

多自然型河川の河道のあり方と工法の研究

1. はじめに
2. 多自然型川づくりの目標
3. 多自然型川づくりの基本的な考え方
 3. 1 自然と共生する心がまえ
 3. 2 川の特性についての理解
4. 多自然型川づくりの技術的課題
5. 木津川多自然型川づくり
 5. 1 木津川の概況と問題点の所在
 5. 2 川づくりのコンセプト
 5. 3 検討フロー
 5. 4 河床変動の実態分析と予測
6. 多自然型護岸のあり方
 6. 1 設計外力
 6. 2 設計の基本的な考え方
 6. 3 設計法
7. おわりに

河川環境管理財団 大阪研究所 芦田和男

1. はじめに

多自然型河川工法による川づくりが注目されはじめ、近年多くの河川で治水、利水、環境を総合した河川計画に取り入れられていることは、大変喜ばしいことである。

川が本来もつ自然的特徴は河川の地形、地理条件、水環境、生態環境の総合的な姿としてとらえられるものであるが、我が国においては全く手つかずの本当の意味での自然はほとんどなく、何らかのかたちで人手が加わった自然が大半を占めている。これは我々人間が生活していく上である程度利便性や快適性を追求してきた結果であり、自然と人間が共存する限り避けて通れない宿命のようなものである。

このような自然と人間の係わりの中で、自然ができるだけ好ましい状態で保全していくために、我々人間がどのようなかたちでどの程度自然に関与し、管理の手を加えるのが望ましいのかについて、将来の自然の姿と人間の生活の両面を見据えて考えることが我々に与えられた重要な課題である。

それでは、自然と人間の望ましい共存の姿とはどのようなものか。それは、自然的・社会的条件の異なる各地域で当然違ったものになるであろうし、また、個々の人々の主觀によっても異なってくる。これから川づくりはこれらの地域条件や人々の価値観を総合的にとらえ、治水、利水、環境の調和した望ましい将来像を描くことが出発点となる。

本論では、多自然型川づくりが各地で進められている状況の中で、いまいちど多自然型河川のあり方について考えるとともに、技術的な観点から川づくりの工法について筆者がこれまでに得た知見の中から興味深い事項についてとりまとめる。まず川づくりの出発点として、目標とすべき自然を明確にすることが重要であることについて筆者の考え方を述べた後、多自然型川づくりの基本的な考え方を示すとともに、実現のための技術的課題を整理した。また、筆者らが取り組んできた多自然型川づくりのケーススタディーとして参考になると思われる、淀川水系木津川における川づくり検討結果を紹介するとともに、今後重要な工法のうち多自然型護岸のあり方について、筆者らが行ってきた技術的研究の成果を踏まえながらその方向性を示した。

なお、木津川におけるケーススタディーは、近畿地建河川部、淀川工事事務所、河川環境管理財団大阪研究所と学識者で構成する「河道計画研究会」で検討を行っているものであり、現在まだ最終的な計画案を決定するに至っていないが、現時点での成果の詳細については委員会資料^{1)～3)}にとりまとめられている。また、多自然型護岸の研究は河川環境管理財団大阪研究所が学識者及び建設省の情報提供を受けながら進めているものであり、その成果の一部は既に発表しているので詳細については文献^{4)～11)}を参照されたい。

2. 多自然型川づくりの目標

川は自然の作用によって形成された水循環と物質輸送の経路であり、自然の法則に従って変動してい

る自然物であるが、一方、その水や物質によって周辺には多様な生物を育み、これらの生物との相互作用のもとに進化してきた側面をもっており、いわば生命体のような存在でもある。

その中でもとくに深いかかわりをもってきたものは人類である。彼らは有史以来、川に様々な手を加えて利用し、生活と文化を築いてきた。

その過程において加えられた人工によって、川はもともとの自然的な状態と大きく異なってきている。いわば、川は自然と人間とが作り上げてきた存在である。川は人間が加えてきた制約条件のもとで自然の法則に従って変動しているのである。

最近、とくに都市周辺の河川においては、人工的な制約条件が強くなり過ぎた所が多い。その極端な例はコンクリートの三面張り河川である。ここでは、川の本来もっている自然的な変動の余地はほとんどない。このような所は、川ではなく水路というべきであろう。

このような従来の治水、利水に偏した川づくりの反省から、治水、利水、環境を統合した川づくりの方向に大きく転換してきたのが現在である。多自然型川づくりもその一環として進められているもので、できるだけ手を加えない自然的な川づくりである。

しかし、この自然あるいは環境の保全を目指した川づくりにおいて重要なことは、自然あるいは環境の目標をどのように設定するかということである。ここでいう自然とは河川の地形、地理条件、水環境、植物・動物などの生態条件を総称したものをしている。

我が国においては、自然といっても人手の加わっていない所はほとんどない。人手を全く加えない状態の自然は我々人間にとて決して住みやすい存在ではない。河川周辺の植生を取って考えても、何ら手を加えずに放置しておけば自然度は高くなるが、洪水に対する障害となったり、人が川に近づきにくく、また人間が生活していく上で好ましくない虫なども生息するようになるであろう。したがって、人間の立場からは、自然はある程度管理していくことが必要である。一方、人間の都合だけで考えるのはよろしくないという意見もある。こうしたいろいろな意見を総合して、どの程度管理するのか、その目標を設定することが重要な問題である。

これに対する実際的な方法として、現状で好ましいと思われる所はできるだけ保全し、好ましくないと思われる所は好ましい状態に復元していくことが考えられる。ここで問題になるのは好ましい状態とはいかなることか、これは多分に主観的な問題であり、人それぞれの価値観によって異なるであろう。したがって、多くの人の合意を得るためにある程度客観的な尺度が必要である。少し抽象的な表現になるが、それぞれの河川のもっている潜在的な特性に適合した環境が好ましい状態と考えてよいであろう。河川に関する環境や人間とのかかわりについての歴史的変遷や現況について調査し、その特性を見ることが大切である。

わが国の河川や水環境は1960年代の高度成長期以降に大きく変化してきたものであり、それ以前にはそれほど急激な変化はなかった。したがって、その時代における河川の植生の状態はその河川の潜在的な特性を示していたと考えられ一つの参考にすることができる。しかし、1960年代と現在とでは社会的、自然的環境条件は大きく変化しており、河川の潜在的な特性も遷移していることも予想され、その

まま昔の状態にもどすことがはたして適切であるかどうか考えなければならない。また、以前の状態に復元することが困難な場合もある。このように考えてくると、潜在的特性といっても絶対的なものではなく、どのような環境を目指すかを決定することは容易ではないが、これを明確にしない限り、治水、利水、環境の三本柱を総合した川づくりはむずかしいと考えられる。

多自然型川づくりも、環境に重点をおいているとはいえるが、治水、利水、環境を総合的に考えた上で行うべきものであり、上述の議論はそのまま適用できるものであって、まず、目標とすべき自然を明確にすることが川づくりの出発点である。

3. 多自然型川づくりの基本的な考え方

川には様々な機能がある。そのうち、環境機能としては、水辺で育まれている多様な動・植物が作る生態系の維持、緑と水さらには砂州がつくりだす自然景観、河道の拡がりが与えるオープンスペース、水の浄化作用や清涼感、気候緩和作用など様々なものがある。これらの環境機能と治水、利水とをいかに調和させるかが、現在の川づくりにおいて求められている最も重要なことである。それについては、人それぞれの価値観によっても異なるであろう。また、それぞれの地域の自然条件や社会条件により地域ごとに異なることはいうまでもない。また、個々の地域だけでなく流域全体としての視点も欠かすことができない。このように治水、利水、環境の調和のさせ方はなかなかむずかしい問題ではある。さらに、流域や地域住民の合意を得なければ川づくりを具体的に推進していくことがむずかしくなってきている。そのためには、前述したとおり、治水、利水、環境についての川づくりの目標及びこれらの調和のあり方を明示する必要がある。

このことは、川づくり全般についていえることであって、特に多自然型川づくりに限る必要はない。

しかし、多自然型川づくりは、従来の治水、利水にかたよっていた川づくりに対する反省を込めて川の生態系や自然景観を重視すべきだという方向性を明確に示しており、いわばパラダイムの変換を与えた意義深いものであるので、ここでは、多自然型川づくりを進めて行く上での基本的な考え方として以下に述べることにする。

3.1 自然と共生する心がまえ

現代文明は人類に高度な繁栄をもたらしたが、人間活動と自然との関係においての矛盾を顕在化させた。人間は自然のシステムの構成要素の一つであるが、そのシステムの一つの要素があまり繁栄すると他の構成要素の生存が脅かされ、ひいてはシステムが破壊され自分自身にはね返ってくることは自然の理である。こうしたことから、人間が文明を維持して行く上で必要な持続的な開発を行っていくためには人間の活動を自然の再生・循環のシステムが作用する範囲内に抑制して自然との共生をはかることが必要である。このことは川づくりにおいても基本的な事項である。

今まで人間は川の水や空間を高度に利用して文明を築いてきた。しかし、川は人間だけのものではな

く、そこに棲む多くの生きもの達のものもある。これらの生物との共生をはかるためには、自然をできるだけ高度に利用しようという考え方から、ある範囲内に抑制するという考え方へ転換して行かなければならない。

この考え方を具体化するためには、川の自然についての理解に立って、自然の再生、循環のシステムの構造やその限界を明らかにすることが大切である。これについて次に述べる。

3.2 川の特性についての理解

川は流域の自然的な条件の上に長年にわたる自然の営力と人為的な作用が加わって作られたもので、それぞれの流域に固有の特性をもっている。その要素は多岐にわたるが、主要なものは、

- 1) 流域の地形・地質・植生
- 2) 流域の土砂生産・流送
- 3) 水文特性（気候、降雨量・流量・水質の時間的空間的分布、水循環特性など）
- 4) 河道の特性（河道の縦横断・平面形状、河床・河道の形態と変動特性、河床構成材料、河川構造物など）
- 5) 河川の生態系
- 6) 河川と人間とのかかわり（流域の開発、治水、利水、親水、景観、水にかかる文化など）

