

Intersecting Tensegrity Truss ユニットを用いた梁架構の提案
 -基本的構造特性に関する数値解析的検討-

Proposal of Beam-Shaped Structure Consisting of Intersecting Tensegrity Truss Units
 -Numerical Study on Basic Structural Characteristics-

○福田和馬⁴, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造², 李珠娜³

*Kazuma Fukuda⁴, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi², Juna Lee³

Abstract :The tensegrity structure is a system in which compression members arranged discontinuously are integrated by a tension members that is arranged continuously. Although this system is excellent in lightweightness, deformation control is difficult, so there are very few buildings that adopt this structural system in Japan. After that, Tensegrity Truss was proposed with extending the concept of tensegrity for the purpose of construction development. In this paper, the authors propose a beam-shaped structure composed of a new type of tensegrity system derived from Tensegrity Truss and grasp the basic structural characteristics by numerical analysis.

1. はじめに

Tensegrity 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の欠如、高い初期張力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(Fig.1)^[1].

本報で対象とする「Intersecting Tensegrity Truss(以下、ITTと称す)」は、Tensegrity Trussから派生した構造である(Fig.2). ITTは、相対する二つの四角錐のユニットを45度回転させ、頂点を相互貫入するように移動させた骨組(圧縮材)と、その頂点部相互と外周部をストリングで結合することで構成されている。既往の研究^[1]では、ITTをタワーに適用した場合(Fig.3)の構造特性について報告されている。

本報ではITTの建築空間への適用を目指して、梁架構を提案すると共に、構造計画に反映できる基本資料の蓄積を目的として数値解析を用いて検討を行った。

2. 基本的構造システムと梁モデルの提案

Fig. 4にITTユニットの基本的な構造システムを示す。ITTユニット全体の張力管理は、上下の圧縮材を繋ぐ中央のストリング1部材の材長管理のみで行うことが可能である。本報では、水平方向にITTユニットを11個連結させた梁架構を提案する(Fig. 5, 以下「model A」と称す)。自己釣合系のITTユニットにより構成することで、model Aは単純支持が可能となり、水平反力の処理も不要となることが考えられ、施工の簡素化も期待できる。また、model Aを上下反転させたモデル(以下「model B」と称す)を併せて提案し、剛性、張力量の差異について検討を行う。

3. 数値解析概要

付加荷重時の基本的構造特性の把握を目的として、ストリングに導入する初期張力(以下、「PS」と称す)量及びデプス・スパン比(D/Lx)をパラメータとし、数値解析による検討を行った。なお、数値解析概要をFig.5に示す。

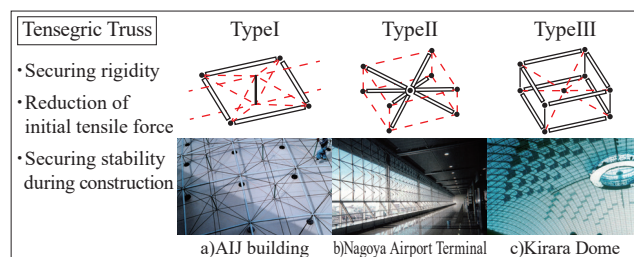


Fig.1 From Tensegrity to Tensegrity Truss^[2]

