

# ねじれと引張を受ける PC 鋼棒のねじれ挙動

環境構造工学講座 11701 石坂晃太郎  
担当教員 後藤文彦

## 1. はじめに

私達の研究室はプレストレス木箱桁橋という簡単に組み立てられる橋の研究をしている。この木橋は間伐材やホームセンターで売っている角材のような身近で手に入る木材を用いて、1日という短い時間で作ることができる。また、間伐材を使ったり、現地製材を行っているので、コストも抑えることができる。しかし、組み立てた木材をしっかりと圧接するためには、油圧ジャッキで PC 鋼棒に緊張力を測定しながら与える現場作業が必要となり、とても困難である。そこで、トルクレンチという所定のトルクでネジを締める道具を使って緊張力を与えれば、より作業を簡単にできる。しかし、PC 鋼棒のような長い棒では導入トルクが棒のねじれ変形やねじれ座屈で消費されている可能性があり、所定の軸力より小さい緊張力しか入らないという現象が発生する。今回は、引張とねじれを受ける PC 鋼棒に座屈が発生するかどうかを調べた。

## 2. トルクレンチ

PC 鋼棒のような長い棒にトルクレンチで軸力を導入しようとした場合、次式のように導入トルクが摩擦だけではなく、棒のようにねじれ変形やねじれ座屈によっても消費されている可能性がある。

$$T = KdF + GJ\frac{\theta}{L} + P_{cr} \quad (\text{摩擦トルク} + \text{ねじれトルク} + \text{座屈トルク})$$

## 3. 解析モデル

いきなり、PC 鋼棒に引張とねじり外力を加えて座屈解析することは難しいので、最初は基本的な円形断面の鋼棒でオイラー座屈図 1 の例題を解析してみた。材料の諸元について、断面は直径 13(mm) の円形で、部材長 3(m)、ヤング率は  $206 \times 10^9$ (N/m<sup>2</sup>)、せん断弾性係数は  $7.92 \times 10^{10}$ (N/m<sup>2</sup>) である。その例題が正しくできたら、グリーンヒル問題というねじり外力だけの図 2 のモデルを解く。この材料諸元は前述と同じものとし、境界条件は  $z$  軸方向の変位とねじれ角を自由にする。最後に部材長を前回の実験した 1.825(m) にし、長さ以外の材料諸元と境界条件は変えずに、ねじり外力と引張力を加えた図 3 のモデル解析を行った。



図-1 片持ち梁

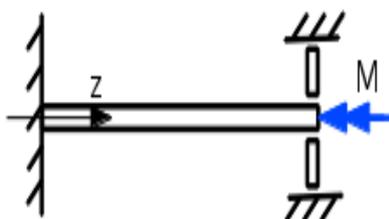


図-2 グリーンヒル問題

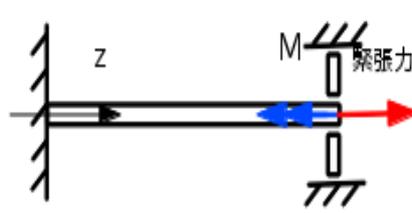


図-3 ねじれと緊張力の問題

## 4. 解析方法

解析方法はコンピューター上でモデルの材料諸元や境界条件、载荷条件を設定してから、接線剛性行列の固有値  $K$  が  $K < 0$  なら不安定、 $K > 0$  なら安定、 $K = 0$  の場合は座屈荷重のように判断し、反復計算して座屈する時の荷重を求める。その後、座屈後の解析を行うためには分岐座屈荷重付近で固有値解析した際に計算された固有ベクトルを座屈モードに対応する初期不正として考慮してから、再度解析する必要がある。但し、分岐後の挙動つまり座屈後の挙動解析は  $x, y, z$  軸方向変位、 $x, y, z$  軸周りの回転角、ねじれ率の

7自由度の初期不正が適切な組み合わせで解析プログラムに読み込まれ、かつ、適度な倍率で初期不正の大きさを考慮することによって成功するので、この解析はかなり困難な作業になる。

