

大型水路を用いた張り芝河岸の浸食実験

開発土木研究所 河川研究室 ○金高 州吾
 開発土木研究所 河川研究室 渡邊 康玄

1. はじめに

治水、利水機能を満足し自然を残した河川空間が求められる中で、コンクリートブロックに代わる護岸工法として植生等が考えられている。しかし植生の耐浸食特性は、現在研究が進められている段階¹⁾であり、充分把握されているとは言い切れない状況にある。浸食機構の解明には模型実験の実施が必要不可欠であり、現地の河岸浸食を再現するためには、重力の効果等が明確に現れる模型のスケールを現地に近づけた実験による浸食機構の把握が必要となる²⁾。昨年度は河床材料として地山から直接採取した火山灰を用いて大型の水路で実験を行い、裸地の火山灰土に対する基礎的な浸食機構を把握した。今年度はより現実的な条件として河岸斜面に植生を生やした実験を行い、河道維持における植生で覆われた河岸の浸食機構を把握することとした。本研究は、この実験について検討を行った結果を報告するものである。

2. 実験条件

実験は、写真-1に示す屋外に設置された幅4m長さ40mの大型直線水路を用い、河岸斜面に張り芝を行った。芝の種類は通常一般に河川堤防に生えているケンタッキブルーグラス（配合：タッチダウン33、メリオン33、バロン34）を用いたロール芝で、張り芝後2-3カ月間、散水、芝苳り等の維持管理を行い養生させた。なお、実験河床材料には火山灰を用いていることから、芝の生育のためロール芝の下30cmまで土壌改良材を混入している。本来、吹き付けによる植生を用いた方がより現実的となるが、養生の期間の制約等から、本年度はロール芝を用いることとした。

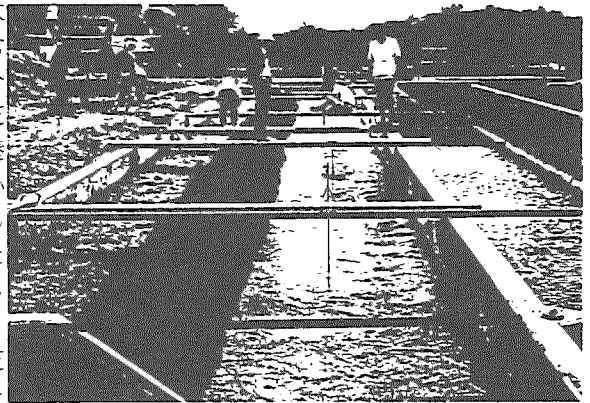


写真-1 芝河岸の浸食実験水路（通水時）

初期断面形状、河床材料、水面勾配等の実験条件は昨年度の芝を生やさない裸地実験の中で最も掃流力の大きかった case2 と同様の条件に設定した。実験条件を昨年度の裸地実験と合わせて表-1に示す。また、実験水路の断面を図-1に示す。ここで x は右岸側壁からの横断方向距離を表す記号として以後の説明に用いる。

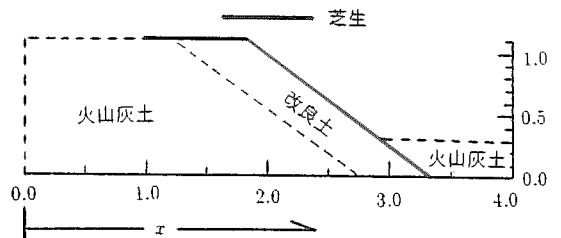


図-1 初期実験断面形状

裸地実験において、上流端で実験水路構造上の局所洗刷を受け自然給砂が行われていた。しかし、斜面に芝を生やした実験では自然給砂が期待できないため、式(1)に表す芦田、道上³⁾の式により給砂量を決定し、ベルトコンベアを用い水路上流端から粒径5cm以下の火山灰を50l/minで給砂を行った。式-1において q_B :単位幅当たり掃流砂量、 s :粒子の水中比重、 g :重力加速度、 d :粒径、 τ_{*c} :有効無次元せん断力、 τ_{*c} :限界無次元せん断力、 τ_* :無次元せん断力、 u_{*c} :限界摩擦速度、 u_* :摩擦速度である。総通水時間は1250分、通水開始から30、130、300、500、750、1000、1250分経過時に一端停水させ横断斜面形等の測定を行っている。河床材料に非透水性の材料を用いていることから土質力学的な法面崩壊を防止するため、測定時における停水の際には時間をかけて水抜きを行うこととした。

