第81回科学展
熊日ジュニア科学賞

八の字堰の水の流れの解明

熊本県立八代中学校
3年　葭原輝樹　ほか4名

1　研究の動機

私たちが生活している熊本県八代市には球磨川が流れている。その球磨川が流れている八代市渡町には鮎の産卵場が類場となる瀬を再生するための八の字堰がある。八の字堰はもともと1609年に加藤清正によって初代八の字堰が建設され1965年にそれが撤去されたあと2017年に現在の八の字堰が建設されているが初代八の字堰が建設された目的は球磨川の急な流れを弱めることであった。そして、初代八の字堰での先人たちの流れを弱める知恵が現在の八の字堰に多く応用されている。私たちは八の字堰について調べていく中でどのようにして球磨川の急な流れを弱めているのだろうかと思った。また、「球磨川を流れる水の速さによって八の字堰の流れを弱める働きも変わるがそれはどのように変わるのだろうかなと疑問に思った。そこでこれらの疑問について研究することにした。

2　研究の目的

(1)八の字堰が球磨川の流れを弱める働きを調べることで洪水への抑止力を解明する。
(2)流れる水の速さによって八の字堰の流れを弱める働きがどのように変わるのかを調べる。

八の字堰航空写真
（略）

八の字堰(下が下流、上が上流)(座 国土(瀬の再生と石木遺産の再現【八の字堰】グッドデザイン賞より採用)

八の字堰周辺の地図(赤丸が八の字堰)(地理院地図より採取)

3　八の字堰モデルの作成

① 材料
八の字堰モデル
縦110cm、横31cmの平らな木の板、縦50cm、横30cmの平らなプラスチックの板2枚、紙粘土、ニス、ボンド、壁用のプラスチックの板、ビニールテープ、ガムテープ
実験用の材料
縦20cm、横30cmの角度を変えられる斜面台、水を受け止める桶び、斜面台を支える桶(①と②は同じ桶を使用する)、ジョウロ、水を流す桶、水槽用の砂、おがくず(松田商會から提供して頂いた)

② 八の字堰モデルの作成方法
(1)縦110cm、31cmの平らな木の板の上に縦50cm、横30cmの平らなプラスチックの板を2枚縦に貼り付けた。
(2)水が漏れ出さないように、板の境目にプラスチックの板で壁を作った。
(3)プラスチックの板の上に紙粘土を使って図1の八の字堰モデルを作った。
（紙粘土にはニスを塗り、ボンドでプラスチックの板に貼り付けた。）
(4)形状を比べるために このモデルをA、B、Cの3つ作った。
（実際の八の字堰は川岸まであるが、モデルは八の字堰のある部分とない部分で比べるため、川岸よりも手前の部分までで作った。）

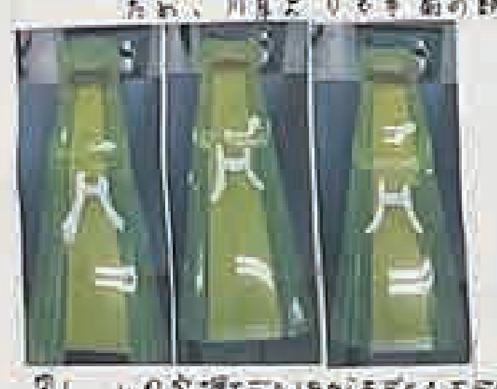
図1　八の字堰モデル(左からモデルA、モデルB、モデルC)

③ 八の字堰とモデルの比較データ
八の字堰のデータは国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所に確認した結果とインターネットで調べた結果を使用した。

	八の字堰	モデルA	モデルB	モデルC
右翼延長	約201m	23cm	21cm	20cm
左翼延長	約170m	18cm	18cm	17cm
河床からの高さ	約1.5m	1cm	1cm	1cm
開口部の幅	30～40m	7cm	9cm	8.2cm
堰の横幅	約35m	3.5cm	3cm	3cm
川幅	約200m	30cm	30cm	30cm
素材	巨石	紙粘土	紙粘土	紙粘土

