

1. 水辺空間における近自然工法による 建設材料の研究

1. 一般

- (1) まえがき
- (2) 生態系のために
- (3) 洪水に対して

2. 近自然工法によるモデル施工

- (1) 施工概要
- (2) 河道の安定
- (3) 河川の水質
- (4) アルカリ分流出調査

3. まとめ

北海道大学 佐伯 昇

1. 一般

(1) まえがき

現在、日本では景観というと構造物の美しさ、自然にマッチした構造、庭園的な美しさなど狭い意味に用いられているが、スイス、ドイツで使われている景観、ランドシャフト (Landschaft) は自然環境を保護するためのもので、自然的な美しさは勿論のこと、生態系の保護、ビオトープ (生物の生息空間) の保護など広い意味であり、開発に対して自然環境を保護するという観点からの景観である。

アメリカでは開発に伴う自然環境の破壊にブレーキをかけるために1973年にミティゲーション (Mitigation) 制度を発足させている。これは開発によって消滅する自然環境に対して造成、修復によって質的、量的にも同等の自然環境を補償することを原則とするものである。これによって自然に対して優しい工法が経済性からみて有利であることが段々と判明し、自然保護の研究が促進されたと言われている。同様にドイツのバイエルン州のビオトープ保全でも、開発計画が生息地の自然環境に引っ掛けている場合には回避するか、同質、同規模のものを補償するか、場合によっては異質のものを創設することが条件となっている。このように開発と自然保護とを調和されるため先進国では、飽くなき努力がなされている。

さて、コンクリートは我々の生活あるいは産業空間を自然災害から守るため、あるいは快適な空間を創るために大きな役割を担っている。しかし残念ながらその使い方によっては自然を破壊する材料と見なされている傾向にある。それはこれまでコンクリートは使い易く、安価であるために自然および人間空間に大量に用いられ、効率性のみの評価によって使用されてきたために自然環境との調和を失った嫌いがある。ちょっと視点を変えることによってコンクリートは自然と対峙する関係から自然環境を保護する親しい材料であることが判る。

コンクリートは空気中の炭酸ガスを微力ながら吸収し、地球の温暖化を防ぎ、過酷な環境に耐える能力は、宇宙環境にも耐えることができる材料としてルナコンクリートの開発が開始されている。原料は70~90%が自然石でありセメントはサンゴなどの生まれ変わりでもある。また経済性にもすぐれ、曲線性などの色々な形に対応できることから、自然の造形に調和させながら景観を創ることが可能である。さらに不要になったコンクリートは再生骨材としてリサイクルすることができ、地球上で最も環境に対して優しい材料の一つである。自然からの猛威を守り、広い意味での景観にマッチするコンクリートに発展させることができるように要求されてきている。本研究では小河川の水辺に用いられるブロック護岸の生態系に配慮した工法を明らかにする。

(2) 生態系のために

最近スイス、ドイツなどの、ヨーロッパ諸国において近自然工法によって河川の改修が行われ、でき

るだけ自然に近い状態に修復する工法が取られている。小河川の場合、川の流れに蛇行をつくり、瀬や淵を形成させ、水中生物の生活環境を確保している。さらに生物のエネルギー源となるリター（落葉落枝）の供給の為、河畔林などの樹木を川辺に近づける試みがなされている。

a. 湿地、河畔林

雨が降ると約40%が蒸発散によって大気に戻り、10%が地表を伝わって川へ、また30%が地表に浸透した後に川に流れ込む。また、20%が地中を通り地下へ流れる。河川では地表と湧き出るものとで40%を分担していることになる（渡辺佐一郎、図-1）。これによって作られる水辺は生物の生命線で、川は洪水を流すためだけの排水路ではない。水辺空間は草木によって作られる湿地帯で、通称“藪”と呼ばれている。藪は降った雨を貯めると共にゆっくりと水分を蒸発させ、また防風の効果を持つ。この効果は藪の高さの10倍以上の長さに及ぶと言われている。動物の分布を図-2に示す。川の生物が依存している食物の大部分は河岸の木から落ちるリターを基とする食物連鎖と言われている。昔の河岸にはハンノキ、ヤチダモなどが繁り、生態系には良い環境であったが、流木による洪水時のダムアップ、流路面積の確保などの点から河岸の植樹が難しい規定になっている（図-3）。

最近、緩和の方向はあるが、小河川において、十分な洪水設計を行われていれば、もっと緩和しても良いと思われる。洪水時の緩衝空間や景観から河畔林は重要であり、河畔林を拡幅部に、また藪を形成できる空間の確保と護岸の両岸には植樹することが必要である。

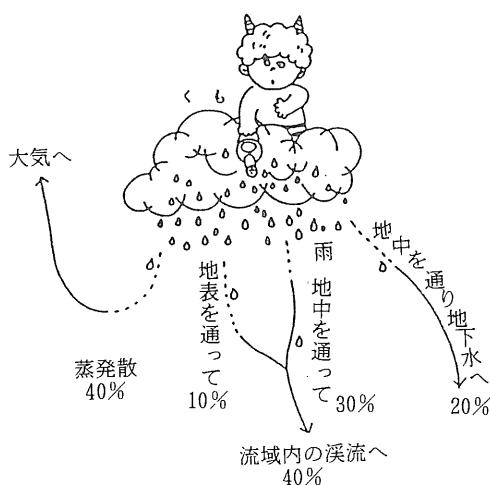


図-1 水 収 支

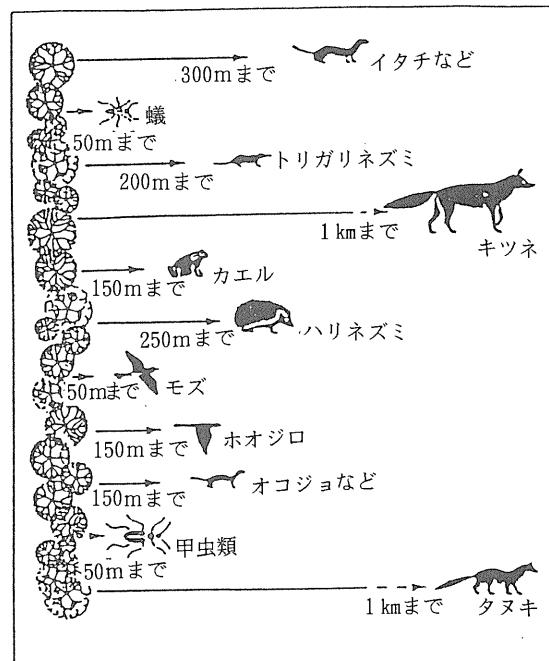


図-2 やぶに住む生物の行動 (C. Göldi)

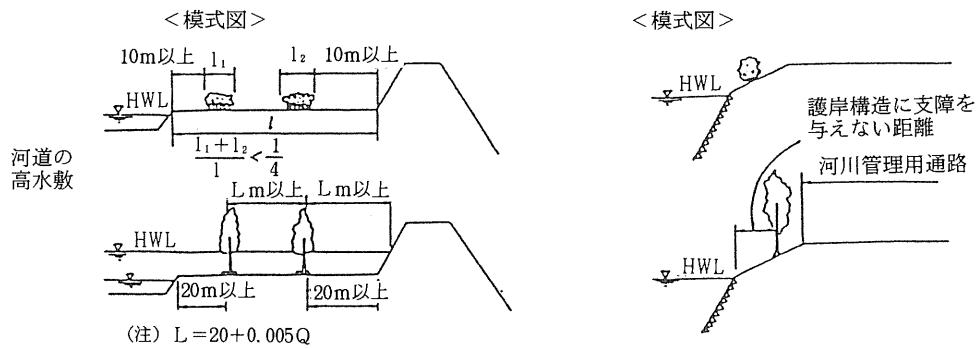


図-3 河岸等の植樹基準（案）

b. 瀬、淵と浮き石

水生昆虫の生息数を増加するためには浮き石状態（砂利が積み重なっている状態）が必要で、適当な流速を確保するため帶工、河床に適当な大きさの礫（8cm以上程度）を投入すること、拡幅部を確保し河畔林を残し流路幅を余裕をもたせること、屈曲、瀬、淵を作ることなどを鈴木氏は指摘している。竹門氏は川の生態的にみた視点から、ヤマメ、イワナ、アユなどの産卵床は「淵あるいは平瀬の下流端で次の早瀬との境界に砂礫堆が発達している場所」いわゆる淵尻の瀬頭、ここは小礫がルーズに堆積し、軟底であり新鮮な水の供給が可能で、カゲロウ類、ガガンボ類の産卵場所でもあり、魚が集まり、カワセミ類の採取場所となる。ウグイの産卵床は「瀬尻のかけ上がり」であり、淵への流れ込みは水中昆虫の流下を狙って魚が集まる。浅瀬では石の隙間にリターがひっかかり、リターパックという塊が形成され、これを餌としてトビケラ類、カワゲラ類が集中する。このようにしてスムーズな食物連鎖（図-4）が起こる。また生物に対する水質基準を表-1に示す。

