

都立大学 正会員 伊藤文人
都立大学 学生員 O原田邦彦

1. まえがき

吊り橋平行線ケーブルは、一般に曲げ変形に伴う2次応力を無視して、純張力材として設計されている。しかし、実際にはケーブルがラッピングにより強く締め付けられていると、素線は互に滑ることができず一体となって曲げ変形を生じ、曲げによる2次応力が発生する。他方、断面に働くせん断力が素線間の摩擦力を越えると、素線間に滑りが発生し、その時の挙動は重ね梁に似てくる。十分にせん断力が大きく全断面で素線間滑りの発生している状態では、全体としての曲げ剛性が極めて小さくなる結果、バンド中間部の曲率は小さくなるであろう。すなわちバンド中間部の2次応力は小さくなる。しかし、同時にケーブル中心線とバンドが角度を持つと、バンド近傍では素線が大きな曲率で曲げられ、局部的に極めて大きな素線の曲げ応力が生じる。このような応力分布によってケーブルの疲労強度に影響する可能性が考えられる。この問題を検討する一つの手掛りとして、模型によって、ラッピング締め付け力を受ける平行線ケーブルの変形挙動を調べた。

2. 実験概要

本実験に用いた模型は実物の1/10を想定し、表-1のようなケーブルの断面諸元をもたした。

表-1

素線	φ5mm径ピアノ線
ケーブル素線数	7736本
ケーブル外径	50mm
ケーブル長さ(全長)	7m
〃(スパン)	5m

模型は図-1に示したごとく、両端に固定用バンドを設けて載荷用Iビームに取り付けフレームに吊り下げた。端バンドは一方を完全固定とし、一方は水平方向にのみ可動とした。可動端にはメカニカルジャッキ2台を設けてケーブルに張力を与えた。また両端のバンドには写真-1のごとく直径50mm用のワイヤークリップを並べてケーブルと端バンドの滑りを防止した。ケーブル中央部にはハンガーバンド3個を設けた。バンド長さは160mmとし、締め付けにはF8TM20高力ボルト6本を用い、締め付けトルクは2500kg-cm以上とした。

本実験においては、ラッピング張力を変えて実験を行うことを目的とし、ラッピングワイヤの代りに、サクシオンバンドを

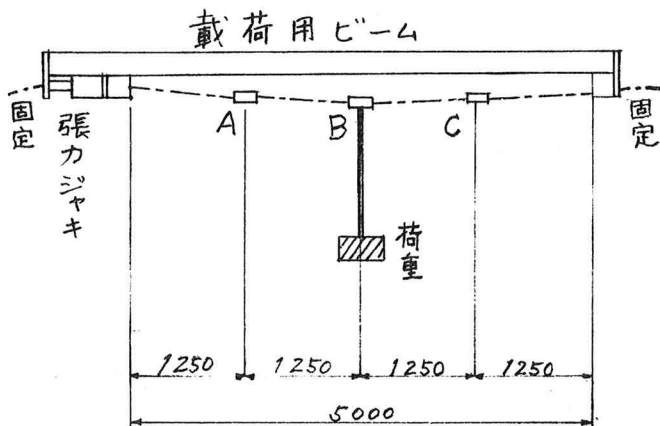


図-1

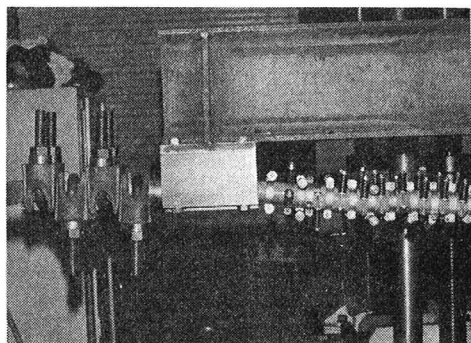


写真-1

用い、写真-2のように両側のボルトに、プレス金型用強カバネ（バネ定数6.72 kg/mm、最大たわみ9mm）をはさんで、バネのたわみにより、締め付けを加減した。ケーブル張力の推定は、載荷用Iビームに貼ったストレインゲージと張力の関係をあらかじめロードセルを用いて検定を行い、梁の歪と張力の関係式を求めこれから張力を推定した。サクシオンバンドのラッピングによるケーブル内圧の算定には式-1を用い、2.3 5.8 10.5 kg/cm²の3つの場合について実験を行った。