なお、流れる水の速さを変化させるために理科の力学実験で使用した図2のような斜面台を使用した。

図2　使用した斜面台(上から角度15度、10度、5度)

④砂、おがくずを盛った位置
実験1、3で用いた砂、おがくずを盛った位置を図3に示す。

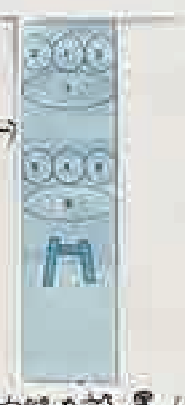
図3　八の字堰モデルの模式図→

4　研究の実験

まず流れる水の速さを測ろうと思い、実験を行った。

実験1　斜面を流れる水の速さを調べる実験

方法

(1)角度を15度に設定した斜面台を用意し、図5のように斜面台の下に速度測定器を設置し、上から水の代わりにガラス球(重さ9.5g)、チタン球(重さ18.6g)、鉄球(重さ35.6g)を転がして、転がる速さを3回測定した。
(2)角度を10度、5度にして(1)を行った。
(3)(1)、(2)の結果を流れる水の速さとした。

結果

角度15度	1回目	2回目	3回目	平均	角度10度	1回目	2回目	3回目	平均	角度5度	1回目	2回目	3回目	平均
ガラス球	2.04m/s	2.03m/s	2.06m/s	2.07m/s	ガラス球	1.62m/s	1.60m/s	1.61m/s	1.62m/s	ガラス球	0.93m/s	0.89m/s	0.89m/s	0.89m/s
チタン球	2.04m/s	2.05m/s	2.07m/s	2.05m/s	チタン球	1.67m/s	1.67m/s	1.66m/s	1.67m/s	チタン球	0.89m/s	0.90m/s	0.90m/s	0.90m/s
鉄球	2.05m/s	2.05m/s	2.04m/s	2.05m/s	鉄球	1.71m/s	1.67m/s	1.71m/s	1.70m/s	鉄球	0.91m/s	0.91m/s	0.90m/s	0.91m/s

3つの球の速さの平均
角度が15度のとき…2.04m/s
角度が10度のとき…1.66m/s
角度が5度のとき…0.89m/s
角度と速度の関係を図4のグラフに示す。

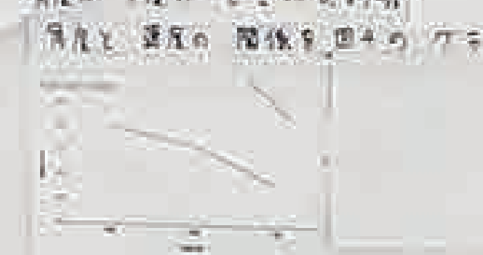
図4　角度と速度の関係のグラフ

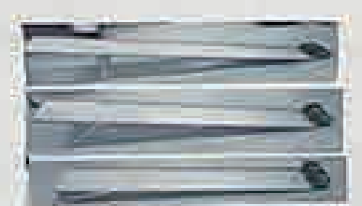
図5　実験で使用した斜面台と速度測定器
(上から角度15度、10度、5度)

次に、実際に砂を流し、流れ方を調べようと思い、実験を行った。

実験2　砂を使った流れ方を調べる実験

仮説

(1)①、②はまっすぐ開口部に流れるので開口部で流れが遮られ、流れが弱まると思われる。
(2)③、④は八の字堰によって流れが遮られるところと遮られないところがあるので、八の字堰の開口部を通って流れるものとそのまま下流へ流れるものに分かれると思われる。
(3)⑤、⑥は流れが遮られないところを通るので、ほとんどがそのまま下流へ流れ、流れは弱まらないと思われる。
(4)⑦は上流から全体的に水が流れるので、全体的に八の字堰で流れが弱まると思われる。
(5)⑧は(2)と同様に八の字堰によって流れが遮られるところと遮られないところがあるので、開口部を通るものは流れが弱まり、そのまま下流へ流れるものは流れが弱まらないと思われる。

