

P43 航空機搭載型レーザプロファイラを用いた雪崩発生域における積雪深分布解析

国土技術政策総合研究所 ○岩男忠明, 寺田秀樹,
金子正則 (現・日本道路公団)
国際航業 (株) 松田宏, 織茂郁, 本間信一

1. はじめに

雪崩発生危険性を知るためには、雪崩発生域である山崩斜面の積雪深を把握する必要がある。しかし、現地での積雪深実測は危険が伴うことや現地へのアクセスの問題により困難である。そこで、リモートセンシング技術のひとつであり、地表面形状データを取得することを目的とした航空機搭載型レーザプロファイラ (以下LP とする) に着目し、LP によって積雪深の計測を行った。

最初に、LP を用いた計測結果により算出された積雪深データと、LP 計測とはほぼ同時期に現地実測した積雪深データとを比較して、LP を用いた積雪深算出手法の適用性を検証した。次に、LP を用いて計測した積雪深データを用いて、地形・植生状況を反映した積雪深分布解析を行い、設想積雪深推定手法への適用について検討した。

2. 調査区域

調査区域は新潟県湯之谷村の山間部約12km²である。調査区域内には南東から北西に向かって佐梨川が流れる。調査区域内の大部分が左佐梨川に平行して連なる斜面であり、標高は230~800mである。調査区域内の上折立観測点 (標高290m) において2001年12月中旬~2002年3月中旬に観測された積雪深及び降雪量の推移を図-1に示す。また、調査区域丘陵傍の気象観測点における積雪深を表-1に示す。

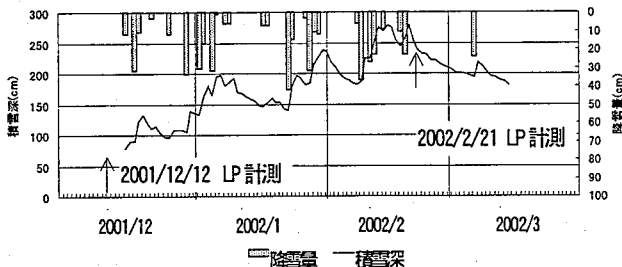


図-1 積雪深及び降雪量の推移

fig.1 Trend of snow-depth and snowfall

表-1 気象観測点における積雪深

table.1 Snow-depth in the weather survey points

観測点	標高(m)	2002/2/21	13年度最大値	既往最大値
上折立	290	252	285	450
宇津野	250	252	283	420
大尺	140	215	245	400
ツバライ	460	303	383	-

3. LP 計測の概要

計測は、LP、GPS 及びIMU (Inertial Measurement Unit: 慣性計測装置) で構成されたシステムを搭載した航空機より行う。本システムでは、三次元座標データを進行方向約2.5m、横断方向約2.0mの間隔で取得できる。メーカーの仕様によると、計測精度は高さ方向で±15cm、水平方向で±30cmである。

計測した三次元座標データには、雲、空気中の塵等により発生するノイズデータが含まれるのでこれらを除去する。ノイズデータ除去後の座標データには樹木や構造物等で反射した計測データが含まれる。このため、統計的に閾値を設定することで樹木や構造物等で反射した

計測データを除去する処理 (以下、フィルタ処理とする) を行う。フィルタ処理後の座標データを用いて TIN (Triangulated Irregular Network) を生成することで、調査区域内の任意の座標での地表面標高を算出することができる。

4. LP の積雪深計測への適用性検証

4.1 検証方法

LP 計測により算出された積雪深データと現地実測による積雪深データを比較することで、LP を用いた積雪深算出手法の適用性を検証した。LP 計測及び現地実測による積雪深データの取得方法を以下に記す。

LP を用いて無積雪期に計測した地表面標高 (地盤高) と積雪期に計測した地表面標高 (積雪面標高) の差分を算出することで積雪深を求めた。無積雪期の LP 計測は2001年12月12日、積雪期の LP 計測は2002年2月21日に行った。図-1及び表-1によると2002年2月21日は本年度の最大積雪深を記録した直後である。また、図-1は示されていないが、2001年12月12日は初積雪後であり、上折立観測点付近で10cm程度の積雪深があった。そこで、融雪期の2001年5月1日にLP を用いて計測した地表面標高を地盤高として積雪深を求めた結果についても併せて検証した。2001年5月1日の上折立観測点付近では積雪は見られない。

