

張弦梁設計マニュアルの解説と演習

石井 孝幸(ピーエス三菱) / 松田 千恵(中野構造設計) / 安達 亮平(福岡構造)

日本建築構造技術者協会九州支部（特殊構法部会・なでしこ部会・青年部会）は2023年3月3日に「張弦梁設計マニュアルの解説と演習」と題し、講師に日本大学理工学部の宮里直也教授、神鋼鋼線工業の伊藤篤彦氏をお招きして勉強会を開催した。張弦梁などのケーブル構造は、構造設計者であればいつかはチャレンジしたい、またはもっと追及したいと思わざるを得ない、魅力的な構造形式である。今回の勉強会では講義だけでなく手計算による演習も実施し、より深く張弦梁を学ぶ機会となった。以下に勉強会の様子を紹介する。

■ケーブル構造の材料と製造方法について

神鋼鋼線工業の伊藤篤彦氏より、ケーブル及び接合部の種類とその特徴、ケーブルの製造の様子について、動画を交えて解説いただいた。希望すれば工場の見学にも応じていただけるとのことで、ぜひ一度見学に行きたいと感じた。

■張弦梁構造の設計マニュアル解説

「張弦梁にチャレンジしたいが参考にする教科書がない、アドバイザーもいない」。そんな設計者のために、本マニュアルは、ケーブル構造の普及を目的に作成された。マニュアルは1章から5章で構成される。

「1章 ケーブル構造の位置づけ」

テンション構造に用いられるテンション材は、線材と面材に分かれる。テンション材は、引張力のみ抵抗可能な部材のため、あらかじめ初期張力が導入される特徴がある。

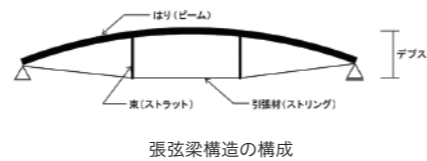
「2章 ケーブルの材料特性と設計上の留意点」

構造用ストランドロープと構造用スパイラルロープの使用頻度が高い。他の鋼材に比べて著しく引張強度が高く、部材の軽量化が可能である。ただし弾性係数が小さく軸剛性が小さい。架構の変形に配慮が必要となる。高張力鋼のケーブル

は溶接接合ができないためケーブル端部の定着部は端末金物が必要となる。ケーブルを切断せず連続的に使用し、端末金物の数を減らすことがコスト低減に有利である。低張力域で初期伸びが発生するが、製作時のプレストレッチング処理で低減できる。

「3章 張弦梁構造の構造設計」

張弦梁構造とは、「曲げ剛性を持った梁（ビーム：Beam）と引張材（ストリング：string）とを束を介して結合した混合構造」である。Beam String Structure は「BSS」と略称される。



ケーブルは、初期張力（「プレストレス」、「PS」と呼称）を導入して使用する。PS量や導入方法によって、ディテ

ル設計や施工方法に影響する。PSの役割を適切に把握した計画が重要である。

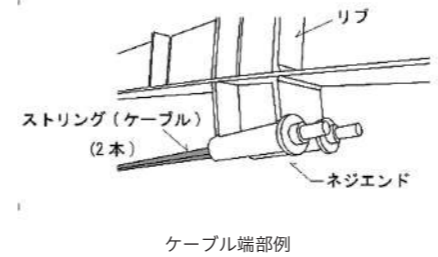
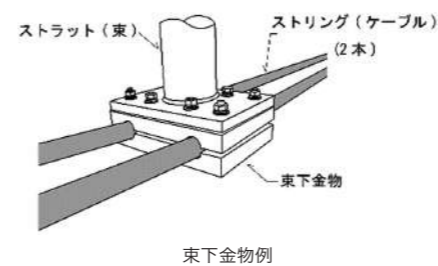
実施例に多いサグスパン比（ κ ）が $0.075 \leq \kappa \leq 0.1$ の範囲では、張力係数（ $k=T_0/wL$ ）は1.2~2.0である。

束本数が多くなると、最大曲げモーメントは0に漸近するが、束1本又は束2本配置で十分に合理的である。

「4章 張弦梁構造のディテールについて」

張弦梁を設計するうえで、接合部のディテールは非常に重要な要素の1つである。ディテールの選択は応力状態や施工性に大きな影響を与えるため、慎重な判断が必要となる。

束下金物とケーブル端部の事例を示す。



「5章 数値解析プログラムを用いた張弦梁構造の解析事例」

次の設計条件で変形制御と応力制御の事例が紹介されている。

架構間隔（フレームピッチ）：4m
スパン：30m デプス：2.25m
（デプス・スパン比：0.075）
固定荷重 DL：1.54 kN/m²
積載荷重 LL：0.30 kN/m²

■張弦梁構造の演習

後半は解説内容を踏まえた演習を行った。内容は次の通り。1.変形制御を目的として部材の応力を求める。2.応力制御を目的として部材の応力を求める。3.応力制御をした場合の梁とケーブル断面の試設計。この3題を手計算により解いた。参加者からは「普段の実務では解析プログラムを用いることが多いため、手計算で手間取る部分は多かったが、実際手を動かすことでより理解できました。」「復習のために社内勉強会で再度演習してみます。」と演習内容について、「略算ではあるが仮定断面の選定はシンプルで非常に分かりやすい。今後、大スパンの設計がある際は張弦梁を検討していきたい」と実務への導入に対する感想があった。

