

2001年2月9日の新潟県南魚沼郡塩沢町鎌倉沢における 河川内積雪水当量および積雪層構造

堀江宏伸*1・小林俊一*2・和泉 薫*2・河島克久*3・遠藤 徹*3・小倉康子*1

Snowcover measurements at the Kamakurazawa river
in Shiozawa, Niigata Prefecture, Japan on February 9, 2001.

by

Koshin HORIE, Shun'ichi KOBAYASHI, Kaoru IZUMI,
Katsuhisa KAWASHIMA, Toru ENDO and Yasuko OGURA

Abstract

We measured the cross-sectional variation of snow depth at four places and investigated stratigraphy of snow wall at one place in Kamakurazawa river, Niigata Prefecture on February 9, 2001. In Kamakurazawa river, the slushflow have frequently occurred. We mainly compared the snow depth in stream side with bank side of the river. We estimate that the average water equivalent of the river channel is about 80% of that outside the river channel. The compacted snow remains in the shade of the bank. The snow pack in the river channel can easily flow if snow becomes wet with the increased runoff and decreases its hardness.

Keywords : Slushflow, Snowdepth in a channel, Water equivalent of snow

キーワード: 雪泥流, 河川内積雪深, 積雪水当量

1. はじめに

雪泥流 (slushflow) とは、河川や溪流などの流路を多量の水を含んだ雪が流動する現象である。国内ではこれまで、雪が雪泥の状態に流動するには少なくとも3倍の質量の水が必要であることが明らかになっている (小林ほか, 1999)。また、雪泥流の流動再現実験 (堀江ほか, 2000) では水で飽和した積雪が水に流されて流下することが明らかにされ、雪泥流発生時の流出量の事例解析 (堀江ほか, 2000) では新潟県南魚沼郡塩沢町の鎌倉沢川で1997, 1998年に発生した雪泥流について、多量の降雨が発生前にあり、河道内積雪量に対する河川総流出量が質量比で3~4倍となることが推定されている。国外では1995年にスウェーデンにおいてslushflowの連続写真およびビデオレコーダーによる記録が初めて成功している (Scherer et al., 1999)。このslushflowについての初めての定量的な解析によると、流れは2波に分かれて発生しており、第1波の先端の速度は40m/sにまで達していることが明らかになっている。さらにSchererは、slushflow発生直前に多量の融雪水が水路に集積して、slushflow発生域上流の積雪ピットの水圧が上昇したことが最も重要な要素であると結論付けている。これらをもみても、雪泥流は多量の降雨や融雪水による河川流出量の増加により積雪が流動して起こると考えられる。雪泥流発生の予測やメカニズムの解明には、降雨や融雪水による河川流出量の変化と河川内の積雪量を調べて、流量と流下する積雪量の関係を知ることが重要な課題の一つである。これまで、堀江ほか (2000) による雪泥流発生時の流出量の事例解析で、河道内の積雪量を写真から推定した例はある。しかし河川内の積雪量を実測し

