

アンラップト平行線ケーブルの力学挙動に関する実験的研究

大阪大学大学院 学生員 ○三好崇夫
神戸製鋼所 正 員 内藤純也

大阪大学大学院 学生員 鷲塚敏之
大阪大学大学院 フェロー 西村宣男

1. はじめに

本研究では、構想される合理的且つ経済的な超長大吊橋を実現するため、その主ケーブルとして一方向連続繊維補強 FRP の外周に鋼線を配置して断面構成した Hybrid Cable を考案し、これまでに、弱点とされるケーブルバンド部等での FRP 破損に対する基礎的検討として、平行線ケーブル断面を連続体とみなした有限要素法による応力解析を行ってきた¹⁾。また、ケーブル二次応力を考慮した吊形式橋梁立体有限変位解析により、合理的な橋梁ケーブル安全率の検討も行っている。そこで、これらの解析の検証に、平行線ケーブルの力学挙動に関するデータを提供することを目的として、アンラップト平行線ケーブルの曲げ実験を行った。実験は、平行線ケーブル構造の力学挙動を把握する目的から、ケーブル供試体として Hybrid Cable に替えて鋼ケーブルを用いた。

曲げ実験では、ケーブル及びクランプのたわみ、及び素線のひずみを測定し、得られたたわみ及び二次応力に対して簡易計算によって実験の妥当性を検証した。なお、実験ケースとして、平行線ケーブルのクランピングの影響を調査するため、中間支持の有無によりクランプのたわみを拘束したケースと自由としたケースの大別して2ケースを行った。ここでは、紙面の都合上、曲げ実験結果の一部を報告する。

2. 実験供試体

ケーブル供試体は、公称直径 5.0mm の垂鉛めつき鋼線 253 本を平行に束ねた PWS253 の外周に、実橋主ケーブルを見立てて、その外郭が極力円形となるように公称直径 3.2mm、2.6mm、及び 2.0mm の垂鉛めつき鋼線をポイントトップに配置した供試体 1 体を用いた。ケーブル断面図を Fig.1 に、材料試験によって得られた各々の鋼線の機械的特性を Table.1 に、ケーブルに関する諸元を Table.2 に示す。ケーブル両端は垂鉛銅合金鑄込みのアンカーソケット定着とした。なお、ケーブルのアンカーソケット口元前面間長は 約 9464mm である。

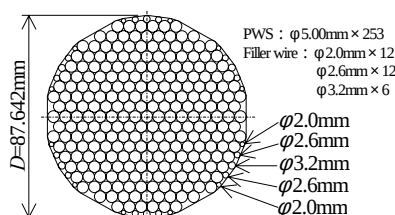


Fig.1 Cross section of the specimen

Table.1 Mechanical properties of steel wires

Wire	Diameter (mm)	The num. of the wire	Tensile strength σ_{br} (MPa)	Elastic modulus E (GPa)
PWS253	5.0	253	1741	213
Filler	2.0	12	1809	200
	2.6	12	1550	208
	3.2	6	1546	203

Table.2 Dimensions of the specimen

Total cross sectional area of the cable A_c (mm ²)	5117.31
Elastic modulus of the cable E_c (GPa)	212
Outer diameter of the cable D_c (mm)	87.64
Void ratio j (%)	15.2

3. 実験方法

Fig.2 に示すように、張力は2000kN 級油圧ジャッキ2台、曲げ荷重は600kN 級油圧アクチュエータで載荷した。張力測定はジャッキヘッドと載荷桁間に挿入した1000kN 級ロードセル2台で行った。素線のひずみはケーブル表面の素線に貼付した一軸ゲージ、及びケーブルとクランプのたわみの測定はパネルごとに一定間隔で設置した変位計で測定した。

曲げ実験は、所定の張力を導入してクランプを締め付けた状態から、曲げ荷重を載荷して行った。張力は、中間支持するケースでは、既往の実験及び実橋とほぼ同一の幾何剛性を有するように、中間支持しないケースでは、1000～2000kN を載荷した。実施した8ケースの張力、クランプ内圧の推定値、及び最大曲げ荷重を Table.3 に示す。なお、中間支持の有無は、Fig.2 で左右に配置した Middle support の取り付け・取り外しで行っている。

