

VR構造力学教材を用いた授業実践から見える 中学生のトラス構造理解

入江 隆

中学校技術・家庭科〔技術分野〕においてプラスチックストロー等の材料で橋を製作させる試みが行われている。橋の強度を確保するための基本はトラス構造であるが、各部材（プラスチックストロー等）に生じる力の大きさとその方向を正確に理解することは生徒にとって難しい。著者はトラス構造を学習するVR構造力学教材を開発し、ストロー橋製作の助けとなる授業実践を行ってきた。この授業実践の中で、生徒がトラス構造の各部材に生じる力を考察するときの誤りのパターンが明らかになった。本研究ではこれまでの授業実践でよく見られた誤り方を生徒に提示し、同じ誤り方をしたかどうか、なぜそのように考えたのかについて調査した上で、求められる指導方法について検討した。

Keywords：技術分野，構造力学，トラス構造，VR，教材

1. はじめに

中学校技術・家庭科〔技術分野〕（以下、技術科と略記）において、構造力学を生徒に理解させることは有益である。内容「材料と加工の技術」で「製作品を丈夫にする方法を考えよう」というめあての授業があり、四枚の板で長方形に組み立てた本棚に側方から力を加えて本棚が斜めに傾いてしまう様子を生徒に見せることがある。どのように補強すれば本棚が傾かなくなるかという発問に対して、多くの生徒が教科書^{1, 2)}にも記述されている斜めに補強材（斜め材）を入れる方法を答える。これは構造力学でトラス構造³⁾と呼ばれるものであり、斜め材を加えて三角形構造を作ることにより外部から加えた力を支えることができる。

上記の「製作品を丈夫にする方法を考えよう」という授業の発展として、生徒に棒状の部材（プラスチックストローが多い）を組み合わせで橋を製作させ、その強度を競うコンテストが技術科で行われている。製作した橋を設置し、中央部に重量を加えてその強度を測る。多くの部材を使用するほど橋の強度を高めやすくなることから、単位重量当たりの橋の強度を評価する。多くの生徒がトラス構造を利用

して強度を高めようと試みるが、複雑な構造物の強度を高めることは容易ではない。構造物に力が加わった場合、各部材に様々な力が発生する。発生する力の大きさだけでなく、その力の方向（引張または圧縮）も重要である。棒状の部材に力が生じる時、力の方向が正確に軸方向と一致する場合はまれである。力の方向が軸方向とずれている場合、引張方向の強度はあまり変わらないが、圧縮方向では部材が曲がってしまい極端に強度が低くなってしまう。すなわち、圧縮方向の力が生じる部材に対しては、必要に応じて補強を行う必要がある。しかし部材に生じる力は目に見えず、どこにどのような力が生じているのか生徒は判断することができない。結果として、必要な箇所の補強ができず、不必要なところを補強してしまうことがある。この問題の一助となることを目的に、著者はトラス構造の部材にどのような力が生じるのか、生徒が体感的に学習できるVR構造力学教材を開発した⁴⁾。この教材は、仮想空間（PCのディスプレイ画面）にトラス構造を呈示し、3次元力覚呈示装置⁵⁾を利用することにより、学習者が実際に力覚を感じながらトラス構造の支点に力を加え、トラス構造の変形と各部材に生

じる力の大きさ・方向をリアルタイムに観察できる環境を提供する。ヒトの視覚と触覚に働きかけ、学習者にトラス構造を実践的・体験的に学習させる。

著者は、橋製作コンテストを行っている中学校において、開発したVR構造力学教材を用いた授業実践を行ってきた⁶⁾。橋の製作を開始する前の段階で、トラス構造が身近な構造物に利用されていること、トラス構造に外力を加えたときの各部材に生じる力の大きさ、引張方向と圧縮方向に対する部材の強度などについて学習させる。この授業実践の中で、生徒がトラス構造の各部材に生じる力を考察するとき、誤りやすいパターンが存在することが分かった。本研究では、生徒が誤りやすいパターンを確定した上で、誤る割合がどの程度か、そして、生徒がどのような考えを経て誤り方に至ったか、について調査を行った。また、調査結果を踏まえた指導方法について検討を行った。