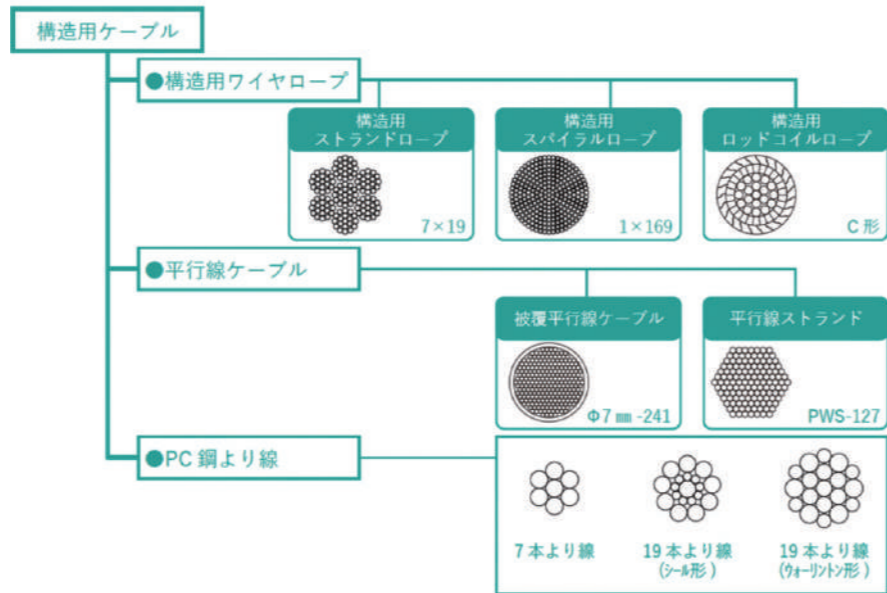
■おわりに

張弦梁構造は少々ハードルが高い構造と思われるが、本勉強会に参加し解説・演習を経て、宮里教授が繰り返し述べられていた「張弦梁はシンプルな構造」「設計者が応力を制御できる、設計が楽しい構造形式」であることを感じることができた。皆様もチャレンジしてみたいはかがらうか。

最後に本勉強会の開催にあたり、福岡県建築構造設計事務所協会、日本大学理工学部、神鋼鋼線工業、FABSPACE JAPANの皆様にご多大なるご協力、ご指導を頂きました。ここに心より御礼申し上げます。

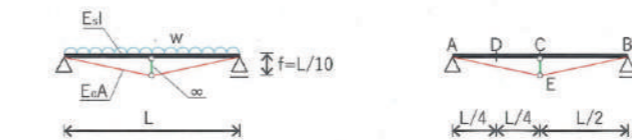


張弦梁構造の設計マニュアル



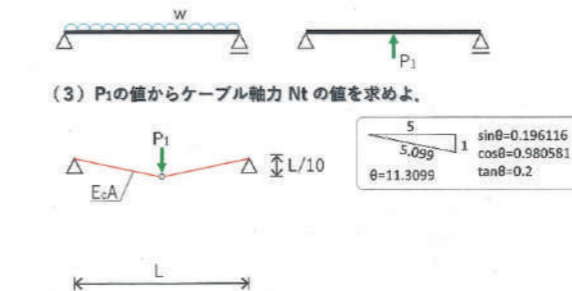
構造用ケーブルの種類

■張弦梁の演習 (1)

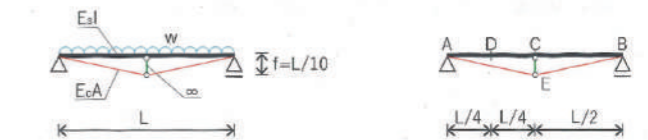


■変形制御 (梁中央の変形=0を目的とする)

- (1) 突き上げ力 (束の圧縮力) P_1 の値を求めよ。
- (2) M_c と M_o の値を求めよ。

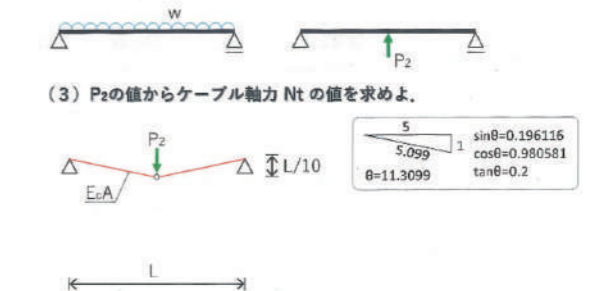


■張弦梁の演習 (2)



■応力制御 (梁の曲げモーメント $M_o = M_c^*$ を目的とする)

- (1) 突き上げ力 (束の圧縮力) P_2 の値を求めよ。
- (2) M_c と M_o の値を求め、梁中央の変形量 δ_c を求めよ。



演習問題