

高茎草本植物が繁茂する河川堤防のり面の侵食 特性に関する実験

EXPERIMENT STUDY ON EROSION RESISTANCE CHARACTERISTIC OF TALL AND FLEXIBLE VEGETATION

福原 直樹¹・服部 敦²

Naoki FUKUHARA, Atsushi HATTORI

¹正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室
(〒305-0804 つくば市旭1番地)

²正会員 博(工) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室(同上)

It becomes important to carry out maintenance and management of the river improvement works efficiently and effectively. The control level which cuts the grass of a river levee which a country manages is based on two times of frequency per year. By the above-mentioned frequency, Tall and Flexible plants (Ogi, Yoshi, etc.) may have priority. However, the technique of evaluating a river improvement function about the above-mentioned river levee is in the situation which has not been established.

Therefore, in this study, the actual size experiment about the erosion characteristic was conducted using the material extracted from the river levee. Moreover, the erosion characteristic when the tall and flexible plants has moreover grown thick was considered.

Key Words : *Tall and flexible plants, Erosion characteristic for river levee, Actual size experiment of a river levee*

1. はじめに

国管理の河川堤防における除草の管理水準は、年に2回を基本としており、気候条件や植生の繁茂状況、背後地の状況等に応じて変更することも容認されている¹⁾。除草は堤体の保全および状態把握のための2つを目的として実施されているが、除草の頻度により、どのような植生が繁茂するのか、また、植生が繁茂すると、治水機能にどの程度の影響が生じるのか、については明らかになっていない点も多く、維持管理の合理化を進めていく上で、維持管理と治水機能を関連付ける評価技術の確立が課題となっている。

河川堤防を築堤または改修した際は、表土に張りシバ施工を行うのが一般的であるが、その後の維持管理の頻度によっては、植生の遷移が生じる。過去に整理された報告によると、シバの被度を4~5に維持するには年4回以上、被度1~3では年3~4回の維持管理水準が好ましく、現在、直轄河川堤防にて実施している年2回の頻度の維持管理水準では、チガヤ・ススキ群落に遷移することが報告されている²⁾。また、更に維持管理水準が低い

場合には、ヨシやオギに代表される草丈の高い植生（以下、「高茎草本植物」という）が優占する場合もある。

除草に代表される河川堤防の維持管理行為が治水機能を維持する効果については一部検討されており、シバ・チガヤの植生については、根毛と呼ばれる細い根が侵食に対して効果があるという知見が示されている³⁾が、高茎草本植物の耐侵食機能に関する知見は整理されていないのが現状である。

そこで、本研究では、高茎草本植物の繁茂状況と堤防の耐侵食力の関係ならびに維持管理の頻度と堤防に繁茂する高茎草本植物の状態（繁茂する植生の種別や草丈、繁茂密度等）の関係について、評価を試みるものである。

耐侵食に関連する既往の知見を整理すると、植生が繁茂している場合の耐侵食力については、大別して以下の3つの要因が考えられる。

① 根毛による耐侵食力

根毛が「地表面付近に密に存在すること」「面的に存在すること」の2つの条件を満たした場合に耐侵食力を発揮することが知られている。侵食が生じるとともに、地表面以深に様に存在していた根毛が露出し、層を形成することで、侵食面に作用する外力に対する抵抗とな

表-1 実験用供試体一覧

ケース	植生条件					実験条件	堤体土質条件			
	優占植種	実植生繁茂本数 (本/m ²)	平均茎径 (mm)	平均茎長 (mm)	実植生一本あたり 葉総面積 (cm ²)		土質の工学的分類	D60 (mm)	最大粒径 (mm)	細粒分含有率 (%)
I-1	オギ	79	0.0047	1.2	0.036	植生有	砂混じり細粒土	0.07	2	62.3
I-2		78	---	---	---	植生無				
II-1	オギ	116	0.0046	1.2	0.040	植生有	粘性土質砂質礫	0.2913	53	49.1
II-2		83	---	---	---	植生無				
III-1	ヨシ	85	0.0042	1.8	0.024	植生有	砂質礫	3.75	25.4	1.9
III-2		80	---	---	---	植生無				

