

土木研究所資料

流木対策に関する研究報告書

平成元年 2 月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright ©(1989) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

流木対策に関する研究 報告書

砂防研究室 室 長 水 山 高 久
主任研究員 石 川 芳 治
福 澤 誠

要 旨

土石流とともに流下してくる多量の流木により下流域での被害が増大した例は多く、このような流木による被害の増加を防止・軽減するために、近畿地方建設局六甲砂防工事事務所では流木止め付きの砂防ダムを昭和45年から少しではあるが設置してきている。本研究では近畿地方建設局からの依頼により、土石流とともに流下してくる流木を効果的に捕捉できる透過型砂防ダムの設計条件を明らかにし、流木対策施設の計画、設計手法を確立することを目的として室内模型水路を用いて実験を行い、得られたデータを解析、考察した。さらに、流木対策のための調査、計画、設計等について、「流木対策の手引き（案）」としてまとめた。

キーワード：流木対策，土石流，流木止め，手引き（案）

Technical Memorandum
of P. W. R. I. No. 2718
Feb. 1989

A Study on Countermeasures against Floating Logs

Sabo Division, Sabo Department
Head of Division : Takahisa MIZUYAMA
Senior Researcher : Yoshiharu ISHIKAWA
Makoto FUKUZAWA

Synopsis

On the lower reaches, increasing damages incurred by the large quantity of floating logs which run down along with debris flows have been reported. In order to prevent and mitigate this kind of damages, a few sabo dams against the floating logs have been built by the Rokko Sabo Work Office, Kinki District Bureau, Ministry of Construction since 1970. This study was commissioned by the above-mentioned Bureau with the aim of clarifying the design conditions and the arrangement method of the permeable sabo dams to trap the floating logs effectively and of establishing the technical standards for planning and design of countermeasures against floating logs. A lot of data obtained by experiments with the use of laboratory test channels were analyzed and considered. Moreover, "Tentative recommendation for countermeasures against floating logs" was submitted for survey, planning and design of countermeasures against floating logs.

KEY WORDS : Countermeasure against floating logs, Debris flow, Floating log trap boom, Tentative recommendation.

は じ め に

土石流とともに出てくる流木によって被害が増大する例は本文中にも述べるように非常に多く、土石流対策とともに流木対策も重要であると考えられる。しかしながら、流木対策工を設置している箇所は全国的には極めて少ない。この理由としては流木による被害に対する認識が一般的に低いこともその一因であるが、もう一つの大きな原因は流木の生産、流下、堆積機構が明らかになっていないことと、流木対策施設の設計手法が未だ一般化されていないことにあると考えられる。

本研究は、建設省近畿地方建設局六甲砂防工事事務所からの依頼により、流木対策施設の調査、計画、設計手法を確立するとともに、より効率的な透過型砂防ダムを開発することを目的として行った。

研究の初年度にあたる昨年度は、建設省六甲型流木止付砂防ダムとオーストリア型透過型砂防ダムについて室内模型水路を用いて流木捕捉効果に関する基礎的な実験を行い、流木止スリットによる流木捕捉率を与える式を得た。この検討結果は土木研究所資料第2608号「流木対策を考慮した透過型砂防ダム水理模型実験報告書」としてまとめた。本年度はこれらの検討をさらに進めて

- ① 砂防ダム堆砂地の流木捕捉機能
- ② 各種流木止スリットの流木捕捉率の比較
- ③ 主副ダム間の水褥池を利用した新しい型の流木止の検討
- ④ 流木の移動開始限界
- ⑤ 水路狭窄部における流木捕捉率に関する室内模型実験を行いその結果をまとめた。

さらに、既往の流木災害調査結果^{2), 3), 4), 5), 6)}から得られた知見も取り入れて流木対策の手引き(案)を作成した。本研究の成果が今後の流木対策の参考となれば幸いである。

本研究を行うにあたり近畿地方建設局六甲砂防工事事務所、中国地方建設局河川計画課、山形県土木部砂防課、京都府土木建築部砂防課、広島県土木建築部砂防課、熊本県土木部砂防課及び関係事務所の皆様には現地調査、資料提供等に協力して頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

目 次

はじめに

1. 概 要.....	1
1.1 流木による災害と流木対策.....	1
1.2 実験目的.....	1
1.3 実験施設と模型概要.....	2
1.4 相似則.....	16
2. 実 験.....	17
2.1 実験ケース.....	17
2.2 実験方法.....	18
2.3 計測項目.....	19
3. 実験結果と考察.....	21
3.1 砂防ダムによる流木捕捉実験（実験A）.....	21
3.2 流木止スクリーンによる流木捕捉実験（実験B）.....	25
3.3 主副ダム間の水褥池による流木捕捉実験（実験C）.....	28
3.4 流木の移動開始限界に関する実験（実験D）.....	30
3.5 水路狭窄部における流木の閉塞に関する実験（実験E）.....	32
4. まとめと今後の検討課題.....	35
4.1 まとめ.....	35
4.2 今後の検討課題.....	35
5. 流木対策の手引き（案）.....	37

1. 概 要

1.1 流木による災害と流木対策

土石流とともに多量の流木が流下して、下流の橋梁や流路を塞ぎ、被害を増大させると言った現象は昭和13年および昭和42年の六甲山系における災害において顕著であり、特に下流部で流路が暗渠となっていた宇治川では大きな被害を出し、その後宇治川を始めとして流木止スクリーンを備えた砂防ダムが建設される契機となった。また近年では、昭和51年の台風17号により、香川県小豆島の橋川に発生した土石流では、土石流は砂防ダムにより捕捉されたが、流木が流路工を閉塞し、流水、土砂が流路工より氾濫して被害を大きくした。昭和57年7月に発生した長崎豪雨災害では、長崎市東樋口の長龍寺川、上戸石町陣ノ内の陣ノ内川、芒塚町の芒塚川の溪流で合計4,040本の流木が流下して、土砂、礫とともに73家屋に被害を与えた¹⁾。

このように土石流と共に流下する流木は、流下途中及び土石流堆積域下流で災害を激化させる原因となりうるので、このような流木による災害の恐れのある溪流では、土石流対策と並行して流木の流下を阻止する対策を考える必要がある。六甲砂防工事事務所では昭和45～46年および昭和53～56年頃に計6ヶ所の流木止スクリーン付の砂防ダムを流木対策として設置している。また同じく六甲砂防事務所管内の宇治川の下流部では、流木等による暗渠部流路の閉塞を防ぐ目的で暗渠入口部にある調整池には流木止用のスクリーンを設置している。しかしながら、流木対策に関する調査、研究は遅れており、流木の発生、流下、堆積機構は十分に解明されていない。さらに流木対策施設の設計基準もなく現在設置されている流木対策施設は極めて少ない。

本研究は、基本的な流木対策に関する調査、計画、設計手法をとりまとめることを目的として昭和62、63年度の2ヶ年にわたり行ってきた。本報告書の第1章～4章は

- ① 砂防ダムの流木捕捉効果の検討
 - ② 各種の流木止スリットの流木捕捉効果の検討
 - ③ 水罅池の流木捕捉効果の検討と流木対策を考慮した新しい型の水罅池の構造と機能に関する検討
 - ④ 水路上の流木の移動開始限界を与える式の検討
 - ⑤ 水路狭窄部における流木の捕捉現象に関する検討を主として室内模型実験により行った結果を示す。
- さらに既往の流木災害実態調査結果により得られた知見をも加えて第5章に流木対策の手引き（案）として流木対策の調査、計画、設計の基本的事項をとりまとめた。

1.2 実験目的

砂防ダムおよび流木止スリットの流木捕捉特性、流木の移動開始限界および狭窄部における流木の停止特性を調べることにより流木対策施設の調査、計画、設計のための基礎資料を得ることを目的として室内模型水路を用いて実験を行った。

本実験において検討した主な項目は以下のとおりである。

① 砂防ダムによる流木捕捉実験（以下実験Aとする）

流木止スリットのついていない通常のアーチ式ダムと重力式ダムの模型を用いて、満砂状態と未満砂状態において流量、流木の種類等を変化させて実験を行い、主ダム堆砂域における流木捕捉形態及び流木捕捉率等を検討した。

② 流木止スクリーンの流木捕捉実験（以下実験Bとする）

形状を変えた10種類の流木止めスクリーンを用いてそれらの流木捕捉効果を検討した。

③ 主副ダム間の水貯池における流木捕捉実験（以下実験Cとする）

土砂や水と共に主ダムより落下した流木を副ダムのせき上げ背水により土砂と分離して水貯池の両サイドへ誘導して捕捉する施設を計画し、この施設の流木捕捉効果を検討した。さらに通常の水貯池の流木捕捉効果も検討した。

④ 流木の移動開始限界に関する実験（以下実験Cとする）

水路内に置かれた流木が移動を開始する時の流量、水深、水路勾配、流向に対する流方の設置方向等の条件を明らかにするために模型水路を用いて実験を行った。

⑤ 水路狭窄部における流木の閉塞に関する実験（以下実験Eとする）

水路上に種々の幅の狭窄部を設けて、流木を流し、水理条件と狭窄部における流木の捕捉率との関係を明らかにするために模型水路を用いて実験を行った。

1.3 実験施設と模型概要

本実験に使用した模型水路は図-1.1に示すように、全長5.0m、水路幅0.2m、水路部側壁高さの0.4mの木製直線水路であり、水路部側壁はアクリル樹脂製である。また水路は上流をチェーンブロッ

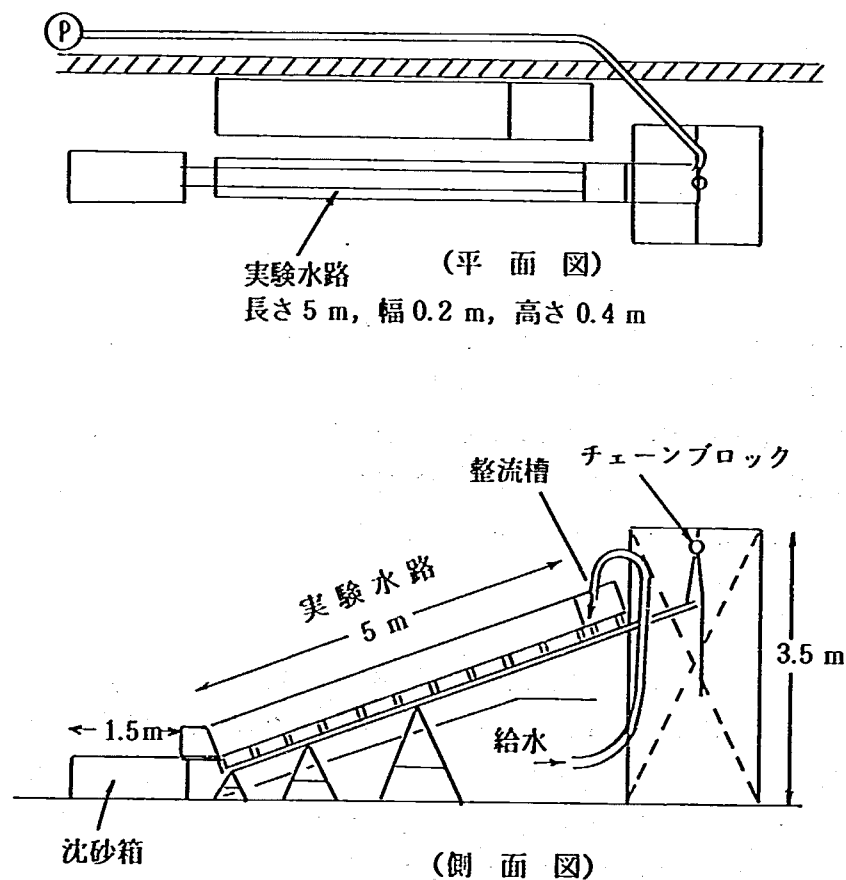
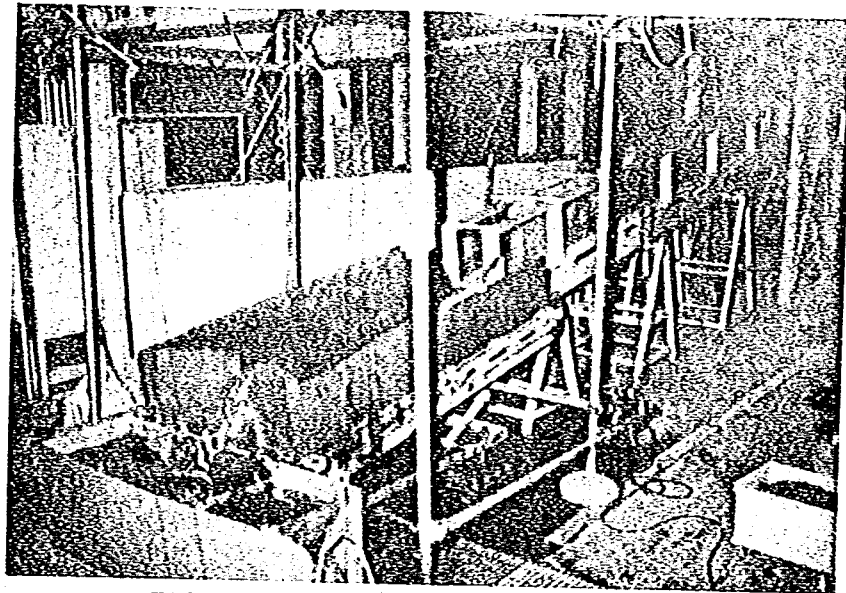


図-1.1 実験に用いた水路の全体図

クで吊り上げることにより、 $0^{\circ}\sim 20^{\circ}$ の範囲で水路勾配の調節が可能である。実験DとEはこの水路のみを用いて行なったが実験A～Cについては以下に示すような砂防ダムおよび流木止スリット等の模型を製作して直線水路の下流端へ接続して実験を行った（写真－1. 1）。

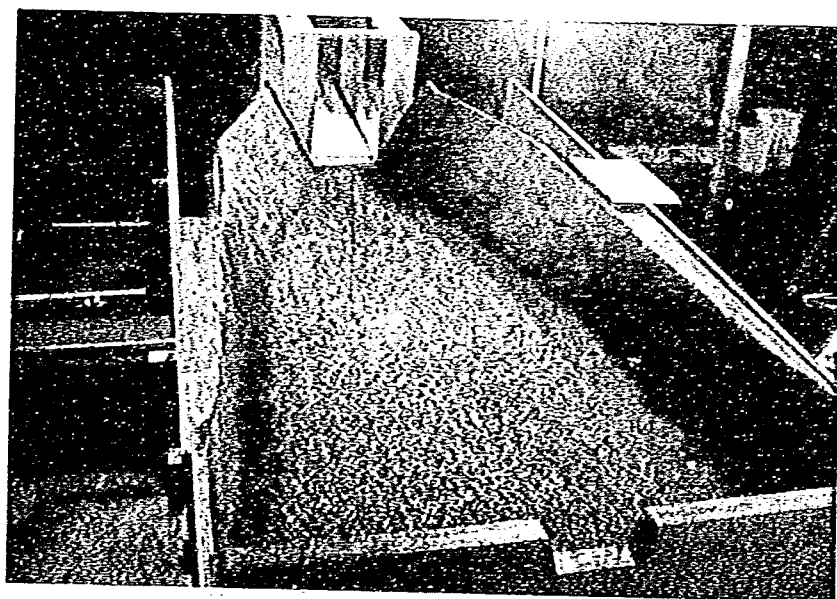
実験Aで用いたアーチ式砂防ダムの原型は六甲砂防工事事務所管内の真水谷堰堤（高さ21m、長さ55m、水通し部長さ6m、水通し部高さ2.5m）であり、重力式砂防ダムも真水谷堰堤に準じて、それぞ



写真－1. 1 アーチ式砂防ダム模型（実験A）

れ縮尺1/50で模型を製作した。実験Aで用いたアーチ式砂防ダムと通常の重力式砂防ダムの模型の概略を図－1. 2に示す。砂防ダムおよび相似部の模型は勾配1/6に設定した直線水路の下流端に接続した（写真－1. 1）堆砂地内には粗度をつけるためにステラシート（厚さ10mm）を張った。（写真－1. 2）

実験Bは実験Aで用いた重力式砂防ダムを用いて、その水通し部を適当に切り欠いて図－1. 3～1. 6に示すような各種の流木止スリットの模型を切り欠いた砂防ダムの水通し部に設置した（写真－1. 3）。



写真－1. 2 重力式砂防ダム模型（実験A）

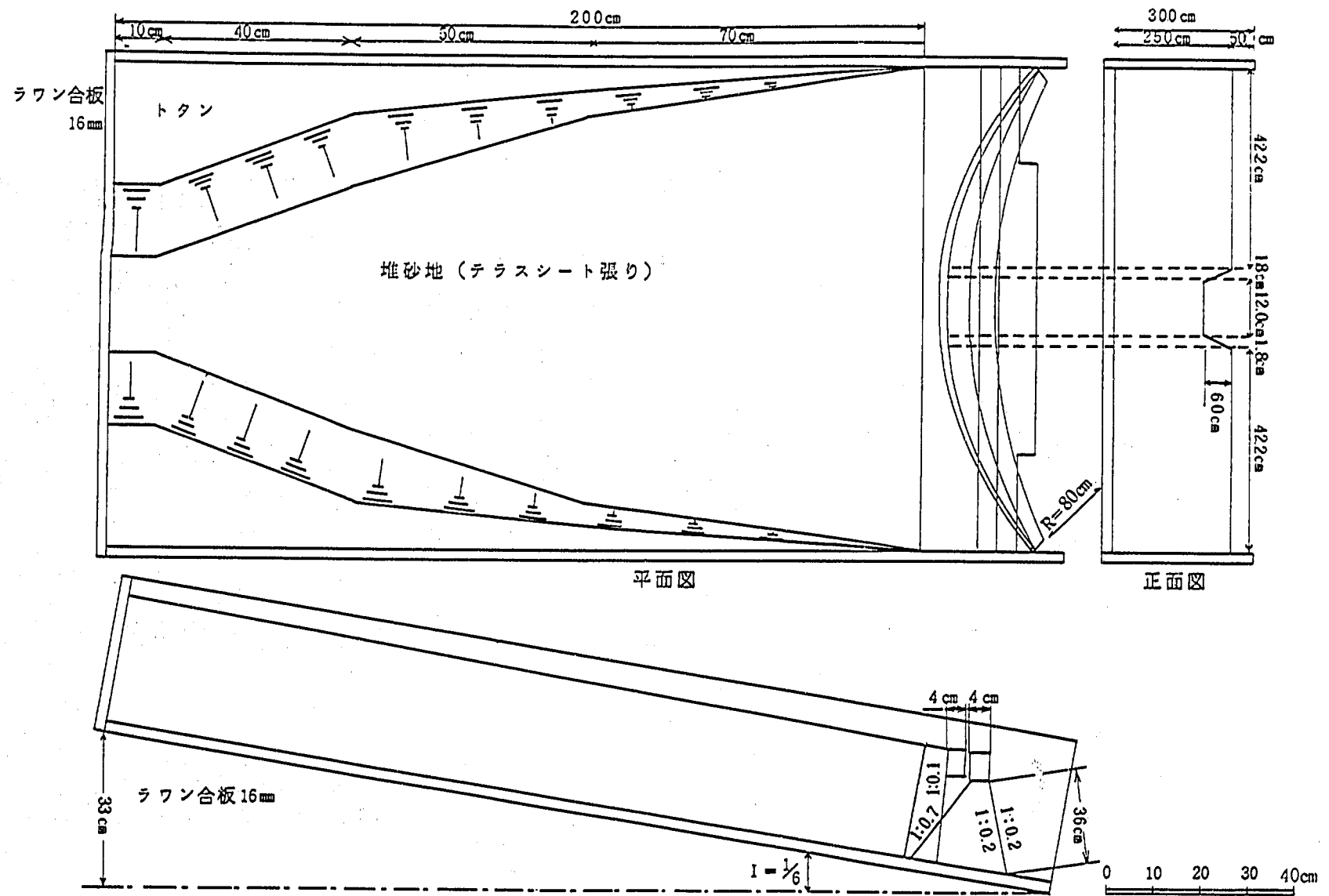


図-1.2 主ダム模型 (実験A) 側面図

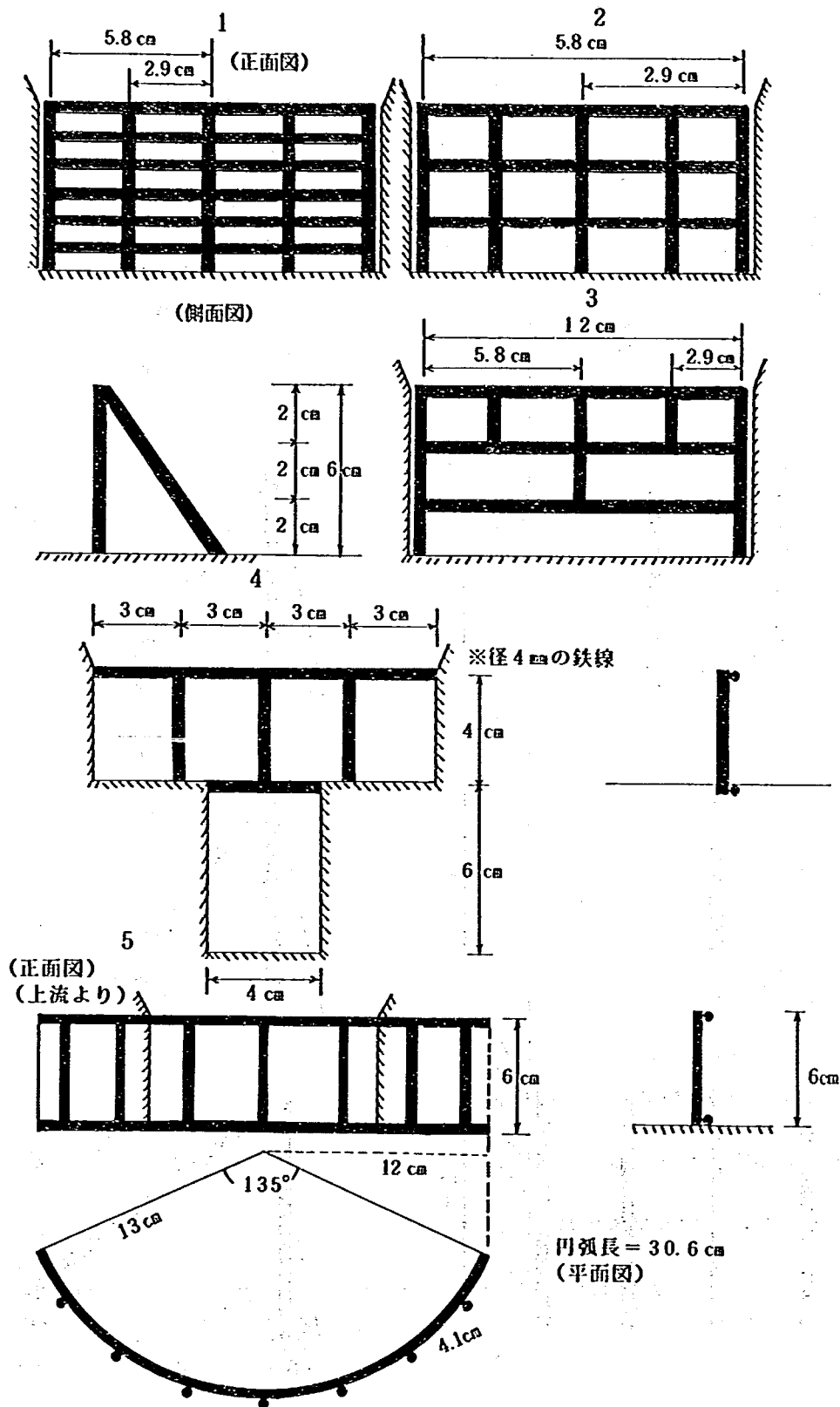


図-1.3 流木止スクリーン模型図1 (実験B)

