

振動実験による CFCC の減衰特性の評価とダンパーによる制振対策の検討

大成建設 正会員○中川康治

首都大学東京 正会員 中村一史*・フェロー 前田研一

浙江大学 張 治 成・謝 旭

東京製綱 正会員 榎本 剛・牛島健一

1. はじめに

炭素繊維複合材ケーブル(CFCC : Carbon Fiber Composite Cable)¹⁾は、従来の鋼製ケーブルに比べて、耐食性に優れ、高強度かつ軽量で、自重を大幅に低減できるといった特徴を有している。近年、耐食性に優れた CFCC の特徴を活かし、比較的小規模ではあるが、塩害に対する防錆対策として、PC 桁橋の外ケーブルや PC 斜ケーブルなどへ適用され始めている。一方、ケーブルの軽量化によって、レインパイブレーションやウェイクギャロッピングと呼ばれるケーブル自身の有害な振動の発生が懸念され、減衰を含めた振動特性やその対策について検討しておく必要がある。本研究では基礎的な研究として、素線の減衰自由振動実験²⁾により、CFCC の減衰特性を評価するとともに、ダンパーによる制振対策を確認した。

2. 実験方法

振動実験で使用した 2 種類のケーブル素線(CFCC、鋼素線)の材料特性を表-1 に示す。素線に張力(T=1.0kN)を導入するため、両端には鋼製スリーブを配置し、膨張剤を充填することで素線を固定した。素線の長さは、4,900mm(両端定着部における口元間の距離)とした。ダンパー設置後の振動実験のセットアップ図を図-1 に示す。まず、片側の鋼製スリーブを、ロードセルを備えた上部定着盤にボルトで固定した。さらに、その下端の鋼製スリーブを、反力床に定着された H 形鋼にボルトで固定した。素線の張力は、下端の鋼製スリーブで調整し、その値は、上部定着盤に設置したロードセルで計測した。また、素線に対して面内(Z)方向、面外(Y)方向の変位を、レーザー変位計を用いて計測した。加振点は、振動における最大変位が生じる中心点とし、面内(Z)方向に強制変位を与えて解放することにより減衰自由振動させた。

ダンパーは、シリコンオイルで満たされたプラスチック容器にアルミニウム合金製の抵抗板を挿入した、粘性せん断型ダンパーの縮小模型とした。抵抗板の形状は、図-2 に示すような 10 種類、シリコンオイルは、動粘性度 500, 3000, 10⁴, 10⁵(mm²/s)の 4 種類をパラメータとした。なお、シリコンオイルは、温度依存性があるため、実験中は 20℃になるように設定した。ダンパーの設置位置は、ケーブル全長の 3%とし、下端の鋼スリーブ口元部から 147 mm の位置とし、サンプリング間隔は、CFCC 素線で 1/2000 sec、鋼素線で 1/500 sec とした。なお、面内方向の減衰特性を主に評価するが、CFCC については、面外方向へも加振して面外方向の減衰効果も検討した。

3. 実験結果と考察

実験で得られた減衰自由振動波形の一例として、ダンパーなし

表-1 ケーブル素線の材料特性

素線の種類	弾性係数 E(GPa)	引張強度 σt(MPa)	単位重量 w(g/m)	直径 φ(mm)	断面積 A(mm ²)
CFCC	152	2980	29.9	5.00	15.2
鋼素線	204	1999	163.8	5.00	20.9