※植生無の実験に用いた供試体では、植生繁茂本数のみ計測した

り、流速の低減効果が生じる。シバ・チガヤの植種については、この要因が耐侵食力に大きく作用することが知られている³⁾。

② 上部の植生が地表面付近に作用する外力を低減させる効果

植生群落があると、植生による減勢効果により、地表面近傍の流速が低減する⁴⁾。

③ 堤体土の耐侵食力

粘性土に関する侵食の基礎的な研究は多数報告されており、様々な土質パラメータと限界掃流力との相関関係が導かれている。例えば、粘性土では、引張り破壊応力と粘性土塊の離脱特性、すなわち粘性土の侵食はよい相関が認められている³⁾。

そこで、高茎草本植物が繁茂している河川堤防（主に都道府県管理堤防を対象とした）を選定し、実物の堤防から堤防のり面を不攪乱試料にて採取し、洪水時を想定した条件下での侵食実験を実施した。その実験結果から、高茎草本植物の耐侵食性について、基礎的な知見および課題を整理した。

2. 侵食実験の概要

(1) 実験に使用した水路および供試体

本検討における実験は、最大断面平均流速4.5m/sまでの通水が可能な閉水路である高流速実験水路を用いて実施した。本水路は幅1m、高さ0.8m、水路延長26mの諸元を有し、水路中央に供試体を設置する構造となっている。実験に用いる供試体は、堤防のり面から繁茂している植生を痛めずに不攪乱の状態にて採取した。供試体の採取は、鋼製型枠（B=0.96m、L=1.46m、H=0.508m）を堤防のり面に垂直に設置し、土が攪乱されないよう、鋼製型枠周囲を徐々に掘り下げながら、鋼製型枠を挿入する方法にて行った。また、必要に応じて、鋼製型枠側面にある土を攪乱するような太い根の切断も行った。本報告の検討にて用いた供試体及び植生条件、土質条件の一覧（表-1）と粒度分布（図-1）を示す。

(2) 実験方法

供試体を設置した状態では、高茎草本植物の影響による流速低減は実験用供試体設置区間でのみ生じ、流速低

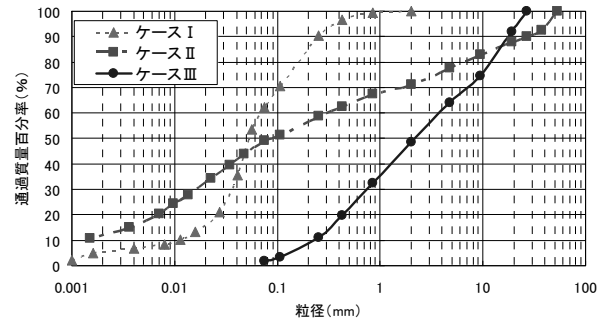


図-1 各供試体の粒度分布

減効果が十分に発達されていない状態の流速が実験用供試体部に作用してしまうことが想定される。そこで、「植生有」の実験条件のケースについては、実験用供試体の前面9mに渡り、模擬植生を配置し、高茎草本植物の流速低減を模した状態にて実験を行った。模擬植生は、茎の部分は径8mm、長さ150cmの塩化ビニル製パイプを用い、葉の部分はビニールクロスを実植生の葉の面積に概ね合致するよう調整して設置した。また、茎の根元の角度が調整可能な構造とし、実験時には、倒伏時の高さを実植生に概ね一致させる調整を行った。模擬植生の本数については、透過係数を概ね一致させることを基本として設定した。