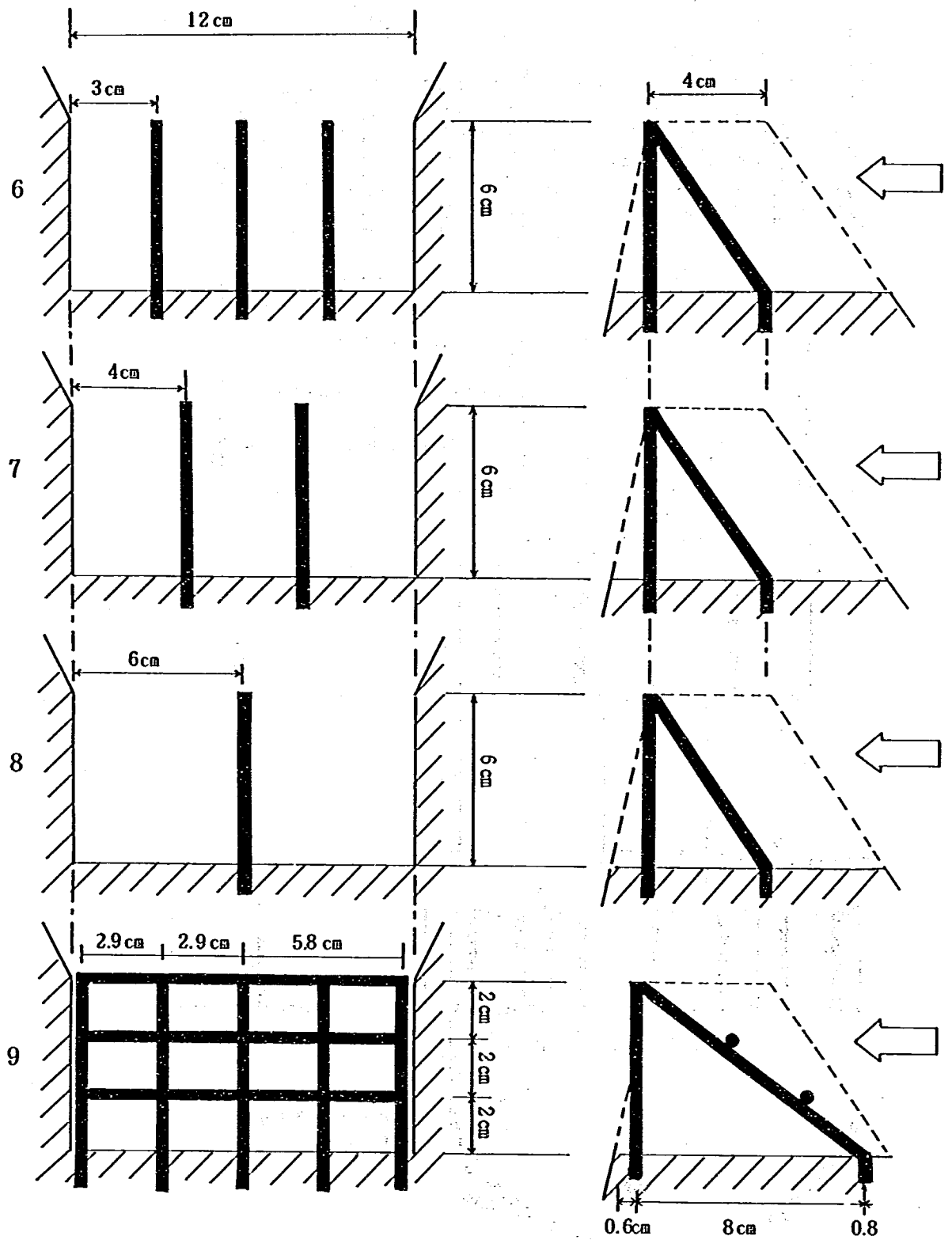


図-1.4 流木止スクリーン模型図2 (実験B)

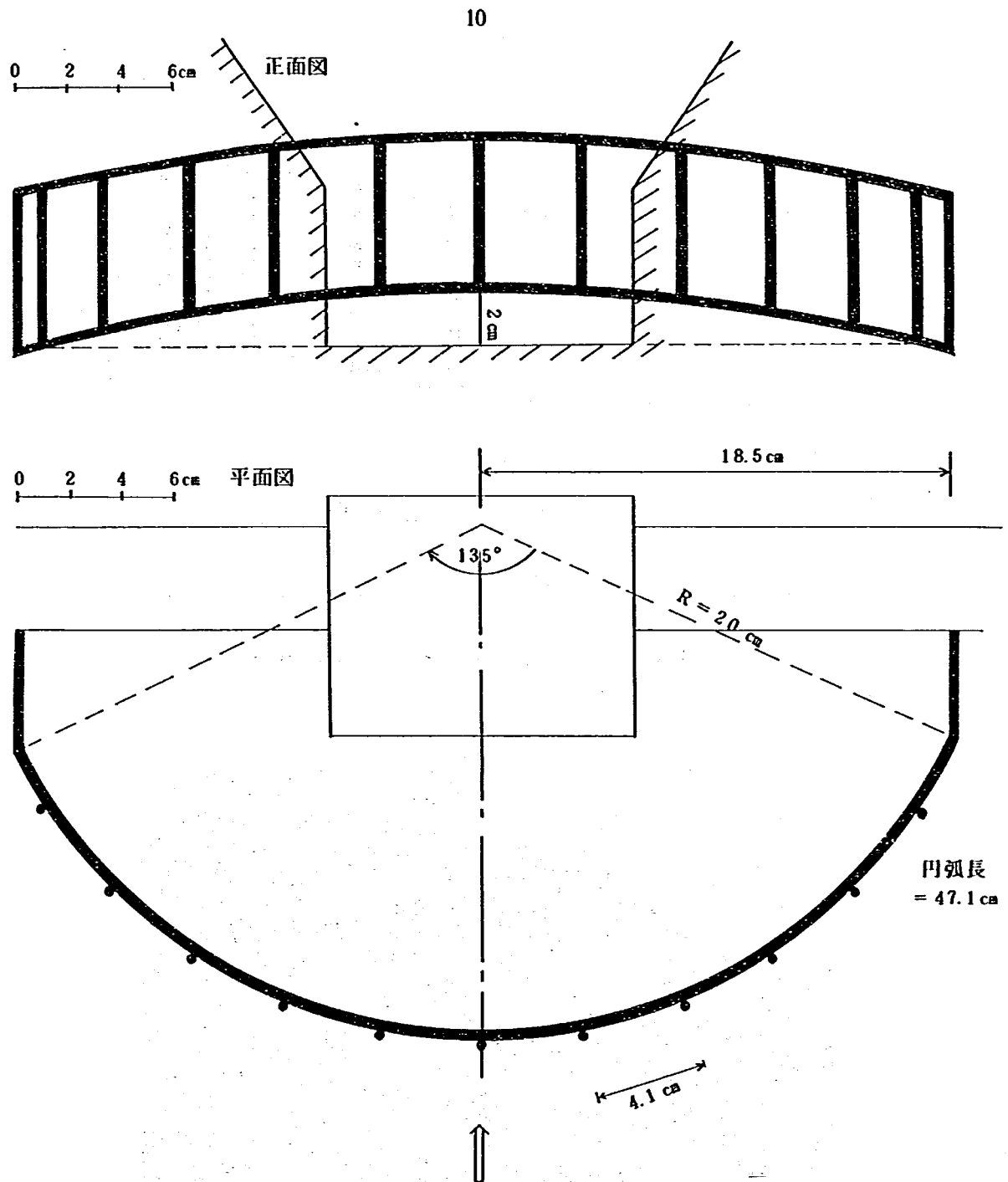
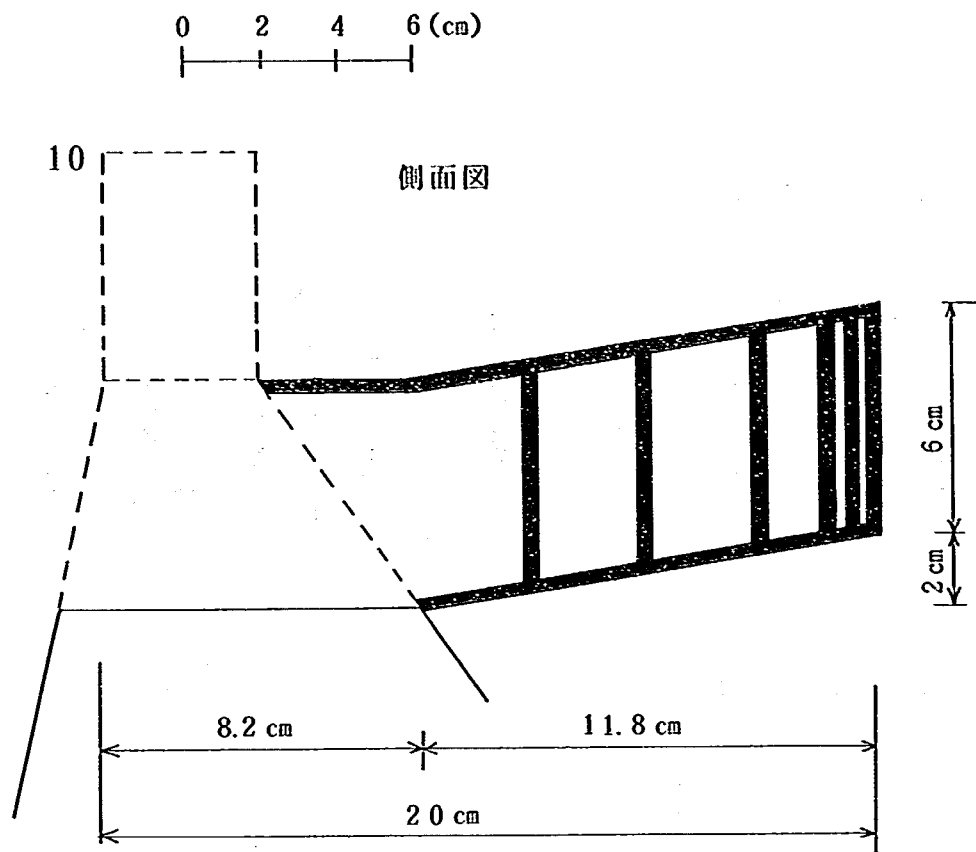
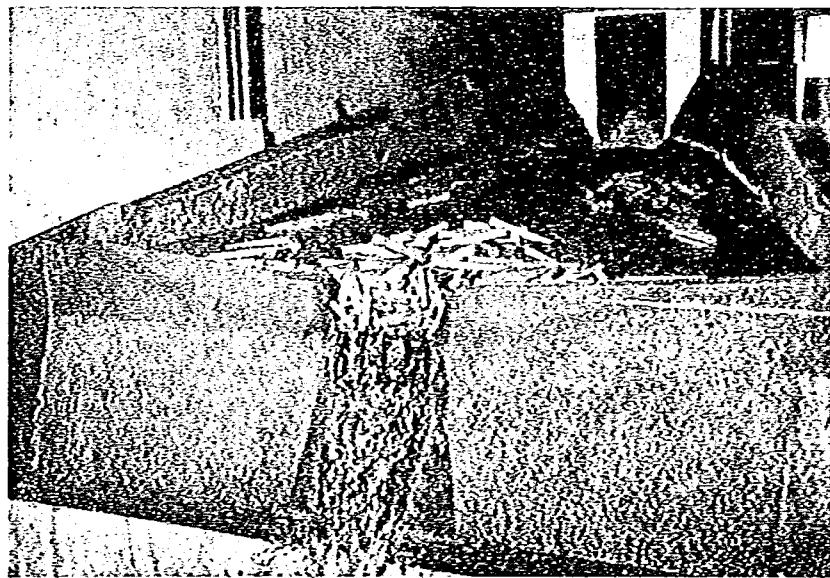


図-1.5 流木止スクリーン模型図3 (実験B)

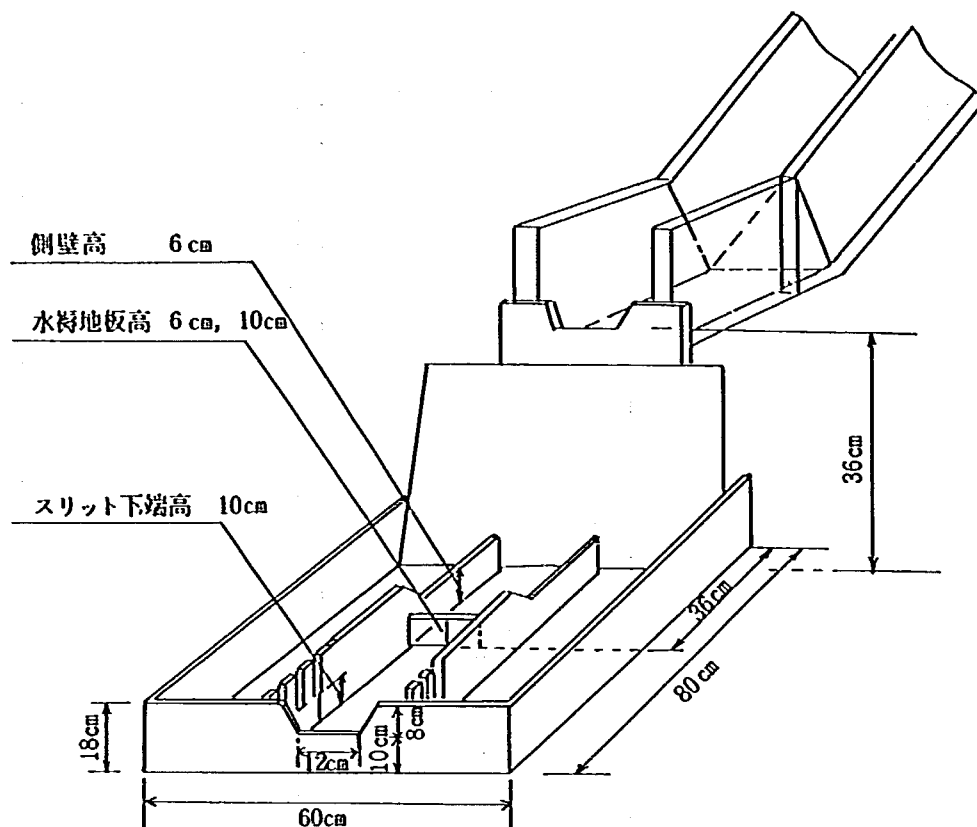


図ー1.6 流木止スクリーン模型図4 (実験B)

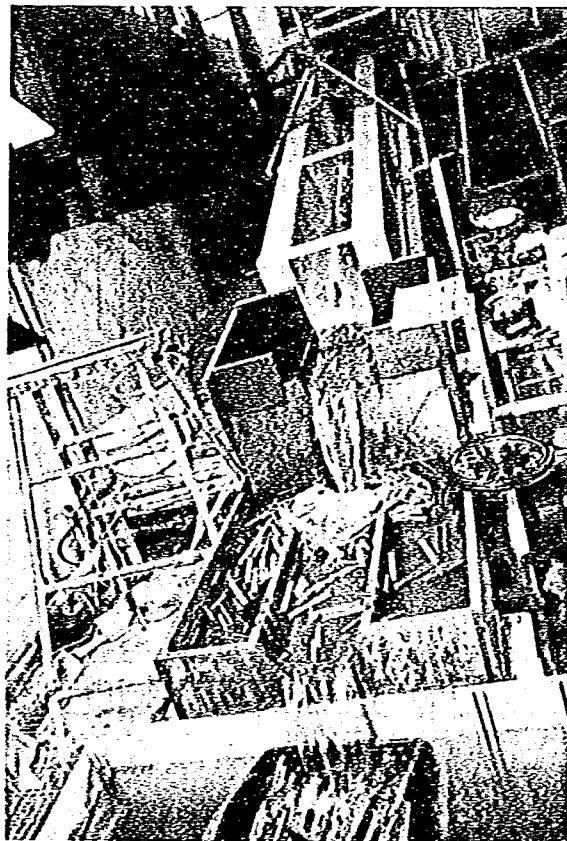


写真ー1.3 流木止スリット模型 (実験B)

実験Cは直線水路の下流端に図ー1.7, 写真ー1.4に示すような流木止を考慮した水罅池模型及び通常の水罅池模型の小型のもの (写真ー1.5) および大型のもの (写真ー1.6) を製作して掲付けた。これらの水罅池模型の概形を図ー1.8, 1.9に示す。



図一 1.7 水貯地模型見取図 (実験C)



写真一 1.4 流木止水貯地模型 (実験C)

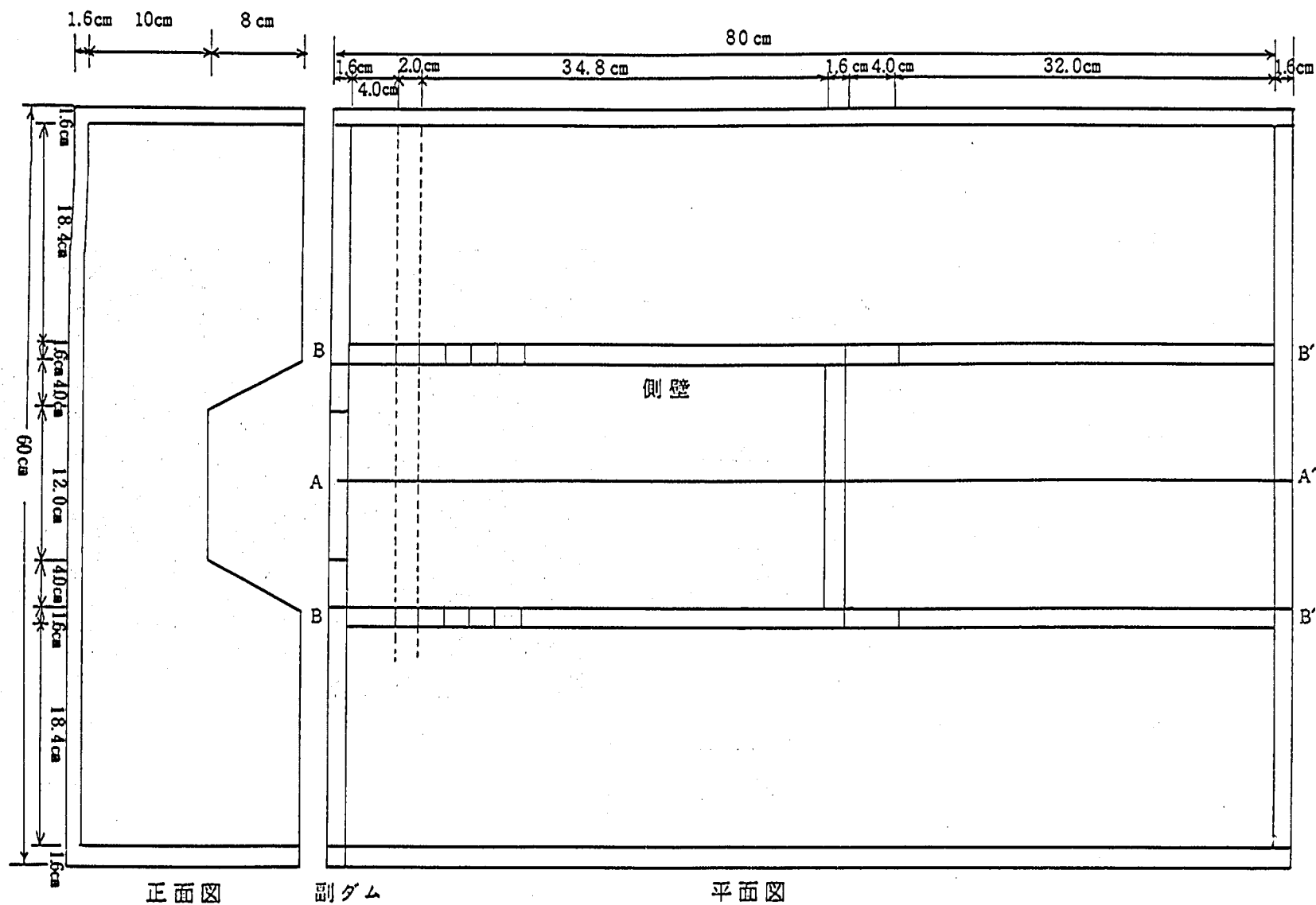
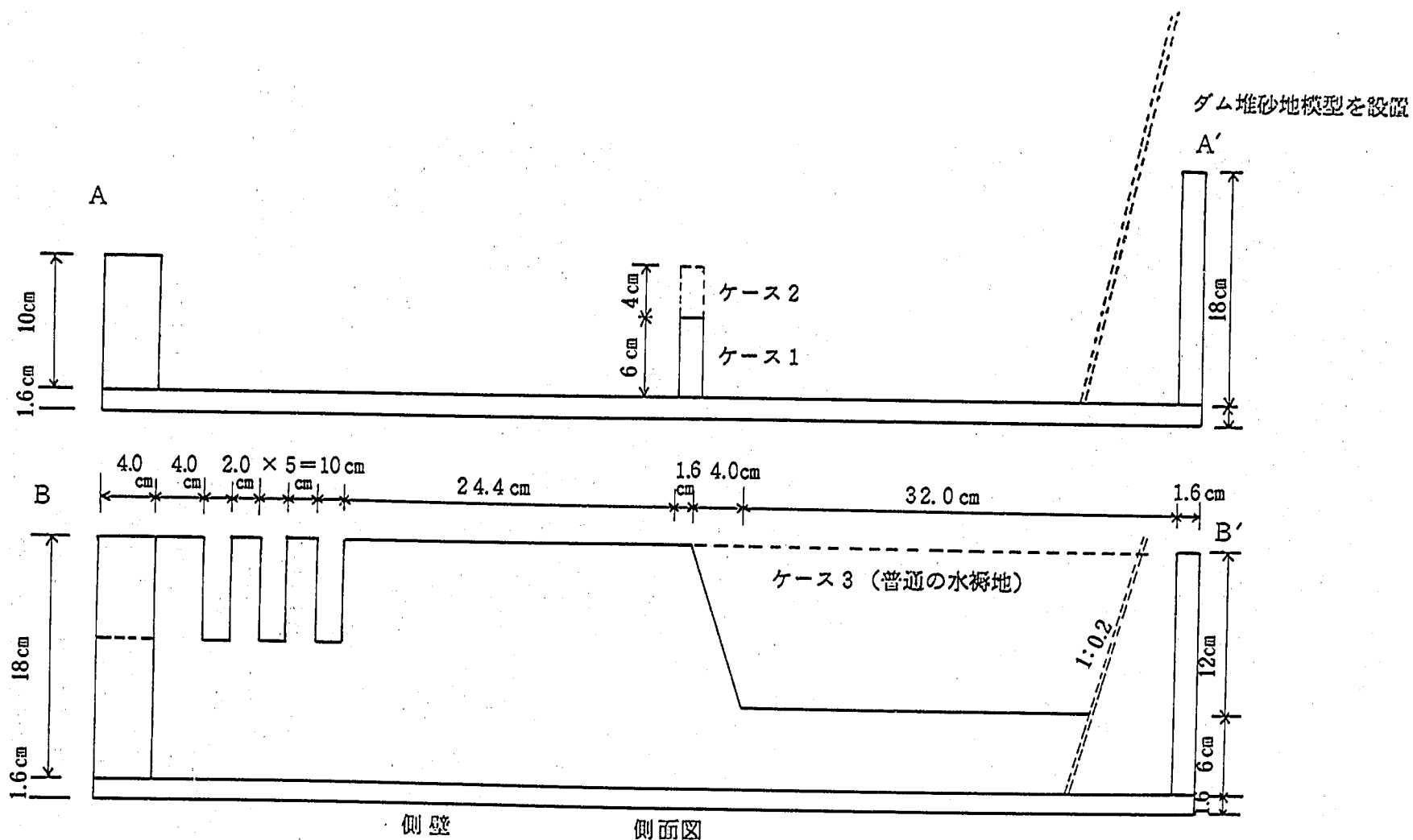


図-1.8 水掘地模型1 (実験C)



※ケース 4 は、側壁を
とりはずす

図-1.9 水褥地模型 2 (実験 C)

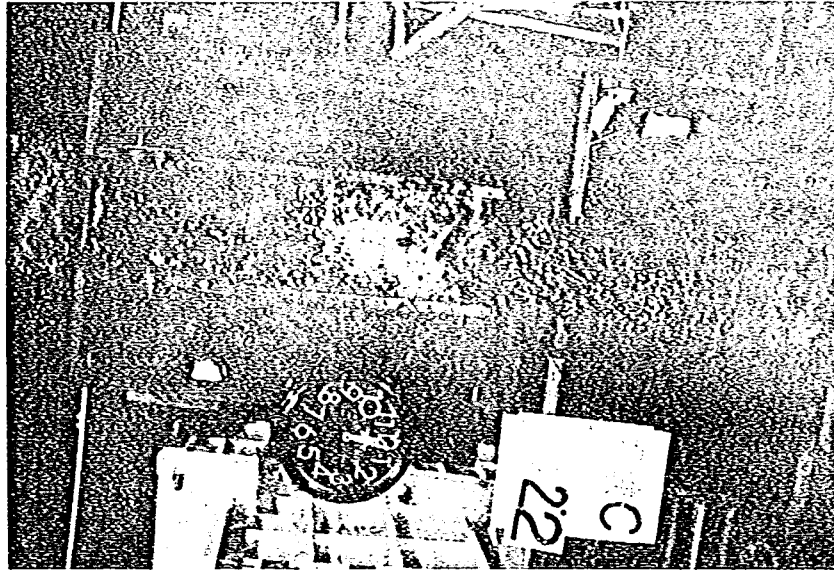


写真-1.5 水褥地 (小) 模型 (実験C)

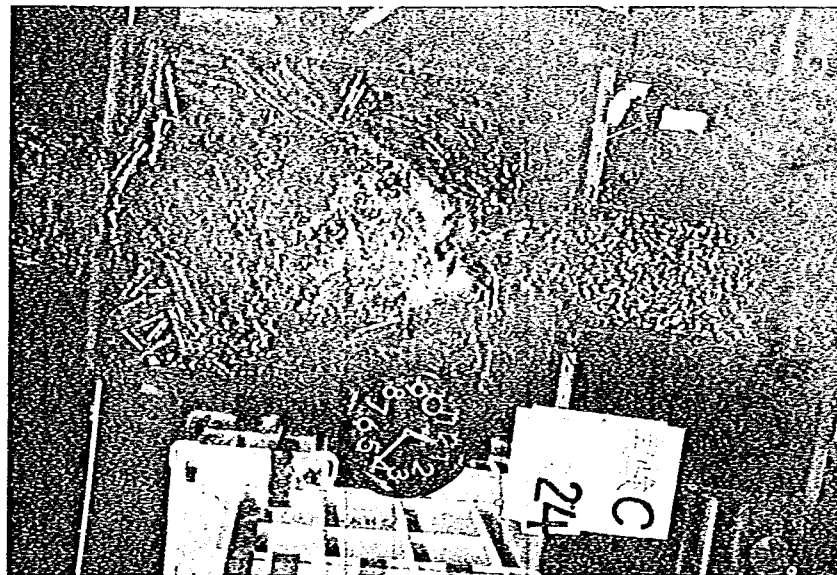


写真-1.6 水褥地 (大) 模型 (実験C)

実験Dは図-1.1に示す直線水路を用いて固定床上に流木を置いて流量、勾配等を変えてその移動開始限界を測定した(写真-1.7)。実験Eでは直線水路の下流端より約1.0mの地点に図-1.10, 写真-1.8に示すように通水幅の異なる狭窄部模型を製作して行った。

