

天竜川下流域における河道地形と 植生繁茂の変遷について

A STUDY ON THE VEGETATION EXPANSION AND TOPOGRAPHICAL CHANGE AT DOWNSTREAM REACH OF THE TENRYU RIVER

戸田祐嗣¹・高松伶介²・辻本哲郎³・土屋允人⁴

Yuji TODA, Ryosuke TAKAMATSU, Tetsuro TSUJIMOTO and Masato TSUCHIYA

¹正会員 博(工) 名古屋大学大学院准教授 社会基盤工学専攻 (464-8603 名古屋市千種区不老町)

²正会員 修(工) 藤コンサル株式会社 (451-0051 名古屋市西区上名古屋三丁目12番5)

³フェロー 工博 名古屋大学大学院教授 社会基盤工学専攻

⁴学生会員 学(工) 名古屋大学大学院 社会基盤工学専攻

In the present study, the topographical change and the expansion of riparian vegetation were investigated at the downstream reach of the Tenryu river, where the decrease of sediment supply due to dam construction and the resulting vegetation expansion were observed. It was found that the increase of the flood plain width during 1970 to 1980 induced the change of sandbar form from multiple bar to alternative bar, which stabilized the main channel of the river. Whereas the vegetation area tend to increase in recent years, the immigration and the destruction of the vegetation have still been active, and the renewal of the riparian vegetation is very high at the downstream reach of the Tenryu river.

Key Words: Tenryu river, vegetation expansion, morphological change, deposition of fine sediment

1. はじめに

天竜川は、フォッサマグナや中央構造線が交差する地域を流れており、流域に何本もの断層が走っているため脆い地質構造になっている。それに加え縦断勾配が1/300～1/500と急峻であるため山腹崩壊が起りやすく、本来、土砂生産が多い河川である。天竜川流域では、1936年竣工の泰阜ダムを皮切りに本川中流部(河口から約25kmの天竜市鹿島付近から約139kmの飯田市天竜峡付近)に発電のための堰堤が續々と建設された。これらは、治水面や経済発展に果たした役割が大きい反面、本来河川が有している流砂の連続性を大きく阻害するため、大量の土砂がダム湖に堆砂することによるダム貯水容量の減少、河川下流域への土砂移動量の減少、それによるダム下流河道での河床低下や河口部の海岸浸食などの大きな要因の一つになっている。

これらの下流への土砂供給に関わる課題にあわせ、現在、堆砂が進行した天竜川水系のダムにおいて、洪水調節機能を確保するためのダム再編事業が実施調査中である。平成18年度では、事業計画を立案するために必要な洪水調節容量の確保及び土砂移動の連続性確保に係わる調査・検討をしている。ダム再編事業に

よって天竜川水系下流域の河川環境上の問題や海岸域での土砂供給問題を解決するための第一歩としては、長期的な河道変遷の中で現在の天竜川の河道地形や植生繁茂状況がどのような状態に位置づけられるかを明確にしておく必要がある。

