

道路における積雪斜面の安定性評価に関する研究

Stability Assessment of Snowy Slopes Near Roads

道路の雪崩対策として予防策の施設による対策と通行止めの対策が行われています。事前通行止めや通行後止め後の交通開放は現場目視等による道路管理者の経験や過去の実績にて決定しています。そこで、積雪斜面の安定性を時間的変化を論理的に新しい現地計測方法を交えて予測し、雪崩発生の可能性が低くなるまでに要する条件や時間の検討が行われています。寒地土木研究所では、降雪後の雪崩発生判断手法とSfM(Structure from Motion)技術による斜面積雪状況の測定技術に関する研究に取り組みました。

Measures against avalanches on roads include avalanche control facilities and road closures. Road closures and reopenings are determined by the experience of the road administrators based on visual onsite inspections and past achievements. Therefore, we are investigating the conditions under which the avalanche likelihood decreases and the time required for such decreases, by predicting the stability of snowy slopes using a rational new onsite method that measures changes over time. At the Civil Engineering Research Institute for Cold Region, we have been researching a method for estimating the likelihood of avalanches after snowfall and a technology for measuring the snow conditions on slopes using SfM (structure from motion) technology.



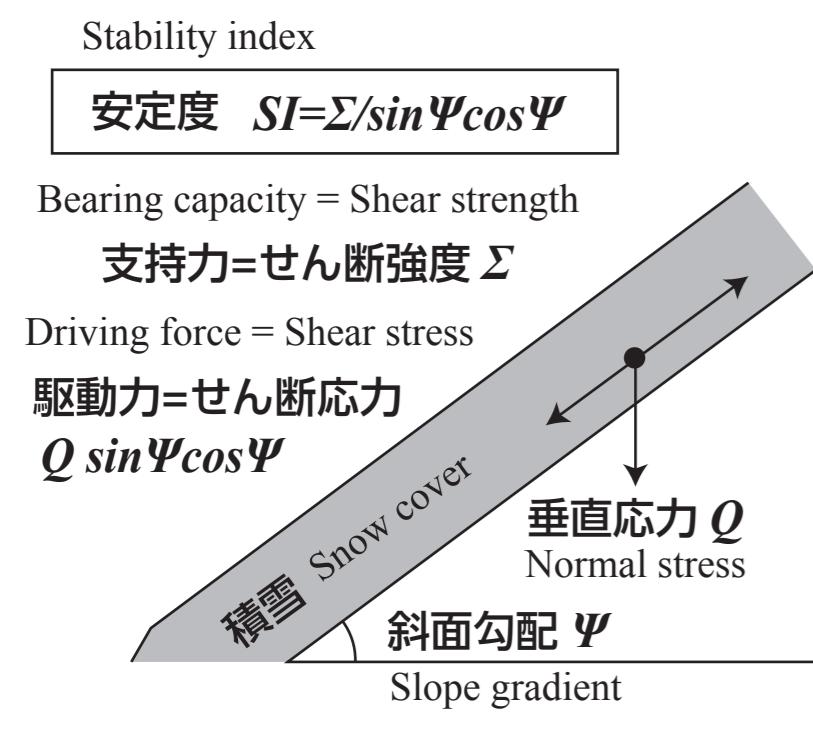
降雪後の積雪斜面状況の例
A snowy slope after snowfall