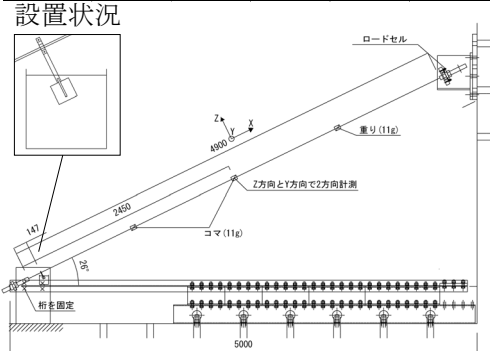


図-1 セットアップ図

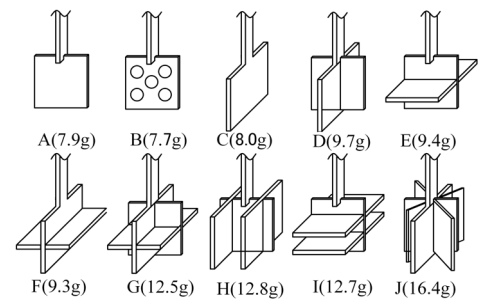


図-2 ダンパーの形状

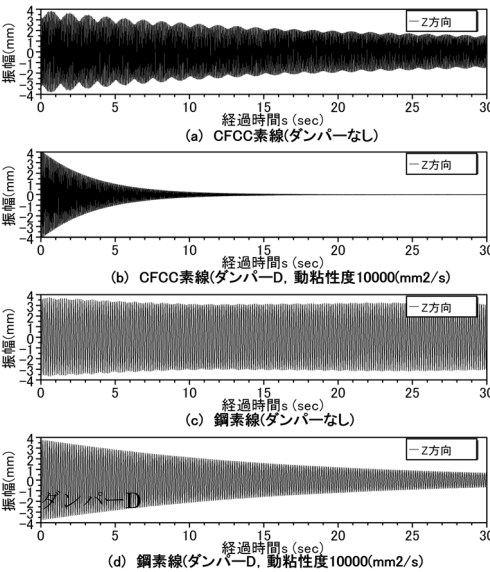


図-3 減衰自由振動波形の一例

key words : CFCC, 対数減衰率, 振幅依存性, 減衰効果, 過減衰
連絡先* : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 042-677-1111 (内)4564, FAX. 042-677-2772

のケースとダンパーDにおける動粘性度 10^4 (mm²/s)のケースを図-3に示す。ダンパーなしの場合、面内と面外の連成にともなううなりのような挙動が両者に見られるが、ダンパーを設置した場合、連成振動はほとんど見られなかった。

実験結果の一部として、ダンパーDにおける変位振幅Zと対数減衰率の関係を図-4、図-5に示す。また、図-4、図-5から近似直線を算出し、変位振幅がゼロとなる点をその収束値とする。ダンパーを設置した場合の対数減衰率 δ の収束値に対するダンパーなしの対数減衰率 δ_0 の比を表-2、表-3に示す。動粘性度が高くなるにつれてCFCCと鋼素線の両者とも面内方向の対数減衰率が高くなる傾向を示す。CFCCの対数減衰率は、鋼素線より高く、動粘性度が 10^4 までの場合、CFCCと鋼素線と比べると、 δ/δ_0 はほとんど変わらない。しかし、動粘性度を 10^4 から 10^5 にした場合、CFCCの δ/δ_0 は、鋼素線と比較して小さい。これは、CFCCが軽量であるため、鋼素線に比べてCFCCの方が、動粘性度が低い状態で過減衰となり、固定支点の状態に近づくためと考えられる。

面内方向と面外方向のCFCCにおける動粘性度と対数減衰率の収束値の関係を図-6、図-7に示す。図-6より、面内方向の対数減衰率は、動粘性度が 10^4 までは線形関係で対数減衰率が増加していることが解る。また、動粘性度が 10^4 から 10^5 の間は線形関係にならない。これは過減衰の影響によるもので、最適な減衰効果が得られる動粘性度は 10^4 から 10^5 の間にあると推測された。また、面外方向の対数減衰率は、3000以上の動粘性度で過減衰になると考えられる。

ダンパーの抵抗板の形状について着目すると、図-6、図-7より抵抗板の面を増やした方が、粘性体中のせん断抵抗が増えるため、対数減衰率が高くなる傾向を示す。次に、全体的に減衰効果の高いダンパーH、I、Jについて比較してみる。ダンパーHとJはダンパー軸方向に抵抗板を多く配置しており、ダンパーIは、ダンパー軸直角方向に抵抗板を多く配置している。両者を比較すると、ダンパーHとJの方がダンパーIと比較して、面内方向の場合、 10^5 で最も減衰効果があり、また、面外の場合、500で最も減衰効果がある。このように、面内方向と面外方向では、最適な動粘性度範囲が異なっていることに留意する必要があるといえた

4. まとめ

CFCCの減衰自由振動時における減衰特性とダンパー設置による減衰効果を明らかにすることを目的として、鋼素線と対比しながら実験的に検証した。その結果、軽量化によって有害な振動の発生が懸念されたが、CFCCは鋼素線よりも小規模なダンパーにより、ケーブル振動を抑えられるということが確かめられた。一方、ダンパーの抵抗板の形状は、ダンパーHやJのように、ダンパー軸方向に抵抗板を配置する形状の方が効果的といえた。さらに、最適な減衰効果を得られる粘性体の動粘性度については、面内方向と面外方向では異なるため、2方向の減衰特性を考慮する必要があるといえた。