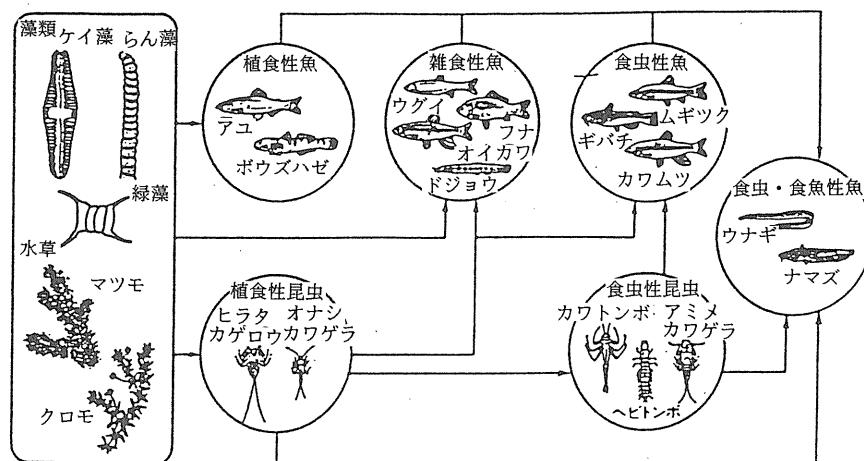


図-4 食物連鎖

表-1 生活環境に係る環境基準（水の分析・化学同人）

[河川に対して]

水 域 の 類 型	AA	A	B	C	D	E
基準値（日間平均） BOD ₅ (mg/l) DO (mg/l) SS (mg/l)	1以下 7.5以上 25以下	2以下 5以上	3以下 5以上	5以下 50以下	8以下 100以下	10以下 ごみなどの浮遊が認められない
p H			6.5~8.5			6.0~8.5
利用目的の適応性	山奥の清流など自然環境の保護に必要とされる程度 簡単な処理で水道に使える程度	ヤマメ、イワナなど特に清水を好む魚の生息に適する限度 通常の処理で水道に使える程度 水浴に適する限界	サケ、アユなど清水を好む魚の生息に適する限界	コイ、フナなど比較的汚濁に強い魚類が生息しうる限界 沈殿のみで工業用に使える程度	水田かんがい用に使える限界 工業用水に使うには高度の処理を要する程度	異臭を発せず歩道やボート遊びが不快でない限界 工業用水にするには特殊な処理を要する程度
生物学上の水質区分	貧 腐 水 性 水 域		β - 中腐水性水域		α - 中腐水性水域	

c. 施工材料

土、砂利などの自然材料とコンクリートとの違いの1つに透水性がある。コンクリートの透水係数は 10^{-10} cm/sec のオーダーであり、ほとんど水を透さない。土の透水係数は 10^2 オーダーから 10^{-9} の不透水材料まであり、透水性は広い範囲にある（表-2）。コンクリートなどの不透水材料のみで水辺空間を固めることは動植物にとって快適な環境とは言えない。この環境に適応できる生物のみが生活できる貧しい環境になる。

表-2 透水係数（土質工学会）

透水性	透水係数 k (cm/s)														
	10^2	10^1	1.0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}			
土の種類と分類記号	高 い	中 位	低 い	非 常 に 低 い					実質上不透水						
清浄な礫(GW, GP)	清浄な砂および砂礫(GW, GP, SW, SP, GM)	微細砂、シルト、砂-シルト-粘土混合土層状粘土など(SM, SC, ML)				“不透水性”的土、例えば風化を受けていない均質な粘土(CH, MH, VH)									
透水係数を直接測定する方法	現場透水試験(揚水試験)。適切な方法で行えば信頼できる。かなりの経験を要す。				現場透水試験(回復法、注水法)。経験を要す。										
			定水位試験	変水位透水試験。飽和に要注意。											
透水係数を間接的に推定する方法	特殊な変水位透水試験。								特殊な室内透水試験。						
	粒径分布から計算。清浄な砂と礫に適用できる。								圧密試験結果から間接的に計算。						

(3) 洪水に対して

我が国は河川下流部に高度な社会経済活動が集中し、洪水の防御なくしては安全な社会は成立しない。現在、時間雨量50mm相当の降雨による洪水に対しては、平成3年度末において全氾濫区域の約45%を防いでいるに過ぎないとと言われている。このため効率的で機能性の高い防災構造が要求され、自然環境との調和を困難としている。一般に中小河川を流す排水断面としては、設計しやすい逆台形、複断面河道が取られ、直線化され洪水時における機能性を高めている。また、河岸区域内の植樹は洪水時の流れの妨げあるいは流木となる危険性などから一般に厳しい規定がなされ、長い年月にわたって、流速を一定に保ち、粗度係数を小さく維持できることから、中小河川ではコンクリートの三面張りが主流を占めてきた。このように生態系からの要求と防災からの要求とは相反している部分が多い。確かに水衝部や橋などの構造のある周辺に対しては強固なコンクリート護岸が必要である。

2. 近自然工法によるモデル施工

(1) 施工概要

木下、三輪の限界蛇行角（蛇行の移動が停止する蛇行角度の限界角（図-5））を基本として現地における川の変化を考慮して蛇行角を帶工によって設置した（この施工法をPoint-Fix法と仮称する）。試験施工は石狩川水系の支流の柏木川下流（図-6）で行っており、この区間はほぼ直線に改修された複断面水路内に低水路が流下している。現在までPoint-Fix法で行った区間は約200mである（図-7）。表-3に各Point-Fixとなる帶工および護岸工の護岸材料を示している。材料は自然石、コンクリートブロック、再生コンクリートブロック、および透水性コンクリートブロックである。

写真-1～3に帶工No.2の施工時、施工終了および半年後の植物の育成状況を示す。

写真-4～6は透水性コンクリートを用いた護岸工で、洗掘の恐れがあり、その防止と透水性コンクリートの耐凍害性評価、堤内からの湧水の処理能力を測定するための設置である。

写真-7、8は透水性コンクリートブロックとその拡大写真である。写真-9は護岸工No.1に示したコンクリートブロック。これは帶工No.4にも用いられた。

写真-10にその施工時を示す。

写真-11は再生骨材で直径20～30cmである。これは帶工No.5の右岸に用いられた、写真-12に施工後を示す。写真-13に帶工No.1付近から下流に向けての蛇行の状況を示す。

写真-14で帶工No.4から下流の蛇行を示す。自然蛇行の形成がなされている。帶工部分河床には丸石を入れ、瀬の形成を行っている。写真-15に帶工No.1の瀬の状況を示す。

図-8に水深測量の結果を示す。帶工No.1の上流から帶工No.1を通り、帶工No.2の上流の前まで①～⑤に断面の水深を示している。淵、瀬、淵（左岸）、淵（右岸）、瀬と交互に形成されていることが判る。

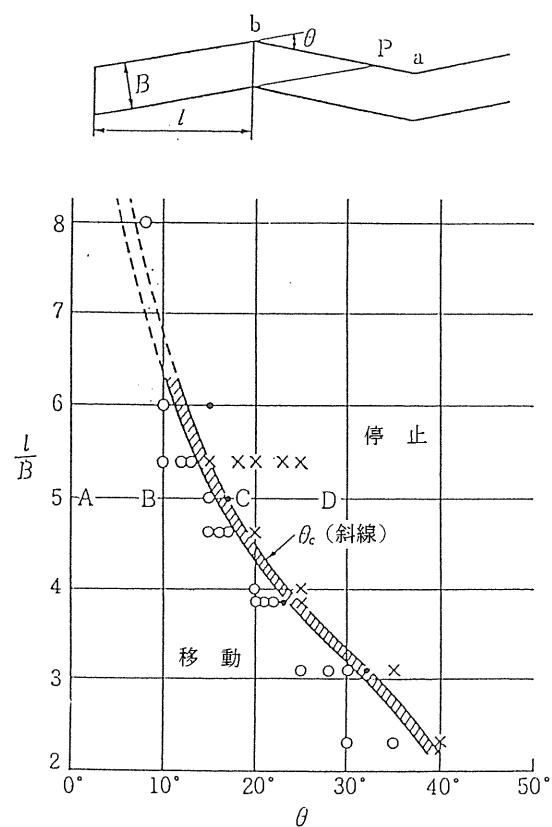


図-5 限界蛇行角 (木下、三輪)

表-3 護岸の種類

	帶工No.1	帶工No.2	帶工No.3	帶工No.4	帶工No.5	護岸工No.1	護岸工No.2
施工日	'93.1	'94.2	'94.2	'94.12	'94.11	'92.12	'94.10
S.P.	770	730	683	645	605	760~730	588~578
護岸材料	自然石直径 φ20~30cm	自然石直径 φ20~30cm	自然石直径 φ20~30cm	普通コンクリートブロック寸法 1.0m×1.0m	再生コンクリート直径 φ20~30cm	L-型透水性コンクリート, 普通コンクリートブロック	L-型透水性コンクリート
右岸勾配	1:1.5	1:2	1:2	1:2	1:2	透水係数 (cm/s) 2×10^{-1}	透水係数 (cm/s) 4×10^{-1}
左岸勾配	1:2	1:1.5	1:2	1:2	1:2		
河床幅	5 m	5 m	7 m	5 m	5 m	5×10^{-1}	4×10^{-1}

