

Ⅱ-16 湖岸における地下水流出の挙動

愛媛大学地域共同研究センター 正会員 ○井内国光

奈良教育大学

谷口真人

(株) 日建技術コンサルタント 正会員 高橋 健

長崎総合科学大学

正会員 柿沼忠男

1. はじめに

湖沼における地下水の流出特性に関してはあまり知られておらず、その挙動については未知の部分が多い。この研究ではこうした流出特性を把握するために地下水面上の不飽和帯を考慮した鉛直二次元非定常モデルを開発して、種々の帯水層の形状や透水係数などを想定したモデル解析と琵琶湖野洲川河口における解析を行った。

2. 解析方法

図-1 に解析に用いた二次元の自由帯水層モデルを示す。地下水の流れについてはダルシー則を不飽和帯領域に拡張した式 $q = -K\{\nabla(h+z)\}$ と連続式 $(C_s + S_s)\partial h/\partial t + \nabla q = 0$ を用いる。ここに q は流速, K は透水係数, h は圧力水頭, C_s は比水分容量, S_s は比貯留係数である。不飽和帯における K と θ との関係として BROOKS et al.(1966)の実験式 $K = K_0\{(\theta - \theta_r)/(n - \theta_r)\}^m$ ($m=3, \theta_r=0.001$, IRMAY, 1954) を用い, θ と h の関係として VAUCLIN et al.(1979)の実験式 $\theta = n\alpha/(\alpha + |h|^\beta)$ (h は cm 単位, $\alpha=4\cdot 10^{-4}, \beta=2.9$) を用いた。数値解析法としては空間についてはガラーキン有限要素法, 時間については差分法を採用した。

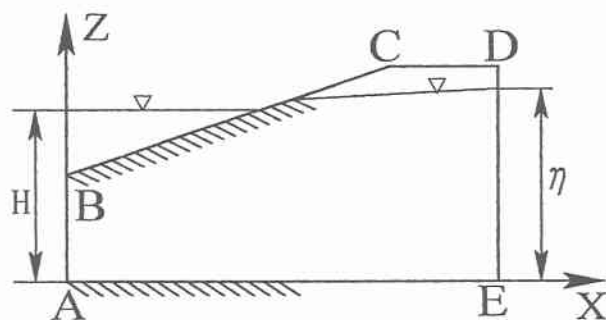


図-1 自由帯水層モデル

3. 解析結果

3-1. モデル帯水層における定常解析: まず, 帯水層厚を $d=12\text{m}$, AB を 7m , BC の海浜勾配を $1/50$, 湖面水位を 10m , 地下水位を 11.5m としたモデル帯水層を想定して, 飽和透水係数 K_0 の違いによる流出の違いを考察した。図-2(a)に $K_0=0.01\text{cm/s}$ および図-2(b)に 0.1cm/s における湖底面からの流出をベクトル図で示す。湖底面からの地下水は底面に垂直に流出し, 一方, 汀線上の浸潤面 (Seepage face) からは水平方向に流出している。また, 流出速度は透水係数に比例しており, (b)は(a)の約10倍程大きくなっている。湖底面における流出速度の場所的な変動をみると, 汀線で最も流出が大きく, 沖にゆくにしたがって指数関数的に減数する。

次に飽和透水係数 $K_0=0.1\text{cm/s}$ において, 帯水層厚の違いによる地下水流出の増減を考察した。図-3に帯水層厚がそれぞれ $d=12\text{m}, d=36\text{m}$ および $d=62\text{m}$ における流出ベクトルを示す。(a)図の $d=12\text{m}$ 場合に比べ, 帯水層厚を大きくした(b)図の $d=36\text{m}$ の場合は汀線付近の流出速度が大きくなり, また, 汀線から沖の湖底面からの流出速度も大きくなっている。さら

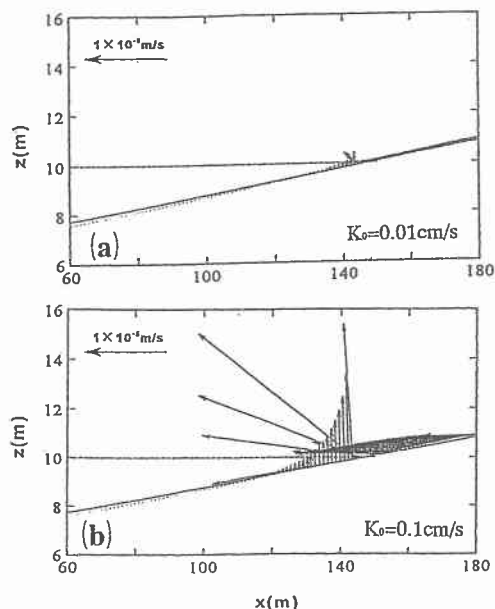


図-2 湖底面からの流出ベクトル;
(a) $K_0=0.01\text{cm/s}$, (b) 0.1cm/s

に帯水層厚を大きくした(c)図の $d=62\text{m}$ の場合では汀線付近の流速は(b)図と比べてほとんど変化はみられないが、汀線から離れた沖における湖底面からの流出は大きくなっており、例えば $x=100\text{m}$ においては約2.3倍になる。