次に、現地において積雪深を実測した。現地実測は2002年2月22日に行った。LP を用いた計測ではフィルタ処理を行っているため、樹林・灌木等の樹木生育地 (以下、樹林地という) では三次元座標データの密度が少なくなることが予想される。このため、樹林・灌木等の不生育地 (以下、裸地という) と樹林地の LP 計測結果を比較する目的で、現地実測による積雪深データを裸地及び樹林地に区分して検証した。現地実測箇所は裸地14箇所、樹林地17箇所の計31箇所である。

4.2 検証結果

LP を用いた計測による積雪深と現地実測による積雪深の比較結果を図-2及び表-1に示す。LP 計測と実測の積雪深差では、最大で2m程度の誤差があるが、平均では±15cm程度の誤差である。また、標準偏差は60~70cmである。樹林地と裸地とを比較すると、樹林地ではLP 計測と実測の積雪深差がやや拡大する傾向にある。

地盤高に2001年12月の計測データを用いた結果と2001年5月のデータを用いた結果とを比較すると、積雪深の傾向はほとんど変わらないが、12月のデータを用いた結果の誤差がより少ない。融雪期においては、標高の低い箇所では積雪が無くなる時期は現況植生が繁茂している。その一方で、標高の高い箇所や日陰になっている箇所では残雪がある。このため、植生により座標データの密度が少くなる影響や、残雪の有無により地盤高に違いが現れる影響を受けていると推測される。

以上より、今回のLP 計測による積雪深算出結果については、個々の座標を対象として積雪深の解析を行う目的での利用には誤差が大きい。ある面積を対象とした平均的な積雪深分布を求めることが目的であれば樹林地、裸地とも一定の精度があると言える。また、LP を用いた計測に適した時期は、落葉後から初積雪直後の積雪がほとんど無い時期である。

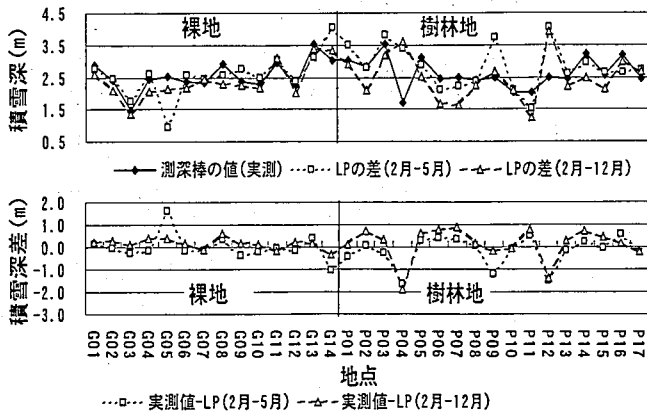


図2 LP計測による積雪深と実測積雪深との比較

fig.2 Comparison of snow-depth with Laser Profiler and survey

表1 LP計測による積雪深と実測積雪深との比較

table.1 Comparison of snow-depth with Laser Profiler and survey

2002.2-2001.12 差分との較差		2002.2-2001.5 差分との較差	
差の総量 (全体)		差の総量 (全体)	
平均	0.14	平均	-0.12
標準偏差	0.10	標準偏差	0.11
標準偏差	0.58	標準偏差	0.63
分散	0.34	分散	0.39
差の総量 (裸地)		差の総量 (裸地)	
平均	0.16	平均	-0.01
標準偏差	0.07	標準偏差	0.15
標準偏差	0.24	標準偏差	0.57
分散	0.06	分散	0.33
差の総量 (樹林地)		差の総量 (樹林地)	
平均	0.13	平均	-0.20
標準偏差	0.19	標準偏差	0.16
標準偏差	0.76	標準偏差	0.67
分散	0.58	分散	0.45

5. 地形・植生状況等を反映した積雪深分布解析

5.1 解析方法

2002年2月のLP計測データを積雪面標高として用いた積雪深分布解析の主な結果を記す。解析に用いたグリッドは2×2mである。

5.2 標高及び斜面方位との関係

標高と積雪深との関係を図-3に示す。標高の増加とともに積雪深が直線的に増加する傾向がある。ただし、標高600~800mで傾きが小さくなるのは、この区間で毛根部の割合が高くなるためであると推測される。斜面方位と積雪深との関係を図-4に示す。北-東向き斜面で積雪深が多く南-西向き斜面で積雪深が少ない傾向が確認された。