などである。

これらの要素は相互に関係しており、それらが総合されて川の特性が形づくられている。これらの特性は、自然的な条件の上で川と人間とのかかわりの長い歴史の中で作られたものであり、したがって、その特性を知るためにには、現状を的確に把握するとともに、それがどのように遷移してきたか、また、その根底にある自然的・社会的法則いわゆるメカニズムについての深い理解をもつことが必要である。

多自然型川づくりでは、人工的な制約や管理ができるだけ少なくすることが基本である。そのためには、川の特性に適合した川づくりを行うことが重要である。

川の特性に整合していない場合には、その状態を維持するために多大の労力を必要とし、なおかつ、うまく維持できるという保証もない。したがって、多自然型川づくりにおいては、川の特性とそのメカニズムについて的確な理解をもつことが第一である。

4. 多自然型川づくりの技術的課題

以上述べた基本的な考え方を具体化するためにはそれに必要な手法をもたなければならぬ。まず、多自然型川づくりに際して、検討を加えるべき具体的な課題を列挙すると、

- 1) 流域における水循環と水環境のあり方
- 2) 河道の縦横断形状や平面形状と河岸保護のあり方
- 3) 河岸や河道内の植生のあり方

4) 水中および水辺の魚類、昆虫、鳥類などの生育・生息環境のあり方

5) 川と人間とのかかわり方

などである。これらの課題について検討を加え、適切な川づくりを行うためには、前述したとおり明確な目標を設定するとともに、それを実現させるための技術を確立しなければならない。それに必要な事項を列挙すると、

1) 水循環や水環境の解析、評価、管理手法

2) 河道・河床の形態と変動に対する自然と人為的影響の解析・予測手法

3) 生態系のシステムの構造の評価手法、これに対する人為的な影響の評価、復元手法

4) 河岸、河道内の植生の機能の評価法と保全・復元の手法

5) 魚類や小動物の生育・生息環境の評価と保全・復元の手法（これには、必要な水質、水量、瀬、淵、砂州などの保全・復元の問題が含まれる）

6) 洪水の外力に耐えうる多自然の河岸や河床保護のあり方

などである。これらについて各方面で研究が進められており、今までにある程度の知識の集積がなされているが、まだ未解明の点も多く、技術体系の確立が望まれる。

以下、本論ではケーススタディーとして木津川を対象として検討を進めている多自然型川づくりについて述べた後、特に多自然護岸のあり方について一般的な立場から考察する。

5. 木津川多自然型川づくり

木津川多自然型川づくりについて、近畿地建河川部、淀川工事事務所、河川環境管理財団大阪研究所と学識者で構成する研究会で検討を行ってきた。いまだ、最終的な計画案を決定する段階には至っていないが、今までの検討結果は、上述の多自然型川づくりのケーススタディーとして参考になると思われる所以、要点を述べることにする。

5.1 木津川の概況と問題点の所在

川づくり検討の対象区間は、木津川が山地から平野に出る地点から淀川に合流するまでの約30km区間で、大阪、京都、奈良の都市近郊にあって、自然豊かな川である。

上流域には、風化花崗岩地帯をもっており、以前にはマサの流出が多く、河道に堆積して流路は乱流し、天井川となっていた。上流域の砂防工事が進められたことにより、流出土砂量も減少し、また、貯水池の築造により、さらに流砂が減少してきた。一方、昭和30年代後半から40年代にかけての高度経済成長期に多量の河川砂利採取が行われた結果、河床が大幅に低下した。その結果、流路の固定化が進み、砂州が発生する一方、水衝部の河床低下が顕著になってきた。砂州には、自然の植生が形成され、好ましい自然景観を示している場所やグランドなどとして地域住民に利用されている場所などがある。

砂州上には大小様々な「たまり」があり、瀬や淵とともに魚類の好ましい棲息場となっている。

木津川の河幅は広く、河床が低下したことから、比較的大きな洪水流下能力をもっているが、部分的には流下能力の低い区間もある。

木津川堤防は堤体が砂質土で、堤防基盤もかなり深く、砂礫、砂層があるため高水時には漏水が多く、法面、護岸の崩壊がおこりやすい。漏水対策には従来から力が入れられてきたところであるが、水衝部の局所洗掘との関連で、さらに注目する必要がある。

木津川と淀川の合流点においては、淀川の河床が以前に比べてかなり低下しており、それが木津川の河床低下に影響を与えている。今後、淀川の河床低下がさらに進んだ場合、これが木津川の河床にどのような影響を与えるかを予測して川づくりに反映させる必要がある。

以上、木津川の多自然型川づくりを行う上で関連があると思われる事項について概要を述べたが、河床および河道の変動予測が川づくりにおいて重要であることが知られる。また、多自然型でかつ安全な川づくりを行うためには、砂州の変動や水衝部の変動ならびにその保全対策が重要であるといえる。

5.2 川づくりのコンセプト

木津川は前述したとおり、都市近郊にあって自然豊かな川である。そこで、今ある自然をできる限り保全し、人の手が加わるところを最小限に抑えるような川づくりをするという意味で、『できるだけ自然を残した保自然型川づくり』をメインコンセプトとすることとした。以下に実現に向けてのテーマと検討課題について示す。

メインコンセプト『できるだけ自然を残した保自然型川づくり』

| サブコンセプト及び実現に向けてのテーマ | 検討課題 | 川づくりへの適用 |
|---------------------|---|--|
| 長期的な河床低下を考慮した川づくり | 縦断形状・河積変動特性の分析 測量データに基づく | ○大規模な人工構造物はできるだけ設けない ○暫定措置として河床低下速度を緩和する工法 (例えば礫の投入) ○管理河床高を設定する。 |
| 水衝部の固定・保護を工夫した川づくり | 水衝部の固定・流量の安定性 ・測量データの統計処理・航空写真 | ○必要箇所は生態・景観に配慮した護岸水制等で保護する。 |
| | 局所洗掘・護岸の安定性 ・河床高と護岸根入れ高・平均水深と局所洗掘・外力と護岸強度 | ○流路の安定性を考慮し水衝部の前出しを行わない。 ○管理河床高に局所洗掘も反映させる。 |
| 砂州を残した川づくり | 支配流量 | ○常水路計画に反映 |
| | 側岸浸食 | ○利用施設地点において侵食の可能性がある地点は生態・景観に配慮した護岸等で保護する。 |
| | 粗度係数 | ○高水敷における高木を許容 |
| | 常水路の設定 レジーム幅、交互砂州発生条件 | ○現在の流路を尊重し水衝部の前出しをしない→水制等で保護。 |
| 緩傾斜堤防の導入 | 疎通能力 | ○整備ゾーンにおいては、できる限り緩傾斜堤の導入を図る。 |
| | 貯留効果 既往洪水の波形及び従来の知見より評価 | |
| 高水敷きの緩傾斜化 | 冠水頻度 | ○高水敷高、高水敷の利用形態等について検討する。 |
| 低水路の緩傾斜化 (エコトーン) | 多自然護岸の強度・適用条件 実験及びシミュレーション | |
| | 河通計画立案上の留意点の整理 ◇内水対策 ◇許可構造物 ◇瀬・淵の分布・たまりの分布、魚類の分布◇植生分布 ◇景観ポイント、利用施設・利用実態 | ○メインコンセプトに従い可能な限り自然を残す。 ○治水・利水・利用上改変が必要な箇所も、自然の保全・再生を十分考慮して計画・検討を行う。 |

5.3 検討フロー

前述のコンセプトに従った検討のフローを図5.1に示す。



図5.1 検討フロー

5.4 河床変動の実態分析と予測

(1) 土砂収支とマクロな変動予測¹²⁾

河床高は、上流からの流出土砂量、河川の土砂輸送能力、および砂利採取などの人為的な影響により変化する。図5.2は木津川における下流河道区間の河床変動の経年変化をH.W.L以下および低水路(満杯流量1700m³/s)河道の容積変化で示したものである。S.40～S.48年に河床は大幅に低下し、その後S.59年頃まで上昇した後、現在まで安定している。この間における土砂環境に与えた人為的な影響は、S.48年までは活発な砂利採取が行われたが、それ以降禁止された。また、上流域にはS.48年頃までに、高山ダム、青蓮寺ダム、室生ダムが完成している。

S.48年頃までの河床低下はこの間における砂利採取によるものである。砂利採取が禁止されたS.48年以降は、上流ダム群によって流出土砂量が減少しているにもかかわらず、河床上昇に転じているのは注目すべき事実である。このような事実は従来あまり報告されていない。このことについて定量的な検討を行った結果、河川の土砂輸送能力が砂利採取による河床低下のために減少し、ダムの堆砂のために減少した給砂量よりもかえって小さくなつたためである。現在においては、河川の土砂輸送能力が河床上昇とともに回復し、上流からの給砂量に見合う状態になって河床が安定しているのである。木津川の河

床材料は風化花崗岩のマサであるため、粒径が比較的小さく、上流から給砂される土砂量に比較的敏感に対応して河道の平衡河床形状が形成されるため上述のような現象が顕著に現れたのであろう。

一方、木津川上流域では新規貯水池の建設が進んでおり、将来的には対象区間への給砂量が減少することが予想される。そこで、これら新設貯水池の土砂捕捉による給砂への影響を計画比堆砂量に基づいて評価し、さらに淀川本川が計画河床高まで低下することを念頭において、一次元河床変動計算により将来の河床縦断形状の変化予測を行ったものが図5.3である。

これによると、上下流端の境界条件の変化は最初の10年で河床縦断形状に大きく影響し、その後は変化スピードはやや緩むものの、徐々に河床低下が進行することがわかる。ただし、下流端の境界条件、すなわち合流点の河床高が実際にどのようになるかについては検討を要する。