Table.3 Cases of the experiment

Number of Experiment	Middle support	Tension T (kN)	Maximum bending load P_{max} (kN)	Inner pressure of the clump p_c (MPa)		
				Eastern clump	Central clump	Western clump
W-0S-D5	○	697	30	7.6	6.9	7.6
W-0S-D4	○	1053	50	7.4	6.4	7.4
W-0S-D3	○	1538	69	7.3	6.2	7.4
W-0S-D25	○	1980	89	7.1	5.9	7.2
W-0N-D100	×	1021	20	7.4	5.8	14.7
W-0N-D125	×	1297	25	7.8	3.8	10.1
W-0N-D150	×	1500	30	9.5	5.5	16.1
W-0N-D200	×	1994	40	9.4	5.3	17.9

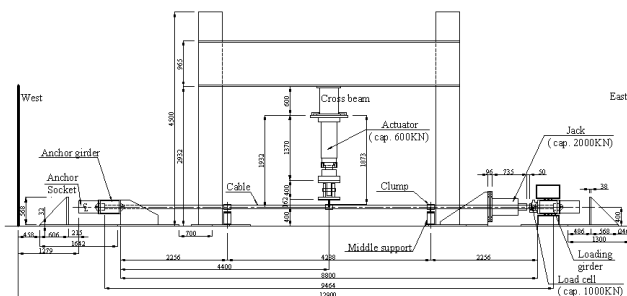


Fig.2 Test setup

Keyword：平行線ケーブル，二次応力，素線間すべり，Wyatt 理論

Correspondence to：〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 Phone：06-6879-7599 Fax：06-6879-7601

4. 実験結果

最大曲げ荷重導入時のたわみ分布の測定値と計算値を Fig.3 に示す．計算値は，幾何剛性を考慮したはり理論を準用して，両端境界条件としてヒンジ及び固定支持を仮定し，クランプ部における剛性の変化を無視して算出した．なお，ケーブルの曲げ剛性は，ケーブルを重ねはりとみなした値を用いている．Fig.3 より，計算値と測定値を比較すると，W-OS-D5 は第2 及び3 パネルの中央クランプ近傍，W-ON-D200 は第2 及び3 パネルとクランプ近傍を除いてほぼ計算値と測定値は一致している．従って，曲げ荷重状態では，ケーブルパネル全域に互って素線間すべりを生じたものと判断できる．これらの箇所で両者が一致しないのは，計算値がクランプによる曲げ剛性の変化を考慮していないためである．境界条件の違いによる影響を比較すると，W-OS-D5 及び W-ON-D200 と同，計算値の相違は僅かで，境界条件の影響は無視できると考えられる．

次に，W-OS-D25 の第3 パネル中央，及び W-ON-D200 の第4 パネル中央における曲げ荷重とケーブルたわみの関係を載荷・除荷過程の測定値及び計算値について Fig.4 に示す．Fig.4 より，曲げ荷重とたわみ関係の測定値は，載荷・除荷過程で同一経路をたどり，計算値ともほぼ一致し，線形弾性的な挙動を呈することが伺える．

最後に，最大曲げ荷重時の二次応力の測定値と簡易計算値を Fig.5 に示す．Fig.5 において，縦軸は各断面 A～E のゲージ貼付点の高さ，横軸は応力を示している．二次応力の簡易計算は，Wyatt 理論により，クランプ近傍でのケーブルの角折れによる素線の局部曲げ応力とパネルに生じる偏差軸応力の重ね合わせとして算出した²⁾．Fig.5 より，曲げ荷重載荷直前にひずみゲージのイニシャル測定を行ったにもかかわらず，測定値と計算値は定性的に一致する傾向にあるが，定量的には一致しない結果となった．

5. まとめ

今回実施した一連の実験のうち，曲げ実験から，アンラップト平行線ケーブルの力学的特性として以下が明らかとなった．

- ・最大曲げ荷重時のたわみ分布における，計算値と測定値の比較より，境界条件の影響は無視し得る．また，ケーブルパネル全域に互って素線間すべりの状態にある．
- ・曲げ荷重とケーブルたわみの関係は，線形弾性挙動を呈する．
- ・最大曲げ荷重時のたわみ分布及び素線の二次応力分布より，曲げ荷重によるケーブルのたわみは，解析の妥当性の検証にある程度の精度をもって適用可能であると考えられるが，素線の二次応力の評価は検討が必要である．

【参考文献】

- 1) Takao Miyoshi, Nobuo Nishimura, Nobuaki Take & Won-sup Hwang : Evaluation of strength for Hybrid cable which composed CFRP wire & steel wire at the cable strap of the ultra long span suspension bridge, Proceedings of The First International Conference on Steel & Composite Structures, Vol.2, pp.1277-1284, 2001.
- 2) T.A.Wyatt : Secondary Stresses in Parallel wire suspension cables , A.S.C.E. , Vol.128 , pp.37-59 , 1963.

