

鶴川平成4年8月洪水における河道内樹木の倒伏調査

Field Observation on Channel Vegetation after 1992-Flood at Mukawa River

渡邊康玄*・橋本識秀[†]・三谷修司[‡]

By Yasuharu WATANABE, Norihide HASHIMOTO and Syuji MITANI

In river management works, it is very important to evaluate the influences of vegetation to the flow during flooding. Especially recent years, there is an increase in social needs for planting vegetation or maintaining vegetation on the flood plain. However, there have been few qualitative measurements on the influence of the vegetation to the flow. In this paper, field observation on the channel vegetation after flood is reported.

A heavy rainfall took place in the Mukawa river basin in the southern part of Hokkaido island, Japan, on 9th August 1992. Some interesting phenomena were found through the observations of the channel vegetation performed in the Mukawa river after the flood. In an area that stretched from 14.1km to 15.2km from river mouth, some trees on the flood plain were uprooted by the flood flow while others located in the same area remained rooted. This phenomenon was investigated by using the results of the field survey and the numerical 2-d flow model.

Keywords: field observation, channel vegetation, flood ,

1.はじめに

平成4年8月北海道中部から東部にかけて大雨をもたらした台風10号により、鶴川流域の穂別観測所において計画水位を越える洪水が発生した。

洪水後、流木が苫小牧沖に大量に漂っていることが確認され、今回の洪水において流木が大量に発生したと考えられる。流木は、橋脚や河道堰によって流水の阻害等をもたらすことから、流木化の原因を把握しこれを防止することは治水上極めて重要な事項である。本研究は、鶴川のKP14.1(桜岡樋門)からKP15.2(生田5号樋門)の区間において、洪水により河道内樹木が数多く倒伏していたことから、この地点において、樹木の状況および洪水痕跡を調査し、洪水流および河道状況と河道内樹木の倒伏の関係について検討を行ったものである。

2.流域および洪水の概要

鶴川は、北海道日高地方の最西端に位置し、日高山脈に源を発しほぼ南西に流下する流域面積1,270km²、流路延長135kmの一級河川である。図-1に流域の概要図を示し、今回の調査地点も併記した。

*北海道開発局開発土木研究所副室長 水工部河川研究室 (062 札幌市豊平区平岸1-3)
[†]北海道開発局部長 旭川開発建設部 (070 旭川市8条12丁目)
[‡]林業土木コンサルタンツ技師 北海道支所治山課 (060 札幌市中央区北4東2)

今回の洪水における流域の総雨量は、鶴川 210mm、穂別 247mm であった。図-2 に鶴川地点におけるハイドログラフを示した。今回の洪水は、既往最大洪水(大正 11 年 8 月洪水)に次ぐ水位を記録し、近年最大規模の 1981 年 8 月洪水を大きく上回る規模であった。

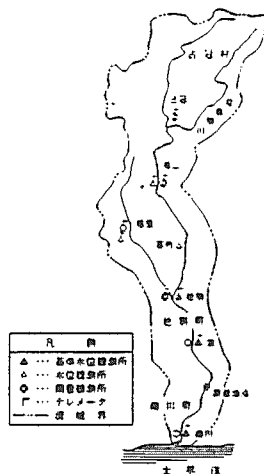


図-1 流域概要図

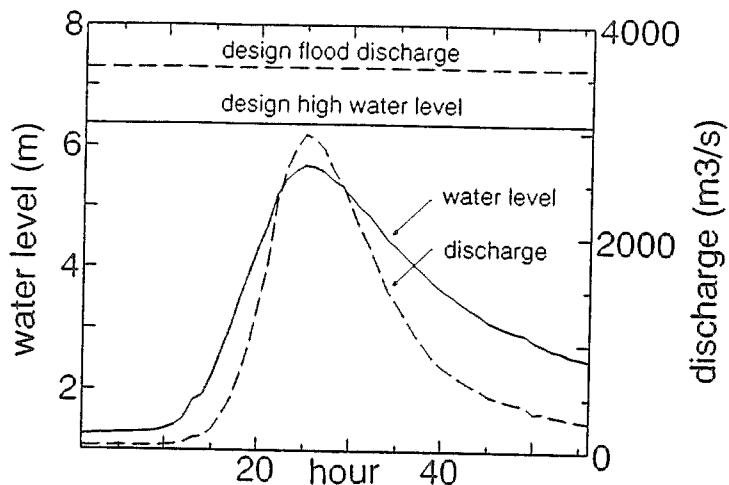


図-2 鶴川水位観測所のハイドログラフ

3. 調査地点の概要

調査対象地点の平面図を図-3 に示した。この区間は低水路が現在の位置と左岸堤防沿いに網状に存在していた箇所を、昭和 52~53 年に現在の箇所到低水路河岸を敷設した箇所である。このため、等高線から読み取れるように、旧河道の名残として左岸高水敷の一部に縦断的に微凹地が形成されている。