上記したことは、流域内における土砂収支の検討に基づく河床変動の長期的な予測が川づくりにおいて必須であることを示す好例であると考えられる。

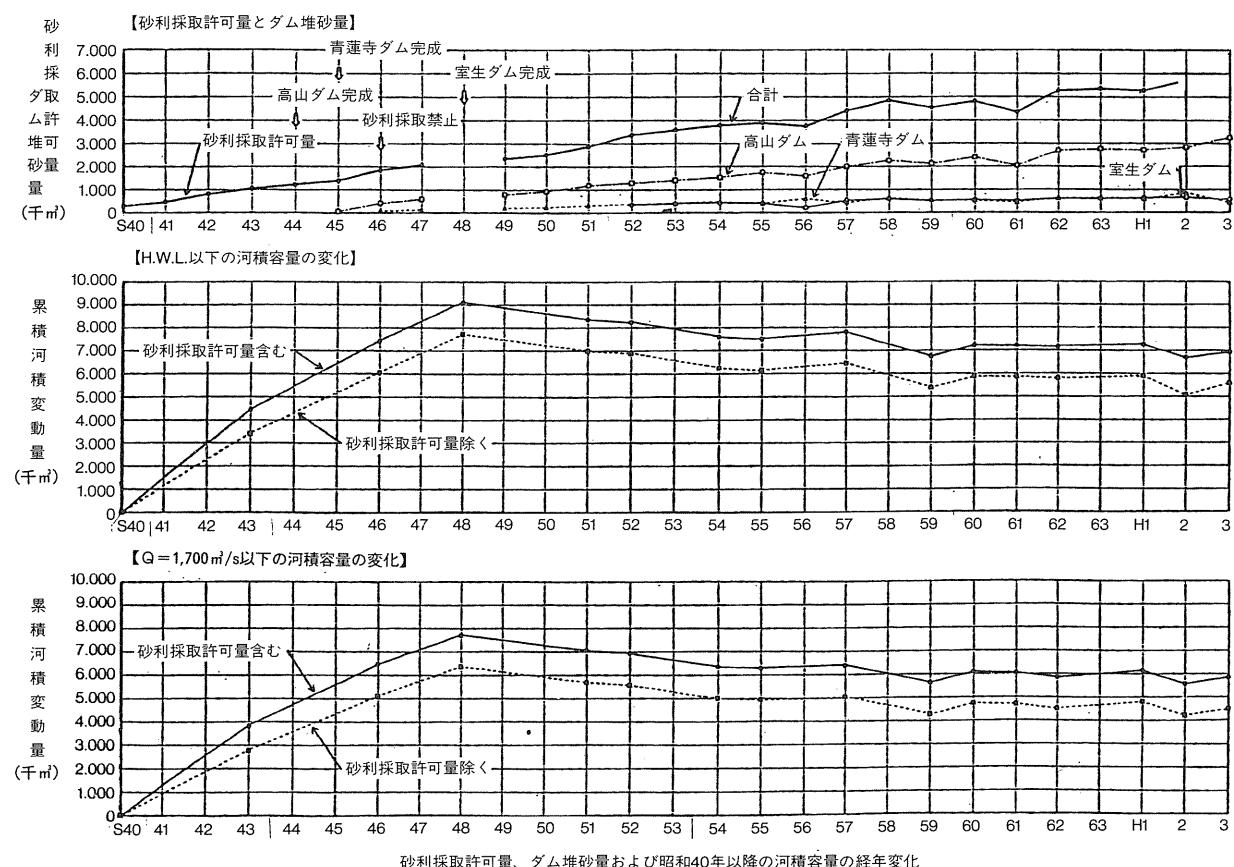


図5.2 木津川における河床変動の経年変化

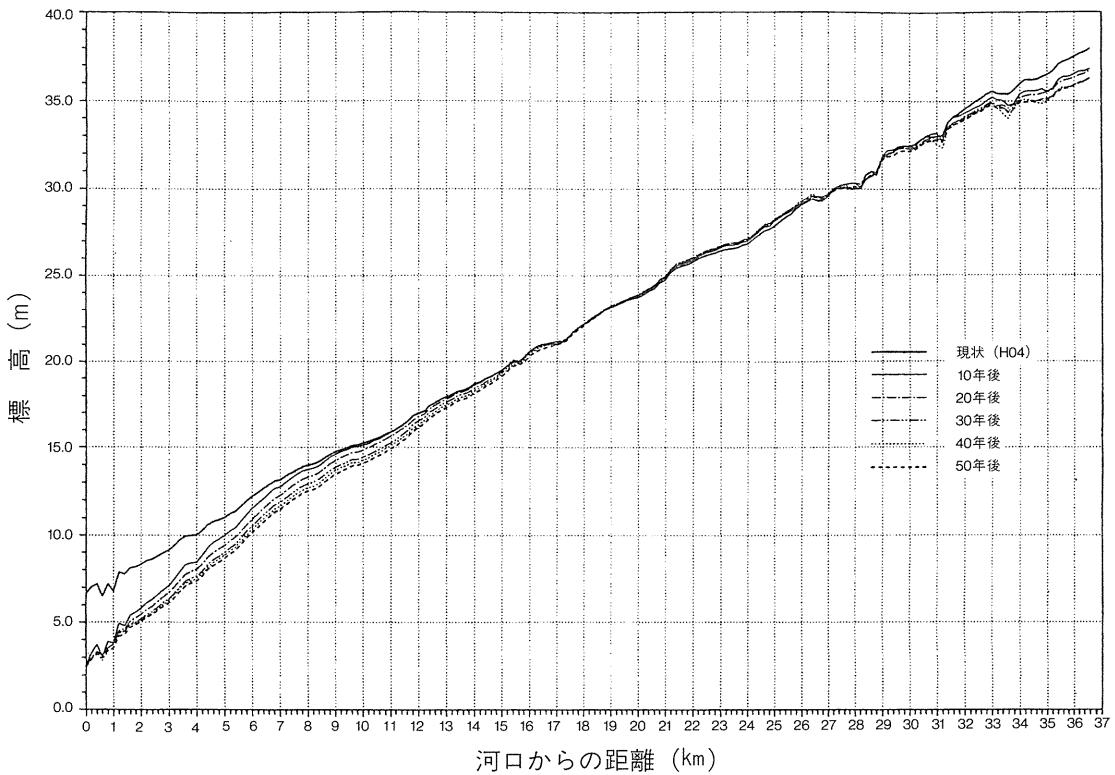


図 5.3 河床変動予測計算結果

(新設貯水池により給砂量が20%減少するとした場合)

(2) 砂州と流路変動¹²⁾

河川の砂州は流路の変動と密接なかかわりがあり、また、植生が形成され、生態系や景観の上でも重要な要素になっている場合が多い。したがって、砂州の挙動や流路変動の実態を把握することは重要な課題である。

そこで、図 5.4 に示すように、流心（横断面内での最深河床の位置）が横断面内において河道の中心線を基準にしてどの位置にあるかを求め、それを y/b とし、過去の測量資料（この場合は S.40～H.2 年間の 9 年分）についての y/b の値の平均値と標準偏差を算出し、これらが縦断方向にどのように変化するかを調べ、図 5.5 に示す結果を得た。

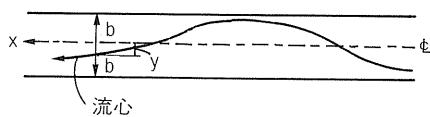
流路の平均的な位置は交互砂州の影響を受けて縦断的に左右交互に周期的に変化しており、その波長は交互砂州の波長に対応している。標準偏差の縦断変化について見ると、それぞれの場所で値をもっており、流路の位置は年度により変動していることがわかる。標準偏差の値は、流路位置の左右岸の極地の所（流路が堤防に最も近づいて、水衝部に当たると考えられる所）では小さく、流路が比較的安定していることを示している。これに対して、流路位置が河道の中央部にある断面での標準偏差は大きく、流路が横に振れやすいことを示している。また、流路位置の変動の標準偏差に見られる波長は、平均流路位置のそれに比べて短く、かつ不規則である。このことは次の理由によるものと思われる。すなわち、流路変動の波長は流量により変化し、流量が小さくなるほど波長は短くなる。実際には、各段階の流量の影響を受けて流路が変動するため、いろいろな波長が含まれ、流路変動の標準偏差の波長は不規則と

なる。また、小流量時の変動の波長は交互砂州の波長に比べて小さいため、交互砂州に支配される平均流路位置の波長に比べて流路変動の波長が短くなる。

上述のように、砂州や流路の安定性ないし変動の特性を検討し、川づくりに反映させることは重要である。

- ① 各測量年の流路位置 y/b の算出
- ② 9年間の平均流路位置の算出 $(\bar{y}/b) = \sum_{n=1}^9 (y/b)/n$
- ③ 分散の算出
 $\sigma = \left\{ (\frac{y}{b}) - (\bar{y}/b) \right\}^2 / n$ n : データ数(=9)
- ④ 標準偏差の算出
 $V = \sqrt{\sigma}$

