

トラス構造とはなにか？

—効率的な構造の特徴と力を伝える仕組み—

道総研林産試験場 富高亮介



道産木材を用いた中大規模木造建築物では、「トラス構造」という用語がたびたび登場します（たとえば、雄武町図書館（ウッドエイジ2020年11月号））。また、建築物以外の構造物にも「トラス構造」が用いられます（たとえば、木製トラス橋（ウッドエイジ2020年4月号））。よく見聞きする、この「トラス構造」について、その特徴、建築事例、および多少専門的になりますが力学的なメカニズムについて、道総研林産試験場の木構造分野の研究員に解説をお願いしました。

■はじめに

体育館や倉庫、店舗といった大きな空間では、スパン（＝柱と柱の間の距離）が大きくなるほど、梁中央部に大きな曲げの力（曲げモーメント）が生じます。梁を単一の部材にすると、梁の断面積（とくに梁せい）を確保する必要が生じ、スパンによっては現実的な断面寸法にならないことがあります。限られた条件下（コスト、資材の調達、加工、施工）で大きなスパンの空間を成立させるには、色々なアプローチが考えられますが、その中のひとつとして、架構（柱と梁で構成される構造）を力学的に効率のよい構造とすると、この方法が考えられます。本稿では、効率的な構造のひとつである「トラス構造」について、その構造力学的な特徴や事例について概説します。

■トラス構造の特徴

自由に回転できるピン接合で直線の部材を連結し、三角形と四角形をつくります（図1）。これらに外力を加えると、三角形は安定していることがわかります。このとき、図1の三角形を安定構造、四角形を不安定構造といいます。このような三角形を基本として、直線部材をピン節点で組み上げた骨組構造をトラス構造（truss）といいます（図2）。

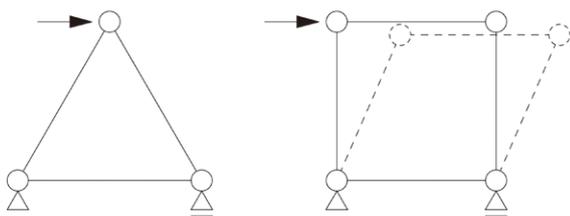
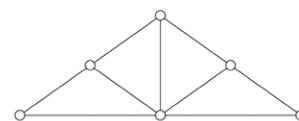
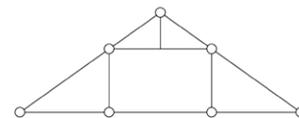


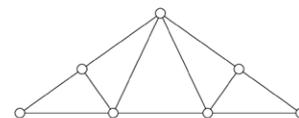
図1 三角形と四角形の構造



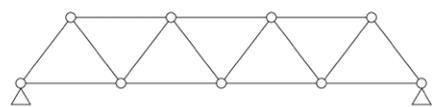
キングポストトラス



クイーンポストトラス



フィンクトラス



ワーレントラス



プラットトラス



ハウトラス

図2 代表的なトラス構造

トラス構造は、外力を構成部材の軸力に変換して処理することができます。この点が、構造力学的に大きな特徴といえます。例えば、図3のように四角形の構造（ラーメン構造といいます）に外力が加わると、部

材に「曲げ」が生じます。一方で、三角形のトラス構造は、部材に「引張」か「圧縮」の軸力しか生じません。一般的に、曲げが作用する部材と軸力のみが作用する部材では、後者のほうが部材の断面を小さくすることができます。

理論上のトラス構造は直線部材と回転を拘束しないピン節点のみで構成されますが、木材を用いた木質トラスは、ピン節点だけでなく、ガセットや金物により接合された半剛節トラスも一般的です。柱と横架材（梁）に筋交いを取り付けた、筋交い軸組も半剛節トラスのひとつといえます（図4）。

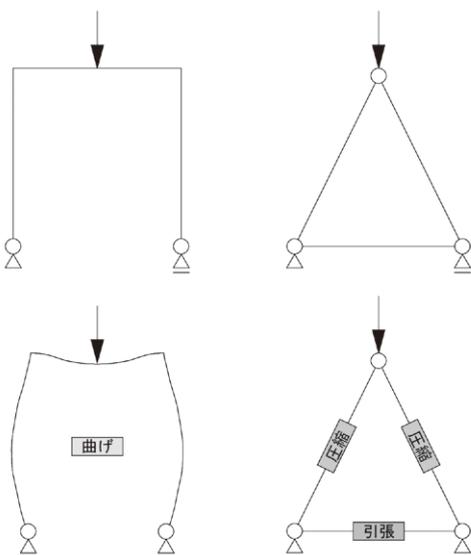


図3 ラーメン構造とトラス構造の変形

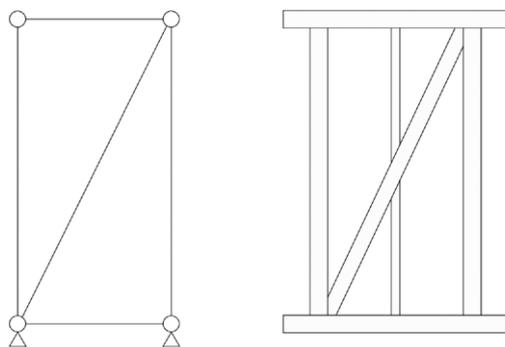


図4 筋交い軸組

■トラス構造の例

トラス構造は、構造全体が上に凸の形をしている「山形トラス」と、上下の部材が平行な「平行弦トラス」に大別されます。図2に示したトラス構造では、キングポストトラス、クィーンポストトラス、フィンクトラスが「山形トラス」、ワーレントラス、プラッ