実験に用いた流木は、縮尺1/50として図-1.11, 表-1.1に示すように直径3mm, 8mm, 15mm, 長さ5cm, 10cm, 18cmの組み合わせで、計6種類の木製の模型を用いた。なお使用した流木模型の自然乾燥時の比重は0.62であり、実験を通しての比重は0.91~0.98であった。

実験に用いた土砂は六甲山系住吉川における昭和42年の土石流による堆積土砂を1ヶ所当り約30m³(深さ3~4m)計2ヶ所掘削して巨石も含めて粒径分布を測定した結果⁴⁾を基に、1/50に縮小した粒度で調整した砂礫を用いた。住吉川における実際の粒径分布と実験に用いた砂礫の粒径分布を図-1.12に示す。

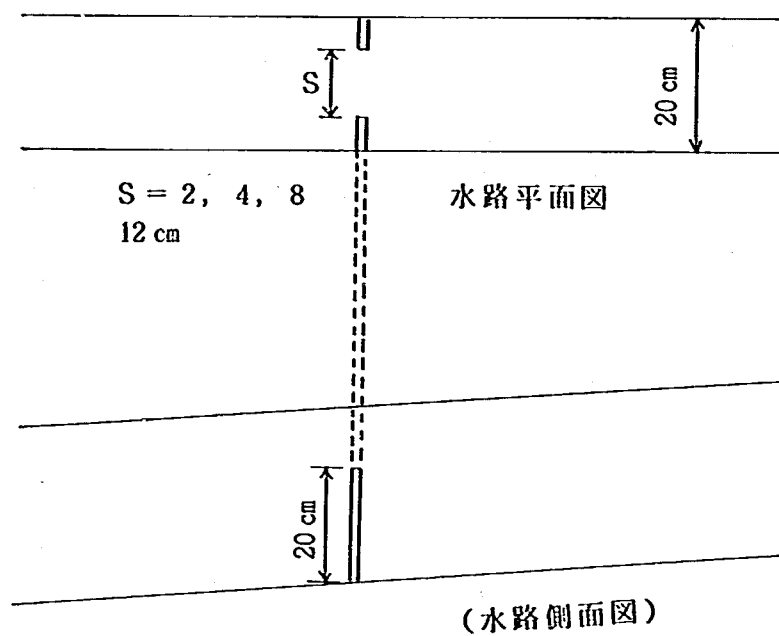


図-1.10 水路狭窄部模型 (実験E)



写真-1.7 水路上の流木の移動限界に関する実験 (実験D)

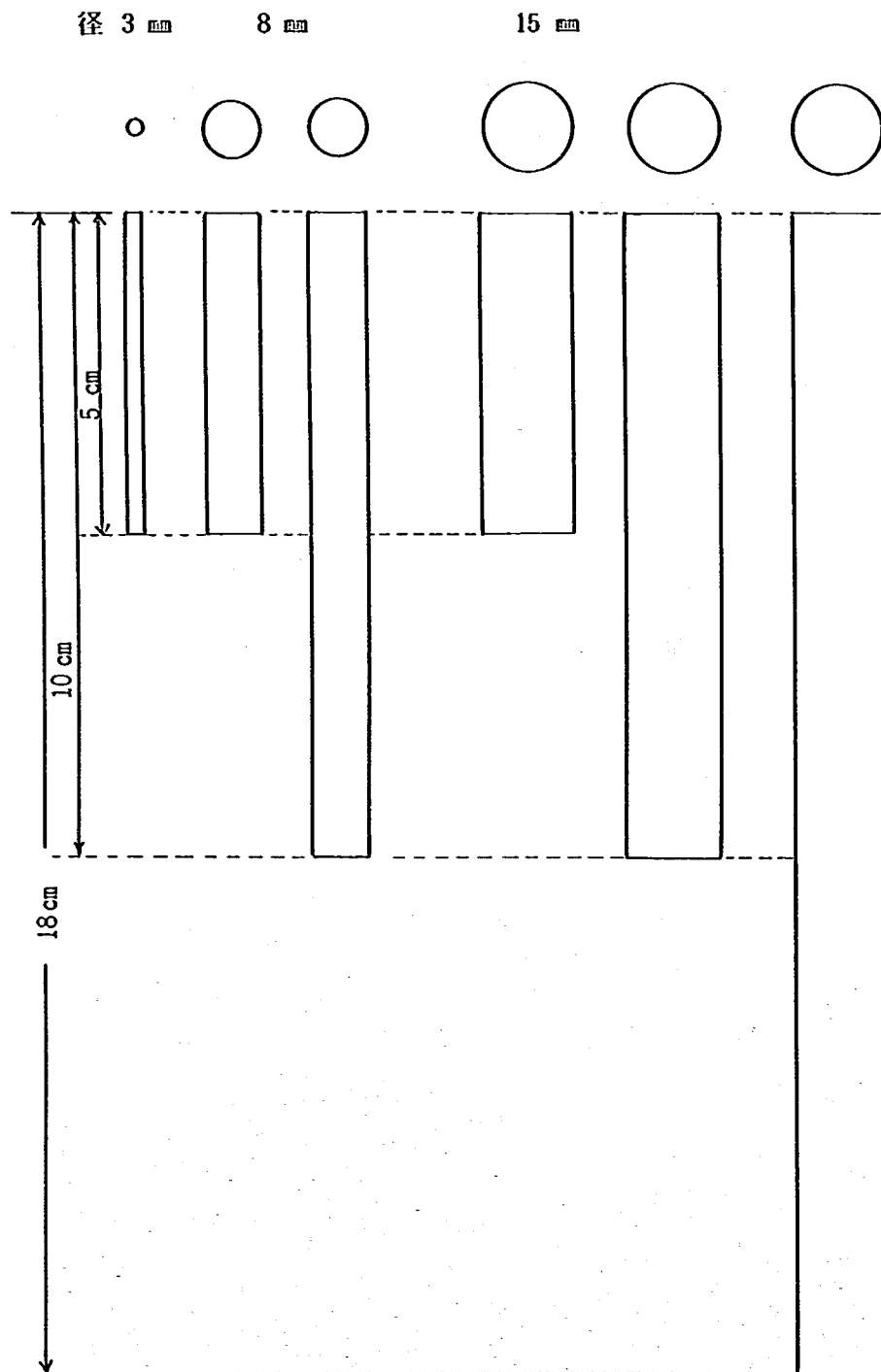


图-1.11 流木模型图

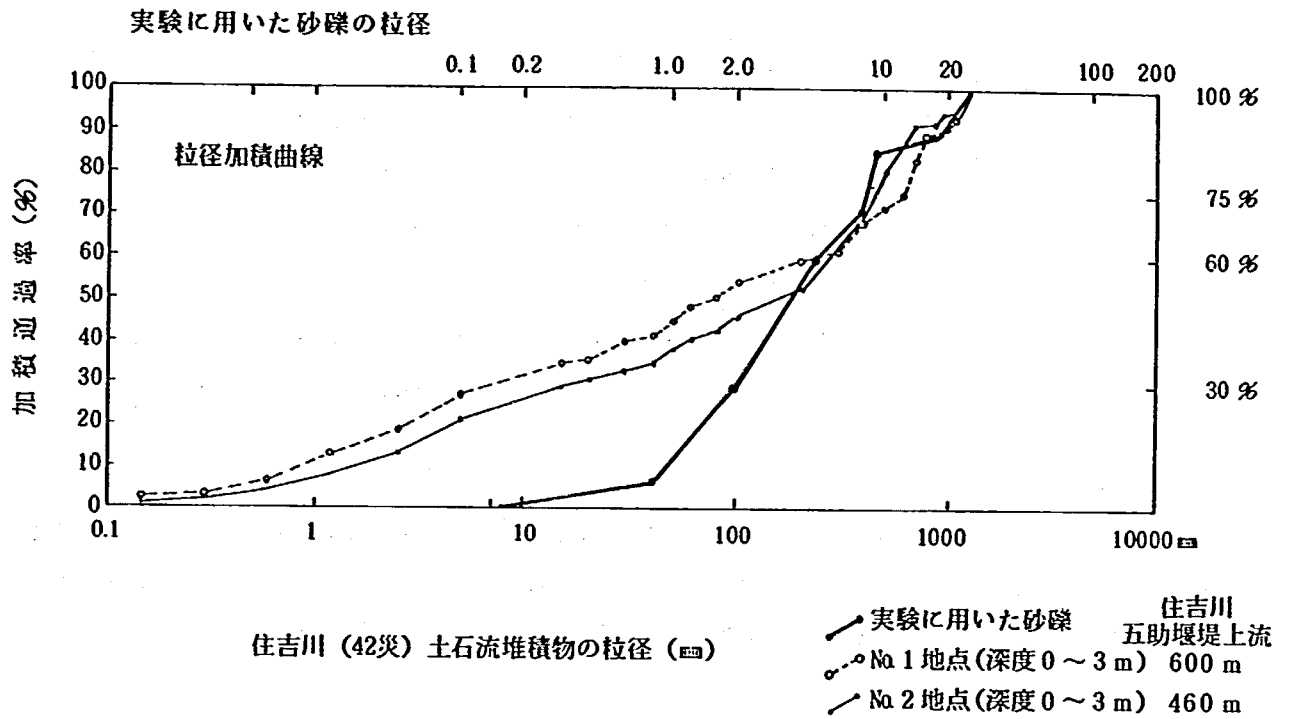


図-1.12 住吉川における土石流堆積物の粒径分布と実験に用いた砂礫の粒径分布



写真-1.8 水路上の狭窄部模型 (実験E)

表-1.1 実験に用いた流木模型と実物の大きさ

直径(ϕ)	長さ(ℓ)	実 物	模 型
細	短	$\phi = 15\text{cm}$, $\ell = 2.5\text{m}$	$\phi = 3\text{mm}$, $\ell = 5\text{cm}$
中	短	$\phi = 40\text{cm}$, $\ell = 2.5\text{m}$	$\phi = 8\text{mm}$, $\ell = 5\text{cm}$
	中	$\phi = 40\text{cm}$, $\ell = 5.0\text{m}$	$\phi = 8\text{mm}$, $\ell = 10\text{cm}$
太	短	$\phi = 75\text{cm}$, $\ell = 2.5\text{m}$	$\phi = 15\text{mm}$, $\ell = 5\text{cm}$
	中	$\phi = 75\text{cm}$, $\ell = 5.0\text{m}$	$\phi = 15\text{mm}$, $\ell = 10\text{cm}$
	長	$\phi = 75\text{cm}$, $\ell = 9.0\text{m}$	$\phi = 15\text{mm}$, $\ell = 18\text{cm}$

1.4 相似則

実験に用いた模型の縮尺は鉛直方向、水平方向とも1/50とし、その他の諸量の縮尺はフルードの相似則を適用して表-1.2のように決めた。なお流量は、六甲山系にある都賀川上流六甲川左支真水谷（流域面積1.2km²）の計画洪水流量である $Q=30.0\text{m}^3/\text{sec}$ を基準流量として用いた。

表-1.2 実験に用いた諸量の縮尺比一覧表

諸 量	次 元 (L-F-T)	縮 率		実 物	模 型
		比	縮 尺		
水平成分(X)	L	X _r	1:50	5m, 10m	10cm, 20cm
鉛直成分(h)	L	H _r	1:50	10m	20cm
勾配(h/X)	—	H _r · X _r ⁻¹	1:1	5°(1/3.3) 17°(1/11.4)	5°, 17°
面 積 (A)	L ²	H _r · X _r	1:2,500	1.2 km ²	480m ²
体 積 (V ₀)	L ³	H _r · X _r ²	1:125,000	5,750m ³ , 4,375m ³	46ℓ, 35ℓ
流 速 (V)	L · T ⁻¹	H _r ^{1/2}	1:7.07		
流 量 (Q)	L · T ⁻¹	X _r · H _r ^{3/2}	1:17,677.7	30m ³ /s, 22m ³ /s, 18m ³ /s	1.7ℓ/s, 1.3ℓ/s, 1.0ℓ/s
時 間 (T)	T	X _r · H _r ^{1/2}	1:7.07	39 分	5.5 分
粗度係数(n)	L ^{1/3} · T	H _r ^{2/3} X _r ^{1/2}	1:1.92	0.040	0.019

2. 実 験

2.1 実験ケース

実験ケースは砂防ダムの形状、流木止のタイプ、流量、土砂量、流木の径、流木の長さ、流木の本数、水路勾配等の条件を変化させて表-2.1に示すように組み合わせ、合計300ケース実施した。なお、実験A、B、Cにおける流木の投入順序と組み合わせ手法を表-2.2に示す、実験A、B、Cの場合、着色した合計1000本の流木を150秒間に投入した。投入順序は最初に赤色の100本を水路に投入し、その後青色の200本、黄色の300本、白色の400本を流木が水路上に堆積しないように調整しながら投入した。なお実験Dで径1.5cm、長さ10cmの流木模型を用いた。さらに実験Eでは同一の大きさの流木を100本ずつ水路に投入した。

表-2.1 (a) 実験条件一覧表

(1) 実験 A

砂防ダム 型 式	流 量 l/s	給 砂		堆 砂 状 態	流 木 (表-2.2)	給 水 時 間(分)	ケース	備 考
		%	l/s					
重 力 式	1.3	0	0	満 砂	2	5.5	50	予備実験 も含む
アーチ式	1.7	10	0.13	半分堆砂	3			
			0.17	堆砂なし				

注) アーチ式ダムの実験条件は一部省略

(2) 実験 B

流木止 タ イ プ	流 量 l/s	給 砂		堆 砂 状 態	流 木 (表-2.2)	給 水 時 間(分)	ケース	備 考
		%	l/s					
10種類 (図-1.3～ 図-1.6)	1.3	0	0	満 砂	1	5.5	125	予備実験 も含む
	1.7	10	0.13	半分堆砂	2			
			0.17	堆砂なし	3			

注) 流量1.3 l/s の実験条件は一部省略

(3) 実験 C

水 罅 池 タ イ プ		流 量 l/s	給 砂		水 罅 池 板 の 高 さ	流 木 (表-2.2)	給 水 時 間(分)	ケース	備 考
			%	l/s					
通常	幅 狭	0.4		0.04	な し	1	5.5	30	予備実験 も含む
	幅 広	0.9	10	0.09	6 c m	2			
流 木 止		1.7		0.17	10 c m				

表-2.1 (b) 実験条件一覧表

(4) 実験 D

実験項目	流量 L/s	流木 cm		設置方向 (流向から)	ケース	備考
		径	長			
移動開始 勾配	0.3	1.5	10	1°, 2°	20	予備実験も 含む
	0.7			3°, 5°		
	1.0			7°, 10°		
	1.3			15°, 20°		

(5) 実験 E

狭窄部間隔 cm	流量 L/s	流木 cm		水路 勾配	ケース	備考
		径	長			
2	1.0	0.8	5	5°	75	予備実験も 含む
4	1.35	0.8	10	10°		
8	1.7	1.5	5			
12		1.5	10			

注) 狭窄部間隔12cmの実験条件は一部省略

合計300ケース

表-2.2 流木の投入順序と組み合わせ (実験A, B, C)

流木 組 合 せ			1 回 目	2 回 目	3 回 目	4 回 目
着色			赤	青	黄	白
1	小 木	3 mm - 5 cm	50	100	150	200
	中 木	8 mm - 5 cm	50	100	150	200
2	小 木	8 mm - 5 cm	50	100	150	200
	中 木	15 mm - 10 cm	50	100	150	200
3	小 木	8 mm - 5 cm	50	100	150	200
	中 木	15 mm - 10 cm			150	200
	大 木	15 mm - 18 cm	50	100		

2.2 実験方法

実験A, B, C, D, E毎の実験手順のフローチャートを図-2.1, 2.2に示す。

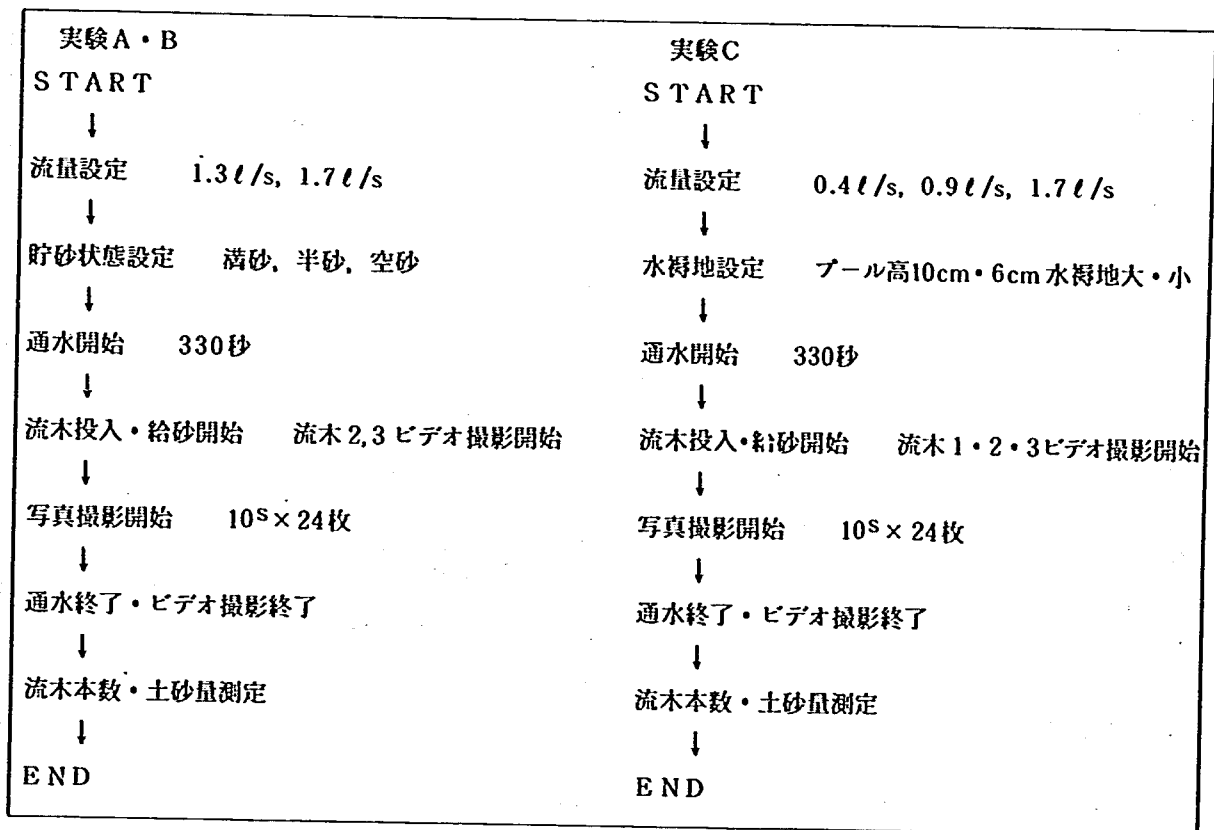


図-2.1 実験 A, B, C のフローチャート

2.3 計測項目

(1) 各実験の主要な測定項目

(1.1) 実験 A

流木本数は、通水終了後、主ダム下流に流出した数、堰水面上で停止した数、堆砂地上で停止した数、堆砂地内に埋没した数、直線水路上で停止した数を測定した。また土砂量については通水終了後、主ダム下流に流出した量、堆砂地内に堆積した量、直線水路上に停止した量を測定した。

(1.2) 実験 B

流木本数は通水終了後、主ダム下流に流出した数、流木止スリットにより捕捉された数、堰水面上で停止した数、堆砂地上で停止した数、堆砂地内に埋没した数、直線水路上で停止した数を測定した。土砂量については通水終了後主ダム下流に流出した量、堆砂地内に堆積した量、直線水路上に停止した量を測定した。

(1.3) 実験 C

流木本数は通水終了後、副ダムから下流へ流出した数、水罅池の左岸側、中央部、右岸側の各部に停止した数、および主ダム上流部で停止した数を測定した。土砂量は通水終了後副ダム下流に流出した量、水罅池の左岸側、中央部下流側、中央部上流側、右岸側の各部に堆積した量を測定した。

(1.4) 実験 D

実験 D においては直線水路上で流木が移動を開始あるいは堆積を開始する時の水路勾配、流量等を測定した。

(1.5) 実験 E

通水終了後、狭窄部より下流に流出した流木本数および狭窄部より上流で停止した流木本数を測定

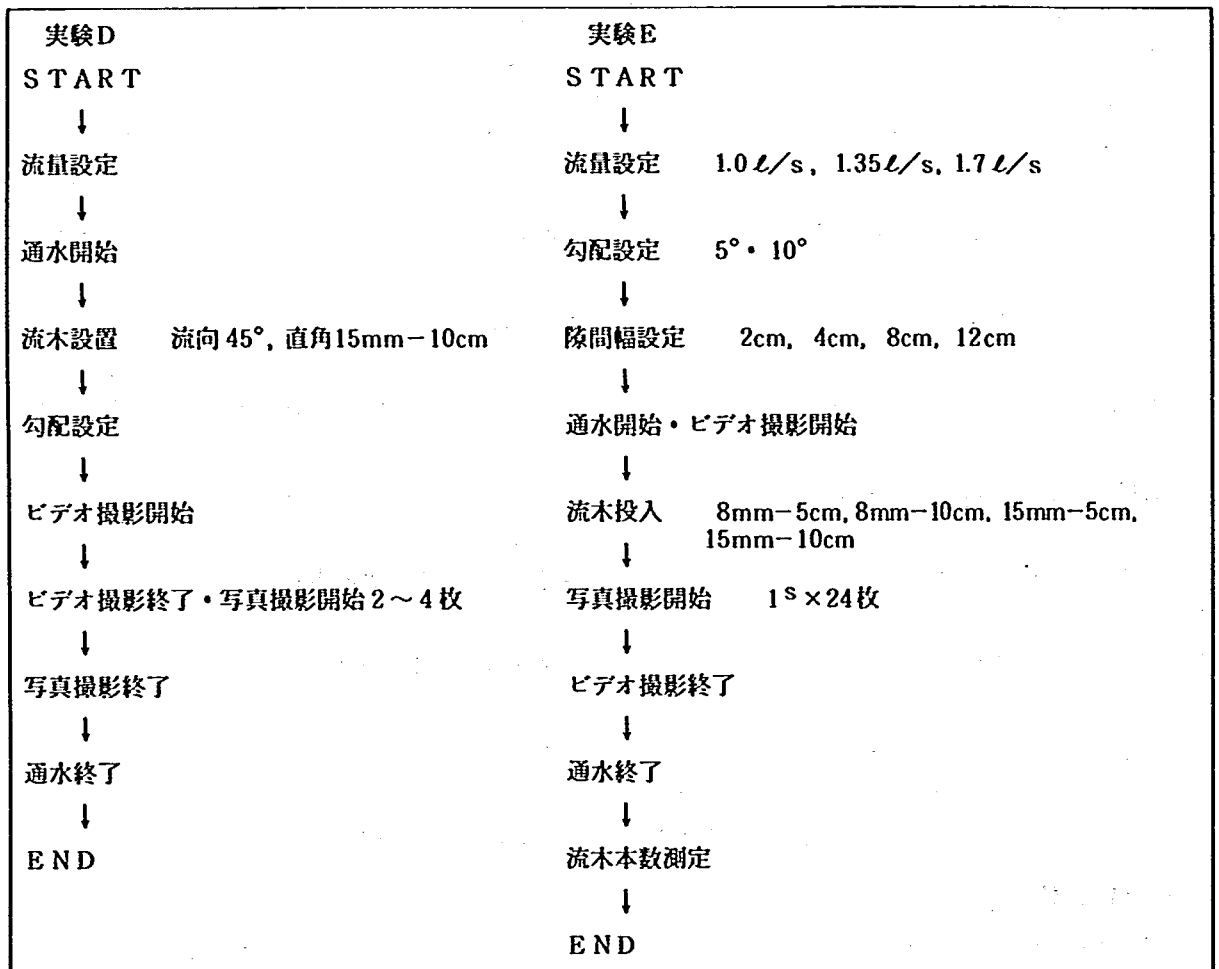


図-2.2 実験D, Eのフローチャート

した。

(2) 流況観察

流況観察として、各実験ケース毎に流木の流下、停止状況、土砂の堆砂状況等を観察し、その特徴を野帳に記録するとともに、水路上方に設置したビデオカメラと35mmモータードライブカメラ、および側方に設置したビデオカメラを用いて流木、流水、土砂の動き等を撮影した。

(3) 水位、河床高測定

実験Bにおいては主ダム上流50cmまでと主ダム中央より左右岸方向にそれぞれ20cmまでの範囲内を10cmのメッシュで水位および河床の変動を測定した。また実験A～Eにおいては主副ダム越流部、水路部、狭窄部等において水位を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 砂防ダムによる流木捕捉実験 (実験A)

(1) 重力式砂防ダムとアーチ式砂防ダムによる流木捕捉効果

図-3.1には砂防ダムタイプ、流木の種類、流量、および堆砂地内の堆砂状況を変化させた場合の流木捕捉率の変化を示している。なお、ここで流木捕捉率は次のように定義する。

$$\text{流木捕捉率} = \frac{\text{砂防ダム推移地内で停止した流木本数}}{\text{砂防ダム推移地内へ流入した流木本数}}$$

図-3.1より次のことが分かる。

- ① 重力式砂防ダムとアーチ式砂防ダムによる流木捕捉率の違いは認められない。
- ② 長さや直径が大きい流木は捕捉率が高い (写真-1.9, 1.10)。
- ③ 満砂した砂防ダムでは流量が大きい程捕捉率が高くなる。これは実験中の観察より、流量が大きい時は、流水が堆する地上に広く氾濫し水深が小さくなるため流木が堆砂地上で停止し易くなるためと考えられる。
- ④ 未満砂の砂防ダムでは流量が大きくなる程流木捕捉率は低下し、流木2の場合には計画洪水流量 (1.7 l/s) では流木捕捉率は10%にまで低下する。

