

氏 名	HASSAN SAFI HEMAID AHMED
博士の専攻分野の名称	博士 (学術)
学位記号番号	博理工甲第 747 号
学位授与年月日	平成 21 年 9 月 18 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Distributed Water Balance Model in Complex Watershed with Compound Channel Network with Groynes (横堤群を有する複断面河道系をもつ流域における分布型水収支モデル)
論文審査委員	委員長 教授 田中 規夫 委員 教授 浅枝 隆 委員 教授 佐々木 寧 委員 准教授 藤野 毅

論文の内容の要旨

This research can be divided to two main parts. The first one is related to modeling the river flow in large-scale complex watershed with natural rivers flanked by complex one/two floodplains with groynes using one- and quasi-two-dimensional models. The second part is an experimental study to clarify the effects and influences of floodplain impermeable groynes on the flow structure, velocity, and water depth.

River one- and quasi-two-dimensional dynamic flow models based on the solution of the full St. Venant equations are presented and introduced. With the one-dimensional model, two approximations can be used. The first one is based on considering the whole cross-section (main channel and floodplain) works as one cross-section. The second approximation is based on considering the floodplain area as a storage area without any momentum or flow discharge contribution (floodplain flow velocity equal zero).

The quasi-two-dimensional dynamic flow model based on Saint-Venant equations (continuity and momentum equations) was used. In this model, the term of the friction force was replaced by the terms of the boundary and apparent shear stresses. The momentum transfer and apparent shear stress at the vertical interface between the main channel and floodplain could be considered well in the quasi-two-dimensional model.

Coupling dynamic-river with diffusive-river and diffusive-overland flow models (the unified diffusive surface flow model in Luo-Tamai model) and other hydrological models is achieved. The coupled models depend on coupling river-dynamic one- or quasi-two-dimensional model with river-1D-diffusive and overland-2D-diffusive flow approximations. Those coupled models can be applied with other hydrological models as a distributed water-balance model based on the staggered grid scheme in a large-scale complex watershed with natural and compound channels. The river-dynamic models can be applied on downstream watershed while the river-diffusive models on upstream the watershed. Also, the river-flow models can be used to simulate the flow on river network only in case that the required upstream and downstream boundary conditions are known.

The Arakawa river downstream reaches characterized by complex and irregular cross-sections and located in flat areas. Every cross-section contains a main channel and one or two large floodplains. The river cross-sections could be represented by 11 pairs of x and y coordinates points and divided to three zones: the main channel, the left, and the right floodplain. The Divided-Channel Method (DCM) with vertical division was used. The cubic spline interpolation technique was used to calculate precisely the river cross-sections properties and their derivative values for a group of water depths.

The implicit finite difference technique with weighted four-point scheme was used in solving the governing equations of both the two dynamic models with weight factor “ $\theta = 0.55 \sim 0.6$ ”. The factor θ can be changed as an input parameter. The SMIPLE algorithm was used to solve the equations of the diffusive models while Newton Raphson’s iteration technique was used in the dynamic models.

A special sub-routine was established to calculate the water volume exchanged between the rivers and their surrounding overland grids, according to the relative water surface elevation in each grid with the river levee elevation. The effect of both the watershed grid size and the lateral flow on the stability and results of the 1D model were studied. The lateral flow has obvious effects on both the flow discharge and water depth and can’t be neglected. The watershed grid size should be kept similar as the river cross-sections average width.

The effects of the floodplain groynes on flow discharge and water depth were added to both the river one- and quasi-two dimensional models using the same governing equations and under the same frame. Those effects were introduced using the cross-sectional active-area approximation in which the cross-sectional active area is less than or equal to the total area (or the bulk area). In this approximation, the term of the total area in the governing momentum equation (St. Venant equation) was replaced by the active-area term; while on the continuity equation the total area was used.