この地区の洪水がどのように流下したかを把握するため現地踏査を実施し、氾濫による湛水範囲、流水の方向等の確認を行った。図-3 に氾濫流の流向を併記した。左岸高水敷に乗り上げた流れは、旧河道である微凹地に集中する形で流下し、低水路に戻ったことがわかる。

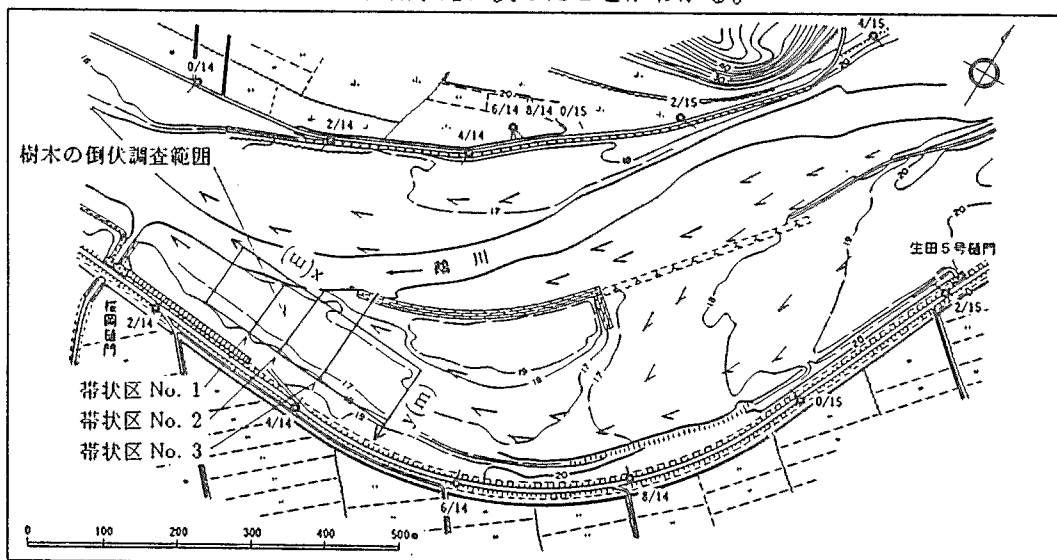


図-3 調査対象地点の地形および洪水流向

この区間における河道内樹木の侵入状況を把握するため、1978 年 9 月、1983 年 9 月、1992 年 8 月に撮影された航空写真をもとに、図-4 に示す植生図を作成した。なお、1992 年のものについては現地踏査を行い修正を施している。左岸高水敷において、1978 年時点では裸地と広葉樹低木林(ヤナギ・ケヤマハンノキ)が大部分を占めていたが、1983 年で裸地が草地に低木林が高木林へと遷移している。しかし、今回の洪水後である 1992 年の調査では草地が土砂堆積により裸地へと変化している。また、低木林であった箇所は樹木の成長により高木林へと遷移している。さらに、1978 年に敷設された左岸低水路護岸箇所は 1983 年には低木林(ヤナギ)が侵入してきており 1992 年には高木林へと成長し低木林箇所も広

がっている。護岸敷設箇所は、1978年時点で裸地であった他の箇所と比較して樹木の侵入が早い時期に生じ、その後も安定して成長を続けている。この現象は、護岸ブロック等により樹木の種子が着き易くさらに草本類が生育できず樹木の生育環境として相対的に良好であったためであると考えられる。

