

CFCC で支持された片持ちはり構造の減衰自由振動特性に関する基礎的検討

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\*・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

炭素繊維複合材料ケーブル (CFCC: Carbon Fiber Composite Cable) <sup>1)</sup>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ます。一方、ケーブルの軽量化は、風雨や走行荷重による振動が発生しやすくなることが懸念されるため、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。そこで本研究では、基礎的な検討結果 <sup>2)</sup>を踏まえ、斜張橋を部分的に簡便にモデル化した模型を対象に、斜ケーブルに CFCC と鋼の素線を適用した場合について比較検討を行なった。特に、桁とケーブルの動的な相互作用に着目することとし、両者の振動数が近接するケースについて実験的な検討を行なった。

2. 実験方法

振動実験のセットアップの状況を図-1 に示す。長さ 4,900mm のケーブルを片持ち形式の H 形鋼桁 (250×125×9×6) の桁端部に定着した構造系を検討対象とした。本研究では、桁とケーブルの動的な相互作用を検討するために、ケーブルと構造全体系の一次モードの固有振動数を近接させることによる連成振動を検討することとし、ケーブル張力 T と桁の張り出し長 L をパラメータとした。表-1, 2 に、実験で用いたケーブルと桁の材料特性値を示す。CFCC と比較するために、平行線ケーブルで用いられる鋼素線 (PGW) も検討対象とし、直径 5.0mm のものを選定した。振動実験では、桁端部の直下に設置した振器 (加振能力: 49N) をナイロン糸とターンバックルで桁と接続して、構造全体系の一次モードの固有振動数と同じ振動数で加振した。振幅が定常状態となった際に、ナイロン糸を切断することで減衰自由振動させ、その時刻歴波形を計測した。計測点は、ケーブル中央部と桁端部の 2ヶ所であり、図-1 に示したように、各部材軸に対して面内、面外方向の変位あるいは加速度を計測した。検討した実験ケースを表-3 に示す。なお、PGW では、桁端部付近に重錘 (鋼板) を載荷して両者の固有振動数が近接するように調整した。さらに、桁とケーブルのみの減衰特性を把握するために、桁の張り出し長 L、ケーブル張力 T をパラメータとした減衰自由振動実験も実施した。

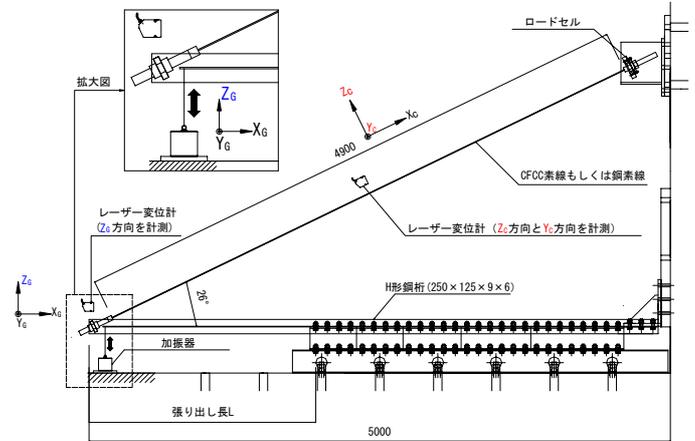


図-1 セットアップ状況

表-1 ケーブルの断面諸元

素線の種類	弾性係数 E (GPa)	単位質量 w (g/m)	直径 D (mm)	有効断面積 A (mm <sup>2</sup> )	引張強度 σ <sub>t</sub> (MPa)
CFCC	158	29.2	5.0	15.2	2,980
PGW (鋼)	200	150.8	5.0	19.6	2,129

表-2 H 形鋼桁の断面諸元

部位	弾性係数 E (GPa)	単位体積重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	板厚 t (mm)	引張強度 σ <sub>t</sub> (MPa)	ポアソン比 ν
フランジ	206	77.6	8.53	451.5	0.28
ウェブ	210		5.94	479.5	0.27

