

# 教材を工夫して土木技術の素晴らしさを伝える

田中 輝彦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 神戸大学・鳥取大学非常勤講師（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）

E-mail: hico-g@kce.biglobe.ne.jp

土木系学生の初学年オリエンテーション授業、高校生や親子教室、ロータリークラブなど一般対象の教室において土木技術をわかりやすく解説するための教材開発に取り組み、その考え方と教育効果を紹介する。教室で進める授業では身近な事例を示すことによって理解を深めることに留意し、簡単な実験を目の前で行う、あるいは受講者自らが実施することによって各種構造物の機能や土木工学の基礎知識を教育する効果が実証的に確認された。

**Key Words :** *education materials, portable experiment, non-professionals, primary education.*

## 1. はじめに

教育現場での経験もほとんどなく、また教育に関する十分な知識、教育技術の取得についてもある意味では門外漢といえるが、大学、高校での講義、あるいは将来の土木技術者として期待される児童とそれに付き添う親を対象とした親子教室、加えて自治会、ロータリークラブ等の一般向け教室での活動で心がけていることを述べると同時に、講義あるいは教室で活用している身近な事例、あるいは実験の主なものを写真により、ごく具体的に紹介して同時にその意図についても述べる。

## 2. 土木技術の知識を一般の人に分かりやすく説明したい

土木技術者への道を選択した学生時代に、親戚の医者である叔父から「土木に骨材という言葉があるようだが何のこと?」と聞かれた。叔父は医者として「骨材」の骨という字に関心があったのだろう。このとき、私は既に骨材についての授業を受けていて、この言葉にそれほど感慨は持っていなかったが、改めて骨材という言葉の面白さに気づかされた。と同時に、一般の人々にとって土木用語は専門的であってこの専門用語も含めて土木に対する理解が十分でないと気づいた。

このときから、いつか一般の人々に分かりやすく土木について説明できる本を書いてみたいと考えるようになった。その思いは建設会社で実務に携わる中、二十数年

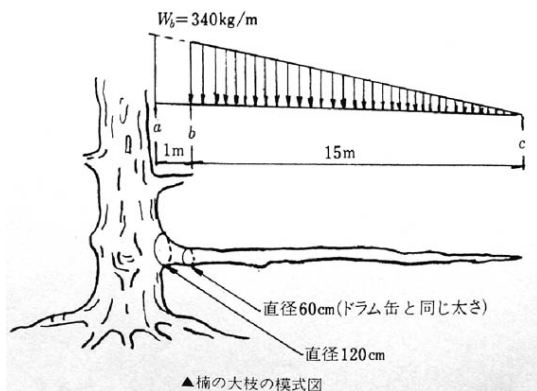
後に「土木への序章—いつも通る路、渡る橋（1987年<sup>1</sup>）」という小書となった。ところが、出版社の関係もあって私の著書は書店の土木関係の専門書コーナーに並ぶことになり、一般書の扱いを受けなかった。そこで、どうかして一般書として出したいと考え、内容を少し変えあるいは追加して、11年後に岩波書店から「重力の達人—橋、トンネル、くらしと技術」<sup>2</sup>という書名で発刊した。中高生そして一般の方にも分かることを目指して執筆に当たったが、まず家族の協力で原稿を読んでもらい、多くの指摘を受け、できるだけわかり易いように書き改めた。この小書が契機となり、大学、高校での講義に加えて親子教室への活動へとつながっていった。

## 3. 説明用画像の収集、作製および説明用実験教材の作製

土木について分かりやすく説明したいという思いは、「重力の達人」の内容と著作の意義が認められ、大学、高校の講義、親子教室で実現することになった。そこで、「重力の達人」に著した数々の実験に加えて、日頃からたえず、講義や親子教室での話の内容の理解を助ける工夫、考案に心を砕いた。土木構造物の規模は大きく、自然現象はなおさらのことである。それらを分かりやすく、興味を引くことのできる画像の収集に努めるとともに、机上で、そして目の前で実験ベースで行える教材の工夫を重ねた。実験のアイデアはまず試作品で形にし、実際に行って確認、改良を加えていった。



