

土木研究所資料

砂防設備の克雪利用に関する調査報告書

平成3年2月

建設省土木研究所
新潟試験所

「Copyright © (1991) 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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

砂防設備の克雪利用に関する調査報告書

新潟試験所	所	長	下村	忠一	
	主任	研究員	寺田	秀樹*	
	研	究	員	藤澤	和範
	技	官	中島	久男	

* 現：砂防部急傾斜地崩壊研究室主任研究員

要 旨

冬期の積雪地域においては、雪の処理する場の確保が重要な社会問題である。
砂防指定地内に設置される砂防設備及びその空間を有効に利用するために実験及び資料解析を行い、安全に雪を処理する方法についてマニュアル形式に取りまとめたものである。

キーワード：流雪、堆雪、融雪、砂防設備、流路工

はじめに

豪雪地帯対策特別措置法に基づき指定された豪雪地帯は24道府県に及び51.6%の国土面積を占め、そこに2千万人以上の人々が生活している。このような地域においては雪の処理が社会的な問題となっており、雪を捨てる場所の確保及びその安全性が重要になってくる。雪を捨てる場所としては河川空間の利用を要望する声があり、これを実現するためには融雪出水等による洪水等について、その安全性の検討が必要である。

本報告書は積雪地域における砂防設備の克雪利用について調査、計画に資することを目的とするものである。

目 次

1. 総 説	1
1.1 目 的	1
1.2 豪雪地帯の概要	4
1.2.1 地 域	4
1.2.2 積雪の状況	7
1.2.3 融雪洪水の実態	9
1.2.4 克雪の状況	12
2. 調 査	14
2.1 計画対象区域の設定	14
2.2 自然的条件調査	14
2.2.1 気象条件調査	14
2.2.2 流域調査	15
2.3 社会的条件調査	16
2.3.1 沿川状況	16
2.3.2 既存除排雪施設	16
2.3.3 除排雪現況調査	17
2.4 既往災害調査	18
3. 計 画	19
3.1 処理方法	19
3.1.1 対象設備	19
3.1.2 利用形態	21
3.2 対象規模	23
3.2.1 融雪洪水流量	23
(1) 融雪洪水流量	23
(2) 洪水到達時間	24
(3) 平均(換算)雨量強度	25
3.2.2 処理雪量	32
(1) 除排雪量	32
(2) 路上雪量	32
(3) 屋根雪量	33

3.2.3	利用可能流量	35
3.3	施設利用	36
3.3.1	流路工	36
(1)	流雪処理	37
(2)	融雪処理	46
(3)	堆雪処理	49
3.3.2	砂防ダム他	55
	参考文献	56
	モデル地域における検討例	57

図表目次

図-1.1.1	砂防設備の克雪利用目的	2
図-1.1.2	流路工幅別利用目的	3
図-1.2.1	豪雪地帯・特別豪雪地帯指定地域図	4
図-1.2.2	地方別豪雪地帯指定市町村数	4
図-1.2.3	豪雪地帯の面積の割合	5
図-1.2.4	全国人口に占める豪雪地帯人口の割合	6
図-1.2.5	日本における最大積雪深の年平均値 (m)	7
図-1.2.6	年間最深積雪深の推移	8
図-1.2.7	最深積雪値別市町村数	8
図-1.2.8	融雪出水の発生時期	10
図-1.2.9	克雪対策区分図	12
図-3.1.1	砂防設備の克雪利用法 (案)	19
図-3.1.2	利用形態検討フロー	22
図-3.2.1	高度流域面積分布曲線	27
図-3.2.2	月日の進行による雪線高の変化	28
図-3.2.3	融雪区域の面積と高度の関係	29
図-3.2.4	最低気温が負の場合の有効気温分布図	30
図-3.2.5	最低気温が正の場合の有効気温分布図	30
図-3.2.6	有効気温面積一日平均流量	31
図-3.2.7	対象面積と建築面積	34
図-3.2.8	屋根雪排雪率の考え方	34
図-3.2.9	屋根雪排雪率 α の推定	34

図-3.2.10	流域面積と比流量	35
図-3.3.1	投入口一箇所当りの人力投入歩掛り	38
図-3.3.2	勾配、雪質による流雪係数の関係	40
図-3.3.3	流量と投雪量	42
図-3.3.4	流雪溝の流速と水深	44
図-3.3.5	複断面流路工内への着雪状況	45
図-3.3.6	冬期の河川水温	46
図-3.3.7	河川除雪の一例	50
図-3.3.8	側水路付き流路工	51
図-3.3.9	埋塞状況	52
図-3.3.10	流量算出モデル	54

表-1.1.1	砂防設備の克雪利用目的	2
表-1.2.1	豪雪地帯道府県別市町村数	5
表-1.2.2	融雪洪水発生の要因	9
表-1.2.3	出水過程	11
表-3.2.1	日本内地河川の流出係数 f (物部)	24
表-3.2.2	山腹流下時間	24
表-3.2.3	新積雪の密度	33
表-3.3.1	流雪溝の処理能力 (米沢市 国道121号線流雪溝)	40

1. 総 説

1.1 目 的

本指針（案）は、豪雪地帯における砂防設備の、克雪利用のための、調査・計画・設計・管理運営に資することを目的とする。

解 説

豪雪地帯においては、融雪時の出水や雪崩にともなう土砂流出対策は、地域住民にとって重要な克雪対策の一環である。

河道の安定、渓流の侵食防止等のために実施している流路工の工事において、流雪溝の機能を持たせた除雪・排雪機能を促進させている雪対策モデル事業（昭和62年度より実施）を拡充し、雪崩発生にともなう土砂の流出に対しても、その防止を計る砂防ダムを併せて実施する雪対策砂防事業が創設され、豪雪地帯における砂防事業を防災上、住民利便上の観点から総合的・包括的に実施されるようになってきた。本指針は、積雪地帯における砂防設備の、克雪利用のための、調査・計画・設計・管理運営に資することを目的とするものである。

参考として、砂防設備の克雪利用実態⁽¹⁾をみると、昭和63年度に、北海道・東北・北陸地方を対象におこなった、流域面積100 (km²) 以下程度の砂防設備に関する克雪利用の実態調査（アンケート形式）によれば、表-1.1.1に示すように、流雪処理に用いられている例

が92件（67.6%）と最も多く、続いて取水目的・堆雪目的で利用されている。

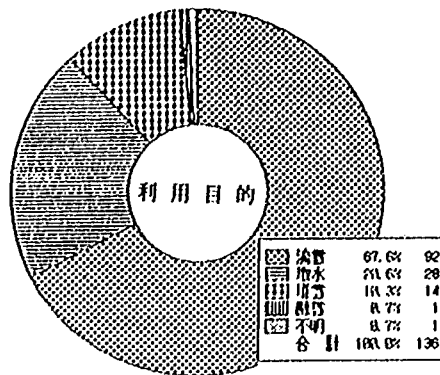


図-1.1.1 砂防設備の克雪利用目的

出典：建設省土木研究所新潟試験所，1989：流雪流路工のマニュアル作成に関する調査

表-1.1.1 設備別の克雪利用目的

	流雪	取水	堆雪	融雪	計
流路工	73	16	14	1	104
ダム工	—	11	—	—	11
護岸工	19	—	—	—	19
床固工	—	1	—	—	1
計	92	28	14	1	135

出典：建設省土木研究所新潟試験所，1989：流雪流路工のマニュアル作成に関する調査

設備別の利用目的では、流路工を利用した流雪処理方法が、73例と最も一般的に用いられている方法である。

その他の流路工の利用方法としては、取水設備、および堆雪設備として利用している例がみられ、取水設備としての利用方法は、砂防ダム工、床固工にも採用されている。

次に、流路工の利用方法として、流路工規模（流路工幅）に着目して、流路工幅別の利用目的を表したのが、図-1.1.2である。これによると流路工幅が3（m）以下の小規模なものについては、流雪処理施設として活用されるが、流路工幅が増す毎に、堆雪処理施設と

しての活用例が増加する傾向にある。

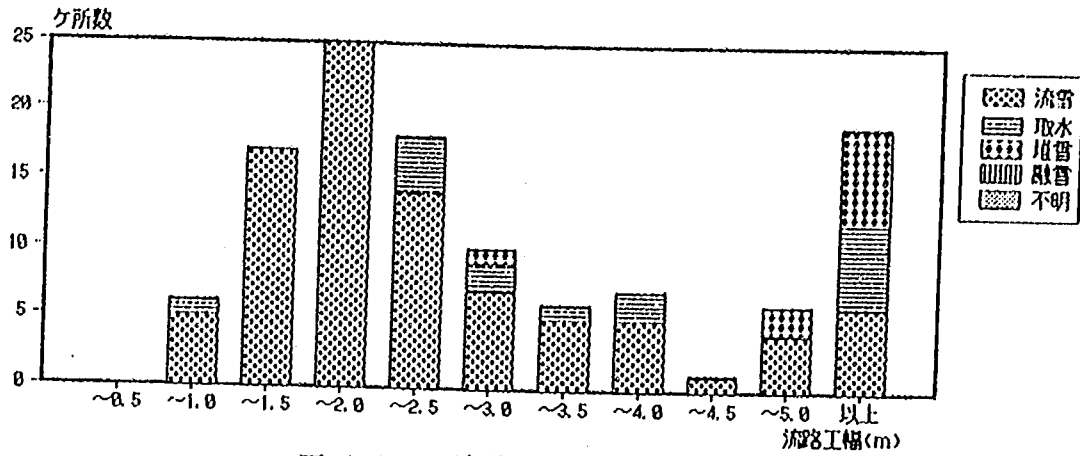


図-1.1.2 流路工幅別利用目的

出典：建設省土木研究所新潟試験所，1989：流雪流路工のマニュアル作成に関する調査

流路工の活用法としては、複断面にして水深を確保し、雪による埋没を防いだり、流雪処理に活用している例がある。（新潟県十日町市晒川）

1.2 豪雪地帯の概要

1.2.1 地域

現在、「豪雪地帯」は市町村総数の約 3割を占め、そのうち「特別豪雪地帯」は、全豪雪地帯市町村数の約 3割を占めている。

解説⁽²⁾

「豪雪地帯」は、「豪雪地帯対策特別措置法」(昭和37年法律第73号)に基づき指定された地域である。

豪雪地帯は、同法の制令により、累年平均積算値 5,000 (cm・day) 以上(すなわち、毎日の積雪量の30年以上の平均値の一冬の累計が 5,000 (cm) 以上)の地域で一定の条件を満たしている道府県または市町村について指定が行われている。現在、豪雪地帯は表-1.2.1に示すように、10道県が全域指定、14府県が一部市町村単位で指定されており、合計指定市町村数は 966 (150市、816町村)で、市町村総数の約 3割を占めている。「特別豪雪地帯」は、豪雪地帯のうち、積雪量が特に多く、積雪により自動車交通が途絶するなど、住民生活に著しい支障を生ずる地域について特別な施策を講じる必要があるため、昭和45年に制度化されたものである。特別豪雪地帯は、昭和62年12月現在、280 (37市、243町村)の市町村が指定されており、全豪雪地帯市町村数の約 3割を占めている。

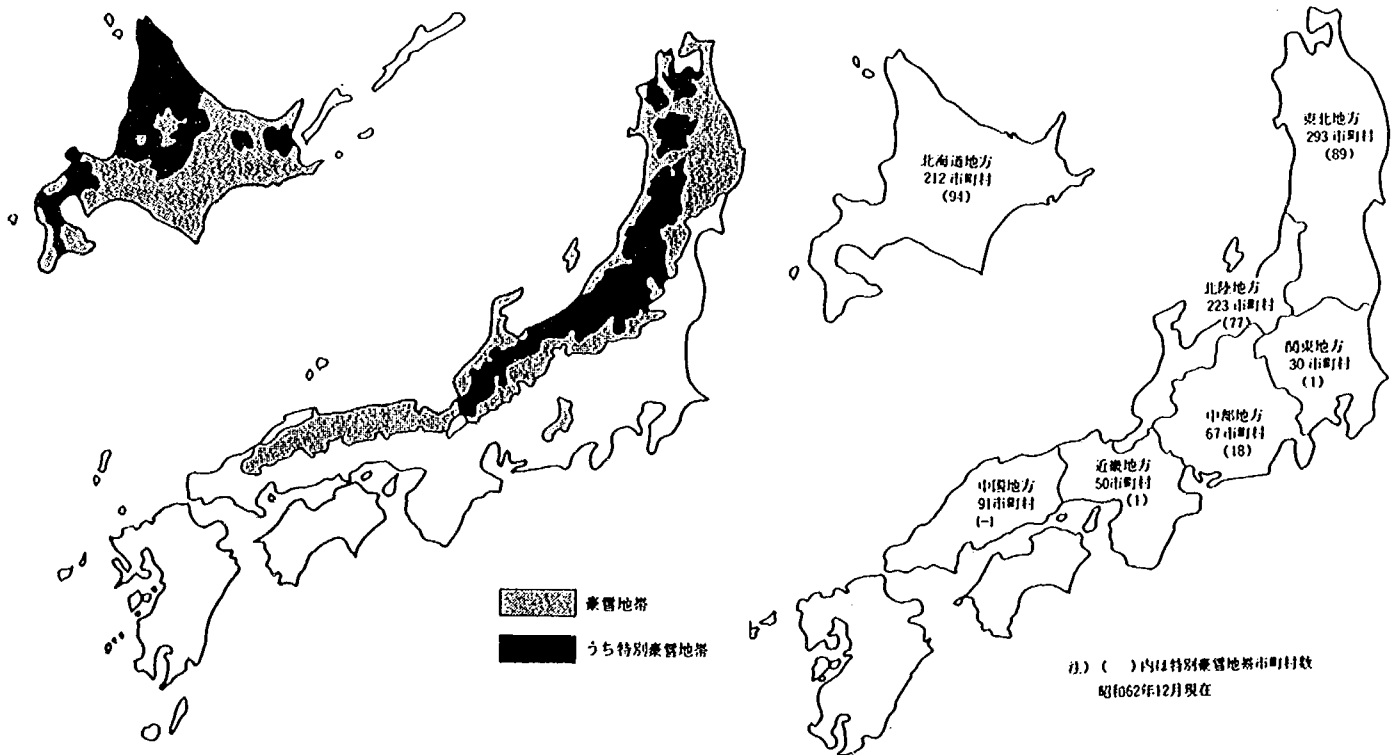


図-1.2.1 豪雪地帯・特別豪雪地帯指定地域図

図-1.2.2 地方別豪雪地帯指定市町村数

出典：国土庁地方振興局，1988：豪雪地帯の現状と対策

表-1.2.1 豪雪地帯道府県別市町村数

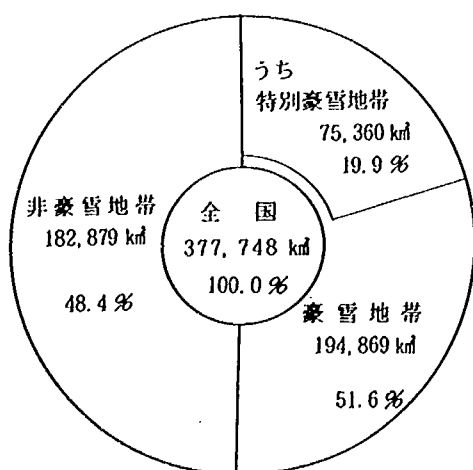
道府県名	全市町 村数	豪 雪 地 帯				うち特別豪雪地帯			
		計	市	町	村	計	市	町	村
北海道	*212	212	32	155	25	94	13	65	16
青森県	*67	67	8	34	25	15	3	8	4
岩手県	*62	62	13	31	18	3	-	1	2
宮城県	74	20	2	16	2	1	-	1	-
秋田県	*69	69	9	49	11	24	2	16	6
山形県	*44	44	13	27	4	28	7	17	4
福島県	90	31	4	15	12	18	-	10	8
栃木県	49	6	2	3	1	-	-	-	-
群馬県	70	24	2	9	13	1	-	-	1
新潟県	*112	112	20	55	27	53	9	25	19
富山県	*35	35	9	18	8	13	-	8	5
石川県	*41	41	8	27	6	6	-	1	5
福井県	*35	35	7	22	6	5	2	2	1
山梨県	64	2	-	1	1	-	-	-	-
長野県	121	31	6	6	19	11	1	2	8
岐阜県	100	32	1	9	22	7	-	1	6
静岡県	75	2	1	1	-	-	-	-	-
滋賀県	50	11	2	8	1	1	-	1	-
京都府	44	17	4	13	-	-	-	-	-
兵庫県	91	22	1	21	-	-	-	-	-
鳥取県	*39	39	4	31	4	-	-	-	-
島根県	59	15	-	12	3	-	-	-	-
岡山県	78	21	2	9	10	-	-	-	-
広島県	86	16	-	12	4	-	-	-	-
計	1,767	966	150	584	232	280	37	158	85

(注) 1. *は、全域豪雪地帯の道県である。
2. 昭和62年12月末現在。

出典：国土庁地方振興局，1988：豪雪地帯の現状と対策

地方別の豪雪地帯指定市町村数を見ると、図-1.2.2に示すように、東北地方が最も多く、293市町村、次いで北陸地方（223）、北海道地方（212）の順である。

一方、特別豪雪地帯指定市町村数は、北海道地方が94市町村で最も多く、次いで東北地方（89）、北陸地方（77）の順となっている。中国地方には特別豪雪地帯指定市町村が無く、近畿地方、関東地方も各1町村にすぎない。



(注) 全国値は「全国都道府県市町村別面積調」による。

図-1.2.3 豪雪地帯の面積の割合

出典：国土庁地方振興局，1988：豪雪地帯の現状と対策

次に、豪雪地帯を面積的にみると、豪雪地帯の面積は、図-1.2.3にしめすように194,869 (km²) であり、わが国の総面積377,748 (km²) の51.6 (%) を占め、また、特別豪雪地帯の面積は、75,360 (km²) であり、わが国総面積の19.9 (%)、豪雪地帯面積の38.7 (%) を占めている。

豪雪地帯の人口は、昭和60年国勢調査 (昭和60年10月1日) によれば、21,287 (千人) であり、わが国の総人口 121,049 (千人) に占める割合は、17.6 (%) である。また、特別豪雪地帯の人口は、3,862 (千人) で、全国人口の3.2 (%)、豪雪地帯人口の18.1 (%) を占める。このため人口密度は、全国平均の人口密度が320.4 (人/km²) であるのに対し、豪雪地帯では109.2 (人/km²)、特別豪雪地帯では51.2 (人/km²) と大きな開きがある。

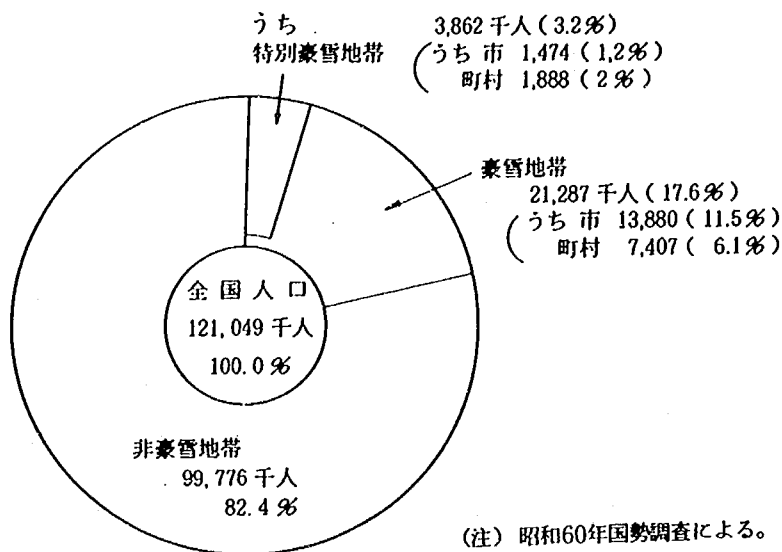


図-1.2.4 全国人口に占める豪雪地帯人口の割合
出典：国土庁地方振興局，1988：豪雪地帯の現状と対策

1.2.2 積雪の状況

南北に細長く位置し、脊梁山脈によって東西に隔てられているわが国では、積雪の分布が大いに異なる。また、積雪量は、年度による較差も大きい。

解説⁽³⁾

図-1.2.5は、最大積雪深の年平均を示したものであるが、新潟県の5(m)を最大とし、九州の南端では0(m)と、その較差は5(m)にも及ぶようにわが国では積雪の分布が大いに異なる。

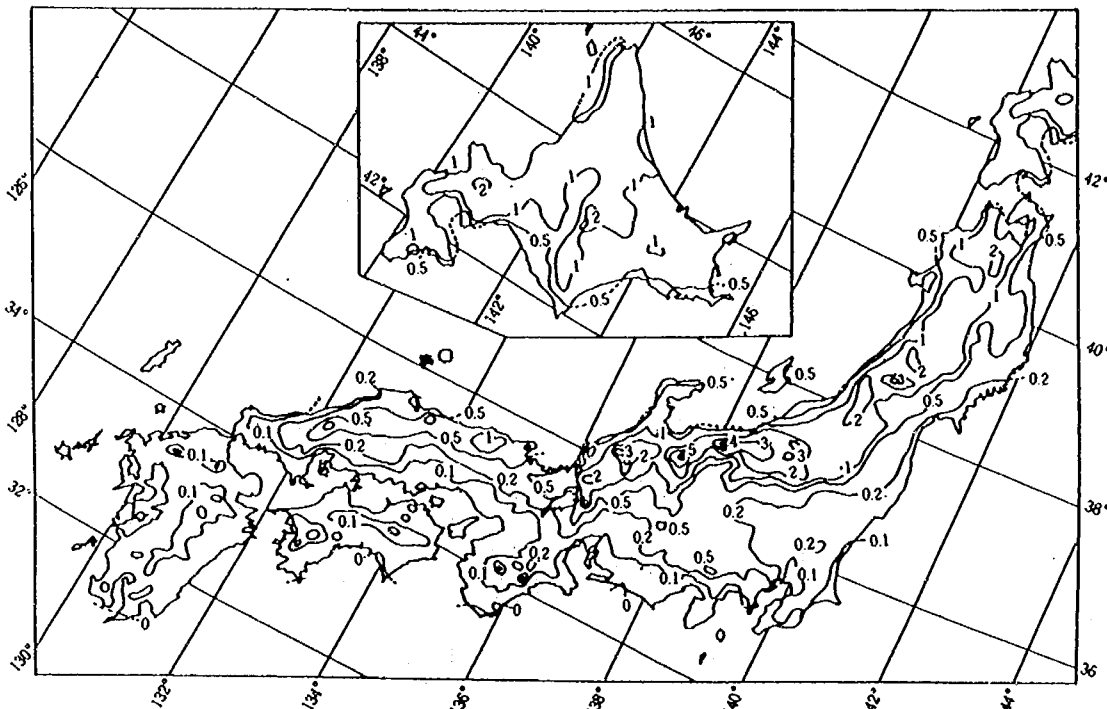


図-1.2.5 日本における最大積雪深の年平均値(m)：約1930年～1945年
出典：高橋 博、中村 勉，1986：雪氷防災

次に、年最深積雪深について、昭和57～58年冬期から60年～61年冬期について推移を見ると、図-1.2.6に示すように、豪雪地帯・特別豪雪地帯地帯とも年度別の較差が大きいことがうかがえる。また、同図より県別の特徴を見ると、北海道では60年～61年に過去最高の積雪量を示し、年度較差が少ないのに対し、鳥取県では60年～61年に最低の積雪深を示し、一方58年～59年には57年～58年の2倍を越える積雪深を示しているなど、積雪状況に地方較差が大きいことがうかがえる。

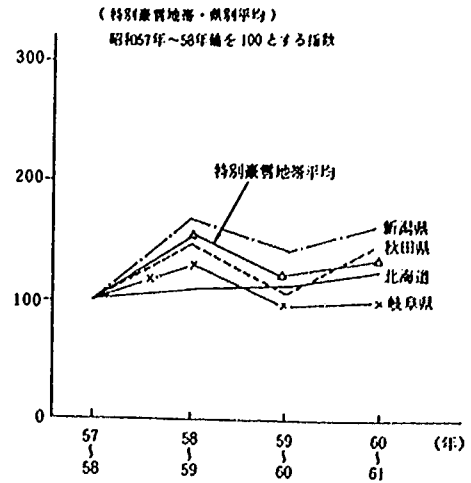
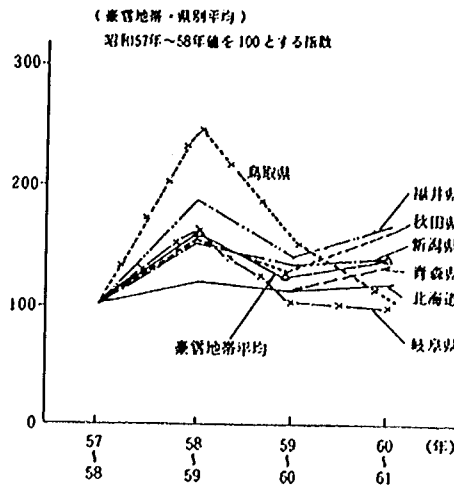


図-1.2.6 年間最深積雪深の推移
出典：国土庁地方振興局，1988：豪雪地帯の現状と対策

さらに最近20年間における最深積雪値別市町村数の状況を図-1.2.7に示す。

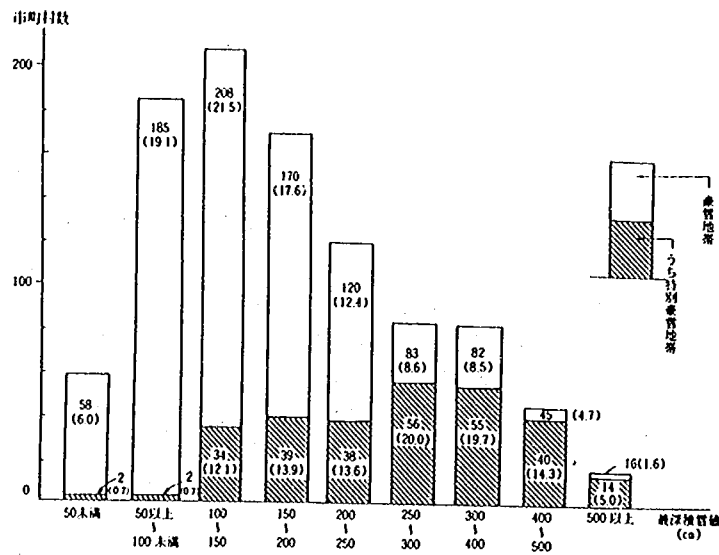


図-1.2.7 最深積雪値別市町村数 (最近20年間におけるもの)
出典：国土庁地方振興局，1988：豪雪地帯の現状と対策

これより、豪雪地帯については、最深積雪深 100 (cm) ~ 150 (cm) の市町村が最も多く、208市町村で21.5 (%)である。また、200 (cm) 以上の積雪を記録した市町村は 346市町村の35.8 (%)となっており、なかには500 (cm) 以上を記録したところもある。