$$q_B = 17\sqrt{sgd^3\tau_{*c}^{3/2}}\left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right)\left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*}\right) \quad \text{-----(1)}$$

表-1 初期条件及び河床材料

実験ケース	Q t/s	I	天端高 cm	初期傾斜角	湿潤密度 t/m ³	含水比 (%)	空隙率 (%)	d_m mm	粒子比重
裸地実験	1.0	1/500	10	35.2°	1.395	31.4	58.5	4.66	2.53
芝河岸実験	1.0	1/500	10	33.4°	1.143	32.9	61.0	1.65	2.46
現地	-	-	-	-	1.344	29.4	60.8	-	-

Shugo KANETAKA, Yasuharu WATANABE

実験は一日に一回の停水を計7日間に分けて行った。実験期間に芝の著しい成長が見られていたため芝の葉が2-3cm程度になるよう実験開始時と通水時間500分の経過時に芝のカットを行った。また、実験開始時及び実験終了時に芝の根等の調査結果を表-2に示す。表-2によると実験終了時における芝の葉の長さは5-8cm、根の長さは長いところで20-30cmまで達し、根毛層は5-10cm程度にまとまっていた。

測定項目として水面勾配、断面形状、拡幅速度、水際の変化、河床縦断、実験終了時芝調査等を停水時ならびに通水中に詳細な測定を行った。実験の測定項目について以下に示す。

水面勾配：上流端から、4,12,20,28,36mの5ポイントにおいて、30,130,200,300,400、500,750,1000,1250分経過時に水位を測定。

河岸斜面横断面測定：測定位置は4-36mまで4m間隔で9測線20-25mまで1.0m間隔で6測線の計15測線について各停水時に水準レベルと河床測定用スタッフにより測定。

河床縦断面測定：右岸壁からの距離が3.1,3.4,3.7mのポイントにおいて縦断区間20mを1000,1250分の停水時に測定。

流路拡幅変化：上流端から20,25mの2測線について5分毎に測定。

水際拡幅平面形：上流端から2m間隔で0,10,20,30,35,130,135,200,300,400,500,510、時に水際の位置を測定。

流速：上流端からの距離が20mの測線において水際から横断方向に15,15,20,20,20,30,30,30cmの間隔で河床方向に河床から3,6,9,15,25,40cmの高さで3次元電時流速計を用いて測定。

芝表面状況：上流端から12,17.5,15,21,24,27,30.5,32,35mの箇所において300,500,750,1000分経過時に観測。

芝生育調査：実験開始時においては上流端から5,12,21,26,32mの箇所において根の深さを測定。1250分経過時に上流端から10,15,20,25,30,35mの箇所において芝の草丈、根のひげ、根毛層の厚さを測定。

浮遊砂の堆積：上流端から10,15,20,25,30,35mの測線の1250分経過時に右岸壁から2.25,2.40,2.80,3.00の箇所における浮遊砂の堆積深及び粒度分布を測定。

