タイロッドで補強した各種の梁の解析

信州大学 工学部　　正会員　吉沢孝和　　学生員　○ 山崎英司

鋼構造物の補強と変形挙動調整　鋼構造物の特定の節点間をワイヤロープまたはタイロッド等で連結して緊張し，構造物の耐荷力をたかめる研究は，東欧諸国においてその先駆的なものがみられ，すでに，梁，トラス，ラーメン等に関して各種の論文がある．[1)][2)][3)]　その後，米国においては，構造物に配置した高張力鋼線の緊張力をジャッキ等で調整することにより，変動外力に対する最適の抵抗機構をつくり出す研究[4)]や在来の鋼げた橋の特定の部分に高張力引張材とそれによって導入される圧縮力を吸収する部材を配置して変形挙動を調整する研究[5)]が行なわれている．

本研究の目的　鋼ビームをタイロッドで補強調整する方式として，図1 (a),(b) は Belenjaらによるものである．本研究ではこれを図2 (a),(b) に示すような形式とする．すなわち，梁の中立軸から上下の適当な位置に各種の形状にタイロッドを配置し，梁の変形挙動の調整のために効果的な配置方式を数値計算によって比較検討することを目的とする．

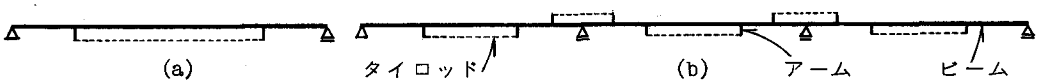

図1．　Belenja の提唱したタイロッドビーム

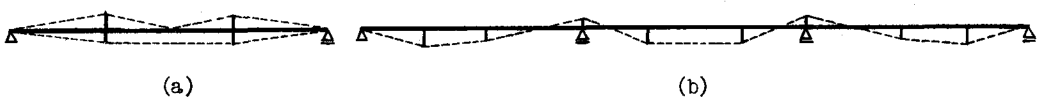

図2．　本研究におけるタイロッドビーム

解析上の仮定　1）タイロッドをとりつけるアームは剛体とみなす．

2）梁部材およびタイロッドの応力・ひずみ関係はフック法則に従がうものとする．

3）梁については平面保持則が成り立つものとする．

4）系の変形は微小であるとし，微小変形理論により解析を行なう．

解　析　式　梁の曲げ挙動はつぎの微分方程式によるものとする：

$$\frac{d^2 w}{d\rho^2} = -\frac{ML^2}{EI} \qquad (\rho = x/L) \qquad w=\text{たわみ} \quad M=\text{曲げモーメント}$$

梁およびタイロッドの軸方向変形挙動はつぎの微分方程式によるものとする：

$$\frac{du}{d\rho} = \frac{FL}{EA}$$

u＝軸方向伸び　L＝部材長　F＝軸力

E＝弾性係数　A＝断面積　I＝断面二次モーメント

1）*Belenja E. I.* ：*Vorgespannte Metallkonstruktionen, VEB Verlag für Bauwessen,* 1966
2）*Belenja E. I. & D.M. Gorovskii: The Analysis of Steel Beams Strengthened by a Tie Rod, ICE, Vol. II, No.*9, 1971／1972
3）*Pavel Ferjenčik: Czechoslovak Contribution in the field of Prestressed Steel Structures, ICE, Vol. II, No.*11, 1971／1972
4）*William Zuk: Kinetic Structures, Civil Engineering, ASCE,* 1968
5）*Charles Kandall: Increasing the Load Carrying Capacity of Existing Steel Structures, Civil Engineering, ASCE,* 1968
6）吉沢・高村：頂部を鋼棒または鋼線で連結されたパイルグループの解析，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，1975年 1月
7）吉沢：鋼線で連結した構造物の三連ベクトル式について，土木学会第30回年次学術講演会講演概要集第１部，1975年10月

