

長大斜張橋のガスト応答のケーブルによるコントロール

立命館大学工学部
駒井鉄工(株)

学生員 工藤章弘
正会員 細見雅生

正会員 小林紘士
正会員 小川路加

1.はじめに 中央径間 1990m の吊橋である明石海峡大橋をはじめとして、多々羅大橋（中央スパン長 890m）や今後建設が予想されている超長大橋においては、現在では考慮されていないような、より高次の振動モードを含む複数のモードが混在したガスト応答が問題になることが予想される。本研究では複数のモードに対して制振効果が得られるようなアクティブコントロールについて検討する。制御の方式は斜張橋の主塔塔頂部付近から張り渡したコントロールケーブルの桁側端部にアクチュエータを組み込むことで減衰付加効果を期待するアクティブテンドン方式^{1),2)}である。本研究ではアクチュエータの制御力が過大となる場合の対策として、制御力に上限値を設定するなどの工夫をした制御について検討する。

2. 制御方法 本研究において、中央スパン 900m の 3 径間連続鋼斜張橋の架設時閉合直前におけるガスト応答による桁の鉛直振動に対してアクティブコントロールについて解析的に検討する。

ガスト応答解析については、鉛直たわみ振動 10 次モードまで考慮し、複雑な地形の中に架設される場合を想定して、鉛直成分の乱れ強度を 15% とした。明石海峡大橋耐風設計要領に示されているガスト応答解析に従って行った。そして、非制御時のガスト応答による応力度の照査を行った結果を図 2 に示す。側径間端部付近において 57N/mm² と比較的大きな応力度が生じた。この応力度を低減させるために、制振目標を応答低減率（制御時の応答 R.M.S 値 / 非制御時の応答 R.M.S 値）60% と設定してコントロールすることを考える。

桁先端部、桁中央部、塔頂部でのそれぞれの変位と速度、計 6 つを状態量とする。フィードバックゲインの算定は最適制御理論³⁾に基づき、3 次モードまでを考慮することとする。特に応力の寄与率が他のモードと比べて格段に大きい 1 次の応答を積極的に制御する。コントロールケーブルの塔への取り付け位置については、最もモード変位が大きい箇所である塔頂部にする。

次の 3 ケースのコントロール方法について検討した。case1 は上限値を設定しないで応答低減率が 60% となるようにゲインを決定したケースである。次に、case2 は制御力がある上限値を越えるとその時点のみフィードバックゲインを一旦小さくし、制御力が小さくなるようにする。また、case3 は制御力を上限値でカ

キーワード：ガスト応答，アクティブテンドン，長大斜張橋

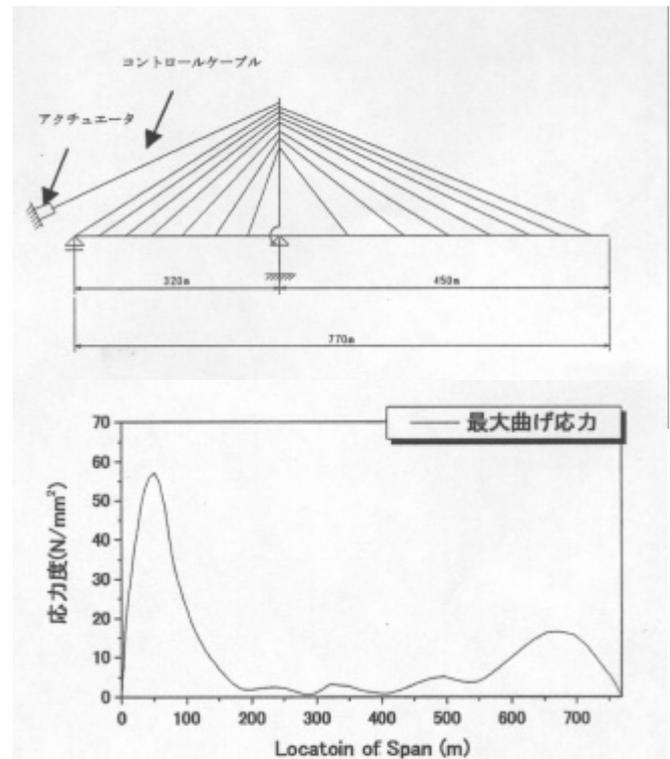


図2. スパン方向の応力分布

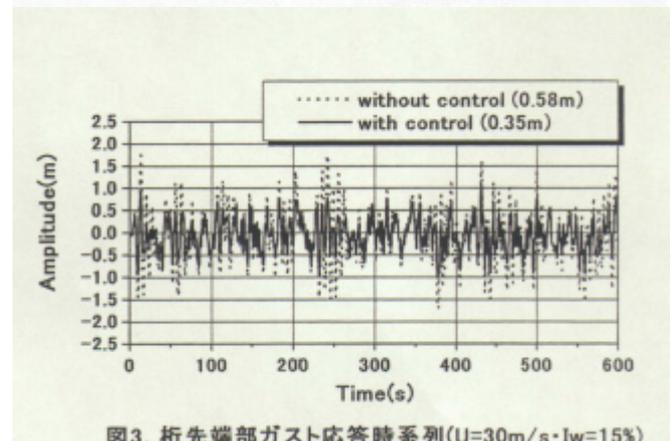


図3. 桁先端部ガスト応答時系列(U=30m/s・Iw=15%)

