

年2回の草刈りを行っている堤防のり面の耐侵食性の評価

Estimation of Erosion Resistance of the Levee Slopes Covered by
Vegetation Which is Managed by Two Cuttings per Year.

服部 敦^{*}・望月達也^{**}・藤田光一^{***}

By Atsushi HATTORI, Tatsuya MOCHIZUKI and Ko-ichi FUJITA

Levee slope protection by use of vegetation is more economical and suitable for river environment than ordinary protection constructed by concrete blocks. It is important for practical use of protection by use of vegetation to clarify the relation between erosion resistance and vegetation management. In this study, erosion resistance of the levee slopes covered by vegetation which is carried out most popular vegetation management, two cuttings per year, was estimated on the basis of results of levee survey which was conducted at six different rivers. Furthermore estimation method of frequency of cuttings per year was proposed to maintain higher resistance to erosion.

Keywords : levee, vegetation, erosion resistance, management

1. はじめに

植生には高い耐侵食性があることや植物の種類、生育状況など様々な因子が耐侵食性に関係することが、比較的古くから経験的に知られている。ただし、現状の経験的知識だけでは、例えば計画規模の出水時にも植生の耐侵食性によって堤防の侵食防止が行えるかといった具体的な判断が下せない。そのため、多少なりとも侵食の懸念がある堤防のり面には、高水護岸を整備しているのが現状である。今後の高水護岸整備の効率化、経済性や河川環境の向上を考慮すると、上記のような判断が行える手法を確立し、植生の耐侵食性を利用した堤防のり面の侵食防止工法としてまとめることが必要と考える。植生を利用した侵食防止工法を実用化する上で特に重要なのは、植生の耐侵食性と植生管理の水準との関係を明らかにすることである。植生管理のために費やせる経費には上限がある。それ以下の範囲で行われる植生管理で維持できる植物群落、すなわち耐侵食性によって、検討対象とした堤防のり面の侵食防止が可能であるかを判断することが、実状に即した経済的かつ合理的な侵食防止工の設置のために必要と考えるからである。

著者らは、植生の耐侵食性を利用した侵食防止工法を提案することを目的とした研究を行っている。その一部として、堤防のり面に繁茂する植物群落を対象にして、植生の耐侵食性の評価方法を提案した¹⁾。本研究では、著者らが提案した耐侵食性の評価方法と全国から選んだ6河川の一級河川堤防において実施した調査結果より、直轄河川において現在最も一般的に行われている年2回の草刈りによる植生管理が行われている堤防のり面の耐侵食性を評価した結果についてまとめて示すものである。さらに、より高い耐侵食性を発揮する植生を維持することによって堤防の侵食を防止するために必要とされる知見である、植生の耐侵食性の維持を目的とした草刈りの年間回数の設定方法を提案したものである。

* 建設省土木研究所河川研究室研究員 (〒305 茨城県つくば市大字旭一番地)

** 同研究室室長

*** 同研究室主任研究員、工博

2. 植生の耐侵食性の評価方法

ここでは、まず著者らが提案した植生の耐侵食性の評価方法およびその適用条件について簡潔にまとめて示すとともに、耐侵食性を表すパラメータを明示する（詳細については服部ほか¹⁾を参照されたい）。

実堤防のり面から採取したシバやチガヤが繁茂する供試体を用いた侵食実験²⁾によると、地中から洗い出された根毛が幾重にも重なって形成された層（以下、根毛層と呼ぶ）が、侵食過程にある地表面を被覆し、地表面に作用する掃流力を低減することから耐侵食性が発揮されること、および地表近傍に根が多く分布する植物ほど耐侵食性が優れていることが分かった。この実験結果より類推し、シバやチガヤと似た形態を有する植物が優占種である植物群落では、地表近傍の根の量が耐侵食性の優劣を支配する、すなわち耐侵食性を表すパラメータであると考えた。著者らは、地表近傍の根の量を表す指標として、平均根毛量 σ_0 を「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および地下茎の重量」として定義し、 σ_0 を用いた式(1)によって耐侵食性を評価することを提案した。

$$z_p \geq \alpha u \cdot \log t$$
$$\alpha = -50\sigma_0 + 9 \qquad z_p = 2\text{cm} \qquad (1)$$

