

学 位 論 文 題 名

Application of The Equivalent Frequency Response Method to Nonlinear Runoff System

(非線形流出システムへの等価周波数応答法の応用に関する研究)

学位論文内容の要旨

Many models have been proposed for modeling overland flow on a plane subject to a lateral inflow or rainfall. Typical models are the St.Venant model and its related models such as kinematic, diffusion and gravity, which are obtained from the St.Venant equations and the lumped runoff model, the storage function model.

In chapter one of this study, the gain characteristics of storage function model and kinematic wave model have been obtained. Also the non-dimensional form of St.Venant equation was derived from its dimensional form through the normalizing parameters.

In chapter two, an extended form of the ordinary frequency response method, called the equivalent frequency response method (EFRM) is introduced to evaluate the output from non-linear runoff models. The gain, time lag, and impulse response function were obtained by EFRM for St.Venant equation and its related models with two different lower boundary conditions: (1) critical flow; (2) zero depth gradient, and sinusoidal rainfall.

The study shows that as the average rainfall increases, the gain increases and time lag function decrease. This phenomenon indicates that runoff from each model approaches its rainfall input and the equivalent frequency transfer function approaches the unit impulse function as the average rainfall increases.

In chapter three, a new criterion, based on the obtained impulse response function, is presented as the limit at which kinematic, diffusion, and gravity wave solutions cease to be good approximations for the St.Venant equation for a range of $0 \leq F_0 \leq 2$ and $0 \leq K \leq 20$, referred to as the Froude number and kinematic wave number respectively with two different lower boundary conditions.

In previous works, the goodness of these models have been discussed before by Woolhiser and Liggett (1967), Morris and Woolhiser (1980), and Daluz Vieira (1983) for the dimensionless rising hydrographs under the assumption of constant rainfall, however, this assumption is impractical, because it doesn't consider arbitrary or step function rainfall.

The validity of the new criterion was cross-checked by two relative errors: (1) peak

discharge; (2) time to peak. The validity diagrams show that for $K > 9$, the diffusion and kinematic zones are very similar irrespective of their lower boundary conditions. It is also concluded that for high rainfall intensities, kinematic wave model might be applicable only for large values of F_0 , and K , and St. Venant is a dominant model in $F_0 - K$ field and vice versa.

In chapter four, the same EFRM technique was extended to obtain the equivalent frequency transfer function between the input or rainfall and the output or runoff from any arbitrary river network. River network is a multi elements (lots of slopes and channels), and dimensional structure.

Considering a mountainous region as an object of our study, kinematic wave model can be adopted for both slopes and channels. And a general equivalent frequency transfer function equation for any arbitrary river network was defined. The obtained equivalent frequency transfer function's results were checked by a simulation method, in which a sinusoidal input was generated, and the gain and time function were calculated numerically between both the sinusoidal input and output peaks.

In chapter five, an approximate method for the EFRM was introduced. The equivalent frequency transfer function's vector locus suggests a second order differential equation as an approximate model, and the theoretical process for obtaining the approximate model's parameters f_1, f_2 from the equivalent frequency transfer function was proposed. A comparison between the EFRM's solutions and the approximate model's ones show a good agreement.

In chapter six, a simplified form of the catchment basin, based on eliminating the differences in slopes' and channels' lengths and cross sections, was assumed and its governing equations were defined.

The conception of EFRM, and the equivalent frequency transfer function between rainfall and runoff from real hydrological data have been held at Rumoi, Shiribeshi, and Kushiro rivers in Hokkaido.

f_1, f_2 are functions of slope's and channel's concentration time and cross section, and the effect of changing these variables on f_1, f_2 were studied.

Moreover, new values were extracted from the parameters f_1, f_2 after excluding the effect of rainfall intensity. Our results prove that the new values are more precise than the parameters f_1, f_2 . In other words, new values which are only function of topographical data were introduce to analyze runoff characteristics.