参考文献

1)東京製綱株式会社：CFCC 技術資料，1989.4
2)中村一史，中川康治，田島 遼，前田研一，張治成，謝 旭，榎本 剛，牛島健一：炭素繊維複合材ケーブルの減衰自由振動特性に関する基礎的研究，土木学会，構造工学論文集，Vol.58A，2012.3(印刷中)

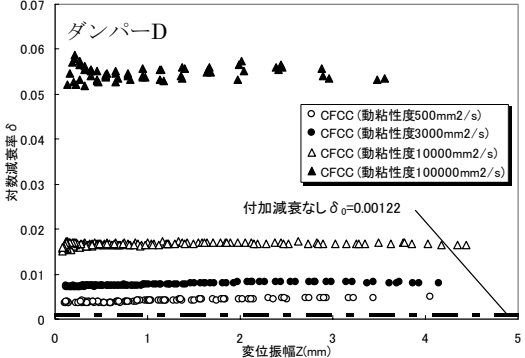


図-4 変位振幅Zと対数減衰率(CFCC)

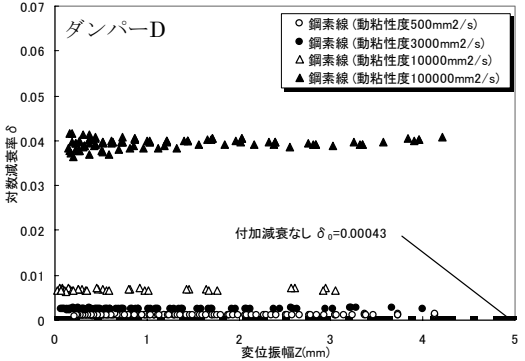


図-5 変位振幅Zと対数減衰率(鋼素線)

表-2 δ/δ_0 の比(CFCC, $\delta_0=0.00122$)

動粘性度(mm ² /s)	A	B	C	D	E	F	G
500	2.9	2.9	2.3	2.9	3.1	3.1	4.1
3000	7.9	6.7	6.4	5.9	8.0	9.0	13.0
10000	13.7	23.7	11.4	13.5	23.2	23.8	30.0
100000	39.9	38.9	44.6	44.8	50.5	49.8	50.0

表-3 δ/δ_0 の比(鋼素線, $\delta_0=0.00043$)

動粘性度(mm ² /s)	A	B	C	D	E	F	G
500	2.3	2.1	1.8	2.4	2.2	2.5	2.9
3000	6.1	7.1	5.4	5.7	6.5	7.6	10.3
10000	16.0	20.0	15.4	15.7	22.2	22.3	26.8
100000	69.3	87.0	75.6	91.1	103.8	123.2	135.6

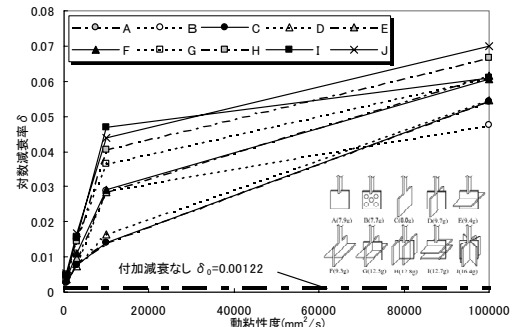


図-6 動粘性度と対数減衰率 (CFCC, 面内方向)

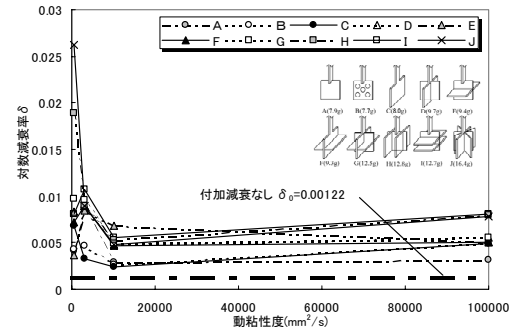


図-7 動粘性度と対数減衰率 (CFCC, 面外方向)