CFCC の減衰自由振動特性とダンパーによる減衰効果に関する基礎的検討

首都大学東京大学院 学生員〇中川康治 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 田島 遼 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と比べて、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特徴を有している。近年、比較的小規模な橋梁ではあるが、耐食性に優れたCFCCの特徴を活かし、塩害に対する防錆対策として、PC桁橋の外ケーブルやPC斜張橋の斜ケーブルなどへ適用されはじめている。一方、ケーブルの軽量化にともなって、風などによる振動が発生しやすくなることから、減衰を含めた振動特性やその対策についても検討しておく必要がある。本研究ではCFCCの振動実験結果²⁾を踏まえ、鋼製ケーブルと対比しながら、CFCCの基本的な減衰特性と付加減衰を与えたときの減衰振動の効果を明らかにすることを目的とし、過去の実験²⁾で求められた対数減衰率を用いた時刻歴応答解析により、減衰効果を比較した。

2. ケーブルの材料特性

対比する CFCC と鋼製ケーブルの材料特性を表-1 に示す. CFCC は炭素繊維をより合わせたより線状の CFRP である. CFCC との比較のために,通常の鋼素線も対象とした. CFCC は鋼素線と比べて弾性係数は若干低くなり158GPa となるものの,重量は約 1/5,強度は 1.5 倍,有効断面積は 3/4 程度となっている.

3. 解析条件と減衰の評価方法

最初に、CFCC の基本的な減衰を明らかにするための解析モデルについては、ケーブル単独で図-1 に示す以前の実験条件と同様になるようなモデルを作成した. 以前行った減衰自由振動実験で求めた対数減衰率の収束値を表-2 に示す. これを用いて、D点でケーブル軸直角方向(Z方向)に強制変位を与えた場合の動的応答解析を行い、基本的な減衰自由振動特性について再現することを試みた. 解析条件は、モード法に基づいた非線形時刻歴応答解析で、解析パラメーターは、導入軸力 Tが 1.0、1.6、2.2 kN とした. また、時間ステップ、ケーブルの節点数、要素数、減衰手法はそれぞれ 0.001sec、101 点、100 要素、モード減衰とした. 次に、算出した減衰波形の評価方法は、FFT 解析により固有振動数を特定し、バンドパスフィルタにより特定の固有振動数波形を抽出し、他のモードの波形を消去して、単一モードの波形を取り出す. 次に、ヒルベルト変換によ

表-1 ケーブルの材料特性

素線の種類	E(GPa)	w(g/m)	D(mm)	A(mm²)	σ_{t} (MPa)
CFCC	158	29.2	5.0		2980
鋼素線	200	150.8	5.0	15.2 19.6	2192
到糸湫	200	100.6	5.0	19.0	2192
9727	1723 D A	///	725	重り(11g)	
000					0.00
100		****			- 8 0 0 0
× × × ×		+ 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0	• • • • • •	9 10000

図-1 振動実験のセットアップ図

万力で桁を固定

表-2 対数減衰率の収束値

モード	CFCC			錙素線			
次数	1.0kN	1.6kN	2.2kN	1.0kN	1.6kN	2.2kN	
1	0.001220	0.001003	0.000974	0.000430	0.000307	0.000343	
2	0.000893	0.000796	0.000715	0.000347	0.000280	0.000262	
3	0.000766	0.000682	0.000637	0.000323	0.000263	0.000257	

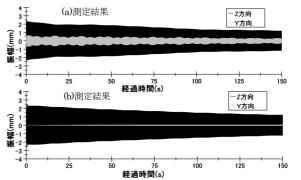


図-2 鋼素線 (T=1.0kN) の減衰自由振動の波形

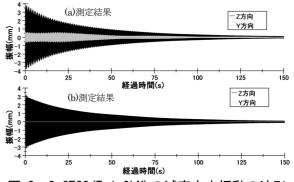


図-3 3 CFCC (T=1.0kN) の減衰自由振動の波形

Key Words: CFCC, 鋼素線, 対数減衰率, ダンパー, 減衰係数

連絡先*: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 0426-77-1111 FAX. 0426-77-2772

り、振幅波形の包絡線(エンベロープ)を算出する. 算 出した包絡線と実験で得られた包絡線を対比させて比 較する.