降雪後の雪崩発生判断手法について

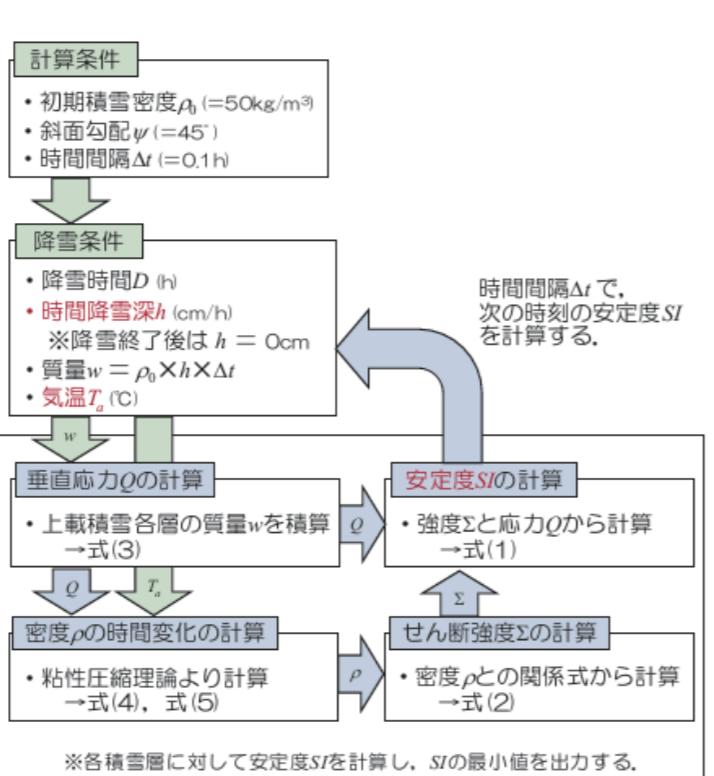
A method for estimating avalanche likelihood after snowfall

雪崩発生のしやすさに関わる斜面積雪の安定性の指標として、斜面積雪の安定度SIを考えました。SIは小さいほど斜面積雪が不安定であることを示します。SIが2.5以下になったときに雪崩が発生しやすくなると考えられます。

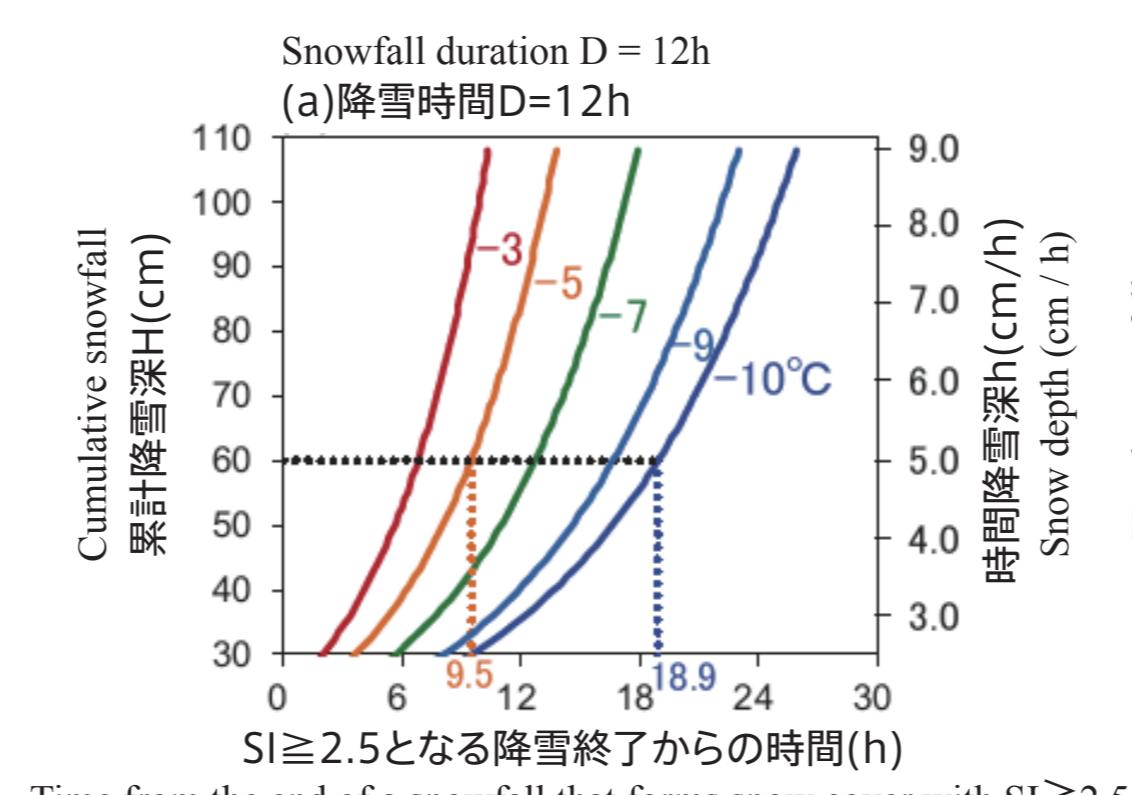
We devised the “stability index for snow cover on a slope” (SI) to express such stability, which relates to the likelihood of avalanche occurrence. The smaller is the SI, the more unstable is the snow on the slope. It is considered that when the SI is 2.5 or lower, avalanches are likely.



