

流木による河道閉塞に対する防止技術の基礎的研究

A FUNDAMENTAL STUDY TO PREVENT RIVER STOPPAGES DUE TO DRIFTWOOD

押川英夫¹・寺尾直樹²・藤田和夫³・小松利光⁴

Hideo OSHIKAWA, Naoki TERAOKA, Kazuo FUJITA and Toshimitsu KOMATSU

¹正会員 博(工) 九州大学大学院助教 工学研究院環境都市部門(〒819-0395 福岡市西区元岡744)

²学生会員 九州大学大学院 工学府海洋システム工学専攻(同上)

³正会員 九州大学大学院技術員 工学研究院環境都市部門(同上)

⁴フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門(同上)

Rotators with asymmetrical projections could prevent a flood disaster due to a congeries of driftwood around a bridge pier and a bridge girder. In this study, two types of the rotator are proposed as a protection against driftwood at a bridge. One is a caterpillar-type rotator which a bridge pier is wrapped with. Another is a structure set in front of a bridge. Those rotators could be revolved by hydrodynamic force of flood flows. The mechanism of rotation is the same as that of Robinson cup anemometer. The effect of the rotation-type protections from a flood disaster was investigated by physical experiments.

As a result of this study, it is made clear that the rotators are able to control the congeries of driftwood. In addition, the latter rotator can prevent congeries of driftwood to some extent even if it never turns round in an unforeseen situation. Therefore, the rotation-type protections against driftwood are effective to protect bridges and prevent inundations.

Key Words : River flood, driftwood, cylindrical rotator, bridge pier

1. はじめに

近年の降雨の特徴として、狭い範囲に集中して大きな降水を記録することが挙げられる。このことは山地斜面の崩壊につながり、大量の流木が河川に流入する。一方、現状での河川計画は、流木の発生ならびにその挙動の多くが未だ不明であることから、流木を殆ど考慮せずに立てられている。このことは、近年の雨の降り方の激化による流木の大量発生により、従来の河川計画そのものが成り立たない状況に陥っていることを意味する。即ち、本来十分流せる程度の洪水でも流木による橋梁部の閉塞により氾濫して橋台部や堤防が破壊され、これが大災害につながる危険性を常に孕んでいることとなる。このような背景から、防災上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。

本論文では図-1に示すような非対称構造物を取り付けた回転式のキャタピラを橋脚に巻きつけることで、洪水時における橋脚への流木の集積を回避する手法を提案する。キャタピラの回転はロビンソン風速計と同じ原理に基づくものであり、本技術は洪水時の莫大な流水エネルギーの一部を利用して橋脚に集積しようとする流木の流下を促進させるものである。本論文では、この手法の効果を簡便に評価することを試みている。即ち、回転式

キャタピラを実際に用いるのではなく、非対称構造物を取り付けた回転式の円柱で橋脚を模擬し、通常の円柱等と比較することで橋脚に回転式のキャタピラが設置された場合の効果を検証した(実験A)。

更に本論文では、キャタピラ方式の発展型としてより効果的な手法を検討している。即ち、非対称構造物を取り付けた回転式の円柱を橋脚の上流部に“流木避け”として適用し、橋梁への流木の集積を回避することを提案する。その実用化のための第一歩として、ここでは回転式の流木避けの設置による流木の集積の防止効果を検証するとともに、流木避けと橋脚との適切な距離を検討している(実験B)。

2. 回転キャタピラ式の河道閉塞防止装置

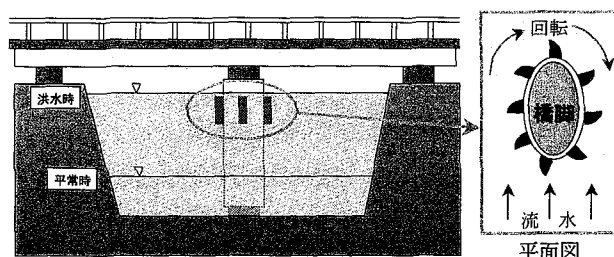


図-1 回転キャタピラ式流木集積防止装置

(1) 実験装置および方法 (実験 A)

実験装置の概略を図-2に示す。実験に用いた水路は長さ560.0cm、幅50.0cm、深さ57.0cmで、水路上流端から365.0cmの位置に高さ12.0cmの橋脚模型1本と橋桁を模した厚さ1.0cmのアクリル板が設置されている。橋脚模型には回転しない通常の円柱(直径 $D=5.0\text{cm}$)と、それに半径 $k=0.5\text{cm}$ 、ならびに $k=1.0\text{cm}$ の円柱を4等分した1/4円柱を等間隔に5個取り付け付けた突起付きの円柱(以後、回転体Aと呼ぶ、写真-1参照)の3種類が用いられた。尚、流下を阻害することになるとされる突起の影響を把握するために、回転体Aについては強制的に回転を抑えた場合と自由に回転する場合について実験を行っている。