特別豪雪地帯では、200 (cm) 以上の積雪のあった市町村は 203市町村で、72.5 (%)となっている。

1.2.3 融雪洪水の実態

融雪洪水とは、融雪期において融雪水の河川への流出が増加し発生する洪水で、大雨による洪水に比べると流量は少ないが、出水の継続日数が長いことが特徴である。

融雪洪水は、出水期間中に降雨があった場合や、川を覆っていた積雪・河岸の積雪などが河床に落下したり、人為的に投下した雪によって川をせき止められた場合に発生し易い。

解説

新潟県内において、昭和56～平成元年の間に発生した冬期間洪水による⁽⁴⁾被害状況資料（総発生件数：37件）から、冬期間洪水の発生要因は、表-1.2.2に示すように「人為的要因」「構造的要因」「自然的要因」の3種類に大別される。

表-1.2.2 融雪洪水発生要因

	内 容	備 考
人為的要因	・ 河道への投雪過多荷より河道が埋塞した。	疎通能力の低下
構造的要因	・ 橋台、橋脚等により、雪塊の流下が妨げられ、流路が埋塞した。 ・ 河道の湾曲部で雪塊が停滞し、流路が埋塞した。	疎通能力の低下
自然的要因	・ 雪崩によって、河道が埋塞した。 ・ 流水不足と積雪の増加によって、河道が埋塞した。 ・ 気温の上昇、降雨、風によって、融雪が促進され、流量が急増した。	疎通能力の低下 融雪の促進 (流量増加)

出典：建設省土木研究所新潟試験所，1990：流雪流路工に関する調査

これより、融雪洪水は、気温の上昇、降雨によって融雪が促進された場合に加えて、流路の疎通能力が低下することによって発生するものと考えられる。

次に、刈谷田川ダム（新潟県栃尾市栃堀）における、昭和59年12月～昭和60年4月の流量観測結果から、融雪出水の発生パターンを図示すると、図-1.2.8のようになる。

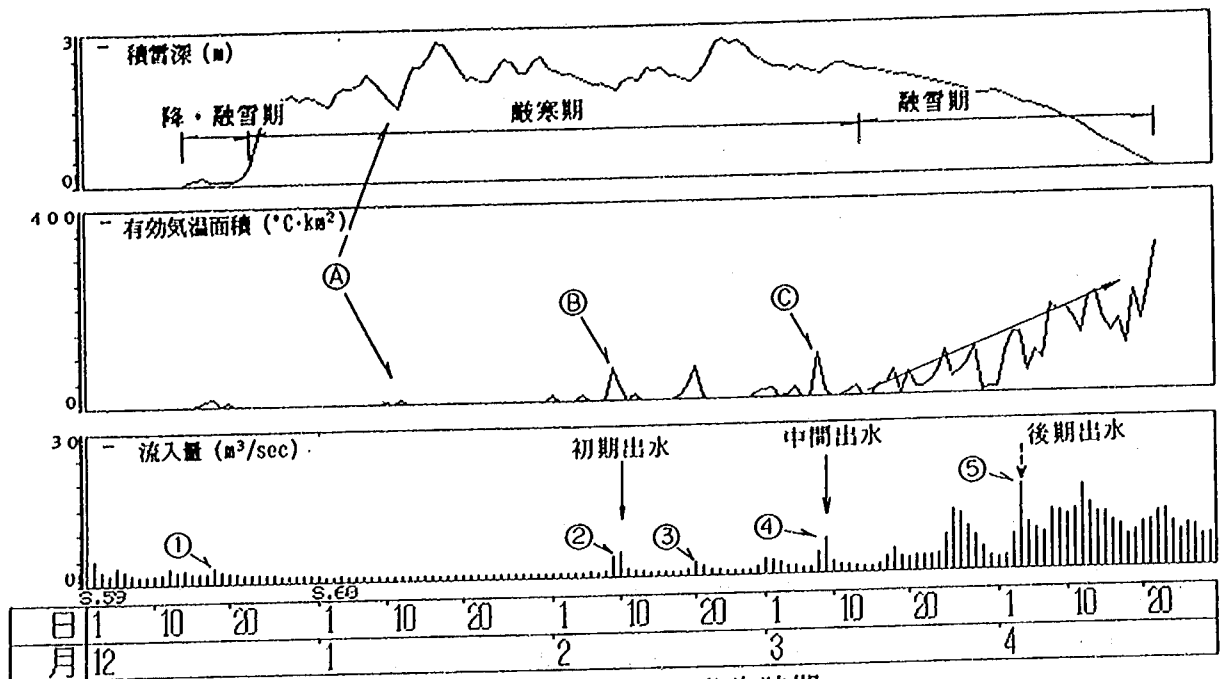


図-1.2.8 融雪出水の発生時期
 出典：建設省土木研究所新潟試験所，1990：流雪流路工に関する調査

図-1.2.8における冬期間の積雪状況、河道状況、ならびに出水状況を要約すると、表-1.2.3のようになる。

これより、融雪洪水の種類としては、積雪等によって河道断面が縮小されることが主な要因となって発生する比較的小規模の洪水（初期、中期）と、融雪のピーク時に流量増加によって発生する大規模な洪水（後期）の2つに区分することができる。

表-1.2.3 出水過程

		積雪状況	河道状況	出水状況	出水のタイプ
降雪初期 (初冬)		積雪が根雪になる以前の状態で、降雪、融雪を繰り返す。	根雪とならないため、河道は常に確保されている。	降った雪が直ちに流出するため、絶対量は少ない。	
厳寒期 (増雪期)		積雪が増加・維持する期間。雪自体の荷重、および気温の緩み A により積雪の密度が増加する。	積雪の増加、流量の減少にともない河道断面は縮小する。 加えて、河道への投雪によって、河道が閉塞することがある。	厳寒期中の第 1 回目の気温上昇時②に融雪洪水が多発している。出水量は多くはないことから、積雪によって河道断面が縮小していることが原因と考えられる。 第 1 回目の出水により、河道断面が回復するため同規模での出水③での洪水発生例は少ない。	初期出水
融雪期	初期	気温も徐々に増加し、融雪期にはいる段階。ゆるやかに積雪が減少し、雪質も融け易いザラメ質に変化する。	初期出水により形成された河道断面は、ほぼ確保されていると考えられるが、以降の降雪、なだれ、投雪によって一部で断面の縮小がみられる。	融雪の初期段階で、初期出水より大規模の出水が発生した場合④、洪水となる例が多い。 以降は、融雪により河道断面が拡大するため、より大きな出水が発生しても洪水となる例は少ない。	中間出水
	後期	高気温、降雨により、融雪の最盛期。積雪の減少は極めて早い。	河道はほぼ原形に復元していると考えられる。	融雪による出水に加え、多量の降雨があった場合に発生することが多い洪水で、大河川に多くみられる。規模が大きいたことが特徴である。⑤	後期出水

1.2.4 克雪の状況

現在、一般に用いられている克雪対策は、「融雪・除雪」方式の二つに大別され、除雪方式については、「堆雪、運搬（排雪・流雪）、消雪」に細分される。

解 説⁽⁵⁾

道路上の雪、および屋根から道路上に降ろした雪を主たる対象として、現在比較的普及している克雪対策を分類すると、図-1.2.9のようになる。

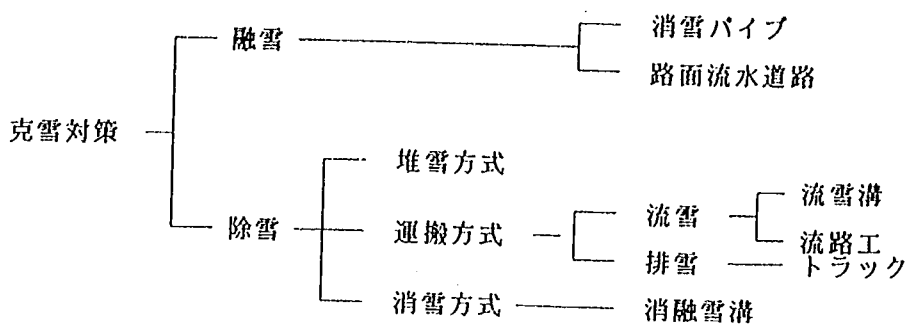


図-1.2.9 克雪対策区分図

現在、最も一般的な克雪対策は、道路側帯などに堆雪させる堆雪方式である。この方法の費用は、除雪機械の運転・維持費が主体であり、経費的に最も安い。しかし、雪を堆積する空間を確保できないところでは、その他の方法に依存せざるを得ない。特に、市街家屋連担部では、堆雪方法は交通を犠牲にしない限り採用しにくい方法である。

この堆雪方式に次いで一般的な方法は消雪パイプ方式である。この方式は、地下水を汲み上げ、道路上や屋根上に散布して融雪する方法である。しかし、この方式には、地下水枯渇、地盤沈下、高額な維持管理費などの欠点があり、現状ではこの方式を増設するよりはむしろ縮小する方向にある。

次いで、よく実施されているのが運搬方式である。そのうちトラック運搬は、費用が高くなるため、堆雪スペースの限界状態に足してから排雪される。流雪溝方式は、道路の側溝等に水を流し、その流水の力で投入された雪を運搬する方法である。この方式の運搬能力はトラック運搬に比べ圧倒的に高く、流水があるかぎり常時排雪が可能であることである。しかし、流雪溝には、流水量が少ないと投入された雪を流しきることが出来ず、水路を閉塞して溢水害を起こすという弊害がある。

路面流水道路とは、山間部で沢水や湧水を、横断勾配が平らな道路に薄層流として流し、降ってきた雪をそのまま融解・流送するものである。この方法は、自動車走行にともなう飛沫があるため、歩行者の少ない山間道路でしか採用できず、必ずしも一般的な方法とはなり得ないものである。

消融雪溝は、地表水の持つわずかな熱エネルギーを効率的に利用して雪を融かす方法である。

2. 調 査

2.1 計画対象区域の設定

計画対象区域は、基礎的調査結果を踏まえた上で、砂防計画にのっとり設定しなければならない。

解 説

計画対象区域を設定するにあたっては、次にあげる基礎的調査の結果等を勘案して定めなければならない。

- (1) 自然的条件調査
- (2) 社会的条件調査
- (3) 災害事例調査

2.2 自然的条件調査

2.2.1 気象条件調査

気象特性の調査項目は次の通りである。

- (1) 気 温
- (2) 降雨量
- (3) 降雪深および積雪深

解 説

気象特性は、雪処理計画を規定する事項であり、過去のデータを調査する。

気温、積雪量、および降雨量は、融雪洪水の規模を推定する上で重要であり、融雪期の最低・最高気温、ならびに降雨量は調査する必要がある。

降雪深、および積雪深は、処理雪量を把握するために必要であり、処理雪量を確率評価するのに必要なだけの積雪深および降雪深を調査する必要がある。

2.2.2 流域調査

流域調査の調査項目は、次の通りである。

- (1) 地形調査
- (2) 土砂調査
- (3) 流末調査
- (4) 冬期水文調査

解 説

地形調査は、流域面積、地形勾配等を調べ、従来の砂防計画を立案する目的と、雪崩等によって砂防設備が埋没したり、破損する危険性のある箇所を抽出する。

土砂調査は、流出する土砂量、粒径を調査し、克雪利用する砂防設備の計画、管理運営上、十分把握しておく必要がある。

流末調査は、流路工の場合、流末となるのは主に河川となるが、河川との合流地点には雪の混入した低温の流水が到達するため、流末河川の冬期渇水状況や、結氷の有無、川幅、水深、勾配、流速等について十分調査しなければならない。

冬期水文調査は、流雪・融雪処理に用いる場合の処理可能雪量の算定に用いるために、利用できる流量を把握しなければならない。また、水温調査についても融雪処理可能雪量を算定するために、期待できる水温を把握しなければならない。

2.3 社会的条件調査

2.3.1 沿川状況

沿川状況としては、家屋の連担状況や、用途地域等を調査する。

解説

沿川状況の調査項目としては、次のものがあげられる。

- ① 住区区分
- ② 家屋連担率
- ③ 建設物用途別現況
- ④ 建築率
- ⑤ 空き地現況
- ⑥ 屋根面積
- ⑦ 運搬距離

2.3.2 既存除排雪施設

計画河川が、既存の流雪溝等の流末施設として利用されている場合があるので、周辺の除排雪施設について調査する。

解説

施設調査は、対象区域に既に流雪溝や他の融雪施設等が設置されている場合には、それらの既存施設を詳しく調査しておかなければならない。

2.3.3 除排雪現況調査

除排雪現況調査としては、計画対象区域の道路、および屋根雪処理手段の現況を調査する。

解 説

道路、および屋根雪排雪手段の現況を調査し、区域内の除排雪体制を把握すると共に、その区域における除排雪計画の基本方針、および除排雪路線区分別排雪目標等を調査する。調査内容としては、次の項目があげられる。

- (1) 除排雪手段
- (2) 除排雪量
- (3) 管理体制
- (4) 問題点
- (5) 地元の要望

(1) (2) については、計画対象区間における処理方法・処理雪量を決定する上で重要となるため、把握しておく必要がある。

(3) については、今後の管理運営計画の立案を容易にするため、地元住民で構成される管理組合等の有無を調査しておく。

また、地元の要望をできるだけ計画に取り込めるよう、調査する必要がある。

2.4 既往災害調査

過去に、融雪洪水が発生した流域については、次の項目を調査する。

- (1) 発生日時
- (2) 発生位置
- (3) 被害状況
- (4) 発生原因

解 説

過去に融雪洪水が発生した流域については、発生日時、場所、被害状況、原因などを調査する。発生原因調査の中では、災害発生時の気象状況や、流路の埋没原因なども調査する。もし、同流域に流量観測所等があり、洪水の規模が詳しく調査できる場合は、併せて調査する。

3. 計画

3.1 処理方法

3.1.1 対象設備

砂防設備の克雪利用形態としては、流雪・堆雪・融雪・取水目的に区分される。

解説

砂防設備の克雪利用形態としては、図-3.1.1に示すように、流雪・堆雪・融雪・取水といった目的に対し、種々の利用法が考えられる。計画にあつたつては、処理雪量、使用可能流量、運搬方法、管理体制等を考慮し、計画地域に適した方法を採用しなければならない。

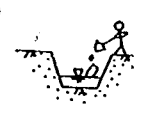



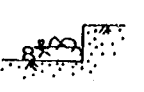
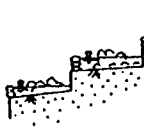
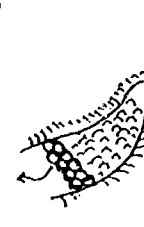
	砂防ダム	沈砂池	落差工	流路工
流雪	—	—	—	①  ①通常断面での処理 ②  ②複断面化して処理
融雪	 ①貯留水を利用した融雪処理。	・①沈砂池を融雪プール化。	①  ②  ①ウォータークッション利用の融雪処理 ②仮設構造物でのウォータークッション化	①  ①仮設構造物による流路のプール化。 ②  ②河川をせきとめた「河川プール」を利用した融雪池。

図-3.1.1 砂防設備の克雪利用法(案)
 出典：建設省土木研究所新潟試験所，1989：流雪流路工に関する調査







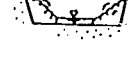
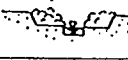

	砂防ダム	沈砂池	落差工	流路工
堆雪	 <p>①堆砂域を利用した管ダム</p>	 <p>①沈砂域を利用した管ダム</p>	—	<p>①</p>  <p>①階段式護岸 夏期は親水広場。 冬期は階段部を過水断面として確保し、堆雪利用。</p> <p>②</p>  <p>②復断面化により過水路を確保し堆雪利用。</p> 
堆雪	—	—	—	<p>③</p>  <p>③仮設構造物による復断面化。</p>  <p>④長大流路幅、及び高・低水敷を有す流路で、洪水断面を確保した上での堆雪処理。</p> 
取水	①下流の克雪利用水の取水。	—	<p>①</p>  <p>①下流の復断面水路への取水。</p>	—

図-3.1.1 砂防設備の克雪利用法(案)
 出典：建設省土木研究所新潟試験所，1989：流雪流路工に関する調査

3.1.2 利用形態

設備の克雪利用形態は、利用可能設備・利用可能流量・処理雪量等から総合的に判断して決定する。

解 説

主として設備構造と利用可能流量から、適する雪処理形態が決定される。そこに、対象地域の積雪深や、とられる排雪方法などを加味して、図-3.1.2に示すフローに沿って、雪処理形態を決定する。

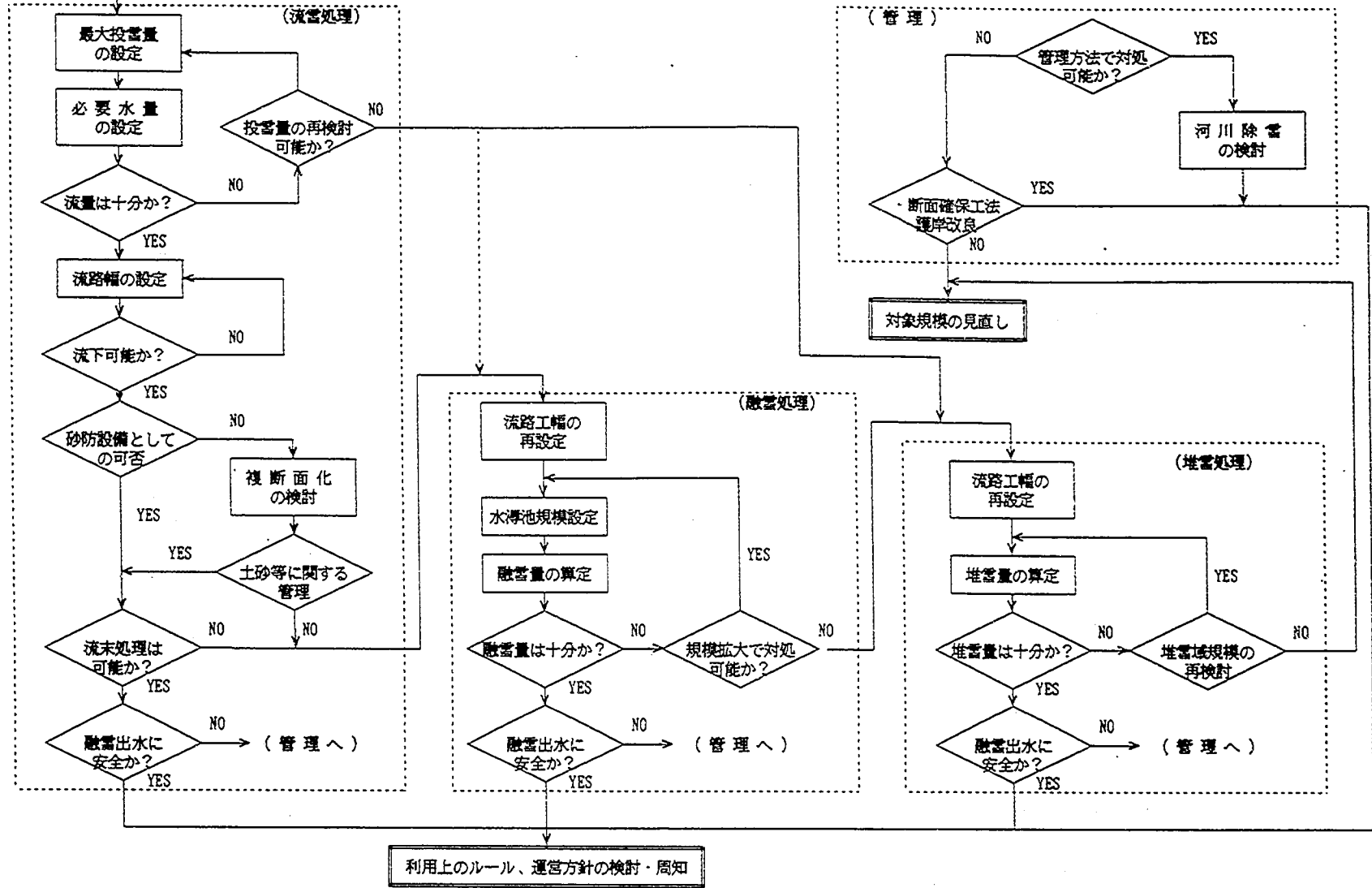
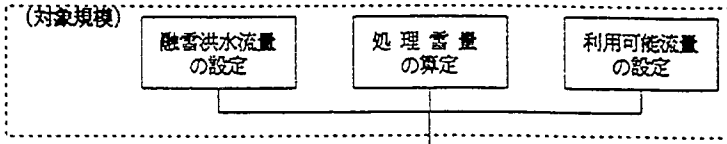


図-3.1.2 利用形態検討フロー

3.2 対象規模

3.2.1 融雪洪水流量

計画の対象とする融雪洪水流量は、気温、降雨量、ならびに積雪深の推移によってもとまる洪水流量のうち、何れか大きい流量を採用する。

解説

1.2.3で述べたように、融雪洪水には融雪初期におこる比較的小規模なもの、融雪の最盛期に発生する大規模なものに二分される。後者の場合は、河川断面の拡大や、貯水ダムといった大規模な対策が必要となるため、計画にあたっては、対象とする洪水を明確にする必要がある。

気象条件から融雪量⁽⁶⁾を推定する方法としては、①熱収支法 ②空気力学的方法 ③気温日数法の3種が提唱されているが、①、②の方法については、放射、気温、湿度、風速などを全流域にわたって正確に求めることが困難であり、適用しにくい場合が多い。そのため、ここでは現在最も一般的に用いられている③の気温日数法を採用する。

一方、積雪の減少が全て融雪によるものと仮定した場合、日々の積雪深の推移から融雪量を算定することができる。

なお、融雪洪水には降雨を伴うものが多いが、降雨と融雪量の関係が特定できないため、降雨量は全て融雪量に置き換えて考える。

計画にあたっては、気温日数法、積雪深の推移、および降雨量から独自にもとまる洪水流量のうち、何れか大きい流量を採用する。

(1) 融雪洪水流量

洪水流量の算定には、ラシヨナル式を用いる。

$$Q = Q' \cdot (1 + \alpha) \dots\dots\dots (3.2.1)$$

$$Q' = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot \gamma \cdot A \dots\dots\dots (3.2.2)$$

ここに、

Q : 洪水流量 (m³/sec)

Q' : ラシヨナル式によってもとまるピーク流量 (m³/sec)

- α : 土砂混入率
- γ : 洪水到達時間内の平均(換算)雨量強度 (mm/h)
- A : 流域面積 (km²)

表-3.2.1 日本内地河川の流出係数 f (物部)

急峻な山地	0.75 ~ 0.90
三紀層山岳	0.70 ~ 0.80
起伏のある土地および樹林	0.50 ~ 0.75
平坦な耕地	0.45 ~ 0.60
かんがい中の水田	0.70 ~ 0.80
山地河川	0.75 ~ 0.85
平地小河川	0.45 ~ 0.75
流域のなかば以上が平地である大河川	0.50 ~ 0.75

(2) 洪水到達時間

洪水到達時間 (T) は、流域の最遠点に降った雨が計画地点に達するまでに要する時間である。原則として河道への流入時間と流下時間の合計とする。

$$T = T_1 + T_2 \quad (\text{min}) \quad \dots\dots\dots (3.2.3)$$

ここに、

T_1 : 流入時間 (min)

T_2 : 流下時間 (min)

① 流入時間

流入時間 (T_1) は、流域内の最遠点に降った雨が河道に達する平均流下時間であり、融雪出水の場合は、積雪中の浸透時間(積雪 1 (m) につき、約 2時間)を加えて評価する。⁽⁷⁾

$$T_1 = T_0 + T_s \quad (\text{min}) \quad \dots\dots\dots (3.2.4)$$

$$T_s = 120 \cdot h \quad (\text{min}) \quad \dots\dots\dots (3.2.5)$$

ここに、

T_0 : 山腹流下時間 (min)

T_s : 積雪中の浸透時間 (min)

h : 積雪深 (m)

表-3.2.2 山腹流下時間

流域の区分	流入時間
流域面積 1 km ² 未満	10 ~ 20分
" 1 km ² 以上	20 ~ 30分

ここで用いる h は、洪水流量の増減に係わる因子であることから、安全側を考慮して、対象期間内における過去の最低積雪深を確率規模で評価した値とする。

② 流下時間

河道流下時間は、Bayern公式によって求める。

$$T_2 = \frac{L}{W} \dots\dots\dots (3.2.6)$$

$$W = 72 \cdot (H/L)^{0.6} \dots\dots\dots (3.2.7)$$

ここに、

- T_2 : 流下時間 (hr)
- W : 洪水到達速度 (km/hr)
- L : 常時谷地形をなす最上流点より、流量を推定しようとする地点までの水平距離 (km)
- H : 同上 落差 (km)

(3) 平均(換算)雨量強度

平均(換算)雨量強度は、対象期間内の(換算)雨量について、確率規模で評価して求める。気温日数法による場合には、もとまる日平均流量を日雨量に換算して用いる。

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \left(\frac{24}{T} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (3.2.8)$$

ここに、

- γ : T 時間内の平均時間雨量 (mm/hr)
- γ_0 : 日雨量の平均 1時間雨量(確率再現値) (mm/hr)
- T : 到達時間 (hr)

気温日数法による場合には、次式によって日平均 1時間雨量に換算する。

$$\gamma_0 = \frac{Q_d \cdot 3,600 \cdot 24}{A \cdot 24 \cdot 10^3} = 3.6 \frac{Q_d}{A} \quad (\text{mm/hr}) \dots\dots (3.2.9)$$

ここに、

- γ_0 : 換算日平均 1時間雨量 (mm/hr)
- Q_d : 気温日数法による日平均流量 (m^3/sec)
- A : 流域面積 (km)

なお、到達時間（T）が短時間の場合は、次に示す飯塚式を用いて平均（換算）雨量強度を求める。

$$\gamma = \frac{C_t}{100} \cdot R \dots\dots\dots (3.2.10)$$

$$C_t = \frac{34,710}{T^{1.35} + 1,502} \dots\dots\dots (3.2.11)$$

ここに、

γ : T時間内の平均時間雨量 (mm/hr)

