シナダレスズメガヤの繁茂量の違いを考慮した 土砂移動限界の変化および洪水時流失条件の評価 THRESHOLD OF GRAVEL MOVEMENT IN *Eragrostis curvula* VEGETATED ZONE AND ITS REMOVAL CONDITION BY FLOOD IN RELATION TO THE PLANT'S DENSITY AND GROWTH STAGE

八木澤順治¹・田中規夫² Junji YAGISAWA and Norio TANAKA

¹学生会員 修(工) 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255) ²正会員 工博 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255)

Field observation was conducted to elucidate the effect of *Eragrostis curvula* on the threshold of gravel movement at midstream of the Arakawa River. Under various hydraulic conditions (particle diameter, bed slope and water depth) and growth conditions (colony diameter and density of the plant), Shields parameter of the gravel in the plant-vegetated area was estimated using the drag characteristics of the plant and calculated friction velocity affected by the plant. Threshold of gravel movement of median grain size (d_{50}) and d_{84} (84 % of the grain weight) around the plants was evaluated by comparing friction velocity of the flow condition with the critical friction velocity affected by the plant's drag is equal to the critical friction velocity of d_{84} . The threshold condition related to *HI* (*H*:water depth, *I*: bed slope) and the drag by plant was validated for a flood in the Arakawa River and for two floods in the Yoshino River.

Key Words : *Eragrostis curvula, friction velocity, drag force, threshold of gravel movement, plant removal by flood*

1. はじめに

草本類が中州に入植すると、小規模出水時に土砂を捕 捉する役割を果たし、中州と低水路の比高差を拡大させ る要因となるため、中州が樹林化していく過程の初期段 階において、草本類の役割は大きいと考えられている¹⁾. 河道内の樹林化によって、①流水阻害や水位上昇(治水 上の問題)、②生態系の単調化、などの問題が生じる.

本研究で対象とする帰化植物シナダレスズメガヤ (Eragrostis curvula)も高水敷や中州に繁茂する草本類で あり、旺盛な繁殖力で河川空間を占有し生物多様性を減 じるだけでなく、洪水時には株背後に多量の土砂を堆積 させる²ことが知られている.そのため、2005年6月に施 行された外来生物法によって生態系に悪影響を及ぼしう る植物としてリストアップされており、人為的な駆除の 検討がなされているが、洪水攪乱によって自然流失され る条件を検討することも必要であると考えられる.

植物と流水抵抗との関係に関する研究は、近年盛んに

行われており(例えば福岡ら³⁾,前野ら⁴⁾, Tanaka et al.⁵⁾),植物の抵抗・粗度特性と流水との相互作用(抗力などによる変形とそれによる抗力係数の変化,植物の密集度⁶⁾)を考慮している.一方で,植物がどの程度の洪水で流失するかを示している研究^{7),8)}もある.これらの研究では洪水ピーク時における痕跡水位から無次元掃流力を算定し,洪水後の植物の流失状況と対応させることによって対象とする植物の流失条件を推定している.しかし,植物の流失条件判定において,植物の大きさや繁茂状態の違いによる底面せん断力の変化や,洪水時の植物の変形による抗力特性の変化は考慮されていない.

上記を踏まえた上で、どのような繁茂状態になった場合に、シナダレスズメガヤが洪水によって自然流失され 得るのかを判断することが重要であると同時に、河道管 理という観点から、人為的な除去が必要な繁茂状態を抽 出することも重要である^{7,9}と考えられる.

そこで、本研究では、シナダレスズメガヤの繁茂量の 違いを考慮し、植生繁茂領域における土砂移動限界の変 化および洪水時流失条件を算定することを目的とする. 一般的知見を得るため、様々な水理条件、繁茂条件(密度、株の直径)下におけるシナダレスズメガヤ周辺の摩擦速度を求め、それと50%・84%粒径の限界摩擦速度とを比較することによって上記条件を評価することとする.

