流れにより回転する柱状非対称構造物の後流構造に関する基礎的研究

九州大学大学院工学府	学生員	寺尾直樹
九州大学大学院工学研究院	正会員	藤田和夫

九州大学大学院工学研究院 正会員 九州大学大学院工学研究院 フェロー

押川英夫 小松利光

1.研究目的

近年,山腹崩壊や渓岸侵食等を引き起こすような豪雨の 頻度が高くなっている、特に中小河川に架かる橋梁には径 間長が不十分なものが多いため、河川に流入した流木が 橋梁に集積して河道を堰き止め、その結果、計画高水流 量以下でも越水して周辺の家屋や護岸等に甚大な被害を 与えている、従って、流木に関する研究と対策が喫緊の重 要課題となっている。

このような背景の下,著者らは非対称構造物を取り付け た回転式の柱状体(以下,回転体と呼ぶ)を橋脚の上流側 に設置し,橋梁への流木の集積を回避する手法を提案し ている¹⁾,本論文では,回転体の設置による流木の橋脚へ の集積防止効果の向上を目指して,回転体の後流構造に ついて一般的な円柱後流との比較を通して実験的に検討 した.

2.実験装置および実験方法

実験には Fig.1 に示す長さ 2200cm, 幅 60cm の直線開 水路を用いた,回転体は直径D=5cm,高さ12cmの円柱に 半径 1cm の円柱を4 等分した 1/4 円柱を等間隔に5 個設 置したものであり(Fig.2 参照),水路上部に横断的に設置 したアクリルプレートで回転体の支柱(心棒)を固定してい る.回転体等の柱状構造物は整流板(Fig.1 参照)から 1750cm 下流の中央部に設置された.用いられた柱状構造 物は,流れにより回転する回転体と比較用の(1/4 円柱の付 いていない)同じ大きさの円柱である.

実験条件を表1に示す.Qは流量,hは柱状体の中心か ら 50.0cm 上流の A 地点(Fig.3 参照)における水深, U は A 地点を含む断面における断面平均流速, Re(=UD/v, v は 水の動粘性係数)は柱状体の直径 D(回転体では円柱部 分の直径)に基づくレイノルズ数, Fr(≡U/(gh)^{0.5}, g は重力 加速度)はhに基づいたフルード数である.

流速の測定には超音波式流速計を用い、水路床から 3.5cm の高さにおける流速 3 成分の水平分布を測定した. 座標系 O-XYZ の定義および瞬時流速 3 成分(u,, v, w)の 各方向の定義はFig.3に示されている、測定位置はX方向 に7測線(X=7.5, 10, 12.5, 15, 20, 30, 40cm), Y 方向に11 測線(Y=0, ±2.5, ±5, ±7.5, ±10, ±15cm)の交点上とした.サ ンプリング周波数は 100Hz であり, 各点ごとに得られた 40000 個のデータを平均して検討を行っている.







Fig.2 回転体(\underline{c} :平面図, \underline{c} :側面図)

Fig.3 座標系

	Q(m ³ /h)	h(cm)	U(cm/s)	Re	Fr	
Case-1	50	12	19.3	9.6×10^3	0.18	
Case-2	75	12	28.9	1.4×10^4	0.27	
Case-3	100	12	38.6	2.0×10^4	0.36	

中睦夕州

3.実験結果および考察

(a)円柱との比較に基づく回転体の後流構造

Case-2 で X/D=1.5 における回転体および円柱後流の平 均流速の水平2成分(u, v)の横断方向分布をFig.4に示す. なお本研究で用いる結果の図は,今後も含めて空間座標 は D, 流速は U により無次元化して表記する. これより, 円 柱の平均流速分布は水路の中心線(Y=0)に対して左右対 称になるのに対し,回転体の流速分布は非対称となること が分かる.これは回転体が一方向に回転していることに起 因したものであり,u に関してみると,特に回転体近傍(例え ば Y/D=±0.5)では Y が正の領域より負の領域で流速が小さ 〈,柱状体の影響領域(速度欠損域)は,Y/D=-1.5 程度 の範囲まで拡がっている、Y<0の領域においては、突起の 向きに起因して回転体が流れ(主流)を妨げる方向に回転 することから, Y>0 の領域と比較して u が小さくなっていると 理解される.逆にY>0の領域においては,回転体が流れを フォローする方向に回転することから、Y<0の領域に比較し て u が大きくなっている.