R : 日雨量（日融雪量） (mm/day)

T : 到達時間 (min)

C_t : 強度係数 (%)

(8)
(気温日数法による日平均流量)

気温日数法による日平均流量は、対象流域近郊における流量、気温（最高、最低）降雨量、ならびに積雪深の観測結果を用いて、以下の手法に基づいておこなう

- ① 高度-流域面積分布曲線を作成する。

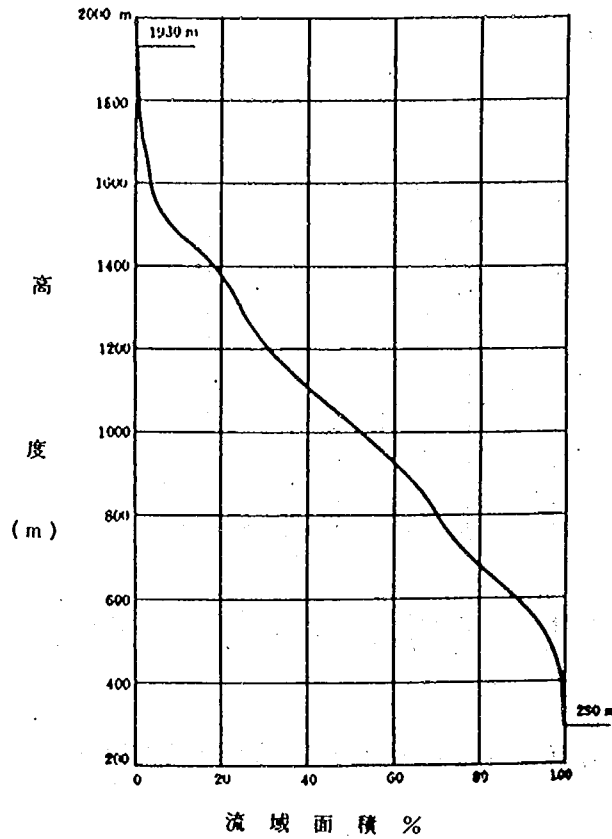


図-3.2.1 高度流域面積分布曲線（北海道沙流川）
出典：境 隆雄，1958：河川流域における融雪出水量の算定について

② 積雪深の観測結果から、「雪線高一日」の変化表を作成する。

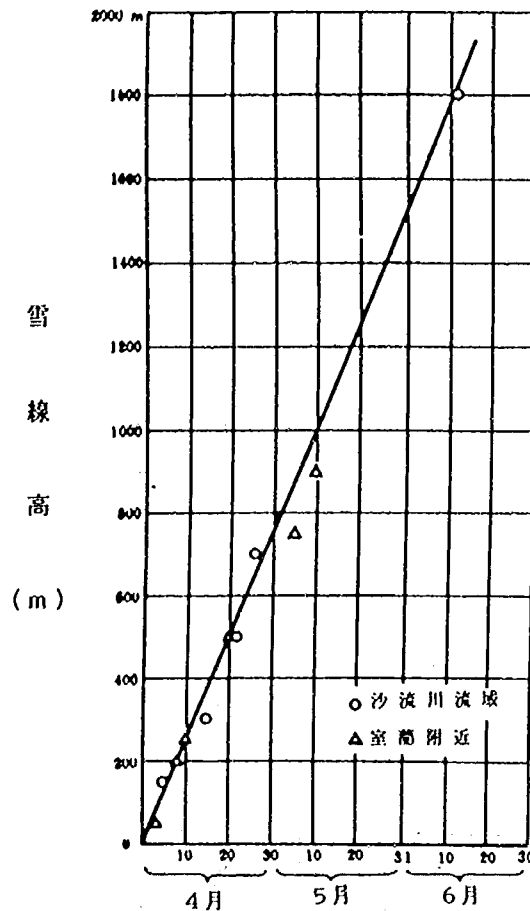


図-3.2.2 月日の進行による雪線高の変化(北海道沙流川:1957)
出典: 境 隆雄, 1958: 河川流域における融雪出水量の算定について

③ 毎日の気温(最高、最低)観測結果から、流域の融雪面積(A_0)、および中位高度(h_m)を求める。

$$A_0 = (P_1 - P_2) \cdot A / 100 \quad (\text{km}^2) \quad \dots\dots (3.2.12)$$

ここに、

- A_0 : 融雪面積 (km^2)
- P_1 : 全流域面積に対する雪線高度対応の面積比 (%)
- P_2 : 全流域面積に対する凍結線高度対応の面積比 (%)
- A : 全流域面積 (km^2)

$$h_2 = h_0 + \frac{100}{0.6} \cdot T_1 \quad (\text{m}) \quad \dots\dots (3.2.13)$$

ここに、

- h_2 : 凍結線高度 (m)

h_0 : 観測所の標高 (m)
 T_1 : // 最高気温 ($^{\circ}\text{C}$)
 0.6 : 100 (m) 当りの気温低減率

雪線高度 (h_1) は、図-3.2.2から、中位高度 (h_m) は図-3.2.3から読みとる。

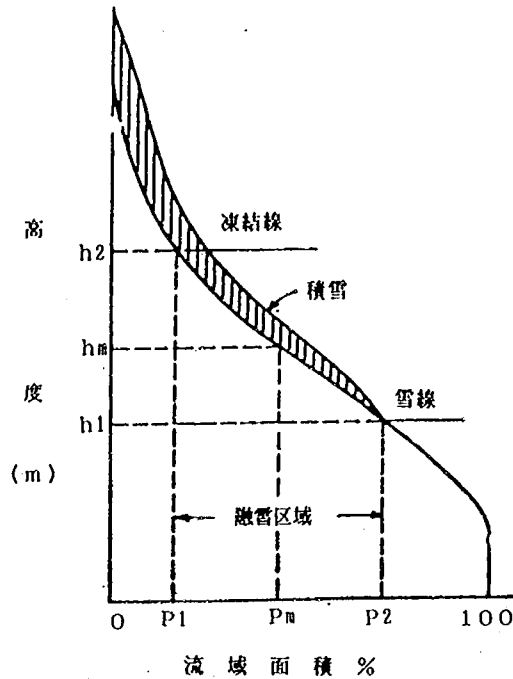


図-3.2.3 融雪区域の面積と高度の関係 (北海道沙流川)
 出典: 境 隆雄, 1958: 河川流域における融雪出水量の算定について

④ 中位高度 (h_m) における毎日の最高、最低気温を次式によって求める。

$$T = (h_m - h_0) \cdot \frac{0.6}{100} + T_1 \dots\dots\dots (3.2.14)$$

ここに、

T : 中位高度における気温 ($^{\circ}\text{C}$)
 h_m : 中位高度 (m)
 h_0 : 観測所高度 (m)
 T_1 : 観測所の気温観測データ ($^{\circ}\text{C}$)

⑤ 中位高度 (h_m) における、日平均有効気温 (D) を求める。⁽⁹⁾

(a) $T_{min} < 0 (^{\circ})$ の場合

$$D = \frac{T_{max} + |T_{min}|}{2} \cdot \left(\frac{T_{max}}{T_{max} + |T_{min}|} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{T_{\max}^2}{T_{\max} + |T_{\min}|} \dots\dots\dots (3.2.15)$$

ここに、
 D : 日平均有効気温 ($^{\circ}C$)
 T_{\max} : 中位高度における最高気温 ($^{\circ}C$)
 T_{\min} : // 最低気温 ($^{\circ}C$)

(b) $T_{\min} \geq 0 (^{\circ}C)$ の場合

$$D = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} + T_{\min} = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \dots\dots\dots (3.2.16)$$

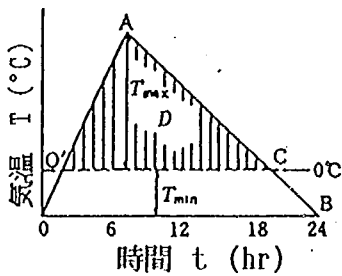


図-3.2.4 最低気温が負の場合の有効気温分布図

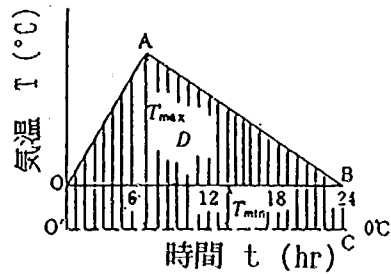


図-3.2.5 最低気温が正の場合の有効気温分布図

出典：加藤 徹、佐藤晃三，1982：融雪量推算に用いる日平均有効気温の算定式について

⑥ 日平均有効気温 (D) に、融雪面積 (A_0) を乗じて、有効気温面積 ($D \cdot A_0$) を求める。

⑦ 流量観測結果から、降雨の影響の少ないと考えられる出水について、有効気温面積 (D・A) と日平均流量 (Q_a) についての散布図を作成し、関係式を導く。

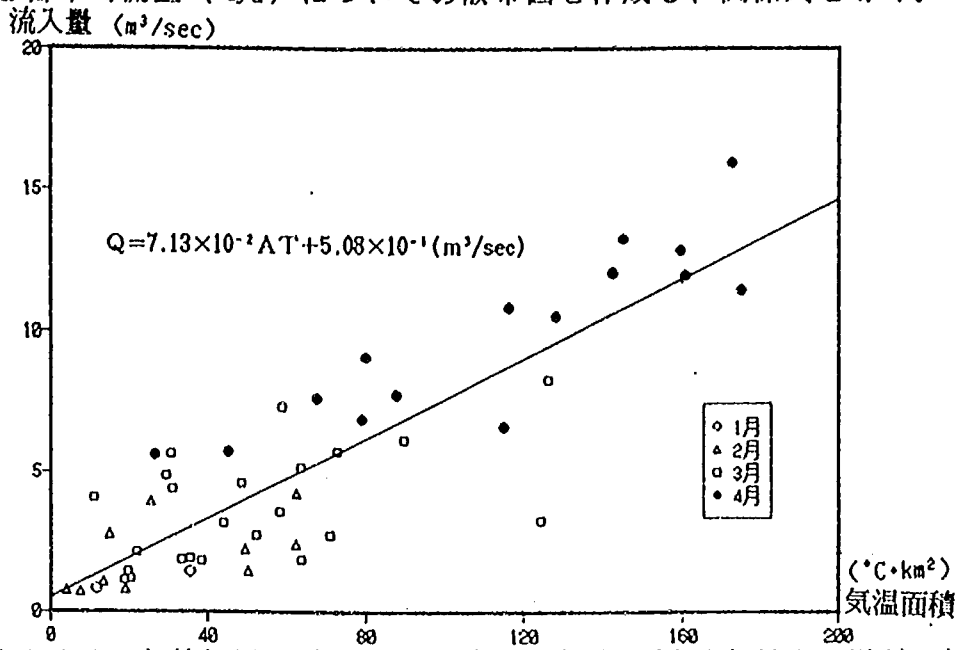


図-3.2.6 有効気温面積一日平均流量 (新潟県栃尾市刈谷田川ダム)
出典：建設省土木研究所新潟試験所，1989：流雪流路工に関する調査

なお、既往の出水量推定式は、有効気温面積の一次式の形で表されるものが多い。

参考として、同手順で新潟県の上、中越地方のダムの流量観測結果から融雪出水量推定式を作成した結果、

$$Q_a = (3.5 \sim 7.0) \cdot 10^{-2} \cdot A_0 \cdot D + Q_b \cdot A \quad (\text{m}^3/\text{sec}) \quad \dots \quad (3.2.17)$$

ただし、

- Q_a : 日平均流量 (m³/sec)
- A₀ : 有効気温面積 (km²)
- D : 日平均有効気温 (°c)
- Q_b : 基底比流量 (0.013~0.025 (m³/sec/km²))
- A : 流域面積 (km²)

が得られている。⁽¹⁰⁾

3.2.2 処理雪量

雪処理計画地域を決定し、処理対象雪量を算定する。

解 説

除排雪の対象となる雪量は、路上雪量と屋根雪量である。このうち、屋根雪量は屋根上の積雪深 1~1.5 (m) を対象とし、家屋の建築率に応じて算出する。また、路上雪量は最大日降雪深と処理対象面積等により算定する。⁽¹¹⁾

(1) 除排雪量

除排雪量は、次式で表される。

$$W = W_r + W_h \quad \dots\dots\dots (3.2.18)$$

ただし

W : 除排雪量 (t)

W_r : 路上雪量 (t)

W_h : 屋根雪量 (t)

(2) 路上雪量

処理対象路上雪量は、次式で表される。

$$W_r = b \cdot l \cdot h_1 \cdot \rho_1 \quad \dots\dots\dots (3.2.19)$$

ただし

W_r : 排雪対象路上雪量 (t)

h_1 : 路上積雪深 (m)

ρ_1 : 路上積雪の密度 (t/m^3)

b : 道路の幅員 (m)

l : 道路の延長 (m)

路上の積雪は、交通に与える障害、特に歩行の困難度を考慮すると15~20 (cm) 程度で除雪が必要となるため、日降雪深を対象とする必要があり、ここでは年最大日降雪深の2年再現期間値を採用する。

日降雪の密度は、表-3.2.3に示すように、地域や時間的に変化するが、やや時間が経過したものとして、 $0.10 (t/m^3)$ を採用する。

表-3.2.3 新積雪の密度

(単位：t/m³)

	北陸・山陰	新潟地方	東北地方	北海道
密度(降雪直後)	0.08~0.10	0.07~0.09	0.06~0.08	0.05~0.08
密度(降雪2~3日後)	0.10~0.30			

出典：日本建設機械化協会，1981：新道路除雪ハンドブック

(3) 屋根雪量

処理対象屋根雪量は、次式で表される。

$$W_n = \alpha \cdot s \cdot h_2 \cdot \rho_2 \dots\dots\dots (3.2.20)$$

ただし

W_n : 排雪対象屋根雪量 (t)

h_2 : 屋根上の積雪深 (m)

ρ_2 : 屋根雪の密度 (t/m³)

s : 対象面積 (m²)

α : 屋根密集度に応じた屋根雪排雪率

α は、次式により推定できる。

$$\alpha = \begin{cases} 0.5k & (k \leq 0.5) \\ 1.5k - 0.5 & (0.5 < k \leq 1.0) \end{cases} \dots\dots\dots (3.2.21)$$

k は建築率 (対象面積に対する排雪面積の割合)

1) 屋根雪の積雪深・密度

屋根の耐荷性にもよるが、通常 1.0~1.5 (m) に達した段階で屋根雪下ろしを行っている地域が多く、この範囲の積雪深を対象として決定すればよい。

積雪の密度は、一般に数日で積もった屋根雪では0.12~0.13 (t/m³) となり、10日以上かけて積もった場合には0.25~0.30 (t/m³) にもなる。また積雪の深さが最大値になる頃には0.35 (t/m³) 程度にまで達するといわれており、地域の屋根雪下ろしの時期に応じて適宜決定する必要がある。

2) 対象面積

対象面積は、処理対象地域の家屋の奥行きを考慮して決定する。

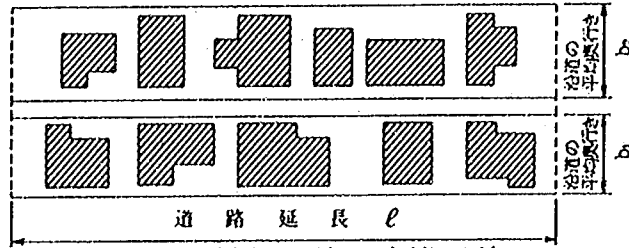


図-3.2.7 対象面積と建築面積
出典：北陸建設弘済会，1985：雪氷工学講座

3) 屋根雪排雪率

排雪対象となる屋根雪量は、計画区域内にある建築面積分となるが、計画区域内に空き地等の堆雪場所があれば、排雪量は減少する。排雪量の算定には、対象面積 s に対する、排雪すべき屋根面積 s_2 の比を屋根雪排雪率 α (s_2/s) とし、 α を建築率 k (対象面積に対する建築面積の比 s_1/s) によって決定する。

$$\text{屋根雪排雪率} \quad \alpha = \frac{s_2}{s} \quad \dots\dots\dots (3.2.22)$$

$$\text{建築率} \quad k = \frac{s_1}{s} \quad \dots\dots\dots (3.2.23)$$

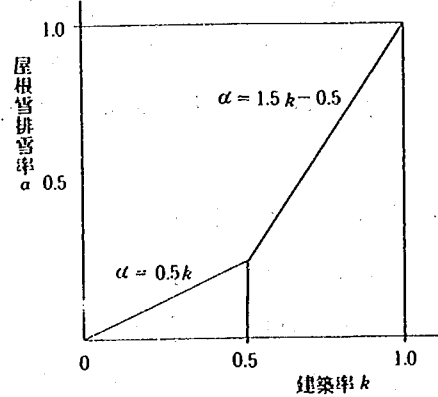
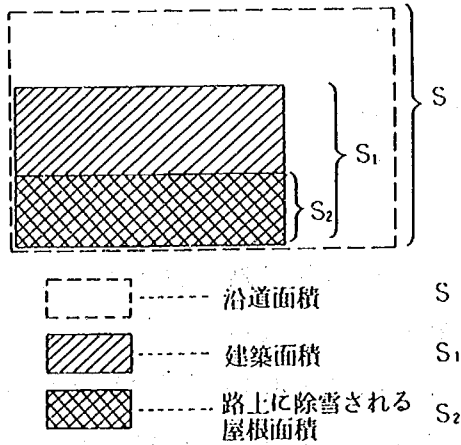


図-3.2.8 屋根雪排雪率の考え方 図-3.2.9 屋根雪排雪率 α の推定
出典：北陸建設弘済会，1985：雪氷工学講座

3.2.3 利用可能流量

流量調査等から得られる計画区間の流量から、利用可能流量を決定する。

解説

原則として、冬期流量観測結果を基に、利用可能流量を決定する。

なお、参考として、流域面積100 (km²) 以下の流域について行った流量観測結果を図-3.2.10に示すが、低水流量（一月を通じて75%以上の日はこの流量を下回らない流量）は、比流量換算で、厳寒期の1月では0.03 (m³/s/km²)、融雪初期の3月では0.10 (m³/s/km²)程度が期待できる。

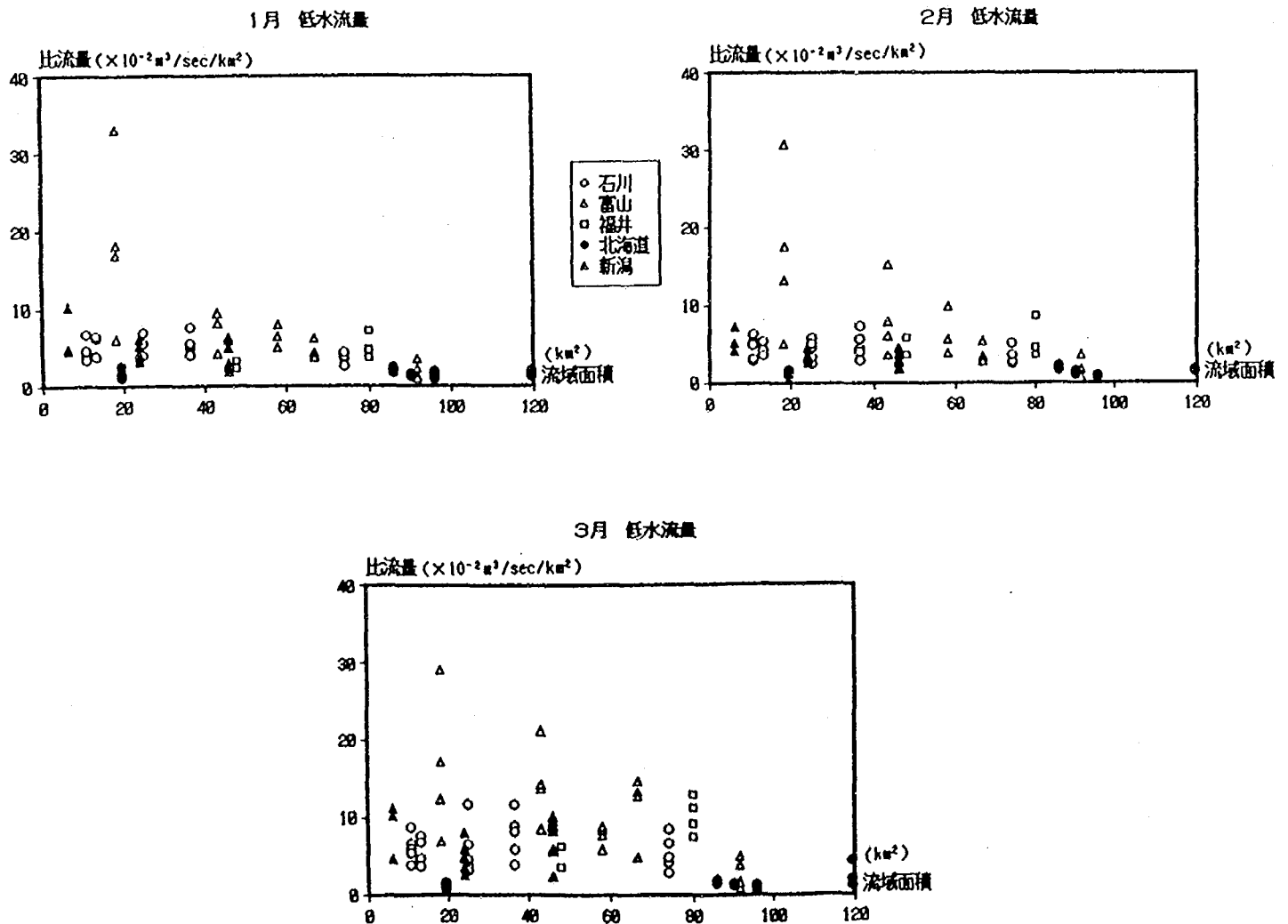


図-3.2.10 流域面積と比流量

出典：建設省土木研究所新潟試験所，1989：流雪流路工のマニュアル作成に関する調査

3.3 施設利用

3.3.1 流路工

流路工における克雪対策は、雪処理と融雪出水対策に大別される。雪処理方式としては、流雪処理、融雪処理、および砂防用地内を排雪場として利用する堆雪処理がある。

解 説

克雪対策上、流路工の持つ意味としては、流路工自体が発生源となる融雪洪水を未然に防止することと、流路工を利用して、雪を積極的に処理することに区分される。

融雪洪水発生防止策としては、現在一般的に行われている河川除雪に代表される、人為的な管理のもと行うものと、構造物によって通水断面を確保してやる方法に二分される。

また、雪処理方法としては、流雪処理、融雪処理、および砂防用地内を排雪場として利用する堆雪処理が考えられる。

(1) 流雪処理

流路工を利用した流雪処理計画は、利用可能流量と処理雪量、および雪塊の流下に最低限必要な水深・流速の関係から、繰り返して調整し立案する。

また、計画の際には、投雪方法、並びに融雪出水対策も十分検討しておく必要がある。

解 説

流路工を利用した流雪処理計画は、処理時間を考慮した処理雪量から必要流量を求め、これを利用可能流量と照合する必要がある。

また、流路工内に投入された雪塊を流送するためには、ある限界以上の水深と流速が必要であることから、利用可能流量を基に、流路幅を設定する事になる。もし設定された流路幅が著しく小さく、砂防設備としての基準を満足しない場合には、複断面流路工の導入を検討する必要がある。

管理上の問題としては、流路工への投雪方法、雪で埋塞した場合の、融雪出水への対応策の検討も必要となる。

1) 最大投雪量⁽¹³⁾

必要水量を算定するために、計画区間における投入能力を考慮した単位時間内の最大投雪量を求める必要がある。この最大投雪量は、次式で表される。

$$w = \frac{l}{e} \cdot \gamma_s \cdot v \quad \dots \dots \dots (3.3.1)$$

w : 単位時間当りの最大投雪量 (t/sec)

l : 計画区間の延長 (m)

e : 平均投入口間隔 (m)

γ_s : 雪の密度 (t/m³)

v : 投入口一箇所当りの投入体積 (m³/sec)

① 平均投入口間隔

投入人数あるいは家屋数から、投入箇所の間隔を把握しておく必要がある。

② 投入口一箇所当たりの投入体積

投入口一箇所当たりの投入体積は、運搬距離、投入人数、投入用具等によりことなり、適宜決定する必要がある。図-3.3.1に投入口寸法50×50 (cm) の流雪溝での実験結果から得られた人力投入歩掛りを、条件別に示した。

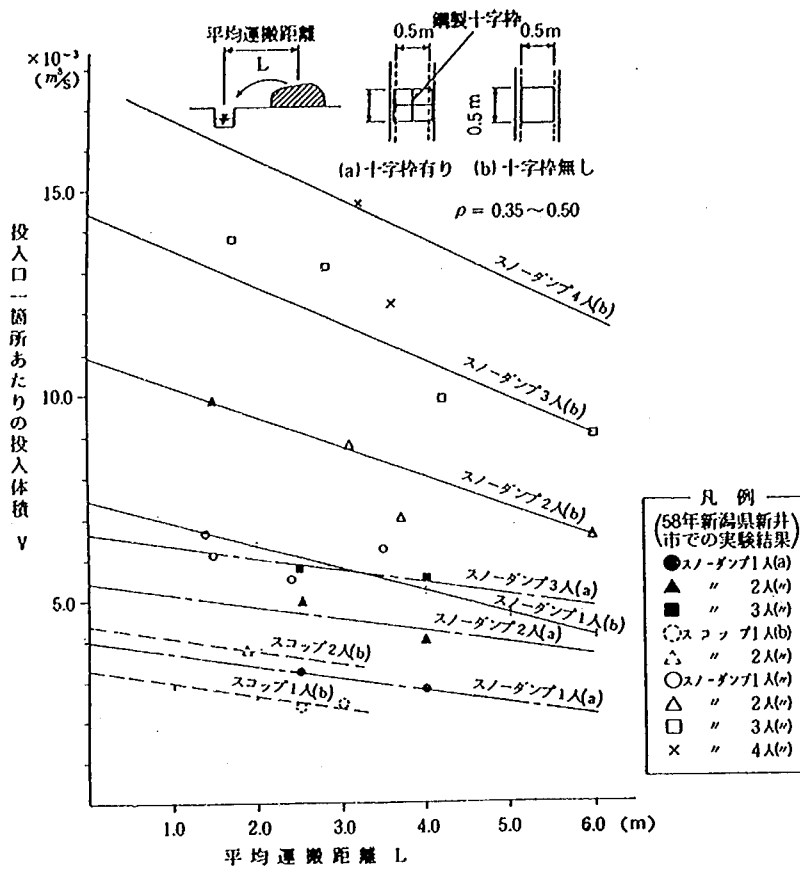


図-3.3.1 投入口一箇所当たりの人力投入歩掛り
出典：北陸建設弘済会，1983；流雪溝設計運営要領

最大投雪量 (w) は、(3.3.1) 式から雪の密度に比例して大きくなることになるが、気温が 0 (°c) 以下になると次第に雪の硬度が増し、雪の切り取りに時間がかかるため、歩掛りは逆に低下するものと思われる。また、投入口が特に制限されていない水路では、スノーダンプ 1人投入で、締まり雪 ($\gamma_s = 0.3t/m^3$) を 1時間で約80 (m³) ($22.2 \times 10^{-3} m^3 / sec$) 処理できるという調査報告もある。