トトラス、ハウトラスが「平行弦トラス」になります。

木質構造の小屋組（屋根部分の骨組み）は、構造形式により和小屋と洋小屋に分けられ、このうち、トラス構造（山形トラス）を有する形式を洋小屋と呼びます（写真1）。和小屋は日本の伝統的な小屋組で、屋根の荷重は束から梁に伝達され、束には軸力、梁には曲げモーメントが生じます。この「梁が曲げモーメントにより力を伝達する」のが効率的ではないため、和小屋で長いスパンに対応するのは一般的に難しいとされます。一方で、洋小屋はトラス構造のメリットを活かし、各部材の断面を抑えつつ、長いスパンに対応することができます。



写真1 小屋組（洋小屋）
（Doremo Letao（千歳市）、キングポストトラス）

平行弦トラスは、木質構造では梁の構造として採用されることが多く、体育館やホールなどで用いられます（写真2）。各部材は、合板を釘やビスで留めた合板ガセットやメタルプレートコネクターなどの接合金物により接合されます。

以上のトラス構造は、部材を平面上で組み合わせた「平面トラス」と呼ばれる構造です。これに対し、部材を三次元的に構成した構造は「立体トラス」と呼ばれます（写真3）。立体トラスは、平面トラスと同様に三角形を構造の基本とし、三角錐や四角錐、もしくはより複雑な形状の立体構造により構成されます。平面トラスと比較して、立体トラスの力の流れはより複雑となるため、有限要素法等を用いた解析プログラムにより変形や応力の計算が行われます。



写真2 トラス梁
(認定こども園雄武町若草保育所,
鉛直部材付ワーレントラス)



写真3 立体トラス
(当麻町役場議事堂, 片流れ立体トラス)

トラス構造の最大のメリットは、部材の断面を抑えつつ、大きなスパンの空間を実現できる点です。この特徴は、トラス構造の部材が木材であっても鋼材等の他の材料であっても共通します。木質トラスと鉄骨トラスを比較すると、鉄骨トラスはより長いスパンに対応することができる一方で、木質トラスは一般流通材（製材、集成材、2×4材等）を部材に用いることができる点や、調達や施工が容易な一般的な接合金物で節点の接合部を構成することができる点が特徴的な長所と言えるでしょう。

木質トラスは、学校や集会所、高齢者施設といった用途の、ホールや体育館など中間に柱や壁がない大きな空間をつくる必要がある建築物でその長所が活かされます。このような建築物は、居住性、意匠性、地域材の活用といった観点から、木造（ないし部分的な木材利用）が適する場合が多く、木質トラスと相性のよ

い建築物と言えるかもしれません。

以上のように、トラス構造には多くのメリットがある一方で、デメリットも存在します。例えば、スパンが大きくなるほど、部材と部材をつなぐ節点（＝接合部）の数が増えるため、スパンに比例して仕口加工や接合金物のコストが増大する傾向があり、スパン等の条件によっては、トラス梁よりも集成材の梁の方がコストで勝る場合もあります。また、多くの場合、平場で組み立てたトラスをクレーンで吊り上げて架設するため、作業スペースや重機等の相応の準備が必要になります。

どのような工法にも言えることですが、メリットとデメリットをよく理解した上でトラス構造の特徴を活かすことで、木材利用の促進、地域材の活用など、木質構造の選択肢を広げることが可能になるでしょう。

【補足】トラス構造の計算

トラス構造を構成する部材に生じる軸力（部材力）は、手計算で比較的容易に求めることができます。ここでは、計算を通して、トラスにおける力の流れを具体的にイメージしてみたいと思います。

トラス構造の部材力を求める方法は、大きく分けて2つあります。ひとつは節点法といい、各節点における力のつり合い式を用いて未知応力を求める方法です。もうひとつは切断法（断面法）といい、トラス構造を任意の位置で切断し、その断面における力のつり合い式から未知応力を求めます。本稿では、節点法を使って、B、D点に外力が加わったトラス構造の部材力を求めてみたいと思います（図5）。

①トラス構造の支点反力 V_1 、 V_2 、 H_1 を水平、鉛直方向およびモーメントのつり合い式から求めます。紙面の都合上、計算過程は省略します。今回の場合、支点反力は、 $V_1=4.5kN$ 、 $V_2=7.5kN$ 、

