

トルクレンチを用いたPC鋼棒緊張の数値モデル

環境構造工学講座 13713 菊地 翔
指導教員 後藤 文彦

1. はじめに

プレストレス木箱桁橋（通称オンサイト木橋）の導入軸力は、70kN 程度とされているので、トルクレンチでも十分に軸力を導入できると考えられる。短いボルトであれば、導入トルクがねじ山や座面の摩擦によってほぼ消費されるためにトルクレンチにより軸力を見積ることができるが、PC 鋼棒のように長いものだと、ねじれ変形する部分が長くなり導入トルクがねじ山や座面の摩擦だけでなく、PC 鋼棒のねじれ変形によっても消費される可能性がある。よって PC 鋼棒に軸力導入を試みる場合には、ねじれ変形やねじれ座屈変形の影響を考慮する必要がある¹⁾。

トルクレンチによるプレストレス木箱桁橋の緊張力制御では、トルク導入試験の結果より、「摩擦により消費されるトルク」と「ねじれにより消費されるトルク」を合わせたものが、レンチにより加えられたトルクとほぼ同程度になるとされている¹⁾。

本研究は、トルクレンチによる軸力導入を FEM モデルにより再現し、今後の研究、施工に役立てていこうとするものである。

2. 目標

今回は基礎研究のため、PC 鋼棒に一定の緊張力を与えた状態でトルクを増加させていき、導入トルクにより摩擦面に生じる力が摩擦面の摩擦力に達するまでは、PC 鋼棒がねじれていき、摩擦力に達するとすべりが生じる挙動を再現することを目標としている。

3. 1次元ばね的モデル

初めは図-1 に示す簡易的なモデルを用いて解析する。このモデルは、PC 鋼棒のねじれによるねじればねと回転方向の摩擦とを 1 次元方向に引っ張られる 1 次元ばねと引張方向の摩擦面とでモデル化したものである。上と下の鋼材を接触させながら上の

鋼材を引っ張ることで、下の鋼材の伸びが PC 鋼棒のねじれ変形に対応し、上下の鋼材のすべりがねじ山や座面のすべりに対応する。PC 鋼棒がねじれていくにつれてねじ山や座面に作用する力が増加し、摩擦力に達するとすべり出す様子を、この 1 次元モデルにおいて、下の鋼材が伸びるにつれて摩擦面に作用する力が増加し、摩擦力に達するとすべり出すことで再現できるかどうかを確認する。ゴムは解析をするにあたって、上の鋼材の一部分を固定させなければならないため取り付けられている。接触部分には摩擦係数=0.4 を与えて軸力 $N = 1000N$ を常に上の鋼材の上面に与えている。

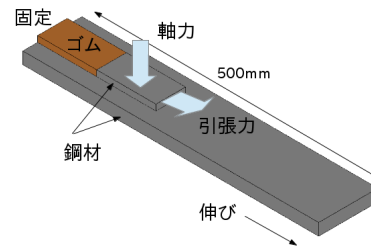


図-1 1次元ばね的モデル

4. 解析結果 (1次元ばね的モデル)

解析 1 の結果を図-2 に示す。図-2 により、引張力が摩擦力 = $\mu N = 400N$ を過ぎたところで動き出していることが分かる。また、下の鋼材も僅かではあるが力が加わり伸びていき、上の鋼材がすべり出した所でその伸びが緩やかになっていることが分かる。

