

ケーブル系模型橋のための小型張力測定センサーに関する基礎的実験

深 澤 直 道*・長谷川 明**・鈴 木 拓 也***

Basic Experiments on Measuring Sensor of Small Tension Force for Cable Model Bridges

Naomichi FUKASAWA*, Akira HASEGAWA** and Takuya SUZUKI***

Abstract

Recently, new combined bridges of cable-stayed and suspended bridge are planning to bridges which span exceeds 3,000 m. The structural characteristics of combination of a cable-stayed bridge and suspended bridge have not been cleared because the bridge is a combination of two different cable systems. The authors plan to test the structural characteristics of this bridge by use of 1/1,000 model bridge, after a few computational analysis. Generally, the tension measurement of cables is calculated from vibration sensor. However, this method cannot be applied to small cable system because of the weight and size. Therefore, to develop a tension measuring sensor of small cable system, basic tests were carried out. This paper reports the outline of basic experiments on the sensor.

Key words: cable-stayed bridge and suspended bridge, tension measuring sensor, model bridge, small cable

1. はじめに

津軽海峡などの今後の海峡を横断する超長大橋では、支間長が 4,000 m 級の橋が検討されている。従来の吊橋の支間長は約 3,000 m が限界といわれており、単一橋梁では限界があると考えられる。そこで、新構造形式である異種橋梁を組み合わせた新しいタイプの橋、斜張併用吊橋が注目されている。この形式は、吊橋と斜張橋を組み合わせたタイプの橋であり、長支間に適している吊橋、耐風安定性に優れている斜張橋、それぞれの利点を活かした構造である。斜張橋部の荷重は、斜めケーブルによって主塔に支持されるため、主ケーブルへの荷重は、吊り橋部のみの荷重を負担することとなって、実質的に吊橋部の支間長を縮小できるメリットがある。しかし、異なった橋梁形式の接合部の挙動解明、変位の縮小などの課題がある。このため、これまで、これらの技術的課題を数値解析で検討してきた。その結果を、さらに実験的に検証するために、1/1,000 模型を製作し载荷実験によって発生するケーブル張力を測定する計画である。本文は、その実験で使用するための小型ケーブルの張力測定方法に関する検討結果について報告するものである。

2. 張力センサーの検討

2.1 張力センサーの現状

現在、ケーブル張力を測定する手法として、ケーブルの固有振動数から張力算定式を介して張力を求める振動法が多く普及している。加速度計あるいは速度計を写真 1 のようにケーブルに取り付けて計測する方法である。しかし、模型橋のような小型のケーブルの張力測定では、センサーの重量によるケーブルへの影響が大きいこと、センサーがケーブルに対して過大に取り付けが困難であることから、計測は不可能であるため、新たにセンサーを開発する必要がある。

2.2 対象模型とケーブル

張力センサーを取り付ける対象模型は、全長 12 m、支間長 4 m の模型(写真 2)である。模型橋の一般図および主要寸法をそれぞれ、図 1 および表 1 に示す。また、解



写真 1 実橋のケーブルに設置された速度計

平成 19 年 1 月 5 日受理

* 大学院土木工学専攻博士前期課程 2 年

** 大学院土木工学専攻・教授

*** 大学院土木工学専攻博士後期課程 2 年

析により算出したケーブルの変動張力を図2に示す。解析結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) 各ケーブルの初期張力は非常に小さい。
- (2) 最大張力はメインケーブルに発生し、9.59 N である。

以上のことを考慮し、センサーを開発する必要があることが示された。



写真2 模型橋（全長 12 m，斜張併用吊橋）

表1 模型橋詳細

	寸法 (mm)	材料
全長	12000	吊橋部:アルミ 斜張橋部:ステンレス
中央支間長	4000	
主塔高さ	300	アルミ
メインケーブル	φ0.5	より線
ハンガーケーブル	φ0.3	
斜張ケーブル	φ0.3	
基礎	Φ125×174	角型鋼管(t=4.5mm)

2.3 要求されるセンサーの機能

要求されるセンサーの機能として次の事項を考慮した。

- (1) ひずみ計測型センサー：既存の計測システムを有効活用するために、今回開発するセンサーは、ひずみ型計測センサーとした。張力をひずみで計測できれば、既存のスイッチボックス、データロガー、あるいはひずみ変換器などの既存の計測環境をそのまま活用できると考えたからである。
- (2) 後付け型センサー：センサーは、ケーブル間にセットされるが、このセットをあらかじめ行わず、模型橋が完成してからケーブルに取付けることが可能とする「後付け型センサー」とする。このため、センサーの取り付け手順を次のように考えた。
 - 模型橋を完成させる。
 - ケーブルを挟み込むようにセンサーを取り付け、両端部をケーブルに固定する。
 - センサー中央部のケーブルを切断する。
- (3) 計測ひずみの適正化：発生張力 10 N 程度に対して計測ひずみが適正な値として計測されるようにした。
- (4) 少ない張力への影響と経済性：センサー取付けによってケーブル張力への影響が少ないことが要求される。このため、小型で、かつ経済的なひずみゲージを使用することとした。