次に, Fig.4と同一条件における乱流エネルギー(≡k), お よび乱れのプロダクション(=Pr)の横断方向分布を Fig.5 に 示す,本研究では,k および Pr はそれぞれ以下の式(1), (2)で表されるものとする.

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$$
 (1)

$$Pr = -\overline{u'v'} \frac{\partial u}{\partial Y} - \overline{u'v'} \frac{\partial v}{\partial X}$$
 (2)

但し, u', v', w'はそれぞれ, u_s, v_s, w_sの変動成分であり,
 は時間平均を意味する. Pr の式中の空間微分は差分により近似した.一般に円柱などの2次元後流の Pr については,式(2)の右辺第一項で近似²⁾することが多いものの,回転に因る流れの歪みを議論する本研究では v も影響する可能性が考えられたため, v の空間微分(右辺第二項)まで考慮して検討を行った.しかしながら実際に計算してみると,第一項は第二項よりも1オーダー程度大きかったため, Pr への第二項の寄与は小さかった.

Fig.4の平均流速分布と同様に, Fig.5 において円柱の k および Pr は Y=0 に関して対称であるのに対し, 回転体の k および Pr は非対称になっている.当然ながら, これも回転 体が一方向に回転しているためである.

ここで, 非対称な回転体周りの平均流速分布(Fig.4)と 乱れ(Fig.5)の関係について検討する.回転体のPrおよび k はともに, Y/D=0.5 において最大値, Y/D= -1 において 極大値を持つ非対称な双子山の分布となっている.これよ り乱れのプロダクションにより両地点(Y/D=0.5, -1)の k が 周囲に比較して大きくなっていることが理解される.またこ の位置は, 当然ながら Fig.4 において平均流速の勾配の絶 対値が大きくなる地点とも一致する.分布が左右非対称に なる点については, Y=0 において円柱の v はほぼ0 である のに対し, 回転体では v<0 となっていることから, 回転に伴 う中心軸上での Y 方向の平均流の発生およびそれによる 輸送に起因したものと理解される.

(b)回転体の後流構造の流下方向変化

Fig.4(および **Fig.5**)の流れのやや下流(X/D=2.5)にお ける回転体のu,kおよび Prの横断方向分布を**Fig.6**に示 す.これより,X/D=2.5 におけるu,kおよび Pr の分布が X/D=1.5 の場合とほぼ一致しているため,前述の議論はこ の位置でも成り立っている.従って回転体の後流について も,物体の比較的近くにおいては,ある程度の自己保存性 ²⁾が期待できる.

(c)回転体の後流構造の流速依存性

Fig.4(および**Fig.5**)と同一地点(X/D=1.5)でCase-3における回転体のu,k,Prの横断方向分布を**Fig.7**に示す.これより,流れが速いCase-3におけるu,kおよび Prの分布が,やや遅いCase-2での分布とほぼ一致しているため,前述の議論は流速がある程度異なっていても成り立つことが確認された.

4.まとめ

回転体を用いた橋梁への流木の集積防止技術のための



Fig.6 回転体の u, k, Pr の横断分布(Case-2, X/D=2.5)



Fig.7 回転体の u, k, Pr の横断分布(Case-3, X/D=1.5)

基礎研究として,非対称構造を有する柱状回転体の後流 構造を調べた.その結果,回転体の後流構造が円柱後流 との比較を通してある程度明らかになるとともに,特に回転 体後流の平均流速の非対称な分布形状が乱れエネルギ ーおよびレイノルズ応力による乱れの発生と明瞭に対応し ていることが示された.

参考文献

- 1) 押川英夫, 寺尾直樹, 藤田和夫, 小松利光: 流木による河道閉塞に対する防止技術の基礎的研究, 河川技術論文集, 第13巻, pp.405-408, 2007年6月.
- Tennekes, H. and Lumley, J.L.: A First Course in Turbulence, The MIT Press, 300p., 1972.