

氏名	ツァイ フォン 蔡 楓 CAI FENG
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博第 906 号
学位授与の日付	平成 25 年 9 月 4 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当 課程博士
学位論文題目	FLOW CHARACTERISTICS AND BED DEFORMATION AROUND A BOX GROYNE IN OPEN CHANNEL (開水路における箱形水制周辺の流れ特性と河床変動)
論文審査委員	主査 教授 富永晃宏 教授 喜岡 渉 教授 田川 正人 准教授 北野 利一 教授 鄭 永来 (同済大学)

## 論文内容の要旨

In the modern river ecological project, groyne is able to support an abundant habitat for aquatic life, which is available for minimizing the river degradation and benefits for the river restoration. A box groyne is composed by various types of single groyne to satisfy the different river ecological requirements. In contrast to the widely applications of box groyne in river engineering, less information about the box groyne with special shaped groyne in river is available. The present study mainly aimed at the box groyne with longitudinal block composed by straight and L-shape groyne. In order to create an appropriate watery and sedimentary environment for aquatic life in the groyne zone, the investigation of flow characteristics and local scour around the box groyne both under the emerged and submerged condition is necessary.

The effects of different configurations of longitudinal block are discussed by measurement of three-dimensional flow field in the fixing bed both under emerged and submerged condition. The longitudinal block is configured in the upstream side and downstream side of lateral entrance with different block length, and the spacing of box groyne is also the important consideration. The calculation methods of exchange coefficient obtained by the Particle Image Velocimetry (PIV) and Dye Concentration Measurement (DCM) experiment are both modified

to adapt the emerged box groyne in this study. The sediment experiment and velocity measurement in the movable bed is conducted in a box groyne with different block lengths and positions. The flow characteristics obtained by the experiment of fixing bed is help to investigate the formation mechanism of bed deformation with the measured flow field after bed deformation in the movable bed.

Flow characteristics changes greatly when varying the position and length of longitudinal block in the emerged box groyne under fixing bed. The longitudinal block placed in the upstream side causes weaker driving gyre, smaller mean velocity in the inner zone and stronger velocity fluctuation with longer length and enhances the turbulence motion at the entrance. Setting the longitudinal block in the downstream side promotes the development of secondary gyre greatly when the block becomes long, and it reduces mean velocity and turbulence inside the box groyne. The upstream setting of longitudinal block essentially promotes the development of vortex structure by reducing the energy diffusion with the fluid from the inner zone of box groyne in the upstream of mixing layer, and benefit the mass and momentum exchange around the entrance by increasing the turbulent flow in the downstream side of entrance.

The different configurations of longitudinal block in length and position also largely affects the flow structure around submerged box groyne in the fixing bed. The vertical mixing layer (VML) on the lateral side is sensitive to the longitudinal block set in the lateral entrance, bringing different behaviors to the horizontal flow pattern in the inner zone. The longitudinal block also has an indirectly effect on the horizontal mixing process due to the changed flow pattern inside submerged box groyne. The setting of longitudinal block clearly improves the three-dimensionality of flow and diversifies the circulation flow in the submerged groyne zone. The mean velocity in the inner zone of most cases with a downstream longitudinal block increases, while it of cases with an upstream longitudinal block decreases. The relatively low mean velocity in the groyne zone for cases with an upstream block is able to provide a good shelter for the aquatic animal during flooding season. Under the submerged condition, the vertical mixing layer moves toward the box groyne, and the arc shape of area has larger curvature than it under emerged condition. Exchange process is promoted by the upstream longitudinal block and downstream longitudinal block with moderate length.

Narrow or widen the spacing of box groyne also lead to the change of flow structure and mass exchange between the box groyne and main channel. When the box groyne is emerged, the mean velocity in the inner zone increases as adding the spacing of box groyne. Lowering the spacing of box groyne makes the vortex structure develop insufficiently when it gets the

downstream of entrance, and less vortex structure enter in the inner zone. But when the spacing is long, although sufficiently developed large coherent structure delivers amount of water to the inner zone from the downstream side of entrance, the intensity of vortex structure is reducing by the energy diffusion in long mixing layer. When the box groyne becomes submergence, the mean velocity in the inner zone and the three-dimensionality generally reduces as adding the spacing of submerged box groyne. In general, the setting of longitudinal block has the similar effect on the flow pattern in the cases with different spacing.

