

急傾斜水路に設置されたブロック上の流況特性に対するブロック形状の影響

日本大学理工学部 学生員 ○栗山 賢一
日本大学理工学部 正 員 高橋 正行
日本大学理工学部 正 員 安田 陽一
日本大学理工学部 フェロー会員 大津 岩夫

気泡混入流れは人目を引きつける流れであり、景観設計として人工的に取り入れるに値する流れであると考えられる^{1) 2)}。水理設計上気泡混入流れの流況特性を明らかにすることは重要なことである。本研究では、気泡混入流れを人工的に形成させるためのモデルとして、急傾斜水路に設置されたブロック上の流れを対象に実験的検討を行った。すなわち、傾斜面上に円柱型および角柱型ブロックを縦横断等間隔でかつ千鳥状に配置し、ブロック上の流況分類を行い、各流況の形成領域を明らかにした。また、円柱型と角柱型との間でブロック上の流況特性の比較を行った。

実験 実験は幅 80cm、長さ 18m の長方形断面水路に 1/5, 1/10 の急勾配水路模型を設置して行った。急傾斜水路上で 3 次元的な水面の凹凸を伴った流れが形成されやすくするため、縦横断等間隔にブロックを千鳥状に配列した。ブロックの形状については、円柱型（直径 10cm、ブロック高さ 4.2cm）および角柱型（一辺 10cm の正方形（水平面）、ブロック高さ 4.2cm）の二種類とした。ブロック上の流況を把握する手段としてビデオカメラを用いて記録した。

流況 円柱型および角柱型ブロック上の流れの流況は水路勾配 $\tan \theta$ 、ブロックの相対高さ s/dc (dc : 限界水深)、ブロックの形状（円柱型・角柱型）、ブロックの粗度集中密度 I （粗度集中密度 I : 斜面面積に対する、流れに直交するブロックの投影面積の割合）³⁾、ブロック 1 個当たりの占有率 A （占有率 A : 斜面面積に対する、ブロック面積の割合）³⁾、ブロックが設置された斜面の相対長さ L/dc によって変化する。粗度集中密度 $I=10.5\%$ 、占有率 $A=19.6\%$ の円柱型ブロックにおける流況は、Type1~Type4 に分類される（写真 1 参照）。

Type1 : ブロックの隙間を流れる。この場合勾配を変化させても流況変化はほとんど見られない。

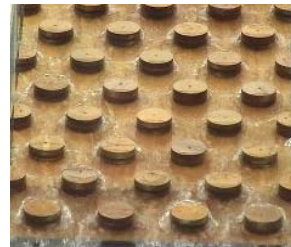
Type2 : ブロック上方を射流の状態で乗り越え、放物線を描くような流れとなっている。また、1/10 勾配に比べて 1/5 勾配の方が勾配の影響により大きな乗り越え方をしている。

Type3 : 白濁した流れが顕著に見られるようになり、ブロックを乗り越える流れが乱れ、Type2 の流況で見られる放物線状の越流水膜が形成されない。なお、ブロック上部では空洞（air-pocket）が形成されている。

Type4 : ブロック上部の空洞（air-pocket）が見られなくなり、ブロック上の水面は乱れているが、傾斜面とほぼ平行に流下する流れとなる。

なお Type3 と Type4 との間には遷移領域が存在する。

粗度集中密度 $I=10.5\%$ 、占有率 $A=25.0\%$ の角柱型ブロックにおける流況は、TypeA~TypeC に分類される（写真 2 参照）。すなわち、ブロック間の隙間を流れる流況 (TypeA)、個々のブロック前方に表面渦が形成され、ブロック上を乗り越える流況 (TypeB)、ブロック上を射流で流下する流況 (TypeC) が形成される²⁾。



(a) Type1



(b) Type2



(c) Type3



(d) Type4

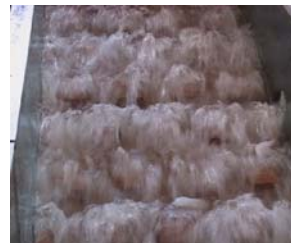
写真 1 円柱型ブロック上の流況 [1/5 勾配、直径 10cm、ブロック高さ $s=4.2\text{cm}$ ($A=19.6\%$, $I=10.5\%$)]



(a) TypeA



(b) TypeB



(c) TypeC

写真 2 角柱型ブロック上の流況 [1/5 勾配 10cm×10cm ブロック高さ 4.2 cm ($A=25.0\%$, $I=10.5\%$)]

キーワード: 景観設計、せせらぎ、気泡混入流れ、急傾斜水路、ブロック

連絡先: 〒101-8303 東京都千代田区神田駿河台1-8; Tel.& Fax.: 03-3259-0409; E-mail: yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

ブロック上の流況についての円柱型ブロックと角柱型ブロックとの比較 同一の水路勾配、ブロック集中密度に対して、円柱型ブロック（ $A=19.6\%$ 、 $I=10.5\%$ ）の場合と角柱型ブロック（ $A=25.0\%$ 、 $I=10.5\%$ ）の場合とを比較すると、同様な流況としてブロック間の隙間を流れる流況およびブロック上を air-pocket が形成されず射流の状態で乗り越える流況が挙げられるが、他の流況は全く異なる。円柱型ブロックの場合は、常に射流で流下するのに対して、角柱型ブロックの場合は、流量によってブロック前方で表面渦が形成される。これは、角柱型ブロックの方が円柱型ブロックの場合に比べてブロックに接近する流れを遮閉しやすく、投影面積が同じでも衝突面が流れに垂直であるためと考えられる。

