

ペットボトルを用いた液状化体験装置の研究

大東 延幸*・熊本 直樹*

(平成27年10月30日受付)

Study of liquefaction experience equipment using a plastic bottle

Nobuyuki OHIGASHI and Naoki KUMAMOTO

(Received Oct. 30, 2015)

概要

地盤工学は土木工学の中の主要な科目のひとつであり、地震が多いわが国では地盤の液状化現象は土木工学を学ぶ学生にとって重要な知識である。液状化現象は、地下水面下の緩く堆積した砂地盤が地震動によって液体状になる現象である。地盤の液状化が発生すると、地上にある構造物が傾斜・倒壊する、地中の下水管やマンホールなどが浮き上がる、あるいは、地盤沈下に伴って土砂を含んだ地下水が地上に噴出する、などの現象が生じる。

実際に液状化を発生させて現象を間近に観察する方法として、小型の水槽に砂と水を入れて緩く堆積した状態に調節した上で振動を与えて液状化を再現する装置が、本学も含め大学や研究機関などで使われている。しかしこの方法は給排水設備を要したり比較的多量の砂を用いるなどの制約が多く、どこでも手軽に再現出来るわけではない。そこで簡易にどこでも液状化現象を再現する方法として、ペットボトルを用いる方法がここ数年いくつか開発され、理科教室などで使用されている。

本学本学科では、液状化の再現を解りやすくするために大型化するなど、ペットボトルを用いる方法に改良を加え、平成27年度のオープンキャンパスで使用して好評を得た。

キーワード：液状化、土質力学、ペットボトル

1. 液状化とは

土木の分野では、土は、構造物を作り・設置する対象であると共に、水面の埋め立てや河川の堤防などで土そのものを構造材料として用いる。したがって土木系の学科には、地盤工学などの土に関する講義が有り、構造物を建設する場所としての知識とともに、構造材料としても力学的な性質等を講義している。

わが国は地震が多く、地震による崖崩れなどの災害への事前の備えである防災や、構造物への被害の対策も土木の分野に必要な知識である。土に関する分野では「液状化現象」が有名で、報道等でもよく取り上げられている。

液状化現象は、地震の際に地下水位の高い砂地盤が振動により液体状になる現象の事である。地震が起これば液状化現象が発生すると、地上にある構造物が傾斜あるいは倒壊し

たり、地中の下水管やマンホールなどが浮き上がったり、あるいは、土砂を含んだ地下水が地上に噴出したりすることがおこる。

図1は2013年の本学のオープンキャンパスで液状化の実験装置を展示した際の説明パネルである。

図1に示すように、液状化現象は、以下のプロセスで発生する。

- (1) 通常、砂の地盤は空隙の多く、その空隙は地下水で満たされていることが多い。
- (2) このような空隙が地下水で満たされている砂地盤が地震で揺られると砂の粒同士が離れて水の中に浮いたような状態になる。この状態が液状化である。
- (3) 液状化が起こった後、バラバラになった砂の粒が沈んで、地下水が上方へ移動し、地面にその地下水が出てくる。この際に地面の裂け目から砂が混じった地下水

* 広島工業大学工学部都市デザイン工学科

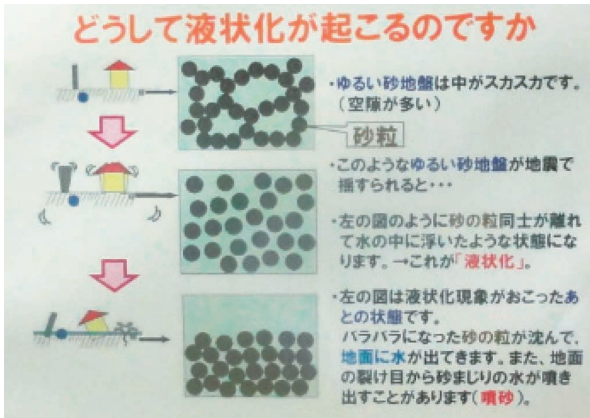


図1 液状化が発生する原理

が噴出すことがある。これを噴砂という。

- (4) 上記の(1)～(3)のような現象が発生し、その程度が大きい場合には、地盤が構造物を支える力を失うので、地上にある構造物が傾斜あるいは倒壊したり、地中の下水管やマンホールなどが浮き上がったり、あるいは、土砂を含んだ地下水が地上に噴出したりする被害が発生する。

また、実際の地震で起きた液状化の事例を図2に示す。これは2001年3月24日に発生した芸予地震によって、国立呉高等工業専門学校のグラウンドで発生した液状化現象によって噴砂が発生したときの様子を写したものである。



