## 角柱粗度を有する開水路粗面乱流における抵抗則と運動量輸送

熊本大学工学部社会環境工学科 学生会員 瓜生 俊作 熊本大学大学院工学部自然科学研究科 正会員 大本 照憲

## 1目的

河川の治水安全度を評価する上で、その基本は流 れの抵抗則の確立であり、粗度係数の予測精度の向 上が重要である。実河川における流れの抵抗特性は、 多種多様な境界条件によって規定される。そのため、 現状では経験的に得られた見かけの粗度係数によっ て判断され、既知の境界条件から数理的に算定する ことは困難である。

基本的知見である開水路流れにおける完全粗面乱 流の抵抗則は、河川粗度の形状、配列および大きさ、 流れの条件に依存しており、従来多くの研究によっ て重要な知見が積み上げられてきた。人口粗度を用 いた抵抗則の代表例である、二次元粗度として桟粗 度や溝粗度、三次元粗度としてイボ粗度や球状粗度 の抵抗特性が検討されて来た。

しかし、単純化された人口粗度モデルとして二次 元粗度と三次元粗度に関して抵抗則や流れの内部構 造から比較した研究事例は極めて少ない。

本研究では、二次元粗度と三次元粗度における流 れの抵抗および乱流構造についてより厳密に比較す るために粗度として角柱粗度を選び PIV を用いて流 れの抵抗および運動量輸送について検討した。



表1 桟型粗度の実験条件

勾配(Ⅰ₀)	粗度高 k(mm)	流量(1/s)	
1/500	5	1~10	
	10		

表2 流速計測の実験条件

	case1	case2
平均流速 Um(cm/s)	12.56	11.81
水深 H(cm)	7.96	8.47
水路勾配I <sub>0</sub>	1/500	1/500
アスペクト比 B/H	5	4.7
フルード数 Um/(gH) <sup>1</sup>	0.14	0.12
レイノルズ数 UmH/ v	10000	10000
相対粗度 k/H	0.126	0.118
粗度厚 k(mm)	10	10
摩擦速度U <sub>0</sub> (cm/s)	3.95	4.07
Q(1/s)	4	4
粗度配列	2dim	3dim

## 2 実験装置および実験方法

長さ10m、幅40cm、高さ20cmの水路を用い、水路上流端から2mの位置から流化方向に6mに亘り粗度を配列した。(図1) 粗度はステンレス製から成る 一辺 k=a=10mmの正方形断面および k=5mm、 a=10mmの長方形断面の角柱粗度を使用した。

粗度の縦・横断配列を図2に示す。流化方向の粗 度間隔 $\lambda$ 、横断方向の粗度間隔 $\delta$ を系統的に変化さ せ、流れの抵抗は粗度高kで無次元化された $\lambda/k$ が 4~16、 $\delta/k=0.5~4$ の範囲で実験を行う。

また粗度の抵抗則の実験条件を表1に、二次元粗 度および三次元粗度を用いて粗面乱流を計測した実 験条件を表2に示す。

水路に設けた堰を調整し等流場を形成し、ポイン トゲージを用いて等流水深を計測した。また、流速 の計測には非接触型画像処理法である PIV を用いた。



## 3 結果

角柱を用いた二次元粗度と三次元粗度における抵 抗特性の違いを検討するために、代表粗度径、水路 勾配および流量が同一の条件下で粗度間隔を縦断・ 横断方向に系統的に変化させ等流水深を計測した。

図 3 は流量を 4l/s に設定し、縦断方向に粗度間隔 を系統的に変化させた結果を示す。相対粗度間隔 λ/k を 4~16 の範囲で変化させた場合、粗度高さ k=5mm,k=10mm のいずれに対しても三次元粗度は 二次元粗度に較べて抵抗が大きくなること分かる。

図4は、本実験で相対粗度間隔 $\lambda$ /kの変化に対し て流れの抵抗が最も大きい粗度高 k=10mm、相対粗 度間隔 $\lambda$ /k=10 および粗度高 k=5mm、相対粗度間隔  $\lambda$ /k=8 の組み合わせにおいて一定流量 Q=4l/s、横断 方向の相対粗度間隔 $\delta$ /k に対する等流水深の変化を 示す。相対粗度間隔 $\delta$ /k<1.5 では三次元粗度は二次 元粗度に較べて等流水深が大きく、流れの抵抗が大 きく、 $\delta$ /k>2 では等流水深が小さく、流れの抵抗が 小さいことが分かる。

図5より、乱れによる運動量輸送であるレイノル ズ応力は、直上流側のX<sub>RE</sub>/b=0.8~0.9 で極大値を示す のに対して、三次元粗度ではそれよりも上流側の



X<sub>RE</sub>/b=0.4 付近で極大値を示し、その値は若干三次元 粗度の方が大きいことが分かる。

また、図6より移流による運動量輸送は、下降流 により流入、上昇流により流出することから二次元 粗度および三次元粗度とも狭い範囲で強い流出、広 い範囲で弱い流入が発生していることが分かる。二 次元粗度に較べて三次元粗度では、運動量の流入の 極大値は上流側で発生し、その大きさは同程度であ るのに対して、流出の極大値は若干小さい。

参考文献

- 1) 足立昭平:流水抵抗と安定河道、石原藤治朗編水 工水理学、pp237-263
- 中山昭彦: DNS による開水路底面近傍速度場と 空間平均流場の検証、水工学論文集第50巻、 pp.757-762,2005.
- 大本照憲、柿原ゆり、崔志英:相対粗度の大きい 開水路流れの乱流特性について、水工学論文集、 第49巻、pp.511-516,2005