

IV-7 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 正会員 三浦 基弘

(a) はじめに

永井道雄文部大臣ら文部省首脳は、「1. 進学希望者全員をうけいれる施設の整備、2. 授業内容では選択科目を大幅にふやし、きらいな科目の勉強を強制しないことによって授業についていけない生徒を少なくする、3. 同時に、普通科を廃止し文科、理科など多様なコースにわけると」などの施策をうたてようとしている。永井文相らの今回の高校制度「改革」案は、父母や教職員の希望者全員入学の要求などをしりぞけてきた政府、自民党の高校政策の一部の転換を示すとともに、無視できないのは、「できない子」には低い教育内容を与えようとする、これまでの制度的差別をさらに拡大、推進しようとしていることである。

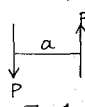
今日、希望者全員入学をはかるための高校増設、格差是正のための私学助成や、職業高校の充実をめざさまざまな運動が、父母や教職員を中心にしてひろがり、国民的な支持をえて政治問題にまで発展しつつあるのは、現在の高校教育の深刻な現状を背景としたものにほかならない。こうした状況での国民的な動向を反映して、このたびの高校制度「改革」案がだされている、といえる。この案について、特に職業教育に関して焦点をしぼってみることにするか、感ずることは1950年代から世界の工業諸国でいっせいに取組まれた高校制度改革の動向に完全に逆行していることである。当時、アメリカ、イギリス、フランス、ソ連などで技術革新の進行にともない新しい型の労働者の養成が問題になり、せまい職業教育では新しい生産技術についていけないとして、自然や社会、技術の基本と法則をいかに理解させ、知識を生産労働と正しく結合させるかという観点から一般教育を重視する方向で、高校教育の改革の取組みがはじまったのである。

これに反してわが国では、教育課程を職業科では200以上に細分化するなど、一般教育を軽視し、技術の発展や社会進歩に背を向ける高校教育「改革」を行なってきたのである。

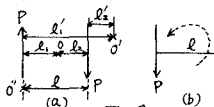
現在、どの商業新聞をみても教育問題を扱っていることが少なくない。しかも特徴的なことは、学校教育のさまざまな矛盾を紹介する記事が圧倒的に多いことである。それでは教職員は、これらの現状になにもしていないのだろうか？すでに教職員組合や民間教育研究団体および各高校で教育課程の改革プランを練り、実践もすでに進めてきている。文相に望むことはこれら諸団体や学校の自覚的、自主的な先進例を謙虚に学び、世界でもあまり例のない多人数教育を改め、当面職業科ではクラス35名以下にし、必要な教職員増をはかる行政的努力をはうことである。とはいえ、現在のような不十分な教育条件、設備状況でも教職員集団は、子供たち一人ひとりの能力を豊かに発展させ、深い教養を身につけさせなければならない。このような立場から、一昨年、昨年と、土木学会関東支部年次研究会に発表したものを再度補足する意味で、授業実践を紹介してみたい。

(b) 教科書の問題点

第1回のこの発表会のとき、教科書批判を多少行なった。たとえば「力」の定義のところで、B社の教科書では「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。とあったのが、改定された新しい教科書には「力とは、物体の形をかえたり、物体の運動状態をかえたりする原因となるものである。」(・は筆者)と変わり、又、偶力のモーメントのところ「……図(図-1)の2力は偶力であり、このとき偶力のモーメントは、次の式であらわせられる。 $M = -P \cdot a$ 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。」とあったのが、新教科書では「図(図-2(a))において $M_0 = Pl_1 + Pl_2 = P(l_1 + l_2) = Pl$ $M_0 = Pl_1 - Pl_2 = P(l_1 - l_2) = Pl$ $M_0 = Pl$ となり、すべてのモーメントは Pl で求められる。図(図-2(b))では、同じようにして、点の位置にかかわらず $M = -Pl$ となる。」とあり、一定の前進がみられる。*又、現在の中学校では三角関数を教えていないため、新教科書では生徒の理解度を深めるため、基本的な数学の知識を取り入れ評価できる面がある。しかし、こ



従来の教科書(B社)

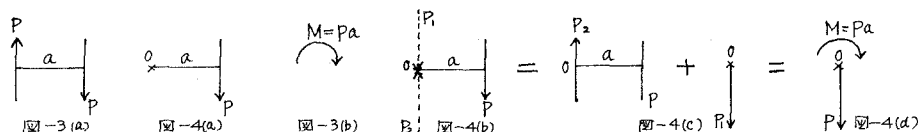


新教科書(B社)