2. ストロー橋製作とVR構造力学教材を用いた授業実践

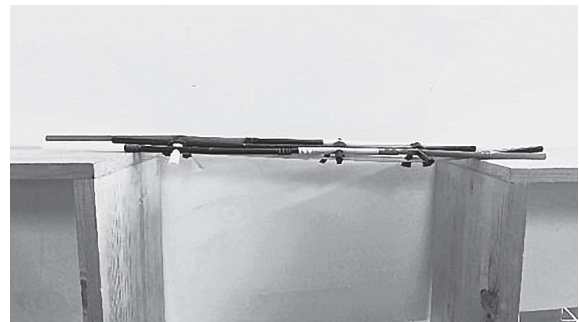
技術科の内容「材料と加工の技術」において、一部の学校では、棒状の部材を用いた橋製作を生徒に行わせる。部材には、安価なプラスチックストローを使用することが多いが、木材（割りばしなど）を用いる場合もある。岡山大学教育学部附属中学校の技術科の授業においては、第3学年の生徒にプラスチックストローを用いた橋製作を行わせ、学年全体でその強度を競うコンテストを実施している。生徒は3人または4人のグループで協力してストロー橋を製作する。コンテストの方法は、完成した橋を二つの台を跨ぐように設置し、橋の中央部にバケツを吊るす。バケツに水を注ぎ、橋が崩落するまでの最大耐荷重を測定する。実施方法を図1に示す。部材を多く使うことではなく、構造の工夫で強度を高めることを促すために、測定された最大荷重を橋の重量で除してポイントを算出する。

生徒が製作したストロー橋の例を図2に示す。同図(a)は不完全なトラス構造の例であり、左右の台と

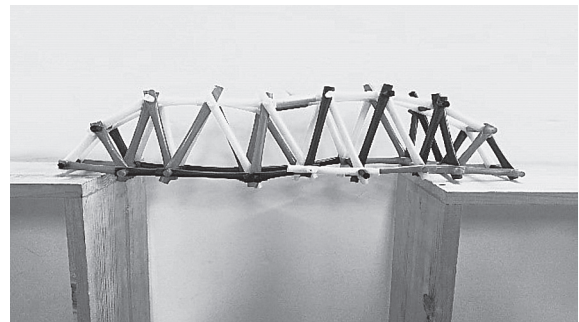
接する部分がトラス構造になっていない。中央部に荷重が加わるとこの部分が屈曲し、崩落が進むことになる。この橋の強度ポイントは66.8であった。同図(b)は鉛直方向の荷重に対して有効なトラス構造が全く存在せず、材料の強度のみで橋が支えられている。中央部に荷重が加わると橋全体が屈曲する。強



(a) 不完全なトラス構造の例



(b) トラス構造が使用されない例



(c) トラス構造で組み立てられている例

図2 生徒が製作したストロー橋の例

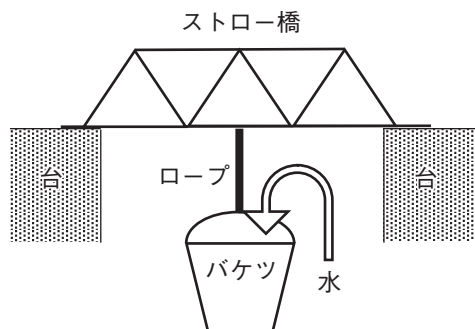


図1 ストロー橋コンテストの実施方法



図3 トラス構造の鉄橋

度ポイントは64.1であった。同図(c)は図3に示すような鉄橋を参考にしたと考えられるが、トラス構造を全面的に採用している。構造的な弱点が無く、強度ポイントは79.6であった。

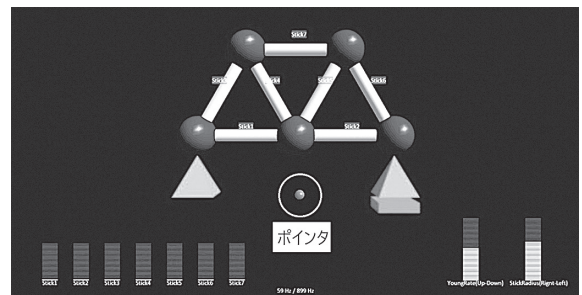
トラス構造を利用するグループが多い一方で、全く用いないグループも存在した。またトラス構造を利用しながらも中途半端になってしまい、強度の向上につながらないグループも多かった。トラス構造を採用しても接合部の強度が弱く、その効果が十分に発揮されないグループもあった。教員としては、生徒に単なる思い付きではなく、根拠に基づく課題解決を期待しており、トラス構造を有効利用する方向へ誘導したいと考えていた。

