

II-155 自由水面を有する浸透流の三次元解析法の適用例とその考察

京都大学 防災研究所 正員 岡 太郎

1. まえがき

河川氾濫構造物および地下水制御構造物などに関連した自由水面を有する浸透問題の解析には、現在いろいろな近似解法が提示されているが、三次元的考慮が欠けているため十分な考察ができない場合がある。そこで著者は前報告¹⁾において、一様なporous media内の定常浸透流について、流れがDarcy則に従うという前提のもとに自由水面を有する三次元浸透流の近似解法を提案し、その有用性および計算法に関する若干の考察を行なった。今回はこの解法の適用例を示し、解析結果について考察する。

2. アースダム浸透流の三次元解析

V字谷に設置されたアースダム浸透流の計算結果を、Fig. 1に浸出面を有する場合、Fig. 3に長さ1.95の排水溝を埋設した場合について図示する。これらの計算結果は領域を $\Delta x = 0.15, \Delta y = 0.05, \Delta z = 0.10$ の格子で分割し、透水系数を三方向と

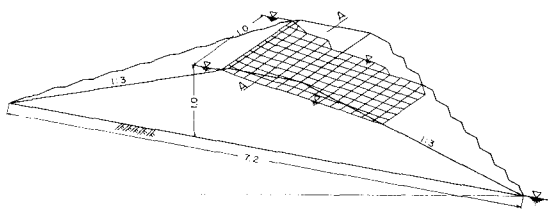


Fig. 1 アースダムの自由水面形

も等しくとり、収束判定値に0.36、加速係数に1.8を用い、自由水面形をはじめ天端に一致するものと仮定し、これを逐次修正(15回)

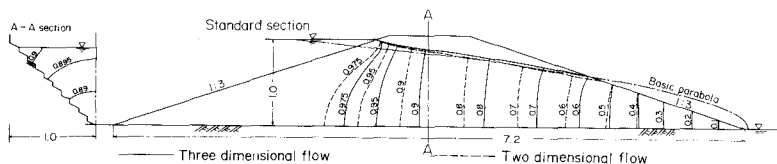


Fig. 2 標準断面とAA断面における水頭分布と自由水面形

して得たものである。なお長さ上流側水頭を用いて無次元化する。

Figs. 2, 4に、これらのアースダムの標準断面、およびFig. 1, 3に示すAA断面における自由水面形と水頭分布を二次元解析の結果とあわせて示す。

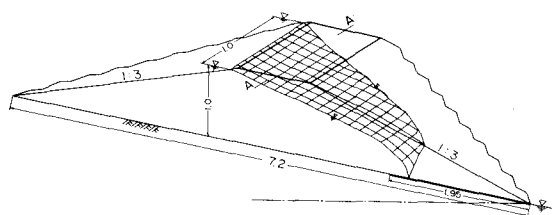


Fig. 3 アースダムの自由水面形

Figs. 1, 2に示すように、排水溝を設置しない場合には、下流法面上に浸出点が現われ、巨視的な動水勾配も小さく、浸出面積も大きい。浸出面付近の水頭の集中はそれほど大きく

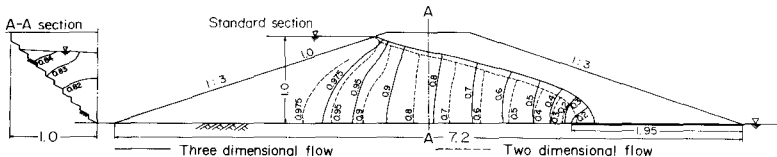


Fig. 4 標準断面とAA断面における水頭分布と自由水面形

ない。また三次元解析で得られた各断面の水面形は標準断面のそれと大差なくダム軸方向の変化は小さい。一方、Figs. 3, 4に示すように、排水溝を設置した場合には、巨視的な動水勾配は大きく、排水溝付近で水頭のかかりの集中が認められ、AA断面の地山付近の自由水面は標準断面のそれより約0.02ほど高い。標準断面について二次元流とした場合の計算結果と比較すると、場所により異なるが自由水面の