2) 必要水量

必要水量の算定は、流路工内への投雪能力を考慮して行わなければならない。もし利用可能流量が少なく、計画路線内で一斉投入できないと判断される場合は、路線内を分割して投入計画を立てる（サイクル化）等の検討が必要となる。この場合、3.2.2で算定した除排雪量から、必要投入時間を求め、投入時間割の作成を行い、処理時間（概ね2日以内）が適性かどうか照合する。もし処理時間が超過した場合には、分割投入方法や投入量の変更を行い、繰り返し調整しなければならない。

必要水量を求める算定式は、いくつか提唱されているが、ここでは従来より広く用いられている経験式、また勾配、雪質別に求めた実験式、さらには水温による融雪の効果を考慮した理論式など代表的なものを示した。

$$\textcircled{1} \quad Q_w = k \cdot (1 - \gamma_s) \cdot Q_s \quad \dots\dots\dots (3.3.2)$$

- Q_w : 必要水量 (m³/sec)
- Q_s : 投雪量 (m³/sec)
- k : 水路（流末）の状況による係数
水路が良好適正な場合 $k = 1.0$
勾配が緩く水路の条件が悪い場合 $k = 1.5$
- γ_s : 雪の単位体積重量 (t/m³)

$$\textcircled{2} \quad Q_w = 2 \cdot (1 - \gamma_s) \cdot Q_s \quad \dots\dots\dots (3.3.3)$$

$$\textcircled{3} \quad Q_w = m \cdot w^{0.6} \quad \dots\dots\dots (3.3.4)$$

- m : 勾配、雪質による流雪係数 (図-3.3.2)
- w : 投入雪量 (t/sec)

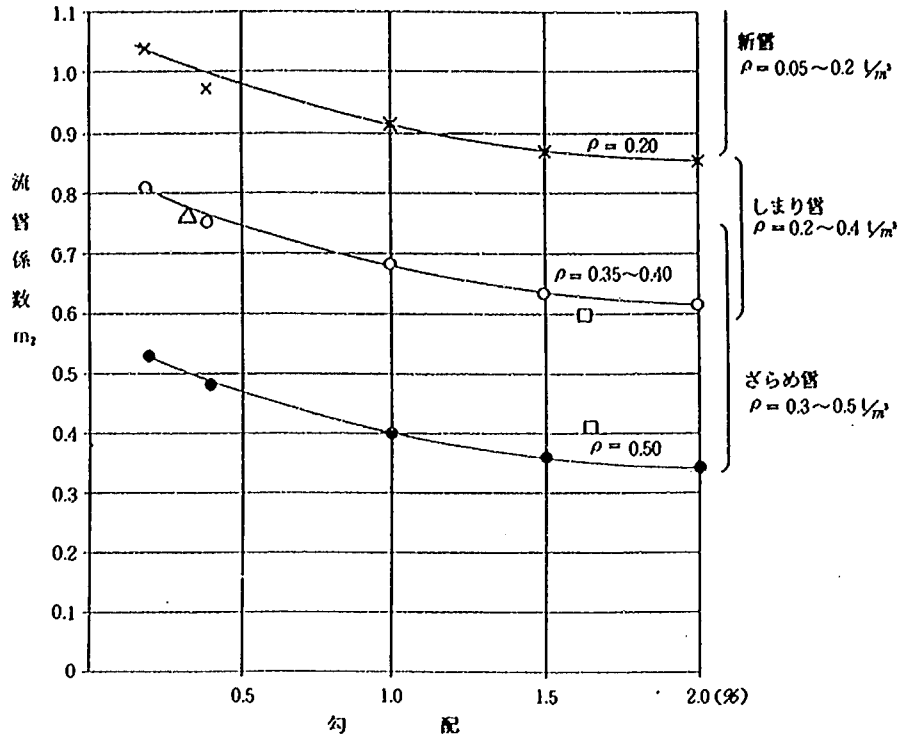


図-3.3.2 勾配、雪質による流雪係数の関係
 出典：北陸建設弘済会，1983：流雪溝設計運営要領

④ $Q_w = 2 \cdot Q_s \dots\dots\dots (3.3.5)$

⑤ $Q_w = \frac{1}{m} \cdot Q_s \dots\dots\dots (3.3.6)$

m : 気温による係数 (表-3.3.1)

表-3.3.1 流雪溝の処理能力 (米沢市 国道121号線流雪溝)

気温	投雪量 (体積単位)	
+5 ~ 0℃	水量の約80%	投雪可
0 ~ -5	" 60	"
-5 ~ -10	" 40	"
-10℃以下	" 10	"

出典：米沢建設事務所、西部流雪溝利用協力会：流雪溝利用のしおり

⑥ $Q_w = \frac{Q_s}{m \left\{ \frac{T - T_1}{k \cdot \gamma_s + (T_1 - t) \gamma_s} + \frac{0.3}{\gamma_s} \right\}} \dots\dots\dots (3.3.7)$

(3.3.7) 式において、 $T_1 = 0$ (°c)、 $t = 0$ (°c)、 $k = 80$ (cal/g) の場合

$$\textcircled{6} \quad Q_w = \frac{Q_s \cdot \gamma_s}{m (T/80 + 0.3)} \dots\dots\dots (3.3.8)$$

- T : 水温 (°c)
- T_1 : 水の降下温度 (°c)
- t : 雪の温度 (°c)
- k : 雪の融解熱 (cal/g)
- m : 流動係数 (通常 0.6程度)

(3.3.2) 式は、「流雪溝に投入した雪塊が直ちに流下するのに必要なおよその流量」を示すもので、従来より国鉄流雪溝設備標準⁽¹⁴⁾として用いられている。勾配に対する適用範囲は、「一般に1/500より急であることが望ましい。」とされている。

(3.3.3) 式は、「道路構造令の解説と運用」⁽¹⁵⁾に示されているもので、式自体の形式は、(3.3.2) 式と同様である。勾配に対する適用範囲は、「原則として2/1000以上とする。」とされている。

(3.3.4) 式は、「流雪溝設計運営要領」⁽¹⁶⁾に示されているもので、「実験用鉄製水路および現用流雪溝などで、勾配と雪質を可変して行った実験結果。」から得られたものである。式形式が指数型であるため、流量が増化すると流雪能力が極端に増大し、非現実的な流雪能力を示すことから、実用にあたっては、実験が80 (1/sec) 以下で鉄製水路を主体として行われていることを考慮し、適用範囲を定めるべきである。なお、勾配に関しては、「流雪溝の勾配は、1/50~1/500の範囲が望ましい」とされている。

(3.3.5) 式は、「流雪溝設計資料」⁽¹⁷⁾に掲載されているもので、昭和30年新潟鉄道管理局の内部資料としてまとめられているものである。勾配に関しては、「1/800より大きくすることが必要と思う。」とされている。

(3.3.6) 式は、国道121号線流雪溝における実験式であり、投雪方式にはグレーダや、ロータリによる連続投入を採用している。気温が高く、条件の良いと考えられるときでも、流雪能力は流量の80%を越えないとしている点が重要である。

(3.3.7) 式は、「土木工学ハンドブック」⁽¹⁸⁾に採用されているもので、「流雪溝は水温によって雪をとかすと共に、掃流力によって流去するものである。」と定義し、融雪の効果を考慮にいれた、元国鉄技師乾市太郎の実験式を引用したものである。適用範囲については、「掃流力の条件としては、流速 0.5 (m/sec) 以上、水深は30 (cm)以上必要である。」とされている。

以上の式をまとめ、必要流量と投雪量の関係を示すと、図-3.3.3のようになる。

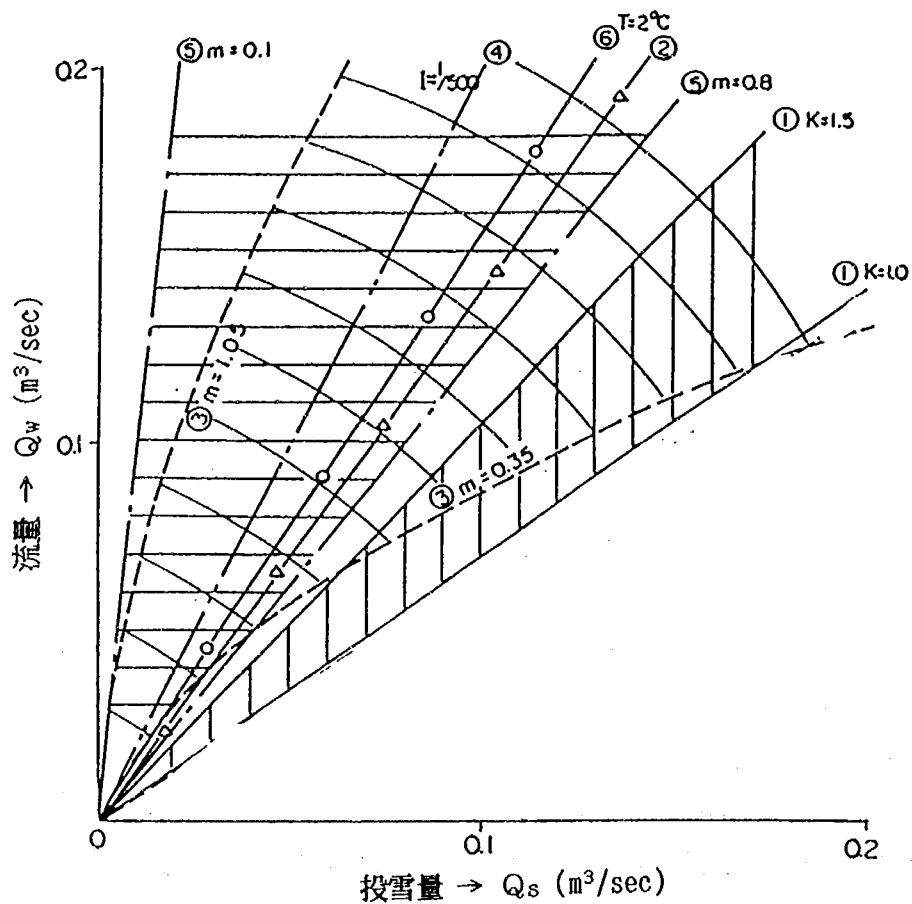


図-3.3.3 流量と投雪量

出典：建設省土木研究所新潟試験所，1989：流雪流路工のマニュアル作成に関する調査

大熊は、これらの流雪能力式を比較検討した上で、⁽¹⁹⁾「流雪能力の上限は、多くとも流量の100%とすべきであり、安全率を見込み計画上の流雪能力は、流量の60~80%が妥当であろう。」と述べている。これより、計画にあたっては、勾配、水路条件を検討し、流雪能力を過大に評価しないように十分に注意した上で、これらの算定式を用いることが望ましい。

3) 流路幅

流路構内に投入された雪塊を流送するためには、雪塊の大きさに応じた、ある限界以上の水深と、流速が必要になる。

ここで、

$$Q = A \cdot V \quad \dots\dots\dots (3.3.9)$$

Q : 流量 (m³/sec)

A : 流下断面積 (m²)

V : 流速 (m/sec)

流下断面を矩形と考えると、

$$A = B \cdot H \quad \dots\dots\dots (3.3.10)$$

H : 水深 (m)

であるから、流量と水路幅に対する水深は、

$$H = \alpha \cdot \left(\frac{1}{V} \right) \quad \dots\dots\dots (3.3.11)$$

$$\alpha = \frac{Q}{B}$$

の関係で示される。

数多くの実験式を比較・検討した大熊⁽¹²⁾によると、「ある水路幅に対して、流雪能力を維持するための最低流量があり、その量は“幅50 (cm) の水路に対しては、少なくとも50 (1/sec) 以上の流量が、70 (cm) に対しては、70 (1/sec) 以上の流量が最低限必要”」であると述べており、さらに現地観測結果から、壮年男子がスノーダンプで連続的に扱い得る最大の雪塊重量と体積 (20kg/回、80 l/回程度) において、「幅50 (cm) のコンクリート水路では、流雪溝として効果的に機能させるためには、少なくとも100 (1/sec) 以上の流量を流しておく必要がある。」としている。

これより、(3.3.11)式におけるパラメーター(α)の値は、雪塊を流すのに最低限必要な場合は、 $\alpha = 0.1$ (m^2/sec)、流雪溝として効果的に作用させる場合には、 $\alpha = 0.2$ (m^2/sec)以上必要となる。

また、現用、および計画中の流雪溝、流路工における雪塊流送実験等から、雪塊の流下可能な流速と水深の関係を整理すると、図-3.3.4のようになる。

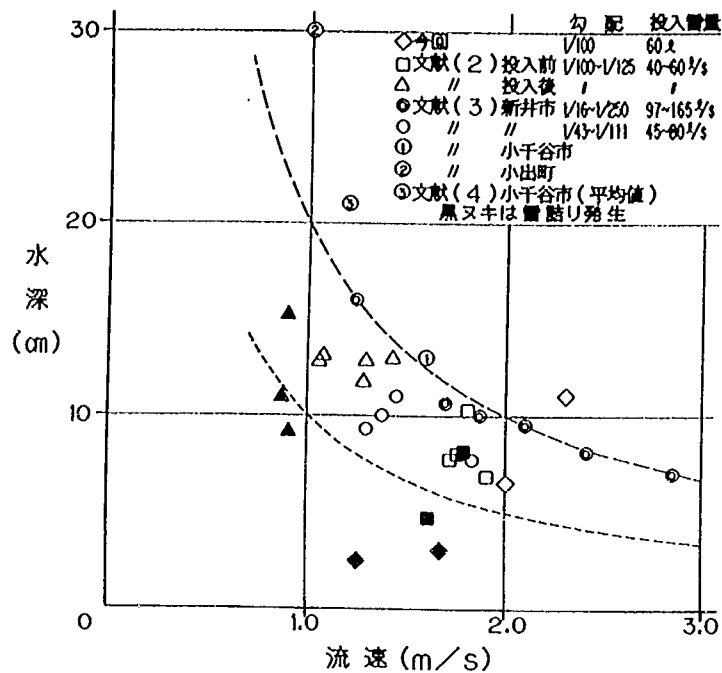


図-3.3.4 流雪溝の流速と水深

この図中に、(3.3.11)式の関係をも、 $\alpha = 1.0$ を点線、 $\alpha = 2.0$ を破線で示すと、実験結果に比較的良く適合することから、(3.3.11)式は、水深と流速の関係の目安となり得る。

これより、計画流路幅において利用可能流量における水深と流速の関係が満足されない場合には、流路幅を縮小することで、流速と水深を確保し流雪処理が可能になることから、複断面流路工の導入などを検討する必要がある。

4) 複断面流路工

通水断面を縮小し、流速、および水深を増加せしめるため複断面化を行うことは少ない流量での流雪処理を可能にする。しかし、流量が少ない場合、複断面流路工は水が主に複断面内部のみを流れるために、図-3.3.5にしめすように河床に積もった雪がオーバーハンゲして低水路を覆い隠してしまうことがあるため、投雪方法、管理方法に留意した上で計

画しなければならない。また、複断面を設けることによって、土砂が貯まり易くなったり、構造上の弱部となり易いことから、流出土砂が多い流域や、礫径の大きな流域では、複断面内の土砂の除去、河床の破損等に対する維持管理が大きな問題となるので、導入にあたっては、十分な検討が必要である。

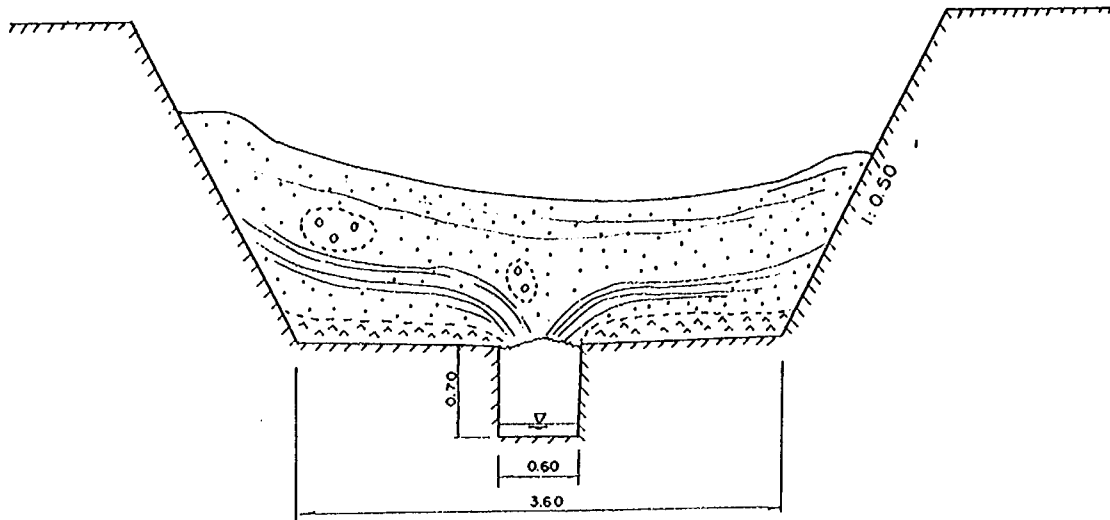


図-3.3.5 複断面流路工内への着雪状況
出典：建設省土木研究所新潟試験所，1990：流雪流路工に関する実験

5) 流末処理

流路工の流末となる河川との合流点付近は、拡幅されて水深・流速が低下すると同時に、雪塊の混入した低温の流雪水が到達するため、雪塊の流送に支障をきたすことがある。

流末処理が不十分の場合は、雪塊が逐次蓄積して流雪が出来なくなり、河川管理や他の工作物に悪影響をおよぼしたり、洪水発生の恐れもあるため、流末調査を十分に行い、綿密な計画を講じる必要がある。

(2) 融雪処理

融雪処理計画は、水量が少なく、流雪処理に適さない流路工に適用される。処理雪量は、水温、流量、並びに使用方法によってかなりの相違が現れるので、計画にあたっては、冬期の水温、流量の設定、使用方法に十分留意しなければならない。

解 説

融雪処理は、水量が少なく流雪処理に適さない流路工において、ウォータークッションを利用したり、人工的にダムアップして水貯池を設け、流水のもつ熱エネルギーによって雪を融解して処理する方式である。したがって、流雪処理のように短時間で大量の雪を処理することは出来ないが、現用の流路工でも、単純にダムアップする事で利用可能となり、流末処理の問題もなくなる。しかし現段階では、水温、流量、水貯池の規模と、融雪処理能力との関係が明確でなく、処理可能な雪量も僅かなことから、処理対象雪量が極めて多い地域では、あくまでも他の処理方式の補助的手段として考えた方がよい。

1) 冬期流量・水温

利用可能流量は、3.3.3で得られた流量を用いる。冬期水温は、地形、河川、集落、天候などさまざまな影響を受けるため、毎年水温変化を測定することが必要である。少なくとも、冬期大寒の頃の水温が得られれば、設計上の水温としては十分と考えられる。

参考として、⁽²¹⁾ 図-3.3.6に新潟県上・中越地方で調査した、小河川（流域面積10 (km²) 未満）の、1、2月の水温と気温の関係を示す。

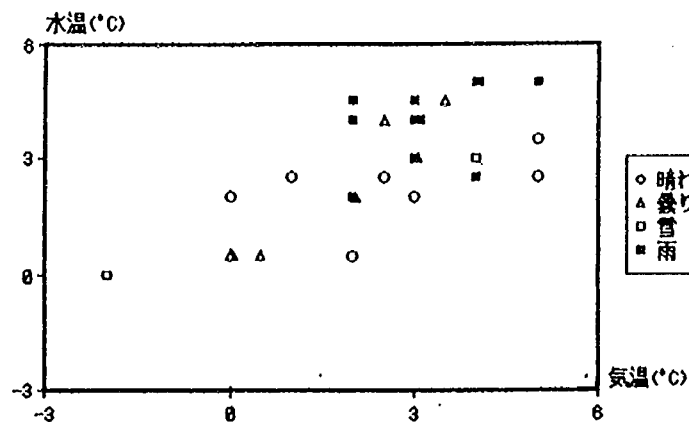


図-3.3.6 冬期の河川水温
出典：建設省土木研究所新潟試験所，1990：流雪流路工に関する実験

これによると、天候によって値はかなりバラツキ、水温が 0 (° c) 程度まで低下する場合もあるが、概ね 2 (° c) 程度が期待できることになる。

2) 処理雪量

雪を融かす熱的モデルは、水温低下と雪の融解熱が主体と考えられるが、その他に地熱、空気の対流、水面からの輻射を考慮すると、(3.3.12) のように表される。

$$c_w \cdot \gamma_w \cdot \Sigma [\{ T_i (t_i) - T_o (t_i) \} \cdot Q (t_i) \cdot \Delta t] - c_s \cdot w_s + L \cdot \Sigma [\{ Q_t (t_i) + Q_e (t_i) + Q_f (t_i) \} \cdot \Delta t] = 0 \dots\dots\dots (3.3.12)$$

- c_w : 水の比熱 (cal/g/° c)
- γ_w : 水の単位体積重量
- c_s : 雪の融解熱 (80cal/g)
- L : 溝の長さ
- w_s : 投入雪の重量
- t_i : i 回目の測定時刻
- Δt : 測定時間間隔
- $Q (t_i)$: 流量
- $T_i (t_i)$: 上流端の水温
- $T_o (t_i)$: 下流端の水温
- $Q_t (t_i)$: 対流熱
- $Q_e (t_i)$: 地熱
- $Q_f (t_i)$: 輻射熱

天候が雪か曇の場合は、輻射の項が、地熱の項と相殺され、処理雪量は水温の低下のみで算定しても大きな誤差がないことから、雪ないしは曇の日が多い雪国での実用式は、次のようになる。

$$\frac{c_w}{c_s} \cdot \gamma_w \cdot \Sigma [\{ T_i (t_i) - T_o (t_i) \} \cdot Q (t_i) \cdot \Delta t] - w_s = 0$$

$$w = \frac{c_w}{c_s} \cdot \gamma_w \cdot Q \cdot \Delta T = \frac{1}{80} \cdot Q \cdot \Delta T \dots\dots\dots (3.3.13)$$

- w : 融雪量 (t/sec)
 c_w : 水の比熱 = 1.0 (cal/g/° c)
 c_s : 雪の融解熱 = 80 (cal/g)
 γ_w : 水の単位体積重量 = 1.0 (t/m³)
 Q : 流量 (m³/sec)
 ΔT : 上・下流の水温差 (° c)

上・下流における水温差 ΔT は、水褥池長（流路方向に対する雪塊の長さ）、および雪塊と流水との接触面積（横断方向の雪の詰まり具合）によって異なり、処理雪量を大きく左右する。実験結果から、水深50 (cm) 程度の水褥池の場合、密度 $\gamma_s = 0.5 \sim 0.7$ (g/cm³) 程度の雪塊30 (cm) 中を流水が通過する場合、上・下流の水温差 ΔT は、0.01~0.06 (° c) という結果が得られているが、この値は、大熊が述べている「通常 1~3 (° c) の水で、消融雪溝の長さが100 (m) 以上であれば、水温は 0 (° c) まで低下する。」とほぼ一致することから、信頼のおける値と考えられる。したがって、計画に用いる水温差 ΔT の値には、雪塊と流水の接触面積を増加せしめ、熱交換が効率的に行われるように定期的に攪拌する場合などには上限値を、雪を投入したまま放置する場合など、熱効率が悪いと考えられる場合には、下限付近の値を目安と考えると良い。

(3) 堆雪処理

堆雪処理は、処理雪量に比べて水量が少なく、流雪処理が行えず、融雪処理では雪を処理しきれない場合に、砂防用地内を排雪場として利用するものであり、河道を雪でふさいでしまうことから、計画にあたっては融雪洪水対策について、十分検討する必要がある。

解 説

河幅が広く、流量が少ない流路工では堆雪処理を導入するケースが多くなるが、堆雪中を浸透して流下する流量は僅かであるため、融雪洪水対策は十分検討しておく必要がある。

洪水対策としては、機械的手法、もしくは構造的手法の選択が大きなポイントとなるが、前者の代表的なものとしては「河川除雪」、後者の代表的なものとしては「仮設構造物による断面確保」や「複断面（側水路）」という方法がある。

1) 浸透水量

堆雪中を浸透する流量は、ダルシー則に基づき以下の式を用いて算出する。

$$Q_s = k \cdot I \cdot A \quad \dots \dots \dots (3.3.14)$$

ただし、

Q_s : 浸透流量 (m³/sec)

k : 浸透係数 (m/sec)

I : 動水勾配

A : 通水断面積 (m²)

(流路工通水部分の面積)

堆雪の浸透係数 (k) は、実験結果から約⁽²⁴⁾10⁻² (m/sec) になることが知られている。なお、堆雪が長区間にわたる場合には、動水勾配は流路工勾配に近似される。

ここで、

$$Q_{max} > Q_s$$

Q_{max} : 融雪洪水流量 (m³/sec)

となる場合は、溢水の危険があり、河川除雪等の計画を行わなければならない。

2) 河川除雪断面

現在、河川除雪はバックホウ等の大型重機を用いて行われているケースが多い。除雪幅は、除雪断面を矩形とみなし、mannings式によって決定する。

$$Q_{max} \leq A \cdot V$$

$$= B \cdot H' \cdot \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{B \cdot H'}{B + 2 \cdot H'} \right)^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots (3.3.15)$$

$$H = H' + h \dots \dots \dots (3.3.16)$$

ただし、

- Q_{max} : 融雪洪水流量 (m³/sec)
- B : 掘削幅 (m)
- n : 雪面の粗度係数⁽²⁵⁾ (≒ 0.04)
- I : 水路勾配
- H : 掘削高 (m)
- H' : 高水位 (m)
- h : 余裕高 (m)