しかし生徒がトラス構造を採用できた場合にも問題点が存在する。前述の接合部の強度に加えて、構造が複雑になると、どの部分(部材)にどのような力が生じるのか、多くの生徒が分からなかった。部材としてプラスチックストローを使用する場合は、引張方向の力に対する強度と比較して、圧縮方向の力に対する強度は極端に低くなる。これは圧縮方向の力に対してプラスチックストローが屈曲してしまうことが原因であり、生徒は各部材に生じる力が引張方向なのか圧縮方向なのか見極める必要がある。そして大きな力が圧縮方向に生じる部分には補強を行わなければならない。しかし力は目に見えないことから、各部材に生じる力の大きさと方向(引張方向または圧縮方向)の見極めは、生徒にとって非常に難しい。

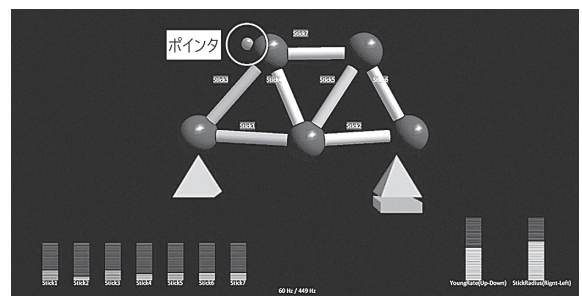
岡山大学教育学部附属中学校では、著者が開発したVR構造力学教材⁴⁾を用いて、トラス構造に外力が加わったときに各部材に生じる力を学ばせる教育実践を行った⁶⁾。VR構造力学教材では、生徒が仮想空間(PCのディスプレイ画面)に呈示されたトラス構造の支点到自ら力を加え、その変形と各部材に生じる力をリアルタイムに観察できる。図4にVR構造力学教材を操作する様子を示す。利き腕で3次元力覚呈示装置のハンドル部分を持ち、上下、左右、前後に移動させることにより、仮想空間内のポイントを操作する。図5に仮想空間に呈示されたトラス構造の例を示す。同図(a)の中央上部に5つの球で表された支点和7つの円柱で表された部材で構成されたトラス構造が表示されている。左右両端の支点下に示されている三角形は拘束条件を示している。ハンドル部分を操作し、中央下部に表示されているポイントを移動させ、拘束されていない支点に接触させることにより、トラス構造に外力を加えることができる。同図(b)は左上の支点に右方向の力を



図4 VR構造力学教材を操作する様子



(a) 初期画面



(b) 力を加えた様子

図5 仮想空間に呈示されたトラス構造

加えている様子を示す。トラス構造に変形が生じている様子が確認できる。同図はモノクロ画像のため色の判別ができないが、実際のディスプレイ画面では、支点和支点を結んでいる部材が「赤」または「青」に変色している。「赤」は圧縮の力が生じており、「青」は引張の力が生じていることを示している。また色の濃さが力の大きさを示すことから、生徒は各部材に生じる力を実践的・体験的に学ぶことができる。

VR構造力学教材を用いた授業を導入する前は、完成した橋を図1のように台に設置したときに自立せず、強度測定ができない割合が10%を超えていたが、導入後はその割合が三分の一になった。強度ポイントにも向上が見られ、VR構造力学教材の効果が確認された。

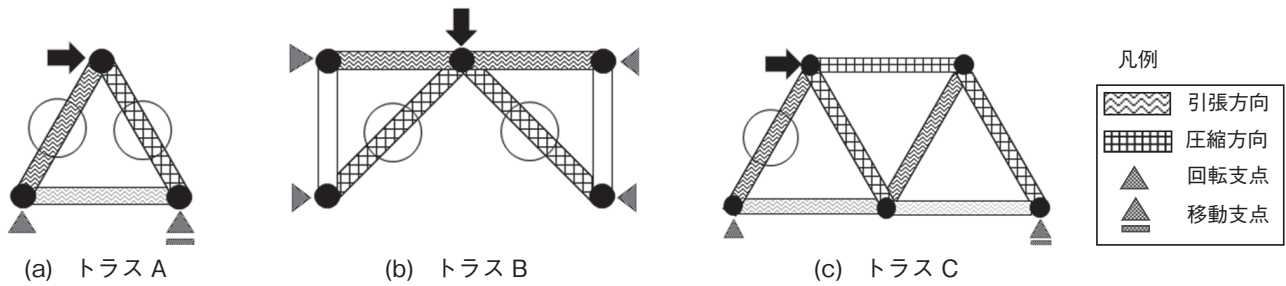


図6 授業で扱った主なトラス構造

3. 誤りやすいパターン

VR構造力学教材を用いた授業においては、トラス構造の各部材に生じる力の方向と最も大きな力が生ずる部材について(1)グループ内で話し合い、(2)その結果をクラスで共有し、(3)VR構造力学教材でその答えを確認する。この流れを単純なトラス構造から少し複雑なものまで、複数の構造物について繰り返し行った。