実験は設定した断面平均流速（0.5～4.5m/sから4～5条件を選択）を段階的に大きくする手順にて実施した。また、断面平均流速1条件につき複数回通水を中断し、その都度、侵食深の計測を行った。計測点は、壁面の影響を受けない範囲に対し、格子状に0.1mピッチ（計88点）で設定した。以降、計測点の侵食深の平均を「平均侵食深」という。また、通水時には電磁流速計による流速の鉛直分布およびレイノルズ応力の計測と水頭測定孔による動水勾配の計測を行った。

3. 侵食実験結果

(1) 平均侵食深の経時変化

平均侵食深の経時変化を図-2に示す。なお、ケースIII-2については、全ての通水を終了した後、供試体を確認したところ、地表面が根毛により被覆されている範囲

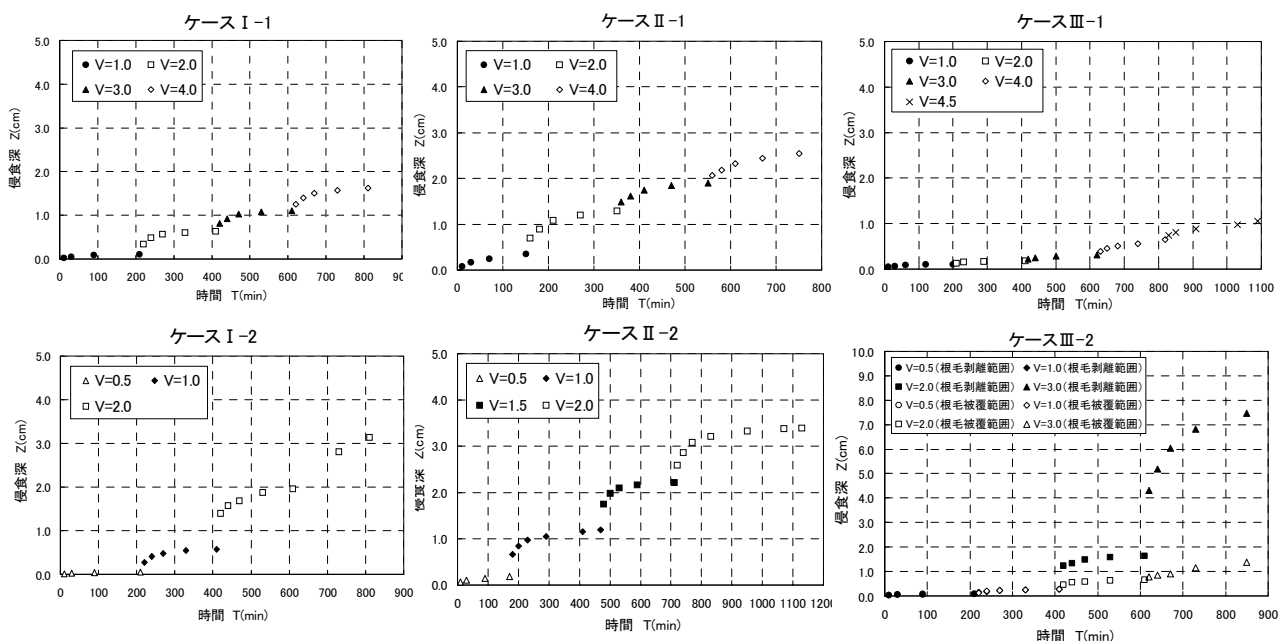


図-2 各供試体の平均侵食深の経時変化

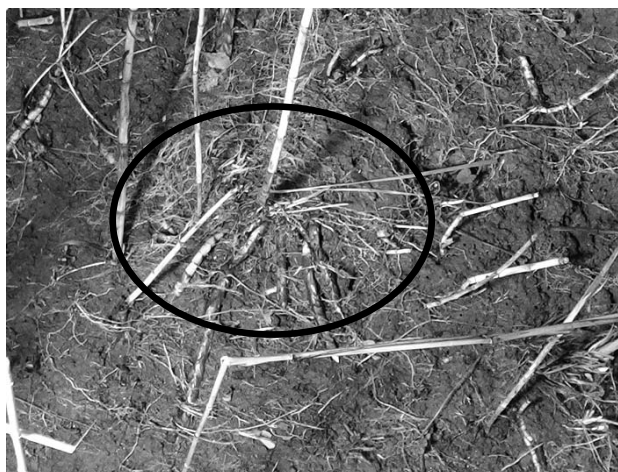


写真-1 茎の周囲に根毛が集中している状況

(以下、「根毛被覆範囲」という)と根毛が剥離して裸地化が生じている範囲(以下、「根毛剥離範囲」という)が確認されたため、上記の2つに分けて侵食深と通水時間の関係を示す。

全てのケースで、断面平均流速を段階的に大きくすると、平均侵食深が増加した。また、その増加傾向を見ると、各断面平均流速の通水初期に侵食が大きく進むが、通水時間が増すほど、侵食の進行は収まっていく傾向(以下、「対数型」という)が確認された。ケース I-2 は、対数型の傾向で侵食が進行していたものの、通水時間600分を経過した段階で、対数型の傾向から通水時間と平均侵食深が比例する傾向(以下、「直線型」という)に遷移した。

以降は各断面平均流速の通水開始から継続時間**minにおける侵食深を「 $\Delta Z(**min)$ 」と表記し、ケースごとの比較を行う。

a) ケース I-1及びケース I-2 (植生の有無による違い)