位置は、Fig.1 の場合は0.05程度、Fig.3の場合は0.1~0.15程度高くなっているのが認められる。また浸透流量は、Fig.3の場合はFig.1の場合の1.6倍であった。このように動水勾配が大きくなり、水頭が集中することが予想される系においては三次元効果を無視できなくなるようである。

3. 広域地下水への適用例とその考察

琵琶湖水観測特別事業の一環として、昭和41年以来、調査研究²⁾を進めている田川流域の地下水にこの解法を適用し、琵琶湖水位との関連性を、主として琵琶湖水位が低下した場合について考察する。

3.1. 対象領域の概要とそのモデル化

(i) 地形：対象領域はFig.5に示すように、琵琶湖北東部にあり、中央部に排水河川田川を擁し、姉川、草野川、高時川および周辺山地に囲まれたいわゆる田川流域の平地部のほとんどと、その周辺部および琵琶湖の一部を含む短辺6.5km、長辺11.0km、面積71.5km²の地域

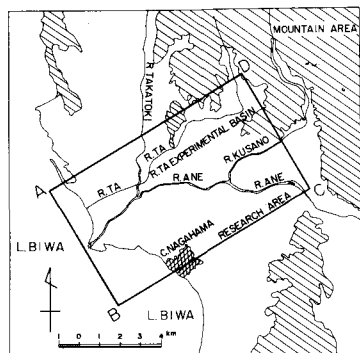


Fig.5 解析領域概略図

(ABCD)である。この対象領域を水平方向を一边500mの正方形、鉛直方向を2mの立体格子で区分し、地表面、河川および湖底を立体格子を通る直線と近似し三次元表示したものをFig.6に示す。この領域の湖底形状は判然としないので仮定することにした。

(ii) 地層：この地域は上記河川によって造られた複合扇状地とみなされ不透層といえる基盤岩類の位置は相当深い。地層状態は判然としないが表土を除くほとんどが砂礫によって構成され、一部粘土、スモ、シルト層などがレンズ状に分布しているといわれている。このような複雑な地層のもとに地下水流動を解析することはきわめてむずかしいので、ここではレンズ状に入り組んだ諸層を同じ厚さで無限に分布しているものとみなし、次式により巨視的に定義される透水係数(K_x, K_y)を用い、この地層透水層を一様な場へ変換する。

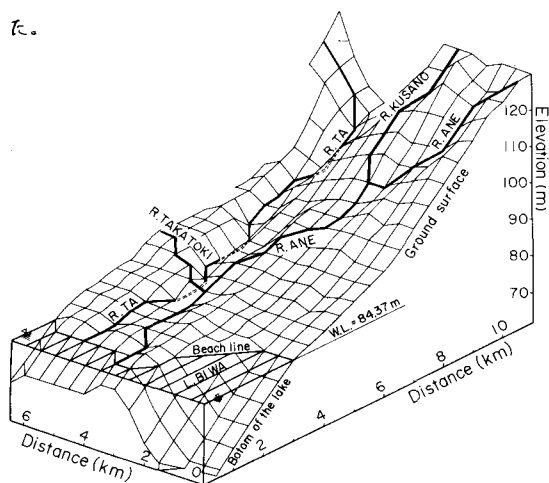


Fig.6 解析領域の地表面および河川

$$K_x = \sum_{m=1}^n \frac{K_m \cdot d_m}{d}$$

$$K_y = \frac{d}{\sum_{m=1}^n \frac{d_m}{K_m}}$$

K_m : 各層の透水係数, d_m : 各層の厚さ
 d : 透水層の厚さ, n : 層の数

K_x, K_y : それぞれ変換された一様な透水層の水平(x)方向、鉛直(y)方向の透水係数

この地域のボーリング柱状資料を用い、地表から30mの範囲について推算した結果 $K_x/K_y = 551 \sim 3620$ の数値を得た。この解析では $K_x/K_y = 1000$ を採用した。

(iii) 不透面：この領域の基盤岩類の層はきわめて深く、解析のための不透層の位置をどこに求めてよいかは、現在はっきりしていない。ここでは実験結果と解析結果から得られた地下水分布が一致するように不透層の位置を試算により決定した。Fig.7にこの計算で最終的に用いた不透面を三次元表示する。この結果、解析領域はFig.6で示される地表面と、Fig.7で示される不透面との間の三次元空間で表わされる透水層である。

