

中小河川における天然河岸の 保全手法に関する研究

千葉武生¹・萱場祐一²・尾澤卓思³

¹工修 独立行政法人土木研究所 水循環研究グループ 交流研究員
(〒501-6021 岐阜県羽島郡川島町笠田町官有地無番地)

²正会員 工修 同上 主任研究員 (〒501-6021 岐阜県羽島郡川島町笠田町官有地無番)

³正会員 同上 上席研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

本研究では都市化の進行や河川改修により減少してきている天然河岸を保全するための手法及び技術の確立を目指し、天然河岸の実態把握、河岸強度の定量化手法についての検討を行った。空中写真を用いて天然河岸の分布状況を把握した結果、神奈川県内の天然河岸は著しく減少していることが明らかになった。また、ケーススタディ河川における現地調査から、天然河岸の形態、材質、植生等の特徴を把握することができた。さらに、河岸強度の定量化については境川において河岸の浸食速度を推定した結果、河岸の浸食速度は非常に遅く、歴史的に見ても河道はほとんど変化していないことが明らかになった。

Key Words : *natural riverbanks, conservation, restoration, the feature of natural riverbanks, erosion rate*

1. はじめに

近年、都市化が進行している地域では、中小河川の改修が平野部のみならず台地部の掘り込み河川や山地に隣接した山付き河川においても進捗している。このような河川では、土や岩石などの天然材料で構成された河岸やそれに付随する河畔林が形成されている場合が多い。このような天然河岸は、河川における重要な景観要素となっているだけでなく、カワセミの営巣場、日射の抑制、餌資源の供給等、当該河川に対して独特の生態的な機能を有していると考えられ、特に、都市近郊部においてその保全が急務となってきている。中小河川の改修は一般に河道の直線化、川幅拡幅、護岸の設置等が行われ、景観が一変し、河川及びその周辺に生息する生物にとって重要な環境が失われる場合が少なくない。本研究は、中小河川における自然環境及び河川生態系の保持を目的に、天然河岸を保全する手法及び技術の確立を目指すものである。

2. 研究方法

本研究は、天然河岸の実態把握、河岸強度の定量化手法の検討、保全手法の検討の3構成で検討を進めており、本報告では天然河岸の実態把握、河岸強度の定量化手法の検討について報告するものである。

具体的な研究方法を以下に示す。

①天然河岸の実態把握：近年都市化の著しい神奈川県において天然河岸の分布状況を既存の資料や空中写真等を利用して把握するとともに、神奈川県境川をケーススタディ河川として天然河岸の形態、地形、材質、植生等の景観生態学的な実態を調査した。

②河岸強度の定量化手法の検討：天然河岸を保全する際に必要となる河岸強度、浸食速度の定量化手法についての検討を行った。検討ではまず既存の河岸強度に関する研究等のレビューを行い、境川における河岸の地質等から力学的に浸食速度や強度の推定を行った。また、明治時代に作成された字限図等を用いて歴史的な変遷についても調査した。

③保全手法の検討：①と②の成果に加えて、国内外の天然河岸を保全・復元した事例を収集・整理して生態系への影響を最小限にしながら天然河岸を保全する手法を提案し、確立する。保全手法は単に河岸処理等の工法開発にとどまらず、河道計画の時点から河川改修全体を見渡して保全すべき箇所と改修すべき箇所を判断できるよう、計画論までを含めた体系化を図る。

3. 天然河岸の定義

「天然河岸」という言葉は、河川工事がなされていない河岸と感覚的には理解することができるが、

学術的に確立した定義がある用語ではない。本研究で対象とする天然河岸とは、都市化の進展している地域の中小河川において現在消失の危機に瀕し、緊急に対策を必要としている人為的な行為・改変がされていない自然河岸と定義する。

