



地盤沈下を再現させる小型実験器

東京理科大学 教養教育研究院 野田キャンパス教養部 教授

せき ようじ
関 陽児

1. 地盤沈下とゼロメートル地帯

満潮時の海面よりも地盤標高の低い「江東ゼロメートル地帯」は、東京都心東部の下町に 100 km² を超える範囲で広がり、一帯の居住人口は 200 万人近くに及ぶ。この地帯は、もともとは河川が氾濫するたびに広大な湖になっていた湿地帯だったが、江戸期になると干拓や埋立が進んで水田地帯となった。明治以降は宅地化されるとともに、多くの工場も進出して工業用水としての地下水の採取が始まった。地下水とは、地層を構成する砂や粘土などの粒子の間隙を完全に満たす（つまり空気を全て追い出した）状態の水である。地下水の過度な揚水により、この地域の地下水面つまり地下水が存在する深度領域の上面は、数 10 m も低下した。東部低地帯の地下には、過去約 1 万年の間に利根川や荒川などから運び込まれた軟弱な土砂である沖積層が堆積している。沖積層は、自然の状態ではほぼ完全に地下水帯の中にあっただが、揚水が盛んになり地下水面が低下すると、地下水面から上方に「取り残され」てしまった。地下水面よりも上方になった沖積層は浮力を失い、その自重が自身および下方の地層に直接加重するようになる。すると、沖積層の中の様々な深度に挟在する特に軟弱な粘土質の地層は、増大する荷重により圧縮されて厚さが減少した。それにより、沖積層全体の層厚も減少し、その分が地表面の

低下つまり地盤沈下となった。

今回は、このような地盤沈下の過程を模擬する簡単な実験装置を製作する。

2. 地盤沈下再現装置の考え方

江東ゼロメートル地帯の地盤沈下は「地下水の過剰揚水→地下水面の低下→上位地層の浮力喪失と荷重の増加→軟弱な粘土質地層の圧密収縮→沖積層の層厚減少→地表面の低下」の過程をたどり発生した。

地下水位の変動は、パネル状の透明水槽内部の水を出し入れすることで再現する。沖積層を構成する砂層は「水よりも十分に重い変形しないユニット」（模擬砂層）で、粘土層は「多孔質の変形しやすいユニット」（模擬粘土層）で模擬することとする。

3. 地盤沈下再現装置の構造

樹脂製透明水槽の下部に、水槽の内寸よりも一回り小さくカットしたスポンジを敷く（模擬粘土層）。小さめに整形する理由は、つぶれた際に横方向に変形する余地を残すためである。その上に、内寸よりも少し小さな砂礫を詰めた塩化ビニール製パイプなどを載せる（模擬砂層）。小さめにする理由は円滑な上下動を担保するためである。

4. 地盤沈下再現装置の作り方

4-1. 材料・部品

装置 1 台の製作に必要な材料は以下のとおり。

- A) パネル状の樹脂製水槽：大きさ 30×20 cm 程度、幅 5 cm 程度の透明樹脂製容器…巣穴の観察などを目的とした飼育容器が使いやすい。蓋は不要。
- B) スポンジ：厚さ数 cm。精密機器運搬用の緩衝材などが適する。大きさは A の水槽の内寸程度【写真 1】。
- C) パイプ（塩化ビニール製）：水槽の幅が 5 cm ならば給水用の VP30 が最適。長さは A より数 cm 短いもの【写真 1】。
- D) エンドキャップ：パイプに合わせたサイズのものを 2 個。
- E) 金魚チューブ：金魚飼育用の送気チューブで長さ



【写真 1】上：C 塩ビ製パイプの中に G 砂礫を充填し両端を D エンドキャップで塞ぐ 下：B カットしたスポンジの上面と側面

数 cm。

F) 割りばし(丸断面)：Eのチューブに挿入できるもの。

G) 砂利と砂：Cのパイプに満たせる量。大小様々な粒度の混じった材料が適する【写真1】。

4-2. 装置の組み立て

＜組み立てに必要な工具＞（「*」はがあると便利）

- ・カッター。
 - ・直線定規（40 cm 程度）。
 - ・ノコギリ：木工用の両刃が便利。
 - ・キリとドライバー、または小型電動ドリルドライバー*。
- ドリルを使う場合は 2 mm と 6 mm のドリルビット*。

