

緩衝材を不要とする斜材ケーブルの曲げ疲労性能に関する実験的検討

(株)エスイー 技術部 ○藺田 紘一郎
 (株)エスイー 技術部 正会員 木部 洋
 (株)エスイー 技術部 高橋 英彬

1. はじめに

斜張橋斜材ケーブルの風や、雨を伴う風による振動発生事例は多数報告されており、制振対策としてダンパーを設置することが一般的となってきた¹⁾。一方、活荷重等によってその斜材ケーブルに生じる2次曲げについては、とくに定着具付け根部での疲労損傷が懸念されており、塔桁の定着鋼管出口部に緩衝材を設置することがすでに一般的となっている²⁾。ダンパーはケーブル振動時にケーブルに生じるエネルギーを吸収することで制振機能を発揮するものであり、ケーブル振動時にはダンパー設置位置においてケーブルが自由に変位できるようにしておく必要がある。それに対して緩衝材は定着鋼管出口部において鋼管内面とケーブルとのすき間を埋める目的で設置され、定着具付け根部に生じる2次曲げを低減させるためにケーブル変位を鋼管出口部で拘束するものである。両者は機能上、ケーブル変位を必要とするか逆に拘束するかという点で完全に異なる。

近年、主に桁側で両者が近接して使用されるケースが増えてきている。この場合、ダンパーが必要とするケーブル変位を確保するために、ケーブルと緩衝材の間もしくは鋼管内面と緩衝材の間にすき間を設けることで対応する²⁾。このすき間を設ける際、施工誤差等によるケーブルと定着鋼管との偏心(芯ずれ)に配慮したすき間の調整作業や、PC斜張橋においてはクリープ・乾燥収縮によって竣工後も桁形状が変形するため供用後もすき間量の維持管理作業が必要となり、緩衝材が取り除かれることが望まれている。

本報では、緩衝材がない構造でも2次曲げに対して疲労性能上問題ないようなケーブルおよびその定着具構造について検討することを目的として実施した曲げ疲労実験について報告する。