授業で扱った主なトラス構造を図6に示す。各トラス構造の一つの支点到矢印が描かれているが、これが外力の方向を示している。支点到近接する三角形及び三角形と棒が組み合わされた記号は拘束条件を表している⁷⁾。単純な三角形が付された支点是回転支点（ヒンジ支点）であり、上下左右へ移動することはできないが、この支点到に連結された部材はこの支点を中心とした回転運動が可能となる。三角形と棒が組み合わされた記号が付された支点是移動支点であり、上記の支点を中心とした回転運動に加えて、同図(a)のトラス構造の右下の支点的場合は左右方向への移動が可能となる（上下方向は拘束）。回転支点的場合は上下左右への移動が拘束されるため、三角形の向きに特別な意味を持たないが、移動支点的場合は三角形の下の方の棒の軸方向に移動可能となる。

同図の部材にパターンを表示しているが、これが部材に生じる力の方向の正答を表している。波線が引張方向、格子が圧縮方向を表す。最も大きな力が生じる部材に○を付けている。同図(a)及び(c)の底辺の部材についてはともに引張方向の力であるが、生じる力が特に小さいので薄い波線で示している。また同図(a)について、最も大きな力が生じるのは左斜辺の引張の力が生じる部材であるが、右斜辺の圧縮の力が生じる部材との差は小さい。生徒がVR構造力学教材で確認する場合にも、右方向へ正確に力を加えることができず、両者の力の大きさの違いを観察できないことが多いことから、両方の部材に○を付けている。前述の(1)グループ内で話し合い、(2)その結果をクラスで共有する際に、生徒の典型的な誤

り方のパターンが明らかになった。

同図(a)のトラス構造については、

- (a)-① 三角形の底辺の部材に、力が生じない。
- (a)-② 三角形の底辺の部材に、圧縮の力が生じる。
- (a)-③ 右側の部材に、最も大きな力が生じる。

同図(b)のトラス構造については、

- (b)-① 上辺の部材に、力が生じない。
- (b)-② 上辺の部材に、圧縮の力が生じる。
- (b)-③ 両側の縦の部材に、圧縮の力が生じる。

同図(c)のトラス構造については、

- (c)-① 上辺の部材に、力が生じない。
- (c)-② 上辺の部材に、引張の力が生じる。
- (c)-③ 底辺の部材に、力が生じない。
- (c)-④ 最も大きな力が生じる部材の位置が違

うであった。そこで、どの程度の割合で上記の誤り方をするのか、そして、生徒はどのように考えて上記の誤りに至ったのかについて調査を行った。

4. 調査と結果

授業実践後、出席した生徒に第3章に記した典型的な誤り方を提示した上で、同じ誤り方をした番号を記入させ、そのように考えた理由を自由記述で回答させた。正解と典型的な誤り方については図を用いて示した。例として、生徒に提示したトラスAの正解と典型的な誤り方を図7に示す。なお実践授業においては、VR構造力学教材に合わせて圧縮の力を「赤」、引張の力を「青」と色で表現していたため、同図でも色を使用している。なおトラスCの(c)-④については、図8に示すように「正解」は左上の支点から左下に連結された部材とし、「誤り方」は左上の支点から右下に連結された部材とした。68人の生徒から回答を得た。

トラスAについての誤答数とその割合を表1に示す。(a)-①と(a)-③の誤答の割合が10%を超えており、(a)-③はほぼ半数の生徒が誤っていたと回答している。誤った理由について、代表的なものを以下に示す。