表-2 芝の生育状況

上流端からの距離 m	右岸壁からの距離 m	芝の長さ cm	根のひげ cm	根毛層 cm
10	天端	7.0	19.0	6.0
10	2.15	10.0	32.0	9.0
10	2.40	8.0	18.0	6.0
10	2.80	8.0	24.0	10.0
10	3.00	4.0	11.0	6.0
15	天端	5.0	20.0	8.0
15	水際	5.0	25.0	6.0
15	2.40	5.0	25.0	5.0
15	2.80	5.0	27.0	9.0
15	3.00	2.0	26.0	8.0
20	天端	7.0	27.0	14.0
20	水際	7.0	28.0	13.0
20	2.25	6.0	25.0	13.0
20	2.40	7.0	32.0	7.0
20	2.80	6.0	28.0	7.0
20	3.00	2.0	9.0	0.0
25	天端	8.0	24.0	14.0
25	水際	7.0	30.0	9.0
25	2.25	6.0	23.0	9.0
25	2.40	6.0	29.0	8.0
25	2.80	7.0	21.0	5.0
25	3.00	4.0	9.0	2.0
30	天端	7.0	25.0	10.0
30	水際	6.0	25.0	8.0
30	2.25	7.0	25.0	10.0
30	2.40	7.0	20.0	11.0
30	2.80	7.0	20.0	6.0
30	3.00	4.0	13.0	3.0
35	天端	5.0	26.0	12.0
35	水際	5.0	21.0	9.0
35	2.25	5.0	24.0	9.0
35	2.40	4.0	25.0	7.0
35	2.80	8.0	27.0	5.0
35	3.00	4.0	10.0	3.0

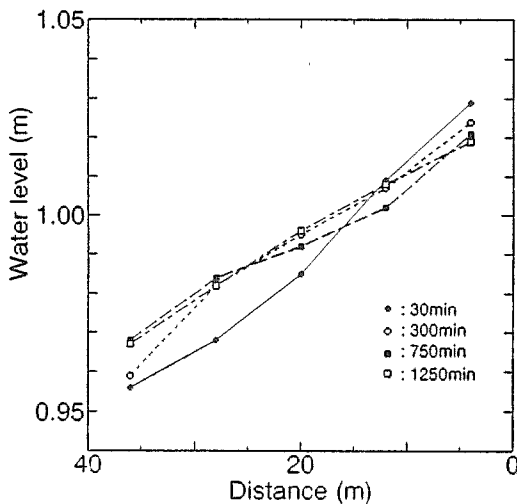


図-2 水面形の時間変化



写真-2 芝河岸表層の状態

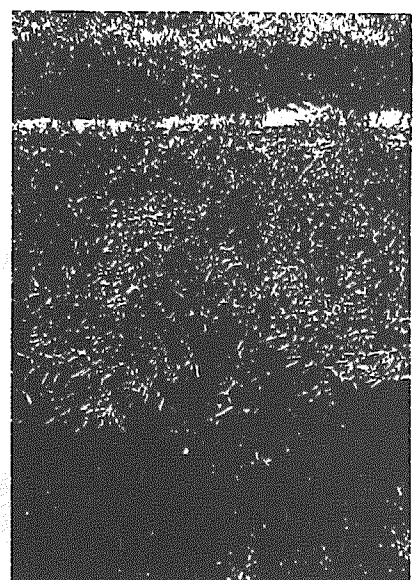


写真-3 芝河岸の破壊

3. 実験状況

通水中の水面形の変化を図-2に示す。通水初期において1/474と設定より若干急勾配を示していたが300分通水後から水面勾配1/600に安定し定常に達していた。水位は、時間経過に伴う河床の低下の影響で若干低下している。通水時、水面を軽石が浮遊しており、これらの軽石は水際に堆積していた。また $x = 2.6m$ を境にボイルの発生を目視によっても確認でき、コンクリート壁、河床及び芝河岸斜面との粗度の違いによる並列らせん流が発生しているようであった。

停水時の河岸斜面および河床の状態を写真-2に示す。この写真から停水時の河床においては波高10cm、波長40cm程度の砂堆が水路全体に発生している様子がみられている。写真-2のような芝状態を芝状況調査結果から図に表すと図-3のようになる。図-3では300分通水後において、浮遊砂の堆積している箇所、浸食を受けている箇所、河床洗堀のため縦断方向に河床近傍の一定幅で激しく浸食していると思われる箇所が現れている。写真-2、図-3に表れた一定幅で激しく浸食している箇所は初期の河床面と芝斜面との境の河床低下が生じ10-15cm間隔で芝斜面の露出したものであり、芝が浸食を受けたものではない。