流心の位置 (y/b) の定義
横断測量データに基づき、最深河床の位置を基本的に流心位置とした。



$x_0 = \frac{x_1 + x_2}{2}$
 $B = x_2 - x_1$
 $b = B/2$
 $y = x - x_0$

$y/b = \begin{cases} + & : \text{中心より右岸} \\ - & : \text{中心より左岸} \end{cases}$

図 5.4 流心の位置とその変動の計算法

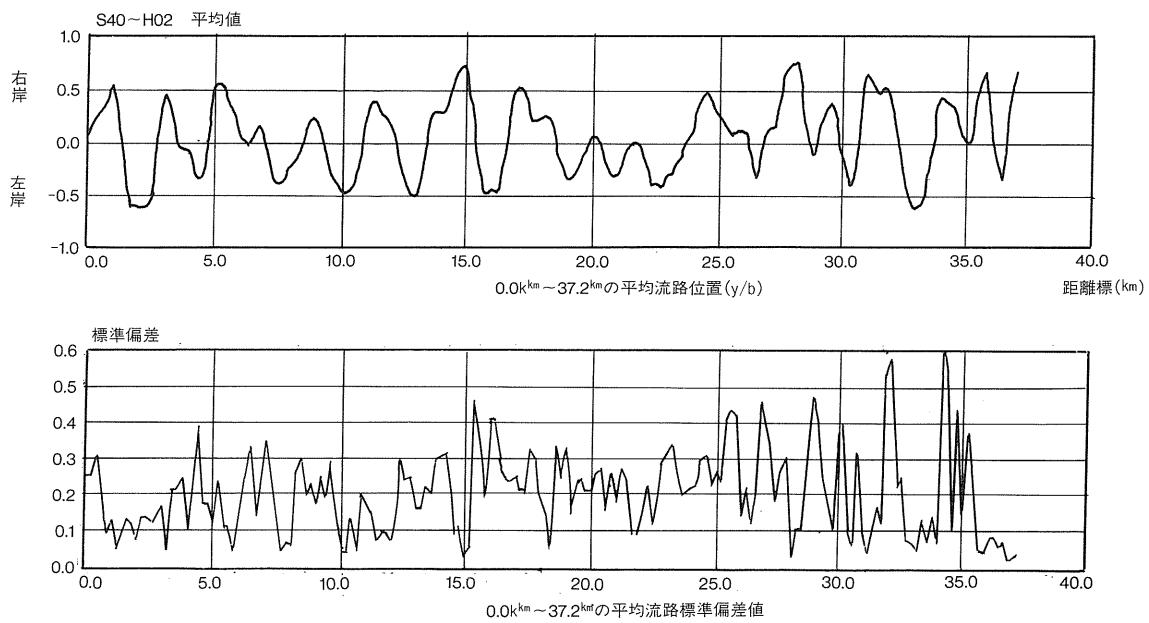


図 5.5 流路の位置の平均値と標準偏差

(3) 局所洗掘と護岸の安定性

河川において局所洗掘は、河道形態や河川構造物の状態に起因する。すなわち弯曲部外岸や橋脚周辺部のように流れが集中する箇所や、2次流による土砂移動が活発な箇所で局所洗掘が発生する。このような局所洗掘は、あるところでは淵となり魚類等の棲息環境の多様性などに非常に価値があるが、一方では、護岸や橋脚の安全性を欠くことになり、治水面において悪影響が生じる恐れもある。そこで、我々は将来の河道の状態を評価するにあたり、局所洗掘位置の時間的・場所的变化についても把握しておく必要がある。

木津川における平均年最大流量時の局所洗掘深 (H_{max}/H_m) の検討の結果を図5.6に示す。ここで、 H_{max} は断面最大水深、 H_m は断面平均水深である。これによると、 H_{max}/H_m の上限の包絡値は概ね以下の2つに分けられる。

- ① 0.0km～20.0km ; $H_{max}/H_m = 2.5$
- ② 20.0km～37.0km ; $H_{max}/H_m = 2.2$

6.0km～20.0km付近の区間において H_{max}/H_m が2.2を上回る箇所は河道の弯曲による水衝部にあたるものと判断される。また、6.0km付近より下流区間において H_{max}/H_m が比較的大きいのは、この区間の低水路側岸が土炭と呼ばれる粘性土で構成されているものと推定され、河床材料に比べ侵食を受けにくく、低水路部のみの河床低下が進行しているためであると判断される。

また、局所洗掘を把握する一方、護岸の長期的な安定性について十分検討しておかなければならぬ。既設護岸の安定性の評価は次のように考える。既設護岸の基礎高（あるいは根固め工の基礎下部高）を評価高とし、護岸近傍の最深河床高との関連から図5.7のように評価する。

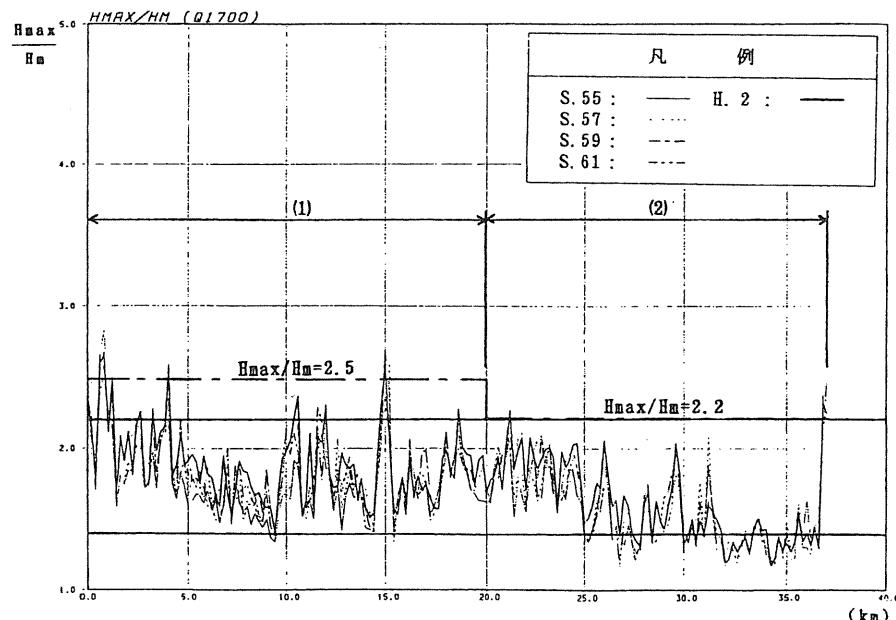


図5.6 区間別局所洗掘深 (H_{max}/H_m)

将来の最深河床高の予測は、河床変動計算結果と前述の H_{max}/H_m の調査結果に基づいて行う。すなわち、 H_{max}/H_m の予測値として河積変動量が安定してきた昭和55年以降6ヶ年の各断面での局所洗掘深の最大値に対する値を適用し、将来の最深河床高は、図5.8の $\Delta h'_{max} \approx \Delta h_{max}$ と考え、河床変動計算による将来の平均河床高から Δh_{max} を引いた値を設定する。検討結果の一例を図5.9に示す。

この検討結果は、将来の河床変動（低下）に対する護岸の保護対策の必要性について事前に予測するものであり、将来の河川像を念頭に置きながら川づくりを考えるにあたって必要不可欠な情報である。また、あわせてこれら保護対策方法も自然との調和を意識して検討していく必要がある。

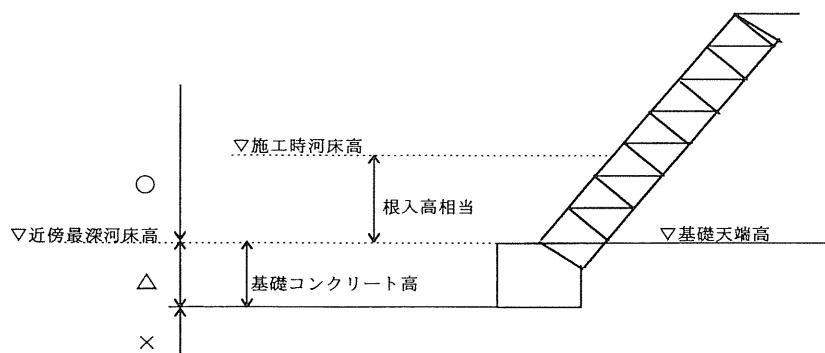


図5.7 護岸の安全性の評価

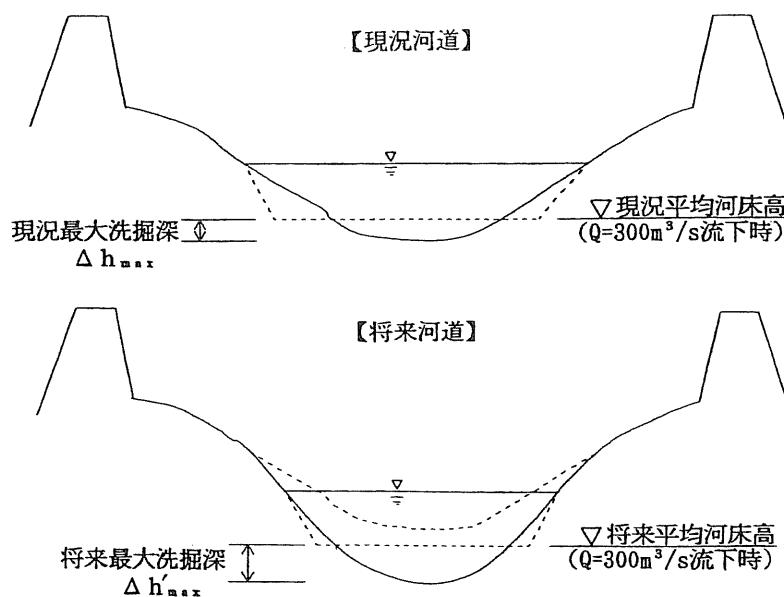


図5.8 将來の最深河床高

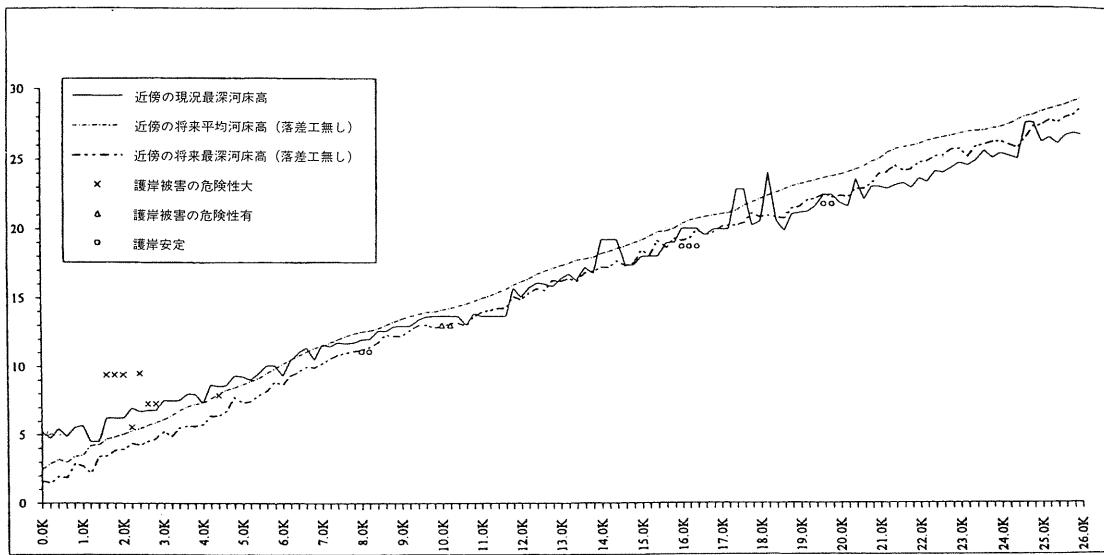


図 5.9 落差工無し；既設護岸の将来安全度評価（左岸）

(4) 側岸侵食

多自然型川づくりをしていく中で、治水・利水・環境を総合的に考えたとき、河道のどこの部分を保護する必要性があるのか、またはそのままにしておくことができるのかという検討が必要になってくる。そのとき、側岸侵食を経年的に調査することは、どの部分が安定していて、どの部分が危険なのか、侵食速度はどの程度考えておくべきなのかといったことを知る手がかりとなる。ここでは、木津川における過去の実績の側岸侵食量から、将来の侵食量を予測し、どの程度侵食量をみておけば堤防に対して安全であるか考察する。

