

B-21

相互貫入ユニットで形成されたTensegrity Trussの提案及び力学的特性の把握  
-タワーへの適用に関する基礎的研究-

Proposal of Tensegrity Truss Formed by Interpenetrating Units of Tensegric Truss and Grasp of Structural Characteristics  
-Basic Study on Application to a Tower-

○栗栖寛弥<sup>3</sup>, 岡田章<sup>1</sup>, 宮里直也<sup>1</sup>, 廣石秀造<sup>1</sup>, 吉野誠一<sup>4</sup>, 有路亮平<sup>3</sup>, 斎藤公男<sup>2</sup>  
\*Hiroya Kurisu<sup>3</sup>, Akira Okada<sup>1</sup>, Naoya Miyasato<sup>1</sup>, Shuzo Hiroishi<sup>1</sup>, Seiichi Yoshino<sup>4</sup>, Ryohei Arijji<sup>3</sup>, Masao Saitoh<sup>2</sup>

Abstract : Tensegrity was proposed by B.fuller and Tensegric Truss was proposed with extending the concept of tensegrity for the purpose of construction development. However, when applied to tower which big bending moment and shearing force occur in a fulcrum part, processing of the stress which arises in the compression member of a leg unit poses a problem. Based on them, in this paper, the authors propose a new-type Tensegrity derived from the Tensegric Truss and figure out basic mechanical characteristics when applied to tower.

1.はじめに

Tensegric Trussは、Tensegrityの定義を拡張することにより架構の剛性不足や施工時の安定性に欠ける事、高い初期張力(PS)を必要とする事に起因するディテールの複雑化等の問題点を解消し、建築的な発展を図った構造システムである<sup>[1]</sup>。しかし、Tensegric Trussはドームや平板などユニットを集積して使用することを主眼としており、大きな曲げモーメントとせん断力が支点部に発生するタワー等の積層する構造物に適用する際には、脚部ユニットの圧縮材に生じる応力の処理が問題となる。以上を踏まえ、本研究ではTensegric Trussから派生したTensegrityの建築的な発展形の一つとしてInterpenetrating Tensegrity Truss (以下ITT)を提案し、力学的特性の把握を行う。

2. ITTの発生

ITTのユニットを、Tensegric Truss TYPE IIの四角錐のユニットを45度回転させ、中間節点を四角錐が相互貫入するように移動し、ストリングで連結した形状として捉える(Fig. 1)。圧縮材である四角錐のユニットがストリングを介して接続しており、圧縮材の分離配置の観点からTensegric TrussとTensegrityの中間に位置する構造システムと位置付けられる。

ユニット全体の張力管理は中央のユニット間ストリング1部材の材長管理のみによって行うことが可能であり、施工の簡素化を図っている。構造システムの原理モデルをFig. 2に示す。四角錐の圧縮材ユニットを繋ぐ中央のストリングはせん断力に対して直交しているため、微小変形の範囲内では応力が発生せず、主に外周のストリングで応力を負担し支点部で反力処理する特徴を有している。即ち、連結される圧縮材には応力が伝達されず、圧縮材への応力集中の防止が期待できる。

本構造は、単一のユニットをドーム空間として適用

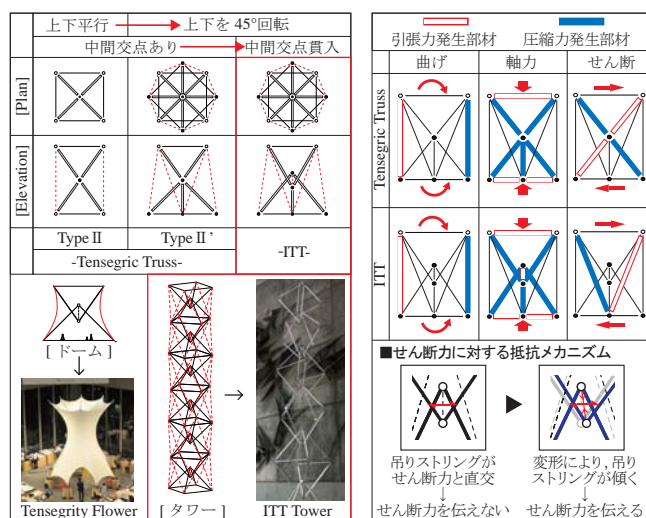


Figure1. Proposal of Interpenetrating Tensegrity Truss  
Figure2. Structural Characteristic of ITT Unit