*1 新潟大学大学院自然科学研究科

*2 新潟大学積雪地域災害研究センター

*3 鉄道総合技術研究所埋雪害防止実験所

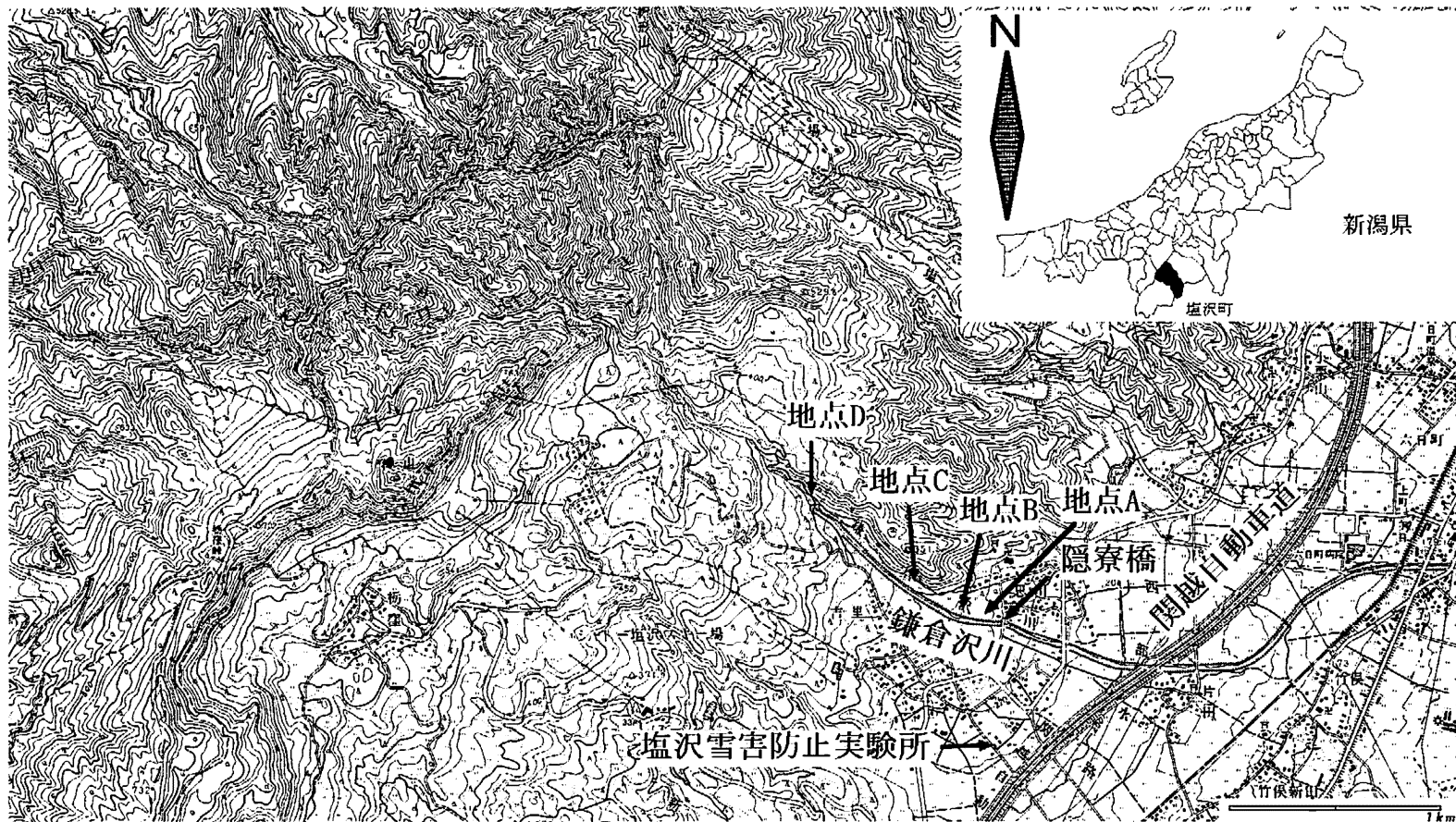


図-1 流域図および測定地点(太線内:流域=2.92km²)

た例はほとんどない。また、河川内の積雪を全流路にわたって定期的に調べる作業は、多くの労力を要するとともに危険をとまなうことから、非常に困難なものである。そこで本論文では、2001年2月9日、雪泥流の常習河川である新潟県南魚沼郡塩沢町の鎌倉沢川において、河道内と堤防上の積雪深、積雪密度、および積雪の断面観測をおこなった。

2. 調査河川の概要

調査河川は新潟県南魚沼郡塩沢町の鎌倉沢川である(図-1)。鎌倉沢川では後述のように少なくとも過去5回の雪泥流が起こっており、雪泥流の常習河川である。もともと塩沢町は洪水の多い地域で、塩沢町誌(1980)によると、寛政元年(1460年)から洪水被害の記録が多数ある。その中で鎌倉沢川の名前が初めてでてくるのは明治24年(1891年)9月30日で、大雨による大洪水が現在の塩沢町から六日町を大湖に変えて、鎌倉沢川も片田砂畑にて破堤、竹俣に押し出し被害が多かったという記録がある。融雪による鎌倉沢川の洪水は、明治26年(1893年)4月15日の「雪消え大水、鎌倉沢川破堤数カ所」という記述からうかがうことができる。鎌倉沢川は塩沢町吉里地区の西山を源として六日町を曲流しながら縦断していたが、ときどき洪水を起こして被害が大きいため、大正9年(1920年)から13年(1924年)に当時の費用で1,200万円を費やして、六日町の南から直ちに魚野川へ入るように改修されている(六日町誌, 1976)。その後も激甚災害対策工事の河川改修などを経て1999年3月までに片田・吉里間の河川改修が竣工している。

雪泥流に関しては、1970年1月30日に雪泥流の溢水により片田集落の12戸が床上浸水するという大きな被害が発生しており、1985年にも床上浸水を出す雪泥流災害があった。1997、1998年においても大きな被害は出ていないものの雪泥流が発生している(和泉ほか, 1997, 1998)。そこでここ数年は、河道に、ある程度雪が積もった場合、掘削して水路を確保することで雪泥流発生を未然に防ぐ対策が行われている。これは、水みちが形成されると積雪は流動しないことを利用したものである。しかし2001年2月19日には、小規模で被害はまったくないものの、掘削した水路に再び積もった雪が流動する雪泥流が発生している。

次に現在の鎌倉沢川の状況を説明する。流域は扇状で広葉樹林や水田が9割以上を占めており、吉里の流路工終点での流域面積は1万分の1の地形図から読みとると2.92km²である。流路工の終点より上流は17基の堰堤があるほかは自然流路のままである。流路工終点から下流はブロック積み三面張の河道で、隠寮橋までは河床が護床ブロック工、それより下流は捨・底張コンクリート工がほどこされている。