方法

(1)流れる水の速さを2.04m/s(角度15度)にし、斜面台の上に八の字堰モデルを置いた。
(2)模式図の数字が書いてある丸の場所に砂を置いた。
（①、②、③、④、⑤、⑥には砂5gを盛り、⑦、⑧には砂15gを盛った。）
(3)壁の上からハス口を外したジョウロを使って①、②、③、④、⑤、⑥を水で流した。
（①、②は開口部に向かって流した。）
(4)壁の上から桶を使って⑦、⑧を水で流した。
(5)(1)～(4)を3回行った。
(6)(1)～(5)をモデルA、B、Cで行った。

結果

(1)①は砂の大部分が開口部へ流れたが、一部は外側へ流れた。また、開口部を通った砂と外側を通った砂とでは、開口部を通った砂の方が流れる時間が長かった。
(2)③、④は開口部に向かって流れるものが多かったが外側を通って下流へ流れるものもあった。①と同様に、開口部を通った砂の方が外側を通った砂よりも流れる時間が長かった。モデルAでは開口部に向かって流れるものは殆どなかった。
(3)⑦はほぼ全ての砂が開口部へ流れた。一部の砂は開口部に溜まった。
(4)⑤、⑥はほぼ全ての砂が八の字堰に沿ってそのまま下流へと流れた。
(5)⑦、⑧は開口部を通る砂と翼外側を通る砂、翼外側を通る砂がほぼ同等な量で流れた。①、②、③と同様に開口部を通った砂の方が外側を通った砂よりも流れる時間が長かった。

砂を使い流れる水の速さを変えようと思い実験を行った。

実験3　砂を使った流れる水の速さを変える実験

仮説

(1)流れる水の速さが2.04m/s、1.66m/s、0.89m/s(角度15度、10度、5度)と遅くなるにつれて、水が流れる勢いが弱まるので流れは弱まると思われる。

方法

(1)流れる水の速さが2.04m/s(角度15度)のときの実験結果は実験2の実験結果を使用した。
(2)流れる水の速さを1.66m/s(角度10度)にし、斜面台の上に八の字堰モデルを置いた。
(3)模式図の⑦、⑧に砂15gを盛った。
(4)壁の上から桶を使って⑦、⑧を水で流した。
(5)(2)～(4)を3回行った。
(6)(2)～(5)をモデルA、B、Cで行った。
(7)流れる水の速さを0.89m/s(角度5度)にし、(2)～(6)を行った。

結果

(1)流れる水の速さが2.04m/s、1.66m/s、0.89m/s(角度15度、10度、5度)の順に流れる時間が長かった。
(2)流れる水の速さが2.04m/s、1.66m/s、0.89m/s(角度15度、10度、5度)の順に開口部に砂が多く溜まっていた。
(3)流れる水の速さが0.89m/s(角度5度)のものでは八の字堰以外の場所でも砂が溜まっているものもあった。
(4)実験2と同様に、開口部を通った砂と外側を通った砂とでは、開口部を通った砂の方が流れる時間が長かった。
(5)流れる水の速さが0.89m/s(角度5度)の⑦、⑧を流したものは開口部を通った砂はほぼ全てが開口部に溜まり、開口部を通り越していく砂はなかった。

砂よりも水の流れを可視化できるものはないかを考えた。その結果、砂よりも軽いおがくずを使えばよいのではと思い、実験を行った。

実験4　おがくずを使った流れ方を調べる実験

仮説

(1)実際の球磨川を流れるのは砂ではなく、砂よりも軽く、細かいもので水の流れ方は砂よりも分かりやすいおがくずを使うことで、砂よりも水の流れ方を可視化できると思われる。
(2)砂でもおがくずでも水の流れに影響しないので、実験結果は実験1とほとんど同じになると思われる。

方法

(1)流れる水の速さを2.04m/s(角度15度)にし、斜面台の上に八の字堰モデルを置いた。
(2)模式図の数字が書いてある丸の場所におがくずを盛った。
（①、②、③、④、⑤、⑥におがくず10gを盛り、⑦、⑧にはおがくず30gを盛った。）
(3)壁の上からハス口を外したジョウロを使って①、②、③、④、⑤、⑥を水で流した。
（①、②は開口部に向かって流した。）
(4)壁の上から桶を使って⑦、⑧を水で流した。
(5)(1)～(4)を3回行った。
(6)(1)～(5)をモデルA、B、Cで行った。