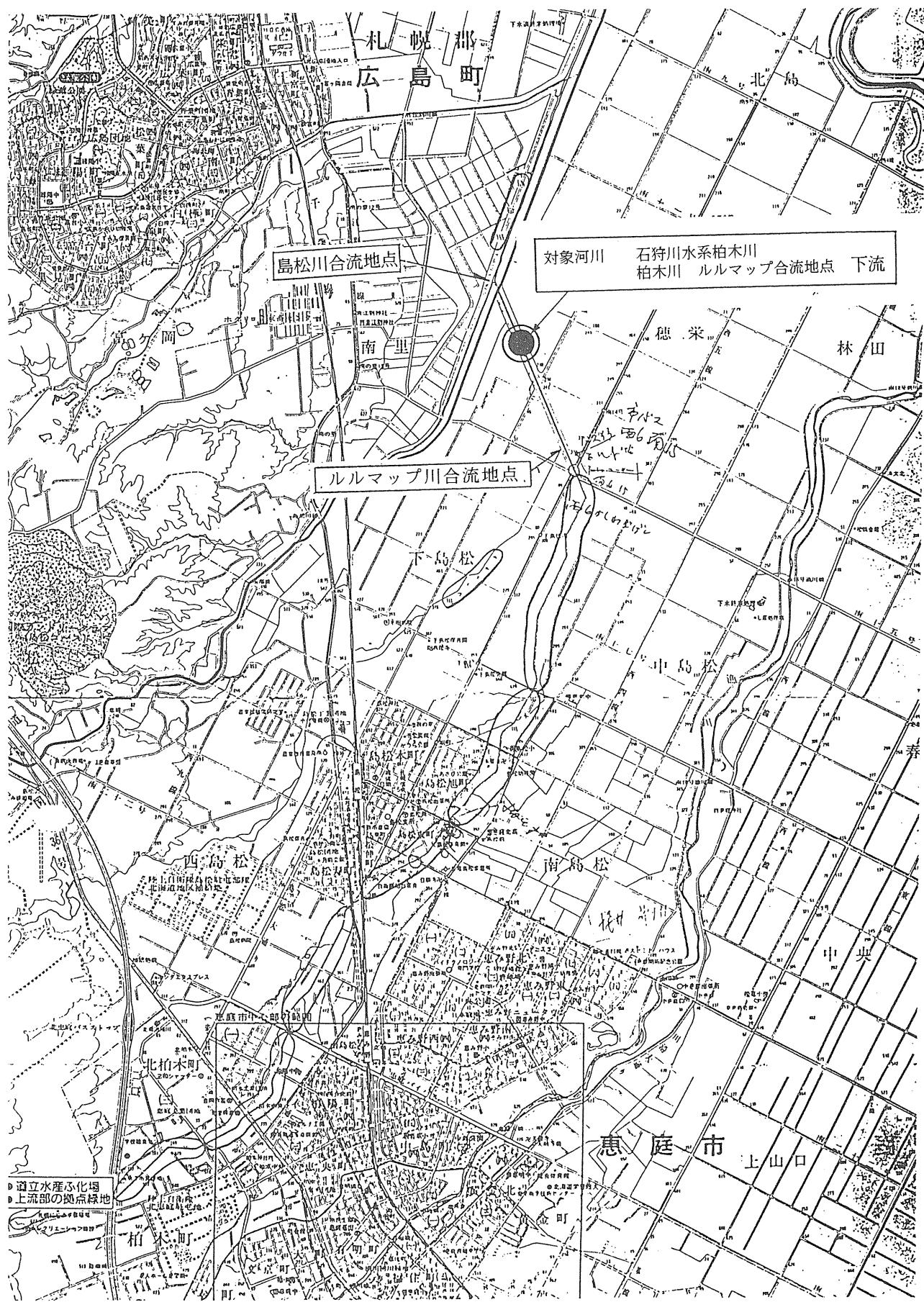
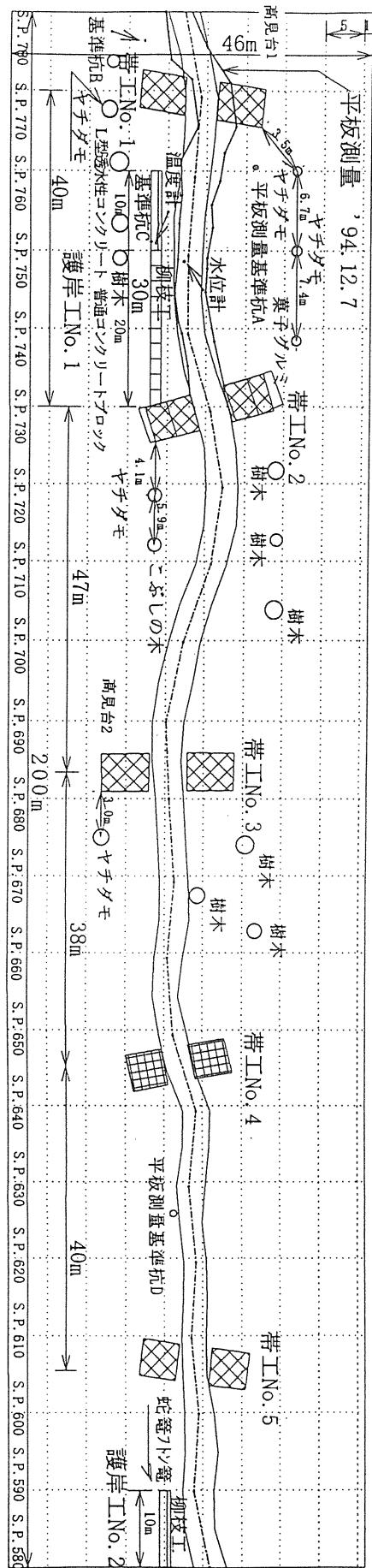


図-6 柏木川 施工現場

図 平三木柵



写真－1

帶工 No.2

工事中

施工日 '94.2.22

左岸上部を撮影



写真－2

帶工 No.2

工事中

施工日 '94.2.22

帶工全体を撮影



写真－3

帶工 No.2

5ヶ月後 夏

施工日 '94.7.22

写真 No.5と同じ所
を撮影



写真－4

護岸工 No.1

工事中

施工日 '92.12.26

L型透水性コンクリート

護岸工の施工を撮影



写真－5

護岸工 No.1

工事中

施工日 '93.1.18

普通コンクリートブロック

護岸工の施工を撮影



写真－6

護岸工 No.1

工事中

施工日 '94.9.30

秋の増水時に写真No.7と

同じ所を撮影



写真－7

護岸材料

護岸工 No. 2に使用

(護岸工 No. 1と同材料)

L型透水性コンクリート

を撮影



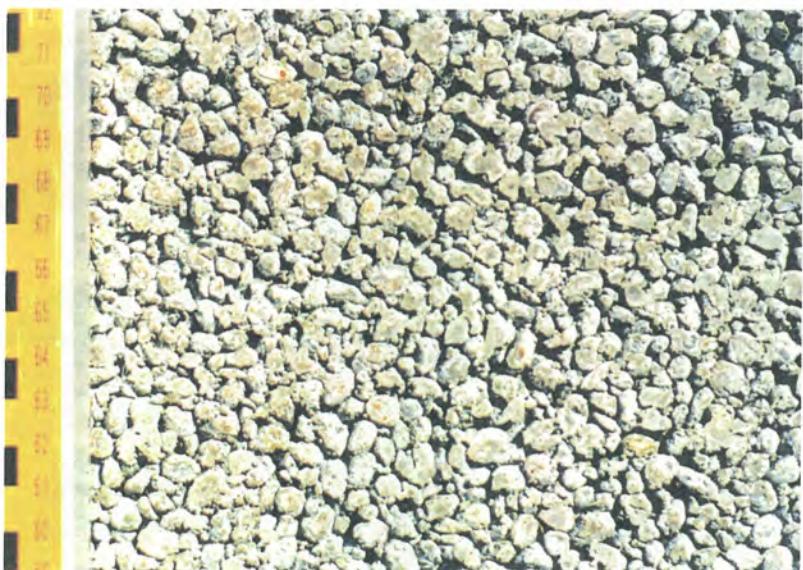
写真－8

護岸材料

L型透水性コンクリート

写真 No. 12と同じ

拡大写真を撮影



写真－9

護岸材料

帶工 No. 4に使用

(護岸工 No. 1と同材料)

普通コンクリートブロック

を撮影



写真-10

帶工 No.4 右岸

工事中

施工日 '94.12.2

普通コンクリートブロック

護岸（帶工）を撮影



写真-11

護岸材料

帶工 No.5に使用

再生コンクリート

(直径20~30cm)