図-3の芝表層の浸食堆積状況から、通水300分通水後においては水際($x = 2.15m$)から $x = 2.6m$ 付近まで浮遊砂の堆積が生じ、ここから $x = 2.9m$ 付近までは浸食傾向が見られる。しかし、1000分通水後においては水際から $x = 2.2m$ まで浸食傾向にある部分が見られている。このように経過時間に伴い芝表面の状況の変化が認められる。また、写真-2のように河床と張り芝斜面との境界において高さ10cm程度の段差がみられ、中には写真-3のように張り芝内の火山灰が抜け出し、芝がひさし状に垂れ下がっている箇所がみられた。このような箇所から河岸破壊が生じることが想定される。

4. 実験結果

4.1 河床せん断力の比較

昨年度の裸地における実験結果と今年度の斜面に芝を生やした実験結果との比較を行うこととする。裸地実験および芝実験の断面と流速コンターの時間経過に伴う変化図をそれぞれ図-4(a),(b)に示す。また、河床せん断力の比較を行うため、これらの流速コンター図の潤辺を30cm間隔で区切り、コンターラインに直交する法線を引き求めた河床せん断力分布図を合わせて示す。図(a)に示す裸地実験では通水30分経過時にすでに浸食によるかなりの断面拡幅を受けている。以後時間経過に伴う拡幅のため流速コンター図が変化している。 $x = 2.2 - 2.5m$ あたりのせん断力の大きい箇所では斜面の浸食が生じ、浸食による断面の変化でせん断力の大きな箇所が水際方向に移動する。時間経過に伴い、断面が安定に近づくとつれせん断力が横断方向に一定値でまとまる様子が河床せん断力分布図から確認でき、通水後200分ではほぼ安定断面に至る。

一方、芝実験における横断斜面形状は1250分通水後で、初期断面からほとんど変化していない横断面形状を示し、断面の変化は水際部および斜面と河床との境界で若干の浸食傾向と、斜面中ほどに浮遊砂が堆積したことによる断面の変化が見られている程度である。このことは芝による耐浸食効果によるものと解釈することができる。芝実験については時間経過に伴う断面の拡幅がほとんどないため、流速コンター(b)図にも経過時間による顕著な変化は見られていない。河床せん断力の分布は、水際から河岸斜面に沿って $x = 2.8m$ 程度まで水深の変化に伴い増大し、斜面と河床との境 $x = 3.1m$ の箇所では局所的に小さくなる。この箇所からコンクリート壁に向かって、河床せん断力が増大している結果が得られた。これらのことから本実験の範囲では河岸浸食に対して、芝による耐浸食効果と見込むことが可能であり、せん断力が $\tau = 10(P_a)$ 程度においては芝による河岸維持は効果的であるということが言える。

芝斜面の変化速度は遅く変化量が小さいため、現象を詳しく調べるために位置及び時間を固定することとした。図-5は上流端からの距離が20mの断面についてそれぞれの停水時に測定した斜面及び河床の横断面形状から30分通水後におけるその値との差を変化量として示したものである。

