

## ◆ 報 文 ◆

# 砂礫構造の違いによる河原植物の生育環境特性 —砂礫河原再生の考え方—

大石哲也\* 天野邦彦\*\*

## 1. はじめに

自然再生推進法の施行以降、各地で砂礫河原の再生が行われている。砂礫河原の再生の取り組みの多くは、過去に失われた砂礫河原の再生にとどまらず、樹林の伐採による治水安全度の向上、レジャー空間の創出、生物多様性の維持などの副次的な効果が期待できる。砂礫河原の再生事業として、先駆的な事例である多摩川、千曲川におけるものなどがある。これらの事業では、川幅水深比や河床に働く摩擦速度といった河道特性を考慮に入れた事業効果に対する工学的検討が進められている<sup>1)</sup>。これまでの検討の中で、植物の研究に限ってみれば、かつて砂礫河原に生育していたカワラノギク、カワラハハコなどの絶滅の危機に瀕した植物に関する研究が行われている<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。実際、多摩川では、現地にてカワラノギク再生のための実証実験が行われている<sup>1), 2)</sup>。しかし、カワラノギクの維持のためには、に生育する外来植物の抜き取りが欠かせない<sup>3)</sup>など、人為による管理が必要とされる。カワラノギクなどが多く生育していた時代と違い、近年、外来植物が急速に増えており、河川をとりまく周囲の環境そのものが変化していることの反映と考えられる。つまり、砂礫河原を再生すれば、カワラノギク、カワラハハコなどの生育環境が再生されるわけではないことを示唆している。実際に、1970年代以降に道路のり面の緑化材に利用されているシナダレスズメガヤ、オニウシノケグサ、ネズミムギなどの早期活着型の外来牧草が河川に侵入してきている<sup>4)</sup>。

これまでのところ、植物種と河原植物が生育する微地形環境については、1980年代以降、石川<sup>5)</sup> 李ら<sup>6)</sup> を始めとし、揖斐川、多摩川、千曲川での報告事例がある。ここでの研究では、地下水位からの比高、冠水頻度の違いから、生育する植物種を整理している。確かに、地下水位からの地表面

までの高さの差(比高)と植物種の生育場所とは、有意な関係があることが知られている<sup>5), 6), 7)</sup>。ところが、1つの河川において明らかとなった比高と植物の関係を、そのまま他の河川の事業現場へ適用できるとは限らない。実際、植物の水利用の観点から見ても、比高の違いが必ずしも植物の種類を決めているわけではない。また、比高のみの整理では、新しくできた裸地に植物が侵入してきた際にどのようなプロセスを経て発芽・成長に繋がりが、現在に立地しているのかが不明確である。

一方で、本研究でも取り上げているように、砂礫構造の違いからみた生育植物状況の比較に着目した研究事例も見られる。末次ら<sup>7)</sup> は、砂礫構造の違いを4つのタイプに分け現地調査を実施し、これらの比較を行っている。しかしながら、砂礫構造と植物種との関係については、やや定性的な記述にとどまっている。例えば、砂礫厚の違いにより生育する植物にどのような変化があるか、または、比高の研究結果と同様に植物が侵入してきた段階での条件については明らかにされていない。

以上の状況を踏まえ、本研究では、とくに、砂礫構造の違いが、河原植物の生育環境特性に及ぼす影響を確かめるため、現地調査・室内実験を行った。現地調査では、砂礫構造のタイプの違いにより、植物の生育量(植被率)がどの程度違うかを明らかにした。室内実験では、砂礫構造、灌水(水やり)頻度を変え、植物がどのような条件により発芽するかを検討した。本研究では、砂礫河原における植物の生育のプロセスを知るとともに、最終的には、砂礫河原を再生する際に、どのような河原が再生できるのかについての展望を示す一助になることを目的としている。

## 2. 現地調査および実験方法

### 2.1 現地調査

現地調査は、茨城県的那珂川(河口から30km～75km)、久慈川(河口から25km～45km)の砂州上に調査区を設定し、砂礫構造と植生調査を356地点において実施した(平成17年10月18～20