全ての通水を終了した後、供試体を確認したところ、一部、地表面に露出した地下茎は見られるものの、根毛を有する箇所は茎の周囲数cmのわずかな面積しかなく、土が露出した箇所が供試体の大部分を占めていた(写真-1)。よって、ケース I-1, ケース I-2において、根毛による耐侵食力(①)は影響が小さいと考えられる。

ケース I-1, ケース I-2で比較すると、侵食深に差が見られた。断面平均流速1.0m/sの場合、ケース I-1では $\Delta Z(200min)=0.1cm$ であったが、ケース I-2では、 $\Delta Z(210min)=0.5cm$ であった。また、断面平均流速2.0m/sの場合では、ケース I-1では $\Delta Z(200min)=0.5cm$ 程度であったが、ケース I-2では、 $\Delta Z(200min)=1.4cm$ 程度の侵食を受け、侵食の進行が収まった後、再度侵食が進行し、破壊に至った。

上記のことから、上部の植生が地表面付近に作用する外力を低減させる効果(②)の要因が大きく影響したといえる。

b) ケース II-1及びケース II-2 (植生の有無による違い)

ケース I-1, ケース I-2と同様の根毛の分布状態であったため、ケース II-1, ケース II-2においても、根毛による耐侵食力(①)の影響は小さいと考えられる。ケース II-1, ケース II-2ともに、ある一定流速下では対数型の傾向となったが、侵食深に差が見られた。断面平均流速1.0m/sの場合、ケース II-1では $\Delta Z(210min)=0.4cm$ 程度であったのに対し、ケース II-2では $\Delta Z(240min)=1cm$ 程度であった。断面平均流速2.0m/sでは、ケース II-1では $\Delta Z(120min)=0.8cm$ 程度の侵食が、ケース II-2では $\Delta Z(120min)=1.0cm$ 程度で



写真-2 地表面が根毛にて被覆されている状況



写真-3 根毛が剥離し、土が露出した状況

あった。

上記のことから、上部の植生が地表面付近に作用する外力を低減させる効果 (2) の要因が大きく影響したといえる。

c) ケースⅢ-1及びケースⅢ-2 (植生の有無による違い)