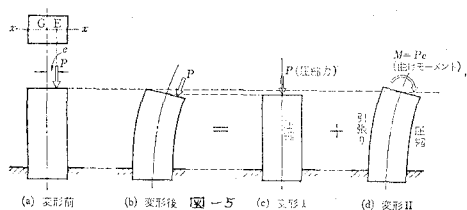
図(図-1)の2力は偶力であり、このとき偶力のモーメントは、次の式であらわせられる。 $M = -P \cdot a$ この偶力は、 a が2力間の距離で一定であるから、任意の点に対して一定の値をもつ。」とあったのが、新教科書では「図(図-2(a))において $M_0 = Pl_1 + Pl_2 = P(l_1 + l_2) = Pl$ $M_0 = Pl_1 - Pl_2 = P(l_1 - l_2) = Pl$ $M_0 = Pl$ となり、すべてのモーメントは Pl で求められる。図(図-2(b))では、同じようにして、点の位置にかかわらず $M = -Pl$ となる。」とあり、一定の前進がみられる。*又、現在の中学校では三角関数を教えていないため、新教科書では生徒の理解度を深めるため、基本的な数学の知識を取り入れ評価できる面がある。しかし、こ

う努力があるのなら、もっと系統的に力学体系をおりこんで教科書作りに励んでほしいものである。

生徒にとってわかりにくい問題は少なくないが、一例をあげてみる。ある生徒から次のような質問がきた。図-3(a)のモーメントはどの点をとっても $M=Pa$ になることは理解できましたが、図-4(a)の0点におけるモ



ーメントも $M=Pa$ ですね。両方とも同じなんですが図-3(a)は、2つの力があり、図-4(a)は、ひとつの力までどこが違うんですか？」この質問は大切な問題を含んでいると思う。次のように説明したのである。まず図-3(a)を図-3(b)にあきかえた。それから図-4(a)を図-4(b)にあきかえた。これは0点に仮想的な力、図のように2つの力を補った。($P_1=P_2=P$) さらに図-4(b)を分解して仮想的な力 P_1 と P を組合せて偶力のモーメントを作り、 P_1 を独立させて図-4(c)にした。さらにこれらをまとめて図-4(d)にした。このようにして図-3(a)と図-4(a)の違いを、図-3(b)と図-4(a)にあきかえて説明し、理解させたことがある。この例は柱の設計にも応用できる。上で述べた新教科書の偏心荷重をうける短柱のところで、図-5のように説明している。



生徒にこの意味がわかるかと聞くと、はっきりとわかるという生徒はほとんどいない。ところが上記で述べたことを補足すると理解しやすいのである。つまり、モーメントはモーメント、偏心荷重は偏心荷重と別々に教えるのではなく、互いに連関をもたせて生徒に理解させることが、いまだいへん重要になっている。教科書はこういう点も重視して著述して

ほしいのである。

最近読んだドイツの教師用の技術の本 (Technisches Grundwissen für Lehrer Allgemeine technische Grundlagen) に図-6のような移動モーメント (Versetzungsmoment) の説明があった。このような基礎的な知識をわかりやすく生徒に教える力量を教師が身につけることは、大切なことである。

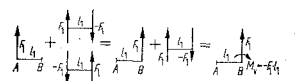


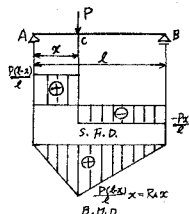
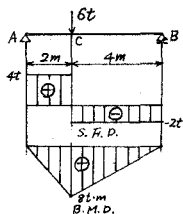
Bild 3.18. Versetzungsmoment bei Parallelverschiebung einer Kraft

図-6

(c) 抽象の意味の大切さ

数学とか力学において一般式を作るため、具体から抽象することがよくある。しかし生徒にとって抽象することは、やさしくないようである。かつてB.ラッセルは「人間が、2ひきのきじの2と、2日の2とが同じであることに気がつくまでには、何万年という年月が必要であった。」と言ったことがある。昔、未開人が、牧場に放してある家畜の数を数えるのに頭の中で考えることができなかった。それでまわりの木に家畜の数だけ刻みこんで、つまり対応させて数を数えたのである。勘定を意味する英語 tally は、切ることを意味するラテン語 talea からきている。このように人間が具体から抽象できるようになったのは、ずっとあとのことである。