The Effect of Gravel and Sandy Riverbed Structures on the Germination and Growth Characteristics of River Grasses.  
- How We Rehabilitate the Gravel and Sandy Riverside -

日)。

調査においては、まず、砂州構造の上にパッチ状に成立している植物群落の状態を把握し、隣接する群落の影響を受けない最も典型的とみなされる所に、1m×1mの方形区を設置した。次に、調査区内の砂礫構造をタイプⅠ～Ⅴに区分し記録した。なお、砂礫構造のタイプは、砂礫の被覆率に応じてあらかじめ5つに分類したものである。それぞれの砂礫構造のタイプは、表層が礫100%で被覆され、最表層から礫を2層以上除去しても砂成分が確認できない(タイプⅠ)、表層が礫100%で被覆され、最表層を除去すると砂成分が確認できる(タイプⅡ)、表層が礫と砂から構成され、砂成分による被覆は10%未満(タイプⅢ)、表層が礫と砂から構成され、砂成分による被覆は10%以上(タイプⅣ)、表層に砂成分が堆積し、礫が全く見えない(タイプⅤ)とした(写真-1)。また、植生調査は、調査区内の全植被率、種名と植物種ごとの主根長を計測した。なお、主根長は、20cmを上限とした。

## 2.2 実験方法

現地調査で確認された植物および他の河川の河原でも現在多く見られる植物<sup>5),7)</sup>を対象に、植物の発芽・成長実験を行った。実験は恒温室にて行い、砂礫構造のタイプ、灌水頻度を変え、それぞれのタイプの生育状況の違いを確かめた。

### 2.2.1 対象とした種子と休眠解除処理

対象とした種子は、発芽時に光要求性の高い在来種(ヤナギタデ、メドハギ、ヨモギ)、外来種<史前帰化種含む>(シロザ、ケイヌビエ、コセンダングサ、セイタカアワダチソウ、アキノエノコログサ)とした。休眠解除のため、それぞれの種子を冷蔵庫(4℃)に2週間保存した。

### 2.2.2 礫構造作成

プランター(縦38cm×横14cm×高さ20cm)内に、図-1に示すような砂礫構造を作成した。砂礫構造は、現地調査時と同様に表層の砂礫の被覆率、砂礫層厚の違いからタイプⅠ～タイプⅤとした。

図中にある基礎土とは、細砂、シルト、粘土を用い、これらを比率8.5:1:0.5で混合したものである。作成した基礎土をプランター内に10cm入れ、休眠処理を施した種子をそれぞれのプランターに均等に播種した。最後に、短径2cm、5cmからなる礫を混在させ、タイプ別に割合を変え、基礎土の上に敷き詰めた。とくに、タイプⅠ、タ

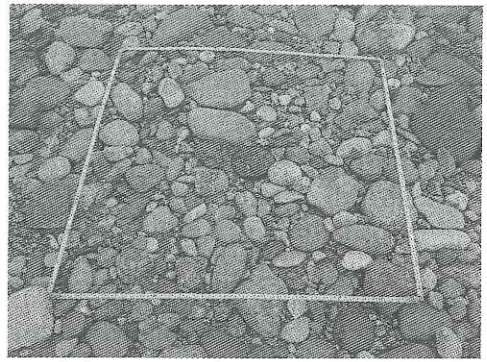


写真-1 現地調査区の設定(タイプⅢ)