本調査区間である隠寮橋上流においてはブロック積み三面張りであり、河床幅9m、天端間距離12m、堤防高は2mとなっている(図-2)。

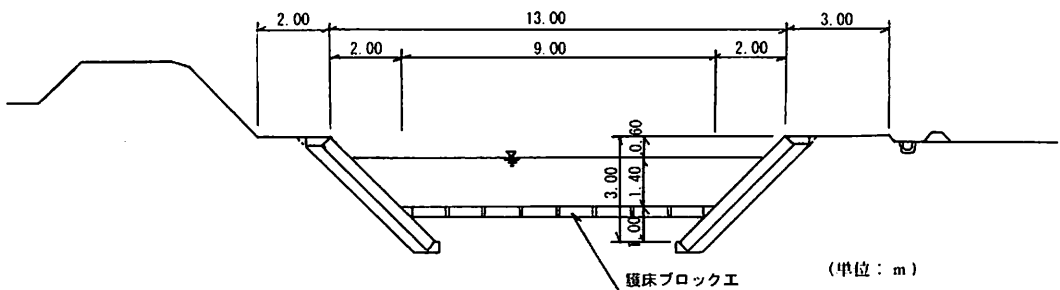


図-2 鎌倉沢川横断面(六日町土木事務所資料)

3. 調査の概要

調査当日は晴天であり、鎌倉沢川から約500m離れた場所にある鉄道総合技術研究所・塩沢雪害防止実験所敷地内(以後、鉄道総研とする)で測定された気温は14:00~16:00にかけて最高気温3.2℃を

記録している。また、4日目の2月5日から1mm/h以上の降水は記録されていない。

調査内容は河道内と堤防上の積雪深、積雪密度、および積雪の断面観測である。そのうち積雪深と密度については、4地点で河道の横断方向に断面をとり、1m間隔で測定して断面図を描いた。積雪の断面観測は1カ所、河道の横断方向に積雪断面をあけて、積雪深、雪質、密度、硬度、粒径を測定した。

積雪深の測定には、兩岸堤防上にロープを渡し基準高さとして、ロープから積雪面および河床との鉛直距離を測定する方法をとった。断面観測は積雪の全体的な層構造を読みとるとともに、堤防上1カ所と河道内2カ所で垂直方向に密度、硬度、粒径を測定した。

積雪深と密度の測定地点は、鎌倉沢川中流にある隠寮橋から上流へ100mほどの地点A、そこから100m上流の地点B、さらに200mほど上流の地点Cおよび流路工の終点から150mほど上流の地点Dである(図-1)。断面観測は地点Bの下流約50mの地点B'でおこなった。測定地点A、B、CおよびB'は、ブロック積み三面張りの河道であり、横断面は図-2に示すとおりである。地点Dは床止工が昭和10年(1935年)に施工された付近であり、現在は堆積土砂や植生などにより不明瞭な横断面形状をしている。

なお、河川を堤防上、堤防のり面、河道内3つの部分に分けて考えることにする。

4. 測定結果と考察

4.1 河川横断方向の積雪深および積雪の相当水量

図-3～6に河川横断方向の積雪深の測定結果を示す。図は向かって正面が下流で、左が左岸、右が右岸である。図中の数字はその付近の積雪全層の平均密度(kg/m^3)を表す。測定地点A、Bを含む、隠寮橋から上流約300mの区間は、河道全面が積雪で覆われていた。そこから上流は流路工の終点まで河道中央が空いていて、測定地点C(図-4)がこれに含まれる。流路工終点より上流の測定地点Dは、