2年ごとの定期測量で10年間にわたり調査された資料を用いて、期間内の側岸侵食量と10年間の累積値を調べた。侵食量の最大値は表5.1のとおりである。また2年間の側岸侵食量とその期間における最大洪水ピーク流量との相関により計画流量規模の洪水による侵食量を推定した。測量期間（2年間）の侵食量の最大値は約18m、10ヶ年累積の最大値は約25mである。一方、計画ハイドログラフ規模の洪水が生起した場合の2年間の侵食量の最大値は約25mであった。

したがって、堤防と低水路河岸との距離が25m以上あれば、側岸侵食に対しては、10年間程度の累積値に対しても、また仮に計画ハイドログラフ規模の洪水があったとしても安全だといえる。

表5.1 経年侵食量の実績値

| 2ヶ年及び10ヶ年の実績最大侵食量 |
|--|
| ○2ヶ年の侵食最大値 (17.8k右岸) 17.56m／2ヶ年 (S57とS59年の測量結果より) |
| ○10ヶ年の侵食最大値 (22.0k右岸) 24.92m／10ヶ年 (S55とH2年の測量結果より) |

(5) 河道計画の方針とメニュー

河道計画の方針を立案するに当たっては、河川の現状を分析し、将来の変化予測を行った上で、川づくりのコンセプトに従ってより望ましい河川の姿を検討することが必要である。ここでは、上記調査結果を基に、現時点で考えられる河道計画の方針とメニューについて検討した結果を概説する。

基本方針は、必要最小限の治水機能の確保を前提とし、以下のとおりとした。

- 1) 既設護岸の安全性及び将来の河床変動（低下）を考慮して水衝部の保護を図る。
- 2) 側岸侵食については、堤体の安全確保上問題とならない程度の侵食を許すこととする。
- 3) 疎通能力の不足する区間については、新たに低水路を設置する。
- 4) 堤防の安全向上、漏水対策、親水機能の向上の観点から緩傾斜堤防の導入を図る。

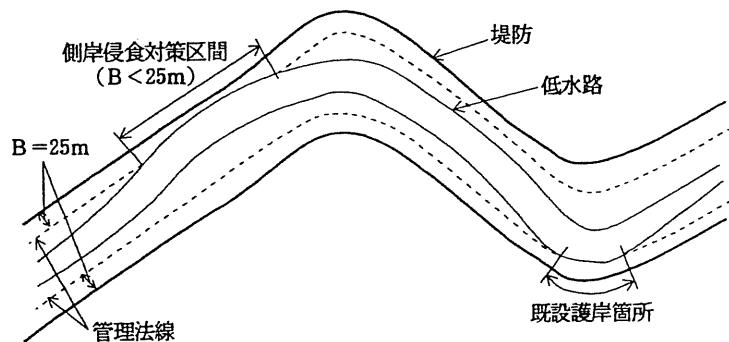
基本方針を踏まえ具体的な河道計画のメニューを以下に示す。

1) 水衝部の保護について

- ・堤防に接近している水衝部を要対策箇所として位置づけ、現況河道における既設護岸の有無及び根浮き等の現状を把握し、安全性に問題のある箇所を要対策区間（箇所）として位置づける。
- ・将来の河床変動（低下）に対して既設護岸の危険箇所を要対策区間（箇所）として位置づける。
- ・上述の検討で得られた水衝部の要対策区間（箇所）を対象とし、護岸の補強、新設あるいは水制工により対応するものとする。

2) 側岸侵食について

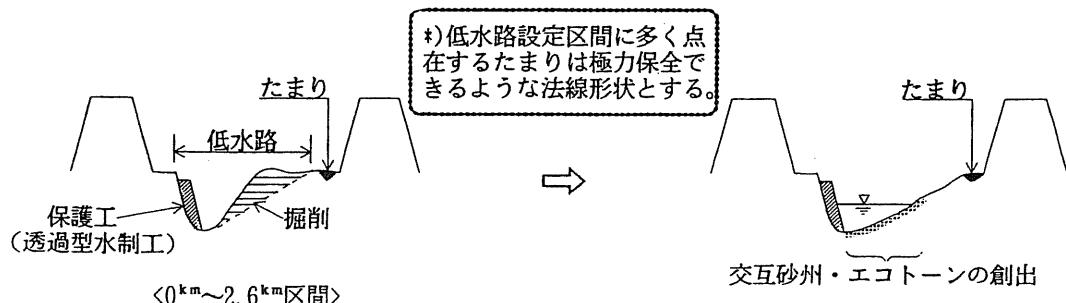
- ・側岸侵食が進行することにより、みお筋と堤防との距離が25m以下となっている箇所では堤体の安全性を確保するための対策を行う。
- ・堤防とみお筋との距離が25m以上ある箇所においても、側岸侵食に対する堤体の安全性確保の目安として、堤防から25mのラインを管理法線として設定する。ただし、既設護岸が設置されている区間は除外するものとする。
- ・側岸侵食による危険がある箇所は、堤防・低水路河岸の緩傾斜化あるいは自然に配慮した工法により対策を行う。



管理法線のイメージ図

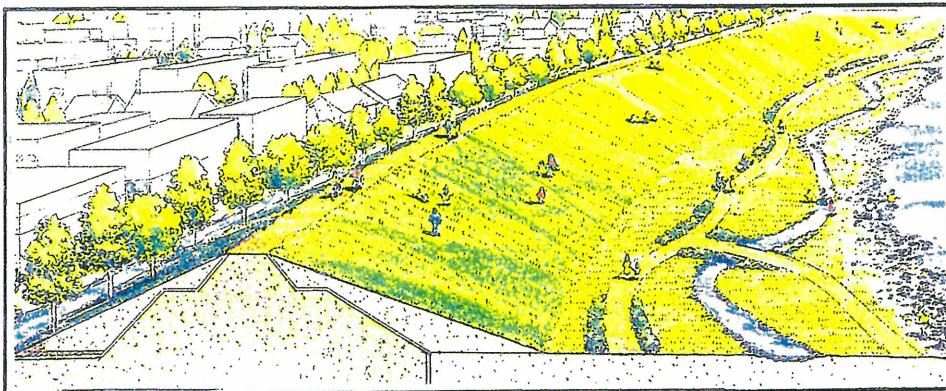
3) 疎通能力が不足する区間について

- ・高水敷を掘削できる区間については掘削し、低水路を拡大する。
- ・高水敷を斜めに掘削することにより、高水敷きと河床の落差を緩和し、エコトーンとしての創出を図る。
- ・新たな低水路設定区間に点在するたまりは極力保全できるような法線形状とする。



4) 緩傾斜堤防の導入について

- ・堤防の安全性の向上、漏水問題の解消、親水性の向上、疎通能力の確保等にも配慮して緩傾斜堤防の導入を検討する。



緩傾斜堤防のイメージ図

6. 多自然型護岸のあり方

多自然型の川づくりにおいて、低水路法面や堤防法面を保護する必要がある場合には、どのような護岸工法を採用するかについて、生態環境の観点から検討することが重要である。この場合、従来多く用いられてきたコンクリート製護岸では生物の棲息環境として好ましくないケースが出てくるであろうし、今後は、できるだけ天然の素材を用い、多孔性、屈撓性に富んだ工法を開発し、採用することが必要となろう。このことにより、川が本来持っている自然的な変動の余地を尊重し、ひいては多様な生物を育む機能を維持するために障害となるような人工的要素を最小限に抑えることが可能となる。

一方、このような多自然型護岸の防災機能、安定性については十分検討する必要があるが、現状では河岸に働く外力特性、多自然型護岸の破壊に対する抵抗力等について未知な点が多く、実際の設計に当たっては、河川技術者が経験に基づいて試行錯誤的に適用検討を行っているのが実状のようである。今後、多自然型護岸を多くの川づくりに普及させてゆくためには、こういった護岸の安定性に関する水理学的な検討に基づいた設計の目安となる情報が切望される。

この問題に関して、筆者らは移動床水理模型実験と数値シミュレーションにより多自然型護岸の持つ水理特性、防災機能を明らかにするための研究を進めているところである。これは、特に河道弯曲部に設置された空石積みの多自然型護岸に着目し、その合理的な設計指針の作成に資するデータを得ることを目的としたものであり、対象とする河道条件と護岸工法は限られたものであるが、多自然型護岸の設計の考え方として参考になると思われる所以、本論においてはこの研究の成果を中心に、多自然型護岸のあり方について述べる。

なお、実験は、 90° 単弯曲移動床河道を対象に、図 6.1(a)、(b)に示す模型水路において河床勾配、法面勾配、河道曲率半径、法覆い工及び根固工の粒径とその有無等をパラメータに、一定流量を通水することにより行い、流速分布、側岸侵食の状況、河床形状等を観測した。その結果を基に、河道弯曲部における流れの水理特性と、砂州の発達や局所的な洗掘等の河床変動特性を明らかにするとともに、河道諸元と安全な法覆い工の粒径や根固工の効果等に関する知見を得たものである。

