

ボックスカルバート内の流速分布に対する断面形状の影響 Effect of cross section shape on velocity profile in a box culvert

日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一
日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○小林 泰士

1. はじめに

道路等の施設の設置条件によっては、自然河道の一部にボックスカルバートを利用して転流することがある。ボックスカルバート内は一般的に凹凸の少ない表面で製作されているため、ボックスカルバート前後との差異が生じるとともに、一様な流れが形成され水生生物や野生動物の移動に適していない。従来の取り組みとして、カルバート内に粗石や玉石を埋め込んで粗度を増やすことによって、平水時の水深を確保し水生生物の移動を妨げないようにしている事例がある^{1),2)}。事例のほとんどがカルバートの延長が数十メートル程度のものである。この場合、粗石の条件や流量規模などによってはカルバート内の流れが速くなり、水生生物の移動が困難となる場合や、自然河道との接続箇所でも局所洗掘が生じ落差が形成されたりする。本研究では、ボックスカルバートの延長距離が長く、流量変動が大きい場合を対象に、ボックスカルバート内に礫径の異なる混合礫を用いて緩傾斜を有する台形断面河道に成形することを提案し、流量規模を変化させ、河道内の流速分布について実験的検討を行った。また、緩傾斜を有する台形断面と矩形断面との比較から河道横断形状の影響³⁾についても検討を行う。

2. ボックスカルバート内の河道断面形状の提案

平水時ばかりではなく洪水時においても河川機能を損なうことがないように、ボックスカルバート内に礫径の異なる混合礫を用いた緩傾斜を有する台形断面型河道にすることを提案する。その特徴を以下に示す。なお、混合礫の詳細は実験方法で示す。

- ・大洪水時にカルバート内に設置した混合礫が掃流されないように巨礫、大礫、中礫⁴⁾を混合して設置する。
- ・豊水流量から年最大流量までの流量変化に対して冠水幅が大きく変化できるように、緩傾斜勾配を1/8~1/10とする。
- ・カルバート内に混合礫を用いて緩傾斜型台形断面形状に設置することが、通常の河道内の河床低下の再発防止に向けて河道改修⁵⁾にも応用できる。

3. 実験方法

長方形断面水平水路(幅 80 cm 高さ 60 cm 長さ 15 m)の勾配を1/1200とし、等流状態の流れが常流である場合を対象とした。実験はフルード相似則に従って実施した。想定しているボックスカルバートは広範囲の流量変化に対応できるものを想定している。例えば、原型カルバートの幅を8.5 mとすると、縮尺は1/10.6となる。実験条件を表1に示す。

河床材料として0.3~5 cm径の中礫を混合したものを設置した。ここでは、0.3~0.5 cm径を中心とした中礫の使用量と2~3 cm径を中心とした中礫の使用量の割合を7:12とした。なお、緩傾斜型台形断面形状が成形され易いようにするため、両側に3~5 cm径の中礫を埋め込むように設置した。また、疑似等流が形成されるように、礫の設置区間は720 cmとした。緩傾斜台形断面と矩形断面とした河道の横断形状を図1に示す。礫を設置した区間の河道内の流れを検討するために、河床形状、水深および流下方向の流速の測定を行った。流速、河床形状について、横断方向に0.1m間隔で7ヶ所と左岸側の壁際を測定し流下方向に2m間隔に3ヶ所で測定をした。河道内の流下方向の流速を計測するために、KENEK製のプロペラ流速計(2 cm径)を用いた(採取時間20sec)。

表1 実験条件

	水路勾配	流量規模 $Q_m(m^3/s)$	原型換算流量 $Q_p(m^3/s)$	断面形状
Case 1	1/1200	0.001058	0.389	緩傾斜台形断面
Case 2	1/1200	0.002739	1.01	緩傾斜台形断面
Case 3	1/1200	0.1252	46.1	緩傾斜台形断面
Case 4	1/1200	0.001058	0.389	矩形断面
Case 5	1/1200	0.002739	1.01	矩形断面
Case 6	1/1200	0.1252	46.1	矩形断面