全ての通水を終了した後、供試体を確認したところ、ケースⅢ-1は地表面全面が根毛により被覆されている供試体であった。一方で、ケースⅢ-2の供試体については、根毛被覆範囲と根毛剥離範囲に分かれていたため、ケースⅢ-2の根毛被覆範囲との比較を行った。断面平均流速1.0m/sの場合、ケースⅢ-1では $\Delta Z(200\text{min})=0.1\text{cm}$ 、ケースⅢ-2では $\Delta Z(200\text{min})=0.2\text{cm}$ と両ケースともに侵食はほぼ生じていない。しかし、断面平均流速2.0m/sではケースⅢ-1は $\Delta Z(200\text{min})=0.07\text{cm}$ と侵食がほぼ生じていないのに対し、ケースⅢ-2では $\Delta Z(200\text{min})=0.4\text{cm}$ 程度の侵食が生じており、差が見られた。断面平均流速3.0m/sでは、ケースⅢ-1は侵食が $\Delta Z(210\text{min})=0.1\text{cm}$ 程度であるが、ケースⅢ-2では、 $\Delta Z(240\text{min})=0.7\text{cm}$ 程度の侵食が生じる違いが見られた。このことから、上部の植生が地表面付近に作用する外力を低減させる効果 (2) は効果を発揮しているといえる。

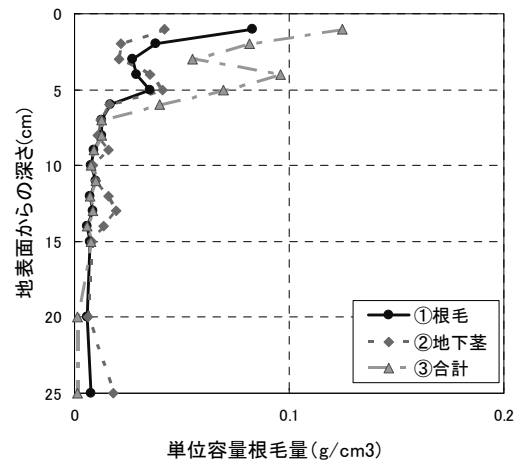


図-3 ケースⅢにおけるヨシの根毛及び地下茎量

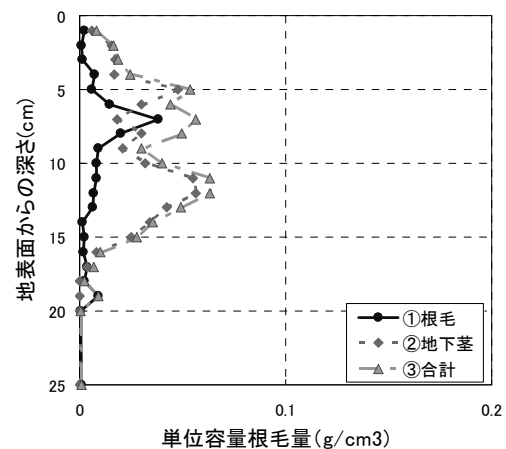


図-4 別河川におけるヨシの根毛及び地下茎量

d) ケースⅢ-2 (根毛の違い)

根毛被覆範囲は、根毛が複雑に絡み合い、層を形成しており、面的に分布している状態であった (写真-2)。根毛と土が活着している状態であったが、根毛剥離範囲は、根毛と土は活着しておらず、部分的に裸地となっている状態であった。

根毛被覆範囲における平均侵食深は断面平均流速3.0m/sを通水した実験終了時においても1.37cmであったのに対し、根毛の被覆剥離範囲の平均侵食深は7.48cmとなっていた。平均侵食深の差が生じ始めた断面平均流速2.0m/s時の状況を確認すると、根毛が生じてきており (写真-3)、土と活着していない状態が生じてきていた。また、断面平均流速3.0m/s時では根毛の剥離が進行し、平均侵食深が急激に増大する結果となった。上記の差から、ヨシの根毛は、耐侵食力があることが分かる。

過去実施された検討¹⁾によると、「地表面から深さ3cmまでの単位体積当たりの土中に含まれる根及び地下茎の総重量」を平均根毛量と定義しており、シバは0.5~0.7g/cm³程度、チガヤは0.1g/cm³程度であると報告されている。その際実施された侵食実験では、シバは、断面平均流速7.0m/sにおいても対数型の侵食傾向