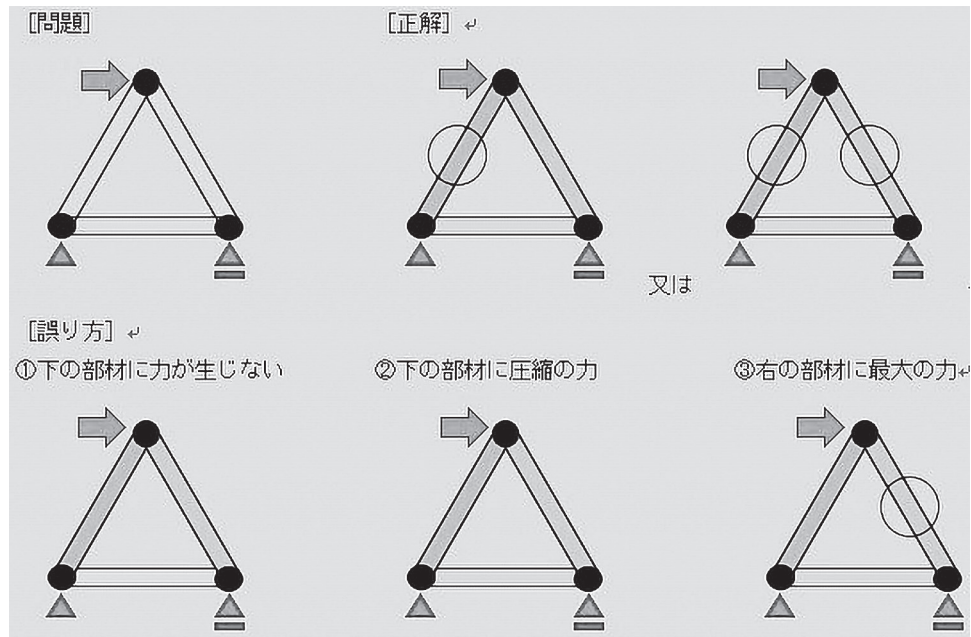


図7 トラスAの正解と典型的な誤り方

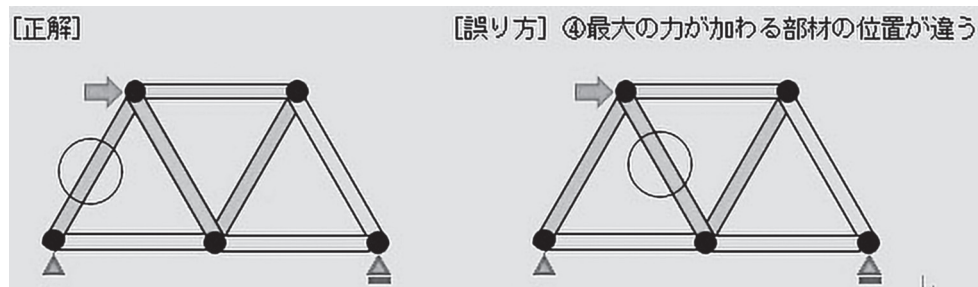


図8 トラスCの正解と典型的な誤り方の一つ

(a)-①のように誤った理由

- ・下の部材は固定されているから力が加わらないと思った。
- ・圧縮された棒の数=引っ張られた棒の数が成り立つと思った。
- ・力が直接加わっていないから。

(a)-②のように誤った理由

- ・手で△を作ってみて、何となくそう思った。

(a)-③のように誤った理由

- ・左側の部材は斜めになっているので力が逃げるといった。右側の部材は圧縮されて力が逃げないと思った。
- ・力が左から右に加わるので、力が(右側の)圧縮される部材に強く加わると考えた。
- ・圧縮なので、壊れると思った。
- ・圧縮=力が強いというイメージがあった。

トラスBについての誤答数とその割合を表2に示す。(b)-②の誤答の割合が20%を超えている。誤った理由について、代表的なものを以下に示す。

(b)-①のように誤った理由

- ・力が直接加わっていないから。

- ・上の部分は、あってもなくても変わらないと思った。

(b)-②のように誤った理由

- ・下向きの力が左右に分解されると思った。
- ・力が4方向に分散すると考えた。

(b)-③のように誤った理由

- ・固定されているという条件を忘れていた。
- ・力がかからない場所があるとは思わなかった。
- ・赤い部分が下に押されて、そこで縦の部材も引っ張られると思った。
- ・圧縮=力が強いというイメージがあった。