を撮影

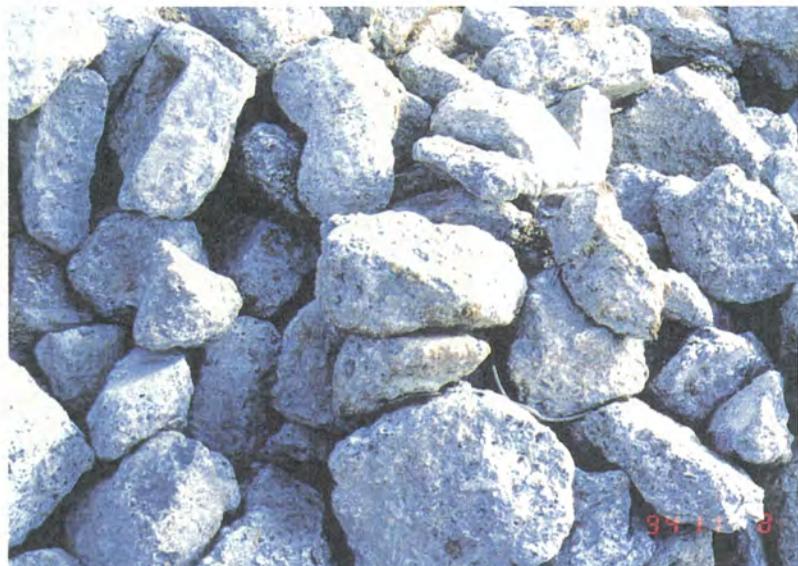


写真-12

帶工 No.5 右岸

施工後

撮影日 '94.11.8

再生コンクリート

護岸（帶工）を撮影





上写真-13

撮影日 '94.11.14

帶工 No.1からNo.2

柏木川の蛇行

高見台1より下流を撮影



右写真-14

撮影日 '94.10.28

帶工 No.4からNo.5

柏木川の蛇行

高見台2より下流を撮影



写真-15

撮影日 '94.7.29 夏

帶工 No.2より上流を撮影

帶工の飛び石による瀬

樹木による河川環境

を撮影

水深測量

93.12.8 測定

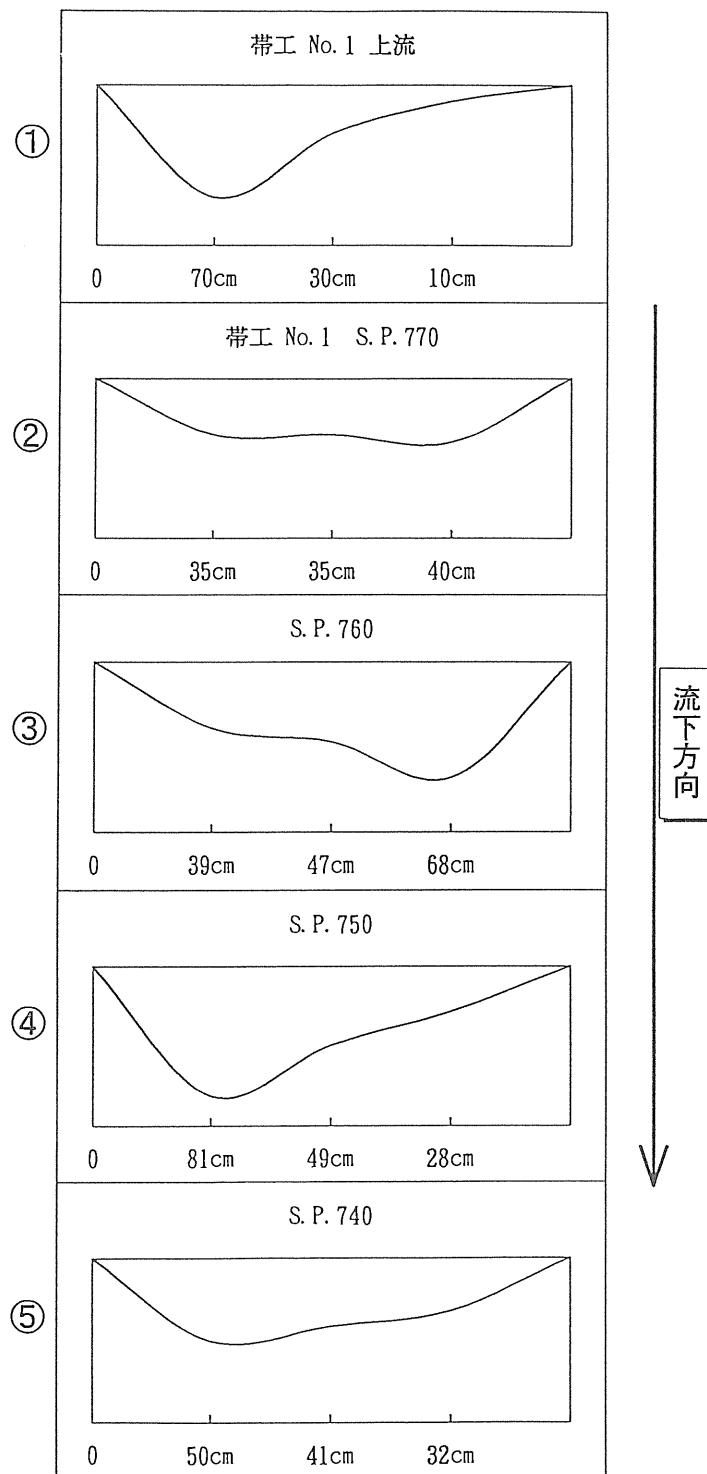


図-8 水深測量結果

(2) 河道の安定

(板 倉 忠 興)

前章で得られた水理量より、Point Fix工法にて局部的に護岸を配置した場合について、護岸の安定性を検討するために流れの場の計算を行った。

a. 流れの計算

基本方程式

現場の柏木川の築堤法線はほぼ直線であるが、低水路が蛇行しているため、一般座標系 (ψ 、 ϕ) による水深方向平均 2 次元定常浅水流モデルを適用する。

図-9 の座標系に基づいて、連続の式、 ψ 方向の運動方程式および ϕ 方向の運動方程式は、それぞれ(1)、(2)、(3)式である。

一般座標系による二次元モデル

基本方程式

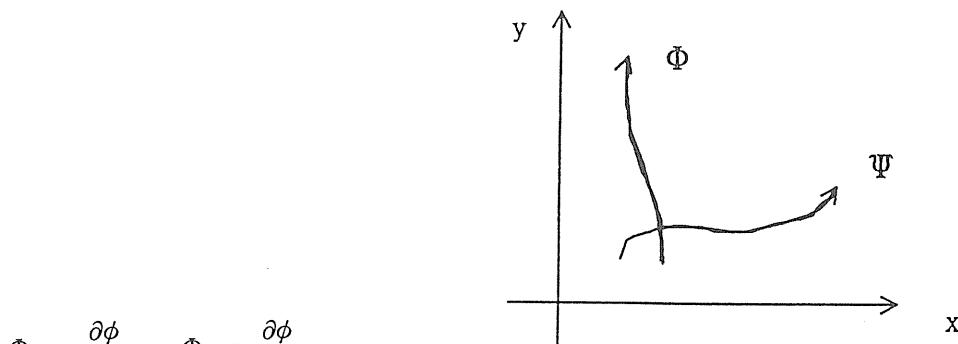
$$\frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{hu^\psi}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{hu^\phi}{J} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\psi_x \left(-\frac{\partial}{\partial \psi} \left[\frac{1}{J^2} (\phi_x u^\psi - \phi_y u^\phi) u^\psi \right] + \frac{\partial}{\partial \phi} \left[\frac{1}{J^2} (\phi_x u^\psi - \phi_y u^\phi) u^\phi \right] \right) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &+ \phi_y \left(\frac{\partial}{\partial \psi} \left[\frac{1}{J^2} (-\phi_x u^\psi + \phi_y u^\phi) u^\psi \right] + \frac{\partial}{\partial \phi} \left[\frac{1}{J^2} (-\phi_x u^\psi + \phi_y u^\phi) u^\phi \right] \right) \\ &= -\frac{\varepsilon}{J} \left[(\psi_x^2 + \psi_y^2) \frac{\partial H}{\partial \psi} + (\psi_x \phi_x + \psi_y \phi_y) \frac{\partial H}{\partial \phi} \right] + -\frac{\tau_v}{\rho h J^2} \\ &+ \frac{\psi_x}{J} \left(\phi_x \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \psi_x \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] - \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] \right. \\ &+ \phi_x \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] - \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] \\ &+ \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \psi_x \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] - \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \psi_x \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] \\ &+ \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \psi_y \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] - \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \psi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] \\ &+ \phi_y \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \psi_x \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] - \phi_y \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] \\ &+ \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \psi_x \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] - \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] \\ &+ \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \psi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] - \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \psi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] \\ &- \phi_x \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] - \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] \\ &- \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] + \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] \\ &- \phi_y \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi_x \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] + \phi_y \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] \\ &- \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\psi}{J} \right)] + \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi_y \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\frac{\phi_y u^\phi}{J} \right)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \phi \times \left(\frac{\partial}{\partial \psi} \left[\frac{1}{J^2} (\phi \times u^\psi - \phi \times u^\phi) u^\psi \right] + \frac{\partial}{\partial \phi} \left[\frac{1}{J^2} (\phi \times u^\psi - \phi \times u^\phi) u^\phi \right] \right) \\
& + \phi \times \left(\frac{\partial}{\partial \psi} \left[\frac{1}{J^2} (-\phi \times u^\psi + \phi \times u^\phi) u^\psi \right] + \frac{\partial}{\partial \phi} \left[\frac{1}{J^2} (-\phi \times u^\psi + \phi \times u^\phi) u^\phi \right] \right) \\
= & -\frac{g}{J} \left[(\phi \times z + \phi \times x) \frac{\partial \Pi}{\partial \phi} + (\phi \times \phi_x + \phi \times \phi_z) \frac{\partial \Pi}{\partial \psi} \right] + -\frac{\tau_\phi}{\rho h J^2} \\
& + \frac{\phi_x}{J} \left(\phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] - \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. + \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] - \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. + \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] - \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. + \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] - \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right) \\
& + \frac{\phi_x}{J} \left(\phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] - \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. + \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] - \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. + \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] - \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. + \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] - \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right) \\
& + \frac{\phi_y}{J} \left(-\phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] + \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. - \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] + \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. - \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] + \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. - \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] + \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right) \\
& + \frac{\phi_y}{J} \left(-\phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] + \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. - \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] + \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. - \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] + \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right. \\
& \left. - \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} (\frac{\phi \times u^\psi}{J})] + \phi \times \frac{\partial}{\partial \phi} [\epsilon \phi \times \frac{\partial}{\partial \psi} (\frac{\phi \times u^\phi}{J})] \right)
\end{aligned} \tag{3}$$

ここに u^ϕ, u^ψ : それぞれ Φ, Ψ 方向の流速の反変成分、 τ_ϕ, τ_ψ : それぞれ Φ, Ψ 方向の河床剪断力の反変成分、その他の添字は図-9を参照して次のようにある。



$$\Phi_x = \frac{\partial \phi}{\partial X}, \quad \Phi_y = \frac{\partial \phi}{\partial Y}$$

$$\Psi_x = \frac{\partial \phi}{\partial X}, \quad \Psi_y = \frac{\partial \phi}{\partial Y}$$

$$J = \phi_y \phi_x - \phi_x \phi_y$$

$$\varepsilon = \frac{\kappa}{6} u_x h$$

図-9 座標系の定義

本モデルは、二次元であるが座標軸の直交性に対する近似がないので、数学的にも極めて厳密である。ただし、実際の計算は非常に煩雑となるのはやむを得ない。平面的な幾何形状が複雑に、また急激に変化している流れにも適用できるが、その箇所は二次流が卓越しており、局所的な河床変動を取り扱う場合などには、必ずしも適切とは言えない。