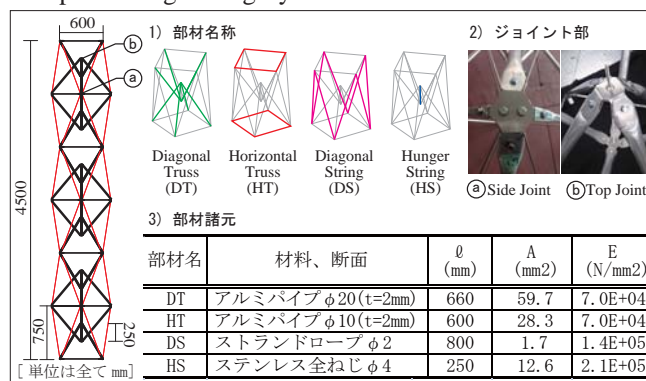


Figure3. Outline of Multi-Unit Model

した例が見られるが<sup>[2]</sup>(Fig. 1)、本研究ではこのITTのユニットを6層積層させたタワーを対象に検討を行う。

3. 試験体の作成及び静的水平載荷実験

3-1. 試験体概要

本構造のタワーとしての実現性及びディテールの検討を目的として、ITTを6ユニット積層した4.5m規模の試験体を製作した(Fig. 3)。各部材の名称をFig. 3-1に示す。部材の内、DT及びHTにはアルミパイプを用い、ジョイン

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大名誉教授 3 : 日大理工・院(前)・建築 4 : 日大理工・院(後)・建築

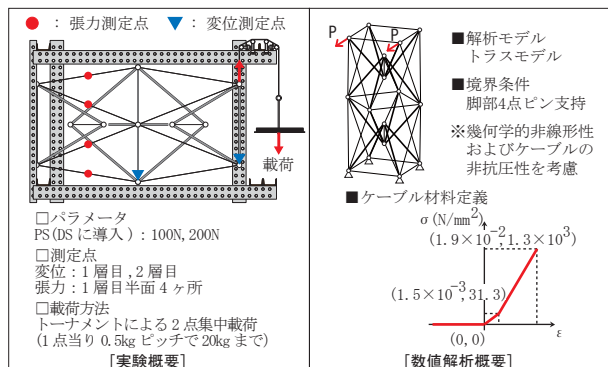


Figure4. Outline of Experimental Test and Numerical Analysis

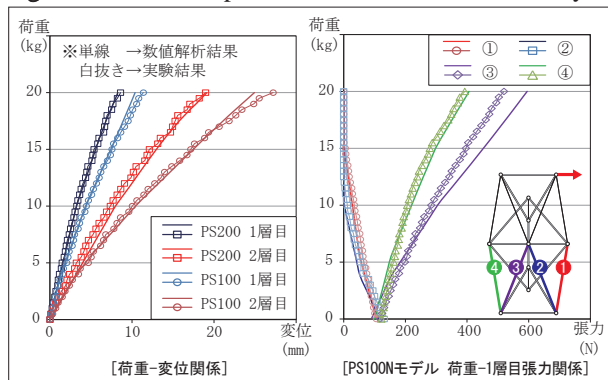


Figure5. Results Obtained from Experiment and Numerical Analysis

トを介して接合を図った。ジョイント部はアルミプレート ( $t=2\text{mm}$ ) を用いて製作し、プレス加工されたアルミパイプの端部を差し込み、1本のボルトを用いて接合する方式とした。DSにはケーブルを用い、トラスとの接合にはプレートで挟み込む中間クランプ金物を用いた。HSには全ねじを用い、ねじの締め込みによる全体へのPS導入が可能なディテールとなっている (Fig. 3-2)。

### 3-2. 実験及び数値解析概要

ITTの力学的特性の把握を目的として、試験体2ユニットを連結させたモデルを対象に静的水平載荷実験及び数値解析を行った。実験及び数値解析概要をFig. 4, 部材諸元をFig. 3-3に示す。検討パラメータはDSのPS量とし、PS200Nモデルは初期剛性の把握、PS100Nモデルは張力変化及び張力消失後の挙動の把握を目的として実験を行った。なお、自重の影響を無視するため水平に寝かせて実験を行った。

