

高速ビジョン技術を用いたアクティブ制振の実用化に関する検討

三菱重工鉄構エンジニアリング 正会員 鍵村 俊哉 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治
産業技術総合研究所 辻 徳生 広島大学大学院 石井 抱
広島大学大学院 学生会員 ○池頭 賢

1. 背景と目的

アクティブ制振に用いられる現代制御理論自体は完成の域にあると言われているが、センサ、コンピュータ、アクチュエータなどの周辺技術の発展動向次第で、さらに効率的な制御方法の生まれる可能性も考えられる。以前の研究で、高速ビジョン技術を活用した構造物のアクティブ制振技術について検討し、制振システムを構築して、従来の制振技術に匹敵する制御が可能なることを実験により確認した。

高速ビジョン技術は高空間解像度と高速実時間性の両立を実現するために、知的画素選択機能に基づく電子的ビジュアルフィードバック機構を導入して実現した技術であり、それを利用し100fpsから1000fpsの極めて短い時間間隔で構造物の挙動を把握できることを前提に、構造物のアクティブ制振について検討を行ってきたが、本論文では更なる制振性能向上を目指して、複数の制御装置の使用、予見制御について検討している。

1つの制御装置を使用した場合、対応できる振動モードが1次のみとなり、高次の振動モードを励起する可能性がある。そこで、制御装置を2つ使用することにより、高次の振動モードまで対応可能かどうかを検討する。さらに、気象庁により緊急地震速報が行われ、地震計ネットワークが発達しつつある今日、数秒後に到達する地震による強い揺れを予め知ることができるようになることを前提に、予見制御手法に関する検討を行う。

2. 2つの制御装置を使用した実験

Fig.1 に示す2層の骨組構造模型を対象として、2つのスライダを用いたマスダンパ方式のアクティブ制振の振動台実験を行った。実験に際して、スライダは Fig.1 に示すように、マスを載せてその水平方向位置を自由に変わらされるため、床反力を制御力として用いることができる。制御手順は、高速ビジョンと振動台上に設置した加速度計より得られる変位と加速度を用いて、制御力を算出し、それをスライダへ出力することで制御を行っていく。外力としての地震波は、兵庫県南部地震時の神戸海洋気象台 NS 波を振動台上で再現した波を用いた。

神戸波の加速度波形をFig.2、加速度応答スペクトルをFig.3に示す。神戸波を作用させた場合の制御ありと制御なしでの観測点1および観測点3での変位の応答低減率の比較をTable 1、制御ありと制御なしでの観測点1の応答変位比較をFig. 4、観測点3の応答変位比較をFig. 5に示す。また、制御装置1つと2つ使用した場合の神戸波での観測点1における応答変位の比較図をFig.6、観測点3における応答変位比較をFig.7に示す。



Fig.1 実験状況

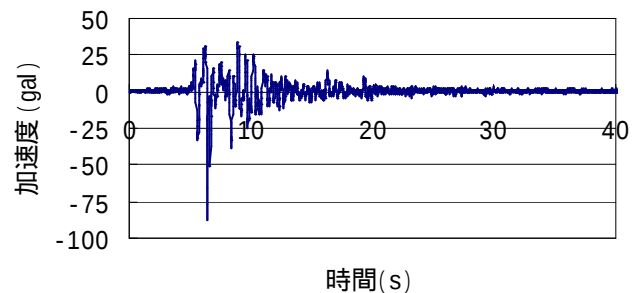


Fig.2 神戸波の加速度波形

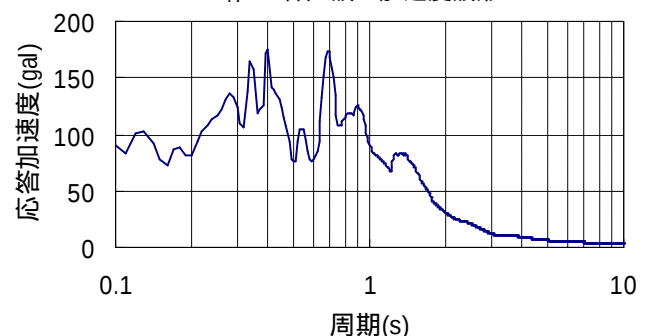


Fig.3 神戸波の加速度応答スペクトル

Table 1より，神戸波での観測点 1 では最大応答変位は 0.407cm，応答低減率は59.9%，観測点 3 では最大応答変位は0.288cm，応答低減は52.2%となり，上段では60%近くの応答を低減していることがわかる．

Fig.5，Fig.6より，制御装置 2 つの場合，観測点 1，観測点 3 の応答変位が小さくなっていることがわかる．

この理由としては，制御装置を 1 つしか使用していない場合に誘発していたと考えられる 2 次モードの変位を，制御装置を中段に設置することにより中段での制御を行うことができ，2 次モードの変位の誘発を低減できたため，観測点 3(中段)の応答変位を大幅に低減することができ，それまで発生していた無駄な制御力を減少することができ，全体的に制振能力が向上したためだと考えられる．

