

I-445 連結ロープを用いたキャットウォークの制振メカニズムに関する基礎的研究

埼玉大学工学部 正員 山口宏樹 執行秀忠 竹平誠治
新日本製鐵 正員 北條哲男 正員 山崎伸介

1. はじめに 吊橋ケーブルの空中作業足場であるストームレスキャットウォーク(CW)の、作業者の歩行により生ずる振動に対して、2連のCWを連結するクロスロープ(CR)が制振対策として提案され、その効果が実験的に検討されている¹⁾³⁾。その基本的考え方は、クロスブリッジ間CWと同じサグを有するCRを用いることで、すべての振動次数に対してCRの固有振動数をCWのそれに同調し、CRのTMD的作用に期待するものである。本研究では、このCRの制振メカニズム解明を目的として、簡易模型実験および若干の理論解析による検討を行った。

2. 簡易模型による制振メカニズム確認実験 模型は図-1に示すように、CW、CR共にケーブル1本でモデル化し、CRをCWに直角に連結したものである。その諸元を表-1に示す。実験は、CW1の支点近傍を加振器によって水平調和加振し、CW1の水平変位とCRの鉛直変位の定常応答を非接触変位計にて測定した。

図-2に、CWの3次モードを対象とした加振実験結果を共振曲線図として示した。CWをCRで連結することによって、CW単独の共振ピークがかなり抑えられることが確認できる。これは、CWの共振振動数(7.7 Hz)近くで連結ロープの振動が大きくなっており、TMD的な制振効果と考えられるが、共振振動数が連結後もほとんど変わらないことに注意すべきである。実験において2本のCW模型の運動を注意深く観察したところ、この共振振動数付近では2本のCWが同位相で水平に3次モードで振動していることがわかった。このことは有限要素法による固有振動解析(図-3)によっても確認される。2本のCWが同位相で振動することから、連結したことによる固有振動への影響はほとんどなく、共振振動数が連結前後で変化しないが、CRがCWに共振し、CRの減衰によってCWの振動が抑えられるものと理解される。単純なTMDとはやや異なる制振メカニズムであると結論されよう。なお、7 Hz付近の連結ロープの大きな振動は、2本のCWケーブルが逆位相で共振する場合に相当し(図-3)、支点間距離の周期的な振動によって連結ロープが大きく振動したものである。ただし、このときのCWの振動は小さく、問題とならない。

実験では、より軽く減衰の小さいCR模型を用いた場合に、CRにより応答がかえって大きくなる例も認められた。TMDと同じくCRの設計には十分な注意を要する。

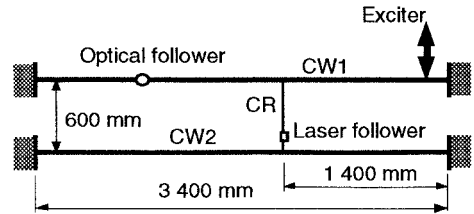


図-1 簡易模型実験

表-1 簡易模型の諸元

Cable & tie	Mass (g)	Span (m)	Sag (cm)	Sag ratio (%)
Catwalk CW1	600	3.40	5.0	1.5
	600	3.40	5.0	1.5
Cross rope CR	11.5	0.60	5.0	0.83

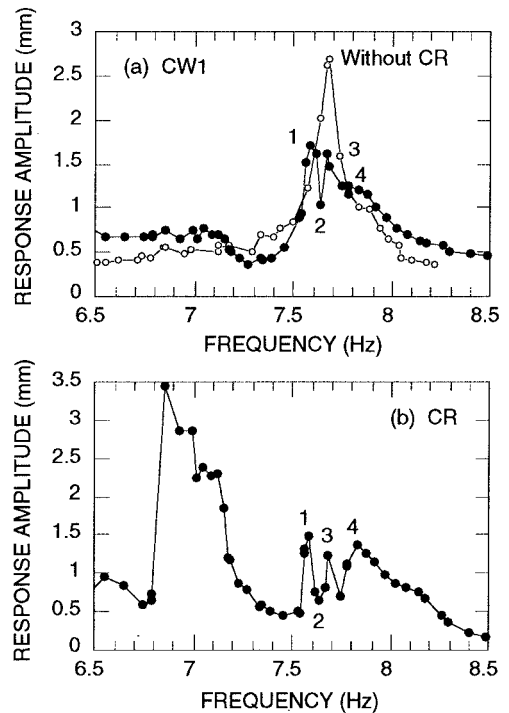


図-2 共振曲線 (a) CW1, (b) CR

3. 簡易解析による制振メカニズムの理論的検討 図-4に示すように、CWの3次振動を1自由度系でモデル化し、それをケーブル(CR)で連結した簡易解析モデルを考えた。CRについてはさらに、適切に選んだ形状関数を用いてGalerkin法により離散化している。この解析モデルに対し、上述の模型実験に対応させてCW, CRそれぞれにモード減衰を与え、強制振動解析を行った。図-5がその結果であり、CRの減衰比をパラメータとしてCW1の共振曲線を比較して示してある。まず、CRの減衰の実際値を用いて解析した結果（図-5の太実線）と図-2(a)の実験結果とを比較して明らかなように、簡易解析モデルによって実験での現象が十分に表し得ることがわかる。さらに、CRの減衰を1/2にした場合（点線）にはほとんど効果がないこと、2倍にした場合（実線）にはかなり制振効果が上がるなど、CRの制振効果に及ぼすCRの減衰性の影響、重要性が明らかになったと言える。