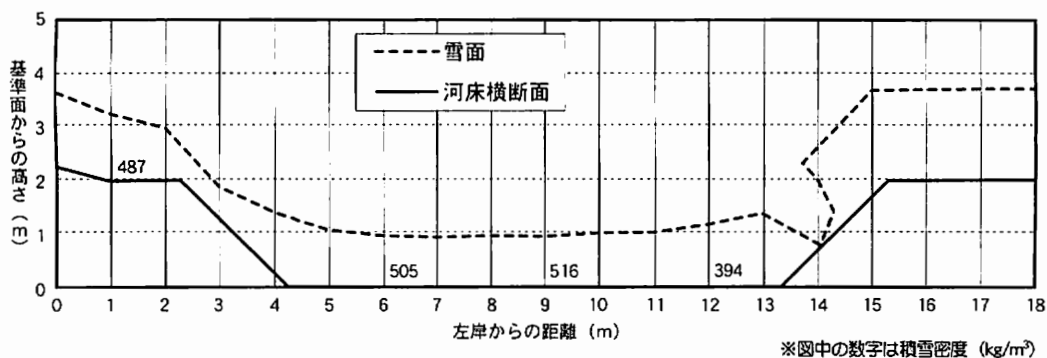


図-3 河川横断方向の積雪深 測定地点A

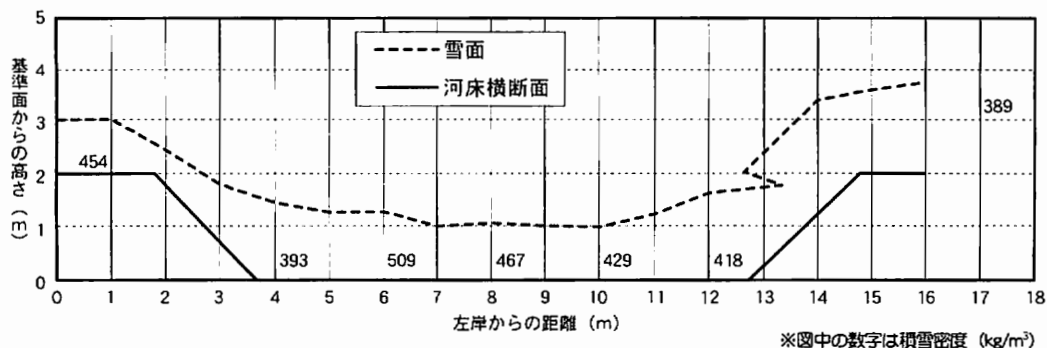


図-4 河川横断方向の積雪深 測定地点B

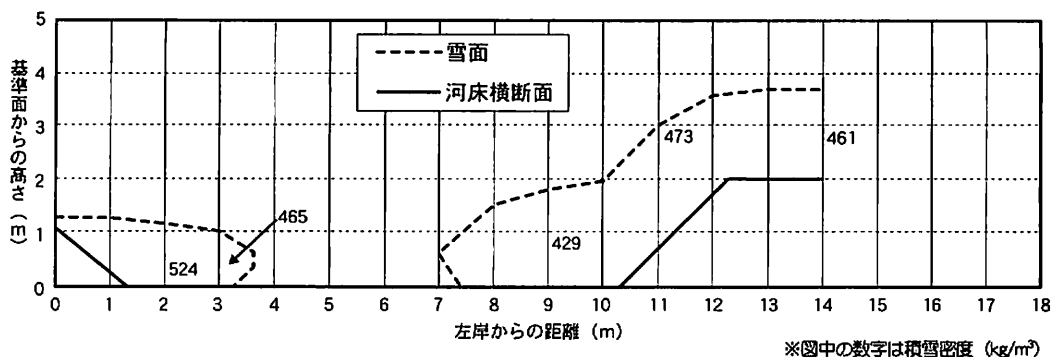


図-5 河川横断方向の積雪深 測定地点C

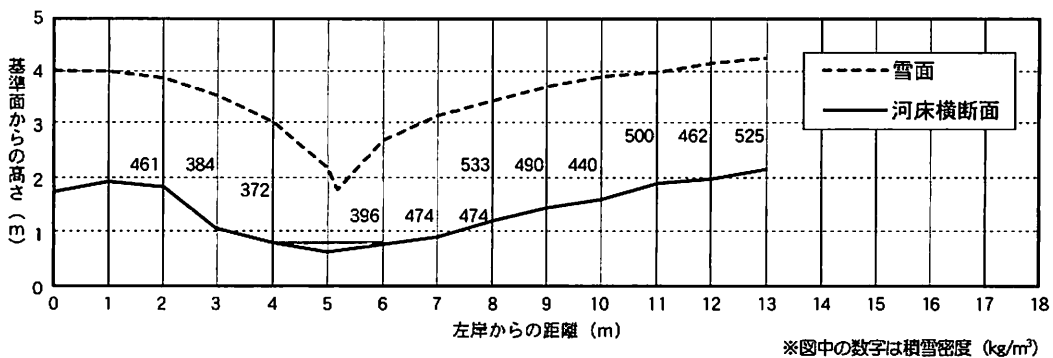


図-6 河川横断方向の積雪深 測定地点D

表-1 鎌倉沢川横断方向の単位面積あたりの積雪の相当水量(mm)

左岸からの距離(m)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
測定地点A	643	551	385	427	559	526	490	488	495
測定地点B	445	368	382	468	513	652	591	459	459
測定地点C	314	555	497	253	0	0	0	370	669
測定地点D	981	947	870	889	714	225	484	1185	1111
左岸からの距離(m)	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18
測定地点A	505	523	436	507	333	862	873	807	807
測定地点B	438	485	604	1605		734	672		
測定地点C	768	950	908	797	763				
測定地点D	1005	1090	976	1100					

再び河道全面を積雪が覆っていた。

表-1に示すのは、河道横断方向1m間隔の単位面積あたりの積雪質量である。これは図-3～6に示す横断面図から、積雪面と河道底面および1m間隔の区切り線で囲まれた積雪の断面積と付近の積雪密度から、奥行き1mとして計算したものである。水の密度を1000kg/m³とすると、この値は積雪の相当水量(mm)と同値になる(以後、積雪水量)。

測定地点A、Bでは河道内の積雪深が1～1.5m、密度は約400～500kg/m³となっており、両端より中央部分の密度が高い傾向にある。積雪水量は河道内で500mm程度であり中央部がやや少ない傾向にある。

これは雪が河道に積もり始めるのが流水の影響で中央に行くほど遅れたことや、中央に向かって積雪が傾斜することで水の集積が起こり、水みちが形成されてざらめ化が進んだことが原因と考えられる。

測定地点Cでは河床が横断方向に4mほど空いており、水深約2cmの水が表面流速約0.26m/sで流れていた。ここより上流の流路工終点付近右岸に取水口があったため、この流量は流域全体の流出量ではない。河道内の積雪深は左岸が1m程度で右岸の方が1.5～2mと深くなっている。

測定地点Dは河川横断面が不明瞭なために河道内外の区別が難しい。河道を覆う積雪は両岸からブリッジ状になっており、積雪の下を水が流れていた。流水は表面流速が1.7m/s、最大水深が15cmであった。図-7に地点Dの積雪層構造を示す。全体的に中央がくぼんだV字になっていて、上から新雪、こしまり雪、ざらめ雪、しまり雪の順に並んで、底面は流水に触れて水飽和していた。この層構造から、河道を覆う積雪は両岸からせり出した雪が中央でつながったものと推察する。積雪深、積雪水量は他の測定地点より6割ほど多く、河道が狭いことと日陰であることが要因の一つと考える。

