

埼玉大学工学部 正会員 佐藤 邦明
ペトリックエンジニアリング 城田 芳久

はじめに

不飽和帯水層に地下水貯留の目的で遮水壁を打込んだり、グラウト壁を設けるような場合、自然地下水流はこれら遮水壁、グラウト壁によって変化を受けるが、特に、事前に一方側に動水こう配がある不飽和帯水層では上流側が貯留、ダム化し、下流側では遮水効果を表われて水位は低下する。これは丁度側水路の流水の中にゲートを閉下させた時、ゲートの上、下流に正負の段波が形成される現象に似ている。しかし、地下水流の場合は本来の性格から、遮水壁の上、下流の地下水挙動は緩やかで、かつ上流と下流の水位、水面形の形成にかなり特徴的な差異が生じ、流下量の時間的変化も顕著な変化を示す。本研究は一方側に動水こう配のある不飽和帯水層に遮水壁を設けた際に生じる地下水流、水面形、および流下流量の非定常的性質に注目し、上流貯留効果と下流減少効果と焦点をあて、流水の差分解析とヘル・ショウモデルによって流水の諸特性を検討したものであり、特徴的な結果を中心にのべることにする。

1. 実験装置・内容および差分計算

実験は観察、可視化の都合上、ヘル・ショウ装置を用いたが、図-1に示したように、地下水流形成の帯水層に相当する部分は長さ60cm、高さ30cmであり、間隙幅は0.2cmである。帯水層をはさんで左右両側に初期、境界条件を与える貯留タンク部が設けられ、これらの水位は別の定水頭タンクに導かれ、オーバーフローによって所定の水位に保たれる。しかし、下流側への流量の経時変化を計るため、特に下流側のオーバーフロー貯留タンク部と直結させ、流量のオーバーフローに伴う時間遅れを小さくするように工夫した。遮水壁のモデルは帯水層の中央に小さい鉛直溝を予め設けておいて、そこに硬性の針金に弾力性のある円形ゴムをまいた壁模型を隙間にそう入して遮水効果をもたせたい。この実験は恒温室、温度 $20\pm 1^\circ\text{C}$ で行われた。

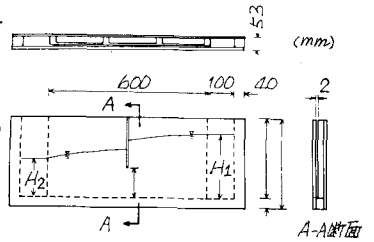


図-1 ヘル・ショウ実験装置

使用した流体は水であり、動粘性係数 $\nu = 4.811 \text{ cm}^2/\text{s}$ である。浸透係数の理論値は 0.68 cm/s であるが、デュアイ、ホルクハイマの式による実験値は 0.83 cm/s と若干差が認められ、間隙幅の場所的変化によるものと認められる。実験のケースとして、下流貯留タンク部の水位 $h_2 = 20, 15, 10, 5 \text{ cm}$ の場合（上流側水位 $h_1 = 25 \text{ cm}$ 固定）によるものを遮水壁の開口 $0=5, 10, 15 \text{ cm}$ を対応させ、水面形は8%カメラ、流量はメヌーリダで計り、精度を得るため、上述の一つ一つの実験ケースについて3回の同じ実験を行って平均した結果を得た。

差分計算は地下水流の運動、連続方程式、自由水面の条件式、および境界条件を用いて行われた。特に、自由表面をもつため、差分格子を自由表面が切断されたことになり、これは通常行われるように各格子節点から比側配分距離の考え方を導入して計算した。したがって、当然計算量が多くなり、また遮水壁付近では差分格子を密にとり、遮水壁の計算上の厚さは最小格子幅をとることとした。さらに、遮水壁では水平流速が0と仮定するが、流水の場合は自由水面、水平流速が0の不透過壁、不透液面、および左右の貯留タンク部の水位一定の領域で囲まれた流場となる。今回の地盤モデルでは水平、鉛直流速を共に考慮して計算を続け、初期水面形、つまり遮水壁を設定する前の水面形はデュアイの流下曲線と近似したものをから出発する。したがって、初期の水面こう配が下を過ぎると、初期水面形はデュアイの二次曲線とはならないから実験水面形から計算をスタートさせた。

2. 実験結果と差分計算の比較、および考察

まず、非定常水函形の变化の性質を知るため、図-2に示した結果の一例に注目する。これは上流貯留タンク部の水位 $H_1=25\text{cm}$ 、下流の $H_2=15\text{cm}$ 、開度 $D=5\text{cm}$ の場合の実験と計算値を比較したものである。計算値と実験値はほぼ一致して見られるが、下流側では必ずしも一致とは言えない。その理由の一つは水函形の実際判読が下流側では残留メニスカスにより難しいためである。この結果から判かるように、たとえ上流側の貯留効果に対して、下流側の遮水壁による水量減少が大きいことが興味深く、注目されることである。

