

斜張橋用マルチストランドケーブルの張力推定の自動化

呉高専 正会員 河村進一 (株)エスイー 正会員 田中 智
徳山高専専攻科 学生会員 ○中原稔尚 徳山高専 徳永亮太

1. はじめに

複数本ストランドケーブルを用いた斜張橋では、各ストランドに張力のばらつきが生じないように施工することが必要である。施工後のケーブルの推定張力を確認する方法には、ケーブルに振動を与えて測定した固有振動数から間接的にケーブルの張力を推定する振動法が一般的に用いられるが、マルチストランドケーブルにこの方法を適用すると、一体化したケーブルとしての張力を推定することは可能であるが、ストランド1本ごとの張力を確認することはできない。ストランド1本ごとの張力を推定する方法として、リフトオフ試験と呼ばれるものがある。これは、施工後のストランドを再緊張し、その荷重変位曲線から推定張力を推定する方法である。本研究では、リフトオフ試験を斜張橋用マルチストランドケーブルの張力推定に適用するために、実物大ケーブルの架設が可能な施設において実験したデータをもとに、張力推定作業の自動化を行い、その推定精度について検討した。

2. 実験概要

実験場では実物大のケーブルを架設できるような構造になっており、定着間距離 55.691 m、斜角 25.5°である。図-1 は使用したケーブルの断面図である。ケーブルはストランド 70 本で構成され、1 本のストランドは亜鉛めっき PC 鋼より線を PE（ポリエチレン）コーティングした SWPR7BL 相当の $\phi 19\text{mm}$ のストランドを使用している。図-2 に示すように、油圧ジャッキにはジャッキラム変位計、ロードセルを取り付け、PLC で計測している。計測に関わる操作はすべて PLC で自動制御され、緊張開始の指令とデータの保存のために、パソコンと PLC をシリアル通信で接続している。実際の計測では、上記のシングルストランドジャッキから得られるデータから張力を推定するが、本実験では比較のために、ジャッキと定着部の間にロードセルを取り付けストランドの張力を実測した。

3. 実験結果と考察

リフトオフ試験の手順は以下のとおりである。まず、ジャッキラムを 20mm 出した状態にしてジャッキをストランドに取り付け、緊張開始する。緊張開始直後のデータは信頼性に欠けるため、ジャッキの緊張力が 5kN に達してからデータを記録しはじめ、5kN を超えた後の変位が 15mm に達したら緊張を終了する。その後、ジャッキの緊張力を抜いて定着し、ジャッキラムを戻してリフトオフ試験を終了する。図-3 はリフトオフ試験の結果の一例である。このグラフから定着解放点の前後の 2 つの領域に分けて、不要な値を除いてそれぞれの近似直線を求めると、その直線の交点が推定張力となる。図-3 の例では推定張力 90.6kN が得られる。このとき、定着解放点より緊張力が大きい部分は、ケーブルの弾性挙動を示す直線になるので、ストランドの仕様と定着間距離から傾きは 0.500 kN/mm となるはずである。定着解放点を見つけるには図-4 のように、最大緊張力の点（A 点）からすべての測定点に対して割線を求め、その傾きが理論値 0.500 の $\pm 10\%$ の範囲に入らない点を見つける。この張力推定作業は実際にはパソコンのプログラム上で自動的に行うことができる。

表-1 は、張力を変えてそれぞれの張力について 5 回行った張力推定結果である。推定張力と実測値との誤差は 0~2% となった。通常、誤差は正負両側に出るはずであるが、今回の結果では、推定張力はすべて実測値よりも大きい。この原因として、ジャッキロードセルと実測用ロードセルの較正係数がずれていたと考えて補正する。ジャッキ張力と実測張力はジャッキに負荷がかかって