以上のことから、本研究では天竜川下流域における河道地形と植生繁茂の長期的な変遷過程を明らかにす

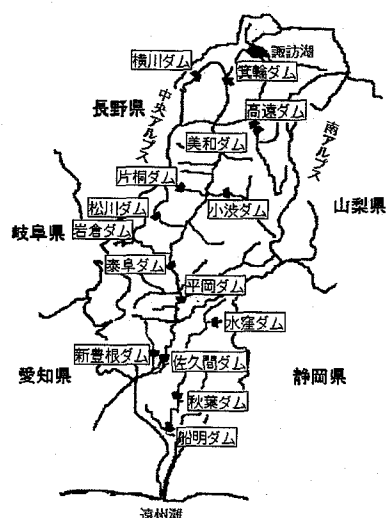


図-1 天竜川流域

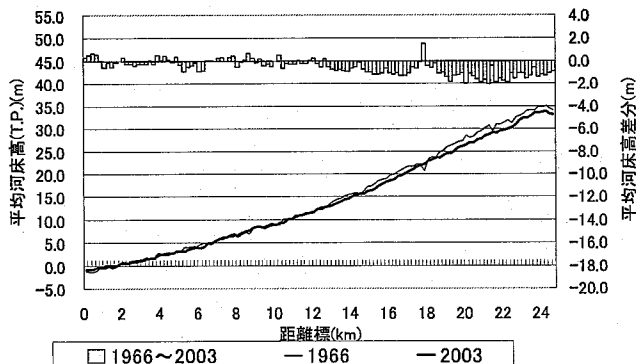


図-2 平均河床高の縦断変化 (文献2)をもとに著者が編集)

表-1 天竜川下流域河道の分類

Area1	Area2	Area3	Area4
0.4~6.0km	6.0~15.0km	15.0~23.0km	23.0~25.0km

ることを第一の目的とする。また、近年、天竜川下流域河道内に増加している河道内植生の繁茂動態の特徴と植生近傍での細砂の堆積状況を調査し、植生による細砂捕捉量を概算する。

なお、本研究は土木学会河川懇談会の課題として、浜松河川国道事務所との共同研究として実施されたものであり、水文、地形データ、航空写真については、浜松河川国道事務所より提供されたものである。また、2章で記す河道地形の変遷については、天竜川ダム再編事業環境検討委員会^{1), 2)}において既に検討が行われている内容を一部含んでいる。本論文においては、既検討の内容についても、節タイトルに典拠を記した上で記載することとし、それらを含めた上で河道地形や植生動態を総合的に考察することとする。

2. 長期的な河道地形の変遷

本研究で対象とする天竜川は、幹川流路延長213km、流域面積5,090km²で、諏訪湖の出口の岡谷市釜口水門から下流部分を国が管理する1級河川である。流域は静岡県、愛知県、長野県の3県にまたがり、全国で第9位の流路長の河川である(図-1)。流域は、諏訪湖から木曾山脈と赤石山脈の間を南西に下り大規模な河岸段丘が発達した伊那谷を形成している。山間部を蛇行・流下する中で多くの支流の合流を受けながら奥三河、北遠を南下し、下流部では浜松市二俣町鹿島から遠州平野を経て遠州灘へ注ぐ河川である。

(1) 縦断地形の経年変化²⁾

1962~2003年における河口から船明ダム(0~30km)区間の平均河床高の縦断分布とその変化量を図-2に、最深河床高の変化量を図-3にそれぞれ示す。平均河床高

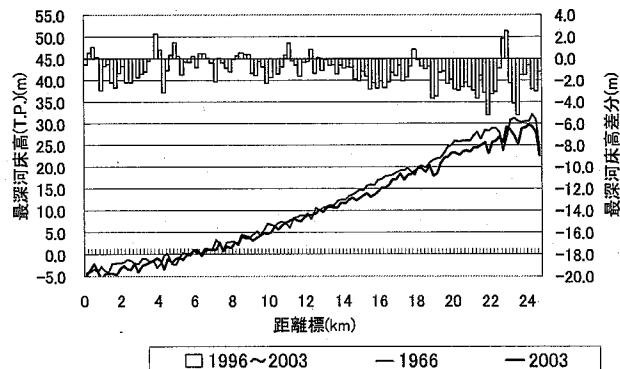


図-3 最深河床高の縦断変化 (文献2)をもとに著者が編集)

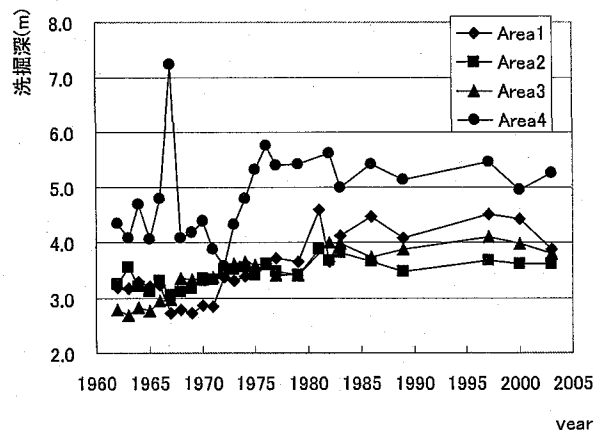


図-4 洗掘深の経年変化 (文献2)をもとに著者が編集)

