

ボルト接合を用いた木製トラス橋架設時に生じる変位算定式の提案

福岡大学工学部 正会員 ○下妻達也

福岡大学工学部 正会員 渡辺浩

福岡大学工学部 非会員 松田敏輝

福岡大学工学部 正会員 大隣昭作

1. はじめに

橋梁は完成時に過度な変位が生じていると使用性において大きな問題となるため、架設時の支柱を外した時に所定の形状となるよう、設計段階で変位の算定が行われる。鋼橋においては自重による部材変形を考慮して設計が行われるが、材料に木材を使用した橋梁においては自重による部材変形に加えて接合部の構造による変位を考慮する必要がある。このとき、木橋の部材変形による変位の計算基準は存在するが¹⁾、接合部に起因する変位は経験的な考慮に留まっており、変位の算定を誤った結果完成系にてゆがみを生じた木橋が存在する。本研究はボルト接合を用いた木製トラス橋架設時に変位を生じる原因を整理し、各原因に対する変位算定式の提案を目的とする。

2. 木橋接合部に起因する変位

ボルト接合を用いた木橋の場合は木部材へボルト径よりも1~2mm大きな孔をあけ、鋼板を介してボルトで固定する方法がよく用いられる(図1(a))。鋼橋の摩擦接合と異なりボルトに強い張力を生じないため木部材へのナットのめりこみを防止できるが、一方でボルト孔とボルトの間に遊びがあるため接合部を完全に固定できず動きを生じる(図1(b))。また、架設時の支柱を外し、木部材に死荷重による軸力が生じることでボルト孔側面へのボルトのめりこみが発生し、これも変位を生じる原因となる。本研究では変位を生じる原因を部材変形、ボルト孔の遊び、ボルト孔側面へのめりこみの3つに分け、変位算出式を考える。

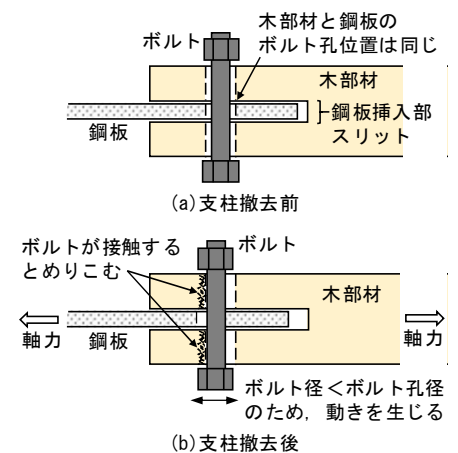


図1 ボルト接合部の動き

3. 変位の計算方法

部材変形による変位 δ_d は部材本体、格点部鋼板、床版重量を考慮し、平面トラスとして算出する。同時に各部材に生じる断面力も算出しておく。

ボルト孔の遊びによる変位 δ_m は、部材に生じる軸力によりボルトが部材軸方向に動くことと仮定して算出する。すなわち、ボルト孔径 ϕ_h とボルト径 ϕ_b の差だけ部材軸方向へ変位を生じるため(図2)、これに部材の傾斜角度 θ を考慮した値がボルト孔の遊びによる変位となる。

$$\delta_m = (\phi_h - \phi_b) \times \sin \theta \quad \dots (1)$$

(1)式は1継手当りの変位であり、全体の変位を算出する際には「変位に影響を及ぼす継手数」を乗じる必要がある。詳細は次章にて説明する。また、実際には ϕ_h と ϕ_b の差の影響から木部材に回転を生じる可能性があるが、ここでは回転による変位の影響は微小と考え無視した。

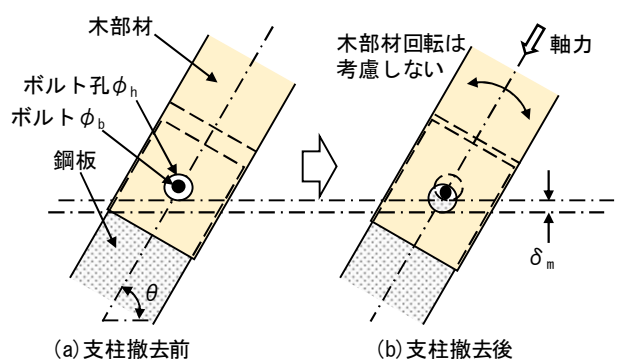


図2 ボルト孔の遊びによる変位

ボルト孔側面へのめりこみによる変位 δ_b はめりこみ剛性より(2)式を用いて算出する。めりこみの方向は軸力の作用方向、すなわち部材軸方向を想定しているため、部材の傾斜角度を考慮している。ここで、 P ：軸力(N)、 K_c ：めりこみ剛性(N/mm³)、 A ：ボルトの接触面積(mm²)、 n ：1継手当りのボルト本数である。

$$\delta_b = P / (K_c \times A \times n) \times \sin \theta \quad \dots (2)$$

(2)式は1継手当りの変位であるため、全体の変位を算出する際には継手数を乗じる必要がある。

以上が各要因の変位算出方法であり、これらの総和が架設時に生じる変位となる。

4. 2連ワーレントラス橋架設時の変位計算

図3に示すような2連のワーレントラスの木製歩道橋を例に架設時に生じる変位を計算する．部材断面寸法(110×110(mm))およびボルト接合部(ボルト径 12(mm), ボルト本数 4 本)は, 死荷重(木部材, 格点部鋼板, 床版)と群衆荷重より概略設計を行って決定している．使用材料は木部材をスギ集成材(E65-F255), ボルトおよび格点部鋼板を SS400 とした．また, 変位の算出点はトラス下弦材で最大変位を生じる下側中央の鋼板位置とする．