図2 芸予地震による噴砂の事例

このグラウンドは、1955年頃に近くの製紙工場のパルプ廃液によって生じたヘドロを埋め立て、その上を真砂で覆土して造成された。この埋土層が地震の振動によって液状化し、埋土層に含まれる地下水の圧力が高まり、地下水と共に緑がかった色をした産廃ヘドロが地表に噴出した様子が見られる。

2. 液状化を再現する装置について

地震が多く、埋立地も身近にあるわが国では、前述した液状化現象を理解するために、この現象を再現する装置が

あることが望ましい。そのため以前から土木系の大学の講義・演習では実験教材として液状化を再現する装置が工夫されてきた。これらは液状化という言葉が一般的になってきた現在では、大学以外でも防災をアピールする行政などの催し物でも目にする機会がある。



図3 本学本学科の液状化の再現装置

図3は本学本学科にある液状化を再現する装置の全体像である。その概要と液状化の再現の手順は以下のとおりである。

- (1) 装置は水槽状のアクリル製の箱を台に載せたものであり、砂を入れた水槽に水を入れる。
- (2) アクリル製の箱の下方に給水コック(図3の左側)と排水コック(図3の右側)がついている。
- (3) 建物に見立てた物(図3では錘を入れた白いペットボトル)や、水と砂の混じった物より比重の小さい下水管などの地中の構造物に見立てた発泡スチロール等をあらかじめ砂の中に埋めておく。
- (4) 水槽内を水で満たして砂をかき混ぜ、下のコックから水を抜いて水位を表面から1cm程度下にして表層のみが不飽和状態、水位からは緩い飽和状態にする。
- (5) プラスチックハンマーでアクリル製の箱をコツコツ叩いたり、バイブレーターを砂地盤中に入れたりして、砂地盤に振動を与え、地震を再現する。

この装置は大学の教材であり、比較的広い場所と給排水設備が必要であり、講義室や一般向けの展示ではこれ以外にもさらに以下の問題点がある。

- (1) 水と砂を入れるため、通常の水槽のサイズでも重量が大きくなる。
- (2) 水槽には単に水を入れるだけでなく水抜きのためのコックがついた専用水槽が必要である。
- (3) 液状化のおこりやすい緩い砂地盤を再現するために、水浸状態で砂をかき混ぜて密度を調整したり、下のコックから水を抜いて土の表面を不飽和にするが、この調整には経験と勘が必要であり、また水や砂をまき

散らしたりする。

3. ペットボトルを用いた液状化体験装置について

公益社団法人土木学会では、広く市民に土木を理解してもらう各種行事をおこなっている。その中で、小中学生とその保護者を対象とした「夏休み土木実験教室」を関西支部主催で開催しており、2014年度は中国支部と共同で広島で開催された。この「夏休み土木実験教室」は、体験や実験を各種行っている。しかも小中学校や公民館などを会場として1日で行われるため、装置設備の不十分な会場でも実施でき、迅速な搬入と撤収ができるように実施当日の準備が最小限になるように、いずれの体験や実験装置にも工夫がなされている。その中で、ペットボトルを用いた液状化の体験装置がある。これは、図4と図5に示すように、ペットボトルにあらかじめ砂と水、更に地上構造物や地下構造物に相当する物を入れておき液状化を再現するものである。2014年の「夏休み土木実験教室」で用いたこのペットボトルを用いた液状化の体験装置は、土木学会関西支部が改良を加えたもので以下の手順で液状化の再現を行った。



図4 振動を与える前の液状化の体験装置



図5 振動を与えた後の液状化の体験装置

- (1) 500 mLの炭酸飲料のペットボトルを用い、砂の代わりにあらかじめ比重の判っている大きさ・比重・色の違う2種類のガラスビーズを入れてある。図4と図5に示したものでは白色と緑色のガラスビーズを用いている。2種類のガラスビーズを用いるのは、液状化の再現の後、重いガラスビーズ(図4と図5では緑色)が下に沈み、軽いガラスビーズ(図4と図5では白色)が上に浮き、更に軽いガラスビーズが部分的に噴き上がり、噴砂が見えるようにするためである。
- (2) 同時に、地上構造物や地下構造物に相当する、比重を調整したプラスチック片を入れておく。振動を与えた後の図5では地下構造物に例えた赤と黄のプラスチック球が地表に浮き上がっているのが分かる。
- (3) 砂の代わりにガラスビーズ・水・地上構造物や地下構造物に相当するプラスチックを入れて、栓を閉め、しっかり振り攪拌する。その後自然に沈殿するまで机の上に静かにおく。図4から、2種類のガラスビーズは、緑色の重いガラスビーズが下に沈殿し、白色の軽いガラスビーズがその上に沈殿しているのが分かる。
- (4) 軽いガラスビーズの上面が、地表面に相当する。その位置に静かに輪ゴムを止め(図4では黄色い線)振動を与える前後での地表面の高さが分かるようにする。
- (5) 親指と人差し指でペットボトルの側面を弾き振動を与え地震を再現する。炭酸飲料の容器を用いたのは凹凸が少なく指で弾いた時に容器全体から一様に振動が内部に伝わる様に配慮するためである。
- (6) 振動を与え終わった状態が図5である。前述したように、白い軽いガラスビーズが部分的に噴き上がり噴砂が見え、地下構造物に例えたプラスチック球が地表に浮き上がっているのが分かる。地表面に相当する所が黄色い線より下がり、振動でガラスビーズの空隙が減ったことが分かる。