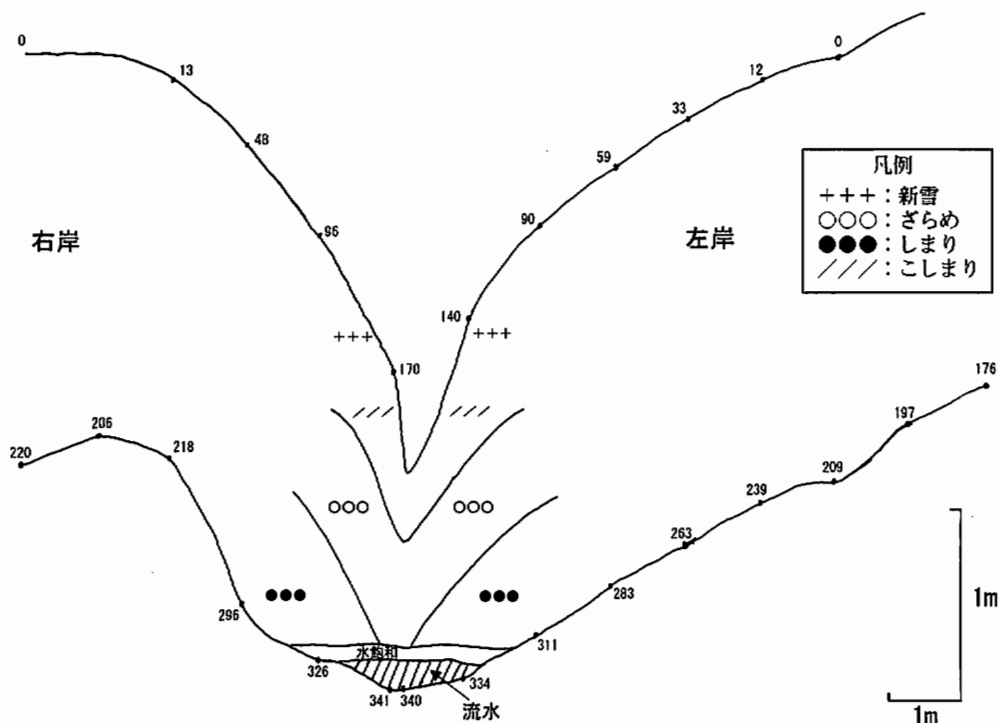


図-7 測定地点Dにおける河川横断方向の積雪層構造

4.2 河道内外の積雪の相当水量の比較

表-2は測定地点A, B, Cの河道内の積雪水量の平均値である。この値を各測定地点の右岸堤防上の積雪水量と比較すると、測定地点Aでは6割強、測定地点Bでは8割、測定地点Cでは6割弱となっている。河道全面に積雪のある測定地点A, Bでは6割強～8割、河道中央が空いている測定地点Cでは6割弱という河道内外の積雪水量の違いが明らかになった。また地点Cでは河道中央の「あき」が比較的少ない断面を選んで測定したため、前後の河道にならして考えると割合はさらに少ないと考える。また、測定地点Dでは河道内外の区別がはっきりできないために表には入れなかったが、中央付近と外側では2倍近い差がある。

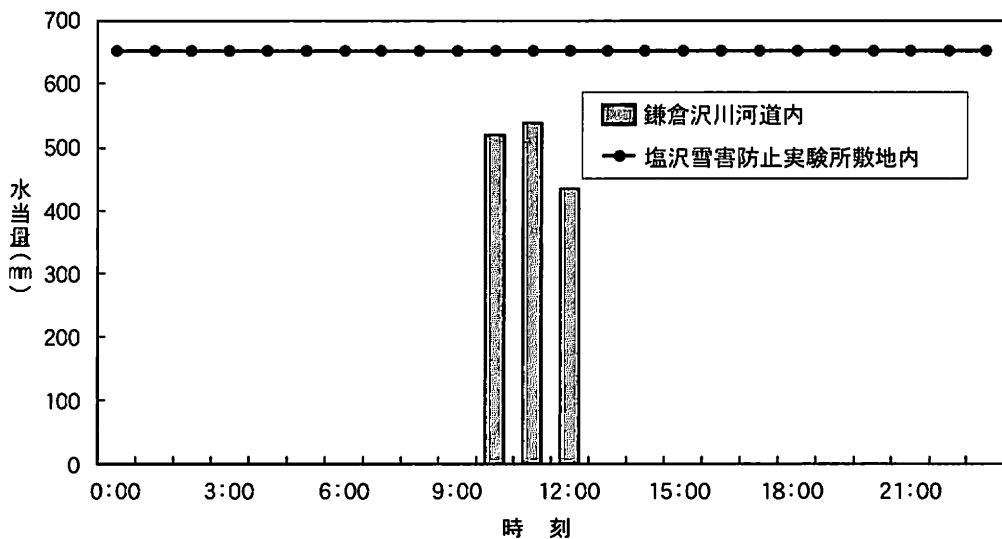
図-8に示すのは測定地点A, B, Cの河道内の積雪水量と鉄道総研の敷地内で測定された1時間ごとの積雪水量である。各測定地点の測定時刻にあわせて示してある。河川堤防上の積雪と比較したときより大きな割合になっており、河道内の積雪水量は鉄道総研敷地内の6割から8割であることがわかる。同時に積雪深で比較すると、河道が積雪に覆われている測定地点A, Bでは8割前後となっている(表-

