

Ⅳ－８ 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 三浦 基弘

(a) はじめに

「できない子」、「わからない子」を、かつて三無主義（無気力・無関心・無責任）が、生徒に象徴することばであったのが、いまはそれに加えて六無主義ということばまで横行している。

現在の中学校の進学指導では、個々の中学の先生や親、子どもたちの善意にもかかわらず、不合格をだしたくないことが優先になって、生徒をふり回して送りこまざるを得ない現実がある。このような状況の中で、もっとも深刻な影響をうけているのが職業高校である。とくに、本来、理教科の基礎学力を必要とする工業高校に学力が十分伸ばされていない生徒が集中するという傾向が著しくなっている。

問題点をあげてみると (1) 50%以上が本来なら普通科へ行きたいと思っている生徒であること、残りの生徒も中学校卒業までに都立工業高校しか行けないからというので「自ら選んだ」のふりあり、工業関係科目の学習に興味を持ち、卒業後の展望をある程度もっているという生徒は非常に少ない。入学者の半数以上が、同時に私立の普通科や職業科を受験しているか、経済的理由や都立というネーム・バリューから入学を決めているかである。ある生徒の感想文に、「都立高校へ入学できたので、親が『たいしたもんだ』といってくれた。」と書かれていた。(2) 家庭の経済状況は相対的に貧困であること、またそうでない場合でも、普通科進学者に比べて（教育的）環境にめぐまれない場合が多い。父母の子どもに対する期待は、家業を継ぐことより、「卒業後は、自分で決めた職について欲しい。」という声が強く、むしろ「こんな苦しい仕事は、一代でたくさんです。自分は学校を出ていないために大変苦労した。」という親もいる。卒業後は、本人が希望すれば大学へも行かせたいと漠然と思っている父母が少なくない。(3) 基礎学力不足だけではなく教科学習に自信喪失している生徒が多いこと、中学校を卒業して、何らかの期待をして高校入学当時、「一生懸命勉強して、自分をたしかめたい。」と書いた生徒が、三年にもなると、「卒業できる最低の勉強をすればよい。」という具合になってしまうというのが実状である。

このような状況の下で、子どもたちが三年間のうちに基礎学力と学習意欲を回復し、社会に立ち向かっていく力量を身につけるようにすることが、職業高校の教師集団の課題とされている。こういう劣悪な条件のもとでの教育活動は、なみだっているのではないが、ひとりでも多くの教師たちが頑張っていかなければならない。授業実践を報告しながら、問題点をみなさんと一緒に考えていきたい。昨年、第1回関東支部年次研究発表会で発表したものを補足する意味で、しかも、力学を通して土木教育全般についてもふれてみたい。

(b) 土木とは なにか

中学校を卒業して、右も左もわからない生徒が入学してくる。本校は建設科といっているが、以前には土木科といっていた。聞くところによると「土木」よりも「建設」の方が、耳ざわりが良いということであった。

入学してくる生徒は、ほとんど土木の内容を知らない。生徒に、「土木と聞くと、どんなイメージがするかな？」と聞くと「土方を思いたす。ツルハシを持って頭にハチマキをして、道路の穴掘りしている場面。」というのが以外に多いのが実状である。また「電子とか機械と聞くと精密なイメージがあるが、土木は大ざっぱでどんな勘定のようなイメージ。」という生徒もいる。工業高校の場合、一年生のとき科ごとに受験することが多いが土木についていえば、電子、建築よりもアキーブテストの成績は低いのが現状である。こういう生徒の意識に対して、土木の内容をきちんと話していくことは非常に大切なことであると思う。

「土木」という語は、中国の「淮南子」（前漢、B.C.100年ころの書）に見られる「築土構木」から出典したといわれている。「土を築き、木を構える」、現在流に解釈すれば、「築土」は基礎工事、「構木」は本体工事にでもなるでしょうか。しかし現在の土木工学全般の内容を表現していることばとはなりきっていない。