2. 従来の斜材ケーブル構造

従来から用いられてきた斜材ケーブルの構造概要図を以下の図-1に示す。

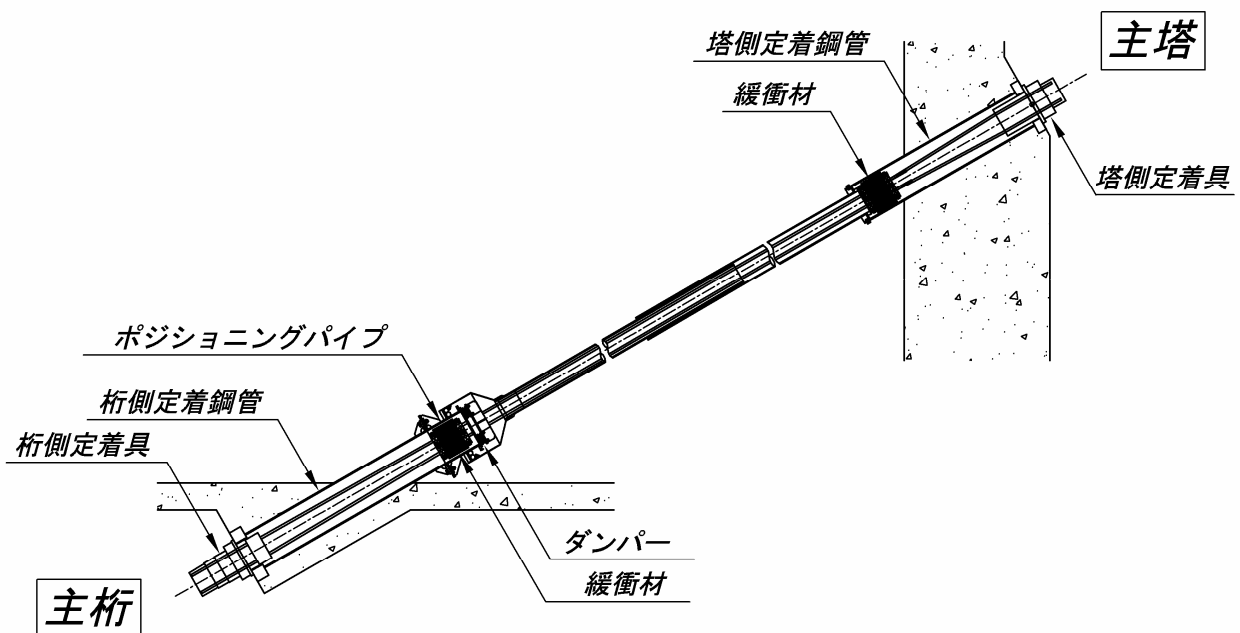


図-1 従来の斜材ケーブル構造概要図

斜材ケーブルは、斜張橋の塔桁定着部に定着される定着具とその間に張り渡されるケーブルおよび先に述べたダンパーや緩衝材で構成される。また、斜材ケーブルは、ケーブルと定着具を工場を組み立てる工場製作型ケーブル（プレファブケーブルとも呼ぶ）と、ケーブルが所定本数の防錆処理されたPC鋼より線で構成され、それらが現場で塔桁の定着具間に配線される現場組立型ケーブルとに分けられ、本報で報告する斜材ケーブルは、後者の現場組立型ケーブルに属するものである。

先に述べたように従来のケーブル構造では主塔・主桁の定着鋼管出口部に緩衝材が設置され、桁側定着鋼管先端では施工誤差等によりケーブルと鋼管に偏心が生じてもダンパー変位分のすき間が確保できるように偏心調整機能を設けたポジショニングパイプを設けている。

なお、従来の定着具構造では、このすき間分によって定着具まで伝達される2次曲げに対する曲げ疲労性能の確認実験が実施されている。

3. 定着具の改良概要

緩衝材を取り除いた際には定着具付け根部に2次曲げが集中する。今回、この2次曲げによって発生する曲げ応力を疲労性能上問題とならない応力まで小さくすることを目的として、定着具に内装される樹脂製ガイドスペーサの構造を改良した。改良した定着具概要図を以下の図-2に示す。

樹脂製ガイドスペーサとは、ケーブルを構成するPC鋼より線の本数分だけテーパ状の孔が設けられており、2次曲げによってそれぞれのPC鋼より線に生じる曲げ応力を最小限に抑えられるようガイドするものである。

PC鋼より線が2次曲げ応力によって曲げられた際に生じる曲げ応力は、そのPC鋼より線の曲げ半径に依存するものであり、曲げ半径が大きいほど曲げ応力を抑えることができる。