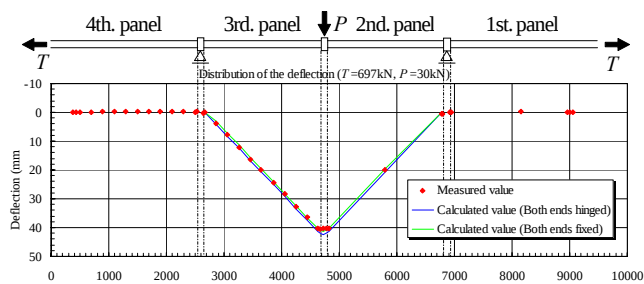


Fig.3 (a) Distribution of the deflection (W-OS-D5)

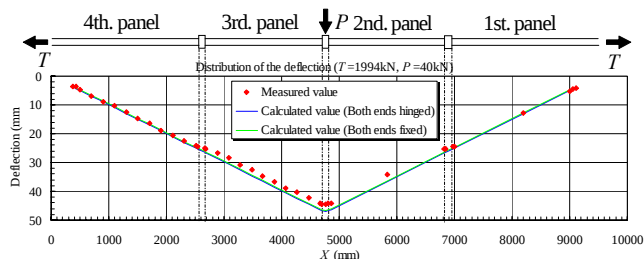
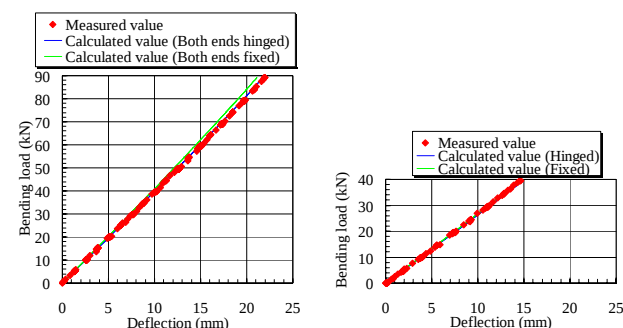


Fig.3 (b) Distribution of the deflection (W-ON-D200)



(a) W-OS-D25

(b) W-ON-D200

Fig.4 Relationship between bending load & deflection

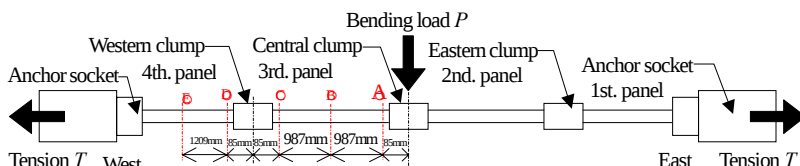


Fig.5 (a) Gluing section of strain gauges ($T=200\text{kN}$)

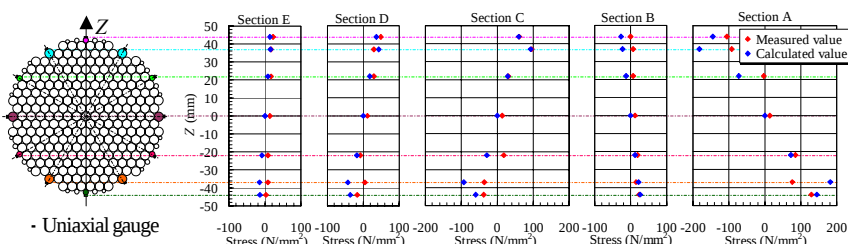


Fig.5(b) Secondary stress distribution (W-OS-D5)

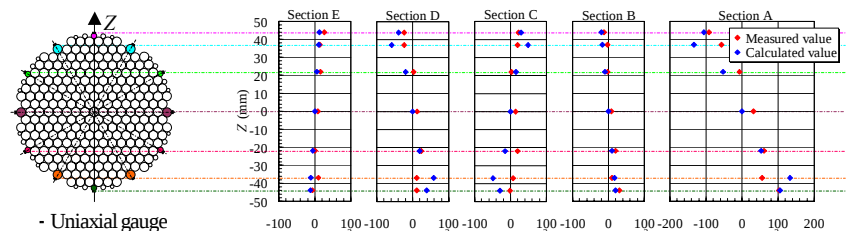


Fig.5(c) Secondary stress distribution (W-ON-D200)