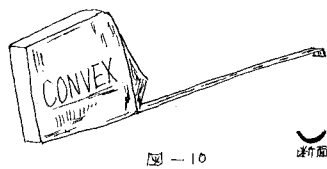
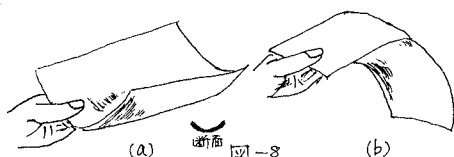
生徒も力学の習いはじめは、例外なく抽象することが難しいようなので具体的に数字をあてて計算をさせることがある。たとえば図-7(a)のように単純な計算のとき、せん断力図と曲げモーメント図を描かせる場合に、具体的な値はできてわかるが、図-7(a)において曲げモーメント図のAC間の線が、直線なのか曲線なのか、すぐわからない。しかし図-7(a)のように一般式をたてて計算してみると、「直線」であることがわかる。つまり抽象して考えてみると、等分布荷重の曲げモーメント図は二次曲線、三角荷重の曲げモーメント図は三次曲線と、理解することができる。だから、抽象という意味は、「具体的な現象、事物に共通な表象を抽出する。」ということである。このことを生徒にしっかり身につけさせなければならない。生徒は年々変わってきているの



具体と抽象とをどちらから先に教えるかということではなく、あるときは具体から、あるときは抽象からと臨機応変に指導してかまわないが、大切なことは、「抽象」の意味をしっかりと生徒に教えることである。生徒の抽象に対する認識は、なにかわけのわからないものと、とらえていることが少なくない。人間が抽象する思考をもったことは一大進歩のひとつであったのである。

(d) 自然界から力学を学ぶことの大切さ

自然界に生きる動植物は自然のきびしさにうち勝ち、種族の保存のためにいろいろな苦勞を重ねている。又動植物のすかたをみても無駄なくできている面もある。力学的観点でみると、たとえば植物の葉などはよくできている。この説明のまえに図-8(a)のように、葉半紙を下側に反らせて手で持ってみる。ところが図-8(b)のように、反らさず手で持ってみると途中から紙が曲ってしまうことに気がつくだろう。これは図-8(a)の紙は引張材となり、又断面係数が図-8(b)より大きくなり折れないが、図-8(b)の紙は圧縮材となり、いわゆる一種の撓屈(buckling)現象をおこすため折れてしまうのである。さあ、植物の葉を観察してみると、図-8(a)のように反



っていることがわかる。もしそうでなかったら図-8(b)のように、生きている葉でも図-8(b)のように折れ曲がり、太陽の光の量をうけるのが少なくなり成育をさまたげる。日常生活に用いる図-10(a)のようなメジャーがある。このものさしの断面をみまみると、図-8(a)のような断面になっている。このように断面をきめる場合でも人間は自然界のようすを鋭く観察してきた証拠である。いま植物の葉の部分を取り上げたが、根元をみると木が倒れないために、根が地下に多く張りめぐらしているし、木は上にいくにしたがって細くなって安定を保ち、葉は相対的に軽くなっている。又葉には繊維、葉脈(導管など)などがあり、葉の強さにも影響しており、樹木全体をみまみると、葉、枝、幹、根などがたかひに連関しあって力学的調和をはかっているのである。

地下鉄や下水道工事などに、シールド工法が用いられることが少なくない。この工法のヒントになったのが船体などを食い荒らすフナクイムシ(二枚貝の一種、その殻が小さく、水管が長いので虫の類だと思われた)(図-11)からといわれている。

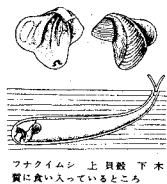


図-11
世界大百科事典(昭和22)より

第1回のこの発表のとき述べた麦の茎や、鳥の骨のパイプ状構造なども無駄のない力学的形状をしている。以上、自然界のほんの一部を紹介したが、ある意味では自然界から力学的視点に立って見つめることは、多くの総合的な知識を要求されるが日常、毎日見ている現象をどういう視点で見まいくかということは、もっとも大切なことと思われる。しかし、生徒に、科学的なものの見方、考え方を少しでも機会あるごとに教えていくことは、生徒の学力を高めていく要素に大きな影響を及ぼす。つまり、なぜそうになっているのかを観察し、基礎的な学習をし、また観察を繰り返すことは、事物を正確に見つめていく力に多分に役立つのである。