4. 天然河岸の実態把握

(1) 天然河岸の分布状況

天然河岸の実態把握を行うに当り、その第一歩として現在都市化が進展している首都圏周辺部に着目した。首都圏周辺の武蔵野台地、多摩丘陵地、相模野台地等の洪積台地では、中小河川が台地を浸食しながら流下している。その一方で、周辺では都市化が進行し河川改修もかなり進められており、現在急速に天然河岸が減少している地域であると考えられる。そこでこうした地域の一つとして神奈川県を対象として、天然河岸の分布状況を把握し、その減少の程度を明らかにすることを試みた。

天然河岸の分布状況は、過去及び現在の分布状況を比較するために、1960年代と1990年代の2時点の空中写真を収集し、河川の状況を判読することにより調査した。空中写真で中小河川を見た場合、護岸が明瞭に見えるタイプと河道が樹木や草本類に覆われて見えるタイプとがあり、ここでは河道が樹木や草本類に覆われて見えるタイプは全て天然河岸として抽出した。ただし、河道が樹木に覆われていると実際の河岸の状況までは判読できないことがあり、実際には多自然型川づくりや植樹等により人為の手が加えられている場合も多い。これらを正確に調べるには現況であれば現地踏査あるいは河川台帳で確認する等の方法が考えられるが、過去の状況を確認

するのは困難である。したがって、ここでは過去の状況と同一条件で比較するために、1990年代についても空中写真の判読のみによる結果を示した。判読の結果、神奈川県では1960年代には多くの天然河岸が分布していたが、河川改修等が進行し、1990年代には著しく天然河岸が減少していることが明らかになった。天然河岸が最も多く分布していた相模野台地における分布状況を図-1に示す。

(2) ケーススタディ河川における天然河岸の実態調査

実際に天然河岸が残されている中小河川をケーススタディ河川として選定し、天然河岸の特徴を把握する実態調査を行った。調査対象河川は神奈川県境川、荒川の3次支川北川（東京都東村山市）、及び荒川の2次支川柳瀬川（東京都東村山市）の3河川とした。

a) 境川

津久井郡城山町付近を源とする境川は、水源に山地を持たず、そのほとんどが相模野台地を刻む谷の中を流れて相模湾に注ぐ流路延長約50kmの二級河川である。流路は大きく曲がりくねっている。また、境川の河岸は、台地が流水で掘られてできた河岸ではなく、まわりの台地がテフラの堆積で高まっているために取り残された流路跡だと考えられている¹⁾。調査対象区間の河床勾配は約1/300、河床材料は砂礫、粘性土であり、平均粒径は20~50mm程度である。河道内には瀬と淵が交互に存在し、湾曲部の内岸側には州が、外岸側には淵が形成されている。淵への流入部と流出部が瀬になっており、河道の蛇

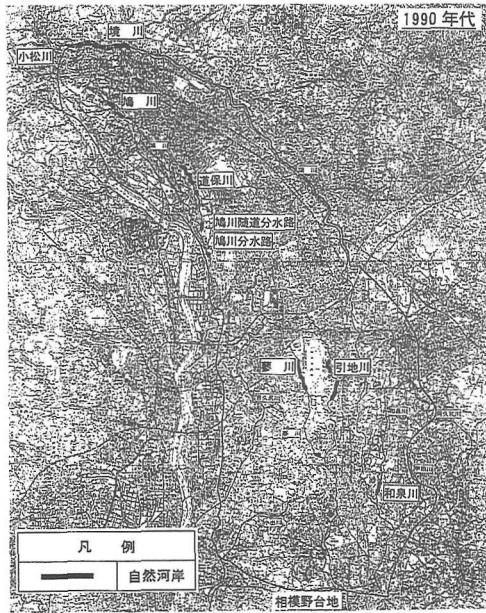
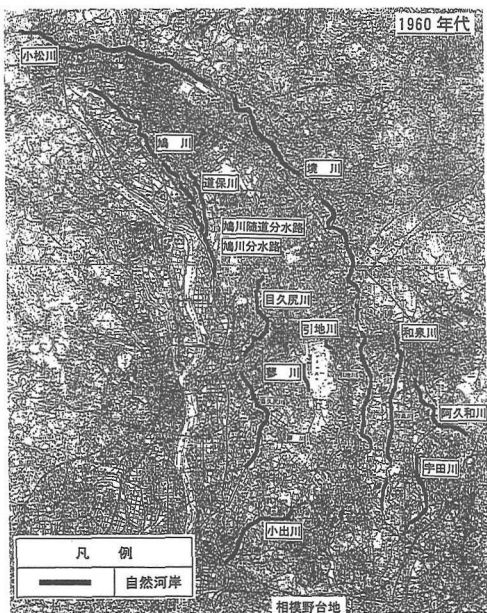


