

有限要素法による地中水・地表水流动解析 (II)

京都大学工学部 正員 高埴琢馬 京都大学工学部 正員 椎葉充晴
 京都大学大学院 学生員 ○張 昇平 横 浜 市 正員 鈴木健一

1. 数値シミュレーションモデル 本研究では、飽和・不飽和流を統一的に扱う地中流モデルとKinematic Wave理論に基づく地表流モデルとを結合した数値シミュレーションモデルを構成し、これを用いて斜面系の流出機構を分析することを試みた。数学モデルはDarcy則をもとに導かれた飽和・不飽和浸透基礎方程式とKinematic Wave理論に基づく表面流の運動学的近似式との連立解として構成されている⁽¹⁾。とくに表面流基礎方程式は質量保存則のみならず、地表面での表面流流速と地中流流速との連続性をも考慮したうえで得られたものである。連立偏微分方程式系の数値解析はGalerkin有限要素法によるものである。まず地中領域全体を適当な三角形要素に分割して、地中流基礎方程式を定式化する。地中領域を三角形要素に分割することによって地表面は線要素に区分される。この線要素に対して表面流基礎方程式を定式化する。表面流と地中流を連立することにより、地表面を通して浸透（浸出）する強度を消去する。こうして得られた連立常微分方程式を解いて、全領域にわたっての圧力水頭の分布が求められる。これをもとの方程式に代入して地表面を通しての浸透強度が得られる。また圧力水頭の分布から、表面流地中流それぞれの流出成分・ハイドログラフ・土壌水分量・飽和度・地中水面の深さ・浸出点・表面流水深および流速・地中流流速などの内部変数の時間的・空間的状态を知ることができる。

2. 透水係数と粗度係数が降雨流出に及ぼす影響について 図1は定常流の場合8mm/hrの降雨が、透水係数と粗度係数の変化により、表面流出と地中流出とにどのような割合で分配されて流出するかを示したものである。粗度係数が小さい場合には透水係数が小さくなると地中流が浸透しにくくなり、復帰流の増加に従って表面流も増加する。粗度係数が大きい場合には抵抗の大きい地表面に復帰流として浸出するよりも、地中流として流出している。図2には各Caseのハイドログラフが示してある。Case 6は透水係数だけがCase 5の100倍で、他の条件がCase 5と同じである。流出量の変化を見ると、透水係数が小さい場合には地中からの流出がほとんど認められない。しかし透水係数が100倍になった場合、地中流流出の増加に伴い総流出量が大幅に増加している。また表面流流出量を比較するとほぼ横這い状態である。これは、