と最深河床高は共に、全区間で河床低下傾向がみられ、なかでも河口より10km~30km区間で特に著しい低下が生じている。平均河床高と最深河床高を比較すると、最深河床高の低下量のほうが大きいことが分かる。

(2) セグメント分類

天竜川下流域を物理環境の変化からセグメント分割し、以降、セグメント毎の地形、植生分布の変化を検討することとする。

本研究における対象区間は河口を含むため、感潮域が存在する。感潮域を最深河床高が海拔0mよりも低いエリアであるものと近似すると、河口から約6.0km地点までがそれに当たる。よって河口から0.4~6.0kmを1つのセグメントArea1とする。

また、研究対象域である天竜川下流域は、天竜川が扇状地に流出し、遠州灘に注ぐ区間である。しかし天竜川下流域の上流部には、河岸の近傍まで山地が接近した山つき部がある。これは河口から23.0~25.0km地点であり、これを1つのセグメントArea4とする。

次に河床勾配を考える。河口から約15km地点までは河床勾配は上昇傾向を示しているが、河口から約15~25km区間では河床勾配がほぼ一定となっている。さらに、地形的にもほぼ河口から15km地点を境に下流側は自然堤防帯、上流側は扇状地となっている。これらの

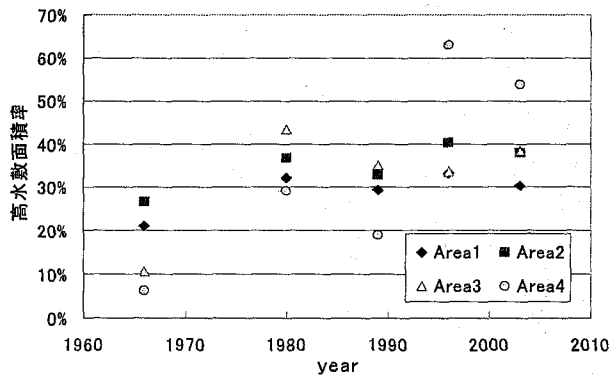


図-5 高水敷面積率の経年変化

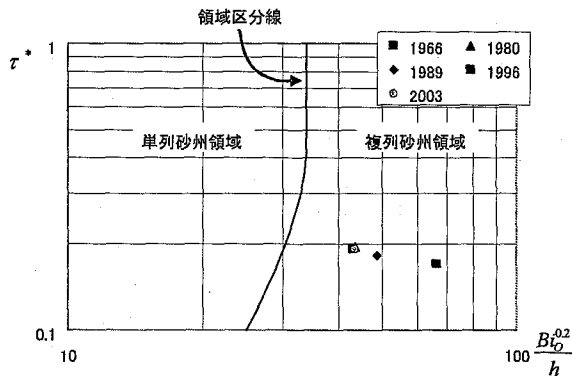


図-7 中規模河床波の発生領域

ことから、河口から15km地点を扇状地域と自然堤防帯の境界線とし、それより上流、下流側をそれぞれ一つのセグメントArea3, Area2として分割する。

以上のセグメント分割をまとめたものを表-1に示す。

(3) 洗掘深²⁾、高水敷面積率、砂利採取量²⁾の経年変化

平均河床高から最深河床高を差し引いたものを洗掘深と定義し、その経年変化を図-4に示す²⁾。洗掘深はすべての区間を通じて、1970～1980に増加し、その後、大きな変化が見られなくなっている。