各流況の形成領域 円柱型ブロックおよび角柱型ブロックにおける各流況の形成領域を図 1、2 に示す。円柱型において Type1 と Type2 の境界を示す相対ブロック高さ s/dc は水路勾配 $\tan \theta$ が大きくなるにつれて大きくなる。これに対して角柱型では Type A と Type B の境界を示す相対ブロック高さ s/dc は水路勾配 $\tan \theta$ が大きくなるにつれて小さくなる。これは流況の違いによるものと考えられる。すなわち、角柱型の場合、ブロック前方に表面渦が形成されるが、円柱型の場合は表面渦が形成されず射流でブロックに衝突するため、ブロックを乗り越える流れが形成されやすくなったものと考えられる。

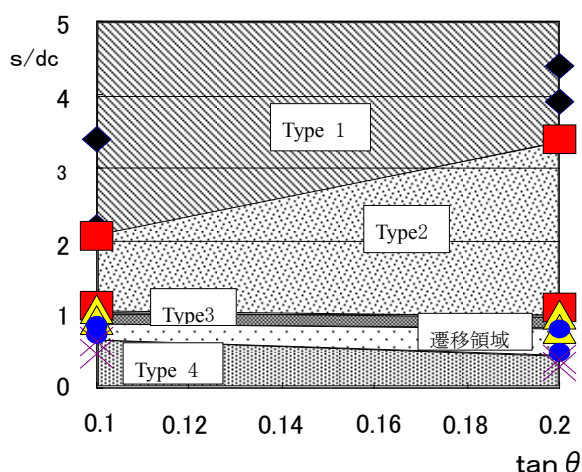


図 1：各流況の形成領域（円柱型）

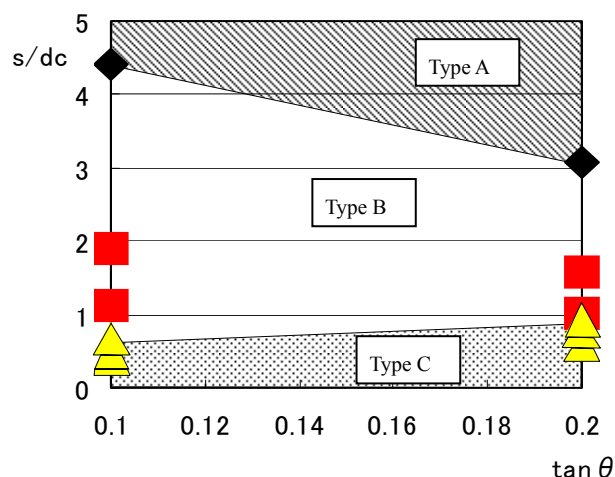


図 2：各流況の形成領域（角柱型）

円柱型ブロックにおいて、ブロック前方で表面渦が形成されるための水理条件について検討すると、水路勾配が $1/5$ の場合、 $A=40.1\%$ 、 $I=27.0\%$ （ブロック高さ $s=5.3\text{cm}$ 、ブロック直径 10cm 、縦横断の隙間の間隔 4cm ）のときに、 $0.6 \leq s/dc \leq 2.2$ の範囲でブロック前方に表面渦が形成されるようになる。なお $A=40.1\%$ 、 $I=21.4\%$ （ブロック高さ $s=4.2\text{cm}$ 、ブロック直径 10cm 、縦横断の隙間の間隔 4cm ）でも表面渦が形成される流況が認められた。

水路勾配が $1/10$ の場合、 $A=24.2\%$ 、 $I=8.3\%$ （ブロック高さ $s=2.6\text{cm}$ 、ブロック直径 10cm 、縦横断の隙間の間隔 8cm ）のときに、 $0.7 \leq s/dc \leq 1.6$ の範囲でブロック前方に表面渦が形成されるようになる。なお $A=24.2\%$ 、 $I=16.4\%$ （ブロック高さ $s=5.3\text{cm}$ 、ブロック直径 10cm 、縦横断の隙間の間隔 8cm ）のときは $1.2 \leq s/dc \leq 1.8$ の範囲で形成される。

まとめ 円柱型・角柱型の流況区分を行い、各流況の形成条件を明らかにした。また、円柱型ブロックにおいてブロック前方に表面渦が形成されるための水理条件を示した。



(a) $A=40.1\%$ 、 $I=27.0\%$ 、 $\tan \theta = 1/5$ (b) $A=24.2\%$ 、 $I=8.3\%$ 、 $\tan \theta = 1/10$

写真 3 円柱型ブロックにおいて、ブロック前方に表面渦が形成される流況

謝辞 本研究を行うにあたり文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業（学術フロンティア推進事業）「地球環境の評価と保全に関する研究」の研究助成を受けた。ここに記して謝辞を述べる。

参考文献 1) 安田 (2004), “流れの景観から見た局所流の流況特性”, ながれ 23, 日本流体力学会, pp. 87–95.
2) Mossa, H., Yasuda, Y., Chanson, H. (2004), “Fluvial, Environmental & Coastal Developments in Hydraulic Engineering,” A.A. Balkema, London, 235 pages
3) 神田、高橋、安田、大津、(2004), “景観に配慮した急勾配粗石ブロック上の流れの特性”, 第 31 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 土木学会関東支部, II-105, CD-ROM.