具体的な改良点は、ガイドスペーサの厚みを大きくし、その分曲げ半径を大きく、かつガイドスペーサで対応可能な曲げ角度を大きくした。

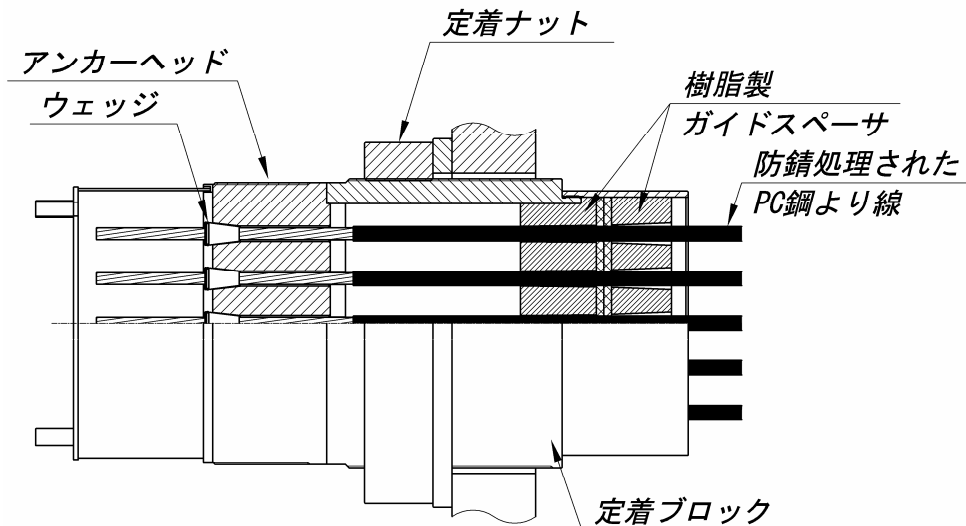


図-2 定着具概要図

4. 実験条件

上記で検討した定着具構造の妥当性を確認するために曲げ疲労実験を実施することとし、その実験条件を表-1に示す。

表中の静的曲げ角度は、定着具とケーブル軸とに設けた角度差であり、支圧板設置時の位置および角度に関する誤差を想定して 0.6° と仮定した。

繰り返し曲げ角度は、緩衝材がない状態で直接的に定着具付け根部に生じる曲げ角度であり、鋼斜張橋も考慮した最悪条件での活荷重によるケーブルたわみ角変化量を想定して $\pm 1.0^\circ$ と仮定した。

表-1 実験条件

項目	実験条件	備考
ケーブル張力	0.46P _u	海外指針 (PTI ³⁾ 等に規定される最大張力 0.45 P _u を引用し、張力導入時のばらつきを考慮して 0.46 P _u を採用した (P _u : 規格引張荷重)。
静的曲げ角度	0.6°	現場での支圧板の設置誤差等によって定着具付け根部に生じる曲げ角度。
繰り返し曲げ角度	±1.0°	鋼斜張橋において定着具付け根部に生じるケーブルたわみ角変化量。
繰り返し曲げ回数	200 万回以上	一般的な鋼材等の疲労実験での繰り返し回数を適用。
繰り返し周波数	0.3Hz	本実験に用いた実験装置の性能に依存。

5. 実験装置および供試体

曲げ疲労実験概要図を図-3に示す。また、実験装置および本実験の仕様を表-2に、供試体の仕様を表-3に示す。

供試体は、亜鉛めっきを施した PC 鋼より線にグリスを封入して PE 被覆したストランドを 19 本用いた SEEE/FUT-19H ケーブルとした。先に述べたとおり、定着具には各ストランドが挿入されるテーパ孔を設けた樹脂製ガイドスペーサを内装し、定着具付け根部で各ストランドに角折れが生じない構造とした。また、定着具はガイドスペーサを介してケーブル曲げ荷重をすべて負担することとなり、定着具自体の疲労損傷にも配慮して設計した。