結果

(1)砂よりも水の流れ方が可視化でき、分かりやすかった。
(2)水の流れ方は実験2とほぼ変わらなかった。
(3)八の字堰以外の場所でもおがくずが溜まっていたものがあった。

おがくずを使い流れる水の速さを変えようと思い実験を行った。

実験5　おがくずを使った流れる水の速さを変える実験

仮説

(1)実験4と同様におがくずを使うことで、砂よりも水の流れ方を可視化できると思われる。
(2)実験結果は実験3とほとんど同じになると思われる。

方法

(1)流れる水の速さが2.04m/s(角度15度)のときの実験結果は実験2の実験結果を使用した。
(2)流れる水の速さを1.66m/s(角度10度)にし、斜面台の上に八の字堰モデルを置いた。
(3)模式図⑦、⑧を水で流した。
(4)(1)～(3)を3回行った。
(5)(1)～(4)をモデルA、B、Cで行った。
(7)流れる水の速さを0.89m/s(角度5度)にし、(1)～(5)を行った。

結果

(1)実験4と同様に砂よりも水の流れ方が可視化でき、分かりやすかった。
(2)水の流れ方は実験3とほぼ変わらなかった。
(3)ほとんどのもので八の字堰以外の場所でもおがくずが溜まっていた。特に流れる水の速さが0.89m/s(角度5度)のものではより多くのおがくずが溜まっていた。
(4)実験3では流れる水の速さが0.89m/s(角度5度)の⑦、⑧を流したものは開口部を通った砂はほぼ全てが開口部に溜まり、開口部を通り越していく砂はなかったが、この実験ではおがくずが開口部を通り越した。