2. 観測方法および解析方法

(1) 観測地および観測方法

観測は埼玉県熊谷市の荒川大橋上流約2 kmの砂礫河原 において行った(図-1). この地点における表層,地下50 cm層における砂礫の粒径は、ともに砂質分から粒径20 cm程度の礫であった.また、シナダレスズメガヤ群落 周辺における河床の粒度分布を把握するため、面積格子 法¹⁰⁾を用いて図中のB, C, D点において粒度分布調査 を行った. なお、本研究では土粒子の中央粒径 d。は粒径 加積曲線における50%粒径と定義した。荒川大橋上流地 点では、周辺より比高が高い場所において、流下方向に 200 m程度, 横断方向に40 m程度のシナダレスズメガヤ 群落が形成されており、この場所において植物特性の測 定を行った.シナダレスズメガヤの洪水時の粗度特性に 着目し,株の代表直径D_c (m),体積空隙率λ,葉茎高さ h_v (m), 曲げ剛性 EI_M (Eはヤング率(N/m²), I_M は断面二 次モーメント (m⁴)), 平面密度M (個/m²)を測定した. こ こに、λはシナダレスズメガヤ株の外周直径と、空隙を 無くした状態での直径を計測することによって算出した 体積空隙率であり、D_はシナダレスズメガヤ株を円柱形 と仮定した場合と体積的に等価な株直径とした⁹.株の 曲げ剛性EIMはForce gauge (AIKOH9550A)を用いて(図-2) , 河床から1/4h,の高さ(抵抗として大きく寄与するの は1/2高さ程度までなので、その半分の高さ)でシナダレ スズメガヤに力をかけ、その時の力と変位を測定するこ とから求めた. 荒川大橋上流地点で繁茂していたシナダ レスズメガヤは、株の代表直径が5~50 cm程度の範囲で あり, 葉茎高さ, 体積空隙率, 曲げ剛性, 平面密度を, それぞれ株の代表直径で整理した.

(2) 植物抵抗を考慮した無次元掃流力の算出

a) 計算条件の設定

様々な水理条件下におけるシナダレスズメガヤ周辺の 土砂移動限界の変化を把握するため、河床勾配Iおよび 水深Hは、それぞれI=1/100~1/1000、H=0.3~2.5 mの場 を想定した(表-1).山本¹⁰は中央粒径d_sと河床勾配Iとの 関係を調査しており、それを参考にするとI 1/1000~ 1/100から算出したd_sは3.5~5.9 cmとなる.しかし、図-3 に示すように、観測地点(河床勾配:1/375)の株周辺(株 背後の堆積土砂は含まない範囲で粒度分布を測定)での 中央粒径d_sは1~3 cm程度となっている(Point B,C,Dは図-1参照).観測地点のような交互砂州の砂礫堆では河道横 断方向に分級現象があるため、必ずしも河床勾配から得



図-1 現地観測地点における植生分布(上図)と場所による シナダレスズメガヤの繁茂状態の違い(下図) (A:小さい株が疎らに繁茂, B:大きい株が密に繁茂)



図-2 シナダレスズメガヤの曲げ剛性EIの測定方法 (Fは株を引っ張る力(N), h,はシナダレスズ メガヤの葉茎高さ(m)を表す)

られる中央粒径d,にならないと考え、本研究ではシナダ レスズメガヤ周辺の中央粒径d,は1~3 cmと設定した.

b)植物抵抗を考慮した摩擦速度の算出

植生繁茂状態の影響を考慮するためシナダレスズメガ ヤ周辺の摩擦速度は以下の力のつり合い式より算出した.

$$\rho u_*^2 A' + \frac{1}{2} \rho u^2 C_d A M = \rho g H I - \rho g h_v I \pi M (1 - \lambda) (D_c / 2)^2 \quad (1)$$

ここに、 ρ :水の密度 (kg/m³)、 u_* :摩擦速度 (m/s)、 A':1 m²から植生占有面積を除いた面積 (m²)、u:接 近流速 (m/s)、 C_d :抗力係数、A:流れ方向に垂直な投 影面積 (葉茎高さ h_v と代表直径 D_c の積) (m²)、g:重力 加速度 (m/s²)である.ただし、式(1)は沈水状態の式で あり、抽水状態の場合は h_v =Hとした.図-4に示すよう に株周辺の局所流により株周辺土砂のみが移動限界を 超えて洗掘が進行する静的洗掘では、洗掘深(h_{scour})が根の深さ(h_{rool})まで達することは難しい.そのため、洪水による植物の流失に着目した場合は、その場の平均的な土砂全体が移動する動的洗掘を考える必要がある. そこで、式(1)のように、単位面積で平均化された掃流力で土砂の移動限界を算出した.また、式(1)で摩擦速度を算出する際にエネルギー勾配ではなく河床勾配を用いた理由は、現場において植物の流失を簡易に判断する手法の提案ということに重点をおいたためである.

