

# IV-11 高校の土木応用力学をどのように教えるか

東京都立小石川工業高等学校教諭 米田 正男  
 東京都立小石川工業高等学校教諭 ○三浦 基弘

## (ウ) はじめに

土木学会が研究発表および、新しい技術・工事の実績報告のみならず、教育問題を大胆に取り上げたのは画期的なことである。いま新聞では、教育問題がかなり紙面をしめている。これには理由がある。とくに、職業高校についていえば、入学してくる半数前後の生徒が、「こんな学校に入るつもりはなかった。」ともらしている。

中教審答申をもとに、昭和40年代に押し進められた高校多様化政策が、さまざまな問題を生ませているようである。社会的に曲り角にあるといわれる職業高校を根本的に再検討するため、文部省は「職業教育の改善に関する委員会」を発足させている。いまの工業高校の専門教科は、かなり数学的な知識が要求されるが、普通高校に行けないから工業高校にくる、しかも必ずしも理教科が得意でない生徒が少なくない状況のもとで、現場の教師がかなりの苦勞をしているのが実状である。私たちは、教壇に立ってかなりになるが、数年前から教科書どうり教えていては、生徒が理解しにくい面が顕著に表面化してきた。とくに昨年度から、新学習指導要領にもとづく教育課程実施の二年目で「土木応用力学」に関していえば、現1、2年生は中学校で三角関数を習っておらず、授業が非常にやりにくくなってきている。物理でも光の屈折など、自然現象の理解に困っているようである。

ここに、私たちの授業実践を紹介し、成果と問題点を一緒に考えていきたい。

## (ウ) 教科書は生徒にとって、わかりやすくなっているか

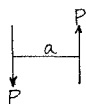
一般に土木関係の教科書は、大学の教科書の内容を簡略化したものが多くページ数などもかなり制限をうけて、生徒にはわかりにくくなっている。新指導要領にもとづく教科書には、数教科一緒にしたものまであり、いままでの輪をかけてますます内容が簡略化されてきている。では中味はどうなっているのか、調べよう。

「力」の定義のところで、A社では「われわれが、物を押ししたり、引いたりするには力がいる。こういう場合に手に感じるのが**力**(Force)である。」B社では「物体の形をかえたり、運動状態をかえたりする原因を**力**(Force)という。」とある。A社の「力」は、フィーリングのようなものであるし、B社では物体の形をかえない場合に「力」が作用しているのか、いないのか明確ではない。力学の中、とくにつりあいのことを扱う静力学では「物体の形をかえたり、運動状態をかえたりする原因となる外部の働きを**力**(Force)という。」としてほしいのである。

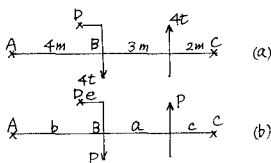
最初からこのようであるから、だんだん時間が経つてくると生徒などが「理論などはどうでもよい。実践まいこう。」というふうになることも、あながち無理ではないのかもしれない。「重量」と「質量」の区別はどうでもよいとなるのは、生徒の気持ちになってみるとはっきりするのである。

## (ウ) 生徒は、どこがわからないか

B社の教科書の例を引こう。「……図の2力は偶力であり、このとき**偶力**のモーメントは、次の式であらわされる。 $M = -P \cdot a$  この偶力は、 $a$ が2力間の距離で一定であるから任意の点に対して一定の値をもつ。」とある。このように説明すると、試験のときなどは、平気で  $M = -2P \cdot a$  と答を出す生徒が少なくない。私たち

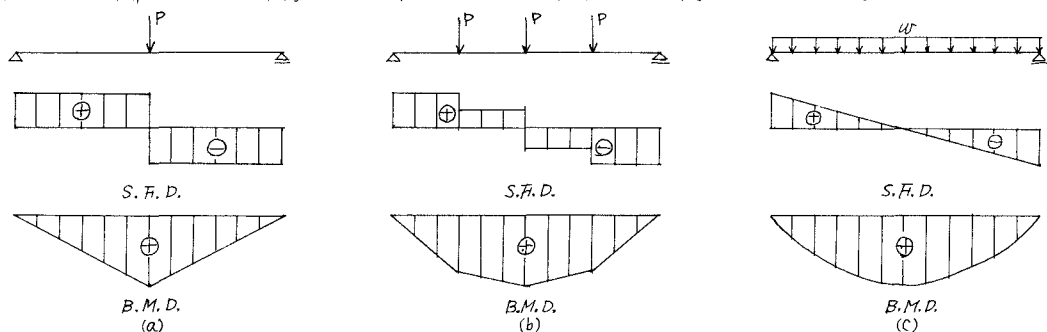


も教科書どうり教えていたころ悩んだものでした。現在のように、抽象概念をどうえにくい生徒が増えてきている現状では、図(a)のようにして、図(b)にうつり、任意の点に対しても一定の値になることを、実際につかませると理解させることができる。



