



Title	曲流部の河道固定に関する実験的研究
Author(s)	全, 権雨
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 44(1), 231-244
Issue Date	1987-02
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21202
Type	bulletin (article)
File Information	44(1)_P231-244.pdf



[Instructions for use](#)

曲流部の河道固定に関する 実験的研究

全 權 雨*

Experimental Study on Effects of Riverbed Fixiation
of Bending Channel by Low Dams

By

Kun-Woo CHUN*

要 旨

河川曲流部では流れの偏流現象により多様な河床微地形変化が出現する。したがって曲流部の偏流現象規制による河床変動の低減化は護岸計画上、大きな課題の1つとなっている。

土砂災害から人命・財産などを直接的・間接的に保護するために施工される砂防施設のうち、とくに低ダム群は河道固定と移動土砂の分散堆積はもちろん、流水の偏流現象、下流域の洗掘・堆積の低減効果が考えられる。

1) S字河道の模型水路(低ダム群が6基施工されている須部都川の約1/200に縮小)を用いて、曲流部における河床微地形の発達機構や低ダム群による河道固定の効果について放水路幅と給水量の相違によって実験的に検討を試みた。

2) 低ダム群が施工されると、流れの偏流現象による側岸洗掘が低減され土砂生産の抑制に効果的であった。また、放水路幅の大きい方がより効果的であった。

3) 低ダム群の施工によって流路幅と堆積域が拡大した。この場合にも放水路幅の大きい方がより効果的であった。

4) 曲流部の流れの特性である偏流現象に対して「偏倚度」を用いて、河床固定の指標として有効であると考えられた。

5) 偏倚度においても低ダム群の施工により低減効果が確認された。また、放水路幅の大きい方がより効果的であった。

キーワード: 低ダム群, S字河道, 微地形変化, 河床固定, 偏倚度。

昭和61年8月30日受理 Received August 30, 1986.

* 北海道大学農学部林学科砂防工学研究室

Laboratory of Erosion Control Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

目 次

はじめに	232
I. 須部都川曲流部の低ダム群と河道固定の実態	232
II. 模型実験	234
1. 実験装置と実験方法	234
2. 測定方法	235
III. 実験結果	236
1. 無施設時の河床形態	236
2. 低ダム群配置による河床形態の変化	237
1) 曲流部の洗掘低減	237
2) 流路幅と堆積域の拡大	239
3) 偏倚度の低減	241
IV. 河道固定の判読指標	241
V. 低ダム群による河道固定効果	242
おわりに	243
参考文献	243
Summary	243

はじめに

山地溪流内には侵食作用による多様な地形的変化が出現している。とくに、河道曲流部にあっては河床面の洗掘および堆積作用による河床変動が繰り返され、しばしば段丘状地形を呈する。筆者は、曲流部における河床微地形の発達機構や砂防施設配置による流路固定の効果に関して実験的検討を試みた。すなわち、曲流河道の固定化に対する砂防施設配置の効果について、とくに洗掘を中心とする土砂生産の抑制に対する立体的な変化と流路の固定と堆積域の拡大による安定河道造成の平面的変化について検討した。また、曲流部での流れの特徴である偏流現象に着目し、偏倚度³⁾を河道固定度の指標として提起した。