表-1に示した条件の他に式(1)から摩擦速度u*を求めるためには株の抗力係数 C_a が必要である. C_a に大きな影響を及ぼすパラメータのひとつとして倒伏角が挙げられていることから¹¹,流れによる倒伏角の影響を含んだ実験式¹²⁾より抗力係数 C_a を算出する際に,株が受ける抗力Fと現地観測より把握した曲げ剛性 EI_M を用いて,株の倒伏角 θ (本研究では植物が直立状態の時の倒伏角 θ =0°と定義した.**図**-2参照)を算出した.また,抗力Fの算出に必要な接近流速uは,福岡・藤田¹³による植生の影響を考慮した粗度係数 n_w を用いてマニングの平均流速公式から算出した.

$$n_{w} = (n_{b}^{2} + \frac{C_{d}}{2g}a_{v}H^{\frac{4}{3}})^{\frac{1}{2}}$$
(2)

ここに、 n_b :河床のマニングの粗度係数 (m^{-1/3}s), a_v :単 位体積中の植生の投影面積(m²)である。河床のマニング の粗度係数 n_b は、Stricklerが行った実験データを元にし て作られた式¹⁴⁾をfeet単位からm単位に修正して用いた。 (中央粒径 d_s はm単位)

$$n_b = 0.0617 d_s^{1/6} \tag{3}$$

c) 無次元掃流力の算出

式(1)より算出される植物抵抗を考慮した摩擦速度を 用いて、シナダレスズメガヤの株周辺の無次元掃流力を 算出した.これと砂粒直径を比較し、株の直径と掃流砂 粒径の関係を求めた.その際、無次元掃流力はShieldsに よって定義された以下の式を用いた.

$$\tau_* = \frac{{u_*}^2}{(\sigma/\rho - 1)gd_s} \quad ; \quad R_{e^*} = \frac{u_*d_s}{v} \tag{4}$$

ここに, τ*: 無次元掃流力, σ: 土粒子密度(kg/m³), R_{*}*: 砂粒レイノルズ数, v: 水の動粘性係数(m²/s) である.

本研究ではシナダレスズメガヤ周辺の土砂移動限界の 指標として50%粒径を用い,植物自身の流失条件を算定 する際の指標として84%粒径を用いた.山本¹⁵⁾はd₅₀(本研 究ではd_sと定義)とd₈₄/d₁₆ (84%粒径と16%粒径の比でd₅₀ の関数)の関係を調べている.本研究では,河床勾配か らd₅₀を求め,d₅₀からd₈₄/d₁₆の値を求めた後,正規分布仮 定して標準偏差を算出し,それにより84%粒径の値を算 出した.なお,84%粒径の無次元限界掃流力の算定には,







図-4 洪水後のシナダレスズメガヤ前面部における局所洗掘 の模式図(h_{scow}は洗掘深, h_{roa}は根の深さを表す)



図-5 株周辺の50%粒径,84%粒径の無次元掃流力が 無次元限界掃流力(それぞれ_{*cri}, _{**84cri})を下回 る繁茂状態の抽出に関するフローチャート

$$\frac{\tau_{*_{ci}}}{\tau_{*_{cm}}} = \frac{\log 19}{\log(19^{d_i}/d_{m})} \qquad (d_i / d_m \ge 0.4)$$
(5)

を用いた¹⁶⁾. ここに, τ_{*a} : 混合粒径を複数クラスに分類 した場合の第iクラスの無次元限界掃流力, τ_{*cm} : 平均粒 径 d_m (本研究では中央粒径 d_s とする)の無次元限界掃流力, d_i : 混合粒径を複数クラスに分類した場合の第iクラスの 砂礫の粒径である.

以上の方法を用いて、図-5に示す手順で、植物(本研 究ではシナダレスズメガヤの繁茂状態)により、50%粒 径、84%粒径の無次元掃流力が無次元限界掃流力を下回 る(土砂が移動しなくなる)限界値を算定した.