図-1 相模野台地における天然河岸の分布状況の比較

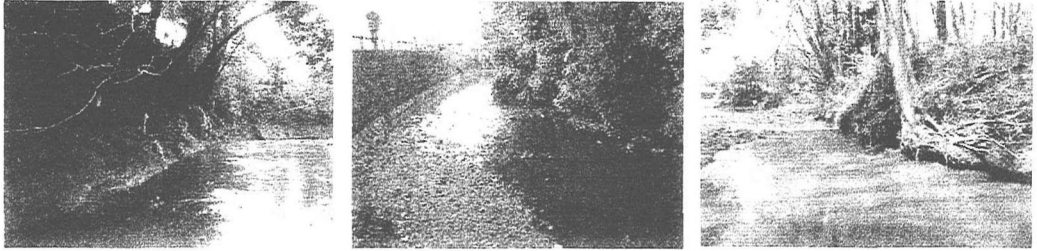


図-2 調査対象河川の天然河岸の外観 (左：境川、中：北川、右：柳瀬川)

行により水域の多様性が創出されている。

河岸は一部に礫が混じるがロームを基質とした土が主体となっており、岩盤は見られなかった。土壌の粘性が高いため河岸の傾斜は急であり、浸食を受けている箇所では傾斜角が 60° から鉛直に近い。特に上部に樹木の根が存在して浸食が押さえられている部分ではオーバーストック形状になっていた。

植生はケヤキ、エノキ、オニグルミなどを主体とする夏緑広葉樹林やシラカシを主体とする常緑広葉樹林、または、これらが混在した樹林であり、崖地上の急傾斜地から上端の平坦部にかけて生育している。河畔林下はニリンソウ等の貴重な春植物の重要な生育場となっている。成長錘で調査した河畔林の樹齢は大きいもので $50\sim 60$ 年と推定され、樹木の根張りは河岸の土壌流出を防ぐ役割を果たしている。

b) 北川

北川は、流域面積 3.6km^2 、流路延長 3.6km の準用河川である。調査対象区間は前川合流点からおよそ 1.2km 上流の北山公園内に位置し、河床勾配は約 $1/260$ 、左岸側はコンクリート護岸が設置してあるが、右岸側には天然河岸が残されている。右岸側の河畔林はシラカシを主体とし、イヌシデ、エゴノキ、スギ、ヒノキ等が生育している。河岸の地質は下位から順に段丘砂礫層（武蔵野礫層）、ローム（武蔵野ローム）、低位段丘堆積層（沖積層）より構成されている。段丘砂礫層は河床より高さ 1m 程度まで分布し、良く固結しているため耐浸食性は高いものと推定される。その上位に分布するロームは軟質であるが、樹木の根張りやその分布位置のため浸食を受けにくいものと考えられる。

c) 柳瀬川

柳瀬川は、流域面積 106.3km^2 、流路延長 19.6km の1級河川である。調査対象区間は、その中流部にあたり、左岸側は淵の森緑地として雑木林が残されている。河床勾配は約 $1/170$ であり、両岸に天然河岸が残されており、右岸側の一部には蛇籠が施されている。河畔林はムクノキ、ケヤキ、シラカシ、ヒノキ等からなり、左岸の背後地はコナラ・クヌギ林となっている。河岸の地質は下位から順に、黄褐色ローム（武蔵野ローム）、砂礫層、褐色ローム（立川ローム）より構成されており、いずれの層も良く固結している。ただし、右岸側ではこれらの層は河床より高くても 1m 程度付近までしかなく、その上層は盛土によるものと推定される砂礫層になっている。

