

Flow, turbulence and erosion induced by river structures

(河川構造物周辺の乱流と洗掘に関する研究)

学位論文内容の要旨

Management of river training and rehabilitation works as well as assessment of interaction between river structures and hydraulic and morphologic condition of the river is still an art despite numerous studies that have been conducted so far. Construction of several structures like bridge piers, abutments, river training and habitat improvement (spurs, vanes, bend-ways, fish-way etc) is of common practice in river engineering. On the contrary, such structures have significant impact on hydraulic and geo-morphological changes of the rivers. This may cause negative environmental consequences on the one hand and the failure of the structure itself on the other.

Of most problems that have been facing in river engineering since long, structure-induced flow and erosion is of great significance from practical engineering point of view. It appears that there is still lack of explorative and thorough observation on structure-induced impact on flow as well as local and general river morphology. Number of physical evidences appears to have been overlooked in most of the previous works. Inadequacy of proper construction technique in consideration of specific hydraulic and morphological condition of rivers and precise assessment of structure-induced impact on equilibrium river regime is thought to be underlying causes of negative environmental consequences as well as failure of structure. Likewise, construction of such structure is supposed to be economically efficient. Consequently, a consistent state-of-the-art methodology for the assessment of hydraulic and morphologic changes induced by the structure is of significance in river engineering practice.

Intrinsically, this study can be characterized as an explorative one where it has been attempted to quantify the problems associated with structure-induced flow and morphology of the river in terms of various physical aspects. Furthermore, attempt has been made to improve the existing solution procedure considering the facts that appear to be overlooked in earlier studies.

The sphere of knowledge that has been considered in this study is the flow and turbulence induced by the structure on the one part and morphological changes, in particular structure-induced bed form and local erosion, on the other part. Basically, the study was performed, in particular for the latter part, making use of extensive physical investigations due to the complication of the phenomenon in the sense that there is no existence of a consistent theory explaining physically what in fact happens over the whole range of the phenomenon and, consequently, no mathematical consistent formulation. The study is essentially performed to develop a generalized and physical-based model for the estimation of temporal local scour evolution near river structure, viz. bridge abutment, spurs and bridge pier etc. Besides, a qualitative description has been given for the assessment of loose bed evolution induced by series of river training structures, viz. spurs, considering channel plan-form. Consequently, study has aimed to be of use for multiple purposes such as for bridge structures as well as river training structures. Moreover, a basic attempt has been made to determine the local erosion in case of cohesive sediment on the analogy of cohesionless sediment, the research on which is scarce.

As far as the part of study on flow and turbulence is concerned, some experimental evidences have been revealed that corroborate the effect of structures on not only local but also downstream flow field of channel. Furthermore, an efficient two dimensional mathematical

modeling tool has been developed that comprises simple eddy viscosity concept without any sub-grid or turbulence model (zero equation model). The developed two dimensional numerical model has been validated with physical data and may be appropriate in decision-making process during assessment of various problems of river engineering practice, viz. mean flow distribution throughout the channel induced by river training structures and simulation of two dimensional eddies or vortices generated from the tip of the structures etc.

It is noteworthy to be mentioned that a database has been created collecting the widespread laboratories and field investigations in order to make up a deficiency being encountered by the academic community involved in the subject matter concerning structure-induced local erosion process.

学位論文審査の要旨

| | | |
|-----|-----|---------|
| 主 査 | 助教授 | 清 水 康 行 |
| 副 査 | 教 授 | 藤 田 睦 博 |
| 副 査 | 教 授 | 佐 伯 浩 |
| 副 査 | 教 授 | 長谷川 和 義 |

学 位 論 文 題 名

Flow, turbulence and erosion induced by river structures

(河川構造物周辺の乱流と洗掘に関する研究)

一般に河川では洪水時の洗掘や侵食対策として水制や護岸の河川構造物が設置される。護岸工は河岸のある区間を全面的に強固な構造物で覆う工法であるのに対して、水制工はある間隔で部分的に水流を遮る障害物を設置することにより水流の減勢や水制間の土砂の堆積を促進しようとする工法であり、護岸に比べ圧倒的に経済性に優れた構造物である。このため、水制工は発展途上国においても積極的に用いられている工法でもある。しかしながら、水制工の設置間隔や長さ、さらには設置した場合の洪水流に対する影響や水制が加わった場合の河床変動特性の変化などを工学的に予測する手法は確立されておらず、設置方法が不適切である場合にはより大きな災害を助長する場合もあり、合理的な設計手法の確立が急がれている。また、水制や護岸など治水目的の構造物の他に河川には橋梁、堰などの付加的構造物が多く設置され、これらが流れや河床変動に及ぼす影響の予測も河川工学上重要な課題である。本研究の目的はこれら河川構造物の合理的な設計方法確立のための基礎的研究として、河川構造物が河川流に及ぼす影響およびこれに伴う河床洗掘機構を明らかにしようとするものである。

本論文は全7章で構成されている。

第1章は序論であり研究の背景、目的および範囲を述べている。

第2章では、構造物を含む流れに関する研究と、構造物による河床洗掘問題に関する研究に別けて、過去の研究の概要をまとめている。

第3章では、水制を有する河道における流れに関する実験的な研究について述べられている。実験は固定床の蛇行水路に水制が設置された場合の3次元的な流れの特性を、3次元の超音波流速計で計測することにより行われ、水制の有無、その設置位置、間隔、長さなどの違いによる、主流、2次流、乱流統計量、剥離域の形状などについて詳細な

検討が行われている。

第4章では水制を含む開水路における数値計算手法の開発と検証を行っている。計算に用いられた基礎式は水深平均の2次元浅水流方程式である。これを複雑な河道形状や境界条件に対応可能な一般座標系の方程式に変換し、計算は境界適合座標を用いたCIP法で行われている。非定常の計算を行い、計算結果から直接乱流成分を検出し、時間平均流速や乱流特性量を前章で得られた実験結果と比較している。計算結果は実験結果と良い一致が見られ、優れた計算モデルの開発に成功している。

第5章では移動床水路における実験的研究について述べられている。前記の固定床水路の河床部分に砂を用いた場合の洗掘・堆積形状の計測がお行われ、水制の有無による局所洗掘特性の違い、小規模・中規模河床形態の特性の違いなどの検討が行われている。さらに、水制周辺の局所洗掘形状の詳細な観察が行われており、これにより、構造物を含む流れの特性に関する考察がなされている。

第6章では構造物を含む局所洗掘量の予測式の提案を行っている。従来の予測式の問題である時間に関する部分と構造物が水流に対して遮蔽する部分の面積の影響を取り込んだ新しい予測式の提案を行った。予測式は、本研究で行われた実験結果のみならず、過去の多くの実験結果、さらには2003年8月台風出水時の北海道日高地方厚別川の実例とも比較され良好な予測結果が得られている。

第7章では本研究で得られた新しい知見をまとめ、その有用性や限界などについて考察が行われており、最後に今後の研究課題についても言及されている。

これを要するに、著者のこれまでに得られた河川構造物周辺の乱流と洗掘に関する研究結果は河川工学に大きく寄与するところがあり、著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認められる。