

高速ビジョンを用いたアクティブ制震のノイズ処理と予見制御に関する検討

三菱重工鉄構エンジニアリング 正会員 ○本山 潤一郎
 広島大学大学院 正会員 辻 徳生
 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治
 広島大学大学院 正会員 石井 抱

1. はじめに

近年、センサ、コンピュータ、アクチュエータ等の周辺技術の進歩により、制御技術に関する様々な試みがなされている。特に、積極的に制御力を作用させ、振動を低減させるアクティブ制震には高速センサが有効活用できる可能性は高い。既往の実験¹⁾でFig.1に示すような高速ビジョンを用いたAMD(Active Mass Damper)方式の制震システムを構築しており、実験から応答低減(制御時の応答変位/無制御時の応答変位)が0.33と十分な制震効果が確認できているが、計測器具のノイズの影響による2次モードの発生も確認されている。そこで、本研究では計測器具のノイズ処理による制震効果について検討を行う。その後、緊急地震情報などの活用を想定した予見制御を本制御システムに加え、それによる効果について検討を行う。

2. 高速ビジョンを用いたアクティブ制震の概要

Fig.1 に実験状況図を示す。本研究で提案するアクティブ制震は、振動台で地震波加振すると同時に制御システムを起動し、高速ビジョン・加速度計を用いて計測した観測点の変位・構造物基部の加速度より、式(1)を用いて無制御時での次ステップへの変位増分を α 倍にするものとして制御目標値を決定することで、制御力を算出する。この一連の過程を0.01秒間隔で繰り返すことで構造物の制御を行う。

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} \dot{U}_{t+\Delta t} \\ U_{t+\Delta t} \end{Bmatrix} &= \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} \\ E_{21} & E_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_t \\ U_t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} H_{11} \\ H_{21} \end{bmatrix} \{P_t\} \\ &\quad + \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{t+\Delta t} \\ F_t \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

供試体の1次固有周期は0.36秒である。高速ビジョンとマーカーの距離は約2mであり、この条件で高速ビジョンに含まれる誤差は0.1cm以下である。制御目標値は $\alpha=0.9$ として制御力を算出としている。

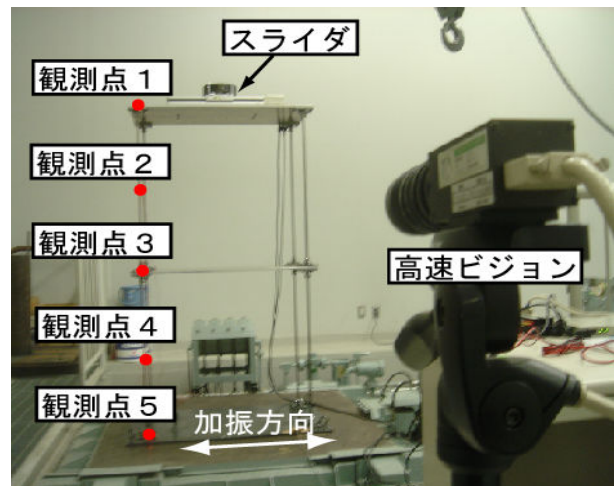


Fig.1 実験状況図

地震波は Fig.2 に示すような阪神大震災時に神戸海洋気象台で観測された NS 波を振動台の特性に合わせて再現した波(以下、神戸波)を用いている。

3. 高速ビジョンのノイズ処理に関する検討

既往の実験から、観測点1における応答低減は約0.33という結果が得られているが、計測器具に含まれるノイズの影響により短周期成分の制御力が発生したため、2次モードが確認された。そこで、本研究では高速ビジョンに含まれるノイズを、カルマンフィルタを用いて除去し、それによる効果について検討を行う。

カルマンフィルタとは、最適推定値 $x(+)$ は、力学モデルから得た推定値 $x(-)$ と観測値 z との加重平均より求められるとすれば、任意の行列 K_1 , K_2 を用いて

$$x(+) = K_1 z + K_2 x(-) \quad (5)$$

と表せる。

カルマンフィルタを用いた場合、応答低減は0.34となり、カルマンフィルタなしの場合と同程度の制震効果が得られた。また、Fig.3 に示すカルマンフィルタの有無による制御力のスペクトル比較図をみると、カル

キーワード 高速ビジョン, アクティブ制震, カルマンフィルタ, 予見制御

〒733-8642 広島県広島市中区江波沖町5番1号 TEL (082)292-1111

マンフィルタを用いることで短周期成分の制御力が大幅に低減されていることがわかる。以上のことから、カルマンフィルタを用いることで、不必要な制御力の発生を抑制でき、それにより2次モードの発生を抑制できるため、より効率的な制御が可能であることがわかった。