英語では、Civil Engineeringという。「公共工学」という意味。この語は、比較的、土木工学の内容を示

している。昔は、Military Engineering (軍事工学) に対する語と出てきたいきさつがある。ごくめずかな時の為政者の利益のために行なわれてきた工学から、庶民の生活のためにも恩恵をこうむるような工学が、歴史的な制約をうけながらも拡大されてきた。人間がはじめにした作業は、土を掘ったり、埋めたりしたことだろう。このようなことを考えてみると、土木工学は人間がはじめて身につけてきた学問である。つまり機械工学とか電気工学(その他、いろいろな学問があるが)は、土木工学の基礎のもとにふきあがったものであることがわかる。また家を作ったり、道路、橋を作ったことを想像することは無理なことではない。しかもこの基礎から派生してきて、広範囲の学問が土木工学に含まれていることを生徒に知らせておく必要がある。このように、土木工学の偉大で、壮大な事業を表面的ばかりでなく、中味としてきちんと生徒の胸に刻ませておくことが大切に思うのである。

(d) 力学とは なにか

力ほど不思議なものはない。電気も不思議なものひとつではあるが、電気が導線の中を流れているとき、これを手に触れるとビリビリッとしびれを感じるものである。ところが力の導線(作用線)にいくら手を触れてもなんにも感じない。それにもかかわらず力は絶えず正確に働いている。電気なら絶縁体で流れを止めることができるが、力の場合はそうはいかない。もし地球の引力を絶えざる絶縁物でもふきたら、自動車を空中に自由に走らせることがふき、交通地獄の日本もたいふ緩和されることだろう。

古代の人間が考えた力についての最初の概念は、「力」という文字(腕を曲げて、筋肉がもり上がっている状態を示す)からもうかがえるように、手や足などの筋肉の緊張と結びついてた。人間の力ほど身近なものはなかったのだが、人間の力を基準にして力学の体系を築こうとしていたかぎり、いろいろな力にまつわる概念を統一できなかったのである。それゆえに基準にしたかということ、「重力」を基準として考え、ガリレオが力と運動の関係をあきらかにすることによって、力学の体系を築いた。しかし偉大な科学者であるガリレオでさえ、動力(仕事率)、力のモーメントなど「動かす力」の間に、はっきりと区別をすることはできなかった。これらの「動かす力」と「力」、そのものを区別するために、すべてモメント(momento イタリア語で「動かすもの」という意味)ということばでいい表わしたものである。物体を回転させる能力を、「力のモーメント」とか、運動量のことを、「モーメンタム」とよぶのはともにガリレオの、このモメントのことばかり由来している。このようにして、ガリレオの不十分さをニュートンが補って、現在のような力学体系がふきできたのである。

現在の力学体系がふきるまでには、数千年の歴史があった。生徒に話すとき、「君たちの知識はアリストテレスの比ではない。レオナルド・ダ・ビンチ、ガリレオ、ニュートン以上の知識を持っている。このことは忘れないでほしい。しかし、こんなこと聞いても実感はないだろう。それには理由がある。君たちの知識は、すでにふきあがった既成概念をとりえているものが多い。」とよく話をする。生徒に教えるとき注意しなくてはいけないことは、たとえばガリレオが、「重量」と「質量」の区別をすることができるのに一生かかった。しかも先代の科学者の影響を受けていた。現在の教育では、極端な言い方をすれば一時間、何百年の学問の成果を話すことが多い。「最近の生徒は、ものわかりが悪くなった。どうしようもない。」とよく聞かれる。すぐ理解できない生徒の方が多いのはあたりまえなのである。