図-3.2には給砂10%の場合と無給砂の場合の流木捕捉率の相違を示す。この図より次のことが言える。

- ⑤ 給砂がある場合には流量が増加すると流木捕捉率が増加するが、無給砂の場合には流量が増加すると逆に流木捕捉率が低下する。

(2) 長い流木の混入率を変えることによる捕捉率の変化

流木2 (表-2.2) に長い (長さ18cm, 径1.5cm) 流木を加えた時の流木捕捉率の変化を図-3.3に示す。この図より次のことが分かる。

- ⑥ 長い流木をわずかに加える (1000本中の15本) だけで流木の捕捉率は急激に増大するが、ある程度以上加えても流木捕捉率はそれ以上大きくならない。

(3) 堆砂地内の立木模型による流木捕捉

満砂した堆砂地内に径1.5cmの立木模型を設置した場合の流木捕捉率の変化を図-3.4に示す。ケース31, 32は立木模型を2列に設置した場合で、ケース33~35は立木模型を1列に設置した場合である。この時立木模型の横方向の間隔は6~20cmに変化させた。立木模型のない場合の流木捕捉率が56%であることから、次のことが言える。

- ⑦ 堆砂地内の立木模型により流木が捕捉され立木模型の間隔が小さい程流木捕捉率は大きくなる。

(4) 流木長を変化させた場合の流木捕捉率

流木捕捉率は流木の長さに大きく影響される。ここでは100本の流木の最大長を変化させた場合の流木捕捉率の変化を調べた。主ダムの水通し部の横断幅は12cmであるから、図-3.5より次のことが分かる。

- ⑧ 流木の最大長が主ダム水通し幅の約1.3倍を越えると急激に流木捕捉率が大きくなる。

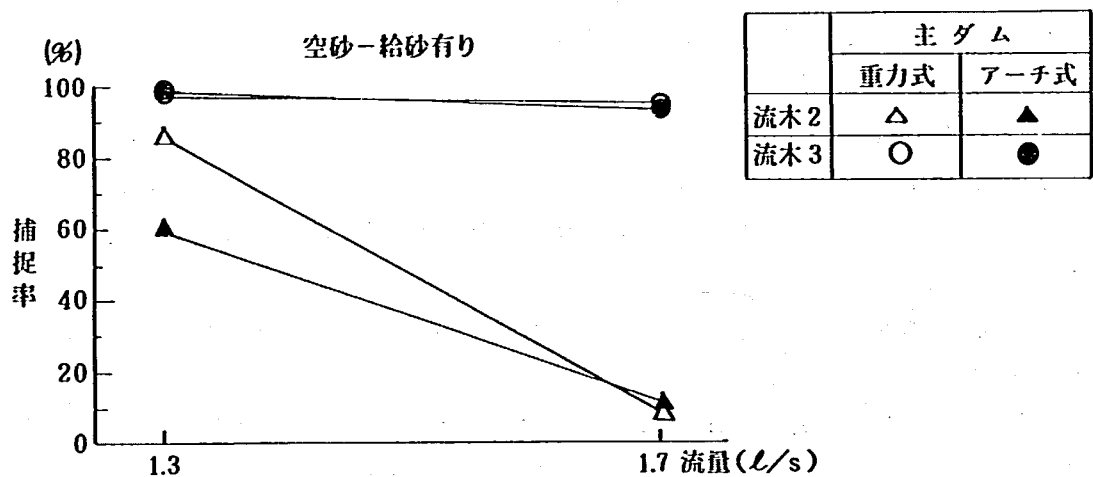
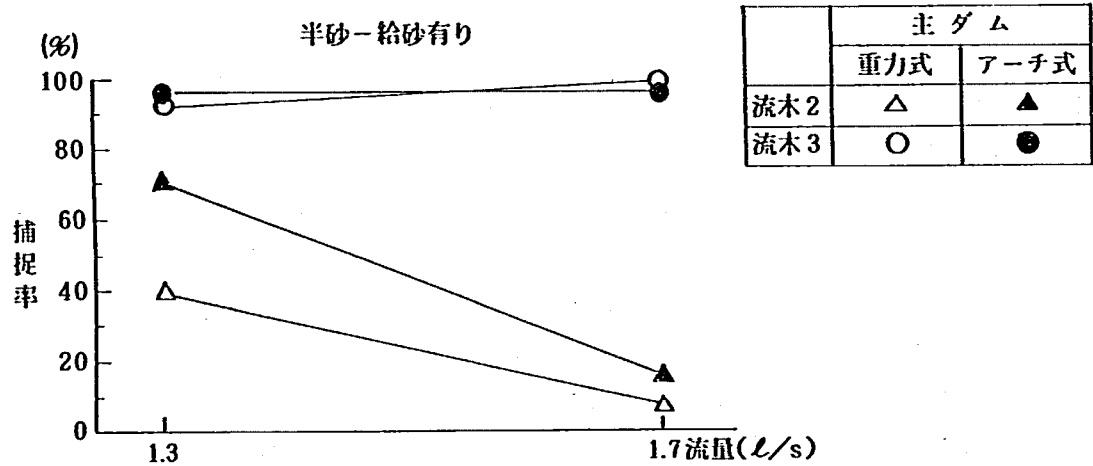
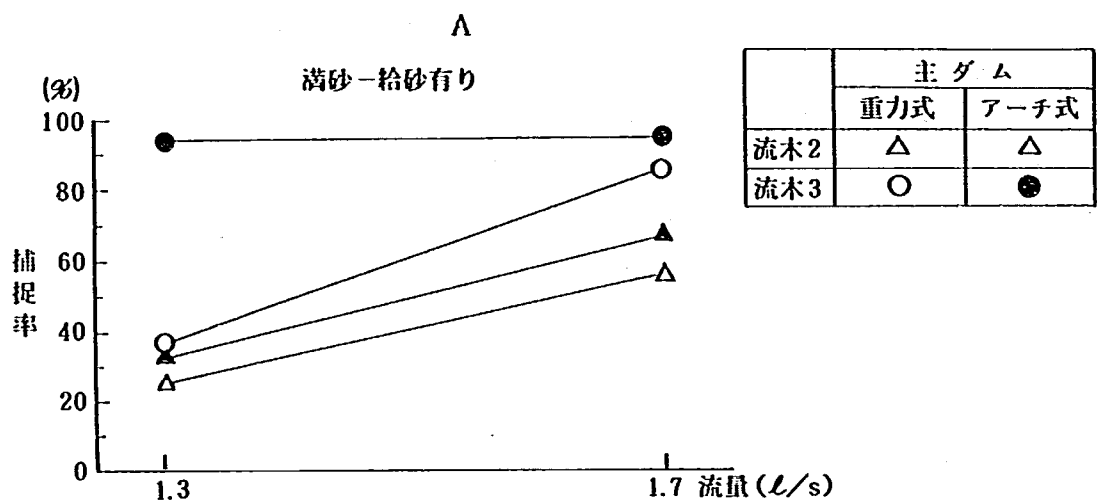


図-3.1 流木の捕捉率

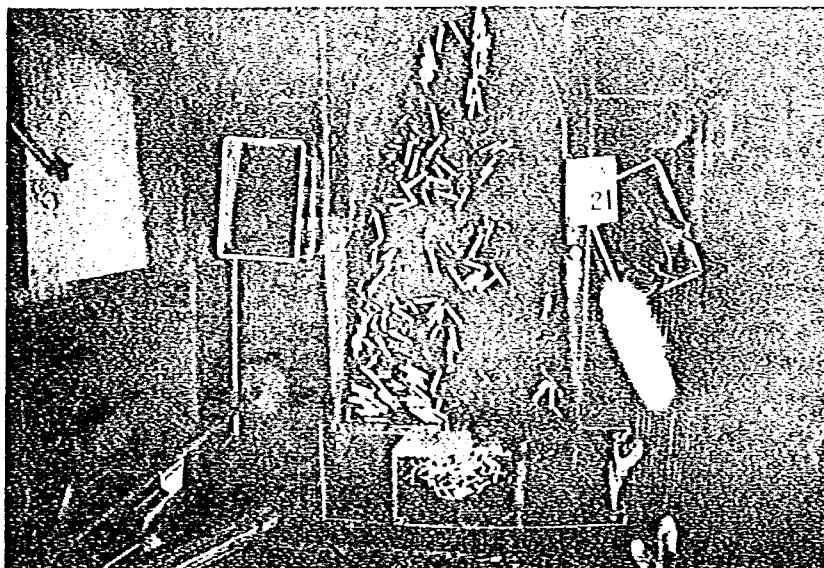


写真-1.9 中流木（流木2）の砂防ダムによる流木捕捉状況
（実験A）（未満砂，流量 1.7 l/s ，給砂なし）

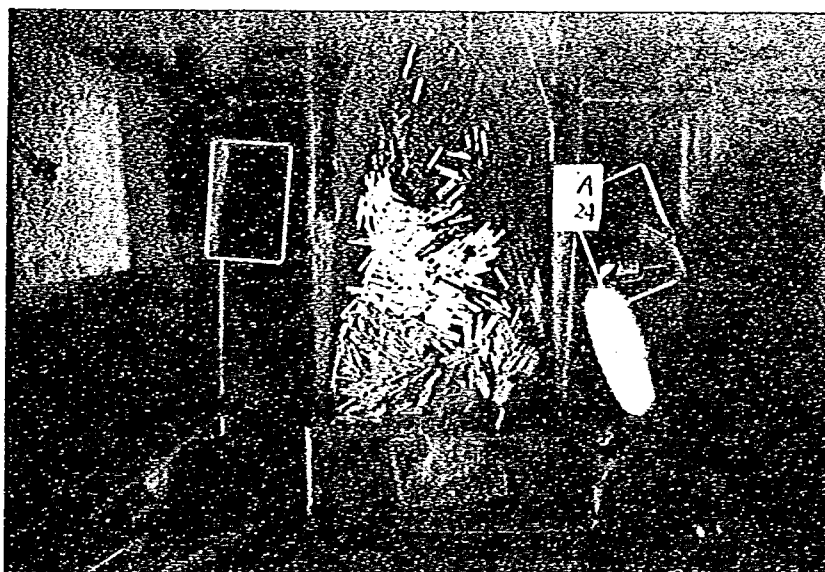


写真-1.10 大流木（流木3）の砂防ダムによる流木捕捉状況
（実験A）（未満砂，流量 1.7 l/s ，給砂なし）

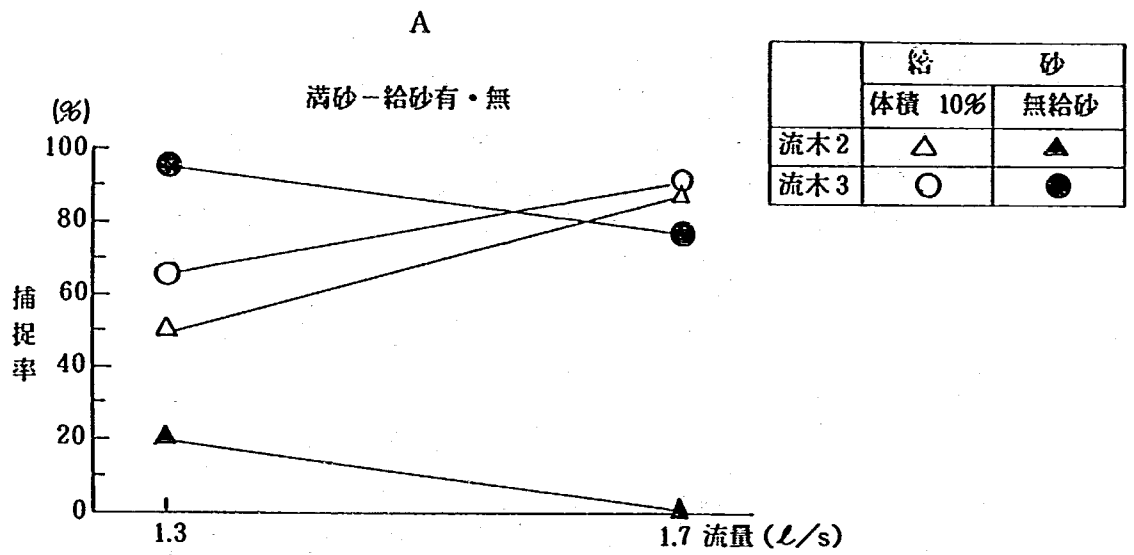


図-3.2 給砂有・無による流木の捕捉率

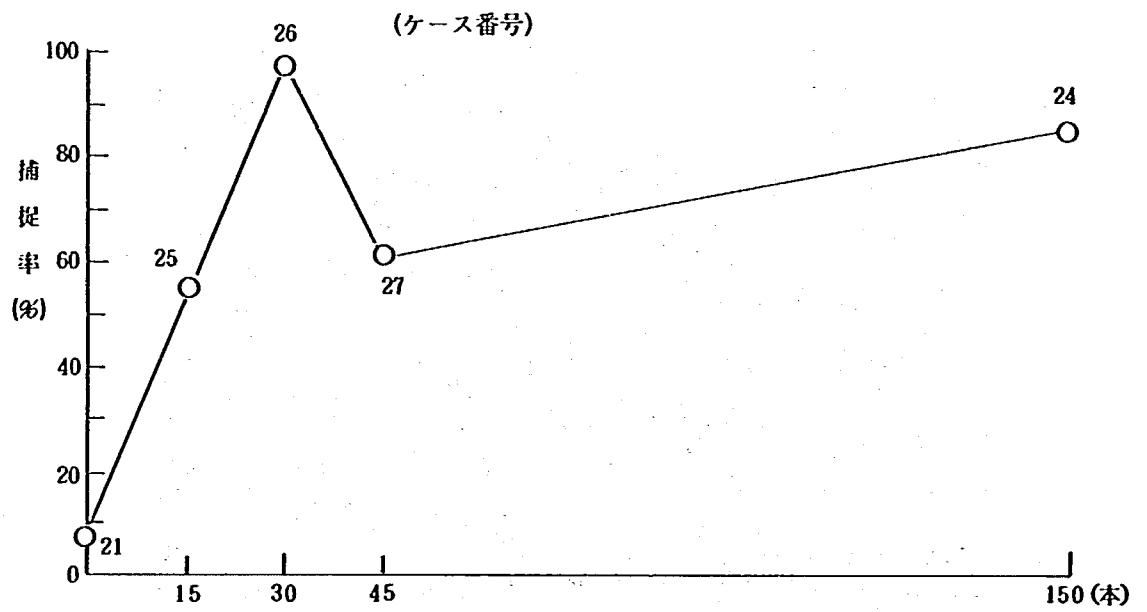
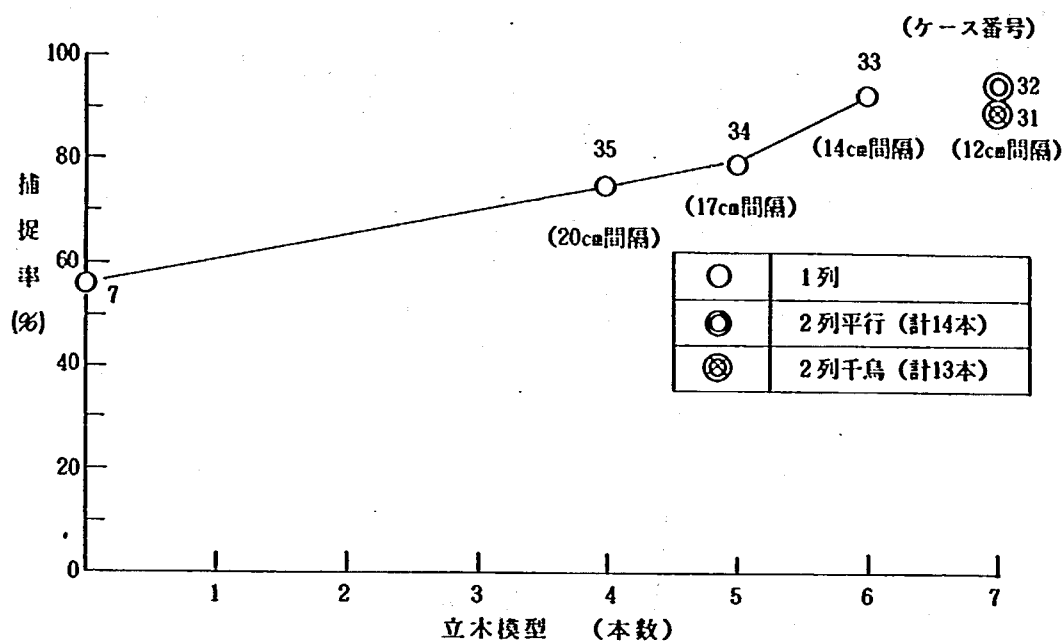
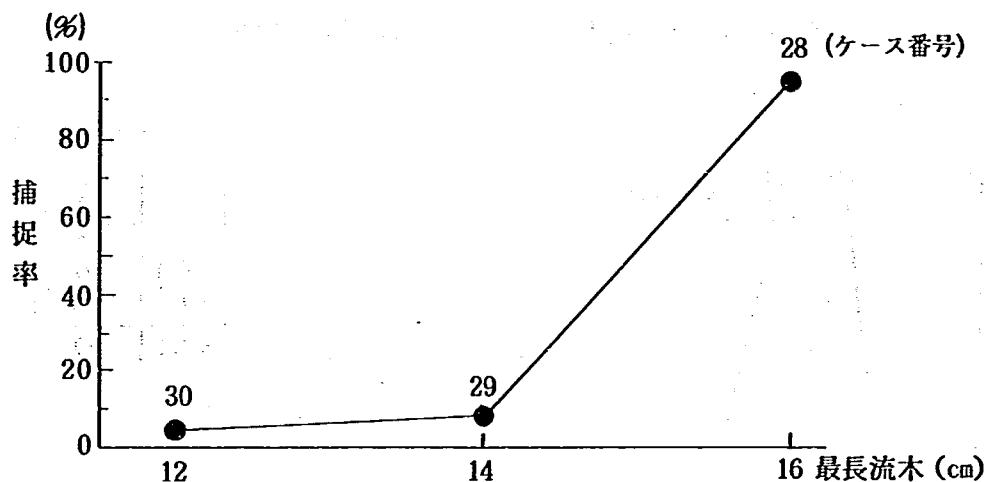


図-3.3 長流木混入量を変えることによる捕捉率の変化



図一 3.4 堆砂地内の立木模型本数による捕捉率の変化



図一3.5 最長の流木の長さを変えることによる捕捉率の変化

3.2 流木止スクリーンによる流木捕捉実験 (実験B)

第1章の図一1.3～1.6に示す10種類の流木止スリットを主ダム水通し天端あるいは主ダム直上流に設置した場合の流木捕捉率の変化を図一3.6, 3.7, 3.8, 3.9に示す。これらの図より次のことが分かる。

- ① 流木の捕捉率はスリット縦部材の水平方向間隔が小さい程高くなる。一方、横部材の縦方向間隔にはほとんど影響されない。
- ② スリット横部材の縦方向間隔を小さくし過ぎると堆砂地が満砂状態の時は土砂が流木止スリットに捕捉されてスリットの目詰りが起こり、流水、流木が流木止を越流し、流木捕捉率が低下する。

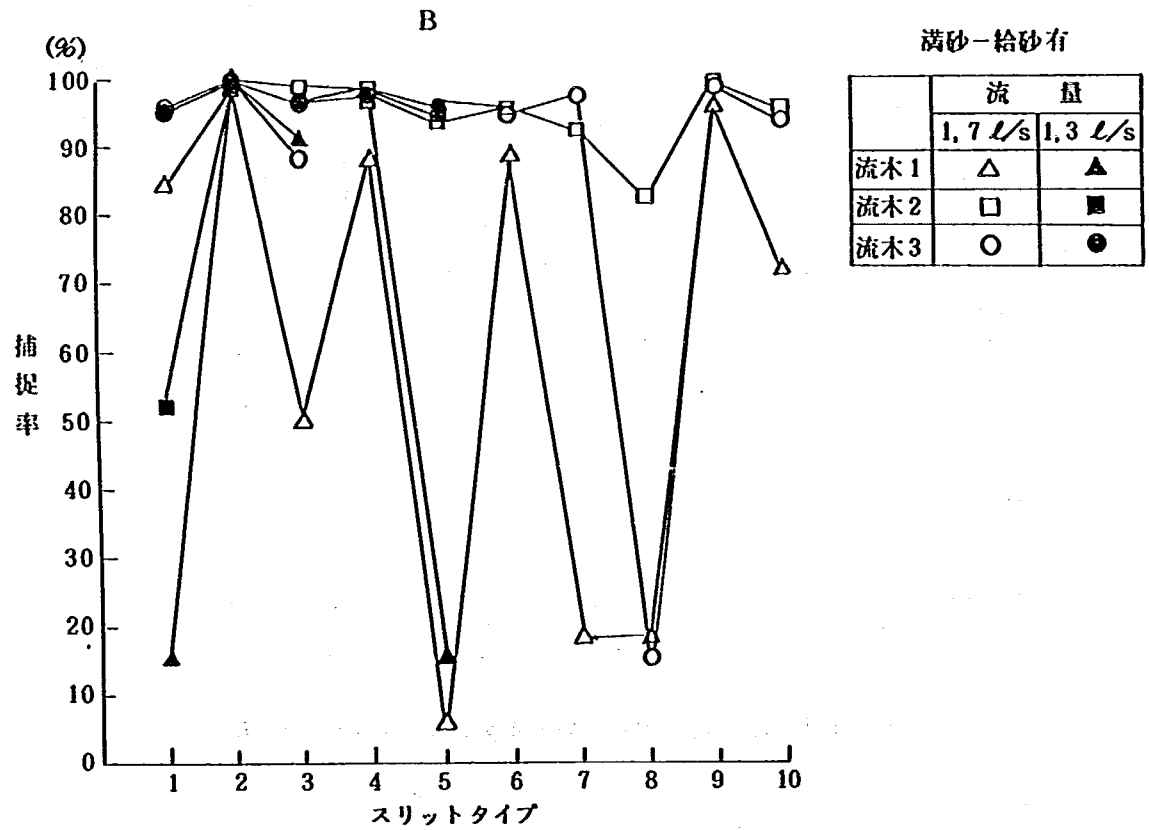


図-3.6 各種流木止スリットによる流木捕捉率

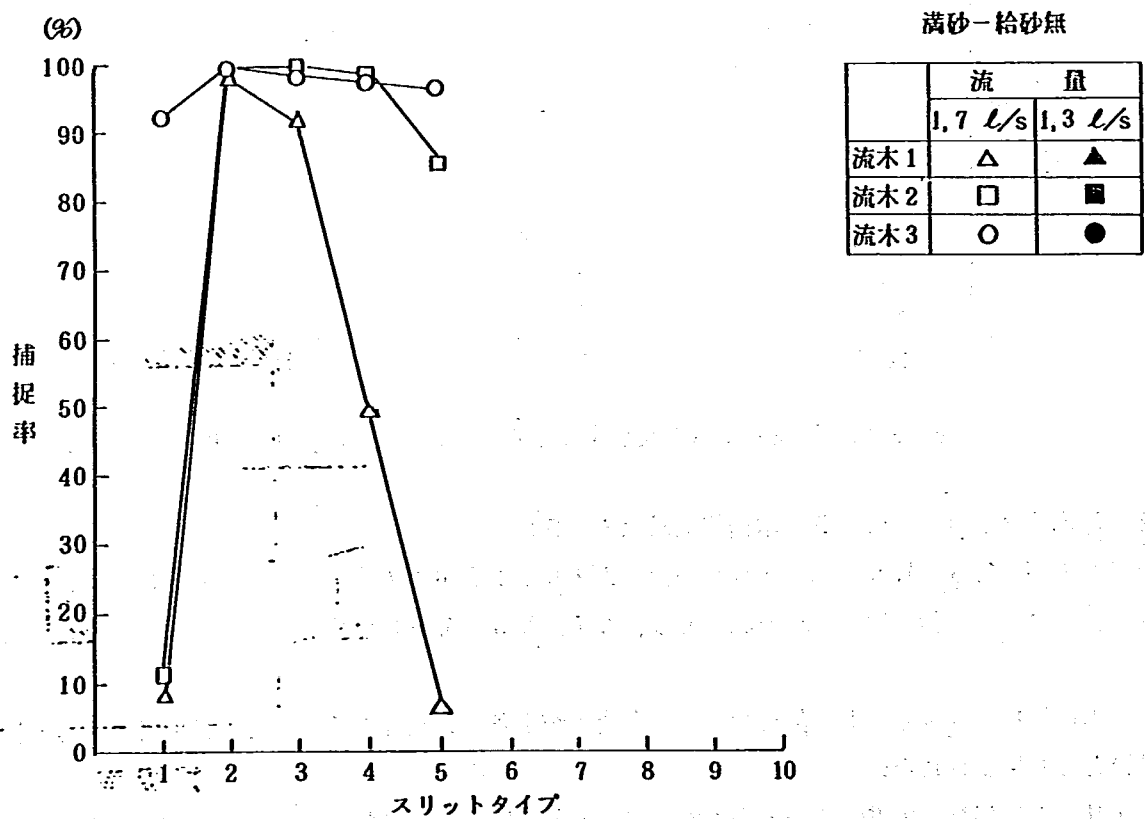


図-3.8 各種流木止スリットによる流木捕捉率

	流木 止タイ プ	縦方向 柵間隔 H cm	横方向 柵間隔 W cm	正面図	側面図	流木捕捉率 (平均)				順 位
						0	20	60	100	
①	1	0.7	2.6							5
②	2	1.7	2.6							1
③	3	1.7	2.6 5.5 11.3							7
④	4	3.7 5.7	2.7 4.0							3
⑤	6	—	2.8							4
⑥	7	—	3.8							8
⑦	8	—	5.9							10
⑧	9	1.7	2.6							2
⑨	5	5.7	3.8							9
⑩	10	5.7	3.8							6