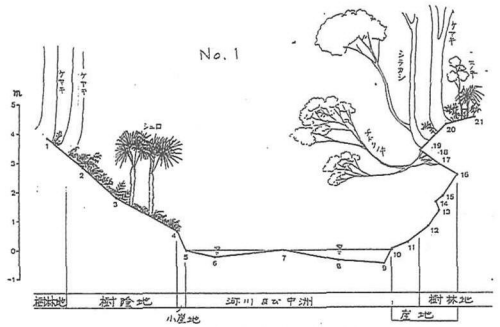


図-3 境川の代表断面 (淵)

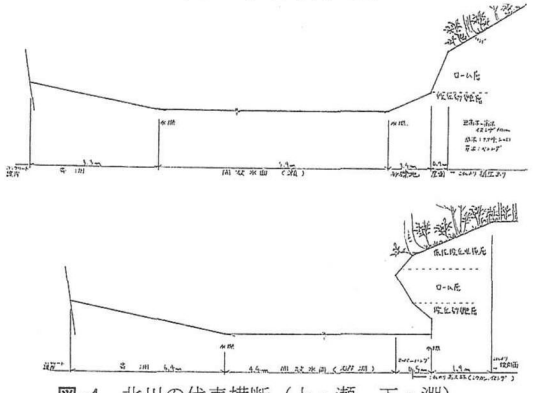


図-4 北川の代表横断 (上：瀬、下：淵)

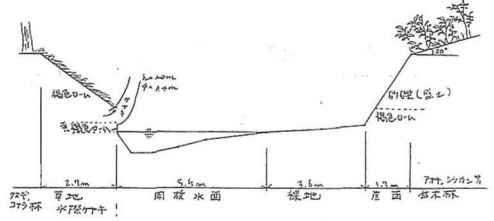


図-5 柳瀬川の代表横断 (淵)

これらの3河川の代表断面において河岸の傾斜角を測定した結果を河床形態ごとに表-1に示す。河岸傾斜角が最も急なのは淵であり、境川、北川ではオーバーストック形状になっている箇所も多く見られた。とろと瀬では、淵と比較すると傾斜が緩くなっているが、傾斜角もばらつきが大きく明確な特徴は見ら

表-1 河岸の傾斜角と河床形態との関係

河床形態	境川			北川			柳瀬川		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
淵	オーバ-ハンダ*	60	79(9)	オーバ-ハンダ*	47	69(2)	62	45	55(3)
とろ	79	41	59(3)	65	20	37(5)	41	41	41(1)
瀬	48	28	37(3)	60	45	51(3)	46	37	42(2)

注) カッコ内の数字はサンプル数を示す

れなかった。淵に粘性土等からなる急傾斜の天然河岸が隣接し、その上部あるいは斜面中に河畔林が生育するという構造は、3河川全てで共通に見られ、天然河岸の最も特徴的な構造であると考えられる。

5. 河岸強度の定量化

天然河岸を保全するためには、天然河岸の強度を何らかの形で定量化し、それに基づいて河川改修等の計画を立てる必要がある。天然河岸の強度を定量化する場合に検討すべき事項として、河岸法面の土圧安定性及び流水に対する浸食抵抗性が考えられる。このうち、土圧安定性については、既存のマニュアル・指針^{2)~8)}等では切土法面に関する基準が主なるものであり、本研究で対象とする天然河岸の斜面安定勾配に関する基準がないのが現状である。また、流水に対する浸食抵抗性に関する基準も少なく、河川堤防設計指針³⁾の中に既設防護工がない場合の安全性照査という項目で基準が定められている程度である。ここではまず、流水に対する浸食抵抗性についての評価手法を検討するために、はじめに既存研究等をレビューし、その後に境川を対象としてケーススタディを行った。