(iv) 解析条件: 琵琶湖水位の低下の影響を検討する場合、渇水期状態についての解析が望まれるが、渇水安定状態とみなせる状況把握が行なえていない。ここでは定常状態に近いとみなせる豊水期を選び解析を進めることにする。まず、Fig.5に示す対象領域(ABCD)における鉛直断面上での条件を次のとおり定めた。

a) AB断面上: 地下水位は琵琶湖水位と等しいとし、この断面の透水層を表わす格子点に琵琶湖水位を与えた。

b) BC断面上: 地形および実測された地下水分布から判断して、この断面を横切る流れは存在しないものとし、この透水断面に不透面の条件を与えた。

c) CD断面上: 山地部を除き、この透水断面では地下水流動がみとめられるので平地部の断面に実測水位を与えた。山地部は解析領域外である。

d) DA断面上: D点から高時川までの断面ではCD断面と同じく平地部の透水断面に実測値を与え、高時川からA点までの断面では、BC断面と同じく、この透水断面に不透面の条件を与える。なお、山地部からの水供給は無視するものとし、山地部を示す境界面に不透面の条件を与える。各河川については豊水期には常に河床に表流水があることを考え、河川を近似している各格子点に河床高を与え、これを地下水高とした。

この地域の地下水は河川水の他に人為的および土地被覆の影響を受けているようであるが、今回はこれをすべて無視した。地表面については、難透水性の表層土が存在することと考慮しこの面に不透面の条件を与え、地表面より高くなる地下水を被圧地下水として取り扱うことにした。

3.2 解析結果とその考察

解析は豊水期にあると考えられる1967年8月1日の地下水を対象として行なった。まず琵琶湖水位を平水位(84.37m)に取り、不透面位置決定のための試算を2回行なった。二回目の計算結果から得られた地下水面を三次元的にFig.8に表示する。Fig.9に地下水の平面分布を実測値と比較して示す。またFig.10にFig.9に示すBB鉛直断面の地下水分布を示す。