図 - 3, 7 流木止スクリーンの種類と流木捕捉率
(満砂、流量1.7ℓ/s、給砂有)

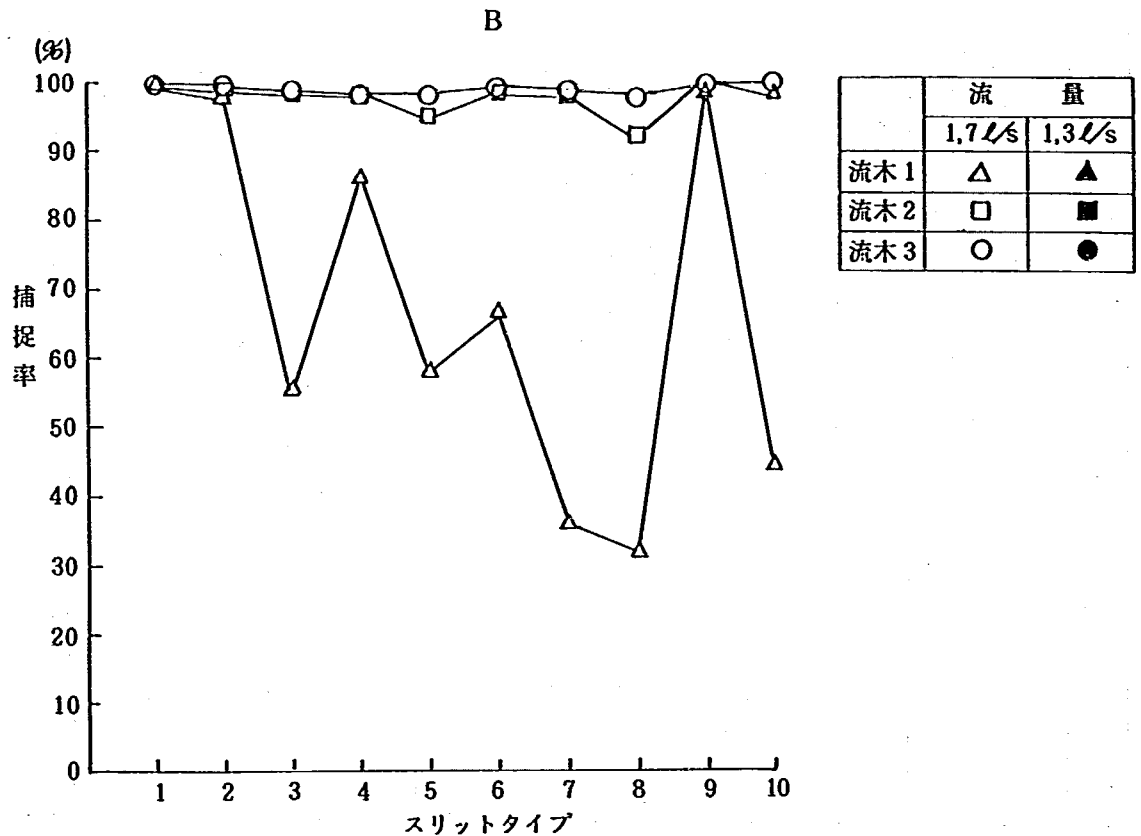


図-3.9 各種流木止スリットによる流木捕捉率

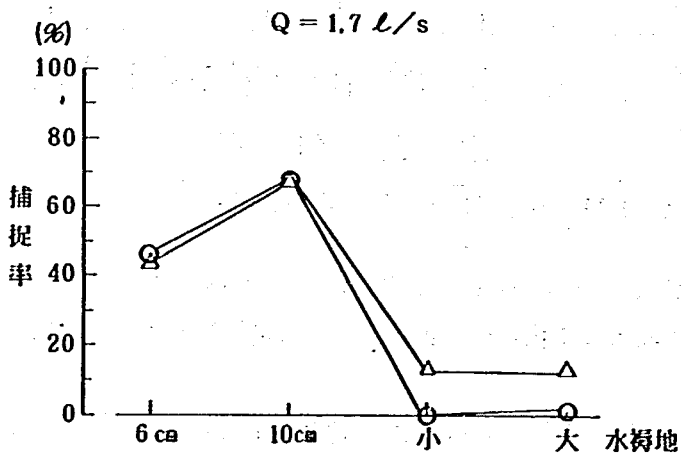
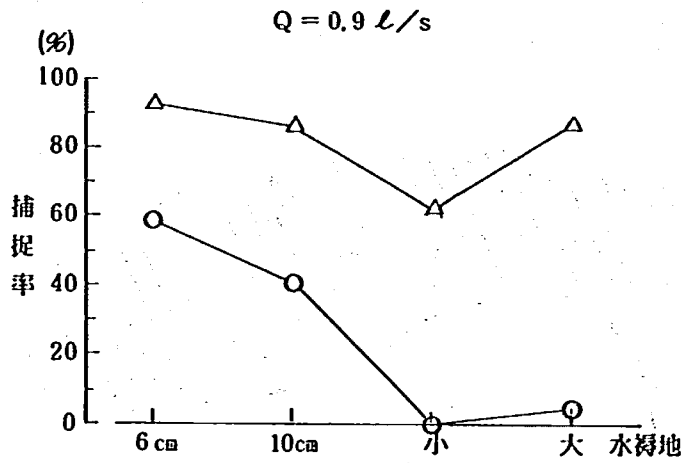
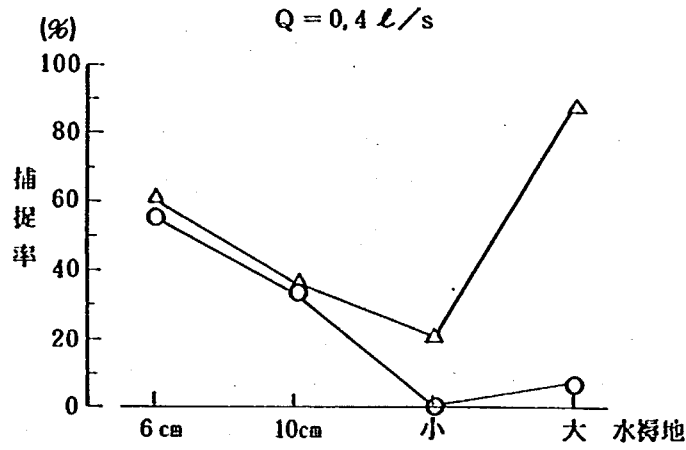
- ③ 流木止スリットの流木捕捉率は流木止スリットを主ダム水通し部に設置しても主ダム直上流部の堆砂地上に設置してもほぼ同じである。ただし、堆砂地上に設置する場合には堆砂地の河床地盤高の変化を考慮する必要がある。

3.3 主副ダム間の水罅池による流木捕捉実験（実験C）

主副ダム間の水罅池による流木捕捉率を高めるために図-1.7～1.9、写真-1.4に示すような側壁と水罅池板（6 cm及び10cm）を取り付けた流木止機能を持った水罅池を考案した。この新しいタイプの水罅池の流木捕捉効果を検討するために通常の水罅池タイプで幅の狭いもの（写真-1.5）と幅の広い（写真-1.6）についても同一条件で実験を行った。実験結果を図-3.10に示す。この図より次のことが言える。

- ① 新しく考案した流木対策用の水罅池（図-1.7）は通常の水罅池と比較して流木捕捉率が高い。特に流量が大きく計画洪水流量に近い時にはこの傾向が顕著である。

C



図一 3.10 水罅地形状の違いによる流木捕捉率

3.4 流木の移動開始限界に関する実験 (実験D)

流木の移動開始限界を明らかにするために、直径1.5cm、長さ10cm、比重0.98の流木模型を用いて、流量、水路勾配、流向に対する流木の長軸の設置方向等を変化させて水路模型実験を行った。実験に用いた水路床は平均粒径1.2mmの砂を貼りつけて固定床とした。なお流木模型の水路固定床に対する水中での摩擦角は25°であった。

実験は流量を0.3, 0.7, 1.0, 1.3 l/Sとして各段階で水路勾配を0°~20°まで徐々に変化させて水路上に置いた流木が移動するかなを観察し、合わせて流路上の水深を測定した。流木の水路上への設定方向は原則として流向と平行としたが、流量が0.3 l/Sの場合のみ流木の移動が始まる最小の角度だけ流向より傾けて設置しその角度を測定した。

なお、水深が小さく実際に浮遊していない状態での流木の流下形態では水路床上をころがる場合が多く、水路床上を滑動する場合は流向と平行に流木を置いた場合の初期の移動時に多く見られた。

流量0.3 l/Sにおける水路勾配と流木が移動を開始する時の流向方向に対する最小の流木の傾き(ϕ)との関係を図-3.11に示す。傾き ϕ が大きくなると流木の受ける流体力が増すとともに、流木がころがりにより移動しやすくなるため、全体的に移動し易くなる。従って図-3.11より流量の一定の時は水路勾配が5°付近で最も流木が移動し難い、すなわち堆積し易いことが分かる。

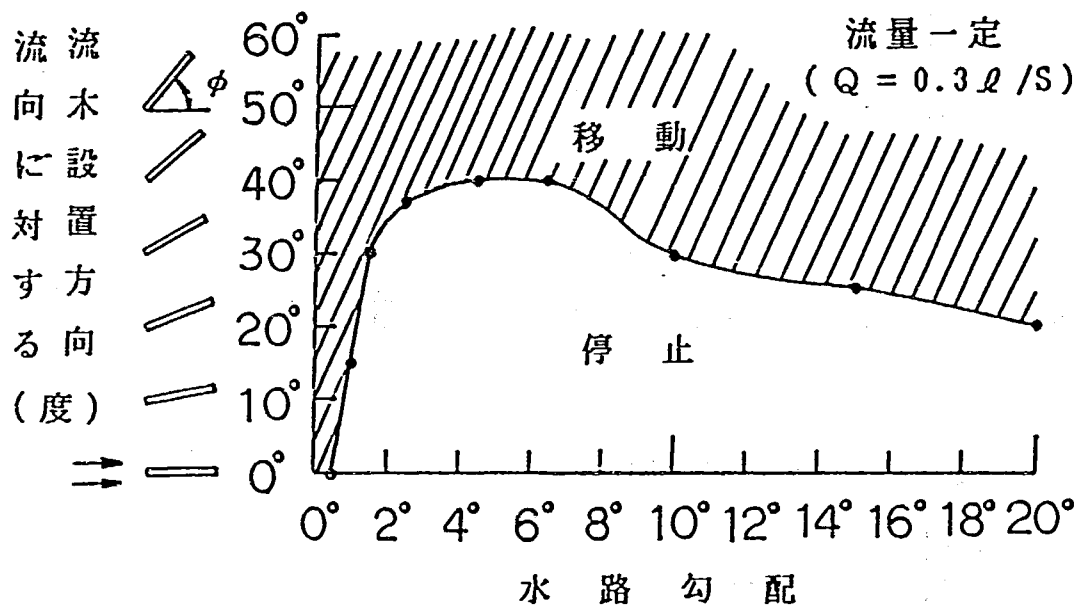


図-3.11 流木設置方向による移動限界

次に流木の傾きを $\phi = 0$ とした場合、すなわち流向と平行に流木を置いた場合について検討する。流量を0.3, 0.7, 1.0, 1.3 l/Sと4段階に変化させて各段階での水路勾配と水深の関係及び流木の移動と停止の範囲を図-3.12に示す。

比重が水よりも小さな(すなわち水に浮く)流木の受ける流体力 F と抵抗力 R は次式で示さる。

$$F = C A \frac{\rho V^2}{2} \div \frac{C A \rho}{2 n^2} h^{4/3} l$$

$$R = \left(\frac{\pi d^2}{4} \sigma - \rho A \right) g l (\mu \cos \theta - \sin \theta)$$

$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$

	流 量	流 木	直径1.5cm、長さ10cm	
○---○	1.3 ℓ / S	実 験	○	流木移動
○---○	1.0 ℓ / S		●	流木停止
○---○	0.7 ℓ / S		////	移動・停止境界
○---○	0.3 ℓ / S	計 算	▲	移動・停止境界
流木設置方向は流向に平行				

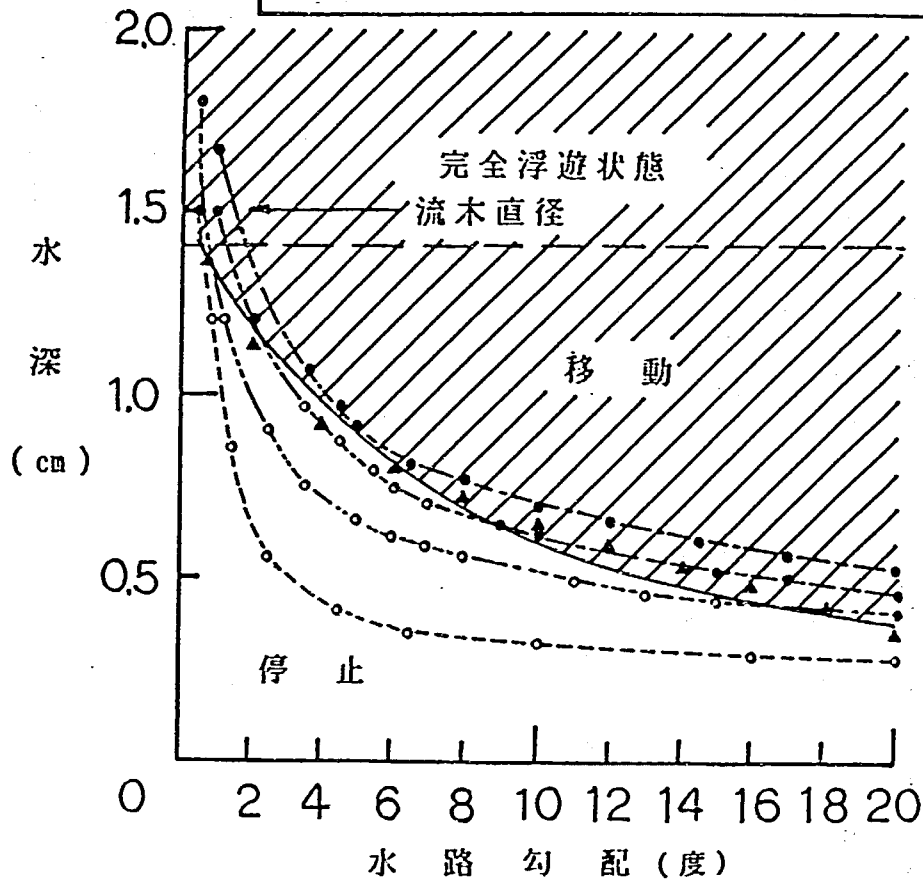


図-3.12 水路勾配、水深と流木の移動、停止条件

ここで、 F ：流向に平行に設置された流木の受ける流体力、 C ：抵抗係数、 A ：流水の当たる部分の流木の断面積（水中部分の断面積）、 ρ ：水の密度、 v ：流水の平均流速、 n ：マンニングの粗度係数、 h ：水深、 l ：水路の勾配、 R ：流木の抵抗力、 d ：流木の直径、 σ ：流木の密度、 g ：重力加速度、 ℓ ：流木の長さ、 μ ：流木の水中での摩擦係数、 θ ：水路の勾配（角度）である。

流木の移動条件は $F \geq R$ であるから次式により流木の移動と停止の境界を求めることができる。

$$\frac{CA\rho}{2n^2} h^{4/3} l = \left(\frac{\pi d^2}{4} \sigma - \rho A \right) g \ell (\mu \cos \theta - \sin \theta) \dots\dots\dots (2)$$

これを解くことにより水深： h と水路勾配： θ の変化に伴う流木の移動、停止境界を求めることができる。このようにして得た計算結果を図-3.12に▲印で示す。図-3.12より式(2)を用いることにより流木の移動、停止境界を求めることができる。

3.5 水路狭窄部における流木の閉塞に関する実験 (実験E)

直線水路 (幅20cm) に種々の幅 (2, 4, 8, 12cm) の狭窄部を設けて上流より流木を100本流して、その時の水理条件と狭窄部における流木の捕捉率との関係を明らかにする実験を行った。実験を通じて流木の比重は0.95-0.98であった。

狭窄部における流木の通過・停止に関して狭窄部の流木捕捉率をTとして次のように定義する。

E

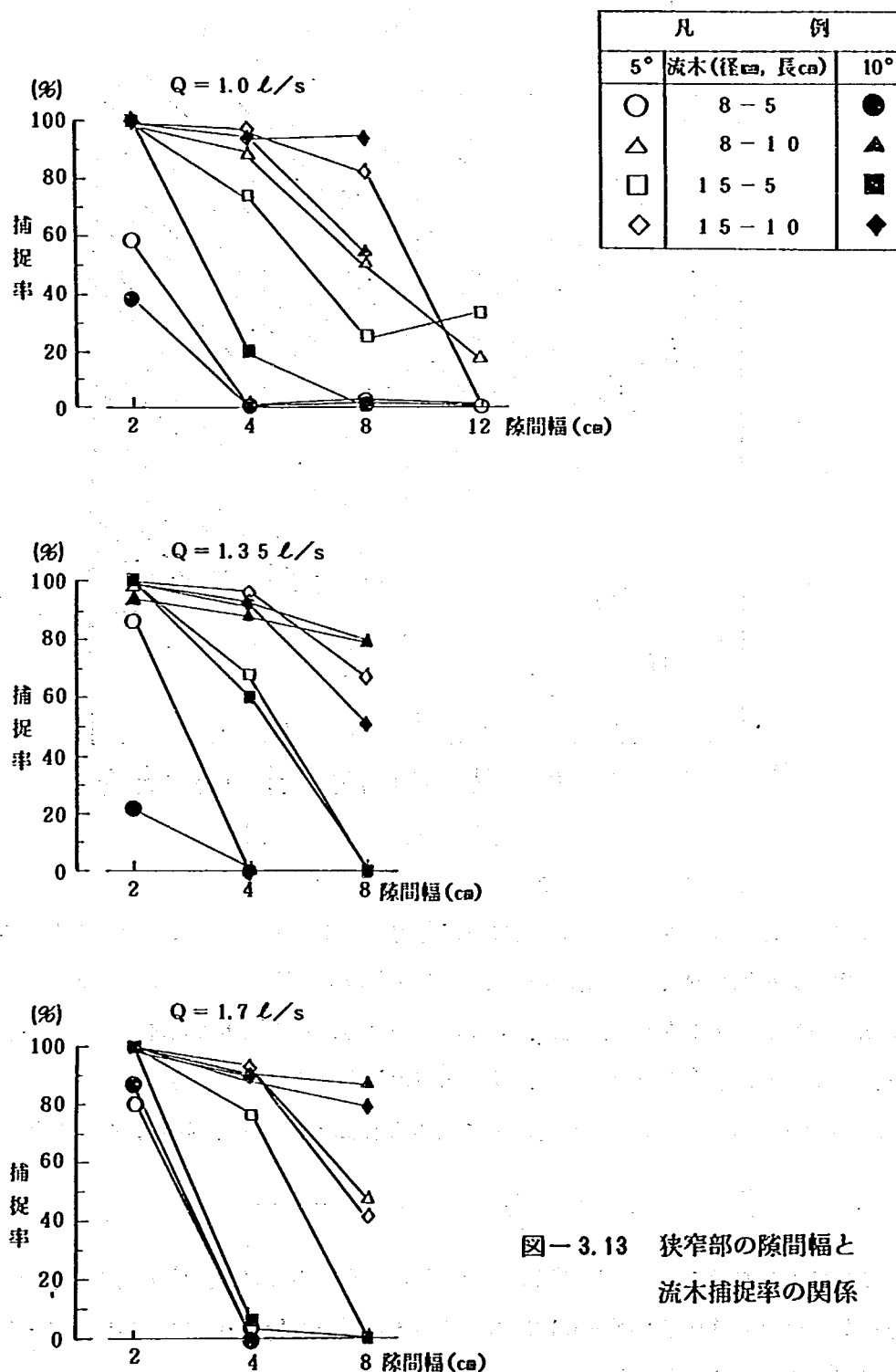


図-3.13 狭窄部の隙間幅と流木捕捉率の関係

$$T = \frac{\text{狭窄部により捕捉された流木本数}}{\text{水路に投入した流木本数 (＝100本)}} \dots\dots\dots(3)$$

各流量毎の流木捕捉率と狭窄部の隙間幅の関係を図-3.13に示す。この図より流木の長さが大きく、隙間幅が小さい程流木捕捉率が高いことが分かる。また流木の直径が大きい方がわずかではあるが流木捕捉率が高くなることが分かる。

次に狭窄部の幅 w と流木の長さ l の比と捕捉率 T との関係を図-3.14に示す。 w/l が減少すると捕捉率 T が上昇する傾向が明確に認められる。

次に同様の実験結果を流木止スクリーン、スリットによる流木の捕捉率を算定する式⁵⁾にならって $Fr \cdot \theta = Fr \cdot hw^2/dl^2$ と捕捉率 T との関係に整理した結果を図-3.15に示す。

ここで Fr : フルード数, $\theta = hw^2/dl^2$, h : 狭窄部直上流の水深, w : 狭窄部の幅, d : 流木の直径, l : 流木の長さである。

この図より狭窄部における流木の捕捉率 T は次式により算定できる。

$$\left. \begin{array}{ll} Fr \cdot \theta \leq 0.1 & \text{のとき} \quad T \approx 1.0 \\ 0.1 < Fr \cdot \theta < 1.0 & \text{のとき} \quad T \approx \log (1/Fr \cdot \theta) \\ 1 \leq Fr \cdot \theta & \text{のとき} \quad T \approx 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