2.4 開発されたセンサー

センサーの詳細を図3に示す。センサーは、ひずみゲージを取り付けた上部と下部の2部品、および取り付けね



図1 模型橋一般図

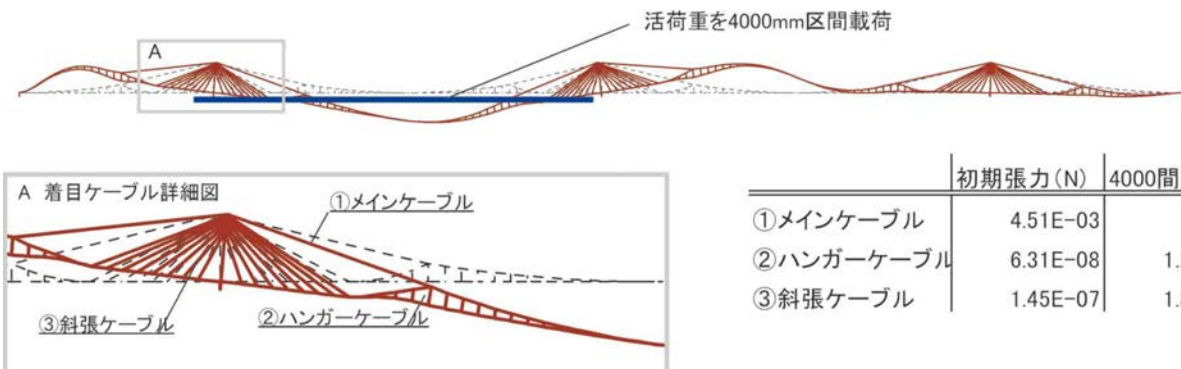


図2 活荷重載荷による変形図と着目ケーブルの張力値（数値解析）

じで構成されている。上部，下部は，両端の定着部とひずみゲージ取り付け部からなっている。定着部は，中央にケーブルを定着させる直径 0.5 mm の溝が掘られており，3本のねじによってケーブルに定着される。ひずみゲージ貼り付け部は，厚さ 1 mm，幅 4 mm，断面積 4 mm² で，上部下部の間のケーブルを，定着後切断できる空間を確保している。

材料としては，軽量，加工性，部品数削減を考慮し，定着部およびひずみゲージ取り付け部にアクリル板を使用することとした。

3. 使用材料の引張試験と弾性係数算定

3.1 試験概要

本試験は，センサーに使用した材料の力学特性，特に弾性係数を計測する目的で実施した。

3.2 試験片

引張試験片の詳細を図 4 に示す。試験片は，切り出し位置及び方向によって，材料特性が変動する可能性がある

ため，板材からの切り出し位置・方向を中央部縦，中央部横，および端部縦の 3 種として，各種 5 片ずつの計 15 試験片とした。

3.3 試験方法

試験は，最大 100 kN まで行える引張試験装置（写真 3）を使用して実験を行った。荷重載荷時のデータ数を確保するために，載荷速度を 2 mm/min とし，試験片の破壊まで試験を行った。

3.4 試験結果

応力ひずみ曲線の一例を図 5 に示す。センサーの計測対象となる応力を考慮して，0 から 3 N/mm² までの応力ひずみ曲線の近似直線から各試験片の弾性係数を求めた。これを表 2 に示す。これらによると，次のことが示されている。

- (1) 測定された広いひずみ範囲で，応力とひずみは線形の関係にあることが示されている。
- (2) 切り出し位置によって弾性係数の平均値は異なり，中央部から縦に切り出したアクリル試験片が最も大きく，端部から縦に切り出した試験片が最も小さい値となった。
- (3) しかし，この平均値の最大差は，アクリルで 1.1% である。
- (4) この結果，今回の実験では，アクリルの弾性係数として，3.69 kN/mm² を使用することとした。