3)。堀江ほか(2000)が1997, 1998年の鎌倉沢川河道内の積雪深を写真などから推定して鉄道総研の積雪深記録と比較しているが、この場合も前者は后者の8割程度と結論づけている。

以上の結果を総合して考えると、鎌倉沢川の河道内の積雪水量は河道外の7～8割程度と考えてよさそうである。

表一 2 鎌倉沢川河道内外の積雪の相当水量の平均値の比較

	河道内平均水当量(mm)	右岸堤防水当量(mm)	河道/堤防水当量割合
測定地点A	520	807	0.64
測定地点B	539	672	0.80
測定地点C	432	763	0.57



図一 8 塩沢雪害防止実験所敷地内と河道内の積雪の相当水量

表一 3 塩沢雪害防止実験所敷地内と鎌倉沢川河道内の積雪の相当水量の比較

	河道内平均水当量(mm)	実験所の水当量(mm)	河道/実験所水当量割合	河道内平均積雪深(cm)	実験所の積雪深(cm)	河道/実験所積雪深割合
測定地点A	520	654	0.80	106	143	0.74
測定地点B	539		0.82	122		0.85
測定地点C	432		0.66	76		0.53

4.3 河川内の積雪断面観測結果

図-9, 10は測定地点B'で積雪断面をあけて層構造を調べたものである。向かって正面が上流方向、左が右岸で、右が左岸である。大部分がざらめ雪であり、積雪の中央部にしまり雪がある。さらに、ざらめ雪が垂直方向にしまり雪を分断している。最上層はざらめ雪でその下に右岸から延びたしまり雪の層がある。下層には氷板や帯水層が多い。兩岸側壁には黄砂が混じった層が乗っていた。この黄砂は北陸や東北の日本海側で1月2日から3日にかけて観測されたものである。黄砂の混じった層は堤防ののり面にしか存在しないことから、河道内の積雪は1月3日以降のものであると言える。また河道には微量の流水があり、積雪底面は河床に数カ所接地しながらブリッジを形成していた。