(1) 河岸の浸食に関する文献レビュー

我が国における河岸浸食に関する研究の多くは1級河川の低水路際に形成された自然河岸の浸食に関する研究である。土木研究所河川研究室⁹⁾では、実河川の自然河岸より不攪乱で採取した供試体を用いて実験水路で浸食実験を行い、河岸浸食がある流速(浸食限界流速 V_c と定義)以上になると急速に進行すること、それが引張り破壊応力 σ で定量化できること、さらにその引張り破壊応力を測定すること

により浸食外力として摩擦速度の大きさとその作用時間を設計外力として定めれば浸食量が計算できることを示した(図-6及び式(1)参照)。

$$\frac{E}{\sqrt{\sigma_b \rho}} = C \left(\frac{\rho u_*^2}{\sigma_b} \right)^2 \quad C = 4.0 \times 10^3 \cdot \left(\frac{\sigma_b}{\rho} \right)^{0.5} \quad (1)$$

ここに、 E は浸食速度、 σ_b は引張り破壊応力、 ρ は水の密度、 u_* は摩擦速度である。

この研究結果に基づき、河川堤防設計指針³⁾では既設防護工がない場合の安全性照査を代表流速及び流速作用時間から評価される浸食外力と、植生で被覆された法面の表面侵食耐力を比較することにより照査するという基準が定められている。

(2) 境川の歴史の変遷

先述した力学的なアプローチだけでなく、歴史的な観点を加え、より総合的な強度の定量化手法とすることを目的として、境川周辺の字限図を収集し、現況地形との比較を試みた。字限図とは、1873年(明治6年)施行の地租改正条例により作成された地租改正図を明治中期に改正したもので、課税地を示した調査図のことであり、現在の土地登記簿の付図にあたり地籍図に相当するものである¹⁰⁾。1887年頃から順次印刷刊行された迅速測図が縮尺2万分の1で、比較的広域の検討に向くのにに対し、字限図は非常に縮尺が大きく、小範囲の検討に向いている。測量の精度としては、平板測量と同様の方法により測量されているものの、図根点測量は行われなかったため現在の測量ほどの精度は持たない。しかし、河道の変遷や川幅の変化といったここで目的とする歴史的な観点からの河岸浸食速度を把握するには活用できるものと考えられる。

収集した字限図を現況図と合わせて図-7に示す。図-7を見ると、図中左側大きな蛇行箇所では蛇行形状が異なっている。この箇所は河川改修が行われており、そのために地形変化が生じたものと考えられる。その他の箇所については字限図の境川の平面形状と現況の平面形状にほとんど違いはなく、境川の河道はほとんど変化していないことが伺える。

また、同じく境川の変遷を把握することを目的として、当該地区に古くから住んでいる古老の方へのヒアリングを行った結果、境川の河道については昔から大きくは変わっていない、年に1回くらい出水では河道の半分くらいまでくる、河岸は崩れやすいところは既に護岸になっており、現在残っている自然の河岸は崩れることはほとんどない等の情報が得られている。