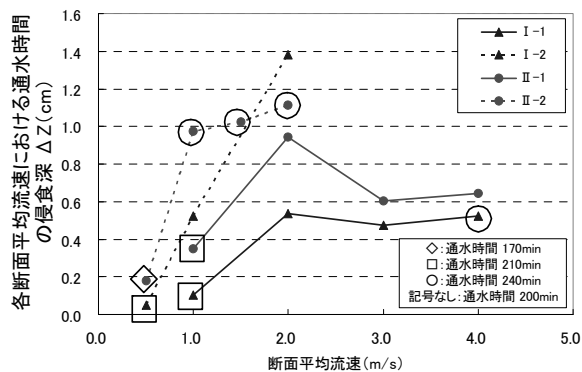


図-5 断面平均流速と各断面平均流速における通水時間の侵食深の関係

を示しており、チガヤは断面平均流速4.0m/sまで対数型の侵食傾向を示した後、断面平均流速5.0m/sに上げた際に直線型の侵食傾向に遷移していた。

一方、今回実験を行ったヨシについての平均根毛量は、0.3 g/cm³程度（図-3）であり、チガヤ以上の値を有していた。根毛被覆範囲においては、断面平均流速3.0m/s時においても対数型の侵食傾向を示しているが、根毛剥離範囲においては、断面平均流速3.0m/s時には平均侵食深が急激に増大する結果となっており、チガヤよりも平均根毛量が多いながらも、対数型の侵食傾向を維持できた断面平均流速はチガヤよりも低いという結果となった。

今回の実験にて用いた供試体では地表面付近の平均根毛量が多かったものの、別河川の堤防にてヨシの根毛量を調査した結果（図-4）では、平均根毛量が0.04g/cm³程度という結果が出ている箇所もあった。このことから、ヨシは、必ずしも地表面付近の根毛量が多いわけではないといえる。すなわち、ケースⅢ-1、Ⅲ-2におけるヨシの根毛の分布状況は必ずしも一般的とはいえない。従って、今回の実験で見られたような、根毛による耐侵食力の効果は全てのヨシに当てはまるものではないと考えられる。

(2) 断面平均流速と各断面平均流速における通水時間の侵食深の関係

断面平均流速と各断面平均流速にて200分間前後の通水を行った際の侵食量の関係を図-5に示す。なお、200分以外の通水した際データも用いているが、通水時間200分前後においては、いずれのケースも時間当たりの侵食量が0.1cm以下となっており、大きな差は生じないと判断したため、200分前後のデータを採用した。

全体の傾向としては、「植生有」のケースでは、 ΔZ が断面平均流速2.0m/sで一度大きくなるが、断面平均流速3.0m/sでは小さくなり、断面平均流速4.0m/sでも小さくは変わっていない。一方で、「植生無」のケースについては、断面平均流速を一段階大きくすると、 ΔZ も増加しており、「植生有」のケースとは異なる傾向