水深は水路下流側の堰を用いて橋桁の高さと同じ $h=12.0\text{cm}$ 、および桁下に余裕がある場合の $h=10.0\text{cm}$ とした。実験条件を表-1に示す。但し、 Q は流量、 U は断面平均流速で、回転体の角速度 ω は流木を流さない流水中で測定された値である。

流木模型には直径8mmの円柱木材を用い、長さ L を3種類($L=13.5, 18.0, 27.0\text{cm}$)とした。また、プラスチック製の枝(HAGEN JAPAN製、グロッソスティグマLの枝葉部分)を取り付けた同じ円柱木材を用いて、枝等の有無による違いを検討した(表-1の各Caseについて実施)。実験に用いた流木模型の例を写真-2に示す。流木の投入方法については、横断方向には中央、流下方向には橋脚の上流側50.0cmの水表面上に流れに直交する向きに1本ずつ流木を静かに配置した。流木が捕捉されたかどうかの判定では、流木が橋脚に衝突した後、10秒以上に渡って接触していた場合を捕捉されたものと見なした。流木が捕捉された場合には、それを除去してから時間をおいて次の流木を流し、同一条件について50回の実験を繰り返した。

(2) 実験結果および考察 (実験 A)

橋脚による流木の捕捉に影響を及ぼす主要なスケールとして、円柱(橋脚)の直径、水路幅、水深、流木長、突起の大きさ等が考えられるが、流木が捕捉されるまでに水路床や水路側壁に接触するケースは見られなかった。本実験条件では流木の捕捉には円柱の直径と流木長および突起の大きさが主に関係しているものと考えられる。

始めに、構造物が回転することによる基本的な流木の流下促進効果を検討した。回転体Aの効果の評価には、各50回の試行において(静止した)円柱に流木が捕捉された回数に対する回転体Aを用いた場合の捕捉回数の割合($\equiv R$)を用いた。結果の例として、 $h=12.0\text{cm}$ 、 $L=27.0\text{cm}$ で枝付き流木を用いた場合について、断面平均流速を横軸とした結果を図-3に示す。ここでは、橋脚に突起物(1/4円柱)が取り付けられた影響も検討するため、静止円柱の捕捉回数に対する回転体が静止している場合の捕

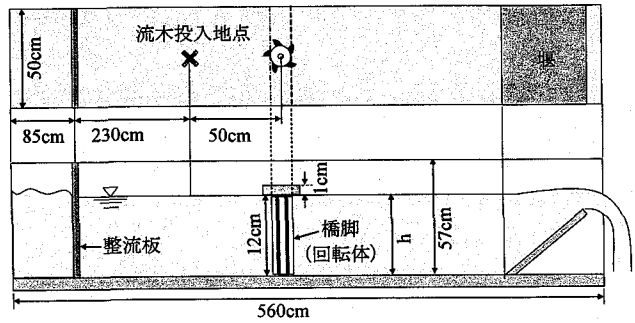


図-2 実験装置の概略 (実験 A)



写真-1 回転体(左: $k=0.5\text{cm}$, 右: $k=1.0\text{cm}$)

表-1 実験条件 (実験 A)

Case No.	$Q(\text{l/s})$	$U(\text{cm/s})$	$h(\text{cm})$	$k(\text{cm})$	$\omega(\text{rad/s})$
Case1	10	17	12.0	0.5	1.5
Case2	12.5	20	12.0	0.5	2.3
Case3	15	25	12.0	0.5	3.1
Case4	20	34	12.0	0.5	3.4
Case5	25	42	12.0	0.5	3.8
Case6	10	17	12.0	1.0	1.6
Case7	12.5	20	12.0	1.0	2.9
Case8	15	25	12.0	1.0	3.5
Case9	20	34	12.0	1.0	4.7
Case10	25	42	12.0	1.0	6.0
Case11	8.5	17	10.0	0.5	1.7
Case12	10	20	10.0	0.5	1.9
Case13	12	25	10.0	0.5	2.4
Case14	17	34	10.0	0.5	3.0
Case15	21	42	10.0	0.5	3.6
Case16	8.5	17	10.0	1.0	1.7
Case17	10	20	10.0	1.0	2.8
Case18	12	25	10.0	1.0	3.1
Case19	17	34	10.0	1.0	3.9
Case20	21	42	10.0	1.0	4.4