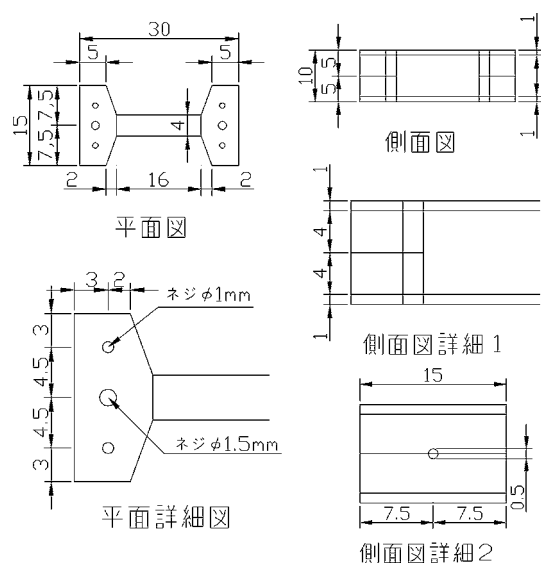


図 3 センサー

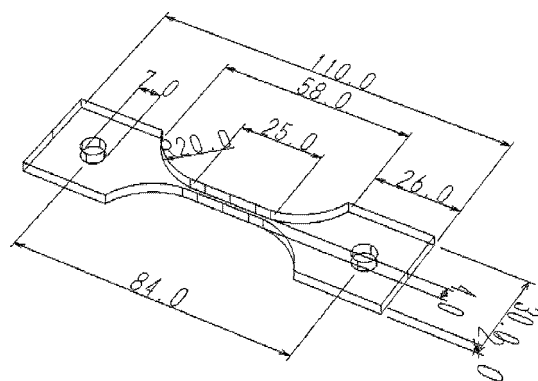


図 4 引張試験片



写真 3 引張試験装置

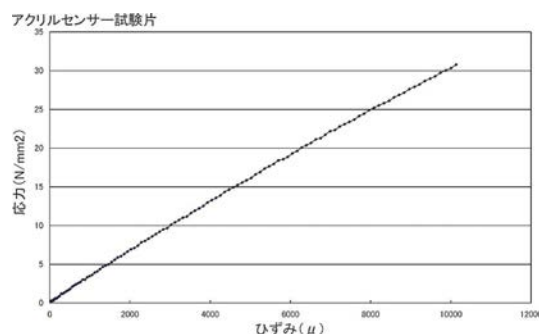


図 5 応力ひずみ曲線

4. センサー検証試験

4.1 試験方法

センサーの検証試験装置を写真4に示す。メインケー

表2 切り出し位置、方向と弾性係数

アクリル	切出位置	弾性係数 (N/mm ²)
試験片1	中央部 縦	3.77E+03
試験片2		3.77E+03
試験片3		3.84E+03
試験片4		3.87E+03
試験片5		3.43E+03
平均		3.73E+03
試験片6	中央部 横	3.83E+03
試験片7		3.64E+03
試験片8		3.52E+03
試験片9		3.84E+03
試験片10		3.58E+03
平均		3.68E+03
試験片11	端部 縦	3.99E+03
試験片12		3.48E+03
試験片13		3.49E+03
試験片14		3.62E+03
試験片15		3.66E+03
平均		3.65E+03
全試験体平均＝		3.69E+03

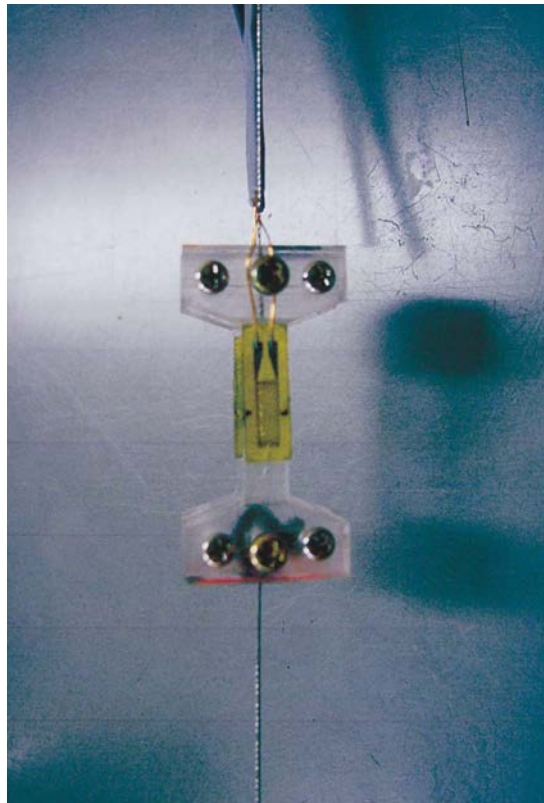


写真4 センサー

ブルで使用される直径0.5 mmの鋼より線をはさみ、定着部のねじ止めで固定した後、ケーブルを切断し試験を行った。荷重は100 gずつ増し、試験片の破壊をもって試験終了とした。また、試験は、最大張力、残留張力を測る目的で、単調増しと繰返し増しの2種類の方法を測定した。