▲斜面積雪安定度SIの考え方
Concept of the stability index SI for snow cover on a slope



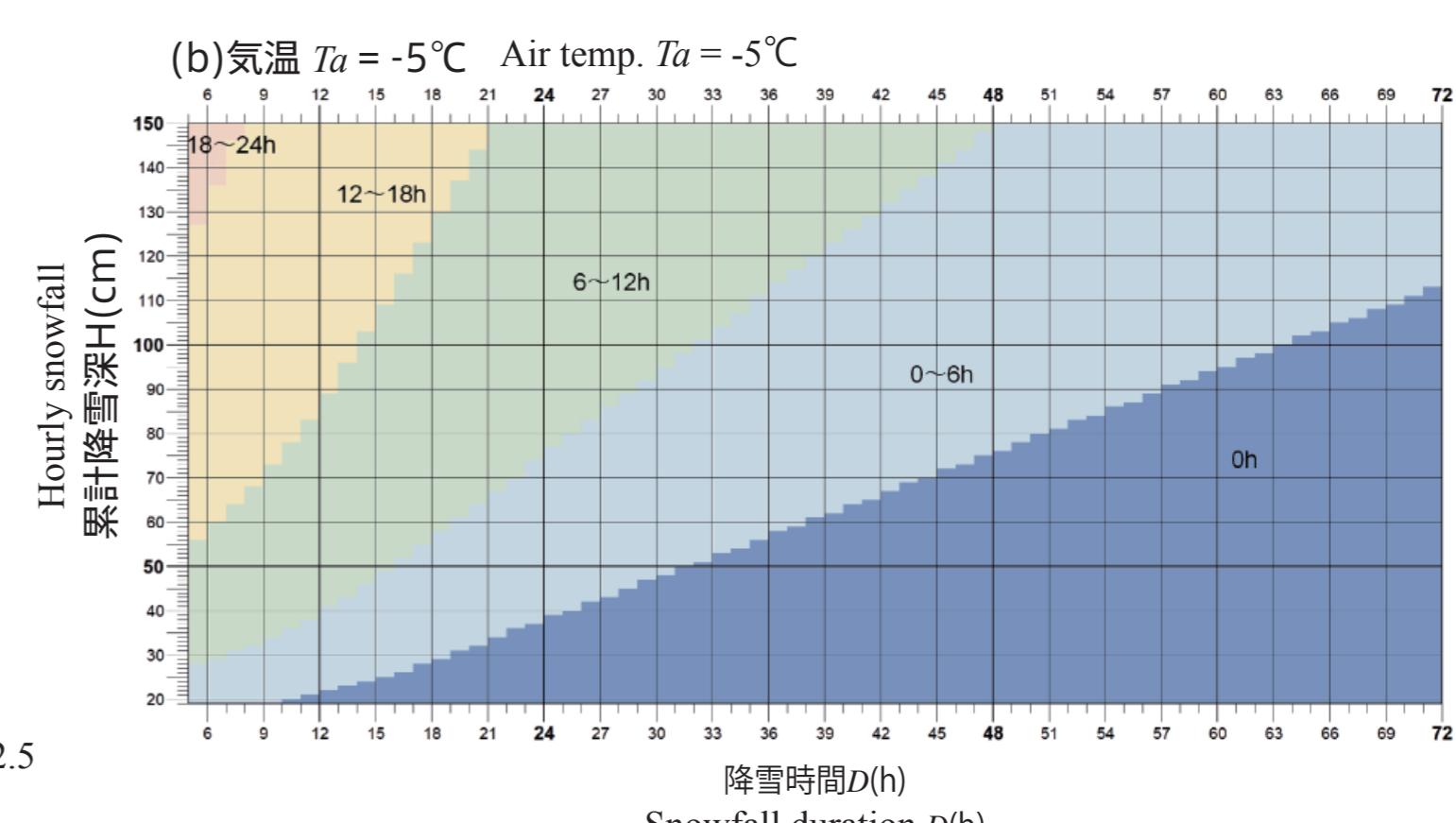
▲斜面積雪の安定度SIの計算の流れ
Flow of calculation for the stability index SI for snow cover on a slope