表-3 実験ケース

実験ケース	CFCC	PGW①	PGW②
張力 T(kN)	1.0	1.0	3.5
張り出し長 L(mm)	1,950	3,950	1,950

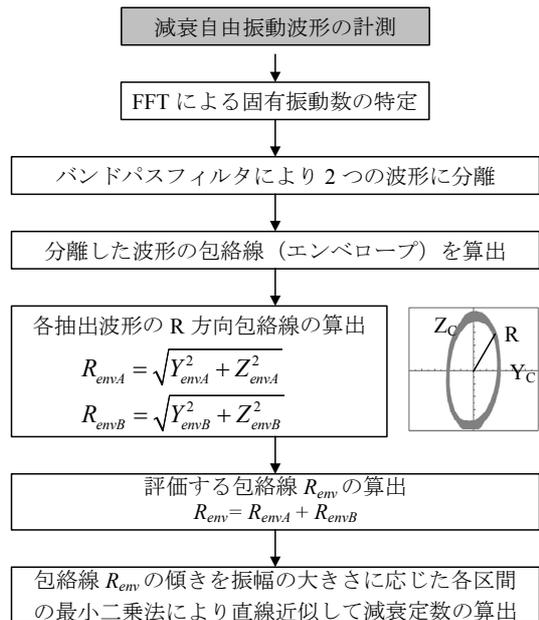


図-2 楕円振動とうなりを伴う波形の減衰の評価フロー

key words : CFCC, うなり, 連成振動, 対数減衰率, 振幅依存性

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

3. 楕円振動とうなりを伴う連成振動の減衰の評価

楕円振動とうなりを伴う連成振動の減衰の評価フローを図-2 に示す。ケーブルは楕円振動となったため、減衰を評価するには、座標原点（静止位置）からの距離 R を波形の振幅として包絡線を算出した。さらに、ケーブルの固有振動数と全体振動モードでの固有振動数が近接するため、図-3 のように波形にうなりが生じた。この波形のリニアスペクトルを図-4 に示す。図より 2 つのピークが生じていることが解る。図中のバンドパス領域 A はケーブルのみの振動数 (16.61Hz) 近傍の領域であり、バンドパス領域 B は構造全体の振動数 (17.19Hz) 近傍の領域を示している。この 2 つの領域で波形を分離して、図-2 の評価フローにしたがって減衰特性の検討を行なった。算出された波形の包絡線を図-5 に比較して示す。本手法により算出した包絡線は、波形の分離を行わずに算出した包絡線のピークを捉えていることからその有用性が確かめられた。

4. 実験結果と考察

実験結果の一部として、算出されたケーブルおよび桁の対数減衰率と変位振幅の関係を図-6, 7 に、全体構造系の固有振動数を併記してそれぞれ示す。両図には、3 つの実験ケースの対数減衰率に加えて、桁のみで行なった振動実験結果の下限値とケーブルのみで行なった振動実験の結果を併記している。まず、図-6 からは、CFCC の対数減衰率は PGW に比べ大きく、振幅依存性があることが解る。振幅が大きい領域では桁のみの対数減衰率に近く、時間の経過とともにケーブルのみの対数減衰率に近くなる傾向が見られた。これは、相対的に減衰の大きい桁が先に減衰し、ケーブルのみの影響が強くなったためと考えられる。また、図-7 からは、CFCC で支持された桁の減衰は桁のみの対数減衰率に近くなった。これに対して PGW の場合、張り出し長 L が短くなって、桁の剛性が高くなると、減衰も大きくなる傾向があり、両図を比較するとケーブルと桁の対数減衰率はほぼ同等であることが解った。さらに、PGW における両者の対数減衰率の値は、ケーブルのみの減衰に近くなる傾向にあることが解った。

5. まとめ

桁とケーブルの連成系の振動実験を行なった結果、ケーブルの楕円振動とうなりを伴う場合には、2 つの波形に分離して算出することで減衰特性を評価することができた。さらに、鋼製ケーブルの場合の減衰特性は、ケーブルのみの減衰特性が支配的であること、また、軽量の CFCC の場合、桁の減衰特性の影響を受けやすく桁のみの減衰特性に近くなることが確かめられた。

参考文献

1) 東京製綱株式会社：CFCC 技術資料，1989.4  
 田島 遼，中村一史，前田研一，張治成，謝 旭，榎本 剛，  
 牛島健一：減衰自由振動実験による CFCC の振動特性の検討，  
 土木学会，第 63 回年次学術講演会，I-576，pp.1151-1152，2008.9

