

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	アクティブ制御装置の配置が制御入力、層せん断力に及ぼす影響
Title(English)	Effect of placement of active structural control machine for control input, story shear force and acceleration
著者(和文)	宮本皓, 佐藤大樹, 余錦華
Authors(English)	Kou Miyamoto, Daiki Sato, Jinhua She
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 219-220
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 219-220
発行日 / Pub. date	2016, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

アクティブ制御装置の配置が制御入力、層せん断力に及ぼす影響

アクティブ制御
最適配置
構造制御

パッシブ制御
振動制御
スマートストラクチャー

正会員 〇宮本 皓* 佐藤 大樹**
準会員 余 錦華***

1.はじめに

アクティブ制御による構造物の振動制御が注目をされてきており、現在に至るまで多くの土木構造物や建築構造物に搭載されている[1]。

高い制御性能を得るためには、制御装置の配置が重要なポイントになるため、近年ではそれに関する多くの研究がなされている(例えば[2])。これらの研究では制御を施した場合の変位や加速度を最小にすることのみが検討されているが、大きすぎる制御入力を用いた場合は、それにより構造物を損傷させてしまう恐れがある。また、アクティブ制御のみで振動制御を行おうとすると、膨大なエネルギーを必要とするため、パッシブ制御との併用が望ましいが、パッシブ制御と併用することを前提とする研究は非常に限られている。(例えば[3])

本研究は、アクティブ制御とパッシブ制御を併用し、さらなる振動制御性能を得ることを目的としており、本報はその初期段階に必要なアクティブ制御装置の配置についての検討を行ったものである。特に、地震による構造物の層間変形角、制御入力の大きさ・必要エネルギー・層せん断力係数に着目して応答解析の分析を行う。

2.対象モデルと検討用地震

検討対象は、平面形： $B \times D = 40\text{m} \times 40\text{m}$ 、高さ： $H = 200\text{m}$ 、建物密度： $\rho_f = 1715 \text{ N/m}^3$ 、1次固有周期 $T_f = 5.0\text{s}$ の構造物を 10 質点系のせん断型モデルを用いてモデリングしたものを用いる。

剛性については文献[4]で提示されている方法と同様の計算をし、粘性については剛性比例を用いた。今回は減衰定数が $h = 0.01$ と 0.05 のモデルを用いて応答解析を行った。

検討用地震動は、コーナー周期 $T_c = 0.64 \text{ s}$ 以降の領域で、擬似速度応答スペクトル $\rho S_T = 100\text{cm/s}$ ($h = 5\%$)となる模擬地震動波形 ART HACHI(位相特性：HACHINOHE 1968 EW)を用いる(加速度の波形は図1に示す)。

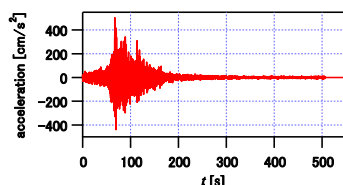


図1. ART HACHINOHE 入力加速度波形

3.制御系の設計について

制御系のコントローラゲインは以下の評価関数を最小

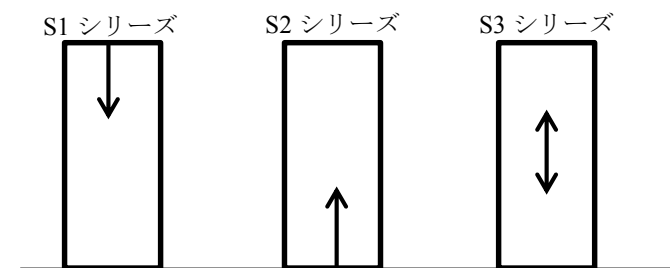
化する最適制御法[5]を用いて設計を行った。

$$J = \int_0^{\infty} (X^T Q X + u^T R u) dx \quad (1)$$

ここで $X = [x \quad \dot{x}]$ とし、 x は各階の相対変位を表す。また、 u は制御入力を表し、 Q と R はそれぞれ X と u に対応する重み係数を表す。

今回アクティブ制御を施すモデルの対象は $h = 0.01$ のモデルとし、コントローラゲインを設計する際は、いずれのシリーズにおいても ART HACHINOHE を $h = 0.05$ のモデルに加えた時の層間変形以下になるように重み関数 Q と R を選定し、コントローラゲインの設計を行った。

アクティブ制御装置の配置については以下の S1~S3 の 3 シリーズの配置方法について検討を行った。



S1 シリーズ：10 階から順番に配置。
S2 シリーズ：1 階から順番に配置。
S3 シリーズ：5 階から順番に配置。

図2. アクティブ制御装置の配置

全体の 50%にアクティブ制御装置が配置されている場合を導入率 50%と定義し、今回は導入率 100、80、60、40、30%のモデルを用いてそれらの応答解析を行った。

4.時刻歴応答解析結果

まず、導入率ごとの制御入力の大きさの検討を行った。図3は縦軸を i 層のアクティブ制御装置の最大の制御入力値($\max u_i$)の和を制御装置の設置質点数(n)で除した値(平均最大制御入力)とし、横軸をアクティブ制御装置の導入率(導入率)とした図である。図4は縦軸を、地震による入力エネルギー(E)を制御入力エネルギー(W_u)で割った値とし、横軸を導入率にした図である。図5、6は導入率 100%と 40%の解析結果であり、縦軸はいずれの図においても質点の位置を表し、横軸は層間変形角(a)、制御入力(b)、制御入力の層せん断力係数(c)を示す。なお、今回の検討において S1、2 については導入率 40%未満で、S3 については導入率 30%未満の導入率で $h = 0.05$ のモデル以下の層間変形角以下にはならなかった。