3. 解析結果及び考察

(1) 現地観測結果

図-6はシナダレスズメガヤ株の特性を示したものであ る. 葉茎高さはおおよそ株直径の0.5乗で大きくなり (図-6(a)),代表直径が0.1 m程度と小さい場合は高い密 度で繁茂するが、株が大きくなるに従って密度が小さく なることがわかる(図-6(b)). これは、株が大きくなる と,周辺のシナダレスズメガヤとの生存競争によって淘 汰されていくことが原因であると考えられる. また、シ ナダレスズメガヤが生長する過程で、株の内部から次々 と新しい葉茎を出すため、株の代表直径が大きくなるに 従って,体積空隙率が減少していた.また,代表直径が 大きくなるほど曲げ剛性 EI_M が大きくなり(\mathbf{Z} -6(c)),同 じ力をかけた場合、株直径が大きくなるに従って倒伏角 が小さくなることがわかる(図-6(d)).以上より、シナ ダレスズメガヤは生長段階(本研究では株の代表直径で 表現)によって、抗力特性が変化することがわかる. そ のため、植物の影響を含めた土砂の移動限界を推定する 際には、生長段階を考慮することが必要である.

(2) シナダレスズメガヤ周辺の土砂移動限界の解析

図-7(a)はシナダレスズメガヤ周辺において算出した 無次元掃流力_でと掃流砂粒径d_sを比較したものである.

シナダレスズメガヤの代表直径(その他は、図-6を反 映)と株の平面密度により、移動限界粒径は変化する. この関係は単位面積あたりの株の繁茂個数毎に作成され るものであるが、図-7(a)は、シナダレスズメガヤが単 位面積あたり1株繁茂している場合の例を示している. 代表直径D_cが0.5mの場合について、図の見方を説明する. 砂粒レイノルズ数とシールズダイアグラムから算出した 移動限界の無次元掃流力0.06を下回るのは、粒径が0.9 cm程度であることがわかる(これを移動限界の掃流砂粒 径d_{scri}、と定義する.矢印A).なお、本研究の計算条件 下では、砂粒レイノルズ数が1000以上(無次元掃流力が 一定域となる範囲)にあるため、上記のように無次元掃





表直径D_cと植物密度の関係、(c)株の代表直径D_cと曲げ 剛性EI_Mの関係、(d)株にかけた力Fと倒伏角θの関係 流力が0.06の場合を移動限界として移動限界掃流砂粒径 を求めた.他の株直径についても同様に求めることがで きる.次に、単位面積あたりの繁茂個数を変化させ、そ の個数に対応したd_{scri}を求め、株の代表直径との関係を 把握した.図-7(b)に現地観測地点におけるシナダレス ズメガヤ株の代表直径D_cと移動限界粒径d_{scri}の関係を株 の平面密度毎に示す.1m²に直径0.1mの株が16株存在し ていたとしても、中央粒径1 cmの土砂は移動するが、生 長して直径0.5 mの株になった場合には、1株でも中央粒

径1 cmの土砂の移動を困難にすることが予想される. 今後,現地において確認する必要があるが,上記のような現象が起こる理由として,0.5m株に比べ0.1m株の方が撓みやすく,投影面積の減少の度合いが大きいことに加え, 撓みによるC,変化を考慮したことが考えられる.



図-7 シナダレスズメガヤ周辺の土砂移動限界の解析
(*H*=1 m, *I*=1/400, *d_s*=1 cm); (a) 粒径*d_s*とシナダレスズ
メガヤ周辺の無次元掃流力との関係(*M*=1 colony/m²の
場合), (b) 株の代表直径*D_c*と移動限界粒径*d_{scri}*の関係
(実線は現地の粒径*d_s*=1 cmを示す)

