cmin”とほとんど変わらないことも見て取れる。

図6に各設計解の1次減衰係数とリリーフ荷重の配置を示す。解析例1の各スパン(左, 中央, 右)における値を層ごとに表している。“θ min”は他の3つの設計解よりもダンパーが配置される層が多く、値が大きいものを多く選択している。その次にダンパー数と大きな数値が多いのは“中間点”である。一方、“SGA”と“Cmin”は“θ min”や“中間点”と比べ、ダンパー数が明らかに少ない。選択された1次減衰係数値の合計は大きい順に“θ min”、“中間点”、“Cmin”、“SGA”、リリーフ荷重値の合計は大きい順に“θ min”、“中間点”、“SGA”、“Cmin”となった。

それぞれの設計解の時刻歴応答解析結果を比較し、図7に示す。図7から、SPEA2の設計解は最大応答値が小さい順に“θ min”、“中間点”、“Cmin”となることが確認できる。また、“SGA”の応答は“Cmin”の応答値とほぼ重なっており、各階の層間変位において、“SGA”の応答変位を1とすると“Cmin”の応答値もほぼ1になると確認した。

これらの結果から、開発したシステムを用いて図2の解析例に対する多目的最適化をおこなうことで、層間変形角を小さくする設計解と等価減衰係数の総量を小さくする設計解を含むパレート最適解集合が探索できたといえる。ただし、この解析例では従来のSGAでも同程度の性能を持つ設計解を探索することが可能であることが分

図8 モデル図(解析例2)

表7 剛性・質量(解析例2)

階	剛性[kN/m]	質量[ton]
20	170794	39.68
19	178490	36.74
18	178683	36.74
17	178658	36.74
16	179319	36.74
15	184687	36.74
14	190879	37.09
13	208877	37.53
12	221426	38.09
11	222743	38.09
10	226446	38.31
9	232105	38.52
8	237719	38.86
7	241385	39.08
6	243236	39.30
5	261722	39.30
4	282972	39.89
3	294277	39.89
2	309633	40.66
1	416339	40.66

図9 目的関数分布図(解析例2)

表8 各設計解の評価値(解析例2)

設計解	目的関数①	目的関数②
θ min	0.754	0.557
Cmin	0.687	0.948
中間点	0.726	0.802
SGA	0.688	0.943

図10 等価減衰係数総量(解析例2)

かった。

4.3 解析例2

(1) 概要

解析例2として20層3スパンの平面骨組を設定し解析をおこなう。解析モデルを図8に、各階の剛性と質量を表7に示す。選択可能とした1次減衰係数C1とリリーフ荷重Frの値は解析例1と同じリストを使用する。構造減衰定数は0.02を採用する。

(2) 解析結果

SPEA2とSGAにより探索した設計解の目的関数分布図を図9に示す。表8は4つの設計解“θmin”、“Cmin”、“中間点”、“SGA”の評価値である。解析例1と同様に、SPEA2による最適解集合が層間変形角の評価値が最大となる設計解と等価減衰係数の総和の評価値が最大となる設計解を含むパレート曲線を描いていることが確認できる。図9と表8から、SGAを用いて探索した最適解“SGA”は“Cmin”

図11 1次減衰係数とリリーフ荷重の配置(解析例2)

図12 時刻歴応答解析結果(解析例2)

とほぼ同じ評価値をもつ設計解であるとわかる。また、SGAによって得られた設計解のうち制約条件を満たした設計解は“Cmin”から“中間点”付近までの範囲で分布しており、SPEA2の“θmin”と同程度の評価値を持つ設計解は探索することができなかった。ちなみに、各手法において1回の解析で探索できた制約条件を満たす設計解の数はSPEA2では100個、SGAでは平均76.6個であった。

解析例1と同じく、ランダム発生させた1万個の設計解のなかには制約条件を満たす設計解は現れなかった。よって、SPEA2とSGAのどちらにおいても、ランダムに設計解を発生させた場合では探索が困難な設計解を得られたと言える。