Time from the end of a snowfall that forms snow cover with $SI \geq 2.5$

検討の結果、累計降雪深Hが大きいほど、また同じHでも気温が低く、降雪時間Dが短いほど、斜面積雪の安定化に要する時間が長いという特徴があることがわかりました。

We examined the conditions of snow cover on the slope and the occurrences of avalanches and found that when the cumulative snowfall H is great, it takes a long time for the snow cover on a slope to stabilize. The lower is the air temperature and the shorter is the snowfall duration D, the longer it takes for the snow cover to stabilize.



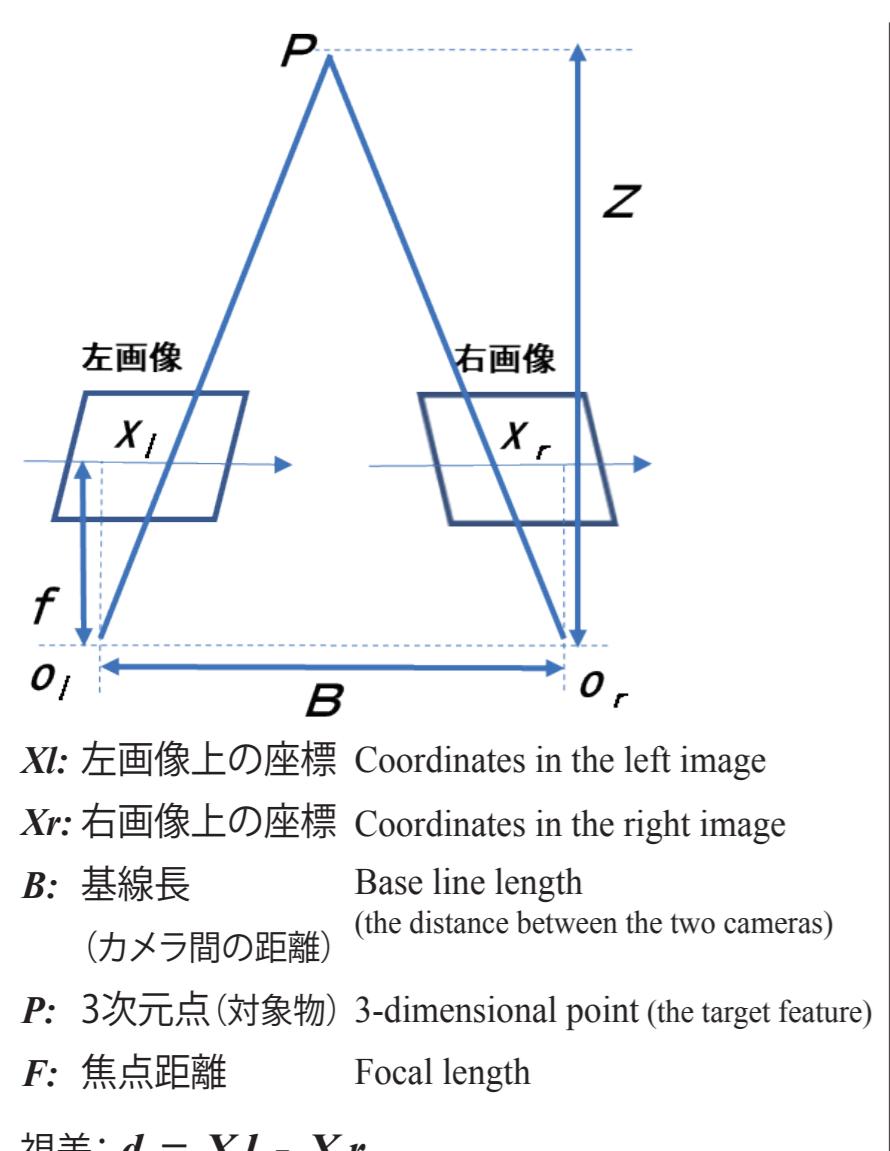
▲斜面積雪の安定化に要する時間のまとめ(気温Ta=-5°C)
Time required for the snow cover on the slope to stabilize (air temperature Ta = -5°C)