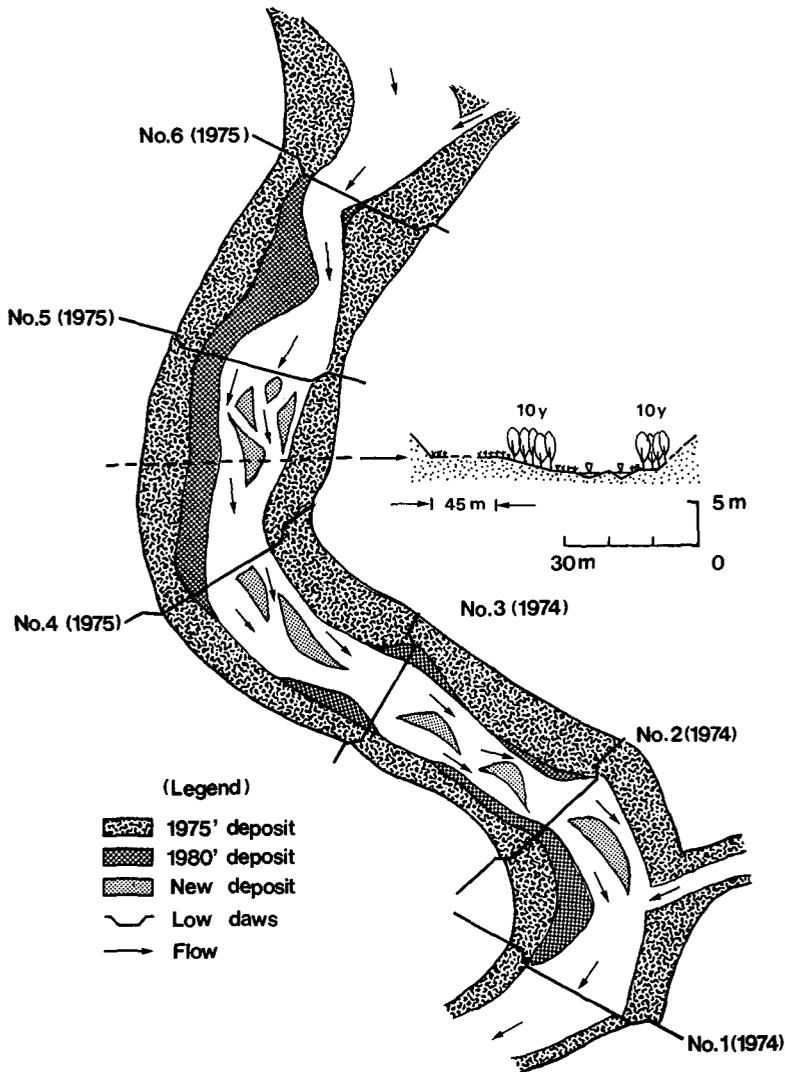
I. 須部都川曲流部の河床変動および植生侵入の実態

河道の安定は、当然のように流路の固定度合に影響される。とくに曲流河道での流路固定は、曲流部の洗掘を低減させ、河岸安定に最も大きな影響を与えると考えられる。このような流路固定の結果、安定化した河道空間(河岸および砂州)には植生の自然侵入が始まり⁵⁾、侵入植生の生育期間はその場所の安定時間が長いほど長くなる。したがって、侵入木本の樹齢からその場所の安定時間すなわち流路の固定時間が推算出来る¹⁾。

図-1は、石狩川支流須部都川のS字型河道に施工されている低ダム群(6基)の平面図および第1カーブ中間地点の横断図である。低ダム群は、1974年に下流第2カーブに3基、1975年に上流第1カーブに3基、合計6基が施工されていた(全施工区間長; 300 m, 区間平均渓床勾配; 1.8%, 各ダムの施工間隔; 平均 50 m, 河道幅; 平均 50 m, $L/B \approx 1$)。ここで、1975年災

害発生 (8月24日集中豪雨と9月8日の6号台風) 直後ならびに施工後10年経た1985年の現地写真を比較し、河道平面・横断面図(岩見沢営林署)などを参考に、河床変動および植生侵入の状況について判読した。

まず、1975年災害時には6基の低ダム群によって形成された安定区間15,000 m² (区間長300 m×平均河幅50 m) において22,800 m³の土砂抑制の機能を発揮していた⁴⁾。また、1985年の現地写真判読によると、河道内の堆積厚は数10 cm程度で河床面の起伏はほとんど見られず、侵入植生も木本類は見られず1年生と見られる草本類のみが分布していた。これは、この10年間は夏期の出水期に流路幅が全河道幅にわたっていた証拠と考えられる。また、低ダム群の施



図一1 石狩川支流須部都川の低ダム群
Fig. 1. Low dams of Subetsu river.

工当時に兩岸保護のために造成された盛土護岸区域には、約10年生のヤナギ類が全区間にわたって侵入し、洗掘による侵食痕跡は見られなかった。一方、低ダム群施工区間上流の未施工区間には幅8~10m、平均深さ3m程度の流路が形成されており、河道兩岸水衝部には流水の偏流洗掘現象によって形成された河岸崩壊地が分布している。

以上の観測結果から、低ダム群の配置による河道固定は曲流部での偏流をコントロールし、局所洗掘の防止とそれに伴う兩岸保護、さらに流路固定による全河道にわたる堆積空間拡大および河床面起伏の平滑化など、立体的・空間的な効果を発揮しているものと推察された。そこで筆者は、S字型の曲流部における河床形態の発達機構と砂防施設配置による河道固定効果を模型実験により検討することにした。

II. 模型実験

1. 実験装置と実験方法

本実験に用いた水路は、石狩川支流須部都川のS字型河道を約1/200に縮小したS字型ステンレス製水路で、水路幅(B)25cm、勾配(S)1/10、水路蛇行長(L)150cm、蛇行半径(R)87.5cm、蛇行波長(l)71.5cmである(写真-1)。水路は移動床とし、平均粒径 $dm=1.4$ mmの混合粒径砂を用いて約5cmに均等に敷き詰めた(図-2)。

給水は水路最上端の水槽(20cm×20cm×5cm)から幅6cmの通路を通して水路に入るようにした。予備実験として1分間に給水量2ℓ、5ℓ、10ℓ、15ℓを与えてみたところ、2ℓの場合は横断起伏がほとんど認められず、また15ℓの場合は上流部において給水開始からまもなく河底部まで洗掘されたことから、横断面起伏の変化が測定出来た5ℓと10ℓを給水量に採用した。