トラスCについての誤答数とその割合を表3に示す。(c)-②と(c)-③の誤答の割合が10%を超えている。誤った理由について、代表的なものを以下に示す。

(c)-①のように誤った理由

- ・上の部分はつないでいるだけで力が加わらないと思った。
- ・力がそのまま伝わりそうだったから。
- ・上の2つの支点が長さを保って動くと思った。

(c)-②のように誤った理由

- ・右上の支点が右に動いて引っ張られると思った。

- ・矢印をおすと、右上の支点が引っ張られるから、上の部材も引っ張られると思った。
 - ・右上の支点に右向きの力が働くと考えた。
- (c)-③のように誤った理由
- ・力がそのまま伝わりそうだったから。
 - ・上が圧縮されると思った。
 - ・上の2つの支点が長さを保って動くと思った。
- (c)-④のように誤った理由
- ・2箇所だと思った。
 - ・そこに力が集中していると思った。
 - ・固定されている部材のどちらに大きい力がかかるかよくわからなかった。

表1 トラスAについての誤答数とその割合

番号	誤答数 (N=68)	誤答の割合 [%]
(a)-①	9	13
(a)-②	2	3
(a)-③	33	49

表2 トラスBについての誤答数とその割合

番号	誤答数 (N=68)	誤答の割合 [%]
(b)-①	3	4
(b)-②	2	3
(b)-③	14	21

表2 トラスCについての誤答数とその割合

番号	誤答数 (N=68)	誤答の割合 [%]
(c)-①	4	6
(c)-②	11	16
(c)-③	7	10
(c)-④	5	7

5. 調査結果の考察

前章の自由記述をもとに誤りの原因について考察する。トラスAについて、(a)-①と(a)-②はともに底辺の部材に関するものであり、正解は「引張の力が生じる」であるが、「力が生じない」または「圧縮の力が生じる」と誤る例である。(a)-①の「力が生じない」と考えた理由は明確に述べられている。一つ目の理由は、底辺の部材の両端が固定されているという誤解に基づくものであり、右側の移動支点の理解が不十分であったことを示す。二つ目の理由は、圧縮される部材と引張られる部材が同数でなければならないという誤解によるものである。左右の斜辺に圧縮と引張の力が一対で生じている以上、底辺には力が生じないと考えている。三つ目の理由は、外力が加わっている支点と関係のない部材（直接連結

されていない、外力の作用線上に存在しない）には力が生じないという誤解である。(a)-②の「圧縮の力が生じる」と考えた理由は不明瞭であり、全く考えが及ばない様子が伺われる。(a)-③は最も大きな力が生じる左斜辺よりも右斜辺に生じる力の方が大きいと誤る例である。一つ目の理由は、右側の拘束条件の誤解によるものである。右斜辺が底辺と連結する支点が移動支点であるにもかかわらず、左右に移動できないと考え、右斜辺に力が集中すると誤解した。二つ目の理由は、一つ目の理由で問題となった支点の拘束条件に直接の言及はないが、回答した生徒は無意識に当該支点が左右に移動できないと考えているように思える。三つ目と四つ目の理由は同意であり、圧縮の力は引張の力よりも無条件に大きいというイメージによるものと考えられる。授業中、プラスチックストローに同じ大きさの圧縮の力と引張の力を加えると、引張に対してはストローが多少伸びながらも耐えるのに対して、圧縮に対してはストローが屈曲し、座屈⁸⁾を発生してしまうだろうと説明していたことが影響したと考えられる。すなわち「プラスチックストローは引張の力に対して強く、圧縮の力に対して弱い」→「圧縮の力は引張の力より強い」と生徒が連想している。

トラスBについて、(b)-①と(b)-②はともに上辺の部材に関するものであり、正解は「引張の力が生じる」であるが、「力が生じない」または「圧縮の力が生じる」と誤る例である。(b)-①の一つ目の理由は、外力が鉛直下向きであるのに対して上辺が水平であることから、力が生じないと考えている。二つ目の理由は、表現が曖昧であるが、基本的に一つ目の理由と同様と考えられる。これらは外力の加わる支点が下方へ移動することを想定していないように思われる。すなわちトラス構造の変形が考えられていない。(b)-②の「圧縮の力が生じる」と考えた理由は、外力が真ん中の支点で左右に分力され、それらの分力は部材を圧縮する方向に生じるという考え方である。こちらについても当該支点が下方へ押し下げられるトラス構造の変形を想定できていない。(b)-③は両端を拘束されている部材に力が生じると誤る例である。一つ目の理由がこの問題の本質を示しており、拘束条件の見落としが主な原因である。二つ目の理由は拘束条件の見落としが両端を拘束された部材にも力が生じると誤解しているのか判断できないが、後者であれば、両端が拘束された部材には力が生じないことを指導する必要性を示唆している。三つ目の理由は、縦の部材に引張方向の力が生じると誤解していた生徒のものである。この問題を誤解した生徒のほとんどは圧縮方向の力が生じると考えた