写真-1 京都青蓮院の楠

図-1 枝の根元の応力を求めるための模式図<sup>1)</sup>

#### 4. 説明用ツールについて

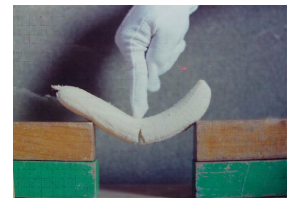
以下にいくつかの説明用ツールの実例を説明する。

##### (1) 身近な現象を例にして理解を深める

学生時代に学習した曲げモーメントと応力の計算は社会人になって実際に活用することになった。ところが、計算式をその都度使用しながらも、断面係数その他について深く考えたことはなかった。しかし、一般向けに土木技術の説明をするには構造力学の内容も少しは話さなければならない。あるとき、身近なものを例にして考えることによって、その理解を深め更に新たな疑問を持って次への学習につなげることができないのではないかと考え、事例として写真-1と図-1のような「京都青蓮院の楠」を取り上げてみた。教室での無機質な説明から一歩踏み出して、身近な事例を扱うことによって理解を深めることができると考えている。また、理論的な数式が日常生活に利用できるということを学習することができる。また、曲げに対して引っ張り側と圧縮側があり、材料によってその破壊の状況が変わることを身近にあるバナナとキュウリという表現で理解をさせる方法も用いている(写真-2)。



(a) 皮付きバナナの折れる様子



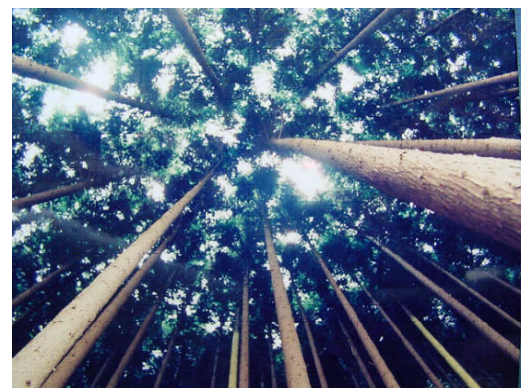
(b) 皮をむいたバナナの折れる様子



(c) 皮をむいたバナナと同じ折れ方をするきゅうり

写真-2 材料の違いによる曲げ破壊の説明例<sup>1)</sup>

(a) 北山杉の林



(b) 北山杉の林の中から上を見上げた

写真-3 北山杉に見た重力のなせる技<sup>2)</sup>

##### (2) 身近な例で重力について考えさせる

担当していた工事現場の傍らに北山杉の美林があった。その美しさに癒されながら日々を過ごしていたが、そのあまりにまっすぐ天に向かっていく姿に引き込まれて、ある日、林の中に入ってみた。薄暗い林の中で上を見上げると海の底にいるようで、しかも石を持って手から離れたら上に落ちてゆくのではないかという錯覚を感じた。林から出てしばらくしてあまりにも当然なことに気づいた。北山杉がまっすぐ生長するのは重力があるからなのだ。そこで授業ではいつも写真-3を見せて学生に問い



写真4 倒木の幹から天に向かって伸びる枝<sup>2)</sup>

かけることにしている。

この発想から周囲を注意して観察しているときに、格好の題材に遭遇した。それは倒木の枝がまるで倒れた幹が大地であるかのように、そこからまっすぐ天に向かって伸びている様子である(写真4)。この画像が、植物は重力と反対の方向にまっすぐ伸びるということを理解させるものとなった。

### (3) 既知概念を崩して考えさせる

記憶を辿れば、小学生の理科で植物の成長について学んだとき、植物は日の光に向かって伸びると教えられたように思う。難しい「向日性」という言葉も記憶にある。私はこの教えは間違い・・・でなくても片手落ちだと思う。地球上の生物は重力の場のもとに生長する。前述の「植物は重力によってまっすぐ上に伸びる」という事実を納得させるために、私はある実験を試みた。貝割れ大根の実験写真を見ていただこう。写真-5(a)は貝割れ大根をカット綿の上で育成したものである。この貝割れ大根を上下逆にして吊り、1日置いてみたのが写真-5(b)である。