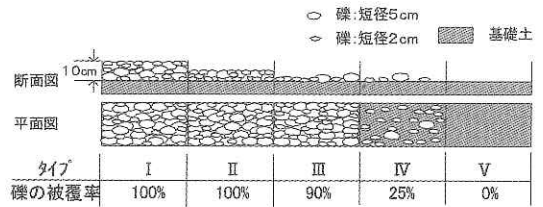


図-1 実験時の砂礫構造のタイプと礫の被覆率

イプⅡでは、隙間ができないように礫を敷き詰め、基礎土に光が届き難い環境を作った。

なお、基礎土で作成した細粒分の混合比は、実河川から採集したサンプル土(7検体)の粒度分布分析の結果を参考にして決定している。

### 2.2.3 環境条件の設定と測定項目

作成したプランターを恒温室に搬入し実験を開始した。明暗条件は、明期12時間、暗期12時間に設定した。温度条件は、明期に28℃、暗期に15℃とした。光源には、植物育成用蛍光灯(プランクルトス、FL40S-BRN、東芝社)を用いた。光量子量の測定には、LI-250A ライトメーター(LI-COR Co.)を用いた。なお、光量子の測定は、別途用意したプランター内にガラス板をはめ込み、その上に実験で使用するタイプと同様に礫を敷き、ガラス板下に透過する値を記録した。また、各タイプの光量子量は、プランター内の中央と4角の計5箇所を計測した。

土壌水分の測定には、FDR(Frequency domain reflectometry)型のDIK-311A土壌水分計(大起理化工業株式会社)を用い体積含水率を計測した。計測器の測定範囲は表層から6cmであり、炉乾法と比較し2~5%の精度誤差がある。

実験では、灌水の頻度を変えることで発芽・成長条件に差を付けた。灌水頻度は、3日おき、7日おき、14日おきの3パターンとし、水がプランター

の下部から抜けるまで十分に灌水を行った。

実験の記録は、3日おきとし、実験室内の温度、湿度、土壌水分の諸条件を計測した。また、発芽した植物については、種名、発芽数を記録した。実験は、約1ヶ月間行い、最終日に隙間の植物の胚軸、茎の伸展状態を記録した。

### 3. 結果

#### 3.1 現地調査結果

図-2に現地調査でのタイプ別にみた植被率を示す。タイプ別の植被率の平均値・中央値は、タイプIでは0%に近く、砂礫が少なくなるに連れて徐々に平均値・中央値が大きくなり、タイプIVでは全タイプの中で最も植被率が大きく、平均値・中央値とも約40%であり、分布の形状は正規分布に近いことを示している。一方、タイプVでは、タイプIVと比較し平均値・中央値が小さくなった。分布の形状は、植被率が小さい方に偏っていた。分布が偏った背景には、タイプVのような構造に生育する植物には2つのタイプがあったからである。1つは、水際から遠いオギのようなタイプと、もう1つは水際に近い場所で表層が中砂であるか、薄いシルト、粘土から構成されている場所に生育できる種（アゼナ、タネツケバナなど）である。いずれの場合も乾燥により表層に水分がなく、通常、多種の生育が困難なタイプであった。今回の調査では、後者が卓越していた。

図-3に植物種ごとの主根長を示す。平均して約6.5cmであり、多くの植物は浅い場所に主根を伸展させていた。とくに種から発芽する一年生植物であるアキノエノコログサ、ケイヌビエなどは、その傾向が顕著であった。一方、20cm以上の土壌厚を有した場所では、オギ、ススキなどのイネ科の多年生草本や、ヨモギなどの多年生広葉草本、セイタカアワダチソウが見られた。

#### 3.2 実験結果

表-1に計測したタイプ別の光量子量の平均を示す。タイプI～タイプIIIまでは、光量子量は0～0.21 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )であり、砂礫により光量子量が制限されていた。タイプIVから光量子量が大きくなり、タイプVでは約50 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )となった。

図-4にタイプ-灌水頻度別からみた観測期間中の体積含水率の変化を示す。体積含水率は、平均して0.2 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ )を示した。光量子量とは逆に、平均より体積含水率が大きいタイプは、タイ