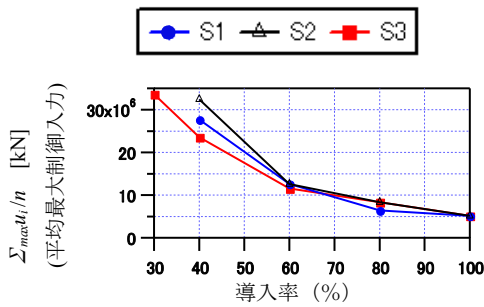


図 3. 導入率と平均最大制御入力

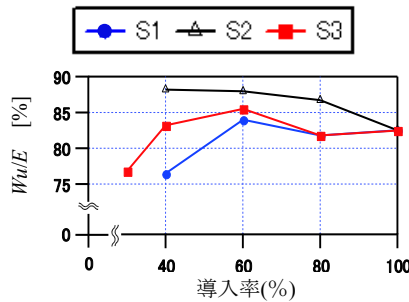


図 4. 導入率とエネルギー消費率

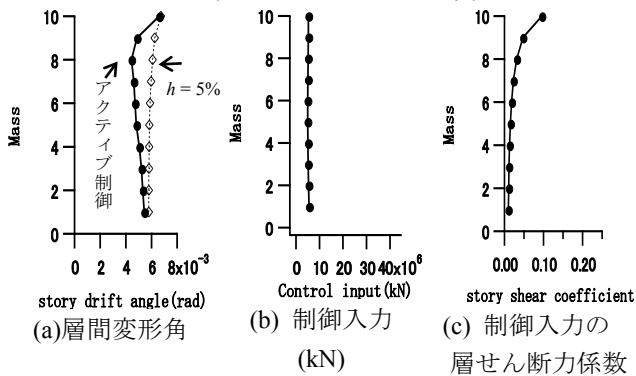


図 5. アクティブ制御 (導入率 100%)

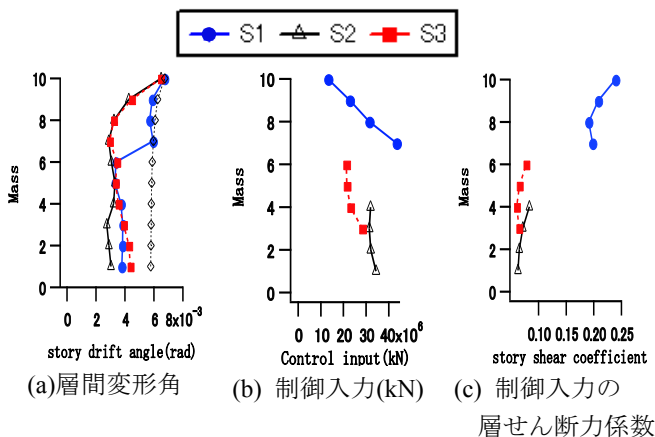


図 6. アクティブ制御 (導入率 40%)

図 3 より導入率の低減とともに、いずれのシリーズでも平均最大入力が大きくなる傾向があり、導入率 40% 時は S2 シリーズが最も平均最大制御入力大きい。

S1・3 シリーズは、導入率の低減と同時に平均最大入力が増大しているが(図 3)、図 4 より導入率 40% 時では Wu/E 値が導入率 100% 時よりも減少している。このことから、大きな力を使っても地震エネルギーを効率よく消費できていないといえる。しかし、S2 シリーズは平均最大制御入力に関しては S1・3 よりも高いが、導入率が低減し平均最大制御入力が上昇するとともに Wu/E 値が増大するため、エネルギー効率は最も良い。これは、1 階に制御装置を配置すると、制御入力の反力を地面が受け持つことが理由として考えられる。

次に高さ方向についての考察を行う。図 5(a)より、導入率 100% では層間変形角が $h=5\%$ のモデル以下に抑えられている。また図 5(b)より制御入力は全体で概ねに均一になっていることがわかり、図 5(c)より層せん断係数も全体的に小さな値となっていることがわかる。図 6(a)の導入率 40% でもより層間変形角はいずれのシリーズでも抑えられているが、下の階は上階の制御入力の反力を打ち消す必要があり、より大きい制御入力が必要になっていることもあり、下層の制御入力が比較的大きくなる傾向にある(図 6(b))。また、図 6(c)より制御入力によるせん断力係数は S1 シリーズが他のシリーズよりも高い値になっていることが確認できる。

5. 結論

本報で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 導入率 40% まで下げても層間変形角を目標値にすることは可能であるが、平均最大制御入力は全層配置に比べて上昇する。
- 2) 下層からアクティブ制御装置の配置は、他の配置に比べ、エネルギー消費率は増大し、効率よく地震エネルギーを消費できている。
- 3) 制御入力による層せん断力係数、エネルギー消費率、制御入力の大きさは配置によっては全く異なる。

参考文献

- [1] B.F. Spencer Jr., et al : State of the Art of Structural Control. ASCE J. of Structural Engineering, Vol. 129, Issue 7 (2003)
- [2] Fereidoun Amini, et al : Optimal structural active control force, number and placement of controllers. ELSEVIER J. of Engineering Structures, Vol. 27 pp1306-1316 (2005)
- [3] Andre Preumont, Kazuto Seto : Active Control of Structures, WILEY, pp.117-145.
- [4] 佐藤大樹, 笠井和彦, 田村哲郎 : 粘弾性ダンパーの振動数依存性が風応答に与える影響, 日本建築学会構造系論文集, 第 635 号, pp75-82, 2009.
- [5] 森泰親 : わかりやすい現代制御理論、森北出版、pp.94~119 (2013)

*東京工業大学 修士(工学)

**東京工業大学 准教授 博士(工学)

***東京工科大学 教授 博士(工学)

*Tokyo Institute of Technology, Ms.Eng

**Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng

***Tokyo University of Technology, Dr Eng