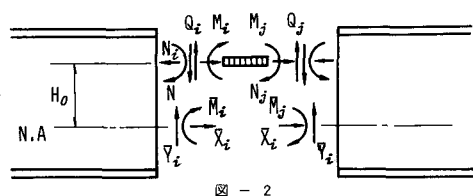
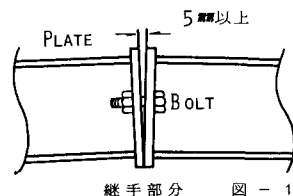


九州大学 工学部 学生員 小川健男

九州大学 工学部 正会員 樗木武

1. 緒言 鋼アーチ支保工の解析において常に問題となるのは、図-1に示すようなH型钢を接合する継手の力学的解析である。従来の慣用計算法では、支保工を剛性一様なリンクとして処理し、継手の影響を無視するか、または、完全ヒンジのいずれかによっている。しかし、実際には、リンクをボルト接合する場合、継手部において、剛性が他の区間に比べて低下せざるを得ないため、リンクを剛性一様と認めるには問題があり、又、完全ヒンジとするにも無理がある。したがって、著者らは、継手を剛結合とヒンジの中間に位置づけ、継手が曲げモーメントに比例して回転するような不完全剛結であるものとして近似解析を行ない、その結果はすでに公表したところである¹⁾。しかし、この不完全剛結理論においては、継手降伏後、継手部を完全ヒンジとして取り扱っているため、降伏後の支保工の挙動は、実際とはかなりく違、たものとなり、継手部の挙動及び支保工の終局耐力を説明する理論としてはなお不十分である。そこで、本研究では、継手部を一つの要素として分割し、接合ボルトの弾塑性を考慮した弾塑性ヒンジモデルとして、より厳密なアーチ支保工の解析を行なうことを企図し、その特質を明らかにせんとするものである。

2. 弾塑性ヒンジモデルの剛性方程式 通常使用される支保工においては、継手部は、図-1のように5mm以上の遊間を残して結合されるが、その場合、両端プレートとの交点すなわち回転中心は存在しないものと考えられ、力の伝達はボルトによってのみ行なわれる。しかし、遊間のない場合は回転中心が存在し、解析はより複雑なものとなる。したがって、本研究では、まず、遊間のある場合のみを取り扱い、剛性方程式を誘導する。図-2は継手部が外力を受けた時の状態である。中立軸よりボルトへの距離を H_0 とすると、ボルトに働く力と中立軸に働く力との関係が式(1)で与えられる。



$$S_{ij} = A \bar{S}_{ij} \quad \text{ここに} \quad S_{ij} = [S_i \ S_j]^T = [N_i \ Q_i \ M_i/l_0 \ N_j \ Q_j \ M_j/l_0]^T$$

$$\bar{S}_{ij} = [\bar{S}_i \ \bar{S}_j]^T = [\bar{X}_i \ \bar{Y}_i \ \bar{M}_i/l_0 \ \bar{X}_j \ \bar{Y}_j \ \bar{M}_j/l_0]^T \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -H_0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -H_0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

又、ボルトの変形のうち、せん断変形の影響は小さいものとするれば、ボルトの両端に作用する力と変形量は、弾性範囲では周知の次式で与えられる。

$$S_{ij} = K U_{ij} \quad (2)$$

$$U_{ij} = \begin{Bmatrix} u_i \\ u_j \end{Bmatrix} = [u_i \ v_i \ l_0 \theta_i \ u_j \ v_j \ l_0 \theta_j]^T$$

$$K = \begin{bmatrix} \alpha_n & 0 & 0 & -\alpha_n & 0 & 0 \\ 12 & -6E & 0 & -12 & -6E & 0 \\ 4E^2 & 0 & 6E & 2E^2 & 0 & 0 \\ \text{SYM.} & \alpha_n & 0 & 0 & 12 & 6E \\ & & & & & 4E^2 \end{bmatrix} \quad \alpha_n = \frac{A l^2}{I} \quad E = l$$

さらに、Plate を剛板とすれば、中立軸の変位 ($\bar{u}_i$ $\bar{v}_i$ $\bar{\theta}_i$) とボルト端の変位 (u_i v_i θ_i) との関係は図-3 のようになり次式で与えられる。

$$\bar{u}_i = u_i - H_0 \sin \theta_i, \quad \bar{v}_i = H_0 + v_i - H_0 \cos \theta_i, \quad \bar{\theta}_i = \theta_i \quad (3)$$

ここで、変形は微小で $\theta \ll 1$ が仮定できるものとすれば、 $\sin \theta_i \approx \theta_i$ 及び $\cos \theta_i \approx 1$ であるから上式より