ここで、 z_p (cm) は許容侵食深、 u (m/s) は摩擦速度である。式(1)の計算結果の一例を図-1に示す。許容侵食深や係数 α は、11種類の供試体を用いた実験結果を参考にして、式(1)による評価結果が安全側になるように設定している。

平均根毛量を耐侵食性を表すパラメータとしたことから分かるように、著者らが提案した評価方法は、植生の耐侵食性が主に根によって発揮される植物群落についてのみ適用できる。そのような植物群落とは、地表近傍に最大で1mm程度の直径の根が密に分布する植物が優占する植物群落であり、一般的に堤防のり面で見られるイネ科の多年草が優占する植物群落と考えている。また、流れの条件に関しては、越流のように水深が20cm

以下でかつ流速1~2m/s以上の高速流が生じる場合については適用できない。このような条件では、郡山らの報告³⁾によるとモグラ穴に代表される侵食弱点箇所での侵食が顕著に進行する侵食形態が生じる。その侵食形態は式(1)を提案するために行った実験とは異なるためである。モグラ穴に代表される侵食弱点箇所における侵食が顕著となる流れ場の条件については、現在研究中であり多くの知見がない。以下では、議論の簡単化のため、弱点箇所がない、もしくは弱点箇所からの侵食現象が顕著でなく、式(1)として示した評価方法が適用できる場合として議論を進める。なお、後述する堤防調査によると、モグラなどの動物が作ったと思われる穴が1個でも認められた調査区間は、全54区間中19区間（全体の約1/3）であった。

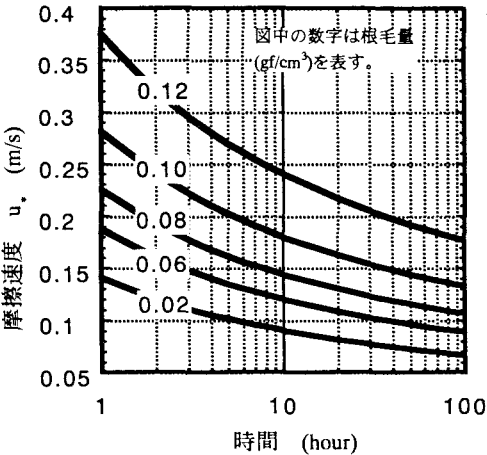


図-1 摩擦速度と時間の関係

3. 調査対象とした堤防および

調査方法の概要

調査対象とした各河川堤防における植生管理の内容、堤体土の種類、植生調査の概要について以下にまとめて示す。

3.1 調査対象とした河川堤防の特徴

調査対象河川を、東北、関東、中部、中国、四国、九州の6地方から一河川づつ選定した。各河川の堤防の調査範囲は、築堤年が異なる堤防区間が5区間以上含まれることを基本にして定めた。ここでいう築堤年とは、築堤や腹付けなどに伴っ

表-1 調査対象とした河川の特徴

河川名	地方名	経過年数	土質	植生管理方法	
				経過年数	管理方法および年間実施回数
阿武隈川	東北	4～12	砂質土	1年	施肥1回、手抜き除草1回
				2,3年	施肥1回、手抜き除草2回
				4年以降	ハド'ガイド' or 肩掛け式除草1回
小貝川	関東	2～17	シルト質砂	H4年以前	ハド'ガイド'式除草2回
				H5年以降	大型自走式除草2～4回
黄瀬川	中部	8～11	未調査	1年以降	薬剤散布2回
				1～3年	施肥1～2回
				2年以降	焼き芝1回
袋川	中国	5～12	未調査	1～3年	薬剤散布、手抜き除草各2回
				4年以降	大型自走式除草2回
吉野川	四国	4～10	礫質土	1～3年	手抜き除草2回
				4年以降	ハド'ガイド'式除草2回
遠賀川	九州	1～5	砂質土	1年以降	肩掛け式除草2回