$$\begin{aligned}
 M_A &= 4t \times 4m - 4t \times 7m = -12tm & M_B &= 4t \times 0m - 4t \times 3m = -12tm \\
 M_C &= -4t \times 5m + 4t \times 2m = -12tm & M_D &= 4t \times 1m - 4t \times 4m = -12tm \\
 M_A &= Pb - P(a+b) = -P \cdot a & M_B &= P \times 0 - Pa = -P \cdot a \\
 M_C &= -P(a+c) + Pc = -P \cdot a & M_D &= Pe - P(a+e) = -P \cdot a
 \end{aligned}$$

単純ばりの計算の場合、集中荷重と等分布荷重がはりに作用している例を考えよう。



1個の集中荷重の作用している図(a)と、等分布荷重の作用している図(c)との関係は、一見わかりにくい図(b)を入れたら、S.F.D.においては、階段状の区分が多くなると直線を想像できるし、B.M.D.においては、多角形の辺数が多くなり直線が曲線になっていくことを推察することができるであろう。

さきめて初歩的なことを例にあげたが、教師がひと工夫すれば生徒の理解に大きく寄与するものである。

#### (d) 私たちの試み

##### (i) 歴史を学び、人類の輝かしき遺産を教えること

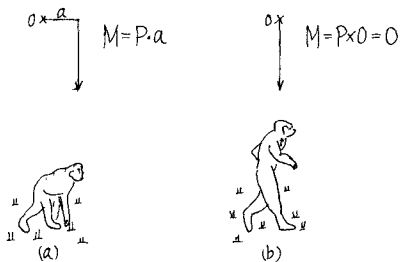
A社の「力」の定義は、人間の体で感じる感覚的なものとなっているが、力という字(腕を曲げて、筋肉がもり上がっている状態を示す)からうかがわれるように、はじめからいまでのような自然の客観的法則性にもとづいて定義されなかったことも事実である。にもかかわらず、どのような矛盾にぶつかり頭をひねって、その矛盾を解決してきたかということが教科書には書かれていないから、生徒が感動しないのはあたりまえなのである。

長さ、質量の単位は、はじめ、人間の身のまわりのものを基準としていたことが多い。それでは正確さとか、普遍性がないということも長い月日がながれて、メートル法ができるようになった。いま私たちの生活で平気で使用しているメートル法の制定において、なぜフランスが主導権をとったとか、単位の命名法には紆余曲折があり、長さ、質量などの基本単位の呼び名において、その進法の順位を表わす接頭辞をつけるのに、各国の感情を考慮して、倍数位(deca, hecto, kilo, millia)はギリシヤ語から、分数位(dec, centi, milli)はラテン語から採用したことなどを教えると、歴史がそうスムーズに動いていないこともわかり、社会との結びつきも深まっていくのである。

この世界にひとりの巨人がいる。  
その手は苦もなく機関車をもちあげ、  
その足は1日に何千マイルをも走りぬく。  
鳥よりも高く飛ぶ翼、  
魚よりも自由に泳ぎ回るひれをもつ巨人！  
眼には見えないものを見て、  
遠くの世界のこたばを聞き、  
山を越え、川をせきとめ、  
思うがままに、この世界を作りかえる巨人！  
森をひらき、海を結び、涸れた砂漠に水をそそぐ。  
その巨人とは、だれなのか？  
人間——すばらしいもの人間！