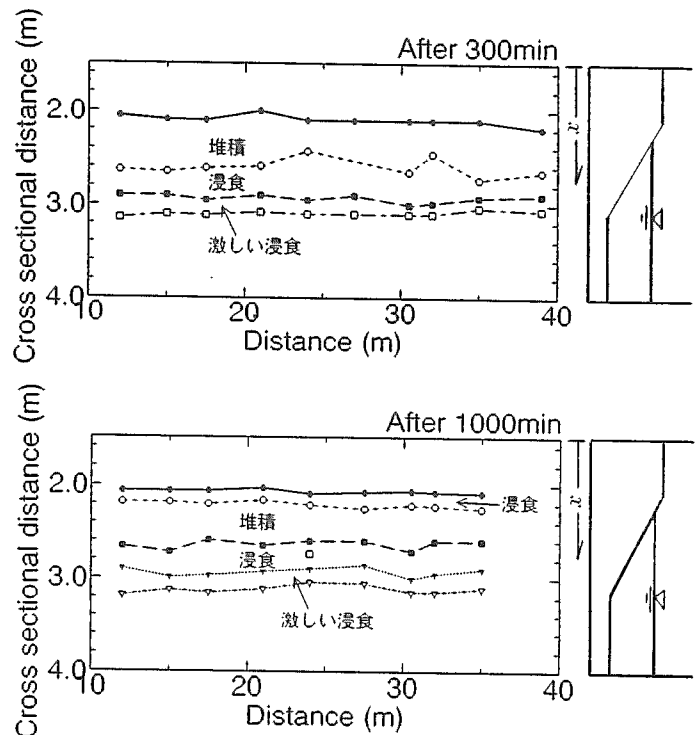
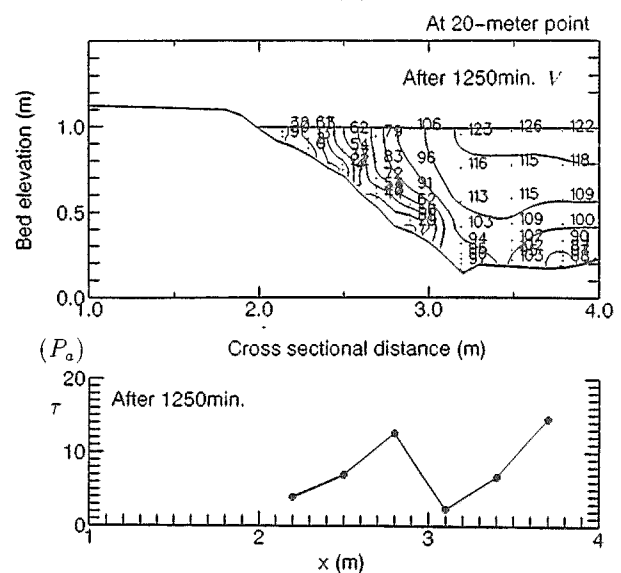
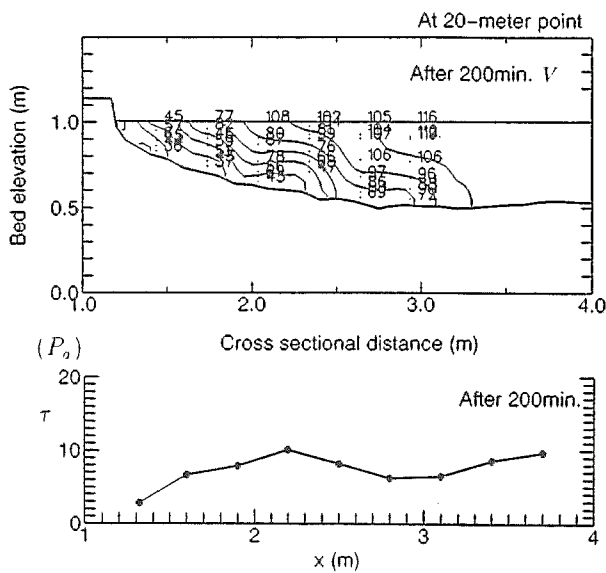
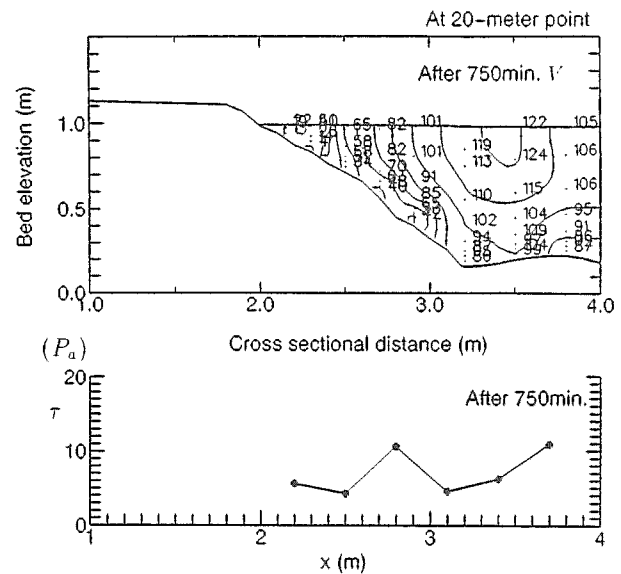