実験を通じて狭窄部上流でのフルード数は0.08～0.43, レイノルズ数は3,800～6,400であった。

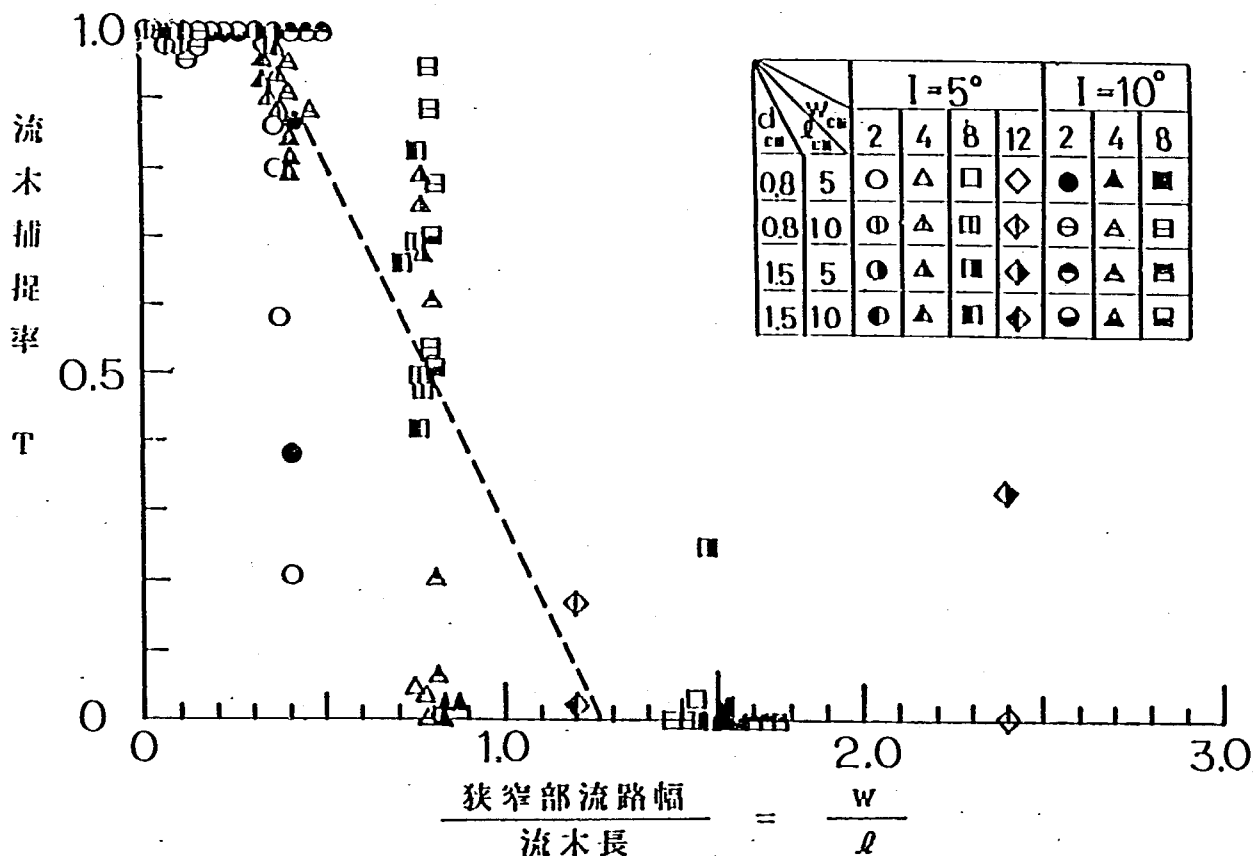


図-3.14 w/l と流木捕捉率 T

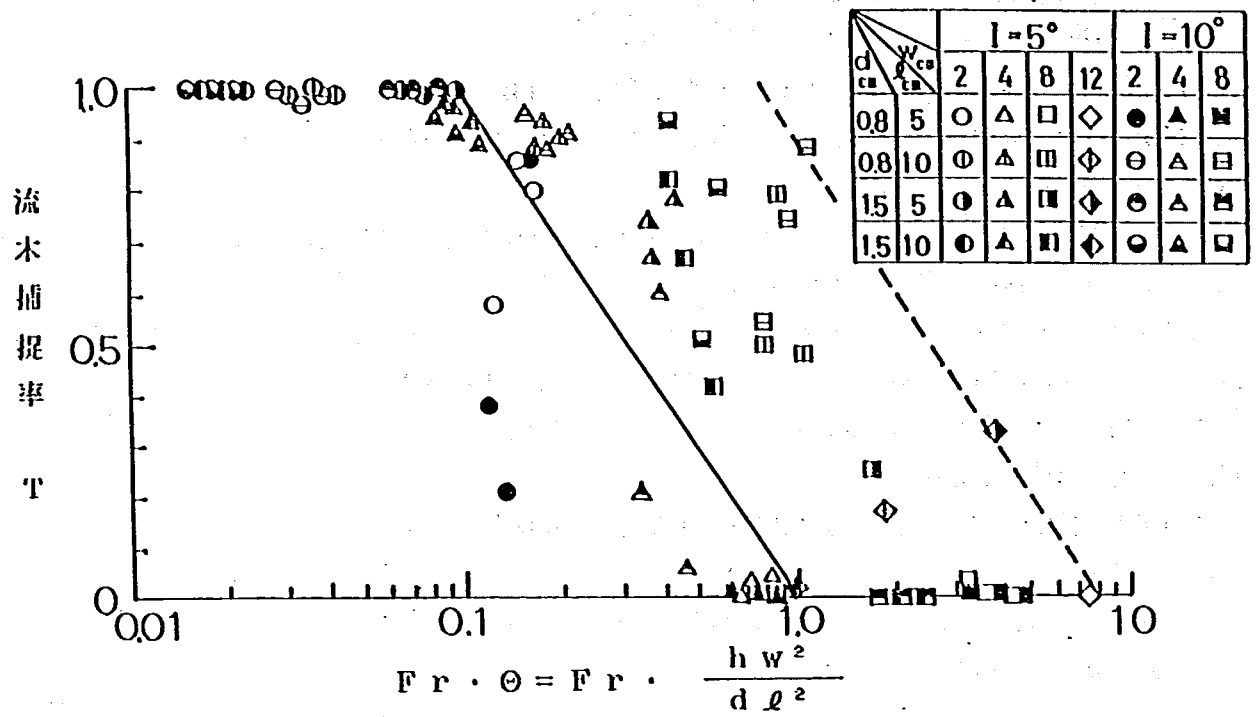


図-3.15 $Fr \cdot \theta$ と流木捕捉率の関係

4. まとめと今後の検討議題

4.1 まとめ

今回の実験により得られたデータを解析した結果は以下のようにまとめることができる。

- ① 重力式砂防ダムとアーチ式砂防ダムによる流木捕捉率の違いは認められない。
- ② 砂防ダムによる流木捕捉率は流木の長さおよび直径が大きくなると高くなる。
- ③ 満砂した砂防ダムでは流量が大きい程流木捕捉率が高くなる。
- ④ 未満砂の砂防ダムでは流量が大きくなる程流木捕捉率は低下する。
- ⑤ 大きさ（長さ、直径）が異なる流木が混合している場合には、砂防ダムにおける流木の捕捉率は平均的な大きさよりも、最大長（あるいはそれに近い長さ）により左右される。
- ⑥ 砂防ダム堆砂地内に立木模型を設置すると流木捕捉率は大きくなる。
- ⑦ 流木の最大長が主ダム水通し幅の約1.3倍を越えると砂防ダムによる流木捕捉率は急激に高くなる。
- ⑧ 流木止スリットによる流木捕捉率はスリット縦部材の水平方向間隔が小さい程高くなる。一方、横方向部材の縦方向間隔は流木の直径の1.5倍以上あればほとんど捕捉率に影響しない。
- ⑨ 流木止スリットの横方向部材の縦方向間隔を小さくし過ぎると土砂がスリットに目詰りし流木捕捉率が低下する。
- ⑩ 流木止スリットを砂防ダム堆砂地上に設置する場合には、堆砂地の地盤高の変化も考慮に入れる必要がある。
- ⑪ 主ダムに副ダム間の水褥池に仕切り板を入れた構造の流木対策施設（図-1.7）を考案したが、これは通常の水褥池のみのものに比べて流木捕捉率が高い。
- ⑫ 水路上に流木の長軸方向と流向が平行になるように流木を置いた場合には流木は最も移動し難い。このような場合の流木の移動開始限界を与える式を提示した。
- ⑬ 水路狭窄部における流木の捕捉率 T は次式により算定できる。

$$\left. \begin{array}{lll} Fr \cdot \theta \leq 0.1 & \text{のとき} & T \approx 1.0 \\ 0.1 < Fr \cdot \theta < 1 & \text{のとき} & T = \log \left(\frac{1}{Fr \cdot \theta} \right) \\ 1 \leq Fr \cdot \theta & \text{のとき} & T \approx 0 \end{array} \right\}$$

ここに、 T ：水路狭窄部における流木捕捉率、 Fr ：フルード数、 h ：狭窄部直上流の水深、 d ：流木の直径、 ℓ ：流木の長さ、 w ：狭窄部の水平方向幅、 $\theta = \frac{h w^2}{d \ell^2}$ である。

4.2 今後の検討課題

主として砂防ダム、流木止スリット、水褥池における流木捕捉効果を実物の1/50の縮尺の模型を用いた実験により検討してきた。その結果砂防ダムや水褥池の流木捕捉効果について、流木の大きさ、単

位幅流量，堆砂状況との関連を定性的に明らかにできた。また流木止スリットによる流木捕捉率を与える式はすでに昭和62年度の実験で求められており，今回はそれらの確認を行うことができた。また今回の実験により新たに流木の移動開始限界を与える式を提示し，さらに水路上の狭窄部における流木の捕捉率を与える式を提示した。

今後は流木の運動機構に関連しており一般的な流木（枝や根の付いた流木）の移動開始限界や堆積開始限界を明らかにするとともに，移動床の水路上における流木の流下形態と土砂浸食，土砂運搬に与える影響を明らかにする必要がある。また流木止スリットの設計に関連して流木の衝突により発生する衝撃力を算定する手法を開発しより合理的な流木対策施設の設計基準を作成する必要がある。

5. 流木対策の手引き (案)

第1節 総 説

流木対策は、山腹崩壊、溪岸浸食等により発生し、土石流や洪水により溪流あるいは河川を流下する流木に起因あるいは助長される被害を軽減あるいは防止するために行うものである。

解説

山腹崩壊、溪岸浸食および土石流の発生に伴い多量の流木が発生し、溪流を流下する際に狭窄部や橋梁等により捕捉されてこれらを閉塞し、橋梁を破壊したり土石流や洪水の氾濫を引き起こし下流に多大な被害を与える例は多い。このような流木により引き起こされたり、助長される災害を軽減、防止するために流木対策を行う必要がある。

第2節 流木対策のための調査

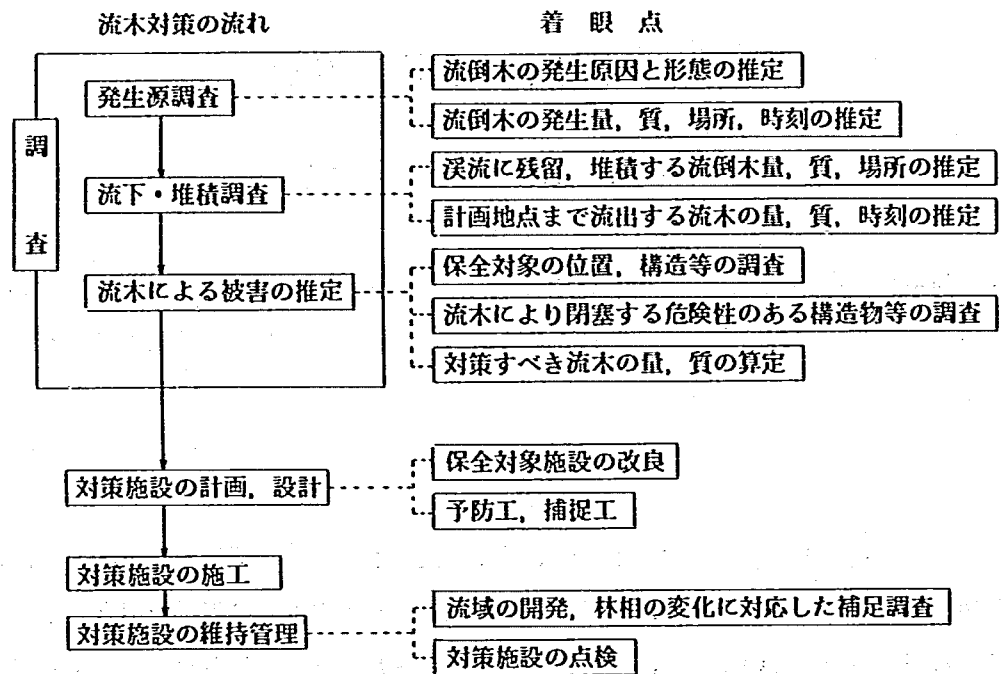
2.1 発生源調査

保全対象（人家、橋梁、道路、貯水池等）のある地点より上流における流倒木の発生源を調査し、流倒木の発生原因、量、質（大きさ等）、場所等を推定する。

解説

流木対策を行うためにはまず対象となる流倒木の量や特性を知る必要がある。ここで流倒木とは流木と倒木の総称であり、流木とは土石流や洪水等により流れつつあるものあるいは流れて堆積したものを、倒木とは崩壊や溪岸浸食により倒れたり傾いた樹木で流木となる可能性の高いものをさす。

流木調査の位置づけを明確にするため、流木対策の流れ及び着眼点を図－1に示す。



図－１ 流木調査と流木対策の流れ⁶⁾

2.1.1 流木の発生原因・形態の推定

対象流域の地形、地質、気象、植生、土地利用、過去の災害等を総合的に判断して流木の発生原因と形態を推定する。

解説

流木の発生原因・形態を表－１に示す。このうち①～⑦の発生原因・形態は主として自然現象のみによる流木の発生であり、⑧～⑬は人為の加わった木材や材木の流出によるものである。このように流木の発生原因、形態の種類は多いが、一般には主として①～③、⑥および⑧の発生原因・形態が多い。以下では主として山腹崩壊や土石流に伴い発生する流木を対象とする。

表-1 流木の発生原因と形態⁶⁾

流木の 起源	流 木 の 発 生 原 因 と 形 態	主な発生場所		
		上流域	中流域	下流域
立 木 の 流 出	① 斜面崩壊の発生に伴う立木の滑落	○	○	
	② 土石流の発生に伴う立木の滑落	○		
	③ 土石流の流下に伴う溪岸・溪床侵食による立木の流出	○		
	④ 洪水流による河岸・河床の侵食による立木の流出	○	○	○
過 去 に 発 生 し た 流 倒 木 の 流 出	⑤ 病虫害や台風等により発生した倒木等の洪水等による流出	○	○	
	⑥ 過去に流出して河床上に堆積したり河床堆積物中に埋没していた流木の土石流、洪水等による再移動	○	○	
	⑦ 雪崩の発生・流下に伴う倒木の発生とその後の土石流、洪水による下流への流出	○	○	
伐 木 の 流 出 ・ 原 出	⑧ 放置された伐木や間伐材の斜面崩壊、土石流、洪水による流出	○	○	
	⑨ 集積された木材の洪水等による流出	○	○	○
	⑩ 洪水等による椎茸原木の流出	○	○	
用 材 の 流 出	⑪ 土石流、洪水等による家屋の損壊とそれに伴う破損材の流出		○	○
	⑫ 土石流、洪水等による木橋の流出		○	○
	⑬ 土石流、洪水等による電柱の流出		○	○

2.1.2 流倒木の発生量、質、場所、時刻等の推定

流木発生源の現地踏査、空中写真判読および過去の災害実態等をもとに対象流域における流倒木の発生量、質、場所、時刻等を推定する。

解説

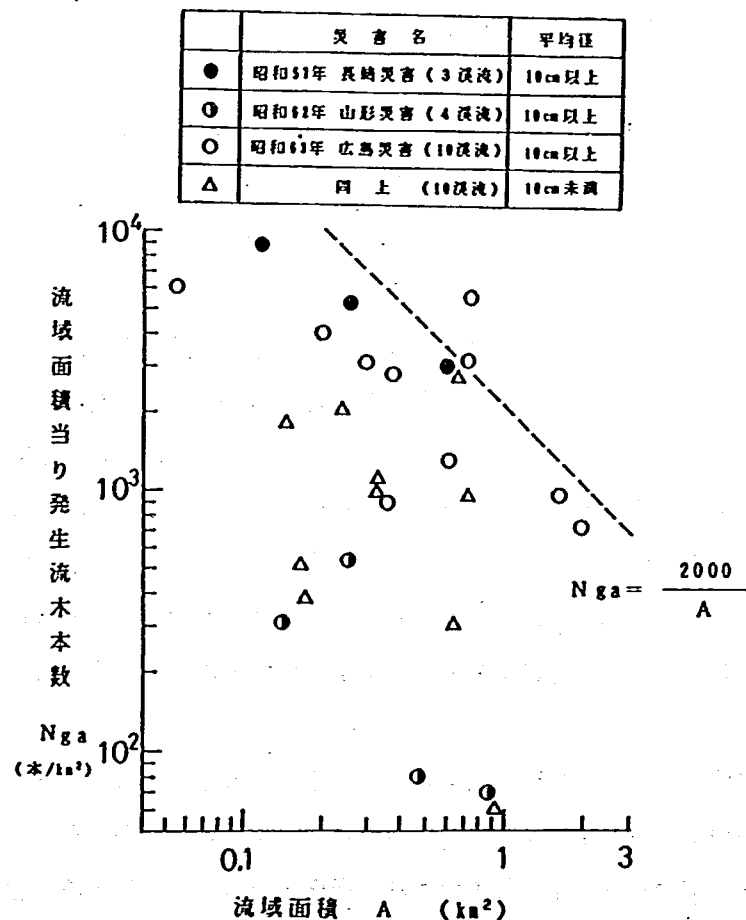
崩壊及び土石流に伴い発生する流倒木の量、質、場所、時刻を推定するためには、主たる原因である崩壊、土石流の発生、流下範囲及び時刻を推定する必要がある。崩壊、土石流の発生、流下範囲、時刻を推定する手法はいくつかあるので詳しく書かれた文献^{7)~9)}を参考にすると良い。それらの方法によりある降雨時に発生・流下する崩壊・土石流の範囲や時刻が推定されれば次には、崩壊や土石流の発生、流下範囲に存在する立木や倒木、材木および過去に発生して溪床等に堆積している流木等の量（本数、立積）や、質（長さ、直径、形態等）を調査することにより発生する流倒木の質や量を推定することができる。調査手法としては現地踏査による方法と空中写真判読による方法があり、一般には両者を併用する。

現地踏査により崩壊や土石流の発生、流下範囲にある全ての立木、倒木、材木、過去に発生し河床に堆積している流木等の量や質を1本1本調査することが望ましい。しかしながら調査範囲等が広い場合等では、まず地形図と空中写真を用いて予想される崩壊・土石流の発生・流下範囲内の樹木の密度（本数）、樹高、樹種等を判読し、この結果をもとに崩壊・土石流の発生・流下範囲を同一の植生、林相となるようにいくつかの地域に区分する。次にそれらの地域毎に現地踏査によるサンプリング調査（10m

×10m の範囲) を行い、この結果に基づいて各地域の樹木の本数、樹種、樹高、胸高直径等を比較的簡便に推定する方法が用いられる。この時、現地踏査では以下の項目について調査を行う。

- (1) 密度あるいは本数: 樹木、材木、流倒木等の100m²当りの本数 (全数調査の場合には全本数)
- (2) 直径: 樹木の胸高直径、伐木、流倒木の平均直径
- (3) 長さ: 樹木の高さあるいは伐木・流倒木の長さ
- (4) 樹種: 樹木、伐木、流倒木の樹種 (針葉樹、広葉樹の別等)
さらに伐木、流倒木については以下の項目についても調べる。
- (5) 発生してからの経過年数: 伐木の場合には伐採されてから、流倒木については発生してからの経過年数
- (6) 形態: ①幹+根+枝葉, ②幹+枝葉, ③幹+根, ④幹のみ, ⑤その他
- (7) 発生原因: 自然の場合には山腹崩壊、溪岸浸食、溪岸崩壊の別、人為の場合には間伐材、椎茸原木等の別
- (8) 発生場所: 山腹、溪岸、溪床等の別

なお、調査表には調査溪流名を記入するとともに、調査範囲を地形図上に記入する。発生する流倒木の本数は以上の調査結果をもとに単位面積当りの立木の本数に土石流や崩壊が発生あるいは浸食する林地面積を乗じて求める。同様にサンプリング調査による同一林相内の樹木の胸高直径、樹高、樹種の分布より発生する流木の質 (直径、長さ等) を推定する。なお、溪床、溪岸沿いにある流倒木から発生す



図一2 流域面積と流域面積当り発生流木本数

る流木の質や量も同様にして推定する。

以上述べたような手法とは別に過去に発生した土石流とそれに伴う流木の実体を調査した結果をもとに発生流木本数と流木の大きさ等を推定することも有力な方法と言える。ここでは昭和57年7月長崎災害における3溪流, 昭和62年8月の山形災害における4溪流, および昭和63年7月の広島災害における20溪流における流木発生調査結果をもとに流木発生本数および流下する流木の大きさ等を推定する手法を述べる。

過去に土石流が発生した27溪流における流域面積と流域面積1km²当りの発生流木本数を図-2に示す。この図より流域面積と流域面積1km²当りの発生流木本数には反比例の関係があることがわかる。流域面積1.0km²以下の溪流における発生流木本数は1.0km²当り約60~8,600本と幅が広いが平均では約2,000本である。次に溪流における生産土砂量と発生流木本数の関係を図-3に示す。大半の流木は斜面や溪岸にあった立木が崩壊や土石流の通過による浸食により流木とはなったものであるから生産土砂量と発生流木本数とは図-3示すように比例の関係がある。平均では生産土砂量10,000m³あたり約1,000本の流木が発生している。

	災 害 名	平均値
●	昭和57年 長崎災害 (3溪流)	10cm以上
○	昭和62年 山形災害 (4溪流)	10cm以上
○	昭和63年 広島災害 (10溪流)	10cm以上
△	同 上 (10溪流)	10cm未満

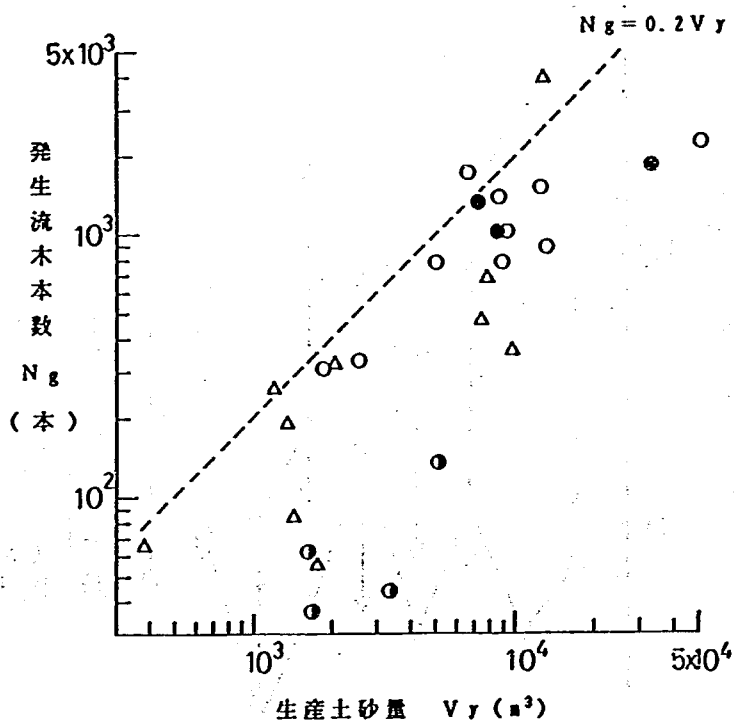


図-3 生産土砂量と発生流木本数

斜面や溪岸にあった立木が崩壊や浸食により流木となって流下する際には土石流中の石礫や溪岸, 溪床との衝突等により樹木の細い幹の部分は折損して長さが短くなるのが一般的である。広島災害の8溪流における流木発生源の立木の平均長と下流に堆積した流木の平均長さ及び各溪流の土石流流下幅の関

係を図-4に示す。この図より流木の長さは発生源の立木の長さの1/3~1/2程度であり流木の平均長は土石流流下幅の最小値（狭窄部の幅）とほぼ同じである。この理由としては狭窄部の流下幅よりも長い流木（ $w/l < 1.0$ ）の大部分は狭窄部で捕捉されてしまい下流に流下しないためと考えられる。

図-5~8には昭和62年8月の山形県温海町における豪雨により土石流とともに発生・流下した流倒木と土砂の溪流沿いの収支図を、図-9には鍋倉沢左支川での流倒木分布図を示す。これらの図より流倒木と土砂の発生区間はほぼ一致しており河床勾配が約8°以上の区間で大部分の流倒木および土砂が生産されていることが分かる。さらに図-10~13には同じ溪流において原則として直径10cm以上、長さ2m以上の流倒木を対象として現地調査を行った結果を示す。これらの図より、樹種では針葉樹（杉）が多く、最大長（測定した流倒木のうち長いものから順に数えて5%の本数に当る流倒木の長さ）は流木で10~14m、倒木で18~20mと流木の方が短い、最大直径（同様に太い方から5%の本数に当る流倒木の直径）はどちらも約30~60cmとほぼ同じである。形態としては流木では幹のみのものが多いのに対して倒木では根、枝、葉がついたものの占める割合が多い。なお西平沢川右支川と東平沢川右支川では溪床に埋もれていた古い伐木や流木が土石流による溪床土砂の浸食によって再移動して流下したものが比較的多く見られた。このような溪流においては、地表面にある立木や流倒木のみならず溪床に調査用の孔を掘る等の方法により溪床土砂の中に埋没している古い伐木や流木についても量や質を調査することが望ましい。