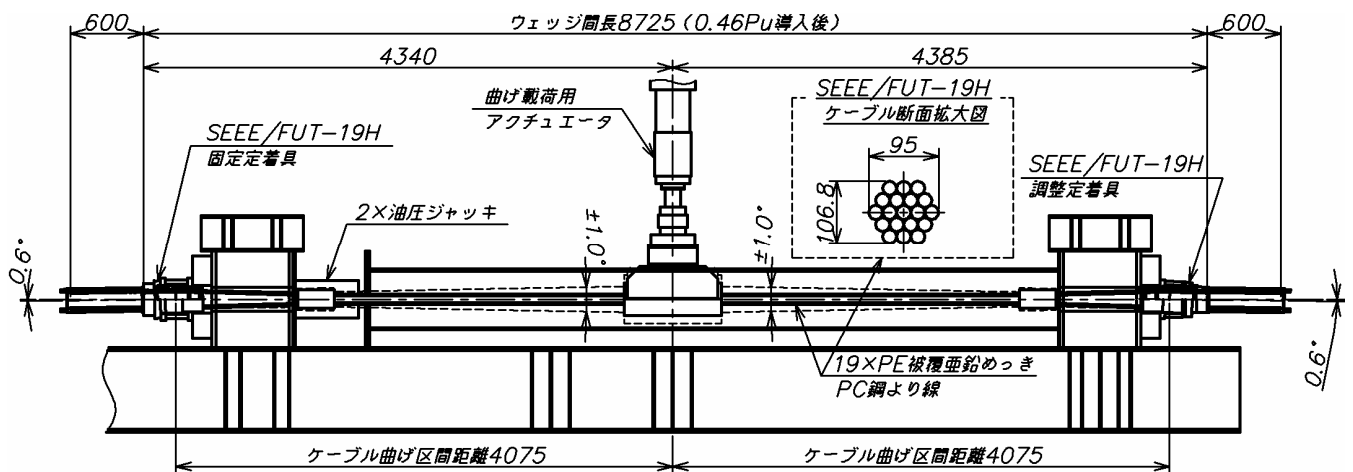


図-3 曲げ疲労実験概要図

表-2 実験装置および本実験の仕様

項目	装置仕様	実験仕様
最大軸力	3,000kN	2,281kN
最大動的曲げ荷重	±200kN	±80kN
最大変位	±125mm	±65mm

表-3 供試体の仕様

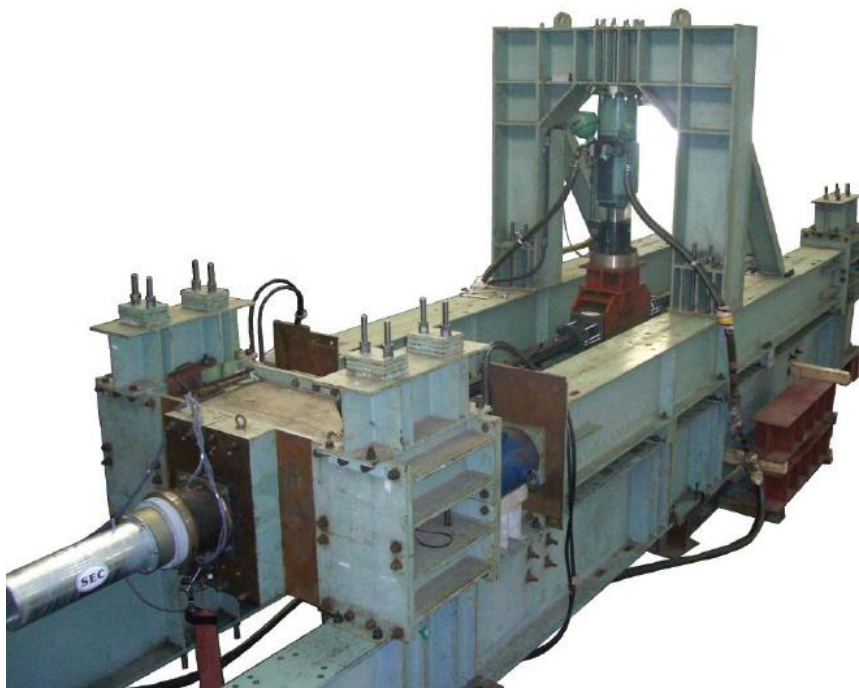
項目	仕様
ケーブルタイプ	SEEE/FUT-19H
使用鋼材	PE 被覆亜鉛めっき PC 鋼より線
規格引張荷重	19 本×261kN=4,959kN

6. 実験結果

（1）曲げ疲労実験結果

実験状況写真を写真－1に示す。曲げ角度は、両定着具と曲げ载荷用アクチュエータとの間でケーブルに設置した各2点の変位計の設置間隔と変位差から角度計算して確認することとし、アクチュエータ鉛直载荷量±65mmのとき曲げ角度±1.0°に到達した。したがって、繰り返しの鉛直载荷量を±65mmの変位制御と設定して繰り返し曲げ载荷を実施した。また、実験中の各ストランドの破断検出は各ストランドの任意の素線に貼付した歪ゲージによる常時測定によって破断有無を確認することとした。

結果、ストランドおよびその素線が1本も破断することなく、200万回の繰り返し曲げ载荷を終了した。



写真－1 曲げ疲労実験実施状況

（2）残留強度実験結果

曲げ疲労実験後、PTI 指針に従って供試体の残留強度実験を実施した。PTI 指針では供試体の残留強度が規格引張強度の95%以上であることを合格基準としている。

各ストランドの静的引張実験を実施した結果、すべてのストランドが規格引張強度の95%（248kN）まで緊張して破断しないことを確認した。

7. まとめ

緩衝材を取り除いたケーブルを想定した供試体を用いて繰り返し曲げ角度±1.0°での曲げ疲労実験を実施し、定着具に内装された樹脂製ガイドスペーサによって定着具付け根部に生じる2次曲げを緩和することで、曲げ疲労特性について健全な定着具を有した斜材ケーブル構造であることを検証した。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋耐風設計便覧（平成19年改訂版），pp.225-241，2007.12.
- 2) 土木学会：鋼斜張橋－技術とその変遷－2010年版，pp.29-37，2010.12.
- 3) PTI：Recommendations for stay cable design, testing and installation fifth edition，pp.35-40，2007.10.