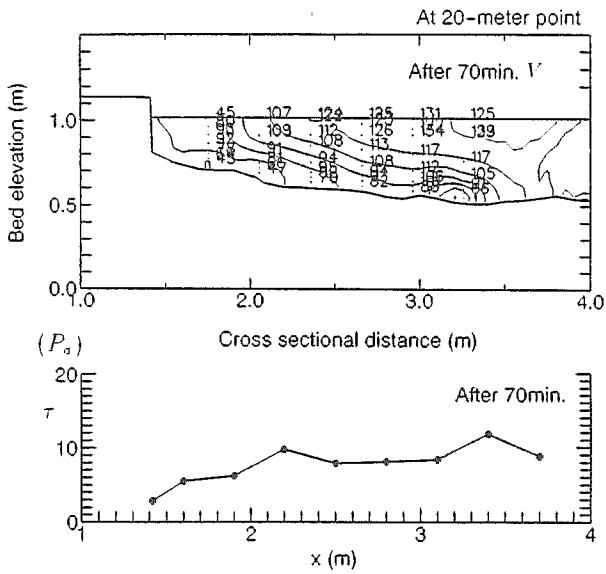
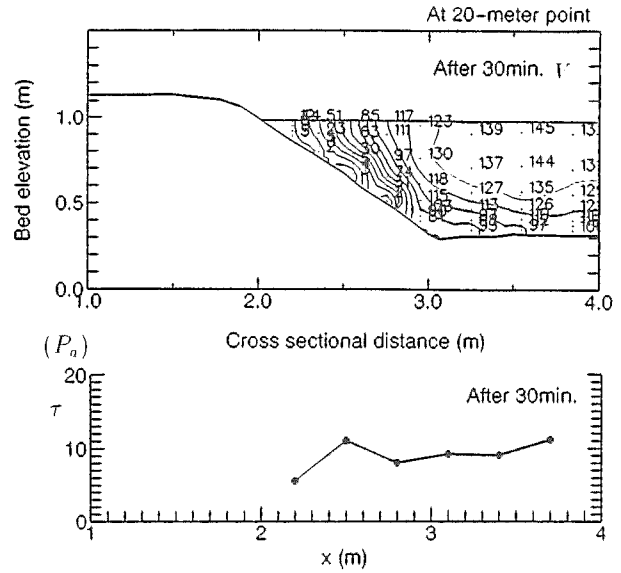
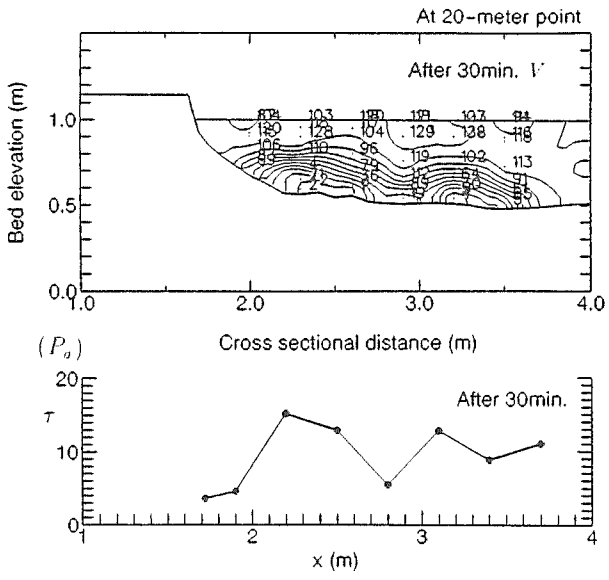