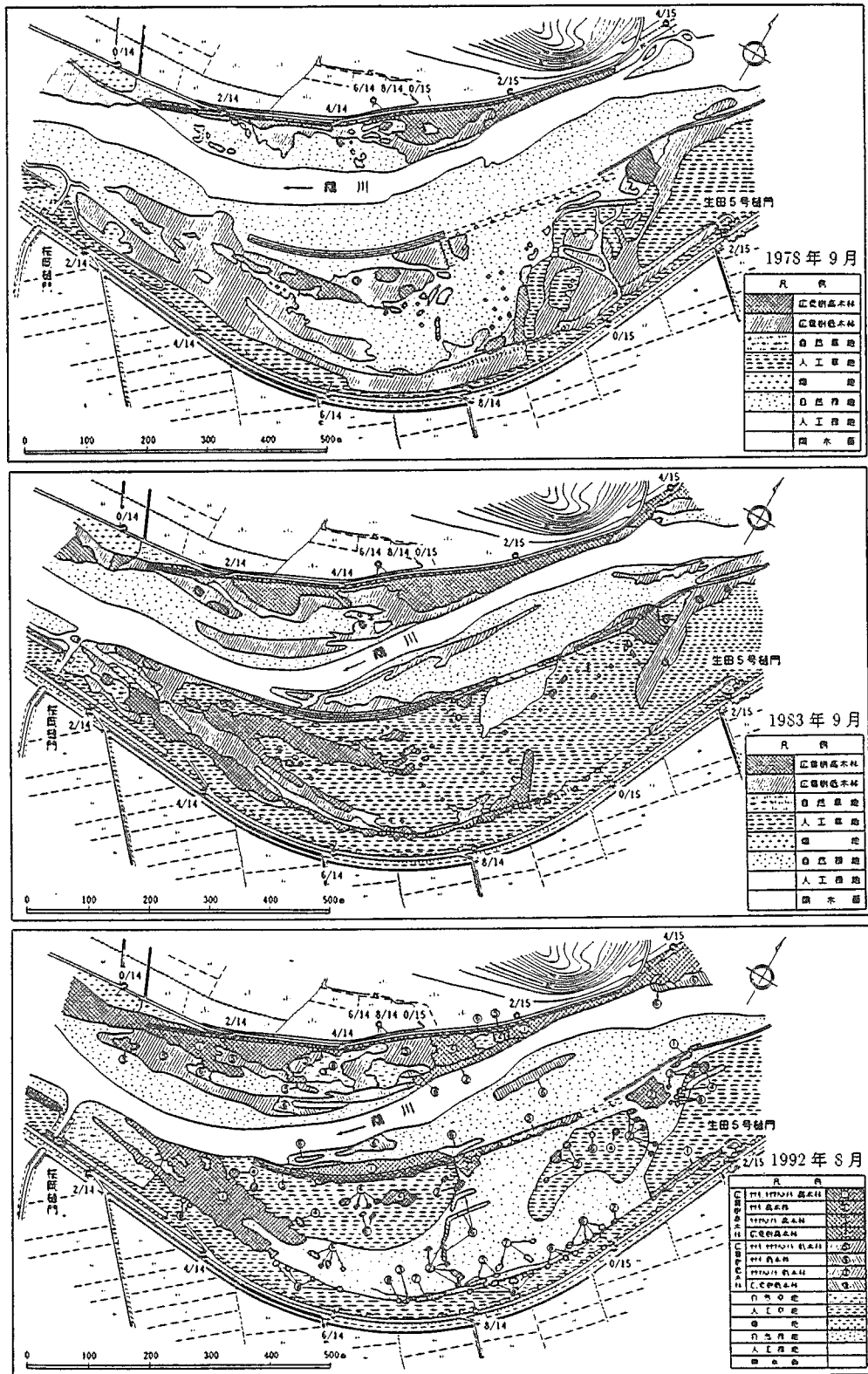


図-4 河道内植生の変遷

左岸高水敷の植生を詳しくみるため、図-3に示したNo.1,2,3の計3箇所の带状区において植生状況の調査を行った。各带状区の樹木相観図および樹木投影図を図-5に示した。さらに、高水敷の微地形に

に基づきそれぞれの帯状区を横断的に3ブロックに分け、各ブロック内において微凹地をB、微凹地を挟む微凸地低水路側をA、堤防側をCと区分することとする。平均樹高はAブロックが8.9~10.2mとなっており、Bブロックの6.3~7.7m、Cブロックの6.0~7.6mに比較して大きく、傾斜倒伏したものも少ない。BブロックとCブロックを比較すると帯状区No.1ではほぼ同じであるが(B:7.7m, C:7.6m)、帯状区No.2ではCブロックの方が大きくなっている(B:6.3m, C:7.4m)。また、Bブロックの大部分の樹木は倒伏傾斜している。総合的に判断すると、微凹地に位置する樹木は樹高が相対的に小さく洪水流により倒伏傾斜しているが、樹高その他樹木の生育については有意な差は無いと判断される。

