

B-4

クランプ金物の滑動を考慮したテンセグリック・タワーの静的特性に関する基礎的研究

(その1)解析モデルの構築と解析的検討

Basic Study on Static Characteristics of Tensegric Tower Considering Slip at Cable-Clamp

(Part1) Proposal of Analytical Model and Study with Numerical analysis

○赤星博仁<sup>3</sup>, 岡田章<sup>1</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 廣石秀造<sup>1</sup>, 斎藤公男<sup>2</sup>

\*Hiroto Akahoshi<sup>3</sup>, Akira Okada<sup>1</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Shuzo Hiroishi<sup>1</sup>, Masao Saitoh<sup>2</sup>

Abstract : Generally, the cable structure have been designed based on the allowable stress in the range of elastic state. However, recent study needs to examine the safety of the structure after members are yielded. In this report, considering the slackness of strings, the basic mechanism and the slip at the cable-clamp on the tensegric tower which consists of a tensegric truss structure are grasped by the numerical analyses and the experiments.

1. はじめに

近年, 通常の建築物においては建築基準法等で想定された荷重レベル以上の安全性について確認する傾向にある。一方, テンション構造の設計は, 二次設計レベルの設計荷重に対しても, 弾性範囲内で設計されることが一般的であり, 終局耐力の把握及び想定された荷重レベル以上の荷重下における架構の状態や, 安全性については論じられることは少ない (Fig. 1)。この中でも, ケーブル間で他部材と接合するためにケーブルを掴むように取り付けられるクランプ金物は, 付加荷重に対して通常, ケーブルと金物の滑り (滑動) を生じさせない把握力 ( $F_r$ ) が必要とされる。このため, 特に多雪地域においては,  $F_r$  が過大となり, クランプ金物寸法及びケーブル径が増大する傾向にある。これに対して, 初期張力の低減に伴う抵抗メカニズムの変化, 張力消失及びクランプの滑動が架構に及ぼす影響, 等を検討することにより, 把握力の低減を含むクランプ金物の適切な設計クライテリアを設定する考えもある。本研究で対象とするテンセグリック・タワー (以下「Tタワー」) は, これらの設計事象を検証することを目的とし, 従来通りに許容応力度設計された架構である (Fig. 2)。既報<sup>[1]</sup>では, 想定された荷重レベル以上の動的荷重下におけるケーブルの衝撃的な応力変動等に関して検討を行っているものの, クランプ金物の滑動に関しては考慮されていない。そこで本研究では, Tタワーを用いて, クランプ金物の滑動が及ぼす事象について数値解析及び実験的に把握を行うと共に, 数値解析手法の妥当性について検証する。

2. 試験体概要

Tタワーは, テンセグリック・トラス (Type II)<sup>[2]</sup> を塔状に5層積層させた構造とも位置付けられ, 幾何学的に安定した正八面体を基本ユニットとし, 各ユニットをボルト

