

B-19

ケーブル構造における設計用把握力の安全率の設定に関する基礎的研究  
Basic Study on Setting Value of Safety Factor for Design Gripping Force of Cable Structures

○宮田脩平<sup>3</sup>, 岡田章<sup>1</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 齋藤公男<sup>2</sup>  
\*Shuhei Miyata<sup>3</sup>, Akira Okada<sup>1</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Masao Saitoh<sup>2</sup>

Abstract: There has been an increase in the number of architecture with cable. Cable made by bundling fine high tensile string materials has flexibility and the strength to weight ratio is high. However, it is not clear basis for the safety factor used in the design. In this paper, in order to set the appropriate safety factor, the authors evaluate the validity of the safety factor.

1. はじめに

近年, 張弦梁構造やガラスファサードなどの支持構造等にみられるようにケーブルを用いた建築物が増加する傾向にある (Photo. 1)。しかし, 国内におけるケーブルの適用例は, 欧米に比べると少ない。強度, 疲労特性, 運搬性において, ケーブルはロッドに比べて優れた特性を有しているが, ロッドの使用が多いのが現状である。この原因として, ケーブルの設計法と施工に関する技術的な蓄積, 特にディテール設計に関わるデータが未整備であることが挙げられる。現在の接合部の設計は, 橋梁分野で蓄積された太径ケーブルの材料データを基に構築されており, 細径ケーブルが一般的な建築分野に適用した場合, 接合部の規模が大きくなるなど, 意匠・コスト面で問題となり, ケーブル適用を阻む要因となっている。

また, トラスの弦材にケーブルを使用した構造 (テンション・トラス) の場合, 常時荷重時には節点の両側のケーブル張力の差 (滑動力) はゼロにすることが可能であるが, 付加荷重時には滑動力が増大する性状を有する。この種の節点部に使用される金物 (以下「中間クランプ金物」) の設計では, 滑動力  $\Delta T$  に安全率をかけ, 設計用把握力を算定している (Fig. 1)。しかし, 現行の設計法において使用されている安全率  $\nu$ ・許容側圧  $f_p$  の 2 つの値に関して設定の根拠が明らかになっていない。このため, 中間クランプ金物の規模が意匠面で部材断面と釣り合わない程度まで大きくなりがちである<sup>[3]</sup>。

以上を踏まえ, 本論では, テンション・トラスを対象に中間クランプ金物の安全率の妥当性について検討する。適正な安全率を設定することで, 中間クランプ金物が縮小化, 簡素化する可能性があり, そのために必要なデータの蓄積を行うことを主目的とする。

2. 数値解析

2-1. PS による比較

はじめに, テンション・トラスの基本的な構造特性を把握するために上下弦材に導入する初期張力 (以下「PS」) を変化させ, 数値解析により検討を行う。

2-1-1. 解析概要

解析概要を Fig. 2 に示す。スパン 12m, デプス 0.6m のテンション・トラスを検討対象とする。荷重は風荷重 (1000N/m<sup>2</sup>) を想定して, 負担幅 2m として算定し, 各節点 (7 点) に集中荷重で載荷する。支持条件は 4 点ピン支持とする。斜材は鋼管, 上下弦材は構造用ストランドケーブル (1×19) とする。ケーブルの材料特性は非抗圧性を考慮し設定した。



Photo.1 Architecture using Cable

設計用把握力:  $G_o$  必要締付力:  $N$  必要クランプ長さ:  $L$

$$G_o = \nu \cdot \Delta T \quad N = \frac{G_o}{m \cdot \mu \cdot k} \quad L = \frac{1}{f_p \cdot d} N$$

$G_o$ : 設計用把握力 (滑り耐力)  
 $\nu$ : 安全率 (長期  $\nu=3.0$ , 短期  $\nu=2.2$ )  
 $\Delta T$ : 滑動力 (= |T1-T2| )  
 $m$ : 締付部形状により定まる形状係数 (推奨値  $m=2$ )  
 $\mu$ : 摩擦係数 (Steel  $\mu=0.15$ )  
 $k$ : 軸力低下係数 (通常  $k=0.7$ )  
 $f_p$ : ケーブル許容側圧  
 $d$ : ケーブル径 (金物と接触するケーブルの幅)