ものごとの定義とか概念がふきたいきさつを、ていねいに話していくことが、今の生徒の現状のもとでは、とくに大切なことではないかと思う。

(d) 生徒に教える観点

生徒にわかりやすく理解させることは、大変難しいことである。しかし、この努力は絶えず教師に課せられた任務でもある。

授業には教材を使用するわけですが、どのような教材を用いてするのか、私の五つの観点をあげてみたい。年々変化していく生徒に対処していく上で、まとめたものである。

(ii) 高い水準でわかりやすく教えること

力学において重心を求めることは大切なことですが、いま図のように単位長さの重さ w 、長さ l の物体の重心

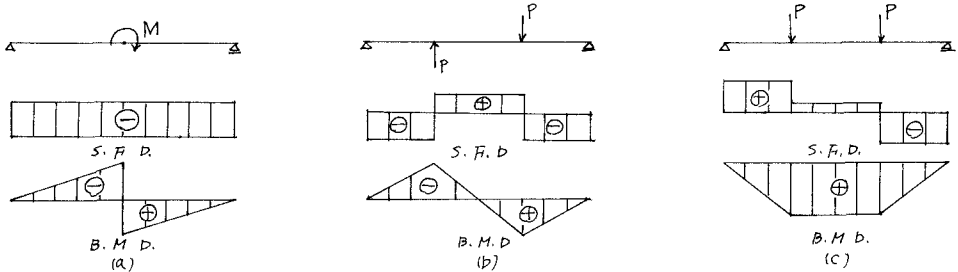


はどこかといえは、 $l/2$ にあることは感覚的にわかります。しかし、なぜそうなるのかということを生徒に知らせていくことも大切なことである。一年生のときは、中央に指さのせて釣合うからわかるだろうと説明するが、三年生

になると、微分、積分を習うので、いま重心の位置を X とすれば、A点におけるモーメントを考えると、力のモーメントは、 wlX また、A点から x の位置の微小な長さの部分 dx をとると、力は $w dx$ 、力のモーメントは $w dx x$ よってバリエーションの定理にしたがえば $wlX = \int_0^l w dx x = w \int_0^l x dx = w \left[\frac{x^2}{2} \right]_0^l$ これを計算してみると $X = l/2$ となる。いままで生活体験の中で、あたりまえであったことを理論的に理解させていくことは、生徒に探究心を養うことになる。

(iii) 基本的なものを系統的に教えること

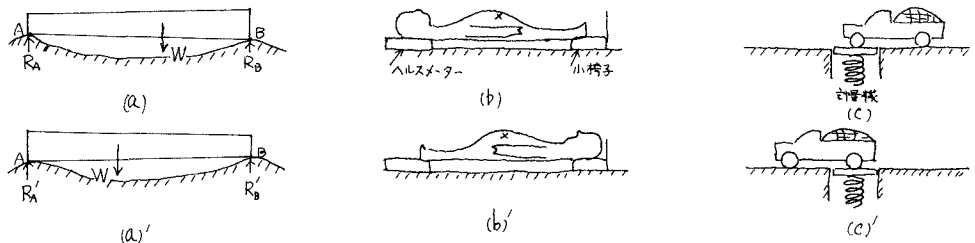
モーメントというものは、生徒にとってわかりにくい概念のひとつである。たとえば、はりにモーメントが働いた解き方にとまどうことが多い。そこで(a)図のモーメントを偶力とみて(b)図のように置きかえて考えてみる。



そうすると、(c)図の問題と同じように解ける。系統的な工夫によって抵抗なくモーメントの概念、意味を生徒に理解させることができるのではなかろうか。

(iii) 興味をもたせること

生徒は、具体的な日常生活にかかわりあうと大変興味を示す。今年の一年生の授業で、単純ばりの学習があった。授業中に、相撲の話がでて100 kgまでしかはかれないヘルスマーターで、高見山の体重をどうやったら計量できるかということになった。単純ばりの解き方がわかっていて、少し応用できれば解ける問題というと、生徒は一所懸命考えていた。(a)図のように電柱があるとする。A点、B点の反力をそれぞれ R_A 、 R_B とすると、いま電柱の重量を W とすれば、 $R_A + R_B = W$ となる。次に(b)図のように逆にして、A点、B点の反力をそれぞれ R'_A 、 R'_B とすると、やはり $R'_A + R'_B = W$ となる。ところが $R_A = R'_B$ 、 $R_B = R'_A$ であるから $R_A + R'_A = R_A + R_B = W$ となる。つま



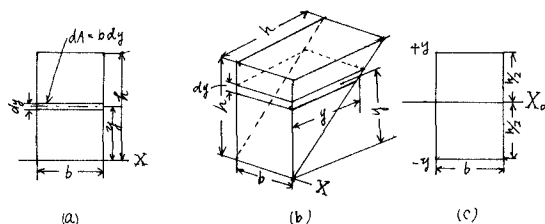
り、A点に計器を置いてまず、電柱の先端をはかり、そして逆にしてはかっ合計すれば、求める重量が得られる。