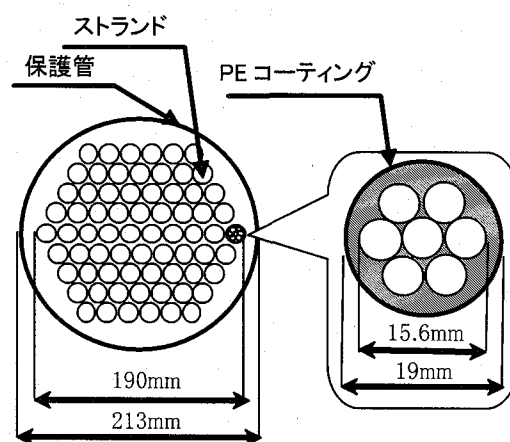


図-1 ケーブル構成図

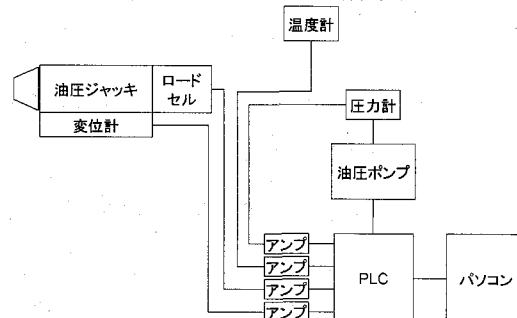


図-2 計測器接続図

いない場合は両方ともゼロであることを確認した上で、最大緊張力の点（A 点）での計測値を比較すると、ジャッキロードセルの値は実測値の 1.010 倍になっていることが判明した。そこで、推定張力の結果を 1.010 で割って補正して誤差を再計算すると±1%となる。この誤差については今後さらに検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、斜張橋用マルチストランドケーブルのストランド 1 本ごとの張力をケーブル架設完了後に推定するリフトオフ試験の自動化について検討した。実物大規模のケーブル架設実験場で行ったシングルストランドジャッキの緊張作業履歴データとロードセルによる直接計測結果の比較から、ジャッキの緊張作業履歴データを用いて張力の自動推定が可能であることを確認し、その張力推定精度が 1%程度であることを示した。

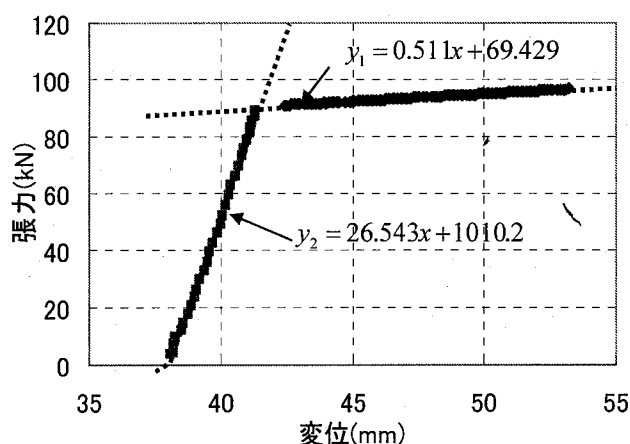


図-3 計測データと近似直線

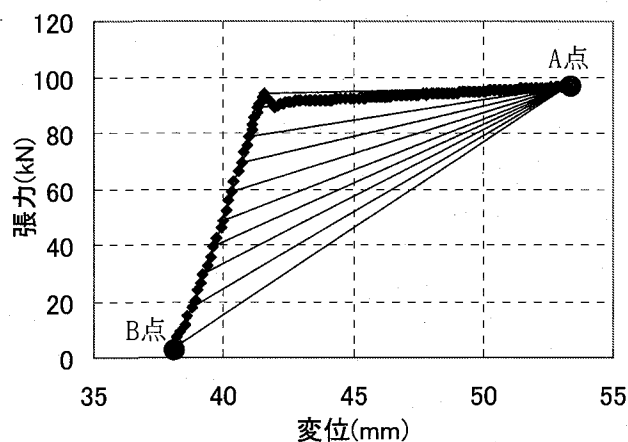


図-4 定着解放点の検索方法

表-1 推定張力結果と実測張力の比較

試験番号	実測張力 (kN)	実測張力 平均値 (kN)	推定張力 (kN)	推定誤差 (%)	推定張力 平均値 (kN)	推定張力 標準偏差 (kN)	補正後 推定張力 (kN)	補正後 推定誤差 (%)	補正後 推定張力 平均値 (kN)
015- 1	39.0	38.76	39.2	0.51	39.14	0.10	38.8	-0.48	38.75
015- 2	38.7		39.1	1.02			38.7	0.03	
015- 3	38.7		39.0	0.77			38.6	-0.22	
015- 4	38.7		39.1	1.02			38.7	0.03	
015- 5	38.7		39.3	1.53			38.9	0.54	
020- 1	53.7	53.68	54.1	0.74	53.76	0.17	53.6	-0.25	53.23
020- 2	53.7		53.7	0.00			53.2	-1.00	
020- 3	53.7		53.7	0.00			53.2	-1.00	
020- 4	53.7		53.7	0.00			53.2	-1.00	
020- 5	53.6		53.6	0.00			53.1	-1.00	
025- 1	65.2	65.08	66.1	1.36	65.46	0.33	65.4	0.38	64.81
025- 2	65.1		65.4	0.46			64.8	-0.54	
025- 3	65.1		65.4	0.46			64.8	-0.54	
025- 4	65.0		65.2	0.31			64.6	-0.69	
025- 5	65.0		65.2	0.31			64.6	-0.69	
030- 1	77.5	77.42	78.5	1.27	78.28	0.18	77.7	0.29	77.50
030- 2	77.4		78.5	1.40			77.7	0.42	
030- 3	77.3		78.1	1.02			77.3	0.03	
030- 4	77.4		78.2	1.02			77.4	0.03	
030- 5	77.5		78.1	0.77			77.3	-0.22	
035- 1	89.2	89.12	91.0	1.98	90.66	0.20	90.1	1.00	89.76
035- 2	89.1		90.6	1.66			89.7	0.67	
035- 3	89.1		90.4	1.44			89.5	0.45	
035- 4	89.1		90.6	1.66			89.7	0.67	
035- 5	89.1		90.7	1.76			89.8	0.78	