

非線形特性を有する骨組構造物のアクティブ制振に関する検討

広島大学 学生会員 ○池頭 賢
広島大学大学院 学生会員 本山 潤一郎
広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治

1. 背景と目的

制振は地震や強風による構造物の揺れを制御機構により低減させる技術であり、周知の通り、構造物に動力を与えて積極的に揺れを低減させるアクティブ制振と、制振部材や制振構造などを利用して動力無しで揺れを低減させるパッシブ制振の2方式がある。なかでも構造物に動力を与えて積極的に揺れを低減させるアクティブ制振は、現在では多くの実構造物に採用されている。これは近年のセンサー、コンピュータ、アクチュエータなどの性能の飛躍的向上により可能となった技術であり、周辺技術の発展動向次第では、その特長を生かした新たな制御方法の生まれる可能性も考えられる。また、従来の制振システムは線形挙動を前提に検討されてきたが、実際の構造物は複雑な形状をしており、強震時に土木構造物の多くは非線形挙動を無視することができないと思われる。

そこで本研究では非線形特性を有する骨組構造物を検討対象として非線形制御方法を検討し、解析と実験によりその制振効果を検証することを目的としている。

2. 研究方法

(1) 線形制御の解析法

運動方程式

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = P(t) \quad (1)$$

の一般解に基づいて、次の漸化式が得られる。

$$\begin{Bmatrix} \dot{U}_{t+\Delta t} \\ U_{t+\Delta t} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} \\ E_{21} & E_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_t \\ U_t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} H_{11} \\ H_{21} \end{bmatrix} \{P_t\} \quad (2)$$

本式に制御力の項を加えることで、

$$\begin{Bmatrix} \dot{U}_{t+\Delta t} \\ U_{t+\Delta t} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} \\ E_{21} & E_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_t \\ U_t \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} H_{11} \\ H_{21} \end{bmatrix} \{P_t\} + \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{t+\Delta t} \\ F_t \end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここで、 M, C, K : 質量, 減衰, 剛性マトリックス
 $\ddot{U}, \dot{U}, U$: 加速度, 速度, 変位ベクトル
 $P(t), t$: 荷重ベクトル, 時刻

上式より提案した計算法により次ステップに加える制御力を計算する。

(2) 線形制御の実験法

Fig.1 に実験供試体と高速ビジョンカメラの配置を示す。制御は次の①②③を繰り返すことで行う。①振動台上に設置した骨組構造物に地震力を加え、高速ビジョンカメラでマーカーをターゲットとして追跡し、同時多点変位計測を行なう。②次ステップにおける制御力を計算し、③にスライダーを動かし制御力を加える。

(3) 非線形制御のシミュレーション解析法

骨組構造モデルに斜材として弾塑性部材を配置することにより、構造物全体が非線形振動特性を有するようにした。式(3)におけるマトリックス漸化式を各時間ステップ (1/100 秒) 毎に、ひずみ状態に応じた減衰, 剛性マトリックスを用いることで、非線形制御を行うことができる。

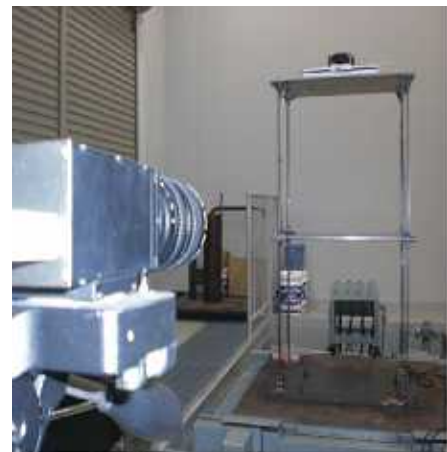


Fig.1 実験供試体と高速ビジョンカメラ

3. 振動台実験および解析結果

- ① Fig. 2 は阪神大震災時の神戸海洋気象台 NS 波を振動台で再現した波（実験神戸波）である。実験神戸波を作用させた時の制御あり、なしの変位を Fig. 3 に示す。制御力を付加した時は最大変位は 0.43(cm)となり、制御力を付加しない時の最大変位 1.28(cm)と比較して、最大変位を 33%程度に抑制することができた。
- ② 非線形制御の解析結果を Fig. 4 に示す。非線形振動特性を有する構造モデルに、先ほどと同じ実験神戸波を作用させた時の線形制御で求めた制御力を加えたとき、非線形制御で求めた制御力を加えたときの変位を示す。若干ではあるが非線形制御の方が変位を抑えられることがわかった。Fig. 5 に斜材に用いた弾塑性部材の軸力-ひずみ曲線を示す。Fig. 5 に示すように履歴ループが非線形制御の方が線形制御に比べ小さいことから変位を抑えられることがわかった。