河川の幾何形状

計算区間は柏木川のS.P.580m～S.P.780mの200mとする。前章にて示した図-7は計算区間の平面図である。横断測量は当該区間の下流側6断面(S.P.580、585、600、620、632、640)で行われており、築堤間はほぼ一定であり、その中をほぼ一定の形状をした低水路が蛇行している。

計算には、簡単のため図-10に示す平均的な標準断面を適用する。すなわち、築堤間は一定とし、低水路は図-7の破線を低水路の中心として左右に移動させた断面を仮定する。

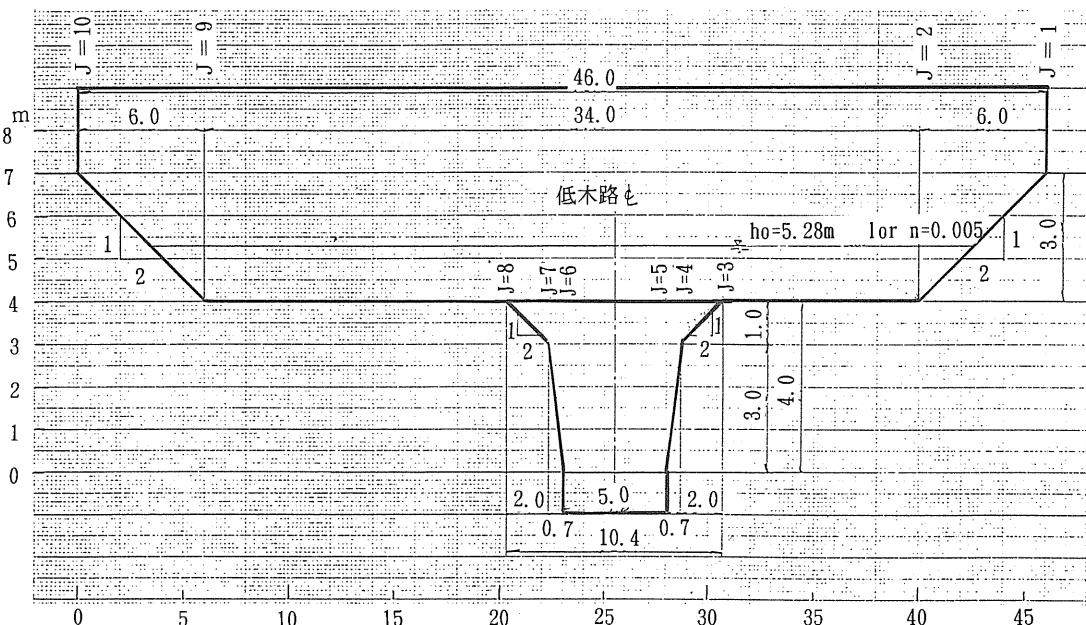


図-10 地盤標高の与え方

縦断勾配は図-11および表-4の実測結果から、当該区間内はほぼ一定で $1/490$ である。地盤の標高はJ=1～10で与え、S.P.780m右岸の築堤天端の提外測端をx=0、y=0とし、下流方向にx=0～200m、横断方向左岸に向かってy=0～46.0mである。

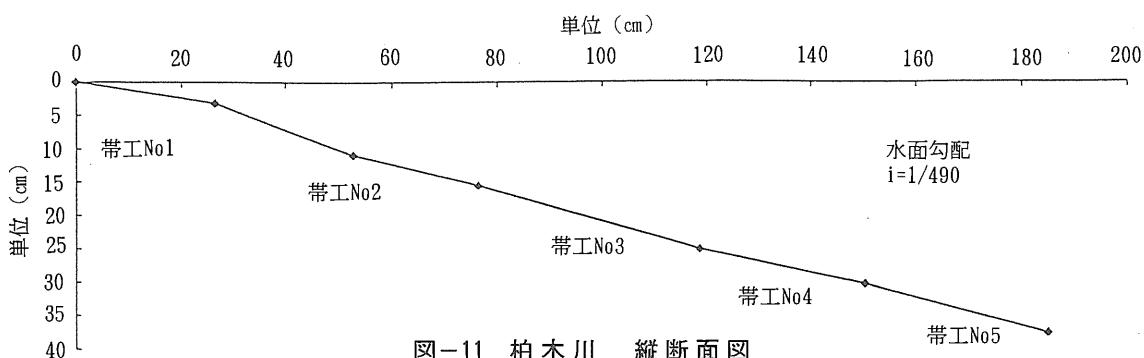


表-4 柏木川 縦断面データ

	抗Bより 距離 (m)	F S	B S	I H	G H	高さ (cm)	抗Bより 距離 (m)	コ メ ン ト
抗B			38.0	38.0	0.0			抗Bを0とする
ポール1	0.0	297.0			-259.0	0.0	0.0	
ポール2	26.5	300.1			-262.1	-3.1	26.5	抗C(水位計部)
		300.2			-262.2			
ポール3	52.7	307.8			-269.8	-10.7	52.7	
		307.5			-269.5			
		307.9			-269.9			
抗C		109.4	40.0	-31.4	-71.4			
ポール3	52.7	238.5			-269.9	-11.0	52.7	(確認)
		238.7			-270.1			
ポール4	76.3	243.2			-274.6	-15.6	76.3	
		243.1			-274.5			
抗D		28.3			-59.7			樺川側上流
ポール5	118.6	253.0			-284.4	-25.3	118.6	水中 円柱コンクリート
		252.7			-284.1			
抗E		32.8	98.8	34.6	-64.2			釘の上ではない
ポール6	150.2	324.1			-289.5	-30.4	150.2	抗E
		324.3			-289.7			
		323.5			-288.9			
ポール7	184.8	331.5			-296.9	-37.8	184.8	護岸工事No.2 上流部柳
		331.2			-296.6			

