

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 6 : 可変剛性建物の制御方法の提案

正会員 ○折田 潤*
同 村山 良太**
同 金久保 利之***

地震観測網 フィードフォワード 避共振 ランニングスペクトル 可変剛性

1. はじめに

著者らは超高密度の地震動観測網と地震情報の即時配信システムを構築し、情報の伝達速度と地震動の伝播速度の差を利用した能動型防災システムを提案している¹⁾。この防災システムでは、微小時間後に到達するであろう地震動の時刻歴に対して、建物の特性値を変化させ、その応答値を最小限に抑えるフィードフォワード型制御を検討している。本報では、可変剛性建物に着目し、地震動時刻歴の先読み情報を利用した、各種フィードフォワード制御を提案する。

2. 解析方法

対象建築物は、図 1 に示す 1 質点モデルで模擬した。また、 K は可変剛性を表し、図 2 に示すような履歴を描き、高剛性・低剛性の二種類の剛性を制御信号によって逐次切り替えるという操作を行う。

様々な構造物を模擬するため、構造物の周期を 0.25s ~ 2.50s の範囲で 0.25s 刻みの 10 段階で設定し、高剛性時および低剛性時の組み合わせを 45 通り (Case) に設定した。また、減衰定数は 3% に固定している。解析方法は、Newmark β 法 ($\beta=1/4$) を用いた直接積分法による時刻歴応答解析とし、解析に用いた地震波は、エルセントロ波 (EL)、神戸 (葺合) 波 (FKI)、建築センター模擬波レベル 1、レベル 2 (BL1、BL2)、八戸波 (HCN)、タフト波 (TAF)、メキシコ波 (MEX)、宮城県沖地震波 (THU)、苫小牧地震波 (TMK)、三陸南 (釜石) 波 (KMA)、大阪波 (OSK) である。各地震動について時間刻み倍率を 0.5 倍、1.0 倍、2.0 倍とした計 45 波を用いた。入力波の特性は、長周期地震動から短周期地震動まで幅広く選択し、

加えて時間刻み倍率を操作することで、より多くの地震動特性を表現した。

3. 避共振制御

3.1 地盤瞬間振動数を用いた制御

得られた地震動情報より、時々刻々と変化する地盤瞬間振動数を算出する。算出方法は (3.1) 式に示したユレダス (UrEDAS: 早期地震検知警報システム) に用いられているものを準用した。(3.2) (3.3) 式に含まれる指数平滑係数 α は 0 ~ 1 の範囲で任意の値を設定できる係数であり、 α が 1 に近いほど平均化し、0 に近いほど無操作の状態となる一つのパラメータとして扱える。

地盤瞬間振動数を地震動情報として捉え、可変剛性の切り替えにより、避共振制御を行う。制御概念を図 3 に示す。いかなる卓越周期をもった地震動が入力された場合でも構造物の応答が最小となるように、図 3 の最下ラインに沿って制御を行うと、この 2 つの共振曲線の太線部分のような応答結果が得られることになる。二つの共振曲線の交点を制御振動数 F_{tc} (Hz) とし、入力される地震動

$$g F_t = \frac{\sqrt{A_i/V_i}}{2\pi} \quad \dots (3.1)$$

$g F_t$: 時々刻々の地盤の振動数 (Hz)

a_i : 現時刻の地動の加速度振幅 (gal)

$$A_i = \alpha A_{i-1} + a_i^2 \quad \dots (3.2)$$

v_i : 現時刻の地動の速度振幅 (kine)

A_i : 加速度のパワースペクトル

$$V_i = \alpha V_{i-1} + v_i^2 \quad \dots (3.3)$$

V_i : 速度のパワースペクトル

の地盤瞬間振動数 $g F_t$ が F_{tc} 以下の状態で高剛性、 F_{tc} 以上の状態で低剛性という操作を可変剛性デバイスに対して行うことで構造物の共

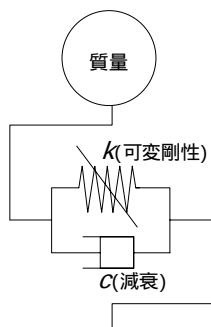


図1 解析モデル

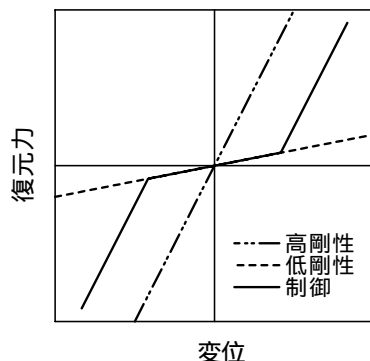


図2 可変剛性

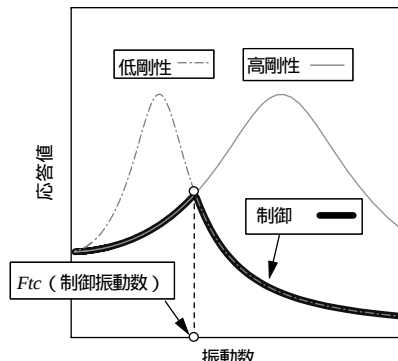


図3 共振曲線

振を避け、あらゆる地震動に対応し最適な制御が可能となると考えられる。

3.2 ランニングスペクトルを用いた制御

得られた地震動情報がある一定時間に区切り、その時間内の地震動のフーリエスペクトルを求める。これにより、地震動の各時間帯の周波数特性が分かるため、卓越振動数を算出したり、設定周期付近の入力地震動の大きさを比較したりすることで、応答を小さく抑えることが可能となると考えられる。