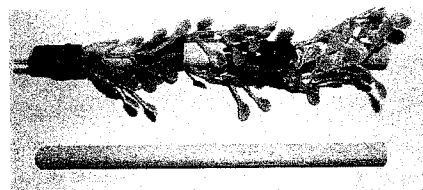


写真-2 実験に用いた流木模型(上: 枝付き流木, 下: 枝無し流木, ともに $L=13.5\text{cm}$)

捉回数の割合($\equiv R_s$)を併記している。突起が大きい $k/D=0.2$ で、流速が最大の場合($U=42\text{cm/s}$)においては $R_s=1.6$ 程度にまで増加しており、突起が静止した場合は流木捕捉を助長する効果が比較的大きいことが分かる。一方突起が小さい $k/D=0.1$ の場合は、流速に因らず $R_s \approx 1$ であり突起が流木捕捉に与える影響は小さい。回転を生じる場合は流速の増加に伴って R の値は減少し、 $U=25\text{cm/s}$ 以上では $k/D=0.1$ においても R が0.4以下となり、比較的小さな突起でも回転体の効果は十分大きいことが

分かる。Uが最小の場合 (U=17cm/s) におけるRと R_s はともにほぼ1となっているが、これは流速が小さすぎることによる。このときの各試行では、突起の有無等にかかわらず大多数の流木が捕捉 (6～8割) されていた。因みに回転体を用いた際にも流木が捕捉された試行では、全ての場合で回転は止まっていた。

次に回転体が有する流木集積の抑制効果に及ぼす桁下余裕高および流木の枝の有無の影響を検討した。L=18.0cmで、 $k/D=0.2$ の場合について、流速を横軸とした結果を図-4に示す。枝がある場合、無い場合それぞれにおいて水深による差異をみると、 $h=10.0$ cmの場合のRが、12.0cmの場合よりも小さくなっている。これは桁下余裕高が無い場合と比較して、有る場合には流木が橋梁に引っかかりにくいことによる。

図-4より同一水深で枝の有無による差異をみると、枝がある場合の方が流木の集積抑制効果は小さいことがわかる。これは流木に枝があると突起への引っかかりが助長されることによるものと考えられる。

図-3、4を併せてみると、洪水時により近づくと考えられる流速の増加に伴って、流木集積の抑制効果は大きくなることが分かる。またその際、水深や突起の大きさ、枝の有無に因る影響 (傾向の変化) はそれ程大きくないこともみてとれる。

次に回転体が有する流木集積の抑制効果に及ぼす流木長の影響を検討した。横軸に円柱直径で無次元化された流木長、縦軸にR、パラメータを流速とした $h=12.0$ cm、 $k/D=0.2$ で枝付き流木の場合を図-5に示す。これより流木長の増加に伴って流木集積の抑制効果は小さくなるが、 $L/D=3.5$ 程度を超えるとその効果はほぼ一定となることが分かる。

3. 回転式の流木避けを用いた河道閉塞の防止について

(1) 実験装置および方法 (実験B)

実験Bでは実験Aと同じ直線開水路を用いた。回転式の流木避けには、実験Aで用いた $k=1.0$ cmの突起が取り付けられたもの (以下では回転体Bと呼ぶ) を使用しており (写真-1参照)、整流板から下流に280cmの位置に設置した (図-2参照)。但し、回転体Bの真鍮製のロッドを長くすることで、水深が12.0cmの条件においても回転体Bの頭が水面から出るように設置されている。回転体等の「流木避け」構造物としては、自由に回転させる「回転体B (回転有)」とそれを強制的に止めた「回転体B (回転無)」、およびシンプルな形状の流木避けとして (1/4円柱の突起が付いていない) 同じ大きさの円柱を用いた。また比較のために、流木避けとしての構造物を用いない橋脚のみの場合についても行っている。橋脚の形状は流下方向の長さ25.0cm、幅10.0cm、高さ12.0cmの小判型である。また橋桁の流下方向の長さは橋脚と

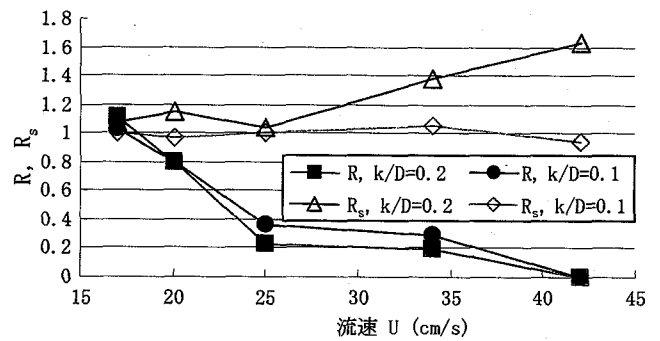


図-3 回転体の効果および突起の影響 (L=27.0cm)