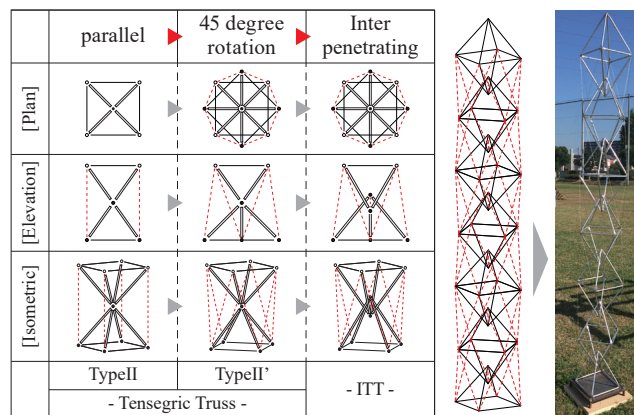


Fig.2 ITT Occurrence

Fig.3 ITT Tower

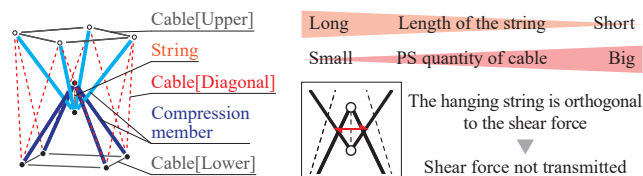


Fig.4 Basic System ITT Unit

屋根面への利用を想定し、自重と積載荷重(980N/m²)を負担面積を考慮して、各節点にz方向(下向き)に集中荷重で加えた。解析モデルでは、ストリングに初期ひずみを与えることで、ITTの張力導入法を模擬した。全てのケーブルが張力消失しない最小のひずみ量(以下、「最小PS量」と称す)を基準とし、各パラメータのPSはひずみ量で管理した。なお、数値解析は、ケーブルの非抗圧性を考慮した。

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・客員研究員・建築 4 : 日大理工・院(前)・建築

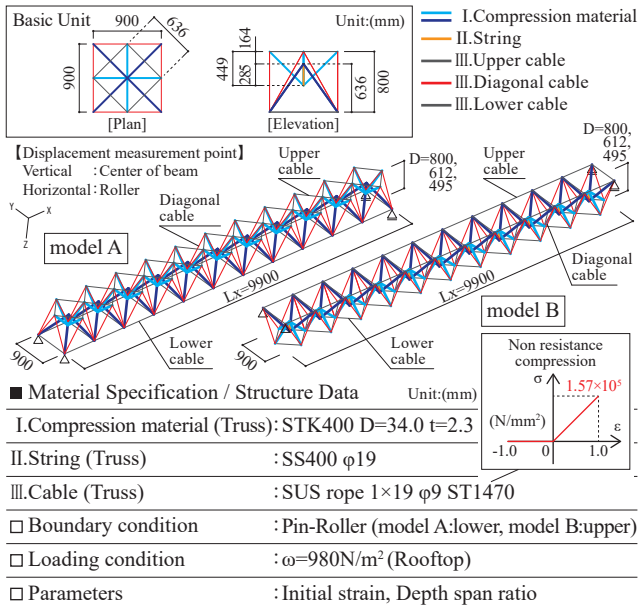


Fig.5 Outline of Numerical Analysis

4. 初期張力 (PS) 量, デプス・スパン比の影響

4-1. 初期張力 (PS) 量の違いが及ぼす影響

ケーブル張力が消失した場合の不安定挙動の把握を目的として、デプス800 (mm) のモデルを対象にPS量の違いによる検討を行った。PS導入時の初期変位を Table 1, 各モデルの荷重-変位関係, 荷重-ケーブル最小軸力 (上弦材, 斜材, 下弦材) 関係を Fig. 6 に示す。Table 1 より, model B は model A に比べ, 約 2.5 倍の PS 量を有し, PS 導入に伴って model A では下弦材側, model B では上弦材側に湾曲する性状を示した。Fig. 6 より, ケーブル張力が消失しない場合 ($N_{min} > 0$) において, 導入PS量はケーブル張力に影響を及ぼすものの, 剛性は一定となることを把握した。一方, ケーブル張力が消失した場合 ($N_{min} = 0$), 架構全体の剛性は低下するが, 即座に不安定には至らないことが確認された。