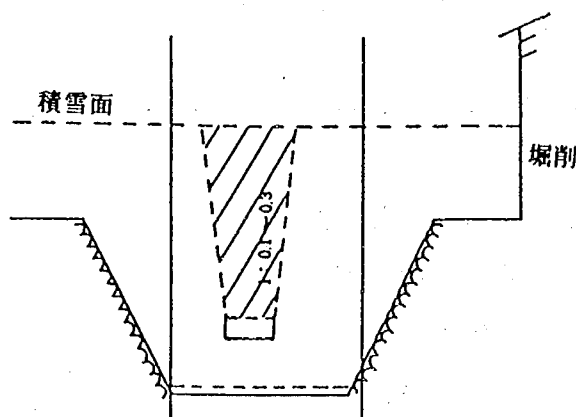


図-3.3.7 河川除雪の一例

図-3.3.7は、新潟県十日町市で実施した河川除雪の断面形状を示したものである。

3) 側水路

側水路付き流路工とは、落差工間に、図-3.3.8に示すような小水路付きの護岸工を設け、落差工下流のウォータークッションと組み合わせることによって、雪で埋塞した流路工の通水断面を確保すると同時に、流入口の空間を確保しようとするものである。

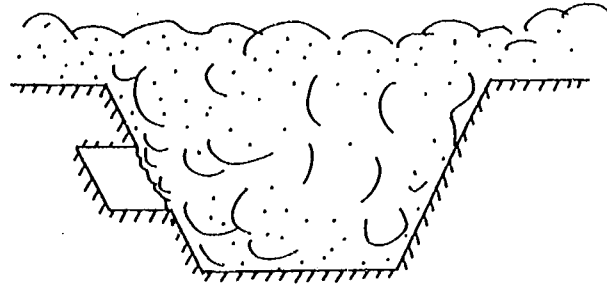


図-3.3.8 側水路付き流路工

この方法は、河床底面に複断面を設ける場合に比べて、

- ・ 石礫、流木の堆積が発生し難く、管理が容易である。
- ・ 通常、水は河床底面を流れるため、流路工内に堆積した雪と常に接触した状態にあることから、雪が融け易い。

といった利点がある反面、構造上の弱部となり易い、といった欠点もある。

① 雪による影響

流路工内に投雪したり、自然に雪が降り積もって流路工が埋塞した場合、側水路内部にも雪が侵入し、断面の縮小が起きる。その際埋塞されずに確保される断面積は、側水路幅、と護岸勾配によって、次式のように表される。⁽²⁶⁾

$$A_1 = \frac{B^2 \cdot (\tan \theta \cdot \tan \alpha)}{2 \cdot (\tan \theta + \tan \alpha)} \dots \dots \dots (3.3.17)$$

A_1 : 通水断面積 (m²)
(非埋塞面積)

B : 側水路幅 (m)

θ : 埋塞角度 (°)

α : 護岸勾配 (°)

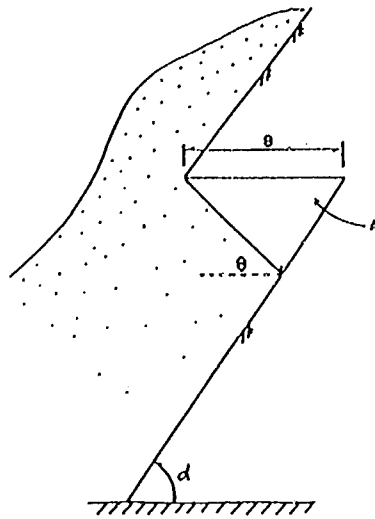


図-3.3.9 埋塞状況

このうち、埋塞角度 (θ) は、強制的に雪を投入した場合と、自然に降り積もった場合とで大差なく、両ケースとも約 45° になる。

(3.3.17) 式からも明らかなように、通水断面積には側水路高は影響がなく、

幅 (大) → 面積 (大)
勾配 (大)

の関係がある。

② 計画断面

側水路内部の水の流れは、「管水路」として取り扱う。設計にあたっては「埋塞断面」と、「非埋塞断面」による流量の算出を行い、次式を満足しなければならない。

$$\begin{aligned} Q_p &\geq Q_{max} \dots\dots\dots (3.3.18) \\ Q_b &\geq Q_d \end{aligned}$$

Q_p : 非埋塞断面における流量 (m³/sec)

Q_b : 埋塞断面における流量 (m³/sec)

Q_{max} : 計画洪水流量 (m³/sec)

Q_d : 計画洪水時日平均流量 (m³/sec)

Q_p 、 Q_b は、(3.3.19) 式を用いて算定する。

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{f_e + f_i + f \cdot \frac{1}{R} \cdot l}} \cdot A \quad \dots \dots \dots (3.3.19)$$

Q : 通水量 (m³/sec)

A : 通水断面積 = b · h (m²)

H : 損失水頭 (m)

側水路 1スパン間において、上流端の通水断面上面と
下流端の通水断面中央部の高低差

g : 重力加速度 ≐ 9.8 (m/sec²)

f_e : 急拡損失係数 ≐ 1.0

f_i : 入口損失係数 ≐ 0.5

f : 摩擦損失係数

R : 径深 = $\frac{b \cdot h}{2 \cdot (b + SL)}$ (m)

b : 側水路幅 (m)

h : 側水路高 (m)

l : 側水路長 (m)

摩擦損失係数 (f) は、水路面と雪面の粗度係数を合成し、次式によって求める。

$$f = \left\{ \frac{2 \cdot g \cdot n^2}{b \cdot h} \right\} \frac{1}{2 \cdot (b + SL)} \quad \dots \dots \dots (3.3.20)$$

$$n = \frac{SL}{2(b+SL)} \cdot n_s + \frac{2b+SL}{2(b+SL)} \cdot n_w \quad \dots \dots \dots (3.3.21)$$

ここに、

n : 合成粗度係数

n_s : 雪面の粗度係数 ≐ 0.04⁽²⁸⁾

n_w : 水路面の粗度係数

SL : 側水路護岸斜長

b : 側水路幅

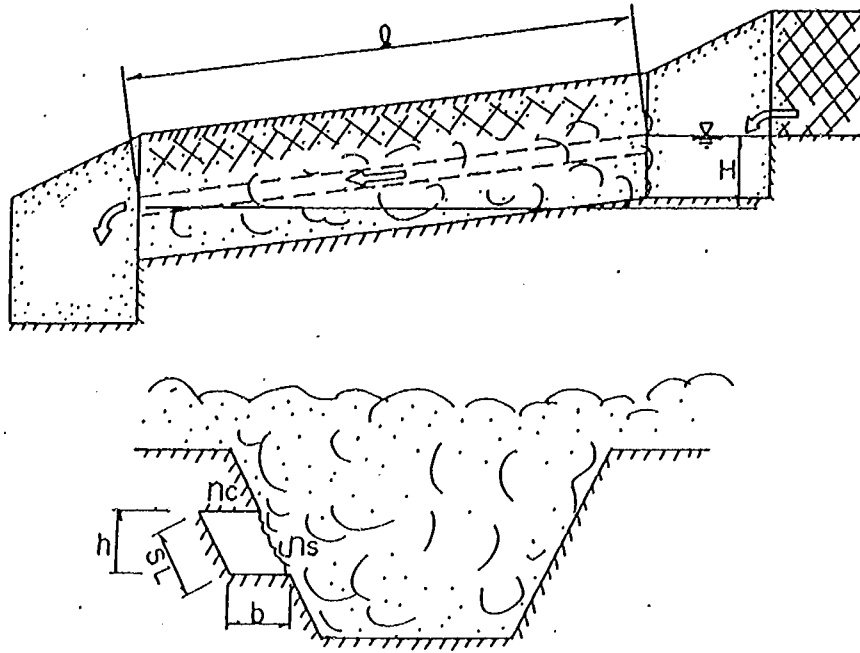


図-3.3.10 流量算出モデル

①で述べたように、側水路断面は、投雪や降雪によって縮小するが、洪水のピークに達するまでの流水によって通水断面が拡大するため、非埋塞断面を用いて計画洪水流量に対する断面算定を行うことができる。

ただし、埋塞断面下で、通常時流量を流し得るだけの断面形状としなければならない。

4) 複断面流路工

河床に低水路を設けて、洪水時の流下断面を確保するもので、断面の算定は「側水路」の場合と同様、管水路として取り扱う。

しかし、冬期間流水がほとんどみられない河川では、複断面自体が完全に埋塞してしまうため、注意しなければならない。

また、石礫の堆積等に対する管理方法や、水が複断面内部のみを流れることになるため、河床に雪が残り易いといった欠点があり、導入にあたっては十分検討しておく必要がある。

5) その他

仮設構造物（パイプ、板等）で計画洪水に応じた通水断面を方法がある。この方法では、確実に洪水を処理できるといった長所がある反面、設置、除去といった管理が困難であり、管理、運営計画を綿密に行う必要がある。

3.3.2 砂防ダム他

その他、砂防設備を利用した克雪対策には、砂防敷地内を利用した融雪処理、堆雪処理と、他設備への取水設備としての利用法がある。

解 説

流路工以外の砂防設備の利用法として、次のようなものがある。

- ・ 砂防ダム
- ・ 床固工 …………… 堆砂域を利用した堆雪処理。処理雪量は敷地面積に応じる。
- ・ 沈砂池

- ・ ウォータークッション …… 融雪処理。処理雪量は流路工の融雪処理に準じて求める。

- ・ 砂防ダム …………… 下流設備への取水。
- ・ 床固工

堆雪処理に砂防設備を用いる場合には、融雪洪水を考慮して河川除雪等の対策も併せて計画する必要がある。取水設備としての利用には水利権の確認と、雪で埋塞しない導水路構造を検討する必要がある。

参考文献

- (1) 建設省土木研究所新潟試験所, 1989: 流雪流路工のマニュアル作成に関する調査
- (2) 国土庁地方振興局, 1988: 豪雪地帯の現状。豪雪地帯の現状と対策
- (3) 高橋 博、中村 勉, 1986: 降積雪現象。雪氷防災, 白亜書房
- (4) 建設省土木研究所新潟試験所, 1989: 流雪流路工に関する調査
- (5) 大熊 孝, 1985: 流雪溝と消融雪溝の標準設計法に関する基礎的考察。雪氷工学講座, 北陸建設弘済会
- (6) 土木学会編, 1971: 融雪。水理公式集
- (7) 前出(3), 雪氷害の実例とその技術対策
- (8) 境 隆雄, 1958: 河川流域における融雪出水量の算定について
- (9) 加藤 徹、佐藤晃三, 1982: 融雪量推算に用いる日平均有効気温の算定式について。農業土木学会論文集第98号
- (10) 前出(4)
- (11) 前出(5)
- (12) 前出(1)
- (13) 北陸建設弘済会, 1983: 流雪溝設計運営要領
- (14) 日本建設機械化協会編, 1977: 新防雪工学ハンドブック
- (15) 日本道路協会編, 1981: 道路構造令の解説と運用, 丸善(株)
- (16) 前出(13)
- (17) 新潟鉄道管理局
- (18) 土木学会編, 1968: 土木工学ハンドブック, 技報堂
- (19) 前出(5)
- (20) 前出(5)
- (21) 建設省土木研究所新潟試験所, 1990: 流雪流路工に関する実験
- (22) 前出(21)
- (23) 前出(5)
- (24) 前出(21)
- (25) 前出(21)
- (26) 前出(21)
- (27) 前出(21)
- (28) 前出(21)

モデル地域における検討例

目 次

1. モデル地域の概要	60
1.1 計画位置	60
1.2 自然	60
1.2.1 地形	60
1.2.2 雪	60
1.3 社会状況	61
1.3.1 人口	61
2. 流路工計画	63
2.1 基本諸量	63
2.1.1 計画降雨量	63
2.1.2 計画流量	64
2.2 流路工計画	64
3. 雪対策の検討	66
3.1 計画対象区域の設定	66
3.1.1 自然的条件調査	66
(1) 気象条件調査	66
(2) 流域調査	68
3.1.2 社会的条件調査	69
3.1.3 既往災害調査	69
3.2 対象規模の設定	70
3.2.1 利用可能流量の設定	70
3.2.2 融雪洪水流量の設定	70
(1) 融雪量算定法の決定	71
(2) 融雪洪水流量	81
3.2.3 処理雪量の算定	87
(1) 路上雪量	87
(2) 屋根雪量	89
3.3 利用計画	91
3.3.1 流雪処理の検討	91
(1) 最大投雪量の設定	91
(2) 流路幅の検討	94
(3) 管理方法	96

3. 3. 2	融雪処理の検討	97
(1)	水褥池規模の設定	97
(2)	融雪量	98
(3)	管理方法	99
3. 3. 3	堆雪処理の検討	100
(1)	除雪断面の検討	100
(2)	処理雪量	101
(3)	管理方法	102
3. 4	まとめ	104

図 表 目 次

図-1.2.1	根雪・消雪日の推移と最高積雪記録	61
図-1.3.1	年齢・階層別人口の比較（国勢調査）	62
図-2.2.1	流路工標準断面図	65
図-3.2.1	流域面積と冬期間流量	70
図-3.2.2	流入量と有効気温面積の対比図	73
図-3.2.3	有効気温面積－流入量	75
図-3.2.4	有効気温面積－流入量回帰図	76
図-3.2.5	計画地平面図	88
図-3.2.6	屋根雪排雪率 α の推定	90
図-3.3.1	投入口一箇所当りの投入歩掛り	92
図-3.3.2	流雪溝の流速と水深	94
図-3.3.3	複断面流路工内の積雪状況	96
図-3.3.4	流路工断面	101
表-1.3.1	人口・世帯の推移	61
表-2.1.1	流路工基本諸量	63
表-2.2.1	流路工計画規模	64
表-3.1.1	冬期間気象調査結果	66
表-3.1.2	冬期間流量	69
表-3.2.1	冬期間降雨量	71
表-3.2.2	超過確率降雨量（GUMBEL法）	72
表-3.2.3	刈谷田川ダムの諸元	73

表-3.2.4	有効気温面積-流入量	75
表-3.2.5	月間最高日平均有効気温	77
表-3.2.6	日平均有効気温の確率再現値	77
表-3.2.7	日平均有効気温法による融雪量	78
表-3.2.8	積雪深の最大日較差(減少分)	79
表-3.2.9	積雪深からもとまる融雪量	80
表-3.2.10	山腹流下時間	81
表-3.2.11	最小値分布あてはめの数表(GUMBEL)	83
表-3.2.12	Return Period T に対する y	84
表-3.2.13	日本内地河川の流出係数 f (物部)	86
表-3.2.14	超過確率日最大降雪深	89
表-3.2.15	処理対象路上雪量	89
表-3.2.16	処理対象屋根雪量	90
表-3.3.1	流雪処理時間(人力投入の場合)	92
表-3.3.2	流雪処理時間(機械投入の場合)	93
表-3.3.3	投雪区間の流路工の諸元	94
表-3.3.4	低水路内の水深と流速	95
表-3.3.5	処理時間の比較	99
表-3.4.1	処理法別の処理雪量と特徴	104

1. モデル地域の概要

1. 1 計画位置

計画地は、新潟県北魚沼郡広神村三ツ又地先であり、広神村の東端、信濃川水系魚野川流域右支川羽根川の右岸側に位置する。

1. 2 自然

1. 2. 1 地形

羽根川は、鼓が倉山（標高1036.9m）に源を発し、支川深道川と計画地上流で合流し東西に流下する。羽根川流域には山麓との境に河岸段丘状の僅かな平坦面があり、中子沢、三ツ又山麓の地形は左岸側に比べ右岸側が谷が深く、ツナゲ沢、アシ沢、手ノ又沢など大小支川が形成されている。計画地「関の沢」「フラン沢」は羽根川支川の中で比較的小規模な流域で、流域面積、流路長はそれぞれ

流域面積	:	関の沢	0.360 (km ²)
		フラン沢	0.117 (km ²)
流路長	:	関の沢	0.73 (km)
		フラン沢	0.40 (km)

となっている。

1. 2. 2 雪

広神村並柳地内で、昭和50～60年までの10年間において観測された積雪状況は、図-1.2.1のようになっている。

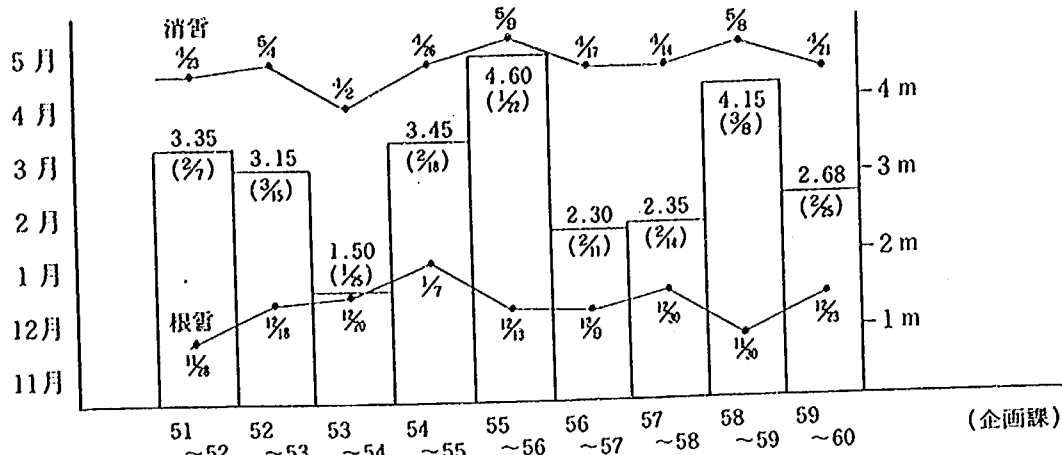


図-1.2.1 根雪・消雪日の推移と最高積雪記録

1.3 社会状況

1.3.1 人口

国勢調査によれば、広神村全体としては昭和30年に過去最高の12,552（人）となったものの、その後は減少に転じ、昭和50年に9,466（人）となったが、55年、60年と増加傾向を示している。

表-1.3.1 人口・世帯の推移

年次	世帯数	人口			一世帯当り人口	前回からの人口の増減
		総数	男	女		
大正 9年	1,820	10,026	5,097	4,929	5.51	
14	1,849	10,125	5,217	4,908	5.48	99
昭和 5年	1,873	10,329	5,252	5,077	5.51	204
10	1,908	10,368	5,320	5,048	5.43	39
15	1,912	11,137	5,840	5,297	5.82	769
22	2,058	12,462	6,039	6,425	6.06	1,325
25	2,090	12,523	6,173	6,350	5.99	61
30	2,102	12,552	6,219	6,333	5.97	29
35	2,194	12,163	6,042	6,121	5.54	-389
40	2,217	11,198	5,569	5,629	5.05	-965
45	2,162	10,047	5,020	5,027	4.65	-1,151
50	2,144	9,466	4,710	4,756	4.42	-581
55	2,184	9,540	4,728	4,812	4.37	74
60	2,202	9,574	4,715	4,859	4.35	34

また、人口構成は昭和45年頃までは「ピラミッド型」に近い分布を示していたが、昭和55年には「つりがね型」の分布型に変移している。

(昭和45年)

(昭和55年)

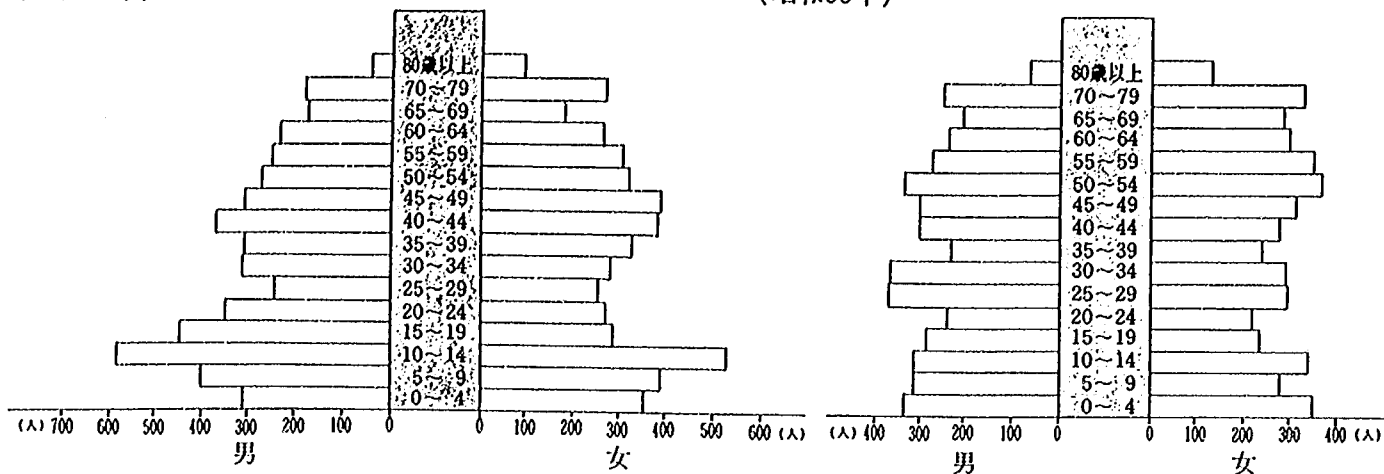


図-1.3.1 年齢・階層別人口の比較 (国勢調査)

三ツ又地区では特に過疎傾向が強く、ここ数年来広神村中心部への転居が増加している。現在関の沢、フラン沢沿いの人家は、4戸となっている。

2. 流路工計画

2.1 基本諸量

関の沢、フラン沢における砂防流路工計画は、表-2.1.1のようになっている。

表-2.1.1 流路工基本諸量

	関の沢	フラン沢
計画降雨量 (mm/day)	236.4	
流域面積 A (km ²)	0.360	0.117
溪床勾配 I	1/22.25	1/14.50
有効雨量強度 r_e (mm/hr)	62.8	72.9
対象流量 Q_p (m ³ /sec)	6.28	2.37

2.1.1 計画降雨量

計画規模は、流域との整合性に留意し、羽根川流域の砂防計画で採用されている既往最大日雨量 (S53.6.26) で評価している。

$$R_{24}^{\max} = 236.4 \text{ (mm/day)} : \text{既往最大 (S53.6.26)}$$

2.1.2 計画流量

水のみを対象流量 (Q_p) は次式によって求める。

$$Q_p = 1/3.6 \cdot f \cdot r \cdot A$$

$$= 1/3.6 \cdot r_e \cdot A$$

$$r_e = f \cdot r$$

ここに

Q_p : 水のみを対象流量 (m^3/sec)

r : 洪水到達時間内平均雨量強度 (mm/hr)

f : 流出係数 (0.8)

A : 流域面積 (km^2)

r_e : 有効降雨強度 (mm/hr)

2.2 流路工計画

2.1 に示した基本諸量および地形状況等から決定された、流路工の計画規模 (勾配、流路幅) は表-2.2.1のとおりである。

表-2.2.1 流路工計画規模

	計画高水流量 (m^3/sec)	計画幅 (m)	計画勾配	計画水深 (m)	備 考
関の沢	6.59 *	5.0	1/40	0.37	コンクリート 三面張 $n = 0.020$
フラン沢	2.49 *	3.0	1/40	0.28	
合流後	9.08 *	6.0	1/40	0.40	

* 土砂混入率 $\alpha=0.05$ を見込んだ値

これより、関の沢、フラン沢、合流後の標準断面は図-2.2.1のようになる。

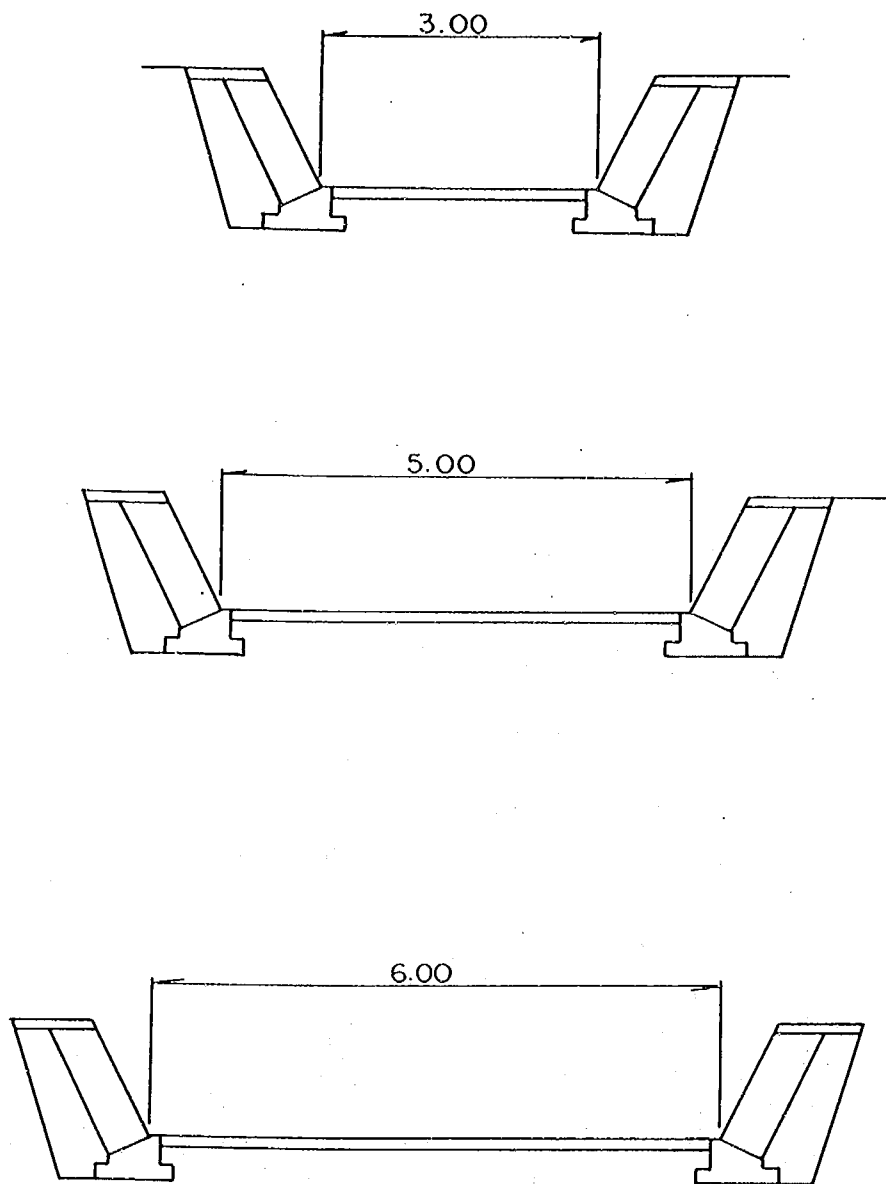


図-2.2.1 流路工標準断面図

3. 雪対策の検討

本章では、表-2.2.1で示した流路工をモデルとして、克雪利用の可能性とその方法について検討を加える。

3.1 計画対象区域の設定

3.1.1 自然的条件調査

(1) 気象条件調査

気象条件の調査は、計画地近郊に気象観測所が設けられていないため、比較的近郊で標高がほぼ等しい入広瀬観測所の値を利用する。入手したデータは昭和38～平成2年までのもので、表-3.1.1に一覧を示すが、一部欠測している。