地盤標高の値はx=0 (S.P.780m) 低水路河床を標高0.0mとし表-5の通りである。

河床の砂の2回測定した粒度特性を表-6、図-12に示す。

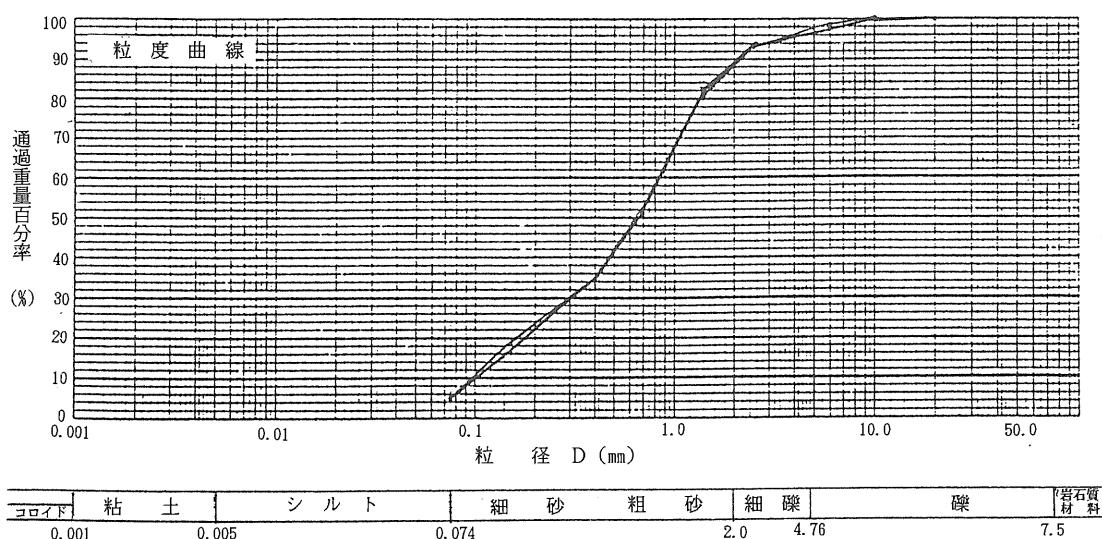


図-12 粒 径 加 積 曲 線

表-5 計算に用いた地盤高一覧表

I	J	χ (m)	y (m)	z (m)				
1	1	.00	.00	7.00				
1	2	.00	6.00	4.00				
1	3	.00	17.80	4.00				
1	4	.00	19.80	3.00				
1	5	.00	20.50	.00				
1	6	.00	25.50	.00				
1	7	.00	26.20	3.00				
1	8	.00	28.20	4.00				
1	9	.00	40.00	4.00				
1	10	.00	46.00	7.00				
2	1	10.00	.00	6.98				
2	2	10.00	6.00	3.98				
2	3	10.00	19.80	3.98				
2	4	10.00	21.80	2.98				
2	5	10.00	22.50	-.02				
2	6	10.00	27.50	-.02				
2	7	10.00	28.20	2.98				
2	8	10.00	30.20	3.98				
2	9	10.00	40.00	3.98				
2	10	10.00	46.00	6.98				
3	1	20.00	.00	6.96				
3	2	20.00	6.00	3.96				
3	3	20.00	18.80	3.96				
3	4	20.00	20.80	2.96				
3	5	20.00	21.50	-.04				
3	6	20.00	26.50	-.04				
3	7	20.00	27.20	2.96				
3	8	20.00	29.20	3.96				
3	9	20.00	40.00	3.96				
3	10	20.00	46.00	6.96				
4	1	30.00	.00	6.94				
4	2	30.00	6.00	3.94				
4	3	30.00	17.80	3.94				
4	4	30.00	19.80	2.94				
4	5	30.00	20.50	-.06				
4	6	30.00	25.50	-.06				
4	7	30.00	26.20	2.94				
4	8	30.00	28.20	3.94				
4	9	30.00	40.00	3.94				
4	10	30.00	46.00	6.94				
5	1	40.00	.00	6.92				
5	2	40.00	6.00	3.92	19	9	180.00	40.00
5	3	40.00	17.80	3.92	19	10	180.00	46.00
5	4	40.00	19.80	2.92	20	1	190.00	.00
5	5	40.00	20.50	-.08	20	2	190.00	6.00
5	6	40.00	25.50	-.08	20	3	190.00	19.30
5	7	40.00	26.20	2.92	20	4	190.00	21.30
5	8	40.00	28.20	3.92	20	5	190.00	22.00
5	9	40.00	40.00	3.92	20	6	190.00	27.00
5	10	40.00	46.00	6.92	20	7	190.00	27.70
6	1	50.00	.00	6.90	20	8	190.00	29.70
6	2	50.00	6.00	3.90	20	9	190.00	40.00
6	3	50.00	20.80	3.90	20	10	190.00	46.00
6	4	50.00	22.80	2.90	21	1	200.00	.00
6	5	50.00	23.50	-.10	21	2	200.00	6.00
6	6	50.00	28.50	-.10	21	3	200.00	21.30
6	7	50.00	29.20	2.90	21	4	200.00	23.30
6	8	50.00	31.20	3.90	21	5	200.00	24.00
6	9	50.00	40.00	3.90	21	6	200.00	29.00
6	10	50.00	46.00	6.90	21	7	200.00	29.70
7	1	60.00	.00	6.88	21	8	200.00	31.70
7	2	60.00	6.00	3.88	21	9	200.00	40.00
7	3	60.00	22.30	3.88	21	10	200.00	46.00

7	4	60.00	24.30	2.88		13	7	120.00	24.20	2.76
7	5	60.00	25.00	-.12		13	8	120.00	26.20	3.76
7	6	60.00	30.00	-.12		13	9	120.00	40.00	3.76
7	7	60.00	30.70	2.88		13	10	120.00	46.00	6.76
7	8	60.00	32.70	3.88		14	1	130.00	.00	6.73
7	9	60.00	40.00	3.88		14	2	130.00	6.00	3.73
7	10	60.00	46.00	6.88		14	3	130.00	16.30	3.73
8	1	70.00	.00	6.86		14	4	130.00	18.30	2.73
8	2	70.00	6.00	3.86		14	5	130.00	19.00	-.27
8	3	70.00	20.80	3.86		14	6	130.00	24.00	-.27
8	4	70.00	22.80	2.86		14	7	130.00	24.70	2.73
8	5	70.00	23.50	-.14		14	8	130.00	26.70	3.73
8	6	70.00	28.50	-.14		14	9	130.00	40.00	3.73
8	7	70.00	29.20	2.86		14	10	130.00	46.00	6.73
8	8	70.00	31.20	3.86		15	1	140.00	.00	6.71
8	9	70.00	40.00	3.86		15	2	140.00	6.00	3.71
8	10	70.00	46.00	6.86		15	3	140.00	19.30	3.71
9	1	80.00	.00	6.84		15	4	140.00	21.30	2.71
9	2	80.00	6.00	3.84		15	5	140.00	22.00	-.29
9	3	80.00	17.30	3.84		15	6	140.00	27.00	-.29
9	4	80.00	19.30	2.84		15	7	140.00	27.70	2.71
9	5	80.00	20.00	-.16		15	8	140.00	29.70	3.71
9	6	80.00	25.00	-.16		15	9	140.00	40.00	3.71
9	7	80.00	25.70	2.84		15	10	140.00	46.00	6.71
9	8	80.00	27.70	3.84		16	1	150.00	.00	6.69
9	9	80.00	40.00	3.84		16	2	150.00	6.00	3.69
9	10	80.00	46.00	6.84		16	3	150.00	18.30	3.69
10	1	90.00	.00	6.82		16	4	150.00	20.30	2.69
10	2	90.00	6.00	3.82		16	5	150.00	21.00	-.31
10	3	90.00	15.30	3.82		16	6	150.00	26.00	-.31
10	4	90.00	17.30	2.82		16	7	150.00	26.70	2.69
10	5	90.00	18.00	-.18		16	8	150.00	28.70	3.69
10	6	90.00	23.00	-.18		16	9	150.00	40.00	3.69
10	7	90.00	23.70	2.82		16	10	150.00	46.00	6.69
10	8	90.00	25.70	3.82		17	1	160.00	.00	6.67
10	9	90.00	40.00	3.82		17	2	160.00	6.00	3.67
10	10	90.00	46.00	6.82		17	3	160.00	19.30	3.67
11	1	100.00	.00	6.80		17	4	160.00	21.30	2.67
11	2	100.00	6.00	3.80		17	5	160.00	22.00	-.33
11	3	100.00	15.80	3.80		17	6	160.00	27.00	-.33
11	4	100.00	17.80	2.80		17	7	160.00	27.70	2.67
11	5	100.00	18.50	-.20		17	8	160.00	29.70	3.67
11	6	100.00	23.50	-.20		17	9	160.00	40.00	3.67
11	7	100.00	24.20	2.80		17	10	160.00	46.00	6.67
11	8	100.00	26.20	3.80		18	1	170.00	.00	6.65
11	9	100.00	40.00	3.80		18	2	170.00	6.00	3.65
11	10	100.00	46.00	6.80		18	3	170.00	18.80	3.65
12	1	110.00	.00	6.78		18	4	170.00	20.80	2.65
12	2	110.00	6.00	3.78		18	5	170.00	21.50	-.35
12	3	110.00	16.80	3.78		18	6	170.00	26.50	-.35
12	4	110.00	18.80	2.78		18	7	170.00	27.20	2.65
12	5	110.00	19.50	-.22		18	8	170.00	29.20	3.65
12	6	110.00	24.50	-.22		18	9	170.00	40.00	3.65
12	7	110.00	25.20	2.78		18	10	170.00	46.00	6.65
12	8	110.00	27.20	3.78		19	1	180.00	.00	6.63
12	9	110.00	40.00	3.78		19	2	180.00	6.00	3.63
12	10	110.00	46.00	6.78		19	3	180.00	19.80	3.63
13	1	120.00	.00	6.76		19	4	180.00	21.80	2.63
13	2	120.00	6.00	3.76		19	5	180.00	22.50	-.37
13	3	120.00	15.80	3.76		19	6	180.00	27.50	-.37
13	4	120.00	17.80	2.76		19	7	180.00	28.20	2.63
13	5	120.00	18.50	-.24		19	8	180.00	30.20	3.63
13	6	120.00	23.50	-.24						

表-6 柏木川の河床の砂

柏木川の河床の砂（帶工No.3の左岸に堆積）

採取した砂の総量 1,690.1 g

一回目のふるい分け	
全質量 g	766.6
ふるい No.	残量 g
No.5	13.7
No.2.5	37.1
No.1.2	97.4
No.0.6	227.1
No.0.3	124.8
No.0.15	126.2
No.0.075	102.9
	38.7
計算全量	767.9
全質量①	767.5
総質量②	1,690.0

二回目のふるい分け	
全質量 g	922.9
ふるい No.	残量 g
No.10	5.4
No.5	14.3
No.2.5	41
No.1.2	105.9
No.0.6	271.2
No.0.3	162.8
No.0.15	174.5
No.0.075	106.7
	40.9
計算全量	992.7
全質量	
②-①	922.6

粒径	百分率
No.5	1.8
No.2.5	4.8
No.1.2	12.7
No.0.6	29.6
No.0.3	16.3
No.0.15	16.4
No.0.075	13.4
	5.0
計 %	100.0

粒径	百分率
No.10	0.6
No.5	1.5
No.2.5	4.4
No.1.2	11.5
No.0.6	29.4
No.0.3	17.6
No.0.15	18.9
No.0.075	11.6
	4.4
計 %	100.0

粒径	加積
No.5	100.0
No.2.5	98.2
No.1.2	93.4
No.0.6	80.7
No.0.3	51.1
No.0.15	34.9
No.0.075	18.4
	5.0

粒径	加積
No.10	100.0
No.5	99.4
No.2.5	97.9
No.1.2	93.4
No.0.6	81.9
No.0.3	52.6
No.0.15	34.9
No.0.075	16.0
	4.4

計算の結果

計算の結果を図-13に示す。uはx方向の流速、vはy方向の流速、hは水深である。流量は前述のように $Q=100 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。

水深は低水路中心で5.2~5.3m、高水敷上で1.2~1.3m程度である。水深平均流速は低水路部で1.8~1.9m/sec、高水敷上で1.0m/sec程度である。