本研究対象とする天竜川下流域の横断地形には、運動公園、駐車場、安定的な樹林地などで構成されている高水敷と、それ以外の水域・砂州域・植生域との境界に明確な比高差が見られる。本研究ではこの比高差を境界として、比高の高い部分を高水敷、低い部分を低水路と定義し、その変遷について考察を行う。

まずは200m間隔で存在する横断測量図を用いて高水敷・低水路境界部となる比高の急変部を抽出した。その後、横断測量線間での境界部を補間・抽出するため、比高急変部を航空写真上にプロットし、航空写真上での土地被覆形態の変化との対応状況から、高水敷・低水路境界部を抽出した。以上により求めた河道内の高水敷面積率の変化を図-5に示す。高水敷率は洗掘深と同様に1970～1980に増加し、その後、変化が小さくなっていることが分かる。この増加は、1970～1980に

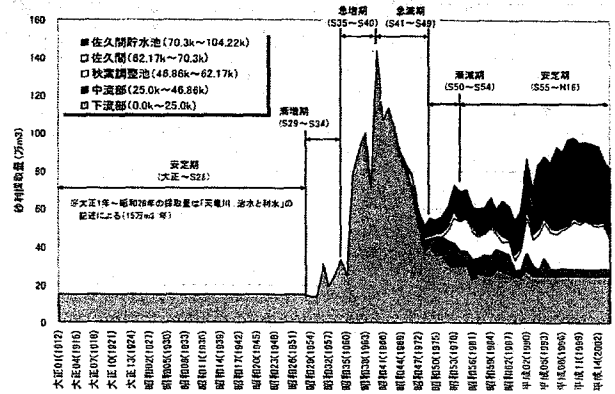


図-6 砂利採取量の経年変化²⁾

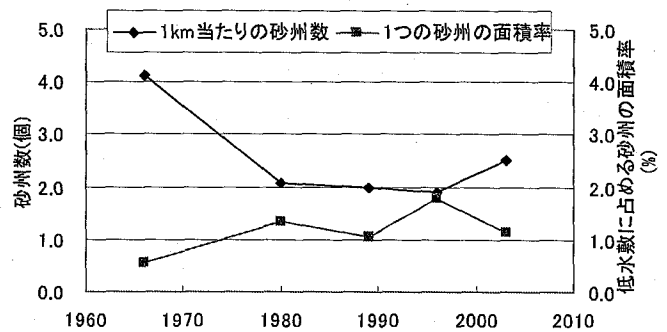


図-8 1km当りの砂州数と平均砂州面積

かけて行われた高水敷の人為的な造成によるものである。

図-6に天竜川における砂利採取量の経年変化を示す²⁾。砂利採取の最盛期は1960～1975であり、その後、採取量は低下し、近年では天竜川下流域においてはおおむね年間30万³⁾程度の砂利採取量となっている。

(4) 中規模河床形態の変化

天竜川下流域河道においては、上記のような高水敷幅の増加と低水路幅の減少により、砂州形態が複列砂州から単列砂州の発生へと変化している可能性が指摘されている²⁾。ここでは不安定解析による中規模河床形態の領域区分図(黒木・岸³⁾)を用いて、砂州形態の経時的な変化について検討することとする。黒木・岸の発生領域区分図³⁾に天竜川下流域の水文・地形条件をプロットしたものを図-7に示す。ここで、河床形態を規定する河川流量、川幅について、山本⁴⁾より流量について平均年最大流量、川幅について低水路幅を用いた検討が行われている。本研究においても、山本⁴⁾の手法に倣い、川幅については低水路幅を、流量については、各プロット年を最後に含む10年間(例えば、1966年のプロットでは1957～1966年)での平均年最大流量を用いることとした。図から、中規模河床形態は、1966年から1980年にかけて、依然複列砂州領域の中ではあるが、より単列砂州の発生領域寄りに遷移していること