計画地 : 北魚沼郡広神村三ツ又 標高 : 約240 (m)

観測所 : 北魚沼郡入広瀬村穴沢 標高 : 230 (m)

表-3.1.1 冬期間気象調査結果 (1月、2月)

現場名	入広瀬	1月				2月			
		最高気温 (°C)	最大積雪深 (cm)	最小積雪深 (cm)	最大降雪深 (cm)	最高気温 (°C)	最大積雪深 (cm)	最小積雪深 (cm)	最大降雪深 (cm)
S	38		460	65			340		
	39	7.5	68	28	6.2	151	42		
	40	6.9	198	70	6.5	342	170		
	41	9.4	240	80	11.5	280	170		
	42	7.6	225	75	9.8	290	193		
	43	7.5	360	135	60	9.1	445	345	
	44	8.1	279	90	70	10.7	220	148	
	45							65	
	46		200	100	49	9.4	290	172	
	47	10.4	75	30	42	8.4	70	30	
	48	11.0	125	28	55	8.1	135	70	
	49	6.1	395	205	75	4.2	415	315	
	50	6.6	280	65	80	8.2	305	170	
	51	8.0	260	25	88	9.4	220	158	
	52	3.4	265	150	80	6.8	365	265	
	53	8.4	185	52	65	4.0	305	190	
	54	9.8	150	23	80	8.7	130	80	
	55	11.1	205	0	95	6.6	344	155	
	56	2.8	450	204	52	3.4	463	379	
	57	8.3	178	26	63	5.2	228	168	
	58	9.3	166	5	79	6.4	251	102	
	59	5.2	268	122	57	4.8	342	266	
	60	4.2	276	146	56	8.6	271	174	
	61	4.8	388	106	58	2.6	388	310	
	62	7.6	181	30	43	8.0	210	119	
	63	9.1	144	1	65	6.2	214	104	
H	1	9.2	107	48	21	14.7	137	78	
	2	9.9	254	77	50	10.4	177	95	

表-3.1.1 冬期間気象調査結果（3月、4月）

現場名	入広瀬	3月				4月			
		最高気温 (°C)	最大積雪深 (cm)	最小積雪深 (cm)	最大降雪深 (cm)	最高気温 (°C)	最大積雪深 (cm)	最小積雪深 (cm)	最大降雪深 (cm)
S 38		20.7		227		18.0		40	
39		17.0	107	65		21.5	63	0	
40		9.8	340	260		17.0	293	123	
41		15.4	177	122		20.0	120	0	
42		14.7	245	138		16.6	136	0	
43		11.4	408	287	30	18.6	277	125	
44		18.0	230	159	20	27.5	153	0	1
45									
46		12.1	280	155	55	21.4	148	0	
47		13.2	42	1	34	12.3	28	0	28
48		16.3	155	90	45	20.1	85	0	
49		7.0	395	310	55	16.8	320	140	15
50		8.4	200	165	40	24.2	150	0	45
51		12.2	210	120	45	22.6	118	0	
52		12.0	355	190	50	19.4	188	10	
53		13.2	330	206	60	24.2	202	60	
54		13.5	130	17	30		12		
55		10.8	253	198	22	15.6	192	55	
56		9.3	458	319	26	14.5	318	158	8
57		14.1	183	115	29	21.4	108	0	28
58		11.6	239	174	30	28.9	168	0	9
59		8.4	388	299	36	17.0	296	128	8
60		11.4	230	153	19	16.1	158	0	7
61		10.5	383	273	28	17.6	269	106	9
62		11.3	239	122	32	29.1	120	0	
63		8.8	246	145	33	17.4	142	0	
H 1		14.0	74	0	11				
2		14.5	98	16	14				7

これより、積雪深の既往最大は 463 (cm) (昭和56年 2月 9日)、日降雪深の既往最大値は 95 (cm) (昭和55年 1月15日) となっている。

また、月別最大積雪深の平均値は、

- 1月： 236.4 (cm)
- 2月： 268.8 (cm)
- 3月： 246.0 (cm)

となっており、月別の日最大降雪深は、

- 1月： 62.9 (cm)
- 2月： 46.9 (cm)
- 3月： 33.8 (cm)

で非常に多雪地帯であるといえる。

(2) 流域調査

① 地形調査

関の沢、フラン沢の流域面積および流路長は、それぞれ、

流域面積	:	関の沢	0.360 (km ²)
		フラン沢	0.117 (km ²)
流路長	:	関の沢	0.73 (km)
		フラン沢	0.40 (km)

となっており、非常に小規模な流域であるといえる。流路工の法線形が切り立った斜面直下を通る計画となっているため、流路構内へ積雪が崩落する可能性がある。地元からは関の沢左岸側斜面上流から過去に雪崩が発生しているとの報告がある。

② 土砂調査

現河床には、 $\phi 100$ (mm/mm) 以下の円礫を含む砂礫 (マサ) 堆積物によって形成されている。また、上流区間においても基岩の花崗岩が露岩しており、風化によってマサ化が進行している状態である。これより、流出土砂のほとんどが砂状の細粒分で、その量はかなり多くなるものと推測される。

③ 流末調査

計画流路工の流末は、信濃川水系右支川羽根川である。羽根川は、自然河川で河床には $\phi 1$ (m) 以上の巨礫が点在している状態である。河幅は10~15 (m) 程度で蛇行が激しく通常流量も多くはない。合流部には落差工が計画されており、羽根川河床面と流路工河床面とでは比高差が約 7 (m) になる予定である。

④ 冬期水文調査

昭和63年 1月~ 3月にかけておこなった関の沢、フラン沢の冬期間流量調査結果を表-3.

1.2にしめす。

表-3.1.2 冬期間流量

	1 月	2 月	3 月
天候	快晴	雪	雨
気温 (°C)	5.0	4.0	4.0
水温 (°C)	3.5	1.5	2.0
積雪深 (m)	0.88	2.77	2.13
流量 (m ³ /sec)	0.065	0.047	0.130
比流量 (m ³ /sec/km ²)	0.136	0.099	0.273

以上より、冬期間流路工内で使用できる克雪用水は、

流 量 : 0.05 (m³/sec)

水 温 : 2.0 (°C)

程度が期待できる。

3. 1. 2 社会的条件調査

沿川住民が現在利用している道路は、現在機械除雪の対象とはなっておらず、人力で人間が通行できる程度の幅を除雪している状態である。また屋根雪に関しても、隣接家屋との約15 (m) 程度と離れていることから、降ろした雪を家屋の周りに堆積させ放置している状態である。一部では上流から河川水を引き込み、土塁等で簡易的にプールを作り、その中に雪を投棄して融雪処理を行っているケースも見受けられる。

3. 1. 3 既往災害調査

過去において、融雪洪水により被災した事例は認められなかった。

3.2 対象規模の設定

3.2.1 利用可能流量の設定

冬期流量観測結果から、当地区で雪処理に利用可能な流量は、 $Q = 0.05 \text{ (m}^3/\text{sec)}$ 、水温は、 $t = 2 \text{ (}^\circ\text{C)}$ 程度である。

この値と流域面積 $100 \text{ (km}^2)$ 以下の流域についておこなった流量観測結果を比流量換算し比較すると、観測値が若干大きめな値を示すが、概ね妥当な範囲にあるといえる。

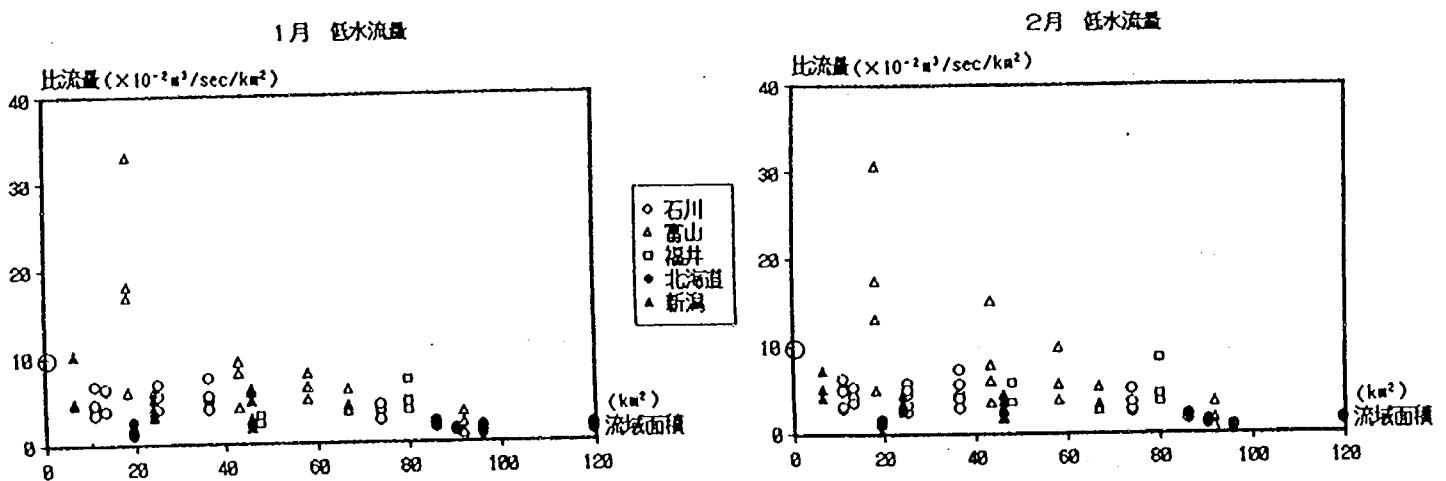


図-3.2.1 流域面積と冬期間流量

なお、図中の低水流量とは「一月を通じて75%以上の日は、この流量を下回らない流量」と定義したものである。

3.2.2 融雪洪水流量の設定

気象条件から融雪量を推定する方法としては、①熱収支法 ②空気力学的方法 ③気温日数法の3種が提唱されているが、①、②の方法については、放射、気温、湿度、風速などを全流域にわたって正確に求めることが困難であり、適用しにくい場合が多い。そのため、ここでは現在最も一般的に用いられている③の気温日数法を採用する。

一方、積雪の減少が全て融雪によるものと仮定した場合、日々の積雪深の推移から融雪

量を算定することができる。

なお、融雪洪水には降雨を伴うものが多いが、降雨と融雪量の関係が特定できないため、降雨量は全て融雪量に置き換えて考える。

計画にあたっては、気温日数法、積雪深の推移、および降雨量から独自にもとまる洪水流量のうち、何れか大きい流量を採用する。

(1) 融雪量算定法の決定

気温日数法、積雪深の推移、および降雨量からもとまる融雪量を比較し、計画に用いる融雪量算定法を決定する。

1) 冬期間降雨量

入広瀬観測所の観測データから、2月～4月の積雪期間における各月毎の最大降雨量をピックアップし表-3.2.1にしめす。なお気象データには降水量として雨と雪の合計を雨量換算で表示してあるため、積雪深の変化と照合し、積雪深の増加を見ない降水量を降雨量とした。また、融雪が進行し無積雪になった場合の降雨は除いている。

表-3.2.1 冬期間降雨量

年	2月	3月	4月
	降水量 (mm)	降水量 (mm)	降水量 (mm)
S 39	22	12	14
40	7	17	19
41			
42			
43	15	10	
44	9	4	30
45			
46	12	27	14
47	9	36	1
48	2	7	9
49	6	8	24
50	2	30	15
51	7	44	31
52	3	21	26
53	10	19	47
54	22	13	
55	6	9	24
56	20	9	22
57	12	24	26
58	12	20	21
59	3	11	11
60	13	17	25
61	1	12	21
62	8	21	15
63	33	12	10
H 1	35	17	
2	32	41	

表-3.2.1の値を用い、GUMBEL法によって各月毎の超過確率降雨量を求めると表-3.2.2のようになる。

表-3.2.2 超過確率降雨量 (GUMBEL法)

再現期間 (年)	2月	3月	4月
2	11.1	16.8	18.8
5	21.2	27.7	29.1
10	28.0	35.0	36.0
50	42.8	50.9	51.0
100	49.1	57.7	57.3

(mm)

これより、降雨量は 4月 > 3月 > 2月の順で大きくなるが、3月と 4月では大差が現れない結果となった。

2) 気温日数法による融雪量

計画地近郊の刈谷田川ダムの流量年表を用い、気温日数法による融雪量の推定を行う。
刈谷田川ダムの諸元は、表-3.2.3に示すとおりである。

表-3.2.3 刈谷田川ダムの諸元

所在地	栃尾市栃堀
流域面積 (km ²)	24.0
流域最高標高 (m)	1410
流域最低標高 (m)	255

昭和55年 1月から昭和62年 4月までの入広瀬観測所における気温データ（最高、最低）から「雪対策溪流モデル事業 技術指針（案）」に沿って、毎日の有効気温面積を求め、刈谷田川ダムの流入量（日平均）との対比図を作成すると図-3.2.2のようになり、多少のばらつきがあるものの、有効気温と流入量の間に関係性が認められる。

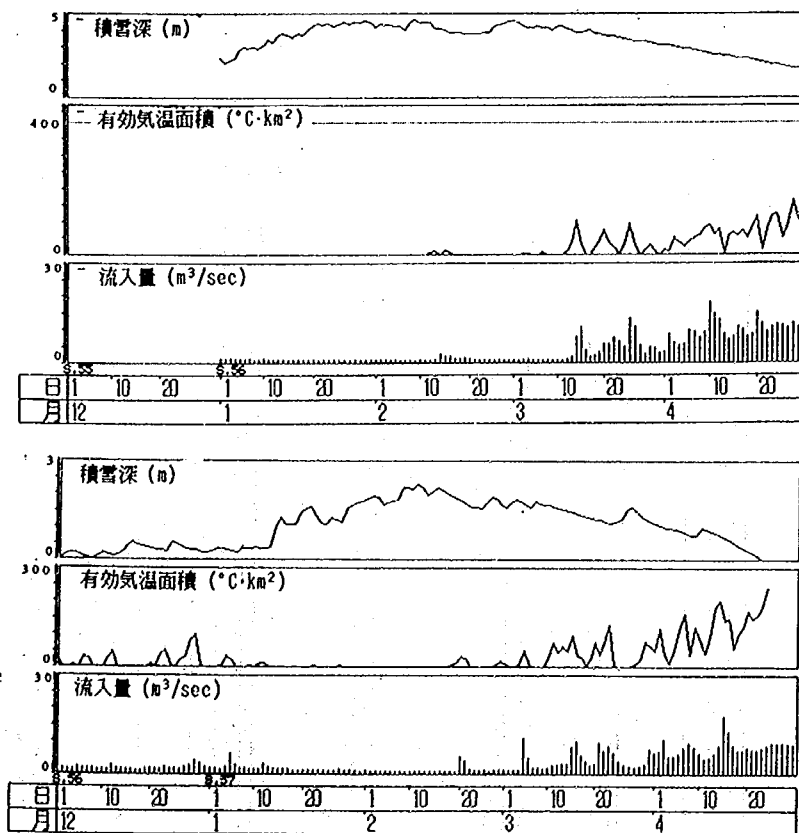


図-3.2.2 流入量と有効気温面積の対比図

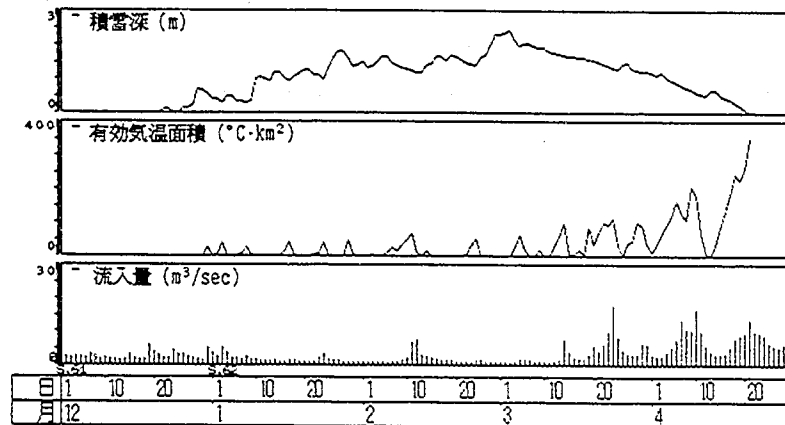
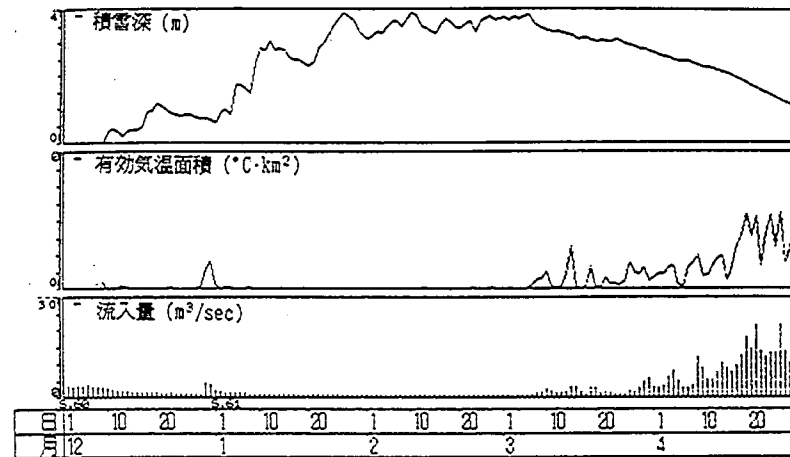
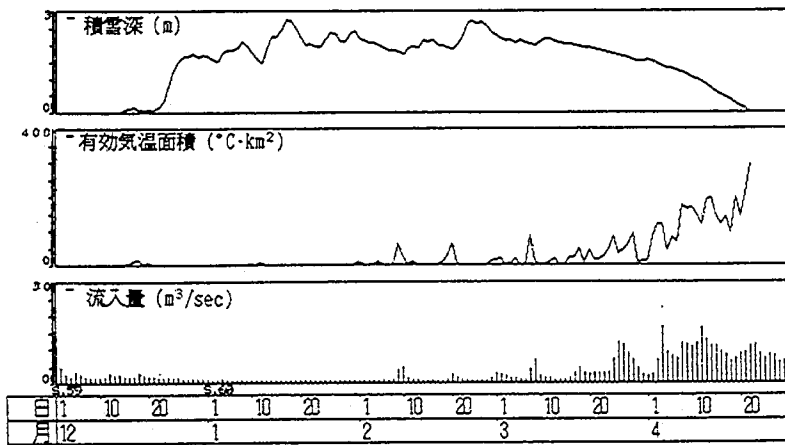
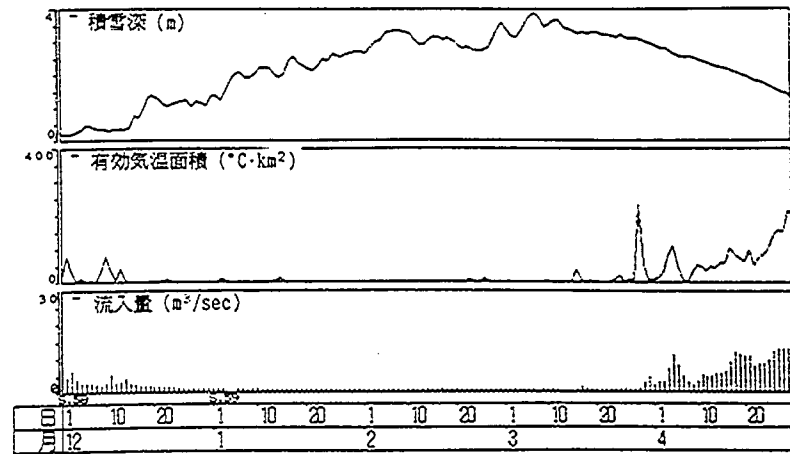
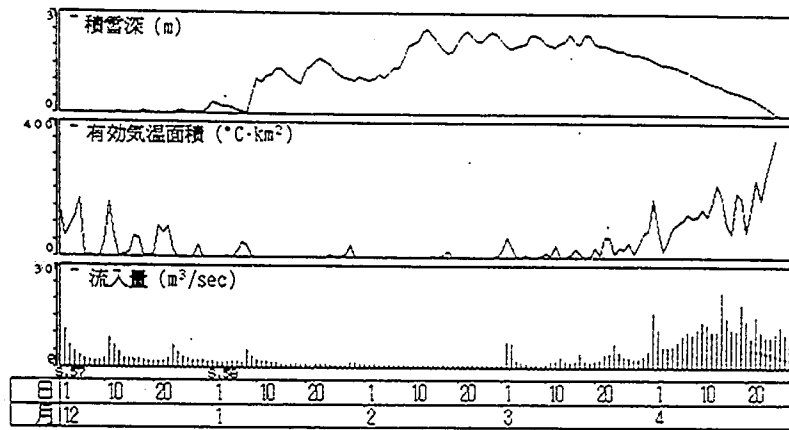


図-3.2.2 流入量と有効気温面積の対比図

この中から、降雨の影響の少ないと考えられる出水についてピックアップし、有効気温面積と流入量の散布図を作成すると図-3.2.3のようになる。

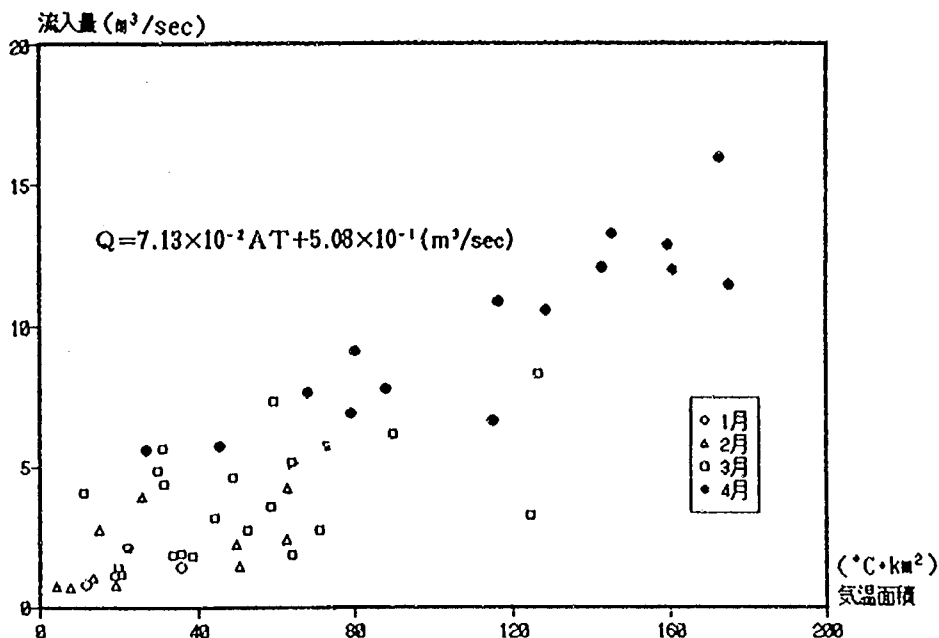


図-3.2.3 有効気温面積－流入量

表-3.2.4 有効気温面積－流入量

気温面積 (°C·km ²)	流入量 (m ³ /sec)	気温面積 (°C·km ²)	流入量 (m ³ /sec)	気温面積 (°C·km ²)	流入量 (m ³ /sec)
35.76	1.92	142.56	12.05	19.35	0.80
72.96	5.70	62.64	4.22	59.04	7.34
29.52	4.86	62.40	2.41	38.40	1.84
26.84	5.58	20.06	1.42	11.14	4.07
79.92	9.09	18.95	1.14	58.56	3.53
67.68	7.64	48.72	4.57	31.36	4.38
116.16	10.82	44.00	3.15	172.56	15.94
160.56	11.96	174.96	11.43	128.16	10.52
159.38	12.82	52.56	2.74	144.96	13.24
25.80	3.90	124.56	3.24	11.82	0.83
13.59	1.07	33.50	1.85	7.77	0.71
70.80	2.75	63.84	5.17	20.69	1.18
31.04	5.64	87.84	7.70	78.96	6.90
126.24	8.29	49.68	2.22	45.36	5.72
22.08	2.14	15.20	2.77		
114.96	6.64	50.40	1.45		
95.52	1.44	63.84	1.85		
4.10	0.77	89.76	6.14		

既往の融雪量の推定式は、気温と融雪量の一次式の形で現されるものが多いことから、最小二乗法を用いて回帰曲線を求めると

$$Q = 7.13 \times 10^{-2} \cdot A_0 \cdot T + 5.08 \times 10^{-1}$$

となる。ここで、切片の値が流域の基底流量と考え比流量で表示すると、一般式は次のようになる。

$$Q_d = 7.13 \times 10^{-2} \cdot A_0 \cdot T + 2.1 \times 10^{-2} \cdot A$$

ここに

Q_d : 流量 (m^3/sec)

A_0 : 融雪面積 (km^2)

T : 日平均有効気温 ($^{\circ}C$)

A : 流域面積 (km^2)