4.2 試験結果

張力測定の試験結果の例を示す。図6は、センサーの張力(荷重)と発生したひずみを示している。図中、T-1、T-2は2枚のひずみゲージのひずみであり、平均はこの2つの平均ひずみを示す。センサーの揺れや増し荷の偏心によって、曲げが発生している。そこで、曲げひずみ成分を除去するためにT-1とT-2の平均値をとることとし、これを平均として図中に挿入した。図7は、図6のうち、荷重が10 Nまでの荷重ひずみ曲線を拡大して描いた図である。荷重とひずみがおおよそ線形の関係にある

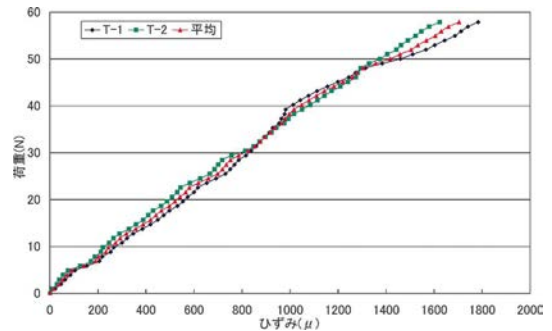


図6 センサーの荷重ひずみ曲線

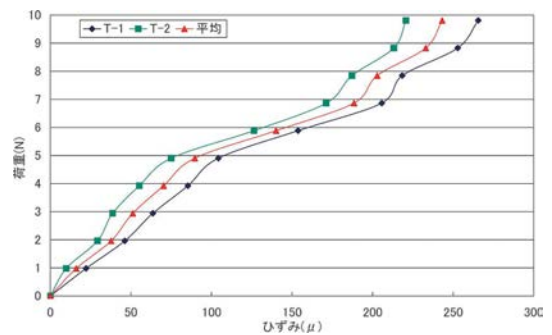


図7 センサーの荷重ひずみ曲線 (0~10 N/mm²)

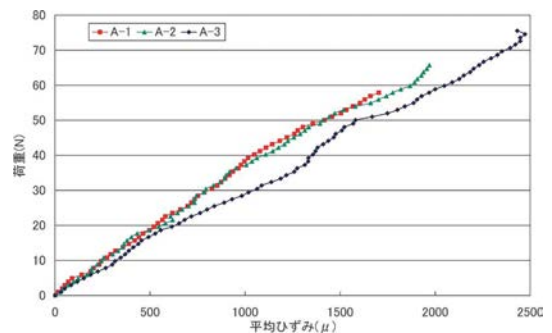


図8 3個のセンサーの荷重ひずみ曲線 (平均ひずみ)

表3 荷重とセンサーによる計測張力の比較

センサーNo	載荷荷重(F1) (N)	平均ひずみ (μ)	断面積 (mm ²)	弾性係数* (N/mm ²)	計測張力(F2) (N)	F2/F1 (%)
A-1	9.81	315.57	8.10	3690	9.44	96.2
A-2	9.81	243.40	8.22	3690	7.39	75.3
A-3	9.81	243.16	8.40	3690	7.54	76.8

* 弾性係数は引張試験より求めたものを用いた

ことが示されている。さらに、図8は、平均ひずみを使って、3個のセンサーの荷重ひずみ曲線を描いた図である。若干のばらつきと直線性のゆがみが見られる。

3個のセンサーのひずみから計測張力を、平均ひずみ、断面積、および弾性係数を使って計算したのが表3である。メインケーブルの想定される張力が約10Nであることから、この付近の載荷時の張力を計算によって求めている。これによると、載荷荷重F1に対して、4%から25%の差異が発生している。

5. 結 論

本実験は、小型ケーブルを使用した模型橋の張力測定センサーの開発に関わる基礎的実験である。センサーの材料としてはアクリル材を使用した。本実験から得られた結論を以下に示す。

- ① ひずみゲージを利用したセンサーのサンプルを作成できた。
- ② ケーブルにセンサーを適正に固定することがで

き、測定される張力の範囲では、十分な固定が確保できる。

- ③ アクリル材の切り出す位置・方向による弾性係数の差は大きくない。
- ④ センサーの荷重ひずみ曲線に、若干ばらつきが見られる。
- ⑤ センサーによる張力計算値と、載荷荷重には4%から25%の差異が発生した。

このため、引き続き実験を継続し、安定した計測値を測定できるセンサーの開発を行う必要がある。また、センサーに使用する材料、寸法についても検討が必要である。

謝辞：本研究では、材料引張試験において本学機械情報技術学科鈴木研究室の協力をいただきました。また、実験には、環境建設工学科4年、漆田隆悦君、大竹元気君の協力をいただきました。ここに、御礼申し上げます。