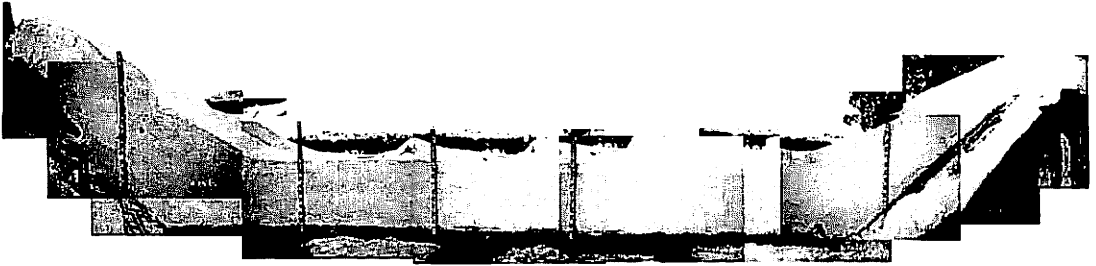


図-9 鎌倉沢川の河川内の積雪断面写真

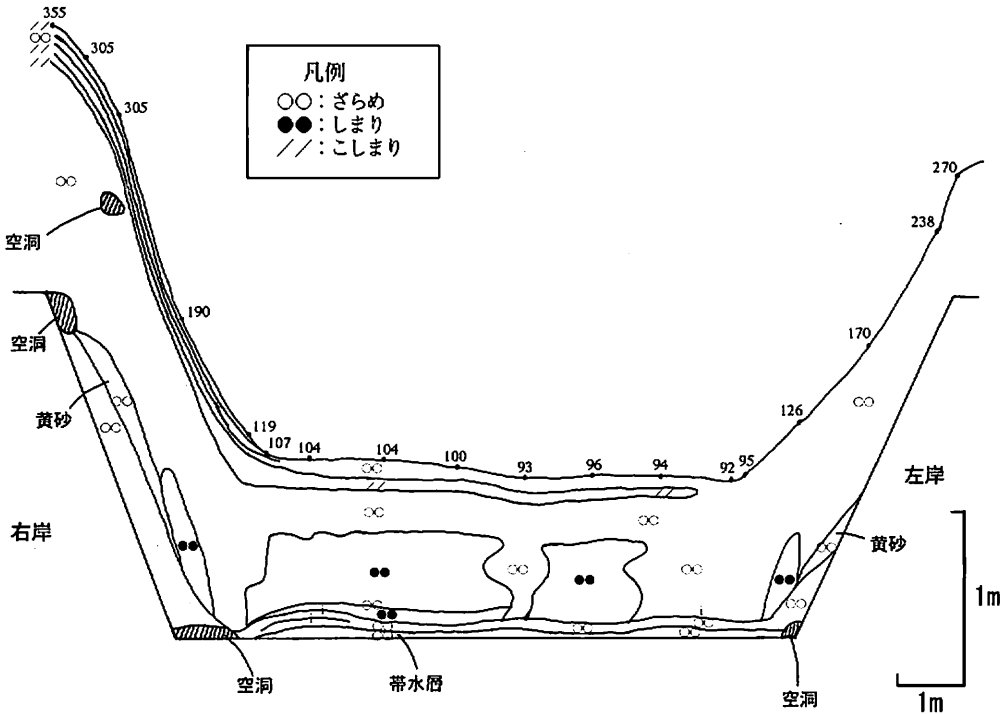


図-10 鎌倉沢川の河川内の積雪断面層構造

図-11は右岸堤防上と右岸から6 m, 11mの河道内の積雪の粒径と層構造, さらに右岸堤防上の雪温を示したものである。堤防上の積雪は河道内よりも層の数が多い。これは1月2日以前の積雪も下層に多く残っているためと考える。雪温は表面のごく薄い部分が -0.5°C である以外は全層 0°C であり, ざらめ雪の層がほとんどである。右岸から6 mの河道内の積雪には, しまり雪の層が広く残っている。また, 河床から6 cmの部分は水が浸透している。右岸より11mの積雪は左岸堤防から続くざらめ雪の層がほとんどの部分を占め, ここでも河床から5 cmは水が浸透した積雪であった。南側(右岸側)にしまり雪が多く残っているのは, 堤防の日陰になることが原因の1つと考える。

図-12は右岸堤防上と右岸から6 m, 11mの河道内の積雪密度と硬度の測定結果である。堤防上の積雪密度は $0.3\sim 0.5\text{kg}/\text{m}^3$ で下層ほど値が大きく, 硬度は90cmの水みちの層と最下層のざらめ雪の層で約 140kPa の最大値を示す。右岸から6 mの河道内の積雪密度は $0.3\sim 0.5\text{kg}/\text{m}^3$ で下層ほど値が大きくなり, 最下層は水が浸透しており $0.8\text{kg}/\text{m}^3$ を示す。硬度は底面から30cmにあるしまり雪の層で約 310kPa の最大値を示す。右岸から11mの河道内の積雪密度は右岸から6 mと同様に, 最下層で $0.919\text{kg}/\text{m}^3$ の最大値を示している。水の密度は $0.917\text{kg}/\text{m}^3$ であることから, 右岸から11mの河道内の積雪最下層は間隙がほ