4-2. デプス・スパン比の違いが及ぼす影響

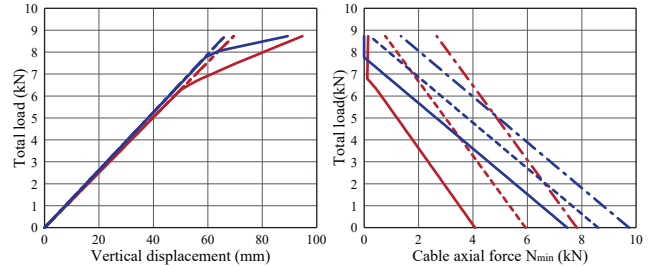
スパンを一定の条件下で, デプスのみ800 ($D/Lx = 1/12$), 612 (同 $1/16$), 495 (同 $1/20$) (mm) と変化させた計3種類のモデルを対象とした検討を行った。PS導入時の初期変位を Table 2, 各モデルの荷重-変位関係を Fig. 7 に示す。Table 2 の鉛直変位に着目すると, 両モデル共, 初期変位の値の正負が入れ替わることが確認できる。これは, デプス・スパン比の減少に伴い, 上下弦材の張力差が増大することが原因だと考えられる。Table 2 に示した最小PS量を導入した場合, デプスが小さくなるほど, model A・B 共に変位が大きくなる性状を示した。これは, デプスの減少に伴って曲げ剛性が低下するためだと考えられる。また, 同じデプス・スパン比で比較すると, 鉛直変位は同様の傾向を示したのに対し, 水平変位は異なる傾向を示した。これは model A・B の境界位置及び上下弦材の格子形状の差異が起因していると考えられる。

Table 1. Initial Displacement (Initial Strain)

Unit (kN,mm)		model A			model B		
Initial strain (PS)	PS	464 (ε=0.08)	640 (ε=0.011)	814 (ε=0.014)	1394 (ε=0.024)	1570 (ε=0.027)	1744 (ε=0.030)
	PS+ Self weight	4.45	6.09	7.70	-9.55	-10.66	-11.74
displacement	PS+ Self weight	17.28	18.86	20.42	2.91	1.78	0.69

※The red word indicates the minimum PS amount of each model, and the displacement is positive in the z direction downward

modelA: — 464.9 —••• 639.3 —••• 813.6 modelB: — 1394.8 —••• 1569.2 —••• 1743.5



a) Load-Vertical Displacement Relations
b) Load-Axial Force Relations (Upper Cable)
c) Load-Axial Force Relations (Diagonal Cable)
d) Load-Axial Force Relations (Lower Cable)

Fig.6 Relationship of between Load and Displacement

Table 2. Initial Displacement (Depth Span Ratio)

Unit (mm)		model A PS=1395 (kN) (ε=0.025)			model B PS=3894 (kN) (ε=0.073)		
Depth span ratio		1/12	1/16	1/20	1/12	1/16	1/20
Vertical displacement	PS	12.91	-1.78	-8.03	-23.62	11.19	25.57
	PS+ Self weight	25.42	13.66	11.64	-10.78	25.34	42.58
Horizontal displacement	PS	14.78	12.20	9.60	41.30	34.20	26.80
	PS+ Self weight	16.37	14.19	11.96	39.73	32.23	24.56

※Set the minimum PS amount of the D / Lx = 1/20 model with each model, and make the downward direction positive for the z direction displacement

modelA: — 1/12 —••• 1/16 —••• 1/20 modelB: — 1/12 —••• 1/16 —••• 1/20

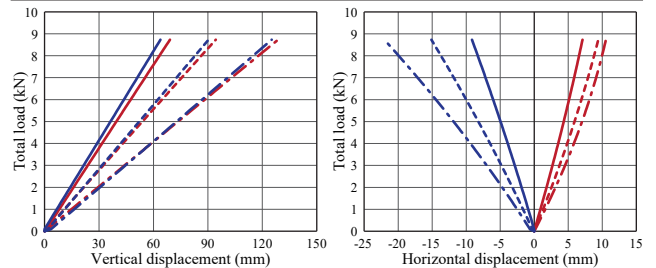


Fig.7 Relationship of between Load and Displacement

5. まとめ

本報では, ITTを梁架構に適用したモデルを提案すると共に, 付加荷重時における基本的構造特性の把握を目的として数値解析による検討を行った。今後, 小規模架構を用いた実験を実施し, 数値解析の妥当性について検証を行う予定である。

6. 参考文献

[1] 栗栖寛弥, 他: 「相互貫入ユニットで形成された Tensegrity Truss の提案及び力学的性状の把握」, AIJ 大会(北海道), 構造 I, pp.1101-1104, 2013.8
[2] 斎藤公男: 空間構造物語, 彰国社, 2003