＜組み立ての順序＞

1) Bを、Aよりも長さ・幅ともに約 1 cm 小さくなるように、カッターと定規で切断する。

水槽の高さの 2/3 位まで満たす本数（2 - 3 本）の B を作る。

2) CをAの長さよりも数 cm 短く、ノコギリで切断する。

3) 切断したCの一端にDをしっかり差し込む。

4) 一端にDを差したCの内部にGを充填する。できるだけ隙間を小さくするために、適度に振動を与えながら完全に充填してから、他端にもDをしっかり差し込む。

5) EとFを切断して組み合わせ、排水用の小孔の栓を作る。

6) 5)で作った栓で密栓できるように、Aの側面下方に排水用の小孔を開ける。もし孔が大きくなった場合は、栓にセロハンテープを巻きつけるなどして調整する。

5. 再現実験の進め方

5-1. 試料の調製と実験器へのセット

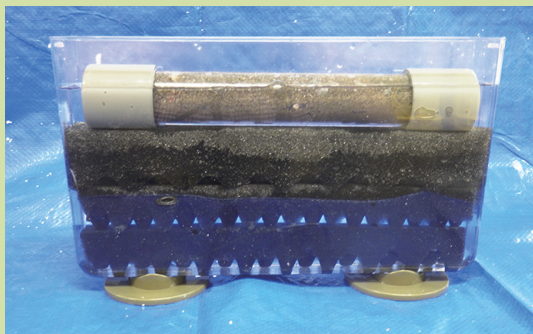
水槽の下半分にスポンジを重ね、その上に土砂を充填した塩ビ管を置く。塩ビ管を手で軽く押して下に沈むこと、手を離すと反発して元の位置まで浮き上がってくることを確認する。もし引っかかりがあるようなら、スポンジの幅と長さ、塩ビ管と水槽の間の余裕を確認し、スムーズな動きを妨げている原因を明らかにして対応する。排水孔に栓をしたうえで、水槽内にゆっくり注水する。正常であれば塩ビ管まで水位が上昇すると、浮力の発生により塩ビ管が浮上するとともにスポンジ層が厚くなる。

5-2. 高水位時の模擬砂層の位置観察

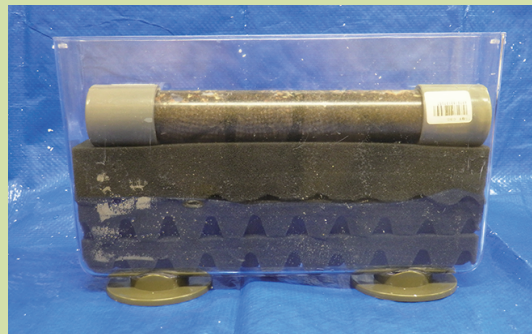
前項で塩ビ管つまり模擬砂層まで水位を高めた状態が、地下水の過剰揚水が始まる前の、自然状態での地盤を示している。その状態での塩ビ管の位置を、テープか付箋などに記して水槽に貼り付けておくとよい【写真2】。

5-3. 低水位（排水終了）時の模擬砂層と模擬粘土層の観察

前項の状態から、排水孔の栓を抜いて水槽内の水を排水する。水槽内の水位低下は、実際の地盤の地下水面の低下を模擬している。水位低下とともに塩ビ管（模擬砂層）の浮力が減少してスポンジ（模擬粘土層）にかかる荷重が増える。スポンジは徐々に潰れていき、排水が終わるころには塩ビ管の位置は 2 cm 前後下がる。これが地下水の過剰揚水による地盤沈下の模擬過程である【写真3】。一点注意して欲しいのは、スポンジは水位を回復させれば元のように厚みを取り戻すが、自然界の粘土層はいったん収縮すると元には戻らない、つまり不可逆的な過程であることである。地下水の厳しい揚水規制が実施されたことで地盤沈下の進行は食い止められたが、最大で 4 m 以上沈下した地盤高度が昔の高さに戻ることはない。



【写真2】組み立てた装置の「模擬砂層」の上端付近まで水を張ったところ…浮力により模擬砂層は水槽の上端に近づいている



【写真3】組み立てた装置の水を抜いたところ…浮力を失った「模擬砂層」の重さで「模擬粘土層」のスポンジがつぶれ、地表に見えてた模擬砂層の上端が沈下した