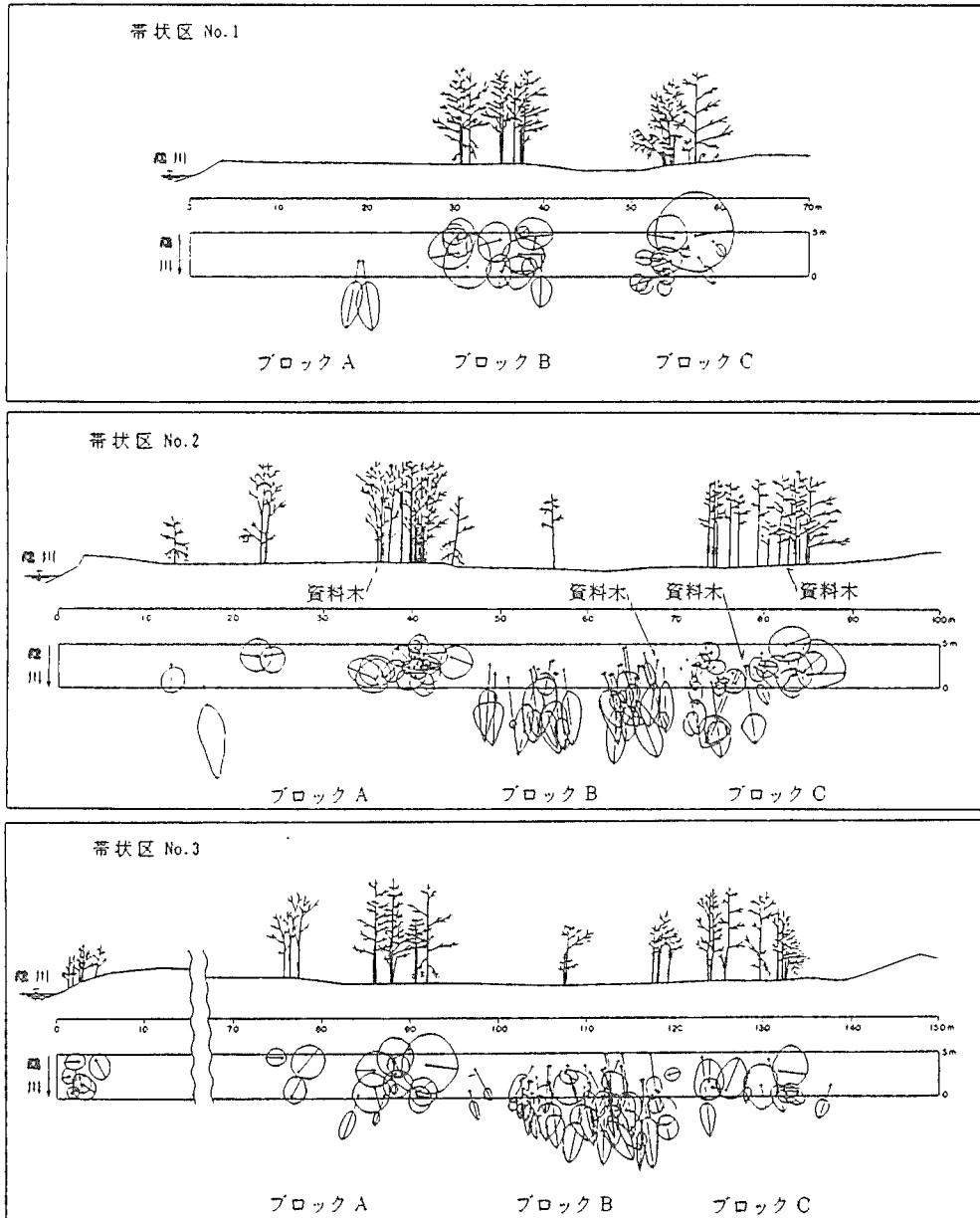


図-5 樹木相観図

次に、調査区域の樹木の生育状況を調べるため、調査区域の樹木を任意に4本選定し樹幹解析を行い、収穫予想表¹⁾との比較を行った。資料木の位置を図-5に併記した。収穫予想表は、A等地、B等地にわけて、林令と樹高・胸高直径・蓄積等の関係における標準的な成長の基準であり、この値と比較することで生育のおおよその良否が判別できるものである。使用した収穫予想表は、調査区域に最も近い釧路地方の流畔(河畔)ケヤマハンノキ林収穫予想表であり、河畔のれき地、沢頭の肥沃な湿潤地などのケヤマハンノキ育林の調査に基づいて作成されたものである。なお、A等地、B等地とは、生育状況、立

地、気候等から総合的に判定したものであり絶対的な基準となるものではない。生育「良」なものがA等地、生育「並」のものがB等地と考えられる。収穫予想表のA等地、B等地的樹齢と樹高および樹齢と胸高直径の関係に今回の資料木の樹幹解析結果を図-6に示した。資料木の樹高成長は全てA等地的成長を上回り、胸高直径成長はほぼA等地的の生育と同じである。この結果から、調査区域の成長はかなり良い成長をしたと判断される。

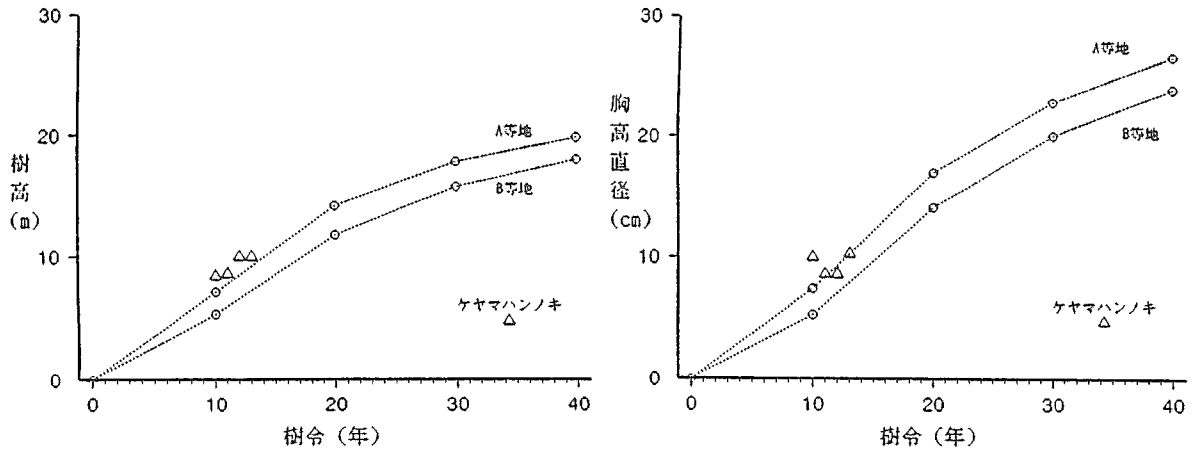


図-6 資料木の成長と収穫予想表¹⁾との比較

4. 樹木の倒伏調査

左岸高水敷の樹木群において大量の倒木が発生していたことから、図-3に示した範囲について樹木の倒伏状況を調査した。調査内容は、以下の通りであり、表-1の調査表の様式に従って取りまとめを行った。