て広い範囲に張りシバを行った年を意味する。調査対象とした河川名、調査対象区間の築堤年から今回の調査を行った1995年6～7月までの経過年数（以下、経過年数と呼ぶ）、のり面を構成する材料の土質、実施されていた植生管理方法を表-1にまとめて示す。植生管理のパターンとしては、築堤から長くて3年までの期間では雑草の手抜き、薬剤散布、施肥などを行い、それ以後では年2回の草刈りを何らかの除草用機械を用いて行うものが最も多い。この調査結果より、一般にいわれているように、年2回の草刈りが現在の平均的な植生管理方法であると思われる。また、築堤直後では張りシバの養生期間として草刈りに比較して高度な水準の植生管理が行われていることが分かる。

3.2 調査内容とその方法

各調査区間において (1) 植物の種類と被度、および (2) 平均根毛量の測定を行った。それらの調査方法を以下にまとめて示す。

(1) 植物の被度

被度とは、各種が地上を被う割合を、1～5の数字で表した尺度である。被度を表す数字が大きいほど、その植物が地上を被う割合が高い。被度の調査は以下の方法で行った。最初に、各調査区間の植物繁茂状況を概観し、その区間の代表的な植物群落を定めた。代表的な植物群落とは、調査対象区間において最も広くかつ均一に形成されていた植物群落を指す。代表的な植物群落は一つの調査区間内でも複数になる場合もあった。次に、それらの植物群落内の最も調査に適した範囲を調査地点として選定し、各地点において植物の種類と被度を調査した。なお、本研究で用いる被度は、のり面の総面積に対して着目した植物が被覆する面積の割合が分かるように、植物群落を構成する主だった植物の被度の合計が5～6になるように調整している。

(2) 平均根毛量の測定

各調査地点において平均根毛量を測定した。塩化ビニール管を用いた平均根毛量の測定方法の概略は以下のようである。まず、①選定した調査地点ののり面に塩化ビニール管を打ち込み堤体土を採取し、②地表面から3cmまでの体積 V の土中に含まれる根および地下茎を水で洗い出してそれらの総重量 w を測定し、③総重量 w /体積 V として平均根毛量を計算する。各調査地点の平均根毛量とは、上記測定3回の平均値である。なお、以下では上記の方法で測定した平均根毛量を式 (1) に代入することによって、年2回の草刈りが行われているのり面の耐侵食性を評価しようとするものである。そこで、第2章に示した植生の耐侵食性の適用条件を考慮して、以下のようにデータを再整理した。セイトカアワダチソウやオギなどのように、草丈が高く、地表面近傍に直径1cm程度の太い地下茎が主に分布する植物では、第2章において提案した平均根毛量を用いた耐侵食性を評価が適用できない。以下では、セイトカアワダチソウが優占種であった調査地点における平均根毛量の測定値は除外してデータ整理を行っている。ただし、セイトカアワダチソウが優占種となる植物群落が繁茂していた調査地点が含まれている河川は、吉野川のみであった。

4. シバの被度と平均根毛量の関係

シバの被度と平均根毛量の関係を整理した結果を図-2に示す。シバの被度に着目したのは、次の理由による。築堤や腹付けなどを行った結果として、堤防ののり面に裸地となる範囲が生じた場合には、そこに張りシバ工を行うのが一般的である。張りシバの施工後、遷移の進行に伴ってシバの被度が年々少なくなり、その被度の分だけいわゆる雑草が繁茂するようになる。従来の植生管理は、雑草の被度をどれだけ低くおさえるかといった観点で行われている。雑草の被度を低くするために必要な植生管理の方法および水準については、これまでに多くの調査（例えば、四国技術事務所⁴⁾）がなされており、そこから得られた知見が活用できる。したがって、シバの被度をイメージできれば管理の水準および方法が設定しやすいと考えられる。以上のように