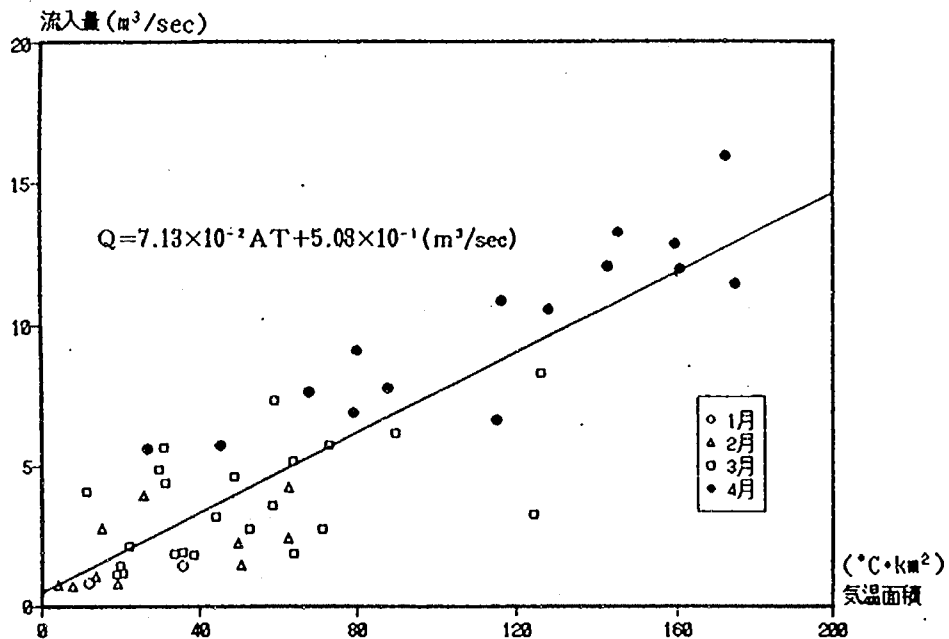


図-3.2.4 有効気温面積-流入量回帰図

以上により、気温日数法による日平均流量の算定式が得られたわけであるが、計画に当たっては超過確率値を算定する必要がある。流量算定の因子は有効気温面積 ($A_0 \cdot T$) であるが、気温の高いときは流域全域で融雪が進行するものと考えると、融雪面積は流域面積に等しくなることから有効気温のみの超過確率値を求めればよい。表-3.2.5は、昭和38年から平成2年までの2月～4月の月間最高日平均有効気温を示したものである。

表-3.2.5 月間最高日平均有効気温 (S38~H 2)

現場名	2月			3月			4月		
	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	有効気温 (°C)	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	有効気温 (°C)	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	有効気温 (°C)
S 38				20.7	5.4	13.1	18.0	2.6	10.3
39	6.2	1.2	3.7	17.0	2.3	9.7	21.5	6.4	14.0
40	6.5	-0.8	2.9	9.8	1.3	5.6	17.0	14.0	15.5
41	11.5	1.0	6.3	15.4	0.7	8.1	20.0	6.0	13.0
42	9.8	-0.4	4.7	14.7	2.4	8.6	16.6	3.2	9.9
43	9.1	-4.9	3.0	11.4	2.6	7.0	18.6	4.8	11.7
44	10.7	-1.5	4.7	18.0	6.0	12.0	27.5	5.0	16.3
45			0.0			0.0			0.0
46	9.4	1.4	5.4	12.1	2.0	7.1	21.4	1.2	11.3
47	8.4	1.2	4.8	13.2	1.1	7.2	12.3	-0.4	6.0
48	8.1	1.0	4.6	16.3	1.3	8.8	20.1	7.1	13.6
49	4.2	0.2	2.2	7.0	2.0	4.5	16.8	3.8	10.3
50	8.2	-1.4	3.5	8.4	2.6	5.5	24.2	6.4	15.3
51	9.4	0.4	4.9	12.2	0.8	6.5	22.6	7.2	14.9
52	6.8	-1.4	2.8	12.0	2.2	7.1	19.4	8.8	14.1
53	4.0	0.6	2.3	13.2	2.4	7.8	24.2	8.0	16.1
54	8.7	3.2	6.0	13.5	5.5	9.5			0.0
55	6.6	0.1	3.4	10.8	0.0	5.4	15.6	4.4	10.0
56	3.4	1.0	2.2	9.3	3.0	6.2	14.5	3.4	9.0
57	5.2	1.8	3.5	14.1	0.9	7.5	21.4	3.2	12.3
58	6.4	0.0	3.2	11.6	-2.0	4.9	28.9	5.1	17.0
59	4.8	-4.4	1.3	8.4	0.4	4.4	17.0	5.1	11.1
60	8.6	1.0	4.8	11.4	-0.3	5.6	16.1	4.2	10.2
61	2.6	0.3	1.5	10.5	4.5	7.5	17.6	4.6	11.1
62	8.0	2.2	5.1	11.3	0.5	5.9	29.1	4.9	17.0
63	6.2	-0.5	2.9	8.8	1.8	5.3	17.4	4.2	10.8
H 1	14.7	2.7	8.7	14.0	2.5	8.3			0.0
2	10.4	0.4	5.4	14.5	5.1	9.8			0.0

表-3.2.5に示した月間最高日平均有効気温について、対数確率紙等を用いて超過確率値を求めることになるが、ここでは簡易的にGUMBEL法を用いて超過確率値を求めると表-3.2.6のようになる。

表-3.2.6 日平均有効気温の確率再現値

再現期間 (年)	2月	3月	4月
2	3.7	7.0	12.1
5	5.4	9.2	15.0
10	6.6	10.7	17.0
50	9.0	13.8	21.2
100	10.1	15.2	23.0

(°C)

上表の値を流量算定式に代入することによって、超過確率規模の日平均流量がもとまる。1日の総流量が当日の総融雪量に等しいと仮定し、流域各点における平均融雪量を算定すると表-3.2.7のようになる。

表-3.2.7 日平均有効気温法による融雪量

再現期間 (年)	2 月		3 月		4 月	
	日平均流量 (m ³ /sec)	平均融雪量 (mm/day)	日平均流量 (m ³ /sec)	平均融雪量 (mm/day)	日平均流量 (m ³ /sec)	平均融雪量 (mm/day)
2	0.136	24.6	0.248	44.9	0.422	76.4
5	0.194	35.1	0.323	58.5	0.520	94.2
10	0.234	42.4	0.374	67.7	0.588	106.5
50	0.316	57.2	0.479	86.8	0.731	132.4
100	0.354	64.1	0.527	95.5	0.792	143.5

$$V = 24 \times 3600 \cdot Q_a$$

$$R = \frac{V}{1000 \cdot A}$$

ここに

V : 1日総流量 (m³/day)

Q_a : 日平均流量 (m³/sec)

R : 平均融雪量 (mm/day)

A : 流域面積 = 0.477 (km²)

各地点の平均融雪量を降水量の形で現すと、4月の100年確率の融雪量 (143.5mm/day) は、砂防計画における降雨量 (236.4mm/day) に対して約6割程度の値となる。

3) 積雪深による融雪量の算定

積雪深の減少分がすべて融雪によるものと仮定し、積雪深の日較差から融雪量の算定をおこなう。入広瀬観測所の気象データから、2月～4月における積雪深の最大日較差（減少分）を拾い上げると表-3.2.8のようになる。

表-3.2.8 積雪深の最大日較差（減少分）

年	2月	3月	4月
	減少量 (cm)	減少量 (cm)	減少量 (cm)
S 39	21	13	21
40	20	40	22
41	38	22	14
42	21	20	20
43	24	19	15
44	35	18	25
45	22	30	15
46	22	30	15
47	13	20	23
48	20	30	12
49	35	35	10
50	30	30	10
51	18	24	15
52	35	35	13
53	35	30	23
54	10	18	12
55	27	22	10
56	32	21	10
57	20	17	11
58	19	21	10
59	21	29	12
60	18	11	12
61	32	24	13
62	17	25	15
63	29	16	11
H 1	17	15	0
2	13	8	11

表-3.2.8に示した積雪深の減少分について、対数確率紙等を用いて超過確率値を求めることになるが、ここでは簡易的にGUMBEL法を用いて超過確率値を求める。積雪深の減少分から融雪量を算定するに当たっては、流域全体で平均的に融雪が進行するものし、さらに季節の推移による雪質（密度）の変化を考慮する。

ここで、各月における雪の密度を

2月 : $\gamma = 0.1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

3月 : $\gamma = 0.2 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

4月 : $\gamma = 0.4 \text{ (g/cm}^3\text{)}$

と仮定し、積雪減少深の超過確率値と、それよりもとまる融雪量を表-3.2.9に示す。

表-3.2.9 積雪深からもとまる融雪量

再現期間 (年)	2月		3月		4月	
	積雪減少深 (cm)	平均融雪量 (mm/day)	積雪減少深 (cm)	平均融雪量 (mm/day)	積雪減少深 (cm)	平均融雪量 (mm/day)
2	22.7	22.7	21.9	43.8	13.9	55.6
5	30.6	30.6	29.8	59.6	16.9	67.6
10	35.8	35.8	35.0	70.0	19.0	76.0
50	47.4	47.4	46.5	93.0	23.4	93.6
100	52.2	52.2	51.3	102.6	25.3	101.2

2月頃までの降雪期については、積雪深の減少は融雪によるものよりむしろ「新雪→しまり雪」への雪質の変化によるところが大きく、融雪量を的確に表現しているとは言い難いが、融雪終期については融雪によるものと仮定しても大差ないものと考えられる。なお、積雪深のデータは、特定の観測所のものを代表して用いているため、流域面積が広く融雪の進行程度の較差が大きい場合には、過大あるいは過小に評価されることになる。しかし、流域面積の小さな当計画地では、融雪の進行程度は全域でほぼ同程度とみてさしつかえない。

4) 算定法による比較

冬期間降雨量の超過確率再現値と、気温日数法および積雪深の減少量からもとまる融雪量の超過確率再現値をそれぞれ降水量の形で表したが、計画に当たっては対象規模において最も大きな流量を与える算定法を採用する。

ここで、計画対象とする融雪洪水を「3月～4月に発生する洪水で、計画規模を1/100年

確率」と設定すると、各算定法のうち最も大きな値となるのは気温日数法によるものであり、気温日数法による融雪量から計画洪水量を算定する。

$$\begin{array}{ccc} \text{気温日数法} & & \text{積雪深} & & \text{降雨量} \\ 143.5 \text{ (mm/day)} & > & 102.6 \text{ (mm/day)} & > & 57.7 \text{ (mm/day)} \\ 4\text{月} & & 3\text{月} & & 3\text{月} \end{array}$$

(2) 融雪洪水流量

1) 洪水到達時間

洪水到達時間 (T) は、流域の最遠点に降った雨が計画地点に達するまでに要する時間である。原則として河道への流入時間と流下時間の合計とする。

$$T = T_1 + T_2 \quad (\text{min})$$

ここに、

T_1 : 流入時間 (min)

T_2 : 流下時間 (min)

① 流入時間

流入時間 (T_1) は、流域内の最遠点に降った雨が河道に達する平均流下時間であり、融雪出水の場合は、積雪中の浸透時間 (積雪 1 (m) につき、約 2時間) を加えて評価する。

$$T_1 = T_0 + T_s \quad (\text{min})$$

$$T_s = 120 \cdot h \quad (\text{min})$$

ここに、

T_0 : 山腹流下時間 (min)

T_s : 積雪中の浸透時間 (min)

h : 積雪深 (m)

表-3.2.10 山腹流下時間

流域の区分	流入時間
流域面積 1 km 未満	10~20分
" 1 km 以上	20~30分

(参考) に示すように、計画地の 4月における最低積雪深の 100年確率再現値は、0 (m) とみなせることから、流入時間は表-3.2.10より

$$T_1 = 10 \text{ (分)}$$

と設定する。

(参 考)

最低積雪深の超過確率再現値は、「岩井重久、石黒政儀，1970：応用水文統計学，PP124-130」の濁水流量の算定式に準じて以下の手順で行った。

$$\begin{aligned} C_s' &= \frac{\bar{X}^3 - 3 \cdot \bar{X}^2 \cdot \bar{X} + 2 \cdot \bar{X}^3}{S_x^3} \\ &= \frac{593243.6 - 3 \times 4636.0 \times 39.4 + 2 \times 39.4^3}{56.7^3} \\ &= 0.919 \end{aligned}$$

ここに、

C_s' : 標本ひずみ係数

\bar{X} : 積雪深の平均値 (cm)

\bar{X}^2 : 積雪深の二乗の平均値 (cm²)

\bar{X}^3 : 積雪深の三乗の平均値 (cm³)

S_x : 積雪深の標準偏差 (cm)

……表-3.1.1より

GUMBEL法に従い、表-3.1.1の統計量がそのまま母特性量の推定値とすれば、表-3.2.10より $C_s' = C_s = 0.919$ に対して、

$$1/k = 0.61, C_1 = 1.785, B_1 = 0.188$$

が得られる。

表-3.2.11 最小値分布あてはめの数表 (GUMBEL)

$$x_0 = B_1\sigma_x + m_x, \quad b = (C_1 - B_1)\sigma_x - m_x$$

1/k	C ₁	B ₁	C _S	1/k	C ₁	B ₁	C _S
0.01	78.981714	0.448164	-1.081272	0.36	2.884924	0.316809	+0.245465
.02	39.989044	.446110	-1.024853	.37	2.817768	.311889	+ .274055
.03	26.986212	.443926	-0.970702	.38	2.753697	.306935	+ .302437
.04	20.480208	.441603	- .918459	.39	2.692475	.301949	+ .330625
.05	16.574350	.439150	- .867967	.40	2.633890	.295935	+ .358632
0.06	13.967343	0.436568	-0.819101	0.41	2.577752	0.291893	+0.386468
.07	12.102862	.433863	- .771740	.42	2.523887	.286825	+ .414147
.08	10.702446	.431038	- .725772	.43	2.472138	.281734	+ .441678
.09	9.611395	.428096	- .681102	.44	2.422364	.276622	+ .469072
.10	8.736889	.425043	- .637637	.45	2.375535	.271490	+ .496340
0.11	8.019851	0.421881	-0.595296	0.46	2.328232	0.266340	+0.523491
.12	7.420934	.418614	- .554002	.47	2.283647	.261174	+ .550535
.13	6.912848	.415245	- .513687	.48	2.240583	.255993	+ .577481
.14	6.476131	.411778	- .472237	.49	2.198946	.250801	+ .604336
.15	6.096505	.408216	- .435743	.50	2.158655	.245597	+ .631111
0.16	5.763261	0.404563	-0.398002	0.51	2.119632	0.240384	+0.657812
.17	5.468210	.400822	- .361012	.52	2.081807	.235163	+ .684448
.18	5.204984	.396996	- .324729	.53	2.045114	.229937	+ .711026
.19	4.968556	.393087	- .289108	.54	2.009492	.224706	+ .737553
.20	4.754903	.389100	- .254110	.55	1.974885	.219472	+ .764038
0.21	4.560770	0.385036	-0.219697	0.56	1.941242	0.214237	+0.790486
.22	4.383495	.380900	- .185835	.57	1.908514	.209002	+ .816904
.23	4.220878	.376693	- .152490	.58	1.876656	.203763	+ .843299
.24	4.071085	.372419	- .119634	.59	1.845626	.198537	+ .869677
.25	3.932577	.368079	- .087237	.60	1.815385	.193311	+ .896045
0.26	3.804052	0.363678	-0.055272	0.61	1.785897	0.188090	+0.922408
.27	3.684400	.359218	- .023715	.62	1.757128	.182875	+ .948772
.28	3.572672	.354700	+ .007458	.63	1.729045	.177669	+ .975143
.29	3.468048	.350129	+ .038270	.64	1.701620	.172473	+1.001527
.30	3.369818	.345505	+ .068742	.65	1.674824	.167287	+ .027929
0.31	3.277364	0.340832	+0.098893	0.66	1.648631	0.162113	+1.054354
.32	3.190146	.336112	+ .128743	.67	1.623017	.156951	+ .080808
.33	3.107688	.331348	+ .158308	.68	1.597958	.151804	+ .107296
.34	3.029573	.326541	+ .187606	.69	1.573432	.146672	+ .133822
.35	2.955428	.321694	+ .216653	.70	1.549420	.141557	+ .160393

したがって、

$$1/a = 0.4343 \times 1/k = 0.4343 \times 0.61 = 0.265$$

$$x_0 = m_x + B_1 \cdot \sigma_x = 39.4 + 0.188 \times 56.7 = 50.06$$

$$x_0 + b = C_1 \cdot \sigma_x = 1.785 \times 56.7 = 101.21$$

$$b = 101.21 - 50.06 = 51.15$$

ただし、

$$C_s = C_s, \quad \sigma_x = S_x, \quad m_x = \bar{x}$$

最小積雪深の推定式は、

$$\log(x+b) = \log(x_0+b) + \frac{1}{a} \cdot \xi = \log(x_0+b) - \frac{1}{a} \cdot y$$

$$\therefore \log(x + 51.15) = \log 101.21 - 0.265y$$

100年確率に対する y の値は、表-3.2.12より $y = 4.600$ であるから、計画規模における 4月の最低積雪深 x (cm) は、

$$\log(x + 51.15) = \log 101.21 - 0.265 \times 4.600 = 0.786$$

$$x = 10^{0.786} - 51.15 = -45.04 \text{ (cm)}$$

表-3.2.12 Return Period T に対する y

T(年)	F(%)	y	31.57y	x
200	99.5	5.2958	167.19	260.2
100	99	4.6001	145.23	238.2
50	98	3.9019	123.18	216.1
30	96.7	3.3843	106.84	198.8
10	90	2.2504	71.05	164.0
5	80	1.4999	47.35	140.3
2	50	0.3665	11.57	104.6

すなわち、100年確率時における 4月の最低積雪深は 0 (cm) とみなされる。したがって計画にあたっては積雪中の浸透時間を考慮しないことになる。

② 流下時間

河道流下時間は、Bayern公式によって求める。

$$T_2 = \frac{L}{W}$$

$$W = 72 \cdot (H/L)^{0.6}$$

ここに、

T_2 : 流下時間 (hr)

W : 洪水到達速度 (km/hr)

L : 常時谷地形をなす最上流点より、流量を推定しようとする地点までの水平距離 (km)

H : 同上 落差 (km)

計画地の場合、

$$L = 1.20 \text{ (km)}$$

$$H = 0.18 \text{ (km)}$$

となることから、河道流下時間 (T_2) は、

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{L}{W} = \frac{L}{72 \cdot (H/L)^{0.6}} = \frac{1.20}{72 \cdot (0.18/1.20)^{0.6}} \\ &= 0.05 \text{ (hr)} = 3.0 \text{ (min)} \end{aligned}$$

となる。

①、②の結果から、洪水到達時間 (T) は

$$T = T_1 + T_2 = 10.0 + 3.0 = 13.0 \text{ (min)}$$

となる。

2) 平均 (換算) 雨量強度

平均 (換算) 雨量強度は、到達時間 (T) が13 (min) と短時間なことから、飯塚式により求める。

$$\gamma = \frac{C_t}{100} \cdot R$$

$$C_t = \frac{34,710}{T^{1.35} + 1,502}$$

ここに、

γ : T 時間内の平均時間雨量 (mm/hr)

R : 日雨量 (日融雪量) = 143.5 (mm/day)

T : 到達時間 = 13.0 (min)

C_t : 強度係数 (%)

$$C_t = \frac{34710}{13^{1.35} + 1502} = 22.6 \text{ (\%)}$$

$$\gamma = \frac{22.6}{100} \times 143.5 = 32.4 \text{ (mm/hr)}$$

となる。

3) 融雪洪水流量

洪水流量の算定には、ラショナル式を用いる。

$$Q = Q' \cdot (1 + \alpha)$$

$$Q' = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot \gamma \cdot A$$

ここに、

Q : 洪水流量 (m^3/sec)

Q' : ラショナル式によってもとまるピーク流量 (m^3/sec)

α : 土砂混入率

γ : 洪水到達時間内の平均(換算)雨量強度 (mm/h)

A : 流域面積 (km^2)

表-3.2.13 日本内地河川の流出係数 f (物部)

急峻な山地	0.75 ~ 0.90
三紀層山岳	0.70 ~ 0.80
起伏のある土地および樹林	0.50 ~ 0.75
平坦な耕地	0.45 ~ 0.60
かんがい中の水田	0.70 ~ 0.80
山地河川	0.75 ~ 0.85
平地小河川	0.45 ~ 0.75
流域のなかば以上が平地である大河川	0.50 ~ 0.75

この場合、融雪量が1日の総流量から得られたものであるから、流出係数 f は1.0とし、土砂混入率を $\alpha = 0.05$ とみこんだ場合、計画融雪洪水流量 (Q) は、

$$Q' = \frac{1}{3.6} \times 1.0 \times 32.4 \times 0.477$$

$$= 4.29 \text{ (} m^3/sec \text{)}$$

$$Q = 4.29 \cdot (1 + 0.05) = 4.51 \text{ (} m^3/sec \text{)}$$

となる。この値は、砂防計画上の高水流量 $9.08 \text{ (} m^3/sec \text{)}$ に対して、約50 (%)の値である。

3. 2. 3 処理雪量の算定

処理の対象となる雪は、「屋根雪」および「路上雪」に大別される。屋根上に降り積もった雪荷重による建物の破損を防ぐために、地上に下ろした雪を対象とするのが屋根雪処理である。屋根雪処理は密度が大きな大量の雪を処理しなければならないことが特徴であり、次の雪下ろしまでの間に処理すれば良いことから時間には比較的余裕がある。路上雪処理は日常降り積もる雪から通路を確保するためのもので、屋根雪に比べ少量で密度の小さな雪が対象となるが、短時間で処理しなければならない。ここで、計画地での処理雪量の算定をおこなう。

(1) 路上雪量

処理対象路上雪量は、除雪の対象となる道路面積から次式で表される。

$$W_r = b \cdot l \cdot h_1 \cdot \rho_1$$

ただし

- W_r : 排雪対象路上雪量 (t)
- h_1 : 路上積雪深 (m)
- ρ_1 : 路上積雪の密度 (t/m³)
- b : 道路の幅員 (m)
- l : 道路の延長 (m)

計画地の場合、道路から玄関まで比較的距離があることから、間口の雪も処理対象とする。この場合、間口の除雪も路上除雪と同時におこなうことから、間口の雪は路上雪量に含める。

$$W_r = a \cdot h_1 \cdot \rho_1$$

ただし

- a : 路上 + 間口面積 (m²)

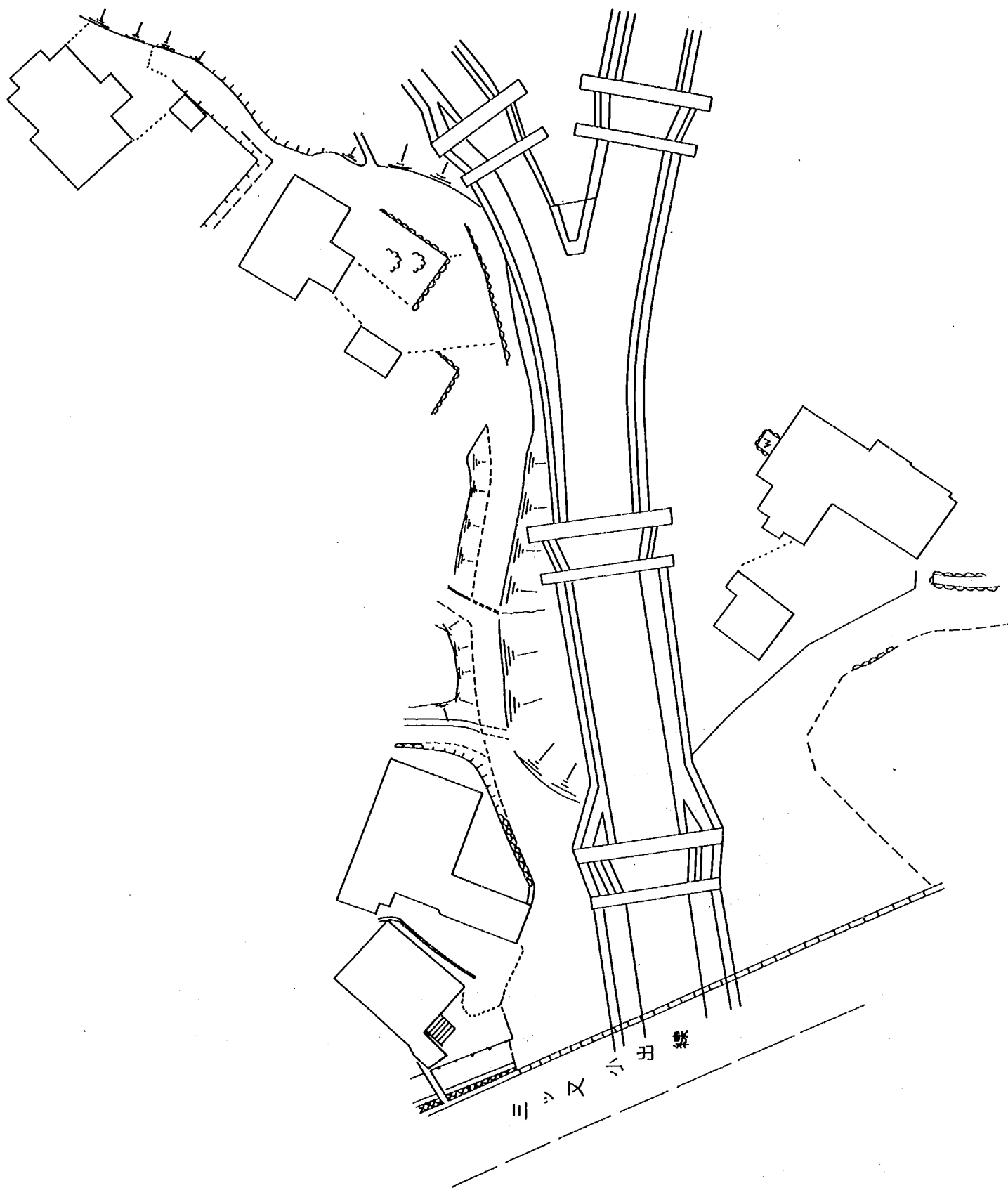


図-3.2.5 計画地平面図 (S = 1:500)

路上の積雪は、交通に与える障害、特に歩行の困難度を考慮すると15~20 (cm) 程度で除雪が必要となるため、日降雪深を対象とする必要がある。したがって計画にあたっては、年最大日降雪深の2年再現期間値を採用する。

ここで、表-3.1.1に示した日最大降雪深から、GUMBEL法を用いて日最大降雪深の確率再現値を求めると表-3.2.14のようになることから、処理対象積雪深 (h_1) は、0.62 (m) と設定する。

表-3.2.14 超過確率日最大降雪深

再現期間 (年)	2	5	10	50	100
降雪深 (m)	0.620	0.791	0.905	1.154	1.260

1/500の地形図を用いて、処理対象となる道路・間口面積を測定し、処理対象路上雪量を求めると表-3.2.14のようになり、全幅員を確保するためには右岸側で36 (t)、左岸側で29 (t) 程度、通路幅 1 (m) のみ確保するためには右岸側で 5.4 (t)、左岸側で 1.9 (t) 程度処理する必要がある。

なお、日降雪の密度は、 $\rho_1 = 0.10$ (t/m³) と仮定したものである。

表-3.2.15 処理対象路上雪量

		道路面積 (m ²)	間口面積 (m ²)	合計 (m ²)	積雪深 (m)	密度 (t/m ³)	路上雪量 (t)
右岸側	全 域	379.0	201.4	580.4	0.62	0.10	36.0
	通路のみ	70.8	16.0	86.8			5.4
左岸側	全 域	363.9	100.0	463.9			28.8
	通路のみ	22.0	9.0	31.0			1.9