3-2. 琵琶湖湖岸における非定常解析：琵琶湖野洲川河口域における観測結果の再現を試みて非定常解析を行った。境界条件としては観測で得られている非定常な湖水位、上流の地下水位ならびに降水量を与えて、26時間の解析を行った。図-4に湖水位の変動、図-5に上流の地下水位の変動、図-6に観測で得られた汀線から35m 沖の地下水流出量の変動を示し、同地点における解析結果を図-7に示す。上部砂層のみを考えた帯水層モデルでは観測結果で示される大きさの流出量を算出することができなかったが、上部砂層の下の砂混じり粘土層および下部砂層の成層を想定した場合には同程度のオーダが得られた。解析で得られた短周期の流出量変動は観測結果を再現しており、それは湖水位変動が反映している。しかしながら観測された流出量は26時間の間に約3倍に増大しているが解析結果ではそれほどの増大が見られない。今後の課題としたい。

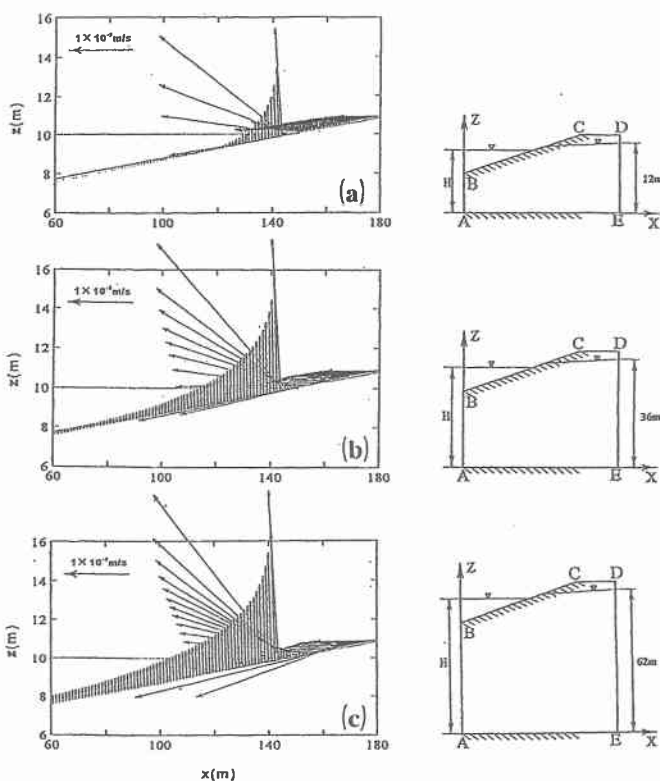


図-3 湖底面からの流出ベクトル；

(a) $d=12\text{m}$, (b) $d=36\text{m}$, (c) $d=62\text{m}$

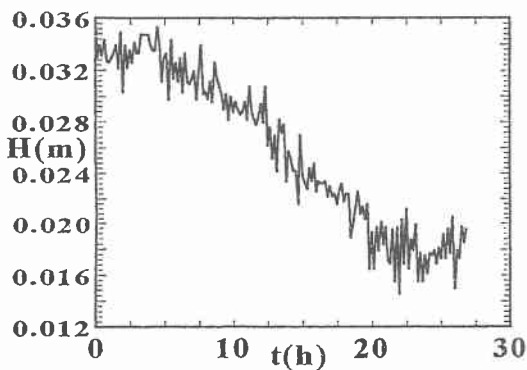


図-4 湖水位の変動

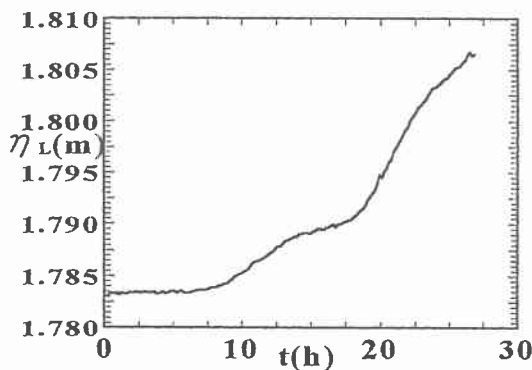


図-5 上流の地下水位の変動

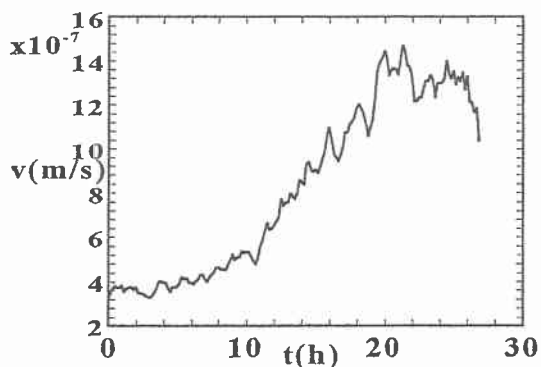


図-6 地下水流出量の変動（観測値）

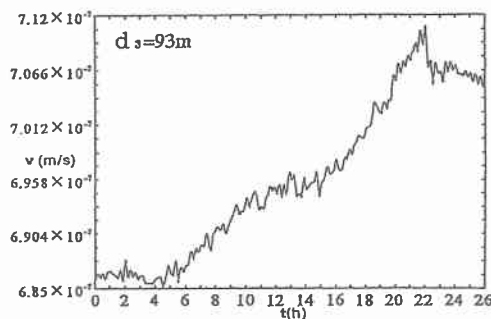


図-7 地下水流出量の変動（計算結果）