$H_1=0kN$ （以降、図において H_1 は省略）と求められます（図6）。

②各節点まわりで仮想的に部材を切断し、切断面で生じる各部材の軸力を N_i とします（引張方向を正）。このとき、節点には部材の軸力と逆向きに同じ大きさの力が作用します（図6）。

③各節点において水平方向および鉛直方向の力のつり合いを考え、軸力を求めます。このとき、端の節点

から考えていくと計算しやすいです。ここでは、A点における計算過程を示します。

A点には、支点反力 V_1 および軸力 N_{AB} , N_{AC} が作用しています。これらの力のつり合いを水平方向(x方向), 鉛直方向(y方向)に分解して、立式します(図7左)。

$$\begin{cases} x\text{方向} & N_{AB} \cdot \cos 60^\circ + N_{AC} = 0 \\ y\text{方向} & V_1 + N_{AB} \cdot \sin 60^\circ = 0 \end{cases}$$

これより、 $N_{AB} = -5.2\text{kN}$ (圧縮), $N_{AC} = 2.6\text{kN}$ (引張)と求められます(図7右)。

④以上の計算を各節点について順に行うことで、トラスを構成するすべての部材の軸力を求めることができます(図8)。

図8に示された各部材の軸力は、イメージ通りでしょうか? 計算の結果の通り、各部材には引張か圧縮の軸力のみが生じ、曲げやせん断の応力は生じていません。これこそが、トラス構造の最大の特徴であり、効率的な構造とされる所以です。

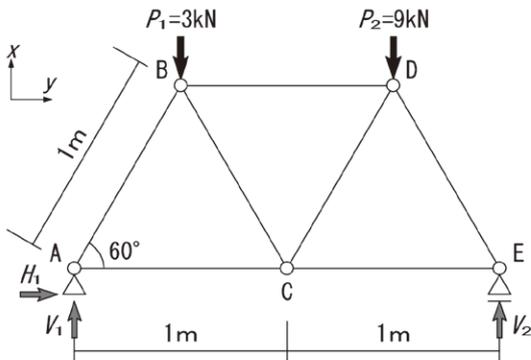


図5 トラス構造の計算例

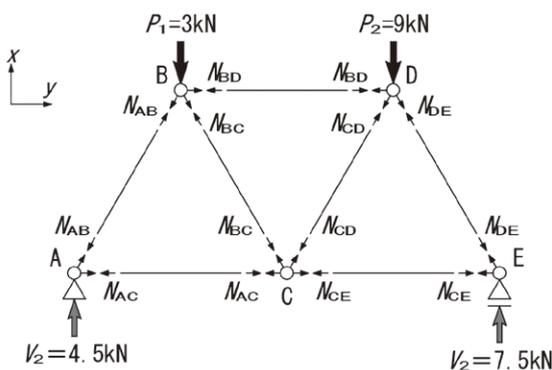


図6 支点反力 V の計算, 軸力 N_{ij} の設定

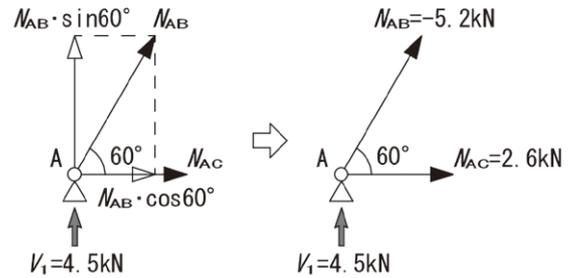


図7 力のつり合いから軸力 N_{ij} を求める

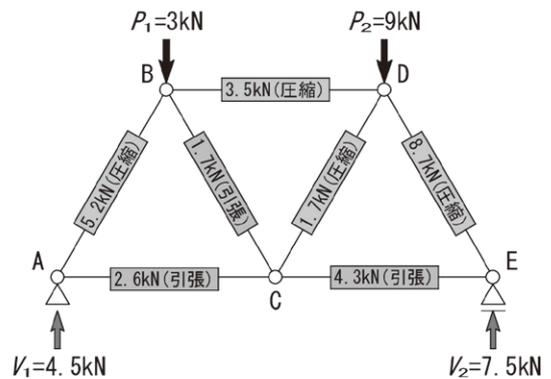


図8 トラス構造に生じる軸力の計算結果

参考文献

- ・平井卓郎, 小松幸平, 宮澤健二: 木質構造, 東洋書店(2009) .
- ・藤本一男, 西田進, 中村一平, 本田秀行, 木村定雄: 基礎から学ぶ構造力学, 森北出版株式会社(2006) .
- ・有馬孝禮, 高橋徹, 増田稔: 木材科学講座9 木質構造, 海青社(2013) .
- ・一般社団法人日本建築学会: 木質構造基礎理論, 丸善株式会社(2010) .