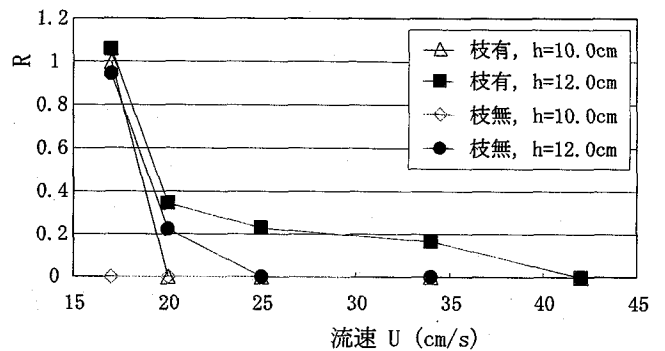


図-4 水深および流木の枝葉の影響 (L=18.0cm)

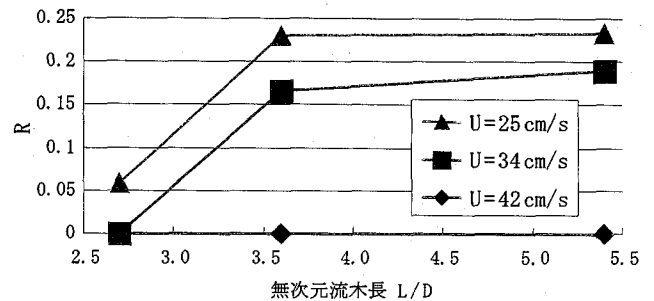


図-5 流木集積の抑制効果に及ぼす流木長の影響

同じ25.0cm、厚さは1.0cmである。

流れに関する実験条件を表-2に示す。水深は橋桁の位置と同じ12.0cmに固定されており、流速Uは断面平均値、回転体の角速度 ω は流木を流さない流水中で測定された値である。表-2のそれぞれのCaseに対して、流木避け (円柱部分の下流側の端) と橋脚 (上流側の端) の間の距離 l を10条件 ($l=3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 50, 80$ cm)、流木長Lは4条件 ($L=13.5, 18.0, 22.5, 27.0$ cm) に変化させた。

流木模型は実験Aで用いた枝葉が取り付けられたものである (写真-2参照)。流木の投入方法については、横断方向には中央、流下方向には回転体の上流側50cmの水表面上に、流木2本ずつをほぼ120度にクロスさせ、計4本の流木を交点 (鈍角側) が構造物に当たるように静かに投入した。実験Bでは橋脚の上流側に構造物が設置されるため、流心から外れて流下してくる流木が増えることから、「流木避け」を設置すると集積する確率が著しく低下して、流木避けのタイプによる効果の違いを検討するのが困難であった。そこで橋脚に流木が比較的引っかかり易い条件を試行錯誤的に設定したために、実

験Aと実験Bの流木の投入方法が異なっている。

流木が集積したかどうかの判定は実験Aと同様である。実験はそれぞれの条件で20回繰り返されており、合計80本の流木の内の何本が集積したかを割合で示し、その値を集積率と定義した。その際、流木避け若しくは橋脚に流木が接触しない状態で集積したCase（橋桁のみに流木が接触して止まった場合等）は、集積率の評価から除いている。ここでも回転体Bなどの流木避け構造物の効果を評価するため、流木避けを用いない橋脚のみの集積率に対する流木避けを用いた場合の集積率の割合（ $\equiv R$ ）を用いることとする。

(2) 実験結果および考察（実験B）

まず、回転体Bの有する基本的な流木集積の抑制効果を検討した。結果の例として、 $l_x=50.0\text{cm}$ で $L=18.0\text{cm}$ の場合を図-6、 $l_x=50.0\text{cm}$ で $L=27.0\text{cm}$ の場合を図-7に示す。これより回転有のRは、図-7の流速が最も遅い場合（この時は全て集積したため $R=1$ ）を除いた全ての条件で1よりも十分小さくなっており、回転式の流木避けを設置する効果は非常に大きいことが分かる。また両図において、回転有とシンプルな流木避けの円柱を比較しても、全ての条件において、回転有のRが円柱よりも小さくなっており、流木避け構造物として回転体Bが効果的であることが理解される。