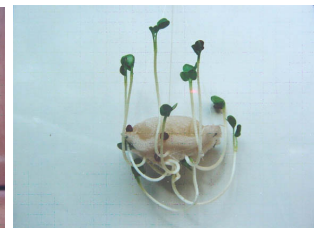
「向日性」についても、検証して学生や学童に納得してもらうための実験も行った。写真-6(a)のように、内部を黒く塗った暗箱の中に貝割れ大根を入れて一方に孔を開けた。結果は確かに貝割れ大根は光の入ってくる孔に向かって伸びている。そこで、孔をふさいで一日置いてみた。写真-6(b)のように、光がなくなった暗箱の中で、予測どおり貝割れ大根は重力という基準に従って、方向を変え上に向かって伸びた。疑問に対して実験とその画像で説明すれば、これほど説得力のあるものはないと考えている。なお、この題材は向井千秋さんが無重力の宇宙船内で貝割れ大根の実験をされたという話題に関連付けて、無重力状態の現象や宇宙での問題まで敷衍して話を進めることができる。

### (4) 実験によって理解させるー断面の性質

ニュートンは万有引力の法則を明らかにし、普遍的な数式で表現したが、万有引力の発生原因については説明



(a) 上方にまっすぐ伸びる  
貝割れ大根



(b) 逆さにして吊ると一日で  
逆向きになり上に向かって伸びる

写真-5 貝割れ大根の実験(その1)<sup>2)</sup>

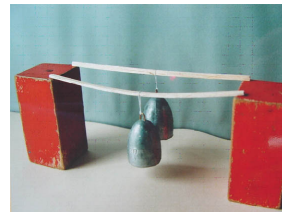


(a) 上貝割れ大根は光に向かって  
伸びる

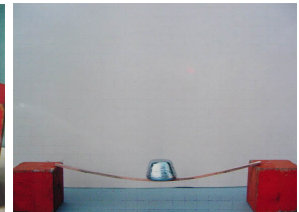


(b) 穴をふさいで暗室にすると  
真っ直ぐ上に伸びる

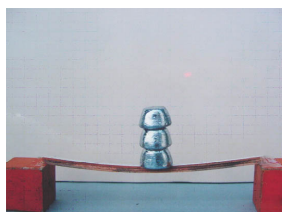
写真-6 貝割れ大根の実験(その2)



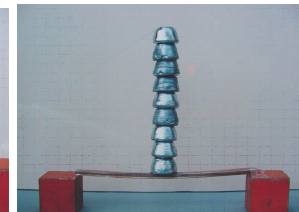
(a) 同じ断面の小さい角材を縦に  
して使用した場合と横にして  
使用した場合の曲げの比較



(b) 1枚の板には1個載せること  
ができる

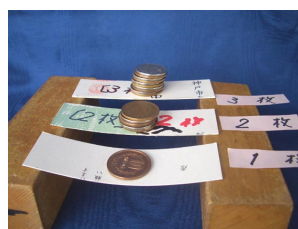


(c) 3枚の板には3個載せられる

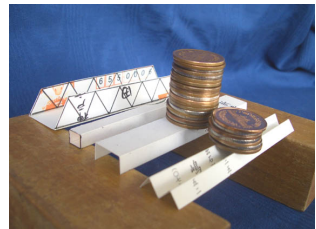


(d) 3枚分の厚さの1枚の板には  
9個以上のおもりがのる

写真-7 断面の性質を理解するための簡単な実験<sup>2)</sup>



(a) 厚さによる断面効果



(b) 断面形状の効果

写真-8 はがきで作った梁の実験<sup>3)</sup>

していないという。原因は分からなくても日常の暮らしの中でその現象を認め、理解することができる。断面係数についてもその現象を見せることができるという考えから、学生に対しても断面力の説明として、身近な実験

でその不思議と事実を紹介している。このことはくらしの中で改めて材料について考えさせ、将来更に知識を深めたいという意欲付けを期待できる。それに利用しているのが写真-7である。

私自身断面の効果は理論上理解していたつもりであり、断面係数の式は何度も利用してきたが、この実験を实际やってみて9個も載る事実に加えて、たわみが更に少なくなることに気づき、その事実はたわみの計算をする数式を見れば納得できることに感動したものである。この実験は小学生低学年の教室でも行っている。目の前で不思議な現象は、事実として受け入れてくれているようだ。したがって、数式で説明することはないし、これらの現象の説明を求められたことはない。また、説明を求められても満足に対応できる自信はない。

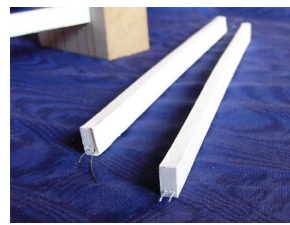
この実験教材については、写真-8のようにはがきを利用してできる方法も考案した。これであれば家庭で簡単に試してみることができる。適当なサイズにはがきを切って小さな梁を作り、十円玉を荷重として載せるのである。子供たちに「10円玉が何個乗るかな？」と問いかけながら、話を進めることにしている。