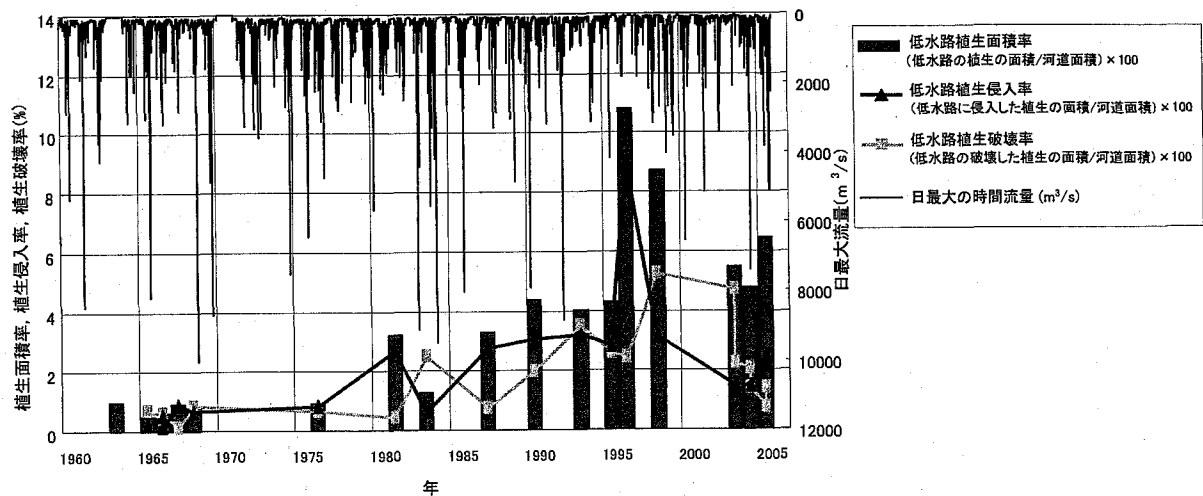


図-9 低水路植生面積率、植生侵入率、破壊率の経年変化

がわかる。その後、1989年に右よりにシフトしているが、概ね一定であると言える。これは前節で求めた洪水時に有効な川幅の減少と時間的にも一致する。

(5) 低水路内における砂州の経年変化

本節では流路の複雑さを、流路内の砂州に着目して検討する。そこで、まず対象年の航空写真から低水路内の砂州を抽出し、1km当たりの砂州数と、砂州1つ当たりが低水路に占める面積の割合の経年変化を図-8に示す。なお砂州1つ当たりが低水路に占める面積率は、区間内の砂州の総面積を低水路の面積で割ることで無次元化し、それを総砂州数で除することで算出した。図-8によると1km当たりの砂州数は減少し、1つの砂州が低水路に占める面積率は増加している。これらのことから流路が単純化し、1つ1つの砂州が大きくなっていることを示している。この現象は1966年から1980年にかけて顕著で、これは前述した河床形態が遷移している時期と一致している。

(6) 河道地形の長期的変遷のまとめ

以上の結果から、天竜川下流域の河道地形の変遷について、以下のとおりに整理される。

1960頃からの砂利採取の活発化と1970年代の高水敷の造成によって、下流域全区間に渡り平均的な河床の低下と低水路幅の減少が生じた。その結果、年最大流量程度の洪水が流れる川幅が減少し、中規模河床形態の発生領域としては、依然、複列砂州発生領域に位置するものの、より単列砂州の発生領域に近い方へと推移した。その結果、流下方向の単位河道長さ当りの砂州個数は減少し、かつての網状河川から単列砂州に近い河床形態が発生するようになった。それにより、河川の滞筋が安定化し、洗掘深の増加を引き起こしたもののと思われる。

3. 低水路植生の変遷

前章までの考察から天竜川下流域河道において滞筋の固定化や洗掘深の増加が生じていることが示された。このような流路の安定化は一般に砂州上への植生繁茂を引き起こすことが多い。本章では、天竜川下流域河道に置ける植生の繁茂量および繁茂動態について検討を行うこととする。