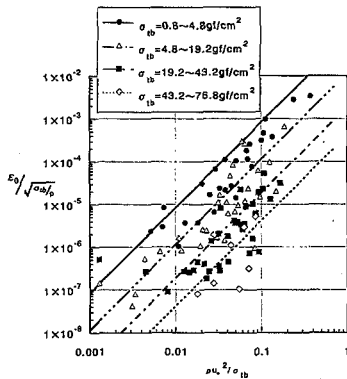


図-6 浸食速度と摩擦速度の関係⁹⁾

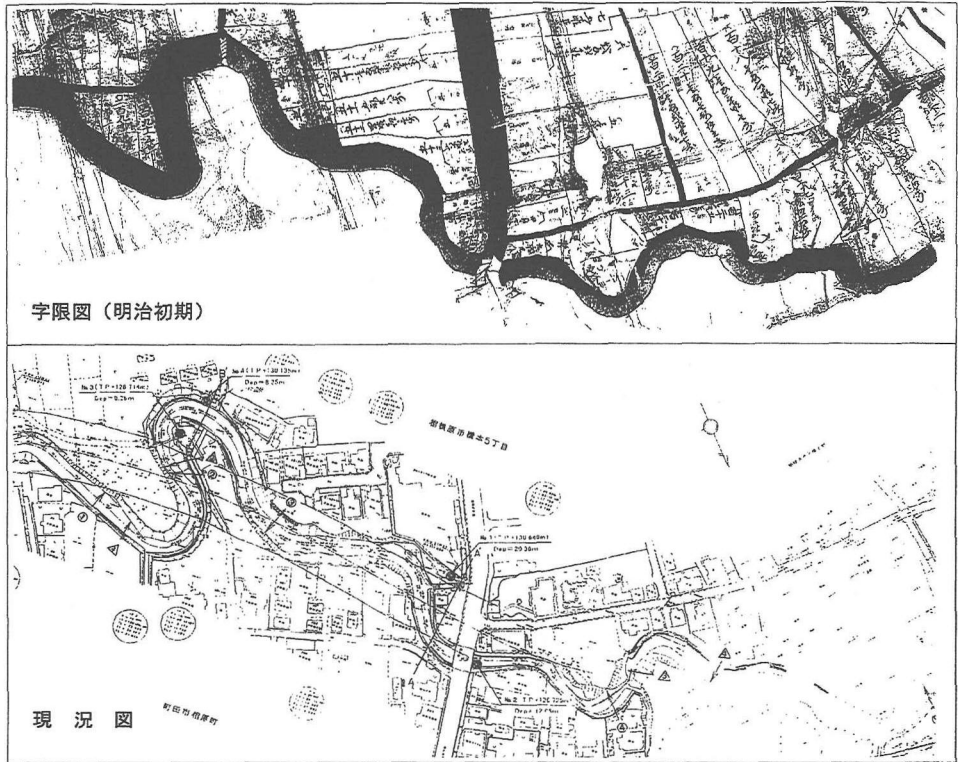


図-7 宇限図と現況図との比較

これらの知見をまとめると、境川の河道は昔から大きくは変化しておらず、水衝部等の河岸浸食されやすい箇所のみ古くから護岸等が設置されている。直線部等のようにほとんど河岸が浸食されない箇所や背後地に余裕があり崩れても許容できる箇所等は天然河岸をそのまま残してきているようである。

(3) 境川における浸食量の推定

境川における浸食量の推定は現地データより推定する方法と外力から推定する方法の2通りの手法で行った。以下、各方法ごとに検討を行う。

a) 樹木位置、樹齢等の現地データより推定する方法

河岸上部に生育している樹木は河岸材料の流出を押さえ、河岸肩部の位置を固定しているものと考えられる。河岸肩部の位置を固定と考え、図-8に示すように現況の河岸がどの程度浸食されているのかを算定する。また、浸食量を樹齢で割ることにより概略の浸食速度を算定する。境川のように河岸に樹木があるような河川でしかできない方法であり汎用性は低い、後述する外力から算定する方法の結果の妥当性をみるためにここでは採用した。

境川において河岸に生育する樹木の樹齢を成長錘により年輪を抜き取り数える方法と伐採樹木の年輪を数える方法とで調査した結果、おおよそ樹齢は同時に計測した胸高直径に対し、1cmで1年の割合とほぼ前後していることが分かった。この関係より推定した樹齢とその地点における浸食量との関係を