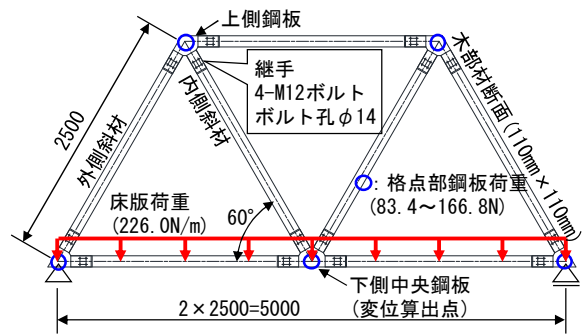


図3 2連ワーレントラスの木製歩道橋

部材変形による変位は平面トラスとして算出した．スギ集成材の単位重量は $3.92(\text{kN/m}^3)$ とし, 部材交差部は剛結としている．計算の結果, 下側中央鋼板位置における鉛直変位は $0.08(\text{mm})$ であった．

ボルト孔の遊びによる変位はボルト孔径が $14(\text{mm})$, ボルト径が $12(\text{mm})$ より, 1 継手当りの変位は(1)式より $(14-12) \times \sin 60^\circ = 1.73(\text{mm})$ となる．ここで, 変位に影響を及ぼす継手について考える．現在着目している下側中央鋼板には下弦材と内側斜材が接続されている．内側斜材は下側中央鋼板が落下するのを防いでおり, 外側斜材には上側鋼板を介して内側斜材からの力が伝達される．従って, 変位に影響を及ぼす継手は内側斜材および外側斜材上下端の計 4 か所であり, これに 1 継手当りの変位を乗じればボルト孔の遊びによる変位を算出できる．上下弦材については軸力によりボルトが水平方向に動く想定されることから, 変位に影響を及ぼす継手から除外した．故に, 図3のトラス橋の場合 $1.73 \times 4 = 6.92(\text{mm})$ がボルト孔の遊びによる変位となる．

ボルト孔側面へのめりこみによる変位は(2)式より算出する．めりこみ剛性は $9.8(\text{N/mm}^3)$ とし²⁾, 軸力は平面トラスの計算結果(外側斜材 $1140(\text{N})$, 内側斜材 $780(\text{N})$)を用いた．ボルトの接触面積はボルト全幅が接触すると仮定し, 鋼板挿入部のスリット幅 $6(\text{mm})$ を除いた面積とする．結果, めりこみによる変位は外側斜材 $1140 / (9.8 \times (110-6) \times 12 \times 4) \times 2 = 0.04(\text{mm})$, 内側斜材 $780 / (9.8 \times (110-6) \times 12 \times 4) \times 2 = 0.03(\text{mm})$ より $0.04 + 0.03 = 0.07(\text{mm})$ となる．

以上の結果より, 図3のトラス橋架設時の下側中央鋼板には $0.08 + 6.92 + 0.07 = 7.07(\text{mm})$ の変位を生じることとなる．

5. 変位計算結果の考察と提案した計算式の他トラス橋への適用性

2連ワーレントラスの木製歩道橋を例に変位の算出を行ったが, 部材変形による変位が $0.08(\text{mm})$, ボルト孔の遊びによる変位が $6.92(\text{mm})$, ボルト孔側面へのめりこみによる変位が $0.07(\text{mm})$ と, 全体の約 98% がボルト孔の遊びによる変位であった．故に, 架設時に生じる変位にはボルト孔径等の接合部の構造が大きく影響すると考えられる．

本研究で提案した変位計算式を他のトラス橋へ適用する場合を考える．ボルト孔の遊びによる変位について, (1)式は他のトラス橋にも問題なく適用できると考えられる．変位に影響を及ぼす継手数は, 着目点が格点部鋼板位置の場合支点～着目点までの斜材・鉛直材の数 $\times 2$ で算出できるが, 着目点が木部材の場合はボルト孔径とボルト径の差を加える必要がある．ボルト孔側面へのめりこみによる変位は, 部材に生じる軸力, ボルトの接触面積, めりこみ剛性が結果に影響すると考えられる．部材に生じる軸力は橋梁規模や形式によって変化するが, 軸力が大きい場合はその分ボルト本数も増加するため, 軸力の大小はめりこみ量に大きく影響しないと考えられる．また, ボルトの接触面積は今回ボルトの全幅が接触する場合を想定したが, 仮に接触幅を小さくしても全体の変位に及ぼす影響は極めて小さい．一方, めりこみ剛性について今回は代表値を用いたが, 使用材料により変わる可能性がある．

6. 今後の課題

ボルト孔の遊びによる変位について今回部材の回転を無視したが, ボルト孔径とボルト径の差が大きいほど全体の変位への影響は大きくなると考えられる．部材の回転が全体の変位にどの程度影響するか今後調査を行う予定である．また, ボルト孔側面へのめりこみによる変位について, ボルト孔径やボルト径, 木部材の材料定数を変えた場合の解析を行い, (2)式の改良を行いたい．

参考文献: 1) 財団法人林業土木コンサルタンツ: 実務者のための木橋の設計と施工, pp.76-78, 2005.

2) 土木学会鋼構造委員会 木橋技術小委員会: 木橋技術の手引き 2005, p.90, 2005.