植生の繁茂動態の検討は航空写真を用いて行った。1960年代からの航空写真を収集し、写真から植生域を抽出した。航空写真は様々な季節に撮影されたものが混在し、季節によっては葉が枯れている場合もあるため、本研究においては枯れている植生もすべて植生域と判断した。抽出した植生域の面積から植生繁茂率を算出し、隣り合う撮影時期での植生域の比較から植生の侵入率、破壊率を算出した。なお、天竜川下流域の植生について、高水敷上の植生については、人為的に造成された高水敷上に繁茂したものが多く、直接的に河道の動態と関係のないと判断されるため、以下の解析では低水路内の植生についてのみ検討を行う。

図-9に河道に占める低水路植生の面積の割合、河道に占める新たに侵入した低水路植生の面積割合、河道に占める破壊した低水路植生の面積割合の隔年変化を示す。なお母数に値する河道の面積は、距離標より把握されている右岸、左岸の座標を利用して抽出したため各年一定値を与えている。図-7には第二軸として調査対象区間の上流にあたる河口より25kmに位置する鹿島観測所の時間流量データから得られた日最大流量の経年変化を示している。

1976年までは、裸地域面積が多く植生域面積が少ない。1976年以前に3000m³/sを超えるような比較的大きな出水が数年に渡り来っていない期間が数度あるが、植生域の増加は生じていない。このことから、1976年以前の天竜川では、後年に掛けて残存するような植生は少

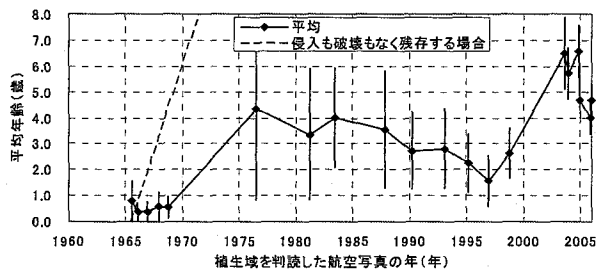


図-10 砂州植生の平均年齢

なく、植生域は侵入したとしてもほぼ全域が破壊されるといった状況であったものと判断される。

1976年～1981年にかけて一度 $5657\text{m}^3/\text{s}$ 程度の出水があるが、ほぼ流量が $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以下と流量が安定した期間が続き1983年に植生域は増加した。それ以降、低流量の期間が2～3年程度続くような期間には植生域の増加が生じていることが分かる。このように天竜川下流域では、緩やかな低水路植生の増加が進行しているものと判断される。

一方で、植生域の面積率と比較して、植生の侵入率、破壊率が匹敵する程度の値をとっている。このことから、天竜川下流域では植生繁茂が進行しつつも、依然、植生の交換が著しく、一旦侵入した後、破壊されないよう安定植生域の形成には至っていないことが分かる。

航空写真で判読した植生の侵入時期を用いると、ある時点の砂州上の植生が何時侵入したかを計算することが可能である。その結果を用いて、ある時点の砂州上の植物の侵入してから経過時間（以降、砂州植生の平均年齢の記す）を算出した結果を図-10に示す。図中のプロットについて、隣り合う撮影時期の航空写真の比較からでは、実際に植生が侵入した時期を正確に把握することが出来ないため、仮に撮影時期のちょうど中間の時期に植生が侵入したと仮定して計算したものを四角のプロットで示し、隣り合う撮影時期の写真のうち古い方の写真が撮影されたときに侵入したとして計算した平均年齢と新しい方の写真が撮影されたときに侵入したとして計算した平均年齢との振れ幅をバーで示している。図より、植生の平均年齢は1960年代と比較すると、1975年以降、長くなっており、特に2000年以降に大きく増加している。但し、現時点でもその平均年齢は4～6年程度であり、依然、植生の交換が活発であることを示している。

前章で考察した河道地形の変遷と本章で検討した低水路植生の変遷について総合的に考察すると、天竜川下流域河道の植生動態について、以下のシナリオで変遷が進んだものと考えられる。