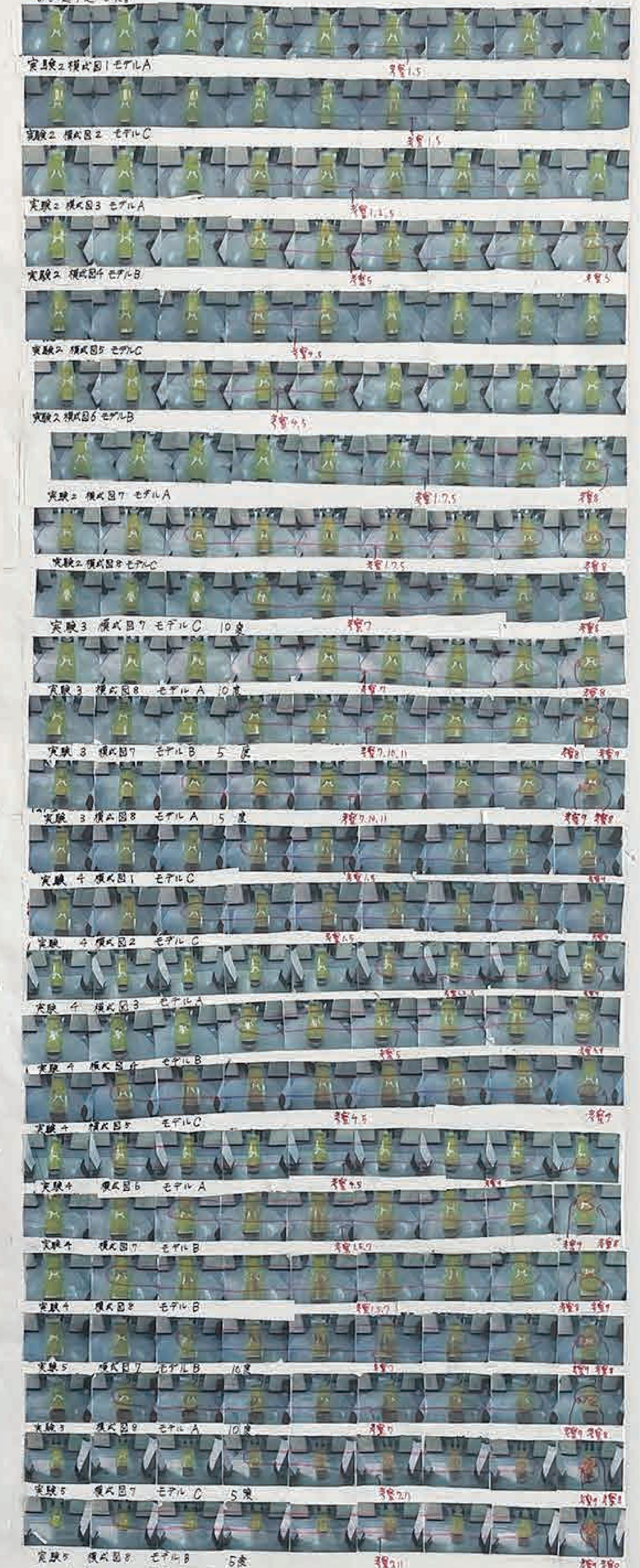

図6　実験2～5の様子(左から右へと流れる)

5　考察

(1)実験2、4の①、②、③、④を流した結果より、開口部を流れたものの方が外側を通ったものよりも流れる時間が長かったことから、八の字堰による水の流れを弱める働きはあると考えられる。
(2)実験2、4の③、④を流した結果より、モデルAでは砂やおがくずが開口部へ流れていかなかったことから、モデルAでは木の板の外側のプラスチックの板が下に傾いていたので傾きを超えられずそのまま下流へ流れていったと思われる。
(3)実験2、4の⑦を流した結果より、開口部に砂やおがくずが溜まっていたことから、八の字堰によって水の流れが弱まったことにより勢いがなくなってそれにより砂やおがくずが溜まったと考えられる。
(4)実験2、4の⑤、⑥を流した結果より、八の字堰に沿って砂やおがくずが流れていったことから、八の字堰が流れの小さな壁となり、それにより八の字堰に沿って砂やおがくずが流れていったと考えられる。
(5)実験2、4全体の実験結果より、八の字堰には流れの方向を変える効果があるとも考えられる。
(6)(1)～(5)より八の字堰には洪水に対する抑止力があると考えられる。
(7)実験2、4の⑦、⑧、実験3、5全体の実験結果より、流れる水の速さが遅くなるにつれて流れる時間が長かったことから、流れる水の速さが遅いものの方が水の流れが弱まったと考えられる。また流れる水の速さが遅いものの方が八の字堰の流れを弱める働きが大きくなると考えられる。
(8)実験2、4の⑦、⑧、実験3、5全体の実験結果より、流れる水の速さが遅くなるにつれて開口部に砂やおがくずが溜まっていたことから、(7)より流れる水の速さが遅いものの方が八の字堰の流れを弱める働きが大きくなると考えられるので、それにより流れる水の勢いがなくなって、砂やおがくずが溜まったと考えられる。
(9)実験3の流れる水の速さが0.89m/s(角度5度)のものの実験結果、実験5全体の実験結果より、八の字堰以外の場所にも砂やおがくずが溜まっていたことから、傾斜が緩かったり水の流れに砂やおがくずが追いつけなかったりしたことで八の字堰以外の場所にも砂やおがくずが溜まっていたと思われる。
(10)実験3の流れる水の速さが0.89m/s(角度5度)のものの実験結果より、開口部を通った砂はほぼ全てが開口部に溜まり、開口部を通り越していく砂はなかったことから、傾斜が緩く、水が開口部を通るときには勢いがなくなってしまったことで開口部を通り越していく砂がなかったと考えられる。
(11)実験3、5の流れる水の速さが0.89m/s(角度5度)のものの実験結果より、実験3と5で結果に違いが生じてしまったことから実験5で使用したおがくずは実験3で使用した砂よりも軽く、細かいので水に流れていきやすかったことで、実験3と5で結果に違いが生じてしまったと考えられる。

6　研究のまとめ

今回の研究で八の字堰による球磨川の流れを弱める働きについて実験し、[illegible]

7　謝辞

今回の研究を行うにあたり八代中学校の[illegible]