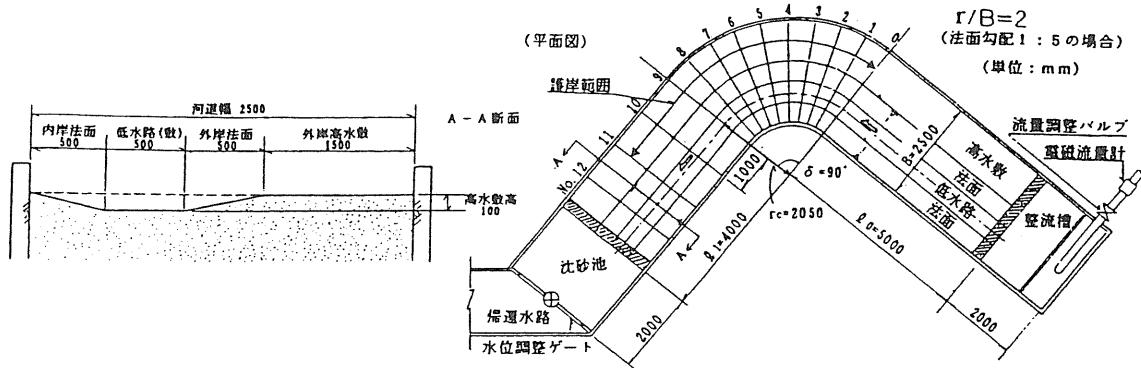


図 6.1(a) 模型装置

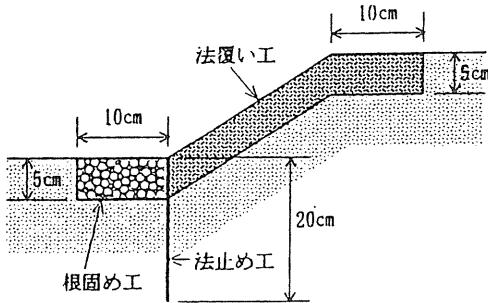


図 6.1(b) 法面部付近横断形状

6.1 設計外力

既往の護岸被災実績や実験結果によると、護岸の被災は流れの掃流力によって法覆い工材料が移動して破壊に至るケースと、護岸前面の洗掘が進み、不安定になった法尻部が崩れることによってそれがきっかけとなり護岸全体の破壊に至るケースが主たる形態と考えることができる。したがって、設計対象とする護岸への作用外力としては、法覆い工に作用する流体力と、護岸前面の洗掘を挙げることができる。これらの外力は、その発生メカニズムや最大外力の発生位置においてそれぞれ異なる特性を持っており、個別に評価しておく必要がある。よって、ここではそれぞれについて若干の考察を行うことにする。

(1) 法覆い工に作用する流体力

法覆い工には、流体力としての掃流力が作用する。したがって、設計流量に対する側岸部での掃流力を予測することが重要である。既往研究によると、直線河道においては、側岸部に働く掃流力は河道内の平均掃流力の約半分程度であることが知られている。これは、摩擦速度にすると約0.7倍であり、流速が概ね0.7倍になることに相当する。ところが、河道弯曲部においては流れの集中等によりこの状況が異なってくる。

図6.2は、河床勾配1/500、低水路法面勾配1:2、(曲率半径 r / 川幅 B) = 2の条件で低水路満杯流量を通水したときの実験結果で、直線部の平均流速に対する各測点の鉛直平均流速の割合の平面分布を示している。これによると、弯曲部入口付近の内岸側と、弯曲部出口付近の外岸側で大きな流速が発生することがわかる。護岸の設計外力とすべき流体力は後者の外岸流速に対応するものであり、一例ではあるが実験によると、直線部断面平均流速の1~2割増し程度の流速が外岸法面部に発生している。これは内岸砂州の発達や流れの慣性力によって流れが外岸に集中した結果であり、掃流力に換算すると2~4割増しと見積もられる。

このような流れの集中による最大流速の大きさと発生位置は、河道形状、流れに対する抵抗特性、及び流れの慣性力の複合的な影響に支配されて決まるものであり、これらの支配要素が与えられた場合に、どの程度の外力が、どの場所に発生するのかを予測することが設計上重要となる。

筆者らが行った実験によると、護岸前面の洗掘が最大になる断面と、外岸側の掃流力によって側岸侵食を受けやすい断面は表6.1のとおりであり、図6.3に示すように弯曲部入口付近の内岸側の流れが弯曲部外岸のどのあたりに達するかを(ごく単純に)幾何学的に推定し、その少し下流側で深掘れが発生し、そのさらに下流で側岸部の掃流力が最大になるものと考えればおよそ説明がつく結果を得た。この結果に基づくと、 r/B が大きくなるほど最大流速はより上流側で発生することになる。

また、最大流速の大きさについても r/B の影響が重要であることが報告されており¹³⁾、筆者らが行った平面2次元浅水流モデルと河床変動モデルで構成される数値シミュレーションモデルによる計算結果においても、 r/B が大きくなるほど外岸最大流速 $V_{t o e}$ と平均流速 $V_{a v g}$ の比が小さくなり、また、その値は水深川幅比 (h/B) 等の河道特性によって影響を受けるという結果を得た。

これらの結果は、さまざまな要因に対して今後さらに系統的に分析する必要があるが、現時点における知見として興味深い情報である。

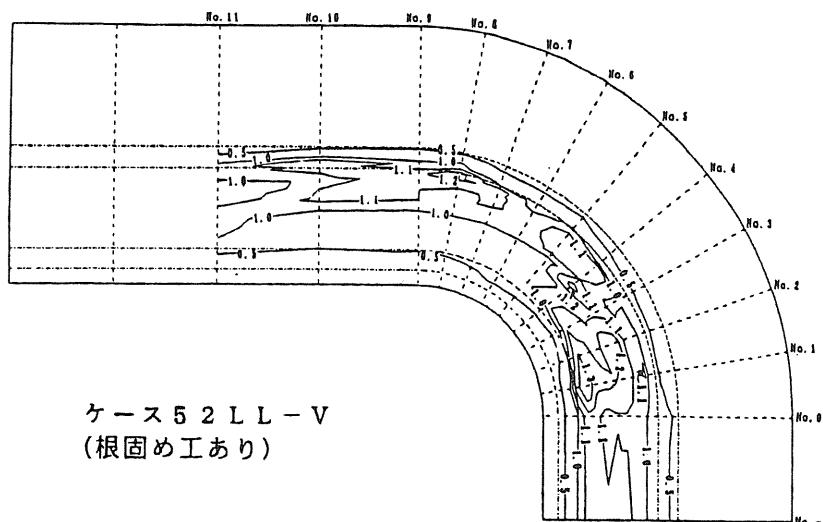


図6.2 (各測点の水深方向に平均した流速) / (直線部の平均流速 (No.-1の測定値)) の分布

表 6.1 弯曲部において洗掘及び側岸侵食を受けやすい断面

| | 深掘れする断面 | 側岸侵食を受けやすい断面 |
|-------------|----------|--------------|
| $r / B = 1$ | No. 9 付近 | No.10より下流 |
| $r / B = 2$ | No. 6 付近 | No. 9 より下流 |
| $r / B = 5$ | No. 4 付近 | No. 7 より下流 |

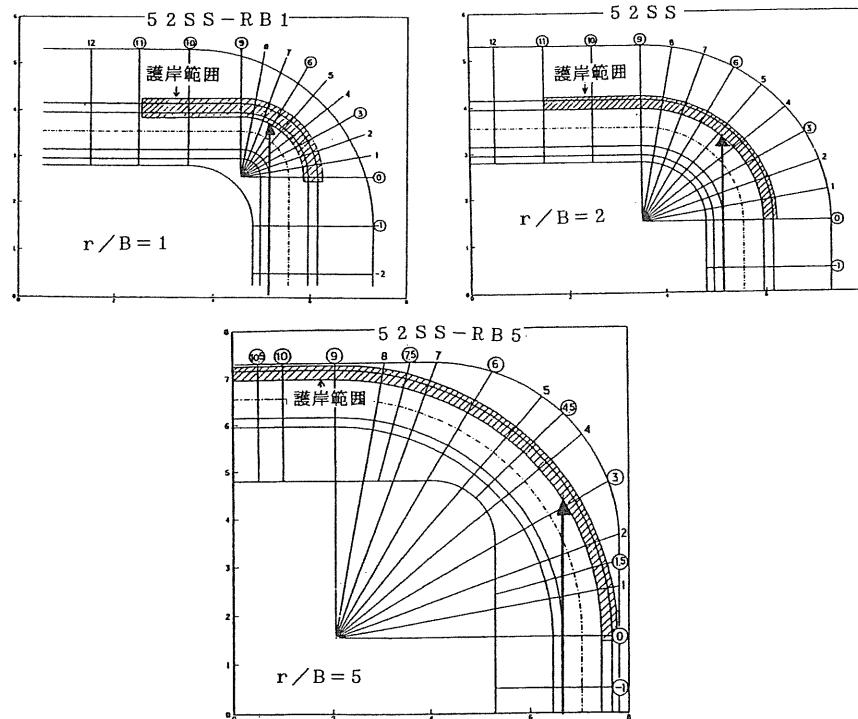


図 6.3 内岸の流れが外岸に達するおおよその位置

(2) 護岸前面の洗掘

河道弯曲部外岸においては、2次流に起因する河床洗掘が発生する。したがって、設計流量流下時ににおけるこの局所洗掘の発生位置及び洗掘深を予測することが重要となる。この洗掘の状況は、側岸部の護岸工の構成によって若干異なったものになり、これに関して筆者らが実験的に得た知見を以下に述べる。

図 6.4 は、 $r / B = 2$ の河道について表 6.2 に示す条件で定常的に通水を行った場合に、根固め工がある場合と、除去した場合それぞれについて平衡となった河床に対する最大洗掘深の縦断分布を示している。なお、河床材料は平均粒径1.13mmの一様砂であり、根固工を除去したケースでは、法尻部に法止め工を鉛直に設置している。同図より次のことがいえる。

- ①根固工がある場合の洗掘深は、ない場合に比べてほぼ1/2程度に抑えられている。
- ②洗掘深に対する法面勾配の影響をみると、法面勾配が急（1 : 2）な場合より、緩い（1 : 5）の方が最大洗掘深は小さい。
- ③低水路満杯流量時の最大洗掘深に比し、流量を1.5倍にした高水敷冠水流量時のそれは若干大きくな

