

ケーブルと曲げ材で構成されるHP曲面の基本的構造特性に関する研究

Study on Basic Structural Characteristics of Hyperbolic Paraboloid Shaped Structure Composed of Cable and Beam

○足立識文³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造²

*Sاتفumi Adachi³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi²

Abstract : Cablenet structure has two problems; 1) reducing deformation under offset load, 2) processing reaction force by morphological resistance and introducing initial tensile force. To solve these problems, the author studies semi rigid hypebolic paraboloid shaped structure which is composed of hanging cable and bracing beam. This is its fundamental study to grasp its structural characteristics.

1. 序

ケーブルネット構造は、偏荷重に対する変形抑制や、初期張力導入や形態抵抗に伴う反力処理など、剛の構造物とは異なる構造設計上の課題が存在する。発生変形量を抑制するためには、導入初期張力を大きくして架構の剛性を向上する方法があるが、反力と共に境界構造の断面の増加が避けられない。そこで、本研究では、押えケーブルを曲げ材に置換した半剛性構造(以下、「本構造」)を対象に検討を行う。本構造に期待される効果を以下に示す。

- (1) 梁断面を適切に選択することでケーブルの張力量と変形量の低減が図れる。
- (2) ケーブルへの導入張力により、梁の曲げモーメントの減少が可能である。
- (3) 境界部の水平反力を低減することによる境界構造の軽減化が可能となる。本研究は、本構造の基本的構造特性を把握することを目的とする。

2. 解析概要

2.1. 解析モデル概要

本研究で検討するモデルは Fig.1 に示す正方形平面を有し、その形状は図中の式 (1) で表せる。ライズ・スパン比 0.15、ケーブルは両端ピン支持、梁は単純支持とし、中間節点位置は平面投影グリッドが直交するように定めた。梁はデプス・スパン比が 1/100 となるものを基準に部材の断面を設定した。また、ケーブルは梁の断面積の 1/20 と設定した。材料特性は、梁は弾性、ケーブルは非抗圧特性を考慮した設定とした。(Table1, Table2)。境界梁は RC ($E=22,700 \text{ N/mm}^2$) とした。本研究では、梁の断面積 A を一定にし、断面二次モーメント I を変化させた 5 ケースを対象に検討を行った。Fig.1 中に示す荷重条件から、長期を D.L., 短期を D.L.+S.L. とし、長期で式 (1) で表される形状となるように初期張力を決定し、Fig.2 に示す 3 パターンの荷重分布に対し検討を行った。なお、本研究に於いては「初期張力」は「長期の状態で発生しているケーブル張力」と定義する。

2.2. 境界梁の剛性の設定

本構造は、境界梁の水平剛性が全体挙動に大きく影

響すると考えられる。そこで、本検討では、Fig.3 に示す関係から境界剛性 k を算出し、境界梁の断面を決定した。ここで、 E_B, I_B は境界梁の弾性係数、断面二次モーメント、 L_B は境界梁のスパン、 α は梁の本数と張力分布によって定まる係数である。本研究では、安全側評価の観点から $\alpha=5/384$ を用いている。

$$nP = k \cdot \frac{\alpha n P L_B^3}{E_B I_B} \Leftrightarrow k = \frac{E_B I_B}{\alpha L_B^3} \quad (2)$$

2.3. 解析結果

本検討では、 $k=10^2$ (境界梁 $B \times D=380 \times 800$) を用いた。

Fig.4 に初期張力の解析結果を示す。梁の I の増加と共に初期張力量が増加しているが、その量は僅かである。即ち、初期張力は梁の I には依存せず、 A を決定

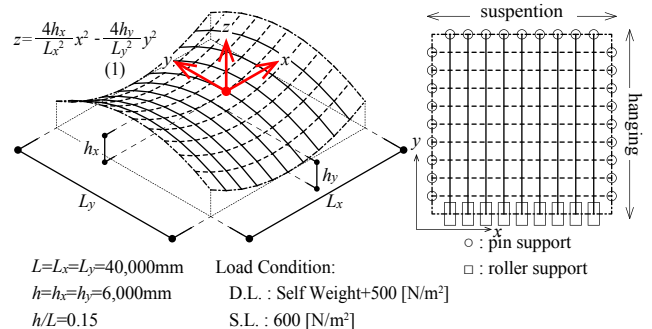


Fig.1 Analysis Model

Table1 Spec of Beams

Name	Section	I [cm ⁴]	A [mm ²]	E [N/mm ²]
Model 1	600×200×12	138,314.8	18,624	205,000
Model 2	500×300×12	291,025.2		
Model 3	400×400×12	467,735.6		
Model 4	300×500×12	644,446.0		
Model 5	200×600×12	797,156.4		

Table2 Spec of Cable

Section	1×61-φ40
A [mm ²]	968
E [N/mm ²]	157,000 (Tensile) 0 (Compress)