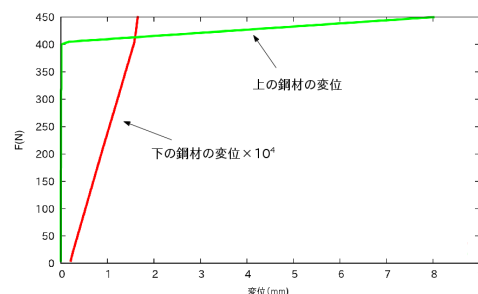


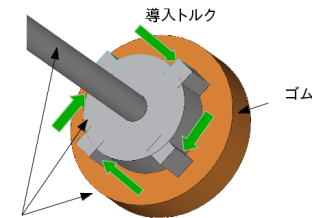
図-2 解析結果

5. ねじればねモデル

解析モデルを図-3に示す。このモデルでは、摩擦面で摩擦による回転拘束を与えられたPC鋼棒にトルクを与えて回転させる。摩擦面はねじ山や座面の摩擦を1枚の円盤面でモデル化したものである。図-4の回転部と図-5の摩擦部はPC鋼棒に連結しており、一体化されている。歯車のようにになっている部分に同一回転方向に4箇所から2組の偶力を与えることでトルクを導入する。また、摩擦係数 $\mu=0.3$ を摩擦面に与え、ある導入トルクに到達するとPC鋼棒が滑り出し、回転するようになっている。軸力は実際のPC鋼棒の導入軸力70kNの $\frac{1}{10}$ である7kNを常に与えている。



図-3 ねじればねモデル



すべて連結している
図-4 回転部

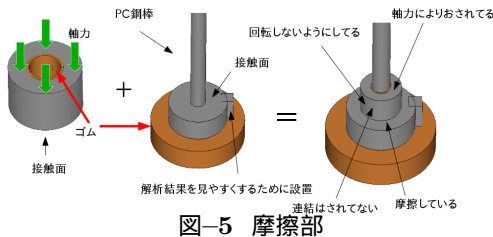


図-5 摩擦部

6. 解析結果 (ねじればねモデル)

導入トルクを徐々に大きくしていき、回転部と摩擦部のねじれ角の大きさを確認した。グラフに表すと図-6のようになる。すべりだしてからは鋼棒のねじれ角はゆるくなっている。

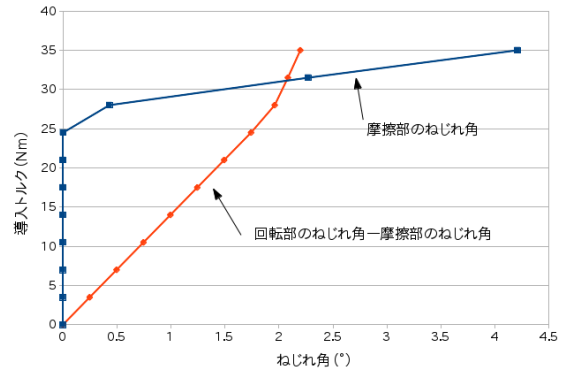


図-6 解析結果

次に、ねじれ角からねじれにより消費したトルクを求める。PC鋼棒のせん断弾性係数を $G=79\text{GN}$ 、ねじれ定数を $J=\frac{\pi d^4}{32}$ とすると、ねじれにより消費したトルクは次式で考えられる。

$$T_{\text{ねじれ}} = GJ \frac{\theta}{l} \quad (1)$$

ねじれにより消費したトルクは図-7に示す。

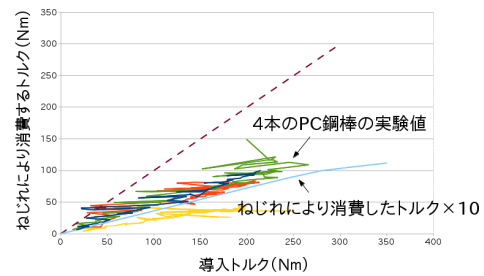


図-7 ねじれ消費トルク

ただし、実験値の $\frac{1}{10}$ の力で解析を行なっているため、比較のためFEMの導入軸力と得られた回転部の回転角をそれぞれ10倍してプロットした。

7. まとめ

目標としていたPC鋼棒がねじれてから摩擦面にすべりが生じる挙動を再現することができた。今後は、PC鋼棒のねじ山部分などもモデル化することやゴムの硬さなどを工夫して、PC鋼棒のねじれに応じて軸力が増加するより実物に近いモデルを検討したい。

参考文献

- トルクレンチによるプレストレス木箱桁橋の緊張力制御：後藤文彦，河原萌，石坂晃太郎，佐々木貴信，野田龍，構造工学論文集，Vol.62A pp.1300-1306，2016。