SfM技術による斜面積雪状況の測定

Measurement of snow conditions on a slope using SfM technology

ステレオビジョンによる距離算出手法を応用したSfM技術によって斜面積雪状況を測定するため、カメラ、ビデオ、DXで使用が広まるであろうレーザー測距機とUAVを用いて、試験計測しました。

We tested a technology for measuring the snow cover on the slope that uses two still cameras, a video camera, a laser distance meter that will be widely used in digital transformation (DX), and an unmanned aerial vehicle (UAV). The purpose of this test was to establish a technology for measuring the conditions of snow cover on a slope using SfM technology that applies a distance calculation technique based on stereo vision.



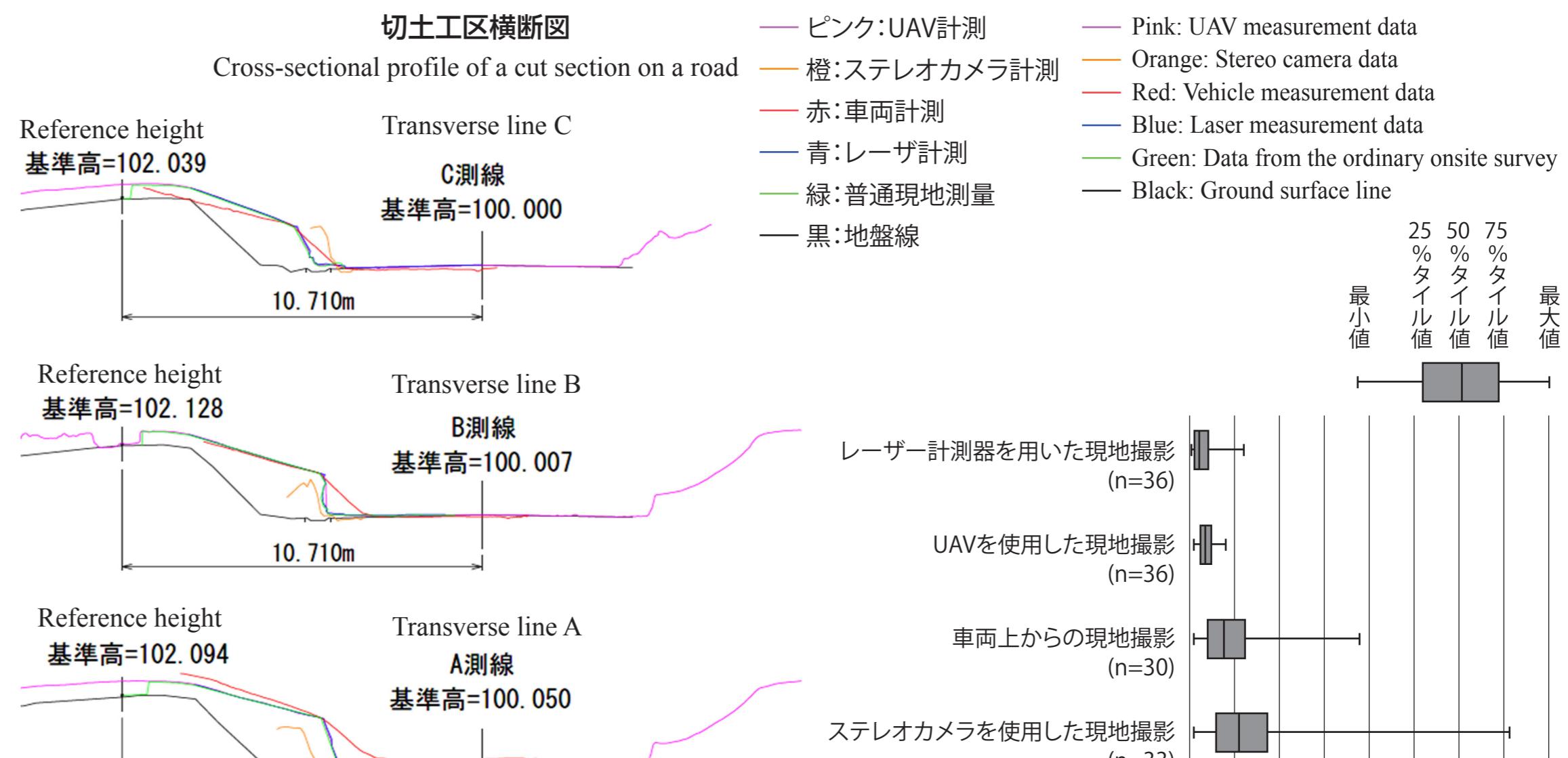
▲ステレオビジョンによる距離算出の考え方
Concept of distance calculation using stereo vision

	計測手法	後処理	計測状況
普通現地計測・作図	TSで測定位 置を測深棒で積雪深さを計測	CADソフト等を用いたデータ処理	
ステレオカメラを使用した現地撮影・作図	デジタルカメラで写真撮影、専用ツールで点群データ作成		
車両上からの現地撮影・作図	車両にビデオカメラを設置し、走行しながらビデオ撮影	SfMツールを用いてデータ作成	
UAVを使用した現地撮影・作図	UAVを飛行させ、上空から写真撮影	SfMツールを用いてデータ作成	
レーザー計測器を用いた現地計測・作図	3Dレーザースキャナを据え付け、計測	点群データ処理ソフトを利用したデータ処理	