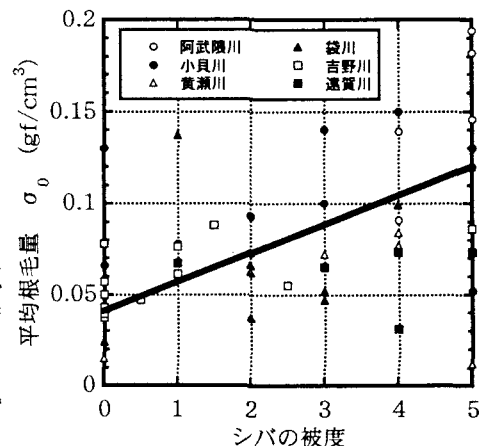


図-2 シバの被度と平均根毛量の関係

に張りシバ工が一般的に実施されていること、シバの被度の維持という観点で植生管理が行こなわれてきたことを考慮して、平均根毛量とシバの被度を関係づけることとした。

図-2に示した直線は、あるシバの被度に対する平均根毛量の概略の平均値を連ねた線である。プロットはシバの被度が大きくなるほど、平均根毛量が広い範囲に渡ってばらつく傾向が見られる。このばらつきは生育条件の差異によるものと考えられる。本研究では、ばらつきの要因となった生育環境の差異について議論することが目的ではないので、以下ではばらつきを容認した上で、シバの被度と平均根毛量の関係を議論する。ばらつきの平均値を表す直線に着目すると、シバの被度に伴い平均根毛量が大きくなることが分かる。以上の結果と図-1に示した耐侵食性の評価結果より、シバの被度が高い植物群落は耐侵食性に優れていると判断される。これは、シバ地は雑草が繁茂する場合に比較して耐侵食性に優れているという経験的事実と一致するものである。また、ばらつきの下限値側に着目すると、シバの被度に関わらず平均根毛量が0.03gf/cm³程度のほぼ一定値になることが分かる。この原因は明らかではないが、シバの被度が5であっても、平均根毛量が被度0の場合と同程度、すなわちシバ地であっても雑草ばかりが繁茂するのり面と同程度の耐侵食性になる場合があることを示唆するものである。

5. 年2回の草刈りを行っているのり面の耐侵食性の評価

直轄河川で現在最も一般的である年2回の草刈りによる植生管理を行っている場合、張りシバを行った後にシバの被度がどのくらいの期間でどれだけ減少するかを明らかにし、長期的に維持可能なシバの被度を想定する。次に想定したシバの被度より、図-1,2に示した平均根毛量による植生の耐侵食性の評価方法とシバの被度と平均根毛量の関係を用いて、年2回の草刈りを行っている堤防のり面の耐侵食性の評価を行う。

5.1 シバの被度の経年変化

年2回の草刈りを行っている堤防のり面における植生遷移に関する調査結果についてまとめて示す。なお、小貝川では築堤後5～7年の間に年3,4回の除草を行っている場合もあるが、年2回の草刈りを行っている河川で見られた遷移と大きな違いが見られなかったため、小貝川における植生調査結果も年2回の草刈りを行っている河川での調査結果と併せてまとめた。

シバの被度と経過年数の関係を図-3に示す。図-3には、既往の研究で今回行った調査と同じ内容の調査結果を示してあった北川ほか⁹⁾ および建設省四国技術事務所⁹⁾ による磐井川および吉野川（いずれも年2回の草刈りを行っている河川）のデータを併記してある。図-3によると、シバの被度は、経過年数が1,2年では遠賀川の1データを除き5であるが、その後被度が減少しはじめ、5～15年の間で0になることが分かる。以上より、張りシバ後に平均して約10年でシバがなくなり、雑草のみが繁茂する堤防になると判断される。