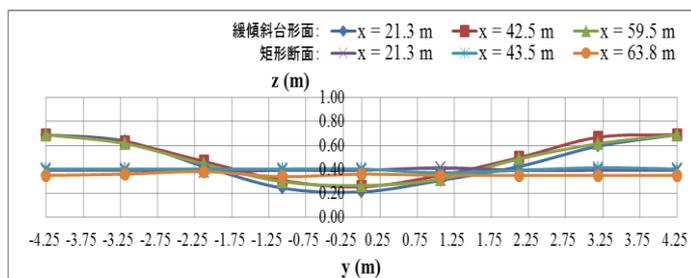


図1 緩傾斜型台形断面と矩形断面の河床形状



写真1 緩傾斜型台形断面とした状態



写真2 矩形断面とした状態

キーワード ボックスカルバート、断面形状、混合礫、疑似等流、開水路流、

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8, TEL : 03-3259-0409, Email : yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

4. 実験結果

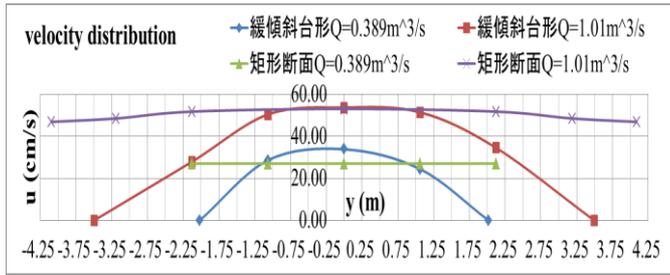


図2 Q=0.389m³/s および Q=1.01m³/s 時の流速分布

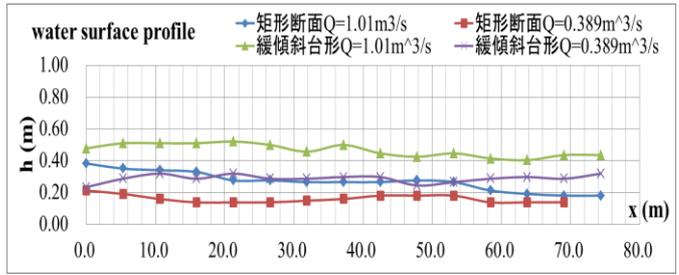


図3 Q=0.389m³/s および Q=1.01m³/s 時の水路中央の水深

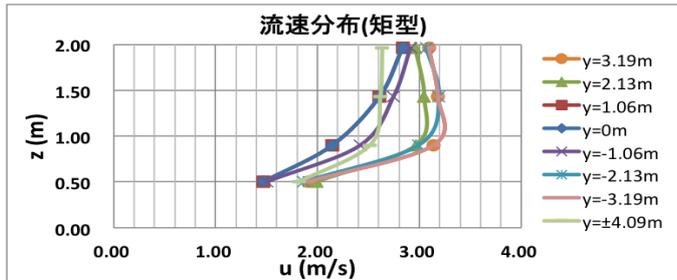


図4 Q=46.1m³/s 時の x=42.5m の流速分布 (矩形の場合)

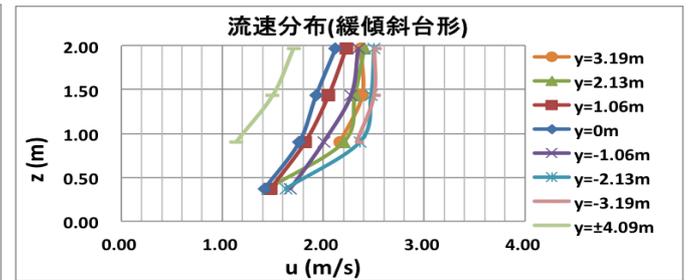


図5 Q=46.1m³/s 時の x=42.5m の流速分布 (緩傾斜台形の場合)