#### (5) 実験によって理解させる一鉄筋コンクリート

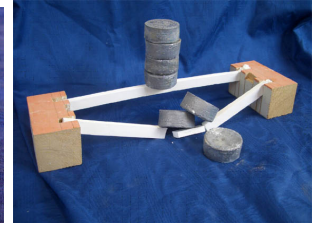
鉄筋コンクリートあるいはPCについての説明には、写真-9, 10のような模型梁を作製して利用している。石こうで30cm余りのビームを作製する。石こうだけの無筋の梁と、針金をいれた模型の鉄筋コンクリート梁である。両者に錘を載せて破壊させる。破壊の瞬間には錘が落下してかなり大きな音が出るため、学生たちには大きなインパクトを与えることになり、無筋コンクリートと鉄筋コンクリートの差を鮮明に説明することができる。また、PC梁の説明のために写真-10のような梁を製作して説明をしている。材料は木製で断面の下方にタコ糸が通るように加工している。この孔に通したタコ糸を鉄筋に見立てるのである。PC梁の実験では、このタコ糸を緊張して端部に固定することによってその効果を十分出すことができる。

#### (6) 意外性を利用した教材を用いて、考え、理解させる一間隙のはなし

写真-11のようにパチンコ玉と小石と砂がほぼ同量入ったコップを用意する。同じ量の着色した水を用意して、どのコップに水がたくさん入るかを質問する。パチンコ玉と砂に意見が分かれるが、結果は全て同じ量の水が入る。この実験は、土には間隙があることを認識させることを目的としている。実は、小石も砂も粒径がほぼ揃えてある。結果として間隙率は同じなので同量の水が入るわけである。結果の意外性は児童にも学生にもかなりの

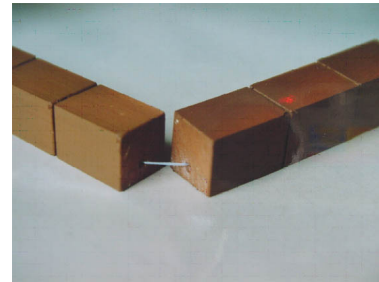


(a) 石こうで作製した模型梁

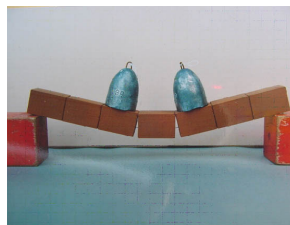


(b) 折れているほうが無筋

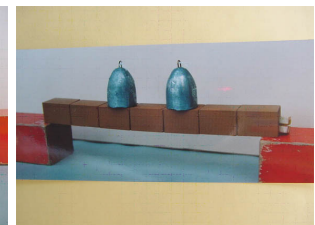
写真-9 鉄筋コンクリート梁の実験教材



(a) 模型のPC梁



(b) 糸を緊張していない場合



(b) 糸を緊張した場合

写真-10 PC梁の実験教材<sup>2)</sup>



(a) 左：パチンコ玉，中央：小石  
右：砂



(b) いずれのコップにもほぼ  
同量の水が入る。

写真-11 間隙率に関する実験

インパクトを与える。この実験によって土に対する関心を高め、このあと土と水の関係、含水比によって土の性質が大きく変わることなどを説明する。この実験はよほど印象深いと思われ、授業後のレポートでは、この実験を取り上げて感想を書く学生が多い。

#### (7) 現象を目の前に見せて説明する一液状化の実験

液状化の説明用の実験装置は、従来から各機関でそれぞれ利用されているが、私は、1995年の阪神・淡路大震災を震源地に近い場所で経験した。その年に、地震についての説明を、簡易で分かりやすくできる方法を考え出した。その一つが写真-12の液状化の実験装置であり、もう一つは後述する「ゆらり」という紙の家模型である。前者は高さ20cm程度の透明ケースを利用したもので、

容易に運搬することができる。家模型は石こうで実験装置に見合った大きさのものを作製した。杭の効果を分かりやすくするため、家模型を二つ並べて一方には予め杭をセットして実験を始める。この実験は、振動にハンドバイブレータを利用することによって、子供たちも参加することができ、神戸市の「土木の学校」の親子教室では6セットを用意し、参加者自らが実験をすることができるようにしている（写真-13）。