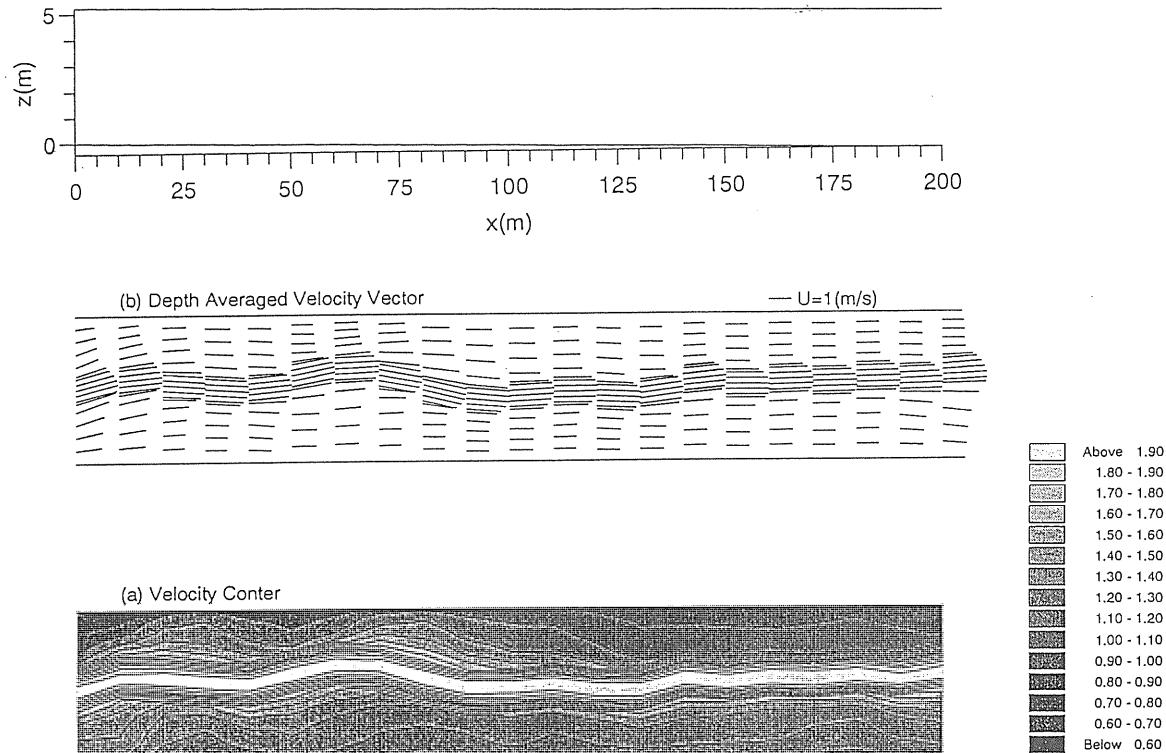


図-13 計算結果

b. 護岸の安定性

護岸ブロックを直径D、水中比重S=1.30の单一の球と仮定すれば、限界掃流力は岩垣公式から次のようにある。

$$\tau_{*c} = \frac{ghI}{SgD} = \frac{hI}{SD} = 0.05$$

ただし、 $D \geq 0.303\text{cm}$

いま、低水路内で水深h=5.3m、I=1/490 とすれば上式より

$$D = \frac{hI}{0.05S} = \frac{5.3 \times \frac{1}{490}}{0.05 \times 1.3} = 0.17\text{m}$$

すなわち、直径D $\geq 17\text{cm}$ であれば掃流移動が生じない。

次にブロックを一辺Dの立方体と考えれば、直径Dの球に接する立方体の球との体積比 $\alpha = 1.91$ を考慮して

$$D = \frac{hI}{0.05SD} = 9\text{cm}$$

また、護岸法覆工設計指針（北海道開発局、1980）の実験式によれば

$$\begin{aligned} D &= 8.1hI = 8.1 \times 5.3 \times \frac{1}{490} \\ &= 9\text{cm} \end{aligned}$$

さらに、この厚さのブロックを敷き詰めるとして、コンクリートの比重を2.3とし、単位面積当たりのブロックの必要重量は次のようになる。

$$\begin{aligned} W_B &= 1\text{m}^2 \times 0.09\text{m} \times 2300\text{kg/m}^3 \\ &= 207\text{kg/m}^2 \end{aligned}$$

抗力と摩擦力の関係からは

$$R = f \cdot W_w$$

ここに、 R ：コンクリートブロックと河床との摩擦力、 f ：摩擦係数、 W_w ：コンクリートブロックの水中重量。

一方、コンクリートに働く抗力Fは

$$F = \frac{1}{2}\rho C_D U_b^2 A$$

ここに、 ρ ：水の密度、 C_D ：抗力係数、 U_b ：河床付近の流速、A：コンクリートブロックの流水方向の投影面積である。

安定条件は

$$R > F$$

であり、両式から水の単位体積重量をWとして

$$W_w > \frac{w}{2g} \frac{C_D}{f} u_b^2 A$$

前述の厚さ9cmのコンクリートブロックを敷き詰めるとして、 u_b に計算で求めた平均流速を適用し、 $C_D = 1.2$ 、 $f = 0.5$ とすれば

$$\begin{aligned} W_w &> \frac{1000}{2 \times 9.8} \times \frac{1.2}{0.5} \times 1.9^2 \times 0.09 \\ &= 40\text{kg} \end{aligned}$$

W_w を空中重量 W_a に置き換えると、コンクリートの単位体積重量を2.3ton/m³として

$$\begin{aligned} W_a &= W_w \times \frac{2.3}{2.3 - 1} = 40 \times \frac{2.3}{1.3} \\ &= 70\text{kg} \end{aligned}$$

以上のことから、現在柏木川に敷設されている護岸ブロック又は石築等は、概ね安定と言える。

しかし、計画流量100m³/secの流下時には平均流速が護岸付近で2m/secとなることが予想されるので、部分護岸の上下流端付近は浸食に耐えるように充分な対策が必要である。

a. 調査結果

1992年11月10日調査採取

調査結果を表-7に示す。水の採取場所はA、B1、B2、Cの4地点である。それぞれ帶工No.1の上流、その下流の左と右、そして水位計付近である。

DO、BODともに一地点で二本酸素びんに採取した。

DO、BODの計算生データを表-8に示す。

計算は前述した(a)と(b)を用いた。

(a)のファクター f を算出するのに $x = 20.02$ を用い、(b)の溶存酸素式では $b = 1$ を用いて計算した。

実験日：12月1日

表-7 水質調査結果

	'93 11/10 A	11/10 B1	11/10 B2	11/10 C
採取時間	2時45分	3時10分	3時25分	3時40分
天候	晴	晴	晴	晴
気温	13°C	*°C	*°C	*°C
水温	10.3°C	10.0°C	10.0°C	9.8°C
水深	70cm	90cm	20cm	40cm
流速	0.50m/s	0.60m/s	0.20m/s	0.45m/s
pH	7.41	7.47	7.49	7.54
電導度	1.585*10 ²	1.575*10 ²	1.630*10 ²	1.710*10 ²
DO 1	14.80	17.16	15.97	13.56
2	15.43	12.17	20.24	15.12
BOD 1 1	*	*	*	*
(室温) 2	*	*	*	*
BOD 5 1	13.30	16.25	15.13	13.31
(20度5日) 2	12.30	11.71	14.81	*
BOD 1	1.50	0.91	0.85	0.24
2	3.13	0.45	5.43	*
SS				
COD				
TOC				
アルカリ度				
Ca				
Mg				
NH ₄ -N				

	'92 11/18
採取時間	11時30分
天候	晴
気温	4.2°C
水温	6.4°C
水深	54cm
流速	0.74m/s
pH	7.3
電導度	*
DO 1	12.83
2	12.71
BOD 1 1	*
2	*
BOD 5 1	10.19
2	9.72
BOD 1	平均
2	2.82
SS	*
COD	*
TOC	*
アルカリ度	*
Ca	14.6
Mg	2.9
NH ₄ -N	*

表-8 計 算 結 果

DATE11/10	V	a	DOD	V	a	DO	DOD 5
A - 1	108.40	7.15	13.30	110.50	8.11	14.80	1.50
A - 2	110.50	6.74	12.30	99.80	7.63	15.43	3.13
B 1 - 1	104.30	8.40	16.25	97.20	8.26	17.16	0.91
B 1 - 2	99.60	5.78	11.71	99.70	6.01	12.17	0.45
B 2 - 1	99.90	7.49	15.13	110.50	8.75	15.97	0.83
B 2 - 2	99.90	7.33	14.81	100.00	10.03	20.24	5.43
C - 1	108.90	7.19	13.31	99.60	6.69	13.56	0.24
C - 2	***	***	***	110.80	8.31	15.12	***

水 温

3.2

3.2

4.6

4.6

5.6

5.6

5.6

5.6

室 温

D012/13	V	a	DO
A - 1	100.00	6.22	13.45
A - 2	105.10	6.77	13.93
B - 1	99.90	6.08	13.16
B - 2	110.50	6.45	12.61
C - 1	99.60	6.50	14.12
C - 2	107.80	6.96	13.95
D - 1	110.50	6.91	13.51
D - 2	105.00	6.42	13.22

D012/13	V	a	DOD 1	V	a	DOD 5	DOD
A - 1	97.20	5.27	11.73	101.70	4.81	10.23	1.50
A - 2	110.80	6.43	12.54	110.50	5.30	10.36	2.18
B - 1	107.50	6.08	12.22	107.60	4.71	9.46	2.76
B - 2	99.80	5.58	12.09	99.90	4.31	9.33	2.76
C - 1	99.70	5.68	12.32	105.00	5.19	10.69	1.64
C - 2	107.40	6.43	12.94	110.50	5.50	10.76	2.19
D - 1	99.60	5.04	10.95	105.00	5.09	10.48	0.47
D - 2	105.00	6.06	12.48	99.90	4.93	10.67	1.80

考 察

この調査のポイントは、河川構造による溶存酸素及び生物化学的酸素要求量を明らかにするために行つた。

しかし、この一回目の調査及び実験は、失敗に終わった。

この原因は、現地でのしっかりとした溶存酸素DOの固定がされなかつたのがまず第一である。この際できるだけ空気に触れないように、またびんの中に気泡が入らないようにする必要がある。この溶存酸素の固定は、採水現地で定量できない場合に、密せん状態で直射日光をさければ数時間放置してもさしつかえないというものであり、採集した当日にすぐ実験をやることが望ましい。

次に、溶存酸素DOの実験にて、滴定を行うのだが、これは青色から無色になる境が判からず慣れていないと入れ過ぎてしまう。

BODは採取当日のDO 1と五日後のDO 2との差より求めるものである。ここでDO 2の実験が採取日より五日後に行なうことができずかなり時間が経過してから実験をした。その酸素びんの口付近表面が茶褐色に色付いていた。これらの実験はかなり慎重に行わなければデータにならぬことが判った。

