

地震動の即時配信による能動型防災システムの構築
その 7：可変剛性建物の各種制御方法の制振効果比較

正会員 ○村山 良太*
同 折田 潤**
同 金久保 利之***

可変剛性 避共振 フィードフォワード 先読み情報

1. はじめに

前報では、今回提案したフィードフォワード制振の概要と制御方法及び解析方法について報告した。本報では、その解析結果と制御方法別に見た総合的な評価を行い、その結果を報告する。

2. 解析結果

解析結果の例として、ランニングスペクトルより一定区間内の卓越振動数を算出する方法（RSM制御）より得られた神戸波、時間刻み倍率 1.0 倍入力に対する応答結果を図 1 に示す。なお、制御間隔は 0.3s である。地震動の時刻歴情報を的確に捉え、可変剛性デバイスの制御を行うことで、応答加速度の低減と応答変位の抑制効果が得られた。図 2 にランニングスペクトルと制御信号を示す。ランニングスペクトルの色の濃い部分はその近傍の周期成分を多く含んでいること示し、構造物が共振する可能性が高い。この部分避けるように制御が行うことで、非制御時に比べて応答が低減され、避共振制御の制振効果が確認できる。神戸波は 8 秒から 11 秒付近に 1Hz 周辺の成分が集中しており、本制御では、この部分避ける避共振制御が実現できている。また、非常に長周期地震動であるメキシコ波、短周期地震動である宮城県沖地震波においても、ランニングスペクトルにて地震動の特性を十分に把握し、共振可能性の低い剛性を選択できることを確認した。

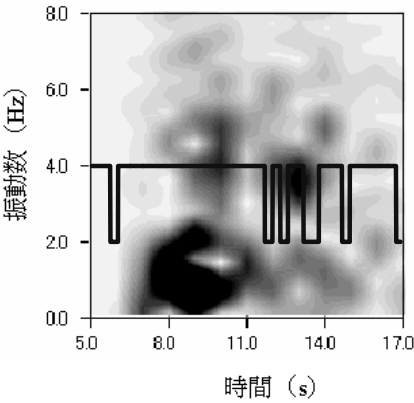
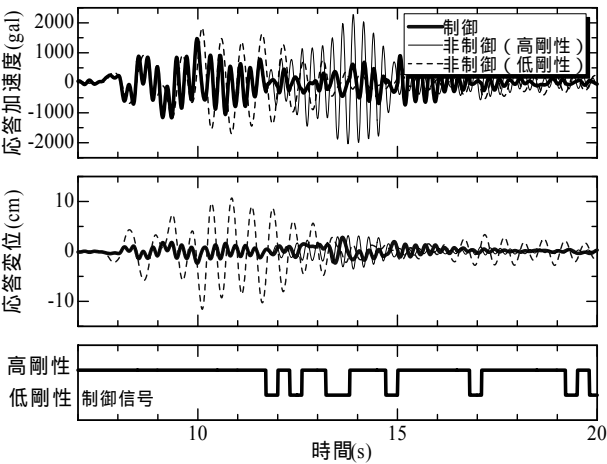


図 2 剛性選択の様子

3. 先読み情報の有効性

ランニングスペクトルを用いた制御（RSM 制御）について、地震動時刻歴の先読み情報の有効性を検討する。0.3 秒区間先読みした場合と、着目した区間の時刻歴に基づき制御を行った場合の応答を比較して図 3 に示す。先読み情報がある制御は 2 秒から 4 秒付近の共振が避けられていることが確認できる。また、各周期設定、入力地震動および先読み時間においても同様の結果が得られたことから、地震動の先読み情報ができることにより、入力外乱の振動数特性を事前に把握し、構造物の避共振制御が実現できているといえる。

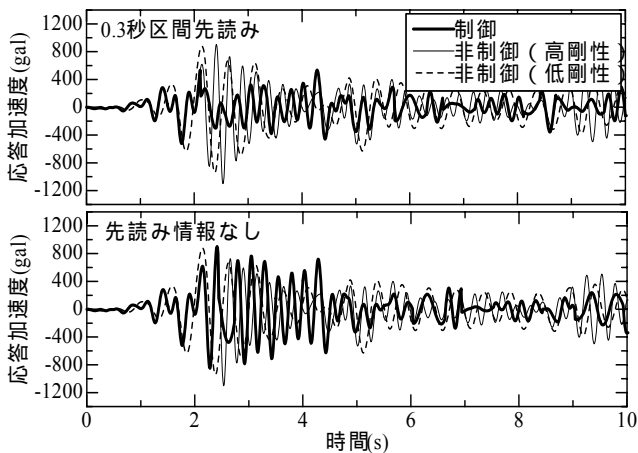


図 3 先読み情報の有効性（エルセントロ波）

4. 地震波の特性による考察

Case1 (高剛性 0.25s、低剛性 0.5s) の設定周期において 応答加速度を制御方法別に比較して図4に示す。なお、等価剛性減衰とは高剛性、低剛性の切り替えにより、可変デバイスの履歴面積が最大になるように設定した剛性および減衰を用いた解析結果を示し、各制御方法による応答値は、等価剛性減衰による値で基準化している。等価剛性減衰やエネルギー吸収最大となる履歴制御に比べると大きい応答値を示しているが、履歴減衰を得ない純粋な剛性選択のみの応答として各方法とも高い制振効果が確認できる。逆に、宮城県沖地震波の場合、等価剛性減衰は周期が地震動の卓越振動数と合ってしまうため、高減衰であっても応答は低減できない。このように、入力波の特性によっては理想的である等価剛性減衰よりもフィードフォワード制御の有効性が顕著に表れる場合もある。