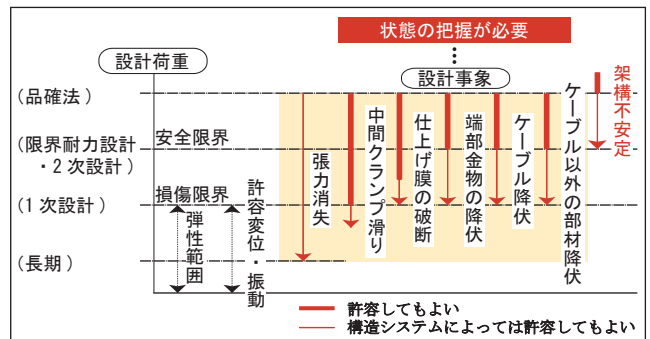


Figure 1. Design Criteria Example for Tensile Structure

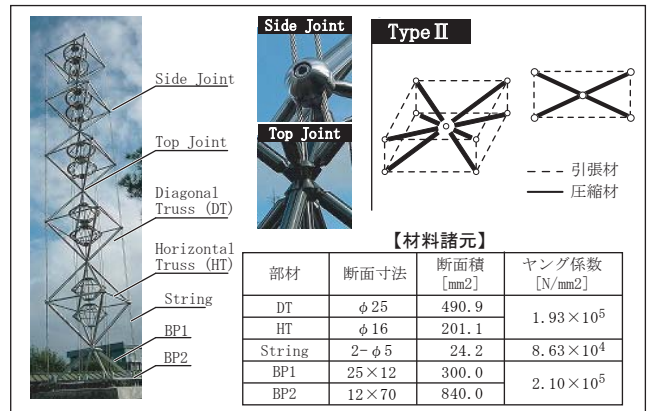


Figure 2. Outline of Tensegric Tower

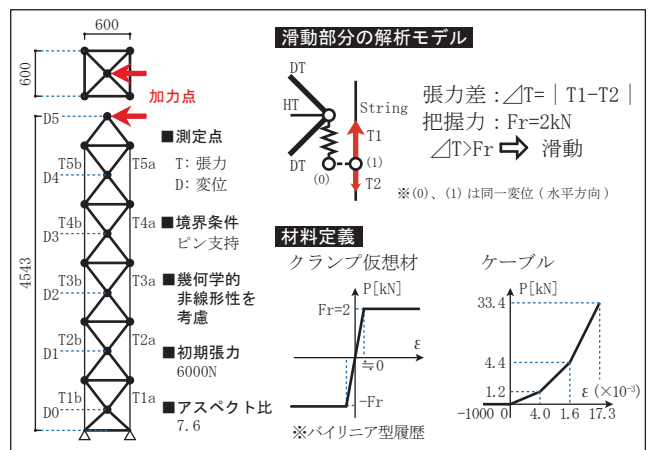


Figure 3. Outline of Analysis

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

によりピン接合した構成を有している (Fig. 2). ケーブルは最外縁に4本配置され, ケーブルの長尺性を活かし, 最上段で180° 折り返し, 最下端に初期張力の導入が可能なケーブル端部を設けている. なお, ケーブルと基本ユニットはクランプ金物により接合されている.

3. 解析概要

Fig. 3に解析概要を示す. 载荷は, 頂部 (D5) に0.2mを強制変位させる1方向载荷, 片振幅0.17mを正負に2回繰り返す正負交番载荷とした. ケーブルの材料特性は, 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. ケーブルの初期張力 (以下「PS」) は6kN, 中間クランプ金物の $F_r$ は2kNとした.

4. 解析結果

Table1とFig. 4に1方向载荷による解析結果を示す.  $Q=2\text{kN}$ 付近で, 張力差が最も大きい最下層の引張側ケーブルの中間クランプ金物が滑動 (Fig. 4-a①)したが, 水平剛性の大きな低下は確認されなかった. 続いて, 2~4層目のクランプがほぼ同時に滑動した (Fig. 4-a②, ④, ⑤). その間にT1bに張力消失が生じ (Fig. 4-a③), 水平剛性が大幅に低下した. また滑動により隣接するケーブル張力は2kNの張力差を維持した状態で均一に増加し, それに追従してT1bを除いた圧縮側ケーブルの張力も同等に増加する挙動を示した (Fig. 4-b).