給水時間は、給水量10ℓの場合に最上流部の河底部の洗掘が始まった時間である1分を採用した。

また、低ダム形状については放水路幅20cmと5cmの2種類とし、給水量と低ダム形状の差により4つのケースに分けて行なった(表-1)。

実験方法は、無施設時には全水路河床面を縦・横断方向に起伏がないように平坦化した後に給水を開始した。洗掘・堆積作用の影響を判別し易くするため、給水前に全河床面に白粉をかけた。砂防施設の配置は、曲流部での河床変動と低ダム群配置効果を段階的に比較・検討す



写真-1 模型水路

Photo 1. Model channel works

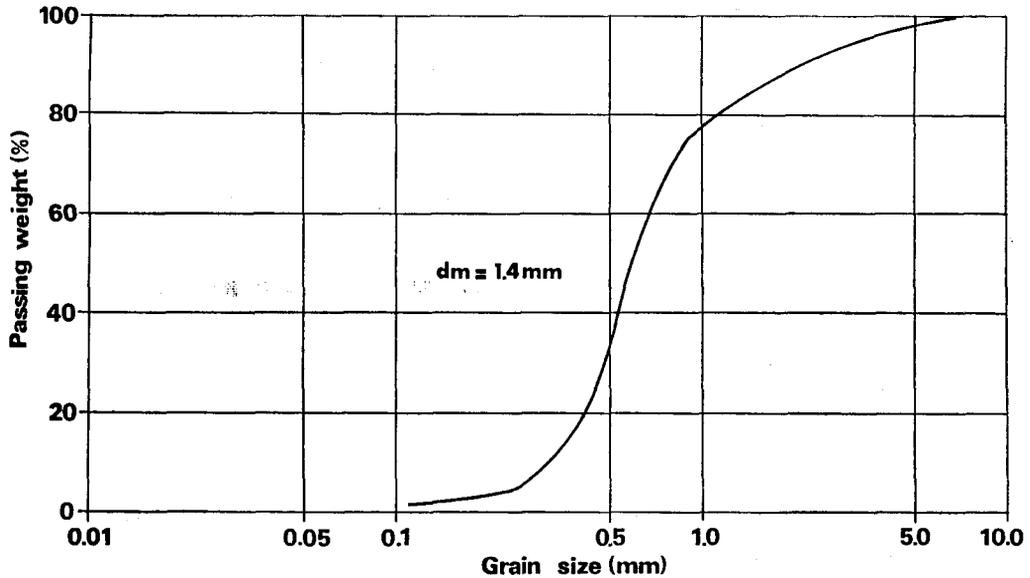


図-2 実験用河床材料の粒径加積曲線

Fig. 2. Grain size accumulation curve of experimental riverbed material.

表-1 実験ケース

Table 1. Experimental case

	Width of overflow section (cm)	Quantity of water-supply (ℓ)	Time of water-supply (min.)
Case I	20	5	1
Case II	20	10	1
Case III	5	5	1
Case IV	5	10	1

るために、また予備給水で侵食が著しかった第2カーブの終了地点である最下流域から、ダムを順次上流に向かって配置した。これは、ある区間に低ダムを配置する場合に、まず保全対象の接近地域から漸次上流へ拡大(本実験では L/L と表現)させることが一般的であること、河床変動量の低減状況と移動土砂の分散処理域の拡大を把握するためである。砂防施設の配置場所は、全流路長 150 cm を 6 等分(ダム中心間の距離; 25 cm)して、水路上流端および下流端は流向に直角(下流に向かって)になるように、その間は放射状に配置した。また、砂防施設と河床面とは落差がないように放水路の天端と河床面を一致させた。

2. 測定方法

実験開始から一定時間経過後(本実験では1分)に給水を停止し、実験水路における河床面上の砂および流水の移動が停止した時間を終了時点として河床変動の測定を行なった。測定には基本測線と補助測線を設けた。基本測線は全水路長の12等分地点とした。また、ダムの上・下流地点は河床変動が活発になり、縦・横断面起伏が複雑になったので、補助測線を設定

した。各測線での河床変動の測定は、横断面における変曲点を測点とした横断面変動量²⁾(FA: Fluctuation area in cross-section)を次式により求めた。

$$FA_i = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i + x_{i+1}) \cdot b_i}{2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 x は実験開始前の元河床から測点までの距離(洗掘深および堆積厚)、 b は測点間の距離である。

また、河床変化を立体的にとらえるために測線区間内の河床変動量²⁾(FV: Fluctuation volume)を次式により求めた。

$$FV_i = \frac{(FA_i + FA_{i+1}) \cdot l}{2} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 l は測線間の距離である。

