

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1)横圧方向圧縮力によるケーブル径の減少量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
(Part1) Numerical Analysis Study on Cable Diameter Reduction due to Lateral Compressive Load

○菊池舞², 宮里直也¹, 岡田章¹, 廣石秀造¹, 鴛海昂¹, 山川喬平²
*Mai Kikuchi², Naoya Miyasato¹, Akira Okada¹, Shuzo Hiroishi¹, Akira Oshiumi¹, Kyohei Yamakawa²

Abstract: In the previous report, the amount of decrease in cable diameter and bolt axial force due to an increase in cable tensile force were reported from experiments. However, it is considered necessary to accumulate further data. In this paper, the authors conduct numerical analysis for the purpose of accumulating data on the current design formula. In part 1, the reduction amount Δd of the cable diameter due to the compressive force in the lateral direction of the cable, which is used to calculate spring constant in lateral direction K_c , is grasped by numerical analysis. And the validity of the numerical analysis method using a more precise model that considers the contact between wires is verified by comparing with the experimental results of the previous paper.

1. はじめに

ケーブル構造では、ケーブルの中間部に他の部材を接合する場合、一般に中間接合金具(以下「金具」と称す)が用いられる。この金具はボルトの締付力に伴う把握力により、金具両端のケーブルの滑り出しを防止する機構を有する(Fig. 1)。一方、金具の設計式は、橋梁分野の太径ケーブルの材料データを基に構築されており、細径ケーブルの使用が一般的な建築分野に適用した場合、金具は大きくなる傾向にある^[1]。

また、現行の設計式(Fig. 2)において、側圧に対するケーブル材軸と直交方向(以下「ケーブル横圧方向」と称す)のバネ定数 K_c 、およびケーブル張力の増加によるケーブル径の減少量 ΔD (文献[2]では ϵ)は、データの蓄積が今だ不十分である。加えて、ボルト軸力の経時変化の蓄積データも少ないため、ボルト軸力減少係数 k は、専ら経験則による値が用いられている。このため、既報^[3]では、建築用細径ケーブルを対象とした実験より、 ΔD 、 K_c およびケーブル張力の増加に伴うボルト軸力の減少量について報告されている。しかし、さらなるデータの蓄積が必要と考えられる。

以上を踏まえ、本報では、各種データの蓄積を目的として、数値解析による検討を行う。本報では、ケーブルを構成する素線単体および素線相互の接合を評価した精密化モデルを新規に構築してFEM解析を行った。(その1)では、既報^[3]の実験結果との比較により、数値解析手法の妥当性の検証を行うと共に、ケーブル横圧方向の圧縮力(以下「側圧」と称す)によるケーブル径の減少量 Δd の把握を試みる。

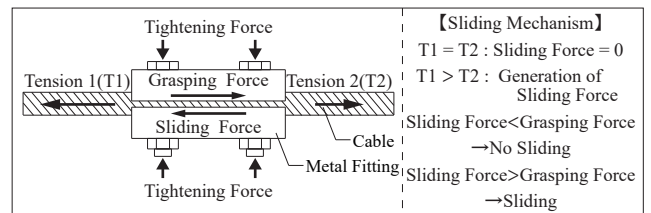


Figure 1. Relationship between Sliding Force and Tightening Force

N : Required Bolt Axial Force	ΔN : Bolt Axial Force Reduction	f_p : Allowable Lateral Pressure
$N = \frac{G_o}{m \mu k} \quad (1)$	$\Delta N = \frac{K_c}{K_c L_1 + 1} \Delta D \quad (2)$	$f_p \geq \frac{N}{DL_2} \quad (3)$
G_o : Design Grasping Force	E : Modulus of Elasticity of Bolt	
m : Shape Factor	A : Bolt Cross Sectional Area	
μ : Friction Coefficient	ΔD : Reduction of Cable Diameter	
k : Bolt Axial Force Reduction Factor	D : Cable Diameter	
K_c : Spring Constant in the Lateral Direction	L_2 : Metal Fitting Length	
L_1 : Bolt Tightening Length		

Figure 2. Analytical Method in Design of Intermediate Joining Metal Fitting

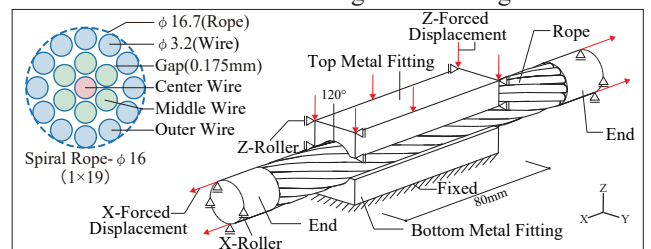


Figure 3. Outline of Analysis Model

Table 1 Outline of Numerical Analysis

	Wire	End	Metal Fittings
Modulus of Elasticity [N/mm ²]	2.05×10 ⁵	∞	∞
Poisson Ratio	0.3	—	—
Friction Coefficient	0.15	—	0.15
Boundary Condition	Free	X-Roller and X-Forced Displacement	Top:Z-Roller Bottom:Fixed
Initial Tensile Force T_o [%]	3(6.72kN), 33(73.92kN) (Percentage of Breaking Load)		
Loading Lateral Pressure [kN]	1000		

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・院(前)・建築

2. ケーブル横圧方向の圧縮力によるケーブル径の減少量

2-1. 数値解析概要

検討モデルをFig. 3, 数値解析概要をTable 1に示す. 本解析では所定の初期張力 T_0 を導入後, 側圧を付加することにより, ケーブル径の減少量 Δd を求める. 検討モデルは素線を3D-Solid要素で構成した精密モデルを構築し, 素線相互の接触を考慮している. 検討対象は, 構造用スパイラルロープ(1×19), $\phi 16$ (素線径 $\phi 3.2$)とした. 既報^[3]の圧縮試験において無応力状態時の試験体のケーブル径 D (ケーブル中央の測定値)が $\phi 16.7$ であったことから, 検討モデルは素線間に 0.175mm の間隙を設け, 初期のケーブル径を試験体と同様とした. また, 心線の素線長さを 160mm とし, 外周素線のより長さは $10D(160\text{mm})$ とした.