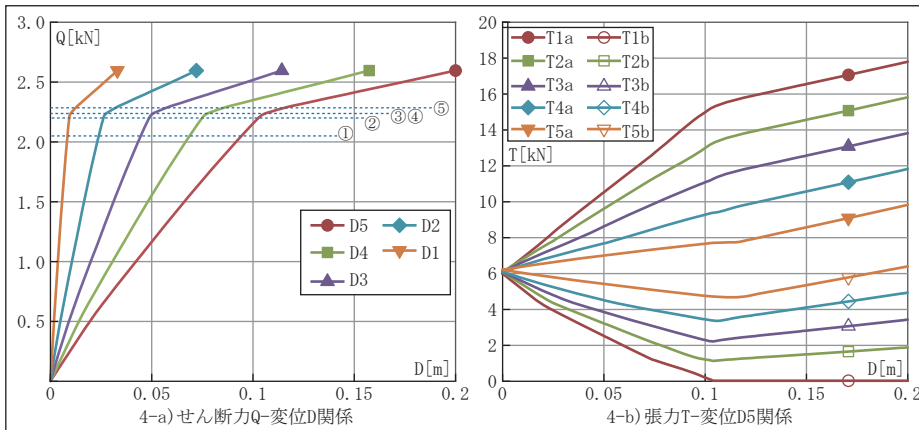


Figure 4. Result of Lateral Loading

Fig. 5に本解析モデルとクランプ滑動が生じないモデル ( $F_r=\infty$ ) との変形性状の比較を示す. 同荷重下では, 本解析モデルの方が頂部 (D5) 変位が約1.5倍になり, 水平剛性が低下することが確認された. また $F_r=\infty$ モデルをD5の変位が一致するまで強制変位させたところ, 変形モードに違いが生じた. 特にD1の変位の差が大きく, 上層に近づくに従って差は減少する傾向が見られた.

Fig. 6に正負交番载荷による解析結果を示す. 頂部 (D5) におけるQ-D関係では僅少ではあるが塑性域を有するバイリニア型の履歴を示した (Fig. 6-a). 特に滑動が最も大きいと考えられる1層目のせん断力Qと相対変位D1との関係では, より明確なバイリニア型の履歴を示した. これはケーブルとクランプ金物の間に生じる摩擦力による減衰効果とも評価できる.

5. まとめ

数値解析により, 中間クランプ金物の滑動を許容した場合の性状について把握した.

今後の検討及び参考文献に関しては, (その2)に示す.

Table 1. Deformation Process

STEP	Q [kN]	D5 [m]	Tmax [kN]	Tmin [kN]	現象
①	2.06	0.095	14.60	0.42	1層目引張側クランプ滑動
②	2.20	0.103	15.20	0.06	2層目引張側クランプ滑動
③	2.23	0.105	15.32	0.00	1層目圧縮側T1b張力消失
④	2.24	0.107	15.41	0.00	3層目引張側クランプ滑動
⑤	2.29	0.117	15.74	0.00	4層目引張側クランプ滑動

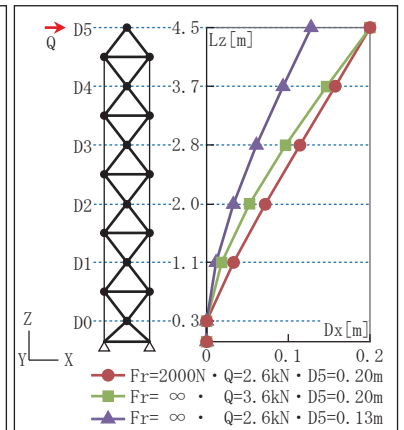


Figure 5. Deformation Mode

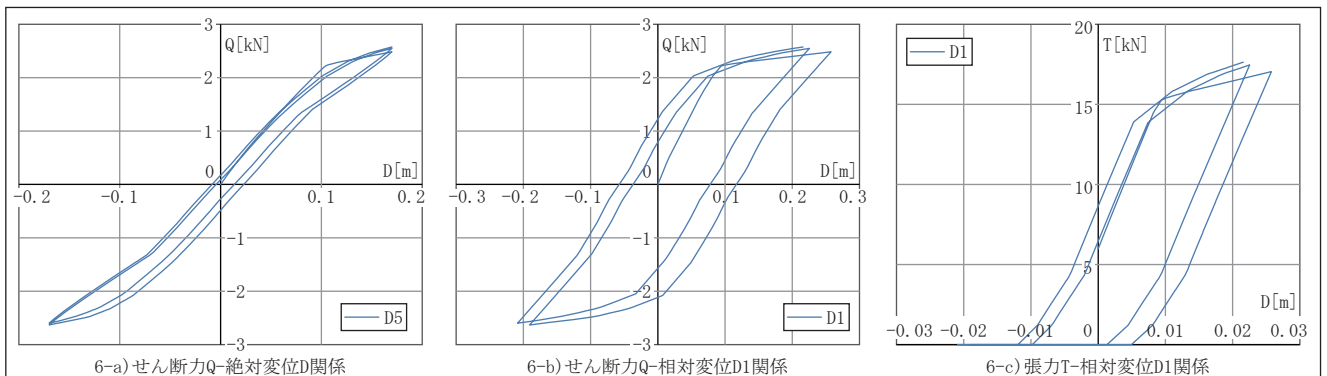


Figure 6. Result of Peak-to-peak Horizontal Alternative Loading