In the second part of the research, an experimental study was conducted and presented in order to: 1) study and verify experimentally the effects of the large-scale floodplain impermeable groynes on the flow structure, velocity, and water depth, and 2) evaluate the merits/demerits of using floodplain groynes in flood attenuation and protection works. The experimental flume was converted to a wooden compound channel of one main channel and two symmetrical floodplains with relative width=2.0, relative to the main channel width, while the main channel depth is 1.6 times its width. Impermeable groyne models with three different relative lengths 0.5, 0.75, and 1.0 relative to the floodplain width with various arrangements were used. Floodplain water depth with two relative values 0.33 and 0.23 relative to the main channel water depth with Froude number of 0.26 and 0.4; respectively, were used. The flow longitudinal and transverse velocity components U and V were measured and collected at nine points at the horizontal plane “HP” at the floodplain mid-water depth with interval of 5.0 cm and at four points in the vertical plane “VP” at the flume centerline. At each point, the mean value of the velocity in stream-wise and transverse directions, U and V respectively was obtained by averaging their measured values and then the mean resultant velocity value “ $=\sqrt{(U^2+V^2)}$ ” and direction were obtained. The flow water surface levels were measured at the main channel and floodplain centerlines with/without groynes at the same locations of the velocity profiles.

Analysis of the experimental results was carried out by verifying the velocity contours, profiles and values, and the flow separation zones and water depths around the groyne models. In case of floodplain impermeable groynes, the flow structure, velocity, and water depth mainly depend on the groyne relative-length and on the relative-distance between groynes (distance between groynes in series arrangements). The effective distance between groynes in series arrangement (double or staggered) mainly is from 3.0 to 4.0 times the groyne length.

In case of groynes in one floodplain, eddy and separation zones are generated in the upper region of the main channel (in vertical plane, VP). The velocity in main channel upper region decreases while in the middle and lower regions of the main channel (near the channel bed) increases. The velocity on the other floodplain also increases. When single groyne with relative length $L_r = 0.5, 0.75$ and 1.0 used in one floodplain, negative velocities could generate downstream it and reach to $-20, -30$ and -55% of the original velocity. Those negative velocities are substituted by increasing of the flow velocity on the main channel and opposite floodplain. This increase on velocity can reach to $1.4, 1.6,$ and 1.85 times the original values in the main channel and $1.75, 2.25, 2.75$ times the original ones in the other floodplain; respectively.

The water surface level is affected upstream and downstream groyne (groyne group). Those effects extended more upstream groynes (backwater effects), while the water surface can resume its normal value shortly downstream groyne (groyne group), within a distance from 10.0 to 12.0 times groyne length. Groynes in staggered arrangements are better than those in symmetrical arrangements. Group of three staggered groynes is better and more effective than group of four groynes.

Finally, using impermeable groynes with large relative length in river floodplain increases the risks during big flood events. The river levee and embankment failures can occur if the protection works against the scouring process are weak, and the river can easily change its water course and centerline. Furthermore, to decrease those effects, the groyne length should be less than half the floodplain width.

論文の審査結果の要旨

学位論文審査委員会は、平成 21 年 7 月 30 日に論文発表会を開催し、論文内容の発表に続いて質疑と論文内容の審査を行なった。以下に審査結果を要約する。

近年、人為的なインパクトや地球温暖化が流域における水循環、物質循環、土砂動態に影響を与えることが問題となっており、様々な形での対策や緩和技術が必要となっている。対策のためには、高度な現状分析技術が要求され、複雑な河道網をもつ山地域における水の動態、下流における河川の流れをあわせて解析することの必要性が高まっている。特に、東京近郊を流れる荒川は下流区間において広い川幅を有しており、また伝統的な治水技術である横堤群が配置されている。こうした流域における水の動態を解析するには、既往研究において水文学分野で開発された kinematic wave 法や diffusion wave 法を主体とした分布型水収支モデルでは取り扱いが不十分である。そのため、申請者は第一部において、流域の流出モデルを diffusion wave を主体とした分布型モデル（土地利用の相違を粗度係数に反映）、河川の流出モデルを上流は diffusion wave 法、中下流域は一次元 dynamic wave 法または準二次元モデルとし、さらにその流域モデルと河川モデルをリンクした分布型水収支モデル（DWB-RDDM）の開発を着想するに至った。さらに、研究対象域が荒川流域であることから、横堤群を計算に取り込む方法について開発を行った。第二部においては、全国的にも珍しい高水敷の上に建設された横堤が対岸流速や低水路流速に与える影響について水理模型実験により明らかにすることをやっている。