次に、ケーブル端部から 98mm の地点(ケーブル全長に対して 1/50 点)に、付加減衰を与えるため、解析モデルにダンパーを設置した。さらに、B 点において Z 方向に初期変位を与えて減衰自由振動解析を行った。この時、ダンパーの減衰係数 C_d をパラメーターとし、 C_d =2、4,6,8,10 N として比較を行った。

4. 解析結果と考察

実験と解析で求められた減衰自由振動波形の一例を、 鋼素線と CFCC について、図-2、図-3 にそれぞれ示す. 実験で測定された波形は、楕円振動による Y 方向に振幅があるのに対して、解析で算出された波形は、Y 方向の振幅がほとんどなく、楕円振動を生じない波形であることが解る。また、CFCC (T=1.0kN) について、実験と解析から算定された包絡線を比較したものを図-4 に示す。1 次モードで振幅が大きい時に、差異が見られるものの、実験値と解析値は良い一致を示すことが解る。

次に、ダンパーによる包絡線の変化を CFCC と鋼素線について図-5、図-6 にそれぞれ示す。ダンパーを設置した減衰自由振動波形は、1次モードが支配的であることから、分離を行わずに包絡線を抽出した。図より、両者ともダンパーの設置により、減衰係数の大きさに比例して、早く収束することが解る。

図-7 に、ダンパーの減衰係数と減衰自由振動波形から得られた対数減衰率の関係を示す。ダンパーの減衰係数と対数減衰率は、比例関係となり、CFCCの方が鋼素線よりも減衰性能が高く、鋼素線に対する CFCCの対数減衰率は、約2.5 倍程度であることが解った。

5. まとめ

以上のことから、CFCC および鋼素線の基本的な対数 減衰率を、高次モードを含む減衰自由振動波形から算出 し、それらを用いた解析モデルで時刻歴応答解析を実施 した。その結果、実用上十分な精度で、解析的に高次の 減衰自由振動波形を再現できることが確かめられた。

次に、CFCCの振動しやすいといった課題を解決するために、ダンパーの設置による減衰効果について、付加減衰を与え、解析的に検討した結果、CFCCは鋼素線に比べて、大きな対数減衰率が得られた.したがって、鋼ケーブルよりも小さなダンパーで CFCC の振動制御ができると考えられる.今後は、これらの減衰効果を実験的に検証する予定である.

参考文献

- 1) 東京製綱株式会社: CFCC 技術資料, 1989.4
- 2) 中川康治,中村一史,前田研一,張治成,田島 遼: CFCC の高次モードを考慮した減衰自由振動特性に関する実験的研究,土木学会,第65回年次学術講演会,I-505,pp.1009-1010,2010.9

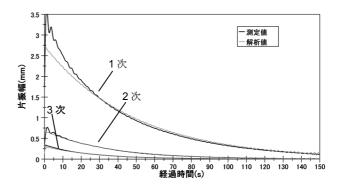


図-4 CFCC における減衰自由振動波形の包絡線の 比較 (T=1.0kN)

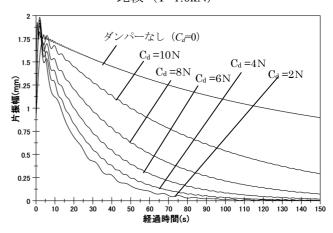


図-5 ダンパーによる包絡線の変化(鋼素線, T=1.0kN)

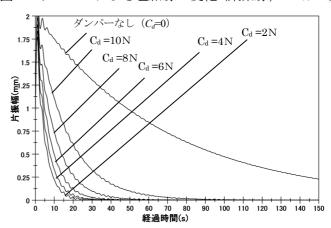


図-6 ダンパーによる包絡線の変化(CFCC, T=1.0kN)

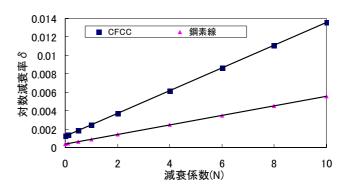


図-7 ダンパーの減衰係数と対数減衰率の関係