このペットボトルを用いた液状化の体験装置は、事前に全ての準備が出来、現場でも手も汚さず装置を持ち込むだけで液状化の体験ができる手軽な方法である。すでにこの方法は各所で行われており、「フンサー」¹⁾、「エキジョッカー」²⁾等の名称で知られており、教員向け教材として「エッキー」³⁾の名称で販売もなされている。これらはいずれも通常の砂を用いており、今回の装置は2種類のガラスビーズを用い、視覚的にも噴砂を含めた液状化を分かりやすく再現したところに教材としての改良点がある。

4. 都市デザイン工学科におけるペットボトルを用いた液状化体験装置について

前章で述べたペットボトルを用いた液状化の体験装置は、本学科の地盤工学担当の熊本研究室が引き継いでいる。今

回、熊本研究室では本年度のオープンキャンパスを行うにあたり、以下に述べる点に改善を加え、オープンキャンパスで液状化に関する展示と実演を行った。

- (1) 前節の液状化体験装置は小中学生を対象としており小学生でも持って揺さぶれるように500 mLペットボトルを用いたが、オープンキャンパスでは担当の大学生が実演を行うため2Lのペットボトルを用いた。前節と同じ理由で炭酸飲料のペットボトルを用いている。
- (2) また、地下構造物に相当する物質としてプラスチック球とプッシュピンを用いたが入れる数を増やすことが出来るので、ペットボトルが大きくなったこともあって展示物としての見栄は良くなり解り易くなった。



図6 今年度の液状化の体験コーナーの様子



図7 今回新たに作成した液状化の体験装置
左：振動を加える前 右：振動を加えた後

- (3) 今回も二種類も砂に相当する物質を入れて比重の違いによる沈殿の違いや噴砂の現象を見せよう見せようとした点は同じであるが、2種類のガラスビーズではなく、実物の砂とそれより比重の小さい白いガラスビーズを用いた。比重の違いを十分に検討しているため図7に示すように沈殿の違いや噴砂の現象も問題なく再現できた。実物の砂を用いたため、高校生以上が対象のオープンキャンパスの場合はリアルに液状化が再現できたともいえる。また、大きくなった分、ガラスビーズの使用量が増えるため、費用の節約にもなった。
- (4) 本学のオープンキャンパスは、見学者が三々五々会場に来るので、すぐ実演出来て、終了後すぐに次の実演が出来ることのメリットは大きい。
- (5) 図3に示した液状化の体験装置を用いる場合は大学の関係者が操作を行って液状化を発生させ、見学者は見るだけである。一方、図7に示す再現装置の場合は見学者が自ら砂及びガラスビーズの攪拌、ボトル静置、沈殿、軽く打撃、という一連の操作を行って液状化を発生させるので、感動が大きいという長所があった。

5. まとめ

土木技術は社会基盤を建設及び維持する重要な技術であるが、必ずしも世間に正しく理解されているわけではない。人材確保の観点からも土木技術への理解を向上させることは重要であり、土木技術者、特に大学関係者は社会に広く土木技術を伝える努力をしていく必要がある。また、大学教育のためにも新たな教材が求められる。今後も土木に関する実験機器等に工夫を続け、土木技術への理解度向上への努力を継続していく所存である。

文 献

- 1) 横山：自然災害を再現する実験教材の工夫・開発、北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要第-81-24号，pp. 76-81 (2012)
- 2) 宮地・兼子：エキジヨッカーによる液状化実験装置、地質ニュース，no. 570，pp. 26-27 (2002)
- 3) 株式会社ナリカ：エッキー（地盤液状化実験ボトル）をつくろう <http://www.rika.com/experiment/experiment66>