るが、それほどの変化ではなく、法止め工の設計のための最大洗掘深の推定には、低水路満杯流量時の値を用いてもよいであろう。

④根固工のない場合における低水路満杯流量時の最大洗掘深は、法面勾配1:2および1:5の場合、それぞれ平均水深のほぼ1.8倍および1.4倍であり、非常に長い法止め工が必要となり、通常行われているように、根固め工を設置することの重要性が理解される。

また、同図には示されていないが、根固工がある場合の最大洗掘の横断的位置は、河道法線のセンターラインよりの低水路外岸であるのに対し、根固工がない場合は法尻付近へと移動することが確認されている。

表 6.2 実験ケース一覧

| ケース名 | 河床勾配 | 法面勾配 | 流量 |
|---------------|-------|-------|-------|
| 5 2 L L - V | 1/500 | 1 : 2 | 低水路満杯 |
| 5 2 L L F - V | " | " | 高水敷冠水 |
| 5 5 L L - V | " | 1 : 5 | 低水路満杯 |
| 5 5 L L F - V | " | " | 高水敷冠水 |

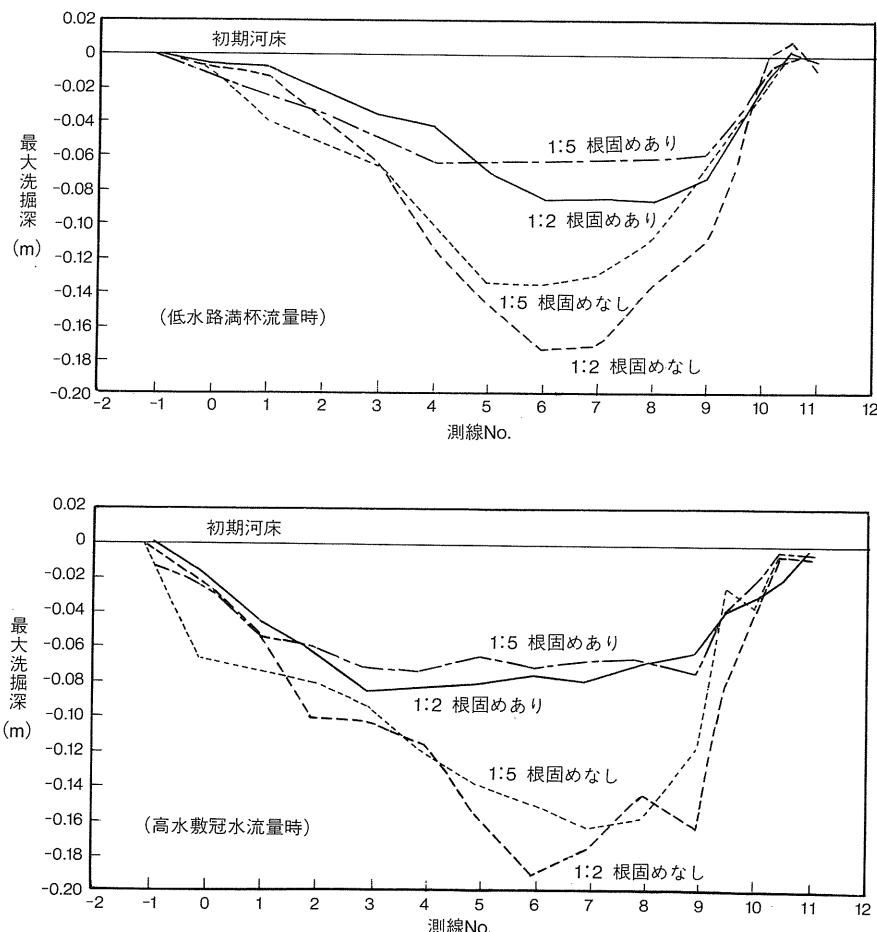


図 6.4 各断面の最大洗掘深の縦断分布

これらの結果は、根固工の有無により、横断形状、特に洗掘深およびその横断位置が変化することを示している。すなわち、根固め工がある場合には根固め工部と境界を接する河床材料部が洗掘を受け、不安定となった根固め工が崩れ、その根固め工が洗掘を受けた河床材料部を保護し、比較的なだらかな横断形状になるとともに洗掘深も小さくなるものと考えられる。

さらに、前述したように最大洗掘深の縦断方向の発生位置についても r/B が大きいほど上流側にくるが、その位置は最大掃流力（最大流速）発生位置よりやや上流側に現われ、両者は必ずしも同じ場所で発生するわけではないことがわかっている。

以上は限られた実験条件についての結果であるが、法止め工や根固工の根入れ深さ、ひいては護岸の安定性確保のための一つの指標になると考えられる。

6.2 設計の基本的な考え方

前述したような設計外力特性に対して、その大きさと作用位置が予測されたならば、それに対して護岸をどのような考え方で設計するかということが課題となる。多自然型護岸の設計に際しては、対象とする川さらにはその施工区間の自然的、社会的条件等によってそれぞれ固有の設計思想が生まれるわけであるが、その中においても護岸の安定性の確保についてはいかなる場合も基本的な事項である。したがってここでは、護岸の主な構成要素である法覆い工、法止め工、及び根固工について、防災機能からみた設計の基本的な考え方を述べる。

(1) 法覆い工

法覆い工は、設計流量に対する側岸部での掃流力に耐え得る構造にしておく必要がある。空石積み護岸の場合、用いる石の法面上での移動限界掃流力が作用外力を上回る必要があり、これらを的確に予測し、設計に反映させなければならない。これについては前節で述べた知見が参考になろう。

法覆い工材料の移動限界掃流力を高める方法としては、粒径を大きくする、法面勾配を小さくする等が考えられる。前者は生物にとって好ましい大きさの範囲であるかという問題や、景観、親水性を考慮した場合に適切なものであるかといった観点から制約を受ける可能性があり、後者については洪水疎通能力を確保するためには川幅を大きくする必要が生じ、周辺状況からスペース的な制約を受けることが考えられる。

したがって設計に当たっては、これらの種々の要因について十分検討し、可能な範囲で最も望ましいかたちで護岸の安定性を確保する方法を見いだすことが重要である。本論では詳しく触れないが、状況によっては水制工等により、外力となる流れを制御したり、護岸前面の洗掘を抑制することも併せて検討することも必要となろう。

また、法尻部の崩壊がきっかけとなり護岸全体の破壊につながる場合も多くみられるため、この部分の法覆い工の移動を抑制することが重要である。これについては法止め工や根固工の設置が有効である。

(2) 法止め工

主として法尻部の法覆い工の崩壊を防止するために法止め工を設置する。したがって、洪水時に護岸前面が洗掘されても法覆い工部を支えられる強度と構造を有していかなければならない。

法止め工の根入れ深さは護岸前面の最大洗掘時でも十分な機能をもたせるように設定する必要がある。そのためには設計流量規模の洪水時の最大洗掘深を予測することが重要であり、前述した筆者らの実験結果や既往の研究成果を参考に、当該河道区間での洗掘量を評価し、設計に反映させるべきである。

また、法止め工は根固め工のように法尻部前面の洗掘に対して法覆い工の安定性を確保するものとは違い、状況によっては図6.5に示すように護岸前面の局所洗掘を許すことによって淵を形成し、生物の生息環境の多様性からみて好ましい川づくりのひとつのかたちになり得ると考えられる。この場合に限るわけではないが、想定される局所洗掘深が許容量を越える場合には、図に示すように洗掘限界位置に洗掘防止のための防護工を施すことも検討すべきであろう。

防災機能上の留意点は以上のようなことと思われるが、材質的にはやはりできるだけ天然の材料を用い、さらに側岸部と本川部の水や生物の行き来が可能な、多孔質な構造とするのが理想的である。

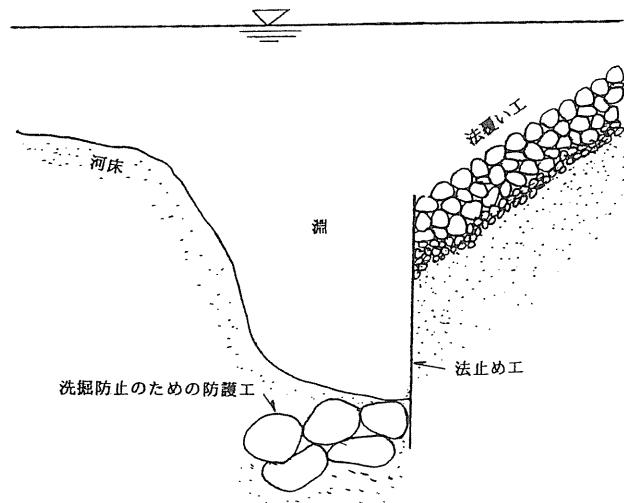


図6.5 法止め工設置に伴う淵の形成

(3) 根固工

根固工は、法尻部前面の洗掘を抑制し、法覆い工の崩壊を防止するために設けるが、その機能を推持するためには根固工自身の安定性が確保されなくてはならない。多自然型川づくりにおいては、根固工の材料もできるだけ自然石を用いることが望ましく、捨て石のような多孔質で屈撓性のある構造とすべきである。この場合、個々の根固工材料の移動限界掃流力が根固工設置区間の掃流力を上回る必要があり、法覆い工の設計と同様に作用外力の評価が必要である。

一方、根固工前面の洗掘に伴い、根固工がある程度洗掘に追随するかたちで崩壊することによって、河床の局所的な洗掘を抑制する効果には配慮すべきであり、そのためにも柔構造でかつ崩壊後は個々の

材料が河床に留まるような粒径にしておくことが重要である。そうすることにより、河床の安定と根固工自身の安定性確保を図ることができる。

また、根固工下部の河床材料の吸い出し防止についても留意する必要がある。吸い出し防止対策については従来より種々の工法が開発されているが、できるだけ自然的な配慮が望まれる。筆者らは砂礫層で構成される吸い出し防止材の設計手法について検討を行った⁸⁾。

6.3 設計法

護岸設計の基本的考え方に基づいて実際に護岸を設計するためには、防災機能確保に必要な護岸諸元に関する技術的な情報が必要である。

検討対象とすべき河道区間が与えられたとき、どこに、どの程度の強度の護岸を、いくらの法勾配で設置すればよいのかが問題となるが、これについては筆者らが進めている空石積み護岸の設計法に関する研究結果が参考になると思われるので、ここでは現時点における研究成果を紹介し、設計検討のひとつの方針を示すことにしたい。