(3) 土砂移動限界と植物流失条件判定の一般化

(2)では現地観測地点においてシナダレスズメガヤが 周辺の中央粒径土砂の移動限界に与える影響を解析した が、ここでは他の観測地点にも適用可能な一般化手法を 検討する. 表-1に示す水理条件を変化させ、図-7(a)、 (b) で行った処理を同様に行い、土砂の移動が困難とな る繁茂状態を把握した. 図-8は、洪水時の底面せん断力 を代表するパラメータHIと株の抗力を代表するパラメー タMD。15で評価したシナダレスズメガヤ周辺の土砂移動 限界と流失限界を表している.縦軸は、礫河原の水分・ 栄養分・日射量環境の下で繁茂可能なシナダレスズメガ ヤの繁茂量最大値を, 抗力に関連した指標(=繁茂限界 線=株の個数×流れ方向投影面積 $(h_D_c=D_c^{1.5})$: 現地観 測結果より植物高がDc⁰⁵に比例するため)で評価したも のである、図中の移動限界線は50%粒径、流失限界線は 84%粒径の土砂の移動が困難となる繁茂状態ということ で定義している.移動限界線の上側(MD¹⁵が大)の領 域では、その領域まで植物が繁茂していれば、それぞれ の粒径の土砂が移動しないということ、下側の領域 (MD_c¹⁵が小)の繁茂状態であれば植物繁茂により底面せ ん断力は減少するものの土砂が移動するということを表 している. 図中の50%粒径,84%粒径の移動限界線と繁 茂限界線の交点をA点, B点と定義する. A, B各点より 右側(HIが大)の領域では移動限界線が繁茂限界線を超 えているため、植物の繁茂状態によらず、土砂が移動す







る状態にあると判断できる.一方,A,B各点の左側 (HIが小)では繁茂状態に応じて植物の生育基盤である 周辺の土砂がせん断力によって移動するかを判断できる. 図中には、荒川の現地観測地点における5年確率洪水、 10年確率洪水、20年確率洪水のHIをあわせて示した。こ こで、荒川の現地観測地点における各確率洪水時の水深 は、当該地点より約10 km上流に位置する寄居水位・流 量観測所での各確率洪水時の流量¹⁵⁾を参考に、等流計算 を行うことによって求めた. 各確率洪水が示すHIとA, B各点との位置関係に注目すると、移動限界点を表すA 点は5年確率洪水と10年確率洪水との間,流失限界点を 表すB点は10年確率洪水と20年確率洪水の間に位置して いることがわかる. このことから, 現地観測地点のシナ ダレスズメガヤ周辺の土砂移動限界、流失限界を超える 確率洪水規模は、それぞれ概ね5~10年に1回、10~20年 に1回程度であることがわかる.

(4) 既往洪水によるシナダレスズメガヤ流失限界の検証

本研究で用いたシナダレスズメガヤの流失限界を解析 する手法の検証を行うため、荒川、吉野川の既往洪水に おける同植物の流失の有無(実績)と解析で求めた流失 限界の比較を行った.解析結果を図-9に示す.荒川での 検証として、2004年10月の洪水を対象とした.当該洪水 は概ね3~5年に1回規模の洪水であり、シナダレスズメ ガヤが繁茂する砂州の水深は1m程度であった.この洪

水によって流失したシナダレスズメガヤが無かったこと を洪水後の現地観測によって確認しており、図から流失 限界点(B点)を超えていないことがわかる.一方,吉野 川では2004年6月、8月に洪水(概ね5年に1回規模)があり、 6月の洪水時には砂州上に繁茂したシナダレスズメガヤ は流失されなかったが、8月の洪水時には、ほぼ流失し たことが確認されている¹⁷⁾. また, HIの算出にはシナダ レスズメガヤが繁茂していた砂州の洪水時におけるピー ク水深(6月洪水時:3 m, 8月洪水時:7 m)とエネルギー 勾配:(1/1000)を用いた. 植物流失地点における粒径は中 央粒径 d_o のデータが得られなかったため、 d_{00} = 4 cm¹⁷⁾ (d₆₀: 60%粒径)を用いた. 図中の流失限界点と各洪水の HIの位置関係に注目すると、6月洪水時には流失限界点 を超えていないが、8月洪水時では流失限界点を超えた ところにある.これは、観測事実を満足しており、解析 手法は有効であると判断できる. なお, 吉野川当該地点 における中央粒径d。(dmより小さい粒径)を用いて解析し た場合に得られるB点は、d₆₀を用いて得られるB点より 左側に位置すると考えられるため、上記考察に変化は生 じないと考えられる.

4. おわりに

本研究で得られた結果を以下に示す.

