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



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-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