本実験結果の分析にあたっては、①無施設($L/L=0$)と全区間に低ダムが配置された場合($L/L=1$)の比較・検討、②下流から上流に向かって低ダム群を順次配置した場合において、施工区間長と河床変動の変化過程についての段階的な比較・検討、③調査対象地点を中心として上・下地点に低ダム群が配置された場合の河床変動の質的な相異などについて考えなければならない。しかし、今回の報告ではとくに①と②の低ダム群の配置による河床起伏の量的変化を中心として報告する。

III. 実験結果

1. 無施設時の河床形態

図-3は、実験水路に5ℓ(0.08ℓ/sec)の給水を1分間1回行なった後の河床平面および横断面図である。実験開始初期には全水路にわたって全河床面を平坦に流れたが、時間経過とともに偏流が発生して上流から河床低下が始まり、それが下流へ伝播していくのとほぼ同時に拡幅が停止し、直線状の流路が形成された。そして、いったん偏流した流路には後続流が入り込み、その後続流によって洗掘が活発に行なわれた。ここで、福岡らの実験では曲流部での流れが外曲部に偏流して外曲部の洗掘、内曲部の堆積^{6),7)}が見られるのに対して、本実験水路での流水は上流の第1カーブおよび下流の第2カーブを曲流することなく直進して実験水路の内曲部に遮られて偏流した。

実験終了後の河床形態は、第1カーブではほぼ一定の幅で洗掘域が形成されているのに対して、第2カーブでは第1カーブとの接触区間で流路幅が狭くなり、下流域で再び流路が広くなるなど、流路幅変化が比較的大きくなっていた。流路は直線状で第1カーブおよび第2カーブの内曲部に片寄って形成されており、反対側の外曲部には実験開始時には水が流れたが河床変動の影響を受けていない地域(図-3の斜線部分)が広く分布していた。また、第1カーブには洗掘域のみが分布しているが、第2カーブに形成された流路の両岸には堆積厚の小さい堆

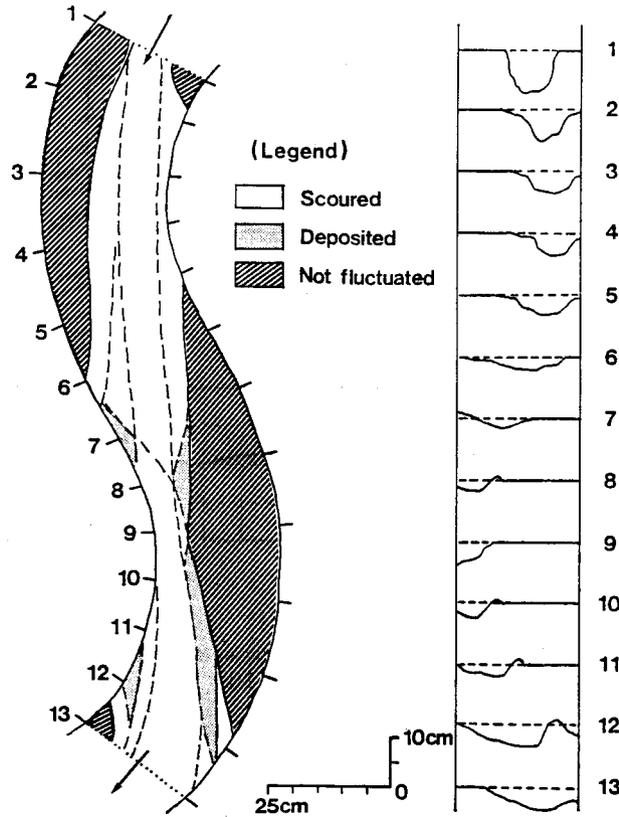


図-3 河床形態の平面および横断面形状 (無施設, 5 l/min.)
 Fig. 3. A channel form and channel shape of river bed (Non-work, 5 l/min.).

積域が分布していた。なお、横断面変動量 (FA) も第1カーブの最上流区間と第2カーブの最下流区間に比べ、第1カーブと第2カーブとの接触区間での変化が小さいなど、流路幅と同様に変化が比較的大きく発生していた。

2. 低ダム群配置と河床形態の変化

1) 曲流部の洗掘低減

曲流河道における曲流部は、流水の下刻侵食とともに側方侵食作用を受けやすい場所である。したがって偏流現象規制による河床変動の低減化は護岸計画上、大きな課題の1つである。

図-4は、第1カーブおよび第2カーブの中間地点である基本測線 No 4 (上図) および No 10 (下図) における低ダム配置による河床横断面変化を現わしたものである (実験ケース II の場合)。ここで、基本測線 No 4 と No 10 における横断面変動 (FA) の相違は、測線 4 が下流から上流に向かって低ダム群を配置した場合の第1カーブでの洗掘低減を中心とする河床変動状況を表わしているのに対して、測線 10 は上流への施工区間の増加による第2カーブでの堆積変化を表わしている。