が、逆に引張方向の力が生じると考えた理由が述べられている。この生徒は外力によって中央の支点が下方へ押し下げられる変形を理解しているが、それにより水平の部材が中央に引っ張られ、縦の部材の上部支点も中央部分へ移動し、結果として縦の部材が斜めに傾きながら引張の力が生ずると考えている。この生徒も縦の部材上部支点の拘束条件の見落とし又は理解不足が原因で誤っている。四つ目の理由も鉛直下向き外力が縦の部材の上部支点に加わることで圧縮の力が生じると誤解しており、やはり縦の部材上部支点の拘束条件の見落とし又は理解不足が原因である。

トラス C について、(c)-①と(c)-②はともに上辺の部材に関するものであり、正解は「圧縮の力が生じる」であるが、「力が生じない」または「引張の力が生じる」と誤る例である。(c)-①の三つの理由はそれぞれ表現が異なっているが、いずれも対象となる部材の両支点が拘束されておらず、部材が外部の力を受けることなく移動できると考えている。部材同士が連結されていることにより、拘束条件がなくとも周辺の部材から力が伝わることを想像できていない。(c)-②の三つの理由も表現が異なるが同じことを述べている。この生徒たちは、部材の左支点に右向きの外力が加わり、その力が右支点に伝わって下に連結されている二つの部材を右方向に引っ張っていることを理解している。上辺の両支点に加わる力をベクトル分解すると図 9 のようになる。左支点に加わる外力が三方向の力にベクトル分解され、その内の右方向の力が右支点に伝えられる。右支点においても同様に三方向のベクトル分解が行われる。生徒たちは右支点が右側に引っ張られる力を重視して、上辺の部材に引張の力が生じると誤った結論に至っている。正しくは、左支点にも右方向の力が加わっており、この左支点の（右方向の）力が右支点の（右方向の）力よりも大きいため、結果として上辺の部材には圧縮の力が生じる。生徒は論理的に力の伝達を考えているが、外力と右支点に加わる力の大きさの比較が十分ではなかった。(c)-③は底辺の部材に「力が生じない」と誤る例である。一つ目の理由は回答の意図が分かりにくい、外力が上辺に加わり、右方向へ移動させるが、底辺は上辺と連結されておらず、力が伝わらないと考えているように見受けられる。二つ目と三つ目の理由も上辺に言及しており、やはり底辺が上辺と連結されていないことを根拠としているようである。(c)-④は最も大きな力が生じる部材の位置の間違いである。図 8 のように左上の支点から左下に連結された部材を「正解」とし、左上の支点から右下に連結された部材を「誤

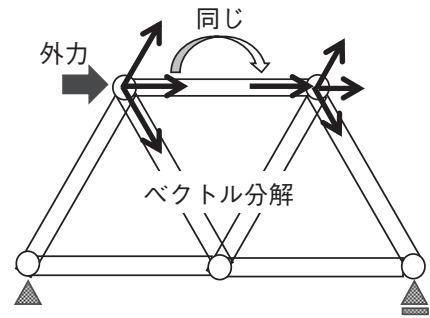


図 9 トラス C の上辺部材支点における力の分解

り方」とした。一つ目の理由は、こちらが提示した誤り方の例とは異なり、図 7 「正解」の右図のように左上の支点から左下と右下に連結された部材両方に最も大きな力が生じると考えたものである。トラス A では外力が左右斜辺の部材にしか伝わらず、両者に生じる力の方向が圧縮と引張と正反対でありながら、その大きさはほぼ同じになる。一方でトラス C では左上の支点に加わる外力が図 9 のように三方向に分解される。この段階では左下と右下に連結された部材に伝わる力はトラス A と同様であるが、右下の部材の下支点が拘束されておらず、部材が移動しながら力を連結された周囲の部材に分散させる。結果として、左上の支点から右下の部材に生じる（圧縮の）力は小さくなる。この生徒は底辺中央の支点が移動することを見落としていると考えられる。二つ目の理由は表現が曖昧であるが、「圧縮の力が生じる部材」→「大きな力が生じる部材」という連想に見える。三つ目の理由は、構造が複雑化したときに、どこに、どのような力が発生するのか考えることに戸惑う様子が伺われる。