- 抗力を代表するパラメータ(MD¹⁵)と洪水時の底 面せん断力を代表するパラメータ(HI)を導出し、 シナダレスズメガヤ周辺の土砂移動限界・洪水時の 流失限界を把握した。
- 2) 荒川大橋上流地点の砂州に繁茂するシナダレスズメ ガヤに関して,移動限界,流失限界を超える洪水の 規模は,それぞれ概ね5~10年に1回,10~20年に1 回程度必要であることがわかった.
- 3) 吉野川の既往洪水におけるシナダレスズメガヤの流 失の有無と流失限界の比較を行った結果、吉野川の シナダレスズメガヤは概ね流失限界の限界値を超え たところで流失されており、本研究で用いた解析手 法は有効と判断された.

本研究で用いた解析方法では、現場において植物の流 失を簡易に判断する手法の提案ということに重点をおい たため、群落上を通過する流れと群落内の流れの流速差 による運動量輸送は考慮していない.しかし、実現象と しては考慮する必要があり、今後の課題である.

謝辞:中央大学研究開発機構の福岡捷二教授には、本研 究を取りまとめる際に多大な御助言を賜りました.また、 河川環境管理財団 河川美化・緑化調査研究助成(助成番 号:2005-1(ロ) 代表者 田中規夫),日本学術振興会科 学研究費補助金(基盤研究C:代表者田中規夫)の一部 を使用した.ここに記して謝意を表します.

参考文献

- 末次忠司・藤田光一・服部敦・瀬崎智之・伊藤政彦・榎本真二: 礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答,遷移および群落拡大の特性,国土技術政策総合研究 所資料,第161号, pp.1-6,2004.
- 中坪孝之:河川氾濫原におけるイネ科帰化草本の定着と その影響,保全生態学研究,第2巻,pp.179-187,1997.
- 3) 福岡捷二,渡邊明英,新井田浩,佐藤健二:オギ・ヨシ 等の植生の河岸保護機能の評価,土木学会論文集, No.503/II-29, pp.59-68, 1994.
- 4) 前野詩朗,渡辺敏,藤塚佳晃:簡易に得られる植物特性 値を考慮した水理解析モデルの精度向上の提案,土木学 会論文集,No.803/II-73, pp.91-104, 2005.
- Tanaka, N., Takemura, T. and Shirono, Y. : Flow structures and sand deposition behind a colony-type grass on a gravel bar, 31th IAHR Congress, pp. 476-477, 2005.
- Nepf, H.M. : Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation, *Water Resources Research*, 35(2), pp.479-489, 1999.
- 7) 鎌田磨人,小島桃太郎,岡部健士:河川砂州上に侵入し たシナダレスズメガヤを除去するに必要な洪水営力,応 用生態工学会第8回研究発表会講演集,pp.97-98,2004.
- 榎本真二,服部敦,瀬崎智之,伊藤政彦,末次忠司,藤 田光一:礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応 答,遷移および群落拡大の特性,河川技術論文集,第10 巻, pp.303-308, 2004.
- 9) 八木澤順治,田中規夫:礫河原における多年生草本シナ ダレスズメガヤの除去条件の評価,応用生態工学会第9 回研究発表会講演集,pp.183-186,2005.
- 10) 山本晃一:構造沖積河川学,山海堂, 2004.
- 武村武,田中規夫:株状粗度モデルに作用する流体力の 評価に関する基礎実験,水工学論文集,第49巻,pp.871-876,2005.
- 12)伊藤志穂、八木澤順治、田中規夫:シナダレスズメガヤ 周辺の土砂移動限界の変化と同植物の洪水時除去条件、 応用生態工学会第 10 回研究発表会講演集, pp.165-168, 2006.
- 福岡捷二,藤田光一:洪水流に及ぼす河道内樹木群の水 理的影響,土木研究所報告,180 号-3, pp.136-137, 1990.
- 14) Anderson, A.G., A.S.Paintal and J.T.Davenport: Tentative Design Procedure for Riprap Lined Channels, NCHRP REPORT 108, In : Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill Science, pp129-130, 2001.
- 15) 山本晃一,安田毅彦,松浦茂樹:河道特性論ノート[Ⅱ], 土木研究所資料 第1745 号, pp.51-57, 1981.
- 16) 土木学会, 水理公式集 平成 11 年度版, p.159, 1999.
- 17) 国土交通省四国地方整備局:第5回吉野川シナダレス ズメガヤ対策検討委員会資料.

(2006.9.30 受付)