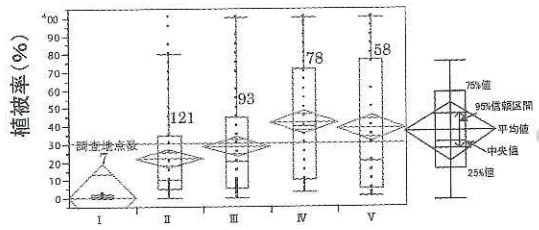


図-2 タイプ別にみた植被率

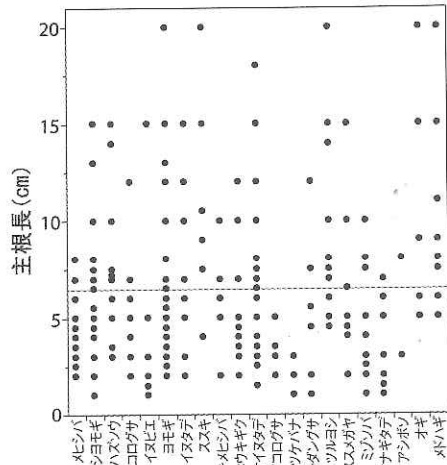


図-3 植物種と主根長の関係 (抜粋)

表-1 タイプ別の光量子量

礫層タイプ	I	II	III	IV	V
光量子量 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )	0.00	0.21	0.35	29.31	49.66

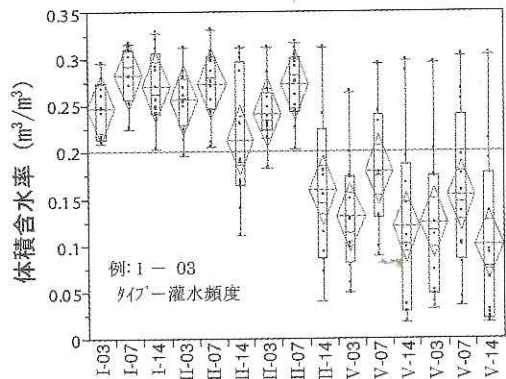


図-4 タイプ-灌水頻度別にみた体積含水率

プI～タイプIIIであった。一方、平均より体積含水率が小さいタイプは、タイプIV、Vであった。

また、I-14を除き、いずれのタイプにおいても、灌水頻度が14日のときに体積含水率の平均値は最小であった。

図-5に実験開始から実験終了時までの累積発芽数の変化を示す。発芽は、実験開始から3回目(6日目)の観測で、I-3、7、14およびII-7を除く実験区で確認された。また、ほとんどの実験区で観測3回目に確認された発芽数が最も多く、その後は、実験終了時まで徐々に発芽数が減少していった。

図-6にタイプ別にみた植物種ごとの累積発芽数を示す。どの実験区も灌水頻度に関わらず、コセンダングサ、アキノエノコログサの発芽数が多く、ヨモギ、メドハギの発芽数は少なかった。またI-14で1個体ずつケイヌビエ、コセンダングサが確認された。これらの発芽した場所をみると、礫層厚が部分的に薄く、礫間の僅かな隙間から基礎土へ光が届き発芽できたものと考えられる。なお、本実験では、ヤナギタデ、セイタカアワダチソウの生育は確認されなかった。実験終了後に改めて追試実験を行ったが、発芽しなかったことを見ると、種子が不稔であったことも考えられる。これら2種については、今後の研究でさらに明らかにしていきたい。

図-7に灌水頻度の違いによるタイプ別の植物の枯死率を示す。灌水頻度が3日おきのものは、7日、14日おきと比較し、各タイプで枯死率が最も小さかった。一方、灌水14日おきでは、タイプIV、Vの枯死率が90%を超えた。

図-8に実験終了時におけるタイプ別の生存個体数を示す。タイプIは、総個体数が最も少なく、タイプIIで約80個体、タイプIII~タイプVでは100個体を超えた。その内訳をみると、灌水頻度が3日おきのタイプの個体数は、40個体~60個体であった。灌水頻度が7日おきのタイプの個体数は、タイプIが最も少なく、タイプIIからタイプVへ向かうにつれ徐々に多くなった。灌水頻度が14日おきのタイプの個体数は、3日おき、7日おきと同様にタイプIが最も少なく、II、IIIで増加したものの、タイプIV、Vでは、個体数が激減した。

