

B-34

ケーブル構造における中間接合金具の設計法の合理化に関する研究
 (その2) ケーブル張力の増加に伴う締め付けボルト軸力の減少係数kに関する数値解析的検討
 Study on Rationalization of Design Method of Intermediate Joining Metal Fitting in Cable Structures
 (Part2) Numerical Analysis Study on Bolt Axial Force Reduction Factor due to Increase in Tansile Force of Cable

○山川喬平², 宮里直也¹, 岡田章¹, 廣石秀造¹, 鴛海昂¹
 *Kyohei Yamakawa², Naoya Miyasato¹, Akira Okada¹, Shuzo Hiroishi¹, Akira Oshiumi¹

Abstract: The tightening force of metal fittings is generated by the introduction of axial force to the bolt, but the bolt axial force decreases due to thinning due to the introduction of cable tensile force and creep phenomenon. However, its properties are limited to reports on large-diameter cables for bridges. The adequacy of the bolt axial force reduction factor k has not yet been sufficiently investigated, and the AIJ recommendations for design of cable structures suggests 0.7 as k. In this report, numerical analysis was conducted to understand the amount of reduction in bolt axial force due to an increase in cable tensile force.

1. はじめに

金具の把握力は、ボルトへの導入軸力によって生じるが、ボルト軸力はケーブルの張力導入による細りや、クリープ現象等によって減少する。ボルト軸力の減少係数kは本州四国連絡橋ケーブルバンド設計要領(案)^[1](以下「ケーブル要領」と称す)において、以下(1)式で定義されている。

$$k = (N_0 - \Delta N) / N_0 \quad (1)$$

k : ボルト軸力の減少係数
 N₀ : 軸力低下前のボルト軸力
 ΔN : ボルトの軸力低下量

しかし、その性状は橋梁用太径ケーブルの報告のみに留まっている。一方、ケーブル構造設計指針・同解説^[2](以下「ケーブル指針」と称す)では、kは経験的に0.7の数値が提示されている。

以上より、本報(その2)では建築で一般的に使用される細径ケーブルを対象に、ケーブル張力の増加に伴うボルト軸力の減少量の把握を目的として、数値解析を用いて検討を行った。

2. ケーブル張力増加による側圧減少量

2-1. 数値解析概要

数値解析概要をTable 1に示す。解析モデル及び手法は前報(その1)と同様とした。本報ではケーブルに所定の初期張力T₀を導入後、側圧を付加し、その後ケーブル張力を破断荷重の50%(短期許容引張力)まで増加させた(Fig. 1)。この際の側圧の減少量、つまり、ボルト軸力の減少量の把握を試みた。検討パラメータは初期張力量及び初期側圧量とした。初期

Table 1 Outline of Numerical Analysis

	Wire	End	Metal Fittings
Modulus of Elasticity [kN/mm ²]	2.05×10 ²	∞	∞
Poisson Ratio	0.3	—	—
Friction Coefficient	0.15	—	0.15
Boundary Condition	Free	X-Roller and X-Forced Displacement	Top:Z-Roller Bottom:Fixed
	fp-1	fp-2	fp-3
Loading Lateral Pressure [kN]	76.8	153.6	230.4
Initial Tensile Force T ₀ [%]	3, 7, 13, 20, 27, 33 (Percentage of Breaking Load(224,000N))		

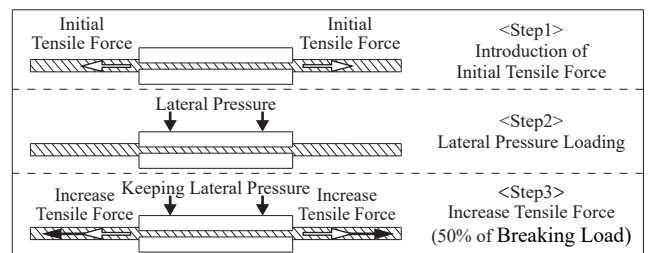


Figure 1. Analysis Steps

張力量は、ケーブルの破断荷重の3%~33%の6ケース(以下「T₀-3~T₀-33」と称す)とした。また、側圧はケーブルの締め付け許容側圧^[1](76.8kN)の1, 2, 3倍相当(以下「fp-1, 2, 3」と称す)とした。

2-2. 側圧減少量の把握

側圧減少量-張力関係をFig. 2に示す。Fig. 2(a)より、長期許容引張力(T₀-33)までの範囲ではケーブル張力の増加量に対する側圧減少量の比率が大きいが、それ以降の範囲ではその比率が小さくなり側圧減少量と張力が概ね線形となる傾向を示した。これは、初期張力が小さい場合、許容側圧付加後でも素線間の間隙が残存したためと考えられる。