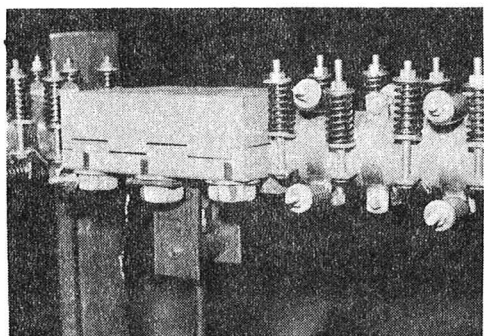


写真-2

$$\theta = (2 \times P \times n) / (D \times L) \quad \text{式-1}$$

ここで θ : ケーブル内圧 (kg/cm²)

P : バネ1本当りの力

n : 区間内のサクシオンバンドの本数

D : ケーブルの直径 (cm)

L : 考えているケーブルの区間長 (cm)

荷重の載荷はバンドBにウエート吊り棒を設けて、重りを用いて行った。

ケーブル変形の測定は、図-1のバンドCとB-Cの区間とし、バンドの回転角の測定はバンドCに鏡を取り付けて、オートコリメータを用いた。（測定能力は最大40'、最小読みとりは1"）またケーブルの変形には区間B-Cに10個の差動トランスを吊り下

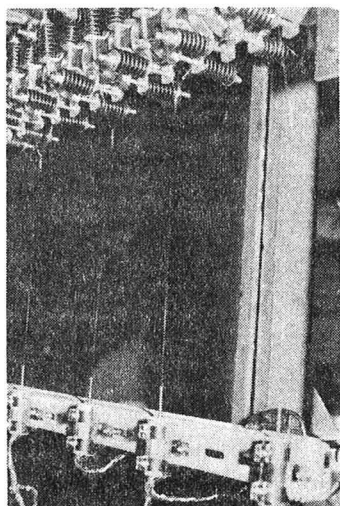
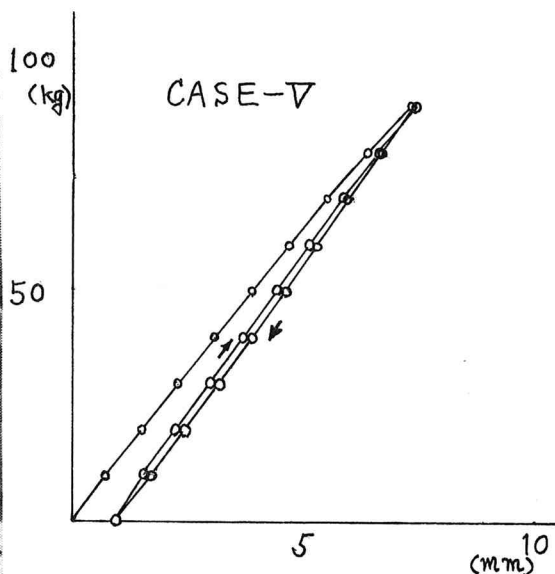
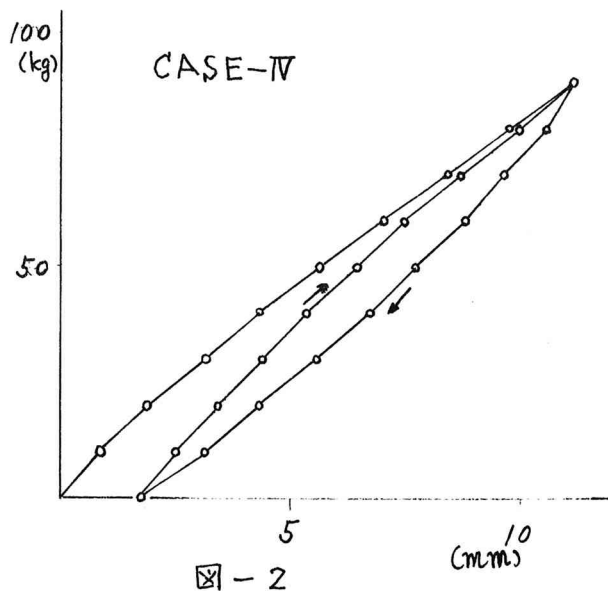


写真-3

表-2

CASE	張力	バネの強さ
I	6 ton	33.6 kg
II	6	13.4
III	10	33.6
IV	10	13.4
V	10	60.5



げて鉛直変位を測定した。(差動トランスの測定能力は、最大12mmであり、5mmの変位に対し電圧1Vを示す。デジタルボルトメーターを用いることにより、 $\frac{1}{200}$ mmの変位まで読み取り可能である。)