それぞれの設計解における等価減衰係数の総量を図10に示す。総減衰係数量の大きい順に“θmin”、“中間点”、“SGA”、“Cmin”となる。最も多いのは“θmin”であり“中間点”の約1.7倍、“Cmin”の約3倍である。また、図からは“SGA”は“Cmin”とほとんど変わらないことがわかる。

図11に各設計解の1次減衰係数とリリーフ荷重の配置を示す。解

析例 2 の各スパン(左, 中央, 右)における値を層ごとに表している.
“ θ_{min} ”は他の 3 つの設計解よりもダンパーが配置される層が多く, 値が大きいものを多く選択している.“中間点”と“Cmin”は 6 階付近にダンパーを多くとり, “中間点”は“Cmin”よりも大きな値を多く選択している. 選択された 1 次減衰係数値の合計は大きい順に“ θ_{min} ”, “中間点”, “Cmin”, “SGA”, リーフ荷重値の合計は大きい順に“ θ_{min} ”, “中間点”, “SGA”, “Cmin”となった.

それぞれの設計解の時刻歴応答解析結果の比較を図 12 に示す. 図 12 から, 解析例 1 と同様に SPEA2 の設計解は最大応答値が小さい順に“ θ_{min} ”, “中間点”, “Cmin”となることが確認できる. また, “SGA”の応答は“Cmin”の応答値とほぼ重なり, 各階の層間変位において, “SGA”の応答変位を 1 とすると“Cmin”の応答値はほぼ 1 になることを確認した.

これらの結果から, 開発したシステムを用いて図 8 の解析例に対する多目的最適化をおこなうことで, 層間変形角を小さくする設計解と等価減衰係数の総量を小さくする設計解を含むパレート最適解集合が探索できた.“Cmin”と同程度の性能の設計解を求める場合は SGA でも十分であると分かった. 今回, 従来の SGA で探索できなかった設計解は, 重み調整等を行うことで得られる可能性もあるが, 開発したシステムではそのような操作を行わずに得ることができた.

5. 結論

本研究では, 平面モデルを対象にオイルダンパーの 1 次減衰係数とリーフ荷重の多目的最適選択をおこなった. その際, 制約条件を満足した上で層間変形角を小さくする設計解と等価減衰係数の総和を小さくする設計解を含むパレート最適解集合を探索すること, 従来の単一目的最適化システムで探索した場合よりも多様性のある複数の設計解を探索することの 2 つを目的として, 多目的最適化システムと単一目的最適化システムを用いて探索した設計解を比較し, 検討した. また, 最適化により得られた設計解の性能を検証するために時刻歴応答解析をおこなった. その結果, 以下の結論を得た.

- 1) 開発したシステムを用いて最適化をおこなうことで, 制約条件を満足した上で層間変形角を小さくする設計解“ θ_{min} ”と等価減衰係数の総量を少なくする設計解“Cmin”を含んだパレート最適解集合が得られた. 設計者はこれらのパレート最適解集合の中から, 必要とする性能の設計解を選択することが可能となる.
- 2) SPEA2 を用いた多目的最適化システムと SGA を用いた単一目的最適化システムの結果の比較から, 等価減衰係数の総量の少ない設計解“Cmin”と同程度の性能を持つ設計解のみを求める場合は, 従来の単一目的最適化システムでも十分であることが分かった.
- 3) 遺伝子数の少ない解析例 1 では従来のシステムでもパレート最適解集合と同程度の設計解集合を得られることが分かった. その一方, 解析例 2 では従来のシステムでは探索できなかった設計解も得ることができた. このことから, 遺伝子数の少ないモデルに対しては必ずしも開発した多目的最適化システムのほうが従来の単一目的最適化システムより有効であるとは限らないが, 開発したシステムでは従来のシステムと同等またはより性能の良い多様な設計解を探

索することが可能である.

以上から, 本研究で開発したシステムは制震構造物におけるオイルダンパーの多目的最適化に有効的である.

今後は, 立体骨組みを対象とした最適化システムへと機能を拡張し, 多目的最適化システムの有効性を検討していく予定である.