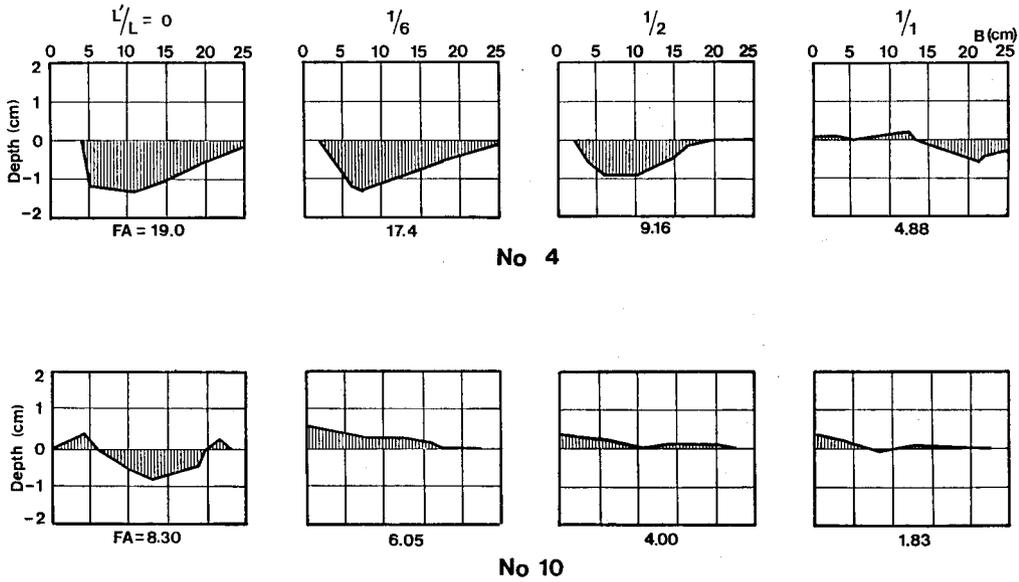


図-4 横断面変動例 (ケース II)

Fig. 4. An example of Fluctuation area in cross-section (Case II).

また、図-5にはケース別の基本測線 No 4 の横断面変動 (FA) と低ダムの施工区間長 (l) との関係を示したものである。これによると、4つのケースいずれも低ダムの配置による施工区間長の増加によって基本測線 No 4 の横断面変動量は低減されている。いま、砂防施設が全区間に配置された場合 ($L'/L=1$) を4つのケースごとに比較して見ると、まずダム形状の相違による洗掘低減率 [(無施設時の洗掘量 - 低ダム配置時の洗掘量) / 施工区間率 (L'/L)] は、ケース I (20 cm) と III (5 cm), II (20 cm) と IV (5 cm) を比較・検討すると、いずれも放水路幅の大きい場合 (ケース I, II) が小さい場合 (ケース III, IV) に比べ洗掘低減率が高い [ケース I: $8.15 (11.94 \text{ cm}^2 \rightarrow 3.79 \text{ cm}^2)$ > ケース III: $6.92 (11.90 \text{ cm}^2 \rightarrow 5.02 \text{ cm}^2)$, ケース II: $13.06 (19.00 \text{ cm}^2 \rightarrow 5.94 \text{ cm}^2)$ > ケース IV: $7.27 (19.00 \text{ cm}^2 \rightarrow 11.73 \text{ cm}^2)$]。とくに、

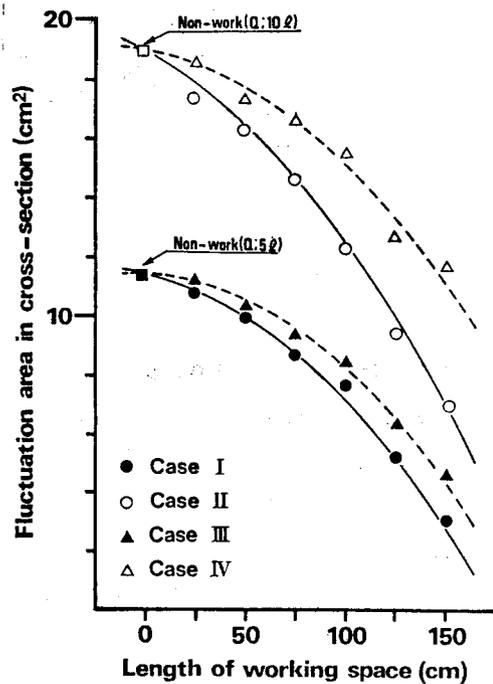


図-5 施工区間長 (l) と横断面変動 (FA)

Fig. 5. Length of working space and Fluctuation area.