本来、網状河川である天竜川では、植生は侵入してもすぐに破壊されるため、1976年以前に見られたように比較的大きな洪水が来ない時期が続いたとしても、低水路植生の繁茂率が低い状態が続いていた。その後、

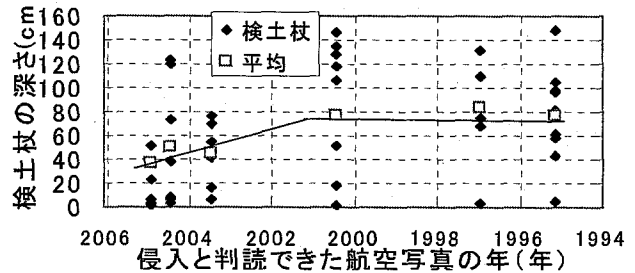


図-11 砂州植生の年齢と検土壌厚

高水敷の造成、砂利採取に起因して、中規模河床形態の変化や滞筋の固定化が生じた1976年以降については、砂州地形が安定化し、比較的大きな洪水が来ない期間には低水路植生の侵入、拡大が生じ緩やかに植生の繁茂率が上昇した。しかし、依然として植生の破壊率も高く、安定植生域の形成には至らず植生の交換が活発な状況を維持しているものと判断される。

4. 砂州植生域による微細土砂の堆積

(1) 検土杖調査概要

本章では、調査対象区間中に位置する河口より10km～14km区間の右岸における砂州の物理環境と植生の立地環境の関係を明らかにするために検土杖調査を行った。調査は対象砂州内に存在する3つの大きな植生群落内で実施し、1群落につき15～20地点で検土杖厚を調べた。対象砂州は、粗粒砂、細粒砂と堆積土砂の粒径の幅が広く存在し、植生繁茂状況も成長初期段階のものから十分に成長し樹林化している地点までが含まれており、航空写真等の比較からも、天竜川下流域を代表する砂州であると判断した。

(2) 細砂の堆積と植生侵入時期の関連

植生侵入時期を判読した2005年12月の航空写真上に検土杖調査地点をプロットし、検土杖の深さと植生侵入時期の関係を考察した。現在撮影された航空写真がないため、2005年12月の航空写真上に2006年12月の検土杖調査のデータプロットした。なお植生侵入の判読に撮影時期が異なる2枚の航空写真をもちいるため、2つの撮影時期の間のどの時点で植生の侵入が生じたかを判断できない。そこで植生侵入期間内で最も早く植生が侵入した場合（2つの航空写真のうち古い方の写真が撮影された時期）、最も遅く植生が侵入した場合（2つの航空写真のうち新しい方の写真が撮影された時期）を求め、その平均値を植生侵入時期とした。以上から得られた植生侵入時期と検土杖厚の関係を図-11に示す。