樹木位置; 堤防上のキロポスト杭を基準として測定

樹種; 正式な和名を記入(ヤナギ類はヤナギとした)

樹高; スタッフまたは樹高測定ポールで測定、単位は0.1m

葉張り; スタッフまたは巻尺で左右を含めた数値を測定、単位は0.1m

下枝高; スタッフまたは巻尺で最下端の枝の高さを測定、単位は、0.1m(立木の幹に対して平行に測定)

胸高幹周; 地上から1.2mの位置の幹周を裁縫用メジャーを用いて測定、単位は0.01m(樹高が地上1.2mに達しないものは、記入しない)

根元幹周; 根元の幹周を裁縫用メジャーを用いて測定、単位は0.01m

傾斜角度; 幹の傾斜角度をクリノコンパスを使用して測定、単位は5度(弓状に傾斜したものは地上1.2mの角度を記入、完全に倒伏したものを90度とする)

傾斜方向; 幹の傾斜方向をクリノコンパスを使用して測定、単位は5度(クリノコンパスの北を0度とし、読みをそのまま記入)

根の状況; 根に異常を起こしているものについて記入、根返りを起こしているものは根の厚みおよび根張りを測定

洪水位; 痕跡から洪水位を測定

表-1 植生状況立面調査・調査票

| 樹木 No. | 座標 | | 樹種 | 樹高 (m) | 葉張 (m) | 下枝高 (m) | 胸高 幹周 (cm) | 根元 幹周 (cm) | 傾斜 角度 (度) | 傾斜 方向 (度) | 根の 状況 | 洪水 位 (m) | 備考 |
|--------|----|---|----|-----------|-----------|------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|----------|----------------|----|
| | X | Y | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

調査範囲の樹種は、ほとんどがケヤマハンノキ(1267本)とヤナギ(1198本)で占められ、他の樹種はほとんど存在していなかった。図-7に樹木の位置を示した。ケヤマハンノキが広くある間隔をもって存在しているのに対し、ヤナギは相対的にある箇所に集中して生えている事がわかる。図-8は、調査地点においてどのような位置で根返り倒伏を起こしているかをみたものである。根返り倒伏は、微凹地の中央に沿う形で発生し、縦断的に根返り倒伏が発生している箇所と発生していない箇所が明確に分かれている。この理由としては、図-3から分かるように上流で高水敷に乗り上げた氾濫流は、高水敷の微地形により根返り倒伏が発生した箇所に集中し、かなりの流速で流下したためと判断される。なお、根返り倒伏の発生した樹木は、ケヤマハンノキ379本、ヤナギ233本であり、表-2に根張りおよび根の厚みの測定結果を示した。この地点での根張りおよび根の厚みの平均値は、ケヤマハンノキが116cm、49cm、ヤナギが111cm、49cmであり、樹種による違いは認められなかった。また、根の厚みと根張りには正の相関が認められる。