縮尺を 1/10.6 として原型換算した流量規模別に流速分布および水面形を図 2～5 に示す。流量規模が 0.389m³/s の場合、平水時と豊水時の中間程度を想定している。図 2 は擬似等流区間の x=42.5m の速度分布を示す。緩傾斜型台形断面では水路中央部に流れが集中し、最大流速が 35 cm/s となる放物線形の分布となっているのに対して、矩形断面では、横断方向に様な流速分布となり流速は約 27 cm/s となっている。図 3 に示すように、水路中央の水深は矩形断面に比べて緩傾斜型台形断面は 1.8 倍程度確保されている。流量規模が 1.01 m³/s の場合、豊水時を想定している。緩傾斜型台形断面では最大流速が 55 cm/s となる放物線形の分布となっているのに対して、矩形断面では側壁の影響から最大流速が 55 cm/s となる広放物線形の分布となっている(図 2)。図 3 に示したように、水路中央の水深は矩形断面に比べて緩傾斜型台形断面は 1.7 倍程度確保されている。緩傾斜型台形断面の場合、0.389 m³/s の場合と比べて水面幅が約 1.6 倍に広がり、年間に生じる流量変化に対して冠水幅が頻繁に変化することがわかる。すなわち、流量規模が 0.389 m³/s～1.01 m³/s にかけて、最大水深が矩形断面に比べて 1.6～1.8 倍確保されていることと、水深および流速が横断方向に変化していることから、多様な水生生物の移動や休息が可能な状態となっている。カルバート内の礫の規模を原型で換算すると中礫から巨礫にまたがる混合粒径とすることによって水生昆虫が生息しやすく、流れの 3 次元性を造り出すことができる。流量規模が 46.1 m³/s の場合、大規模の洪水流を想定している。矩形断面では疑似等流水深は 2 m 程度となり、緩傾斜型台形断面の場合は、礫による抵抗が大きくなったため、3 m 程度となる。測定区間の流速分布について、矩形断面では図 4 に示されるように、流速分布が 3 次元的になり⁹⁾、主流の位置が水深の 50～60%に位置となり、最大流速は y/B=0.5～0.75 で生じている。この場合、アスペクト比 B/h が 5 以下であるため、流速分布に対するアスペクト比の影響を受けたものと推定される。壁際の流速については、水路中央部の流速と同程度となる。緩傾斜型台形断面では図 5 に示されるように、断面形状の影響が大きく、矩形断面の場合より底面付近の速度勾配が小さく、主流の流速が小さい。また、最大流速の位置については、矩形断面と同様に y/B=0.5～0.75 で生じている。最大流速について、矩形断面では、3.2 m/s となるのに対して、緩傾斜型台形断面では、2.5 m/s となる。両断面とも底面付近の流速が 1.0～1.2 m/s となっている。この場合、巨礫、大礫、中礫を混合した礫を設置した状態であるが、大規模な洪水時であっても礫を掃流することはない。

5. まとめ

ボックスカルバートの延長距離が長く、流量変動が大きい場合でかつ擬似等流状態の流れが常流となる場合を対象に、ボックスカルバート内に混合礫を設置した場合の流速特性について、断面形状を変化させて検討した。

平水時から豊水時にかけて、水生生物の移動・休息が可能な状況とし、洪水時には設置された礫が掃流されず安定な状態とするために、礫径の異なる混合礫を用いて緩傾斜を有する台形断面型河道に成形することを提案し、その特徴を示した。また、流量規模を変化させ、河道内の流速特性について実験的に検討を行い、平水時から豊水時にかけて水深が矩形断面に比べて 1.6～1.8 倍となり、横断方向の流速分布が放物線形状になり、多様な水生生物の移動・休息が可能な環境を形成できることを示した。また、大規模洪水時における流速特性を明らかにし、矩形断面の場合より底面付近の速度勾配が小さく、主流の流速が小さくなることを示した。また、設置された礫が掃流しにくい状態となっていることを確認した。

参考文献

- 1)コンクリートブロック, 共和コンクリート URL : <http://www.kyowa-concrete.co.jp/seihin/ji-kasen.html>, 2015 年 3 月 31 日閲覧
- 2) Jungwirth, M., Schmutz, S., Weiss, S. edit., Fish Migration and Fish Bypasses, Fishing News Books, Vienna, Austria, pp.403-419, 1998.
- 3) 安田陽一, 生態系保全と治水・治水との調和のとれた河川環境—えん堤周辺の連続性に考慮した河川技術—, 森林部門 技術士会フォレストコンサル, No.138, pp.7-22, 2014.
- 4) Chester, K. Wentworth, A scale of grade and class terms for clastic sediments, Journal of Geology, Chicago, Vol.30, No.5, pp.377-392, 1922.
- 5) 笹木拓真, 宮原幸嗣, 福岡捷二, 複断面から船底形断面河道への改修による洪水流況及び低水路河床高の変化, 河川技術論文集, 土木学会, 第 20 巻, pp.277-282, 2014.
- 6) 富永晃宏, 江崎一博, 中村悦由, 台形断面開水路流の三次元乱流構造, 水理講演会論文集, 土木学会, Vol.30, pp.559-564, 1986.