5.3 植生との関係

樹林地の抽出は、ノイズデータ除去後のデータを用いて、地表面標高より2m以上高い標高データが存在するグリッドを自動的に樹林地として半別する方法で行った。裸地及び樹林地における標高と積雪深の関係を図-3に示す。全平均と裸地とが分離できていないのは、樹林が疎な箇所では樹幹部のみが樹林地と半別される等の理由で樹林地の抽出割合が低いためと考えられる。全体的傾向としては、樹林地の積雪深は裸地よりも少ない。また、標高200~300m区間で裸地と樹林地の差が顕著でない。これは前記方法で樹林地の抽出を行った場合、建物等の地物を樹林と半別することが理由のひとつと考えられる。

6. 設計積雪深推定手法への適用についての検討

一般に積雪深は標高に依存するとされており、設計積雪深推定手法には直線回帰式が用いられている(社)雪センター編1996)。図-3

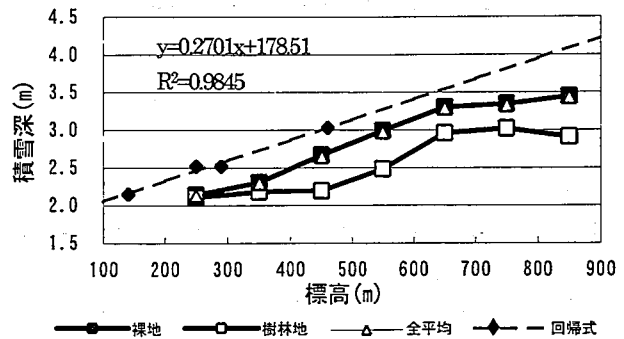


図3 標高とLP計測による積雪深との関係

fig.3 Relation between altitudes and snow-depth by Laser Profiler

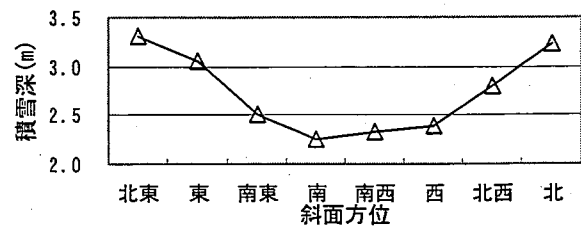


図4 斜面方位とLP計測による積雪深との関係

fig.4 Relation between direction of the slope and snow-depth by Laser Profiler

の点線及び式は、表-1の気象観測点における2002年2月21日の積雪深観測値を用いた直線回帰式である。

$$y = 0.2701x + 178.51 \quad y: \text{積雪深} \quad x: \text{標高}$$

直線回帰式とLP計測による積雪深を比較すると、積雪深増加率の傾向は標高200~600mで概ね一致している。また、LP計測では既存の観測点より広範囲の標高データを取得できるため、LP計測による積雪深のグラフは、積雪深に影響を与える地形・植生条件が標高によって異なる傾向を反映していると考えられる。なお、調査区域内上折し観測点における平成13年度最大積雪深の超過確率年は2.1年であった。

7. まとめ

レーザプロファイラの積雪深計測への適用性の検証を行った結果、無積雪期に取得された地表面標高(地盤高)と積雪期に取得された地表面標高(積雪面標高)の差分を算出する方法で、同時期に広範囲に渡って積雪深分布を求めることが可能であった。また、積雪深分布解析により次の結果が得られた。①調査区域内において、積雪深分布の標高依存性、傾斜方位依存性が確認できた。②調査区域内において、樹木がある場合の積雪深分布は、樹木が無い場合と比較して少ない傾向にあることが確認できた。

今後、LP計測による積雪深分布の設計積雪深推定手法への適用を検証するため、積雪深に影響を与える地形・植生条件を整理し、年による降雪量の違いを反映した積雪深分布傾向を把握すること、また、植生と積雪深分布の関係について、樹木の密度等を反映した傾向が把握されていないので樹木密度等のデータによる区域区分を行い、LP計測による積雪深分布解析に反映すること等が課題としてあげられる。

最後に、気象観測点における積雪深データをご提供いただいた新潟県砂防課並びに小千谷土木事務所、現地調査にご協力いただいた湯之谷村建設課の方々にこの場を借りてお礼申し上げます。

(引用文献) (社)雪センター編(1996):集落雪崩対策工事技術指針(案)資料編(社)雪センター、p.1-8