(e) 力学の歴史的発展の中味

J.D.バナールの書いた「歴史における科学」の中に次のようなことが述べられている。「鉄道は、最初は炭坑業から生まれた。機関(原動機)をのせて機関車をつくるという一大新機軸も炭坑で試みられて最も成功した。鉄道網は1830年代と40年代にイギリスにひろがり、この世紀を通じて世界の他の部分へ普及した。それは

また、マカダムやレニのような18世紀の運河、道路、橋の建設家の伝統をになつたより古い土木工事業を莫大に増加させた。これはロバート・スティーブンソンや、I.K.ブルーネルの大工事に今なお見ることが出来る。運河と鉄道の建設は、切通しやトンネルに岩石の構造を露出させ、地学に対する新たな関心をよびおこし、同時にまた測量技師という職業を生んで地理学および地質学的諸科学の発達の新しい源泉を与えた。このように鉄道はいろいろな分野に大きな発展をうながしている。ここでレールと車輪の変遷にしばって述べてみる。レールははじめから現在使用されている形状ではなかった。だいたい図-12に示すような歴史があった。初期的段階では木を輪切りにしたのをレールにして敷いたこともあったと言われている。レールの断面積が同じであれば図-12

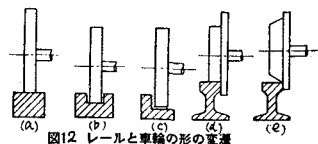


図12 レールと車輪の形の変遷

(a)と図-12(b)と比べた場合、(c)のほうが強い。これは断面係数が大きいことはもちろんだが、応力分布を描くと中立軸の付近が上縁、下縁の応力度より小さいので、その分の断面を上縁、下縁にまわして補強しているのである。車輪についていえば図-12(c)と図-12(d)を比べてみると、

(d)には車輪に突縁(フランジ)がついている。これはレールからはずれないようにしている装置である。又(d)と(e)を比べてみると (e)にはテーパがついている。これはカーブをよりスムーズにまわるようにしてある。いまここに図-13のようなコップがある。これを前にころがすと、直進しないで左側の方へ曲っていく。このことを応用しているのである。つまり図-14のように車輪が左側の方に曲っていくとすると、遠心力が働いて車輪全体が右の方に移動する。すると右側の車輪はBの大きい径、左側のはAの小さい径で回転してコップの状態になりスムーズに左側の方に曲っていくのである。

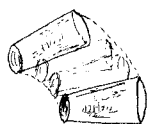


図-13

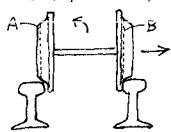


図-14

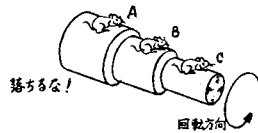
以上、力学の面を述べたがもっと深く掘りさげれば、レールと車輪の強度、重量、摩耗、機関車の速度などの点、又社会的背景のことも指摘しておかなくては行けないが、今回は上記にとどめておく。

レールと車輪の変遷は人間のさまざまな苦勞の歴史であり、又輝ける英知を示した技術の歴史でもあったわけである。

(f) 生徒はどのようなときに 考える力を発揮するか

生徒は新しい問題にぶつかり、自分のいままでの知識を最大限発揮して解答を摸索するとき、充実感を味わうものである。今年の三年生にレールと車輪の話をしたあとで、たまたま機械科の先生から図-15をもらったのでこの図について生徒に質問をした。すぐ解答を出すつもりでいたが生徒はこれを断り、一時間、生徒同士で討論をした。感銘をうけたのは、生徒が一所懸命自分の知識を出し合い、お互いの矛盾を追求してついに正しい解答を導きだしたことである。自主的、自覚的に思考力を養うことの大切さをつくづく考えさせられたのである。

いちばんゆっくりできるねずみはどれか



落ちるぞ!

回転方向

(g) 教師は気迫と展望をもって

教師は生徒の進行を見守り、生徒の動きを解釈していただくだけでは教育改革はできない。必要なことは今の生徒の状況を科学的に分析し、はっきりとした展望をもつことによってそれぞれの分野で活躍することができ、確信をもって生徒に接し進むことができるのである。

(h) おわりに

どんな生徒にもわかるように教える努力を追求してきたのであるが、まだ未開闢のところがたくさんある。そして授業を大切にしていけることは生徒の健全な思考を高めていくうえに欠かせない。そのためのささやかな実践を紹介したが、忌憚のないご批判を下されば、幸いである。

*B社の新教科書の「モーメント」の定義が定性的定義で不十分なので、次回に詳しく発表したい。