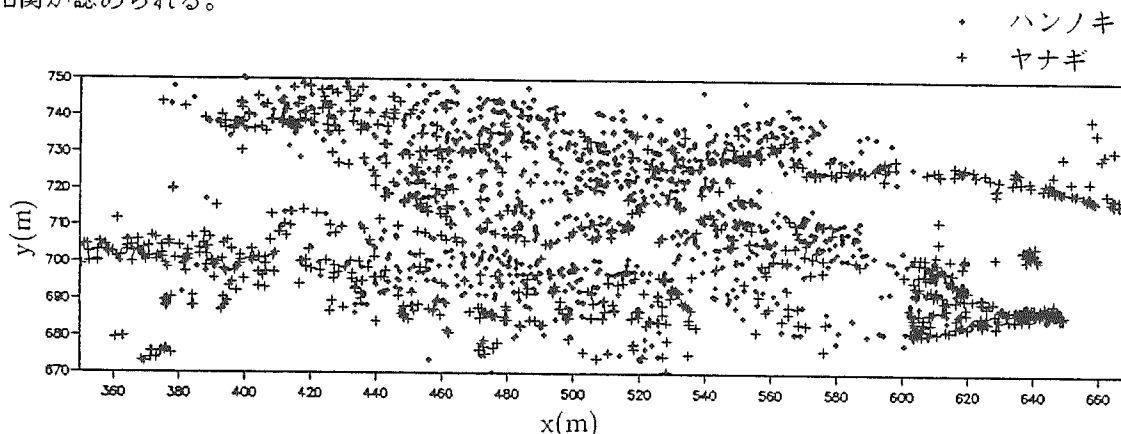


図-7 樹木の倒伏状況調査地点の樹種

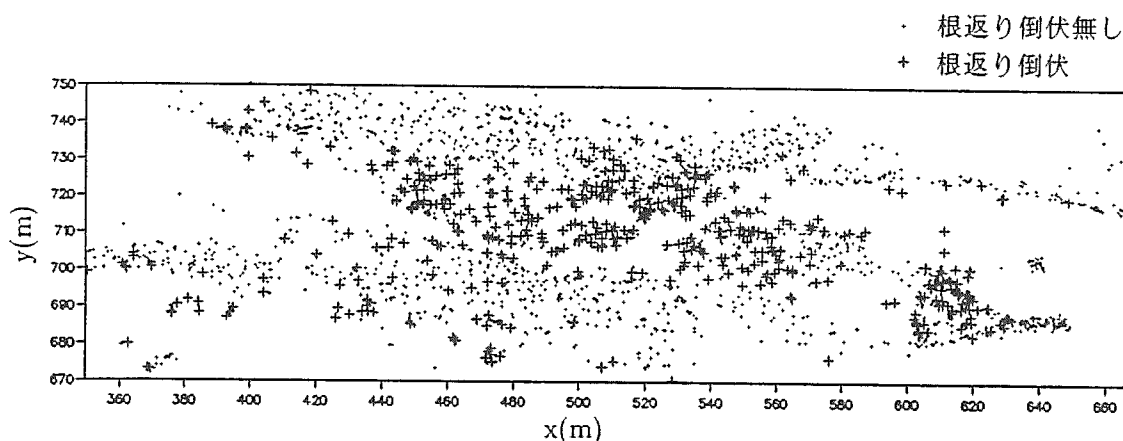


図-8 樹木の倒伏状況調査地点の根返り倒伏状況

表-2 根返り倒伏した樹木の根張りと根の厚み

| ハンノキ 本 | 根の厚み cm | | | | | |
|-----------|---------|----|----|----|----|-----|
| | 10 | 30 | 50 | 70 | 90 | 110 |
| 根 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 張 | 30 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| り | 50 | 0 | 17 | 2 | 0 | 0 |
| cm | 70 | 0 | 28 | 21 | 0 | 0 |
| | 90 | 0 | 18 | 54 | 4 | 0 |
| | 110 | 0 | 10 | 55 | 13 | 0 |
| | 130 | 0 | 2 | 54 | 8 | 0 |
| | 150 | 0 | 1 | 32 | 11 | 0 |
| | 170 | 0 | 0 | 15 | 4 | 0 |
| | 190 | 0 | 1 | 6 | 3 | 0 |
| | 210 | 0 | 0 | 3 | 10 | 1 |
| | 230 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| | 250 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 270 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| ヤナギ 本 | 根の厚み cm | | | | | |
|----------|---------|----|----|----|----|-----|
| | 10 | 30 | 50 | 70 | 90 | 110 |
| 根 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 張 | 30 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| り | 50 | 0 | 18 | 3 | 0 | 0 |
| cm | 70 | 0 | 18 | 15 | 0 | 0 |
| | 90 | 0 | 10 | 31 | 4 | 0 |
| | 110 | 0 | 6 | 30 | 11 | 0 |
| | 130 | 0 | 0 | 25 | 11 | 0 |
| | 150 | 0 | 0 | 11 | 4 | 0 |
| | 170 | 0 | 0 | 3 | 13 | 0 |
| | 190 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| | 210 | 0 | 0 | 2 | 6 | 1 |
| | 230 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 250 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 270 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |

5. 氾濫流の検討

樹木の倒伏がどの程度の流速で生じたかまた、樹木が流況にどのような影響を与えたかを把握するため、樹木群を含む河道の2次元流況計算²⁾を現地に適用し、流況の把握を行った。樹木群を含む河道における2次元流況計算の基礎式は、(1)~(3)式である。

$$\tilde{u} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{s}} + \tilde{v} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{n}} + \frac{\tilde{u}\tilde{v}}{\tilde{r}} = -g \frac{\partial (\tilde{h} + \tilde{\varepsilon})}{\partial \tilde{n}} - \frac{\tilde{\tau}_s}{\tilde{\rho}\tilde{h}} + \frac{\partial}{\partial \tilde{s}} \left(\tilde{\varepsilon} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{s}} \right) + \frac{\partial}{\partial \tilde{n}} \left(\tilde{\varepsilon} \frac{\partial \tilde{u}}{\partial \tilde{n}} \right) - \frac{\tilde{a}}{2} C_d \tilde{u} \sqrt{\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2} \quad (1)$$

$$\tilde{u} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{s}} + \tilde{v} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{n}} - \frac{\tilde{v}^2}{\tilde{r}} = -g \frac{\partial (\tilde{h} + \tilde{\varepsilon})}{\partial \tilde{n}} - \frac{\tilde{\tau}_n}{\tilde{\rho}\tilde{h}} + \frac{\partial}{\partial \tilde{s}} \left(\tilde{\varepsilon} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{s}} \right) + \frac{\partial}{\partial \tilde{n}} \left(\tilde{\varepsilon} \frac{\partial \tilde{v}}{\partial \tilde{n}} \right) - \frac{\tilde{a}}{2} C_d \tilde{v} \sqrt{\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\tilde{u}\tilde{h})}{\partial \tilde{s}} + \frac{1}{\tilde{r}} \frac{\partial (\tilde{r}\tilde{u}\tilde{h})}{\partial \tilde{n}} = 0 \quad (3)$$