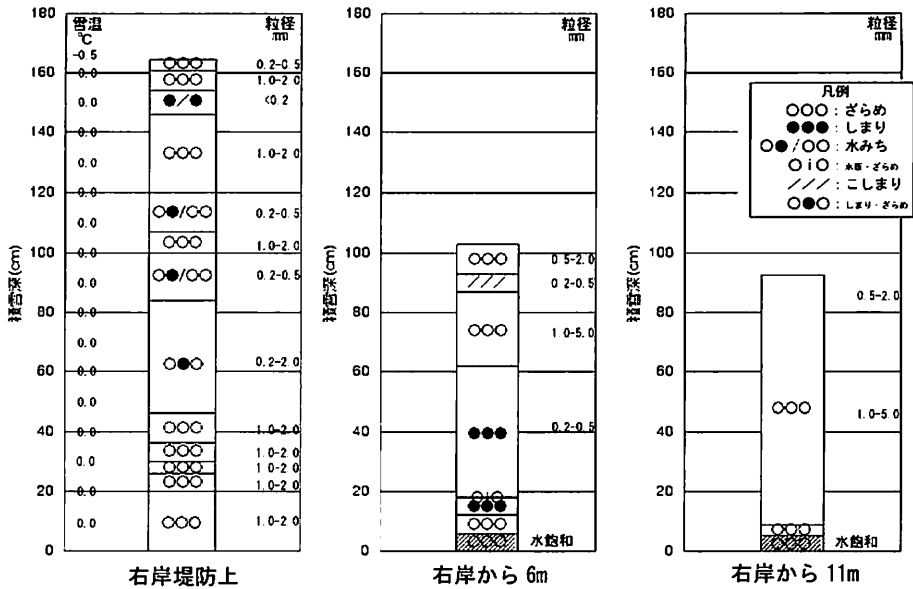


図-11 右岸堤防上、右岸から6m、11mにおける積雪断面層構造

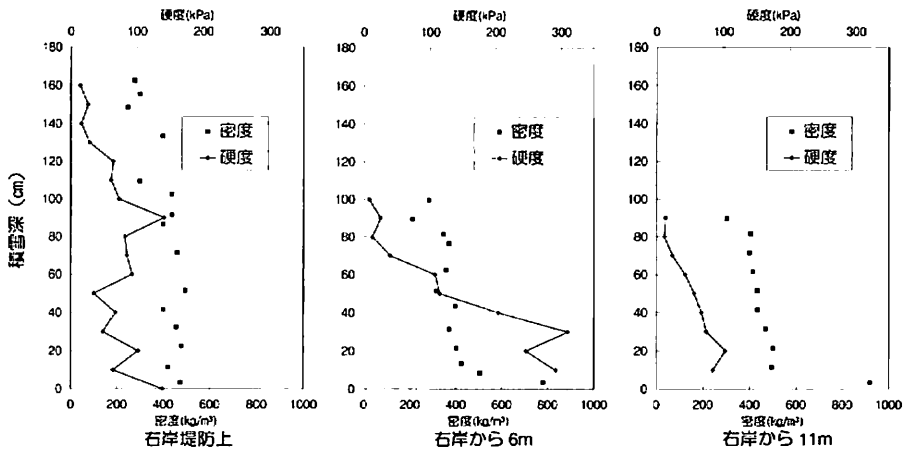


図-12 右岸堤防上、右岸から6m、11mにおける積雪密度および硬度

は完全に水で飽和されていることがわかる。

Izumi (1987) によると、雪の硬度は雪が1時間ほど水に浸った状態にあると、ざらめ雪で1/3、しまり雪だと1/30に減少することがわかっている。この調査では水飽和した部分の硬度を測定していないが、流水に長時間浸っているために非常に弱くなっていると推察する。さらに、河道内の積雪底面は河床に数カ所設置しながらブリッジを形成していることから、河道内の積雪を支持する力は兩岸の堤防上に続く積雪によるものが大きいと言える。

4.4 流出量

河川流量を測定地点BとCの間で測定した。測定は落差工の垂直部を利用して河道の流水を集め流をつくり、バケツに注いで満杯になるまでの時間を計る方法でおこなった。バケツが小さかったために全量を拾いきれていないが、最低でも $0.4 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ は流れていた。前述したとおり、流路工終点付近に取水口があったことからこの値は流域全体の流出量ではないが、4日前の2月5日から1mm/h以上の降水は記

録されていないため、融雪水や地下水などにより流路工部分を流れる基底的な流量である。この基底的な流量が冬期間常時流れていると考え、河道内の積雪は河道外より遅れて積もるとともに、積雪底面が流水によって少しずつ解けだしていることになり、河道内の積雪水量が河道外の7～8割程度になる原因の一つであると言える。

5. ま と め

この調査では、2001年2月9日に新潟県塩沢町の鎌倉沢川で、河川の積雪深、積雪密度の測定および断面観測をおこなった。その結果と考察は次のようにまとめられる。

- (1) 河道内の積雪水量は河道外よりも少なく、その割合は河道外の7～8割程度と言える。これは河道に常に流れる流水によって雪が積もるのが遅れることや、積雪底面が少しずつ融けだしていることが原因と考える。
- (2) 河道内の積雪は流動に対して不安定な状態にあると言える。これは積雪底面が流水に長時間浸っているために硬度が小さくなっていると推察できることを根拠にしている。このような状態で流量の増加にともない河道内の積雪が全体的に水飽和したり、上流部に水が溜まり水圧が上昇すると、この不安定な積雪が一挙に流動する可能性は非常に大きい。
- (3) 河道の南側(右岸側)に多く積雪が残っていること(地点C)、またしまり雪が多く残っていること(地点B')は、堤防の日陰になることが原因の1つと考える。
- (4) 河道の積雪は両岸から徐々にせり出す雪が中央でつながったものであると考える。ただし、以上のことを十分に確認するためには今後の調査の継続が必要である。

謝 辞

新潟県六日町土木事務所には鎌倉沢川に関する情報を提供していただき、防災科学技術研究所・長岡雪氷防災研究所の佐藤篤司所長にはスウェーデンのslushflowに関する資料を提供していただきました。ご厚意に深謝申し上げます。また調査に協力していただいた塩沢町片田の高橋正夫氏に御礼申し上げます。

参考文献

- 堀江宏伸・小林俊一・和泉薫・大月満明(2000):雪泥流の流動再現実験,寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集, 16, 60-65.
- 堀江宏伸・小林俊一・和泉薫・河島克久(2000):雪泥流発生時の流出量の事例解析,寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集, 16, 66-73.
- 和泉薫(1997):日本における雪泥流災害の実態と発生条件の分析,平成7・8年度科学費補助金基盤研究(C)研究成果報告書(課題番号07680483), 3-35.
- 和泉薫・小林俊一・河島克久(1998):1998年2月鎌倉沢川で発生した雪泥流の現場観測,平成8・9年度科学費補助金萌芽的研究研究成果報告書(課題番号08878059), 81-85.
- Izumi, K. (1987): Studies on the Hardness of Wet Snow and its Decrease Due to Solar Radiation, *Annual Report of the Research Institute for Hazards (Saigai-ken), Niigata University*, 9, 1-42.
- 小林俊一・和泉薫・石丸民ノ丞・加藤務・木村忠志・河島克久・藤井俊茂・佐藤篤司(1999):雪泥流(slushflow)の特性に関する研究,寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集, 15, 366-369.
- 六日町誌編集委員会(1976):六日町誌(町村合併前), 39-41.
- Scherer, D., Groebke, L., Parlow, E. (1999): Photogrammetric Analysis of a Slush Torrent in the Karkevagge, Northern Sweden, Paper intended for presentation at the 12th Northern Research Basins Symposium and Workshop, Reykjavik, Kirjubaejarklaustur and Hofn, Hornafjordur, Iceland, August 23-27, 1999.
- 塩沢町教育委員会(1980):塩沢町誌(復刻)第三巻, 219-223.