図-3 芝表層の状態



(a) 裸地実験

(b) 芝実験

図-1 横断面、流速コンター、せん断力の時間変化

この図において水際から $x = 2.7m$ の箇所まで浮遊砂の堆積が見られ $x = 2.6m$ でほぼ最大値を示す。また、その下 $x = 2.7 - 3.0m$ 付近までは逆に浸食がみられている。河床部においてはかなりの河床低下を確認することができる。これらの結果は図-3 に示す芝表面の状況調査結果と一致している。また、この変化量は時間経過に伴い増幅傾向にある。ここでせん断力分布の時間変化に着目してみると時間経過に伴いせん断力の大きな箇所とせん断力の小さな箇所との差が広がる傾向にある。このため安定河岸を想定した場合、長時間通水による河岸斜面破壊の危険性を含んでいるという結論を得る。

4.2 並列らせん流の影響と浮遊砂の堆積

前節で堆積および浸食箇所が区分された層が出現したことについて検討を行う。本来ならば裸地実験のようにせん断力の大きな箇所で浸食が生じ、せん断力の小さい箇所で堆積傾向がみられるはずであるが、今回の芝実験の結果により求めたせん断力分布によると $x = 2.6m$ 付近ではせん断力が大であるにもかかわらず浮遊砂は堆積傾向にある。さらに、せん断力の小さい $x = 3.0m$ 付近で浸食傾向にあり、裸地実験と逆の傾向がみられた。このように河岸に浮遊砂が堆積したことの原因として、横断方向の濃度差による浮遊砂拡散と二次流の発生による移流の二通りが考えられる。

そこで、この現象の要因を確認するため目視による水面形のスケッチを図-6 に示す。この図において軽石等のゴミが浮遊する溝道が $x = 2.9m$ の付近で生じておりこの箇所沈み込み水流が発生していることが想定できる。

また、図-7 に流速測定による横断方向及び鉛直方向の流速成分から流速ベクトル図の一例として 300 分通水時のものを示す。今回の実験により求めた横断方向 v 、鉛直方向 w 成分の流速ベクトルは、測定時において必ずしも同傾向を示していないが、螺旋流が発生していることを示している。斜面、河床の横断面形状および図-6 の目視による水面流況のスケッチから図-8 のような断面内部の流況スケッチが描ける。図-8 から $x = 2.5m$ 、 $3.6m$ 付近の螺旋流のわき上がり現象が生じている部分で浮遊砂の堆積が見られている。また、この中間点付近でしずみ込み水流によるものと思われる浸食傾向がみられており第 3 節での図-3 に表れた芝斜面の堆積、浸食傾向の区分および、横断面形状の時間変化に対する説明が付く。

このため安定河岸の問題を考えるとときには横断方向のせん断力分布のみならず各箇所におけるせん断力の違いから発生する並列螺旋流も考慮に入れる必要がある。

5. おわりに

今回の実験は総通水時間 1250 分であった。この通水時間は河川の直線部分の高水敷に 1 - 2 日程度水が乗り上げた場合に相当する。このことから河道の湾曲や砂州の発生等他の条件を考慮する必要があるが今回の実験条件下では、ほぼ芝による高水敷河岸の維持が可能であるといえる。しかし、安定河岸を考える場合、時間経過に伴いせん断力の大きな箇所とせん断力の小さな箇所との差が広がる傾向にあることが確認され、時間経過に伴いせん断力差により生じた螺旋流の強度が増し、並列螺旋流の強い箇所（芝斜面と河床との境界）で河床洗堀による河岸破壊が生じることが考えられる。従って今後は、今回の実験で確認された植生の抵抗による並列螺旋流の発生、および浮遊砂の拡散の影響も含めたモデル化等による詳しい解析を行う必要があると考えている。