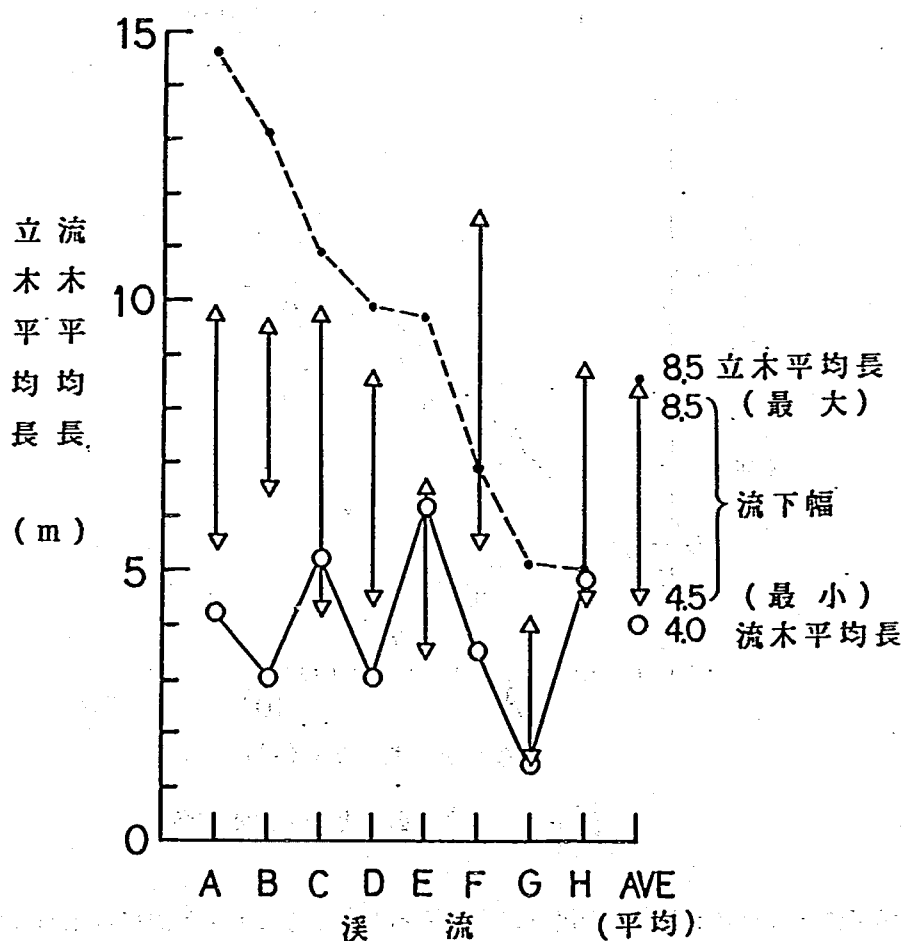


図-4 発生、流下した流木の長さ と 流下幅

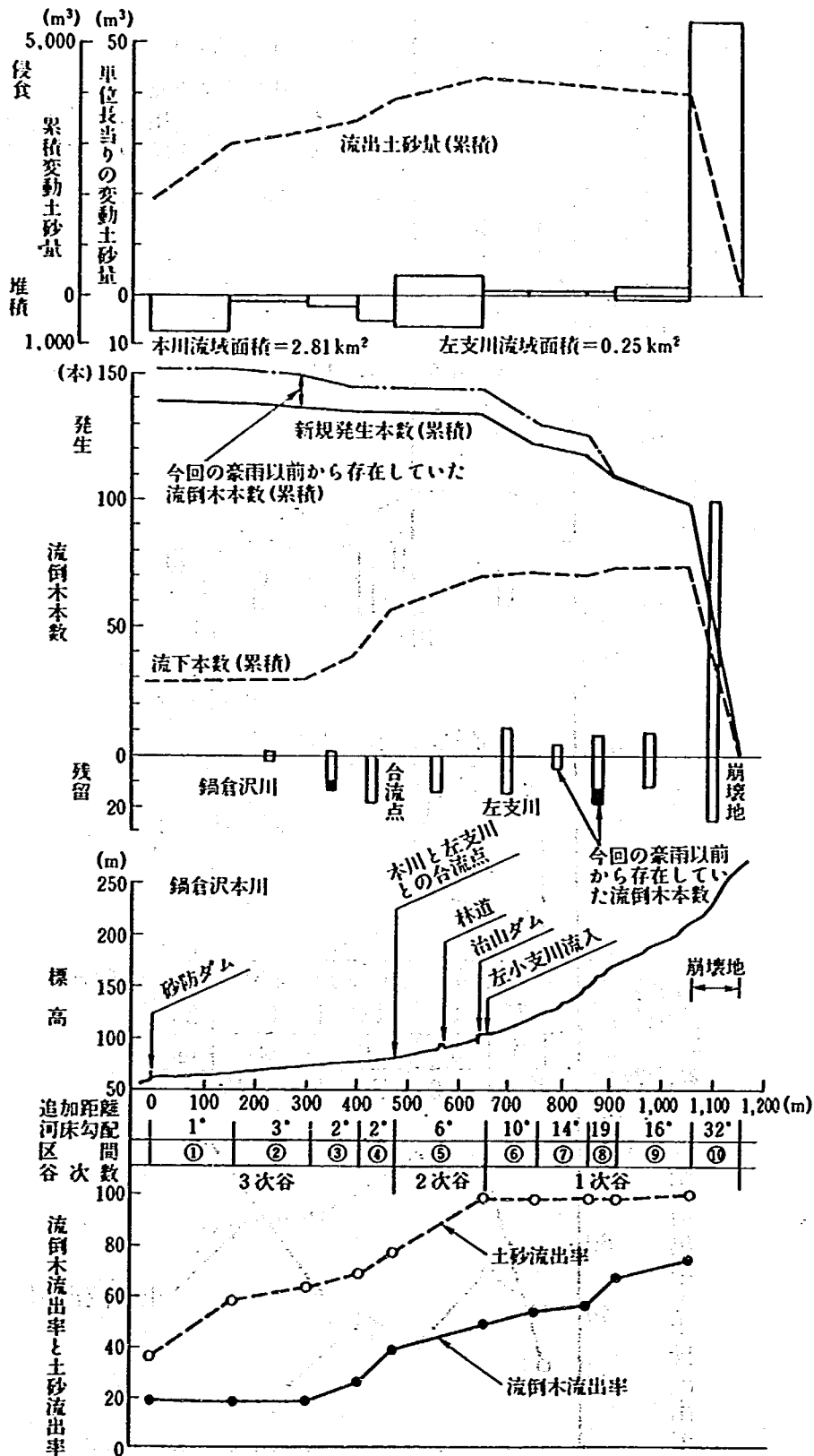
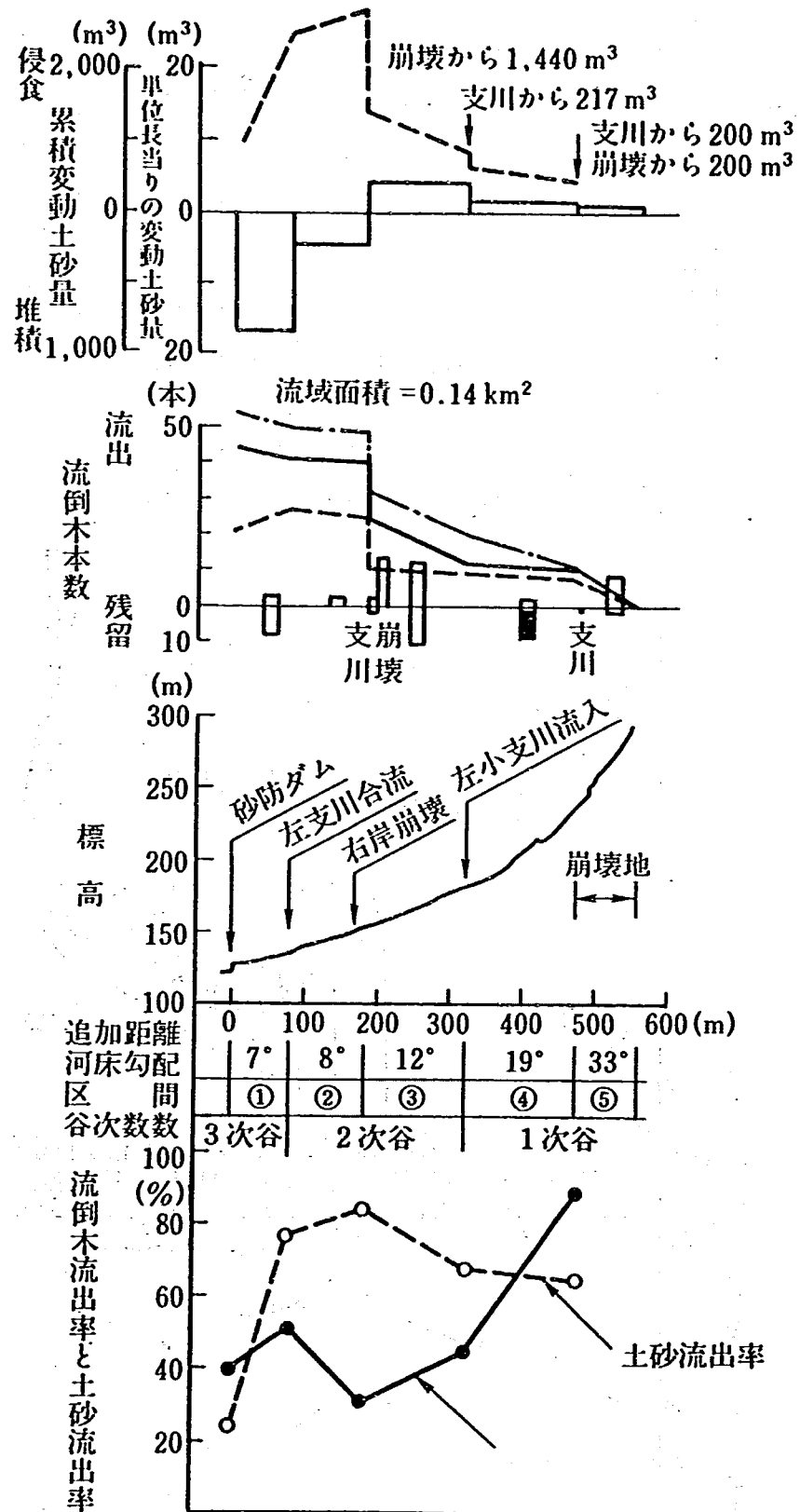


図-5 鍋倉沢左支川における流倒木および土砂の収支図, 流出率



図一六 西平沢川右支川における流倒木および土砂の収支図, 流出率

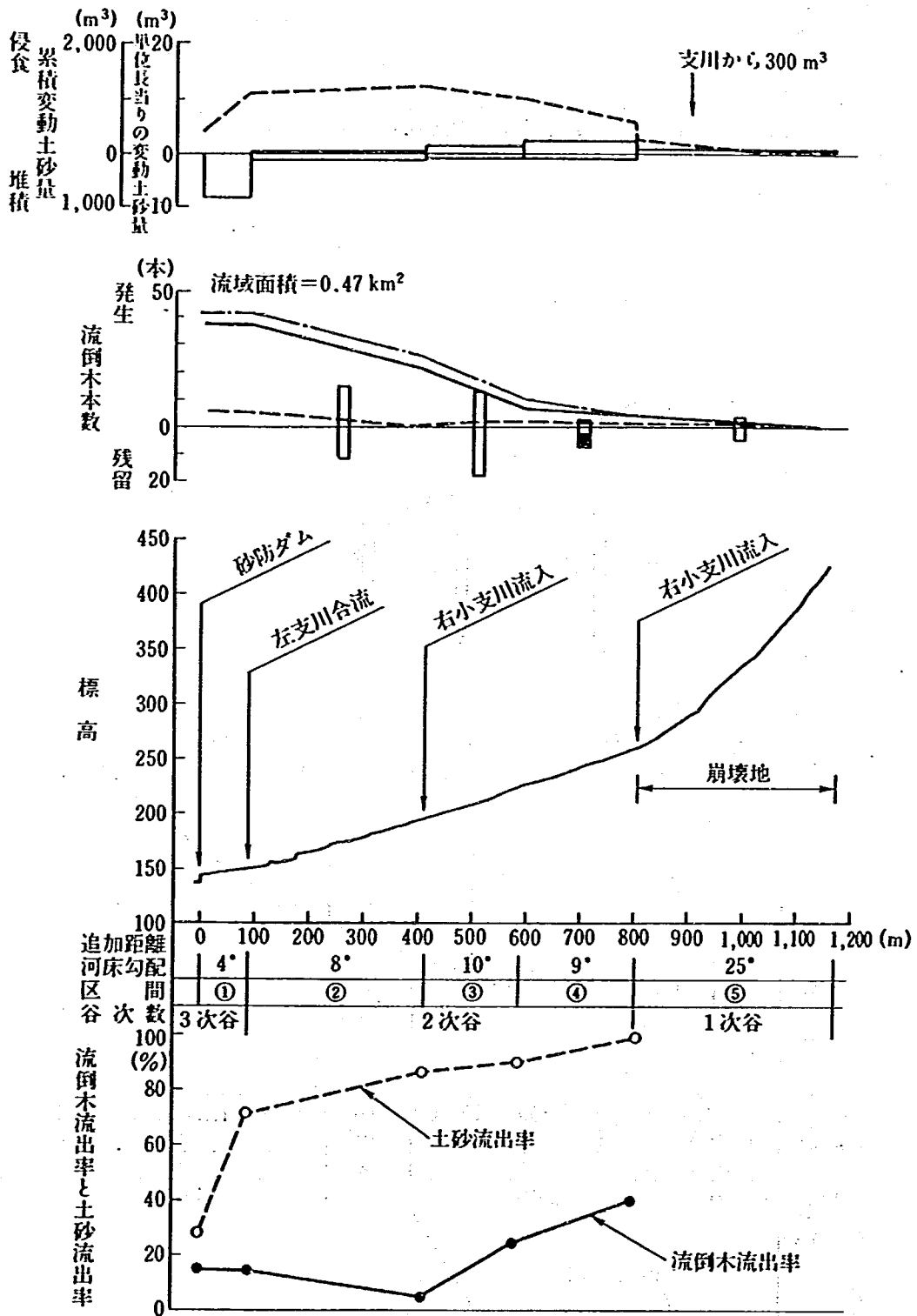


図-7 東平沢川右支川における流倒木および土砂の収支図, 流出率

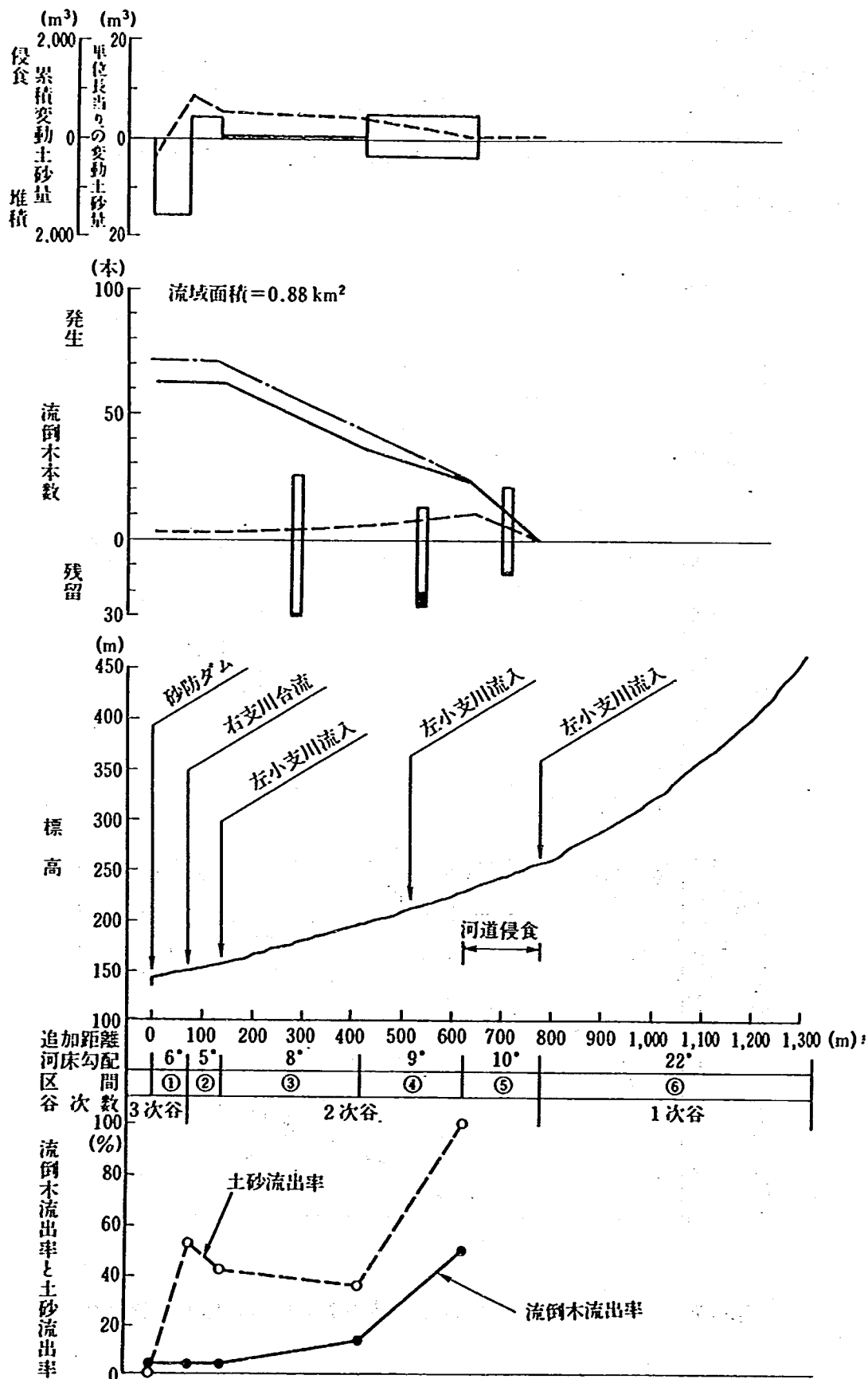
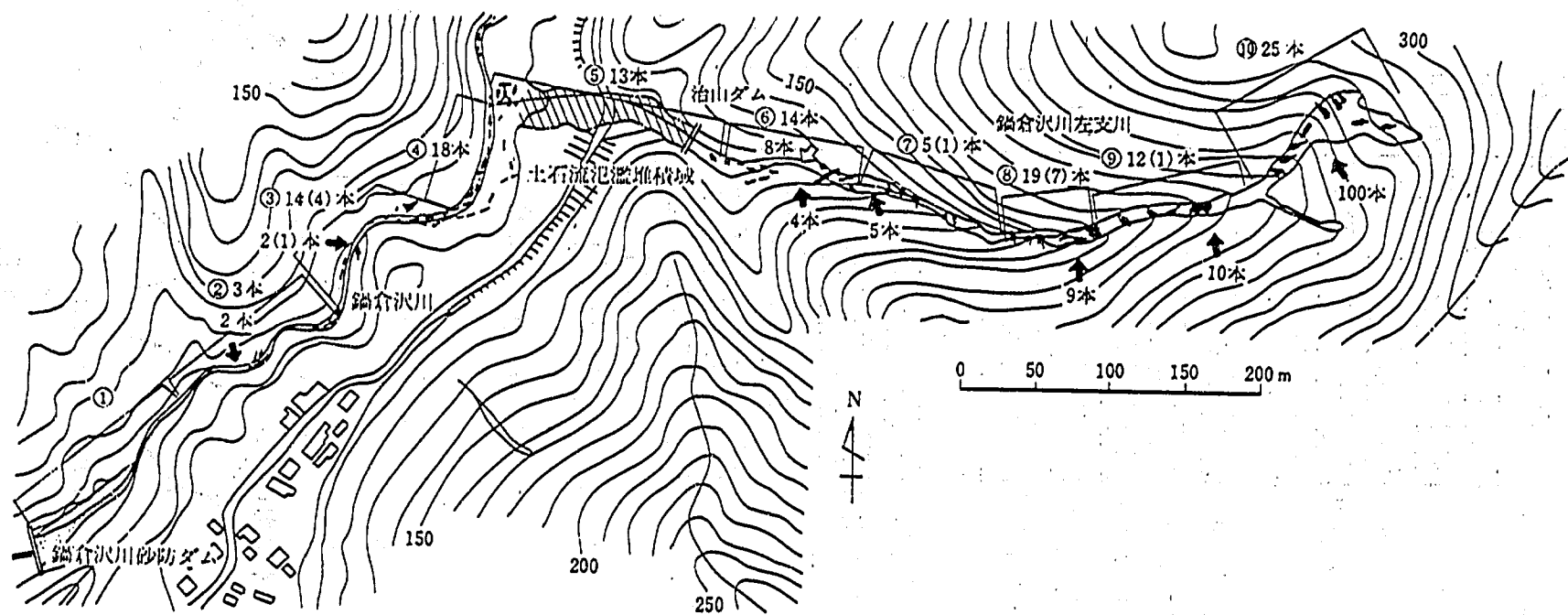


図-8 東平沢川左支川における流倒木および土砂の収支図, 流出率



図一 9 鍋倉沢川本川と左支川における流倒木分布図

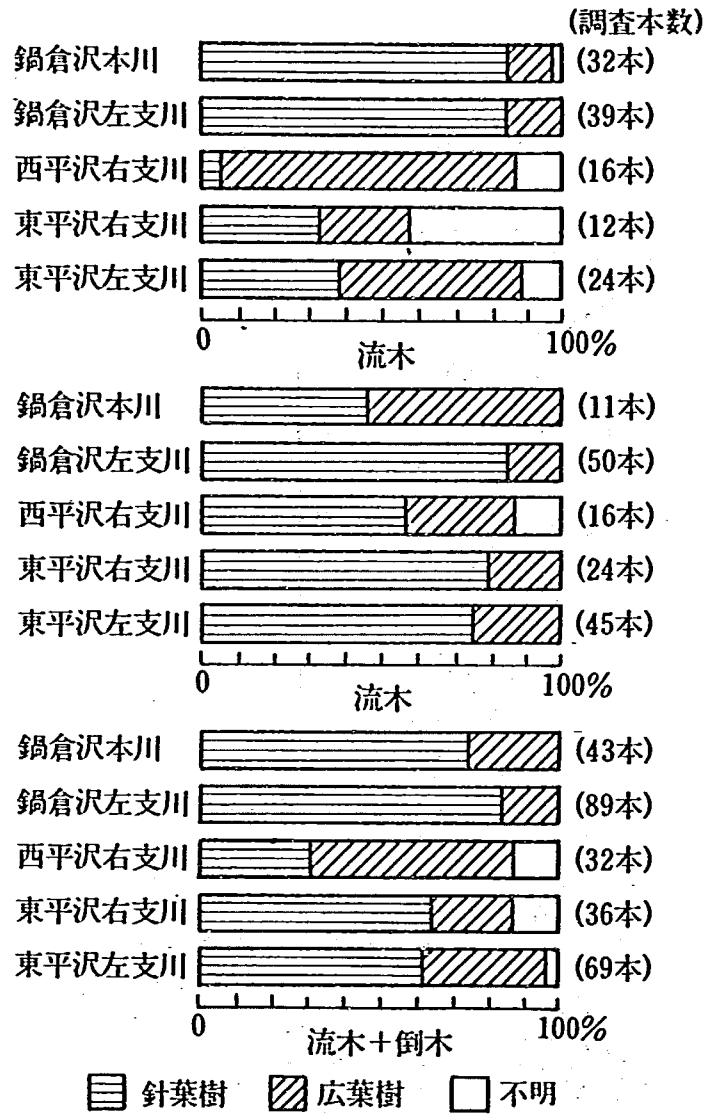


図-10 流倒木の樹種

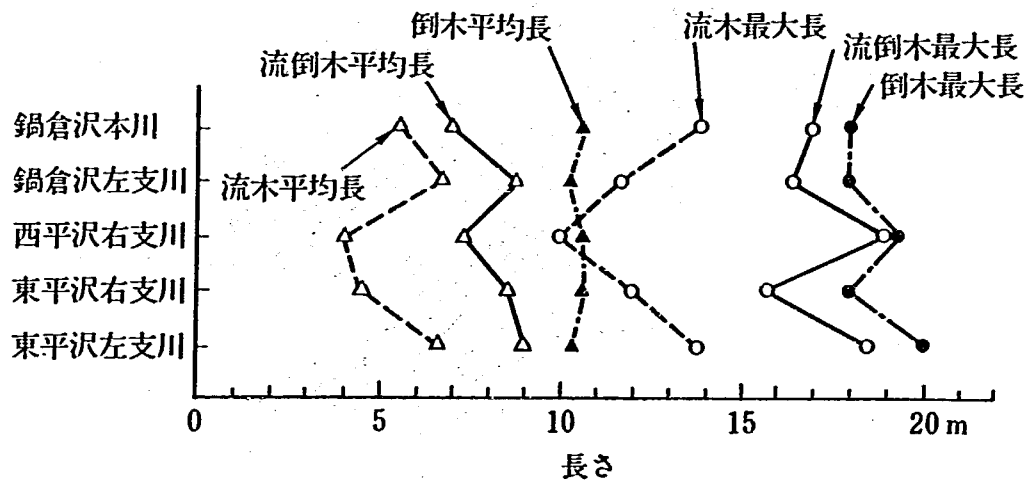


図-11 流倒木の平均長および最大長

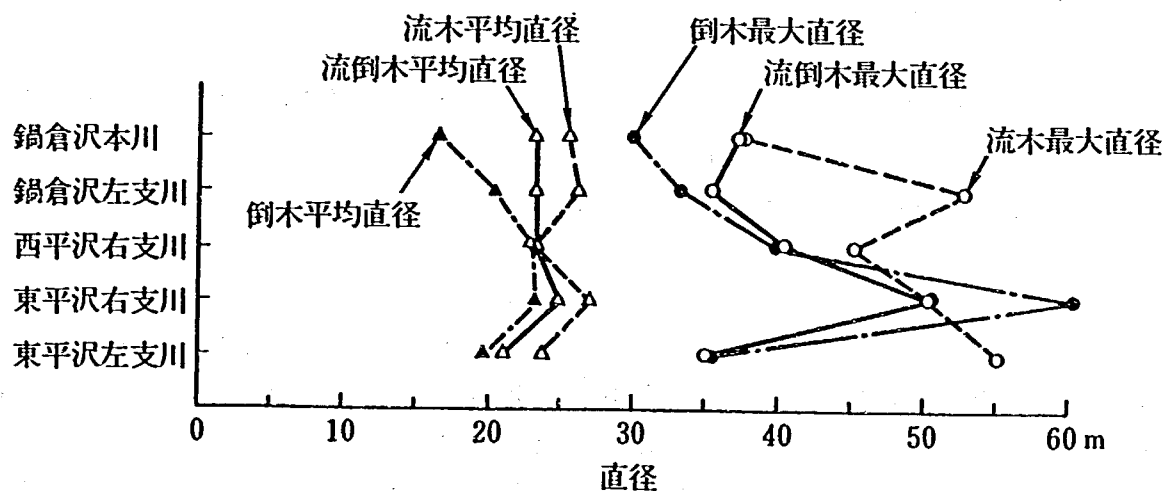


図-12 流倒木の平均直径および最大直径

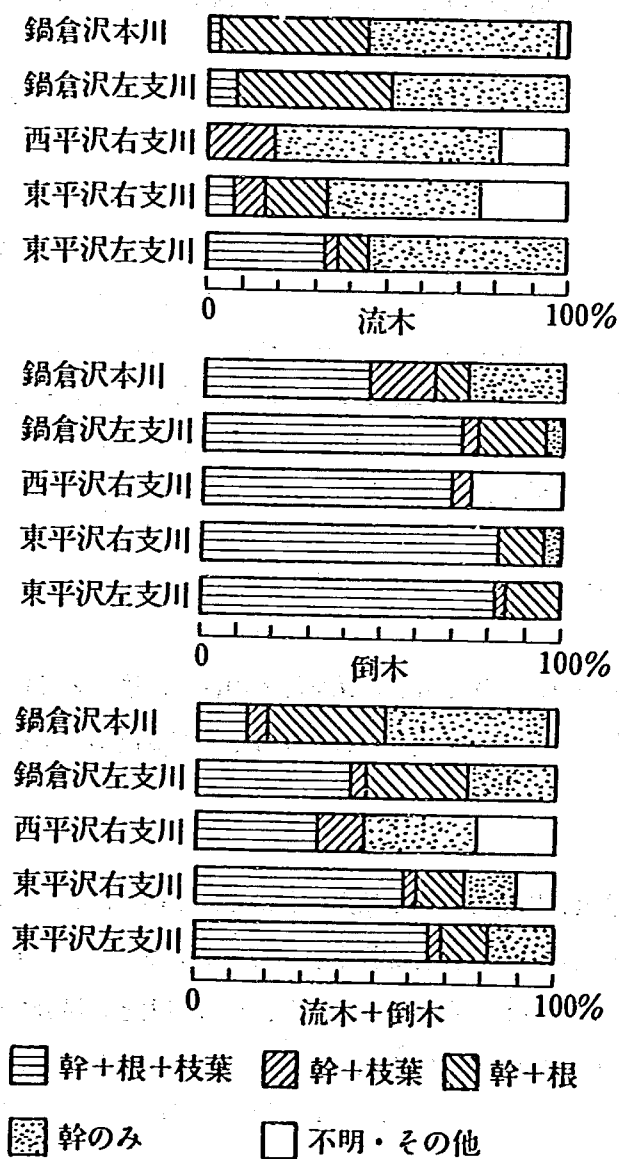


図-13 流倒木の状態

2.2 流木の流下、堆積調査

推定された流倒木の発生量、質、場所等をもとに災害発生地点あるいは保全対策地点に流下する流木の量、質等を推定する。

さらに流木の堆積量および形態を推定する。

解説

発生源調査により発生する流倒木の本数、直径、長さ、場所等は予想できるが、これらの流倒木の全てが下流へ流下する訳ではなく、一部の流倒木は斜面上や溪床、溪岸上に残留したり堆積する。溪流沿いのある地点において、それより上流で発生した流倒木の本数を N 、そのうち斜面や溪床、溪岸上に堆積した本数を N_d 、ある地点より下流へ流出する本数を N_f とするとある地点における流木の流出率は N_f/N で表される。ある地点における流木の流出率は、上流区間での土石流や洪水の流量、河床勾配、河幅、狭窄部の有無、河川横断構造物の有無等により変化すると考えられるがこれらを定量的に評価する手法は未だ明らかではない。