これらの図より、解析から得られた地下水分布は長浜市周辺部を除きかなり良く実測値と一致して

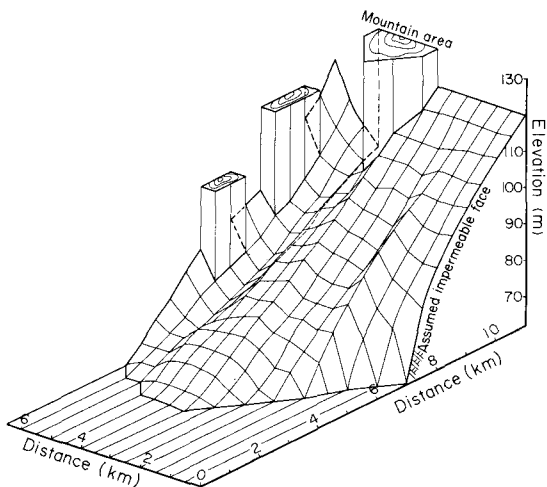


Fig. 7 解析領域の不透面

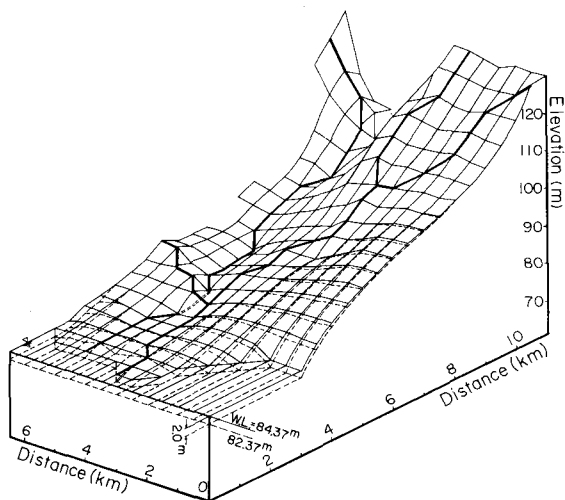


Fig. 8 計算結果より得られた地下水面

いる。長浜市周辺部の地下水分布については、計算値と実測値との間にかかなりの差があり、地下水の形態についてもかなりの相違がある。BC線付近の実測値がないため詳細な点は不明であるが、この地域の地下水はBack water型の水面形(build-up curve)を呈しているのに対し、Fig.8にみられるように計算結果では低下背水型(drop-down curve)となり、この地域の地下水が减压状態にあるという実測結果とは一致するものの、かなりその形態を異にしている。この状態を修正するためFig.7に示すように、第1回目の試算の場合より、とくに透水断面を大きく取ったがその効果はあまり現れなかった。この不自然とも思える水位上昇はBC断面に不透水の条件を与えたことが大きな原因と考えられる。この点については対象領域の拡張などの手法により検討する必要がある。

若干の問題は残しているが、このモデルを用いた、前述の各条件による計算結果は、この領域内の地下水分布をかなりよく説明していると結論付けられる。そこでこのモデルと各条件をそのまま用いることにより琵琶湖水位が2m低下した場合の解析を行ない、琵琶湖水位の低下がおよぼす影響を考察する。この場合の計算結果をFigs.8,9,10に併示する。

この結果、琵琶湖水位低下の影響は湖岸から2~4kmにおよぶが、田川流域地下水に与える影響は小さく、場所により異なるが10cm以下である。したがって、豊水期の田川流域の地下水は河川に表流水があるかぎり琵琶湖水位2m程度の低下ではその影響を受けないといってよい。しかしFigs.8,10に示すように、豊水期においてもかなり内陸部まで琵琶湖水位低下の影響がおよぶことから、渇水期において河川の表流水が涸渇する場合には、田川流域地下水にかなりの影響が現れるものと予想される。

4. あとがき

自由水面を有する浸透流の三次元解析法をアースダムおよび田川流域とその周辺部の地下水に適用し、それらについて得られた計算結果より若干の考察を加えた。ここで示した広域地下水の三次元的取り扱いはいくつかの問題を含み、今後検討を要するが、三次元系における地下水解析、特に地下水制御のために設置される構造物の規模決定などの問題と検討する一手法として、有用であると考えられる。この計算には京都大学大型計算機センターのFACOM 230-60を使用した。

参考文献

- 1) 岡：アースダム浸透流の三次元解析 第25回土砂学会年次講演会 講演集Ⅱ pp.399-402 5.45.11
- 2) 岡、角屋：田川流域の地下水に関する研究(Ⅰ)(Ⅱ)(Ⅲ) 京大防災研究所年報 (12B)(13B)

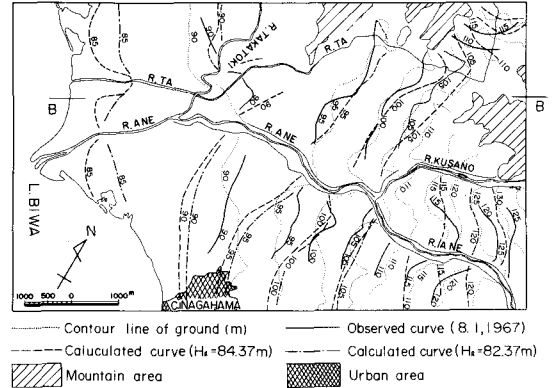


Fig. 9 地下水等高線

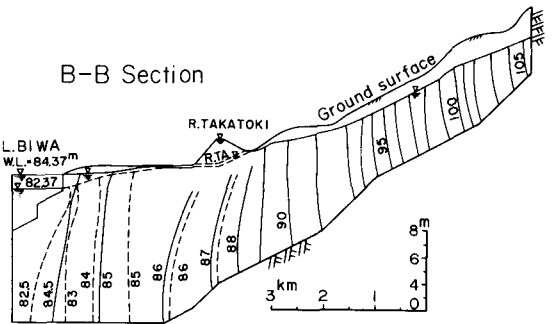


Fig. 10 BB断面の水頭分布