ットする方法である。

3. 解析結果 図3にガスト応答の時系列を示す。点線は非制御時，実線は case1 の制御時である。応答の R.M.S 値は応答低減率が 60% となった。その時の制御力を図4(a)に示す。制御力の R.M.S 値は 83tf，ピーク値は 327tf となった。

case2 では制御力の絶対値が 200tf をこえた時点でフィードバックゲインを約 50%(応答低減率が 60% になるまで試行錯誤して決定) として，その時刻における制御力を決めていく。解析結果の制御力の時系列を図4(b)に示す。制御力の R.M.S 値，ピーク値ともやや減っている。

case3 では制御力が 250tf をこえた時，系に与える制御力を強制的に 250tf としている。この値は応答低減率が 60% になるように試行錯誤で決定した。この時の制御力の時系列を図4(c)に示す。制御力を上限値 250tf でカットしたため制御力の R.M.S 値は大きくなっている。

表1に各ケースの制御力と応答の R.M.S 値，ピーク値を示す。case1, 2 は制御力，応答ともに大差ない。しかし，case3 の制御力のピーク値は抑えられるものの R.M.S 値は大きい。応答のピーク値は case1, 2 に比べて大きい。これは，制御力のピーク値を小さく抑えたことによるものと推定される。

4. 風洞実験 上記のコントロールが実現できるかを， $S=1/250$ の 3次元弾性模型を使用した風洞実験により確認した。システムはパソコン，NI 社製のデジタルプロセッサ(LabVIEW) ，ボイスコイルモータからなる簡単な構成である。実験ケースは応答低減率 80% で行っている。実験結果の一例を図5に示す。R.M.S 値については実験結果と解析とほぼ同等である。MAX 値については，実験結果は解析値よりも小さい値が得られている。

5. 結論 アクティブテンドンコントロールのガスト応答に対する制振効果は有効であった。また，制御力を抑える工夫をした制御を試み，その有効性が確認できた。

【参考文献】 1) Hiroshi Kobayashi, Masao Hosomi, Kazuyoshi Koba: Tendon Control for Cable Stayed Bridge Vibration, First World Conference on Structural Control, 1994

2) 貝戸清之, 木場和義, 小林紘士: 斜張橋架設時における鉛直たわみガスト応答のパッシブ及びアクティブテンドンコントロール, 構造工学論文集, Vol. 44A, 1998.3

3) 振動制御小委員会: 振動制御コロキウム Part A, 1991

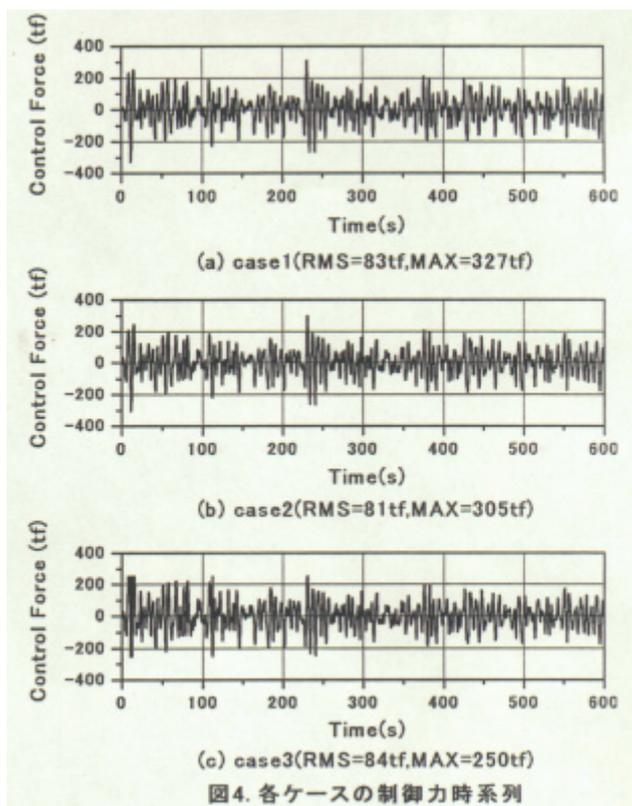


表1. 各ケースの制御力と制御効果

case No.	actuator power (tf)	control force (tf)		with control amplitude (m)		
		RMS	MAX	RMS	* MAX	MAX
1	unlimited	83	327	0.35	60	1.10
2	check (200tf)	81	305	0.35	60	1.11
3	limit (250tf)	84	250	0.35		1.23
				without control		0.58m 1.75m

* reduction factor (%)

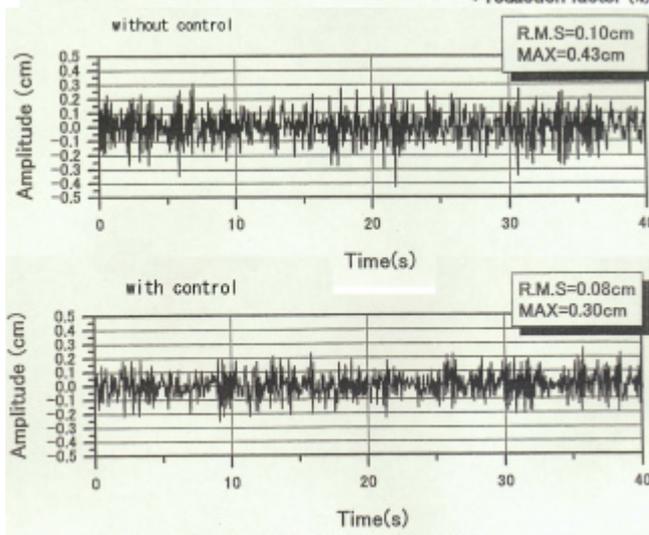


図5. 風洞実験による制振効果の確認