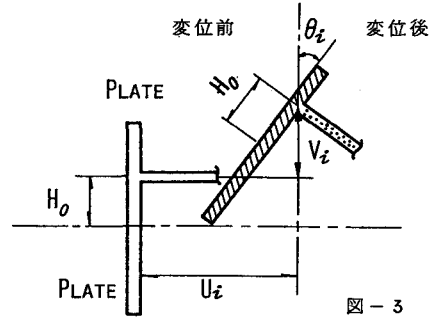


図-3

$$u_{ij} = B \bar{u}_{ij} \quad (4)$$

ここに

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & H_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & H_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\bar{u}_{ij} = \begin{Bmatrix} \bar{u}_i \\ \bar{v}_i \\ \bar{\theta}_i \end{Bmatrix} = [\bar{u}_i \quad \bar{v}_i \quad \bar{\theta}_i \quad \bar{u}_j \quad \bar{v}_j \quad \bar{\theta}_j]^T$$

式(1)、(4)を式(2)に代入すれば、ボルト接合要素の剛性方程式を次式のように求めることができる。

$$A \bar{S}_{ij} = K B u_{ij}, \quad \text{これより} \quad \bar{S}_{ij} = A^{-1} K B \bar{u}_{ij}$$

ここに $l_0 = H_0 / l_0$ として

$$A^{-1} K B = \bar{K} = \begin{Bmatrix} \bar{K}_{ii} & \bar{K}_{ij} \\ \bar{K}_{ji} & \bar{K}_{jj} \end{Bmatrix} = \frac{EI}{l^3}$$

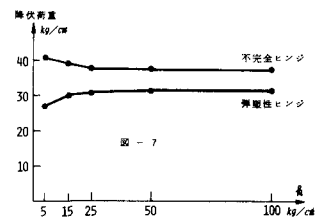
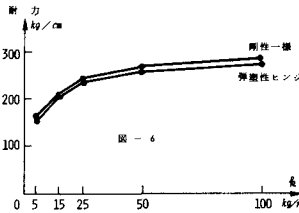
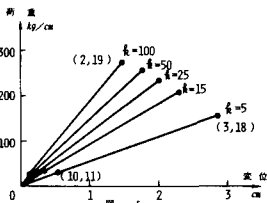
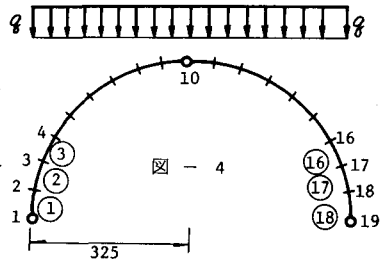
$$\begin{bmatrix} \alpha_n & 0 & \alpha_n l_0 & -\alpha_n & 0 & -\alpha_n l_0 \\ 12 & -6E & 0 & -12 & -6E & 0 \\ 4E^2 + \alpha_n^2 l_0^2 & -\alpha_n l_0 & 6E & 2E^2 - \alpha_n^2 l_0^2 & \alpha_n & 0 \\ \alpha_n & 0 & \alpha_n l_0 & 12 & 6E & 0 \\ 4E^2 + \alpha_n^2 l_0^2 & -\alpha_n l_0 & 6E & 2E^2 - \alpha_n^2 l_0^2 & \alpha_n & 0 \end{bmatrix}$$

S Y M.

又、ボルト降伏後の塑性状態における剛性マトリックスは、ボルト断面を円形とみなし、降伏間数を $F = |M/M_p| - 1.47(1 - |N/N_p|)$ と仮定して、通常の塑性流れの理論より導くことができる。その結果のみ記せば次のとおりである。

$$\bar{S}_{ij} = A^{-1} K^p B \bar{u}_{ij}$$

3. 解析概要及び結果 対象とする支保工は図-4に示すとおりで、半径325cm、断面高さ20cmのH型鋼アーチ支保工とし、H型鋼の降伏応力を2400kg/cm²、両支点をヒンジ、頂点の継手部を弾塑性ヒンジとして取扱う。又、要素分割は、慣用計算法及び不見全剛結理論を用いて解析を行なう場合には、図に示すように18分割とし、本理論による解析に際しては、継手部のボルトの長さに等しい要素を加えて19分割とした。継手部のボルトは、断面高さ20cmの支保工において普通に用いられているものとして、直径2.5cm、長さ7.5cm、降伏応力2000kg/cm²とした。さらに荷重としては文献1)の場合と同様に、上載等分布荷重を想定し、又、地盤反力係数は $k = 5 \sim 100$ の間で考察したが、これはかなりの軟弱地盤から、乾燥した花崗岩程度のものまでを網羅するものである。図-5、6、7は解析結果の一部を示したものである。



参考文献

1) 土木学会第33回年次学術講演会講演概要集第3部 PP408~409