4. CR非線形振動の制振効果 図-2の実験結果において、共振振動数付近での応答曲線が乱れている。このときの連結ロープの振動は比較的大きく、単純な鉛直方向調和振動とはならず非線形的な挙動が認められた。つまり、図-6に示すように、CW1の応答振動数は加振振動数であるにも拘わらず、CRの応答振動数は幾何学的非線形性によって加振振動数の1/3になっている。しかも、CRが非線形挙動を示している場合にCW1の応答が小さく、制振効果が上がっているように思える（図-6での番号1, 2, 3, 4は図-2の共振曲線でのそれに対応している）。

5. まとめ 2連のCWをCRで連結した場合、新たなケーブルシステム特性によって制振できていると言える。なるべく大きな減衰性を有するCRを用いることが現実的に制振効果を高める方法と結論されるが、非線形振動による制御の可能性も今後の検討に十分値する。

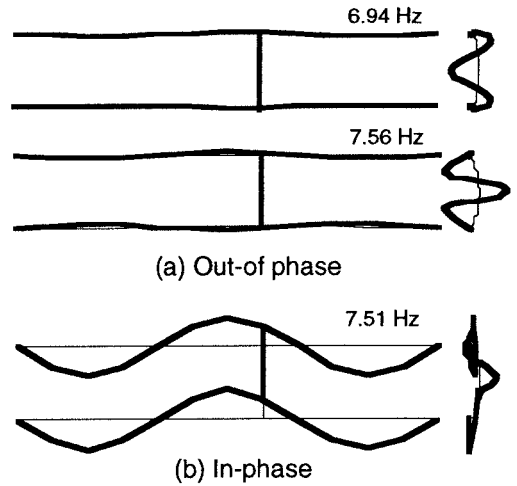


図-3 有限要素解析による振動モード（3次）

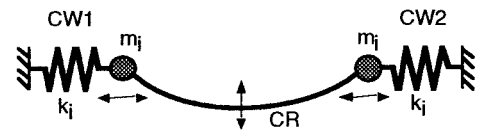


図-4 簡易解析モデル

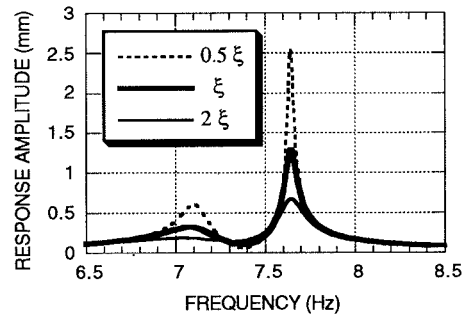


図-5 制振効果に及ぼすCRの減衰の影響

参考文献 1) 北條・山崎：ストームレスキャットウオーク構造の振動対策に関する検討，土木学会49回年講，pp.1214-1215, 1994. 2) 北條・山崎・山口：ストームレスキャットウオーク構造の振動対策に関する実験的研究，構造工学論文集，41A, pp.763-770, 1995. 3) Yamaguchi, H.: Passive Damping Control in Cable Systems, EASEC5, Gold Coast, July 1995.

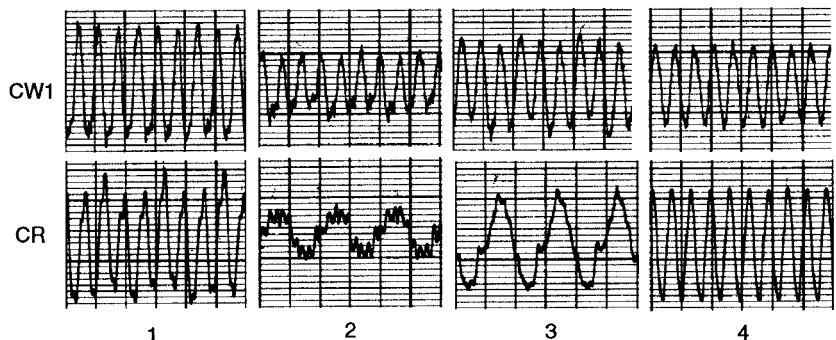


図-6 CRに見られた非線形振動応答