

新日本製鐵(株) 正員 北條哲男

新日本製鐵(株) 正員 山崎伸介

1. はじめに 吊橋ケーブル架設に用いる吊り足場(キャットウォーク:以降CW)について、ストームロープを省略した場合の、主に人の歩行による振動対策に関する検討を行った。制振方法としては、経済性、施工性等を考慮して、二連のCWをロープで相互に連結する連結ロープ方式を考案し、その制振特性について模型実験から考察を加えた。
2. 実験方法 本研究においてはCW振動がクロスブリッジを節とし、その間で発生するという事実に基づき、この間の部分模型にて実験を行った。スパン1000m級の実橋を想定してクロスブリッジ間を160mとし、模型は縮尺1/10として相似則に従って各諸元を算出した。模型諸元を表-1に示す。連結ロープによる制振方法の特徴は、ある程度の重量を持ったロープを、CWクロスブリッジ間と同程度のサグを有するように、また一方のCWで発生した振動が他方のCWに伝播し振動する際に、相互の振動モードを相殺させることを狙って、橋軸直角方向に対してある程度の角度をもって設置させる点にある。連結ロープ取り付け一般図および写真を図-1に示す。実験はまずCW模型の常時微動を測定し、水平・鉛直・ねじれ方向の固有振動数を算出した。次に人の歩行により発生する振動は実橋で1.5~2.3Hz¹⁾と想定し、模型での対象振動数を4.7~7.3Hzとして、連結ロープの有無によるこの振動数領域(4次~7次)における振動モードの自由減衰試験を行い、その対数減衰率を算出して連結ロープによる制振性の効果を見た。また比較のため、連結ロープは3種類用意し、同時に、CW水平方向5次モードの固有振動数に調律した板バネ式TMDをCW中央に設置したものについても同様にして実験を行った(表-2)。
3. 実験結果 表-3に自由減衰振動測定における加振モードおよびその対数減衰率の測定結果を示す。また図-2に無対策とチェーン2を設置したものの水平5次モードの自由減衰振動波形を示す。これらの結果より連結ロープの設置により減衰性の向上が認められ、特に水平方向についてはその効果が大きいことが判る。また複数のモードについて減衰が向上していることから、本制振方法は、1つのモードだけでなく数種のモードに対する制振に効果があり、振動領域に幅を持つようなケーブル系の制振対策に有効であると考えられる。
4. 考察 実験を観察した結果、サグを持った連結ロープを取り付けることにより、片方のCWで発生した振動が他方のCWに伝播してはいくが、連結ロープの大きな振動、つまりそれ自身のサグの変動によりかなりの振動エネルギーを吸収している様子が判り、連結することにより一種のTMD的な役割を果たしていると考えられる。実際、連結ロープのサグをCWのサグと一致させることにより、両者の固有振動数を高次の多数モードについて等しくさせることができ、CWの振動に対して連結ロープを常に共振させることができる。これについて、表-4に連結ロープ(チェーン2)の水平方向の固有振動数測定結果と弦理論で求めたものを示し、図-3に水平方向5次モードにおける無対策時とTMD、チェーン2設置時の常時微動スペクトルを示す。これらより連結ロープの固有振動数はCWの固有振動数とかなり一致しており、また常時微動の測定スペクトルがTMDを設置した場合と同様な傾向を示していることから推定できる。
5. まとめ 本実験により以下のことが明らかとなった。
 - ① CWクロスブリッジ間と同程度のサグをもった連結ロープを取り付けることにより、ストームレスCWの水平・ねじれ振動に対して制振効果のあることを確認した。
 - ② 連結ロープは数種のモードに対して効果を発揮する、一種のTMDとして働いていると考えられる。また、今後の課題としては、理論的な裏付けのもとに制振メカニズムを解明した上で連結ロープの取り付け位置、本数および最適なロープ特性の抽出、設計法の提案が挙げられる。

最後に、実験結果をまとめるにあたって助言をいただいた山口弘樹埼玉大学教授に謝意を表します。

参考文献 1) 立体横断施設技術基準・同解説（小堀・梶川）

表-1 CW模型諸元 (S=1/10)

縮尺率	突 構	模 型
キャットウォーク支間長 (m)	S	16.0
キャットウォーク間隔 (m)	S	2.7
キャットウォークロープ構成 (EA)	S ²	φ4.2 (123264ton) 構造用スチールロープ
トラムウェイサポートロープ (EA)	S ²	φ47.5 (15680ton) INRC
ハンドロープ構成 (EA) 上 段	S ²	φ2.0 (2925ton) φ0.40 (2.513ton) 7/7線
ハンドロープ構成 (EA) 中・下 段	S ²	φ1.6 (1875ton) φ0.35 (1.924ton) 7/7線
CWサグ (m) ※	S	1.907
模型重量 (kgf/m) ※	S ²	235.5
水平張力 (tonf) ※	S ²	395.3
対象振動数 (Hz)	1/√S	1.5~2.3