#### 4. 考察

前章までの結果により、砂礫構造が光や土壌水分率を決定し、植物の発芽・成長に影響をもたらしていることが示唆された。そこで、本章では、植物の発芽と成長に至るプロセスを知るため、砂

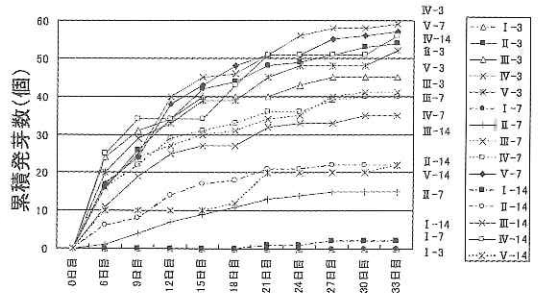


図-5 実験開始からの累積発芽数の変化

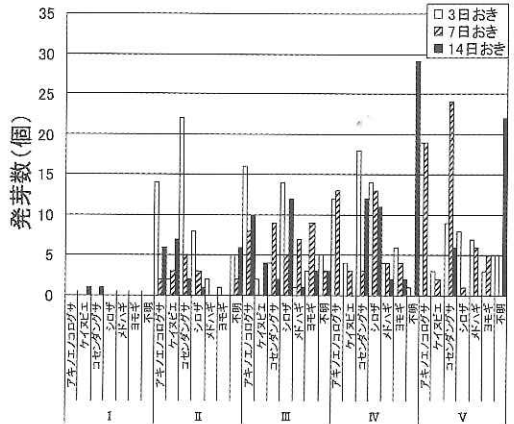


図-6 タイプ別にみた植物種ごとの累積発芽数

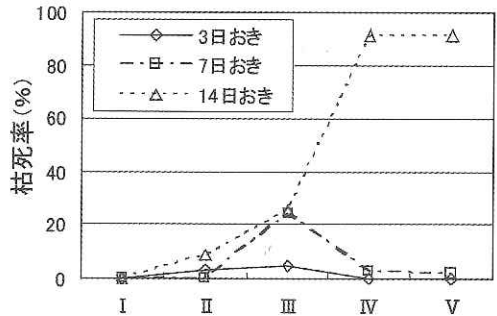


図-7 灌水頻度の違いによるタイプ別の植物枯死率 (実験終了時)

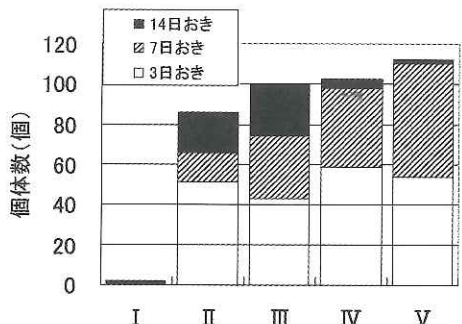


図-8 タイプ別の生存個体数 (実験終了時)

礫構造の違いが植物の生育に及ぼす影響について考察する。

#### 4.1 発芽

植物の発芽を支配する3大環境要素は、温度、水、光と言われている<sup>8)</sup>。今回の実験において、恒温室内の温度設定は28℃であり、関東地方の6月の平均気温に相当する。そのため、環境を阻害する温度とは考え難い。次に水の条件をみると、図-4に示すように、砂礫構造の違いから、土壌表面の体積含水率に与える影響がみられた。タイプIV、Vでは著しく体積含水率が減少したが、体積含水率そのものが、発芽数を抑制したわけではない。その証拠として、IV-14では、体積含水率の平均は2番目に小さいが、図-5、6に見られるように累積発芽数は多い。つまり、発芽に対する水分条件は、体積含水率が極端に低い場合でも可能であることを示唆している。発芽の過程では、第一に吸水により休眠が解除される<sup>8)</sup>ことからしても、今回対象とした種子では、IV-14のような含水率が低い場合でも、休眠を解除できるだけの十分な吸水があったと考えられる。