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・院(前)・建築

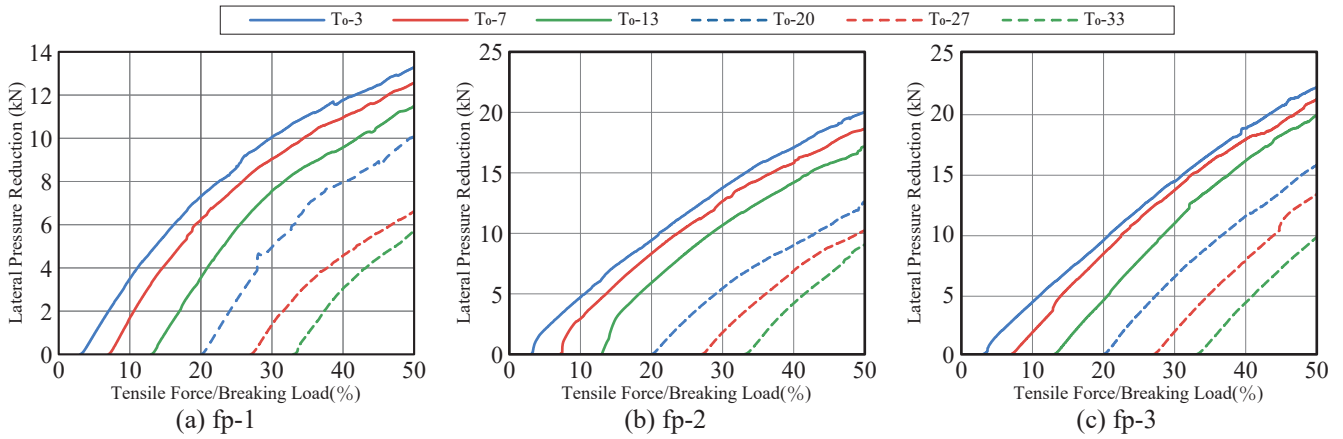


Figure 2. Relationships of Lateral Pressure Reduction-Initial Tensile Force

Table 2 Lateral Pressure After Applying Axial Force & Lateral Pressure Before Applying Axial Force When Calculating Bolt Axial Force Reduction Factor k

To	fp-1			fp-2			fp-3		
	N	No	k	N	No	k	N	No	k
3	69.79	83.86	0.83	130.62	151.81	0.86	203.06	227.86	0.89
7	67.59	80.63	0.84	136.39	156.18	0.87	208.88	231.44	0.90
13	71.58	83.22	0.86	139.21	156.62	0.89	214.38	235.15	0.91
20	76.20	86.12	0.88	145.17	157.79	0.92	222.39	238.48	0.93
27	80.06	86.83	0.92	152.15	162.58	0.94	225.12	238.98	0.94
33	82.50	88.43	0.93	154.39	163.65	0.94	229.81	240.03	0.96

一方、Fig. 2(b), (c)より、締付許容側圧以上の側圧を付加した場合は、全張力域において側圧減少量と張力が概ね線形の関係を示し、側圧が大きいほどその傾向が強くなることが確認された。これはTo導入及び側圧付加後は素線間の間隙が減少するためと考えられる。なお、初期側圧が増加すると、側圧の減少量が大きくなる傾向が見られるが、この点に関してはボルト軸力の減少係数の観点から次節で考察する。

3. ボルト軸力減少係数kの把握

側圧減少量をボルト軸力の減少量と仮定し、ケーブル要領^[1]に基づき、ボルト軸力減少係数kを算出する。初期側圧No、ケーブル張力を破断荷重の50%まで増加させた後の側圧N、及びkの算出値をTable 2に、ボルト軸力減少係数k-初期張力To関係をFig. 3に示す。

Fig. 3より、側圧及び初期張力Toによらず、kは0.7より大きい値を示した。このことから、ケーブル張力の増加に起因するボルト軸力減少量は、現行の経験値として示されているk=0.7が適用可能であること、さらにkの値を割り増しできる可能性があることが示唆された。また、kは初期側圧が大きいほどToの影響が小さくなることも把握された。これは、素線間の間隙が側圧により減少することが要因と考えられる。

4. まとめ

本報では、建築で一般的に使用される構造用スパ

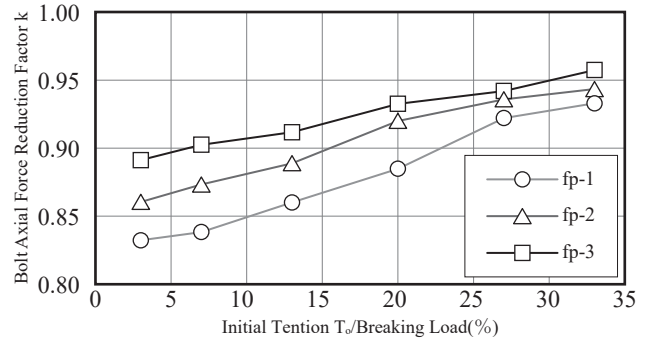


Figure 3. Relationships of Bolt Axial Force Reduction Factor-Initial Tensile Force

イラルロープ1×19(φ16)を対象にして、ケーブル張力の増加に伴うボルト軸力の減少量およびkの把握について数値解析を用いて検討を行った。本報で得られた知見を以下に示す。

- 許容側圧では初期張力が長期許容引張力未満の場合、素線間の間隙が比較的大きく、ボルト軸力の減少係数が小さくなる傾向を把握した。
- 大きな側圧では初期張力の導入及び側圧付加により素線間の間隙が減少することから、側圧減少量への影響が少ないことを確認した。
- ケーブル張力増加のみによるボルト軸力減少量は、現行の設計法にて標準とされているk=0.7が適用可能であることが把握された。またkの値を0.7以上に設定できる可能性も示唆された。

今後は、ボルト軸力減少の要因として報告されている、素線の亜鉛メッキ層のクリープによる長期的なボルト軸力減少量の把握を目的とした試験を行い、建築分野に適したkの設定及び設計式の検討を行う予定である。

5. 参考文献

[1]本州四国連絡橋公団：「ケーブルバンド設計要領(案)」，pp. 3-9, 1985. 9. 1
 [2]日本建築学会：「ケーブル構造設計指針・同解説」，pp. 140-143, 2019. 12