4. 結論

線形挙動時の実験について正当性を確認できた。これを応用した非線形挙動を考慮した非線形制御でも、より変位を抑えられることが確認でき、この制震システムの有用性を確認することができた。

5. 今後の課題

今回実験では検証しなかった非線形制御による制振効果の振動台実験による検証を行う。

6. 参考文献

- 1) 中村秀治, 辻徳生, 石井抱, 佐竹亮一, 中山健, 本山潤一郎: 高速ビジョンを活用した構造物のアクティブ制振に関する検討, 土木学会論文集投稿中
- 2) 藤井 文夫: 非線形構造モデルの動的応答と安定性, 2003

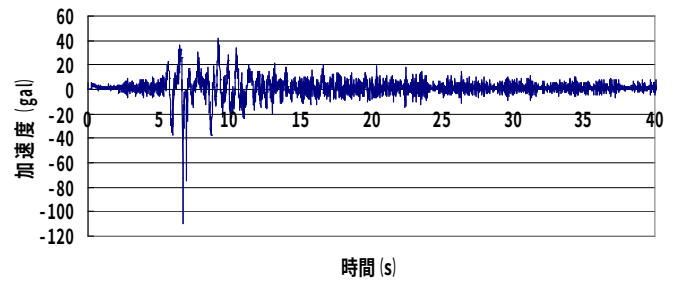


Fig.2 実験神戸波

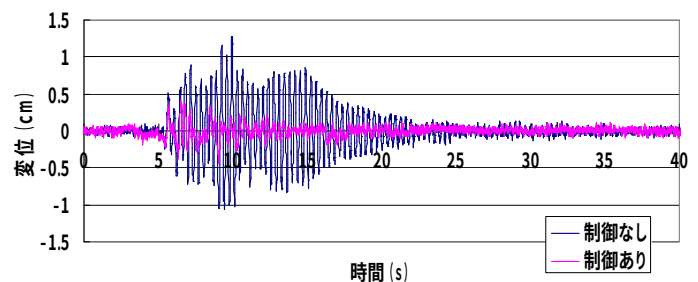


Fig.3 線形制御の実験結果

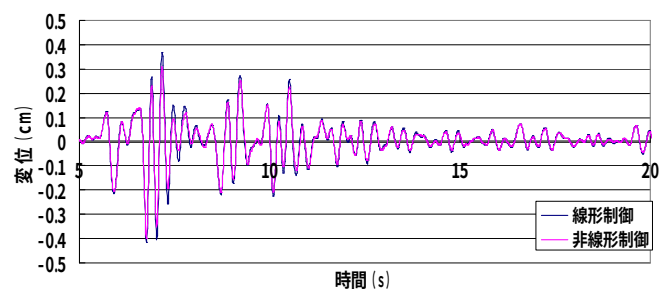


Fig.4 線形制御と非線形制御の解析結果比較

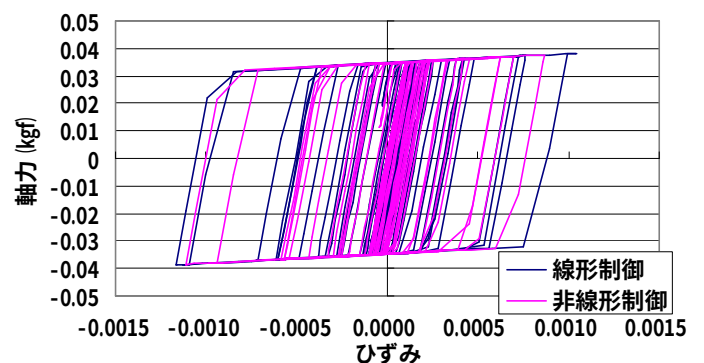


Fig.5 軸力-ひずみ曲線