素線は弾性係数 $E=2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$, ポアソン比 0.3 , 摩擦係数 $\nu=0.15$ とし, 金具とケーブル末端部は剛体とした. また, 金具の長さは既報^[3]の試験体と同様に 80mm , 溝形状はケーブルと溝が接触する角度を 120° と設定し, 摩擦係数 $\nu=0.15$ とした.

ケーブル両端末端部はX方向ローラー支持とし, X方向へ強制変位させることにより, 張力導入を行った. 金具は, 上部金具をZ方向ローラー支持, 下部金具を固定とし, 上部金具をZ方向下向きに強制変位させることにより, ケーブルに側圧を付加した. なお, 側圧は下部金具のZ方向反力の合計値とし, 側圧が 1000kN に達するまで加力を行った. パラメータは初期張力 T_0 とし, ケーブルの破断荷重の 3% と 33% (以下「 T_0-3 」, 「 T_0-33 」と示す)の2ケースとした. なお, 本報では数値解析に, 汎用解析プログラムADINA(ver. 9.6)を用いた.

2-2. 数値解析結果および実験結果との比較

T_0-33 時の側圧- Δd 関係を実験結果と併せてFig. 4に示す. (a)は実験開始時の金具-ケーブル間の微小な隙間を考慮し, 側圧 1kN 時を $\Delta d=0$, (b)は締付許容側圧以上の挙動の把握のため, 締付許容側圧(76.8kN)時を $\Delta d=0$ としたものである. また, 実験に合わせて, 締付許容側圧の5倍(384kN)までの結果を示す. なお, 図には1回目の実験結果も示してあるが, 解析結果との比較の際には, 性状が安定する2回目以降の結果を用いた. (a), (b)共に2回目以降の実験値と解析値は概ね同様の挙動を示しており, 本報で提案した解析モデルと解析手法は十分な妥当性を有していると考えられる.

2-3. 初期張力による影響

T_0 の影響の把握を目的として, 解析結果を考察する. T_0-3 と T_0-33 時の側圧- Δd 関係をFig. 5に示す. な

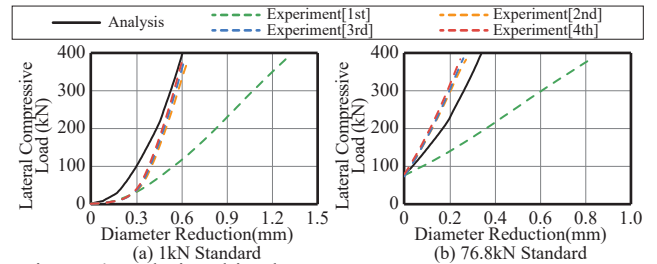


Figure 4. Relationships between Lateral Compressive Load and Diameter Reduction

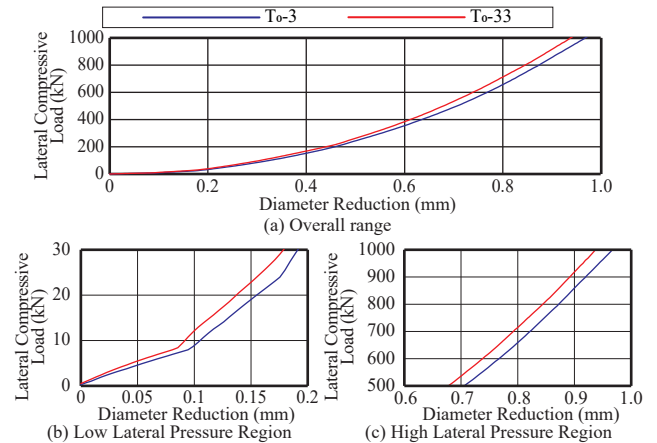


Figure 5. Relationships between Lateral Compressive Load and Diameter Reduction

お, 側圧発生時を $\Delta d=0$ とし, (a)は全側圧域, (b)は低圧域($0 \sim 30\text{kN}$), (c)は高圧域($500 \sim 1,000\text{kN}$)を示す. (a)より両ケース共に, 概ね同様の挙動を示すことが確認された. 一方, (b)低圧域では, T_0-3 の方が Δd が大きい結果となった. これは, 初期張力量による素線間の間隙量が影響したと考えられる. また, (c)より, 高圧域では T_0 の大小に関わらずほぼ同様の傾きを示しており, 側圧と Δd が比例関係を示すことが把握された. これは一定以上の側圧(約 500kN)が付加されると素線間の間隙がほぼ消滅し, 側圧による素線の変形のみが Δd に影響するためと考えられる.

3. まとめ

本報では, ケーブルの横圧方向の圧縮力による径の減少量 Δd のデータの蓄積を目的として数値解析を行い, 既報の実験結果との比較により解析手法の妥当性を検証すると共に, 側圧の増加による Δd の性状を把握した. また, 初期張力による Δd への影響も併せて把握した.

4. 参考文献

- [1] 斎藤公男, 岡田章: 「ケーブル金物の設計法に関する基礎的研究」, 日本建築学会構造系論文集, No. 518, pp. 41-48, 1999. 4
- [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
- [3] 草間, 他: 「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」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造I, pp.919-922, 2022. 9