Figure.1 Gripping Force Calculated in Design for Clamp Fitting

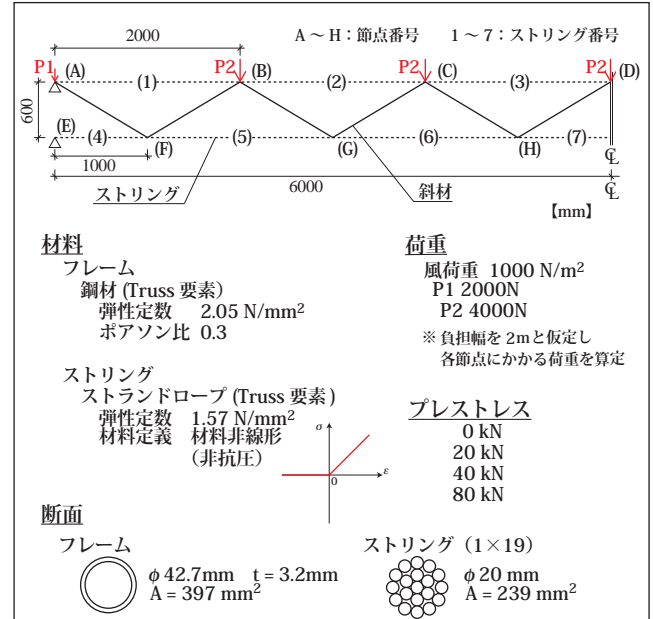


Figure.2 Outline of Analysis

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大名誉教授 3 : 日大理工・院・建築

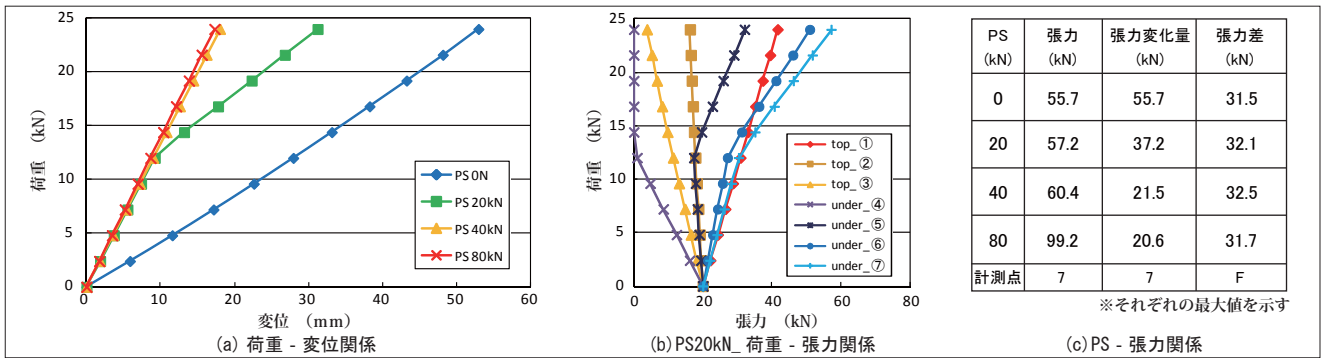


Figure.3 Results obtained from Analysis

2-1-2. 解析結果

解析結果をFig. 3に示す。3-(a)より、テンション・トラスは初期張力なしと張力消失後の剛性は等しく、張力消失が起きなければPSの影響は小さいことが把握された。3-(b)より、下弦材端部の(4)が張力消失することで、他の下弦材で張力の増加が見られるが、上弦材には影響がないことがわかる。Fig3-(c)には、PSと張力の関係を示す。PSが大きくなるにつれて、張力変化量は小さくなるが、張力差に大きな差はみられないことが把握された。よって、張力差は荷重にのみ依存すると考えられる。

2-2. 滑動を考慮した数値解析

現在使われる安全率(ν=3)を変化させて算定した把握力を用い、滑動を考慮した解析を行う。把握力の算定にはFig. 4に示す荷重1を用い、算定に用いた荷重以上の荷重(荷重2)が加わった際の挙動を検証する。

2-2-1. 解析概要

解析概要をFig. 4に示す。基本的なモデルはFig. 2と同様とする。ストリングは非抗圧性を考慮し、中間クランプの滑動は仮想材を用いてモデル化した。Table. 1にFig. 1に示した計算式を用いた設計用把握力等の算定結果を示す。PS量は荷重1において、張力消失しない値とした。