3. 実験方法

実験条件を表-2に示す様に、ケーブル張力とラッピングのバンド強さを変えて5種類のケースについて実験を行った。荷重はおもりによって載荷し10kgきざみで各々90kgまで荷重を上げ、次に荷重を0kgまで除荷し、再び荷重を90kgまで上げ0kgまで戻すというサイクルを2回くり返した。本実験は素線間の滑りによる変形特性を調べることを主眼とし、測定は各荷重段階で載荷後一定の時間をおき変位が安定したと思われる時点で測定を行った。

4. 測定結果と考察

ケーブルの鉛直方向の変位-荷重の関係は低い荷重段階から曲線をなし、明らかな滑りの発生による分岐点は得られなかった。図-2、3にCASE IVとVの場合の中央ハンガーバンドBの荷重-変位図を示した。図-2と図-3は共に荷重に伴い変位が増加し、荷重を0kgにしても変形が残り、再び載荷すると処女状態の変位曲線にそって変位が増加し、2回目の除荷からは程んど弾性的に同じループを描く。このループは滑りの時間的な進行のために完全な閉ループとはならず、載荷及び除荷を行うごとに変位が増加してループは荷重-変位図において右方向にずれる。これは荷重サイクルを増すことと、各荷重段階での載荷(除荷)から測定までの時間を長くとり滑りを完了させることにより次第に閉ループを描いてゆくと思われる。

図-2、図-3の荷重-変位図を比較すると処女状態でCASE-IVでは低い荷重段階で曲線を程しており、CASE-Vの場合には70kg付近まで線形に近く変位が増加している。履歴ループのふくらみ、残留変形の量についてもラッピングバンド強さの大きいCASE-Vの方がCASE-IVに比べて小さくなっている。