ここでは、前述した山形県温海町における流倒木の実態調査結果から、地形要因（河床勾配、谷次数）と流木および土砂の流出率との関係を整理した図－6～9が参考になる。これらの図より変動があるが流木の流出率は土砂に比較して小さく1次谷の出口（河床勾配 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ）付近で $40\sim 48\%$ 、2次谷の出口付近（河床勾配 $5^{\circ}\sim 8^{\circ}$ ）では $4\sim 52\%$ である。溪流により流木流出率の差が大きいのは主として流倒木の発生箇所が上流部か下流部かの違いによるものと考えられる。例えば谷の出口付近での斜面崩壊により流倒木が生産された（西平沢川右支川がこれにあたる）場合には谷の出口での流木流出率は高くなる。このため下流への流出本数を推定するためには、流木の発生源調査において、発生する流倒木の量と質を推定すると同時に流倒木発生源の位置（場所）を推定することも重要である。一般的には発生源からの距離が長くなるに従い流木の流出率は低下する傾向が認められる。

2.3 流木による被害の推定

流下してくる流木の質、量等をもとに保全対象の位置、構造を考慮して保全対象の受ける被害の形態および程度を推定する。これより対策すべき流木の量と質を算定する。

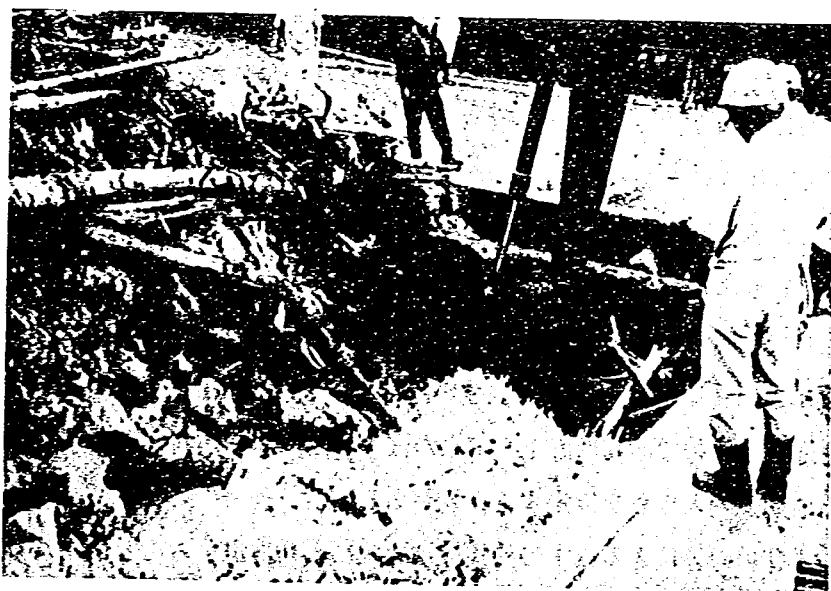
解説

発生源調査、流下、堆積調査によってある地点における流木の流出してくる量や質、時刻を推定したならば次に保全対象とする施設等への被害を推定する必要がある。流木による保全対象への被害が無いが軽微である場合には流木対策は必要ないであろうし、被害が大きい場合には保全対象そのものの構造を変えたり（例えば橋梁の径間を長くする等）、上流域で流木の発生や流下を減少させるような対策をとることとなる。

流木による被害の形態を大きく分類すると、①流木が橋梁やカルバート、水路等に詰まることにより土石流や洪水が河道から溢れて周辺や下流の人家、施設等に被害を与える（写真－1 および2）。

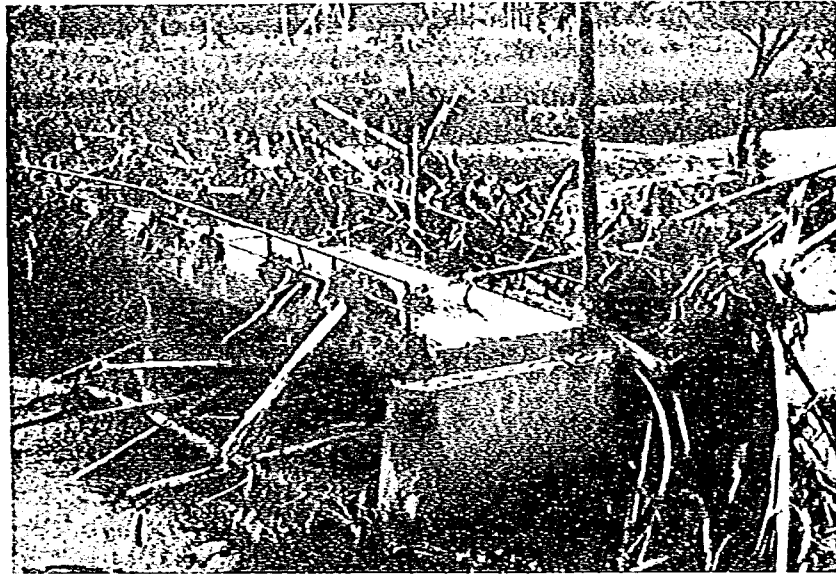


写真一 1 流路に設置された小橋梁（左手中央，長さ約2 m）に流木が詰まって氾濫した土石流と流木（熊本県高森町，白川左支川冬野川，昭和63年5月 熊本県撮影）



写真一 2 土石流とともに流下した流木により閉塞した国道のボックスカルバート（京都府和束町，木津川右支川間垣外川，昭和61年7月 京都府撮影）

②流木が橋梁に詰まって上流で土石流や洪水ダムアップしこれらによる流体圧や水圧により橋梁が押し流される（写真－3）。



写真－3 流木の閉塞による上流でのダムアップにより流失した西奥橋（京都府竹置町，木津川左支川白砂川，昭和61年7月 京都府撮影）

- ③取水堰や放水路の取水口に流木が詰まって取水機能や放水機能を低下させる。
- ④土砂調節を目的とした透過型の砂防ダム等のスリット部を閉塞し土砂の調節機能を低下させる。
- ⑤流木の衝突による衝撃力により河川に設置してある構造物を破壊する。
- ⑥貯水池等に貯まって腐敗し水質や景観を損ねる等がある。

これらのうちでも特に人命等への危険性が高いのは①の被害形態であり，最近でも昭和63年5月の熊本県高森町の冬野川では溪流にかかる小橋梁（長さ約2 m）に流木が詰まって土石流が河道から溢れて人家を襲い人命を奪った例（写真－1）や，昭和63年7月には長岡市を流れる浦瀬川で流木が橋梁を閉塞したために洪水が河道から溢れて付近の住宅を浸水させた例がある。さらに山岳部の道路では小溪流をカルバードで横過している例が多く流木がカルバートを閉塞して土石流や流水が路面を越流し下流側の盛土のり面を浸食して路体を破壊する事例も多い（写真－2）。このような被害の発生を推定するためにはどのような断面の構造物であれば流下して来た流木が閉塞するか判定したり，流木の衝突により構造物に加えられる衝撃力の大きさを推定する必要がある。

流路の狭窄部および橋脚等による流木の捕捉等は次式により推定することができる。

$$\left. \begin{array}{ll} Fr \cdot \theta \leq a_1 \text{ のとき} & T \doteq 1.0 \\ a_1 < Fr \cdot \theta < a_2 \text{ のとき} & T = \log (b / Fr \cdot \theta) \\ a_2 \leq Fr \cdot \theta \text{ のとき} & T \doteq 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで， T は狭窄部および橋脚による流木捕捉率， Fr はフルード数， $\theta = hw^2/d\ell^2$ ， h は狭窄部あるいは橋脚部直上流での水深， w は狭窄部あるいは橋脚の横方向純間隔， d は流木の直径， ℓ は流木の長さ

a_1 , a_2 , b は係数で水路の狭窄部では $a_1=0.1$, $a_2=1.0$, $b=1$ であり橋脚では $a_1=0.8$, $a_2=8$, $b=8$ である。ここで d および l は流木中の最大のものから 5 % 目程度のものを使うと良い。

第 3 節 流木対策施設の計画・設計

3.1 流木対策計画

流木対策には想定された流木による被害を受けないように保全対象を改良する方法と上流域において流木対策を行う方法あるいは両者を併用する方法がある。

解説

流木による被害を軽減あるいは防止する方法には大別すると次の 2 方法がある。

- ① 保全対象を改良する…例えば橋梁において橋脚での閉塞を防ぐために径間を大きくするなど
- ② 上流域における対策…有害な流木が保全対象まで流下してくるのを防止する方法で、これはさらに流倒木の発生を抑止する工法（予防工）と発生した流倒木を溪流や河道の上流域で捕捉し下流への流出を防止する工法（捕捉工）に大別される。

①の方法は保全対象数が極めて少い場合等には有効であるが、溪流沿いに閉塞の可能性がある狭窄部や橋梁等が数多くある場合には②の方法を採用する方が経済的と言える。いずれにしても流木対策施設を計画・設計する際には調査結果を十分に活用し効率的な流木対策施設を設計する。

3.2 保全対象施設の改良計画・設計

流下が予想される流木に対して保全対象が被害を受けないように、保全対象自身を改良したり、移転することも流木対策の一つである。

解説

流下が予想される流木による閉塞や、流木の衝突による被害等が予想される構造物（橋梁、取水堰等）の流木対策としては構造物を改良したり、被害を受けない位置に移転することも対策の一つと言える。

被災例の多い流木による橋脚間やカルバートの閉塞を防止するためには、流木が安全に通過する広さまで橋脚間やカルバート断面を大きくする。必要な橋脚間の幅やカルバートの断面の大きさは第 2 節で示した水路狭窄部あるいは橋脚等による流木の捕捉率を与える式(1)を用いて、流木捕捉率 T が 0 以下となるように多少の安全率を見込んで径間あるいは断面の幅 W を決めると良い。

3.3 流木対策施設の計画・設計

流木対策施設は流倒木の発生を抑止する工法（予防工）と発生した流倒木を溪流や河道で捕捉し下流への流出を防止する工法（捕捉工）に大別できる。一般的には効果の大きな捕捉工を計画するが多い。

解説

予防工としては、流木生産の大きな原因となる山腹崩壊や溪岸浸食を防止するための山腹工、溪岸・溪床固定工などがあるが広い流域内で早急に対策を講じることは困難な場合が多い。このような場合には発生した流倒木が災害発生地点や保全対象地点に達する前に上流の溪流や河道に流木止施設（捕捉工）を設置して有害な流木を捕捉し除去する対策が採用される。

以下では現在最も多く用いられている流木止を主体とした流木捕捉工の計画・設計・維持管理について述べる。

3.4 流木止めの計画、設計

3.4.1 総則（河川砂防技術基準（案）計画編第12章砂防施設計画2，5，9流木止め）

流木の流下の恐れがある場合には、必要に応じて流木止めを設けるものとする。

3.4.2 流木止めの設置位置

流木止めは原則として砂防ダム下流の垂直壁上または、副ダム天端上に設置するものとする。

解説

流木災害を受けた現地調査により、砂防ダム本堤がある程度流木を止める機能を有していることが認められている。したがって問題は、砂防ダム本堤を越えて下流に流出する流木を、いかに捕捉するかである。このため、流木止めは本堤下流の副ダム、または垂直壁に設置することが効果的である。（図17参照）

3.4.3 主ダム上流側に設置する場合の流木止めの設置位置

主ダム上流側に流木止めを設置する場合は流木止めが土砂で閉塞されても流水や土砂が主ダムを安全に流下できる位置および構造とする。

解説

流木止めは原則として主ダム下流の垂直壁や副ダム天端上に設置するものとするが、地形上の制約（河床勾配が急で十分な流木捕捉量が見込めない）や、管理用通路の利便等により止むを得ず主ダム上流側に流木止めを設置せざるを得ない場合がある。

このような場合には、主ダム上流の堆砂地内に流木止めを計画すると砂防ダムの貯砂量や調節量を損ねることがなく、また、既設の砂防ダムにも設置が可能となり好都合である。このような流木止めの形状はたとえば図-15のようになる。

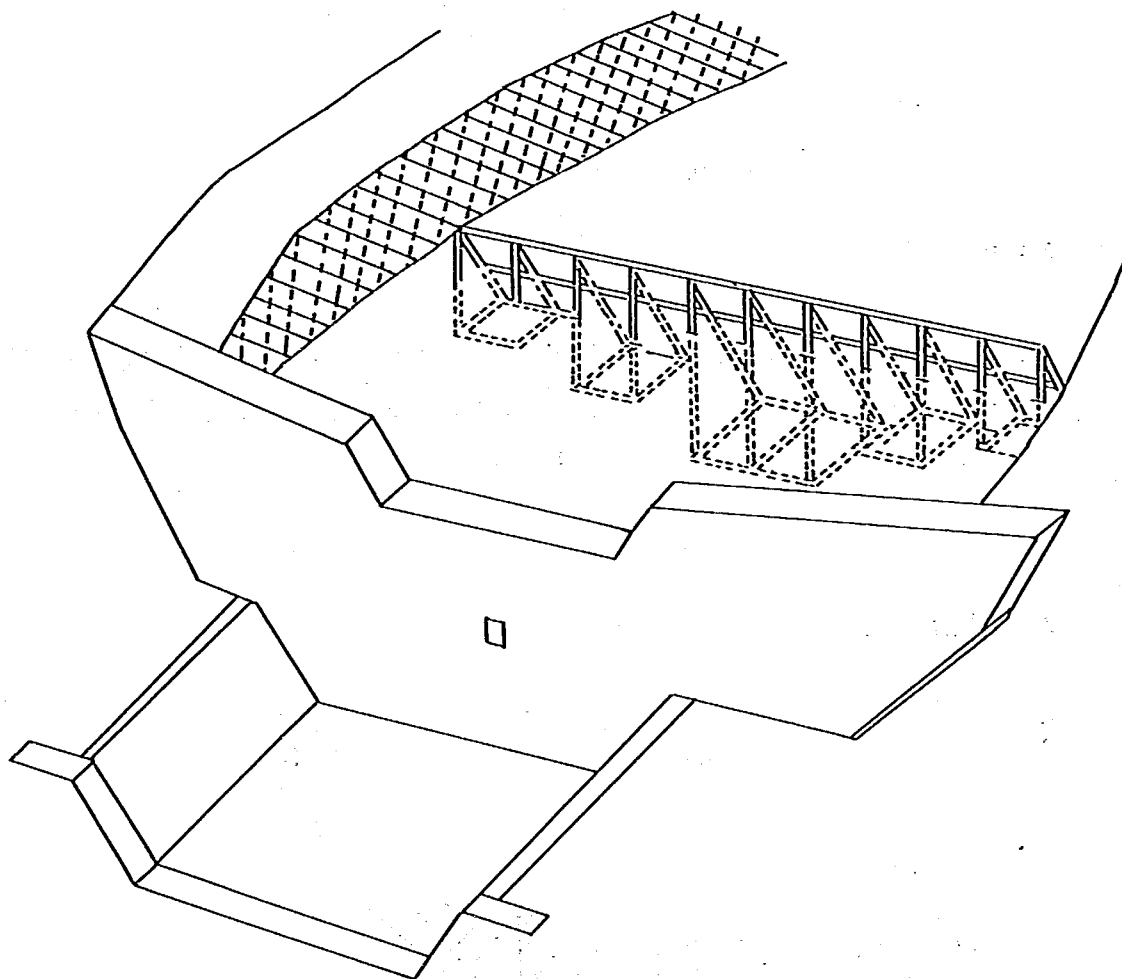


図-15 主ダム上流における流木止めの設置例

このような流木止めに対しては流木止めが土砂で閉塞されて、流水や土砂が流木止めを越流しても（越流水深 Δh を算定する）左右岸の高さや構造が安定であり、越流した流水や土砂が直下流の主ダムを安全に流下できる構造とする。

流木止めの有効高 h は砂防ダムの計画堆砂地盤高より上の高さとする。また、このような流木止めは主ダムの水通し天端上流端から $2(h + \Delta h)$ 以上離して上流側に設置することとするが、極端に上流側に設置すると河床変動量が大きく流木止めの安定や機能を損ねる可能性が高くなるので注意を要する。

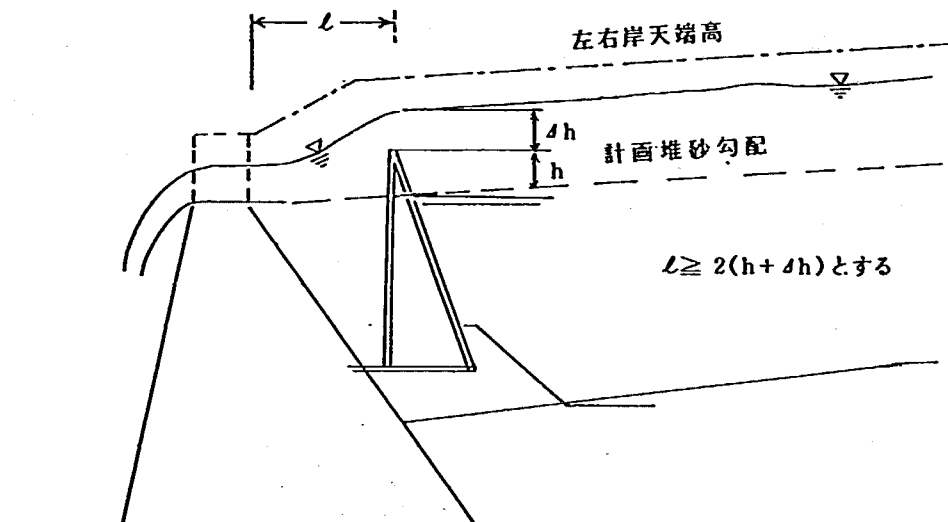


図-16 流木止めが閉塞された場合の検討

3.4.4 流木止めの構造

流木止めは原則として鋼管または形鋼製とし、主に縦の部材をもって流木を捕捉する構造とする。流木の捕捉量を増すため本ダムと流木止めの間は捕捉した流木を除去するための通路を残してできるだけ広くとるのが望ましい。

解説

流木止めの形状はたとえば下図のようになる。

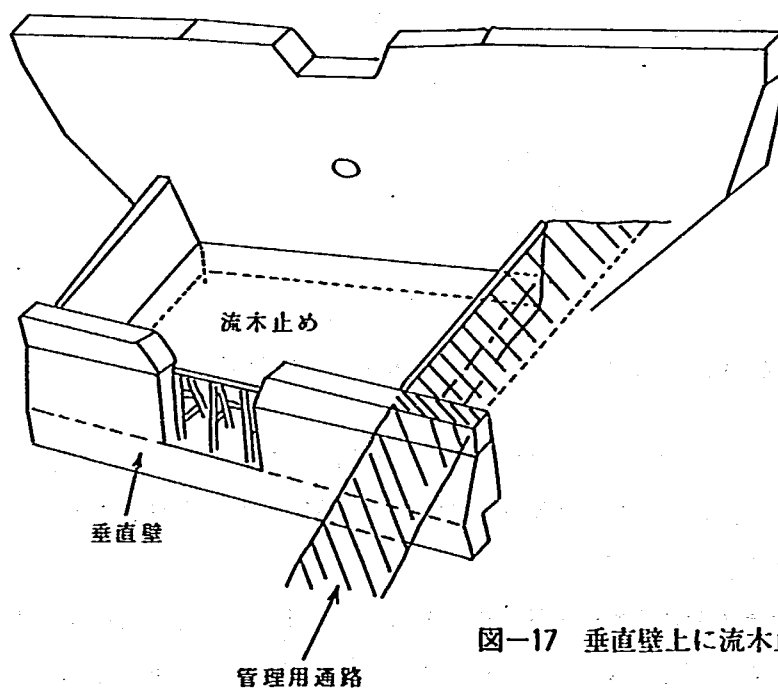


図-17 垂直壁上に流木止めを設置する場合の概念図

垂直壁形式においても副ダム形式においても流木止めの高さだけ側壁、および副ダムの袖部は高くなる。副ダムにおいては原則として設計上必要な副ダムの高さの上に流木止めを設置するが、水理模型実験によって流木止めが副ダムとしての効果を有することが確認された場合は、その分、副ダムの高さを低くしてよい。なお、天端幅が流木止め設置により不足する場合は、増厚するものとする。

流木止め縦の部材の間隔は、流木の代表的な長さの $1/3 \sim 1/2$ 程度とする。流木止めの高さは、周辺の地形等によって制約されると考えられるが $2 \sim 5$ m 程度とする。

3.4.5 流木止め設計時に考慮する外力

流木止め上端まで土砂が堆積した状態を想定し、流木止めについては静水圧を外力として与え、流木止めおよび流木止めを含む構造物全体が安定であるように設計する。

解説

安全率については砂防ダムの安全率を用いる。流木の衝突によって流木止めの破損発生の事例があるような流域においては、必要に応じて補強を行う。

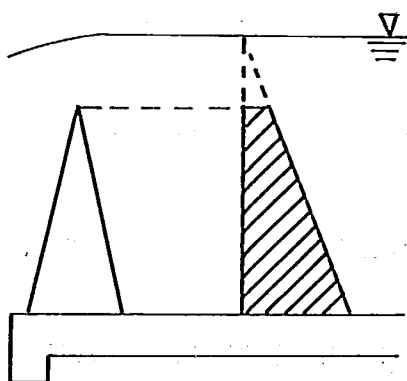


図-18 流木止に作用する外力

第4節 流木対策施設の維持管理

流木対策施設が十分に機能を発揮できるように、定期的あるいは出水の後に、流木対策施設の点検を行い必要な処置を講ずる。特に流木捕捉工に捕捉された流木、土砂、ゴミ等は必要に応じて除去する。

解説

流木対策施設が施工された後は、流木対策施設の維持管理が必要である。流木の主な発生源である上

流域の樹木は年々成長するものであり、さらに人工的な伐採、植林あるいは自然現象である台風、山火事、病虫害の発生によっても林相が変化したり、倒木や枯木が増加する。このため定期的あるいは重大な現象の発生後には流木発生源調査を行い、当初の流木対策計画で十分かどうか検討する。また、流木対策施設についても同様に点検、補修を行い、流木止スクリーン等に流木等が詰まっている場合には取り除く等の処置が必要である。

参 考 文 献

- 1) 瀬尾, 水山, 大場, 上原: 土石流と共に流出する流木の捕捉工に関する実験的研究, 土木技術資料, vol26, No 2, 1984
- 2) 建設省土木研究所砂防研究室: 流木対策を考慮した透過型砂防ダム水理模型実験報告書, 土木研究所資料第2608号, 1988, 3
- 3) 石川芳治, 青木隆典, 西川純一, 福澤 誠: 昭和63年5月熊本県に発生した土砂災害, 土木技術資料第30巻第7号, 1988, 7
- 4) 水山高久, 石川芳治, 栗原淳一, 鈴木浩之: 昭和63年7月の梅雨前線豪雨による広島県の土石流災害, 土木技術資料, 第30巻, 第10号, 1988, 10
- 5) 水山高久, 石川芳治, 矢島重美: 透過型砂防ダムによる流木捕捉効果, 土木技術資料 Vol. 30, No11, 1988
- 6) 石川芳治, 水山高久, 鈴木浩之: 崩壊, 土石流に伴う流木の実態と調査法, 土木技術資料, 第31巻, 第1号, 1989, 1
- 7) 打萩珠男: ひと雨による山腹崩壊について, 新砂防, 第23巻, 第4号, 砂防学会, pp. 21-34, 1971. 5
- 8) 芦田和男, 高橋 保, 沢井健二: 土石流危険度の評価法に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第21号B-2, pp. 423-439, 1978. 4
- 9) 沖村 孝, 中川雅勝: 数値地形モデルのみによる表層崩壊発生位置予知の一手法, 新砂防, 第41巻, 第1号, 砂防学会, pp. 48-55, 1988. 6

流木対策に関する研究報告書

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第2718号

平成元年2月(1989年)

建設省土木研究所 砂防研究室

水山高久、石川芳治

福澤 誠

要旨 本研究は、土石流とともに流下してくる流木を効率的に捕捉できる透過型砂防ダムの設計条件を明らかにするとともに、流木対策施設の計画、設計手法を確立することを目的として室内模型水路を用いて実験を行い得られたデータを解析、考察した。さらに、流木対策のための調査、計画、設計等について「流木対策の手引き(案)」としてまとめた。

キーワード：流木対策、土石流、流木止、手引き(案)



郵便はがき

41円切手
をはって
下さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
砂防部砂防研究室
御中

No. _____

No. _____

土木研究所資料第2718号

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2718 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

土木研究所資料2718号