次に何らかの影響により回転体が回らなかった場合の回転体B（回転無）の効果について検討した。図-6、7において回転無に着目すると、殆どの条件において回転無のRは1よりも小さくなっている。従って、不測の事態により万一回転体が回らなくなったとしても、（固定式の）流木避けとしての機能は発揮されることが分かった。

最後に適切な回転体Bの設置位置について検討した。結果の一例として $L=18.0\text{cm}$ の場合を図-8に示す。横軸は流木長で正規化された回転体Bと橋脚の間の無次元距離である。これより $l_x/L=2$ 付近には極小値、 $l_x/L=0.5$ 付近には極大値が認められる。従って、回転体Bは $l_x/L \approx 2$ となるような位置に設置すべきと考えられる。因みにこの極大値は、回転体と橋脚の距離が近くなると、流木が回転体と橋梁に同時に接触し易くなるために生じたものである。

4. おわりに

橋梁に対する流木の集積を防止するための技術開発の基礎研究として、二種類の形式の回転式構造物による流木流下の促進効果（集積の抑制効果）を検討した。その結果、回転式構造物による流木集積の抑制効果は非常に大きいことが分かった。また回転式の流木避けが万一回らなかったとしても、固定式の流木避けとしての機能が発揮されるため、ある程度の流木の集積の抑制効果が期

表-2 実験条件（実験B）

Case No.	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
$Q(l/s)$	10	15	20	25	30	35
$U(\text{cm/s})$	17	25	33	42	50	58
$\omega(\text{rad/s})$	2.4	3.3	4.1	4.7	5.5	6.0

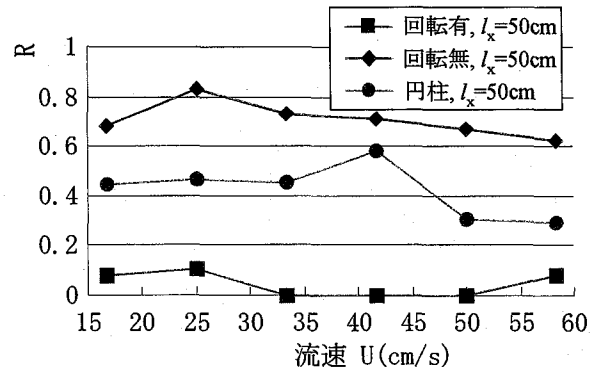


図-6 各流木避けの流木捕捉の抑制効果($L=18.0\text{cm}$)

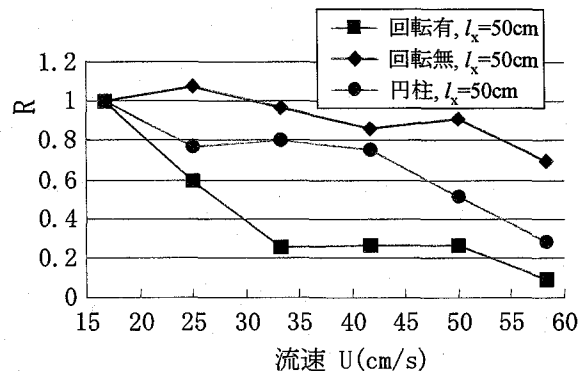


図-7 各流木避けの流木捕捉の抑制効果($L=27.0\text{cm}$)

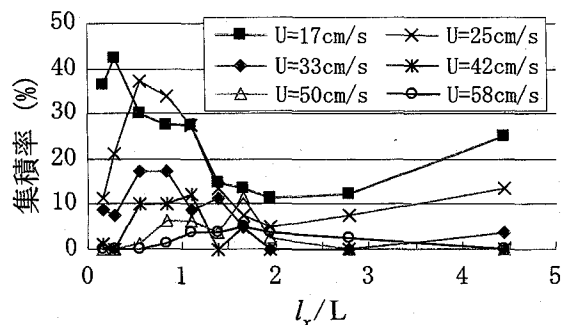


図-8 l_x/L と集積率の関係($L=18.0\text{cm}$)

待できる。更に回転式の流木避けの設置位置に関しては、橋脚から上流側に向けての長さが代表的な流木長の2倍程度となる位置に設置するのが最も効果的なことが明らかとなった。

謝辞：本研究は平成17、18年度国土交通省建設技術研究開発助成（代表：渡邊政広愛媛大学教授）の援助のもとに実施された。また実験を行うにあたり、福澤賢作氏（当時九州大学4年生）に多くの援助を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

（2007.4.5受付）