ここで、 \tilde{s}, \tilde{n} : 河道縦断方向および横断方向の軸、 $\tilde{u}, \tilde{v}; \tilde{s}, \tilde{n}$ 軸方向の水深平均流速、 \tilde{r} : 河道曲率半径、 \tilde{h} : 水深、 $\tilde{\varepsilon}$: 河床高、 $\tilde{\varepsilon}$: 渦動粘性係数、 $\tilde{\rho}$: 水の密度、 \tilde{g} : 重力加速度、 \tilde{a} : 樹木密度 (= $\tilde{d}/(\tilde{l}\tilde{m})$)、 \tilde{d} : 樹木の直径、 \tilde{l}, \tilde{m} : 樹木の縦横断間隔、 C_d : 樹木の抗力係数である。 $\tilde{\tau}_s, \tilde{\tau}_n$ は、それぞれ \tilde{s}, \tilde{n} 軸方向の河床剪断力であり、

$$\frac{\tilde{\tau}_s}{\tilde{\rho}\tilde{h}} = \frac{\tilde{g}\tilde{n}_m^2}{\tilde{h}^{4/3}} \tilde{u} \sqrt{\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2}, \quad \frac{\tilde{\tau}_n}{\tilde{\rho}\tilde{h}} = \frac{\tilde{g}\tilde{n}_m^2}{\tilde{h}^{4/3}} \tilde{v} \sqrt{\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2}$$

で与える。ここで、 \tilde{n}_m : マニングの粗度係数である。樹木群内の格子点においては、 \tilde{a} および \tilde{n}_m について、水深方向の流速分布が樹木群の影響により一様化する影響を考慮した値を用いる。

(1)~(3)式を清水ら³⁾と同様の手法により差分化し数値計算を実施することができる。計算区間は、上下流の助走区間をとるため KP13.0~KP18.0とした。図-9に今回の調査区間である KP14.0~KP15.4の計算格子を示した。格子上の丸印は、樹木群の存在を示している。計算条件は、流量 $\tilde{Q}=3,000\text{m}^3/\text{s}$ 、マニングの粗度係数 $\tilde{n}_m = 0.03$ とした。また、樹木密度 \tilde{a} は調査区間の樹木群の平均的な値 (=0.03)を採用し、樹木の抗力係数 C_d は、樹木が概ね高木であり下枝高が比較的高かったため、1.2を用いた。

計算結果は図-10に示した通りであり、痕跡からの流向と比較して洪水流が KP15.0 左岸の高水敷へ乗り上がり、KP14.2 付近で低水路に落ち込む流れを再現している。また、高水敷に旧河道である微凹地が存在しさらに高水敷が下流に行くに従って狭くなる地形と相まって、倒伏樹木調査を実施した箇所流れが集中していることが読み取れる。倒伏した樹木群内の流速とその周囲の流速とを比較すると、大きな流体力が樹木に働いていたことが推定される。