2-2-2. 解析結果

解析結果をFig. 5に示す。5-(a)より、張力消失後に滑動を起こすと変位が進み剛性が低下することがわかる。張力消失よりも滑動による剛性の低下が大きいことが把握された。5-(b)より、滑動すると張力が減少していた(2)、(3)においても張力の増加する傾向がみられた。5-(c)より、荷重1の1.5倍で安全率ν=1.5の把握力で滑動しているが、安全率ν=2~3では滑動はみられなかった。また、滑動後も不安定にはならず、安定的な挙動であることが把握された。そのため、滑動を許容することで、現行の設計法の安全率ν=3は、低減が可能であると考えられる。

3. まとめと今後の検討

本論では数値解析を用いて、テンション・トラスの滑動を許容した場合の性状について把握し、現行の設計法に用いられている安全率の低減の可能性を示唆した。今後の検討としては、滑動時に張力消失が起きていない場合における性状の把握や動的応答解析による安全率の妥当性の検討が挙げられる。

【参考文献】

[1]赤星, 岡田, 宮里, 斎藤: 「ケーブルクランプ金物部の滑動を考慮したテンセグリック・タワーの地震時応答性状に関する基礎的研究」 AIJ大会(東海), 2012 [2] 斎藤, 岡田: 「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, 第518号, 41-48, 1999. 4 [3] 宮田, 斎藤, 岡田, 宮里: 「ガラスファサードに用いるテンション・トラスの構造特性に関する基礎的研究」 AIJ大会(東海), 2003

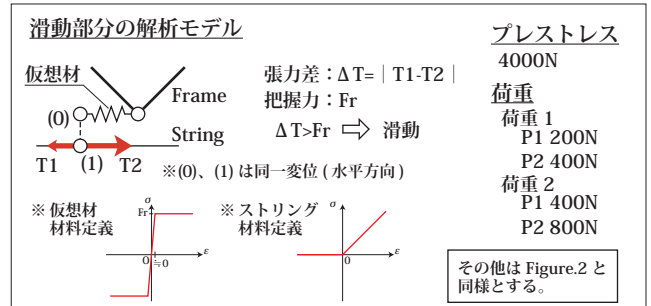


Figure.4 Outline of Analysis

Table.1 Calculation of the Clamp

	安全率 ν			
	3	2.5	2	1.5
設計用把握力 (N)	9900	8250	6600	4950
必要締付力 (N)	47142.9	39285.7	31428.6	23571.4
必要クランプ長さ (mm)	471.4	392.9	314.3	235.7

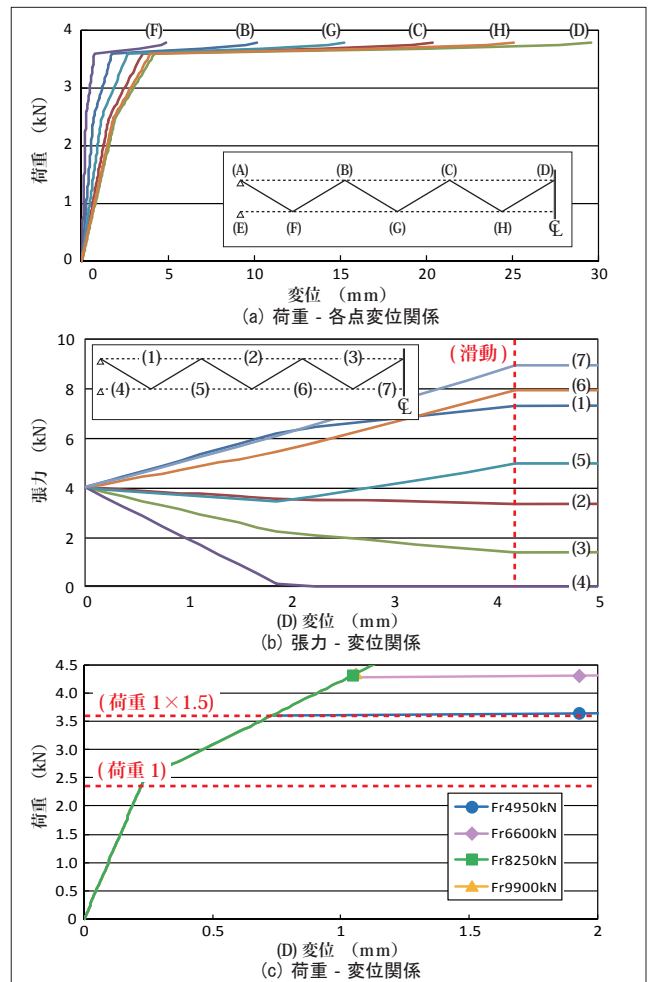


Figure.5 Results obtained from Analysis