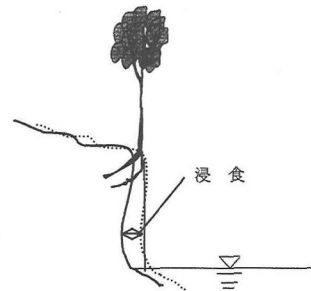


図-8 浸食量の定義

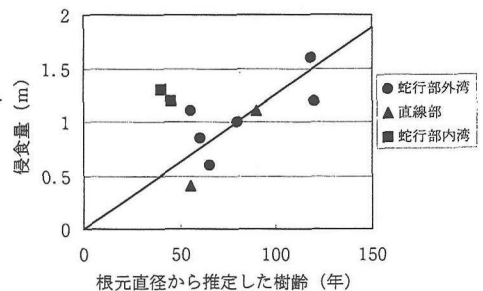


図-9 浸食量と推定樹齢との関係

図-9 に示す。図中で浸食速度が遅いと予想される蛇行部内湾の2つの浸食量が特異的に大きくなっている。この理由として1つは上層が竹林の箇所です質が他の地点と比較して砂礫分が多く河岸の強度が低いためと考えられ、もう1つは直上流に護岸が設置されているために局所的に削られたものと考えられる。それ以外のデータについてはある程度の相関が見られ、蛇行部内湾のデータを除くと平均して1年に1.3cm程度浸食が進行している。

b) 出水時に河岸が受ける外力から推定する方法

先述した既存研究資料⁹⁾をもとに粘着力Cと引張り破壊応力 σ_{tb} との相関をとり、境川の河岸の引張り破壊応力を推定し、河岸浸食量を推定する。

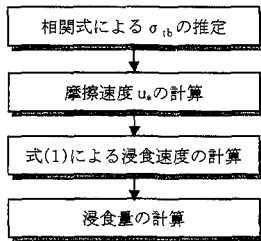


図-10 検討手順

①境川河岸の引張り破壊応力の推定

既存研究資料⁹⁾で研究対象としている自然堆積河岸のうち、境川の河岸の土質（主に粘土）に近いと考えられる粘性土試料（土質分類CL及びCH）の粘着力Cと引張り破壊応力との相関をとると、図-11に示す通りであり、粘着力Cと引張り破壊応力との間にはある程度の相関が見られている。この粘着力Cと引張り破壊応力との間の回帰式を利用して、境川の土質調査データ¹¹⁾から引張り破壊応力を推定した結果を表-2に示した。

上層で36.0～42.4 g/cm²、下層で55.3～85.1 g/cm² という値を示している。河岸浸食量の推定については、この推定値のうち低い値、すなわち上層36.0 g/cm²、下層55.3g/cm²として計算する。

②境川河岸の河岸浸食量の推定

浸食量の推定は、式(1)に示した浸食速度と摩擦速度の関係より行った。不等流計算により摩擦速度 u_{*} の計算を行った結果、調査地域の河床に働く摩擦速度 u_{*} は0.31m/s、上層の河床より2mの高さでは0.17m/sであった。この値をもとに式(1)より浸食速度を推定した結果を表-3に示す。

境川には水位観測資料がなく平均的な出水の継続時間等は不明であるが、仮に1年に1回上記の摩擦速度が生じるような出水が12時間継続して起るとして浸食量Zを試算すると、河床（下層）で1.0cm/年、河床上2m（上層）で0.3cm/年の浸食が生じることになる。ここにTは出水継続時間である。この値は先述した樹木位置、樹齢より推定する方法により算定した値と大きな差異はなく、概ね妥当な結果になっているものと考えられる。