実験は、図6.1(a)、(b)に示す諸元の模型水路を用いて、表6.3(a)、(b)に示す条件で定常的に通水することによって行った。表6.3(a)には護岸の挙動に関する実験結果も併記している。ここで、通水に伴う側岸侵食の状況を、侵食が全く生じないもの、侵食はある程度受けるが河岸は保護されるもの、及び侵食を受け河岸の洗掘に至るものに区分し、それぞれ○、①、●で表示している。

問題は、河道諸元と護岸諸元が与えられたときに、このような護岸の侵食・破壊状況をいかに予測するかであるが、そのためのひとつの試みとして、(直線河道部法面上のLaneの式¹⁴⁾による限界摩擦速度 u_{*sc0} / 直線部の断面平均摩擦速度 u_{*0}) と r/B の平面上に実験値をプロットしたものが図6.6である。直線河道側岸部における砂礫の移動限界は $u_{*sc0}/u_{*0} = 0.7$ で表されるとされ、 $u_{*sc0}/u_{*0} > 0.7$ でも黒塗りの結果となっているのは、弯曲部における流れの集中や2次流の影響で、弯曲外岸部の u_* が直線河道側岸部のそれより大きくなっていることを示唆するものである。

また、 $r/B = 2$ のとき図6.3で側岸侵食を受けやすい断面での外岸側には断面平均流速の1~2割増し程度の流速が発生していることと、図6.6で安全・危険の境界が縦軸の1.1付近に現れていることがおおよそ符合する。さらに、筆者らが行った数値シミュレーションによると、 r/B が大きいほど外岸最大流速が小さくなる傾向にあることがわかっており、これらを考え合わせると、側岸侵食の発生限界が図6.6の点線(目盛りは右軸)で示した流速の現地実測データに基づく流れの集中度合いに対応する右下がりの傾向をもつ境界線で表現できることが予想される。なお、前述したように最大流速の大きさや発生位置は、河道形状及び流れの抵抗と慣性力に支配されて変化するものと考えられ、この点についてさらに検討が必要である。

以上で述べた方法は、90° 単弯曲河道を対象にしたものであり、それとは異なる河道平面形状例えば蛇行河道の場合等にはその状況に応じて適用方法を検討する必要があることはいうまでもない。

また、複断面河道においては、特に蛇行河道で高水敷冠水流量が流下するときには低水路流れと高水

敷流れの干渉によって複雑な流れを呈することとなるが、その状況は河道平面形状のみならず低水路深さと高水敷水深、及び低水路幅や高水敷幅等の河道諸元や流量によって異なったものとなる。このような問題も護岸の設計には非常に重要な検討事項であって、現在、現象の解明に向けて多くの研究がなされているところである。

さらに、前節で述べたように種々の制約条件から多自然型護岸の十分な安定性確保が困難な場合には、水制工等の補助的な構造物によって流れを制御することにより、護岸に作用する外力を緩和して、より望ましい護岸形式の実現可能性を広げることを検討することも重要である。筆者らはこのような考え方の下で、水制工のもつ護床・護岸機能について研究を進めているところであり、近々成果をとりまとめ予定である。

表 6.3(a) 実験ケース及び実験結果

| No | 河床 勾配 (1/ \sqrt{H}) | 河床 粒径 (mm) | 法面 勾配 | 流量 (ℓ / s) | 法覆 い工 | 根固 め工 | r/B | 実験 結果 | |
|----|------------------------------|------------------|----------|----------------------|----------|----------|-------|----------|--|
| a | 1000 | 1.13 | 1 : 2 | 38.9 | — | — | 2 | ● | |
| b | | | 1 : 5 | 35.5 | — | — | 2 | ● | |
| c | 500 | 1.13 | 1 : 2 | 40.4 | — | — | 2 | ● | |
| d | | | | 40.4 | 大 | 大 | 2 | ○ | |
| e | | | | 40.4 | 大 | — | 2 | ○ | |
| f | | | | 40.4 | 小 | 小 | 2 | ○ | |
| g | | | | 40.4 | 小 | — | 2 | ● | |
| h | | | 1 : 3 | 40.0 | 小 | — | 2 | ● | |
| i | | | | 38.2 | — | — | 2 | ● | |
| j | | | | 38.2 | 大 | 大 | 2 | ○ | |
| k | | | 1 : 5 | 38.2 | 小 | — | 2 | ○ | |
| l | 300 | 1.13 | | 51.0 | 小 | 小 | 2 | ● | |
| m | | | | 50.0 | 大 | — | 2 | ○ | |
| n | 200 | 1.13 | 1 : 2 | 60.0 | 小 | 小 | 2 | ● | |
| o | 500 | 0.70 | 1 : 2 | 40.4 | 小 | 小 | 1 | ● | |
| p | | | | 40.4 | 小 | — | 5 | ● | |

表 6.3(b) 実験材料

| 項目 | | 設定値 |
|------|---|-------|
| 法覆い工 | 大 | 5.3mm |
| | 小 | 2.9mm |
| 根固め工 | 大 | 9.8mm |
| | 小 | 5.3mm |

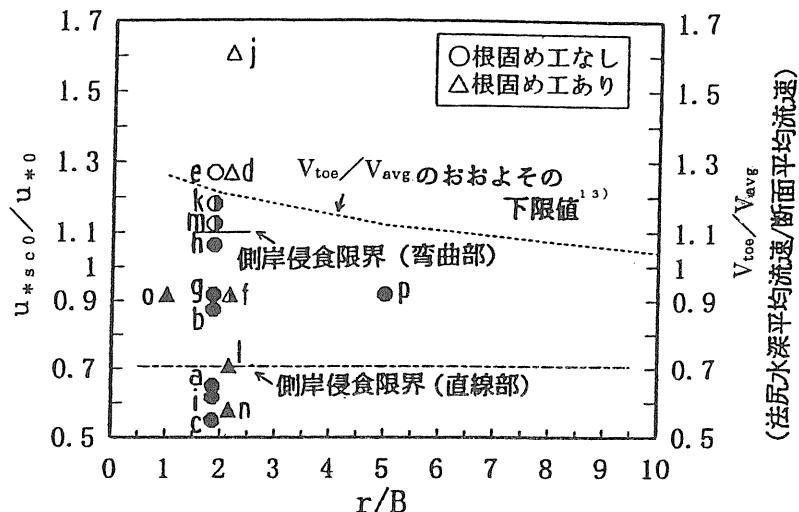


図 6.6 側岸侵食限界

7. おわりに

多自然型河川のあり方と工法について筆者の考えていることを述べてみたが、あらためて思うことは川の自然的機能は様々な要素が複雑に絡み合って形成されていくもので、ひとくちに多自然型河川のあり方といつてもその具体的な方向はそれぞれの河川流域あるいは河川区間で千差万別であるということである。したがって、川づくりの検討についてもひとつの決まった方法で言い表せるものではなく、我々はそれぞれの河川の自然的・社会的条件に応じて臨機応変に治水、利水、環境の調和した最も、望ましい将来像を追求していくべきである。本論で紹介した木津川におけるケーススタディーはそのためのひとつ参考事例として位置付けられるものであり、今後も継続して検討を行う予定である。

それぞれの川づくりで共通して重要なことは、川をよくみるということである。そして、よく考えることである。それは取りも直さず現在の川のもつ自然的特徴と川を取りまく周辺環境を分析し、将来のあるべき姿を想い描き、それを実現させるための方法を、川の応答を予測しながら検討することである。

本論ではそのための一助として、筆者がこれまでに得た興味深い情報を示すことを試みた。

最後に、筆者がこれから川づくりについて考えるに当たって有意義な議論と情報提供を頂いた、「河道計画研究会」のメンバー、ならびに多自然型護岸の研究を進めるに当たって筆者とともに議論した大学、建設省、(財) 河川環境管理財団の関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) (財) 河川環境管理財団(1994) ; 第1回「河道計画研究会」資料
- 2) (財) 河川環境管理財団(1994) ; 第2回「河道計画研究会」資料

- 3) (財) 河川環境管理財団(1995) ; 第3回「河道計画研究会」資料
- 4) 芦田和男・大槻英樹・戸田圭一(1995.7) ; 多自然型河川工法の実験的検討、河川環境総合研究所報告第1号
- 5) 芦田和男・大槻英樹・大本雄二(1996.7) ; 多自然型護岸の実験的研究、河川環境総合研究所報告第2号
- 6) 芦田和男・大槻英樹・劉炳義・大本雄二・藤田暁(1996.7) ; 複断面湾曲部の流速分布と河床変動シミュレーション、河川環境総合研究所報告第2号
- 7) 芦田和男・大槻英樹・大本雄二(1997.7) ; 多自然型護岸の実験的研究(2)、河川環境総合研究所報告第3号
- 8) 大槻英樹・中西史尚・大本雄二(1997.7) ; 砂礫による根固め吸い出し防止材の設計について、河川環境総合研究所報告第3号
- 9) 芦田和男・大槻英樹・戸田圭一・大本雄二(1995) ; 弯曲部における多自然型護岸に関する実験的研究、第50回土木学会年次学術講演会概要集
- 10) 芦田和男・大槻英樹・大本雄二・中川哲志(1997) ; 河道弯曲部における多自然型護岸に関する実験的研究、第52回土木学会年次学術講演会概要集
- 11) 大槻英樹・芦田和男・劉炳義・大本雄二(1997.6) ; 河道弯曲部における多自然型護岸の設計、新しい河川整備・管理の理念とそれを支援する河川技術に関するシンポジウム論文集
- 12) 芦田和男(1995.7) ; 好ましい水環境、河川環境総合研究所報告第1号
- 13) 例えは、Colin R. Thorne, Steven R. Abt, Stephen T. Maynard(1995); Prediction of Near-Bank Velocity and Scour Depth in Meander Bends Design of Riprap Revetments, RIVER COASTAL AND SHORELINE PROTECTION - Erosion Control Using Riprap and Armourstone -
- 14) 水理公式集(昭和60年版) ; p223