全流路を上(0~50 cm)・中(50~100 cm)・下(100~150 cm)流に分けた場合、中流から下流への遷移区間で流路幅が狭くなっている(全河道幅の約20%)。ここは上流第1カーブの内側を偏流した流れが第2カーブ外曲部に到達する地域である。また、図-6(A)の洗掘および堆積による河床変動を見ると、拡幅域で河床変動が多く発生しており、狭窄域で河床変動が少ない。すなわち、無施設時での河道は流路幅の広い場所で河床変動が激しくなっている。

なお、全区間に低ダム群を配置($L/L=1$)すると、まず流路幅はほぼ全区間にわたって広がった。しかし、河床変動の大きい場所は無施設時のように上・下流地域の拡幅部を中心として分布する傾向は見られない。むしろ低ダムの上・下を中心として分布する傾向が強くなっている。また、無施設時においては水路内に移動土砂がほとんど下流(99.0%)したいわゆる土砂生産地であるのに対して、低ダム群を配置した場合は移動土砂量の約63.7%が第1カーブおよび第2カーブの終了地域を中心として分散堆積している。すなわち、無施設時での流路幅が全水路幅の47%に過ぎなかったのが、全区間に砂防施設を施工すると流路幅を71%に拡大することとなり、その結果として河道内で移動土砂量が47.1%に低減すると同時に移動土砂の63.7%が分散堆積されたと考えられる。これは曲流河道において局所洗掘を引き起こす偏流現象による流水を分散させ、流水エネルギーの低減および堆積空間拡大にその影響を与えたと考えられる。

図-7に、各実験ケース別に低ダムの配置による堆積域の拡大状況を示した。ここでも、いずれのケースも低ダムの施工区間増大によって堆積空間が拡大されている。まず、無施設の場合と全区間に低ダム群が配置された場合($L/L=1$)を4つのケースごとに比較すると、ケースI(68 cm²→1,916 cm²: 27.4倍) > ケースII(78 cm²→1,766 cm²: 22.1倍) > ケースIII(68 cm²→1,477 cm²: 21.1倍) > ケースIV(78 cm²→1,337 cm²: 16.8倍)で、給水量の大小よりむしろ放水路幅の相違によって影響されているのがわかる。すなわち、砂防施設施工地の上・下流区域の流路幅により大きく影響され、その結果として堆積域の増加率(砂防施設配置時の堆積域面積/無施設時の堆積域面積)が高くなっている。したがって、いったん洗掘された河床土砂をその付近の河道内に分散堆積させる工種としては放水路幅が広い方が流路幅および堆積域の拡大に望ましいと思われた。

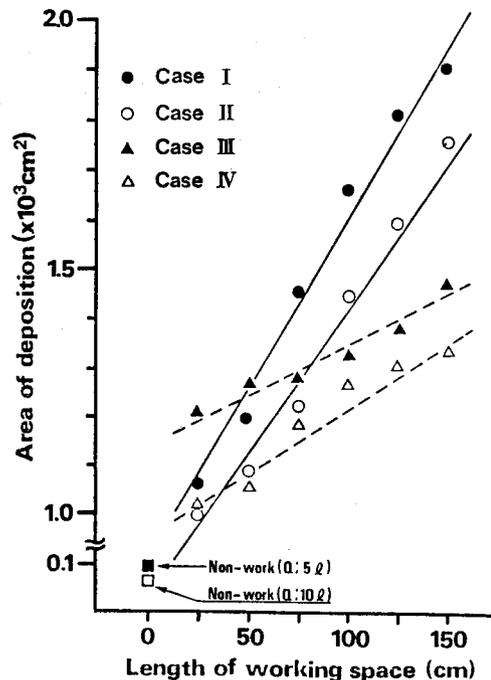


図-7 堆積域の拡大

Fig. 7. Expansion of the deposit space.

3) 偏倚度の低減

筆者は砂防施設配置による曲流部の固定効果を検討する際に、前式(1)と(2)を基準とした平均河床変動高(a)、および流れの偏流度(S : Sinuosity)を現わす平均河床偏流長(b)を主な指標として考えて来た²⁾。しかし、横断面変動量(FA)が同じ場合でもその変動発生位置および変動の集中度によって、また流れの偏流度(S)が同じ場合でもその区間の河床変動量によって、河床微地形に与える影響は大きく異なると考えられる。このことから両者を同時に検討するため、新たな指標として偏倚度(DD: Degree of deflection)を考えることにした。ここで、偏倚度(DD)=平均河床変動高(a)×平均河床偏流長(b)であり、平均河床変動高(a)は洗掘または堆積の影響を受けた全区間の洗掘深および堆積厚の平均値である。また、流れの偏流度(S)は河道幅に対する偏流度合を表わしたものであることから、平均河床偏流長(b)は水路幅の中間地点($B/2$)から流れの中心地点(CF)までの平均偏流距離とした。流れの中心は、河床面の最大洗掘深および堆積厚に一致している場合が多いが、特に偏流現象の強い場所では極端に片寄りを生じるために、ここではFA/2地点とした。