植生侵入時期が同じであっても、その近辺の土壌の検土壌厚には大きなばらつきが見られる。これは植生

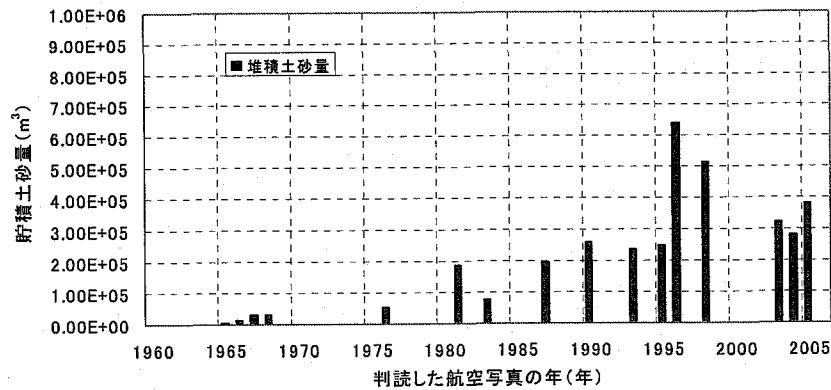


図-12 砂州植生域での貯積細砂量

群落の平面的な位置によって、洪水時に土砂を捕捉しやすい場所に生育しているか、侵食傾向の位置に立地しているのかが異なるためと思われる。植生が侵入してから経過時間のみで検土厚さを見積もるのには精度上の限界があるものと思われる。しかしながら、植生が繁茂するとおおむね50～120cm程度に渡る検土厚の堆積厚となり、土砂輸送、植生の交換・更新の活発な天竜川においても低水路植生は細砂を堆積させることを示している。

(3) 低水路植生による細砂貯積量の概算

植生の侵入時期と検土厚の平均値について、図-11中に描かれた近似直線に相当する植生が侵入してから経過時間（以降、植生の年齢と記す）と細砂の堆積厚の相関式を算出した。各撮影時の植生の年齢とこの相関式を用いて、植生域での細砂堆積厚を概算し、それを空間的に積分することによって、各撮影時点における植生域での細砂貯積量を概算した。当然、図-11に示されているように、植生の年齢とその地点の検土厚の間には大きなばらつきがあるため、概算された土砂貯積量の精度は極めて低い、植生域に捕捉されている細砂量についてオーダー程度の検討を行った。

以上の手法により算出した河道内低水路植生による細砂貯積量の経年変化を図-12に示す。2003年からの3年間は年内に2度航空写真を撮影しているため、図中に別途、拡大表記した。

細砂貯積量の概算値は2006年度で300,000m³程度となっており、図-6で示された14～25kmの近年の砂利採取量に匹敵するオーダーとなっている。現在、遠州灘での海岸侵食問題解決のために河川からの土砂供給が必要となっているが、植生域に捕捉されている細砂は粒径が0.2～1mm程度とちょうど海岸侵食対策に必要とされる粒径に相当している。現時点では、天竜川の低水路植生は交換・更新が活発なため、植生域が細砂を捕捉したとしても、植生の更新に伴って時間差を持って海域へと運搬されるが、今後、植生の繁茂が進行し、安定植生域の形成といった不可逆的な状況へ推移すると、低水路植生繁茂率で10%程度の増加でも、年間の

土砂採取量に匹敵するオーダーの土砂を、それも細砂を選択して、植生域が捕捉することになる。

5. まとめ

本研究は天竜川下流域河道について、河道地形と植生繁茂の長期的な変遷について検討を行った。また、植生域に捕捉されている細砂量を概算した。本研究で得た結論を以下に記述する。

- 1) 天竜川下流域河道では、高水敷の造成、砂利採取の影響により、中規模河床形態の変化、洗掘深の増加、滞筋の固定化が生じている。
- 2) 天竜川下流域河道では、低水路植生域の緩やかな増加が生じているが、依然、洪水による破壊や侵入が頻繁に生じており、安定植生域の形勢には至っておらず、植生の交換が激しい河道である。
- 3) 植生域に貯積される細砂量は、近年の砂利採取量に匹敵するオーダーになるものと概算された。

謝辞：本研究は河川懇談会（平成18年度開始課題、浜松河川国道事務所）の助成を受けたものである。地形データ、航空写真データ提供にあたっては、浜松河川事務所の折原正人氏、中日本航空株式会社の千田良道氏には多大なご協力を頂いた。深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省中部整備局浜松河川国道事務所：天竜川ダム再編事業環境検討委員会第1回委員会資料，2006。
- 2) 国土交通省中部整備局浜松河川国道事務所：天竜川ダム再編事業環境検討委員会第2回委員会資料，2006。
- 3) 黒木幹男・岸力：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究，土木学会論文報告集，第342号，pp.87-96，1984。
- 4) 山本晃一：沖積河川学—堆積環境の視点から—，山海堂，pp.17-46，1994。

(2007.4.5受付)