3．予見制御による実験(制御装置 2 つ)

予見ステップ数を変化させた場合についての検討を行った．神戸波での予見制御時，予見なしの制御時の応答変位と制御力の比較を Table 2 に示す．

Table 2 より，予見制御を行うことにより全体的に制振効果が良くなっていることがわかる．また，ステップ数で効果の違うことがわかる．Fig.3 を見ればわかるように，神戸波の卓越周期は 0.4～0.7 秒付近にあることがわかる．また，神戸波の卓越周期に対応するステップ数付近で効果が大きくなっているように見えることから，地震波の卓越周期の 1 周期分の予見ステップ数を予見することにより，予見制御の効果が上がるのではないかと考えられる．

4．結論

得られた結果は次の通りである．

- (1)振動台実験を行い，制御装置を 2 つ使用することにより，不必要な制御力の発生が低減でき，制御装置を 1 つ使用した場合に発生していた 2 次モードの変位を発生を抑制でき，制御装置 1 つと比べ制振能力が向上することを確認した．
- (2)数秒後に到達する地震による強い揺れを予め知ることができるようになることを前提に，予見制御に関する検討を行った．予見制御を用いることで，地震力が到達する数ステップ前から，地震力に抵抗するための制御力が付与されており，急激な地震力が作用する場合でも応答変位を低減できることを確認した．また，地震波の卓越周期 1 周期分の予見をすることにより，予見制御の効果が上がることを確認した．

Table 1 観測点 1・3 での制御あり，なしの応答変位比

			神戸波
観測点 1	最大応答変位(cm)	制御なし	1.02
		制御あり	0.41
	応答低減率(%)		59.9
観測点 3	最大応答変位(cm)	制御なし	0.60
		制御あり	0.29
	応答低減率(%)		52.2

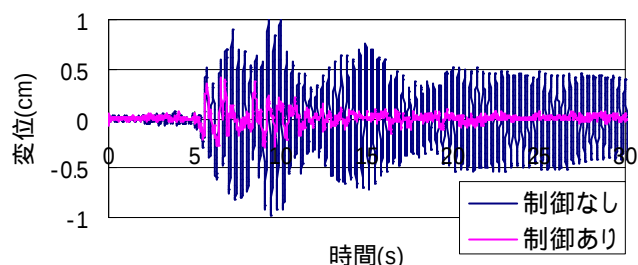


Fig.4 制御の有無による観測点 1 の応答変位比較図

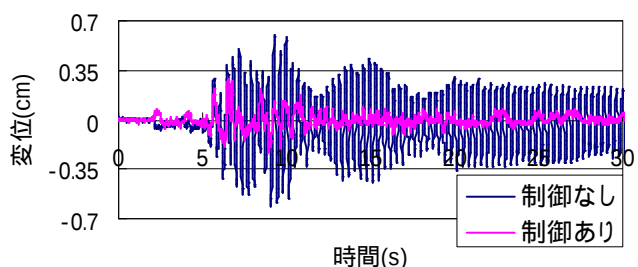


Fig.5 制御の有無による観測点 3 の応答変位比較図

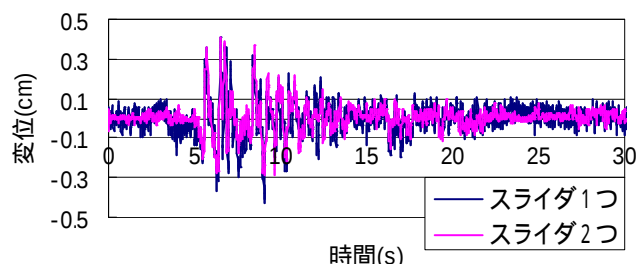


Fig.6 制御時の観測点 1 の応答変位比較図

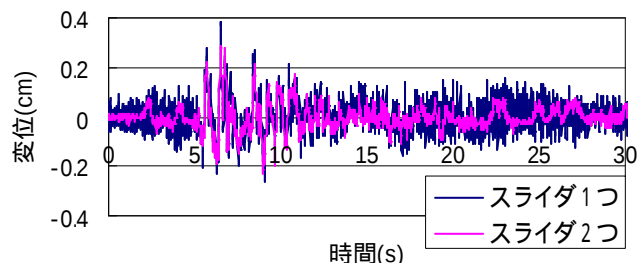


Fig.7 制御時の観測点 3 の応答変位比較図

Table 2 予見ステップ数と変位・制御力比較(神戸波)

	変位	制御力	変位比較	制御力比較	
予見なし	0.407	4.9810	100.00	100.00	
予見ステップ	1	0.405	4.2897	99.51	86.12
	5	0.399	4.1492	98.03	83.30
	10	0.410	4.1967	100.74	84.25
	50	0.373	3.8128	91.65	76.55
	100	0.381	4.5279	93.61	90.90