図-8は、各ケース別の偏倚度の変化を現わしたものである。4つのケースいずれも低ダムの配置により偏倚度が低減されている。無施設時の全河道平均偏倚度はケースI・III(0.08 l/sec)で3.13、ケースII・IV(0.17 l/sec)で4.58であるが、砂防施設を全区間に配置した場合は、ケースIで0.67(無施設の21.4%)、ケースIIで1.23(26.9%)、ケースIIIで0.96(30.7%)、ケースIVで1.71(37.3%)のようにそれぞれ低減している。すなわち、ダム形状の相違による偏倚度の低減率[(無施設時の偏倚度-低ダム配置時の偏倚度)/施工区間率(L/L)]がいずれも放水路幅が大きい(ケースI, II)ほうが小さい(ケースIII, IV)ものより低減されている。

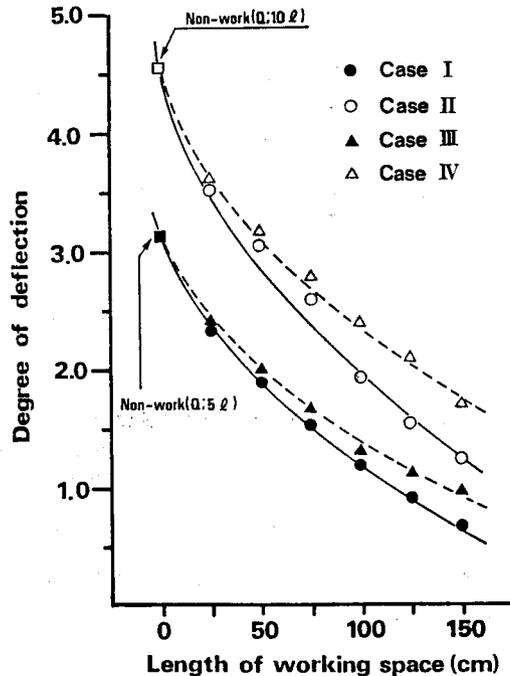
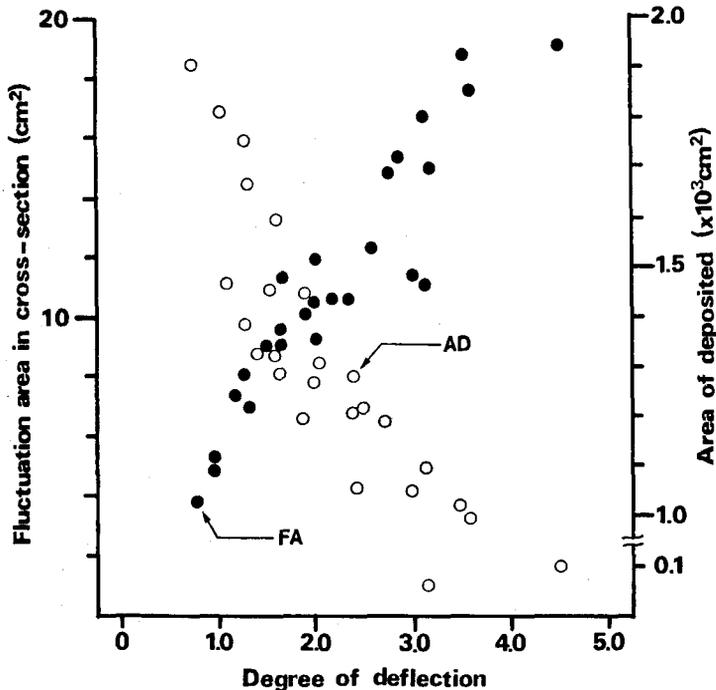


図-8 偏倚度(DD)の低減
Fig. 8. Reduction of the DD (Degree of deflection).

IV. 河道固定の判別指標

図-9は、偏倚度(DD)と曲流部における横断面変動量(FA)および堆積域(AD)の関連を表わしたものである。図で見るように、偏倚度と曲流部における横断面変動の関係は、偏倚度が低減されることによって横断面変動は低減し、逆に堆積域が増加していくことが確認された。

例えば、実験水路での偏倚度は、給水量 10ℓ ($0.17 \ell/\text{sec}$) における無施設の場合の偏倚度が 4.58 [横断面変動 (FA): 19.0 cm^2 , 堆積域の面積 (AD): 170.63 cm^2] と最大であった。しかし、同一給水量で低ダム群配置によるその効果率が一番高かったケース II の $D_n=6$ にあっては、偏倚度が 1.23 [横断面変動 (FA): 8.1 cm^2 , 堆積域の面積 (AD): 1779.38 cm^2] にコントロールされている。



図—9 横断面変動 (FA) および堆積域の拡大 (AD) と偏倚度 (DD)

Fig. 9. Fluctuation area in cross-section, Area of deposited and Degree of deflection.