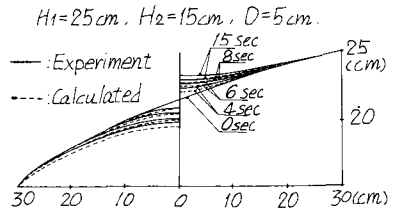


図-2 非定常水函形の实验と計算

つぎに、遮水と同時に最下流での流量の時間変化がどうなるかを計算し、図-3に示したものが図-3である。縦軸に任意時刻の流量 q と定常流量 q_0 の比をとリ、横軸に時間をとったものであるが、ほとんど10秒くらいから流量変化が急に大きくなり、60秒経過するとほとんど定常流量に近づく。しばしば、流量の2割減が時間と共に指数的に減少する現象に出くわすがこの遮水による流量の2割減の場合にも指数的な減少をみるものと見てよいであろう。つまり、もっと詳細に論じれば、この指数的の時間2割減をその期間をばさんで初期と終期に緩やかな減少期間があるといえる。

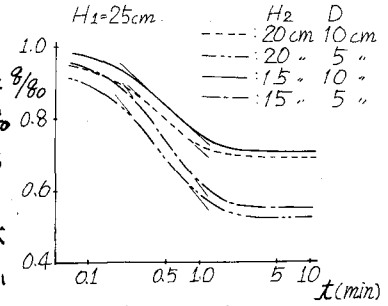


図-3 計算による流量経時変化

さらに、遮水壁の断面での上、下流水位の経時変化を見るため、遮水壁の設置後ほとんど定常水函形を呈する1分後(15s)の断面上、下流水位変化量 ΔF_1 、 ΔF_2 を用いて、それぞれ任意時刻 t の水位変化量 Δf_1 、 Δf_2 を無次元化して、 $t/15\text{s}$ との関係を示したものが図-4である。この図は $H_1=25\text{cm}$ 、 $H_2=15\text{cm}$ 、 $D=5\text{cm}$ の計算値と実験値を対比して描いたもので、上流側の $\Delta f_1/\Delta F_1$ と下流側の $\Delta f_2/\Delta F_2$ の時間変化に差が認められる。つまり、遮水壁の上流側水位変化量 Δf_1 は早期に上昇し、下流側の Δf_2 は遅れて低下をつげ、時間の経過と共にほぼ一定になることが明らかである。また、この差を貯留量と減少量という観点から整理したものが図-5である。図-5は一種の実験結果から得られた定常に至ると思われる時の上流側貯留量 Q を基本ととり、任意時刻の上、下流貯留量 Q_1 、減少量 Q_2 の時間変化を示したものである。明らかに、上流側貯留量に比べて下流側減少量の方が時間と共に大きくなること判る。つまり、遮水壁を設けると早期に貯留が形成、終了するものの、下流側の減少量は厚れ低下のため徐々に減っていく傾向をもつこととなるのである。

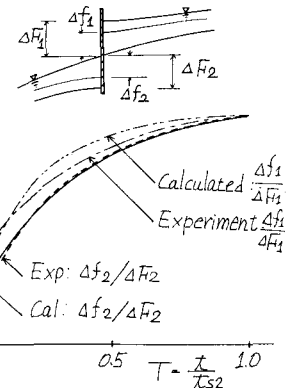


図-4 遮水壁と下流の水位変化量

むすび

一方向に動水こう配のある不根付帯水層と遮水壁を設けた時の周辺地下水の非定常挙動をハル、シヨウモデルと差分計算と興味深いわけであるが遮水壁の上、下流の貯留量と減少量の経時変化特性、水函形の形成に興味ある意見が得られ、実際の現場の水理判断に有用な足掛と与えよう。

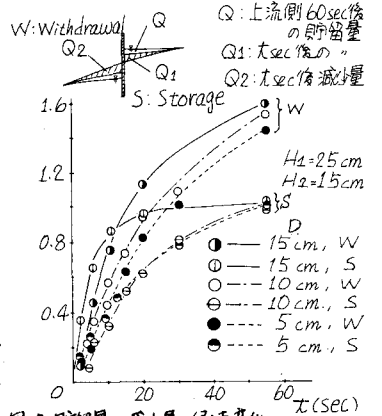


図-5 貯留量と減少量の経時変化

最後に、本研究は文部省科研、試験研究の「地下ガムの貯留機能と管理システムの研究」研究代表者、埼玉大学工学部、佐藤邦明の補助を得て進められた研究成果の一部である事を記し、関係各位に謝意を表わす。