#### (8) 現象を目の前に見せて説明する一斜面を平地にする魔法の壁（擁壁）

平地が少なく斜面の多い国土にどうして多くの人が住むことができるのか、平らな水面を必要とする水田が斜面にどうしてあるのか。山を越えて道路ができるのはなぜか。これらを解決しているのが擁壁であることを、説明している。

斜面とか擁壁は規模が大きく、教室に持ち込むことはできない。そこで、写真-14のような斜面模型を作製して説明に利用している。特に、ブロックを直積みした擁壁模型とブロックを斜めに積んだ擁壁模型に振動を与えて崩壊実験を行うと、参加した親からも驚きの声があがる。教室終了後のアンケートには、近くにあるブロック擁壁がなぜ斜めに造られているかということがよく分かったという感想が書かれている。

さらに、L型擁壁の模型で斜面を整形して振動を与える。L型擁壁の形が非常に安定していることに一様に驚く（写真-15）。これらの一連の実験を見て、将来国土作りをしたいという小学生の参加者がいたことにはさすがに驚いた。この一連の実験に先立って、砂時計やお米の山を見せて、安息角の話もすることになっている（写真-16）。

#### (9) 自ら製作させて理解させるー石膏で作るアーチ模型

親子教室ではさまざまな橋の説明をするが、マッチ棒でトラスの橋模型を作る教室を実施している（写真-17）。マニュアルに沿って作業すれば、低学年の児童でもできるようにしている。

また、厚紙で型枠を作って石こうを流し込み、アーチブロックを作製することによってアーチ模型ができるように工夫している。石こうの性質はセメントに似ているので教室ではコンクリートの説明もしている。また、コンクリート工事に型枠が重要な役目を果たすように、石こうのアーチブロックでも同じく型枠が重要である。一つの教材に土木技術に関わるいくつかの項目が含まれるので、このことを活用して関連の土木技術について説明するようにしている。

アーチの歴史、仕組み、組み立て方（支保工）など



(a) 加振前の状況

(b) 加振・液状化後

写真-12 液状化に関する実験模型

（右側の家模型には杭を設置、液状化によって水が浮き左の家は沈下、マンホールに見立てたフィルムケースが浮き上がっている）



写真-13 児童による液状化実験の様子



(a) 直積み（左）と斜積み（右）の擁壁模型

(b) 直積みは振動によって容易に崩壊する

写真-14 地震に対する擁壁の安定性に関する実験<sup>3)</sup>



写真-15 L型擁壁の振動実験<sup>3)</sup>  
（振動を加えても崩壊しない）



写真-16 お米の山で安息角の説明<sup>3)</sup>

「アーチのパワーにびっくり」と題して話すと共に、完成したアーチ模型に大人でも乗れることを実演すると、親子共に驚きの声上がる。橋は建築で造ると思っている人が多いので、教室の最後には「橋は土木の仕事です」と話すことにしている。

#### (10) 自ら製作させて理解させる－防災教育教材「ゆらり」で実験

先に述べたように、1995年の阪神・淡路大震災の年に、簡単に作ることでできる紙の家模型で地震による建物のゆれの実験ができる方法を考案した。数年間はプリントした紙をはさみで切って組み立てていたが、教室での工作時間の短縮と、低学年児童でもできるように改良した。この「ゆらり」キットは、はさみを使わずに手で切り離してのりで接着すれば組み立てることができるように製品化したものである。A4サイズの2枚の紙から4個の建物模型を作成して揺れの実験をすることができる。

2階建ての建物模型が3個あるのは、耐震、制震、免震の実験をするからである。筋交いのあるもの、錘を下げたものなどで、耐震、制震、免震の実験が可能で、高い建物模型では長周期の観察もできるようにしている。また、家具を置いて揺れの少ない階を観察することもできる。これらは、二つの建物を同じベースに置いて振動による揺れの違いを比較することもできる。特に、錘を下げた制震の実験には、その効果に参加者は一様に驚いている。勿論、この工作と実験に当たっては地震の話、時間があれば自然災害の話をするにしている。

親子教室では、低学年児童も親と一緒に工作に熱中している。この教材は地震が対象であるが、防災学習の導入用としても利用できると考えている。

### 5. 今後の活動

子供たちの理科離れが問題になっている。土木技術は見方を変えると総合科学である。人類の長年にわたる科学の探求、応用の成果である。このことをあらためて考えると、土木技術の教育は現在そして将来の人々のくらしに極めて重要な結果を生むことになるのは自明のこと