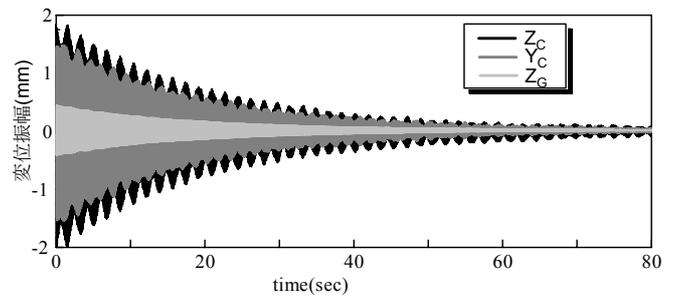


図-3 うなりを伴う減衰波形の一例 (CFCC)

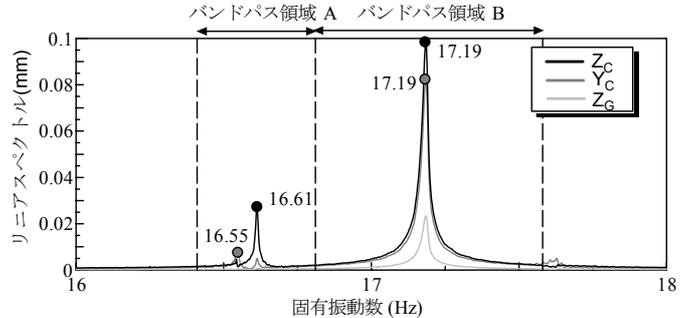


図-4 リニアスペクトルの一例 (CFCC)

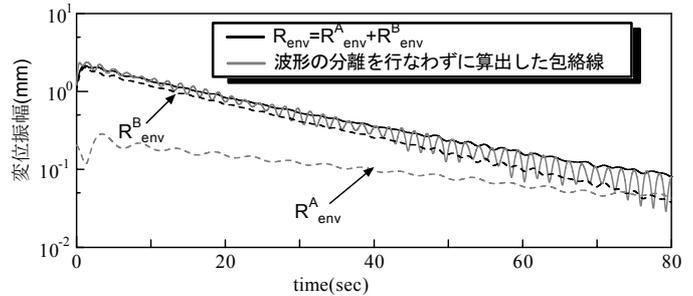


図-5 算出された包絡線の一例 (CFCC)

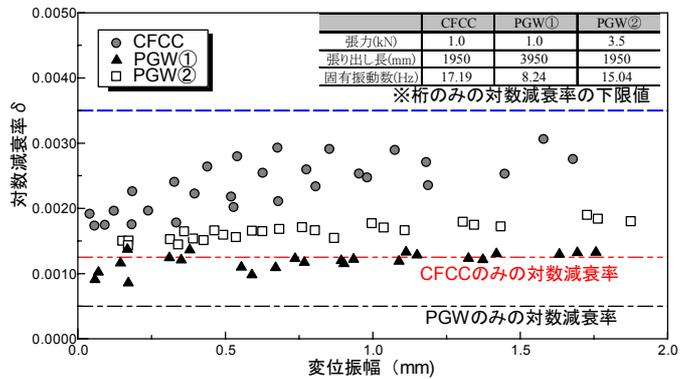


図-6 ケーブルの対数減衰率

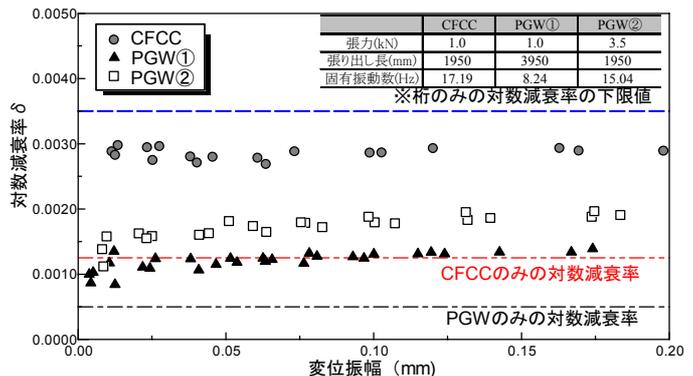


図-7 桁の対数減衰率