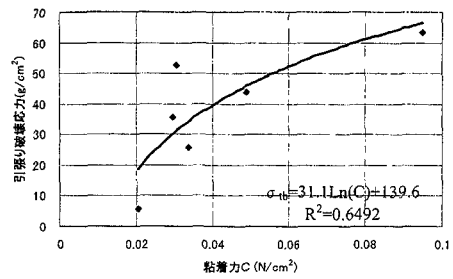


図-11 既存研究資料⁹⁾における粘着力Cと引張り破壊応力 σ_{tb} との関係

表-2 境川の河岸の引張り破壊応力の推定結果

項目		推定値
上層	粘着力 C	0.036～0.044N/cm ²
	引張り破壊応力	36.0～42.4g/cm ²
下層	粘着力 C	0.066～0.17N/cm ²
	引張り破壊応力	55.3～85.1g/cm ²

表-3 浸食速度の推定結果

位置	摩擦速度 u_{*} , m/s	引張り破壊応力 σ_{tb} g/cm ²	浸食速度E
河床	0.31	55.3	2.4×10^{-7} m/s
河床上2m	0.17	36.0	7.6×10^{-8} m/s

6. まとめ

本研究では都市化の進行や河川改修により減少してきている天然河岸を保全するための手法及び技術の確立を目指し、天然河岸の実態把握、強度の定量化手法についての検討を行った。空中写真を用いて天然河岸の分布状況を把握した結果、神奈川県内の天然河岸は著しく減少していることが明らかになった。また、ケーススタディ河川における現地調査から、天然河岸の形態、材質、植生等の特徴を詳細に把握することができた。さらに、強度の定量化については境川において河岸の浸食速度を推定した結果、河岸の浸食速度は非常に遅く、歴史的に見ても河道はほとんど変化していないことが明らかになった。このような結果は、生物の生息環境として重要な天然河岸を保全するために重要な知見であると考えられ、今後は他河川においても同様の検討を積み重ね、天然河岸の保全・復元手法の体系化を図っていく予定である。

謝辞：神奈川県相模原土木事務所の方々には貴重な資料を提供して頂いた。また、北川、柳瀬川における調査では、新河岸川水系水環境連絡会宮本善和氏をはじめとした多くの方々から、情報の提供、現地の案内等の便宜を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 町田洋：相模原の地形・地質 調査報告書 第2報、相模原市地形・地質調査会、1985.3
- 2) 社団法人全国防災協会：美しい山河を守る災害復旧基本方針、2001
- 3) 建設省河川局治水課：河川堤防設計指針、2000
- 4) 国土開発技術研究センター：護岸の力学設計法、1999
- 5) 建設省河川局監修社団法人日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説設計編〔Ⅰ〕〔Ⅱ〕、1997
- 6) 社団法人日本道路協会：道路土工 のり面工・斜面安定工指針、1993
- 7) 建設省河川局砂防部監修社団法人全国治水砂防協会：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例—急傾斜地崩壊防止工事技術指針—、1996
- 8) 最新斜面・土留め技術総覧編集委員会：最新斜面・土留め技術総覧、1991
- 9) 土木研究所河川研究室：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
- 10) 社団法人土木学会編：土木用語大辞典、1999
- 11) 神奈川県相模原土木事務所・アジア航測株式会社：平成10年度住宅地関連河川整備促進工事（その15）二級河川境川報告書、1999.

STUDIES OF CONSERVATION METHOD OF NATURAL RIVERBANKS IN SMALL AND MEDIUM-SIZED RIVERS

Takeo CHIBA, Yuichi KAYABA, Takashi OZAWA

Natural riverbanks are now disappearing rapidly because of river improvement and urbanization. In this study, we investigated the features of natural riverbanks through field surveys and examined a method to measure the strength, for conservation and restoration of natural riverbanks. As a result that we surveyed the distribution of natural riverbanks using aerial photos, natural riverbanks has decreased remarkably in Kanagawa prefecture. And through field surveys, we understood the features of natural riverbanks, such as shapes, materials, vegetations and so on. Furthermore we estimated the riverbank erosion rate in Sakaigawa river and found that the riverbank erosion rate is slow and the channel has almost not changed since the Meiji period.