参考文献

- 1) 西村崇, 辻聖晃, 上谷宏二: せん断型モデルの応答制約設計解を用いた粘性ダンパー付き建築骨組の最適設計, 学術講演梗概集 B2, pp.997-998, 1999.9
- 2) 中川肇, 浅野幸一郎: Maxwell 型非線形粘性ダンパーを有する構造物の最適地震応答制御について, 日本建築学会構造系論文集, 第 542 号, pp.83-89, 2001.4
- 3) 松田敏: Maxwell 型粘性ダンパーを有する構造物の統計的等価減衰定数に基づく最適設計, 日本建築学会構造系論文集 第 667 号, pp.1649-1657, 2011.9
- 4) 蔭山満: 減衰系への定点理論の適用法に関する研究 -Voigt 型減衰モデルに対する層間ダンパーの最適値-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B2, pp.573-574, 2008.7
- 5) 小谷俊二, 小坂郁夫: 非比例減衰構造物の複素固有値と固有ベクトルに関する感度解析を用いた最適粘性ダンパー配置, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B1, pp.339-340, 2009.7
- 6) 山本薫, 藤田皓平, 竹脇出: 建築構造物の H_{∞} ノルムを最小化する最適ダンパー配置, 日本建築学会構造系論文集 第 658 号, pp.2163-2170, 2010.12
- 7) 熨斗克哉, 吉富信太, 辻聖晃, 竹脇出: 制震高層建物におけるオイルダンパーの地震動に対する最適リーフ荷重・減衰係数決定法, 構造工学論文集, Vol.59B, pp.299-307, 2013.3
- 8) 護雅史, 林康裕: 制振構造物の GA による多目的最適化, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B, pp.853-854, 1994.7
- 9) 林康裕, 護雅史: GA と樹形モデルを用いた制振構造物の創生的基本設計, 日本建築学会構造系論文集, 第 480 号, pp.47-56, 1996.2
- 10) 加地孝敏, 皆川洋一: 遺伝的アルゴリズムを用いた制震壁の最適配置, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B1, pp.355-356, 2000.7
- 11) 朝比奈大輔, BOLANDER John E: 多自由度構造におけるバッシブ部材の最適設計, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B2, pp.191-192, 2004.7
- 12) 志賀京介, 源栄正人: 遺伝的アルゴリズムを用いた構造物-地盤系における最適ダンパー配置に関する研究, 日本建築学会東北支部研究報告集. 68 号, pp.179-182, 2005.6
- 13) 坂場律和, 大島靖樹, 石田勝彦, 北村春幸: 分散 GA と不規則振動論を用いた最適ダンパー配置法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集 B2, pp.1059-1060, 2005.9
- 14) E. Zitzler, M. Laumanns, and L. Thiele, SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm. Technical Report 103, Computer Engineering and Networks Laboratory (TIK), 2001
- 15) 笠井和彦, 小椋崇之, 西村忠宗: リニア粘性要素とバイリニア粘性要素の制振効果における等価則, 日本建築学会構造系論文集, 第 611 号, pp.29-37, 2007.1
- 16) 石丸辰治: 応答性能に基づく「耐震設計」入門, 彰国社, 2004
- 17) 石丸辰治: 耐震設計の方法 -ダイナミックデザインへの誘い-, 株式会社建築技術, 2008
- 18) 小林浩一, 土屋駿介, 田守伸一郎: 多目的遺伝的アルゴリズムによる RC 造免震建物の最適設計-擬似立体モデルによる検討-日本建築学会構造系論文集, 第 681 号, pp.1645-1654, 2012.11
- 19) University of California, Berkeley: Open System for Earthquake Engineering Simulation (Open Sees), <<http://opensees.berkeley.edu/>>, (参照 2013-09-26)
- 20) 小川良典, 笠井和彦: バイリニア粘性要素と非線形粘性要素の等価則, 日本建築学会大会学術梗概集 B2, pp.503-504, 2008.9

[2015 年 1 月 30 日原稿受理 2015 年 3 月 30 日採用決定]