左の詩は、イリンの著書「人間の歴史」の扉につづてある、人間へささげる讃歌である。

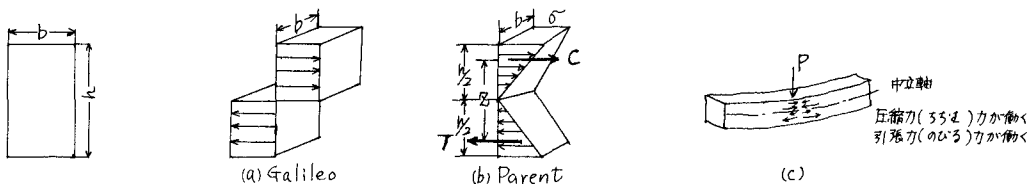
猿から人間になるいきさつは、ここでは割愛しますが道具を作り、労働することによって脳が大きくなり、発達した。人間が直立しはじめたのは、基本的には意識の問題ではなく、身体の構造が必然的にそうさせたという、いわば存在の問題である。労働することによって脳が大きくなると、這って歩くと頭を支えることがつらくなる。それで立つことによって人間は楽に行動することができたのである。つまり力のモーメントの視点からみれば、図(a)では  $M = P \cdot a$  であるが、図(b)では  $M = 0$  つまり力学の立場でも理解できるから、生徒は関心をもつのである。



はり設計するとき、断面係数が重要である。これは非常に大切なものであるにもかかわらず、それがどうして必要になったかを教科書は示していない。図のように幅が**b**、高さが**h**のときの断面係数が **$\frac{bh^3}{12}$** であることはよく知られている。

$\sigma$  (緑応力度) =  $M/W$  ( $M$ : 曲げモーメント,  $W$ : 断面係数) はよく教科書にのっている。

この式を誘導してみよう。はりに荷重が作用すると等質な材料であれば、図のように荷重がかかる側は圧縮力が、反対側



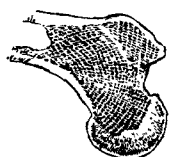
は、引張力が働く。この場合の応力分布は図(b)になることが知られている。いま圧縮力を**C**、引張力を**T**とすると、つりあいの条件で、 $C = T$  作用点間の距離を**z**とすれば、偶力が働き、モーメントは、 $M = C \cdot z = T \cdot z \dots (1)$ となる。ここで、**C**は三角形の面積と考えてよいから、 $C = \sigma \times \frac{1}{2} \times b \times h = \frac{\sigma b h^2}{4} \dots (2)$ となる。一方、**z**は三角形の重心間の距離であるから、 $z = \frac{1}{2} \times \frac{h}{2} \times 2 = \frac{h}{2} \dots (3)$ となる。(2)、(3)を(1)に代入すると、 $M = \frac{b h^3}{6} \times \sigma$   $\therefore \sigma = \frac{M}{W}$  この **$\frac{bh^3}{12}$** 、つまり断面係数を求めるために、いろいろと人間が苦心してきた。

現在のような考え方を導いたのは、フランス人のパランであった。それ以前にどうであったかという、ガリレオは図(c)のような考え方をした。根本的には、応力分布の考え方が間違っていたのである。中立軸の考え方はまだはっきりしていなかったし、その付近では応力度は急激に変化するものと考えていたようである。ガリレオ流に緑応力度を計算してみると、 $C = \sigma \times \frac{1}{2} \times 2 \quad z = \frac{h}{2}$  となるから  $\sigma = \frac{M}{\frac{1}{4}bh^3}$  となる。しかし、ガリレオは自分の式はおかしいと気付いていた。なぜなら実験をしてみると、いつも自分で算出した極限応力度以上にはりがもちこたえなかったからである。つまり、 $\frac{1}{4} = 1.5$ 倍位の値が常に出てきたようである。ガリレオは暇がなかったのか、天文学、その他に忙しかったのか、これ以上追求していないが、絶えず理論をひきだし、これを検証するために実験をおろそかにしなかったのは敬意に値する。

生徒が教っていることが、アリストテレスやガリレオ以上の水準であることを理解したら感動しないわけにはいかないであろう。又パランの応力分布がわかると、橋桁に使用する工形鋼、鉄道に使うレールが、なぜあのような形になるのかとか、机に用いられる鉄パイプをみて、同じ断面積であれば、中空の方が中実のより強いことがわかるのである。

#### (ii) 自然から学ぶことの大切さを教えること

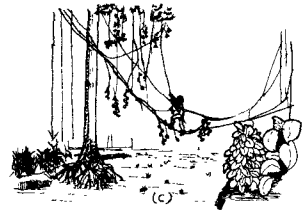
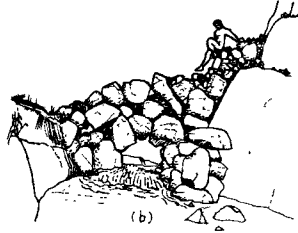
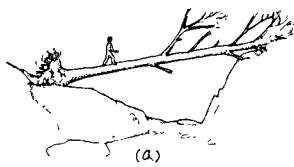
興味深いことは、人間が理論的に解明する以前に、自然はさまざまな問題に合理的な解答を与えているということである。トラスを利用しはじめたのはローマ人で、本格的に研究したのはイタリア人のパラディオといわれている。ここに描かれている雌牛の骨の断面に見るとおり、骨の内部の壁はトラスを作っている。計算によれば、