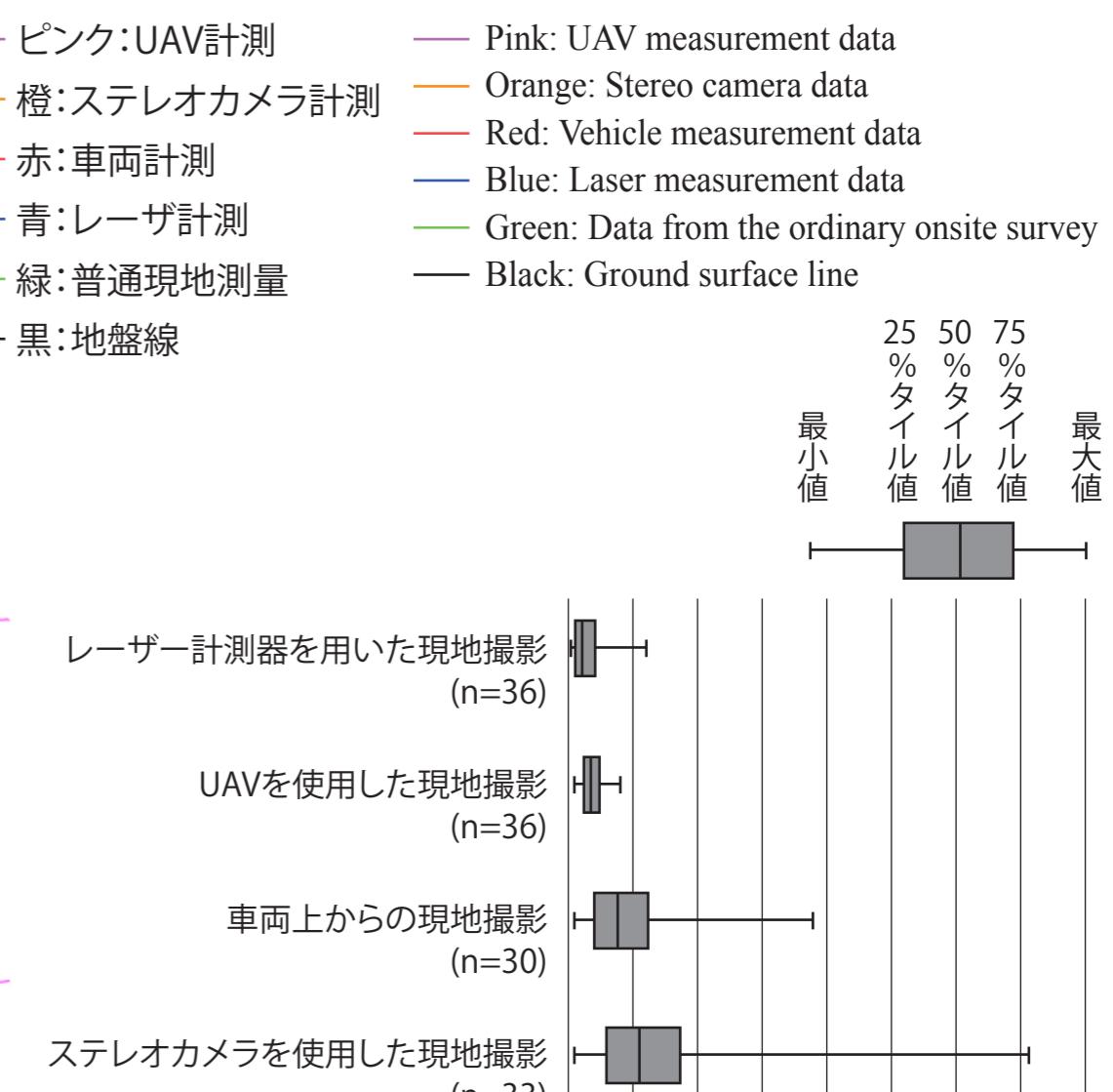
▲今回の試験計測で行った計測手法一覧
List of measurement techniques used in this test

測定の結果、レーザー測距機とUAVはほぼ誤差が無い状態であり、カメラやビデオにおいても50cm程度の誤差はあるもののおおよそ判断がつく程度に収まりました。道路巡回の際にデータ蓄積できると斜面積雪の安定性評価の一助になることから、ビデオ撮影による斜面積雪状況の測定手法をさらに検討していきます。

Test measurements found the data from the laser distance meter and from the UAV to have very small errors, based on comparisons to the measured values. The data collected by the still cameras and the video camera had allowable errors of about 50 cm. We will investigate measurement techniques for assessing the stability of snow cover on a slope that use video capture, because we can accumulate data on snow cover on a slope by capturing video from patrol vehicles. The accumulated data will contribute to snow cover stability assessment.



▲試験計測結果の横断図
Cross-sections from the measurement test results



▲試験計測結果からの測定誤差
Errors of the measurement test results