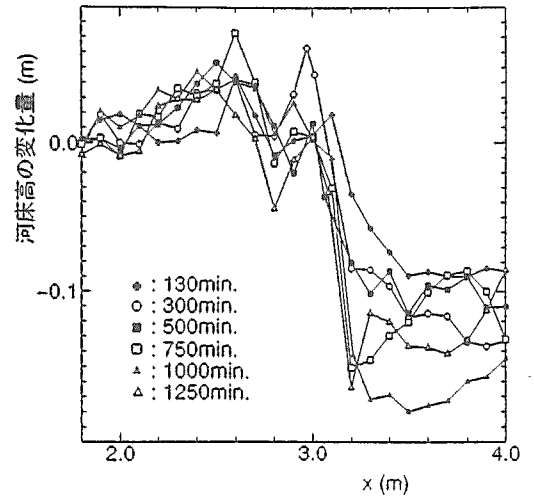


図-5 河岸斜面および河床の変化量

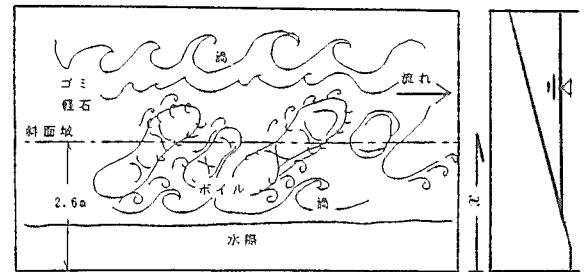


図-6 水面流況のスケッチ

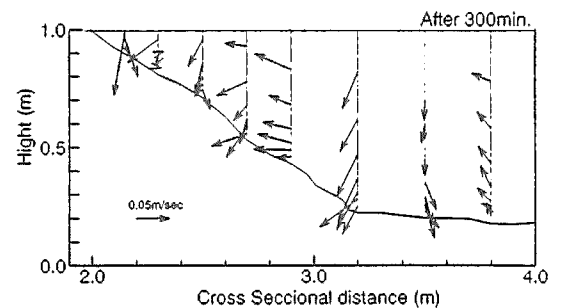


図-7 流速ベクトル ($v-w$)

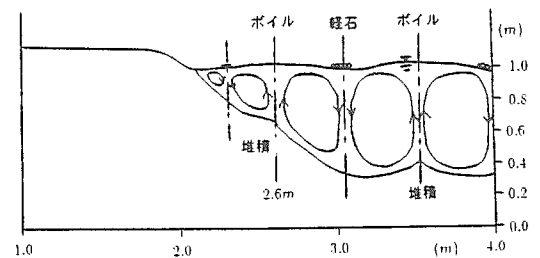


図-8 断面内部の流況のスケッチ

参考文献

- 1) 柿沼孝治・福岡捷二ら；流水に対する野芝の浸食抵抗, 平成5年度土木学会年次学術講演会論文集, 1993, 9, pp.566 - 567
- 2) 金高州吾・渡邊康玄・長谷川和義・亀田祐二；水工学論文集 第37巻 (1993, 2)
- 3) 芦田和男・道上正規；移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集 第206号, 1972, pp.59 - 69
- 4) 福岡捷二；河岸浸食と植生護岸. 土砂移動現象に関するシンポジウム論文集, 1992, 3
- 5) 池田駿介・Gary PARKER・千代田将明・木村善孝；直線礫床河川の動的横断安定形状とそのスケール, 土木学会論文集, 第375号/2 - 6. 1986, 11
- 6) 竹本成行・渡邊康玄・長谷川和義・亀田祐二 (1992)；火山灰流路の側岸浸食過程に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集 第48号 1992, 2