第一部においては、実際の河道における複雑な横断面形状を模擬するため、11 点データを用いるスプライン関数で横断面を表現し、数値計算を安定的かつ精度よく表現することに成功した。流域の分布型モデルと河道モデルのリンクのためグリッドサイズの調整を行い、流域グリッドを必要以上に細かくせずに、川幅と同様なサイズを用いることを推奨している。河川の流れの計算には非定常準二次元モデルを適用した。また複断面河道が合流した区間においても適用が可能なように、荒川の支川である入間川を含めたモデル開発を行っている。数値計算手法の妥当性は、2006 年と 2007 年の洪水において、国土交通省が観測したデータと比較することにより検証している。特に横堤の取り扱いについては、1) 運動方程式において横堤の範囲を死水域とし連続式では全断面を考慮する一次元計算、2) 運動方程式も連続式も全断面を考慮する一次元計算、3) 運動方程式では有効死水域を考慮した準二次元計算（連続式は全断面考慮）、などの手法を検討し、その解析による差異を明確にした。検証されたモデルを用いて、横堤群は 2007 年洪水の洪水ピーク流量を低減させ、河道内貯留機能を発揮したことを定量的に算定している。同機能は、横堤群が建設されてから定性的には推定されていたものの、定量的に評価した資料は少なく、河道の貯留機能を再評価するうえで重要な解析結果となっている。

第二部において、横堤群の効果を明らかにするための第一段階として、不透過型水制を高水敷に設置した状況をモデル化した水理模型実験を行い、片側 1 箇所（以後 S タイプ）、片側 2 箇所（以後 D タイプ）の水制群が流速や水深に与える影響を調べている。不透過型水制モデルは S タイプ、D タイプとも高水敷の 0.5、0.75、1 倍の 3 種類を選定し実験を行っている。流速は高水敷から水面の半分の高さと水路中央の二測線を各横断面において計測しさらに流下方向に同様の計測を 10 断面以上行うことで、流下方向の剥離域や加速域の変化を調査している。S タイプの水制の場合においても、高水敷の 0.5、0.75、1 倍の水制において、水路中央部における最大流速はそれぞれ、40、60、85% の増加、高水敷から水面の半分の高さにおける最大流速は 75、125、175% の増加を示すことを明らかにしている。D タイプの水制の場合には、水制が有効

に機能するのは、水制の流下方向長さが横断方向長さの3から4倍の場合であると結論づけている。実験は基礎的であるものの、横堤が設置された場合には低水路中央部（特に高水敷よりも下の高さ）における加速が生じることを示しており、鉛直方向にも大きな流速変化を示している。河川の数値解析は二次元解析が用いられる場合が多いが、同実験結果は、二次元解析の問題点を暗示している。

以上のように、本論文は水理実験と数値解析をもとに、複断面河道における横堤の効果を定量評価し、大きな氾濫原をもつ河道における横堤群の河道内貯留の有効性に関して重要な示唆を与えている。また、一方で横堤群の設置された河川内流れの基礎特性について示唆を与えている。数値解析モデルは水文学的モデルと水工学的モデルをリンクさせている等、研究手法にも新規性がある。このことから、当学位論文審査委員会は、本論文が博士（学術）の学位に相応しい内容であると判断した。

なお、本論文の内容は、第一著者として、国際学術誌 *Journal of Hydrodynamics* に印刷予定、*Journal of Hydroinformatics* にほぼ採択される段階にある。さらに、国際学術シンポジウムでも1回発表されている。