※ トラムウェイサポートロープを入れた重量

表-2 連結ロープ諸元 CW全重量 (36.765kgf)

	連結ロープ1 (チェーン1)	連結ロープ2 (チェーン2)	連結ロープ3 (7/7線)	TMD ※※
サグ (mm)	215	215	約200	
分布質量 (kgf/cm)	3.31×10^{-4}	6.29×10^{-4}	1.82×10^{-4}	0.266kgf
重量比	0.0061	0.0116	0.003	0.0072
ロープ減衰 ※※	水平0.0207 鉛直0.0100	0.0275 0.0158	0.0328 0.0335	0.2160

※ ロープ類は水平・鉛直方向について、1次モードの初期形状となるように手で持ち上げて測定した。
※※CW水平5次モードに対し振動数比1.00で調律

表-3 キャットウォーク加振モードおよび対数減衰率(δ)

連結ロープ種類	水平		鉛直		ねじり	
	MODE	δ	MODE	δ	MODE	δ
連結ロープ設置前	4次 (5.13)	0.0036	5次 (5.63)	0.0036	5次 (6.08)	0.0048
	5次 (6.10)	0.0045	6次 (6.65)	0.0035	6次 (7.15)	0.0045
	6次 (7.15)	0.0030	7次 (7.55)	0.0042	7次 (8.20)	0.0043
チェーン1	4次 (5.10)	0.0128	5次 (5.60)	0.0079	5次 (6.05)	0.0095
	5次 (6.03)	0.0107	6次 (6.55)	0.0044	6次 (7.13)	0.0107
	6次 (7.13)	0.0136	7次 (7.55)	0.0052	7次 (8.10)	0.0271
チェーン2	4次 (5.08)	0.0075	5次 (5.55)	0.0062	5次 (6.10)	0.0138
	5次 (5.88)	0.0289	6次 (6.65)	0.0108	6次 (7.05)	0.0119
	6次 (7.10)	0.0107	7次 (7.43)	0.0096	7次 (8.13)	0.0072
ピアノ線	4次 (5.13)	0.0067	5次 (5.65)	0.0039	5次 (6.58)	0.0058
	5次 (6.10)	0.0188	6次 (6.65)	0.0116	6次 (7.15)	0.0082
	6次 (7.15)	0.0101	7次 (7.55)	0.0045	7次 (8.15)	0.0043
TMD	4次 (5.10)	0.0118				
	5次 (5.88)	0.0202				
	6次 (7.13)	0.0048				

表-4 連結ロープの固有振動数

	4次	5次	6次	7次
弦理論	4.95	6.19	7.43	8.67
チェーン2	4.75	6.00	7.35	8.78

(水平方向)

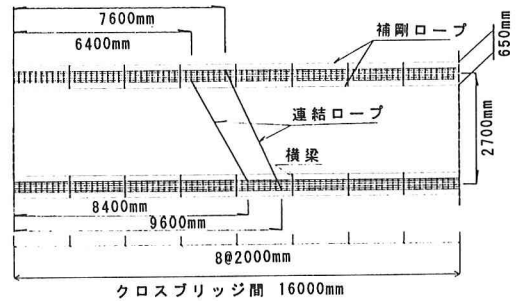


図-1 連結ロープ取り付け一般図および写真

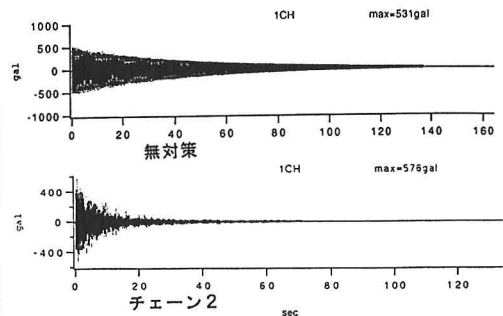


図-2 水平5次モード自由減衰波形

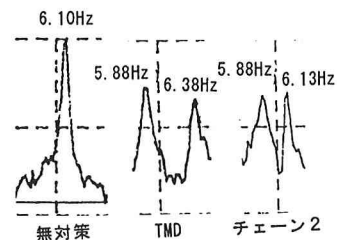


図-3 水平5次モード常時微動スペクトル