## 5. 解析結果

オイラー座屈を固有値解析した結果、理論値 79.17(N), 解析値 79.19(N) となった。図 4 はこの座屈モードを示していて、式は理論値である。成功した座屈後の解析結果は図 5 である。

グリーンヒル問題を固有値解析した結果、理論値 865.28(Nm), 解析値 868.23(Nm) となった。図 6 はこの座屈モードを示していて、式は理論値である。座屈後の解析はねじれ座屈の方がオイラー座屈より困難なので、今回の期間では成功しなかった。

ねじれ外力に緊張力を加えた座屈現象を固有値解析した結果、ねじれ外力と引張力の比が 1:1 の時は図 7 の様に、1:10 の時は図 8 のように座屈しているとわかった。次に去年の実験において、実際に PC 鋼棒にかかっているねじれ外力と引張力の比が約 1:300 の比だったので、その比で座屈荷重を解析した結果、引張力 1152.85(kN), ねじれ外力 3842.84(Nm) であった。図 8 はこの座屈モードを示している。

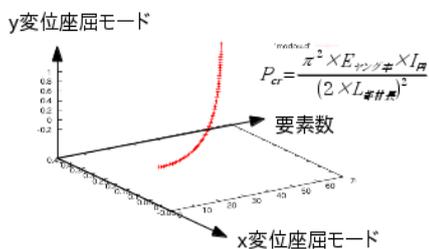


図-4 座屈モード

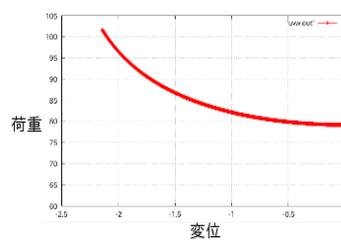


図-5 座屈後挙動

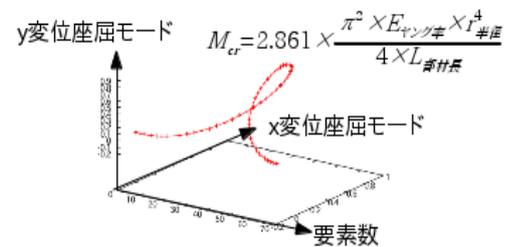


図-6 座屈モード

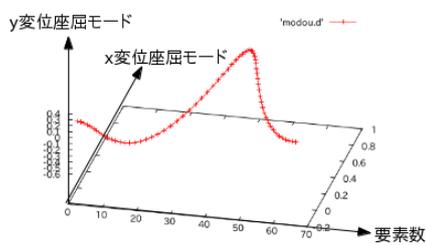


図-7 座屈モード

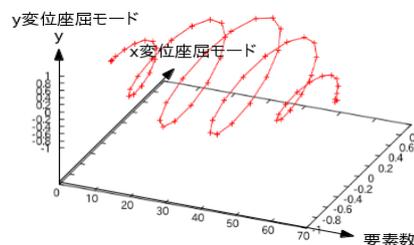


図-8 座屈モード

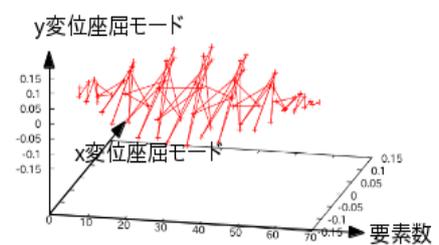


図-9 座屈モード

## 6. まとめ

引張とねじれを同時に受ける棒が座屈することを確認したが、実際のプレストレス木箱桁橋で PC 鋼棒に生じている緊張力では、座屈荷重が非常に大きくなるため、トルクレンチによる導入トルクは、摩擦とねじれ変形によりほとんど消費されるものと考えられる。よって、ねじれ変形で消費されるトルクを加算すればトルクレンチで軸力コントロールすることも可能かもしれない。

### 参考文献

- 1) 後藤 文彦, 小林 裕, 岩熊 哲夫: オイラー角を用いた簡潔な有限変位手法, 構造工学論文集, Vol. 43A, pp. 333-338, 1997.