このように考えて、高見山も、(b)図、(b')図のようにして、はかれば体重の値を求めることができる。このヘルスマーターは200 kgの体重まで測定することができる。このことを応用すれば、(c)(c')図のようにトラックの重

量も計量することができると同時に、経済的な計量機の建設をすることが出来る。

(iv) 生徒の実状にあった知識を教えること

一、二年生では微分、積分は習ってあらず、応用力学の学習をスムーズに行なうことに困難が多い。たとえば、断面二次モーメントを求める方法を教えるのに、大変苦勞するものである。部材断面の安全性やたわみ量の検討などに必要な係数であるこの断面二次モーメントを一、二年生にもわかるように考えてみた。



(a)図のように幅 b 、高さ h の長方形断面において dA と考えている軸からの距離の2乗の積を全断面について集積したものが、断面二次モーメント I_x 。断面一次モーメントと同じように x 軸に対して平行移動した図形の I_x は変わらない。

(a)図において $I_x = \sum dA y^2 = \sum (b dy y) y$ であるから、これは(b)図の立体の x 軸に関する断面一次モーメントであることがわかる。したがって、長方形断面では、次のようになる。 $I_x = \frac{bh}{2} \times \frac{h}{3} \times h = \frac{bh^3}{3}$ 中立軸に関する I_x は y を2乗するから(一)は消え、上半分または下半分の x に関する断面二次モーメントを2倍すればよく、長方形断面の場合は、次のようになる。

$$I_{x_0} = \left(\frac{b \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{3} \times \frac{h}{2} \right) \times 2 \quad \text{このように、絶えずやさしく工夫することも大切と思うのである。}$$

(v) 教科間の連帯性をもたせて教えること

昨年の三年生と修学旅行で下関の方へ行った。その博物館で縄文式土器を見てきた。生徒に縄文式土器になぜ縄模様がついているのかと質問した。そうすると、模様がかかないと殺風景とか、まじないではないかという意見が多かった。つまり、古代の人々が粘土を火の中に入れると固くなることを知った。はじめ火の中に急に入れたものだから、すぐにひびが入り使いものにならなかった。そこで湿った器のまわりをわらに包んで火の中に入れた。そうすると、少しずつぬれたわらが燃えて器だけ残り、器の表面にわらのあとが残った。これが縄文式土器である。縄文式土器と弥生式土器の区別は、いまでいう“うわぐすり”を使用しているか、いないかである。縄文式土器は比較的重いから、軽くし、日常生活に使いやすく、運びやすくするために人間は苦しんで弥生式土器を考えてきた。土器の主たる目的は美的なものではなく、機能的、とくに力学的視点に立たなければならない。

かつて、レオナルド・ダ・ビンチが、「力学は数学の樂園である。なぜなら、この樂園によって数学の果実はみえる。」といったことがある。力学と数学との結びつきは、自然科学の分野として当然に思えるが、同時に社会科学との結びつきにより発展していくことを生徒に理解させていくことが必要である。

(vi) おわりに

教科書を使わないことのみが、すばらしい実践とは思わない。教科書の不十分なところを生徒に理解させることも必要である。最近私の授業に対する感想を聞いてみると、「入学して間もないころ、応用力学なんて、教科書を読みもしないでわかった。先生は授業中、教科書を使わないの不安だが、家に帰って教科書を見ると、同じようなことが書いてあるの安心している。」とあった。

ディモシエンコは、力学を学ぶ学生に、「私たちは、走ることを試みるまえに、まず歩くことを学ばなければならない。」といったことがある。最近、教師の間で、「最近の生徒は、勉強しないから教えるほりあかない。生徒がやる気を出してくれれば、こちらもうやる気になるのだが…」とよく聞く。これは逆で、非常に困難な条件が横たわっているが、まず教師自身が変革していくことこそ、今必要で、このことが生徒を変えていく保証になっていくと思うのである。足もとをすくわれることのないように、今後、不十分なところは補い、よいところは伸ばし、じっくりとよりよい授業をしていきたいと思っている。