Scour hole around the first groyne is concerned in this study due to its threat to the safety of groyne structure. The setting of longitudinal block has an efficient effect on the reduction of scour hole, mainly caused by the restrictions on development of horseshoe vortex. The maximum scour depth generally decreases as length of downstream longitudinal block added when the box groyne is emerged. And the longitudinal block set in the upstream side has a great effect on reducing the maximum scour depth. But when box groyne becomes submergence, the long longitudinal block has no superiority on scour reduction and the effect of upstream longitudinal block is weakened. When an upstream longitudinal block is set, the scour hole in the front of second groyne is both observed in the most emerged and submerged cases due to strong inputting flow and shear flow with high longitudinal block respectively. The sediment deposited in the inner zone is largely reduced by the setting of long longitudinal block in the upstream side, whereas it increases when the length of downstream longitudinal block is equal or less than  $0.5S$  under submerged condition.

The setting of longitudinal block in the lateral side of box groyne creates a rich environment with diversify gyre system and strong three-dimensional flow, and the dead zone behind the longitudinal block is a good shelter area for aquatic animal and a deposition placement for growth of aquatic plant. And its restriction effect on scour process around first groyne is also an important advantage for groyne protection. In general, the setting of longitudinal block in the lateral side of box groyne is able to provide a suitable habitat for aquatic life.

## 論文審査結果の要旨

近年の河川再生プロジェクトにおいて、水生生物の生息環境を改善する目的で水制が用いられることが多くなってきた。水制とわんどの機能を併せ持った Box Groyne（箱形水制）は、種々のタイプの単独水制の組み合わせから成っていて、異なる河川生態系の要求を満足させられるというものである。河川工法において広く使われているにもかかわらず、この箱形水制に関する情報はほとんどない。そこで、本論文では箱形水制について流れ特性と河床変動特性を明らかにすることを目的とし、一定間隔離れた2つの水制からなる1組の水制群とこの水制先端に設置した縦断方向のブロックからなる箱形水制について実験的に検討した。

実験では、水制間の縦断ブロックの位置を上流側か下流側かの2通りとブロックの長さを3通り変化させて、平常時の流れとして水制が水没しないケースと出水時の流れ条件として水制が水没するケースについて計測を行った。実験は可視化計測である PIV 計測によって流速ベクトルを計測し、染料濃度の時間変化を計測する DCM 実験によって水制間と主流域の水交換係数を計測した。さらには移動床における河床変動実験を行っている。

固定床で非水没の箱形水制に関する実験では、縦断ブロックの位置と長さによって流れ構造が大きく変化し、縦断ブロックを上流側に設置した場合は内部領域の循環渦を弱めるが、乱れ運動は強くなり、入口での質量及び運動量の交換を大きくする。縦断ブロックを下流側に設置した場合、内部領域の2次元的な循環渦が大きく発達するが、内部領域の平均流速と乱れは減少する。上流側へのブロックの設置は基本的に上流の混合層において箱形水制内部領域からの流体のエネルギー拡散を抑制することによって渦の発達を促すという点が新たな発見である。

次に、固定床の水没の箱形水制に関する実験では、流れが水制を越流する場合、水制上の水平境界層は縦断ブロックの位置によって内部領域の水平流れパターンが大きく変化し、間接的に鉛直境界層の水平混合プロセスに間接的な影響を与えることを示した。縦断ブロックの設置は明らかに流れの3次元性を強め、内部領域の循環流を複雑にするが、この場合は非水没のケースとは逆に、下流側にブロックを設置した場合、水制領域の平均流速は増加するのに対し、上流側に設置した場合は減少する。この結果から、上流側ブロックのケースにおいて水制領域内の相対的に遅い平均流速は洪水期に水生生物により避難場所を与えることができるといえる。

最後に第1水制周辺の洗掘について水制の安全性の観点から検討した。縦断ブロックの設置は洗掘の抑制に明らかな効果を示した。上流側ブロックは最大洗掘深の抑制に大きな効果があり、それは主に馬蹄渦の抑制によるものである。内部領域への土砂堆積は上流ブロックによって大きく減少し、下流ブロックではその長さが開口長さの1/2以下で増大した。

箱形水制の側面に縦断ブロックを設置することで、複合渦構造と強い3次元性によって豊かな河川環境を創造し、ブロック背後の死水域は水生生物のシェルターとなり、また堆積箇所では植物を生長させる。そしてその洗掘抑制効果も重要な利点であることを明らかにした。

以上より、box groyne（箱形水制）の縦断ブロックの位置、長さが箱形水制周辺の流れ構造と河床変動に及ぼす影響が明らかにされた。これらの結果はこれまで知られていなかった新たな知見を与えており、実際の生態系に配慮した水制の設計を行う上で重要な情報を提供しており、工学的な価値が高く、博士論文に値するものと認められる。