以上のように、横断面変動 (FA) と流れの偏流度 (S) および堆積域の拡大を偏倚度 (DD) に代表させて検討したが、河道固定効果の評価に際してはこの偏倚度が有効な分析指標になると考えられた。

V. 低ダム群による河道固定効果

低ダム群配置による河道固定効果は、曲流部の洗掘防止等の土砂生産抑制と堆積空間拡大 (流路幅の確保および堆積域の拡大) によるものと考えられる。とくに河道曲流部は、流れの偏流現象により河床変動が大きい場所であることから、これらの効果が典型的に発揮される。曲流部における横断面変動 (FA) の測定結果から低ダムの配置により全ケースともに好結果が得られたが、その低減率はケース II > I > IV > III であった。すなわち、放水路幅の大きい方が効果率が高いことと、各ケースにおける施工区間長が保全対施工区間が近接するほど曲流部の洗

掘低減率が高いことから、保全対象地域に砂防施設を配置するときには、砂防施設の形状と施工優先順位を十分に参考しながら決めるべきだと考えられる。曲流河道の固定は、曲流部の洗掘防止等による土砂生産の抑制効果とともに生産土砂の受容・分散効果によって評価される。砂防施設の配置による堆積空間の拡大は流路拡大等による堆積域の増加させるのに4つのケースいずれも好結果を得たが、堆積空間増大についても放水路幅の大きい場合が小さい場合より効果が高い。

おわりに

山地溪流の河床微地形は、洗掘および堆積による土砂移動痕跡として現存するものであるが、とくに曲流部はその微地形の分布形態が複雑で、その変動を抑制することは困難視されてきた。本研究では、曲流部における河床形態の特徴と砂防施設配置の効果について実験的に検討を行なうとともに、河道固定に伴う安定地域での植生侵入についても現地河道で観察を行なった。これからはいくつかの野外現地調査により実験結果の適用性について検討を行なうつもりである。

最後に、本研究に際して貴重な現地資料を提供頂いた岩見沢営林署および北海道大学農学部砂防工学研究室の各位に対し深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 新谷 融： 荒廃溪流における土砂移動に関する基礎的研究。北大演研報 28-2, 193-258, 1971.
- 2) 全 槿雨, 新谷 融, 東 三郎： 曲流部における流れの偏倚現象に関する実験的研究。日林北支論 34, 199-201, 1985.
- 3) 長谷川和義： 沖積蛇行の平面および河床形状と流れに関する水理学的研究。北海道大学提出学位論文, 119-120, 1983.
- 4) 東 三郎： 須部都川治山工事の新工法と評価。治山 20-5, 107-113, 1975.
- 5) 東 三郎： 地表変動論。北海道大学図書刊行会, 183-190, 1979.
- 6) 福岡捷二ほか： 湾曲水路の側岸侵食。第27回水理講演会論文集, 721-726, 1983.
- 7) 福岡捷二ほか： 湾曲水路の交互砂州に関する実験的研究。第28回水理講演会論文集, 757-762, 1984.

Summary

Many types of sediment movement occur in a torrential river. Especially, the flow condition and sediment transport in bending channel is quite different from that of straight channel.

Low dams and other erosion control facilities are constructed to prevent flooding downstream which occurs due to riverbed fluctuation caused by large sediment discharge when many landslide and debris flows occur by heavy rain. Low dams in a torrent reduces its slope and transporting power of the torrent water, the shingle is deposited within the low dams, controls flow conditions in stream and reduces the deposit and scour effects in downstream.

Experimental and field studies on the effects of low dams on the control of deposit and scour in riverbed of bending channel were carried out.

The results are summarised as follows:

1) In the Subetsu River, from 1974 to 1975, 6 low dams were constructed and this was the most significant activity to riverbed fixation (Fig. 1).

2) The author considered that fluctuation area in cross-section (FA, in short) and fluctuation of volume (FV, in short) became an index of concentrated accumulation of riverbed.

3) Fluctuation area on the bend; In the case of construction of low dams, the continuous combination of these dams can control the scour on the bend. Fluctuation area in Case I, after the construction of low dams, decreased to about 32% compared with that of non-work (Fig. 4 and 5).

4) Flow channel width and deposit space; After the construction of low dams on both the upstream and downstream, flow channel width increased to about 1.5 times compared with that of non-work (Fig. 6). Also, deposit space increased to about 27.4 times in Case II (Fig. 7).

5) Flow direction; In general it may be difficult to expect a change in flow line direction in a torrent with both steep and narrow riverbed. But low dams with sufficient holding capacity can control the flow line direction in bend, and fixation of riverbed and reduction of the Degree of Deflection (DD, in short) in riverbed can be expected (Fig. 8 and 9).