最後に光の条件を考えてみる。タイプIにみられるように、十分な体積含水率があったとしても、礫層が10cmで、基礎土に光が届かないような場所では、植物の発芽が抑制されていた。これは、図-2の現地調査結果からも確かめられており、8cmの礫層厚のときの植被率は0%に近いという結果であった。さらに、図-5に示されるように、礫の被覆率が減少するにつれて、累積発芽数が多くなるなど、少なくとも実験に使用した礫河原に生育する植物は光条件の影響により個体数が変化していると考えられる。

#### 4.2 成長

どのタイプも、発芽により礫上に出た葉に対する光条件は均等に与えられている。そのため、植物の成長には、根系が利用する箇所での土壌水分の状態が成長に対し重要な要素となる。図-4、図-7より、IV-14、V-14において、体積含水率の減少にともない、枯死率が90%を超えるに至った。この現象は、水分が成長の制限因子として働いた顕著な例を示している。そこで、以下では、灌水頻度14日おきの各タイプを取り上げ、IV-14、V-14で枯死に至ったプロセスとともに、砂礫構造の違いが植物の成長に及ぼした影響について考察を進める。

IV-14、V-14は、礫が少ないか全くない構造

であり、基礎土が直接大気中に触れる面積も多く、灌水頻度も少ないことも相まって、表層が乾きやすい状況にあったと考えられる。他の灌水頻度14日のタイプをみると、枯死率はⅢ-14で約20%、Ⅱ-14では約10%、Ⅰ-14では0%とタイプIV-14、V-14と比較しかなり低い。とくに、Ⅰ-14、Ⅱ-14では、図-4からも土壌中の水分は十分であったと考えられる。ところが、Ⅲ-14の体積含水率は、Ⅰ-14、Ⅱ-14よりも低く、むしろ枯死率の高かったIV-14、V-14に近い体積含水率であった。それにも関わらず、枯死率が低く、生存発芽数が多かった。この理由として、第一に、IV-14、V-14と比較し、僅かな体積含水率の違いが、植物の成長の可否に大きく関わったことが考えられる。このことは、農作物を作る際に土壌水分が減少すると作物が枯れるシオレ点 (wilting point) があることから理解できる。シオレ点とは、植物が成長する過程で、体積含水率の減少に伴い、生育に必要な水分を十分に吸収することができず、ついには植物が枯れてしまうことをいう<sup>9)</sup>。つまり、IV-14、V-14では、このシオレ点に至ったため枯死したことが考えられる。また、Ⅲ-14では枯死率が低かったことからすると、図-4より、体積含水率の中央値が0.1 (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) より小さくなった場合、植物の枯死率は高くなると考えられる。

第二に、砂礫量の多少が植物の成長を助けていたことが考えられる。Ⅲ-14では、基礎土を被覆する砂礫が90%と多く、実験終了時に礫下の状況を確認したところ、植物の根系は、礫と基礎の間の土壌水分が高い空間を利用していた (写真-2)。このことから、Ⅲ-14では、全体として土壌水分が低いにも関わらず、礫の割合が多いことで、礫と基礎の間の土壌水分の高い空間を利用し、植物は成長し続けたものと考えられる。また、このように礫と基礎土の間に根系がみられる現象は、タイプVを除く残りのタイプ全てで確認できた。

なお、今回検証できなかった地下水位との関わりや土壌の構成に伴う毛管作用などにより、土壌水分は変化してくる。これらは、植物の成長に影響を与える主要な因子と考えられるが、まだ未解明な部分も多く、今後の研究課題としたい。