### 3-3. 実験結果

Fig. 5に実験結果を示す。単線で示すのが数値解析値、白抜きの記号で示すのが実験値である。数値解析結果と実験結果は良好に一致しており、数値解析モデルの妥当性が確認できた。また、両モデル共に張力消失の発生により剛性の低下が発生することを確認したが、張力消失後に載荷を続けても不安定現象等は確認されなかった。

### 4.6ユニットを積層させたモデルでの解析的検討

前項の数値解析モデルを用いて、ITTを6ユニット積

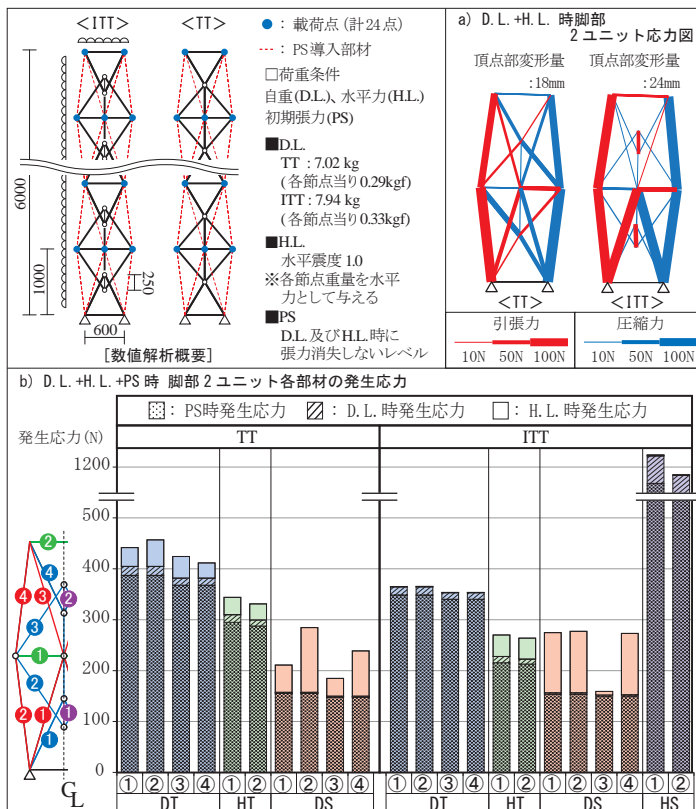


Figure6. Numerical Analytical Results Using 6 Unit Model

層させたタワーモデルと、従来型Tensegric Truss (以下TT) との比較検討を行う。数値解析概要をFig. 6に示す。張力消失前の挙動に着目することを目的として、ケーブルの非抗圧性は考慮せずに通常のトラスモデルとして解析を行った。また、DTの材長を調整しユニット高さを両モデル共に1mに統一した。Fig. 6-aにDL+HL時の脚部2ユニットの応力図及び変形量を示す。ITTの変形は、TTと比較して約1.3倍ほど大きくなっている。発生応力を比較すると、ITTではDTに圧縮力がほとんど発生しておらず、その分DSの応力負担が大きくなっていることが分かる。Fig. 6-bにPSを含めた脚部2ユニットの各部材の発生応力の絶対値を示す。導入PS量に関しては、DL及びHL時にDSに発生した圧縮力より設定を行った。ITTにおいて、TTで応力負担の少ないDS①、④部材の応力が増加しており、DSの発生応力の最大値に差異は見られない。そのため、テンセグリティ化による必要PS量の増加等の問題も発生しないと考えられる。

### 5. まとめと今後の検討

タワーへの適用を目的として、Tensegrityの発展例の一つとしてITTを提案し、実験的及び数値解析的に構造システムの把握を行った。今後、動的外乱に対する検討が必要であると考えられる。

#### 【謝辞】

本研究は、能村膜構造技術振興財団の助成金に基づいて実施しました。

#### 【参考文献】

- [1] 田畑, 斎藤, 岡田: 「テンセグリック・トラスアーチの構造特性に関する研究」, 日本建築学会構造系論文集, 2001  
[2] 斎藤, 岡田, 宮里, 栗栖: 「テンセグリティ・フラワーの設計と施工」, AIJ大会 (東海), 2012