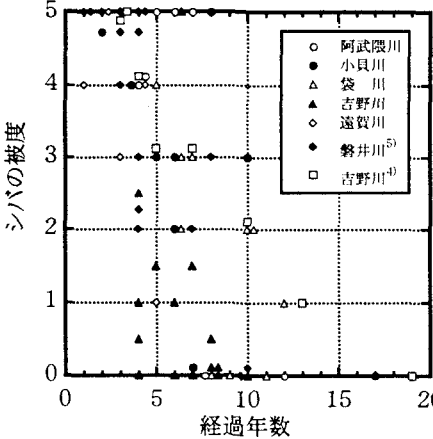


図-3 シバの被度の経年変化

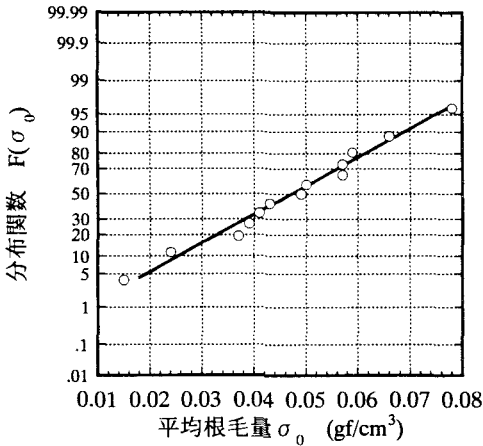


図-4 シバの被度0における平均根毛量の分布

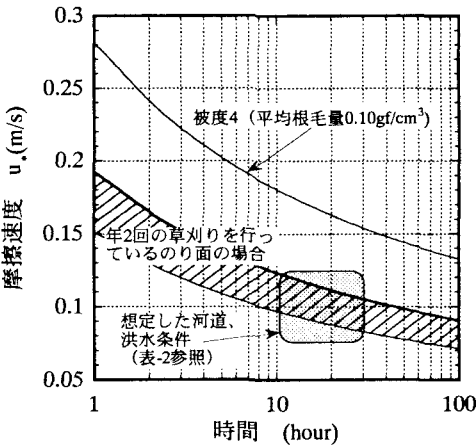


図-5 年2回の草刈りを行っているのり面の耐侵食性

5.2 耐侵食性の評価

表-2 想定した河道、洪水条件

高水敷上の水深(m)	3~4
高水敷の勾配	1/2,500~1/5,000
マンシングの粗度係数	0.03~0.04
平均流速(m/s)	0.7~1.7
摩擦速度(m/s)	0.08~0.13
冠水時間(hour)	10~30

シバの被度が0になるまでの約10年という期間は、堤防の侵食破壊が懸念される計画規模の出水のリターンピリオドに比較して短い。したがって、侵食防止の観点から年2回の草刈りによって維持できると判断される植生繁茂状況は、シバの被度0とするのが妥当と考えられる。図-3に示した被度0における平均根毛量のばらつきは、図-4に示すように平均値 0.047gf/cm^3 、標準偏差 0.016gf/cm^3 の正規確率分布で近似的に表せることが分かる。ここでは、シバの被度0の植物群落の平均根毛量を $0.047 \pm 0.016\text{gf/cm}^3$ の範囲と推定することにする。この平均根毛量の範囲を式(1)に代入して計算することにより、図-5に示すように年2回の草刈りを行っている堤防のり面の耐侵食性の評価できる。図中の斜線の範囲は、平均根毛量 $0.047 \pm 0.016\text{gf/cm}^3$ とした式(1)の曲線群が分布する範囲を表したものである。のり面に作用する摩擦速度とその作用時間のプロットがこの斜線の範囲より下の領域に位置する場合には侵食に対して安全、斜線の範囲内では侵食防止可、斜線の範囲より上の領域では侵食防止不可と判断する。なお、侵食防止不可とは、植生の耐侵食性によって侵食防止することが不可能であることを意味するもので、破堤することを意味するものではないことに留意されたい。図-5には、上記の評価結果の比較対象として、シバの被度4(平均根毛量 0.10gf/cm^3)の評価結果も併記した。被度4の場合に比較して、著しく耐侵食性が低下していることが分かる。