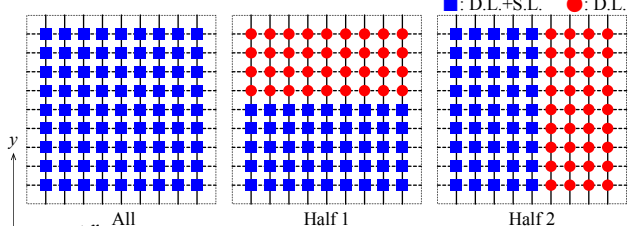


Fig.2 Loading Distribution

すれば初期張力量が決定できると考えられる。

Fig.5 に短期での梁とケーブルの最大軸力の比較結果を示す。なお、ケーブルは引張力、梁は圧縮力が発生しているが、図にはその絶対値を載せている。All, Half1 では梁に軸力がほぼ発生していない。即ち、 $k=10^2$ は十分単純梁を模擬できていると言える。また、Half 2 では梁に約 30kN の圧縮力が発生している。これは、**Fig.6** に示すような変形が発生し、ローラー側境界が内側へ変形したために発生したものと考えられる。

Fig.7 に面外曲げモーメントの図を示す。最大面外曲げモーメントは、全ての荷重パターンで Model 2, 3 が最大値を示している。また、部材中央に発生している曲げモーメントに着目すると、ケーブル補剛の無い単純支持アーチに発生する中央曲げモーメント M_c ($=869.6\text{kN}\cdot\text{m}$) と比べて小さな値となっていることがわかる。

Fig.8 に面内曲げモーメントの図を示す。最大値はどれも Model 3, 4 で生じている。Half 1 では Model 2 で値が減少している。これについては、より詳細な検討が必要である。また、部材中央の面内曲げモーメントは I の増加により All, Half 2 では減少、Half 1 では増加する傾向にあるが Model 5 で減少していることも今後詳細な検討がひつようである。

以上の結果より、本構造では Model 3 を境に発生応力の性状が変化することが示唆された。

3. ケーブルネット構造との比較

本章では前章までに得られた結果から、Model 3 とケーブルネット構造の応力、変形の比較を行い、本構造の適用性、有効性を確認する。

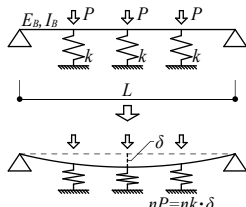


Fig.3 Spring Constant

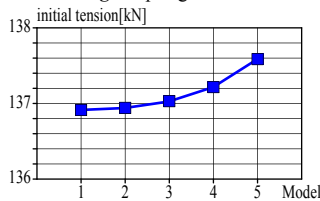


Fig.4 Initial Tension

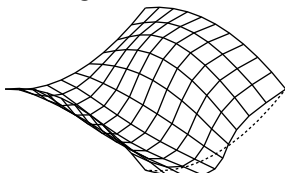


Fig.6 deformation of Half 2

Table3 Comparison between Semi Rigid and Cablenet

	Semi Rigid	Cablenet
initial tension	137kN	143kN
max. z-disp. of All Load	-34.65mm	-618.2mm
max. z-disp. of Half 1 Load	-27.70mm	-617.0mm
$req.k$	10^2	2×10^6

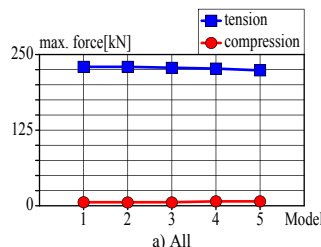


Fig.5 Comparison of Maximum Axial Force

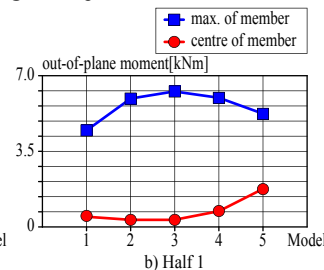


Fig.7 Comparison of Maximum Out-of-Plane Moment

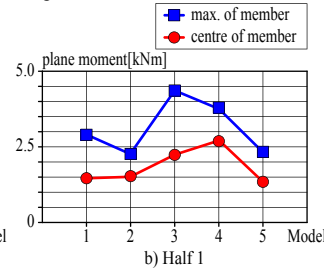


Fig.8 Comparison of Maximum Plane Moment

3.1. ケーブルネット構造概要

検討するケーブルネット構造は、**Fig.1** および **Table 2** に示すモデルを用いる。なお、境界は周辺ピン支持とする。**Fig.2** に示す全ての荷重条件で張力が抜けないことを条件として解析を行った。また、式 (2) より、周辺ピン支持と見なせる k の値も解析で求めた。

3.2. 解析結果

Table 3 に初期張力量、All, Half 1 の最大鉛直変位、必要境界剛性 $req.k$ の解析結果を示す。結果より、本構造は、同一モデルのケーブルネット構造と比べて初期張力量、最大変位、必要境界断面のいずれも減少可能であることを把握した。特に最大鉛直変位は、ケーブルネット構造の 1/20 程度に低減する結果となった。以上の検討より、ケーブルネット構造と比較し、本構造の有効性が示唆された。

4. 結

本検討では、ケーブルと曲げ材で構成された構造の基本的特性を把握した。また、同モデルのケーブルネット構造と比較して本構造の有効性を示した。今後の検討項目を以下に示す。

- 1) 梁とケーブルの断面をパラメータにした詳細な検討
- 2) ケーブルの引張力による梁の横補剛効果と、梁幅を小さくした際の構造特性の把握

【参考文献】

[1] 都ら：空間構造における曲げ剛性の影響，AIJ 構造系論文報告集 Vol.434, pp.87-95, 1992.04
 [2] 山田ら：ケーブルネット構造の地震時挙動に関する基礎的研究—基本振動特性及び地震時応答特性の把握—，構造工学論文集 Vol.57B, pp.249-254, 2011.03