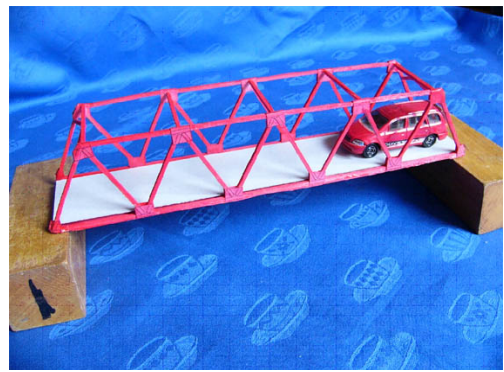
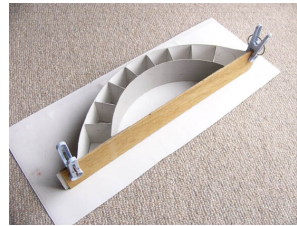


写真-17 マッチ棒で作るトラス橋模型<sup>3)</sup>



(a) 厚紙で作った型枠



(b) アーチブロック完成



(c) 教室での製作風景

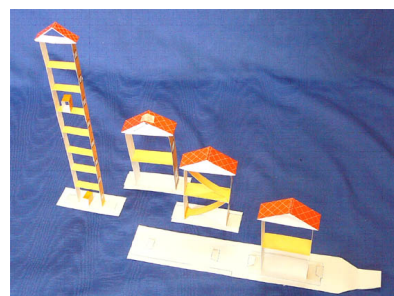


(d) アーチのパワー

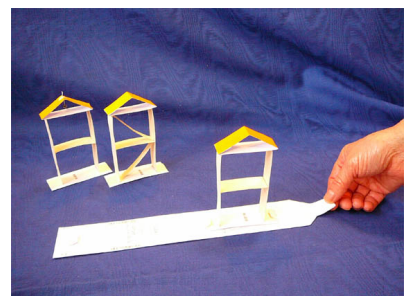
写真-18 親子教室における実験  
「アーチのパワーにびっくり」<sup>3)</sup>



(a) 「ゆらり」のキット



(b) キットで写真のようなものが製作できる  
写真-19 防災学習教材「ゆらり」



(c) 参加者がそれぞれ自ら揺らして実験をする

である。私は、大学での講義、親子教室を含む活動には以下の点を考えて進めてきた。

- i) わかりやすい説明  
身近な日常の事象、題材を利用して説明する。
- ii) 考えさせる、疑問を抱かせる  
時には過大な表現、あるいは実験で疑問を抱かせる。  
目の前で実験して考えさせる。
- iii) 自らやらせる  
体験は学習の確実な早道である。

また、学生たちに私の講義内容や姿勢から次のようなことを学んでほしいと話している。

- ① あらゆることに絶えず疑問を持つこと（なんでだろうの心）。その疑問を自ら解くために、できるだけ自らやってみる（現場主義、実験）。
- ② 想像力を高める。想像力がなければ創造もできない。
- ③ 杞憂の心を持つ。取り越し苦労は悪いことではなく、十分な予測と対策が大切である。
- ④ 聞き手に理解してもらう努力をする。説明技術を高める。

参考として、私の著書あるいは講義などのレポートで、学生の様子をいくらかは知ることができるので、以下に抜粋して記述する（神戸大学工学部市民工学科1年次科目「市民工学概論」の2008年度レポート《「重力の達人」（サブテキスト）を読んで》より）。

○この「重力の達人」を読んで本当によかったと思う。  
入学当初、全く分からなかった土木工学はどうあるべきかが一つ一つの文に表れていると思う。・・・それにしても、この本には子供のころ素朴に思っていたことや、最近これはどうなっているのかな?ということなどがしっかり書かれていて、本当に驚いた。・・・こういう本をどんどん読んで子供の頃に見て今は忘れてしまっているかもしれない疑問を思い起こしてどんどんつぶして行こうと思う。

○この「重力の達人」を読み終えて土木に対する意識がとて変わりました。あたりの土木建造物を見る見方も変わったし、自分から進んで見るようになりました。人々のくらしに直接結びつくこの市民工学に進学したことを誇りに思えるようにもなりました。これからはこの本を読んだ経験を生かして、土木工学に関する知識を生かして立派な土木技術者に近づきたいと思います。