5. 総合評価

全ての制御方法のうち、Case28 (高剛性 1.0s、低剛性 2.0s) の場合における入力 45 波に対する応答結果の頻度分布を、応答加速度について図5に示す。応答値は非制御時の最大応答 (高剛性もしくは低剛性時の大きい方の値) に対する応答倍率で基準化している。

各制御方法とも平均が 1 より小さく、制振効果が確認できる。また、各 Case において、上記の頻度分布から入力地震動 45 波に対する応答倍率の平均値および標準偏差を算出して、制御方法の総合的評価を行う。(平均値) + (標準偏差) の値を評価値とし、入力波に対する応答値の 84 パーセンタイルとして、この評価値が小さな値のものほど制振効果が高いものと見る。

全ての Case を総合して、各制御方法における平均と標準偏差を(1)式および(2)式により算出し、(平均値) + (標準偏差) の評価値で検討する。各制御方法の評価値を表1に示す。ランニングスペクトルを用いた制御がどの周期設定に対しても安定して高い制振効果を得られることが確認できる。

$$\bar{x} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \cdots + \bar{x}_n}{n} \quad \cdots (1)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots + \sigma_n^2}{n^2}} \quad \cdots (2)$$

ただし、n=Case

6. まとめ

提案した制御方法について、地震応答解析を行いフィードフォワード制御の有効性を確認した。また、提案した制御方法では、ランニングスペクトルを用いた制御が最も高い制振効果を示した。

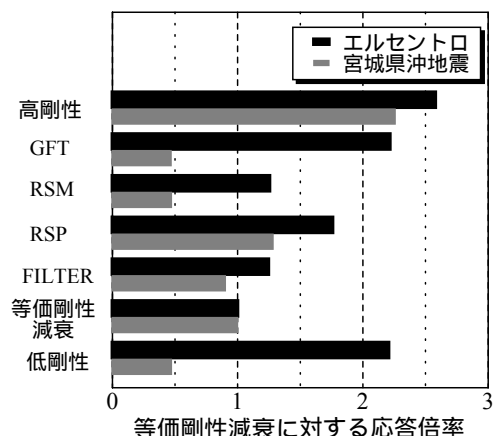


図4 制御方法別応答結果

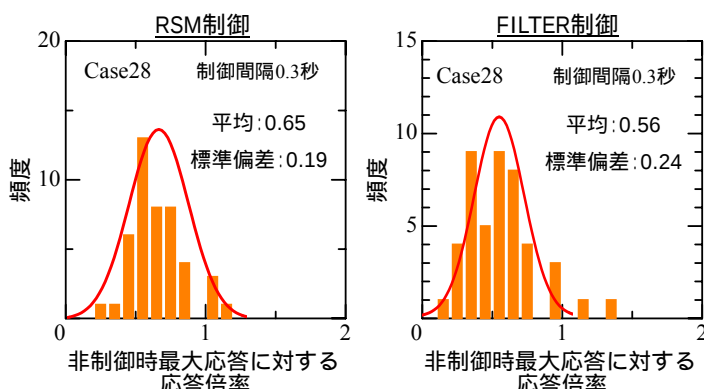


図5 非制御時最大応答に対する応答倍率

表1 総合評価

		応答加速度		応答変位	
制御方法	制御間隔(s)	評価値	順位	評価値	順位
GFT	$\alpha=0.9$	1.030	13	0.807	12
	$\alpha=0.95$	0.960	11	0.807	11
	$\alpha=0.98$	0.894	9	0.792	10
	$\alpha=1.0$	0.781	2	0.773	7
RSM	0.3	0.785	3	0.709	3
	0.5	0.946	10	0.790	9
	1.0	1.016	12	0.871	13
RSP	0.3	0.772	1	0.686	1
	0.5	0.809	6	0.714	4
	1.0	0.789	4	0.734	5
FILTER	0.3	0.842	7	0.700	2
	0.5	0.843	8	0.744	6
	1.0	0.796	5	0.778	8

* 清水建設株式会社

** 筑波大学大学院システム情報工学研究科

*** 筑波大学大学院システム情報工学研究科 助教授・博士(工学)

* Shimizu Corporation

** Graduate student of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba

*** Assoc. Prof., Graduate Schl. of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba, Dr.E