Herein only kinematic wave model was adopted for runoff analysis. However this approach suggests the possibility of the application of other models. For example if diffusion wave model to be applied for channels, the second order differential equation between input and output that leads to the equivalent frequency transfer function, will remain the same, and EFRM can be extended to other models.

In brief, this study proposes a new approach using the EFRM for analyzing runoff models. Also it suggests the possibility of predicting runoff characteristics based on topographical data only.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 田 睦 博
副 査 教 授 佐 伯 浩
副 査 教 授 加賀屋 誠 一
副 査 助教授 清 水 康 行

学 位 論 文 題 名

Application of The Equivalent Frequency Response Method to Nonlinear Runoff System

(非線形流出システムへの等価周波数応答法の応用に関する研究)

本論文は、非線形分布定数系の流出モデル解析に初めて等価周波数応答法概念を適用し、モデル式の等価周波数伝達関数を求める手法を提案し、得られた等価周波数伝達関数の実流域への流出解析への応用について論じている。

本論文は7章より構成されている。

第1章は、本論文の研究の背景と目的を述べている。

第2章は、非線形分布定数系の流出モデルを用いて降雨量と流出量間の等価周波数伝達関数を求める一般的な手法を提案している。すなわち、実際の流出解析に多用されている Saint Venant 式を基本として、これから派生する Diffusion Wave 式、Gravity Wave 式、Kinematic Wave 式を解析の対象としている。これらの式を流域の構成要素である斜面域や河道域に適用し、下流端で水深勾配0、限界水深の2種類の境界条件を与えている。Saint Venant 式、Diffusion Wave 式、Gravity Wave 式では、等価周波数伝達関数が2階微分方程式の複素境界値問題の解として与えられることを明らかにしている。また、Kinematic Wave 式では、1階複素微分方程式の解が等価周波数伝達関数になることを示している。流出モデルの運動方程式の差異が、微分方程式の次数に影響することを指摘している。さらに、線形系の周波数伝達関数と異なり、非線形流出系では平均降雨量が等価周波数伝達関数に影響することを明らかにした。

第3章は、先に述べた4種類の流出モデルの新しい選択基準を提案している。これまでのモデル選択は、実降雨波形とは異なる一定強度の降雨を対象にして Saint Venant 式より得られる2つの無次元パラメータ(Kinematic Wave 数、フルード数)を用いてなされてきた。本章では各流出モデルの等価周波数伝達関数より得られるインパルス応答関数を比較することにより、降雨波形に依存しないモデル選択基準を提案している。2つの無次元パラメータ以外に平均降雨強度がモデル選択のパラメータになっていることを明

らかにしている。

第4章は、山地流域を対象に降雨量と流域全体の流出量間の等価周波数伝達関数を求める手法を述べている。先ず、第3章で得られたモデルの選択基準によると本邦の山地流域では Kinematic Wave 式が妥当であることを指摘している。次に、斜面域、河道域共に Kinematic Wave 式を用いて、流域全体の等価周波数伝達関数を求めている。斜面域では、平均降雨量に関する到達時間が、河道域では平均横流入量に関する到達時間が主パラメータになっていることを確かめている。

第5章は、前章で得られた等価周波数伝達関数が2次遅れ要素のこれによって近似できることを示し、2次遅れ要素に含まれる2つのパラメータの同定方法を述べている。また、パラメータの1つは、降雨波形とその流出ハイドログラフの1次モーメントの差に、他のパラメータは1次モーメントの他に2次モーメントが関与していることを理論的に明らかにしている。

第6章は、リンク～マグニチュード方式に河道網区分法を採用して、河道網構造と2次遅れ要素のパラメータが強く関連していることを明らかにしている。また、斜面域と河道域の到達時間が変化しても2つのパラメータの比が一定であることを明らかにしている。さらに、留萌川流域、釧路川流域、後志利別川流域の実測雨量、流量を用いた解析でパラメータの比が理論解析値と一致していることを確かめている。

第7章は、本論文で得られた結論をまとめている。

これを要するに、著者は流出解析に新たに等価周波数応答法を導入し、多くの新知見を得たもので水文学に寄与するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。