ここで、河道および洪水条件を想定し、図-5に示した評価結果の示唆する内容について考察する。現状の高水護岸の整備状況を総括すると、河床勾配が $1/1,000$ より急な扇状地を貫流する河川においては、大部分の河川堤防においてほぼ全面的に高水護岸が設置されている。したがって、ここでは高水護岸が未設置である堤防区間が比較的多く、かつ比較的河床勾配が急な河道区間を対象にする。また、高水敷の幅は十分に広く、高水敷上の流速がマンシング式によって近似的に計算できる⁶⁾ものとする。以上の条件に加え、計画規模の洪水時に生じるであろう高水敷上の水深 h 、堤防の冠水時間 t などを想定した結果を表-2にまとめて示す。この想定条件のもとで計算した摩擦速度 u と時間 t の関係を図-5に示した。表-2に示した条件での計算結果は、斜線の範囲で示した侵食防止可能と判断される領域にほぼ一致している。したがって、高水敷が十分に広く、高水敷上の流れが $1 \sim 1.5\text{m/s}$ 程度であれば、年2回の草刈りによる植生管理を行っている堤防で十分侵食防止できると考えられる。ただし、高水敷幅が狭い、またはないような場合には、堤防近傍の流速が低水路内の流速に近づくため、表-2に想定した条件に比較してより大きな侵食外力(摩擦速度)が作用すると思われる。また、高水敷が十分に広い場合であっても、大出水時には急な湾曲部の内岸側において、高水敷の侵食が生じるほどの高流速が生じる事例が報告されている⁷⁾。これらの場合には、植生によって侵食防止が不可なる可能性が高い。したがって、以上に示したような堤防近傍の流速が大きくなる堤防区間を優先して高水護岸を設置すべきであると判断される。この判断結果は、これまで行われてきた破堤に対する危険箇所を優先した高水護岸の整備のための基本的考え方と一致するものである。

6. おわりに

著者が提案した植生の耐侵食性の評価方法と堤防の植生調査によって、直轄河川において現在最も一般的な年2回の草刈りによる植生管理を行っているのり面の耐侵食性の評価を行った。得られた主たる結論を以下にまとめて示す。

①年2回の草刈りでは、張りシバ後から平均して約10年でシバの被度が0になる。シバの被度が0になるまでの約10年という期間は、計画規模の出水のリターンピリオドに比較して短い。したがって、侵食防止の観点から年2回の草刈りによって維持できる植生繁茂状況は、シバの被度0とするのが妥当と考えられる。

②年2回の草刈りによって維持できる植生繁茂状況における耐侵食性の評価結果を図-5に示した。この評価結果は、高水敷が十分に広い河道区間に比較して、高水敷がない又は狭いなどの理由により堤防近傍の流速が大きくなる堤防区間を優先して高水護岸を設置すべきであるという、従来の高水護岸の整備方針を改めて示唆するものである。