○「重力の達人」を読んで市民工学をこれから学んで行く第一歩を踏み出したような気がする。とても興味あ

る内容ばかりだったので、これからは深く学んでいけたら良いと思う。

○この本を読むと、自分が疑問だなと思うことがうまく説明されている。・・・自分の知識の乏しさを実感すると同時に、そんな所に着目して、そのものを見たことがなかったなあという新しい発見がたくさんあった。これから役立てていける本だった。

○僕は普段まったく本を読まないし、読むのが嫌いだったけど、この本はあまり専門的用語もなくとても読みやすい本でした。内容は新しく発見できたことや、また知っていたことでもそれをもう一度深く考えさせてもらえたことが多く最後まであきらむことがありませんでした。例えば毎日何気なく見ているアリだけど、比較を同じにして人間の大きさにしたら4000kgのものを引っ張っているとか、想像もできません。さらにどんな高さから落ちて平気と、なぜなのかとても気になります。

○この本を読んでいると自然現象の全てが重力によって発生していると思うようになりました。重力とは全く目に見えない力なのに影響の大きい力です。この力を自由に扱えるようにするのが土木の仕事であり、目的だとわかりました。とても難しいことだけど、もしできたら災害から全ての人を守ることができるので、頑張してほしいです。また自分も早くそのレベルまで達して手伝いがしたいです。阪神・淡路大震災のような地震がまた起きても壊れないような建物を作りたいと思っているのですが、この本にあったプリンとようかんの実験は興味深いものでした。他にもたくさんの実験があり、よく思いつくなあと感心しました。僕は発想力が乏しいので、もしまた授業してもらえる機会があるのならば、そういうことも教えてもらいたいです。日本はアジアの中では1番かもしれないけれど、欧米諸国と比べるとまだまだ公共施設の整備が足りていないらしいです。整備の進んだ国を手本にするためにも、日本ばかり見てはいけなと思います。だからもう少し外国の技術ものせておいてほしかったです。でもそこから自分で外国まで行って見に行きたいと思い、もっと外国語を勉強するという目的もできました。これからはいろいろなところで重力を感じながら過ごしていこうと思います。

## 6. おわりに

水を欲する牛は水辺までつれて行けばいいが、嫌がる牛に水を吞ませるにはどうすればいいか・・・という古くからの課題をしばしば聞くことがある。水を吞みたくない牛に無理に吞ませることはないと言えばそれまでだ

が、教育基本法にそえば、飲みたくなくても将来のためにその個人そして国のために水を飲ませなければならぬ。私が考案した数々の実験、説明方法はこの「いかに水を飲ませるか」という課題にたいする一つの方法として継続してきたものである。千一夜物語のシェエラザードは命をかけてシャハリヤール王に千一夜の長きにわたって語り続け、自らの命、そして千人以上の乙女の命を救ったことになる。それまで毎日夜が明けると乙女の命を奪っていた王を思い止めさせ、その心を捉えた物語は、どれほど工夫され興味深く語られたことだろう。この気概で大学の講義あるいは親子教室での活動を続けて行きたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 田中輝彦：土木への序章－いつも通る路，渡る橋，鹿島出版会，242P., 1987年.
- 2) 田中輝彦：重力の達人－橋，トンネル，くらしと土木技術，岩波ジュニア新書，216P., 1998年.
- 3) 田中輝彦：CE リポート ーわだいー 土木の教室，土木学会誌，Vol.90, No.4, p.38-41, 2005年.

(2008. 9. 30 受付)

## DEVICE AND DEVELOPMENT OF EDUCATION MATERIALS FOR LEARNING FASCINATING ASPECTS OF CIVIL ENGINEERING

Teruhiko TANAKA

Proper development of infrastructures on the planet is greatly dependent on wise decision making of our human being. From this point of view, civil engineering education is significantly important not only for university students but also for non-professionals including school boys and girls who are responsible for our sustainable life in the next generation. In order to promote and realize proper understanding of civil engineering, the author devised various types of education materials through his many years of experience and career as a civil engineer. Focus in the classes has been always placed on feeling structures' functions through simplified portable experiments. The experimental kits were prepared from very familiar stuffs in our everyday life. The students are able to experience mechanisms of civil engineering structures through performing the experiments by their own. The present report is to propose ways of education and illumination of civil engineering to society.