得られたランニングスペクトルから制御信号を作成する方法を2つ提案する。一つは一定時間内における地震動のフーリエスペクトルに着目して卓越振動数を一つに決定し、図3に示すような共振曲線より得られる制御振動数 F_{tc} と比較する方法（RSM制御）である。図4はランニングスペクトルのある一定時間内を取り出したものである。このスペクトルの値が最大となる振動数を算出する。図3にて示した制御則に基づいて、卓越振動数 F_t が制御振動数 F_{tc} 以下で高剛性、 F_{tc} 以上で低剛性を選択するよう制御を行う。もう一つは、図5に示すように、高剛性・低剛性の2つの設定周期付近の出力値（ AMP_{OFF} 、 AMP_{ON} ）を読み取り、その大きさを比較し、値の小さい方を逐次選択する方法（RSP制御）である。それぞれ制御間隔（=先読み時間）は0.3s、0.5s、1.0sとした。

3.3 フィルター透過波を用いた制御（FILTER制御）

フィルター中心周期を解析対象の周期に設定することで、ある程度その応答を予測することが可能となり、フィルター透過波が大きいほど共振する成分が多く含まれているといえる。本解析で用いたバンドパスフィルターを図6に示す。フィルター中心周期は、各場合における設定周期とし、その近傍を透過させるフィルターである。 X はバンドパスフィルターの幅を表すパラメータであり、2、4、8の値をとるものとした。また、制御間隔（=先読み時間）は0.3s、0.5s、1.0sとした。

図7に神戸（算合）波、時間刻み倍率1.0倍（FKI10）における剛性選択の流れを示す。周期設定は高剛性0.25s、低剛性0.5sのものである。バンドパスフィルター（ $X=4$ ）より各剛性タイプの透過波を得る。その後、任意に決定した制御間隔に基づいてフィルター透過波をある程度の時間に区切り、この時間内における透過波の絶対値の和を求める。ここで、制御間隔内の透過波の和が小さくなるように、高剛性、低剛性の剛性を選択する。構造物の固有周期付近の透過波振幅が大きいほど、構造物の共振可能性は高いといえる。したがって、FKI10の場合、10s

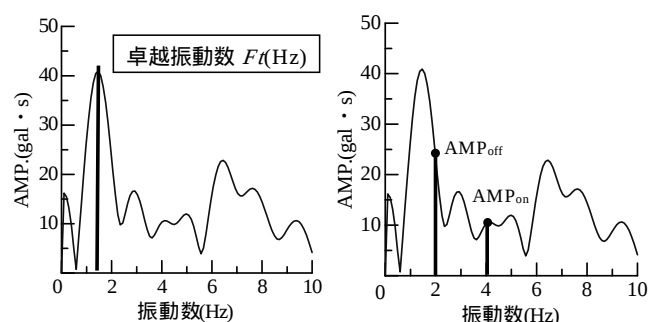
前後で低剛性の共振可能性が高く、14s付近では高剛性の応答が大きくなると考えられる。制御信号は、これらの共振可能性の低い方を選択し、応答の低減を目指すものである。

4. まとめ

可変剛性建物に着目し、地震動時刻歴の先読み情報を利用した、フィードフォワード制御手法として、地盤瞬間振動数を用いた制御、ランニングスペクトルを用いた制御（RSM制御、RSP制御）、FILTER制御を提案した。

参考文献

- 1) 金久保利之他：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1～その4）、日本建築学会大会梗概集、B-2、pp.1017-1024、2004



$F_t < F_{tc}$ の場合 → 高剛性

$F_t > F_{tc}$ の場合 → 低剛性

図4 RSM 制御

$AMP_{ON} < AMP_{OFF}$ の場合 → 高剛性

$AMP_{ON} > AMP_{OFF}$ の場合 → 低剛性

図5 RSP 制御

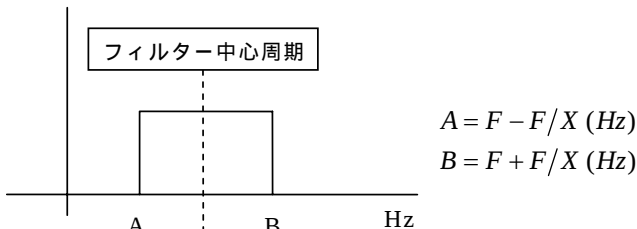


図6 バンドパスフィルター

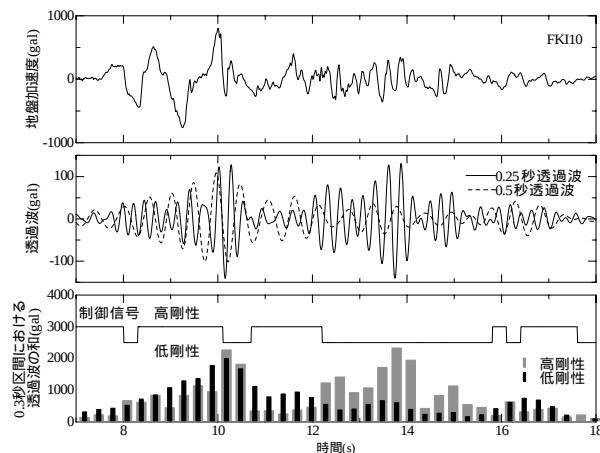


図7 剛性選択判定（FKI10）

*筑波大学大学院システム情報工学研究科

**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

助教授・博士（工学）

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

**Shimizu Corporation

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