(2) 屋根雪量

処理対象屋根雪量は、次式で表される。

$$W_h = \alpha \cdot s \cdot h_2 \cdot \rho_2$$

ただし

- W_n : 排雪対象屋根雪量 (t)
- h_2 : 屋根上の積雪深 (m)
- ρ_2 : 屋根雪の密度 (t/m^3)
- s : 対象面積 (m^2)
- α : 屋根密集度に応じた屋根雪排雪率

対象面積 (s) は、家屋の位置を考慮し県道三ツ又小出線との交差点から最上流家屋の端までの区間で、幅は兩岸に30 (m) の範囲を設定した。

この範囲内で、除雪の対象となる屋根雪量は建築面積分となるが、対象区域内に空き地等の堆積場所があれば排雪量は減少する。このため排雪量の算定には、対象面積 (s) に対して排雪すべき屋根面積 (s_2) の比を屋根雪排雪率 α (s/s_2) とし、 α を建築率 k (対象面積に対する建築面積の比 s_1/s) によって決定した。

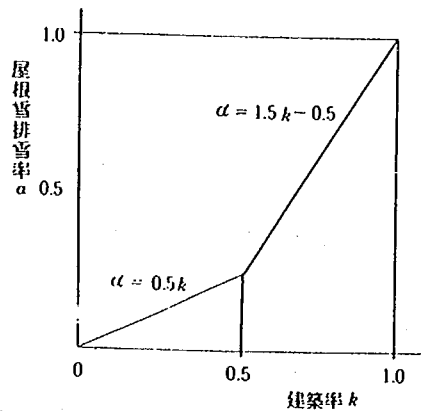


図-3.2.6 屋根雪排雪率 α の推定

路上雪量の場合と同様に、1/500の地形図を基に処理対象屋根雪量を求めると表-3.2.7のようになり右岸側で49 (t)、左岸側で20 (t) 程度処理する必要がある。なお、処理時の屋根雪の積雪深および密度は、 $h_2 = 1.0$ (m)、 $\rho_2 = 0.25$ (t/m^3) と設定した。

表-3.2.16 処理対象屋根雪量

	対象面積 s (m^2)	建築面積 s_2 (m^2)	建築率 k	屋根雪排除率 α	積雪深 (m)	密度 (t/m^3)	屋根雪量 (t)
右岸	3341.9	391.8	0.117	0.059	1.00	0.25	49.3
左岸	1412.6	165.6	0.117	0.059			20.8

3.3 利用計画

克雪対策上、流路工の持つ意味としては、流路工自体が発生源となる融雪洪水を未然に防止することと、流路工を利用して、雪を積極的に処理することに区分される。融雪洪水発生防止策としては、現在一般的に行われている河川除雪に代表される人為的な管理のもとでおこなうものと、構造物によって通水断面を確保してやる方法があげられる。また流路工を利用した雪処理方法としては、流雪処理、融雪処理、および砂防用地内を排雪場として利用する堆雪処理が考えられる。ここでは、各利用方法のための設計手順と、付随する管理法について検討する。

3.3.1 流雪処理の検討

流雪処理とは、流路工内に雪を投入し、流水の力によって流末となる大河川等に運び去ることを目的としたもので、一瞬にして目前から消去することが可能なことから最も大量に雪を処理できる方法である。流雪処理の検討は、以下の手順に沿って行う。

(1) 最大投雪量の設定

流路工内に雪を投入する場合、単位時間内の投入量は運搬距離、投入人数、投入用具等によって異なる。機械によって投入する場合は、エンジンの回転数等を操作することが可能であるが、人力投入の場合には一定の限界がある。人力投入における歩掛りは、投入口寸法50x50 (cm) の流雪溝での実験結果から、図-3.3.1のようになっていることが知られている。

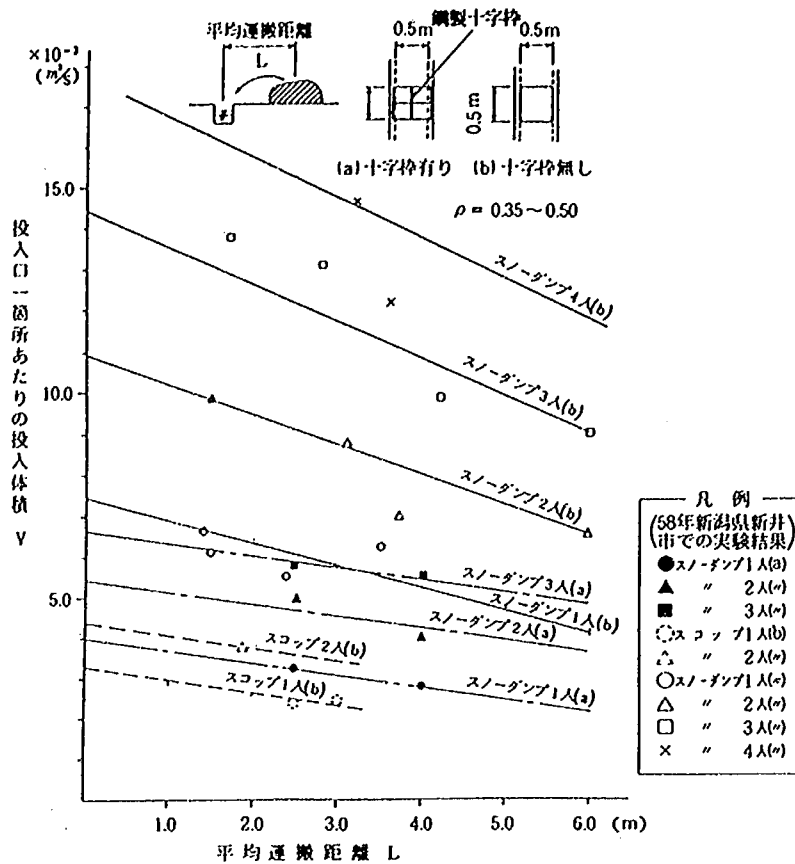


図-3.3.1 投入口一箇所当りの投入歩掛り

計画条件として

使用機材 : スノーダンプ

人数 : 4 (人) 各家から1人ずつ

運搬距離 : 15 (m) 平均値

と仮定した場合の投入歩掛りは、図-3.3.1に外挿すると 3×10^{-3} (m^3/sec) 程度となる。

この歩掛りを用いて処理時間を算出すると、結果は表-3.3.1のとおりとなる。なお、路上雪の処理を考える場合、全域を対象とした処理時間と、通路確保のみを対象とした処理時間を併せて算出している。

表-3.3.1 流雪処理時間 (人力投入の場合)

		処理雪量 (m^3)	投入歩掛り (m^3/sec)	処理時間 (hour)
路上雪処理	通路のみ	117.8	3×10^{-3}	10.9
	全体	648.0		60.0
屋根雪処理		280.4		

図-3.3.1に示した投入歩掛りは、密度 $\rho = 0.35 \sim 0.50$ (t/m³) のしまり雪での実験結果から得られたものであるから、密度の小さな新雪では歩掛りは向上すると考えられるが、1日において除雪に費やす時間はせいぜい 2～3時間程度と考えると、通路確保のみに 4～5日要すことは現実的ではなく、除雪機械の導入が必要と考えられる。

先に述べたように、機械除雪の場合は容易に投雪量を調節することが可能なことから、利用可能流量から最大投雪量を求める。

流量と処理雪量の関係式は、従来より広く用いられてきた経験式、実験式などがあるがここでは流雪溝設計資料で用いられている次式を採用する。

$$Q_w = 2 \cdot Q_s$$

ここに

Q_w : 必要水量 (m³/sec)

Q_s : 投雪量 (m³/sec)

必要水量 (Q_w) は、利用可能流量から 0.05 (m³/sec) と規定されるため、最大投雪量は逆算により

$$Q_s = \frac{1}{2} \cdot Q_w = \frac{0.5}{2} = 0.025 \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

となる。作業ロス等を考え、最大投雪量 (Q_s) を上記の 50 (%) と見込んだ場合、処理時間は表-3.3.2 のようになる。

表-3.3.2 流雪処理時間 (機械投入の場合)

		処理雪量 (m ³)	投入歩掛り (m ³ /sec)	処理時間 (hour)
路上雪 処 理	通路のみ	117.8	1.25 x 10 ⁻³	2.6
	全 体	648.0		14.4
屋根雪処理		280.4		

これより1日の処理時間を2時間と仮定すると、通路のみの場合には約1日強、屋根雪の場合は約3日で処理可能であり、概ね妥当な範囲にあると考えられる。

(2) 流路幅の検討

雪を投入する区間は、関の沢とフラン沢の合流後の区間である。合流後の流路工の諸元は表-3.3.3のとおりである。

表-3.3.3 投雪区間の流路工の諸元

流路幅 (m)	護岸勾配 (分)	流路勾配 (%)	粗度係数	土砂混入率 α
6.0	5	0.025	0.020	0.05

この断面で、利用可能流量時の流速、および水深は Manning 式によれば、

流速 : 0.485 (m/sec)

水深 : 0.017 (m)

となる。ここで、現用されている流雪溝、実験水路による雪塊流送実験等から得られている雪塊の流下可能な流速と水深の関係を示す図上に、計画断面下での流速および水深をプロットする。

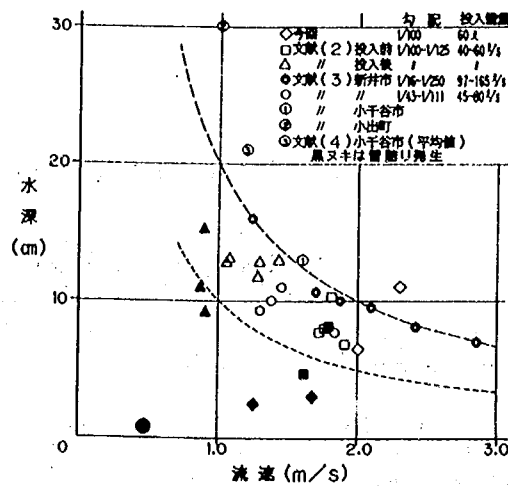


図-3.3.2 流雪溝の流速と水深

これによると、計画における水深・流速のままでは雪塊の流下可能域から大きくはずれることから、水深および流速を増さないことには流雪処理は不可能ということになる。したがって、流雪処理を計画するためには複断面にする必要がある。

雪塊を流すのに最低限必要な水深と流速の関係は、図-3.3.2より、

$$H \cdot V \geq 0.1$$

ただし、 H : 水深 (m)

V : 流速 (m/sec)

で表される。上式の両辺に水路幅 (B) を乗じ、水路幅と流量の関係を示すと、

$$B \cdot H \cdot V = A \cdot V = Q$$

$$Q \geq 0.1 \cdot B$$

$$\frac{Q}{0.1} \geq B$$

となる。流量は0.05 (m³/sec) であるから、水路幅の範囲は

$$\frac{0.05}{0.1} = 0.50 \text{ (m)} \geq B$$

より、0.50 (m) 以下にしなければならない。投雪効率を考えると、水路幅が大きい方が効果的であるから、複断面における低水路幅は0.50 (m) とする。その場合の水深および流速は、表-3.3.4のとおりである。

表-3.3.4 低水路内の水深と流速

水路幅 (m)	勾配 (%)	粗度係数	土砂 混入率	水深 (m)	流速 (m/sec)
0.50	0.025	0.020	0.05	0.086	1.168

なお、低水路の深さについては、雪投入後の水位上昇や雪塊の大きさを考慮して、0.60 (m) と設定する。

(3) 管理方法

(a) 流末処理

計画流路工の流末は羽根川であるが、羽根川自体通常流量も少なく蛇行が激しいことから、流末河川として適しているとはいえない。しかし、合流部の構造が高さ 7 (m) の落差工構造であることから、流送された雪塊によって河道が埋塞したり、流路工の流れに対して支障を及ぼすことは考えられ難いことから、流末として問題はない。

(b) 融雪洪水対策

図-3.3.3は複断面流路工を施工した新潟県中魚沼郡川西町千手流路工の積雪状態を示したものである。このように複断面流路工では、水が低水路のみを流れるため、流水の無い部分では積雪を生じることになる。

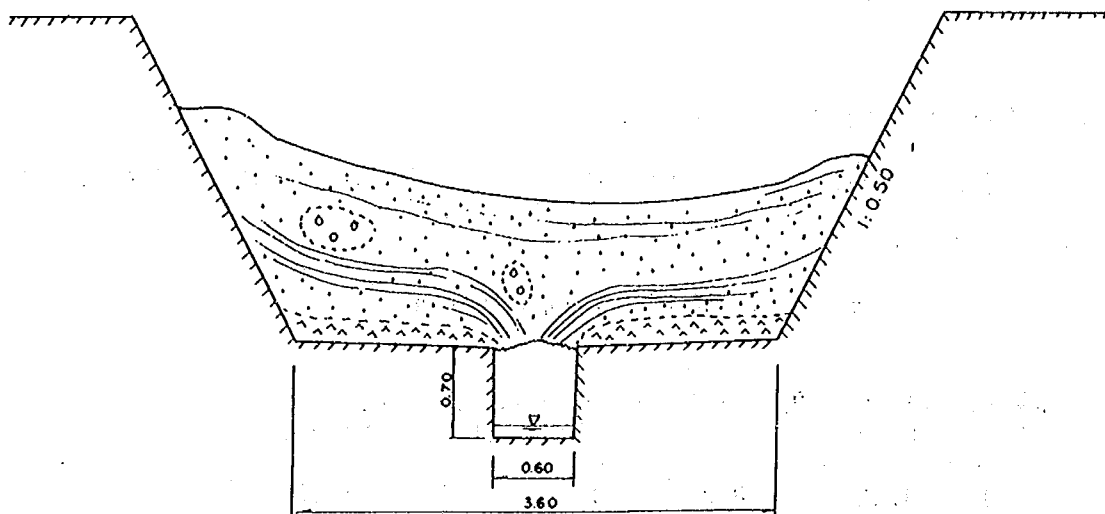


図-3.3.3 複断面流路工内の積雪状況

したがって、融雪期には融雪洪水を流下できるだけの断面を河川除雪やその他の方法によって確保してやる必要がある。

(c) 土砂対策

計画流路工での流出土砂はマサ状の砂礫が中心であることから、落石によって複断面部分が破損する危険性は少ない。したがって流送砂や流木等が河道に堆積して疎通の妨げになることが最も懸念される点である。これより、利用時期の前に十分に点検をおこない、土砂・流木の除去をおこなう必要がある。

3.3.2 融雪処理の検討

融雪処理は、ウォータークッションを利用したり人工的にダムアップして水褥池を設けて雪を投入し、流水の持つ熱エネルギーによって雪を融解して処理する方法である。したがって流雪処理のように短時間で大量の雪を処理することはできないが、流量の少ない流路工でも単純にダムアップすることで雪処理が可能となる。

(1) 水褥池規模の設定

施工性や、取り外しが容易なことからダムアップには土のうを用いる。転落事故や管理の容易さを考慮し、水褥池の深さを0.50 (m) に設定した場合、流路工勾配が1/40 (2.5%) であるからバックウォーターは20 (m) 上流まで形成されることになる。これと床固工間のスパン長20~25 (m) から、水褥池は1スパンにつき1箇所計画する。以上をまとめると、次のようになる。

堰上げ高	: 0.5 (m)
水褥池幅	: 6.0 (m)
// 長	: 20.0 (m)
貯水容量	: 30.8 (m ³ /箇所)

設置箇所数 : 3 (箇所)

(2) 融雪量

雪を融かす熱的モデルに水温のみを考慮した場合、融雪量は次式によって表される。

$$W = \frac{C_w}{C_s} \cdot \gamma_w \cdot Q \cdot \Delta T$$
$$= \frac{\gamma_w}{80} \cdot Q \cdot \Delta T$$

ここに

- W : 融雪量 (t/sec)
C_w : 水の比熱 = 1.0 (cal/g/° c)
C_s : 雪の融解熱 = 80 (cal/g)
γ_w : 水の単位体積重量 = 1.0 (t/m³)
Q : 流量 (m³/sec)
ΔT : 上・下流の水温差 (° c)

密度 γ_s = 0.5~0.7 (g/cm³) 程度の雪塊30 (cm) 中を流水が通過する場合、上・下流の水温差 (ΔT) は0.01~0.06 (° c) になることから、安全側をみて下限値を採用すると、計画水褥池1箇所当たりの水温低下量は、

$$\Delta T = 20/0.30 \times 0.01 = 0.66 (° c)$$

となる。水温調査結果から、関の沢・フラン沢における冬期間水温は約2.0 (° c) であるから、全体の水温低下量と比較すると

$$2.0 (° c) \geq 0.66 \times 3 = 1.98 (° c)$$

となり、3箇所とも同程度の融雪が期待できることになる。

1箇所当たりの日最大処理（融雪）雪量は、単位時間当たりの処理雪量が、

$$w = \frac{\gamma_w}{80} \cdot Q \cdot \Delta T \text{ (t/sec)}$$

であるから、

$$W = w \times 24 \times 3600 = \frac{1.0}{80} \times 0.05 \times 0.66 \times 24 \times 3600$$

$$= 35.62 \text{ (t)}$$

となる。したがって、水褥池 3箇所では 1日当たり106.92 (t) 処理できることになり、3.3.1 (1) でしめした投入歩掛りと作業時間を考えると、流雪処理と同程度の処理が可能である。なお、融雪処理の場合埋塞を考慮する必要がないことから、大型機械による一括投入が可能となる。

表-3.3.5 処理時間の比較

		流雪処理				融雪処理
		処理雪量 (m ³)	処理雪量 (t)	投入歩掛り (m ³ /sec)	処理時間 (hour)	日最大処理雪量 (t)
路上雪 処 理	通路のみ	117.8	11.78	1.25 x 10 ⁻³	2.6	106.92
	全 体	648.0	64.80		14.4	
屋根雪処理		280.4	70.10		6.2	

(3) 管理方法

(a) 投入方法

水褥池内に一度に大量の雪を投入した場合、水に接触している下位から融雪が進行し、上位がブリッジ状に融け残る可能性がある。この状態では熱効率が悪く、所定の融雪が期待できないことから、定期的にブリッジ状の雪を掻き落としたり、攪拌して熱効率を高め

てやる必要がある。

(b) 融雪洪水対策

融雪処理を計画した場合、水路内には一定水深を持った流水が常に存在するため、積雪によって河道が閉塞することはない。したがって断面的には十分融雪洪水に対処可能であるが、堰上げに用いた土のう等の仮設構造物が流され、下流河道を狭め洪水を引き起こす恐れがあることから、融雪出水期に備えて速やかに撤去しなければならない。

3. 3. 3 堆雪処理の検討

堆雪方法による処理雪量は、堆雪域の面積と雪を積み上げる高さ、および積み上げる雪の密度により決定される。なお、流路工内に堆雪させる場合には断面総てを埋塞させることなく、通常流量を流し得るだけの断面を確保しなければならない。

(1) 除雪断面の検討

除雪断面を矩形とみなし、mannings式によって決定する。

$$Q_0 \leq A \cdot V$$
$$= B \cdot H' \cdot \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{B \cdot H'}{B + 2 \cdot H'} \right)^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$H = H' + h$$

ただし、

- Q_0 : 通常流量 (m³/sec)
- B : 掘削幅 (m)
- n : 雪面の粗度係数 (≒ 0.04)
- I : 水路勾配

H : 掘削高 (m)

H' : 高水位 (m)

h : 余裕高 (m)

流路工渠底まで掘削するものとし、除雪幅を0.5 (m)、護岸高 1 (m) と余裕高 0.60 (m) を考慮して、水深が0.40 (m) に形成されたと仮定する場合の流量は、

$$Q_0 = 0.50 \times 0.40 \times \frac{1}{0.04} \cdot \left(\frac{0.50 \times 0.40}{0.50 + 2 \times 0.40} \right)^{2/3} \cdot (1/40)^{1/2}$$
$$= 0.226 \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

となり、通常時流量0.05 (m³/sec) は十分流下可能な断面となる。したがって除雪幅は仮定どおり0.50 (m) に設定する。

(2) 処理雪量

流路工内に護岸高さまで雪を充填した場合、堆雪の断面積は流路工の標準断面から次のようになる。

$$A_0 = (B + m \cdot h) \cdot h$$
$$= (6.0 + 0.5 \times 1.0) \cdot 1.0$$
$$= 6.5 \text{ (m}^2\text{)}$$

ここに A_0 : 流路工断面積 (m²)

B : 流路工幅 (m)

h : // 高さ (m)

m : 護岸勾配

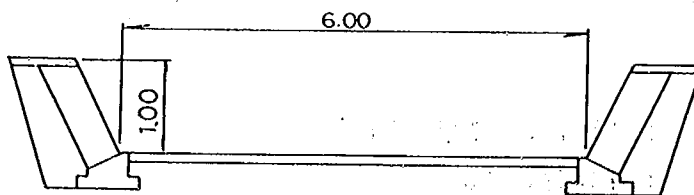


図-3.3.4 流路工断面

これより堆雪面積 (A) は、流路工断面積から除雪断面積 (A_1) を減じ、6.0 (m²) ともとまる。

$$A = A_0 - A_1$$

$$= 6.5 - 0.50 \times 1.00$$

$$= 6.0 \text{ (m}^2\text{)}$$

ここで、堆雪計画域を合流点から県道三ツ又小出線間 (l = 70m) とし、積み上げ時の転圧によって雪の密度 (γ_s) が $0.3 \text{ (t/m}^3\text{)}$ になるものと仮定した場合、堆雪処理雪量 (W) は

$$W = A \cdot l \cdot \gamma_s$$

$$= 6.0 \times 70 \times 0.3 = 126 \text{ (t)}$$

となる。

なお、堆積域を管理幅を含めた砂防指定地内に拡大したり、積み上げ高さを変えること
によって、処理雪量の増加が可能である。

(3) 管理方法

融雪出水期まで河道が雪によって埋塞している場合には、想定される融雪洪水流量を流し得るだけの断面を確保するため河川除雪をおこなう必要がある。断面の決定は、(1) 同様、Manning式によっておこなう。

$$Q_{\max} \leq A \cdot V$$

$$= B \cdot H' \cdot \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{B \cdot H'}{B + 2 \cdot H'} \right)^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$H = H' + h$$

ここに

Q_{\max} : 融雪洪水流量 (m³/sec)

B : 掘削幅 (m)

n : 雪面の粗度係数 (≒ 0.04)

I : 水路勾配

H : 掘削高 (m)

H' : 高水位 (m)

h : 余裕高 (m)

余裕高を見込む程度によって必要掘削幅が異なるが、余裕高を砂防計画どおり0.60 (m) 確保する場合、

掘削幅		流量	融雪洪水流量	判定
5.5 (m)	→	4.31 (m ³ /sec)	4.51 (m ³ /sec)	不可 可
6.0 (m)	→	4.73 (m ³ /sec)		

となることから、掘削幅は6.0 (m) 程度となり、流路工全幅にわたっての掘削が必要である。

3.4 まとめ

3.3でおこなった流路工利用の流雪・融雪・堆雪の各処理法別の処理雪量ならびに問題点をまとめ表-3.4.1に示す。

表-3.4.1 処理法別の処理雪量と特徴

		流雪処理	融雪処理	堆雪処理
最大処理雪量	単位時間	0.025 (m ³ /sec)	1.2 (kg/sec)	126 (t) 以上
	1日当り	2160 (m ³ /day)	106.9 (t/day)	
処理雪量に関する留意点		処理雪量に関しては、最も効率的な処理方法。ただし、重機を用いた大量投棄は不可。	処理雪量は少ないが、一日に雪処理に費やす時間を考えた場合、十分利用可能である。この場合重機によって一度に大量の雪を投棄することが可能。	他の処理方法と異なり雪がその場に残存することになるため、処理雪量には限りがあるが堆雪域の設定によって処理雪量を増やすことができる。 河道内をすべて雪で埋塞させることは厳禁で、通常流量を流しうるだけの通水断面を確保する必要がある。
構造上の留意点		計画断面では、流速・水深が不足し、雪を流せないため、複断面化する必要がある。複断面の規模は、幅50 (cm) x 深さ60 (cm) 程度となる。	水褥池を設けるため、土のう等の仮設構造物によりダムアップの必要がある。	特になし。
融雪洪水に関する留意点		複断面化によって高水敷に雪が堆積するため、河道内の除雪が必要になる可能性あり。	雪で埋塞する危険はないが、洪水によってダムアップに用いた土のう等が流れ出し、下流で災害を引き起こす可能性があることから、管理を十分におこなう必要がある。	融雪出水期まで河道内に雪が残っている場合には、河道の除雪をおこなう必要がある。

堆雪処理は、河道幅が広く、堆雪域を多く取れる地域については有効的な方法と考えられるが、モデル地区の場合は河道幅が狭く、洪水からの保全対象家屋が近いことから現実的ではない。

流雪による雪処理法は、単位時間あたりの処理雪量が最も多いことから、処理対象となる家屋が多くサイクルを組んで常に雪を処理する場合には、非常に有効な方法と考えられる。しかし、モデル地区のように処理対象雪量が多く、その割に家屋数の少ない場合は 1 日の利用時間が限られることから、処理能力的には効果的な方法とはいえない。

ここで、モデル地区における流雪処理と融雪処理を比較すると、融雪処理の利点として、

- ・ 雪処理に費やす時間から 1 日の処理雪量を算出した場合、融雪処理でも十分処理可能な量であること。
- ・ 簡易な構造物で処理可能になること。
- ・ 重機による大量投棄が可能なこと。

などが挙げられる。したがってモデル地区の場合は、融雪処理の導入が適当と考えられる。

砂防設備の克雪利用に関する調査報告書

新潟試験所 所 長 下村 忠一
主任研究員 寺田 秀樹
研究員 藤澤 和範
技 官 中島 久男

要旨

冬期の積雪地域においては、雪の処理する場の確保が重要な社会問題である。
砂防指定地内に設置される砂防設備及びその空間を有効に利用するために実験及び資料解析を行い、安全に雪を処理する方法についてマニュアル形式に取りまとめたものである。

キーワード：流雪、堆雪、融雪、砂防設備、流路工



郵便はがき

944-□□

四十一円切手
はって下さい。

建設省土木研究所
新潟試験所 御中

新潟県新井市錦町二丁目六番八号

No. 2

土木研究所資料第2937号 部

上記のとおり受領しました。

所属(住所)

氏名

印