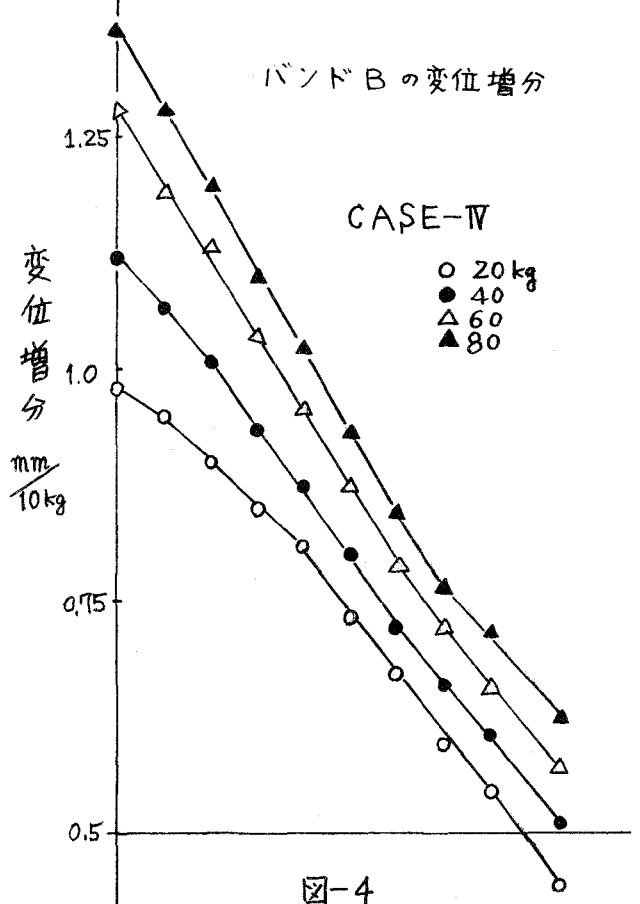


図-4

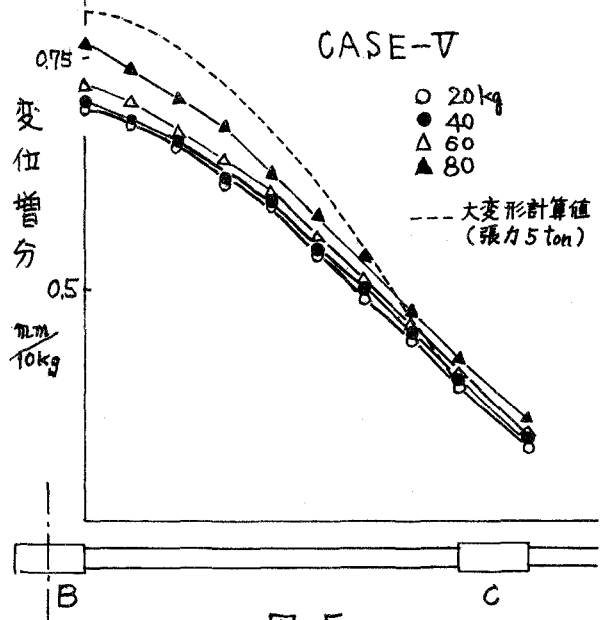


図-5

図-4、図-5に各荷重段階における荷重10kg当りのケーブル測点の変位増分量を示した。滑りが生じていないケーブルの大変形計算と比較してわかるように断面に滑りが生じていない場合には放物線を描くのでCASE-Vについては、荷重60kg付近まで滑りは程んど観察されず、80kg付近の荷重から滑りの傾向が見受けられる。CASE-IVに関しては40kgあたりでほぼ直線となり、規定区間B-C間にわたって滑りがおこっているものと思われる。

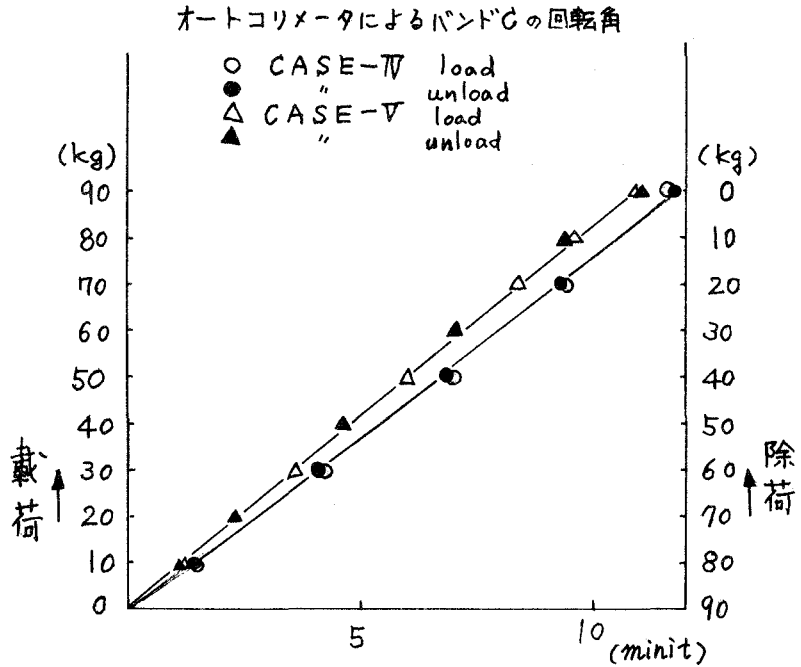


図-6

図-6はバンドCの回転

角について載荷は0kg、除荷は90kgの荷重における回転角を原点とし載荷、除荷の各荷重段階における、原点からの変形量の絶対値を示したものである。CASE-IV、V共に載荷、除荷の過程で荷重増分と回転角量の関係は線形となり、CASE-IVの中央バンドBの鉛直変位が90kgの荷重で11.1mm CASE-Vについては7.4mmであるが鉛直変位に比べてバンドCの回転角の値には大きな差異がない。これはCASE-IVにおいて滑りが素線間に発生したためと思われる。中央バンドと端バンドの間のケーブル変形曲線が直線になると仮定した時のバンドCの回転角は、バンドBの鉛直変位11.1mm、7.4mmに対し、回転角はそれぞれ約15'、10'でありCASE-IVについては直線の仮定より小さく、CASE-Vについてはそれよりも大きな回転角を示しているがこの原因も滑りによる影響と考えられる。

5. あとがき

本実験から言えることは、荷重-変位曲線のループの傾きはケーブル張力とラッピングのバンド強さに依存し、張力が大きい程、バネの締め付け力が強い程傾きは小さくなる傾向にあり、ループのふくらみはラッピング締め付け力が弱いと広くなる。またバンドCの回転角はバネ強さ、張力によらず線形をなすことがわかった。

実験は現在なお進行中であり、ラッピングのない場合についても実験を行う予定である。これらの実験結果を張力の項を含んだケーブルの大変形計算にあてはめ、ラッピング締め付け力、ケーブル張力と変形の関係を解析的に検討することを試みたい。

なほ、この実験は本州四国連絡橋公団からの依頼による鋼上部構造研究委員会・ケーブル分科会の研究の一部として行われたものである。

(参考文献)

1. 田島=郎：高力ボルト摩擦接合概説

2. 榎波、北川、西：ケーブルバンドに関する実験的研究、第30回土木学会年次学術講演会概要集