6. 指導方法の検討

生徒がトラス構造の部材に生じる力の大きさ及び方向について誤る理由を考察した結果、指導において克服すべき対象は以下ようになる。

- ・拘束条件の理解不足
- ・「圧縮の力」 > 「引張の力」というイメージ
- ・連結されていない部材に力が伝わらないという誤解
- ・支点移動（トラス構造の変形）を考えていない
- ・複雑な構造に思考が対応できない

まず拘束条件の理解不足に対する指導方法を検討する。構造物を補強する手段として斜め材が教科書に記載されており、これがトラス構造であることは事実であるが、「トラス構造」という用語は記載がなく、支点の種類、拘束条件についても触れられていない。生徒にとってトラス構造の考え方は初めて接するものであり、授業中に拘束条件を一通り説明

しただけでは十分な理解に到達できていなかったと考えられる。トラス構造の理解に不可欠な回転支点（ヒンジ支点）と移動支点について、演習を含めた説明が必要である。

「圧縮の力」>「引張の力」というイメージは、授業中に行ったプラスチックストローが引張の力に対しては強いが、圧縮の力に対しては弱いという説明によると考えられる。実際に橋の製作においてこの点は重要であるが、単純に力の大きさを比較する場合にはプラスチックストローの強度は無関係であることを指摘しておく必要がある。

連結されていない部材に力が伝わらないという誤解、支点移動（トラス構造の変形）を考えていない、複雑な構造に思考が対応できない、の三つはトラス構造の変形をイメージできていないという点でまとめることができる。トラスAのような単純なトラス構造であれば、外力による変形も単純であり、力の伝わり方も容易にイメージできる。しかしトラスCのような複雑なものになると、連結された部材に様々な力が加わり、それによって拘束されていない支点が移動し、さらに複雑に力が伝達されていく。この内容は中学校のレベルを超えており、力の合成・分解を使っても全体を把握することは難しい。今回の授業実践においてはトラス構造の変形についてほとんど触れなかったが、生徒が製作するストロー橋もコンテストの際には必ず変形することから、外力が加わった時にトラス構造がどのように変形するか時間を取って生徒に考えさせることが重要になる。

7. おわりに

本研究では、生徒が三種類のトラス構造の各部材に生じる力を考えるときの、誤答のパターンとその割合、そして生徒の考え方について明らかにした。中には半数近くの生徒が誤るパターンもあった。生徒による自由記述回答から、多くの誤答の原因が実践授業における説明不足にあることが分かった。生徒にとってトラス構造の考え方は初めて接するもの

であり、支点の種類、拘束条件についてある程度時間を取り生徒の理解を定着させる必要が確認された。「圧縮の力」>「引張の力」というイメージの払拭と外力によりトラス構造が変形する点についても説明が必要であった。特定の部材に生じる力の方向と大きさは、力の合成と分解の考え方によってある程度の推測は可能であるが、複雑な構造になると生徒にとって難しい。そうであるからこそ実践授業で利用した、生徒が実際に力覚を感じながらトラス構造の支点に力を加え、トラス構造の変形と各部材に生じる力の大きさと方向をリアルタイムに観察できるVR構造力学教材の有用性が高まるものと考えられる。

参考文献

- 1) 田口浩継・他80名：新しい技術・家庭技術分野未来を作る Technology, 東京書籍, p.153 (2021)
- 2) 竹野英敏・他118名：技術・家庭技術分野テクノロジーに希望をのせて, 開隆堂, p.163 (2021)
- 3) 野村卓史: 構造力学, コロナ社, pp.124-137 (2011)
- 4) T. Irie and Y. Inoue : Development of an Interactive Learning Material for Truss Structure by using a Haptic Device., The 13th International Conference on Technology Education in the Asia Pacific Region, pp.100-101 (2019)
- 5) T. H. Massie, J. K. Salisbury: The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects, ASME WAM, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, DSC-Vol. 55-1, pp. 295-300 (1994)
- 6) 入江隆, 難波育久, 日吉康幸: 中学校技術科におけるVR構造力学教材を用いた授業実践, テクノロジー教育, Vol.10, pp.1-7 (2020)
- 7) 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, pp.37-39 (2005)
- 8) 同上, pp.202-221