## 5. まとめ

那珂川・久慈川での現地調査および実験をもとに、砂礫構造の違いからみた河原植物の生育環境特性について研究を行った。その結果、砂礫構造

の違いにより、植物の発芽・成長に必要な条件が制御されることや、逆に礫があることで、礫下の土壤水分が高くなり、植物の成長を促進していることが明らかとなった。さらに、一度発芽した種子は、礫があることで相当な乾燥にも耐えられることが明らかとなった。

本研究結果を踏まえ、砂礫河原再生現場への適用に当たって注意する点は、礫の被覆率だけでなく、礫の厚さにより、植物の生育が決まる点にある。とくに、砂礫層が5cmでは、被覆率が100%であっても、僅かに植物の発芽を制限するのみで、10cm程度の礫層厚がなければ、短期間で植物が繁茂に至る。近年、10cm以上の礫層厚を確保できる河川は少なくなりつつあるが、土木工学的には、本研究の成果を用いて植物が活着し辛い砂礫河原を再生することは可能である。ただし、そのためには出水等のインパクトにより表層に細砂分がたまり難い場所を選定する視点が必要となる。また、過去の写真のみにとらわれることなく、現在の流域状況から、どのような砂礫河原を目指すのか、事業実施後についても維持管理の問題も含め、あらかじめ展望を明らかにしておく必要がある。この際、現場を見る視点としては、現地での礫層厚を調べることはもちろんのこと、シルト・粘土といった細粒分の供給量や現場近くでの支川等からの土砂の供給や、河岸浸食の有無などが砂礫河原の維持に直接に係わっている。さらに植物の視点に立てば、乾燥に強い外来植物が上流に群生する河川においては、過去と同じような景観だけを優先させると、単に外来種の生育場を増やす事になりかねない。このように、砂礫河原の再生については、より一層の慎重な計画と管理が必要となる点に注意を要する。

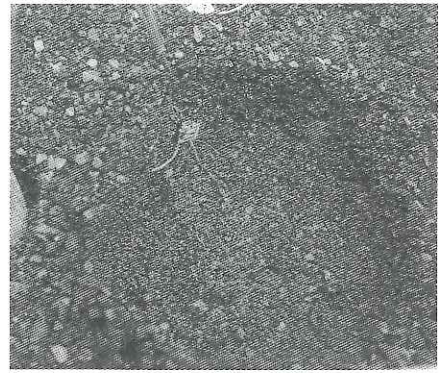


写真-2 礫下を利用する根系

- 6) 李 参照、藤田光一、塚原隆夫、渡辺 敏、山本晃一、望月達也：礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役割、水工学論文集, vol.42, pp.433-438, 1998.
- 7) 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—多摩川と千曲川の礫河原を対象として—、国土交通省国土技術政策総合研究所資料, vol.161, 148p, 2004.
- 8) 鷲谷いづみ：休眠・発芽特性と土壤シードバンク調査・実験法—(連載第1回)、保全生態学研究, vol.1, pp.89-97, 1996.
- 9) 川口桂三郎：土壌学概論, pp.116-123, 279p、養賢堂, 1977.

#### 参考文献

- 1) 河川生態学術研究会多摩川研究グループ：多摩川の総合研究—永田地区を中心として—、(財)リバーフロント整備センター, 818p, 2000.
- 2) 髙谷幸宏：多摩川永田地区の河道修復、応用生態工学, vol.5 (2), pp.233-240, 2003.
- 3) 倉本 宣、井上 健：多摩川におけるカワラノギクの生育地の特性についての研究、ランドスケープ研究, Vol.59 (5), pp.93-96, 1996.
- 4) 村上興正・鷲谷いづみ：外来種ハンドブック、日本生態学会, 390p、地人書館, 2002.
- 5) 石川慎吾：揖斐川の河川植生。I. 扇状地の河床に生育する主な種の分布と立地環境、日生態会誌, vol.38, pp.73-84, 1988.

大石哲也\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所水環境  
研究グループ河川生態チ  
ーム研究員、工修  
Tetsuya OHISHI

天野邦彦\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所水環境  
研究グループ河川生態チ  
ーム首席研究員、工博  
Kunihiko AMANO