年2回の草刈りによる植生管理では、シバの被度を維持できないため、シバの被度が4程度に維持できると想定した場合に比べて著しく耐侵食性が低くなることを図-5を用いて指摘した。したがって、シバの被度を高く保てる植生管理が予算的に行えるような状況にある堤防区間では、高水護岸を整備しなくとも、植生管理によって侵食防止が可能となる。可能とするために必要な草刈りの年回数の設定は、例えば以下のような方法によって行える。

a) 平均根毛量の計算

評価対象とした堤防区間の侵食外力条件である摩擦速度とその作用時間を設定する。次に、第2章に示した耐侵食性の評価方法にしたがって式(1)に侵食外力条件を代入して、侵食防止可能な平均根毛量 σ_0 を計算する。この計算値以上の平均根毛量を維持することが、植生管理の目標である。

b) シバの被度の設定

a)において計算した平均根毛量と、図-2に実線で示したシバの被度と平均根毛量の関係を用いて、シバの被度を設定する。

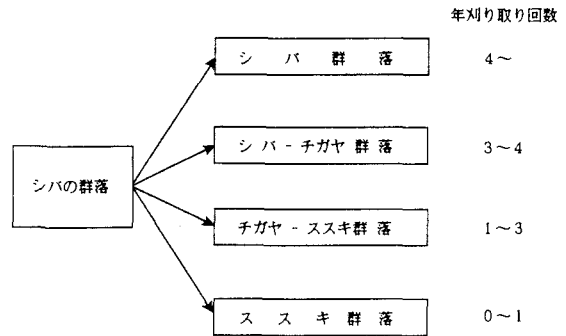


図-6 年間の草刈り回数と植物群落の関係

c) 草刈りの年回数の設定

四国技術事務所⁹⁾は、シバ群落からの遷移によって新たに形成される植物群落が図-6に示すように草刈りの回数に伴って変化することを報告している。図-6に従うと、シバの被度を4~5にするためには年4回以上、被度1~3では年3~4回、被度0では年3回以下の草刈りを行えばよいと考えられる。以上の関係を用いれば、b)において設定したシバの被度から、草刈りの年間回数が設定できる。

ただし、上記のような方法では、あくまでも「設定した」にすぎないので、実際の植生遷移および平均根毛量の追跡調査(モニタリング)を行い、その結果をもとに植生管理の水準および方法を再検討することも重要である。

以上に示すように、植生の耐侵食性によって侵食防止を行う場合には、耐侵食性の優劣が植生管理の水準の高さによって決まることが分かる。しかし、全国的に植生管理の水準を上げることは予算の観点から非常に困難であるのが現状である。したがって、植生の維持管理費用を現状未満とした条件下において、植生の耐侵食性を高めることができる技術が必要であると思われる。著者らは、その技術を開発すべく植生の耐侵食性を補強するシート状材料の開発を現在進めている。シート状材料の開発に関する研究を一例としたが、維持管理費用を低くおさえ、かつ高い耐侵食性を発揮する植物群落を維持する方法について検討することが、植生を利用した侵食防止方法を実用化する上で非常に重要な意味を持つと言える。

謝 辞

堤防調査は、建設省東北、関東、中部、中国、四国、九州地方建設局の協力によって行われたものである。また、建設省近畿地方建設局河川計画課課長補佐綾木基之氏には、著者らとともに堤防調査方法およびその実施に協力いただいた。関係諸氏のご協力にここに記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 服部 敦ほか：根毛層が発揮する耐侵食性の評価方法，第51回年次学術講演会概要集，pp.546~547.
- 2) 佐々木克也ほか：堤防のり面の耐侵食強度評価実験，第49回年次学術講演会概要集，pp.486~487.
- 3) 郡山秀樹ほか：越流を受ける植生のり面の耐侵食性に与える表面凹凸の影響，第51回年次学術講演会概要集，pp.548~549.
- 4) 建設省四国地方建設局・四国技術事務所：堤防の法面植生に関する調査（チガヤの耐侵食性について），19p.,1995.
- 5) 北川 明ほか：植生の遷移と堤防の管理，水工学論文集，第39巻，pp.883~886,1995.
- 6) 山本晃一：沖積河川学 堆積環境の視点から，山海堂，第1刷，pp.96~98,1994.
- 7) 藤田光一：空から見たミシシッピー・ミズーリ川の破堤形態，土木技術資料，37-10,pp.54~59,1995.