4. 予見制御に関する検討

予見制御とは、緊急地震速報などにより構造物へ作用する地震力が事前に予見できる場合に、その予見された地震力を用いて変位・制御力の最適化を図る制御であり、現在時刻 k から M_R ステップ未来までの外乱信号が概知である場合、それらの信号を利用した次式より制御入力ベクトルを求める²⁾。

$$\Delta f(k) = F_0 X_0(k) + \sum_{j=0}^{M_R} F_d(j) \Delta d(k+j) \quad (6)$$

ここで、 $\Delta f(k)$: 制御力入力ベクトル、 $X_0(k)$: 変位ベクトル、 $\Delta d(k)$: 地震力ベクトルである。

実験では予見ステップ数は100とし、1秒後に到達する地震力が既知であると想定して行った。Fig.4に予見制御時での応答変位を制御なしの場合と比較した図を、Fig.5に予見の有無による応答変位と制御力の比較図を示す。予見を用いることで、応答低減は0.24となり、予見なしの場合での応答低減0.34よりも大幅に低減

答変位を抑制できている。Fig.5を見ると、地震波が到達する直前で、数ステップ後に到達する地震力に対応するような制御力が発生していることがわかる。

5. 結論

高速ビジョンを用いたアクティブ制震システムの性能向上に関する検討を行い、得られた結論は以下の通りである。

- (1) ノイズ処理の手法としてカルマンフィルタを用いることで不必要な制御力の発生を抑制でき、より効率的な制御が可能であることが確認できた。
- (2) 緊急地震速報を活用した予見制御に関して検討を行った。予見を用いることで、急激な地震力にも対応した制御力が生じており、予見なしの場合よりも大幅に応答変位を低減できることから、予見制御の有用性が確認できた。

参考文献

- 1) J. Motoyama, et al.: Numerical and experimental studies on active control of structures using hyper vision technology, The forth international Structural engineering & Construction Conference (ISEC-4), pp.945-950, 2007
- 2) 土谷武士, 江上正: デジタル予見制御, 産業図書, 1992

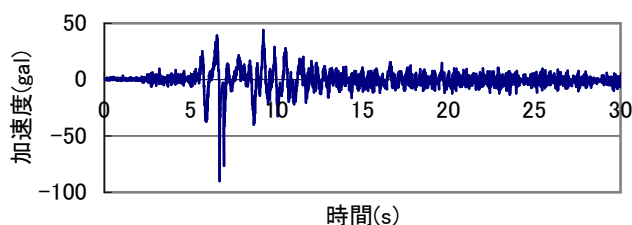


Fig.2 神戸波加速度波形

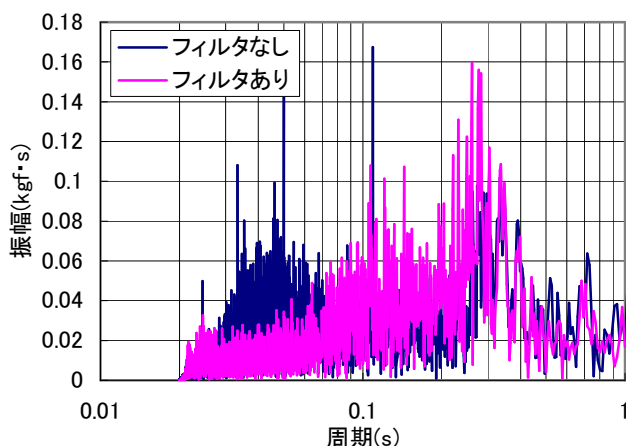


Fig.3 カルマンフィルタの有無による制御力のスペクトル比較図

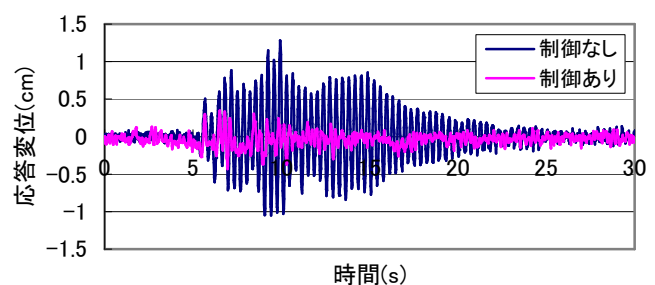


Fig.4 予見制御を用いた場合の応答変位比較図

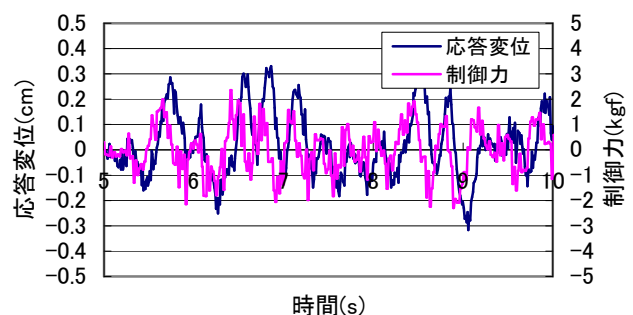


Fig.5 予見制御時の応答変位と制御力の関係