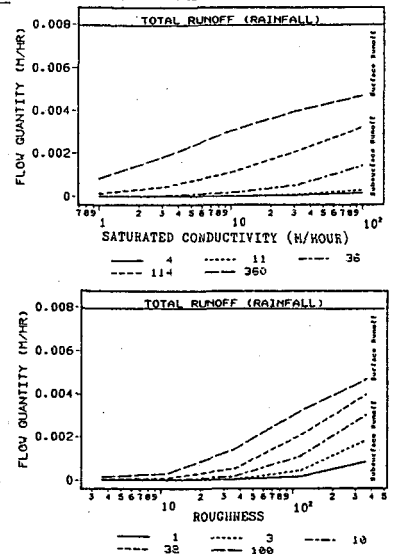


図1 THE RUNOFFS CHANGE WITH THE SATURATED CONDUCTIVITY AND ROUGHNESS

またピーク流量の出現時刻を見ると、透水係数が小さいCase 5の場合は降雨ピークから20分

Takuma TAKASAO, Michiharu SHIIBA, ZHANG Shengping, Kenichi SUZUKI

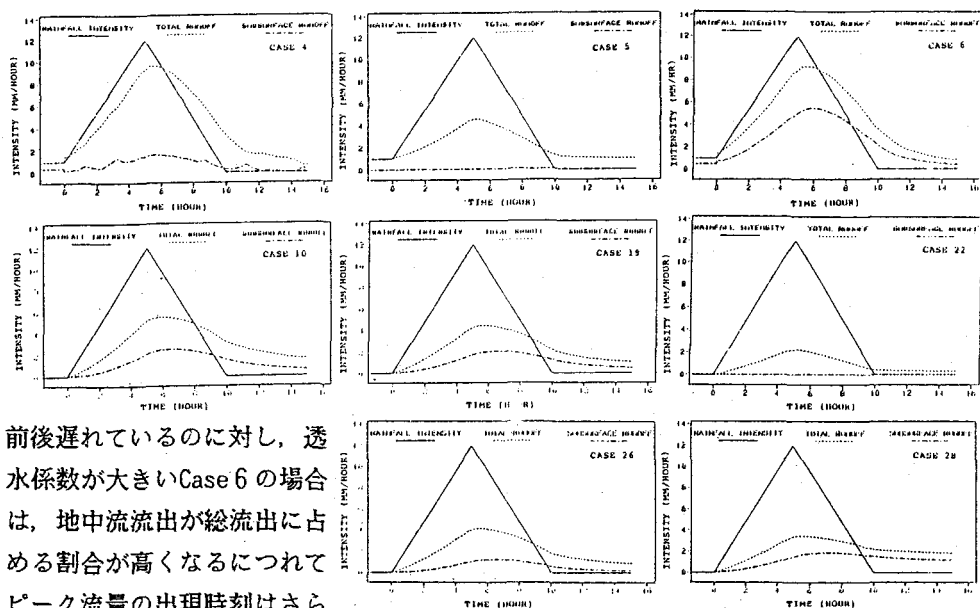


図2 HYDROGRAPH

前後遅れているのに対し、透水係数が大きいCase 6 の場合は、地中流流出が総流出に占める割合が高くなるにつれてピーク流量の出現時刻はさら

に20-25分遅れている。土壌構造による非等方性が流出に与える影響を考察するため、飽和透水係数に異方性を考えたのはCase10・19・22である。Case10は普通の等方性の土壌で $K_x=K_z=50\text{mm/hr}$, Case19は $K_x=50\text{mm/hr}$ $K_z=1\text{mm/hr}$, Case22は $K_x=1\text{mm/hr}$ $K_z=50\text{mm/hr}$ である。ハイドログラフからわかるように地表流・地中流流出共にCase10>Case19>Case22という大小関係にある。また、15時間後の総流出量はCase10では総降雨量の77%, Case19では同じく58%, Case22では同じく24% であって異方性が降雨流出に与える影響が極めて大きいことがわかる。また、降雨流出に与える影響は鉛直方向の透水係数のほうが大きい。

山腹斜面土壌構造のもう一つの特徴は成層性である。透水係数が異なる二層の土壌を持つ領域における流出現象をCase26とCase28を比較して考察してみた。Case26は透水係数が上層で50mm/hr 下層で1mm/hr であって、Case28はその逆である。ハイドログラフを見ると総流出量ではCase26がCase28を上回っている。表面流出と地中流出の配分を見ると、上層の透水係数が大きいCase26では表面流出が多く下層の透水係数が大きいCase28では地中流出が多い、ということがほぼ全計算時間において言えるようである。また、Case28の地中流出のハイドログラフはピークが判然としておらず、流出も長時間にわたって高流量を示している。この理由は、難透水層である上層を透過した後下層からおもに流出し、復帰流として地表に浸出することが妨げられているからであろう。

Case 6 の粗度係数はCase 4 の10倍であるため、総流出量があまり変わらないものの、表面流出と地中流出とがそれぞれ占める割合が大きく変わった。これは粗度係数が大きくなるにつれ地表面が流れにくくなり、復帰流が抑制されるからである。透水係数も小さく、側方浸透流が妨げられれば総流出が大幅に減少するであろう。

参考文献 (1) 高棹・椎葉・張, 有限要素法による地中水地表水流動解析,

昭和59年度関西支部年次学術講演概要, II-44