このトラスは工学的要求にかなって作られていることがわかっていく。このような構造物の中でも、もっとも軽い鳥の骨は、すでに知っているようなパイプ状構造をもっている。

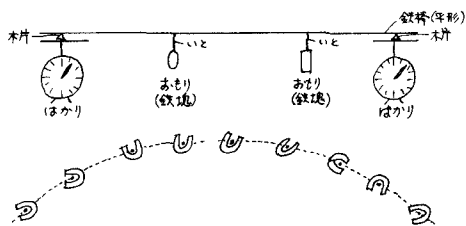
畑に行つて麦の穂などを観察すると、むたのない力学的な構造になっており、生徒は、「自然はすぐれた力学の大家」のように感銘をうけるのである。又橋の構造にしても、図のような自然現象から学んでいる。図(a)は、単純ばり橋、図(b)は、アーチ橋、図(c)は、吊り橋の元祖になっている。

ア・エリ・エゴローフ著「自然と工学」



### (iii) 実験の大切さを教えること

理論と実践は車の両輪のようなもので、理論ばかりやっていては生徒は力がかからない。たとえば、はりの計算をするときに図のような装置を作って、単純ばりの実験ができる。これを応用して、等分布荷重をのせたり、張出しばりにして生徒に見せると理解を深める。生徒のある感想は「ノートで計算していると間違っているのか、



あっていいのかわからないが、実験をしてみると答をたしかめられ安心する。」とある。

重心(図心)は構造物の計算に大切なものである。重心がわからないと設計できない。かつて私たちは馬蹄形の板紙を投げてストロボ写真を撮ったことがある。馬蹄形の飛んでいる状態をみては落下する法則性以外にあまりよくわからないが、図のように馬蹄形の重心を結んでみると、放物線を描いていることがわかる。

生徒にどんな形のものを投げても、共通な法則性(ここでは重心が放物線の軌跡を描く)を見い出す、つまり抽象(共通な表象を抽出する)概念をとうえさせることが大切なのである。

### (iv) 他教科との関連を大切に教えること

えてして自然科学の分野では、社会との結びつきを避けることが少なくない。生徒から「こんなことをなぜやるのか。もっと現実的の備かる話をしてくれた方がよい。」という質問が出ることをよく聞くことがある。

さきほど、メートル法のことを述べたが子午線の実測をするため、フランスの北海岸のダンケルクから、スペインの地中海岸のバルセロナ間で測量を行った。測量のはじまりは幾何学[Geometry: Geo(土地)+metry(測る)]と関係があり、ナイル川の氾濫をさることながら、土地の私有制と結びつけて考えると力学に使用される単位も数千年前に、しかも社会との関係で生まれてきたことがわかる。

日本の三大奇橋のひとつである錦帯橋は、なぜあのようなアーチにしたのかという場合に、力学的な面で説明されることはもちろん大切だが、社会面からみれば日本の戦国時代、橋を作る技術がなかったのではなく、意図的に造らなかった。つまり軍事的な意味をもっとすれば、馬車や騎馬が通りにくくするためにアーチにしたことがわかる。力学は社会との結びつきにより発展していることを理解しないと、バラバラの知識になる。

### (v) 系統的に教えること

生徒にはりを設計できる基本的なことを理解すればよいと話をしているが、それまでに順を追う必要がある。ところが教科書には、さきほど述べた断面係数とか、断面二次モーメントをはりに働く力学的性質のところではなく、断面一次モーメントのところに出てくる。たしかに一次、二次とことばはよく似ているが、別の性質のものである。断面一次モーメントは図心を求めるものであるが、バリニョンの定理と関連づけて教えるとういと思う。工夫も大切だが系統性をもたないと視野がせまくなる。

生徒が勉強したときというのは、学問に対する見通しがはっきりしたときであると思う。

### (e) おわりに

「わかる授業」、「おもしろい授業」をするために、試行錯誤しながら実践を積み重ねてきた。読者諸氏が、忌憚のないご批判を下されば、幸甚である。