1992年12月8日調査採取

調査項目及びその結果を表-9に示す。採水地点はA、B、C、Dの4地点で、AはSP.790付近の取水口、Bは帶工No.1のすぐ上流、Cは水位計下流、DはSP.700付近である。

DO、BODともに一地点で二本酸素びんに採取した。

DO、BODの計算データを表-7に示す。

同様に計算は前述した(a)と(b)を用いた。

(a)のファクター f を算出するのに $x=20.02$ を用い、(b)の溶存酸素式では $b=1$ を用いて計算した。

実験日：12月13日

表-9 水質調査結果

'93	12/8 A	12/8 B	12/8 C	12/8 D
採取時間	11時05分	11時32分	15時10分	15時12分
天候	晴	晴	晴	晴
気温	3.9°C	6.0°C	4.0°C	4.0°C
水温	3.2°C	4.6°C	5.6°C	5.6°C
水深	12cm	17cm	41cm	70cm
流速	0.11m/s	0.25m/s	0.46m/s	0.49m/s
pH	7.41	7.28	7.53	7.46
電導度	1.580×10^2	1.405×10^2	1.535×10^2	1.505×10^2
DO	1 2	13.45 13.93	13.16 12.61	14.12 13.95
BOD1	1 2	11.73 12.54	12.22 12.09	12.32 12.94
BOD5	1 (20度5日)	10.23 10.36	9.46 9.33	10.69 10.76
BOD	1 2	1.50 2.18	2.76 2.76	1.64 2.19
				0.48 1.80

考 察

流速の違いによる明確なDO、BODの違いはみられなかった。

現場でのこのような調査は、定量化しその結果よりなにかを導きだすのは、多大な時間と試料が必要である。

今後このような調査をするに当たって、室内での予備実験が必要ではないかと思われる。短期的に、この河川構造の違いによる水質の違いを、明確に示すのは難しいようと思われる。

データの初期値が取れたので、長期的な観察が必要である。

(4) アルカリ分流出調査

Point Fix工法にて護岸に使用したコンクリート材料から溶出するアルカリ分が、水質および植物の生育に悪影響を及ぼすと考えられ、この材料を使用した周辺の水および土のpH変化を調査した。ここで用いたコンクリート材料は、普通コンクリートブロック (normal concrete block)、再生コンクリートブロック (recycle concrete block)、L型透水性コンクリートブロック (L-Type permeable concrete block) の三種であり、その材料および護岸の施工状況を写真1～15に示した。

帶工として用いた普通、再生コンクリートについてその材料が浸水している周囲の水のpHを測定した結果を図-14、15、16に示す。ここで、水質環境保全基準及び生物学的見地よりpHの許容限界を8.6として、施工直後から許容限界以下になるまで測定を続けた。再生コンクリートについては、図-15に施工中、図-16に施工後のpH調査の結果を示した。測定場所は河岸に沿って帶工の上端部 (upper)、中央部 (central)、下端部 (lower) で行った。図-16の横軸は測定場所であり、それぞれ上中下部につき3地点行った。また、この表は各場所ごとに時間経過のpH変化をあらわし、一地点につき3回の計測を行い同縦軸上にプロットした。waterは川の水のpHを示し pumpは施工中にせき止められた溜まった水を川に排水するために用いたポンプの場所でのpH値を示した。

その結果、普通コンクリートブロックは施工開始から終了までの7時間中で、許容限界を越えることがなくその後二日間測定を行ったが川の水とほぼ同等の値であった。再生コンクリートブロックのpHは施工中水が締め切られた状態においてupper, central, lower地点で徐々に上昇していき最大値(MAX)が11程度を記録した(図-15)。施工後は時間の経過とともにpHは低下していき、48日間後のpHは川の水とほぼ同等の値に落ちついた(図-16)。

次にL型透水性コンクリートについて図-7 (SP.750) に示した場所およびSP.580に直径10cm長さ2.0mの穴を掘り、深さごとに土のpHを測定した結果を表-10に示す。

これより試験施工を行った河岸の土は酸性であり、深さ方向のpH変化はほとんどなくL型透水性コンクリートから溶出するアルカリの影響は見られなかった。

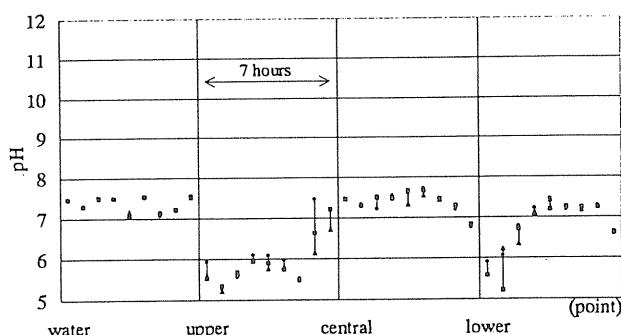


図-14 Normal concrete block

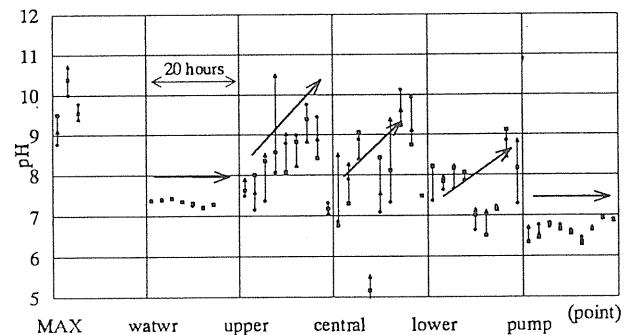


図-15 Recycle concrete block (1)

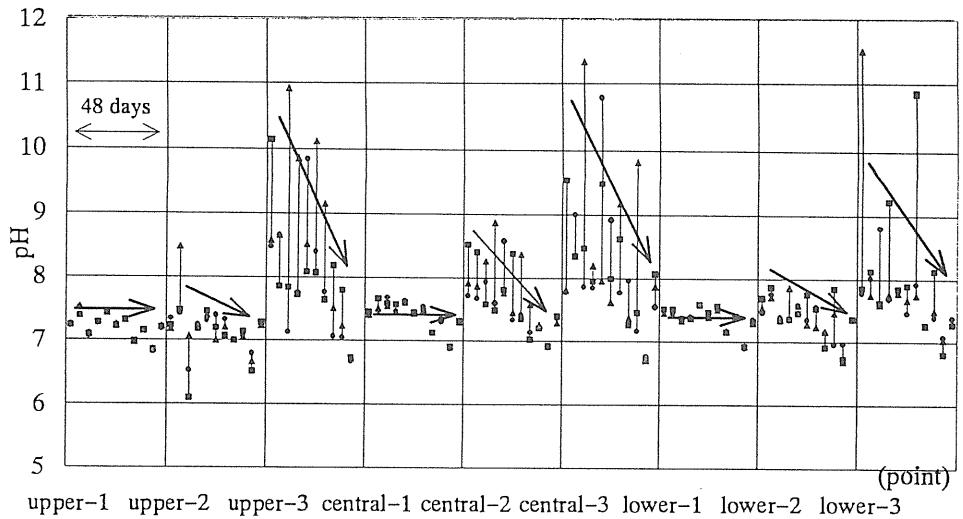


図-16 Recycle concrete block (2)

表-10 L-type permeable concrete

hole	depth	20cm	40cm	55cm	80cm	95cm	110cm	135cm	185cm	200cm
SP. 750	pH	5.61	5.88	5.64	5.72	6.45	6.47	6.45	6.42	6.57
hole	depth	78cm	125cm	139cm	152cm	181cm	214cm	—	—	—
SP. 580	pH	5.21	5.55	5.96	5.56	5.56	5.38	—	—	—

3. まとめ

中小河川、あるいは上流河川は大きな川の性質を決めるものであり、この点から、特に中小河川に対する近自然工法について検討した。河畔林、あるいは川岸の木は陸上、水中生物の生命線であり、昆虫、動物の棲み処で、魚の餌、あるいはリターによる水生昆虫の餌の供給源でもある。魚の隠れ場、水温の安定など多くの役目をしている。川岸の近くにハンノキ、ヤチダモ、ニワトコ、ヤナギなどによる木があることが第一条件である。河道、河床は、水生昆虫、魚の産卵、休み場、餌場となるように浮き石の状態で、瀬と、淵の交互の存在が可能となる河の蛇行が第2の条件である。これらの条件及び防災との接点を考えると、これまでのブロックによる河道の斜面の全面被覆方式から河道を点で抑えるpoint fix方式、あるいは河道を広くとって垂直擁壁方式へ、護岸構造は、特別の場合を除いて透水性材料、あるいは透水性構造へ、遊水帯を設けることができる広い河川用地の確保などが考えられる。これによって、より自然に近い河川になると考えられる。

以上の考え方の基に、実験、調査を行い、次のようなことが判った。

- (1) 瀬と淵を交互に作るために、木下、三輪氏の限界蛇行角の理論を用いて河道をpointごとに固定す

るpoint fix工法を提案し、小河川の柏木川において試験施工を行い、また洪水時の河道安定計算をおこなった結果、この工法が有効であることが判った。

- (2) 河川用地が十分確保できれば、透水性コンクリートを用い、河道をより広くとった状態で埋没する垂直擁壁型護岸の適用の可能性を探った。埋没のため、試験結果はまだ明らかでなく、引き続き調査を行う。
- (3) 一部、再生コンクリートブロックを使用した。施工時の水を止めている場合に、アルカリ分が問題となるが、流水中はあまり問題がないことが判った。
- (4) 生物学的調査、水質調査を行った。初期値が得られ、引き続き調査を行う。