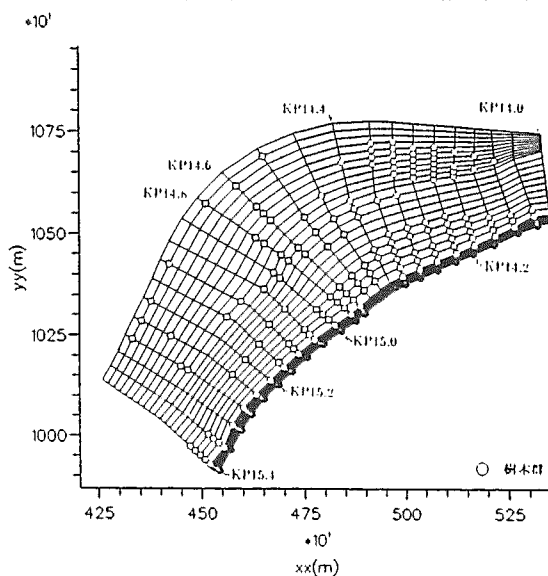


図-9 2次元流況計算計算格子

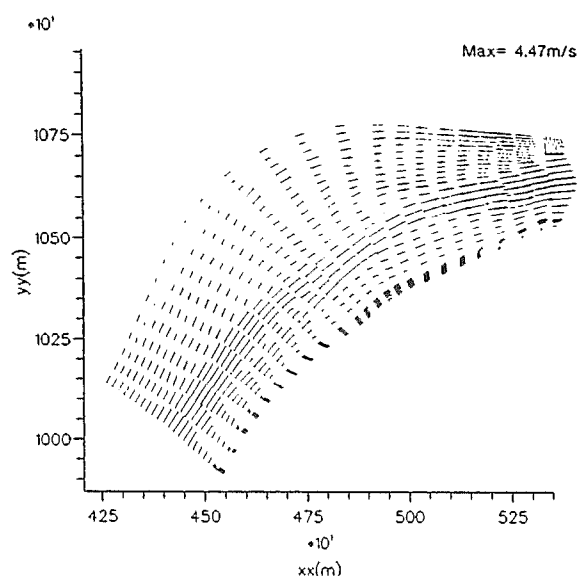


図-10 2次元流況計算計算結果

一方倒伏樹木調査区間について、樹木を片持ち張りとして仮定し樹木の傾きから流速を算定する方法⁴⁾である(4)式

$$\tilde{V} = \sqrt{\frac{23}{112} \frac{\pi \tilde{g} \tilde{E}}{\tilde{w} C_d} \theta \left(\frac{\tilde{d}}{h}\right)^3} \quad (4)$$

を用いて、洪水流の流速を算出した結果を図-11に流速のコンター図として示した。ここで、 \tilde{V} : 流速、 \tilde{E} : ヤング率、 \tilde{w} : 水の単位堆積重量、 θ : 樹木の倒伏角度である。この結果からこの区間の流速は、概ね4~5m/sの流速であったことが分かる。2次元流況計算では、樹木が倒伏しないとして計算を行ったため、樹木群内の流速がこの値より小さく算定されている。しかし、周囲の流速が4m/s程度となっていることを考え合わせると、初期に3m/s程度の流速で樹木群の上流側に大きな力が働き上流側の樹木が倒伏し、その後次々と下流の樹木が倒され、結果的に4m/s程度の流速がこの地点を流下したものと判断される。

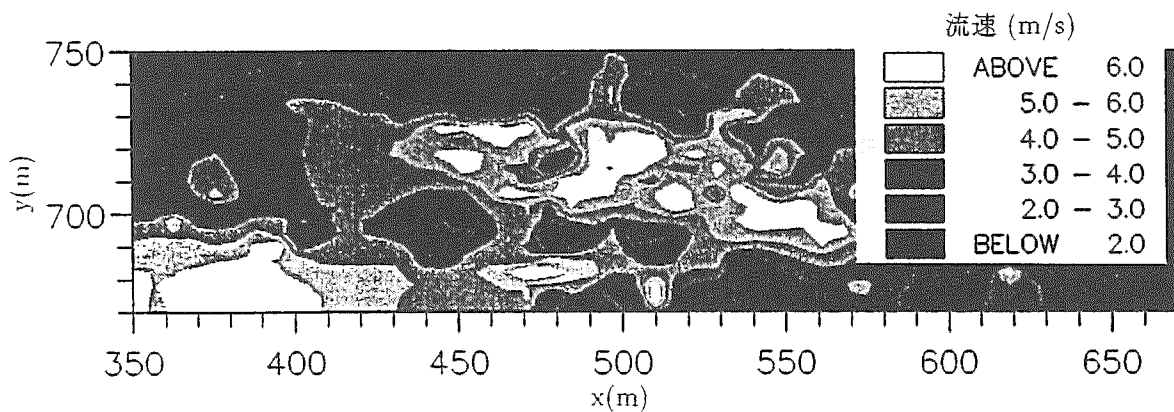


図-11 樹木の倒伏角から求めた流速コンター図

6. おわりに

鶴川の1992年8月洪水における河道内樹木の倒伏に関する現地調査および洪水流の挙動について解析した結果についてまとめて以下に列挙する。

護岸ブロック等の周辺には、樹木の種子が着き易い状況が発生し、相対的に早期に樹木の侵入が認められた。

今回の調査箇所における河道内樹木(ケヤマハンノキおよびヤナギ)は、収穫予想表から生育「良」と判断されたが、流速が4~5m/sで倒伏が生じたと推定される。

この地点での根張りおよび根の厚みは平均110cm, 50cmであった。

今回の樹木の倒伏は、高水敷が下流に行くに従って狭くなりかつ旧河道である微凹地が存在し、高水敷に乗り上げた流れが集中したため発生したものと判断される。

参考文献

- 1) 森林計画研究会北海道支部; 北海道の主要樹種, 1960, 4.
- 2) 渡邊康玄, 清水康行; 樹木群が存在する河道の平面流況計算, 第42回応用力学連合講演会, 1993, 1.
- 3) 清水康行, 板倉忠興; 河川における2次元流れと河床変動の計算, 土木試験所報告第85号, 1986, 10.
- 4) Watanabe, Y., T. Kyoshi, Y. Murakami and K. Hasegawa; Bank erosion during the 1988-flood in the Rumoi River, Hydraulic Engineering Proceedings 1990 National Conference HY Div/ASCE, 1990, 3.