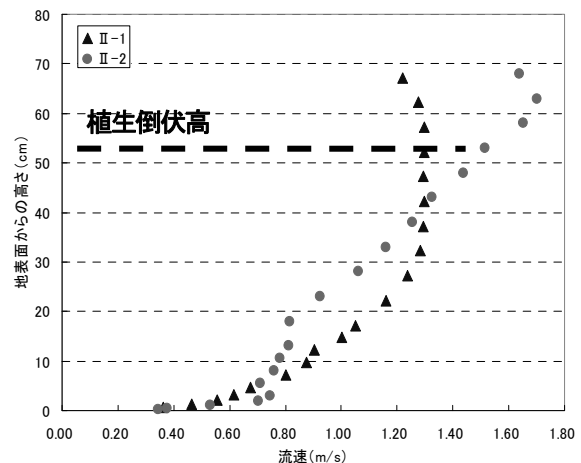


図-6 植生の有無による鉛直流速分布の違い

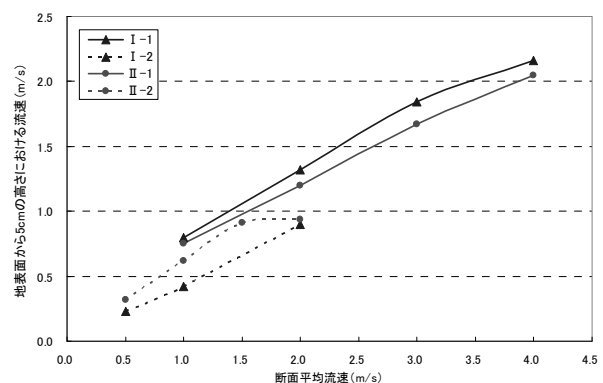


図-7 地表面から5cmの高さの流速と断面平均流速

を示している。

また、ケースⅠ-1とケースⅠ-2を比較すると、 ΔZ の値はいずれの断面平均流速においても植生無の条件であるケースⅠ-2の方が大きくなっており、植生の有無により ΔZ に差が出ていることが分かる。ケースⅡ-1とケースⅡ-2の比較においても同様に、植生無のケースⅡ-2の方が大きくなっており、植生の有無が影響していると考えられる。断面平均流速2m/s以下では、ケースⅠ-1とケースⅠ-2では、断面平均流速を上げるほど、 ΔZ の差が大きくなる一方で、ケースⅡ-1、ケースⅡ-2では断面平均流速1.0m/sを境に ΔZ の差が小さくなった。

(3) 地表面近傍における流速

ケースⅠ-1、ケースⅠ-2、ケースⅡ-1、ケースⅡ-2の供試体について、同一の断面平均流速時の地表面付近の流速の違いを整理した。一例として断面平均流速1.0m/s時におけるケースⅡ-1、ケースⅡ-2の鉛直流速分布を示す（図-6）。

鉛直流速分布を確認すると、ケースⅡ-1の供試体は流速が、底面に向かって減少する指数関数で近似可能な形状で低減している（地表面近傍を除く）のが確認でき、40cm程度の高さからの流速はケースⅡ-2>ケースⅡ-1になっているのが確認できる。しかし、地表面近傍にな

ると、再度ケースⅡ-1の流速が大きくなっており、地表面近傍の流速は植生がない場合の方が低減している、という結果が出ている。

地表面近傍の流速（地表面から5cmの高さ）と断面平均流速を整理したグラフを図-7に示す。同一の断面平均流速においては、いずれのケースも「植生無」の条件の方が地表面近傍の流速が低い、という結果となっている。上部の植生による流速低減効果については、詳細な検討が未実施であり、課題が残っている。

4. まとめ

- ① 高茎草本植物が繁茂している全てのケースにおいて、上部の植生が地表面付近に作用する外力を低減させる効果が影響している。
- ② 地表面付近に根毛を有しているケースでは、上部の植生がない場合においても平均侵食深が小さく、根毛による耐侵食力の効果は大きい。

- ③ 高茎草本植物が繁茂している場合の方が、植生を刈り取った場合に比べて、平均侵食深は小さいが、地表面付近の流速については大きい値が計測されており、流速に関する詳細な検討は課題として残っている。

参考文献

- 1) 国土交通省 河川砂防技術基準 維持管理編（河川編），2011
- 2) 建設省四国地方建設局・四国技術事務所：平成4年度河川環境整備に関する調査（河川植生に関する調査），1992
- 3) 宇多ほか：洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動，土木研究所資料第3489号，1997
- 4) 末次忠治，藤田光一，服部敦：流れによる変形を考慮した高茎草本植物の抵抗則，国土技術政策総合研究所資料第158号，2004

(2012. 4. 5受付)