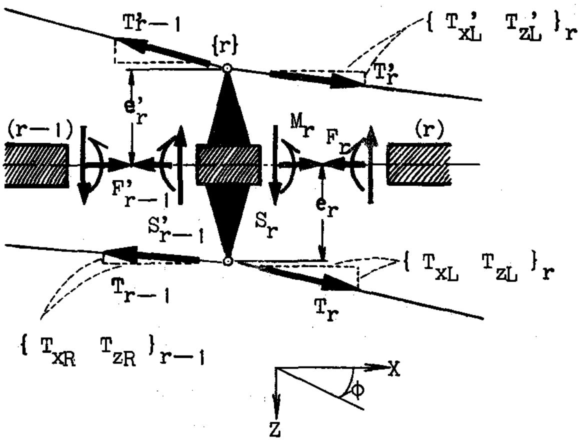

図3．節点 { r }における力ベクトル

図3は梁の任意点{ r } にタイロッドを取りつけた場合の断面力を示す．解析式は梁をタイロッドの取りつけ点ごとに区切りそれを個々の独立した梁とみなし，結合点においては隣接する梁と直結され，アームを介してタイロッドが結合されるものとして組み立てる．タイロッドの引張力は水平および鉛直方向の成分に分解される．また水平成分は剛度が無限大のアームにより回転モーメントを生ずる．ΣH=ΣV=ΣM=0 なるつり合い条件式は図に関してはつぎのようにあらわされる．ここに，e'_r e_r は梁の中立軸から上下のタイロッド取りつけ点までの距離である．

$$-\begin{bmatrix}F\\S\\M\end{bmatrix}'_{r-1}+\begin{bmatrix}F\\S\\M\end{bmatrix}_r+\begin{bmatrix}1&0\\0&1\\e_r&0\end{bmatrix}\left[-\begin{bmatrix}T_{xR}\\T_{zR}\end{bmatrix}_{r-1}+\begin{bmatrix}T_{xL}\\T_{zL}\end{bmatrix}_r\right]+\begin{bmatrix}1&0\\0&1\\-e_r&0\end{bmatrix}\left[-\begin{bmatrix}T'_{xR}\\T'_{zR}\end{bmatrix}_{r-1}+\begin{bmatrix}T'_{xL}\\T'_{zL}\end{bmatrix}_r\right]=0$$

力ベクトル { F　S　M　T } は前述の基礎微分方程式から出発して，これを部材の両端の変位ベクトル { dX　dZ　dφ } の関数形に変換することができる．このとき，部材に作用する荷重項が導入される．このように変換した力ベクトルを上式に代入して整理するとつぎのような節点つり合いに関する**三連変位ベクトル式**[6][7] を導びくことができる：

$$\mathbf{L}_{r-1}\mathbf{D}_{r-1}+\mathbf{M}_r\mathbf{D}_r+\mathbf{R}_{r+1}\mathbf{D}_{r+1}=\mathbf{B}_r$$

$\mathbf{D}$ は梁とタイロッドの結合点の変位ベクトルを，$\mathbf{B}_r$は節点{r} の両側の梁の荷重項を，$\mathbf{L},\mathbf{M},\mathbf{R}$ は係数マトリクスを示す．与えられた系のすべての節点(結合点)についてこのような三連変位ベクトル式が書き出される．その数は節点変位の未知量の数と一対一に対応するため，これらの条件式を連立に解いて全体の解が得られる．

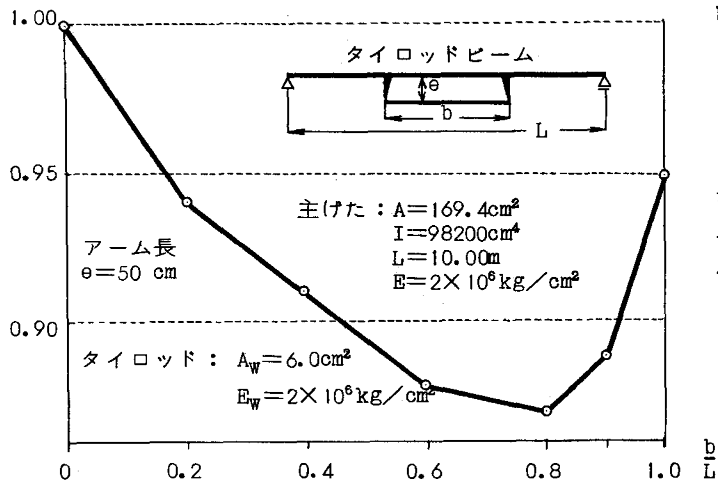

図4．梁の中央点のたわみとタイロッドの長さとの関係

計　算　例　図4は一様分布荷重を受けるタイロッドビームについて，タイロッドの長さb と梁の長さL との比を種々変化させた場合における梁の中央点のたわみを示す．横軸は長さ比(b/L)を，縦軸は単純梁の中央点のたわみを 1 とした比を示す．なお，この計算例ではタイロッドにプレストレスは加えていない．

$A_W/A = 0.0354$

$EI/qL^3 = 196.4$

$q = 100kg/m$